รายงานการวิจัย

เรื่อง

การพัฒนาเครื่องกำเนิดพลาสมาเพื่อใช้ปรับปรุงผิววัสดุโลหะผสมไทเทเนียม สำหรับประยุกต์ใช้งานทางชีวภาพ

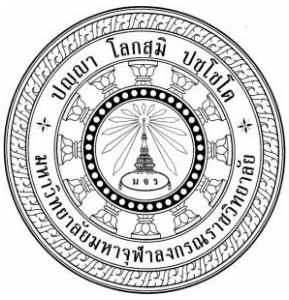
Development of Plasma Generator Improving Titanium Alloys Surface for Biomedical Applications

โดย

พระสุธีรัตนบัณฑิต (สุทิตย์ อาภากโร)
ดร.ชวิน จองวรรณศิริ
ดร.บัญญัติ เล็กประเสริฐ
ดร.ทรงพล ชื่นคำ
ดร.เตชค์ฐสิณป์ เพียซ้าย
ผศ.ดร.กมล จิรเสรีอมรกุล
ผศ.ดร.สานุ มหัทธนาดุลย์
สถาบันวิจัยพุทธศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาจุฬาลงกรณราชวิทยาลัย

พ.ศ. ๒๕๖๑

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยมหาจุฬาลงกรณราชวิทยาลัย
MCU RS 610761290



รายงานการวิจัย

เรื่อง

การพัฒนาเครื่องกำเนิดพลาสมาเพื่อใช้ปรับปรุงผิววัสดุโลหะผสมไทเทเนียม สำหรับประยุกต์ใช้งานทางชีวภาพ

Development of Plasma Generator Improving Titanium Alloys Surface for Biomedical Applications

โดย

พระสุธีรัตนบัณฑิต (สุทิตย์ อาภากโร)

ดร.ชวิน จองวรรณศิริ

ดร.บัญญัติ เล็กประเสริฐ

ดร.ทรงพล ชื่นคำ

ดร.เตชค์ฐสิณป์ เพียซ้าย

ผศ.ดร.กมล จิรเสรีอมรกุล

ผศ.ดร.สานุ มหัทธนาดุลย์

สถาบันวิจัยพุทธศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาจุฬาลงกรณราชวิทยาลัย

พ.ศ. ๒๕๖๑

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยมหาจุฬาลงกรณราชวิทยาลัย

MCU RS 610761290

(ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาจุฬาลงกรณราชวิทยาลัย)

Research Report

Development of Plasma Generator Improving Titanium Alloys Surface for Biomedical Applications

By

Phra Suthirattanabundit and Others

Buddhist Research Institute
Mahachulalongkornrajavidyalaya University

B.E. 2561

Research Project Funded by Mahachulalongkornrajavidyalaya University
MCU RS 610761290

(Copyright Mahachulalongkornrajavidyalaya University)

ชื่อรายงานการวิจัย : การพัฒนาเครื่องกำเนิดพลาสมาเพื่อใช้ปรับปรุงผิววัสดุโลหะผสมไทเทเนียมสำหรับประยุกต์ใช้งานทางชีวภาพ

ผู้วิจัย : พระสุธีรัตนบัณฑิต รศ.ดร., ดร.ชวิน จองวรรณศิริ, ดร.บัญญัติ เล็กประเสริฐ, ดร.เตชค์ฐสิณป์ เพียซ้าย, ดร.ทรงพล ชื่นคำ, ผศ.ดร.กมล จิรเสรีอมรกุล, ผศ.ดร.สานุ มหัทธนาดุลย์

ส่วนงาน : สถาบันวิจัยพุทธศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาจุฬาลงกรณราชวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ศูนย์บริการทางการศึกษาราชบุรี

ปีงบประมาณ : 2561

ทุนอุดหนุนการวิจัย : มหาวิทยาลัยมหาจุฬาลงกรณราชวิทยาลัย

บทคัดย่อ

โลหะผสมไทเทเนียมเป็นวัสดุที่นิยมนำมาประยุกต์ใช้เป็นวัสดุทางการแพทย์เนื่องจากมีความสามารถในการต้านทานการกัดกร่อนและมีความเข้ากันได้ดีกับร่างกาย แต่อย่างไรก็ตามวัสดุทางการแพทย์บางชนิดยังต้องการผิวที่มีความเป็น Hydrophobic เพื่อหลีกเลี่ยงการยึดเกาะของเกล็ดเลือด หนึ่งในวิธีที่ได้ประสิทธิผลสำหรับการแก้ปัญหานี้คือการใช้กระบวนการพลาสมา ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือการออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดพลาสมาต้นแบบที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงผิวของวัสดุทางการแพทย์ได้ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ใช้ Borosilicate glass เป็นวัสดุสำหรับทำภาชนะพลาสมาโดยออกแบบให้เป็นระบบสุญญากาศ และออกแบบแผนผังวงจรไฟฟ้าสำหรับการสร้างวงจรกำเนิดคลื่นความถี่ จากผลการวิจัย พบว่า ความแข็งแรงของภาชนะพลาสมาที่ออกแบบมานั้นสามารถรับความเค้นกดได้สูงถึง 70 MPa และจากการออกแบบวงจรกำเนิดคลื่นความถี่ พบว่า วงจรสามารถกำเนิดคลื่นความถี่ได้ระหว่าง 27-30 MHz หลังจากนั้นได้นำมาทดสอบการเกิดสถานะพลาสมาซึ่งใช้อากาศป้อนเข้าไปในภาชนะพลาสมาที่อยู่ในระบบสุญญากาศ โดยใช้แหล่งกำเนิดพลังงานที่ให้กำลังต่างกัน พบว่า ทั้งแหล่งกำเนิดพลังงานที่ 4.3 วัตต์ และ 14.4 วัตต์ สามารถกระตุ้นอากาศให้เกิดการแตกตัวเป็นสถานะพลาสมาได้อย่างมีความเสถียรภาพ ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า เครื่องกำเนิดพลาสมาต้นแบบนี้สามารถนำไปพัฒนาเพื่อต่อยอดและประยุกต์ใช้สำหรับการปรับปรุงผิวของวัสดุด้วยกระบวนการพลาสมาได้

คำสำคัญ : พลาสมา, เครื่องกำเนิดพลาสมา, โลหะผสมไทเทเนียม, อุปกรณ์การแพทย์.

Research Title: **Development of Plasma Generator Improving Titanium Alloys Surface for Biomedical Applications**
Researchers: PhraSuthirattanabundit and Others
Department: Buddhist Research Institute,
Mahachulalongkornrajavidyalaya University
Fiscal Year: 2018
Research Scholarship Sponsor: Mahachulalongkornrajavidyalaya University

Abstract

Nowadays, titanium alloy is widely used as biomaterials due to good corrosion resistance and excellent biocompatibility. However, some of these materials would like to be a hydrophobic surface to avoid the platelet adhesion. One of the most effective methods to solve this problem is plasma treatment. Therefore, the aim of this study is to design and fabricate plasma generator for surface modification of biomaterials. In this study, the borosilicate glass is used as a plasma chamber in the vacuum systems. The electrical circuit is also designed as a frequency source. From the calculation, the designed plasma chamber can resist compressive stress up to 70 MPa. Moreover, the designed electrical circuit can generate frequency source in the range of 27-30 MHz. After that, the plasma chamber was evacuated, and generated the plasma, with different types of power supply, using air as a plasma source. The results indicated that both power supplies which occurred at 4.3 W and 14.4 W generated stable plasma. Consequently, it can be concluded that the designed plasma chamber is suitable to be used to as a prototype, and can develop to apply for surface modification of biomaterials using plasma treatment.

Keyword : Plasma Process, Titanium alloy, Biomaterial, plasma machines**.**

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่อ “การพัฒนาเครื่องกำเนิดพลาสมาเพื่อใช้ปรับปรุงผิววัสดุโลหะผสมไทเทเนียมสำหรับประยุกต์ใช้งานทางชีวภาพ” ฉบับนี้ ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสถาบันวิจัยพุทธศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาจุฬาลงกรณราชวิทยาลัย ที่เห็นคุณค่าและความสำคัญของการวิจัย การสร้างสรรค์นวัตกรรมและการพัฒนาที่ยั่งยืน งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยความร่วมมือจาก มหาวิทยาลัยมหาจุฬาลงกรณราชวิทยาลัย และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ศูนย์บริการทางการศึกษาราชบุรีที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูล สถานที่ และกระบวนการดำเนินการวิจัย รวมทั้งบุคคลากรเพื่อช่วยทำงานวิจัย

ขออนุโมทนาขอบคุณคณาจารย์จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ศูนย์บริการทางการศึกษาราชบุรี ที่ได้ร่วมกระบวนการดำเนินการพัฒนากิจกรรมละโครงการวิจัยที่นำไปสู่การสร้างสรรค์การวิจัยในแนวใหม่เพื่อประโยชน์ต่อการเรียนรู้และการสร้างนวัตกรรมเชิงพุทธบูรณาการ

ขอกราบขอบพระคุณในความเมตตาของพระพรหมบัณฑิต อธิการบดี มหาวิทยาลัยมหาจุฬาลงกรณราชวิทยาลัย รองอธิการบดี และคณาจารย์ฝ่ายบรรพชิตทุกรูปที่ได้ให้ข้อเสนอแนะและข้อมูลที่เป็นประโยชน์ยิ่งต่อการศึกษาวิจัย ขอเจริญพรขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิ นักวิชาการด้านพระพุทธศาสนาและการพัฒนานวัตกรรม รวมทั้งขอเจริญพรขอบคุณ นักวิจัย และประชาชนทั่วไปที่ให้ข้อคิดเห็นเกี่ยวกับและการเสริมสร้างการเรียนรู้และการวิจัยเพื่อความยั่งยืน เพื่อที่จะเป็นประโยชน์สุขในการเรียนรู้และการปฏิบัติงานเพื่อความยั่งยืนของสรรพสิ่งต่อไป

ขอความเป็นไปในโลกจงเป็นประดุจดั่งคำปรารภของพระสิริมังคลาจารย์ที่รจนาไว้ในนิคมคาถาจักวาฬทีปนีว่า “...ขอพระสัทธรรมคำสอนของพระโลกนาถส่องแสงตลอดกาลนาน ขอสัตว์ทั้งหลายทั้งสิ้นจงเป็น ผู้เลื่อมใสในพระศาสนา ขอฝนจงตกต้องตามฤดูกาล หลั่งอุทกธารโดยดี นำปฐพีไปสู่ความมั่งคั่ง รักษาพืชและสัตว์ที่เกิดบนแผ่นดินทุกเมื่อ ขอพระราชาทั้งหลายจงรักษาประชาชนโดยธรรมทุกเมื่อ ประดุจมารดาบิดารักษาบุตรน้อยที่เกิดจากตนเป็นนิตย์เทอญ...”

พระสุธีรัตนบัณฑิต และคณะ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	**ก**
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	**ข**
กิตติกรรมประกาศ	**ค**
สารบัญ	**ง**
สารบัญตาราง	**ฉ**
สารบัญภาพ	**ช**
บทที่ 1 บทนำ	**1**
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
1.3 ปัญหาการวิจัย	3
1.4 ขอบเขตการวิจัย	3
1.5 ทฤษฎีและกรอบแนวความคิดของการวิจัย	4
1.6 นิยามศัพท์ที่ใช้ในการวิจัย	4
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	**6**
2.1 แนวคิดพลาสมาและเครื่องกำเนิดพลาสมา	6
2.1.1กระบวนการพลาสมา	7
2.1.2 ลักษณะการให้ความร้อนด้วยการอาร์กของพลาสมา	7
2.1.3 ลักษณะการประยุกต์ใช้พลาสมาอุณหภูมิต่ำ	9
2.2 ทฤษฎีการคำนวณความแข็งแรงของภาชนะพลาสมาโดยใช้หลักการคำนวณความเค้น ในภาชนะความดันผนังบาง (Stresses in thin-walled pressure vessels)	9
2.3 แนวคิดระบบภายในร่างกายมนุษย์ตามแนวการแพทย์	11
2.3.1 องค์ประกอบแห่งชีวิตตามแนวการแพทย์	13
2.3.2 ลักษณะของร่างกายมนุษย์ตามแนวการแพทย์	15
2.3.3 พัฒนาการของร่างกายมนุษย์ตามแนวการแพทย์	17
2.3.4 โครงสร้างของร่างกายมนุษย์ตามแนวการแพทย์	21
2.3.5 ระบบภายในร่างกายมนุษย์ตามแนวการแพทย์	24
2.3.6 ระบบประสาท	26
2.3.7 ระบบทางเดินหายใจ	44
2.3.8 ระบบทางเดินอาหาร	46
2.3.9 ระบบอวัยวะอื่นๆ ภายในร่างกาย 8 ระบบที่เหลือ	49

2.4 แนวคิดสุขภาวะแบบองค์รวม 56
2.4.1 ย้อนรอยการแพทย์กระแสหลัก 56
2.4.2 แนวคิดการแพทย์กระแสหลักสู่แนวคิดสุขภาพองค์รวม 59
2.4.3 การเสริมสร้างสุขภาพแบบองค์รวม 62
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 70

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 74
3.1 รูปแบบการวิจัย 74
3.2 ผู้ให้ข้อมูลสำคัญ 74
3.3 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยและการทดลอง 75
3.4 สถานที่ทำการออกแบบและทำการทดลอง 75
3.5 ระยะเวลาทำการวิจัย และแผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย 77
3.6 การวิเคราะห์ผลการทดลองและข้อมูล 78

บทที่ 4 ผลการศึกษาวิจัย 80
4.1 การออกแบบส่วนประกอบของระบบพลาสมา 80
4.2 การออกแบบและคำนวณความแข็งแรงของภาชนะพลาสมา 81
4.3 การออกแบบวงจรกำเนิดคลื่นวิทยุในช่วงความถี่ 13-30MHz 83
4.4 ผลการทดสอบเครื่องกำเนิดพลาสมา 88
4.5 การวิเคราะห์เครื่องกำเนิดพลาสมากับงานการแพทย์เชิงบูรณาการ 90

บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ 92
5.1 สรุปผลการศึกษาวิจัย 92
5.2 ข้อเสนอแนะ 101
5.3 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย 101

บรรณานุกรม 103
ภาคผนวก ก บทความวิจัย 110
ภาคผนวก ข ประวัติผู้วิจัย 124

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงหน้าที่หลักของเส้นประสาทสมอง	30
ตารางที่ 3.1 สมบัติทางกลของ Borosilicate glass	77
ตารางที่ 4.1 ค่าตัวแปรต่างๆที่ใช้ในการจำลอง	85
ตารางที่ 5.1 สมบัติทางกลของ Borosilicate glass	93

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
ภาพที่ 2.1 แสดงลักษณะการเกิดสถานะพลาสมา	7
ภาพที่ 2.2 แสดงตัวอย่างการตัดโลหะด้วยพลาสมา	7
ภาพที่ 2.3 แสดงตัวอย่างลักษณะการให้ความร้อนด้วยการอาร์กของพลาสมา	8
ภาพที่ 2.4 แสดงตัวอย่างกระบวนการพลาสมา	8
ภาพที่ 2.5 แสดงตัวอย่างลักษณะการเคลือบผิวด้วยพลาสมา	9
ภาพที่ 2.6 แสดงความเค้นที่กระทำในแนวสัมผัสกับผนังของภาชนะ	9
ภาพที่ 2.7 แสดงความเค้นที่กระทำบนผิวของภาชนะความดันรูปทรงกระบอก	10
ภาพที่ 2.8 แสดงแผนภาพอิสระ (Free-body diagram)สำหรับการคำนวณหา Hoop stressในภาชนะความดันรูปทรงกระบอก	10
ภาพที่ 2.9 แสดงแผนภาพอิสระสำหรับการคำนวณหา Longitudinal stress ในภาชนะความดันรูปทรงกระบอก	11
ภาพที่ 2.10 แสดงภาพขยายกำลังขนาด 250 เท่า ของอสุจิของเพศชาย และไข่ของเพศหญิง	18
ภาพที่ 2.11 แสดงพัฒนาการของตัวอ่อนมนุษย์	19
ภาพที่ 2.12 แสดงพัฒนาการของร่างกายมนุษย์	20
ภาพที่ 2.13 แสดงศัพท์เฉพาะที่ใช้อธิบายตำแหน่งที่ตั้งของส่วนประกอบต่างๆ ของร่างกายที่สัมพันธ์กับส่วนอื่นๆ	23
ภาพที่ 2.14 แสดงระบบต่างๆ ภายในร่างกายมนุษย์ทั้ง 11 ระบบ	25
ภาพที่ 2.15 แสดงภาพขยายขนาด 600 เท่าของนิวรอน	28
ภาพที่ 2.16 แสดงแสดงส่วนประกอบในการมองเห็นภาพของมนุษย์	33
ภาพที่ 2.17 แสดงส่วนประกอบในการได้ยินเสียงของมนุษย์	35
ภาพที่ 2.18 แสดงเซลล์รับความรู้สึกในการดมกลิ่น	36
ภาพที่ 2.19 แสดงภาพขยายของปุ่มลิ้น (papillae) และปุ่มรับรส (taste bud)	37
ภาพที่ 2.20 แสดงตัวรับความรู้สึกต่างๆ จากการสัมผัสทางผิวหนัง	39
ภาพที่ 2.21 แสดงโครงสร้างและการทำงานของระบบประสาทอัตโนมัติ	42
ภาพที่ 2.22 แสดงภาพรวมการทำงานของระบบประสาท	43
ภาพที่ 2.23 แสดงโครงสร้างหลักทางกายวิภาคของระบบทางเดินหายใจ	45
ภาพที่ 2.24 แสดงการจัดระบบของอวัยวะหลักภายในร่างกาย	55
ภาพที่ 2.25 แสดงการเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของ UHMWPE ระหว่างชิ้นงานที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการพลาสมาด้วยแก๊สอาร์กอน	71
ภาพที่ 2.26 แสดงการเปรียบเทียบพลังงานพื้นผิวระหว่างชิ้นงานที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการพลาสมาด้วยแก๊สออกซิเจน	71

ภาพที่ **หน้า**

ภาพที่ 2.27 แสดงการลดลงของความแข็งของผิวเคลือบคาร์บอนเมื่อปริมาณฟลูออรีนเพิ่มขึ้น 72
ภาพที่ 3.1 แสดงขนาดและรูปร่างของภาชนะพลาสมา 77
ภาพที่ 4.1 แสดงส่วนประกอบของระบบพลาสมา 80
ภาพที่ 4.2 แสดงส่วนประกอบของระบบพลาสมาที่สร้างจริงในโครงการ 81
ภาพที่ 4.3 แสดงขนาดและรูปร่างของภาชนะพลาสมา 82
ภาพที่ 4.4 วงจรกำเนิดคลื่นความถี่แบบ push-pull 83
ภาพที่ 4.5 วงจรกำเนิดคลื่นความถี่ที่ปรับให้เหมาะสมสำหรับการจำลองและต่อวงจรทดลอง 84
ภาพที่ 4.6 สัญญาณด้าน output ที่ R3 ด้วยการ simulate ของโปรแกรม PSpice 85
ภาพที่ 4.7 สเปกตรัมความถี่ประมาณ 13.5 MHz ที่ R3 86
ภาพที่ 4.8 แสดงแผงวงจรที่ต่อกับอุปกรณ์ RLC ค่าต่างๆ 86
ภาพที่ 4.9 แสดงอุปกรณ์แหล่งจ่ายไฟเลี้ยงสำหรับวงจรในรูปที่ 4.7 87
ภาพที่ 4.10 วงจรกำเนิดคลื่นความถี่แบบหลอดสุญญากาศ 1 หลอด 87
ภาพที่ 4.11 แสดงตำแหน่งของอุปกรณ์บนแผงวงจรที่สร้างจริงจากรูปที่ 4.10 88
ภาพที่ 4.12 แสดงมุมด้านบนของแผงวงจรในรูปที่ 4.11 88
ภาพที่ 4.13 แสดงภาพการทดสอบเครื่องกำเนิดพลาสมาที่กำลัง 14.4 วัตต์ 89
ภาพที่ 4.14 แสดงภาพการทดสอบเครื่องกำเนิดพลาสมาที่กำลัง 4.3 วัตต์ 89
ภาพที่ 5.1 แสดงความเค้นที่กระทำในแนวสัมผัสกับผนังของภาชนะ 93
ภาพที่ 5.2 แสดงความเค้นที่กระทำบนผิวของภาชนะความดันรูปทรงกระบอก 94
ภาพที่ 5.3 แสดงแผนภาพอิสระสำหรับการคำนวณหา Hoop stress ในภาชนะความดันรูปทรงกระบอก 94
ภาพที่ 5.4 แสดงแผนภาพอิสระสำหรับการคำนวณหา Longitudinal stress ในภาชนะความดันรูปทรงกระบอก 94
ภาพที่ 5.5 แสดงส่วนประกอบของระบบพลาสมา 95
ภาพที่ 5.6 แสดงขนาดและรูปร่างของภาชนะพลาสมา 96
ภาพที่ 5.7 วงจรกำเนิดคลื่นความถี่แบบหลอดสุญญากาศ 1 หลอด 98
ภาพที่ 5.8 แสดงตำแหน่งของอุปกรณ์บนแผงวงจรที่สร้างจริงจากรูปที่ 5.7 98
ภาพที่ 5.9 แสดงส่วนประกอบของระบบพลาสมาที่สร้างจริงจากรูปที่ 5.8 99
ภาพที่ 5.10 แสดงภาพการทดสอบเครื่องกำเนิดพลาสมา 100

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันผู้ป่วยแผลเรื้อรังส่วนใหญ่ยังคงประสบปัญหาในการรักษา เช่น การดื้อยา แผลติดเชื้อ หรือแผลหายช้ากว่าปกติ ซึ่งการรักษาปกติให้ผลได้ไม่ดีนัก แต่ปัญหานี้กำลังจะหมดไป ด้วยการนำเทคโนโลยี “พลาสมา” มาประยุกต์กับวิทยาการทางการแพทย์ พลาสมาเป็นอีกหนึ่งสถานะของสสาร (สถานะที่ 4 ของสสาร) ซึ่งก็คือ แก๊สที่มีสภาพเป็นไอออน หรือแก๊สมีประจุ โดยเมื่อปี ค.ศ. 1879 เซอร์ วิลเลียม ครูกส์ (Sir William Crookes) นักเคมีและนักฟิสิกส์ชาวอังกฤษ ได้มีการกล่าวถึงสถานะนี้เป็นครั้งแรก และในปี ค.ศ. 1928 เออร์วิง แลงเมียร์ (Irving Langmuir) นักเคมีและนักฟิสิกส์ชาวอเมริกัน เป็นคนแรกที่เรียกสถานะของสสารนี้ว่า “พลาสมา” เนื่องจากเขานึกถึงพลาสมาของเลือดต่อมามีการศึกษาถึงการทำให้เกิดสถานะพลาสมา ซึ่งสามารถทำได้โดยให้สนามแม่เหล็กไฟฟ้าความเข้มสูงกับแก๊สที่เป็นกลางทางไฟฟ้าที่อุณหภูมิสูง ซึ่งอิเล็กตรอนอิสระที่ได้รับพลังงานสูงจะวิ่งเข้าชนกับอะตอมของแก๊ส ทำให้อิเล็กตรอนของอะตอมแก๊สหลุดออกมา ซึ่งเป็นกระบวนการแตกตัวเป็นไอออน (ionization) อะตอมของแก๊สที่สูญเสียอิเล็กตรอนก็จะมีสภาพเป็นไอออน หรือมีสถานะเป็นพลาสมานั่นเอง

เทคโนโลยีพลาสมา ถูกนำมาใช้ในด้านการแพทย์ครั้งแรกในประเทศไทยเมื่อปี พ.ศ. 2556 โดยความร่วมมือของนายแพทย์ชาญชัย ฉัตรศิริมงคล และศูนย์ความเป็นเลิศด้านฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ โดยการสนับสนุนของศูนย์ความเป็นเลิศด้านชีววิทยาศาสตร์ (TCELS) ในขณะนั้น นายแพทย์ชาญชัยและทีมงาน ได้ร่วมวิจัยและผลิตเครื่องพลาสมาเย็นที่เรียกว่า “พลาสมาเย็น” เนื่องจากในขั้นตอนการผลิตพลาสมาจำเป็นต้องใช้อุณหภูมิที่สูงมาก เครื่องผลิตพลาสมาจึงต้องผ่านกระบวนการลดอุณหภูมิก่อน เพื่อให้ใช้ได้กับผิวหนังของมนุษย์ในอุณหภูมิปกติ ต่อมาระบบเจ็ทพลาสมาถูกนำไปใช้ในทางการแพทย์เพื่อรักษาแผลเรื้อรังและแผลผ่าตัด ซึ่งวิจัยและพัฒนาโดยทีมแพทย์ศัลยกรรมตกแต่ง คณะแพทย์ศาสตร์ โรงพยาบาลศิริราช วิธีการใช้งานเครื่องพลาสมาเย็นนี้ ทำได้โดยการนำหัวจ่ายพลาสมาวนด้านบนของแผล โดยให้มีระยะห่างจากแผลประมาณ 1 มิลลิเมตร ติดต่อกันเป็นเวลา 10 นาที เพื่อช่วยในการฆ่าเชื้อบริเวณแผล และสามารถผลัดเนื้อที่ติดเชื้อออกได้ ด้วยการใช้เครื่องพลาสมาเย็นกับผู้ป่วยแผลเรื้อรังร่วมกับการรักษาแบบปกติ พบว่า ทำให้แผลของผู้ป่วยดีขึ้น แม้ว่าเครื่องพลาสมาเย็นจะยังอยู่ช่วงการวิจัย และยังไม่ได้นำมาใช้กับผู้ป่วยแผลเรื้อรังทั่วไป เพราะทีมแพทย์ยังต้องวิจัยกับผิวของมนุษย์เพื่อศึกษาผลกระทบและอาจจะต้องรอไปอีก 1 ถึง 2 ปี แต่นี้ถือเป็นนวัตกรรมใหม่ที่จะเป็นความหวังให้ผู้ป่วยแผลเรื้อรังและผู้ป่วยแผลผ่าตัดได้ เครื่องพลาสมาเย็นทั้ง 2 ระบบที่นำมาใช้นี้มีมาตรฐานความปลอดภัย ดังนี้

1) ความปลอดภัยด้านไฟฟ้า มีการติดตั้ง isolation transformer 220–220 โวลต์ 50 เฮิรตซ์ ตามมาตรฐานเครื่องมือแพทย์ ด้านเทคนิค IEC60601–1 คลาส I ชนิด B มีกระแสรั่วไฟสลับไม่เกิน 100 ไมโครแอมป์

2) ความปลอดภัยด้านพลังงาน พลังงานที่ถ่ายจากพลาสมาเย็นลงสู่พื้นผิวชีวภาพ เช่น ผิวหนัง มีค่าระหว่าง 8–11 ไมโครจูล เทียบเท่าได้น้อยกว่า 100 เท่าของมาตรฐานแสงเลเซอร์ ANSI Z136.1–1993

3) ความปลอดภัยจากแสงยูวี ปริมาณโดสของ UVB และ UVC รวมกันมีค่าน้อยกว่า 5 ไมโครวัตต์/ตารางเซนติเมตร ซึ่งต่ำกว่า 10 เท่าของค่ามาตรฐาน WHO-ICNIRP ซึ่งกำหนดไว้ที่ 50 ไมโครวัตต์/ตารางเซนติเมตร

ในปัจจุบันเทคโนโลยีพลาสมาเย็นได้เป็นที่นิยมในสถานเสริมความงาม เพราะนอกจากจะช่วยปรับสภาพผิวหน้าให้กระจ่างใสขึ้นแล้ว ยังมีการพัฒนาเครื่องมือในการศัลยกรรมตกแต่งใบหน้าอีกด้วย เช่น เครื่องมือในการทำตาสองชั้น แก้ปัญหาหนังตาตก ซึ่งใช้เทคโนโลยีพลาสมาเย็น แทนการผ่าตัด หรือการทำเลเซอร์ การใช้เครื่องมือนี้จะทำให้ไม่เกิดรอยดำหรือแผลเป็น ซึ่งให้ผลดีกว่าการผ่าตัด หรือการใช้เลเซอร์ นอกจากนี้ ประเทศไทยได้มีการส่งออกเครื่องพลาสมาเย็นไปยังหลายประเทศ เช่น กัมพูชา พม่า อินเดีย ฮ่องกง สิงค์โปร์ และดูไบ เป็นต้น [1]

ในปัจจุบันเทคโนโลยีพลาสมาเป็นวิธีที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้สำหรับการผลิตวัสดุใหม่หรือปรับปรุงผิววัสดุเดิมให้ดีขึ้น ลักษณะของพลาสมาที่ใช้ในทางอุตสาหกรรมนั้นมีอยู่ 2 ประเภทคือ Thermal plasma (Hot plasma) และ Non-equilibrium plasma (Cold plasma) Hot plasma นั้นเกิดที่ความดันสูง (>10 kPa) แต่ Cold plasma นั้นจะเกิดที่ความดันต่ำ โดยส่วนมากพลาสมาทั้งสองแบบนี้จะถูกนำมาประยุกต์ใช้ประโยชน์ทางด้านการปรับปรุงพื้นผิวของวัสดุหรือชิ้นงาน ซึ่งไม่ทำให้สมบัติโดยรวม (Bulk property) ของวัสดุหรือชิ้นงานนั้นเปลี่ยนแปลง โดยแบ่งออกเป็น 3 วิธีหลักด้วยกันคือ Plasma etching, Plasma-assisted deposition และ Plasma treatment ยกตัวอย่างเช่นในทางทันตกรรม ได้มีการนำรากฟันเทียมมาผ่านกระบวนการ cold plasma-treatment ก่อนที่จะนำไปใช้งานเพื่อปรับปรุงการยึดติดของวัสดุกับเนื้อเยื่อ อีกทั้งยังเป็นการกระตุ้นการเกิดเซลล์เนื้อเยื่อกระดูกหลังจากผ่านกระบวนการอีกด้วย หรือในทางการแพทย์ได้มีการนำวัสดุชีวภาพ เช่น หลอดเลือดขยายหัวใจ (Stent) มาผ่านกระบวนการเคลือบผิว (Plasma-assisted deposition) เนื่องจากสามารถปรับปรุงสมบัติของวัสดุชีวภาพในขณะใช้งานได้ และยังเป็นการแก้ปัญหาที่ผิวของวัสดุโดยตรงอีกด้วย เช่น การเคลือบผิวคาร์บอนคล้ายเพชรโดยการเติมธาตุฟลูออรีน (Fluorinated diamond-like carbon; F-DLC) ซึ่งมีความสามารถในการต้านทานการกัดกร่อนสูง สามารถลดการยึดติดของลิ่มเลือดที่ผิวของวัสดุได้ดีและมีความเข้ากันได้ดีกับร่างกายอีกด้วย

ดังนั้น การนำโลหะผสมไทเทเนียมที่เป็นวัสดุที่นิยมนำมาประยุกต์ใช้เป็นวัสดุทางการแพทย์เนื่องจากมีความสามารถในการต้านทานการกัดกร่อนและมีความเข้ากันได้ดีกับร่างกาย แต่อย่างไรก็ตามวัสดุทางการแพทย์บางชนิด เช่น ตัวขยายหลอดเลือด (Stent) หรือลิ้นอุดรอยรั่วหัวใจเทียม (Artificial heart valve) ต้องการผิวที่มีความเป็น Wettability ที่ต่ำเพื่อหลีกเลี่ยงการยึดเกาะ

---

[1] นราภรณ์ ตั้งหทัยทิพย์. **พลาสมากับวิทยาการทางการแพทย์ ใน https://medium.com/vcharkarndotcom/ เข้าถึง 20 สิงหาคม 2561.**

ของเกล็ดเลือด หรือวัสดุทางทันตกรรมบางชนิด เช่น สกรูจัดฟันขนาดเล็ก (Mini-screw implant) ต้องการผิวที่สามารถเหนี่ยวนำให้เกิดเซลล์กระดูกตรงบริเวณที่ทำการฝังได้ง่าย ดังนั้น การปรับปรุงผิววัสดุทางการแพทย์หลังจากการผลิตและก่อนนำไปใช้งานจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง โดยเฉพาะการเคลือบวัสดุอุปกรณ์ทางการแพทย์เพื่อสุขภาพของผู้สูงอายุในสังคมไทย

ในงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการปรับปรุงผิวของวัสดุโลหะผสมไทเทเนียมโดยใช้กระบวนการ Plasma treatment เนื่องจากเป็นวิธีที่ง่ายและเป็นการแก้ปัญหาที่ผิวของวัสดุโดยตรง ซึ่งไม่กระทบกับสมบัติโดยรวม (Bulk property) ของวัสดุ อีกทั้งยังสามารถสร้างเครื่องกำเนิดพลาสมาที่มีต้นทุนต่ำลดการนำเข้าจากต่างประเทศได้อีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1. เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดพลาสมาต้นแบบที่สามารถนำมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพผิวของวัสดุที่ต้องการ

1.2.2. เพื่อทดลองปรับปรุงผิววัสดุโดยใช้กระบวนการพลาสมากับชิ้นงานทดสอบ (โลหะผสมไทเทเนียม) และทดสอบภาวะการเปียก (wettability) ของชิ้นงานที่ผ่านการปรับปรุงผิว

1.2.3 เพื่อวิเคราะห์เครื่องกำเนิดพลาสมากับงานการแพทย์เชิงบูรณาการ

1.3 คำถามการวิจัย

13.1 การออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดพลาสมาต้นแบบที่สามารถนำมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพผิวของวัสดุที่ต้องการมีเทคนิคและกระบวนการอย่างไร

1.3.2. ผลการทดลองปรับปรุงผิววัสดุโดยใช้กระบวนการพลาสมากับชิ้นงานทดสอบ (โลหะผสมไทเทเนียม) และทดสอบภาวะการเปียก (wettability) ของชิ้นงานที่ผ่านการปรับปรุงผิวจะเป็นไปตามสมมติฐานที่กำหนดไว้หรือไม่ อย่างไร

1.3.3 การวิเคราะห์เครื่องกำเนิดพลาสมากับงานการแพทย์เชิงบูรณาการ สามารถเป็นไปได้หรือไม่และมีแนวทางอย่างไร

1.4 ขอบเขตการวิจัย

1.4.1. ศึกษาและออกแบบเครื่องกำเนิดพลาสมาที่ทำงานโดยใช้ต้นกำเนิดคลื่นวิทยุ (RF plasma source) ซึ่งส่วนประกอบหลักของเครื่องมือที่ต้องการออกแบบและสร้างประกอบด้วย

1) แหล่งกำเนิดคลื่นวิทยุความถี่ 13.56 เมกกะเฮิร์ตที่ให้กำลังในช่วง 100วัตต์ แก่ก๊าซภายในภาชนะปิดเพื่อให้เกิดการแตกตัวอยู่ในสถานะพลาสมา

2) วงจรแมทชิ่งอิมพีแดนซ์ (matching impedance network) ซึ่งทำหน้าที่ลดการสะท้อนสัญญาณและเพิ่มการถ่ายโอนพลังงานสูงสุดในการสร้างพลาสมา

3) ภาชนะพลาสมา (plasma chamber) และระบบสุญญากาศ (vacuum system) เพื่อสร้างพลาสมาที่ความดันต่ำ โดยระบบสุญญากาศจะประกอบด้วยปั๊มสุญญากาศ (vacuum pump) ที่ดึงอากาศออกจากภาชนะ วาล์ว และมาตรวัดความดัน (vacuum gauge) ที่บอกสถานะความดันของก๊าซภายในภาชนะ

4) ระบบควบคุมปริมาณก๊าซที่เข้าสู่ภาชนะพลาสมา (mass flow controller)

1.3.2. ศึกษาการใช้กระบวนการพลาสมาเพื่อปรับปรุงผิววัสดุโลหะผสมไทเทเนียม

1.3.3. ทดสอบและวิเคราะห์ผลการปรับปรุงผิววัสดุโลหะผสมไทเทเนียม โดยศึกษาเปรียบเทียบสภาวะการเปียกของวัสดุที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงผิวด้วยพลาสมากับวัสดุที่ไม่ผ่านกระบวนการปรับปรุงผิว

1.5 ทฤษฎีและกรอบแนวความคิดของการวิจัย

งานวิจัยนี้เกี่ยวกับการนิยมนำโลหะผสมไทเทเนียมมาใช้เป็นวัสดุทางการแพทย์ เนื่องจากมีความสามารถในการต้านทานการกัดกร่อนและมีความเข้ากันได้ดีกับร่างกาย แต่ยังขาดสมบัติ bioactive ซึ่งจำเป็นต่อการนำไปใช้งานจริง ยกตัวอย่างเช่นสกรูจัดฟันขนาดเล็ก (Mini-screw dental implant) ซึ่งต้องการสมบัติการเหนี่ยวนำให้เกิดการกระตุ้นเซลล์กระดูก หรือตัวขยายหลอดเลือด (Stent) ที่ต้องการผิวที่มีสมบัติความไม่ชอบน้ำ (Hydrophobicity) เพื่อป้องกันการเกิดการยึดติดของลิ่มเลือด ซึ่งวิธีการปรับปรุงผิวของวัสดุมีหลายวิธีด้วยกัน เช่นการเคลือบผิว (Deposition) การยิงทราย (Sand blasting) การพ่นสเปรย์พลาสมา (Plasma spray) เป็นต้นซึ่งวิธีเหล่านี้เป็นที่นิยมสำหรับนำมาใช้ปรับปรุงผิวของวัสดุ แต่อาจจะทำให้วัสดุเกิดความเสียหายและมีสารตกค้างได้เช่นกัน อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มค่าใช้จ่ายและทำลายสิ่งแวดล้อมด้วยดังนั้นการปรับปรุงผิวของวัสดุโดยใช้กระบวนการพลาสมา (Plasma treatment) จึงเป็นเทคโนโลยีใหม่ที่ถูกนำมาใช้ เช่น การทำความสะอาดผิว การฆ่าเชื้อ หรือการเคลือบผิว เป็นต้น ซึ่งการปรับปรุงผิวของวัสดุโดยใช้กระบวนการพลาสมานั้นไม่ส่งผลกระทบต่อสมบัติโดยรวม (bulk property) ของวัสดุ อีกทั้งยังเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย ในงานวิจัยนี้จึงเล็งเห็นถึงการออกแบบ พัฒนา และสร้างเครื่องกำเนิดพลาสมาที่สามารถทำได้เองในประเทศ เป็นการลดต้นทุนการนำเข้าจากต่างประเทศ รวมไปถึงเป็นองค์ความรู้ที่สามารถถ่ายทอดสู่อุตสาหกรรมในประเทศได้อีกด้วย

1.6 นิยามศัพท์ที่ใช้ในการวิจัย

พลาสมา หมายถึง สสารอีกหนึ่งสถานะของสสาร (สถานะที่ 4 ของสสาร) ซึ่งก็คือ แก๊สที่มีสภาพเป็นไอออน หรือแก๊สมีประจุ

เครื่องกำเนิดพลาสมา หมายถึง อุปกรณ์ที่การผลิตวัสดุใหม่หรือปรับปรุงผิววัสดุเดิมให้ดีขึ้น ลักษณะของพลาสมา ซึ่งนำใช้ในทางอุตสาหกรรมนั้นมีอยู่ 2 ประเภทคือ Thermal plasma (Hot plasma) และ Non-equilibrium plasma (Cold plasma) Hot plasma นั้นเกิดที่ความดันสูง (>10 kPa) แต่ Cold plasma

โลหะผสมไทเทเนียม หมายถึง โลหะผสมไทเทเนียมบริสุทธิ์ ซึ่งมีโครงสร้างอยู่ 2 แบบ คือ เฟสอัลฟา (a) ที่อุณหภูมิห้องจนถึง 882 องศาเซลเซียส และเฟสเบต้า (b) จะเกิดที่อุณหภูมิ 882 องศาเซลเซียสถึงจุดหลอมเหลว ธาตุที่เติมลงไปถูกแบ่งได้เป็น 3 ประเภทคือ 1) โมลิบดีนัม วาเนเดียม และไนโอเบียม จะทำให้เฟสเบต้าเสถียร 2) อะลูมิเนียม จะทำให้เฟสอัลฟาเสถียร 3) ดีบุกและเซอร์โคเนียม สามารถละลายในทั้งเฟสอัลฟาและเบต้า โดยจะเป็นกลางในการทำให้เฟสเสถียร ความแข็งแรงโดยทั่วไปจะขึ้นกับการเปลี่ยนแปลงของเฟสจากเฟสเบต้าไปสู่เฟสอัลฟา รวมทั้งการควบคุมโครงสร้างจุลภาคด้วย ธาตุอะลูมิเนียม ดีบุกและเซอร์โคเนียมจะช่วยเพิ่มความ

แข็งแรงแบบตกตะกอนของแข็งในโครงสร้างนั้นๆ ซิลิคอนก็ช่วยในการเพิ่มความแข็งแรงดังกล่าวได้ รวมทั้งเป็นอนุภาคซิลิไซด์ (silicide) อยู่ในโครงสร้างเหมาะแก่การใช้งานที่อุณหภูมิสูง

การแพทย์เชิงบูรณาการ หมายถึง กระบวนการทำงานทางการแพทย์แบบเชื่อมโยง ที่นำหลักวิศวกรรมศาสตร์ หรือศาสตร์อื่นๆ มาบูรณาการเพื่อให้เกิดความสมดุลในการดูแลผู้ป่วยและการพัฒนาระบบสาธารณสุขอื่นๆ

1.7 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1) มีเครื่องกำเนิดพลาสมาต้นแบบที่สามารถนำมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพผิววัสดุที่ต้องการ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานในลักษณะอื่นๆได้

2) สามารถลดการนำเข้าเครื่องกำเนิดพลาสมาจากต่างประเทศ

3) เกิดองค์ความรู้เกี่ยวกับการปรับปรุงผิวโลหะผสมไทเทเนียมโดยกระบวนการพลาสมา

4) เกิดการวิเคราะห์เครื่องกำเนิดพลาสมากับงานการแพทย์เชิงบูรณาการ

ปณฺณา โลกสฺมิ ปชโชโต มหาวิทยาลัยมหาจุฬาลงกรณราชวิทยาลัย มจร

บทที่ 2
แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้ เพื่อตอบวัตถุประสงค์ของการวิจัยที่มีการเรียนรู้ในหลายมิติ ดังนั้น จักกล่าวถึงแนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยมีแนวคิดที่สำคัญ ดังนี้

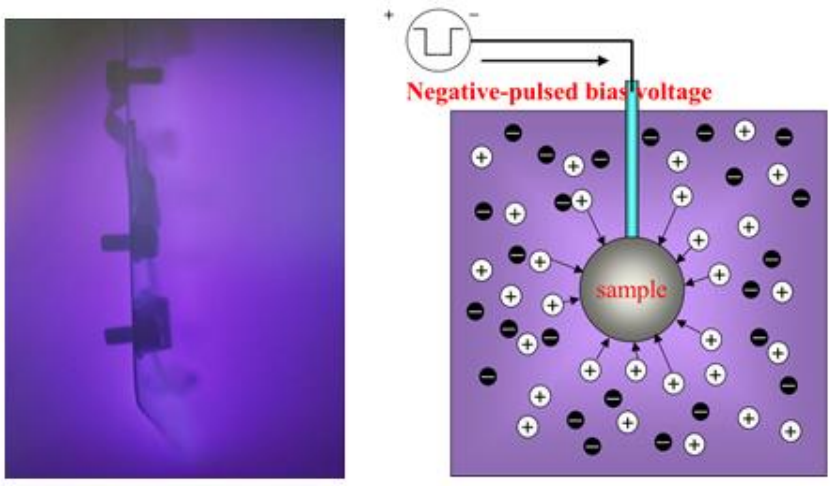
1. แนวคิดพลาสมาและเครื่องกำเนิดพลาสมา
2. ทฤษฎีการคำนวณความแข็งแรงของภาชนะพลาสมาโดยใช้หลักการคำนวณความเค้นในภาชนะความดันผนังบาง (Stresses in thin-walled pressure vessels)
3. แนวคิดระบบภายในร่างกายมนุษย์ตามแนวทางการแพทย์
4. แนวคิดสุขภาวะแบบองค์รวม
5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แนวคิดพลาสมา (Plasma) และเครื่องกำเนิดพลาสมา

ในทางฟิสิกส์และเคมี คือแก๊สที่มีสภาพเป็นไอออนและมักจะถือเป็นสถานะหนึ่งของสสาร การมีสภาพเป็นไอออนดังกล่าวนี้ หมายความว่า จะมีอิเล็กตรอนอย่างน้อยหนึ่งตัวถูกดึงออกจากโมเลกุล ประจุไฟฟ้าอิสระทำให้พลาสมามีสภาพการนำไฟฟ้าเกิดขึ้นพลาสมาจัดได้ว่าเป็นสถานะที่สี่ของสสาร เนื่องจากมีลักษณะเฉพาะที่แตกต่างไปจากสถานะอื่นอย่างชัดเจน พลาสมาประกอบด้วยอนุภาคที่มีประจุทั้งประจุบวกและลบในสัดส่วนที่ทำให้ประจุสุทธิเป็นศูนย์

พลาสมาสามารถเกิดได้โดยการให้สนามไฟฟ้าปริมาณมากแก่แก๊สที่เป็นกลางเมื่อพลังงานส่งผ่านไปยังอิเล็กตรอนอิสระมากพอจะทำให้อิเล็กตรอนอิสระชนกับอะตอมและทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากอะตอมกระบวนการนี้เรียกว่ากระบวนการแตกตัวเป็นไอออน (Ionization) ซึ่งจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วทำให้จำนวนอิเล็กตรอนที่หลุดออกมานี้เพิ่มจำนวนขึ้นอย่างมากซึ่งจะทำให้แก๊สแตกตัวและกลายเป็นพลาสมาในที่สุดดังแสดงในรูปที่ 2.1

ภาพที่ 2.1 แสดงลักษณะการเกิดสถานะพลาสมา



2.1.1กระบวนการพลาสมา (Plasma treatment)

คือกระบวนการที่ใช้ปรับปรุงผิวของวัสดุเพื่อเพิ่มสมบัติต่างๆโดยไม่ทำให้สมบัติโดยรวมของวัสดุเปลี่ยนแปลงเช่น การปรับปรุงความเรียบผิว หรือการเพิ่มสมบัติความชอบ/ไม่ชอบน้ำ เป็นต้น วัสดุทั่วไปนั้นสามารถนำมาผ่านกระบวนการพลาสมาได้ โดยการนำวัสดุเข้าไปใส่ไว้ในภาชนะพลาสมา (Plasma chamber) แล้วทำการปล่อยแก๊สอาร์กอน (Ar) ไฮโดรเจน (H_2) ออกซิเจน (O_2) ไนโตรเจน (N_2) และคาร์บอนเตตระฟลูออไรด์ (CF_4) ซึ่งเป็นแก๊ส 5 ชนิดหลักที่นิยมนำมาใช้ในกระบวนการพลาสมาทั้งในระดับงานวิจัยและอุตสาหกรรม โดยจะปล่อยแก๊สชนิดใดชนิดหนึ่งเพียงอย่างเดียวหรือปล่อยแก๊สตั้งแต่สองชนิดผสมกันก็ย่อมได้

ในปัจจุบันนี้ได้มีการประยุกต์ใช้พลาสมาที่มีสภาพการแตกตัวค่อนข้างน้อยในอุตสาหกรรม ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดดังต่อไปนี้

1) พลาสมาที่ได้จากการอาร์กในกระแสอากาศภายใต้ความดันบรรยากาศ และพลาสมาร้อนอุณหภูมิสูง (อุณหภูมิแก๊สตั้งแต่หลักพันจนถึงหลักหมื่นK) เช่น พลาสมาเหนี่ยวนำที่ได้จากกระแสแก๊สในสนามแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูง เป็นต้น โดยทั่วไปจะใช้ในการให้ความร้อนเป็นหลักเนื่องจากมีคุณลักษณะที่มีอุณหภูมิสูงมาก เช่น การตัดโลหะ เป็นต้น

ภาพที่ 2.2 แสดงตัวอย่างการตัดโลหะด้วยพลาสมา[1]

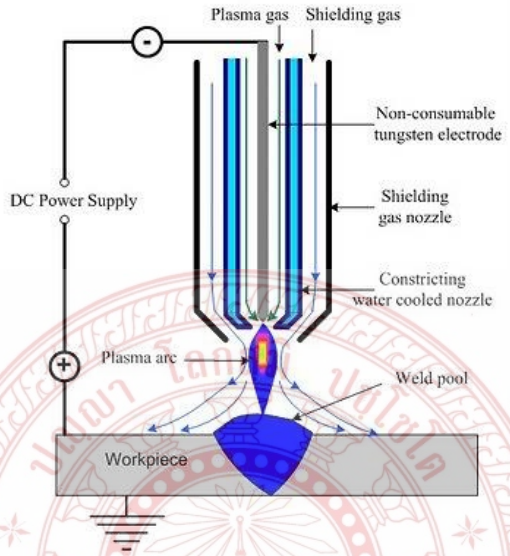
2.1.2 ลักษณะการให้ความร้อนด้วยการอาร์กของพลาสมา

เมื่อให้ความเย็นแก่รอบนอกของการอาร์กในบรรยากาศด้วยกระแสแก๊สตามทิศทางแกนแล้วนอกจากการหดตัวของอาร์กเนื่องจากแรงแม่เหล็กไฟฟ้า (Magnetic Pinch) แล้วนั้นยังเกิด Heat Pinch (การที่ตัวลำอาร์กเกิดการหดตัวในแนวรัศมีเพื่อให้แผ่ความร้อนน้อยที่สุด) ซึ่งจะร่วมกันทำให้อาร์กหดตัวเล็กลงไปอีก ทำให้เกิดพลาสมาจากการอาร์กที่มีอุณหภูมิสูงและมีความหนาแน่นของอิเล็กตรอนสูง การหดตัวของลำอาร์กจะทำให้ความหนาแน่นของพลังงานเพิ่มสูงขึ้น

[1]ขบวนการตัดพลาสม่า. (ออนไลน์).สืบค้นจาก : http://www.millerwelds.com [12 กุมภาพันธ์ 2561].

แก๊สจึงมีอุณหภูมิสูงประมาณ 5,000 - 30,000 K แล้วนำแก๊สนี้มาพ่นออกจาก Torch ที่ติดตั้ง Nozzle ตรงปลายเพื่อบีบให้เล็กลงโดยใช้เป็น Plasma flame ในการให้ความร้อนของงาน ดังแสดงในรูปที่ 2.3

ภาพที่ 2.3 แสดงตัวอย่างลักษณะการให้ความร้อนด้วยการอาร์กของพลาสมา[2]



พลาสมาอุณหภูมิต่ำที่ได้จาก Glow Discharge ในแก๊สความดันต่ำ (หลักร้อย Pa) ซึ่งพลาสมาอุณหภูมิต่ำนี้จะใช้ในกรรมวิธีเคมีโดยใช้ประโยชน์จากปฏิกิริยาเคมีของพลาสมา เช่น กรรมวิธีพื้นผิวของวัตถุ เป็นต้น เนื่องจากมีความไวต่อปฏิกิริยาเคมี

ภาพที่ 2.4 แสดงตัวอย่างกระบวนการพลาสมา[3]

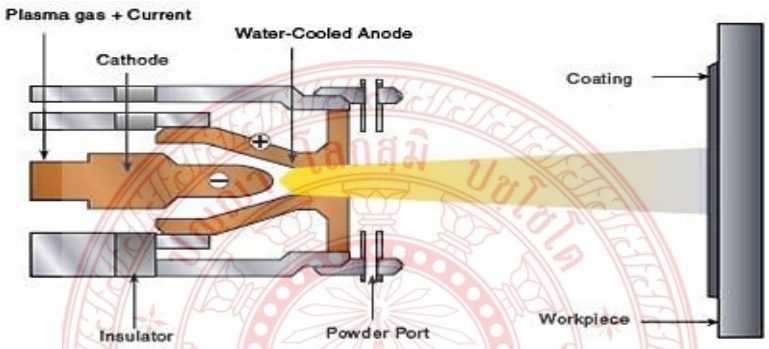
[2]การให้ความร้อนด้วยการอาร์กของพลาสมา. (ออนไลน์).สืบค้นจาก :www.artinaid.com [12 กุมภาพันธ์ 2561].

[3]กระบวนการพลาสมา พลาสมา. (ออนไลน์).สืบค้นจาก : www.britishplastics.co.uk [12 กุมภาพันธ์ 2561].

2.1.3 ลักษณะการประยุกต์ใช้พลาสมาอุณหภูมิต่ำ

การ Discharge ระหว่างขั้วบวกและขั้วลบในแก๊สความดันต่ำ (โดยทั่วไปจะมีความดันอยู่ที่หลักร้อย Pa) จะทำให้เกิดพลาสมาขึ้นเนื่องจากแก๊สจะมีอุณหภูมิต่ำโดยทั่วไปจึงเรียกว่าพลาสมาอุณหภูมิต่ำ นอกจากนี้ยังสามารถกำเนิดพลาสมาอุณหภูมิต่ำจากแก๊สความดันต่ำที่ได้รับคลื่นความถี่สูงหรือ คลื่นไมโครเวฟได้อีกด้วย พลาสมาความดันต่ำมีความไวต่อปฏิกิริยาเคมีสูงมาก จึงนำมาประยุกต์ใช้ในกรรมวิธีพื้นผิวที่ใช้ประโยชน์จากปฏิกิริยาเคมีเป็นหลัก เช่น Nitrogenation ของโลหะการทำ Etching ของสารกึ่งตัวนำการทำ Thin Film Coating ที่ผิวหน้าพลาสติกเป็นต้น

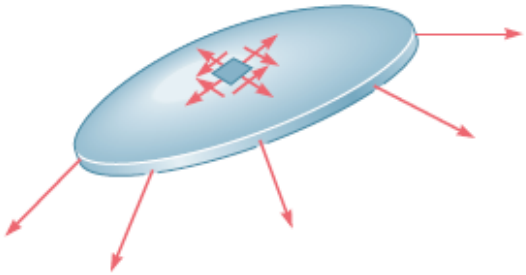
ภาพที่ 2.5 แสดงตัวอย่างลักษณะการเคลือบผิวด้วยพลาสมา[4]



2.2 ทฤษฎีการคำนวณความแข็งแรงของภาชนะพลาสมาโดยใช้หลักการคำนวณความเค้นในภาชนะความดันผนังบาง (Stresses in thin-walled pressure vessels)

ภาชนะความดันผนังบางนั้นเป็นการประยุกต์โดยใช้ความรู้การคำนวณและวิเคราะห์ของความเค้น เนื่องจากว่าผนังบางนั้นทนต่อแรงโค้ง (Bending force) ได้เพียงเล็กน้อย จึงสามารถสมมติได้ว่าแรงภายใน (Internal force) ที่กระทำอยู่บนผนังนั้นมีทิศทางในแนวสัมผัสกับผนังของภาชนะ ดังแสดงในรูปที่ 2.6

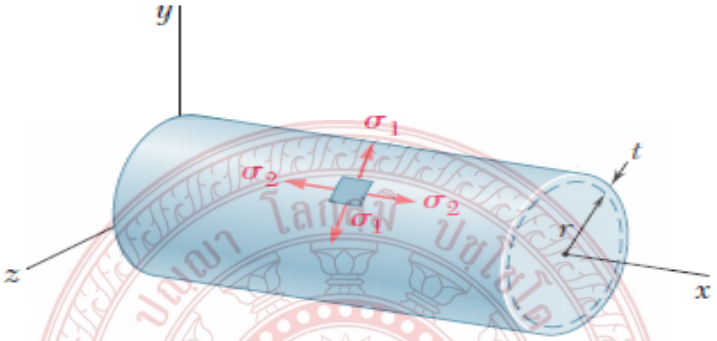
ภาพที่ 2.6 แสดงความเค้นที่กระทำในแนวสัมผัสกับผนังของภาชนะ



[4]ลักษณะการเคลือบผิวด้วยพลาสมา.(ออนไลน์).สืบค้นจาก : www.cirrusdesign.org [12 กุมภาพันธ์ 2561].

จากภาชนะความดันรูปทรงกระบอก (Cylindrical vessel) ที่มีรัศมีภายใน r และความหนาของผนัง t ดังรูปที่ 2.7 พบว่า เราจะพิจารณาความเค้นที่กระทำบนผนังภาชนะความดันบนพื้นที่เล็กๆในแนวขนานและแนวตั้งฉากกับผิวของภาชนะ และเนื่องจากว่ารูปทรงของภาชนะนั้นสมมาตร จะไม่มีความเค้นเฉือนกระทำบนผิวของภาชนะ จากรูปที่ 2.7 กำหนดให้ความเค้นตั้งฉาก (Normal stress) σ_1 และ σ_2 เป็นความเค้นหลัก (Principal stress) โดย σ_1 เรียกว่า Hoop stress และ σ_2 เรียกว่า Longitudinal stress

ภาพที่ 2.7 แสดงความเค้นที่กระทำบนผิวของภาชนะความดันรูปทรงกระบอก



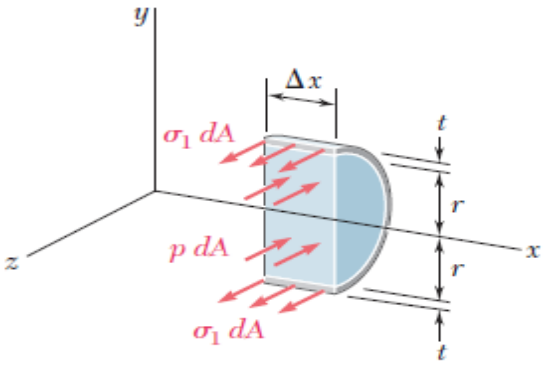
ในการคำนวณหา σ_1 (Hoop stress) นั้น เราจะทำการพิจารณาชิ้นส่วนที่ถูกตัดออกดังแสดงในรูปที่ 2.8 โดยแรงที่กระทำในขนานกับแนวแกน z นั้น ได้แก่ แรงที่กระทำตรงขอบของภาชนะความดัน (σ_1dA) และแรงที่กระทำกับผิวภายในของภาชนะความดัน (pdA)โดย p คือ Gage pressure ของของไหล เมื่อพิจารณาแรงลัพธ์ทั้งหมดที่กระทำในทิศทางแกน z แล้วจะได้ว่า

$$\sum F_z = 0: \qquad \sigma_1 dA - pdA = 0 \qquad (1)$$

$$\sum F_z = 0: \qquad \sigma_1 (2t\Delta x) - p(2r\Delta x) = 0 \qquad (2)$$

ดังนั้น Hoop stress (σ_1) เท่ากับ $\sigma_1 = \dfrac{pr}{t}$

ภาพที่ 2.8 แสดงแผนภาพอิสระ (Free-body diagram)
สำหรับการคำนวณหา Hoop stressในภาชนะความดันรูปทรงกระบอก



สำหรับการคำนวณหา σ_2 (Longitudinal stress) นั้นเราจะใช้แผนภาพอิสระดังแสดงในรูปที่ 2.9 โดยพิจารณาแรงลัพธ์ที่กระทำในแนวแกน x จะได้ว่า

$$\sum F_x = 0: \qquad \sigma_2 dA - p dA = 0$$

(4)

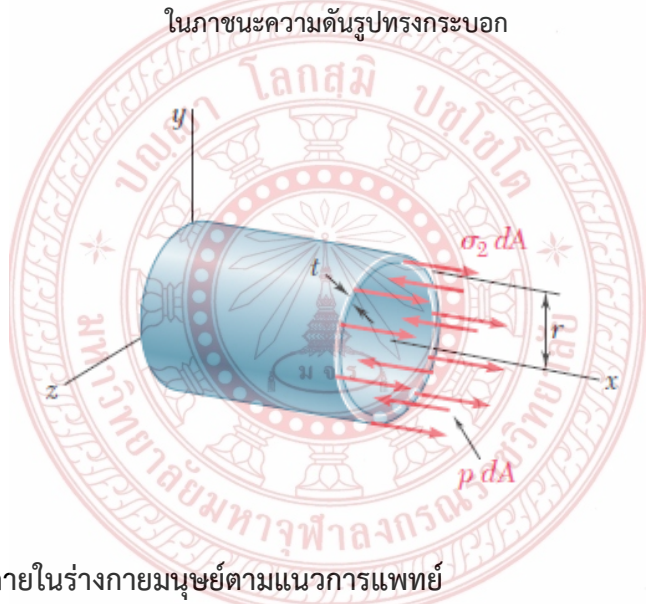
$$\sum F_x = 0: \qquad \sigma_2 (2\pi r t) - p(\pi r^2) = 0$$

(5)

ดังนั้น Longitudinal stress (σ_2) เท่ากับ $\sigma_2 = \frac{pr}{2t}$

(6) หรืออีกนัยหนึ่งคือ $\sigma_1 = 2\sigma_2$

ภาพที่ 2.9 แสดงแผนภาพอิสระสำหรับการคำนวณหา Longitudinal stress ในภาชนะความดันรูปทรงกระบอก



2.3 แนวคิดระบบภายในร่างกายมนุษย์ตามแนวการแพทย์

การแพทย์ในยุคปัจจุบันมีรากฐานที่พัฒนามาจากระบบการแพทย์ในยุคโบราณซึ่งถูกถ่ายทอดเป็นตำรานับร้อยนับพันปี ปรีชาญาณและความละเอียดลึกซึ้งของระบบดังกล่าวแบ่งออกเป็นการแพทย์แผนโบราณสองระบบคือ (1) ระบบตะวันตก คือการแพทย์แบบฮิปโปเครตีสซึ่งเป็นรากฐานของวิทยาศาสตร์การแพทย์ทางตะวันตก (2) ระบบตะวันออก คือการแพทย์ของจีนโบราณซึ่งเป็นรากฐานของการแพทย์ในเอเชียตะวันออกเป็นส่วนมาก[5] ดังที่ เรเน่ ดูโบ (Rene Dubos) กล่าวว่า “การแพทย์สมัยใหม่เป็นคำอธิบายและการขยายความข้อเขียนแนวฮิปโปเครตีสนั่นเอง”[6] ในอดีตการแพทย์แบบฮิปโปเครตีสเกิดขึ้นจากประเพณีการบำบัดรักษาของกรีกโบราณ ซึ่งมีรากฐานย้อนหลัง

---

[5]Fritjof Capra, **The Turning Point: Science, society and the rising culture**, (New York: Bantam Book, 1988), p. 309., ดูรายละเอียดใน ฟริตจ็อฟ คาปร้า, **จุดเปลี่ยนแห่งศตวรรษ เล่ม 3: มองความจริงด้วยทัศนะใหม่**, แปลโดย พระประชา ปสนฺนธมฺโม, พระไพศาล วิสาโล, สันติสุข โสภณสิริ, รสนา โตสิตระกูล, พิมพ์ครั้งที่ 6, (กรุงเทพ ฯ: มูลนิธิโกมลคีมทอง, 2550), หน้า 73-74.

[6]Rene Jules Dubos, **Man, Medicine and Environment,** (New York: Praeger, 1968), p. 58.

ไปก่อนสมัยเฮเลน (pre-Helenic) ตลอดสมัยของกรีกโบราณถือกันว่า การรักษาโดยพื้นฐานเป็นเรื่องทางจิตวิญญาณและเกี่ยวเนื่องกับเทวะหลายองค์ที่โดดเด่นที่สุดได้แก่ เทพีไฮเจีย อันเป็นอีกปางหนึ่งของเทพีอะธีนาแห่งเกาะครีต ซึ่งมีงูเป็นสัญลักษณะและไม้มิสเซิลโท (mistletoe) เป็นเครื่องมือรักษาโรคทุกชนิด[7] ถึงกระนั้น หัวใจของการแพทย์แบบฮิปโปเครตีสคือ ความเชื่อที่ว่าโรคภัยไข้เจ็บมิได้เกิดจากภูติผีหรือพลังเหนือธรรมชาติใดๆ แต่เป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติที่สามารถศึกษาด้วยวิธีการทางวิทยาศาสตร์และสามารถบรรเทาหรือรักษาให้หายได้ด้วยวิธีทางการแพทย์และด้วยการจัดการชีวิตอย่างชาญฉลาด[8]

ในปัจจุบัน การแพทย์ระบบตะวันตกมีชื่อเรียกที่แตกต่างกันไป เช่น การแพทย์ตะวันตก (western medicine) หรือ วิทยาศาสตร์การแพทย์ (scientific medicine) ชีวแพทยศาสตร์ (biomedicine)[9] การแพทย์แผนปัจจุบัน (conventional medicine) การแพทย์สมัยใหม่ (modern medicine) และการแพทย์กระแสหลัก (mainstream medicine) ในขณะที่การแพทย์ระบบตะวันออกเป็นเรื่องของการแพทย์ทางเลือก (alternative medicine)[10] ความหลากหลายของชื่อเรียกเหล่านี้อาจชักนำไปสู่ความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนได้ ดังนั้น ผู้วิจัยจะเรียกการแพทย์ระบบตะวันตกทั้งหมดว่า “การแพทย์ทางหลัก”[11] ตลอดงานวิจัย ทั้งนี้เพื่อให้สอดรับกับระบบ “การแพทย์ทางเสริมและทางเลือก” ดังกล่าว

อย่างไรก็ตาม ก่อนที่จะไปสู่ประเด็นเรื่องทัศนะทางการแพทย์ต่อระบบภายในร่างกายมนุษย์ ควรทราบในเบื้องต้นเสียก่อนว่าการแพทย์มีความเห็นเกี่ยวกับ “ร่างกายมนุษย์” เช่นไร ? คำว่า “ร่างกาย” (body) หมายถึง สิ่งมีชีวิตที่สมบูรณ์[12] เป็นแหล่งที่รวบรวมไว้ซึ่งอวัยวะทั้งหลาย[13]

---

[7]Robert Graves, **The Greek Myths**, 2 vols., (London: Penguin, 1975), p. 176.

[8]Fritjof Capra, **The Turning Point: Science, society and the rising culture**, p. 311., ฟริตจ็อฟ คาปร้า, **จุดเปลี่ยนแห่งศตวรรษ เล่ม 3: มองความจริงด้วยทัศนะใหม่**, หน้า 76-77.

[9]Vincent Di Stefano, **Holism and Complementary Medicine: Origins and Principles**, (Crows Nest: Allen & Unwin, 2006), p. 174.

[10]นอกเหนือจากนั้นยังมีการแพทย์ผสมผสาน (integrative medicine) หรือการแพทย์ทางเสริม (complementary medicine) ซึ่งเป็นการนำเอาการแพทย์ทางเลือกมาเสริมการแพทย์ปัจจุบัน, ดูรายละเอียดใน ศ.ดร.วิทย์ เที่ยงบูรณธรรม, **Nation’s Most Comprehensive Dictionaries: Medical Sciences Dictionary (พจนานุกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์)**, พิมพ์ครั้งที่ 41, (กรุงเทพ ฯ: ดวงกมลพับลิชชิ่ง, 2556), หน้า 231.

[11]“คำว่า ทางหลัก คือทางที่ คนส่วนใหญ่ใช้กัน ส่วน ทางเลือก เป็นทางใหม่หรือทางอื่นที่เป็นตัวที่จะเลือกใช้ หากผู้คนยอมรับและใช้กันมากก็จะกลายเป็นทางหลักไปอีกเช่นกัน” - นพ.เทวัญ ธานีรัตน์. **ความหมายการแพทย์ทางเลือก**. สำนักการแพทย์ทางเลือก. (ออนไลน์).สืบค้นจาก : http://www.thaicam.go.th/index.php?option=com_content&view=article&id=110&Itemid=109 [1 พฤศจิกายน 2561].

[12]“body: the complete organism. . . ” - Larry L. Mai, Marcus Young Owl, M. Patricia Kersting, **The Cambridge Dictionary of Human Biology and Evolution**, (New York: Cambridge University Press, 2005), p. 68.

โครงสร้างทางกายภาพของมนุษย์ ซึ่งตรงกันข้ามกับทางจิตใจ[14] เป็นระบบที่สลับซับซ้อนและเป็นโครงสร้างที่น่าทึ่ง และเป็นต้นกำเนิดของความแข็งแกร่ง ความสวยงาม และความพิศวง จนมีผู้เปรียบเทียบร่างกายกับเครื่องจักรกลที่ถูกออกแบบมาอย่างดี หรือวงดนตรีซิมโฟนี่ (symphony orchestra) อันบรรเลงบทเพลงได้อย่างไพเราะยิ่ง[15] จากมุมมองนี้แสดงให้เห็นว่า การแพทย์มองร่างกายมนุษย์ว่าเป็นสิ่งมีชีวิตที่มีโครงสร้างและระบบอวัยวะที่ซับซ้อน คล้ายคลึงกับกลไลต่างๆ ของเครื่องจักร แนวคิดนี้เชื่อมโยงไปสู่ประเด็นศึกษา 5 ประการตามลำดับคือ 1) องค์ประกอบแห่งชีวิตตามแนวการแพทย์ 2) ลักษณะของร่างกายมนุษย์ตามแนวการแพทย์ 3) พัฒนาการของร่างกายมนุษย์ตามแนวการแพทย์ 4) โครงสร้างของร่างกายมนุษย์ตามแนวการแพทย์ 5) ระบบภายในร่างกายมนุษย์ตามแนวการแพทย์

2.3.1 องค์ประกอบแห่งชีวิตตามแนวการแพทย์

ด้วยเหตุที่การแพทย์แบบฮิปโปเครตีสเป็นรากฐานทางความคิดให้กับการแพทย์ทางหลัก ดังได้กล่าวมาแล้วซึ่งมีอิทธิพลอย่างมากต่อการบำบัดรักษาตามแนวทางของการแพทย์ทางเสริมและทางเลือกด้วยเช่นเดียวกัน ดังนั้น โลกทัศน์ของการแพทย์ทั้งหลายจึงตั้งอยู่บนรากฐานของสสารนิยมหรือวัตถุนิยม (materialism) ที่มององค์ประกอบแห่งชีวิตในลักษณะเป็นจักรกลนิยม (mechanism)

แนวคิดแบบสสารนิยมถือว่า ธรรมชาติที่แท้จริงมีเพียงความมีอยู่ของสสารหรือวัตถุทางกายภาพเท่านั้น และปฏิเสธเอกลักษณ์พื้นฐานต่างๆ (basic entities) ที่เป็นคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับจิตใจทั้งหมดเช่น พิชานหรือความตระหนักรู้ (consciousness) ความมุ่งหมาย (purposiveness) ความทะเยอทะยาน ความปรารถนา การรับรู้ (perceive)[16] นอกจากนั้น ระบบการศึกษาค้นคว้าของวิทยาศาสตร์กายภาพจะใช้วิธีการเชิงสสารนิยมเพื่ออธิบายกลุ่มของปรากฏการณ์ต่างๆ ที่ปรากฏออกมาในทางกายภาพและกระทำได้เพียงแค่การวิจารณ์ภาพสะท้อนของความคิดและประสบการณ์บางส่วนของมนุษย์เท่านั้น[17] นักสสารนิยมสมัยใหม่กล่าวคือนักประสบการณนิยมหรือประจักษ์นิยม

---

[13]“this community of organs that is the body” - Michael Levy, John Rafferty, William L. Hosch (eds.), **Britannica Illustrated Science Library: Human Body I**, (China: Encyclopedia Britannica Inc., 2008), p. 4.

[14]“body: 1. the physical structure of a person, as opposed to the mind 2. the main part of a person’s body, not including the head or arms and legs 3. a dead person” - Heather Bateman, Ruth Hillmore, Daisy Jackson et al., **Dictionary of Medical Terms**, 4th ed., (London: A & C Black Publishers Ltd., 2007), p. 47.

[15]“The human body is an incredibly complex and amazing structure. At best, it is a source of strength, beauty, and wonder. We can compare the healthy body to a welldesigned machine. . . to a symphony orchestra. . . they produce beautiful music” - Lynette Rushton, **The Human Body How It Works: The endocrine System**, (New York: Chelsea House An imprint of Infobase Publishing, 2009), p. 6.

[16]Keith Campbell, “Materialism”, **Encyclopedia of Philosophy**, Vol. 6, Second Edition, ed. by Donald M. Borchert, 10 Vols., (Farmington Hills : Thomson Gale, 2006): 5.

[17]Ibid.: 6.

(empiricism) มองมนุษย์ว่าประกอบขึ้นดวยสสาร มองรางกายมนุษย์ว่าประกอบกันเปนระบบอวัยวะต่างๆ อันซับซ่อนด้วยเหตุนี้การแสวงหาความรู้หรือความรู้ที่มนุษยได้มาจึงเกี่ยวกับรางกายเทานั้น กล่าวโดยสรุป นักสสารนิยมถือว่า สสารและปรากฏการณ์ของสสารเท่านั้นเป็นความแท้จริง ร่างกายเท่านั้นที่อยู่ ส่วนจิตเป็นเพียงปรากฏการณ์ของร่างกายซึ่งหากลดทอนแล้วจะเหลือเพียงระบบประสาทเท่านั้น

แนวคิดแบบสสารนิยมดังกล่าวก่อเกิดทฤษฎีจักรกลนิยม (mechanisms) ตามมา ซึ่งก่อตั้งโดย โธมัส ฮ็อบส์ (Thomas Hobbes)[18] นักสสารนิยมชาวอังกฤษ โดยถือว่าชีวิตและความคิดทุกอย่างเกิดขึ้นตามกฎกลศาสตร์ที่ตายตัว โลกเปรียบเสมือนเครื่องจักรที่ตายตัวประกอบด้วยสสารและพลังงาน ดังนั้น สสารจึงเป็นความแท้จริง ส่วนจิตคือการทำหน้าที่ของสมอง ยิ่งไปกว่านั้น แนวคิดสำคัญแบบวัตถุนิยมทางการแพทย์ (medical materialism) ได้ถือกำเนิดขึ้นอันเป็นการค้นพบของจักรกลนิยมเชิงชีวเคมีที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของระบบประสาทที่เชื่อมโยงกับกระบวนการต่างๆ ของจิตใจ ที่ทึกทักเอาว่าความคิด ความรู้สึก และเจตจำนงถูกส่งเสริมจากระบบประสาท และปรับเปลี่ยนได้โดยการใช้ยาหรืออิเล็กโทรด (electrodes) นอกจากนั้น ความผิดปกติของจิตใจเกิดจากความผิดปกติของสมอง แนวคิดในลักษณะนี้จัดอยู่ในประเภทของวัตถุนิยมเชิงปฏิบัติ (pragmatic materialism)[19]

แม้ว่าความพยายามในการแบ่งองค์ประกอบชีวิตออกเป็นร่างกายและจิตใจที่ปรากฏในช่วงศตวรรษที่ 19 จนถึงศตวรรษที่ 20ตามปรัชญาทวินิยม (dualism) ตามคำอธิบายของ เรอเน เดการ์ต (Rene Descartes) ที่เปรียบร่างกายเหมือนเครื่องจักรที่ผลิตขึ้นจากวัตถุซึ่งทำงานได้ด้วยตัวของมันเอง [20] โดยไม่เกี่ยวข้องกับจิตใจ [21] ดังเช่นนาฬิกา น้ำพุประดิษฐ์ เครื่องโม่ (mills) และเครื่องจักรทั่วๆ ไป[22] ถึงกระนั้นก็ตาม คำอธิบายนี้ก็ยังประสบปัญหาในการอธิบายการรวมตัวและปฏิกิริยาระหว่างร่างกายกับจิตใจ[23] ได้อย่างมีเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์เป็นเครื่องพิสูจน์ ดังนั้น ใน

---

[18]“โธมัส ฮ็อบส์ (Thomas Hobbes, 1588-1679) บิดาแห่งปรัชญาเชิงวิเคราะห์สมัยใหม่ชาวอังกฤษ” - R.S. Peters, “Hobbes, Thomas”, **Encyclopedia of Philosophy**, Vol. 4, Second Edition, ed. by Donald M. Borchert, set of 10, (Farmington Hills : Thomson Gale, 2006): 403.

[19]Keith Campbell, “Materialism”, **Encyclopedia of Philosophy**, Vol. 6: 6.

[20]Harry Heft, “The Tension Between the Psychological and Ecological Sciences: Making Psychology More Ecological”, **Entangled Life: Organism and Environment in the Biological and Social Sciences**, eds. by Gillian Barker, Eric Desjardins and TrevorPearce, (Dordrecht: Springer, 2014): 54.

[21]“ลัทธิทวินิยม (dualism) มองความมีอยู่จริงของร่างกายจิตใจโดยถือว่าจิตใจเป็นรูปแบบเชิงข้อมูลหรือรหัสที่แยกขาดจากร่างกาย” - Tamar Sharon, **Human Nature in an Age of Biotechnology: The Case for Mediated Posthumanism**, (Dordrecht: Springer, 2014), p. 44.

[22]Steven Nadler, **The Philosopher, the Priest, and the Painter: A Portrait of Descartes**, (Princeton: Princeton University Press, 2013), p. 127.

[23]Henrik Lagerlund, “Medieval and Early Modern Theories”, **Sourcebook for the History of the Philosophy of Mind: Philosophical Psychology from Plato to Kant**, eds. by Simo Knuuttila and Juha Sihvola, (Dordrecht: Springer, 2014): 34.

ปัจจุบันนักวิทยาศาสตร์ก็ยังพยายามศึกษาค้นคว้าเพื่อทำความเข้าใจมิติด้านจิตใจและจิตสำนึกของระบบชีวิตมนุษย์มากยิ่งขึ้น[24] กล่าวโดยสรุป ชีวทัศน์ทางการแพทย์ประกอบไปด้วยองค์ประกอบ 2 ส่วน ทั้งร่างกายและจิตใจตามแนวสสารนิยมดังกล่าวแล้ว โดยมองมิติลักษณะของร่างกายมนุษย์ดังต่อไปนี้

2.3.2 ลักษณะของร่างกายมนุษย์ตามแนวการแพทย์

การมององค์ประกอบแห่งชีวิตของการแพทย์ดังกล่าว ทำให้สามารถระบุลักษณะของร่างกายมนุษย์ได้อย่างไม่ยากเย็นนัก ดังที่ ฟริตจ๊อฟ คราปร้า (Fritjof Capra) นักชีววิทยาเชิงระบบ (system biologist) อธิบายลักษณะเฉพาะที่บ่งชี้ถึงระบบที่มีชีวิตจาก แบคทีเรีย ซึ่งเป็นระบบชีวิตที่เรียบง่ายที่สุด ทำให้เราระบุถึงลักษณะดังกล่าวของ เซลล์ชีวิต 7 ประการได้แก่

1. เป็นเครือข่ายสันดาปที่มีเยื่อหุ้ม (membrane-bounded network)
2. สร้างตัวเองได้ (self-generate)
3. มีการจัดการองค์กรแบบปิด (closed organization)
4. เป็นเครือข่ายที่เกี่ยวข้องกับโมเลกุลขนาดใหญ่ที่มีความซับซ้อนสูงหลายชนิด คือ โปรตีนโครงสร้าง
5. มีเอนไซม์ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวเร่งกระบวนสันดาป (enzymes, act as catalysts of metabolic processes)
6. มี อาเอ็นเอ (RNA) ซึ่งเป็นผู้นำสารที่คอยขนส่งข้อมูลพันธุกรรม (RNA, the messengers carrying genetic information)
7. มี ดีเอ็นเอ (DNA) ซึ่งเก็บรักษาข้อมูลพันธุกรรม และรับผิดชอบการจำลองตัวเองของเซลล์ (DNA, which stores the genetic information and is responsible for the cell's self-replication)[25]

กล่าวอีกนัยหนึ่ง เมื่อจำแนกลักษณะของร่างกายมนุษย์โดยตรง มี 3 ประการ ได้แก่

1. เป็นระบบชีวิตที่วิวัฒนาการตนเองได้ ร่างกายมนุษย์เป็นระบบร่วม[26] ที่มีรูปแบบการจัดระบบอย่างเป็นเอกภาพ ที่เชื่อมต่อกับสิ่งแวดล้อม[27] อันมาจากการวิวัฒนาการที่ยาวนานหลาย

---

[24] ดูรายละเอียดใน Fritjof Capra, **The Hidden Connections: Integrating the biological, cognitive and social dimensions of life into a science of sustainability**, (New York: Doubleday, 2002), p. 32., และใน ฟริตจ๊อฟ คาปร้า, **โยงใยที่ซ่อนเร้น**, แปลโดย วิศิษฐ์-ณัฐพส วังวิญญู และสว่าง พงศ์ศิริพัฒน์ , พิมพ์ครั้งที่ 3, (กรุงเทพ ฯ: บริษัท แปลนพริ้นท์ติ้ง จำกัด, 2553), หน้า 67.

[25] ดูรายละเอียดใน Ibid., p. 5., และใน เรื่องเดียวกัน, หน้า 31.

[26] “human bodies are systems; the nature is also a system, consisting of many other systems” - Yi Lin, Bailey Forrest, **Systemic Structure Behind Human Organizations From Civilizations to Individuals**, (New York: Springer, 2012), p. 285.

[27] Ibid., p. 294.

ล้านปี[28] มนุษย์ถือเป็นสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมที่มีวิวัฒนาการสูงสุด[29] สร้างสรรค์ให้ร่างกายทนต่อสภาพแวดล้อมอากาศ อาหาร และอุณหภูมิที่จำเพาะเหมาะสม เอื้อเฟื้อต่อสภาวะความเป็นอยู่ของชีวิต ซึ่งหมายความว่า ร่างกายมิได้ดำรงอยู่ได้ด้วยตัวมันเอง โดยตัดขาดออกจากสภาวะแวดล้อม หากแต่เป็นส่วนสำคัญในสภาวะแวดล้อมตามสายวิวัฒนาการอันยาวนานเหลือคณานับ

2. มีองค์ประกอบย่อยในองค์ประกอบใหญ่ ร่างกายมนุษย์ประกอบไปด้วยหน่วยมูลฐานหรือ เซลล์ ถึงหนึ่งร้อยล้านล้านหน่วย ซึ่งเป็นหน่วยพื้นฐานของชีวิตที่จะถูกจัดรูปแบบทางชีวภาพในร่างกาย[30] โครงร่างเซลล์ (cytoskeleton) มีลักษณะร่วม 3 ประการคือ (1) มีเยื่อหุ้มเซลล์ (plasma membrane) (2) มีบริเวณที่เป็นที่อยู่ของดีเด็นเอ (DNA) เรียกว่า นิวเคลียส (nucleus) หรือนิวคลีออยด์ (nucleoid) (3) มีบริเวณที่เรียกว่า ไซโตพลาสซึม (cytoplasm)[31] หน่วยมูลฐานเหล่านี้ประกอบกันขึ้นจนเป็นเนื้อเยื่อ อวัยวะ ระบบอวัยวะ และสิ่งมีชีวิต (organism) ตามลำดับ ดังนั้น ร่างกายมนุษย์จึงมีลักษณะที่เป็นองค์ประกอบย่อย คือระดับเซลล์ (cell) ที่รวมกันอยู่ในองค์ประกอบใหญ่ คือระดับร่างกาย กล่าวอีกนัยหนึ่งคือมีลักษณะตั้งแต่ขนาดเล็กจนมองด้วยตาเปล่าไม่เห็น (microscopic) ไปจนถึงขนาดใหญ่ (macroscopic) ในเวลาเดียวกัน[32]

3. มีขนาดทางสรีรวิทยาที่จำกัด สิ่งมีชีวิต (living organisms) มีความแตกต่างกันไปตามขนาดของร่างกายตั้งแต่สิ่งมีชีวิตที่มีขนาดเล็กเช่น แบคทีเรีย (bacteria) ไปจนถึงสิ่งมีชีวิตที่มีขนาดใหญ่เช่นปลาวาฬสีฟ้า (blue whales) ขนาดของร่างกายมีสาเหตุที่เกี่ยวข้องกับความหลากหลายทางสรีรวิทยา (physiological) สัณฐานวิทยา (morphological) และคุณลักษณะทางนิเวศวิทยา (ecological) สิ่งมีชีวิตมีการเพิ่มขนาดเพื่อลดอัตราส่วนพื้นที่ของปริมาณ (volumes)[33]

สำหรับมนุษย์ รูปทรงของร่างกาย (body form) หมายถึงรูปร่างลักษณะของร่างกายมนุษย์ ส่วนขนาดของร่างกาย หมายถึงมวลหรือขนาดที่จำกัดของร่างกายของสิ่งมีชีวิต มีดรรชนีมวลกาย (Body Mass Index-BMI) เป็นตัวชี้วัดเชิงคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักตัว

---

[28]นพ. ชัชพล เกียรติขจรธาดา, **เรื่องเล่าจากร่างกาย: เข้าใจร่างกาย พฤติกรรมและธรรมชาติผ่านกระบวนการวิวัฒนาการ**, พิมพ์ครั้งที่ 2, (กรุงเทพ ฯ: บริษัทอมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง จำกัด (มหาชน), 2554), หน้า 136.

[29]ริค กอร์, “วิถีวิวัฒน์จากสัตว์สู่มนุษย์”, **National Geographic ฉบับภาษาไทย,** ปีที่ 2 ฉบับที่ 21 (เมษายน 2546): 73.

[30]Greg Roza, **Inside the human body: using scientific and exponential notation**, Illustrated ed., (New york: The Rosen Publishing Group, 2007), p. 21.

[31]นายแพทย์ปุณวัสส์ กิตติมานนท์, “การศึกษาวิเคราะห์ปาณาติบาตในเซลล์มนุษย์และตัวอ่อนมนุษย์”, **วิทยานิพนธ์พุทธศาสตรดุษฎีบัณฑิต**, (บัณฑิตวิทยาลัย: มหาจุฬาลงกรณราชวิทยาลัย, 2554), หน้า 93-94.

[32]“each organization or structure stands for a system, which brings together all the components into a meaningful relationship which acts as a whole.” - Yi Lin, Bailey Forrest, **Systemic Structure Behind Human Organizations From Civilizations to Individuals**, p. 3.

[33]Bernard Wood (ed.), **Wiley-Blackwell Encyclopedia of Human Evolution**, (Pondicherry: SPi Publisher Services, 2011), p. 86.

กับความสูงของมนุษย์[34] ค่าดรรชนีมวลกายสำหรับผู้มีน้ำหนักเกิน คือมากกว่า 25 ขึ้นไป (BMI>25) นอกจากนั้น หากค่าที่วัดได้มากเกินกว่า 30 (BMI>30) หมายความว่าผู้นั้นอยู่ในภาวะที่อ้วนเกินกว่ามาตรฐาน (obese) ด้วยเหตุนี้ ทำให้ร่างกายมนุษย์มีลักษณะที่จำกัดไว้ด้วยขนาดทางสรีระวิทยา[35] ดังที่ได้กล่าวมาแล้วนั่นเอง

2.3.3 พัฒนาการของร่างกายมนุษย์ตามแนวการแพทย์

การศึกษาวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับสิ่งมีชีวิตหรือเรียกว่า “ชีววิทยา”[36] ทำให้เราทราบว่าระบบชีวิต มีการเจริญเติบโต กินอาหาร หายใจ ขับถ่ายของเสีย ตอบสนองต่อสภาพแวดล้อม เคลื่อนไหว ควบคุมสภาพภายใน และสามารถวิวัฒนาการได้[37] สิ่งมีชีวิตทุกๆ ชีวิตที่เกิดขึ้นมาบนโลกจะมีวิวัฒนาการและมีการพัฒนามาจากบรรพบุรุษร่วมสากล ยาวนานเริ่มตั้งแต่เมื่อประมาณ 3.7 พันล้านปีมาแล้ว[38] วิวัฒนาการการเกิดขึ้นของมนุษย์ก็มีมาช้านานแล้วเช่นเดียวกัน มนุษย์ยุคปัจจุบัน (modern humans) เกิดขึ้นเมื่อประมาณ 2.5 ล้านปีที่ผ่านมา[39] ช่วงเวลาวิวัฒนาการแห่งมวลมนุษยชาติที่กล่าวถึงนี้ เป็นประเด็นที่เกี่ยวโยงไปถึงกลไกการวิวัฒน์ตนเองของมนุษย์ กลไกดังกล่าวนี้มีปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญยิ่งยวดในฐานะที่เป็นระบบที่ทำหน้าที่ส่งต่อลักษณะทางพันธุกรรมจากรุ่นหนึ่งไปสู่รุ่นหนึ่งต่อเนื่องไม่จบสิ้น เรียกระบบนี้ว่า “ระบบสืบพันธุ์ (Reproductive System)” ซึ่งนำพาไปสู่ประเด็นต่อไปได้แก่ “องค์ประกอบของสายการผลิต”

องค์ประกอบของสายการผลิต หมายถึงองค์ประกอบร่วมที่เป็นปัจจัยทำให้ร่างกายมนุษย์ ถือกำเนิดขึ้นมาได้ ได้แก่ (1) เซลล์สืบพันธุ์ของเพศชาย คือ อสุจิ (sperm) กับ (2) เซลล์สืบพันธุ์ของเพศหญิง คือ เซลล์ไข่ (ovum) ซึ่งถือเป็นจุดเริ่มต้นของการสืบพันธุ์ (reproduction) ประเด็นที่น่าสนใจคือมนุษย์เป็นสัตว์ที่ไม่มีฤดูผสมพันธุ์เหมือนสัตว์ในสายพันธุ์ (species) อื่นๆ ทั้งหมด กล่าวคือสามารถมีเพศสัมพันธ์ได้ตลอดปี[40] กระบวนการของการสืบพันธุ์เริ่มตั้งแต่การมีเพศสัมพันธ์ (intercourse) และจบลงด้วยการให้กำเนิดทายาท (offspring) ในช่วงการตั้งครรภ์ระยะ

---

[34]Larry L. Mai, Marcus Young Owl, M. Patricia Kersting, **The Cambridge Dictionary of Human Biology and Evolution**, p. 68.

[35]C. Li, M. Li, JR. Long, Q. Cai, W. Zheng, “Evaluating cost efficiency of SNP chips in genomewide association studies”, **Genet Epidemiol**, Vol. 32 No. 5 (2008): 387-395.

[36]ปรีชา สุวรรณพินิจ, นงลักษณ์ สุวรรณพินิต, **ชีววิทยา 1**, พิมพ์ครั้งที่ 7, (กรุงเทพ ฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548), หน้า 1.

[37]นายแพทย์ปุณวัสส์ กิตติมานนท์, “การศึกษาวิเคราะห์ชีวิตในกำเนิด 4 ตามหลักพระพุทธศาสนาและชีวิตในอาณาจักร 5 ตามหลักชีววิทยา”, **สารนิพนธ์พุทธศาสตรดุษฎีบัณฑิต**, (บัณฑิตวิทยาลัย: มหาจุฬาลงกรณราชวิทยาลัย, 2554), หน้าบทคัดย่อ ก.

[38]J. Cracraft, M. J. Donoghue, eds, **Assembling the tree of life**, (New York: Oxford University Press, 2005), p. 592.

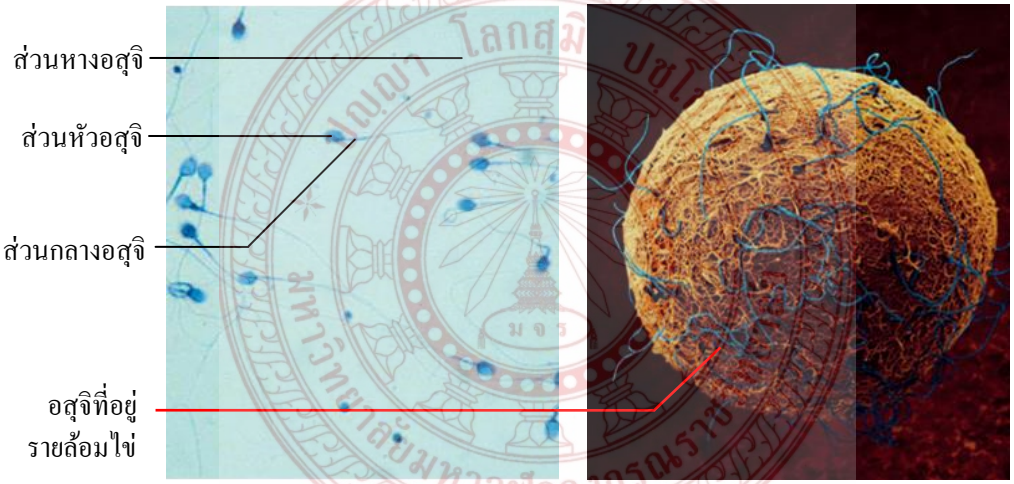
[39]L. M. Witmer, “Palaeontology: An icon knocked from its perch”, **Nature**, Vol. 475 No. 7357 (2011): 458-459.

[40]Michael Levy, John Rafferty, William L. Hosch (eds.), **Britannica Illustrated Science Library: Human Body II**, (China: Encyclopedia Britannica Inc., 2008), p. 8.

สุดท้าย ถึงกระนั้นก็มีหลายขั้นตอนระหว่างนั้น ตั้งแต่การปฏิสนธิ (fertilization) คือการรวมตัวกันของอสุจิ และเซลล์ไข่ ไปจนถึงการฝังตัว (implanation) ของไข่ที่ผสมแล้วในผนังมดลูกของฝ่ายหญิง และตั้งครรภ์ในที่สุด[41]

เมื่อนำเซลล์สืบพันธุ์ฝ่ายชายคือ อสุจิ มาขยายผ่านกล้องจุลทัศน์แล้ว จะเห็นส่วนหัวของตัวอสุจิบรรจุเอนไซม์ (enzymes) จำนวนมากและนิวเคลียส ที่มีสารพันธุกรรม (Deoxyribonucleic acid-DNA) ส่วนกลางตัวอสุจิหนาถูกบีบอัดด้วยไมโตรคอนเดรีย (mitochondria)[42] ดังแผนภูมิรูปภาพ แสดงภาพขยายกำลังขนาด 250 เท่า ของอสุจิของเพศชาย และไข่ของเพศหญิง ต่อไปนี้

ภาพที่ 2.10 แสดงภาพขยายกำลังขนาด 250 เท่า ของอสุจิของเพศชาย และไข่ของเพศหญิง



ที่มา: Douglas J. Eder, Shari Lewis Kaminsky, John W. Bertram, **Laboratory Atlas of Anatomy and Physiology**, 6th ed., (Boston: McGraw-Hill, 2012), p. 40.

ที่มา: Lorrie Klosterman, **The Amazing Human Body Reproductive System**, ed. by Karen Ang, (New York: Marshall Cavendish Benchmark, 2010), p. 42.

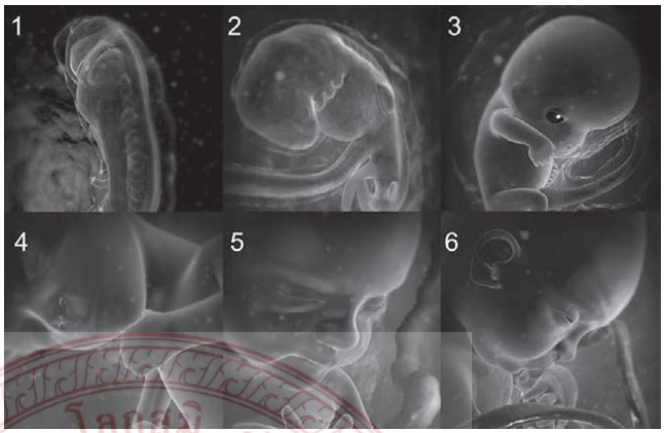
หลังจากนั้น พัฒนาการของตัวอ่อนระยะแรกเริ่ม (embryo) ตั้งแต่ปฏิสนธิจนถึงคลอดออกจากครรภ์มารดา ใช้เวลาประมาณ 9 เดือนเต็ม ดังแผนภูมิรูปภาพ แสดงพัฒนาการของตัวอ่อนมนุษย์ต่อไปนี้

---

[41] Kara Rogers (ed.), **The Human Body The Reproductive System**, (New York: Britannica Educational Publishing, 2011), p. 87.

[42] Douglas J. Eder, Shari Lewis Kaminsky, John W. Bertram, **Laboratory Atlas of Anatomy and Physiology**, 6th ed., (Boston: McGraw-Hill, 2012), p. 40.

รูปภาพ 2.11 แสดงพัฒนาการของตัวอ่อนมนุษย์



ที่มา: Kara Rogers (ed.), **The Human Body The Reproductive System**, (New York: Britannica Educational Publishing, 2011), p. 99.

จากแผนภูมิรูปภาพ จะเห็นได้ว่า ร่างกายมนุษย์มีการพัฒนาตัวเองอยู่ตลอดเวลามิได้หยุดนิ่งนับตั้งแต่ปฏิสนธิกำเนิดในครรภ์มารดาเป็นต้นมา ระดับต่างๆ ของกระบวนการในการจัดระบบ (organization) โดยเริ่มตั้งแต่โมเลกุลไปจนถึงสิ่งมีชีวิตที่สมบูรณ์ ตั้งแต่ ระดับเคมี (หรือโมเลกุล) เซลล์ เนื้อเยื่อ อวัยวะ และ ระบบอวัยวะ[43] ดังนี้

1) ระดับเคมี หรือโมเลกุล (The Chemical or Molecular Level) หน่วยของสสารที่มีขนาดเล็กที่สุดได้แก่ อะตอม ที่สามารถรวมกันเป็นโมเลกุลรูปแบบที่ซับซ้อนหลากหลาย

2) ระดับเซลล์ (The Cell Level) โมเลกุลเหล่านั้นสามารถปฏิสัมพันธ์ซึ่งกันและก่อตัวเป็น ออกาแนล แบบต่างๆ ซึ่งเป็นส่วนประกอบที่มีโครงสร้างและการทำงานของเซลล์ คือหน่วยชีวิต (living units) ที่เล็กที่สุดในร่างกาย

3) ระดับเนื้อเยื่อ (The Tissues Level) คือกลุ่มของเซลล์ที่ทำงานร่วมกันเพื่อปฏิบัติหน้าที่ต่างๆ

4) ระดับอวัยวะ (The Organs Level) อวัยวะเป็นโครงสร้างที่ประกอบไปด้วยเนื้อเยื่อสองชนิดขึ้นไปทำงานผสานกันเพื่อปฏิบัติหน้าที่หลายอย่างให้สำเร็จ

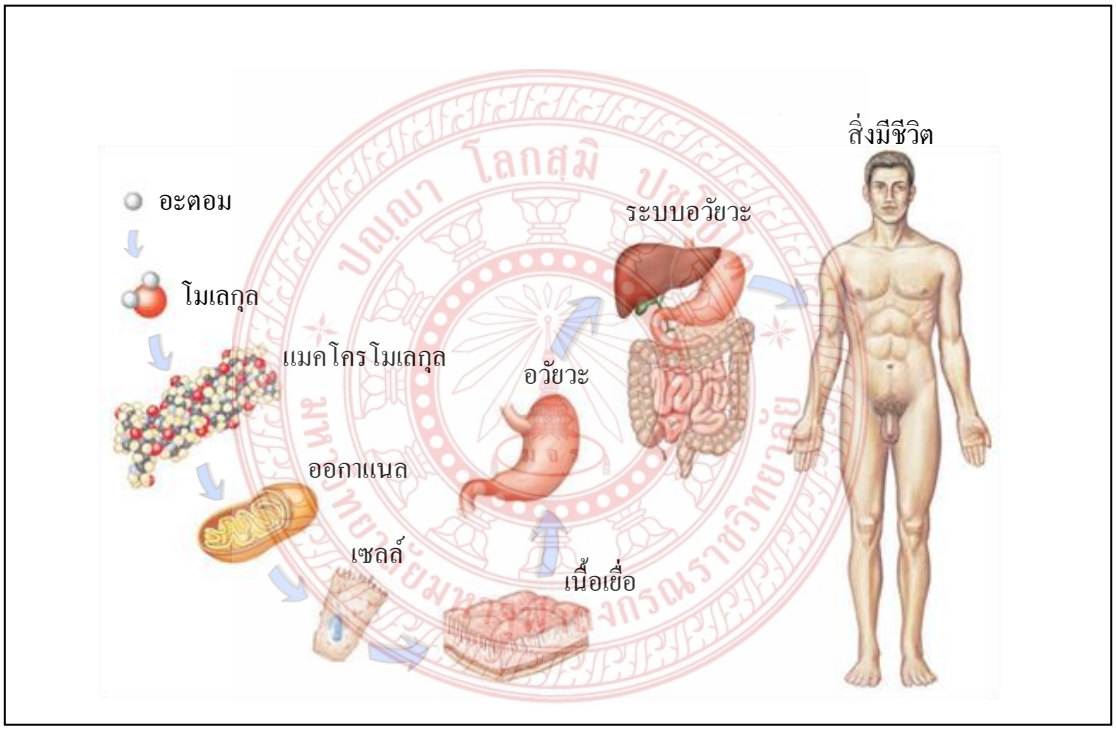
---

[43]Frederic H. Martini, Judi L. Nath, Edwin F. Bartholomew, **Fundamentals of Anatomy & Physiology**, 9th ed., (San Francisco: Pearson Benjamin Cummings, 2012), p. 7.

5) ระดับของระบบอวัยวะ (The Organ Systems Level) คือกลุ่มของอวัยวะที่มีปฏิกิริยาต่อกันเพื่อปฏิบัติหน้าที่ของตน[44]

ร่างกายมนุษย์มีโครงสร้างและการจัดระบบความสัมพันธ์เอาไว้ตั้งแต่หน่วยย่อยจนกลายเป็นการทำงานของหน่วยรวมทั้งหมดคือระบบชีวิต ตั้งแต่ระดับเคมีในร่างกายจนถึงระดับเซลล์ เมื่อเซลล์หลายเซลล์ประกอบกันขึ้นเป็นระดับเนื้อเยื่อ เมื่อเนื้อเยื่อหลายเนื้อเยื่อประกอบกันขึ้นเป็นระดับอวัยวะ เมื่ออวัยวะหลายอวัยวะประกอบกันขึ้นเป็นระดับระบบอวัยวะ และเมื่อระบบอวัยวะหลายระบบประกอบกันขึ้นเป็นระดับสิ่งมีชีวิตได้ในที่สุด[45] ดังแผนภูมิรูปภาพแสดงพัฒนาการของร่างกายมนุษย์ดังต่อไปนี้

รูปภาพ 2.12 แสดงพัฒนาการของร่างกายมนุษย์



ฟริตจ็อฟ คาปร้า เปรียบพัฒนาการจนเป็นระบบภายในร่างกายมนุษย์ดังกล่าวนี้กับต้นไม้แห่งระบบชีวิต (systems tree) โดยอธิบายว่า “แต่ละกิ่งก้านจะแสดงถึงความเชื่อมโยงระหว่างหน่วยชีวิต แต่ละหน่วยกับระบบสังคม และระบบนิเวศวิทยาที่ใหญ่กว่า แต่ละระบบก็จะเชื่อมต่อกับระบบที่ใหญ่ขึ้นไปอีกเป็นชั้นๆ ไป”[46] แสดงถึงความเชื่อมโยงของร่างกายมนุษย์ตั้งแต่ระดับจุลภาค

---

[44]Judith Goodenough, Betty McGuire, **Biology of Humans Concepts Applications and Issues**, 4th ed., (San Francisco: Pearson Benjamin Cummings, 2012), p. 74.

[45]Dawn M. Hudson, **Top Shelf Science Human Anatomy & Physiology**, (Portland: J. Weston Walch Publishing, 2006), p. 11., Lauralee Sherwood, **Human Physiology: From Cells to systems**, 7th ed., (Canada: Yolanda Cossio, 2010), p. 3.

[46]Fritjof Capra, **The Turning Point: Science, society and the rising culture**, pp. 280-281., ฟริตจ็อฟ คาปร้า, **จุดเปลี่ยนแห่งศตวรรษ เล่ม 3: มองความจริงด้วยทัศนะใหม่**, หน้า 27-28.

ไปสู่ระดับมหภาคได้เป็นอย่างดี เช่นเดียวกับประเด็นต่อไปนี้ที่จะกล่าวถึงพัฒนาการของร่างกายมนุษย์ในระดับ “โครงสร้างของร่างกายมนุษย์” ที่จะลงลึกในรายละเอียดยิ่งขึ้น

2.3.4 โครงสร้างของร่างกายมนุษย์ตามแนวการแพทย์

เมื่อกล่าวถึงโครงสร้างของร่างกายมนุษย์ เราจะนึกถึงกายวิภาคศาสตร์ (anatomy) ซึ่งเป็นศาสตร์ที่ศึกษาเกี่ยวกับโครงสร้างต่าง ๆ[47] รวมถึงการจัดระบบ (organization) ของร่างกาย ซึ่งเป็นกุญแจสู่รากฐานของวิทยาศาสตร์การแพทย์เบื้องต้น (basic medical sciences)[48] นอกจากนั้นกายวิภาคศาสตร์ยังมีความหมายที่กว้างเกินกว่าการผ่าตัด (surgery) และช่วยทำให้เราเข้าใจถึงสัญญาณ (signs) รวมถึงอาการต่างๆ (symptoms) อีกทั้งยังมีความสำคัญยิ่งในการทดลองในคลีนิก (clinical tests)[49] กายวิภาคศาสตร์แบ่งออกเป็น 2 สาขาได้แก่ (1) มหกายวิภาคศาสตร์ (gross anatomy หรือ macroscopic anatomy) ศึกษาโครงสร้างทางกายวิภาคที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า (2) จุลกายวิภาคศาสตร์ (microscopic anatomy) ศึกษาโครงสร้างทางกายวิภาคศาสตร์ขนาดเล็กซึ่งต้องอาศัยกล้องจุลทรรศน์ มีเนื้อเยื่อวิทยา (histology) และวิทยาเซลล์ (cytology) เป็นต้น[50]

การศึกษามหกายวิภาคศาสตร์ (gross anatomy) มีแนวทางการศึกษาที่แตกต่างกันอยู่ 3 ทางได้แก่ (1) กายวิภาคศาสตร์เชิงระบบ (systemic anatomy) (2) กายวิภาคศาสตร์แยกส่วน (regional anatomy) (3) กายวิภาคศาสตร์คลีนิค (clinical anatomy) หรือกายวิภาคศาสตร์ประยุกต์ (applied anatomy)[51] ซึ่งเป็นการศึกษาร่างกายโดยแยกตามระบบอวัยวะ ตามการแยกส่วนตามโครงสร้าง และตามการประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาคลีนิค ตามลำดับ

จากการศึกษา พบว่า โครงสร้างที่ซับซ้อนของร่างกายมนุษย์มีการอ้างอิงชุดคำศัพท์จำนวนมากที่เรียกว่า “ศัพท์เฉพาะเกี่ยวกับโครงสร้างของร่างกาย” (Anatomical Terminology)[52] ซึ่งเป็นชุดคำศัพท์ที่มาจากภาษาละติน (Latin) หรือ ภาษากรีก (Greek) สำหรับใช้เรียกส่วนของร่างกายรวมไปถึงโครงสร้างอื่นๆ ของร่างกายตามชื่อที่ตั้งไว้แต่โบราณ[53] ในฐานะที่เป็นการเชื่อมต่อ

---

[47]Gerard J. Tortora & Bryan Derrickson, **Principles of anatomy & physiology**, 13th ed., (New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2012), p. 2.

[48]Kyung Won Chung, Harold M. Chung, **Gross Anatomy**, 7th ed., (Baltimore: Lippincott Williams & Wilkins, 2012), p. VII.

[49]F. Peter Lisowski, Charles E. Oxnard, **Anatomical Terms and their Derivation**, (Singapore: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2007), p. V.

[50]ดูรายละเอียดใน Larry L. Mai, Marcus Young Owl, M. Patricia Kersting, **The Cambridge Dictionary of Human Biology and Evolution**, pp. 25, 227.

[51]Kyung Won Chung, Harold M. Chung, **Gross Anatomy**, p. 1.

[52]ศัพท์เฉพาะที่ใช้ในการศึกษาโครงสร้างของร่างกายทางกายวิภาคศาสตร์ สรีรวิทยา รวมถึงวิทยาศาสตร์การแพทย์ มีอยู่เป็นจำนวนมาก ในงานวิจัยเลือกนำมาอธิบายเฉพาะคำศัพท์เฉพาะที่มีความสำคัญและเกี่ยวเนื่องกับงานวิจัยเท่านั้น

[53]Ibid., p. VII.

กันระหว่างภาษาทางแพทย์ศาสตร์กับภาษาแห่งชีวิต (language of life)[54] อันแสดงให้เห็นรูปแบบของการบันทึกเชิงประวัติศาสตร์ ยกตัวอย่างเช่น ชื่อที่มีจากภาษาละตินหลายคำที่ถูกกำหนดเพื่อให้เรียกโครงสร้างเฉพาะส่วนเมื่อ 2,000 ปีที่แล้วก็ยังคงใช้อยู่ในปัจจุบัน[55] คำศัพท์เหล่านี้จะระบุถึงแนวระนาบสมมติ (imaginary planes) ที่ลากตัดผ่านและอธิบายขอบเขตส่วนต่างๆ ของร่างกาย (body regions) ซึ่งมีทั้งหมดอย่างน้อย 13 คำศัพท์[56] อันประกอบไปด้วย

1. ด้านบน (superior) หมายถึง ส่วนที่อยู่เหนือส่วนอื่น เช่น ช่องอก (thoracic cavity) อยู่ด้านบนของช่องท้องและช่องอุ้งเชิงกราน (abdominopelvic cavity)

2. ด้านล่าง (inferior) หมายถึง ส่วนที่อยู่ใต้ส่วนอื่น เช่น ลำคอ (neck) อยู่ด้านล่างของศีรษะ (head)

3. ด้านหน้า (anterior หรือ ventral) หมายถึง ไปทางด้านหน้า เช่น ดวงตา (eyes) อยู่ทางด้านหน้าของสมอง (brain)

4. ด้านหลัง (posterior หรือ dorsal) หมายถึง ไปทางด้านหลัง เช่น คอหอย (pharynx) อยู่ทางด้านหลังของช่องปาก (oral cavity)

5. ด้านตรงกลาง (medial) หมายถึง แนวกึ่งกลางสมมติ (imaginary midline) ที่แบ่งร่างกายออกเป็นครึ่งขวาและครึ่งซ้ายอย่างเท่ากัน เช่นจมูก (nose) อยู่ตรงกลางระหว่างตาทั้งสอง (eyes)

6. ด้านข้าง (lateral) หมายถึง ไปทางด้านข้างออกไปจากแนวกึ่งกลางสมมติ เช่น หู (ears) อยู่ทางด้านข้างของดวงตา (eyes)

7. ทั้งสองด้าน (bilateral) โครงสร้างที่จัดเป็นคู่ซึ่งอยู่บนแต่ละด้าน เช่นปอด (lungs) มีทั้งสองด้าน

8. ด้านเดียวกัน (ipsilateral) หมายถึง โครงสร้างบนด้านเดียวกัน เช่นปอดขวา (right lung) และไตขวา (right kidney) อยู่ด้านเดียวกัน

9. คนละด้าน (contralateral) หมายถึง โครงสร้างบนด้านตรงข้ามกัน เช่น ผู้ป่วยมีกระดูกขาขวาแตกจะต้องแบกน้ำหนักบนรยางค์ล่าง (lower limb) คนละด้าน

10. ส่วนต้น (proximal) หมายถึง ใกล้ไปทางส่วนติดลำตัว หรือเป็นการอ้างอิงกับจุดอื่น (another reference point) เช่นข้อศอกอยู่ส่วนต้นของข้อมือ (The elbow is proximal to the wrist)

11. ส่วนปลาย (distal) ตรงกันข้ามกับส่วนต้น (proximal) หมายถึง ไกลออกไปจากส่วนติดลำตัว หรืออาจเป็นการอ้างอิงกับจุดอื่น เช่น นิ้วมืออยู่ส่วนปลายของข้อมือ (the fingers are distal to the wrist)

---

[54]F. Peter Lisowski, Charles E. Oxnard, **Anatomical Terms and their Derivation**, p. VI.

[55]Frederic H. Martini, Michael J. Timmons, Robert B. Tallitsch, **Human Anatomy**, 7th ed., (Glenview: Pearson Education, Inc., 2012), p. 14.

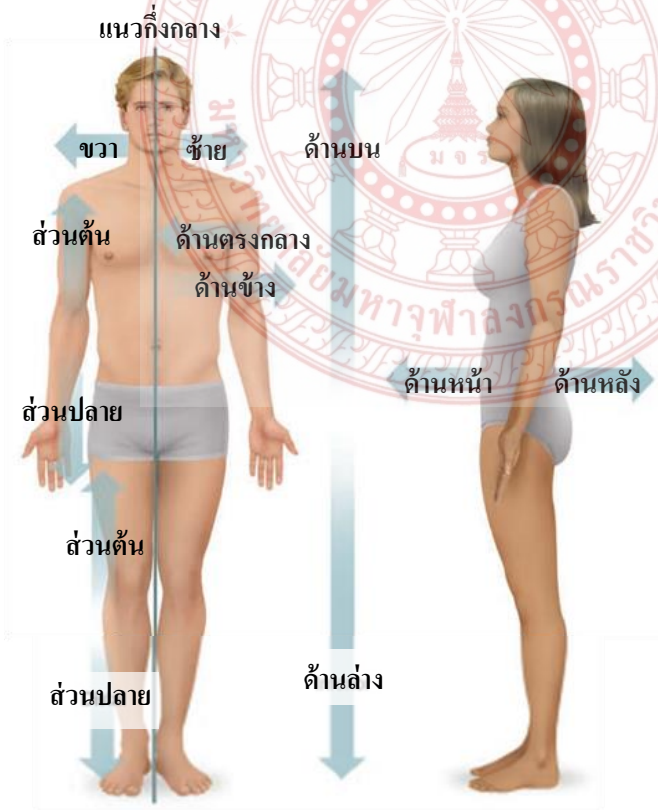
[56]David Shier, Jackie Butler, Ricki Lewis, **Hole's Essentials of Human Anatomy & Physiology**, 11th ed., (New York: McGraw-Hill, 2012), pp. 14-15.

12. ส่วนพื้นผิว (superficial) หมายถึง อยู่ใกล้กับพื้นผิวหนัง เช่น หนังกำพร้า (epidermis) เป็นชั้นผิวของผิวหนัง (skin) หรืออาจหมายถึงส่วนปลาย (peripheral) ก็ได้ เช่น เส้นประสาทส่วนปลาย (peripheral nerves)

13. ส่วนลึก (deep) หมายถึง ส่วนต่างๆ ที่อยู่ลึกลงไปจากส่วนพื้นผิว (superficial) เช่น หนังแท้ (dermis) อยู่ชั้นลึกของผิวหนัง (skin)

ศัพท์เฉพาะเกี่ยวกับโครงสร้างของร่างกายดังกล่าวมาทั้งหมดนี้ ช่วยเป็นเครื่องมือให้ผู้ศึกษาสามารถอธิบายโครงสร้างต่างๆ ของร่างกายได้ครบถ้วนทุกมิติ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง มิติด้านตำแหน่งและทิศทางของโครงสร้างของร่างกาย (anatomical directions)[57] ดังแผนภูมิรูปภาพแสดงศัพท์เฉพาะที่ใช้อธิบายตำแหน่งที่ตั้งของส่วนประกอบต่างๆ ของร่างกายที่สัมพันธ์กับส่วนอื่นๆ ต่อไปนี้

ภาพที่ 2.13 แสดงศัพท์เฉพาะที่ใช้อธิบายตำแหน่งที่ตั้ง ของส่วนประกอบต่างๆ ของร่างกายที่สัมพันธ์กับส่วนอื่นๆ



ที่มา: David Shier, Jackie Butler, Ricki Lewis, **Hole's Essentials of Human Anatomy & Physiology**, 11th ed., (New York: McGraw-Hill, 2012), p. 14.

[57] ดูรายละเอียดใน Frederic H. Martini, Michael J. Timmons, Robert B. Tallitsch, **Human Anatomy**, p. 16.

ดังนั้น ชุดศัพท์เฉพาะเหล่านี้จึงเป็นฐานรากที่จะเกื้อหนุนให้การศึกษาโครงสร้างของร่างกายมนุษย์เป็นไปอย่างถูกต้องและชัดเจน อย่างไรก็ตาม โครงสร้างของร่างกายมนุษย์ตามแนวการแพทย์ ที่นำเสนอในที่นี้มุ่งศึกษาโดยยึดแนวทาง 2 ประการได้แก่ (1) การแบ่งส่วนของร่างกาย (body segment) (2) ระนาบ หรือแนวตัดแบ่ง (sectional planes) ดังนี้

2.3.5 ระบบภายในร่างกายมนุษย์ตามแนวการแพทย์

การศึกษาเรื่องระบบภายในร่างกายมนุษย์ตามแนวการแพทย์ มีศาสตร์สำคัญที่ต้องทำความเข้าใจ 2 ศาสตร์คือ กายวิภาคศาสตร์ที่ศึกษาเกี่ยวกับเรื่องโครงสร้างและส่วนประกอบของร่างกายมนุษย์ และสรีรศาสตร์ที่ศึกษาเกี่ยวกับเรื่องการทำงาน หรือกระบวนการต่างๆ ของโครงสร้างและส่วนประกอบของร่างกายมนุษย์[58] โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในเรื่องการทำงานของสิ่งมีชีวิต[59] และด้วยเหตุที่โครงสร้างและการทำงานของร่างกายนี้มีความสัมพันธ์กันอย่างแยกไม่ออก ดังนั้น ในการศึกษาร่างกายจึงจำเป็นต้องศึกษาศาสตร์ทั้ง 2 ควบคู่กันไป[60] อย่างหลีกเลี่ยงมิได้

ก่อนที่จะเข้าสู่การศึกษาเนื้อหาเรื่องระบบภายในร่างกายมนุษย์โดยละเอียดนั้น มีความจำเป็นที่จะต้องทำความเข้าใจถึงนิยามของระบบเสียก่อน ระบบภายในร่างกายมนุษย์ หมายถึง “กลุ่มของอวัยวะต่างๆ ที่มีการจัดระบบเพิ่มขึ้นไปสู่ระดับของ “ระบบภายในร่างกาย” ในแต่ละระบบเป็นการรวบรวมเอาอวัยวะต่างๆ ที่มีการทำงานที่สัมพันธ์เกี่ยวเนื่องกันและปฏิสัมพันธ์กันเพื่อยังกิจกรรมทั่วๆ ไปให้สำเร็จ ซึ่งมีความจำเป็นต่อการดำรงอยู่ของร่างกายทั้งหมด”[61] ระบบเหล่านี้ถูกจำแนกออกตามลักษณะและการทำงานของอวัยวะภายในร่างกายที่มีความสัมพันธ์กัน มีจำนวนทั้งสิ้น 11 ระบบด้วยกัน ได้แก่ (1) ระบบปกคลุมร่างกาย (Integumentary System) (2) ระบบกระดูก (Skeletal System) (3) ระบบกล้ามเนื้อ (Muscular System) (4) ระบบประสาท (Nervous System) (5) ระบบต่อมไร้ท่อ (Endocrine System) (6) ระบบไหลเวียนโลหิต (Cardiovascular System) (7) ระบบน้ำเหลืองและภูมิคุ้มกัน (Lymphatic & Immune System) (8) ระบบทางเดินหายใจ (Respiratory System) (9) ระบบทางเดินอาหาร (Gastrointestinal Tract or Digestive System)

(10) ระบบทางเดินปัสสาวะ (Urinary System) (11) ระบบสืบพันธุ์ (Reproductive System) ดังแผนภูมิรูปภาพที่แสดงระบบต่างๆ ภายในร่างกายมนุษย์ทั้ง 11 ระบบ ต่อไปนี้

---

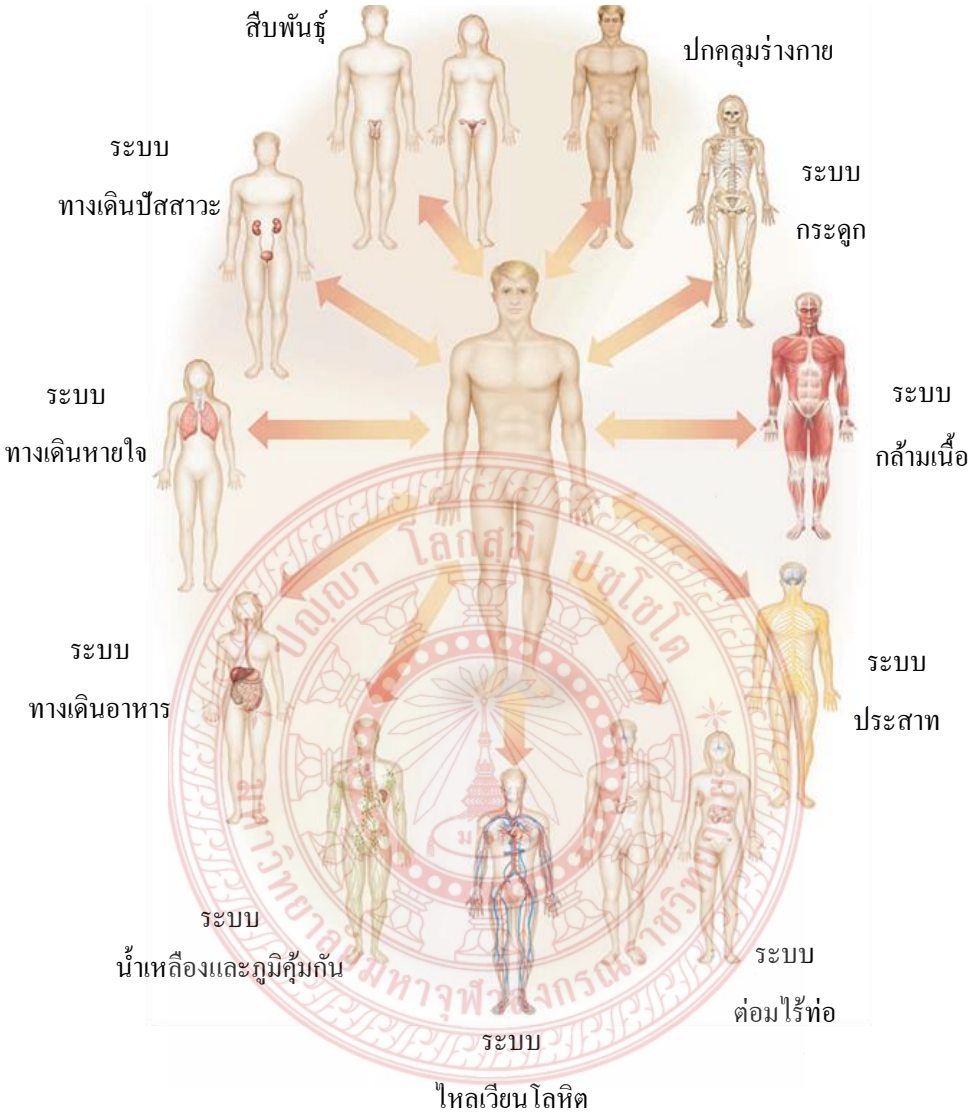
[58] Dawn M. Hudson, **Top Shelf Science Human Anatomy & Physiology**, p. 1.

[59] Hershel Raff, Michael Levitzky, **Medical Physiology A Systems Approach**, (New York: McGraw-Hill, 2011), p. 1.

[60] Gerard J. Tortora & Bryan Derrickson, **Principles of anatomy & Physiology**, 13th ed., (Hoboken: John Wiley & Sons. Inc., 2012), p. 2.

[61] “Groups of organs are further organized into body systems. Each system is a collection of organs that perform related functions and interact to accomplish a common activity essential for survival of the whole body.” - Lauralee Sherwood, **Fundamentals of Human Physiology**, 4th ed., (Canada: Yolanda Cossio, 2012), p. 5.

ภาพที่ 2.14 แสดงระบบต่างๆ ภายในร่างกายมนุษย์ทั้ง 11 ระบบ



ที่มา: David Shier, Jackie Butler, Ricki Lewis, **Hole's Essentials of Human Anatomy & Physiology**, 11th ed., (New York: McGraw-Hill, 2012), p. 13.

ระบบอวัยวะภายในร่างกายมนุษย์ทั้ง 11 ระบบต่างก็มีขอบเขตในการทำงานแบบบูรณาการร่วมกัน เริ่มตั้งแต่การทำสำเนา (reproducing) เซลล์หนึ่งๆ เพื่อพัฒนาเป็นชีวิตใหม่ จากการหมุนเวียนโลหิต จนถึงการจับ (capturing) ออกซิเจน (oxygen) ในอากาศ รวมถึงกระบวนการย่อยสลายอาหารด้วยการบดเคี้ยวและการเปลี่ยนแปลงทางเคมีเพื่อดูดซึมสารอาหารต่างๆ และกำจัดของเสียออก[62] ในลักษณะนี้เป็นต้น ซึ่งเป็นการทำงานของร่างกายผ่านระบบอัตโนมัติโดยการควบคุมจาก

[62] Michael Levy, John Rafferty, William L. Hosch (eds.), **Britannica Illustrated Science Library: Human Body I**, p. 16.

สารพันธุกรรม (gene) และดีเอ็นเอ (DNA) ซึ่งคิดเป็นประมาณ 10 เปอร์เซนต์ (%) ของการทำงานทั้งหมด (อีก 90 เปอร์เซนต์ มาจากการควบคุมของจิตใจเราเอง)

อย่างไรก็ตาม งานวิจัยฉบับนี้มุ่งที่จะนำเสนอระบบหลักของร่างกายมนุษย์[63] ดังกล่าวโดยได้จัดหมวดไว้ดังนี้คือ (1) ระบบประสาท (Nervous System) (2) ระบบทางเดินหายใจ (Respiratory System) (3) ระบบทางเดินอาหาร (Gastrointestinal Tract or Digestive System) (4) ระบบอวัยวะอื่นๆ ภายในร่างกาย 8 ระบบที่เหลือ (5) ช่องว่างภายในร่างกาย (Body Cavities) (6) ระบบทางจิตภาพโดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.3.6 ระบบประสาท (Nervous System)

ระบบภายในร่างกายมนุษย์ตามแนวการแพทย์ ที่จะกล่าวถึงเป็นอันดับแรกได้แก่ ระบบประสาท (Nervous System) ซึ่งมีประเด็นในการนำเสนอ 2 ประเด็น ได้แก่ (1) ลักษณะของระบบ (2) การทำงานของระบบ ตามลำดับต่อไปนี้

ก. ลักษณะของระบบ

ระบบประสาท (Nervous System) แบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ (1) ระบบประสาทส่วนกลาง (Central Nervous System-CNS) เป็นศูนย์กลางการควบคุมของร่างกาย ประกอบด้วยสมองและไขสันหลัง ทำหน้าที่ประสานกิจกรรมของระบบประสาททั้งหมดทั้งทางกลและเคมี โดยทำงานร่วมกับฮอร์โมน เส้นประสาทในร่างกายนำ “ข้อมูล” กระแสประสาทไปและกลับจากบริเวณศูนย์กลาง[64] (2) ระบบประสาทส่วนปลาย (Peripheral Nervous System-PNS) ประกอบด้วยเส้นประสาทที่อยู่นอกสมองและไขสันหลัง ได้แก่ ปมประสาท (ganglia) และ เส้นประสาทส่วนปลาย (peripheral nerve)

ระบบประสาทส่วนกลาง (CNS) มีความสำคัญอย่างยิ่งยวดต่อการทำงานของร่างกาย หากระบบเกิดความเสียหายเพียงบางส่วนจะส่งผลอย่างรุนแรงโดยเปลี่ยนแปลงคุณภาพชีวิตของบุคคลนั้นอย่างสิ้นเชิง[65] เช่นเมื่อเกิดโรคเนื้องอกในระบบประสาทส่วนกลาง (CNS tumors) อาจเป็นสาเหตุหลักของอัตราการป่วย (morbidity) จนถึงขั้นเสียชีวิต (mortality)[66] อย่างไรก็ตาม ร่างกาย

---

[63] การจัดหมวดของการนำเสนอเรื่อง “ระบบภายในร่างกายมนุษย์ตามแนวการแพทย์” เป็นการกำหนดขอบเขตของงานวิจัยในเรื่องระบบหลักของร่างกายมนุษย์ โดยคำนึงถึงแนวทางในการอธิบายความสัมพันธ์ที่เชื่อมโยงกันของระบบภายในร่างกายมนุษย์ ผ่านศาสตร์ทั้ง 2 คือ พระพุทธศาสนาและการแพทย์ เป็นหลัก ดังนั้นระบบหลักของร่างกายมนุษย์ในที่นี้จะแบ่งเป็น 3 ระบบ ได้แก่ (1) ระบบประสาท (2) ระบบย่อยอาหาร (3) ระบบทางเดินหายใจ ส่วนระบบอวัยวะอื่นๆ ที่เหลือจะอภิปรายเป็นลำดับที่ (4) นอกจากนั้นยังนำแนวคิดเรื่องช่องว่างภายในร่างกายซึ่งมีความสอดคล้องกับระบบทั้งหมด ดังที่ได้จัดไว้ในลำดับที่ (5) อีกด้วย

[64] Corinne Stockley, **The Usborne Illustrated Dictionary of Biology**, ed. by Kirsteen Rogers, 3rd ed., แปลโดย รศ.ดร.อุษณีย์ ยศยิ่งยวด, (กรุงเทพ ฯ: นานมีบุ๊คส์พับลิเคชั่นส์, 2554), หน้า 74.

[65] “The CNS is vital to bodily function, and loss of any part of it can severely and permanently alter a person’s quality of life” - Ashley E. Wilkinson, Aleesha M. McCormick, Nic D. Leipzig, **Central Nervous System Tissue Engineering: Current Considerations and Strategies**, eds. by Kyriacos A. Athanasiou, J. Kent Leach, (Ohio: Morgan & Claypool Publishers, 2012), p. VI.

[66] M. A. Hayat (ed.), **Tumors of the Central Nervous System: Gliomas Glioblastoma (Part 1)**, Volume 1, (New York: Springer, 2011), p. 229.

มนุษย์มิได้มีเพียงระบบประสาทส่วนกลางเท่านั้น หากแต่ยังมีระบบประสาทส่วนปลาย (Peripheral Nervous System-PNS) ที่ทำงานร่วมอยู่ด้วย ระบบประสาทส่วนปลายจำแนกออกเป็น 2 ระบบคือ (1) ระบบประสาท โซมาติก (Somatic Nervous System) ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของกล้ามเนื้อลาย (skeletal muscle หรือ striated muscle) มีอิทธิพลต่อ จิตสำนึก (conscious) ประสาทรับความรู้สึก (sensations) และการเคลื่อนไหวที่อยู่ในอำนาจจิตใจ (voluntary movements)[67] (2) ระบบประสาทอัตโนมัติ (Autonomic Nervous System-ANS) ช่วยควบคุมจิตไร้สำนึก (unconscious mind) และกิจกรรมภายในร่างกายที่อยู่นอกอำนาจจิตใจ (involuntary internal activities) ระบบประสาทอัตโนมัตินี้แบ่งออกเป็น 2 ระบบย่อยคือ (1) ระบบประสาทซิมพาเธติก (Sympathetic Nervous System) (2) ระบบประสาทพาราซิมพาเธติก (Parasympathetic Nervous System) ซึ่งทำหน้าที่ตรงกันข้ามกัน กล่าวคือระบบประสาทซิมพาเธติกทำหน้าที่ปรับร่างกายให้เผชิญกับภาวะตึงเครียดและสถานการณ์ฉุกเฉิน ในขณะที่ระบบประสาทพาราซิมพาเธติกจะปรับเปลี่ยนการทำงานของร่างกายโดยรักษาพลังงานเอาไว้ในช่วงการพักผ่อน[68]

หากพิจารณาลักษณะเชิงจุลภาคแล้ว การศึกษาในระดับเซลล์ทำให้ทราบว่าระบบประสาททั้งสองประเภทต่างก็ประกอบไปด้วยเซลล์ชนิดพิเศษ 2 ชนิด ได้แก่ (1) นิวรอน (neurons) หรือ เซลล์ประสาท (nerve cells) ซึ่งเป็นเซลล์ที่สามารถถูกกระตุ้นได้ (excitable cells) ที่สร้างและถ่ายทอดข่าวสารต่างๆ (2) นิวโรเกลีย (neuroglia) หรือ เกลียเซลล์ (glial cell) ซึ่งมีจำนวนมากกว่านิวรอนประมาณ 10 ต่อ 1 คอยสนับสนุนและป้องกันนิวรอน[69] โดยมีจำนวนเฉลี่ยของ นิวรอน (Neurons) ในสมองถึง 1 แสนล้าน (100 billion) หน่วย[70] ทำหน้าที่เป็นหน่วยพื้นฐานของระบบประสาทที่ประมวลผลและส่งข้อมูลโดยการส่งสัญญาณเคมีและไฟฟ้า (chemical and electrical signaling) นิวรอนมีขอบเขตเฉพาะเพื่อการดำเนินการส่งสัญญาณ ทั้งการส่งข้อมูลออกจากสมอง (efferent) และกลับเข้าสู่สมอง (afferent) หรือแม้แต่การส่งข้อมูลระหว่างกลุ่มนิวรอนที่ประสานการทำงานกัน (interneurons) มีใยประสาทนำเข้า (dendrites) และตัวเซลล์ (soma) คอยรวบรวมและตีความนัยจากเซลล์อื่นๆ รวมถึงสภาพแวดล้อมรอบข้าง[71]

---

[67] “คำว่า “จิตใจ” (voluntary) ในระบบประสาท แปลว่า “บังคับได้” เช่นในการหายใจจะมีทั้งที่บังคับไม่ได้ (involuntary) และที่บังคับได้ (involuntary)” - สัมภาษณ์ แพทย์หญิง คุณหญิงพรทิพย์ โรจนสุนันท์ , ผู้ตรวจราชการกระทรวงยุติธรรม สำนักงานปลัดกระทรวงยุติธรรม, อดีตผู้อำนวยการสถาบันนิติวิทยาศาสตร์, 14 ตุลาคม 2556.

[68] Judith Goodenough, Betty McGuire, **Biology of Humans Concepts Applications and Issues**, p. 142.

[69] Ibid., p. 116.

[70] “The average number of neurons in the brain is 100 billion.” - Julie Mcdowell (ed.), **Encyclopedia of Human Body Systems**, Volume 1, (Santa Barbara: Greenwood, 2010), p. 379.

[71] Ashley E. Wilkinson, Aleesha M. McCormick, Nic D. Leipzig, **Central Nervous System Tissue Engineering: Current Considerations and Strategies**, p. 5.

นอกจากนั้น ในการศึกษาโครงร่างของเซลล์ (cytoskeleton) พบว่า เซลล์ประสาท (neurons) เป็นส่วนที่เล็กที่สุดของระบบประสาท เซลส์ประสาทหนึ่งเซลล์ มีส่วนประกอบที่สำคัญ ดังนี้

1. ตัวเซลส์ (cell body) เป็นจุดศูนย์กลางของเซลล์ประสาท ประกอบด้วย นิวเคลียส (nucleus) อยู่ตรงกลางเซลล์ ล้อมรอบด้วยของเหลวที่เรียกว่า ไซโตพลาส (cytoplast) มีผนังเซลล์ (cellmembrane) ทำหน้าที่เป็นผนังห่อหุ้มเซลล์

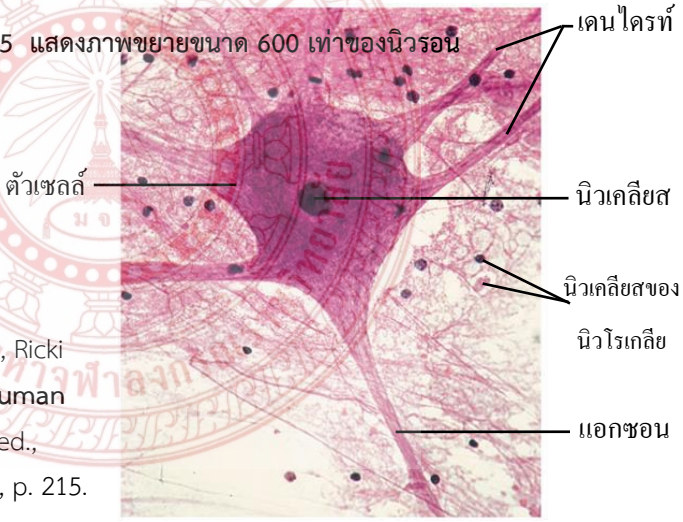
2. เดนไดรท์ (dendrite) เป็นเส้นใยที่ยื่นออกจากตัวเซลล์มีหน้าที่รับความรู้สึกมีกิ่งก้านสาขาเป็นแขนงสั้นๆ มีลักษณะคล้ายรากแขนงของต้นไม้

3. แอกซอน (axon) เป็นเส้นใยเดี่ยวๆ ที่ยื่นออกจากตัวเซลล์ ทำหน้าที่ส่งความรู้สึกของเซลล์นั้นไปยังเซลล์ประสาทตัวอื่น ๆ

4. ไซแนปส์ (synapse) เป็นจุดต่อระหว่างใยแอกซอนของเซลล์ประสาทตัวหนึ่งกับเดนไดรท์ของเซลล์ประสาทอีกตัวหนึ่ง

สังเกตแผนภูมิรูปภาพต่อไปนี้ ที่แสดงภาพขยายขนาด 600 เท่าของนิวรอน รวมถึงส่วนประกอบที่สำคัญต่างๆ เช่นเดียวกัน

ภาพที่ 2.15 แสดงภาพขยายขนาด 600 เท่าของนิวรอน



ที่มา: David Shier, Jackie Butler, Ricki Lewis, **Hole's Essentials of Human Anatomy & Physiology**, 11th ed., (New York: McGraw-Hill, 2012), p. 215.

จากแผนภูมิรูปภาพข้างต้น นิวรอน (neurons) เป็นหน่วยของระบบประสาทเชิงโครงสร้างและการทำงาน จุดดำที่อยู่รอบๆ นิวรอนคือ นิวโรเกลีย (neuroglia) หรือเกลียเซลล์ (gliacell) มีเดนไดรท์ (dendrite) และแอกซอน (axon) เส้นใยเดี่ยวของนิวรอน[72] ในเซลล์ประสาทที่มีขนาดใหญ่ แอกซอนกินเนื้อที่ถึง 99 เปอร์เซนต์ (%) ของปริมาตรเซลล์[73] ซึ่งมี คอลลาเจน

[72] "Neurons are the structural and functional units of the nervous system (600×). The dark spots in the area surrounding the neuron are neuroglia. Note the dendrites and the single axon of the neuron" - David Shier, Jackie Butler, Ricki Lewis, **Hole's Essentials of Human Anatomy & Physiology**, p. 215.

(collagens) และ ลามินิน (laminins) เป็นโปรตีนเอ็กตราเซลลูล่าแมทริก (Extracellular Matrix Proteins-ECM) ชนิดปฐมภูมิของระบบประสาทส่วนกลาง (CNS)[74]

ระบบประสาทจะเกี่ยวข้องโดยตรงกับอวัยวะ 3 ชนิด ได้แก่ สมอง ไขสันหลัง และเส้นประสาท **(1) สมอง** (brain) เป็นอวัยวะที่มีความสลับซับซ้อนที่สุดในร่างกาย[75] มีรูปร่างเป็นก้อนรูปไข่ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 8 ส่วนใหญ่ ๆ[76] สมองมีน้ำหนักเพียงแค่ 2 เปอร์เซ็นต์จากน้ำหนักของร่างกาย[77] เฉลี่ยประมาณ 2.8 ถึง 3.1 ปอนด์ (1,300 ถึง 1,400 กรัม)[78] ซึ่งสมองแต่ละส่วนจะมีหน้าที่แตกต่างกันไป[79] **(2) ไขสันหลัง** (spinal cord) มีความยาวเฉลี่ยประมาณ 17-18 นิ้ว (43-45 เซนติเมตร) และกว้างประมาณ 5 นิ้ว (1.3 เซนติเมตร) [80] เชื่อมต่อจากก้านสมอง (brain stem) ในลักษณะที่เป็นแนวยาวลงไปทางด้านล่าง (inferior) ซึ่งถูกป้องกันไว้โดยแนวกระดูกสันหลัง ทำหน้าที่

---

[73] “The movement of materials along the axon from the cell body of the neuron to its axon terminal is referred to as axonal (axoplasmic) transport. In a large neuron, the axon can occupy more than 99% of the cell’s volume” - Ralph A. Nixon, Aidong Yuan, (eds.), **Cytoskeleton of the Nervous System: Advances in Neurobiology,** Volume 3, (New York: Springer, 2011), p. 504.

[74] A. Dityatev, C. I. Seidenbecher, M. Schachner, “Compartmentalization from the outside: the extracellular matrix and functional microdomains in the brain”, **Trends in Neurosciences**, Vol. 33 No. 11 (2010): 503-512.

[75] George Capaccio, **Nervous System The Amazing Human Body**, ed. by Karen Ang, (New York: Marshall Cavendish Benchmark, 2010), p. 6.

[76] สมอง 8 ส่วนได้แก่ (1) ซีรีบรัม (Cerebrum) (2) สมองเล็ก (cerebellum) (3) ทาลามัส (thalamus) (4) ไฮโปทาลามัส (hypothalamus) (5) ระบบลิมบิก (limbic system) (6) สมองส่วนกลาง (midbrain) (7) พอนส์ (pons) (8) ก้านสมอง (medulla oblongata)

[77] “Your brain represents only approximately 2% of your body weight” - William J. Kraemer, Steven J. Fleck, Michael R. Deschenes, **Exercise Physiology Integrating Theory and Application**, (Baltimore: Lippincott Williams & Wilkin, 2012), p. 114.

[78] “The average weight of an adult human brain is between 2.8 and 3.1 pounds (1,300 and 1,400 grams).” - Julie Mcdowell (ed.), **Encyclopedia of Human Body Systems**, Volume 1, p. 379.

[79] “สมองส่วนหน้า (cerebrum) เป็นส่วนควบคุมและสั่งการผ่านสมองหรือไขสันหลังเพื่อให้เกิดการตอบสนองของกล้ามเนื้อลาย ทำให้เกิดการแสดงพฤติกรรมต่างๆ สมองน้อย หรือ ซีรีเบลลัม (cerebellum) ทำหน้าที่หลายประการ เช่นการประสานการเคลื่อนไหวของร่างกาย การรักษาท่าทาง รวมถึงการเรียนรู้ของทักษะการเคลื่อนไหวของกล้ามเนื้อ มีหลักฐานว่า ซีรีเบลลัม อาจเกี่ยวข้องกับกระบวนการขั้นสูงขึ้นอีกด้วย เช่นการคิด การใช้เหตุผล ความทรงจำ คำพูด และอารมณ์” - F. Fay Evans-Martin, **The Human Body How It Works: The Nervous System**, (New York: Chelsea House An imprint of Infobase Publishing, 2010), pp. 43-44.

[80] ดูรายละเอียดใน George Capaccio, **Nervous System The Amazing Human Body**, p. 8.

เกี่ยวกับการรับความรู้สึก (sensory) และเกี่ยวกับการเคลื่อนไหว (motor)[81] เป็นต้น (3) **เส้นประสาท** (nerve fiber) ซึ่งเป็นกลุ่มของเส้นใยบางๆ จำนวนมากซึ่งเกิดจากเซลล์ประสาท (neurons) หลายตัว รวมกันเข้าเป็นมัด เส้นประสาทอาจเป็นมัดของแอกซอน หรือมัดของเดนไดรท์ หรือทั้งสองชนิดรวมกันก็ได้

อวัยวะ 3 ชนิดในระบบประสาทนี้ล้วนสัมพันธ์กัน กล่าวคือทั้งสมองและไขสันหลัง ต่างจำเป็นต้องอาศัยเส้นประสาทที่เชื่อมต่อในการส่งสัญญาณไปยังส่วนต่างๆ ของร่างกาย และด้วยเหตุนี้เอง ทำให้เส้นประสาทในร่างกายจำแนกออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ตามความสัมพันธ์นั้นคือ (1) เส้นประสาทสมอง (2) เส้นประสาทไขสันหลัง ดังนี้

1. เส้นประสาทสมอง (cranial nerve) เป็นเส้นประสาทที่มีจุดกำเนิดจากบริเวณฐานของสมอง ทำหน้าที่หลากหลายประการเช่นการรับความรู้สึก (sensory) และการเคลื่อนไหว (motor) ซึ่งมีทั้งสิ้น 12 คู่ ดังนี้

ตาราง 2.1 แสดงหน้าที่หลักของเส้นประสาทสมอง[82]

คู่ที่	*เส้นประสาทสมอง Cranial nerve*	*หน้าที่หลัก Main functions*
1.	เส้นประสาท ออลแฟกทอรี (olfactory nerve)	การรับความรู้สึกเกี่ยวกับกลิ่น
2.	เส้นประสาทออพติก (optic nerve)	การรับความรู้สึกเกี่ยวกับการมองเห็น
3.	เส้นประสาทออคิวโลมอเตอร์ (oculomotor nerve)	การเคลื่อนไหวของลูกนัยน์ตา รูม่านตา และการทำหน้าที่ของเลนส์
4.	เส้นประสาททอเคลีย (trochlea nerve)	การเคลื่อนไหวของลูกนัยน์ตา
5.	เส้นประสาทไตรเจอมินัล (trigerminal nerve)	การรับความรู้สึกทางใบหน้าและการเคี้ยวอาหาร
6.	เส้นประสาทแอบดิวเซนส์ (abducens nerve)	การเคลื่อนไหวของลูกนัยน์ตา
7.	เส้นประสารทเฟเชียล (facial nerve)	การรับความรู้สึกเกี่ยวกับการลิ้มรสและการแสดงออกทางสีหน้า
8.	เส้นประสาทเวสทิบูโลโคเคลีย (vestibulocochlear nerve)	การรับความรู้สึกเกี่ยวกับการได้ยินและการรักษาสมดุลของร่างกาย
9.	เส้นประสาทกลอสโซฟารินเจียล (glossopharyngeal nerve)	การรับความรู้สึกเกี่ยวกับการลิ้มรสและการกลืนอาหาร
10.	เส้นประสาทเวกัส (vegus nerve)	คำพูด การกลืน การรับความรู้สึกจากอวัยวะภายใน (visceral sensory)
11.	เส้นประสาทแอกเซสซอรี (accessory nerve)	การเคลื่อนไหวของศีรษะและหัวไหล่
12.	เส้นประสารทไฮโพกลอสซัล (hypoglossal nerve)	การเคลื่อนไหวของลิ้น

[81] A. Dityatev, C. I. Seidenbecher, and M. Schachner, “Compartmentalization from the outside: the extracellular matrix and functional microdomains in the brain”, **Trends in Neurosciences**, Vol. 33 No. 11 (2010): 503-512.

[82] F. Fay Evans-Martin, **The Human Body How It Works: The Nervous System**, (New York: Chelsea House An imprint of Infobase Publishing, 2010), p. 43.

2. เส้นประสาทไขสันหลัง (spinal nerve) เป็นเส้นประสาทที่แยกออกมาจากบริเวณไขสันหลัง จากกึ่งกลางลำตัวแยกกระจายออกไปทางซีกซ้ายขวาของร่างกาย ทำหน้าที่รับส่งความรู้สึกและคำสั่งตั้งแต่บริเวณลำคอลงไปตลอดทั้งร่างกายจนถึงปลายเท้า มีหน้าที่รับความรู้สึกและควบคุมการเคลื่อนไหว มีทั้งสิ้น 31 คู่[83] โดยจะแยกเป็น 2 ชุด คือชุดที่ 1 เป็นเส้นประสาทส่วนของการรับความรู้สึก เข้าสู่ไขสันหลังทางด้านหลัง ส่วนชุดที่ 2 ทำหน้าที่ควบคุมการเคลื่อนไหว เข้าสู่ไขสันหลังบริเวณช่วงท้อง

จากลักษณะของระบบประสาทที่กล่าวมาแล้วทั้งหมด ทั้งในระดับมหภาคและจุลภาค รวมไปถึงอวัยวะที่เกี่ยวเนื่องทั้ง 3 ชนิดนั้น เป็นเพียงภาพรวมของระบบประสาทเท่านั้น ถึงกระนั้นก็ตามก็เป็นจุดเริ่มต้นที่ดีในการศึกษาการทำงานที่ซับซ้อนของระบบประสาทในลำดับต่อไป

ข. การทำงานของระบบ

ระบบประสาท มีการทำงานโดยสัมพันธ์กับเส้นประสาทจำนวนมากมายดังที่กล่าวมาแล้ว เส้นประสาทสมอง (cranial nerves) จำนวน 12 คู่จากระบบประสาทอัตโนมัติ (autonomic nerve system-ANS) ยังจำแนกออกเป็น 3 ประเภทตามหน้าที่ได้แก่ (1) เส้นประสาทเกี่ยวกับการรับความรู้สึก (sensory) (2) เส้นประสาทเกี่ยวกับการเคลื่อนไหว (motor) (3) เส้นประสาทแบบผสมผสาน (mixed nerves) ที่รวมทั้ง 2 ประเภทข้างต้นเข้าไว้ด้วยกัน[84]

หากพิจารณาโดยตั้งอยู่บนการทำงานของเส้นประสาทสมองที่เกี่ยวกับการรับความรู้สึกหรือการเคลื่อนไหวแล้ว เส้นประสาทแต่ละคู่เหล่านั้น สามารถจำแนกประเภทของกระแสประสาทได้ 4 ประเภทได้แก่ (1) กระแสประสาทเกี่ยวกับการรับความรู้สึกพิเศษ (special sensory impulses) เป็นการรับความรู้สึก (senses) ที่เกี่ยวข้องกับการดมกลิ่น (smelling) การลิ้มรส (tasting) การมองเห็น (seeing) และการได้ยินเสียง (hearing) (2) กระแสประสาทเกี่ยวกับการรับความรู้สึกโดยทั่วไป (general sensory impulses) เป็นการรับความรู้สึกที่เกี่ยวข้องกับความเจ็บปวด (pain) กายสัมผัส (touch) อุณหภูมิ (temperature) ความรู้สึกของกล้ามเนื้อส่วนลึก (deep muscle sense) ความกดดัน (pressure) และการสั่นสะเทือน (vibrations) (3) กระแสประสาทเกี่ยวกับการเคลื่อนไหวที่อยู่ในอำนาจจิตใจ (somatic motor impulses) เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหวของกล้ามเนื้อโครงสร้าง (skeletal muscles) ที่อยู่ในอำนาจจิตใจ (voluntary) (4) กระแสประสาทเกี่ยวกับการเคลื่อนไหวอวัยวะภายใน (visceral motor impulses) เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาตอบกลับ (reactions) ที่อยู่นอกอำนาจจิตใจของต่อมต่างๆ รวมถึงกล้ามเนื้อที่อยู่นอกอำนาจจิตใจเช่น กล้ามเนื้อหัวใจ (cardiac muscle)[85] จึงอาจกล่าวโดยสรุปให้เข้าใจได้ง่ายว่า กระแสประสาทสมองมีการทำงาน 4 หน้าที่คือ (1) การรับรู้ รูป เสียง กลิ่น รส (2) การรับรู้กายสัมผัส (3) การเคลื่อนไหวโดยตั้งใจ (4) การเคลื่อนไหวโดยไม่ได้ตั้งใจ (ควบคุมด้วยใจไม่ได้)

---

[83] George Capaccio, **Nervous System The Amazing Human Body**, p. 8.

[84] Julie Mcdowell (ed.), **Encyclopedia of Human Body Systems**, Volume 1, pp. 424-425.

[85] Op. cit.

ดังนั้น ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยจึงมุ่งนำเสนอการทำงานของระบบประสาทดังกล่าวแล้ว โดยจำแนกออกเป็น 3 หน้าที่คือ (1) ทำหน้าที่รับความรู้สึก (2) ทำหน้าที่เกี่ยวกับการเคลื่อนไหว (movement) (3) ทำหน้าที่ควบคุมอวัยวะต่างๆ ภายในร่างกาย รายละเอียดมีดังต่อไปนี้

1. ทำหน้าที่รับความรู้สึก

หน้าที่สำคัญของระบบประสาทคือการรับความรู้สึกของมนุษย์ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อการอยู่รอดของสิ่งมีชีวิตดังคำกล่าวที่ว่า “การอยู่รอดของสิ่งมีชีวิตใดๆ ขึ้นอยู่กับการมีข้อมูลที่เพียงพอเกี่ยวกับสภาพแวดล้อมภายนอกรวมถึงข้อมูลเกี่ยวกับสถานะของกระบวนการและการทำงานภายในร่างกาย ซึ่งจะถูกรวบรวมเอาไว้โดยแขนงรับความรู้สึก (sensory branch) ของระบบประสาท”[86] หน้าที่การรับรู้ (perception) ดังกล่าว ขึ้นอยู่กับอวัยวะรับความรู้สึกพิเศษ (special senses) ได้แก่ การมองเห็นภาพ (visual) การได้ยินเสียง (auditory) การลิ้มรส (gustatory) และการดมกลิ่น (olfactory) ซึ่งเกิดจากการรวมตัวกันเป็นกลุ่มอวัยวะรับความรู้สึก เมื่อได้รับสัมผัสแล้วจะถูกจัดระบบ (organized) ก่อนที่จะถูกส่งไปยังสมอง กระแสประสาทจะถูกจัดระบบอีกครั้ง (reorganization) ที่บริเวณจุดประสานประสาท (synapses) ทุกหน่วยตลอดเส้นทางรับส่งความรู้สึก (sensory pathway) ดังนั้น เมื่อข้อมูลไปถึงที่สมองส่วนไฮโปทาลามัสแล้ว ข้อมูลดังกล่าวจึงมิใช่ข้อมูลต้นฉบับชุดเดียวกับที่ตัวรับ (receptors) ถูกเร้า (stimulated)[87] นอกจากนี้ยังมีการรับรู้ที่ขึ้นอยู่กับอวัยวะรับความรู้สึกโดยทั่วไป (general sensory) ซึ่งได้แก่ กายสัมผัส นั่นเอง ดังนั้น การนำเสนอการทำหน้าที่ของระบบประสาทในแง่ของอวัยวะรับความรู้สึกนี้ จึงได้รวมเอาหน้าที่ทั้ง 2 คือทั้งการรับความรู้สึกพิเศษ (ทางตา หู จมูก ลิ้น) และการรับความรู้สึกโดยทั่วไป (ทางกาย) เข้าไว้ด้วยกันทั้งสิ้น 5 ประการ ตามลำดับคือ (1) การมองเห็นภาพ (visual) (2) การได้ยินเสียง (auditory) (3) การดมกลิ่น (olfactory) (4) การลิ้มรส (gustatory) (5) กายสัมผัส (touch) ดังต่อไปนี้

1) การมองเห็นภาพ (visual)

การมองเห็นภาพเป็นการรับความรู้สึกพิเศษ (special sensory) โดยอาศัยอวัยวะหลักคือ “ดวงตา” ดวงตาจะทำหน้าที่ตามปกติของมันได้ ต้องอาศัยการทำงานโดยเฉพาะของระบบอัตโนมัติที่คอยรักษาปรับเปลี่ยนกล้ามเนื้อเรียบ (smooth muscle) ทั้ง 4 ชนิด คือ (1) กล้ามเนื้อเรียบบริเวณม่านตา (iris) ซึ่งคอยจำกัดปริมาณของแสงสว่างที่ผ่านรูม่านตา (pupil) เข้ามายังบริเวณจอประสาทตา (retina) (2) กล้ามเนื้อยึดเลนส์ตา (ciliary muscle) อยู่บริเวณมุมด้านในของลูกตา ซึ่งเป็นกล้ามเนื้อเรียบที่ช่วยควบคุมความโค้งนูนของเลนส์ตาเพื่อการปรับโฟกัส (focus) ไปยังวัตถุในระยะใกล้ (3) กล้ามเนื้อเรียบของหลอดเลือดแดงอาร์เทอรี่ (arteries) ที่นำออกซิเจน (oxygen) ไปสู่ดวงตา (4) กล้ามเนื้อเรียบของหลอดเลือดดำ (veins) ที่ระบายโลหิตออกจากตาและมีผลต่อความดัน

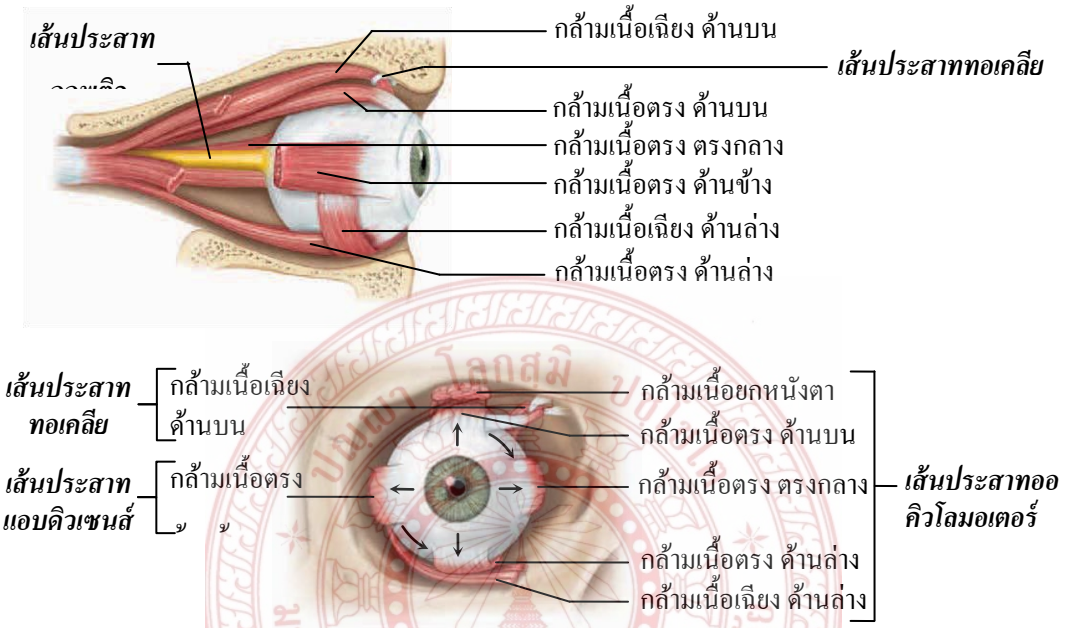
---

[86] “The survival of any organism depends on having adequate information about the external environment as well as information about the state of internal bodily processes and functions. Information about our external and internal environments is gathered by the sensory branch of the nervous system” - Rodney A. Rhoades, David R. Bell (eds.), **Medical Physiology Principles for Clinical Medicine**, 4th ed., (Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2013), p. 61.

[87] Kara Rogers (ed.), **The Human Body The Brain and the Nervous System**, (New York: Britannica Educational Publishing, 2011), p. 144.

ลูกตา (intraocular pressure-IOP) นอกจากนั้น กระจกตา (cornea) ก็จำเป็นที่จะต้องได้รับการหล่อเลี้ยงโดยการหลั่งน้ำหล่อเลี้ยงจากต่อมน้ำตา (lacrimal gland)[88] อยู่เสมอ

ภาพที่ 2.16 แสดงแสดงส่วนประกอบในการมองเห็นภาพของมนุษย์



ที่มา: Douglas J. Eder, Shari Lewis Kaminsky, John W. Bertram, **Laboratory Atlas of Anatomy and Physiology**, p. 74.

จากแผนภูมิรูปภาพดังกล่าวนี้ ภาพบนเป็นมุมมองด้านข้าง (lateral view) ของลูกตาข้างขวา กล้ามเนื้อตรง ด้านข้าง (lateral rectus muscle) ในภาพที่แสดงจะถูกตัดออกเพื่อแสดงให้เห็นส่วนของเส้นประสาทออพติก (optic nerve) กล้ามเนื้อนอกลูกตาจะถูกเส้นประสาทควบคุมการทำงานอยู่แต่ละส่วน ลูกศรจะแสดงให้เห็นทิศทางการเคลื่อนที่ของลูกตาที่มาจากการทำงานของกล้ามเนื้อแต่ละมัด[89] เส้นประสาทสมองที่เกี่ยวข้องมีทั้งหมด 4 คู่ประกอบด้วยเส้นประสาทที่ทำหน้าที่เคลื่อนไหวลูกนัยน์ตา 3 คู่คือ เส้นประสาทออคิวโลมอเตอร์ (oculomotor nerve) (คู่ที่ 3) เส้นประสาททอเคลีย (trochlea nerve) (คู่ที่ 4) และ เส้นประสาทแอบดิวเซนส์ (abducens nerve) (คู่ที่ 6) ในขณะที่เส้นประสาทออพติก (optic nerve) (คู่ที่ 2) จะทำหน้าที่รับความรู้สึกเกี่ยวกับการมองเห็น

[88] Ibid., p. 93.

[89] Op. Cit.

2) การได้ยินเสียง (auditory)

การได้ยินเสียงเป็นการรับความรู้สึกพิเศษโดยอาศัยอวัยวะหลักคือ “หู” เมื่อสมองของมนุษย์ ร่วมกับอวัยวะคือ “หู” ได้วิวัฒน์เส้นทางที่จะทำให้มนุษย์ได้จัดการและตีความลำดับอันสลับซับซ้อนของคลื่นเสียงต่างๆ ที่ได้ยินอยู่ในชีวิตประจำวัน[90] สัญญาณเสียงจะถูกประมวลผลโดยระบบของการได้ยิน (auditory system) แบบช่วงลำดับก่อนหลัง (sequential manner) ในเบื้องต้น พลังงานเสียงจะถูกส่งไปยังหูชั้นในส่วน คอเคลีย (cochlea) ซึ่งเป็นสถานที่ที่เกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็นสัญญาณทางเคมีไฟฟ้าที่ถูกเข้ารหัสไว้ (coded electrochemical signal) สัญญาณนี้จะถูกถ่ายทอดไปตลอดเส้นทางการได้ยินผ่านทางเส้นประสาทคู่ที่ 8 ที่ก้านสมอง (brainstem) และสมองส่วนกลาง (midbrain) ไปยังสมองส่วนการได้ยินปฐมภูมิ (primary auditory cortex)[91]

การได้ยินเสียงจำเป็นต้องอาศัยอวัยวะสำหรับการรับเสียง ซึ่งมีทั้งหมด 13 ชนิด ประกอบด้วย

(1) ใบหู (auricle)
(2) รูหู (coustictus meatus)
(3) เยื่อแก้วหู (tympanic membrane หรือ eardrum)
(4) กระดูกค้อน (malleus)
(5) กระดูกทั่ง (incus)
(6) กระดูกโกลน (stapes)
(7) หลอดครึ่งวงกลมส่วนข้าง (lateral semicircular canal)
(8) หลอดครึ่งวงกลมส่วนหลัง (posterior semicircular canal)
(9) หลอดครึ่งวงกลมส่วนบน (superior semicircular canal)
(10) ช่องหูชั้นใน (vestibule)
(11) ส่วนหูชั้นในรูปหอยโข่ง หรือคอเคลีย (cochlear)
(12) เส้นประสาทรับเสียง (cochlear nerve)
(13) ท่อยูสเตเชียน (eustachian tube)

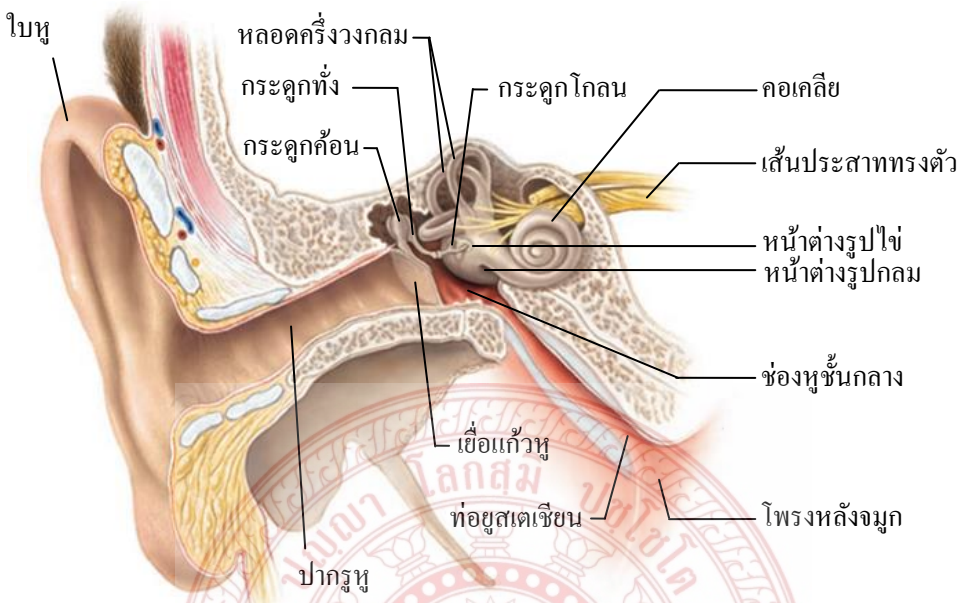
อวัยวะสำหรับการรับเสียงเหล่านี้เป็นส่วนประกอบในการได้ยินเสียงของมนุษย์ที่เมื่อแสดงเป็นแผนภูมิรูปภาพจะได้ดังนี้

---

[90] Carryl L. Baldwin, **Auditory Cognition and Human Performance: Research and Applications**, (Boca Raton: CRC Press, 2012), p. 2.

[91] “Sound signals are processed by the auditory system in a sequential manner. First, the acoustic energy of sound is conducted to the cochlea located within the inner ear, where conversion to a coded electrochemical signal takes place. This signal is then transmitted along the auditory pathway via the eighth cranial nerve, brainstem, and midbrain to the primary auditory cortex.” - Christoph N. Seubert, Mary Herman, **Monitoring the Nervous System for Anesthesiologists and other Health Care Professionals**, eds. by Antoun Koht, Tod B. Sloan, J. Richard Toleikis, (New York: Springer, 2012), p. 48.

แผนภูมิรูปภาพ 2.18 แสดงส่วนประกอบในการได้ยินเสียงของมนุษย์



ที่มา: David Shier, Jackie Butler, Ricki Lewis, **Hole's Essentials of Human Anatomy & Physiology**, 11th ed., (New York: McGraw-Hill, 2012), p. 271.

จากแผนภูมิรูปภาพ ส่วนประกอบหลักของหู แบ่งออกเป็น 3 ชั้น ได้แก่

(1) หูชั้นนอก (outer ear) ประกอบไปด้วย ใบหู (auricle) ปากรูหู (external acoustic meatus) และเยื่อแก้วหู (tympanic membrane หรือ eardrum)

(2) หูชั้นกลาง (middle ear) ประกอบด้วย กระดูกหู (auditory ossicles) ได้แก่ กระดูกค้อน (malleus) กระดูกทั่ง (incus) และกระดูกโกลน (stapes) และหน้าต่างรูปไข่ (oval window)

(3) หูชั้นใน (inner ear) ประกอบด้วย หลอดครึ่งวงกลม (semicircular canals) และคอเคลีย (cochlea)[92]

3) การดมกลิ่น (olfactory)

การดมกลิ่นเป็นการรับความรู้สึกพิเศษโดยอาศัยอวัยวะหลักคือ "จมูก" รวมไปถึงอวัยวะสำหรับการดมกลิ่น (olfactory organs) ต่างๆ ที่อยู่ภายในจมูกทั้ง 4 ชนิด ประกอบด้วย

(1) เยื่อเมือกรับกลิ่น (olfactory mucosa)

(2) เส้นประสาทรับกลิ่น (olfactory nerve)

(3) กระเปาะประสาทรับกลิ่น (olfactory bulb)

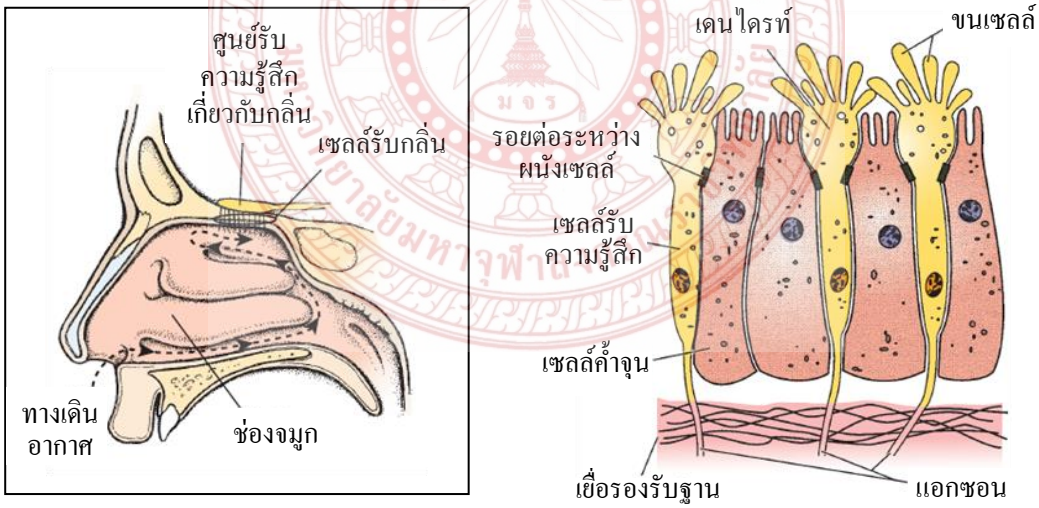
---

[92] David Shier, Jackie Butler, Ricki Lewis, **Hole's Essentials of Human Anatomy & Physiology**, p. 271.

(4) มัดไยประสาทรับกลิ่น (olfactory tract)

อวัยวะสำหรับการดมกลิ่น จะบรรจุตัวรับกลิ่น (olfactory receptors) ซึ่งเป็นมวลของเนื้อเยื่อบุผิว (epithelium) สีน้ำตาลเหลือง (yellowish-brown) ขนาดประมาณดวงตราไปรษณีย์ที่ปกคลุมส่วนบนของช่องจมูก (nasal cavity) ก้นหอยของจมูกชิ้นบน (superior nasal conchae) และส่วนของผนังกั้นช่องจมูก (nasal septum)[93] เซลล์รับความรู้สึกทั้งหลาย (sensory cells) ที่อยู่ในเยื่อเมือกรับกลิ่น (olfactory mucosa) ทั้ง fila olfactoria และ แอกซอน (axons) ที่ยื่นจากเซลล์รับความรู้สึก (receptor cells) เหล่านี้ล้วนเป็นส่วนของเซลล์รับความรู้สึก (sensory cells) ส่วนแอกซอนที่ยื่นจากเซลล์รับความรู้สึกของมัดไยประสาทรับกลิ่น (olfactory tract) ซึ่งกระตุ้นเส้นประสาทไปยัง (innervates) ระบบลิมบิค (limbic system) รวมถึงสมองส่วนนอก (orbitofrontal cortex) ด้วยเช่นเดียวกัน[94] ดังแผนภูมิรูปภาพ แสดงเซลล์รับความรู้สึกในการดมกลิ่น ต่อไปนี้

ภาพที่ 2.18 แสดงเซลล์รับความรู้สึกในการดมกลิ่น



ที่มา: Rodney A. Rhoades, David R. Bell (eds.), **Medical Physiology Principles for Clinical Medicine**, 4th ed., (Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2013), p. 89.

[93] Ibid., p. 267.

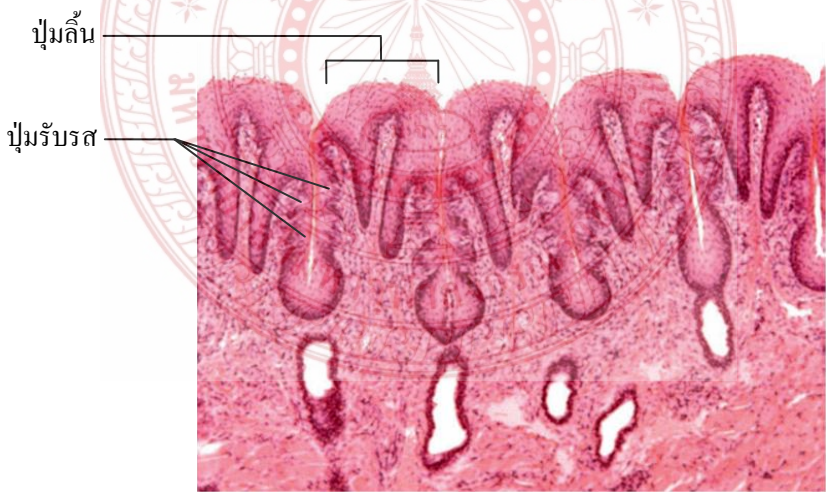
[94] "The fi la olfactoria, the axons leading from the receptor cells, are part of the sensory cells. The axons leading from the receptor cells form the olfactory tract, which innervates the limbic system and the orbitofrontal cortex." - Rodney A. Rhoades, David R. Bell (eds.), **Medical Physiology Principles for Clinical Medicine**, p. 89.

จากแผนภูมิรูปภาพดังกล่าว แสดงให้เห็นการทำงานของเซลล์รับความรู้สึก (sensory cells) ที่อยู่ในเยื่อเมือกรับกลิ่น (olfactory mucosa) ของมัดไยประสาทรับกลิ่น (olfactory tract) ที่มีผลต่อการรับรู้ของมนุษย์ผ่านทางอวัยวะรับความรู้สึกพิเศษ (special senses) ชนิดของการดมกลิ่น

4) การลิ้มรส (gustatory)

การลิ้มรสเป็นการรับความรู้สึกพิเศษโดยอาศัยอวัยวะคือ “ลิ้น” ซึ่งเป็นอวัยวะหลักของการรับความรู้สึกด้านการลิ้มรส ผ่านปุ่มรับรส (gustatory papillae) จำนวนระหว่าง 5,000 ถึง 12,000 ปุ่ม[95] ในระดับจุลภาค แผนภูมิรูปภาพต่อไปนี้แสดงให้เห็นถึงภาพขยายของปุ่มลิ้น (papillae) และปุ่มรับรส (taste bud)

ภาพที่ 2.19 แสดงภาพขยายของปุ่มลิ้น (papillae) และปุ่มรับรส (taste bud)



ที่มา: George Capaccio, **Nervous System The Amazing Human Body**, ed. By Karen Ang, (New York: Marshall Cavendish Benchmark, 2010), p. 36.

อวัยวะรับรสบนลิ้น มี 8 ชนิด ประกอบด้วย

(1) ช่องเปิดซีคัม (foramen cecum)

(2) ร่องแบ่งส่วนลิ้น (celcus terminalis)

---

[95] Michael Levy, John Rafferty, William L. Hosch (eds.), **Britannica Illustrated Science Library: Human Body I**, p. 35.

(3) ปลายลิ้น (apex)

(4) ร่องกลางลิ้น (median lingual sulcus)

(5) ปุ่มลิ้น (lingual papillae)

(6) ต่อมทอนซินส่วนลิ้น (lingual tonsil)

(7) ต่อมทอนซิลส่วนเพดานปาก (palatine tonsil)

(8) ลิ้นปิดกล่องเสียง (epiglottis)

จากแผนภูมิรูปภาพ แสดงให้เห็นว่าบนผิวหน้าลิ้นจะประกอบไปด้วยปุ่มเล็กๆ นับพันปุ่ม เรียกว่า ปุ่มรับรส (taste bud) ซึ่งทำหน้าที่รับรสอาหารแล้วส่งสัญญาณไปตามเส้นประสาทสู่สมอง สมองจะแจ้งให้ทราบว่ากำลังลิ้มรสอะไรอยู่ โดยทั่วไปแล้ว บนพื้นผิวของลิ้นจะรับรู้ได้ 4 รสชาติด้วยกัน คือ รสหวาน (sweet) รสเปรี้ยว (sour) รสเค็ม (salty) และรสขม (bitter)[96]

5) กายสัมผัส (touch)

กายสัมผัสเป็นการรับความรู้สึกโดยทั่วไป (general sensory) ซึ่งต่างจากการรับความรู้สึกพิเศษทั้ง 4 ประเภท (การมองเห็นภาพ การได้ยินเสียง การดมกลิ่น และการลิ้มรส) ดังที่ได้กล่าวมาแล้วก่อนหน้านี้ ถึงกระนั้น กายสัมผัสจำเป็นต้องอาศัยอวัยวะหลักในการรับความรู้สึกนั่นก็คือ “ผิวหนัง” รวมไปถึงอวัยวะรับความรู้สึกใต้ผิวหนังซึ่งมีอยู่ 12 ชนิด ประกอบด้วย

(1) ไยประสาทรับความรู้สึก (sensory nerve fibers)

(2) ปลายประสาทรับความรู้สึก (sensory nerve ending)

(3) เส้นประสาทรับความรู้สึก (sensory nerve)

(4) ขน (hair)

(5) รูเหงื่อ (sweat pore)

(6) ต่อมเหงื่อ (sweat gland)

(7) หลอดเลือดฝอย (capillary)

(8) หลอดเลือดแดง (artery)

(9) หลอดเลือดดำ (vein)

(10) ต่อมเหงื่อเอคไครน์ (eccrine sweat gland)

(11) ต่อมเหงื่ออะโพไครน์ (apocrine sweat gland)

(12) กล้ามเนื้อชันขน (arrector pili muscle)

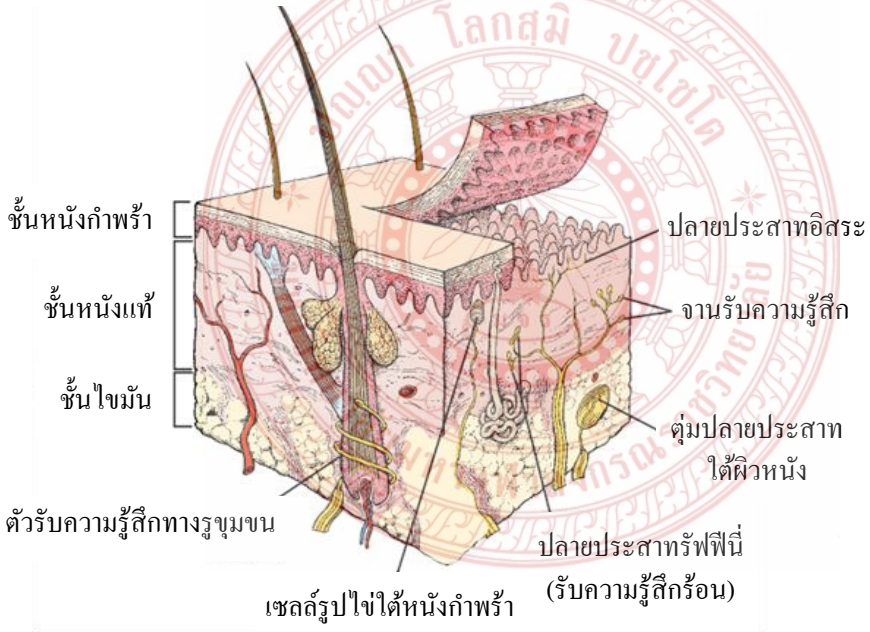
ระบบกายสัมผัสทั่วไป (Somatosensory System) เป็นระบบรับความรู้สึกที่หลากหลาย ได้แก่ ตัวรับความรู้สึกต่างๆ (receptors) และศูนย์ประมวลผลที่สร้างแบบรับความรู้สึก (sensory modalities) เช่นการสัมผัส (tactile sensation) การรับรู้ตำแหน่งของส่วนต่างๆ ของร่างกาย (proprioception) อุณหภูมิ (temperature) และการรับรู้ความเจ็บปวด (nociception) ตัวรับความรู้สึกเหล่านี้ครอบคลุมผิวหนังและเยื่อบุผิว (epithelia) กล้ามเนื้อโครงร่าง (skeletal muscles) กระดูก (bones) และข้อต่อ (joints) รวมถึงอวัยวะภายใน (internal organs) ด้วย ระบบ

---

[96] Julie Mcdowell (ed.), **Encyclopedia of Human Body Systems**, Volume 1, p. 437.

จะตอบสนองต่อสิ่งเร้าหลากหลายด้วยการใช้ตัวรับความรู้สึกต่างๆ 4 ตัวเหล่านี้คือ (1) ตัวรับความรู้สึกทางกลเกี่ยวกับการเคลื่อนไหวและความกดดัน (mechanoreceptors) (2) ตัวรับความรู้สึกทางเคมี (chemoreceptors) (3) ตัวรับความรู้สึกทางอุณหภูมิ (thermoreceptors) (4) ตัวรับความรู้สึกเจ็บปวด (pain receptors or nociceptors) จากนั้นจึงส่งสัญญาณจากตัวรับความรู้สึกเหล่านี้ผ่านทางเส้นประสาทรับความรู้สึก (sensory nerves) ผ่านระบบต่างๆ ในไขสันหลัง (spinal cord) ไปยังสมอง (brain)[97] ดังแผนภูมิรูปภาพที่แสดงตัวรับความรู้สึกต่างๆ จากการสัมผัสทางผิวหนัง ต่อไปนี้

ภาพที่ 2.20 แสดงตัวรับความรู้สึกต่างๆ จากการสัมผัสทางผิวหนัง



ที่มา: Rodney A. Rhoades, David R. Bell (eds.), **Medical Physiology Principles for Clinical Medicine**, 4th ed., (Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2013), p. 67.

จากแผนภูมิรูปภาพ ตัวรับความรู้สึกทางผิวหนังทั้ง 5 เหล่านี้คือ (1) จานรับความรู้สึก (merkel disk หรือ tactile disk) (2) เซลล์รูปไข่ใต้หนังกำพร้า (meissner corpuscle) (3) ตุ่มปลายประสาทใต้ผิวหนัง (pacinian corpuscle) (4) ปลายประสาทรัฟฟีนี่ (ruffini corpuscle) และ (5) ตัวรับความรู้สึกทางรูขุมขน (hair follicle receptor) จะทำหน้าที่รับความรู้สึกแห่งการสัมผัส

[97] Rodney A. Rhoades, David R. Bell (eds.), **Medical Physiology Principles for Clinical Medicine**, p. 67.

(sense of touch) ความกดดัน (pressure) การยืดขยาย (stretch) และการสั่นสะเทือน (vibration) เป็นต้น[98]

ถึงกระนั้นก็ตาม ทั้งหมดที่ได้อภิปรายมาแล้วนี้เป็นเพียงหน้าที่แรกของระบบประสาทเท่านั้น ในความเป็นจริงระบบประสาทยังมีหน้าที่ที่เกี่ยวกับการเคลื่อนไหวด้วยเช่นเดียวกันดังต่อไปนี้

2. ทำหน้าที่เกี่ยวกับการเคลื่อนไหว (movement)

ระบบประสาทมีหน้าที่สำคัญที่เกี่ยวกับการเคลื่อนไหวด้วยเช่นเดียวกัน กล่าวคือการเคลื่อนไหวต่างๆ ของร่างกายเกิดขึ้นได้โดยเริ่มจาก ประสาทโซมาติก (Somatic Nervous System) ทำหน้าที่รับสัญญาณจากอวัยวะรับความรู้สึกต่างๆ ส่งรายงานไปยัง ประสาทส่วนกลาง และรับการถ่ายทอดคำสั่งเกี่ยวกับการเคลื่อนไหว จากประสาทส่วนกลาง สั่งการไปยังกล้ามเนื้อลายให้ยืดหรือหดตัว ทำให้เกิดการเคลื่อนไหวในส่วนอวัยวะนั้นๆ ตามความต้องการ การเคลื่อนไหวของร่างกายเป็นสาระสำคัญของร่างกายมนุษย์ โดยอาศัยกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ ของร่างกายรวมถึงช่องว่างภายในร่างกาย (Body Cavity) ร่วมกัน ทำให้เกิดกิจกรรมต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการหายใจ (breathing) การกลืนอาหาร (swallowing) การหัวเราะ (laughing) การจาม (sneezing) การปัสสาวะ (urinating) ตลอดจนการขับถ่าย (defecating)[99]

ร่างกายจะควบคุมให้การเคลื่อนไหวต่างๆ เหล่านั้นสมดุลทั้งในเรื่อง กำลัง (force) ความเร็ว (speed) และตำแหน่ง (position) ข้อมูลเหล่านี้จะถูกรายงานไปยังสมองส่วนกลางอย่างต่อเนื่องโดยตัวรับ (receptors) เกี่ยวกับตำแหน่ง ท่าทาง (posture) ความสมดุล (equilibrium) รวมถึงสภาวะภายในร่างกาย กลุ่มอวัยวะรับความรู้สึกนี้เรียกว่า โพรพริโอเซพเตอร์ (proprioceptors)[100]

การเคลื่อนไหวของร่างกาย ถูกควบคุมจากระบบประสาทได้ 4 ระดับ[101] ดังนี้

1) ระดับอวัยวะ (viscera level)

การเคลื่อนไหวบางอย่างที่ถูกควบคุมจากอวัยวะไม่เกี่ยวข้องกับระบบประสาทส่วนกลาง แต่จะถูกควบคุมโดยนิวรอน (neurons) คือเซลล์ประสาทจากระบบประสาทอัตโนมัติภายในอวัยวะนั้นเอง

2) ระดับไขสันหลัง (spinal cord level)

การเคลื่อนไหวที่ถูกควบคุมในระดับต่อมา คือจากไขสันหลัง ได้แก่การเคลื่อนไหวลำตัว (trunk) และ รยางค์ (limbs) หากสัญญาณจากไขสันหลังมีความรุนแรงก็จะไม่มีกระแสประสาท (nerve impulses) ส่งมาจากสมอง ดังนั้น การเคลื่อนไหวบางอย่างของลำตัวและรยางค์ที่ไม่ถึงขั้นเกิดการบาดเจ็บ (injury) ยังคงเกิดขึ้นได้ในระดับนี้

3) ระดับก้านสมอง (brainstem level)

---

[98] Op. cit.

[99] Kara Rogers (ed.), **The Human Body The Brain and the Nervous System**, p. 112.

[100] Ibid., pp. 112, 114.

[101] Ibid., p. 114.

ในระดับที่สูงขึ้นมา การเคลื่อนไหวในกระบวนการหายใจจะถูกควบคุมโดยก้านสมองส่วนล่าง (lower brainstem) ในขณะที่ก้านสมองส่วนบน (upper brainstem) ควบคุมกลุ่มกล้ามเนื้อลูกตา (muscles of the eye) กระเพาะ (bladder) รวมถึงการเดินและวิ่งทั่วๆ ไป

4) ระดับสมองส่วนไฮโปทาลามัส (hypothalamus)

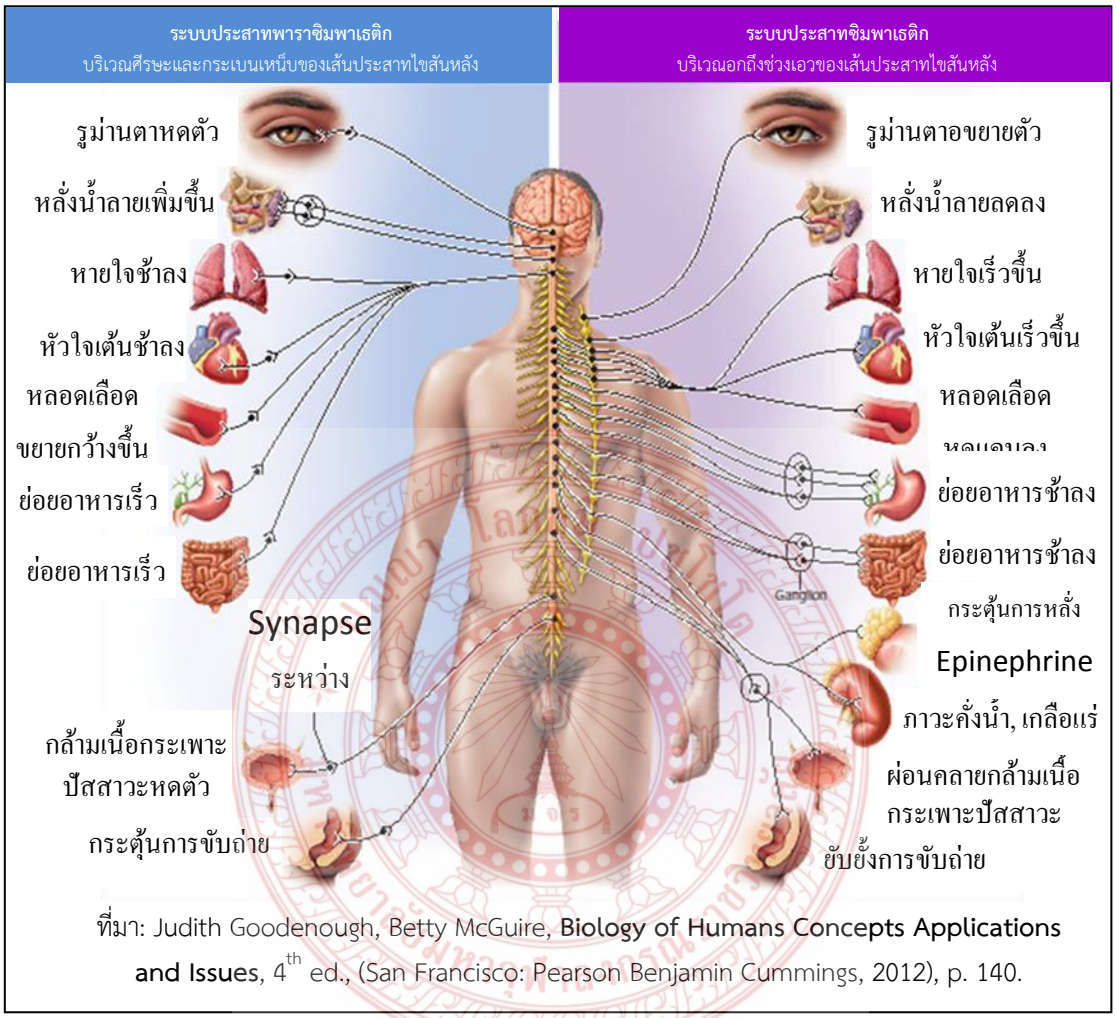
สมองส่วนไฮโปทาลามัส จะสั่งการกิจกรรมการเคลื่อนไหวทั่วทั้งหมดของร่างกาย ไม่ว่าจะเป็นการอาเจียน (vomiting) การปัสสาวะ (urinating) การขับถ่าย (defecating) การงอตัว (curling up) ตลอดจนถึงการนอนหลับ (falling asleep) เป็นระดับที่ถูกควบคุมจากเนื้อเยื่อเทา (gray matter) ของสมองส่วนซีรีบรัล เฮมิสเฟียร์ (cerebral hemispheres) ทั้งจากสมองชั้นนอก (cortex) และจากศูนย์กลางเซลล์ประสาทใต้ cortex (subcortical basal ganglia) กล่าวโดยสรุปคือเป็นการเคลื่อนไหวที่ถูกควบคุมไว้ด้วยจิตสำนึก (conscious control of movements)

3. ทำหน้าที่ควบคุมอวัยวะต่างๆ ภายในร่างกาย

หน้าที่ที่มีความสำคัญของระบบประสาทประการสุดท้ายคือการควบคุมอวัยวะต่างๆ ภายในร่างกาย หรือเรียกว่าการรักษาภาวะธำรงดุลของร่างกายเอาไว้โดยโครงสร้างและการทำงานของระบบประสาทอัตโนมัติ (Autonomic Nervous System-ANS) นี้ จะมีความเชื่อมโยงไปสู่อวัยวะทั้งหมดภายในร่างกาย กล่าวคืออวัยวะทั้งหลายจะถูกโยงใยโดยเส้นใยประสาทจากทั้งระบบประสาทซิมพาเธติก (Sympathetic Nervous System) และระบบประสาทพาราซิมพาเธติก (Parasympathetic Nervous System) เมื่อกระบวนการนี้เกิดขึ้น แขนงของระบบประสาทอัตโนมัติจะส่งผลตรงกันข้ามกันในระดับกิจกรรมของอวัยวะนั้น เครือข่ายของปมประสาท (chain of ganglia) จะเชื่อมต่อเส้นทางของระบบประสาทซิมพาเธติก ซึ่งมักจะทำหน้าที่เป็นหน่วยที่ก่อให้เกิดผลทั้งหมดร่วมกัน ในขณะที่ ปมประสาทของระบบประสาทพาราซิมพาเธติกแต่ละหน่วยจะอยู่ใกล้ชิดกับอวัยวะที่ดูแลอยู่ ซึ่งทำให้ระบบประสาทพาราซิมพาเธติกส่งผลอย่างจำกัดมากกว่า[102] แผนภูมิรูปภาพต่อไปนี้แสดงโครงสร้างและการทำงานของระบบประสาทอัตโนมัติของระบบประสาท ที่ประกอบไปด้วยการควบคุมและการสั่งงานการทำงานของอวัยวะน้อยใหญ่ เช่น กล้ามเนื้อรูม่านตา การหลั่งน้ำลาย การหายใจ การหดและขยายหลอดเลือด การย่อยอาหาร การหลั่งฮอร์โมน กล้ามเนื้อกระเพาะปัสสาวะและการขับถ่าย ฯลฯ

[102] Judith Goodenough, Betty McGuire, **Biology of Humans Concepts Applications and Issues**, p. 140.

ภาพที่ 2.21 แสดงโครงสร้างและการทำงานของระบบประสาทอัตโนมัติ

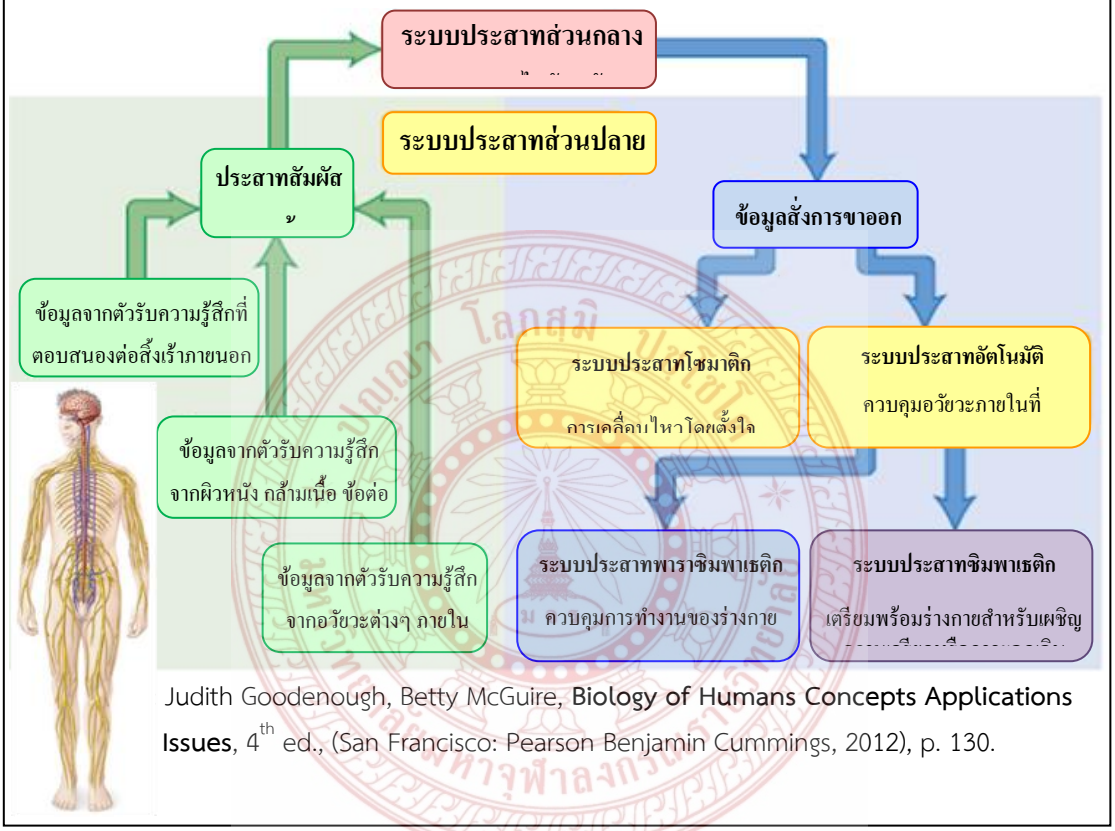


ที่มา: Judith Goodenough, Betty McGuire, **Biology of Humans Concepts Applications and Issues**, 4th ed., (San Francisco: Pearson Benjamin Cummings, 2012), p. 140.

ข้อสังเกตหนึ่งในเรื่องการทำงานของระบบประสาทนี้คือ มีลักษณะของการทำงานที่สอดประสานกันกับระบบอวัยวะอื่นๆ ภายในร่างกายแบบบูรณาการกันเป็นองค์รวม ยกตัวอย่างจากสถานการณ์ในชีวิตประจำวันเมื่อเรานั่งสมาธิอยู่ในสวนสาธารณะ ตาทั้งสองข้างปิดลง ในขณะที่ร่างกายกำลังผ่อนคลายอยู่นั้น ระบบประสาทพาราซิมพาเธติก (Parasympathetic Nervous System) ทำให้เรามั่นใจได้ว่าการทำงานของอวัยวะต่างๆ ของร่างกายยังคงดำเนินต่อไปอย่างต่อเนื่อง ต่อเมื่อมีคนมาจับมือเรา ตัวรับความรู้สึกต่างๆ ในชั้นผิวหนัง (ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของระบบประสาทโซมาติก) ตอบสนองต่อแรงกดและความอบอุ่นของมือด้วยการส่งสัญญาณผ่านเส้นประสาทรับความรู้สึก (sensory nerves) ไปยังไขสันหลัง (spinal cord) นิวรอนที่อยู่ภายในไขสันหลังจะถ่ายทอดสัญญาณเหล่านั้นไปยังสมอง สมองจะบูรณาการสัญญาณจากประสาทรับความรู้สึกที่ได้รับและ “ตัดสินใจ” ด้วยการตอบสนองตามความเหมาะสม ตัวอย่างเช่น สมองอาจสร้างสัญญาณต่างๆ เพื่อสั่งให้เราลืมตาขึ้น และหากภาพของบุคคลผู้จับมือของเราอยู่นั้นสร้างอารมณ์ที่รุนแรง ระบบ

ประสาทซิมพาเธติก อาจเร่งให้หัวใจเราเต้นแรงขึ้น และอาจทำให้หายใจแรงขึ้นได้ด้วย[103] การทำงานแบบองค์รวมของระบบประสาทดังกล่าวนี้ เมื่อนำมาแสดงเป็นแผนภูมิรูปภาพ จะได้ “แผนภูมิรูปภาพแสดงภาพรวมการทำงานของระบบประสาท” ดังต่อไปนี้

ภาพที่ 2.22 แสดงภาพรวมการทำงานของระบบประสาท



Judith Goodenough, Betty McGuire, **Biology of Humans Concepts Applications Issues**, 4th ed., (San Francisco: Pearson Benjamin Cummings, 2012), p. 130.

นอกจากนั้นแล้ว ระบบประสาท รวมถึงสมอง ทำให้เกิดคุณลักษณะเฉพาะประการต่างๆ ที่จำแนกสัตว์ชั้นสูงที่มีกระดูกสันหลัง (higher vertebrates animals) ออกจากสัตว์ดึกดำบรรพ์ (primitive animals) ระบบประสาททำให้สามารถตระหนักรู้ทางจิตสำนึก (conscious awareness) ความทรงจำ (memory) ความรู้สึก (sensation) ความคิด (thought) ความเข้าใจ (perception) การตอบกลับของจิตกึ่งสำนึก (subconscious reflexes) รวมถึงการเคลื่อนไหวของร่างกาย กล่าวโดยสรุป ระบบประสาททำหน้าที่เป็นเครือข่ายสื่อสารหลักของร่างกายที่ตรวจจับการรบกวนทั้งจากภายในร่างกายและจากสภาวะแวดล้อมภายนอก แล้วจึงนำการเปลี่ยนแปลงต่างๆ มาใช้เพื่อตอบสนองอย่างเหมาะสมกับการรบกวนเหล่านั้น ยิ่งไปกว่านั้นยังทำหน้าที่รักษาภาวะธำรงดุล (homeostasis) ของร่างกายซึ่งหมายความถึงการรักษาชีวิตไว้นั่นเอง[104]

---

[103] Ibid., p. 130.

[104] William J. Kraemer, Steven J. Fleck, Michael R. Deschenes, **Exercise Physiology Integrating Theory and Application**, p. 104.

2.3.7 ระบบทางเดินหายใจ (Respiratory System)

ระบบทางเดินหายใจ (Respiratory System) เป็นระบบที่มีความสำคัญมิได้ยิ่งหย่อนไปกว่าระบบอวัยวะอื่นๆ ภายในร่างกายมนุษย์ เนื่องจากเกี่ยวเนื่องการการดำรงอยู่ของชีวิตโดยตรง มีประเด็นในการนำเสนอ 2 ประเด็นด้วยกันเช่นเดียวกัน ได้แก่ (1) ลักษณะของระบบ (2) การทำงานของระบบ ตามลำดับต่อไปนี้

ก. ลักษณะของระบบ

ระบบทางเดินหายใจ (Respiratory System) เป็นระบบที่เกี่ยวข้องกับทางเดินหายใจ รวมถึงกระบวนการหายใจของมนุษย์ โดยมีอวัยวะต่างๆ เป็นองค์ประกอบ เช่น ท่อลม กล่องเสียง ปอด เยื่อหุ้มปอด กะบังลม หลอดลม หลอดลมฝอย และถุงลมปอด[105] รวมถึง กล้ามเนื้อทางเดินหายใจ[106] ถึงกระนั้น อวัยวะหนึ่งที่มีส่วนสำคัญต่อระบบทางเดินหายใจก็คือ “ปอด” ปอดมนุษย์เป็นฝีมือของธรรมชาติที่น่าทึ่ง ปอดจะปั๊มออกซิเจนที่มีความสำคัญต่อชีวิตผ่านทางเดินอากาศ (airways) ไปยังกระแสโลหิต (bloodstream) ทุกๆ วินาทีในแต่ละวัน หากปราศจากความสามารถอันนี้แล้ว มนุษย์ก็ไม่สามารถดำรงอยู่บนโลก[107] ในการตรวจร่างกายด้วยเทคโนโลยีเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ความเร็วสูง (Multidetector Computed Tomography-MDCT) แล้ว[108] จะทำให้เราเห็นส่วนประกอบต่างๆ ของปอด

จากแผนภูมิรูปภาพดังกล่าวข้างต้น ที่ตำแหน่งกระดูกสันหลังบริเวณทรวงอกชิ้นที่ 5 หลอดลมใหญ่ (trachea) แยกออกเป็นหลอดลมเข้าปอดขวาและซ้าย (right and left main bronchi) หลอดลมเข้าปอดขวามีความกว้าง สั้น และตั้งตรงกว่าข้างซ้าย แขนงแรกที่แตกออกไปเรียกว่า หลอดลมปอดกลีบบนขวา (right upper lobe bronchus) ส่วนหลอดลมเข้าปอดซ้ายมีความแคบและตั้งตรงน้อยกว่าข้างขวา เมื่อเข้าสู่ขั้วปอดแล้ว หลอดลมเข้าปอดซ้ายจะถูกแบ่งเป็นหลอดลมปอดกลีบบนซ้าย (upper lobe bronchus) และหลอดลมปอดกลีบล่างซ้าย (lower lobe bronchi)[109]

เพื่อให้เห็นภาพการทำงานของระบบทางเดินหายใจตลอดทั้งระบบได้ชัดเจนขึ้น ในแง่ของโครงสร้างและการทำงานของอวัยวะต่างๆ ที่อยู่รวมกันภายในระบบทางเดินหายใจ ผู้วิจัยขอนำเสนอแผนภูมิรูปภาพ แสดงโครงสร้างหลักทางกายวิภาคของระบบทางเดินหายใจ ดังต่อไปนี้

---

[105] Antonio Pinto, Sonia Fulciniti, Mariano Pepe, **MDCT Anatomy-Body**, eds. by Luigia Romano, Massimo Silva, Sonia Fulciniti, Antonio Pinto, (Milano: Springer, 2011), p. 11

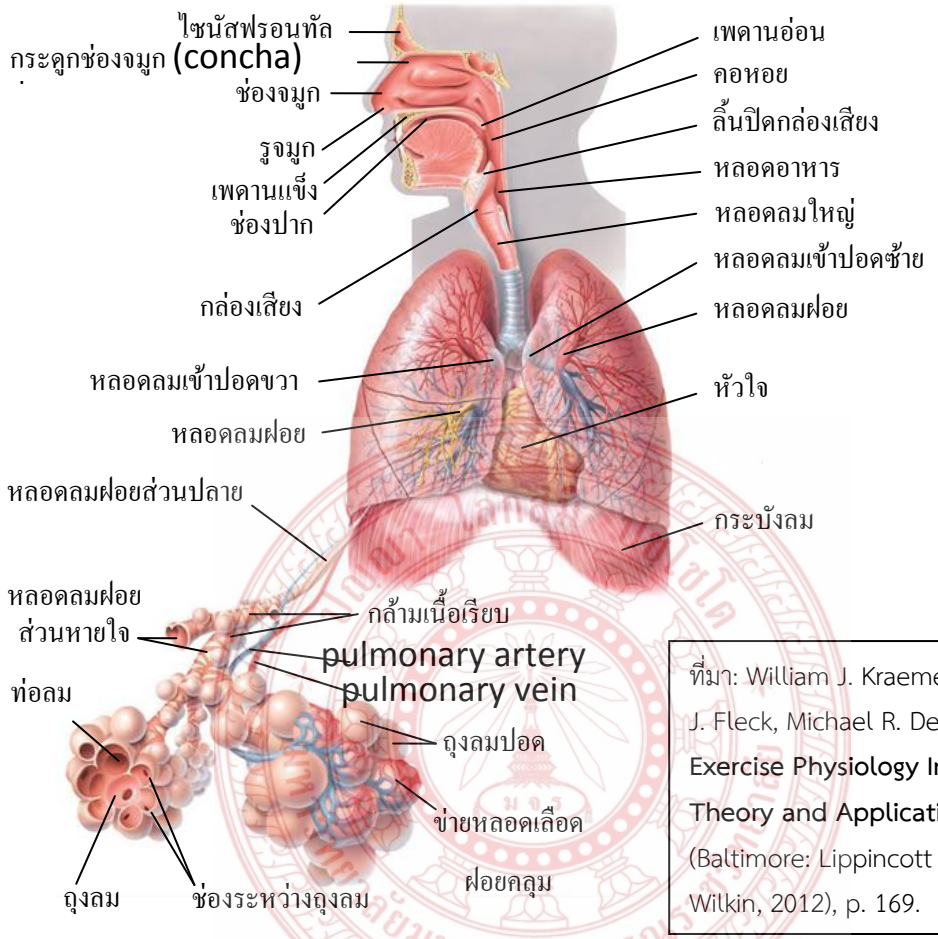
[106] Anthea Maton, Jean Hopkins, Susan Johnson et al., **Human Biology and Health**, (Englewood Cliffs: Prentice Hall, 2009), pp. 108-118.

[107] Kara Rogers (ed.), **The Human Body The Respiratory System**, (New York: Britannica Educational Publishing, 2011), p. 11.

[108] ดูรายละเอียดใน Krishnan B. Chandran, H.S. Udaykumar, Joseph M. Reinhardt (eds.), **Image-Based Computational Modeling of the Human Circulatory and Pulmonary Systems**, (New York: Springer, 2011), p. 75.

[109] Antonio Pinto, Sonia Fulciniti, Mariano Pepe, **MDCT Anatomy-Body**, p. 11

ภาพที่ 2.23 แสดงโครงสร้างหลักทางกายวิภาคของระบบทางเดินหายใจ



ที่มา: William J. Kraemer, Steven J. Fleck, Michael R. Deschenes, **Exercise Physiology Integrating Theory and Application**, (Baltimore: Lippincott Williams & Wilkin, 2012), p. 169.

จากแผนภูมิรูปภาพข้างต้น อธิบายได้ว่า โครงสร้างหลักทางกายวิภาคของระบบทางเดินหายใจจะเริ่มตั้งแต่บริเวณรูจมูก (nostrils) ไปสิ้นสุดที่บริเวณถุงลมปอด (alveoli) บริเวณตั้งแต่รูจมูกไปจนถึงหลอดลมฝอยส่วนปลาย (terminal bronchiole) จะไม่มีการแลกเปลี่ยนก๊าซ (gas exchange) ใดๆ แต่จะมีการแลกเปลี่ยนก๊าซบางส่วนเกิดขึ้นในระดับของหลอดลมฝอยส่วนหายใจ (respiratory bronchiole) และที่สำคัญ กระบวนการแลกเปลี่ยนก๊าซส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นที่ ถุงลมปอด (alveoli)[110] ซึ่งกระบวนการแลกเปลี่ยนก๊าซนี้เองที่จะนำเราไปสู่การศึกษาในเรื่องการทำงานของระบบ ดังที่จะอภิปรายเป็นลำดับต่อไป

[110] "The major anatomical structures of the respiratory system begin with the nostrils and end at the alveoli. No gas exchange occurs from the nostrils to the terminal bronchiole. Some gas exchange does occur at the level of the respiratory bronchiole, but the majority of gas exchange takes place at the alveoli." - William J. Kraemer, Steven J. Fleck, Michael R. Deschenes, **Exercise Physiology Integrating Theory and Application**, p. 169.

ข. การทำงานของระบบ

ระบบทางเดินหายใจ (Respiratory System) มีหน้าที่สำคัญในการอำนวยความสะดวกให้แก่กระบวนการแลกเปลี่ยนก๊าซระหว่างสภาวะแวดล้อมของสิ่งมีชีวิต (organism's environment) กับตัวกลางขนส่งภายในร่างกายคือ โลหิต หรือกล่าวอีกนัยหนึ่ง ระบบทางเดินหายใจมีหน้าที่แลกเปลี่ยนก๊าซออกซิเจน (O_2) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) กับโลหิต[111] ซึ่งถือเป็นระบบทางสรีรวิทยาที่ทำหน้าที่รับและแลกเปลี่ยนก๊าซจากภายนอกเข้าสู่ภายในร่างกาย[112] การเพิ่มระดับของก๊าซออกซิเจน (oxygen) เข้มข้นในปอดจะช่วยขับไล่ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ออกจากฮีโมโกลบิน (hemoglobin) ซึ่งเป็นเมทัลโลโปรตีน (Metalloprotein) ที่ทำหน้าที่ขนส่งออกซิเจนที่มีธาตุเหล็กเป็นองค์ประกอบซึ่งมีอยู่ในเม็ดเลือดแดงของสัตว์มีกระดูกสันหลังและสัตว์อื่น ๆ[113] ในการทำงานของระบบทางเดินหายใจในภาวะปกติ กิจกรรมการหายใจจะเป็นไปโดยอัตโนมัติ[114] โดยมีเส้นประสาทจากศูนย์หายใจ (respiratory centre) ในก้านสมองส่วนท้ายสมอง (medulla oblongata) คอยควบคุมอยู่[115]

คำว่า การหายใจ (respiration) จะครอบคลุม 3 กระบวนการได้แก่ (1) การระบายอากาศ (ventilation) หมายถึง การหายใจเพื่อนำออกซิเจนเข้าและขับคาร์บอนไดออกไซด์ออก (2) การหายใจภายนอก (external respiration) หมายถึง การแลกเปลี่ยนก๊าซระหว่างปอดกับเลือด (3) การหายใจภายใน (internal respiration) หมายถึง การสลายของสารอาหาร การใช้ออกซิเจน และการสร้างคาร์บอนไดออกไซด์[116] ดังนั้น ในการหายใจแต่ละครั้งของมนุษย์ จึงหมายถึงการทำหน้าที่ของระบบทางเดินหายใจ ในการรับและแลกเปลี่ยนก๊าซจากภายนอกเข้าสู่ภายในร่างกาย เพื่อบรรลุความสำเร็จของกระบวนการทั้ง 3 ดังกล่าวนั้นเอง

2.3.8 ระบบทางเดินอาหาร (Gastrointestinal Tract or Digestive System)

ระบบทางเดินอาหาร (Gastrointestinal Tract or Digestive System) มีประเด็นในการนำเสนอ 2 ประเด็น ได้แก่ (1) ลักษณะของระบบ (2) การทำงานของระบบ ตามลำดับดังต่อไปนี้

---

[111] C. Ross Ethier and Craig A. Simmons, **Introductory Biomechanics From Cells to Organisms**, (New York: Cambridge University Press, 2007), p. 282., Krishnan B. Chandran, H.S. Udaykumar, Joseph M. Reinhardt (eds.), **Image-Based Computational Modeling of the Human Circulatory and Pulmonary Systems**, (New York: Springer, 2011), p. 75.

[112] Haton Anthea, Jean, Hopkins Susan, Johnson Charles William, McLaughlin Maryanna Quon Warner David, LaHart Wright, Jill D., **Human Biology and Health**, pp. 108-118.

[113] C.A. Piantadosi, "Carbon monoxide poisoning", **Undersea & Hyperbaric Medicine: Journal of the Undersea and Hyperbaric Medical Society Inc**, Vol. 31 No. 1, (2004): 167-177.

[114] Kara Rogers (ed.), **The Human Body The Respiratory System**, p. 19.

[115] Corinne Stockley, **The Usborne Illustrated Dictionary of Biology**, ed. by Kirsteen Rogers, 3rd ed., แปลโดย รศ.ดร.อุษณีย์ ยศยิ่งยวด, หน้า 71.

[116] Antonio Pinto, Sonia Fulciniti, Mariano Pepe, **MDCT Anatomy-Body**, p. 11

ก. ลักษณะของระบบ

ระบบทางเดินอาหาร (Gastrointestinal Tract-GI Tract) หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า ระบบย่อยอาหาร (Digestive System) มีความยาวทั้งสิ้นประมาณ 12 เมตร[117] คำว่า “ทางเดินอาหาร” เป็นคำที่มีความหมายกว้าง คือประกอบไปด้วยโครงสร้างของอวัยวะหลัก ได้แก่ ฟัน (teeth) ต่อมน้ำลาย (salivary glands) หลอดอาหาร (esophagus) ท้อง (stomach) กระเพาะอาหาร (stomach) ลำไส้เล็กส่วนต้น (duodenum) ลำไส้เล็ก (small intestine) ลำไส้ใหญ่ (large intestine or colon) ไส้ติ่ง (appendix) ทวารหนัก (anus) รวมไปถึงอวัยวะที่มีส่วนช่วยในการย่อยด้วย เช่น ตับอ่อน (pancreas) ตับ (liver) น้ำลาย (saliva) ฯลฯ[118] และต่อมสร้างน้ำย่อยที่ทำหน้าที่ผลิตน้ำย่อย จากการทำงานของระบบต่อมไร้ท่อ (Endocrine System) ที่หลั่งฮอร์โมนต่างๆ เพื่อช่วยควบคุมกระบวนการย่อยอาหาร[119]

ระบบทางเดินอาหารจำแนกเป็น 2 ส่วนได้แก่ (1) ระบบทางเดินอาหารส่วนบน (upper GI) ประกอบไปด้วย หลอดอาหาร (esophagus) ท้อง (stomach) กระเพาะอาหาร (stomach) และลำไส้เล็กส่วนต้น (duodenum) (2) ระบบทางเดินอาหารส่วนล่าง (lower GI) ประกอบด้วยลำไส้เล็ก (small intestine) ลำไส้ใหญ่ (large intestine or colon) ไส้ติ่ง (appendix) ทวารหนัก (anus)[120] ลำไส้เล็ก เป็นอวัยวะหลัก (principal organ) ของระบบ และลำไส้ใหญ่ (large intestine or colon) บรรจุอยู่ภายในช่องท้อง (abdominal cavity) ช่วยดูดซึมสารอาหารเข้าสู่ร่างกายและกำจัดของเสียออกไป สำหรับไส้ติ่ง (appendix) คาดว่าอาจช่วยเป็นตัวเก็บแบกทีเรีย (bacteria) ที่เป็นประโยชน์หรือมีส่วนช่วยในการกระตุ้นและเร่งระบบภูมิคุ้มกันภายในร่างกาย (immune system)[121]

หลังจากที่เรากินอาหารเข้าไป อาหารจะผ่านไปตามระบบทางเดินอาหาร (Gastrointestinal Tract or Digestive System) และสลายอย่างช้าๆ เป็นสารอย่างง่ายที่ละลายได้ด้วยกระบวนการย่อยอาหาร สารจะถูกดูดซึมเข้าสู่หลอดเลือดรอบระบบทางเดินอาหารและส่งไปยังเซลล์ร่างกาย เพื่อใช้เป็นพลังงานและสร้างเนื้อเยื่อใหม่[122]

---

[117] F. Kong, R.P. Singh, “Disintegration of solid foods in human stomach”, **Journal of Food Science**, Vol. 73, No. 5, (June 2008): R 67-80.

[118] Kara Rogers (ed.), **The Human Body The Digestive System**, (New York: Britannica Educational Publishing, 2011), pp. 11-12.

[119] R. J. Nelson, **Introduction to Behavioral Endocrinology**, (Massachusetts: Sinauer Associates, 2005), p. 57.

[120] Rodney A. Rhoades, David R. Bell (eds.), **Medical Physiology Principles for Clinical Medicine**, p. 505.

[121] Ibid., p. 13.

[122] David B. Dusenbery, **Living at Micro Scale**, (Cambridge: Harvard University Press, 2009), p. 280.

ข. การทำงานของระบบ

กระบวนการหลักที่เกิดขึ้นในระบบทางเดินอาหาร คือ การเคลื่อนไหว (motility) การหลั่งสาร (secretion) การควบคุม (regulation) และการย่อยสลาย (digestion)[123] โดยมีหน้าที่หลักอยู่ 2 ประการด้วยกัน[124] คือ (1) ทำหน้าที่ย่อยสลายสารอาหาร (2) กำจัดของเสียต่างๆ ออกจากระบบ ดังต่อไปนี้

1. ทำหน้าที่ย่อยสลายสารอาหาร

การย่อยสลายสารอาหารของระบบ กระทำด้วยวิธีการรับประทาน หรือบริโภคสารอาหารเข้าสู่ร่างกาย เริ่มต้นกระบวนการย่อยที่ ฟัน (teeth)[125] ซึ่งเป็นอวัยวะซึ่งออกแบบพิเศษทำให้มนุษย์กินได้ทั้งพืชและสัตว์ (omnivorous) ด้วยฟันหลากชนิดสำหรับการตัด ฉีก และบด มีลิ้น (tongue) ที่กวาดอาหารภายในช่องปากและส่งไปยังหลอดอาหาร (esophagus) ต่อมน้ำลาย (salivary glands) ซึ่งหลั่งน้ำลาย (saliva) ออกมาเพื่อย่อยอาหารให้เป็นอนุภาคผสมกับน้ำลายเพื่อเร่งกระบวนการย่อยสลายอาหารให้เร็วขึ้น น้ำลายจะทำให้อาหารเปียกและละลายโดยเอนไซม์อะไมเลส (enzyme amylase)[126] ระบบทางเดินอาหารมีบทบาทในการช่วยให้เซลล์ทั้งหลายใช้ประโยชน์จากสารอาหารเหล่านี้ ด้วยการย่อยสลายโมเลกุลที่ใหญ่และซับซ้อนให้เป็นโมเลกุลที่เล็กลงเหมาะแก่การใช้งานของเซลล์

การย่อยสลายสารอาหาร (digestion nutrient) จะกระทำโดยการดูดซึมสารอาหารเหล่านั้น 4 วิธี ได้แก่ (1) การลำเลียงสารแบบ แอกทีฟทรานสปอร์ต (active transport) เป็นการลำเลียงสารขนาดเล็กผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ (membrane) จากที่มีความเข้มข้นน้อยไปที่มาก โดยใช้พลังงานและตัวกลางขนส่ง (carrier-mediated) (2) การลำเลียงสารแบบ แพสสีฟทรานสปอร์ต (passive diffusion) คือการลำเลียงสารขนาดเล็กผ่านเยื่อหุ้มเซลล์จากที่มีความเข้มข้นมากไปน้อยจนถึงขั้นของภาวะสมดุล (a state of equilibrium) โดยไม่ใช้ทั้งพลังงานและตัวขนส่ง (carrier) (3) การแพร่แบบ ฟาซิลิเทต (facilitated diffusion) เป็นการแพร่ของสารที่อาศัยโปรตีนขนส่งเช่น น้ำตาลกลูโคส (glucose) กรดอะมิโน (amino acid) โดยไม่ใช้พลังงาน (4) การลำเลียงแบบ เอนโดไซโทซิส (endocytosis) เป็นการลำเลียงสารขนาดใหญ่เข้าสู่เซลล์[127]

2. ทำหน้าที่กำจัดของเสียต่างๆ (wastes) ออกจากระบบ

นอกจากการย่อยสลายสารอาหารแล้ว ระบบทางเดินอาหารยังมีหน้าที่กำจัดสิ่งที่ไม่ใช่อาหาร (nonnutrient entities) จากสภาวะแวดล้อมภายนอกที่เข้าสู่ร่างกาย เช่น การช่วยขับก๊าซ

---

[123] Rodney A. Rhoades, David R. Bell (eds.), **Medical Physiology Principles for Clinical Medicine**, p. 505.

[124] Kara Rogers (ed.), **The Human Body The Digestive System**, p. 117.

[125] ฟันเป็นอวัยวะสำคัญประการแรกๆ ของระบบทางเดินอาหาร “ฟันของสัตว์ประเภทที่มีกระดูกสันหลังจะมีหน้าที่ที่หลากหลาย เช่น แทะ บดเคี้ยว สังหาร ขุด สับ ตัด ยกสิ่งต่างๆ และต่อสู้” - ดูรายละเอียดใน แอนเดอร์ส ไพล์ม (Anders Prieme), “หลากหน้าที่ของเขี้ยวสัตว์”, เรียบเรียงโดย ชลิตา ซื่อตรง, **ไซแอนซ์ อิลลัสเตร็ด** (Science Illustrated), ฉบับที่ 16, (ตุลาคม 2554): 27.

[126] ดูรายละเอียดใน Kara Rogers (ed.), **The Human Body The Digestive System**, pp. 11-12.

[127] Ibid., p. 121.

ต่างๆ ออกไปเมื่ออากาศ (air) ถูกกลืนเข้าไปพร้อมกับอาหาร และการขับก๊าซมีเธน (methane) ที่แบ็กทีเรียในลำไส้ (gut bacteria) สร้างขึ้น และยังช่วยปกป้องร่างกายจากเชื้อโรคต่างๆ (infectious organisms) ที่ติดมากับอาหารอีกด้วย

จากลักษณะของการทำงานของระบบทางเดินอาหารทั้ง 2 หน้าที่ดังกล่าวนี้ ทำให้ร่างกายมนุษย์เปรียบเสมือนเครื่องจักรที่ย่อยสลายและรีด (release) เอาพลังงานที่อยู่ในอาหารที่กินเข้าไป ซึ่งเป็นพลังงานบางส่วนที่นำมาใช้ประโยชน์กับงานเชิงจักรกลของกล้ามเนื้อและในส่วนกระบวนการหลั่งสาร รวมถึงส่วนที่ใช้เพื่อรักษาโครงสร้างและการทำงานของร่างกาย[128] นอกจากนั้นเครื่องจักรนี้ยังมีความสามารถในการกำจัดของเสียต่างๆ ที่ไม่เป็นประโยชน์ออกจากระบบได้อีกด้วย

เมื่อการอภิปรายดำเนินมาถึงจุดนี้ ทำให้เราได้ทราบถึงสาระสำคัญทั้งในเรื่องลักษณะและการทำงานของระบบทั้ง 3 (ระบบประสาท ระบบหายใจ และระบบทางเดินอาหาร) แต่ในความเป็นจริง ระบบภายในร่างกายมนุษย์มีมากถึง 11 ระบบด้วยกันดังที่ได้กล่าวไว้แล้วแต่ตอนต้น นอกจากนั้นการศึกษาถึงรายละเอียดของระบบทั้งหมดย่อมอยู่เหนือขอบเขตของงานวิจัย แต่จะอย่างไรก็ตาม เราก็มิอาจมองข้ามระบบที่เหลืออีก 8 ระบบไปได้ด้วยเหตุที่ระบบอวัยวะทั้งหมดต่างมีนัยที่เชื่อมโยงถึงกันและกัน ไม่สามารถแยกขาดออกจากกันได้ ดังนั้น การอภิปรายถึง “ระบบอวัยวะอื่นๆ ภายในร่างกาย 8 ระบบที่เหลือ” ต่อไปนี้ก็จะสนับสนุนความเชื่อมโยงนั้นได้เป็นอย่างดี

2.3.9 ระบบอวัยวะอื่นๆ ภายในร่างกาย 8 ระบบที่เหลือ

ระบบอวัยวะต่างๆ ภายในร่างกายต่างก็เป็นองคาพยพที่ประกอบรวมกันขึ้นตั้งแต่ระดับเคมี (หรือโมเลกุล) เซลล์ เนื้อเยื่อ อวัยวะ พัฒนาเป็น ระบบอวัยวะ และประกอบรวมกันเป็นร่างกายมนุษย์ หรือสิ่งมีชีวิตในที่สุด ดังนั้นจึงนับได้ว่าทุกระบบอวัยวะของร่างกายมนุษย์ ต่างมีความสำคัญต่อการศึกษาและทำความเข้าใจมิได้ยิ่งหย่อนไปกว่ากัน ดังนั้น ผู้วิจัยจึงจำเป็นต้องนำเสนอระบบอวัยวะอื่นๆ ที่เหลือ เพื่อให้เห็นภาพกว้างของการทำงานร่วมกันในแต่ละระบบอวัยวะ โดยเรียงลำดับ 8 ระบบอวัยวะดังนี้ คือ (1) ระบบปกคลุมร่างกาย (Integumentary System) (2) ระบบกระดูก (Skeletal System) (3) ระบบกล้ามเนื้อ (Muscular System) (4) ระบบต่อมไร้ท่อ (Endocrine System) (5) ระบบไหลเวียนโลหิต (Cardiovascular System) (6) ระบบน้ำเหลืองและภูมิคุ้มกัน (Lymphatic & Immune System) (7) ระบบทางเดินปัสสาวะ (Urinary System) (8) ระบบสืบพันธุ์ (Reproductive System)

ก. ระบบ ปกคลุมร่างกาย (Integumentary System)

ระบบปกคลุมร่างกาย เป็นระบบอวัยวะของร่างกายที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในบรรดาระบบอื่นๆ คือมีสัดส่วน ถึงประมาณ 12 ถึง 15 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักรวมของร่างกาย และครอบคลุมถึง 1.5 ถึง 2 ตารางเมตรของพื้นที่ผิว[129] มีอวัยวะที่เกี่ยวข้องคือ ผิวหนังทั้งหมดภายนอกที่คลุมอวัยวะต่างๆ ภายในร่างกายเอาไว้ทั้งหมด มีหน้าที่เฉพาะได้แก่การรักษาสภาพ (maintenance) และการ

---

[128] Ibid., p. 118.

[129] Frederic H. Martini & Judi L. Nath., **Fundamentals of Anatomy & Physiology**, 8th ed., (San Francisco: Pearson Benjamin Cummings, 2009), p. 158.

ควบคุม (regulation) อุณหภูมิของร่างกาย รวมถึงการป้องกันการรับความรู้สึกจากการสัมผัส (sensation) การขับของเสีย (excretion) และภูมิคุ้มกันโรค (immunity)[130]

ข. ระบบกระดูก (Skeletal System)

ระบบกระดูก มีอวัยวะที่เกี่ยวข้องโดยตรงคือ กระดูก หรือเนื้อเยื่อกระดูก (bone or osseous tissue) ซึ่งเป็นเนื้อเยื่อเกี่ยวพันชนิดหนึ่งที่แข็งและทนทานเพราะมีฟอสฟอรัสและแคลเซียมสูง มีเซลล์กระดูก (osteocyte) ที่มีชีวิตอยู่ในโพรง (lacuna) ขนาดเล็ก โครงกระดูก (skeleton) ประกอบไปด้วยกระดูกมากกว่า 200 ชิ้น ทำหน้าที่ค้ำจุนและป้องกันอวัยวะภายใน (viscera) และเป็นฐานแข็งให้กล้ามเนื้อต่างๆ ยึดเกาะในการทำงาน กระดูกต่างๆ ต่อกันด้วยข้อต่อ (joint) ส่วนใหญ่เคลื่อนไหวได้ และช่วยทำให้ร่างกายยืดหยุ่นได้มาก และมีเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (connective tissue) หลายชนิดที่ทำหน้าที่ปกป้องและเชื่อมต่อเซลล์หรืออวัยวะต่างๆ เข้าด้วยกัน เช่น เอ็น (ligament) ถุงไขข้อ (synovial sac หรือ synovial capsule) เอ็นกล้ามเนื้อ (tendon หรือ sinew) กระดูกอ่อน (cartilage หรือ gristle) ฯลฯ[131]

ค. ระบบกล้ามเนื้อ (Muscular System)

ในร่างกายมีกล้ามเนื้อ (muscle) ซึ่งเป็นเนื้อเยื่อยืดหยุ่นชนิดพิเศษที่พบทั่วร่างกาย มี 3 ประเภท คือ 1) กล้ามเนื้อโครงร่าง (skeletal muscle) ที่อยู่ในอำนาจจิตใจ (voluntary muscle) ถูกยึดเข้ากับกระดูกด้วยเอ็นกล้ามเนื้อ หรือด้วยพังผืดที่ยึดกล้ามเนื้อ (aponeurosis) ในบางแห่ง เพื่อการเคลื่อนที่และการทรงตัวของร่างกาย 2) กล้ามเนื้อเรียบ (smooth muscle) พบภายในผนังของอวัยวะและโครงสร้างเช่น หลอดอาหาร (esophagus) ท้อง (stomach) ลำไส้ (intestines) หลอดลม (bronchi) มดลูก (uterus) ท่อปัสสาวะ (urethra) ถุง (bladder) หลอดเลือด (blood vessels) และกล้ามเนื้อ arrector pili ซึ่งช่วยยึดเส้นผมไว้กับหนังศีรษะ 3) กล้ามเนื้อหัวใจ (cardiac muscle) มีลักษณะคล้ายกับกล้ามเนื้อโครงร่าง พบเฉพาะที่หัวใจ ทั้งกล้ามเนื้อเรียบและกล้ามเนื้อหัวใจนี้ เป็นกล้ามเนื้อที่อยู่นอกอำนาจจิตใจ[132] กล้ามเนื้อโครงร่าง (skeletal muscles) ที่พบ มีน้ำหนักคิดเป็น 40-50 เปอร์เซนต์ของน้ำหนักรวมของร่างกายมนุษย์ เราสามารถพบกล้ามเนื้อโครงร่างเป็นจำนวนมากกว่า 430 มัดอยู่เป็นคู่ทั้งด้านขวาและด้านซ้ายของร่างกาย[133] กล้ามเนื้อมีหน้าที่ช่วยในการเคลื่อนไหวของร่างกายและช่วยป้องกันการเคลื่อนไหวของข้อต่อ

---

[130] Katherine M. A. Rogers, William N. Scott, **Nurses ! Test Yourself in Anatomy & Physiology**, (Glasgow: Bell & Bain Ltd., 2011), p. 29.

[131] Corinne Stockley, **The Usborne Illustrated Dictionary of Biology**, ed. by Kirsteen Rogers, 3rd ed., แปลโดย รศ.ดร.อุษณีย์ ยศยิ่งยวด, หน้า 52-53.

[132] Marieb Elaine, Hoehn, Katja, **Human Anatomy & Physiology**, 7th ed., (San Francisco: Pearson Benjamin Cummings, 2007), p. 317.

[133] Jiri Nedoma, Jiri Stehlik, Ivan Hlavacek, Josef Danek, Tatjana Dostalova, Petra Preckova, **Mathematical and Computational Methods in Biomechanics of Human Skeletal Systems: An Introduction**, (Hoboken: JohnWiley & Sons, Inc., 2011), p. 10.

ง. ระบบต่อมไร้ท่อ (Endocrine System)

ระบบต่อมไร้ท่อ มีการทำงานที่เกี่ยวเนื่องและบูรณาการกับระบบประสาท (Nervous System) อยู่เสมอ[134] โดยมีหน้าที่หนึ่งคือการผลิตน้ำย่อยโดยมีอวัยวะที่เกี่ยวข้องคือ ตับอ่อน ตับ และต่อมสร้างน้ำย่อยที่ทำหน้าที่ผลิตน้ำย่อย ระบบทางเดินอาหารจะหลั่งฮอร์โมนต่างๆ เพื่อช่วยควบคุมกระบวนการย่อยอาหาร ได้แก่ ฮอร์โมนแกสตริน (gastrin) ฮอร์โมนซีครีติน (secretin) คอลีซิสโตไคนิน (cholecystokinin) และฮอร์โมนเกรลิน (grehlin) เซลล์ทั้งหลายที่หลั่งฮอร์โมนเหล่านี้ออกมาเป็นโครงสร้างที่ถูกอนุรักษ์เอาไว้ตลอดสายกระบวนวิวัฒนาการของมนุษย์[135]

จ. ระบบไหลเวียนโลหิต (Cardiovascular System)

ระบบไหลเวียนโลหิต จะทำหน้าที่ส่งผ่านสารอาหารต่างๆ ก๊าซ ฮอร์โมน (hormones) เม็ดเลือด ฯลฯ เข้าสู่และออกจากเซลล์ต่างๆ ภายในร่างกายเพื่อช่วยต่อต้านเชื้อโรค รักษาอุณหภูมิของร่างกายให้ปกติ[136] รวมถึงการรักษาภาวะธำรงดุล (homeostasis)[137] ให้แก่ร่างกายอีกด้วย โดยมีอวัยวะที่สำคัญของระบบไหลเวียนโลหิตได้แก่ “หัวใจ” ซึ่งทำหน้าที่เป็นเสมือนเครื่องปั๊มที่คอยสูบฉีดโลหิต[138] ให้ไหลเวียนทั่วร่างกาย[139] หัวใจ จะมีลักษณะที่ยื่นเข้าไปในถุงหุ้มหัวใจ (pericardial cavity) คล้ายกับการดันกำปั้นเข้าไปในลูกโป่ง พื้นที่ที่ติดกันเหมือนกับข้อมือและมือซึ่งวางอยู่ระหว่างหัวใจกับหลอดเลือดที่สำคัญต่างๆ ความกว้างของถุงหุ้มหัวใจ โดยทั่วไปจะถูกแบ่งโดยชั้นบางๆ ของเหลวภายในเยื่อหุ้มหัวใจระหว่างเยื้อหุ้มหัวใจชั้นใน (visceral pericardium) กับเยื่อหุ้มหัวใจชั้นนอก (parietal pericardium)[140]

ระบบไหลเวียนโลหิตเปรียบเสมือนระบบขนส่งในร่างกาย โดยการส่งสารอาหาร ก๊าซออกซิเจน น้ำ และสิ่งมีประโยชน์อื่นๆ ไปยังเซลล์ทุกเซลล์ในร่างกาย ขณะเดียวกันก็นำของเสียจากเซลล์ไปยังส่วนที่มีหน้าที่ขับออกจากร่างกาย ลักษณะเฉพาะบางประการของระบบไหลเวียนโลหิตนี้ทำให้มีความคล้ายคลึงกับระบบไฮดรอลิกที่มีความซับซ้อนแบบเป็นพิเศษ เช่น เป็นระบบหมุนเวียน

---

[134] Katherine M. A. Rogers, William N. Scott, **Nurses ! Test Yourself in Anatomy & Physiology**, p. 78.

[135] R. J. Nelson, **Introduction to Behavioral Endocrinology**, p. 57.

[136] Robert M. Anderson, M.D., **The Gross Physiology of the Cardiovascular System**, 2nd ed., (Tucson: Racquet Press, 2012), p. 3.

[137] “ภาวะธำรงดุล (Homeostasis) หมายถึง การปฏิบัติอย่างใดอย่างหนึ่งเพื่อให้ร่างกายเกิดดุลยภาพ เช่น เมื่อร้อนเหงื่อจะออก เมื่อท้องเสียจะกระหายน้ำ หรือหมายถึงภาวะแห่งการรักษาดุลยภาพ หรือการคงสภาพเดิมไว้” - ดูรายละเอียดใน B. McEwen, E. N. Lasley, “All stressed out ? Here's what to do about it”, **Journal of Consumer Research**, Vol. 29 No. 1 (2003): 10-13, ชูชาติ ยังบรรเทา, **พจนานุกรมศัพท์ชีววิทยา**, พิมพ์ครั้งที่ 2, (กรุงเทพมหานคร: โอ.เอส.พริ้นติ้ง เฮ้าส์, 2546), หน้า 219.

[138] โลหิต หรือ เลือด (blood) เป็นของเหลวในร่างกายที่สำคัญต่อชีวิต ประกอบด้วยพลาสมา เกล็ดเลือด เม็ดเลือดแดง และเม็ดเลือดขาว

[139] Kara Rogers (ed.), **The Human Body The Cardiovascular System**, (New York: Britannica Educational Publishing, 2011), pp. 14, 21.

[140] Frederic H. Martini, Judi L. Nath, Edwin F. Bartholomew, **Fundamentals of Anatomy & Physiology**, p. 21.

แบบปิด และเป็นระบบที่สามารถยืดหยุ่นได้ ไม่แข็งทื่ออย่างเดียว[141] นอกจากนั้น ระบบไหลเวียนโลหิตยังอาศัย “ธาตุเหล็ก” ซึ่งจำเป็นต่อการทำงานของชีวเคมีจำนวนมากภายในร่างกาย เช่นการขนส่งก๊าซออกซิเจนในเลือดและการสร้างพลังงานในไมโตคอนเดรีย (mitochondria) มนุษย์ต้องการแหล่งของสารอาหารธาตุเหล็กเพื่อรักษาสภาวะปกติของร่างกายเอาไว้ ถึงกระนั้น หากธาตุเหล็กที่มากเกินไปก็จะเป็นพิษอย่างมากและนำไปสู่การทำลายเซลล์และอวัยวะได้[142] ดังนั้น ร่างกายจึงต้องการธาตุเหล็กในระดับที่เหมาะสมไม่มากและไม่น้อยจนเกินไป

ฉ. ระบบน้ำเหลืองและภูมิคุ้มกัน (Lymphatic & Immune System)

ระบบน้ำเหลืองและภูมิคุ้มกัน เป็นระบบที่มีกระบวนการในการช่วยป้องกันอวัยวะต่างๆ จากเชื้อโรค เพื่อให้การทำงานของระบบต่างๆ เป็นไปอย่างถูกต้อง ด้วยการตรวจจับไวรัสและเชื้อโรคต่างๆ และกำจัดออกไปจากเนื้อเยื่อให้ได้ ซึ่งเป็นกลไกป้องกันตัวเองที่ซับซ้อนมาก[143] ถึงกระนั้น เมื่อใดก็ตามที่ร่างกายเกิดภาวะระบบภูมิคุ้มกันบกพร่องจะก่อให้เกิดโรคแพ้ภูมิตัวเอง (autoimmune) โรคที่เกิดจากการติดเชื้อ (inflammatory diseases) และโรคมะเร็ง (cancer) ดังนั้น ระบบน้ำเหลืองและภูมิคุ้มกันจึงทำหน้าที่หลักที่มีความชัดเจนในการให้ความคุ้มกันไม่ให้ร่างกายเกิดโรคแทรกซ้อนได้ง่าย[144] และมีอวัยวะที่เกี่ยวเนื่องคือ น้ำเหลือง (lymph) ท่อน้ำเหลือง (lymph vessel) ต่อมน้ำเหลือง (lymph node) ต่อมทอนซิล (tonsil gland) ต่อมไทมัส (thymus gland) และม้าม (spleen) เป็นต้น[145]

ช. ระบบทางเดินปัสสาวะ (Urinary System)

หากว่าโดยโครงสร้างของระบบแล้ว ระบบทางเดินปัสสาวะจะประกอบไปด้วยไต (kidneys) ทั้ง 2 ข้าง ท่อไต (ureters) 2 ท่อ กระเพาะปัสสาวะ (urinary bladder) และท่อปัสสาวะ (uretha) อวัยวะไตในขั้นพื้นฐานจะเกี่ยวข้องกับการจัดการและการกำจัดของเสีย (waste) นอกจากนั้นยังมีการทำงานอื่นๆ ด้วยซึ่งได้แก่การรักษาภาวะธำรงดุล (homeostasis) ด้วยการ

---

[141] Robert M. Anderson, M.D., **The Gross Physiology of the Cardiovascular System**, p. 3.

[142] Adrianne Bendich, **Iron Physiology and Pathophysiology in Humans**, Eds. by Gregory J. Anderson, Gordon D. McLaren, (New York: Humana Press, 2012), p. 3., และดูรายละเอียดใน p. 27.

[143] Beck Gregory., Gail S. Habicht, “Immunity and the Invertebrates”, **Scientific American**, Vol. 275 No. 5 (November 1996): 60-66.

[144] Lisa M. Coussens and Zena Werb, “Inflammatory Cells and Cancer”, **Journal of Experimental Medicine**, Vol. 193 No. 6 (March 19 2001): F 23-26., K. J. O' Byrne and A. G. Dalgleish, “Chronic Immune Activation and Inflammation as the Cause of Malignancy”, **British Journal of Cancer**, Vol. 85 No. 4, (August 2001): 473-483.

[145] ดูรายละเอียดใน Roger Warwick, Peter L. Williams. (eds.), “Angiology”, **Gray's anatomy**, 35th ed., (London: Longman, 1973), pp. 588-785., Tim Taylor. **Immune and Lymphatic Systems**. [online]. source: http://www.innerbody.com/image/lympov.html [29 october 2013].

ควบคุมองค์ประกอบ (composition) ปริมาณ (volume) และความดัน (pressure) ของโลหิต พร้อมทั้งควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของโลหิต ตลอดจนมีส่วนช่วยในกระบวนการเผาผลาญพลังงาน (metabolism) ของร่างกาย[146]

การทำหน้าที่ดังกล่าว โดยเฉพาะการกำกับดูแลปริมาณของเหลวภายในร่างกาย ทำโดยการควบคุมสมดุลความเข้มข้นของของเหลวที่อยู่ภายนอกเซลล์ ที่อาบอยู่รอบเซลล์ เช่นน้ำเหลือง น้ำเลือด และ ของเหลวที่หล่อเลี้ยงเซลล์ (tissu fluid) ระบบจะทำงานโดยการผลิตน้ำปัสสาวะ เก็บน้ำปัสสาวะไว้ชั่วคราว และขับน้ำปัสสาวะออกทิ้งไปเพื่อเป็นการรักษาสมดุลภายในร่างกาย[147] ของเสียในร่างกายมีอยู่ 2 ประเภท ของเสียที่มีลักษณะเป็นของแข็ง (solid) เรียกว่าอุจจาระ (feces) ส่วนของเสียที่มีลักษณะเป็นของเหลว (liquid) เรียกว่าปัสสาวะ (urine)[148]

ซ. ระบบสืบพันธุ์ (Reproductive System)

ระบบสืบพันธุ์ เกี่ยวข้องกับส่วนต่างๆ ของร่างกายที่จำเป็นสำหรับการสร้างชีวิตใหม่ขึ้นมา โดยเฉพาะอย่างยิ่งอวัยวะภายในมีต่อมใต้สมอง (pituitary gland) และต่อมใต้สมองส่วนล่าง (hypothalamus gland) เป็นต้น ส่วนอวัยวะภายนอกของเพศชาย (male external organs) ได้แก่ องคชาติ (penis) อัณฑะ (testes) และถุงอันฑะ (scrotum) อวัยวะภายนอกของเพศหญิง (female external organs) ได้แก่ แคมช่องคลอด (vulva) แคมเล็ก (labia minora) แคมใหญ่ (labia majora) คลิทอริส (clitoris) และทรวงอก (breasts)[149] ซึ่งทำให้ระบบสืบพันธุ์มีความแตกต่างออกไปจากระบบอวัยวะภายในร่างกายระบบอื่นๆ ที่กล่าวมาแล้วทั้งหมด กล่าวคือระบบสืบพันธุ์มิได้มีความมุ่งหมายให้ดำรงชีวิตอยู่ได้ หากแต่มีสาระสำคัญเพื่อที่จะแพร่พันธุ์ให้ประชากรได้ดำเนินต่อไปอย่างต่อเนื่อง[150] เป็นปัจจัยสำคัญที่สุดสำหรับการก่อกำเนิดมนุษย์คนใหม่เพื่อรักษาเผ่าพันธุ์มนุษย์ให้ดำรงคงอยู่[151] ซึ่งนับเป็นหน้าที่หลักของระบบ

สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมเช่นมนุษย์มีระบบสืบพันธุ์ (Reproductive Tract) ของเพศเมียซึ่งถือว่าเป็นเวทีแข่งขันของอสุจิ (sperm) ซึ่งต้องข้ามผ่านตะแกรง (sieves) และอุปสรรคอย่างมากมาย

---

[146] ดูรายละเอียดใน I. Edward Alcamo, Barbara Krumhardt, **Barron's Anatomy and Physiology The Easy Way**, 2nd ed., (NewYork: Barron's Educational Series, 2004), p. 432., Katherine M. A. Rogers, William N. Scott, **Nurses ! Test Yourself in Anatomy & Physiology**, p. 150.

[147] I. Edward Alcamo, Barbara Krumhardt, **Barron's Anatomy and Physiology The Easy Way**, p. 432.

[148] Lorrie Klosterman, **The Amazing Human Body Excretory System**, ed. by Karen Ang, (New York: Marshall Cavendish Benchmark, 2010), p. 7.

[149] Dr. Julie Graves. **Main Organs of the Reproductive System**. [online]. source: http://www.livestrong.com/article/94700-main-organs-reproductive-system/ [30 october 2013]., ดูรายละเอียดใน New health Guide. **Reproductive System Organs**. [online]. source: http://www.newhealthguide.org/Reproductive-System-Organs.html [30 october 2013].

[150] Lorrie Klosterman, **The Amazing Human Body Reproductive System**, ed. by Karen Ang, (New York: Marshall Cavendish Benchmark, 2010), p. 5.

[151] ดร. ชัยวัฒน์ คุประตกุล, **มหัศจรรย์แห่งชีวิต**, หน้า 14.

ทั้งทางโครงสร้าง (anatomical) และทางสรีระ (physiological) ในช่องคลอด (vagina) ปากมดลูก (cervix) มดลูก (uterus) รอยต่อของปีกมดลูกกับท่อนำไข่ส่วน isthmus (Uterotubal Junction-UTJ) และท่อรังไข่ (oviduct) ก่อนเข้าถึงตัวเซลล์ไข่ (ovum)[152] ผสมกันจนเกิดเป็นตัวอ่อนและเป็นมนุษย์ทั้งตัวตามลำดับซึ่งเป็นผลจากรหัสทางพันธุกรรม หรือยีนของมนุษย์ในเซลล์ของไข่ผสมกับสเปิร์มที่เปรียบเสมือนพิมพ์เขียวหรือโปรแกรมคอมพิวเตอร์ทำหน้าที่ควบคุมการเจริญเติบโตหรือการแบ่งเซลล์ให้เกิดเป็นมนุษย์โดยสมบูรณ์[153] ซึ่งนับเป็นการส่งต่อทางพันธุกรรมที่มีวิวัฒนาการที่ยาวนานและน่าทึ่ง ดังที่ เรเน่ ดูโบ (Rene Dubos) กล่าวไว้ว่า “วิวัฒนาการทางด้านพันธุกรรมของเผ่าพันธุ์มนุษย์นั้นไม่เปลี่ยนแปลง ร่างกายและสมองของมนุษย์ดำรงอยู่ในโครงสร้างและลักษณะเดิมโดยสาระสำคัญ”[154]

ในปัจจุบัน ความรุดหน้าด้านการแพทย์ระบบสืบพันธุ์ (reproductive medicine) ในศตวรรษที่ 21 นักวิจัยยังสามารถทำงานด้วยการหาวิธีใหม่ที่จะยับยั้งการแพร่ระบาดของโรคติดต่อทางเพศสัมพันธ์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งคือโรคเอดส์ (AIDS)[155] นอกจากนั้น เทคโนโลยีทางด้านพันธุกรรมศาสตร์ที่ได้จากวิชาพันธุวิศวกรรม (genetic engineering) ยังเอื้อประโยชน์ต่อการ โคลนนิ่ง (cloning) เป็นอย่างมาก[156] ซึ่งนับเป็นความก้าวหน้าของวิทยาการสมัยใหม่อันเกิดจากการนำเอาเทคโนโลยีด้านพันธุศาสตร์มาใช้

การนำเสนอระบบภายในร่างกายมนุษย์ ดังที่กล่าวมาแล้วทั้งหมดนี้ พบว่าแต่ละระบบอวัยวะภายในร่างกายมิได้มีการทำงานที่แยกขาดออกจากกัน ทว่าทำงานสอดประสานกันในฐานะที่เป็นองค์ประกอบย่อยคืออวัยวะต่างๆ รวมตัวกันอย่างเป็นระบบเชิงองค์ประกอบร่วม หรือองค์รวม (holistic) ดังแผนภูมิรูปภาพที่แสดงการจัดระบบของอวัยวะหลักภายในร่างกาย ไว้อย่างน่าสนใจยิ่งดังต่อไปนี้

---

[152] Alan F. Dixson, **Sexual Selection and the Origins of Human Mating Systems**, (New York: Oxford University Press, 2009), p. 71.

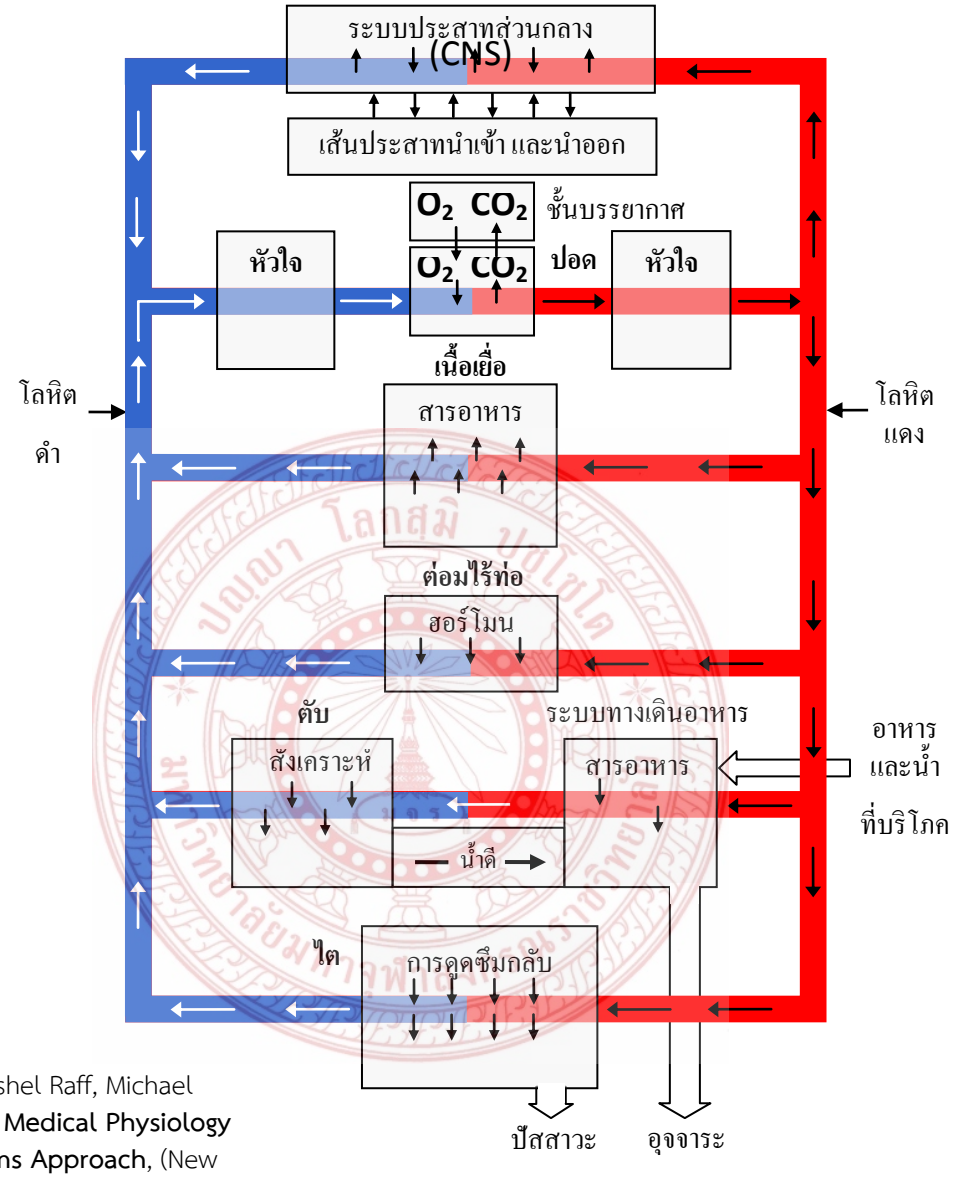
[153] ดร. ชัยวัฒน์ คุประตกุล, **มหัศจรรย์แห่งชีวิต**, หน้า 17-18.

[154] Rene Jules Dubos, **Man, Medicine and Environment**, p. 34.

[155] Kara Rogers (ed.), **The Human Body The Reproductive System**, p. 247.

[156] พระวันชัย ธนวโส (กัณหะกาญจนะ), “พุทธจริยศาสตร์กับการโคลนนิ่งมนุษย์”, **สารนิพนธ์พุทธศาสตรดุษฎีบัณฑิต**, (บัณฑิตวิทยาลัย: มหาวิทยาลัยมหาจุฬาลงกรณราชวิทยาลัย, 2545), หน้า 14-16.

ภาพที่ 2.24 แสดงการจัดระบบของอวัยวะหลักภายในร่างกาย



ที่มา: Hershel Raff, Michael Levitzky, **Medical Physiology A Systems Approach**, (New York: McGraw-Hill, 2011), p.3.

ตามแผนภูมิรูปภาพ ลูกศร จะแสดงทิศทางการไหลเวียนของโลหิตและการไหลของก๊าซ สารอาหาร ฮอร์โมน และของเสียภายในร่างกาย อวัยวะต่างๆ ภายในร่างกายมนุษย์ เช่นสมองและหัวใจ ฯลฯ จะรับสารอาหารและกำจัดของเสียผ่านระบบไหลเวียนโลหิต (circulatory system) หัวใจแบ่งเป็น 2 ส่วน ซ้ายและขวา หัวใจซีกขวารับโลหิตดำ (deoxygenated blood) บางส่วนกลับจากเนื้อเยื่อและปั๊มโลหิตเข้าสู่ปอด ในปอด อ๊อกซิเจนจะกระจายเข้าสู่เลือดจากสถานะที่เป็นก๊าซสำหรับการหายใจในระดับเซลล์ภายในร่างกาย ส่วนคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้จากกระบวนดังกล่าวนี้จะถูกขจัดกลายสถานะเป็นก๊าซ หัวใจซีกซ้ายรับโลหิตแดง (oxygenated blood) จากปอดและปั๊มเข้าสู่แขนงหลอดเลือด (arterial tree) เพื่อไหลผ่านไปยังอวัยวะส่วนต่างๆ ของร่างกาย

สารอาหาร แร่ธาตุ วิตามิน และน้ำ จะถูกนำเข้าโดยการบริโภคอาหารและของเหลวทางปากและดูดซึมในระบบทางเดินอาหาร (Gastrointestinal Tract or Digestive System) ซึ่งมีตับเป็นอวัยวะหนึ่งในระบบ เป็นกระบวนการที่สสารจะถูกดูดซึมเข้าสู่โลหิตจากระบบทางเดินอาหาร รวมถึงสังเคราะห์โมเลกุลใหม่เช่น กลูโคส (glucose) ของเสียจากการเผาผลาญจะถูกขจัดทิ้งโดยระบบทางเดินอาหารกลายเป็นอุจจาระและปัสสาวะ ตัวควบคุมหลักที่ผสานกันทั้งสองของสภาวะแวดล้อมภายในได้แก่ระบบประสาท (Nervous System) และระบบต่อมไร้ท่อ (Endocrine System) ระบบประสาทประกอบด้วย สมอง เส้นประสาทไขสันหลัง ระบบประสาทสัมผัส (sensory systems) และเส้นประสาท ระบบต่อมไร้ท่อประกอบด้วย ต่อมไร้ท่อ (ductless glands) และเซลล์เนื้อผิวชนิด scattered secretory cells ที่แพร่กระจายอยู่ทั่วต่างกาย ปล่อยฮอร์โมนเข้าสู่โลหิตในการตอบสนองกับการส่งสัญญาณการเผาผลาญ ฮอร์โมน และระบบประสาท[157]

2.4 แนวคิดสุขภาพองค์รวม

เนื่องจากแนวคิดสุขภาพองค์รวมและการจัดการสุขภาวะของสังคมไทยมีกระบวนการที่เติบโตหรือเพิ่มขึ้นอย่างมากทั้งในระดับนโยบาย กฎหมาย และวิธีการทำงานในระดับชุมชน กอปรกับแนวคิดและกระบวนทัศน์ในการดูแลรักษาสุขภาพมีการเปลี่ยนแปลงไปจากระบบการจัดการเพื่อสุขภาพทางกายเป็นหลักได้พัฒนาไปสู่การมองเรื่องของสุขภาพในมิติต่างๆ อย่างรอบด้านทั้งด้านร่างกาย จิตใจ ปัญญา และสังคม ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับการพัฒนาชุมชนเพื่อนำไปสู่สุขภาวะที่ดีของชุมชน รวมทั้งในอนาคตสังคมไทยจะเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุ หากไม่มีระบบการจัดสวัสดิการที่เหมาะสมแล้ว จะทำให้กระบวนการพัฒนาชุมชนและสังคมไทยมีความยากลำบากยิ่งขึ้น ดังนั้น ในบทนี้จะกล่าวถึงแนวคิด หลักการ และการใคร่ครวญย้อนรอยถึงการจัดการด้านสุขภาพและสาธารณสุขที่ผ่านมา เพื่อจักได้แนวทางการประยุกต์ใช้กับกิจกรรมการพัฒนาชุมชนในมิติของการเรียนรู้และการจัดการสุขภาพที่ดีต่อไป

2.4.1 ย้อนรอยการแพทย์กระแสหลัก

การแพทย์กระแสหลัก (Mainstream medicine) ที่มักเรียกกันว่า การแพทย์สมัยใหม่ หรือการแพทย์แผนปัจจุบัน (Conventional medicine) หรือการแพทย์แบบวิทยาศาสตร์ (Scientific medicine) นั้นได้รับการยอมรับในฐานะกระบวนการหลักในการดูแล รักษาสุขภาพของผู้คนในสังคม ผลสำเร็จของการแพทย์แผนปัจจุบันนั้นนับว่า เป็นประโยชน์ต่อการรักษาสุขภาพและการดูแลชีวิตมนุษย์เป็นอย่างมาก จากการรายงานขององค์การอนามัยโลก [158] พบว่า ทารกที่เกิดมามีโอกาสรอดชีวิตมากขึ้นกว่าในอดีต การแพทย์สมัยใหม่สามารถลดอัตราการตายของทารกและเด็กอายุต่ำกว่าห้าปี (Under-five mortality rates) เป็นอย่างมาก จากในปี ค.ศ. 1960 มีอัตราการตายของทารกและเด็กอายุต่ำกว่าห้าปี ประมาณ 360 คนต่อจำนวนประชากร 1000 คน และค่อยๆ ลดลง จนในปี ค.ศ. 2005 อัตราการตายของทารกและเด็กอายุต่ำกว่าห้าปี มีประมาณ 120 คนต่อจำนวนประชากร 1000 คน และมีแนวโน้มที่จะลดลงไปโดยลำดับ ประการต่อมา มนุษย์ในสังคมปัจจุบันมี

---

[157] Hershel Raff, Michael Levitzky, **Medical Physiology A Systems Approach**, p.4.

[158] World Health Organization, **World Health Statistics** 2007, p. 10.-23

อายุยืนยาวมากขึ้น โดยมีค่าอายุขัยเฉลี่ย (Life expectancy at birth) เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จากในปี ค.ศ.1995 ค่าอายุขัยเฉลี่ยของมนุษย์อยู่ที่ 48 ปี พอถึงปี ค.ศ. 2005 อายุเฉลี่ยอยู่ที่ 64 ปี สำหรับเพศชาย และ 68 ปีสำหรับเพศหญิง (ส่วนประเทศไทยอายุเฉลี่ยในปี ค.ศ.2005 เพศชาย 67 ปี และเพศหญิง 73 ปี) ซึ่งเพิ่มขึ้นอย่างมากจากอดีต นอกจากนี้ ยังพบเห็นความสำเร็จของวงการแพทย์และสาธารณสุขในมิติต่างๆ ในการคิดค้นวิธีการในการรักษาพยาบาล การจัดการด้านสุขาพ และการค้นพบยาใหม่ๆ ที่ใช้ในการรักษาโรคหรือความเจ็บป่วย เช่น ความสำเร็จในการโคลนนิ่ง (Cloning) การรักษาโรคด้วยสเตมเซลล์ (Stem cell) เป็นต้น จนทำให้เข้าใจว่า แนวคิดและกระบวนทางการแพทย์และการสาธารณสุขสมัยใหม่สามารถทำให้มนุษย์มีสุขภาพที่ดีขึ้น สามารถเอาชนะโรคและธรรมชาติได้ จนทำให้หลายฝ่ายเกิดมีทิฏฐิว่า การแพทย์และสาธารณสุขเหล่านี้เป็นที่พึ่งอันปลอดภัยต่อชีวิต ทำให้ชีวิตอยู่ได้อย่างมีความสุข ปราศจากความเจ็บไข้ได้ป่วยอันทุกข์ทรมาน และสามารถมีชีวิตที่ยั่งยืนยาวนาน ห่างไกลจากความเจ็บป่วยหรือแม้กระทั่งความตายได้มากขึ้น ตามความก้าวหน้าของเทคโนโลยี ระบบการแพทย์และสาธารณสุขที่ทันสมัย จนทำให้ผู้คนบางส่วนไว้ใจ เชื่อมั่น และได้ฝากชีวิตทั้งหมดไว้ภายใต้ระบบการแพทย์และสาธารณสุขสมัยใหม่

ดังนั้น เมื่อมนุษย์เจ็บป่วยด้วยอาการต่างๆ ระบบการแพทย์ก็ดำเนินการรักษา ดูแลสุขภาพด้วยวิธีการทางวิทยาศาสตร์ และเน้นการรักษาโรคทางกายมากกว่าการรักษาโรคทางใจ ดังเช่น เมื่อมีการป่วยอาการทางจิตไม่ว่าจะเป็นอาการหดหู่ ซึมเศร้า กระวนกระวาย เป็นต้น แพทย์ก็จะก็วินิจฉัยด้วยค่าต่างๆ ของสารเคมีและสารสื่อกระแสระบบประสาทในสมอง หากพบว่า มีสารเคมีในสมองที่ผิดปกติไป ก็แก้ไขด้วยการใช้ยาซึ่งก็คือสารเคมีต่างๆ เพื่อนำเข้าไปทดแทนสารเคมีในสมองที่ผิดปกติ หรือใช้ยาหรือสารเคมีเพื่อเข้าไปยับยั้งการทำงานของสารสื่อกระแสประสาทที่แพทย์วินิจฉัยว่าผิดปกตินั้นๆ ซึ่งทั้งหมดเป็นเพียงการควบคุมอาการของความผิดปกติทางกาย แต่มิได้เป็นการแก้ไขบำบัดรักษาความผิดปกติในทางจิตโดยตรง เป็นการปฏิบัติการรักษาทางจิตเวชแบบมาตรฐานที่เป็นไปตามกระแสการรักษาสุขภาพแบบวิทยาศาสตร์ เมื่อแพทย์มองสิ่งต่างๆ รวมทั้งผู้ป่วยในลักษณะประจักษ์ ย่อมเป็นระบบที่ให้ความสนใจในการแก้ปัญหาทางกายภาพเป็นหลัก ด้วยเพราะสามารถวัดผลได้ในเชิงประจักษ์ ทำให้ขาดความสนใจต่อผู้ป่วยในฐานะมนุษย์ที่มีจิตใจ อารมณ์ ความรู้สึก และขาดศิลปะแห่งการเยียวยาที่ควบคู่กับการรักษา มีการจัดระบบระเบียบต่างๆ เพื่อความสะดวกในการรักษาของแพทย์ แต่กลับส่งผลกระทบต่อความรู้สึกของผู้ป่วยและญาติ เช่น การจำกัดเวลาเยี่ยมผู้ป่วยของญาติและผู้ใกล้ชิด เป็นต้น การขาดศิลปะแห่งการเยียวยานี้เองอาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดการฟ้องร้องต่อแพทย์กับผู้ป่วยและญาติ ที่มีจำนวนเพิ่มมากขึ้นในปัจจุบัน [159] (แนวคิดการแพทย์แบบวิทยาศาสตร์นั้น มีลักษณะและทัศนะแบบลดทอนและแยกส่วน มองสิ่งต่างๆ ลงลึกในรายละเอียด จนขาดการมองบริบทของสิ่งแวดล้อมต่างๆ ขาดความเป็นองค์รวม ทำให้ระบบไม่สามารถแก้ไขปัญหาสุขภาพซึ่งซับซ้อนมีความเกี่ยวข้องกับมิติอื่นๆ เช่น มิติทางสังคม ปัจจุบันมีลักษณะสังคมแบบบริโภคที่เห็นชัดคือ โรคอ้วน (Obesity) หรือ โรคโภชนาการเกิน (Over Nutrition) เกิดจากการบริโภคเกินพอดี โรคอ้วนก็เป็นปัจจัยเสี่ยงอันทำให้เกิดโรคอื่นๆ ตาม เช่น หัวใจ ความดัน เบาหวาน เป็นต้น หรือ การบริโภคสุราและการสูบบุหรี่ ซึ่งก็เป็นปัจจัยเสี่ยงให้เกิดโรค

---

[159] ภินันท์ สิงห์กฤตยา,การประยุกต์ใช้กระบวนทัศน์และกระบวนการสร้างเสริมสุขภาพตามแนวพระพุทธศาสนา, 2553. หน้า 64

ต่างๆ ตามมาอีกมาก ปัญหาความเครียดจากการใช้ชีวิตปัจจุบัน ซึ่งส่งผลถึงการทำงานของร่างกาย เกิดโรคต่างๆ หรือถึงขั้นฆ่าตัวตาย หรือ โรคอันเกี่ยวเนื่องกับขาดการเรียนรู้ ขาดความเข้าใจในการรักษาสุขภาพทั้งหมดนี้ เป็นภาพที่เห็นได้อย่างชัดเจนว่า การแพทย์ซึ่งมองมนุษย์เป็นจักรกลที่ซับซ้อนหรือทางกายภาพเพียงอย่างเดียวไม่สมารถแก้ปัญหาสุขภาพได้ทั้งหมด เพราะเป็นการแก้ปัญหาที่ปลายเหตุเท่านั้น เมื่อการแพทย์มีทัศนะแบบแยกส่วนจึงทำให้เกิดผู้เชี่ยวชาญเฉพาะด้าน (Specialization) เกิดระบบการแพทย์ที่ประกอบไปด้วยผู้เชี่ยวชาญต่างๆ จากเดิมในยุคเริ่มแรกมีเพียงแพทย์ ต่อมาภายหลังเกิดการแบ่งแยกเป็นวิชาชีพต่างๆมากมาย ทั้ง เวชกรรม ทันตกรรม เภสัชกรรม การพยาบาล การแพทย์แผนไทย การแพทย์ทางเลือก หรือแม้แต่แพทย์เองก็มีระบบความเชี่ยวชาญเฉพาะขึ้น เกิดศัลยแพทย์ แตกย่อยเป็นศัลยแพทย์สมอง เป็นต้น ระบบความชำนาญพิเศษนี้เอง เมื่อมองผู้ป่วยย่อมมองเป็นชิ้นส่วนย่อยๆ แยกชีวิตเป็นเสี่ยงๆ ไม่ได้มองบุคคลในลักษณะองค์รวม เมื่อทำการรักษาก็ทำการรักษาอวัยวะเฉพาะส่วน แม้แต่อวัยวะชิ้นเดียวกันนี้เองก็มีการแบ่งรูปแบบการรักษาเป็น ด้วยยา (อายุรแพทย์) ด้วยการผ่าตัด (ศัลยแพทย์) เป็นต้น การรักษาที่มุ่งไปที่อวัยวะตามความเชี่ยวชาญของตนนี้เอง ทำให้ระบบการแพทย์หรือแพทย์เองลืมไปว่า กำลังรักษาคนอยู่ จนเกิดคำพูดที่ว่า “เอาแต่แก้ไข้ ไม่ได้รักษาคน” ระบบความเชี่ยวชาญนี้เองทำให้ขาดการมองถึงบริบทที่เกี่ยวข้องการรักษาจึงขาดตอนเป็นส่วนๆ ไม่เป็นไปโดยตลอดทั้งขบวนการ เกิดมิติการรักษาที่คับแคบทั้งสัมพันธ์ไปถึงค่าใช้จ่ายในการรักษาที่มากขึ้นและที่สำคัญที่สุดแล้ว คือ ไม่สามารถมองเห็นคนไข้เป็นมนุษย์ที่มีจิตใจ อารมณ์ ความรู้สึกเป็นพื้นฐานของชีวิต

การแพทย์กระแสหลักที่มีโลกทัศน์แบบแยกส่วน กลับกลายเป็นสิ่งที่ไม่เอื้อต่อภาวะสุขภาพ (Unhealthy) เพราะเมื่อพิจารณาโดยความหมายของคำว่า สุขภาพ (health) และ ทั้งหมด (whole รวมทั้ง hale, heal และ holy) คำทั้งหมดล้วนมีรากศัพท์ในภาษาอังกฤษโบราณว่า “hal” หมายถึง ความปกติสุข สมบูรณภาพ และสุขภาพ นั่นคือ ความปกติสุขที่หมายรวมถึง สมดุลระหว่างองค์ประกอบต่างๆ ภายในหน่วยชีวิต ระหว่างหน่วยชีวิต และระหว่างชีวิตทั้งหลายกับสรรพสิ่งทั้งหลายแวดล้อม[160] ความผสานกลมกลืนอย่างแยกไม่ได้ของสรรพสิ่งทั้งหลายนี้เองที่ได้สูญหายไปจากโลกทัศน์แบบจักรกลหรือแบบแยกส่วนที่มีความพยายามจะแยกสัมพันธภาพอันสมดุลของสรรพสิ่งออกจากกัน เมื่อความสัมพันธ์ที่เชื่อมโยงร้อยเรียงกันอย่างสมดุลถูกแบ่งแยกและลดทอน ภาพสะท้อนที่ประจักษ์ชัด คือ เกิดความเจ็บไข้ได้ป่วย ความไม่ปกติสุขของทั้งร่างกายและจิตใจ ซึ่งดำเนินควบคู่ไปกับปัญหาทางสังคม เช่น ปัญหาการจราจรติดขัดคับคั่งในเมืองหลวง ปัญหาด้านมลภาวะ ความเป็นพิษของอากาศ ผืนดิน และแหล่งน้ำ จากสารเคมี สารพิษและกัมมันตรังสี เป็นต้น ซึ่งล้วนเป็นอันตรายต่อการดำรงอยู่ของสรรพสิ่งบนโลกและมีความร้ายแรงเพิ่มขึ้นจนยากต่อการจัดการของมนุษย์หรือมีภาระในการดูแลสิ่งเหล่านี้เพิ่มมากขึ้นทั้งในด้านงบประมาณและนโยบายการจัดการของภาครัฐและประชาชน

---

[160] การแพทย์กระแสหลัก.(ออนไลน์).สืบค้นจาก : http://www.merriam-webster.com/dictionary/health, [1 มีนาคม 2561].

2.4.2 แนวคิดการแพทย์กระแสหลักสู่แนวคิดสุขภาพองค์รวม

ท่ามกลางกระบวนทัศน์แบบวิทยาศาสตร์ที่แพร่ขยายครอบคลุมไปทั่วโลก ก็ได้เกิดแนวคิดใหม่ที่มีทัศนะต่อสรรพสิ่งอย่างกว้างขวางหลากหลายแทนที่ทัศนะอันเดิม โดยมองว่าสรรพสิ่งมีสายใยแห่งความสัมพันธ์ การเกื้อกูล ความเป็นเหตุปัจจัยแก่กันและกันของสรรพสิ่ง แทนที่การมองตนเองแยกส่วนจากสิ่งแวดล้อม จนเกิดความปรารถนาแห่งการเอาชนะที่ตั้งอยู่อย่างโดดเดี่ยว ตีบตัน และไร้ทางออก มีความพยายามในการเปลี่ยนแปลงแนวคิดที่ยึดโยงกับกระบวนทัศน์แบบวิทยาศาสตร์เชิงจักรกล สู่กระบวนทัศน์แบบองค์รวม ที่มองสรรพสิ่งเป็นเครือข่าย ต่างพึงพิงอิงกัน (Interdependent) โดยมองว่าสรรพสิ่งในตัวเราและสิ่งรอบข้างนั้น เป็นส่วนหนึ่งขององค์ประกอบต่างๆ ที่มาบรรจบกันแล้วก่อรูปและสร้างกระบวนการจนเป็นข่ายใยชีวิต (web of life) ที่ปรากฏอัตลักษณ์หรือภาพแห่งความเคลื่อนไหวที่มีความสัมพันธ์กับสิ่งต่างๆ โดยที่เราอาจลืมนึกถึงความเป็นจริงแห่งข่ายใยชีวิตในมิติแห่งความสัมพันธ์อันนั้น สรรพสิ่งในตัวเราและสิ่งต่างๆ ในโลกและสากลจักรวาลนั้น เกิดขึ้นด้วยการพึ่งพาอาศัยซึ่งกันและกัน ไม่มีสิ่งใดจะเกิดขึ้นอย่างโดดเดี่ยว ทุกสิ่งมีที่มา มีที่ไป มีเหตุ มีปัจจัย เมื่อเหตุและปัจจัยเกิดขึ้นพร้อมกันอย่างเกื้อกูล ย่อมเป็นปัจจัยที่ก่อให้เกิดสิ่งใหม่ และสิ่งใหม่ก็สร้างเส้นทางการเชื่อมโยงกับสิ่งเก่าและสรรพสิ่งอย่างไม่มีที่สิ้นสุด ทุกอย่างเป็นกระบวนการที่โยงใย สลับซับซ้อน เป็นเครือข่าย (network) ที่เชื่อมโยงจากสิ่งเล็ก ๆ และภายในสิ่งเล็กๆ ก็มีการเกาะเกี่ยวกันอย่างน่าอัศจรรย์ ทั้งนี้ เพื่อการจัดการที่เป็นระบบ ถึงแม้ว่าจะมีความไร้ระเบียบอยู่แต่ก็สามารถจัดการตามเหตุผล และปัจจัยของสิ่งเหล่านั้น แนวคิดนี้มีอิทธิพลต่อการจัดการดูแลสุขภาพด้วย กลายเป็นการจัดการสุขภาวะภายใต้แนวคิดแบบองค์รวม ซึ่งมีความหมายที่กว้างกว่าการมีสุขภาพชีวิตที่ดี หรือ ความปราศจากโรค แต่หมายถึงองค์รวมของชีวิตทั้งหมดที่เป็นปกติสุขหรือสมบูรณ์ เช่นเดียวกับที่องค์การอนามัยโลกได้กำหนดนิยามของสุขภาพไว้ว่า ภาวะแห่งความสมบูรณ์พร้อมของร่างกาย จิตใจ และสังคม ดังนั้น สุขภาพจึงมิได้หมายความเฉพาะเพียงแต่การไม่เป็นโรคหรือทุพลภาพเท่านั้น แต่เป็นการจัดการเพื่อความสมดุลของชีวิตและการใช้ชีวิตที่เหมาะสม คำว่า องค์รวม หมายถึง ทั้งหมด (all) ตลอดทั้งหมด (entire) รวมทั้งหมด (total) เป็นแนวคิดที่ว่าคุณสมบัติทั้งหมดที่เป็นปัจจัยก่อให้เกิดระบบหนึ่งทั้งทางชีววิทยา สังคม เศรษฐกิจ จิตใจ ภาษา และอื่นๆ ซึ่งไม่สามารถกำหนดหรืออธิบายได้ โดยอาศัยผลรวมของส่วนประกอบต่างๆ ของสรรพสิ่งเข้าด้วยกัน โดยจะเป็นระบบทั้งหมด (whole) ที่เป็นตัวกำหนดแนวทางความสำคัญให้แต่ละส่วนได้แสดงคุณสมบัติออกไป ซึ่งหลักการทั่วไปของความเป็นองค์รวมนั้น เป็นแนวคิดที่สรุปรวบยอดมาจากหลักอภิปรัชญา (Metaphysics) ของอริสโตเติล (Aristotle) ที่ว่า “ทั้งหมดเป็นมากกว่าผลรวมของส่วนต่างๆ ของมันเอง” แนวคิดองค์รวม คือ ทัศนะที่ถือว่าการที่จะอธิบายหรือเข้าใจเรื่องใดเรื่องหนึ่งนั้นจะต้องถึงภาพรวมของสิ่งนั้นไว้ก่อนโดยแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งนั้นกับสิ่งที่เกี่ยวข้องที่มีความสัมพันธ์กันอย่างเป็นหนึ่งเดียว[161] วามเป็นองค์รวมหมายถึง ความเป็นหนึ่งอันเกิดจากความเชื่อมโยงอย่างสอดคล้องขององค์ประกอบต่าง ๆ สิ่งที่ตามมาก็คือคุณภาพใหม่ที่พิเศษไปจากคุณภาพขององค์ประกอบย่อย ๆ ทั้งหลาย พระไพศาล วิสาโล [162]ตัวอย่างที่ช่วยให้เห็นคุณสมบัติดังกล่าวชัดเจน ได้แก่ ออกซิเจน และไฮโดรเจน ต่างเอื้อต่อการเกิดไฟ แต่เมื่อมารวมกันเป็นน้ำ ก็ได้คุณภาพ

[161] (ออนไลน์).สืบค้นจาก : http://en.wikipedia.org/wiki/Holism, [1 มีนาคม 2561].

[162] (ออนไลน์).สืบค้นจาก : http:// www.visalo.org., [1 มีนาคม 2561].

ใหม่ที่สามารถดับไฟได้ หรือแสงเจ็ดสีเมื่อมารวมกันจะได้แสงสีขาว ซึ่งเป็นสีที่พิเศษไปจากสีทั้งเจ็ด ส่วนสุขภาพองค์รวม หมายถึงสุขภาพที่ครอบคลุมทุกมิติของชีวิต เป็นสุขภาวะโดยรวมอันเกิดจากสุขภาวะทางกาย จิต และสังคม ซึ่งต่างเชื่อมโยงสัมพันธ์กันอย่างใกล้ชิดยากที่จะแยกออกจากกันเป็นส่วน ๆ หรืออย่างโดด ๆ ได้ คำว่าองค์รวมนั้น ได้ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางหลากหลายสาขาวิชา ได้กล่าวแสดงทัศนะองค์รวมไว้ว่า หมายถึงทัศนะที่ถือว่า ความเป็นจริงของสิ่งใด ย่อมเป็นคุณสมบัติสำคัญเฉพาะตน ซึ่งไม่สามารถเข้าใจได้โดยการแยกสิ่งนั้นออกเป็นส่วนย่อยๆ แล้วศึกษาคุณสมบัติของส่วนย่อยนั้นๆ แม้จะเอาคุณสมบัติของส่วนย่อยๆ นั้นมารวมกันก็ไม่สามารถเทียบความหมาย หรือความสำคัญกับคุณสมบัติขององค์รวมเดิมได้ และเมื่อมองเข้าสู่ระบบสุขภาพในความหมายที่เป็นที่ทราบกันโดยทั่วไปหมายความถึง สภาพร่างกายที่อยู่ในระดับที่ปราศจากโรคภัยไข้เจ็บ หรือเป็นสภาพของการมีชีวิตที่ดี[163] หรือ “ภาวะที่ปราศจากโรคภัยไข้เจ็บ” ในความหมายที่กว้างกว่านั้น คือ “(1) สภาพทางร่างกายหรือจิตใจของคน และ (2) สภาพของการมีสุขภาพที่ดีทั้งทางร่างกายและจิตใจ นั้นก็คือ สุขภาพตามที่บุคคลโดยทั่วไปเข้าใจร่วมกัน คือ การมีร่างการแข็งแรง ปราศจากโรค หรือที่เข้าใจกันในมิติที่กว้างกว่านั้น คือ การมีทั้งร่างกายและจิตใจที่แข็งแรง ปราศจากโรคซึ่งนับได้ว่ายังไม่สมบูรณ์ โดยนัยแล้ว ความเป็นองค์รวม คือ ชีวิตของมนุษย์ทั้งหมดที่เป็นปกติสุขและมีความสมบูรณ์ องค์การอนามัยโลก (World Health Organization หรือ WHO) ได้นิยามความหมายของคำว่าสุขภาพ หรือ สุขภาวะ (Well being) ไว้ตั้งแต่ พ.ศ.2491 ว่า สุขภาพ คือ “ภาวะแห่งความสมบูรณ์พร้อมของร่างกาย จิตใจ และสังคม และมิได้หมายความเฉพาะเพียงแต่การไม่เป็นโรคหรือทุพลภาพเท่านั้น” และ “ปัจจุบันสุขภาพในมิติทางจิตวิญญาณหรือ สุขภาวะทางจิตวิญญาณได้ถูกยอมรับเพิ่มเติมเข้าไป”[164]โดย “สุขภาวะทางกาย หมายถึง การปราศจากโรคหรือทุพพลภาพ สุขภาวะทางใจ หมายถึง การมีความสบายใจ มีความร่าเริงแจ่มใส ไม่เครียด หรือทุกข์ร้อนใจ สุขภาวะทางสังคม หมายถึง การปลอดพ้นจากความบีบคั้นทางสังคม เช่น ความไม่เป็นธรรมทางสังคม การกดขี่ขูดรีด การดูถูกเหยียดหยาม หรือความรุนแรงอื่นๆ และ สุขภาวะทางจิตวิญญาณ ยังเป็นมิติที่ยากที่จะให้คำจำกัดความที่แน่ชัดลงไป" และ สุขภาพ (Health) คือ ขอบข่ายความสามารถอย่างต่อเนื่องทั้งทางร่างกาย อารมณ์ จิตใจ และสังคมของคนๆ หนึ่งที่จะรับมือกับสภาพแวดล้อม สุขภาพดีนั้นยากที่จะให้คำจำกัดความยิ่งกว่าสุขภาพไม่ดีซึ่งสามารถบอกได้จากการปรากฏโรคต่างๆ เพราะคำว่าสุขภาพดีไม่ใช่เพียงแต่การไม่มีโรค แต่ต้องสื่อถึงแนวคิดในเชิงบวกมากกว่านั้น ระหว่างความมีสุขภาพดีกับความมีโรคภัยก็ยังมีความปลีกย่อยแตกต่างกันไปอีก เช่น บางคนอาจมีสุขภาพร่างกายดีแต่เป็นหวัดหรือป่วยทางจิต บางคนอาจดูเหมือนสุขภาพดีแต่มีภาวะร้ายแรง เช่น มะเร็งซ่อนอยู่ซึ่งการตรวจร่างกายหรือทดสอบวินิจฉัยเท่านั้นจะบอกได้ หรืออาจตรวจไม่พบเลยไม่ว่าจะด้วยวิธีใด

พระไพศาล วิสาโล มองว่า แนวคิดเรื่องสุขภาพองค์รวม มาจากความคิดพื้นฐานที่ว่ามนุษย์แต่ละคนนั้นประกอบด้วยกายและใจ ขณะเดียวกันก็มิอาจแยกตัวอยู่โดด ๆ ได้ หากยังต้องมีความสัมพันธ์กับผู้คน เริ่มจากพ่อแม่ ญาติพี่น้องไปจนถึงผู้คนในสังคม ด้วยเหตุนี้ กายและใจจะต้องสัมพันธ์กันด้วยดี ควบคู่ไปกับความสัมพันธ์ทางสังคม ถึงจะทำให้ชีวิตมีความเจริญงอกงามหรือมี

---

[163] Cambridge University, Cambridge Advanced Learner’s Dictionary, 2003), p. 580.)

[164] (Ottawa Charter for Health Promotion. WHO, Geneva, 1986. อ้างใน สถาบันวิจัยระบบสาธารณสุข, 2541, หน้า 2.)

สุขภาพที่ดีได้ โดยมิได้มองว่า สุขภาพ หมายถึง ความปลอดโรค (disease) เท่านั้น เพราะแม้จะปลอดโรคหรือปัจจัยทางกายภาพที่เป็นตัวก่อโรค (pathogen) เช่น เชื้อโรค สารพิษ ก็ใช่ว่าบุคคลจะมีสุขภาพหรือสุขภาวะที่ดีได้ มีผู้ป่วยไม่น้อยที่รู้สึกอ่อนเพลีย เวียนหัว ทั้ง ๆ ที่อวัยวะทุกอย่างเป็นปกติ บางคนหูหนวก ตาบอด หรือเป็นอัมพาต โดยไม่พบรอยโรคหรือความผิดปกติของอวัยวะที่เกี่ยวข้อง แต่เมื่อสาวหาสาเหตุกลับพบว่าต้นตออยู่ที่จิตใจ เช่น ความเครียด ภาวะกดดันในจิตไร้สำนึก ซึ่งอาจสืบเนื่องจากปัญหาความสัมพันธ์กับผู้ใกล้ชิด แนวคิดแบบสุขภาพองค์รวมมองว่า โรคนั้นมิได้เกิดจากสาเหตุใดสาเหตุหนึ่งโดด ๆ แม้กระทั่งโรคติดเชื้อ ก็มีสาเหตุมาจากปัจจัยอื่นนอกจากตัวเชื้อโรคเอง กล่าวอีกนัยหนึ่งสุขภาพองค์รวมมีทัศนะว่า โรคแต่ละโรคนั้นเกิดจากหลายสาเหตุ มีหลายองค์ประกอบเข้ามาเกี่ยวข้อง และองค์ประกอบเหล่านั้นมิได้มีแค่องค์ประกอบทางกายภาพ (เช่น เชื้อโรค สารพิษ)เท่านั้น หากมักมีองค์ประกอบทางด้านจิตใจและความสัมพันธ์ทางสังคมเข้ามาเกี่ยวข้องด้วยเสมอ ดังเช่น ความเครียดมักจะเกี่ยวข้องกับความสัมพันธ์ทางสังคม ความเจ็บป่วยของผู้ที่ไปหาหมอร้อยละ 60-90 เป็นเรื่องกาย-ใจ และเกี่ยวข้องกับความเครียด (Wallis:39) แม้กระทั่งโรคติดเชื้อทัศนะแบบองค์รวมก็เห็นว่ามิได้เกิดจากเชื้อโรคหรือจุลชีพอย่างเดียว หากยังเกี่ยวข้องกับระบบภูมคุ้มกันในร่างกาย หากระบบภูมิคุ้มกันเป็นปกติหรือทำงานได้ดี เชื้อโรคก็ไม่สามารถทำให้เกิดความเจ็บป่วยได้ ดังเห็นได้ว่าคนปกตินั้น มีเชื้อโรคหลายอย่างอยู่ในร่างกาย แต่ก็ไม่เจ็บป่วย ทั้งนี้เนื่องจากระบบภูมิคุ้มกันสามารถควบคุมเชื้อโรคนั้นไม่ให้ออกฤทธิ์ได้

สุขภาพของบุคคลแม้กระทั่งในทางกายนั้น ผูกพันแนบแน่นกับสุขภาวะทางใจและทางสังคม จิตใจที่แช่มชื่น เป็นสุข ไม่เครียด ความสัมพันธ์ที่ราบรื่น ไม่ร้าวฉาน เป็นปัจจัยสำคัญต่อสุขภาพของบุคคล หากมีปัญหาทางจิตใจและความสัมพันธ์ทางสังคมแล้ว บุคคลก็สามารถล้มป่วยได้ โดยที่การล้มป่วย (illness) นั้นอาจไม่เกี่ยวข้องกับโรค (disease)เลย ด้วยเหตุนี้การปลอดโรคจึงไม่ใช่หลักประกันแห่งสุขภาพอย่างแท้จริง เพราะถึงแม้ไม่เป็นโรค แต่ก็อาจล้มป่วยได้ด้วยสาเหตุทางจิตใจและความสัมพันธ์ทางสังคม ทัศนะที่ว่า สุขภาพหมายถึงการปลอดโรค จึงไม่ครอบคลุมเพียงพอ นอกจากจะเน้นเฉพาะมิติทางกายภาพแล้ว ยังเป็นการมองสุขภาพในเชิงลบ เพราะสุขภาพที่แท้จริงเกิดจากสภาวะที่เป็นบวกทั้งในทางกาย ใจ และสังคม คือร่างกายแข็งแรง ระบบต่าง ๆ ในร่างกายทำงานได้ดี ใจเป็นสุข แช่มชื่น รู้จักมองในแง่บวก ส่วนความสัมพันธ์กับผู้อื่นก็เป็นไปอย่างราบรื่นกลมเกลียวกัน กระบวนทัศน์ต่อการมองชีวิตและสุขภาพในแนวสุขภาพแบบองค์รวมนั้นมองสุขภาพว่าเป็นเรื่องที่เกี่ยวข้องกับทั้งชีวิตเป็นมากกว่าการเน้นแค่ความเจ็บป่วยหรือการจัดการส่วนใดส่วนหนึ่งของร่างกายโดยจะพิจารณาที่ "ตัวคนทั้งคน" ความเกี่ยวเนื่องของร่างกาย จิตใจ วิญญาณ รวมถึงปัจจัยทางสังคม สิ่งแวดล้อมต่างๆ ที่มีปฏิสัมพันธ์กับคนๆ นั้น ดังนั้น หลักการพื้นฐานของสุขภาพองค์รวม จะต้องมีการดำเนินการที่สอดคล้องกันในทุกมิติ

จากนิยามสุขภาพขององค์การอนามัยโลกจะสามารถเห็นได้อย่างชัดเจนถึงแนวคิด และกระบวนทัศน์สุขภาพที่มีมิติที่กว้างขวางมากขึ้น สำหรับสุขภาพในมิติทางจิตวิญญาณที่ถูกนำมาเพิ่มเติมในภายหลังนั้น แสดงถึงมุมมองที่กว้างขวางและการให้ความสำคัญกับสุขภาพในมิติที่ลึกซึ้งละเอียดอ่อน เป็นการพัฒนามิติของสุขภาพที่ความหมายมากขึ้นกว่าการมีร่างกายที่แข็งแรง จิตใจเข้มแข็ง ไม่มีความทุกข์ร้อนใจ สังคมที่มีความปลอดภัยและเหมาะสมแก่การสร้างความสุขให้แก่ชีวิต ถึงแม้ว่ามนุษย์จะไม่สามารถให้คำนิยามหรือแสดงให้เกิดความเข้าใจในมิติทางจิตวิญญาณได้อย่าง

สมบูรณ์ แต่ก็นับได้ว่าเป็นความก้าวหน้าทางกระบวนทัศน์ที่มนุษย์พยายามก้าวผ่านเส้นแบ่งระหว่างสิ่งที่จับต้องได้ วัดได้ คาดการณ์ได้ อันเป็นกระบวนทัศน์แบบวิทยาศาสตร์ สู่มิติด้านจิตใจส่วนลึก อารมณ์ ความรู้สึก มโนธรรม หรือ ความศรัทธาที่มักมีความสัมพันธ์เกี่ยวเนื่องกับศาสนาอันเป็นนามธรรมยิ่งขึ้น

2.4.3 การเสริมสร้างสุขภาพแบบองค์รวม

จากที่กล่าวไว้ข้างต้นว่า สุขภาพนั้นมีความเกี่ยวข้องใน 4 มิติ คือ สุขภาพทางกาย สุขภาพทางจิต สุขภาพทางสังคม/สิ่งแวดล้อม และสุขภาพทางปัญญา/จิตวิญญาณ ซึ่งแต่ละมิติของสุขภาพล้วนมีปฏิสัมพันธ์ซึ่งกันและกันอย่างเป็นองค์รวมและสมดุลหากสามารถหลอมรวมเป็นกระบวนการที่ต่อเนื่องและเชื่อมโยงกันได้ ดังนั้น นิยามของสุขภาพจึงสามารถสรุปได้ใน 2 นิยาม คือ นิยามในทางบวก (Positive) หมายถึง ความสุข ความสบายของชีวิต และนิยามในทางลบ (Negative) หมายถึง ชีวิตที่ปราศจากโรคภัยไข้เจ็บหรือความไม่มีโรคภัยเบียดเบียน ซึ่งการเสริมสร้างสุขภาพภายในกรอบคิดด้านการแพทย์และการสาธารณสุขนั้นได้จำแนกกระบวนงานด้านสุขภาพออกเป็น 4 ประเภท คือ

1) การส่งเสริมสุขภาพ (Health promotion)

2) การป้องกันโรค (Disease control and prevention)

3) การวินิจฉัยและรักษาพยาบาล (Prompt diagnosis and treatment) และ

4) การฟื้นฟูสมรรถภาพ (Rehabilitation medicine)

กระบวนการดังกล่าวสอดคล้องกับแนวคิดด้านการสร้างเสริมสุขภาพของการแพทย์กระแสหลักที่กำหนดโดยองค์การอนามัยโลก (WHO) ว่าประกอบด้วย 5 ด้าน คือ (1) การส่งเสริมสุขภาพ (Promotive medicine) (2) การป้องกันโรค (Preventive medicine) (3) การรักษาโรค (Curative medicine) (4) การจำกัดหรือป้องกันความพิการ (Disability limitation) และ (5) การฟื้นฟูสมรรถภาพของคนไข้ (Rehabilitation medicine) [165] กระบวนงานด้านสุขภาพทั้ง 4 กระบวนงาน หรือแนวคิดการด้านการสร้างเสริมสุขภาพของการแพทย์กระแสหลัก 4 ด้านนี้ สามารถสรุปเป็นหลักการสร้างเสริมสุขภาพได้ 2 ด้านใหญ่ๆ คือ

1) หลักการดูแลสุขภาพในยามปกติเมื่อยังไม่เกิดการเจ็บป่วย ซึ่งเป็นการเสริมสร้างสุขภาพ หรือการป้องกันและควบคุมไม่ให้เกิดโรค มีวิธีการที่หลากหลาย เช่น การออกกำลังกายเป็นประจำสม่ำเสมอ การรับประทานอาหารที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ มีความครบถ้วน มีความหลากหลาย มีความเพียงพอต่อความต้องการของร่างกาย และมีความพอเพียงไม่มากเกินไปจนก่อให้เกิดโรค การให้วัคซีนเพื่อป้องกันการเกิดโรค และความเจ็บป่วยต่างๆ การลด ละ เลิก บุหรี่ และเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์ การหลีกเลี่ยงการบริโภคสิ่งที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ เป็นต้น ตลอดรวมไปถึงการตรวจร่างกายอย่างสม่ำเสมอเพื่อค้นหาการเจ็บป่วยที่จะเกิดขึ้นระยะต้นๆ เป็นการป้องการเจ็บป่วยที่เกิดขึ้นไม่ให้รุนแรงมากขึ้นอันจะนำไปสู่การเจ็บป่วยเรื้อรัง

---

[165] (ออนไลน์).สืบค้นจาก : http://www.redcross.or.th/aboutus/repair.php4, [1 มีนาคม 2561].

2) หลักการรักษาโรคเมื่อเกิดการเจ็บป่วย หรือ การรักษาพยาบาลฟื้นฟูสุขภาพให้กลับมาเป็นปกติ มีลักษณะเด่นที่มุ่งเน้นการค้นหาโรค ซึ่งเป็นอาการหรือความผิดปกติของอวัยวะใดอวัยวะหนึ่งในร่างกาย เป็นระบบการทำงานทางชีวกลไกที่ผิดปกติที่ต้องตรวจวัดทางคลินิกได้ การแพทย์กระแสหลักจึงถือเรื่องโรคเป็นหลัก หรือทฤษฎีโรค จะกระทำรักษาโดยผู้เชี่ยวชาญสาขาต่างๆ ที่มีความชำนาญเฉพาะโรคหรือที่มีความชำนาญแบ่งแยกตามระบบของร่างกาย การรักษาจะมุ่งเน้นไปในการใช้เทคโนโลยีเป็นเครื่องมือสำคัญในการรักษาบางครั้งดูเหมือนเป็นกระบวนการที่ใช้แทรกแซงจากภายนอก

กองการแพทย์ทางเลือก กระทรวงสาธารณสุข (2550) ได้กำหนดแนวทางการเสริมสร้างสุขภาพแบบองค์รวม ดังนี้

1) สุขภาพองค์รวมให้คุณค่าของคำว่า "สุขภาพ" ว่าหมายถึง การปรับ แก้ไข และพัฒนาให้เกิดการมีสุขภาวะที่ดีอย่างต่อเนื่อง ไม่ใช่เพียงแค่การไม่เจ็บป่วย

2) สุขภาวะของเราจะเป็นแบบเดียวกับที่วิถีชีวิตของเราเป็น การเลือกบริโภคสิ่งใดเข้าสู่ทั้งทางร่างกายและจิตใจจะมีส่วนกำหนดสุขภาวะกายและใจของบุคคลคนนั้น

3) การป้องกันและส่งเสริมสุขภาพเป็นเรื่องที่สำคัญที่สุด หลักการของสุขภาพองค์รวมจะเน้นการพัฒนาระดับการมีสุขภาพดีให้สูงขึ้นเรื่อยๆ จนให้ดีเยี่ยมถึงที่สุด โดยให้ทบทวนพฤติกรรมในแต่ละวันที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพ

4) สุขภาพองค์รวมเน้นการให้คุณค่าต่อวิถีการดำรงชีวิต ให้ความสำคัญกับกระบวนการทางการศึกษา และสร้างความรับผิดชอบให้แต่ละบุคคลได้พยายามดูแลตนเองให้มีสุขภาวะที่สมดุลและสมบูรณ์

5) เมื่อมีสภาวะความเจ็บป่วย การแพทย์องค์รวม(Holistic Medicine) จะให้หลักการแบบองค์รวมในการแลกเปลี่ยนเรื่องการรักษาและการดูแลสุขภาพกับคนไข้ โดยการเยียวยาแบบธรรมชาติ(Natural Healing System) และพิจารณาปัจจัยทั่วทั้งตัวคนและสถานการณ์ที่เกี่ยวข้อง

ถึงแม้ว่าแนวคิดสุขภาพในปัจจุบันจะปรับเปลี่ยนกระบวนทัศน์สู่แนวคิดสุขภาพองค์รวม ซึ่งประกอบด้วย 4 มิติ คือ มิติทางกาย จิตใจ สังคม และปัญญาตามที่กล่าวแล้ว การรักษาและการเสริมสร้างสุขภาพทั้ง 4 มิตินั้น จะต้องสอดผสาน สนับสนุนส่งเสริมซึ่งกันและกันอย่างเป็นองค์รวม ถึงแม้ว่าปัจจุบันภายใต้กรอบแนวคิดทางการแพทย์กระแสหลักยังคงมุ่งเน้นสุขภาพในมิติทางกาย มีกระบวนการสร้างเสริมสุขภาพโดยการส่งเสริมให้ร่างกายมีสภาพที่สมบูรณ์ แข็งแรง ปราศจากโรค การดูแลสุขภาพ การรับประทานอาหาร การออกกำลังกาย การให้วัคซีนเพื่อป้องกันโรคเป็นหลัก และเมื่อร่างกายเจ็บป่วยขึ้นแล้วก็มีกระบวนการวินิจฉัยและรักษาพยาบาล เพื่อให้ร่างกายฟื้นคืนสภาพจากความเจ็บป่วย ป้องกันไม่ให้เกิดความพิการขึ้นกับร่างกาย และฟื้นฟูสภาพผู้ป่วยให้คืนดีดังเดิม ในขณะที่มิติด้านจิตใจกลับถูกมองไปในลักษณะการทำงานในเชิงชีวเคมี โดยเน้นการศึกษาระบบทำงานอันสลับซับซ้อนของกลไลทางเคมีและชีววิทยาเป็นหลัก ดังนั้น การดูแลรักษาจิตใจก็กลายเป็นการให้การรักษาด้วยสารเคมีเพื่อมุ่งปรับปรุงการทำงานสารเคมีในสมองเท่านั้น

ส่วนมิติทางสังคมและทางปัญญา ถึงแม้จะมีการกล่าวไว้ในพระราชบัญญัติสุขภาพแห่งชาติ พ.ศ. 2550 แล้วก็ตาม แต่ก็ยังคงไม่มีความชัดเจนในทางปฏิบัติเท่าที่ควร มีการละเลยในการดูแลสุขภาพด้านสังคมและปัญญา ส่วนใหญ่จะเป็นเพียงแนวคิดเกี่ยวกับสุขภาพที่ขยายมิติของการ

มองที่ขวางออกไปและมีการส่งเสริมในบางพื้นที่และประเด็นสุขภาพเท่านั้น เนื่องกระบวนการเสริมสร้างด้านสังคมและปัญญานั้นจะต้องใช้กระบวนการและขั้นที่หลากหลายและมีความเกี่ยวข้องกับภาคีต่างๆ ตั้งในระดับชุมชนไปจนถึงระดับนโยบาย ดังนั้น จำเป็นต้องใช้ระยะเวลา การให้ความรู้และกระบวนการที่เหมาะสม ซึ่งในอนาคตจำเป็นต้องมีกระบวนการพัฒนาสังคมและปัญญาร่วมกับภาคส่วนต่างๆ ในมิติของการพัฒนาชุมชนและสังคมต่อไป

แนวคิดสุขภาพองค์รวมมีความสัมพันธ์กับการพัฒนาชุมชนและสังคมในมิติต่างๆ อย่างมากมายและมีความเกี่ยวข้องกับเครือข่ายและสัมชชาสุขภาพในสังคมไทยทั้งในด้านนโยบาย และกระบวนการพัฒนาในระดับบุคคล ชุมชน และเครือข่าย ดังนี้

1. ในระดับบุคคล ตามหลักของการพัฒนาชุมชนที่มีเป้าหมายว่า จะต้องพัฒนาบุคคลให้เป็นผู้ที่รู้เท่าทันกับความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น มีสติปัญญา สามารถพึ่งพาเองทั้งในด้านเศรษฐกิจ สังคม และวัฒนธรรม มีการเรียนรู้ตลอดชีวิต มีสุขภาพทางกายที่สมบูรณ์ มีจิตใจที่เข้มแข็ง สามารถมองปัญหาและระบบการพัฒนาต่างๆ อย่างเป็นองค์รวมและยั่งยืน ดังนั้น จึงมีความสอดคล้องกับการพัฒนาสุขภาพตามแนวคิดสุขภาพองค์รวม คือ การพัฒนาบุคคลใน 4 มิติ ทั้งทางกาย จิตใจ สังคม และปัญญา โดยสามารถดำเนินการได้ ดังนี้

1) การเสริมสร้างสุขภาพทางกาย ในการพัฒนาบุคคลเพื่อให้มีสุขภาพทางกายที่ดีนั้น ควรดำเนินการดูแลร่างกายภายใต้หลักการพื้นฐานที่จะป้องกันไม่ให้โรคหรือทุกขเวทนาเกิดขึ้น และบรรเทารักษาโรคภัยไข้เจ็บที่เกิดขึ้นแล้วให้ลดลง ด้วยการรับประทานอาหารให้ครบถ้วน เหมาะสมกับความต้องการของร่างกาย มีการใช้สอยปัจจัย 4 อย่างเหมาะสม การออกกำลังสม่ำเสมอ มีการรักษาสุขอนามัยส่วนบุคคลอย่างต่อเนื่อง และเมื่อร่างกายเกิดเจ็บป่วยไม่สบายขึ้นก็ให้ทำการรักษา โดยใช้ภูมิปัญญาและกระบวนการของการแพทย์เข้ามาดูแล เช่น การใช้สมุนไพรในการรักษาโรค ใช้วิธีการธรรมชาติบำบัด และใช้กระบวนการของชุมชนมีส่วนร่วมในการดูแลในลักษณะของการปรึกษาหาหรือใช้จิตวิทยาทางสังคมในการเฝ้าระวัง ป้องกันโรคต่างๆ ที่จะเกิดขึ้น เป็นต้น

2) การเสริมสร้างสุขภาพทางจิตซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของชีวิตมนุษย์ จะต้องให้ความสำคัญกับจิตใจของตนเอง ให้จิตใจมีความเข้มแข็ง ผ่อนคลาย ไม่ตึงเครียด และมีความพร้อมในการพัฒนาและยกระดับจิตใจด้านคุณธรรมให้เพิ่มพูนขึ้น พัฒนาจิตใจให้เจริญงอกงามด้วยสติปัญญา โดยมีเป้าหมายสุดท้าย คือ ความไม่เจ็บป่วยทางจิตใจอย่างสิ้นเชิง บรรลุสุขภาพอันสมบูรณ์ หรือมีความอิสระแห่งจิตที่ไม่เป็นทาสของกิเลส ความโลภ ความโกรธ ความหลง และความครอบงำด้านอวิชชา มีจิตที่ปลอดโปร่ง เหมาะสมกับการทำงานในทุกสภาวะ สำหรับความใส่ใจต่อสุขภาพใจนี้ สามารถปรับสภาพจิตใจของบุคคลให้เรียนรู้ มีการพัฒนาจิตใจของตนเองอย่างต่อเนื่องด้วยการเข้าใจถึงสภาพการณ์ที่เป็นจริงในสังคม ในขณะเดียวกันก็ใช้กระบวนการทางสังคมเพื่อเป็นการเยียวยาและเสริมสร้างพลังทางจิตใจของบุคคล เช่น การใช้มิตรภาพ การเอาใจใส่ดูแลซึ่งกันละกันก็จะทำให้บุคคลมีจิตใจที่เข้มแข็ง

3) การเสริมสร้างสุขภาพทางสังคม โดยปกติผู้คนในสังคมจะยอมรับพฤติกรรมของบุคคลที่แสดงออกต่อโลกและชีวิตโดยการไม่สร้างความเดือดร้อนให้แก่ตนเองและผู้อื่น มีจริยธรรมขั้นพื้นฐานในการประกอบกิจกรรมหรือการทำหน้าที่ของตนเอง เป็นผู้ไม่เบียดเบียนบุคคลอื่น หรือสิ่งมีชีวิตอื่นๆ เป็นบุคคลที่สามารถดำรงตนอยู่ด้วยดีในสังคม และสามารถเป็นแบบอย่างเพื่อชักนำ

สังคมสู่ความอยู่เย็น เป็นสุขร่วมกัน สภาพแวดล้อมทางสังคมล้วนมีความสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อบุคคลที่ต้องอยู่ภายในสังคมนั้นๆ เมื่อสภาพแวดล้อมเป็นสังคมที่ดีและเกื้อกูลต่อการพัฒนาบุคคล ทั้งในด้านกายและจิตใจ บุคคลก็จะพัฒนาสังคมให้เกิดการจัดการและคุ้มครองชีวิตที่ดีร่วมกัน ตามหลักการพัฒนาชุมชนการมีส่วนร่วมในการพัฒนาชุมชนและสังคมเป็นที่มีความจำเป็นอย่างยิ่ง ดังนั้น การเสริมสร้างกระบวนการมีส่วนร่วมของบุคคลในการพัฒนาชุมชนทุกขั้นตอนจะทำให้สังคมมีความน่าอยู่ มีการสร้างสรรค์กิจกรรมที่เป็นประโยชน์ต่อชุมชน สังคม และบุคคล และเมื่อเป็นเช่นนั้น ก็จะเป็นการเสริมสร้างสุขภาพทางสังคมในทุกมิติร่วมกัน

4) การเสริมสร้างสุขภาพทางปัญญา เนื่องจากปัญญาของบุคคลและสังคมมีความสำคัญต่อการดำรงชีวิต เมื่อบุคคลมีสติปัญญาที่สมบูรณ์ ย่อมจะเป็นผู้ที่มีสุขภาพที่ดี ดังนั้น การพัฒนาสุขภาพทางปัญญาจะต้องพัฒนาอยู่เสมอด้วยการอ่าน การฟัง คิด การแลกเปลี่ยนเรียนรู้ และปฏิบัติด้านจิตใจที่มาจากหลักการทางศาสนาซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดความรู้แจ้งโลกและสรรพสิ่งทั้งหลายตามความเป็นจริง การเสริมสร้างทางด้านปัญญานั้น จะต้องมาจากการสร้างความรู้ในมิติที่หลากหลาย เมื่อบุคคลมีความรู้ และมีสติปัญญาในการจัดการกับสิ่งต่างๆ อย่างเหมาะสม ก็จะกลายเป็นปัญญาของบุคคลที่จะนำพาบุคคลไปสู่ความงอกงามของการใช้ชีวิต ในขณะเดียวกันก็จะต้องร่วมกันสร้างภูมิปัญญาของสังคมด้วยการแบ่งปันความรู้และกระบวนการที่สอดคล้องกับการเสริมสร้างพลังให้กับชุมชนที่จะนำความรู้และปัญญาของสังคมมาพัฒนาชุมชน สังคมให้มีความก้าวหน้า

พระไพศาล วิสาโล[166] กล่าวว่า ในการบำบัดโรคทางใจหรือโรคทางวิญญาณนั้น การทำสมาธิเพื่อให้จิตสงบ ผ่อนคลาย สามารถช่วยได้ในระดับหนึ่ง แต่ถ้าจะให้ได้ผลอย่างแท้จริงและยั่งยืนต้องอาศัยการเปลี่ยนทัศนคติเพื่อให้เกิดความรู้ความเข้าใจที่ถูกต้องหรือสอดคล้องกับความเป็นจริงซึ่งทางพุทธศาสนาเรียกว่าปัญญา ปัญญานั้นมีหลายระดับเริ่มจากการเห็นว่าความเจ็บป่วยนั้นเป็นธรรมดาของชีวิต ความเข้าใจดังกล่าวช่วยให้ยอมรับความเจ็บป่วยได้ โดยใจไม่ทุกข์ทรมานไปกับอาการดังกล่าวมากนักหรือการเห็นว่าโรคใดๆ ก็ตามไม่น่ากลัวเท่ากับความกลัวต่อโรคนั้น ความสำเร็จของชีวจิตส่วนหนึ่งอยู่ที่การทำให้ผู้ป่วยเห็นว่ามะเร็งไม่ใช่โรคร้ายที่น่าสะพรึงกลัว แม้จะเป็นมะเร็งหรือมีเซลมะเร็งอยู่ในร่างกาย เราก็สามารถมีความสุขได้ และอาจสุขยิ่งกว่าตอนก่อนป่วยด้วยซ้ำ ส่วนปัญญาในขั้นที่สูงขึ้นไปกว่านั้น คือ การเห็นว่าไม่มีอะไรที่จะยึดมาเป็นตัวตนได้ แม้แต่ร่างกายก็ไม่ใช่ของเราจริง ๆ ปัญญาดังกล่าวช่วยให้ปล่อยวางในร่างกาย และไม่ยึดเอาทุกขเวทนาทางกายมาเป็นของตน ดังนั้น แม้จะป่วยกาย แต่ก็ไม่ป่วยใจ ปัญญาที่ละวางความยึดติดในตัวตนนี้ช่วยให้สามารถดำเนินชีวิตอย่างมีความสุข และโปร่งเบา ปลอดพ้นจากความเครียด ความโกรธ ความริษยา ความแข่งดี ความถือตัว เป็นต้น ปัญญาที่พัฒนาเต็มขั้นย่อมทำให้เป็นอิสระจากโรคทางใจได้อย่างสิ้นเชิง สุขภาวะหรือสุขภาพที่เกิดจากปัญญาดังกล่าว อาจเรียกว่าสุขภาวะทางปัญญาได้ [167]

โดยสรุปการรักษาสุขภาพแบบองค์รวมมี 4 ด้าน คือ

---

[166](ออนไลน์).สืบค้นจาก : www.visalo.org.[1 มีนาคม 2561].

[167] โกมาตร จึงเสถียรทรัพย์, 2548 น.50

1) ด้านกาย ได้แก่ การฟื้นฟูและรักษาร่างกายทั้งระบบ โดยอาศัยยา กระบวนการบำบัดทางกาย ตลอดจนการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมอาทิ การกิน การนอน การพักผ่อน การออกกำลังกาย และการทำงาน

2) ด้านจิต ได้แก่ การผ่อนคลายจิต ทำให้เกิดความสงบ แช่มชื่น ผ่องใส มีเมตตา และกำลังใจ ไม่ท้อแท้สิ้นหวัง

3) ด้านปัญญา ได้แก่ การเปลี่ยนทัศนคติเกี่ยวกับโรคและชีวิต เพื่อละวางความติดยึดและเป็นอิสระจากความผันผวนปรวนแปรของชีวิต

4) ด้านสังคม ได้แก่ การมีความสัมพันธ์ที่ราบรื่นกับผู้อื่น มีครอบครัว ญาติมิตร หรือชุมชนที่พร้อมเป็นกำลังใจให้ความช่วยเหลือ มีความเอื้ออาทรต่อกัน

กองการแพทย์ทางเลือก กระทรวงสาธารณสุข ระบุถึงเทคนิควิธีการพื้นฐานในการเยียวยาสุขภาพแบบองค์รวมว่า น่าจะประกอบด้วยวิธีการที่สำคัญ ดังนี้

1) อาหารและโภชนาการ

2) การผ่อนคลายความเครียด

3) การเยียวยาทางจิตใจและการทำสมาธิ

4) การหลีกเลี่ยงสิ่งแวดล้อมที่ไม่เอื้อต่อสุขภาพ

5) การพักผ่อนที่เพียงพอ

6) การออกกำลังกายที่เหมาะสมกับวัย เพศ และสภาพร่างกาย

7) การแบ่งปันความรัก และสร้างสัมพันธภาพระหว่างคนรอบข้าง รวมทั้งตนเอง

8) การแสดงออกอย่างสร้างสรรค์

9) การสร้างสัมพันธภาพทางจิตวิญญาณและการเยียวยา

10) การพัฒนาปัญญา

และได้กล่าวถึงการเสริมสร้างสุขภาพองค์รวมเชิงพุทธว่า บุคคลจะต้องดำเนินการดูแลรักษาสุขภาพในมิติทางกายและจิตใจ ดังนี้

1) สุขภาพดีเกิดจากความเข้าใจในธรรมชาติของโลก (ไตรลักษณ์)

2) สุขภาพดีบนความพอเพียง (สันโดษ)

3) สุขภาพทางร่างกายดีสร้างได้ด้วยการรับประทานอาหาร และการออกกำลังกาย

4) สุขภาพดีเกิดด้วยสติ

5) สุขภาพดีมีศีลธรรมเป็นพื้นฐาน

6) สุขภาพดีเกิดจากต้นแบบที่ดี (กัลยาณมิตร)

เมื่อมีการดำเนินการรักษาสุขภาพดังกล่าวแล้ว ผลที่เกิดขึ้น คือ บุคคลเป็นผู้ที่มีสุขภาพทั้งทางกายและทางจิตใจที่ดี มีความสุข เป็นผู้ตั้งตนอยู่ในบุญกุศล เป็นผู้ปฏิบัติตามหลักไตรสิกขาเป็นผู้ดำเนินชีวิตมุ่งสู่ความเจริญทั้งทางสังคมและปัญญา

2. ในระดับชุมชน การรักษาสุขภาวะของชุมชนนั้น เกิดจากความร่วมมือร่วมใจของคนในชุมชนที่สร้างสร้างกิจกรรมที่เป็นประโยชน์ต่อชุมชน เพื่อเป้าหมายของการพัฒนาชุมชน คือ ความอยู่ดีมีสุขของผู้คนในชุมชน มีการพึ่งพาตนเองได้ทั้งในทางเศรษฐกิจ สังคม การจัดการทรัพยากรชุมชน และ

วัฒนธรรมประเพณีที่ดีงาม มีการดำเนินการเพื่อการจัดการและคุ้มครองชีวิตที่ดีร่วมกัน ให้ชุมชนและสังคมมีความเสมอภาค มีความยุติธรรมต่อกันและมีความสันติสุข

เนื่องจากมนุษย์แต่ละคนนั้นมีอย่างน้อย 2 สถานะ สถานะแรกคือการเป็นปัจเจกบุคคล สถานะที่สองคือการเป็นส่วนหนึ่งของสภาพแวดล้อมไม่เฉพาะสภาพแวดล้อมทางธรรมชาติ หากยังรวมถึงสภาพแวดล้อมทางสังคม เริ่มจากครอบครัว หมู่บ้าน ชุมชน ไปจนถึงประเทศ และโลก ในฐานะที่เป็นปัจเจกบุคคล สุขภาพของแต่ละคนย่อมขึ้นอยู่กับพฤติกรรมและการดำเนินชีวิตของตนเอง แต่ในฐานะที่เป็นส่วนหนึ่งของสิ่งแวดล้อม สุขภาพของแต่ละคนย่อมต้องขึ้นอยู่กับปัจจัยแวดล้อมด้วย สภาพแวดล้อมที่เกื้อกูล เช่น มีน้ำสะอาด อากาศบริสุทธิ์ สังคมมีความเอื้อเฟื้อ มีหลักประกันทางสุขภาพและสวัสดิการ ย่อมช่วยให้สุขภาพของบุคคลเป็นไปด้วยดี แต่ถ้าสภาพแวดล้อมเป็นพิษ สังคมเสื่อมโทรม สุขภาพของบุคคลย่อมยากจะเป็นปกติได้ ดังนั้น จึงไม่อาจมองสุขภาพของปัจเจกบุคคลแบบโดดเดี่ยวได้ หากจะต้องมองอย่างเชื่อมโยงกับสุขภาพหรือสุขภาวะของสภาพแวดล้อมทั้งทางธรรมชาติและทางสังคม ในปัจจุบันอาณาบริเวณของสังคมนั้นกว้างขวางจนครอบคลุมไปถึงเรื่องสภาพแวดล้อมทางธรรมชาติ กล่าวอีกอย่างหนึ่ง สภาพแวดล้อมทางธรรมชาติได้กลายเป็นส่วนหนึ่งของสังคมไปแล้ว ฉะนั้น จึงสามารถสรุปได้ว่า สุขภาพของบุคคลแยกไม่ออกจากสุขภาพของสังคม โดยสุขภาพของสังคมมี 3 ด้าน ได้แก่

1) ด้านกายภาพ ได้แก่ การมีสภาพแวดล้อมทางธรรมชาติที่สะอาด ไม่มีมลพิษทางอากาศ น้ำ และในอาหาร ปราศจากภัยคุกคามทางธรรมชาติ มีทรัพยากรธรรมชาติพอเพียงแก่การดำเนินชีวิตด้วยดี ประชาชนมีอาหาร เครื่องนุ่งห่ม ที่อยู่อาศัย สุขภาพอนามัย พลังงาน ตลอดจนรายได้ที่เอื้อให้ดำรงชีวิตได้อย่างปกติสุข

2) ด้านจิตใจ ผู้คนมีคุณธรรม ซื่อสัตย์สุจริต มีความเมตตาต่อกัน มีจิตใจแช่มชื่น ผ่องใส มีศรัทธาในศาสนา มีความนิยมชมชื่นในศิลปวัฒนธรรม มีสำนึกความรับผิดชอบต่อส่วนรวมและมีค่านิยมที่ดีงาม มีความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับชีวิตและโลก มีความสามารถในการแก้ปัญหาชีวิตจิตใจ สามารถสร้างสรรค์สิ่งดีงามให้แก่ตนเอง สังคม และโลกได้

3) ด้านสังคม ประชาชนมีความเอื้อเฟื้อเกื้อกูลกัน ไม่มีการเอารัดเอาเปรียบ เคารพในสิทธิของกันและกัน ปราศจากอาชญากรรม ครอบครัว ชุมชน และสังคมมีความกลมเกลียวกัน ผู้คนมีส่วนร่วมอย่างพร้อมเพรียงในการสร้างสรรค์ชุมชนและสังคม

สภาพดังกล่าวจะเกิดขึ้นได้ นอกจากจะต้องอาศัยจิตสำนึกและความร่วมมือของประชาชนแล้ว ปัจจัยที่สำคัญอีกประการหนึ่งได้แก่ ระบบและกลไกต่าง ๆ ที่ประกอบกันเป็นโครงสร้างของสังคม ได้แก่ระบบเศรษฐกิจ การเมือง การศึกษา สาธารณสุข วัฒนธรรม และศาสนา ระบบและกลไกเหล่านี้ ควรมีลักษณะ ดังนี้

1) ระบบเศรษฐกิจ มีประสิทธิภาพในการเสริมสร้างความเป็นอยู่แก่ประชาชน โดยไม่เน้นสร้างความเจริญเติบโตทางวัตถุหรือรายได้ จนทำลายสิ่งแวดล้อม วัฒนธรรม และความสัมพันธ์ในสังคม ขณะเดียวกันก็มีความเป็นธรรมในการกระจายรายได้ ไม่ขยายช่องว่างระหว่างคนรวยกับคนจนให้กว้างขวางมากขึ้น

2) ระบบการเมือง มีความโปร่งใส ส่งเสริมการมีส่วนร่วมของประชาชนในทุกระดับ มีการกระจายอำนาจอย่างทั่วถึง สนับสนุนการสร้างสังคมให้เข้มแข็ง คุ้มครองสิทธิและสวัสดิภาพของประชาชนอย่างเสมอหน้า ไม่ถูกครอบงำโดยอำนาจทุนหรือผู้มีอิทธิพล

3) ระบบการศึกษาและสื่อสารมวลชน ส่งเสริมความใฝ่รู้ยิ่งกว่าใฝ่เสพ พัฒนาปัญญาควบคู่กับคุณธรรม เอื้อให้ผู้คนมีความรู้และทักษะในการพึ่งตน สามารถแก้ปัญหาของตนเองและของชุมชนได้ สนับสนุนให้ศักยภาพของแต่ละคนได้รับการพัฒนาเพื่อให้เกิดประโยชน์แก่ตนเองและสังคมอย่างเต็มที่ ไม่ผลิตคนให้เป็นเพียงแค่แรงงานในทางเศรษฐกิจ หรือเป็นแค่ผู้บริโภคเท่านั้น

4)ระบบบริการสาธารณสุข สร้างหลักประกันสุขภาพถ้วนหน้า และให้บริการสุขภาพด้วยความเป็นธรรม ไม่เน้นรักษาโรค หรือรวมศูนย์บริการไว้ที่สถาบันแพทย์ หากมุ่งป้องกันโรคโดยส่งเสริมพฤติกรรมสุขภาพที่ถูกต้อง

5) สถาบันศาสนา เอื้อให้ผู้คนเข้าถึงความสงบภายใน มีสภาวะจิตที่ดีงาม เปี่ยมด้วยคุณธรรม มีปัญญารู้เท่าทันชีวิตและโลก สามารถลดละความหลงใหลติดยึดในวัตถุ ใฝ่ชีวิตที่เรียบง่าย สันโดษ และเสียสละต่อส่วนรวม

ระบบและโครงสร้างทางสังคมเหล่านี้ หากทำงานด้วยดี ย่อมทำให้ชุมชน สังคมทั้งประเทศมีความมั่นคงเข้มแข็ง ก่อให้เกิดสุขภาวะอย่างทั่วถึงทั้งในทางกายภาพ จิตใจ และสังคม แต่หากระบบเหล่านี้พิกลพิการหรือไร้ประสิทธิภาพ ย่อมส่งผลต่อสุขภาพของประชาชน เมื่อความเจ็บป่วยเกิดขึ้นกับคนไม่กี่คน เราอาจกล่าวว่านั่นเป็นความรับผิดชอบของตัวเขาเอง แต่เมื่อความเจ็บป่วยเกิดขึ้นกับคนนับหมื่นนับแสน นั่นไม่ใช่เป็นเรื่องของปัจเจกบุคคลเท่านั้น หากเป็นปัญหาที่เกิดจากความผิดพลาดของระบบในสังคม กล่าวอีกนัยหนึ่ง เป็นภาพสะท้อนของสังคมที่อ่อนแอและไร้สุขภาวะ ดังนั้น สังคมที่อยู่เย็นเป็นสุขร่วมกันนั้น มีพื้นฐานจากการที่แต่ละปัจเจกในสังคมมีสัมมาทิฏฐิ (เห็นชอบ) คือ มีความรู้ มีความเข้าใจต่อสิ่งทั้งหลายถูกต้องตรงตามความจริง ย่อมนำไปสู่สัมมาสังกัปปะ (ดำริชอบ) ซึ่งจะนำไปสู่การปฏิบัติการตนในด้านต่างๆ ที่ถูกต้อง ดีงาม มีเห็นแก่ตัวลดลง มีเห็นแก่ประโยชน์ส่วนรวมมากขึ้น

ภินันท์ สิงห์กฤตยา [168]ได้ระบุถึงชุมชนในสังคมไทยที่นำหลักสุขภาพองค์รวมไปประยุกต์ใช้ว่า ชุมชนนั้นจะต้องมีกระบวนการเรียนรู้ในรูปแบบต่างๆ เช่น การฝึกอบรม การศึกษาดูงาน การพูดคุยแลกเปลี่ยนประสบการณ์ การศึกษาจากตำราเอกสารแล้วนำมาลงมือปฏิบัติ โดยมีกัลยาณมิตร ชุมชนและภาคีต่างๆ คอยแนะนำให้คำปรึกษา ชุมชนที่มีกระบวนการจัดการสุขภาวะที่เหมาะสมจะนำไปสู่สังคมที่มีความเข้มแข็ง สามารถอยู่เย็นเป็นสุขร่วมกันได้ ซึ่งมีหลักการดังต่อไปนี้

1) นำหลักสัมมาอาชีวะหรือหลักการประกอบการโดยสุจริตมาประยุกต์ใช้ โดยมีการจัดการเพื่อเกื้อกูลต่อชีวิตและสังคม ไม่ประกอบอาชีพที่สร้างความทุกข์ เดือดร้อน หรือ เบียดเบียนทั้งบุคคลอื่น ตลอดถึงสิ่งแวดล้อม

2) นำหลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียงของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวฯ ที่มีรากฐานมาจากคุณธรรมทางศาสนามาประยุกต์ใช้

---

[168] ภินันท์ สิงห์กฤตยา,การประยุกต์ใช้กระบวนทัศน์และกระบวนการสร้างเสริมสุขภาพตามแนวพระพุทธศาสนา, 2553, หน้า 50

3) หลักการเสริมสร้างกระบวนการเรียนรู้ผ่านสถาบันครอบครัว เพราะความสุขของครอบครัว คือ สันติสุขของสังคม เพื่อสร้างความสัมพันธ์ที่ดีในครอบครัว ซึ่งจะเป็นต้นแบบในการฝึกเด็กให้เรียนรู้และปฏิบัติต่อผู้อื่นด้วยความรู้สึกที่ดีงาม

4) นำหลักไตรสิกขาที่ว่าด้วย ศีล สมาธิ ปัญญา มาเป็นกระบวนการพัฒนามนุษย์ทั้งทางกาย วาจา จิตใจ และปัญญา มุ่งสู่ความมีสุขภาพดีอย่างแท้จริง

5) นำหลักอปริหานิยธรรมหรือธรรมเพื่อความพร้อมเพรียงของหมู่คณะ 7 ประการ มาปรับใช้ในการทำงานร่วมกับชุมชน เพื่อส่งเสริมกระบวนการมีส่วนร่วมของประชาชน ให้เกิดการรู้รักสามัคคีในชุมชนและเพิ่มพูนความรัก ความเมตตาต่อกัน

3. ระดับเครือข่าย การพัฒนาชุมชนนั้นมีความเกี่ยวข้องกับภาคีเครือข่ายการพัฒนาในทุกระดับ เนื่องจากความเป็นภาคีเครือข่ายจะนำไปสู่กระบวนการตัดสินใจในทางเลือก และโอกาสที่เพิ่มขึ้น การเข้าร่วมและพัฒนาเป็นเครือข่ายในประเด็นต่างๆ เช่น เครือข่ายสิ่งแวดล้อม การจัดการทรัพยากร-ป่าชุมชน เครือข่ายชุมชนปลอดยาเสพติด เครือข่ายสัจจะสะสมทรัพย์-ออมทรัพย์ เครือข่ายประมงพื้นบ้าน เครือข่ายศิลปวัฒนธรรม เครือข่ายสุขภาพ เครือข่ายเศรษฐกิจพอเพียง เป็นต้น ล้วนมีความเกี่ยวข้องกับการพัฒนาทั้งในระดับชุมชนและนโยบาย ดังนั้น เพื่อให้เกิดการเคลื่อนไหวต่อการจัดการด้านสุขภาวะของชุมชนจึงจำเป็นจะต้องมีการพัฒนาศักยภาพของชุมชนในการมีส่วนร่วมกับภาคีเครือข่าย โดยเฉพาะเครือข่ายสมัชชาสุขภาพที่เกิดขึ้นตามพระราชบัญญัติสุขภาพแห่งชาติ พ.ศ. 2550 ที่กำหนดทิศทางให้มี สมัชชาสุขภาพในสังคมไทย เพื่อดำเนินกิจกรรมและประสานงานในด้านต่างๆ ดังนี้ [169]

1) เพื่อเป็นพื้นที่สาธารณะในการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ของภาคส่วนต่างๆในสังคม โดยสมัชชาสุขภาพจะทำการเปิดพื้นที่สาธารณะทางสังคมอย่างกว้างขวาง เพื่อให้ทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้อง ได้มาพบปะ พูดคุยแลกเปลี่ยนประสบการณ์และค้นหาทางออกด้านสุขภาวะร่วมกัน และให้ความสำคัญต่อข้อเสนอเชิงนโยบายของฝ่ายต่างๆที่เกี่ยวข้อง

2) เพื่อเป็นกลไกในการผลักดันนโยบายสาธารณะ คุณค่าของกระบวนการสมัชชาสุขภาพที่สำคัญและแตกต่างจากการจัดเวทีแลกเปลี่ยน เรียนรู้ทั่วๆ ไป คือ การมีบทบาทในการผลักดันนโยบายสาธารณะเพื่อสุขภาพ ให้เกิดทางเลือกเชิงนโยบายที่เอื้อหรือสนับสนุนการสร้างสุขภาวะของประชาชน

3) เพื่อเป็นกระบวนการประชาธิปไตยแบบมีส่วนร่วม โดยสนับสนุนให้ประชาชนมีส่วนร่วมในกระบวนการนโยบายสาธารณะ อาศัยขบวนการประชาสังคมมาขับเคลื่อนเพื่อประสานงานกับทุกภาคด้วยท่าทีและบรรยากาศแบบพันธมิตรเน้นความสัมพันธ์ระหว่างเครือข่ายมุ่งให้มีลักษณะเป็นแบบพหุภาคี

การขับเคลื่อนกระบวนการปฏิรูประบบสุขภาพของสังคมไทยที่ผ่านมาได้อาศัยสมัชชาสุขภาพ เป็นกลไกและเครื่องมือหลักในการเชื่อมร้อยความเคลื่อนไหวนับตั้งแต่การยกร่าง พ.ร.บ. สุขภาพแห่งชาติ พ.ศ.2550 การผลักดันกฎหมายและการปรับเปลี่ยนกระบวนทัศน์ด้านสุขภาพ การ

[169] (ออนไลน์).สืบค้นจาก : http://www.samatcha.org/ha-introduction..[1 มีนาคม 2561].

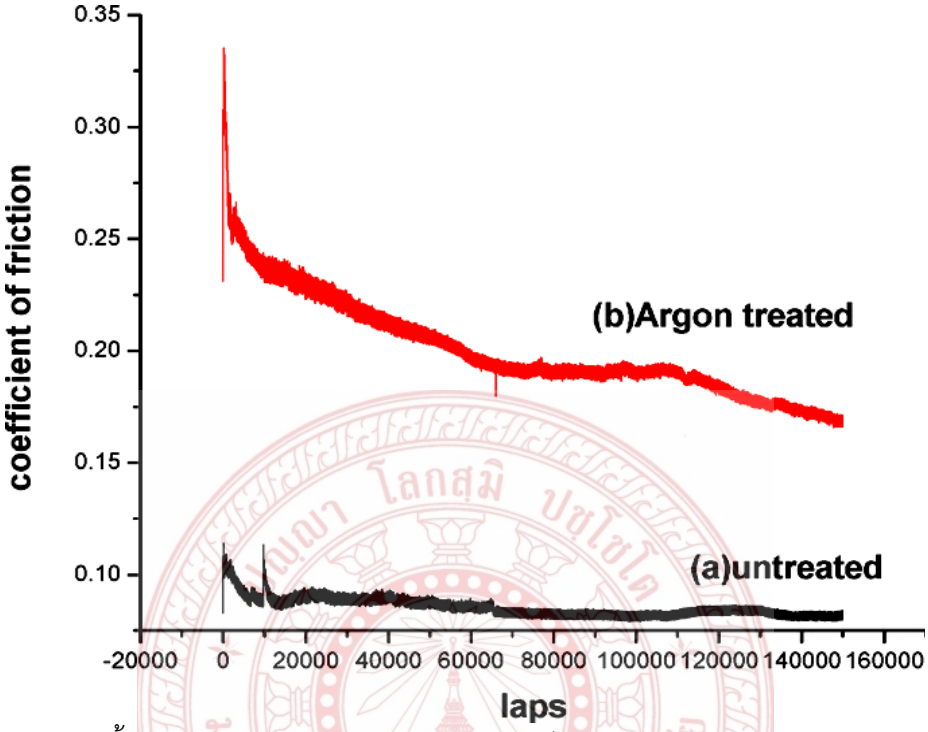
สื่อสารสาธารณะ และการเสริมสร้างความเข้มแข็งของภาคประชาชนในการมีส่วนร่วมกำหนดนโยบายสาธารณะด้านสุขภาพของประชาชนในสังคม ทั้งนี้ เพื่อนำไปสู่สมัชชาสุขภาพที่พึงประสงค์ คือ การมีภาคเครือข่ายในการจัดการสุขภาวะของสังคมไทยที่มีความยั่งยืนและมาจากการมีส่วนร่วมของภาคส่วนต่างๆ ในสังคมไทย เพื่อสุขภาวะที่ดีของคนไทย

แนวคิดสุขภาพองค์รวมดังกล่าวข้างต้น จะเห็นได้ว่ามีความเกี่ยวข้องกับการพัฒนาชุมชนเป็นอย่างยิ่งในฐานะแนวคิด กระบวนการ กลไก และกิจกรรมของการจัดการสุขภาวะของชุมชน เป็นทั้งเป้าหมายและวิธีการที่จะทำให้การพัฒนาชุมชนด้านสุขภาพของบุคคลและชุมชนใน 4 มิติ คือกาย จิต สังคม และปัญญา มีความสมบูรณ์ การนำแนวคิดสุขภาพองค์รวมมาบูรณาการกับการพัฒนาชุมชนจะทำให้ชุมชนมีกระบวนการจัดการสุขภาพที่ครอบคลุม เป็นการก้าวย่างที่มีความหมายและมีความสำคัญต่อการดูแลสุขภาพของประชาชน ในอนาคตสังคมไทยจะเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุ หากระบบการจัดสวัสดิการสังคมของภาครัฐยังไม่ครอบคลุมเพียงพอ หรือมีการดูแลรักษาสุขภาพเพียงด้านใดด้านหนึ่งแล้ว จะทำให้การพัฒนาสังคมไทยโดยเฉพาะสุขภาพของผู้สูงอายุและผู้ด้อยโอกาสประสบกับปัญหามากขึ้น ดังนั้น การให้ความสำคัญกับแนวคิดและกระบวนการสุขภาพองค์รวมจะช่วยให้ลดภาวะไร้สุขภาวะของสังคมได้ อันจะนำไปสู่การพัฒนาที่ยั่งยืนได้อย่างเหมาะสม

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

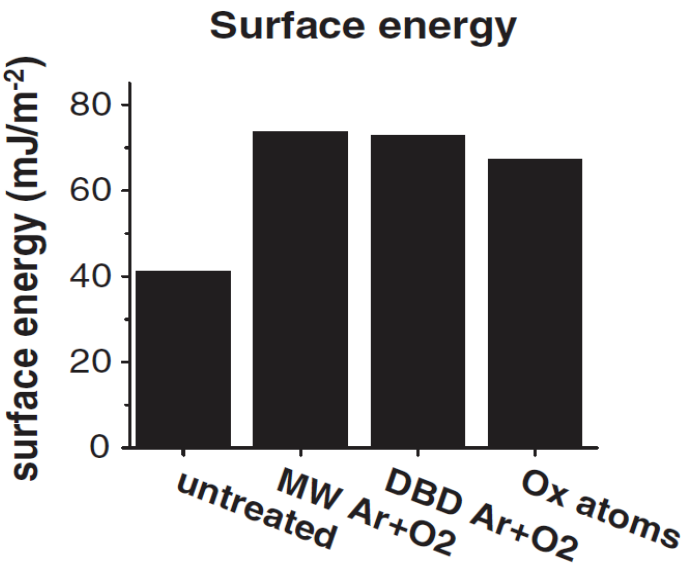
เมื่อหลายสิบปีที่ผ่านมา การวิจัยเกี่ยวกับการปรับปรุงพื้นผิวของวัสดุโดยใช้พลาสมาอุณหภูมิต่ำนั้นได้รับความนิยมและแพร่หลายเป็นอย่างมาก โดยศึกษาถึงการเพิ่มแรงยึดติด การย้อมสี และเพิ่มสมบัติความชอบ/ไม่ชอบน้ำของผิววัสดุ รวมไปถึงการทำความสะอาดผิวด้วยตนเอง (Self-surface cleaning) ข้อดีของกระบวนการพลาสมา (Plasma treatment) คือพลาสมาสามารถกระทำปฏิกิริยากับอะตอมหรือโมเลกุลของวัสดุโดยไม่ส่งผลต่อสมบัติโดยรวมของวัสดุดังได้กล่าวไว้แล้วในข้างต้น ยกตัวอย่างเช่น Liu *et al.* ได้ศึกษาถึงการปรับปรุงพื้นผิวของ ultrahigh molecular weight polyethylene (UHMWPE) โดยใช้พลาสมาของแก๊สอาร์กอน พบว่า ไม่มีปฏิกิริยาทางเคมีหรือหมู่ฟังก์ชันใดเกิดขึ้นกับพื้นผิวของ UHMWPE เนื่องจากว่าแก๊สอาร์กอนนั้นเป็นแก๊สเฉื่อย แต่พลาสมาของอาร์กอนนั้นได้ไปทำลายพันธะบางส่วนของ UHMWPE ทำให้เกิดอิเล็กตรอนอิสระเกิดขึ้น ส่งผลให้ลักษณะทางโครงสร้างของ UHMWPE เกิดการเปลี่ยนแปลง และสมบัติทางกล เช่น การต่อต้านการขีดข่วน (Anti-scratch) และสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (Coefficient of friction) นั้นสูงขึ้นเล็กน้อยดังแสดงในรูปนี้

ภาพที่ 2.25 แสดงการเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของ UHMWPE ระหว่างชิ้นงานที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการพลาสมาด้วยแก๊สอาร์กอน



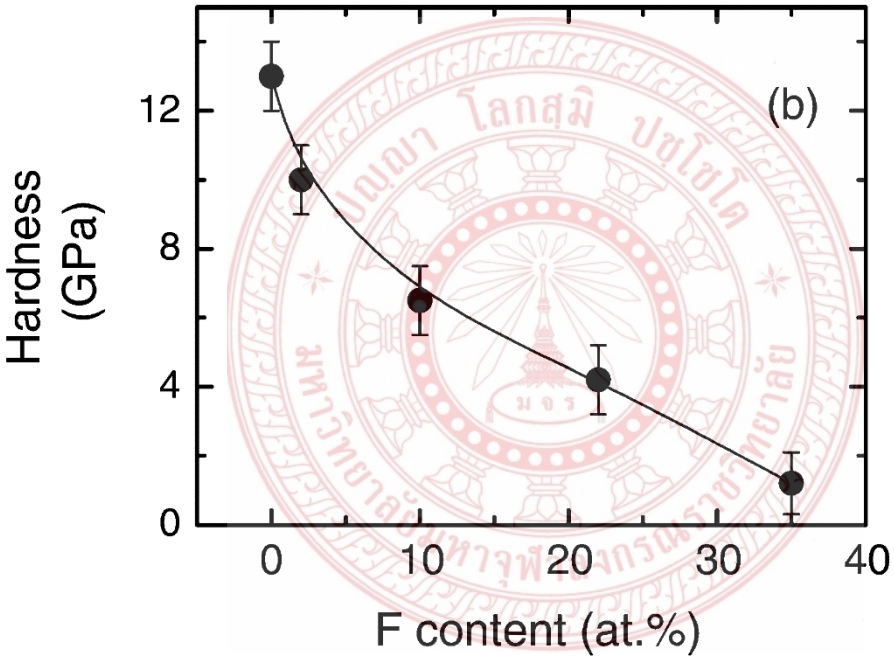
นอกจากนี้ Jiang *et al.*และCateledg*eet al.* ได้เสนอว่า พลาสมาของแก๊สออกซิเจนนั้นช่วยส่งเสริมให้เกิดพันธะ sp^3ของผิวเคลือบคาร์บอนและ Santos *et al.* ยังพบว่าการใช้พลาสมาของแก๊สออกซิเจนนั้นช่วยเพิ่มพลังงานพื้นผิวของวัสดุดังแสดงในรูปนี้

ภาพที่ 2.26 แสดงการเปรียบเทียบพลังงานพื้นผิวระหว่างชิ้นงานที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการพลาสมาด้วยแก๊สออกซิเจน



เมื่อไม่นานมานี้ได้มีการค้นพบว่า การเติมธาตุฟลูออรีนเข้าไปในผิวเคลือบคาร์บอนสามารถลดสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของผิวเคลือบได้ แต่ถ้าหากมีปริมาณของธาตุฟลูออรีนมากเกินไป จะทำให้โครงสร้างของผิวเคลือบเปลี่ยนแปลงจาก diamond-like เป็น polymer-like ส่งผลให้ความแข็งของผิวเคลือบลดลง ดังนั้นการใช้กระบวนการพลาสมาด้วยแก๊สคาร์บอนเตตระฟลูออไรด์ (CF_4) หรือแก๊สที่มีฟลูออรีนเป็นองค์ประกอบ สามารถลดความเสียหายของโครงสร้างแต่สมบัติด้านความแข็งยังคงเดิม อีกทั้งยังลดสัมประสิทธิ์ความเสียดทานได้ดีอีกด้วย

ภาพที่ 2.27 แสดงการลดลงของความแข็งของผิวเคลือบคาร์บอนเมื่อปริมาณฟลูออรีนเพิ่มขึ้น



สิทธิศักดิ์ ไชยสมบัติ [170] ได้ศึกษาการออกแบบและการสร้างเครื่องกำเนิดพลาสมาแบบห้วงชนิดคู่ควบเหนี่ยวนำขนาด 1.4 กิโลจูล เครื่องกำเนิดพลาสมาแบบห้วงชนิดคู่ การออกแบบและการสร้าง , เครื่องกำเนิดพลาสมาแบบห้วงชนิดคู่ -- การออกแบบและการสร้าง เครื่องกำเนิดพลาสมา -- การออกแบบและการสร้าง , Inductively coupled plasma device -- Design and construction , Plasma generators -- Design and construction เครื่องกำเนิดพลาสมาแบบห้วงชนิดควบคู่เหนี่ยวนำหรือเครื่องพีไอซีพี คือเครื่องกำเนิดพลาสมาที่ดัดแปลงมาจากเครื่องกำเนิดปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิวชันขนาดเล็ก ซึ่งปัจจุบันถูกนำมาประยุกต์ใช้กับงานในหลายด้าน เนื่องด้วยกระบวนการเกิดพลาสมาภายในที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาที่สั้นจึงเหมาะกับงานด้านการปรับปรุงพื้นผิววัสดุ

---

[170] สิทธิศักดิ์ ไชยสมบัติ “การออกแบบและการสร้างเครื่องกำเนิดพลาสมาแบบห้วงชนิดคู่ควบเหนี่ยวนำขนาด 1.4 กิโลจูล เครื่องกำเนิดพลาสมาแบบห้วงชนิดคู่” **วิทยานิพนธ์ (วท.ม.)** คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2553.

ที่ไม่ทนความร้อน งานวิจัยนี้ได้ทำการสร้างเครื่องพีไอซีพี แล้วศึกษาสมบัติของเครื่องและสมบัติของพลาสมาที่กำเนิดจากเครื่อง ซึ่งเป็นตัวแปรพื้นฐานที่มีประโยชน์ในการนำมาพัฒนา และศึกษาเครื่องกำเนิดปฏิกิริยาฟิวชันได้ในอนาคต ขดลวดโรโกวสกี้วัดค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจร หัววัดสนามแม่เหล็กวัดการเคลื่อนที่ของพลาสมา และสเปคโตรมิเตอร์วัดอุณหภูมิอิเล็กตรอน ได้นำมาวัดขณะที่เครื่องมีพลังงานสะสมในตัวเก็บประจุเท่ากับ1.4 2.4 และ4.32 กิโลจูล ซึ่งสามารถวัดค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจรได้ 256 336และ430 กิโลแอมแปร์ตามลำดับ เมื่อเครื่องมีพลังงานสะสมในตัวเก็บประจุ 1.4 กิโลจูล สามารถวัดความเร็วเฉลี่ยสูงสุดของพลาสมาจากก๊าซอาร์กอน ออกซิเจน และไนโตรเจนได้ 2.4×10^{4} 3.5×10^{4} และ 4.2×10^{4} เมตรต่อวินาทีตามลำดับ ซึ่งวัดได้จากตำแหน่ง 3.46 ถึง1.46 เซนติเมตรจากแกนกลาง จากการทดลองพบว่าความเร็วเฉลี่ยของพลาสมาที่วัดได้มีค่าเพิ่มขึ้นตามพลังงานที่ให้ ขณะที่ลดลงตามระยะทางที่บีบตัว ตามความดันที่เพิ่มขึ้นและตามมวลโมเลกุลของพลาสมาที่เพิ่มขึ้น เปรียบเทียบกับแบบจำลองทางทฤษฎีพบว่าความเร็วของพลาสมาเพิ่มขึ้นในช่วงแรกและลดลงเมื่อเข้าใกล้ศูนย์กลางซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลอง ขณะที่อุณหภูมิอิเล็กตรอนจากแบบจำลองทางทฤษฎีลดลงตามความดันที่เพิ่มขึ้น และยังพบว่าความถี่ของกระแสไฟฟ้าในวงจรอาจมีผลต่อความเร็วเฉลี่ยในการเคลื่อนที่ของพลาสมา

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ 3 ประการ คือ เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดพลาสมาต้นแบบที่สามารถนำมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพผิวของวัสดุที่ต้องการ เพื่อทดลองปรับปรุงผิววัสดุโดยใช้กระบวนการพลาสมากับชิ้นงานทดสอบ (โลหะผสมไทเทเนียม) และทดสอบภาวะการเปียก (wettability) ของชิ้นงานที่ผ่านการปรับปรุงผิว และเพื่อวิเคราะห์เครื่องกำเนิดพลาสมากับงานการแพทย์เชิงบูรณาการ

3.1 รูปแบบการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ เป็นการวิจัยเชิงปฏิบัติการ (Action Research) โดยใช้ความรู้ทางวิศวกรรมศาสตร์และการบูรณาการศาสตร์ เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดพลาสมาต้นแบบที่สามารถนำมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพผิวของวัสดุที่ต้องการ และทดลองปรับปรุงผิววัสดุโดยใช้กระบวนการพลาสมากับชิ้นงานทดสอบ (โลหะผสมไทเทเนียม) และทดสอบภาวะการเปียก (wettability) ของชิ้นงานที่ผ่านการปรับปรุงผิว โดยมีขั้นตอนการวิจัย ดังนี้

1) การศึกษาวิจัยในเชิงเอกสารเพื่อรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับพลาสมาและการพัฒนาเครื่องกำเนิดพลาสมาด้วยระบบต่างๆ ที่เกี่ยวข้องเพื่อประโยชน์ในทางการแพทย์

2) การวิจัยในเชิงปฏิบัติการเพื่อออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดพลาสมาต้นแบบที่สามารถนำมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพผิวของวัสดุที่ต้องการ และทดลองปรับปรุงผิววัสดุโดยใช้กระบวนการพลาสมากับชิ้นงานทดสอบ (โลหะผสมไทเทเนียม) และทดสอบภาวะการเปียก (wettability) ของชิ้นงานที่ผ่านการปรับปรุงผิว และเพื่อนำมาวิเคราะห์ในการแพทย์เชิงบูรณาการ

3.2 ผู้ให้ข้อมูลสำคัญ

โครงการวิจัยนี้ ดำเนินการพัฒนาออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดพลาสมาต้นแบบที่สามารถนำมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพผิวของวัสดุที่ต้องการ และทดลองปรับปรุงผิววัสดุโดยใช้กระบวนการพลาสมากับชิ้นงานทดสอบ ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ศูนย์บริการทางการศึกษาราชบุรี โดยมีคณะนักวิจัยดำเนินการพัฒนาเพื่อออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดพลาสมาต้นแบบที่สามารถนำมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพผิวของวัสดุต้องการ จำนวน 5 รายหลัก ได้แก่ 1) ดร.ชวิน จองวรรณศิริ 2) ดร.บัญญัติ เล็กประเสริฐ 3) ดร.เตชค์ฐสิณป์ เพียซ้าย 4) ผศ.ดร.กมล จิรเสรีอมรกุล 5) ผศ.ดร.สานุ มหัทธนาดุลย์

3.3 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยและการทดลอง

1. ศึกษาและออกแบบเครื่องกำเนิดพลาสมาที่ทำงานโดยใช้ต้นกำเนิดคลื่นวิทยุ (RF plasma source) ซึ่งส่วนประกอบหลักของเครื่องมือที่ต้องมีการออกแบบและสร้าง ประกอบด้วย

1) แหล่งกำเนิดคลื่นวิทยุความถี่ 13.56 เมกกะเฮิร์ตที่ให้กำลังในช่วง 100-300 วัตต์ แก่ก๊าซภายในภาชนะปิดเพื่อให้เกิดการแตกตัวอยู่ในสถานะพลาสมา

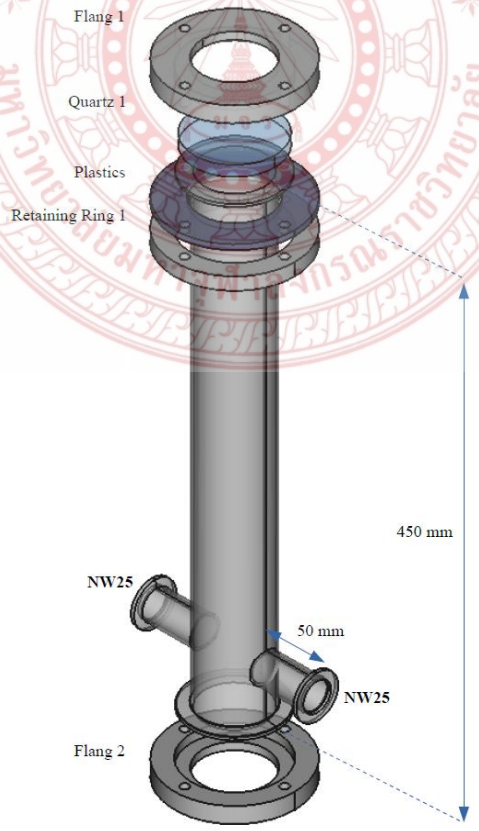
2) วงจรแมทชิ่งอิมพีแดนซ์ (matching impedance network) ซึ่งทำหน้าที่ลดการสะท้อนสัญญาณและเพิ่มการถ่ายโอนพลังงานสูงสุดในการสร้างพลาสมา

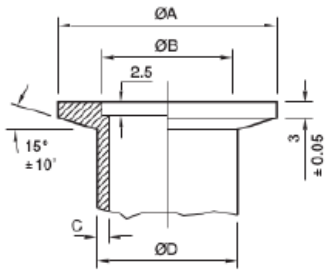
3) ภาชนะพลาสมา (plasma chamber) และระบบสุญญากาศ (vacuum system) เพื่อสร้างพลาสมาที่ความดันต่ำ โดยระบบสุญญากาศจะประกอบด้วยปั๊มสุญญากาศ (vacuum pump) ที่ดึงอากาศออกจากภาชนะ วาล์ว และมาตรวัดความดัน (vacuum gauge) ที่บอกสถานะความดันของก๊าซภายในภาชนะ

4) ระบบควบคุมปริมาณก๊าซที่เข้าสู่ภาชนะพลาสมา (mass flow controller)

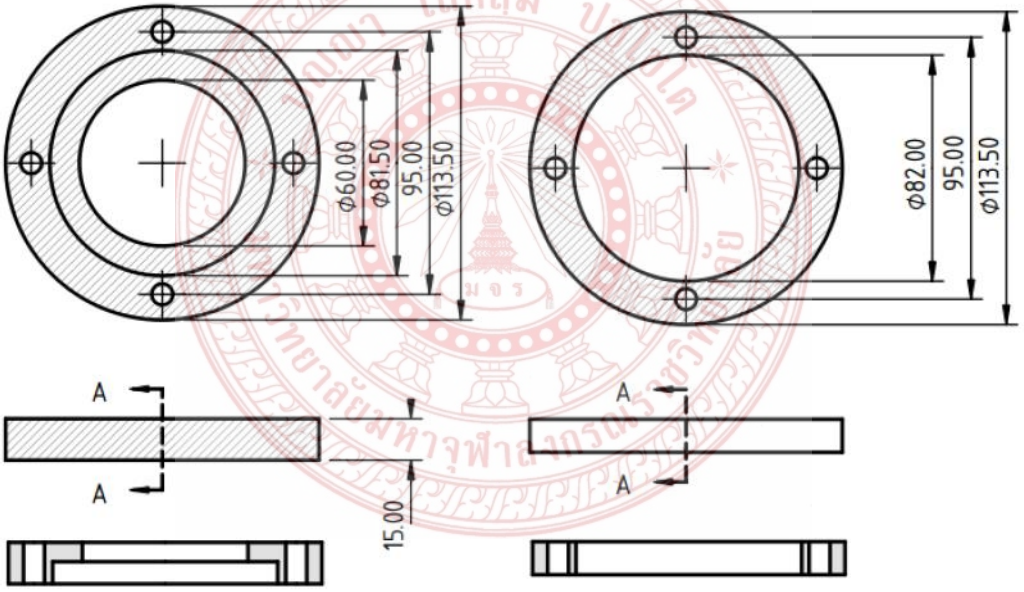
5) ออกแบบภาชนะพลาสมาโดยเลือก Borosilicate glassเป็นวัสดุที่ใช้สร้าง พร้อมทั้งคำนวณความแข็งแรงของภาชนะพลาสมา ดังนี้

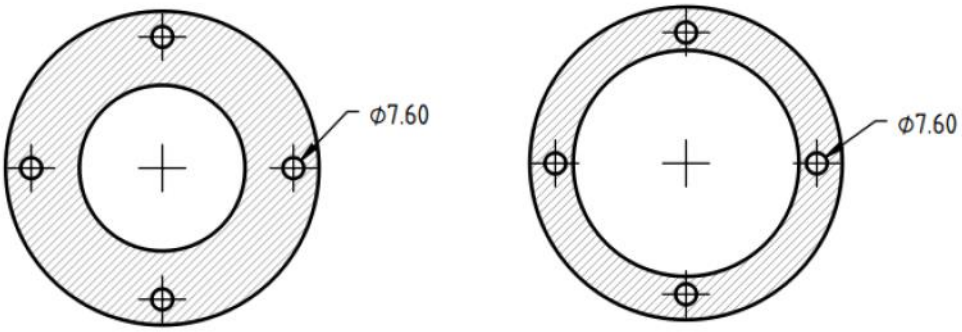
ภาพที่ 3.1 แสดงขนาดและรูปร่างของภาชนะพลาสมา





	A	B	C	D
NW10	30	12.2	2	14
NW16	30	17.2	2	20
NW20	40	22.2	2	25
NW25	40	26.2	2	28
NW32	55	34.2	2	38
NW40	55	41.2	2	44.5
NW50	75	52.2	2	57





Flang

Retaining Ring

ตารางที่ 3.1 สมบัติทางกลของ Borosilicate glass

Compressive Strength	2000 MPa
Modulus of Elasticity	67-80 GPa
Flexural Strength	34-69 MPa
Fracture Toughness	0.8 MPa-$m^{1/2}$
Knoop Hardness	510
Poisson's Ratio	0.21
Ultimate Tensile Strength	280 MPa

จากนั้น ดำเนินการออกแบบแผนผังวงจรไฟฟ้าสำหรับการสร้างวงจรแมทชิ่งอิมพีแดนซ์และออกแบบแผนผังการวางระบบทั้งหมดของเครื่องมือและอุปกรณ์

2. ดำเนินการสร้างเครื่องกำเนิดพลาสมาตามที่ได้ออกแบบไว้

3. ศึกษาการใช้กระบวนการพลาสมาเพื่อปรับปรุงผิววัสดุโลหะผสมไทเทเนียมโดยใช้วัสดุทดสอบที่มีขนาดประมาณ 30×30 ตารางมิลลิเมตร

4.ทดสอบและวิเคราะห์ผลการปรับปรุงผิววัสดุโลหะผสมไทเทเนียม โดยศึกษาเปรียบเทียบสภาวะการเปียกของวัสดุที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงผิวด้วยพลาสมา กับวัสดุที่ไม่ผ่านกระบวนการปรับปรุงผิว

3.4 สถานที่ทำการออกแบบและทำการทดลอง

- มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ศูนย์บริการทางการศึกษาราชบุรี
- มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- มหาวิทยาลัยมหาจุฬาลงกรณราชวิทยาลัย

3.5 ระยะเวลาทำการวิจัย และแผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย

ระยะเวลาการทำงานวิจัย 1ปี โดยแบ่งออกเป็นสองช่วง

- ช่วงที่ 1 ออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดพลาสมา
- ช่วงที่ 2 ทดสอบและวิเคราะห์การปรับปรุงผิววัสดุโลหะผสมไทเทเนียมโดยกระบวนการพลาสมา

ที่	รายละเอียดการดำเนินการ	เดือนที่												ผลลัพธ์
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	ศึกษาและออกแบบเครื่องกำเนิดพลาสมา	←	—	→										ข้อมูลพื้นฐานการสร้างเครื่องกำเนิดพลาสมา
2	สร้างเครื่องพลาสมาเชิงบูรณาการ	←	—	—	—	—	—	—	—	—	→			ต้นแบบเครื่องกำเนิดพลาสมา
3	ศึกษาการใช้กระบวนการพลาสมาเพื่อปรับปรุงผิววัสดุโลหะผสมไทเทเนียม	←	—	→										ข้อมูลพื้นฐานการปรับปรุงผิววัสดุโดยกระบวนการพลาสมา
4	ทดสอบและวิเคราะห์การปรับปรุงผิววัสดุโลหะผสมไทเทเนียม										←	—	→	ทราบถึงเงื่อนไขในการปรับปรุงผิววัสดุโดยใช้กระบวนการพลาสมา
5	สรุปผลการทดลอง											←	→	รายงานและต้นแบบเครื่องกำเนิดพลาสมา

3.6 การวิเคราะห์ผลการทดลองและข้อมูล

วิเคราะห์การออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดพลาสมาต้นแบบที่สามารถนำมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพผิวของวัสดุที่ต้องการเพื่อทดลองปรับปรุงผิววัสดุโดยใช้กระบวนการพลาสมากับชิ้นงานทดสอบ (โลหะผสมไทเทเนียม) และผลการทดสอบภาวะการเปียก (wettability) ของชิ้นงานที่ผ่านการปรับปรุงผิว โดยวิเคราะห์จาก

1) แหล่งกำเนิดคลื่นวิทยุความถี่ 13.56 เมกกะเฮิร์ตที่ให้กำลังในช่วง 100-300 วัตต์ แก่ก๊าซภายในภาชนะปิดเพื่อให้เกิดการแตกตัวอยู่ในสถานะพลาสมาวงจรแมทชิ่งอิมพีแดนซ์ (matching impedance network) ซึ่งทำหน้าที่ลดการสะท้อนสัญญาณและเพิ่มการถ่ายโอนพลังงานสูงสุดในการสร้างพลาสมา ภาชนะพลาสมา(plasma chamber) และระบบสุญญากาศ (vacuum system) เพื่อสร้างพลาสมาที่ความดันต่ำ โดยระบบสุญญากาศจะประกอบด้วยปั๊มสุญญากาศ (vacuum pump) ที่ดึงอากาศออกจากภาชนะ วาล์ว และมาตรวัดความดัน (vacuum gauge) ที่บอกสถานะความดันของก๊าซภายในภาชนะ

2) ระบบควบคุมปริมาณก๊าซที่เข้าสู่ภาชนะพลาสมา (mass flow controller)

3) การวิเคราะห์เครื่องกำเนิดพลาสมากับงานการแพทย์เชิงบูรณาการ

4) การวิเคราะห์เครื่องกำเนิดพลาสมากับงานการแพทย์เชิงบูรณาการ โดยเฉพาะการนำผลที่เกิดขึ้นจากเครื่องกำเนิดพลาสมานำไปสู่การประยุกต์กับการเคลือบโลหะที่จะเป็นอุปกรณ์ทางการแพทย์ในการรักษาโรคที่เกี่ยวข้อง

บทที่ 4

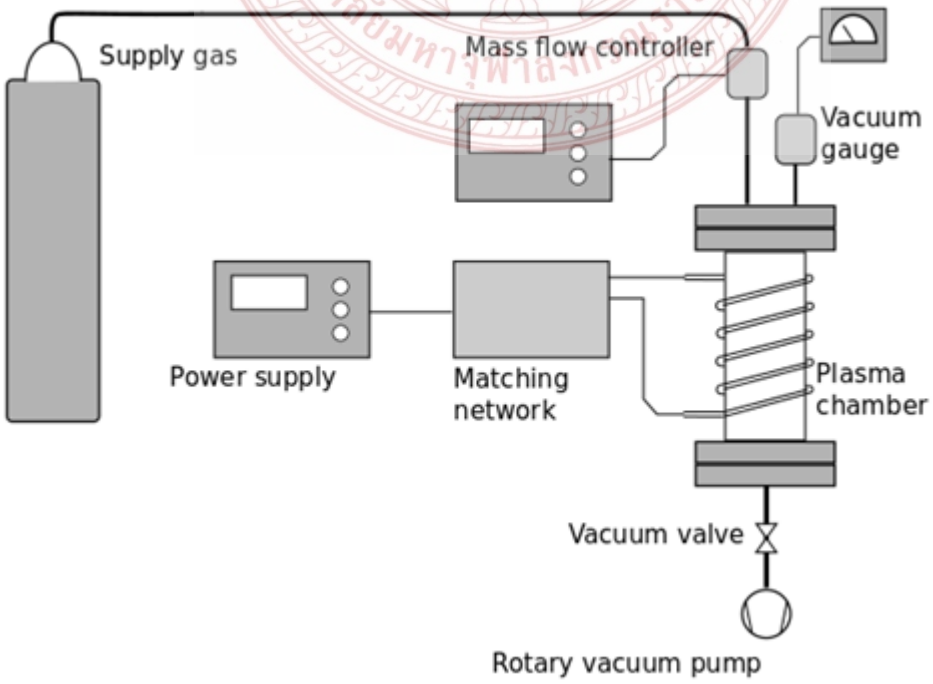
ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ผล

บทนี้ เพื่อตอบวัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย 3 ประการ คือ 1) เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดพลาสมาต้นแบบที่สามารถนำมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพผิวของวัสดุที่ต้องการ 2) เพื่อทดลองปรับปรุงผิววัสดุโดยใช้กระบวนการพลาสมากับชิ้นงานทดสอบ (โลหะผสมไทเทเนียม) และทดสอบภาวะการเปียก (Wettability) ของชิ้นงานที่ผ่านการปรับปรุงผิว และ 3) เพื่อวิเคราะห์เครื่องกำเนิดพลาสมากับงานการแพทย์เชิงบูรณาการ

4.1. การออกแบบส่วนประกอบของระบบพลาสมา

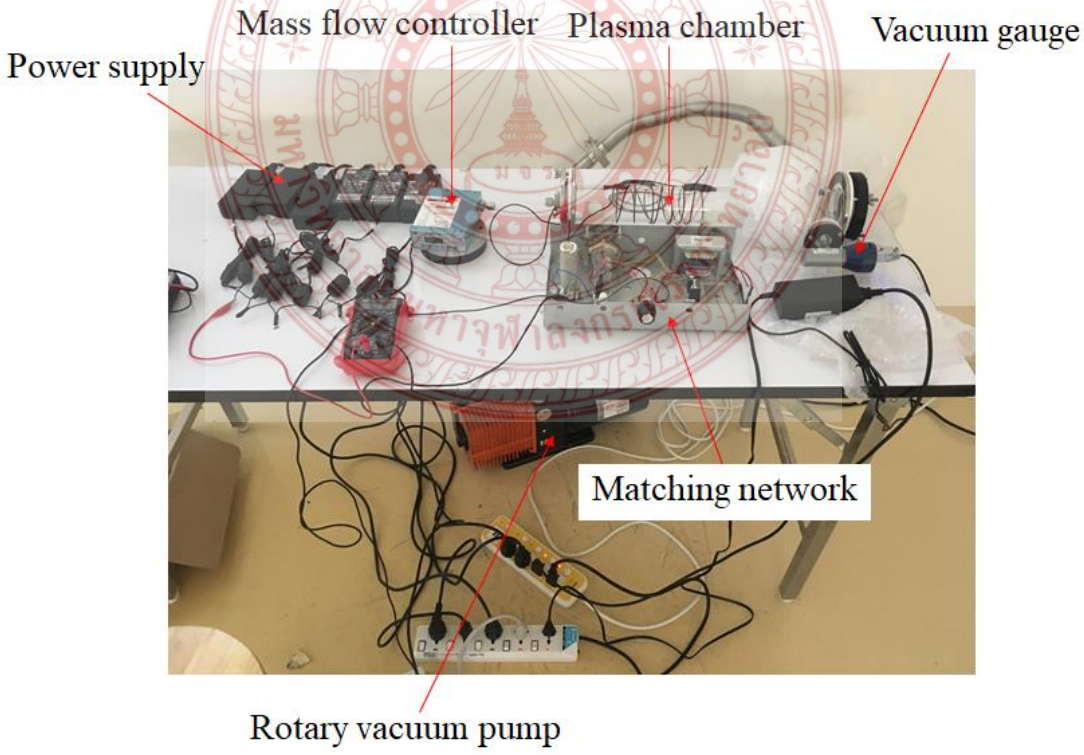
การออกแบบส่วนประกอบของระบบพลาสมา โดยมีการออกแบบจากพื้นฐานของการทำงานที่เป็นระบบที่จัดเป็นโกลว์ดิสชาร์จ (Glow discharge) ด้วยการเหนี่ยวนำ (Inductive coupled plasma, ICP) ประกอบไปด้วยขดลวดที่พันรอบภาชนะพลาสมา และแก๊สที่อยู่ภายในจะได้รับพลังงานจากแหล่งจ่ายพลังงาน ซึ่งจะทำงานในช่วงความถี่ 13-30MHz เพื่อแตกตัวเกิดเป็นสถานะพลาสมาภายในภาชนะพลาสมา ดังนี้

ภาพที่ 4.1 แสดงส่วนประกอบของระบบพลาสมา



ระบบพลาสมาในโครงการนี้มีส่วนประกอบต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.1 โดยระบบดังกล่าวจัดเป็นโกลว์ดิสชาร์จ (Glow discharge) ด้วยการเหนี่ยวนำ (Inductive coupled plasma, ICP) ประกอบไปด้วยขดลวดที่พันรอบภาชนะพลาสมา และแก๊สที่อยู่ภายในจะได้รับพลังงานจากแหล่งจ่ายพลังงาน ซึ่งจะทำงานในช่วงความถี่ 13-30MHz เพื่อแตกตัวเกิดเป็นสถานะพลาสมาภายในภาชนะพลาสมา ชุดแมทชิง (Matching network) จะทำหน้าที่ปรับให้เกิดการส่งผ่านพลังงานจากแหล่งจ่ายพลังงานให้แก๊สในภาชนะพลาสมามากที่สุดโดยระบบถูกออกแบบมาให้ทำงานในลักษณะของพลาสมาเย็น (Cold plasma) ซึ่งจะมีอุณหภูมิของอิเล็กตรอนสูง แต่มีอุณหภูมิของไอออนหนักใกล้เคียงกับอุณหภูมิห้องโดยเงื่อนไขดังกล่าวจะเกิดได้ที่ความดันต่ำ ดังนั้นภาชนะพลาสมาจึงต้องมีระบบปั๊มสุญญากาศสำหรับลดความดัน และมีมาตรวัดความดันเพื่อตรวจสอบค่าความดันภายในเมื่อมีการใช้งานพลาสมาจะเกิดการทำปฏิกิริยากับตัวอย่าง ทำให้ปริมาณพลาสมาในภาชนะพลาสมาลดลง ดังนั้นจึงต้องมีการเติมแก๊สเข้าไปในระบบโดยปริมาณแก๊สที่เติมเข้าไปจะถูกควบคุมโดยอุปกรณ์ควบคุมการไหล (MFC) ซึ่งจะรักษาสมดุลของการเกิดพลาสมาในภาชนะพลาสมาซึ่งรูปที่ 4.2 แสดงส่วนประกอบของระบบพลาสมาที่สร้างจริงในโครงการ

ภาพที่ 4.2 แสดงส่วนประกอบของระบบพลาสมาที่สร้างจริงในโครงการ

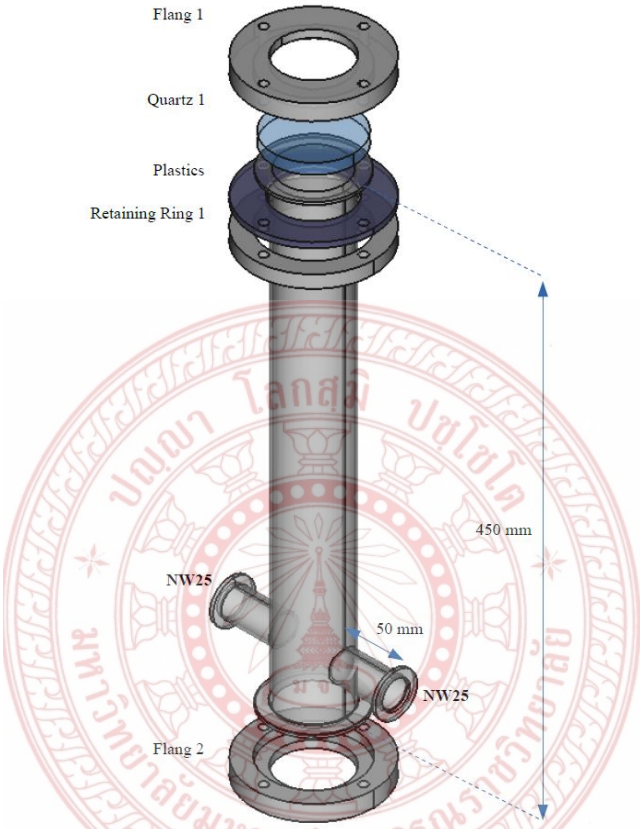


4.2. การออกแบบและคำนวณความแข็งแรงของภาชนะพลาสมา

การออกแบบภาชนะพลาสมาเป็นการออกแบบโดยใช้หลักการคำนวณความเค้นในภาชนะความดันผนังบาง ดังที่กล่าวไว้ในส่วนต้น โดยเลือกวัสดุเป็น Borosilicateglass ซึ่งสามารถทนความร้อนได้ประมาณ 500 องศาเซลเซียส มีค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength)เท่ากับ 280 MPa ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity) อยู่ในช่วง 67-80 GPaและ

ค่าความต้านทานแรงกด(Compressive Strength) เท่ากับ2000 MPa โดยภาชนะพลาสมามีขนาดดังแสดงในรูปที่ 4.3

ภาพที่ 4.3 แสดงขนาดและรูปร่างของภาชนะพลาสมา



ในการออกแบบภาชนะพลาสมานั้นได้กำหนดให้ภาชนะพลาสมาสามารถทนความดันภายใน(Internal Pressure) เท่ากับ 0.1 Pa โดยมีความดันภายนอก (External Pressure) เท่ากับความดันบรรยากาศ (Atmosphere Pressure, $1x10^5$ Pa)ดังนั้นความแตกต่างของความดันระหว่างภายในและภายนอก หรือเรียกว่าความดันเกจ (Gauge Pressure) มีค่าเท่ากับ $1x10^6$ Pa

จากรูปที่ 4.3 สามารถนำไปคำนวณ Hoop stress และ Longitudinal stress ดังสมการที่ (3) และ (6) ได้ดังนี้

Hoop stress; $$\sigma_1 = \frac{pr}{t} = \frac{(1MPa)(30mm)}{5mm} = 6MPa$$

Longitudinal stress; $$\sigma_2 = \frac{pr}{2t} = \frac{(1MPa)(30mm)}{2(5mm)} = 3MPa$$

จากทฤษฎีการคำนวณ Principal Stress จะได้ว่า

$$\sigma_{ave} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} = \frac{6MPa + 3MPa}{2} = 4.5MPa$$

$$R = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} = \frac{6MPa - 3MPa}{2} = 1.5MPa$$

$$\sigma_{\max} = \sigma_{ave} + R = 4.5MPa + 1.5MPa = 6MPa$$

$$\sigma_{\min} = \sigma_{ave} - R = 4.5MPa - 1.5MPa = 3MPa$$

และจากทฤษฎีการคำนวณ Factor of Safety(F.S.) พบว่า ค่า F.S. ที่นิยมใช้สำหรับการคำนวณความแข็งแรงของภาชนะความดัน (Pressure Vessel)มีค่าประมาณ 3.5-4.0 ดังนั้นจะได้ว่า

$$F.S. = \frac{\sigma_{ultimate}}{\sigma_{allowable}} \text{ หรือ } \sigma_{allowable} = \frac{\sigma_{ultimate}}{F.S.}$$

เมื่อแทนค่า Ultimate Tensile Strength ของ Borosilicate glass และ F.S. สำหรับการคำนวณความแข็งแรงของภาชนะความดัน จะได้ว่า

$$\sigma_{allowable} = \frac{\sigma_{ultimate}}{F.S.} = \frac{280MPa}{4} = 70MPa$$

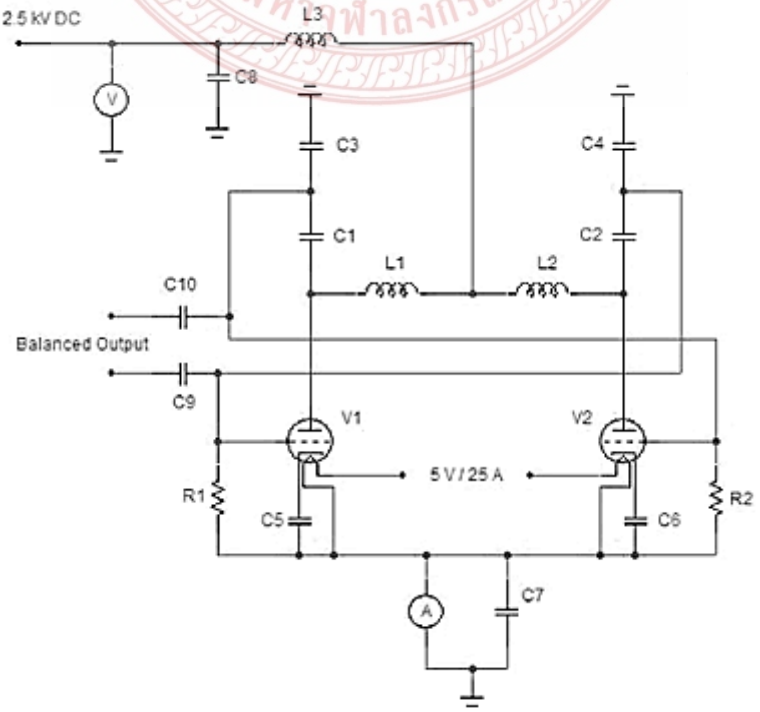
ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า $\sigma_{\max} < \sigma_{allowable}$ --> **Design is acceptable.**

4.3. การออกแบบวงจรกำเนิดคลื่นวิทยุในช่วงความถี่ 13-30MHz

การออกแบบวงจรกำเนิดคลื่นวิทยุในช่วงความถี่ 13-30MHz นั้นใช้หลักการของวงจร push-pull oscillator ในการกำเนิดคลื่นความถี่ดังรูปที่ 4.4

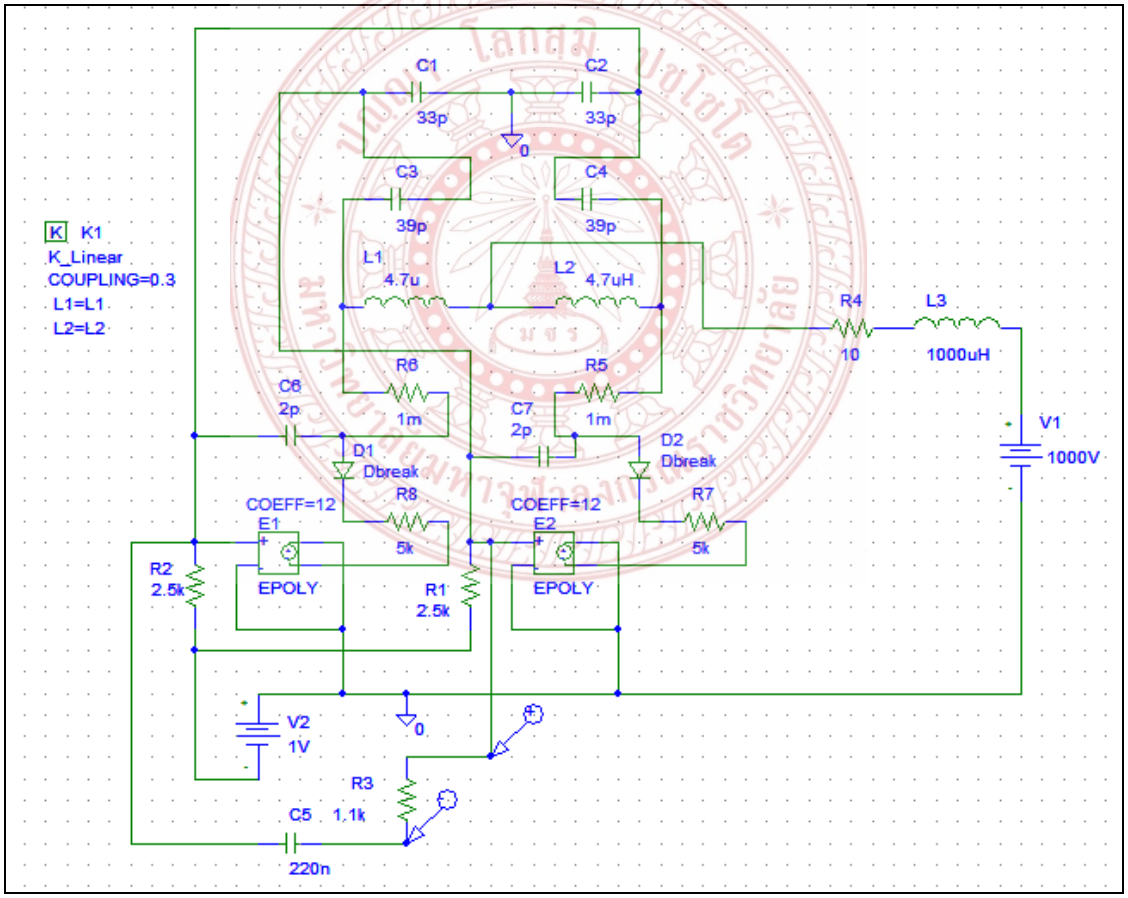
ภาพที่ 4.4 วงจรกำเนิดคลื่นความถี่แบบ push-pull

(Ref:http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-97332010000100015)



ในรูปที่ 4.4 วงจรไฟฟ้าดังกล่าวประกอบด้วยอุปกรณ์ ตัวต้านทาน (Resistor: R) ตัวเก็บประจุ (Capacitor: C) และตัวเหนี่ยวนำ (Inductor: L) หลากหลายค่า และอุปกรณ์หลอดสุญญากาศจำนวน 2 หลอดและมีแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงหรือ DCpower supply ที่ใช้ป้อนเป็นไฟเลี้ยงให้กับวงจรมีค่าสูงถึง 2.5 kV สำหรับป้อนให้หลอดสุญญากาศจำนวน 2 หลอดเพื่อทำให้เกิดการกำเนิดคลื่นความถี่ในช่วง 13-30 MHzวงจรนี้มีการป้อนไฟเลี้ยงกระแสตรงที่ไส้หลอดทั้งสองด้วยแรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์และกระแสไฟฟ้าที่สูงประมาณ 24 แอมแปร์ (A) และวงจรต้นแบบดังกล่าวนี้ได้ถูกนำมาทำการจำลอง(Simulation)โดยการวาดต่อวงจรตามรูปที่ 4.2 และเพิ่มเติมตัวอุปกรณ์เช่น R และอุปกรณ์ไดโอด (Diode) เข้าไปในวงจรเพื่อทำให้วงจรมีความเหมาะสมในการกำเนิดความถี่และการต่อวงจรเพื่อทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.5

ภาพที่ 4.5 วงจรกำเนิดคลื่นความถี่ที่ปรับให้เหมาะสมสำหรับการจำลองและต่อวงจรทดลอง



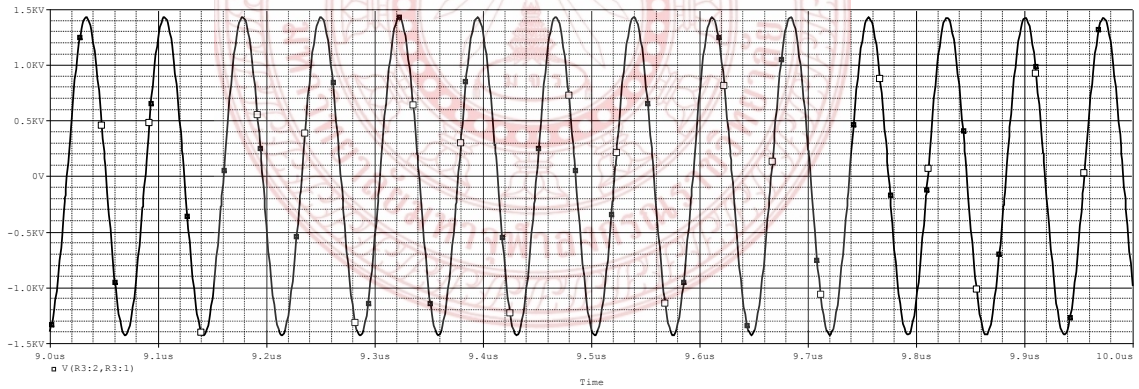
ในรูปที่ 4.5 วงจรดังกล่าวเป็นต้นแบบสำหรับกำเนิดคลื่นความถี่ในช่วง13-30 MHz โดยมีการกำหนดค่าอุปกรณ์และทำการจำลองด้วยโปรแกรม PSpice ดังตาราง

ตารางที่ 4.1 ค่าตัวแปรต่างๆที่ใช้ในการจำลอง

ค่าตัวต้านทาน (Ω)	ค่าตัวเก็บประจุ (F)	ค่าตัวเหนี่ยวนำ (H)	อุปกรณ์อื่นๆ	ค่าแหล่งจ่ายไฟ (V)
R1 = R2 = 2.5k R3 = 1.1k R4 = 10 R5 = R6 = 1M R7 = R8 = 5k	C1 = C2 = 33p C3 = C4 = 39p C5 = 220n C6 = C7 = 2p	L1 = L2 = 4.7μ L3 = 1000μ	- Diode 2 ตัว - หลอดสุญญากาศ 2 ตัว	V1 = 1000 V2 = 1

โดยการจำลองนั้นได้ทำการป้อนไฟเลี้ยงให้กับหลอดสุญญากาศที่ทำหน้าที่กำเนิดคลื่นสัญญาณจำนวน 2 ตัวด้วยค่าแรงดันประมาณ 1000 โวลต์(V) และมีการป้อนไฟเลี้ยงให้กับไส้หลอดประมาณ 1 โวลต์(V) ขณะทำการจำลอง และวัดค่าคลื่นสัญญาณทางoutput โดยทำการวัดรูปคลื่นสัญญาณที่อุปกรณ์ R3 ที่ทำหน้าที่เป็นโหลดของวงจร ซึ่งผลการจำลองจะได้คลื่นสัญญาณดังแสดงในรูปที่ 4.6

ภาพที่ 4.6 สัญญาณด้าน output ที่ R3 ด้วยการ simulate ของโปรแกรม PSpice

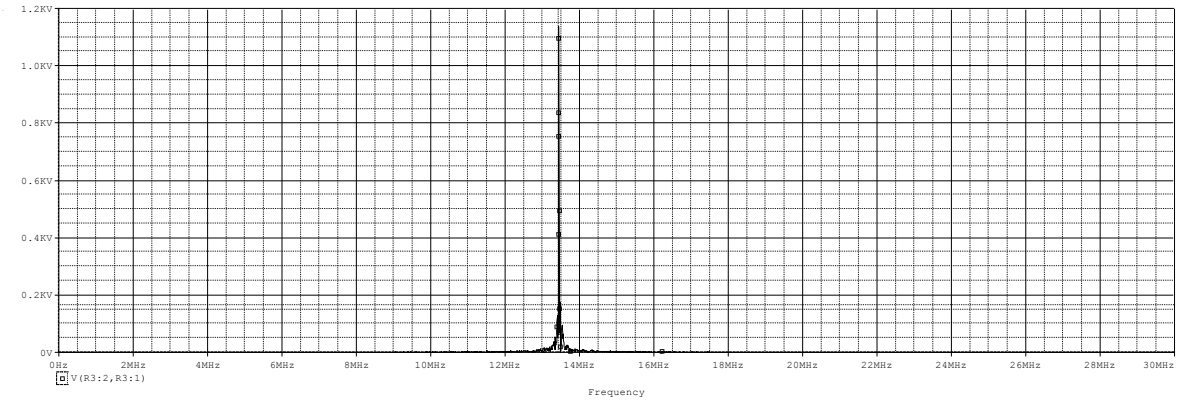


ผลที่ได้จากการจำลองดังรูปที่ 4.6 คือการวัดค่าแรงดันของคลื่นสัญญาณ output ที่ R3 และจากรูปที่ 4.5เมื่ออ่านค่าแรงดันในแกนตั้งจะได้ค่าแรงดันประมาณ 1400 Vppดังนั้นค่ากำลัง (Power)ที่เกิดขึ้นกับอุปกรณ์ R3 มีค่าประมาณคือ

$$P_{R3} = \frac{(1400/\sqrt{2})^2}{1100} = 890.9W$$

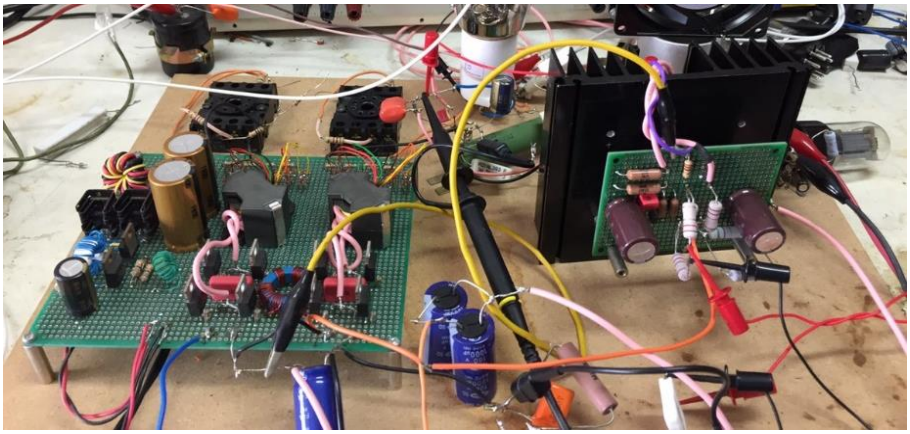
และผลจากการวัดค่าความถี่ของคลื่นที่วงจรได้กำเนิดความถี่ที่อุปกรณ์ R3ได้ผลสเปกตรัมความถี่ประมาณ 13.5MHz หรือวงจรทดลองนี้กำเนิดความถี่ได้เท่ากับ 13.5 MHz ดังแสดงในรูปที่ 4.7

ภาพที่ 4.7 สเปกตรัมความถี่ประมาณ 13.5 MHz ที่ R3

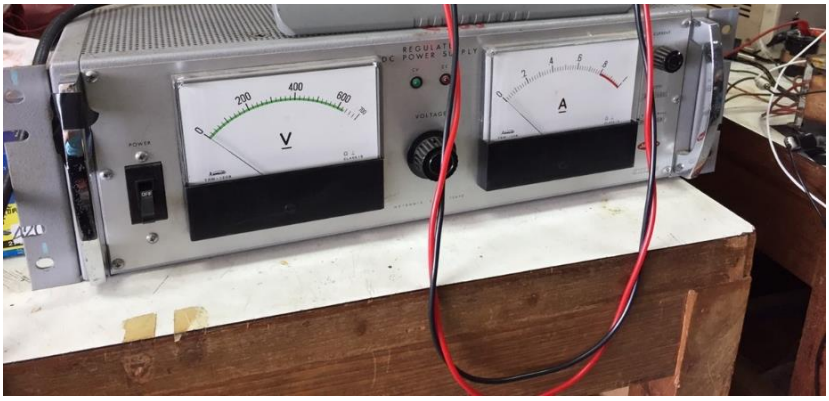


จากรูปที่ 4.7 เป็นสเปกตรัมความถี่ที่ได้จากการแปลงฟูเรียร์เพื่อดูความถี่ของคลื่นสัญญาณที่สร้างจากวงจรที่ทำการกำเนิดสัญญาณ และวงจรที่ได้จะถูกนำไปสร้างและทดสอบวัดจริงอีกครั้งเพื่อเปรียบเทียบกับผลการจำลอง เมื่อทำการต่อวงจรเพื่อทดสอบจริงกับอุปกรณ์ต่างๆซึ่งแสดงผลการต่อวงจรดังรูปที่ 4.8 และรูปแสดงอุปกรณ์แหล่งจ่ายไฟเลี้ยงให้กับวงจรดังรูปที่ 4.9 โดยทำการทดสอบด้วยการป้อนไฟเลี้ยงให้กับแผงวงจรในรูปที่ 4.8 พบว่าการกำเนิดคลื่นความถี่ไม่ค่อยมีความเสถียรภาพเนื่องจากวงจรต้องอาศัยคุณสมบัติจากหลอดสุญญากาศทั้งสองที่มีคุณลักษณะที่เหมาะสมกันเพื่อทำให้หลอดทั้งสองช่วยกันทำให้เกิดการทำงานที่มีความเสถียรภาพ และจากการต่อแผงวงจร พบว่า แผงวงจรจะมีความซับซ้อนพอสมควร ทำให้การจัดวางตำแหน่งของอุปกรณ์อาจมีผลต่อการกำเนิดคลื่นความถี่สูงได้ ดังนั้นเพื่อปรับให้การกำเนิดคลื่นความถี่มีความเสถียรภาพมากขึ้นจึงได้ปรับการทำงานของวงจรกำเนิดคลื่นความถี่ใหม่ดังแสดงในรูปที่ 4.10

ภาพที่ 4.8 แสดงแผงวงจรที่ต่อกับอุปกรณ์ RLC ค่าต่างๆ



ภาพที่ 4.9 แสดงอุปกรณ์แหล่งจ่ายไฟเลี้ยงสำหรับวงจรในรูปที่ 4.7

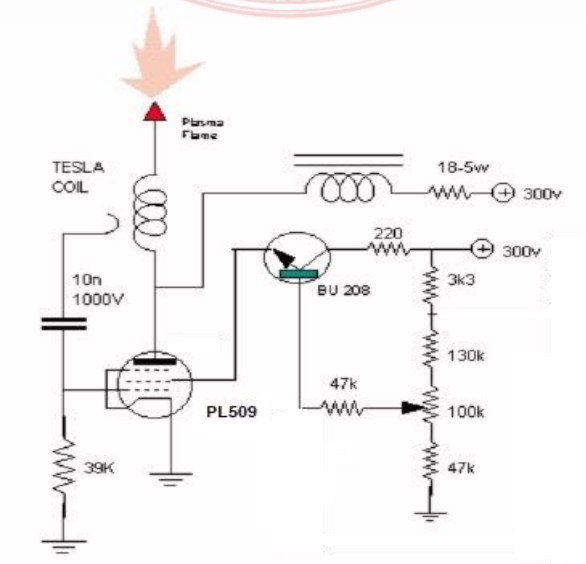


จากรูปที่ 4.9 ได้ทำการปรับให้วงจรกำเนิดคลื่นความถี่ทำงานเพียง 1 หลอด เพื่อลดความซับซ้อนในการทำงานโดยใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าสำหรับป้อนให้วงจรเพียง 300 โวลต์ และมีวงจรสำหรับควบคุมการทำงานของหลอดสุญญากาศด้วยอุปกรณ์ทรานส์ซิสเตอร์ โดยมีรายการอุปกรณ์ดังนี้

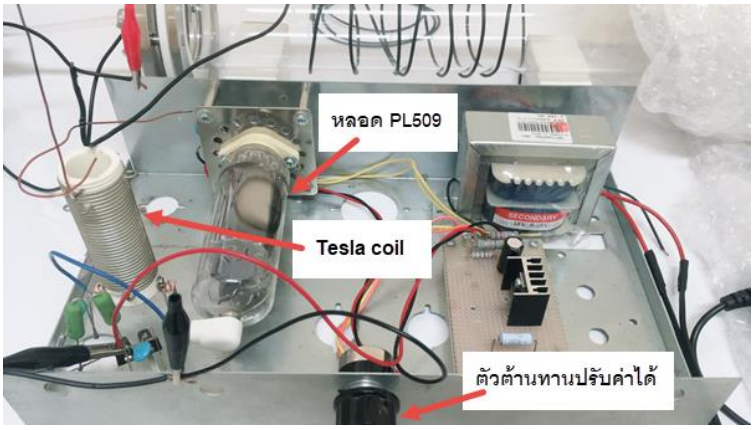
1. ตัวต้านทาน 18Ω, 220Ω, 3.3kΩ, 130kΩ, 47kΩ, 39kΩ
2. ตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ 100kΩ
3. ตัวเก็บประจุ10nF
4. อุปกรณ์อื่นๆ เช่น ทราส์ซิสเตอร์, Tesla coil, หลอดสุญญากาศ

และเมื่อนำมาต่อวงจรสำหรับทำการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 4.10พบว่า วงจรสามารถกำเนิดคลื่นความถี่ได้ระหว่าง 27-30 MHz และแผงวงจรมีการจัดวางอุปกรณ์ไม่ซับซ้อนเนื่องจากมีอุปกรณ์ที่ต่อน้อยกว่า ทำให้มีความสะดวกกว่าแผงวงจรเดิมที่ได้ออกแบบไว้ดังแสดงในรูปที่ 4.8

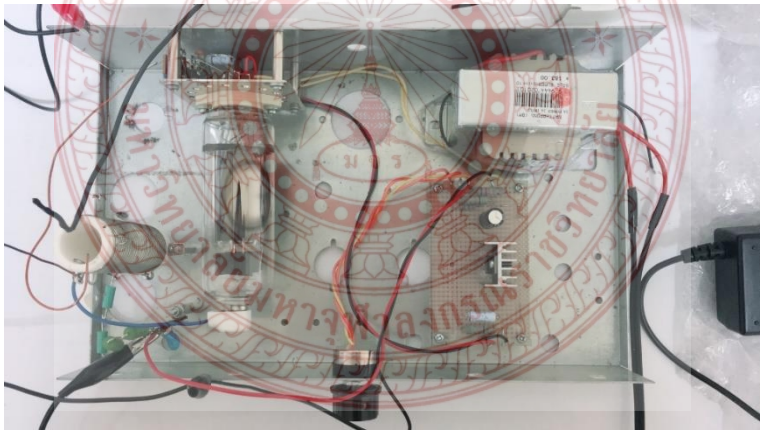
ภาพที่ 4.10 วงจรกำเนิดคลื่นความถี่แบบหลอดสุญญากาศ 1 หลอด



รูปที่ 4.11 แสดงตำแหน่งของอุปกรณ์บนแผงวงจรที่สร้างจริงจากรูปที่ 4.10



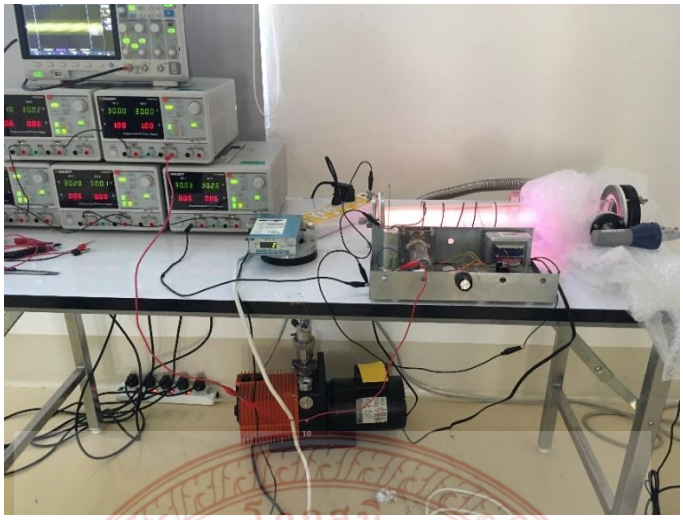
ภาพที่ 4.12 แสดงมุมด้านบนของแผงวงจรในรูปที่ 4.11



4.4. ผลการทดสอบเครื่องกำเนิดพลาสมา

จากรูปที่ 4.12 เป็นการทดสอบการทำงานของเครื่องกำเนิดพลาสมาโดยใช้ Power supply จำนวน 5 ตัวต่ออนุกรมกันเป็นแหล่งกำเนิด โดยเริ่มจากการเปิดระบบสุญญากาศเพื่อให้ความดันภายในภาชนะเป็นสุญญากาศ ซึ่งวัดค่าความดันภายในได้เท่ากับ 6 mTorrหลังจากนั้นปล่อยอากาศเข้าไปผ่านตัวควบคุมการไหลที่อัตรา 2 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที (sccm) ซึ่งวัดค่าความดันภายในได้เท่ากับ 40 mTorr พบว่า การแตกตัวของอากาศที่ทำให้เกิดพลาสมานั้นได้พลังงานมาจากต้นกำเนิดแบบวิทยุRF (Radio frequency) ที่ให้ความถี่ในช่วง 27-30MHz และกำลังจากแหล่งกำเนิดในขณะที่เกิดพลาสมามีค่าเท่ากับ 14.4 วัตต์

ภาพที่ 4.13 แสดงภาพการทดสอบเครื่องกำเนิดพลาสมาที่กำลัง 14.4 วัตต์



หลังจากนั้น ได้ทำการลดกำลังของแหล่งกำเนิดโดยเปลี่ยนจาก Power supply เป็น Adapter จำนวน 6 ตัวที่ต่ออนุกรมกัน เพื่อทำการทดสอบการเกิดพลาสมาในลักษณะเดียวกัน พบว่าการแตกตัวของอากาศที่ทำให้เกิดพลาสมานั้นได้พลังงานมาจากต้นกำเนิดแบบวิทยุRF (Radio frequency) ที่ให้ความถี่27-30MHz และกำลังจากแหล่งกำเนิดในขณะที่เกิดพลาสมามีค่าเท่ากับ 4.3 วัตต์ ดังแสดงในรูปที่ 4.14

รูปที่ 4.14 แสดงภาพการทดสอบเครื่องกำเนิดพลาสมาที่กำลัง 4.3 วัตต์

4.5 การวิเคราะห์เครื่องกำเนิดพลาสมากับงานการแพทย์เชิงบูรณาการ

การพัฒนาออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดพลาสมาต้นแบบที่สามารถนำมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพผิวของวัสดุที่ต้องการ โดยมีการทดลองปรับปรุงผิววัสดุโดยใช้กระบวนการพลาสมากับชิ้นงานทดสอบ (โลหะผสมไทเทเนียม) และทดสอบภาวะการเปียก (Wettability) ของชิ้นงานที่ผ่านการปรับปรุงผิวตามโครงการวิจัยนี้ มีความสัมพันธ์กับการแพทย์เชิงบูรณาการเพื่อการเสริมสร้างสุขภาพทางกาย เพื่อให้บุคคลมีสุขภาพทางกายที่ดี มีการดูแลร่างกายภายใต้หลักการพื้นฐานที่จะป้องกันไม่ให้โรคหรือทุกขเวทนาเกิดขึ้น และบรรเทารักษาโรคภัยไข้เจ็บที่เกิดขึ้นแล้วให้ลดลง ด้วยการรับประทานอาหารให้ครบถ้วน เหมาะสมกับความต้องการของร่างกาย มีการใช้สอยปัจจัย 4 อย่างเหมาะสม การออกกำลังสม่ำเสมอ มีการรักษาสุขอนามัยส่วนบุคคลอย่างต่อเนื่อง และเมื่อร่างกายเกิดเจ็บป่วยไม่สบายขึ้นก็ให้ทำการรักษา โดยใช้ภูมิปัญญาและกระบวนการของการแพทย์เข้ามาดูแล เช่น การใช้ยารักษาและการเสริมอุปกรณ์ทางการแพทย์เข้าในระบบร่างกาย เป็นต้น

ซึ่งการรักษาโรคทางกายมีความสัมพันธ์กับการเสริมสร้างสุขภาพทางจิตซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของชีวิตมนุษย์ จะต้องให้ความสำคัญกับจิตใจของตนเอง ให้จิตใจมีความเข้มแข็ง ผ่อนคลาย ไม่ตึงเครียด และมีความพร้อมในการพัฒนาและยกระดับจิตใจด้านคุณธรรมให้เพิ่มพูนขึ้น พัฒนาจิตใจให้เจริญงอกงามด้วยสติปัญญา โดยมีเป้าหมายสุดท้าย คือ ความไม่เจ็บป่วยทางจิตใจอย่างสิ้นเชิง บรรลุสุขภาพอันสมบูรณ์ หรือมีความอิสระแห่งจิตที่ไม่เป็นทาสของกิเลส ความโลภ ความโกรธ ความหลง และความครอบงำด้านอวิชชา มีจิตที่ปลอดโปร่ง เหมาะสมกับการทำงานในทุกสภาวะ สำหรับความใส่ใจต่อสุขภาพใจนี้ สามารถปรับสภาพจิตใจของบุคคลให้เรียนรู้ มีการพัฒนาจิตใจของตนเองอย่างต่อเนื่อง ด้วยการเข้าใจถึงสภาพการณ์ที่เป็นจริงในสังคม ในขณะเดียวกันก็ใช้กระบวนการทางสังคมเพื่อเป็นการเยียวยาและเสริมสร้างพลังทางจิตใจของบุคคล เช่น การใช้มิตรภาพ การเอาใจใส่ดูแลซึ่งกันละกันก็จะทำให้บุคคลมีจิตใจที่เข้มแข็ง

ในการบำบัดโรคทางกายจำเป็นต้องมีกระบวนการรักษาที่ทางการแพทย์ที่เหมาะสม โดยสามารถประยุกต์ใช้อุปกรณ์ทางการแพทย์ที่เกี่ยวข้องกับการใช้เครื่องกำเนิดพลาสมาได้ ส่วนการรักษาทางใจหรือโรคทางวิญญาณนั้น การทำสมาธิเพื่อให้จิตสงบ ผ่อนคลาย สามารถช่วยได้ในระดับหนึ่ง แต่ถ้าจะให้ได้ผลอย่างแท้จริงและยั่งยืน ต้องอาศัยการเปลี่ยนทัศนคติเพื่อให้เกิดความรู้ความเข้าใจที่ถูกต้องหรือสอดคล้องกับความเป็นจริงซึ่งทางพุทธศาสนาเรียกว่าปัญญา ซึ่งปัญญานั้นมีหลายระดับเริ่มจากการเห็นว่าความเจ็บป่วยนั้นเป็นธรรมดาของชีวิต ความเข้าใจดังกล่าวช่วยให้ยอมรับความเจ็บป่วยได้ โดยใจไม่ทุกข์ทรมานไปกับอาการดังกล่าวมากนักหรือการเห็นว่าโรคใดๆ ก็ตามไม่น่ากลัวเท่ากับความกลัวต่อโรคนั้น ความสำเร็จของชีวจิตส่วนหนึ่งอยู่ที่การทำให้ผู้ป่วยเห็นว่ามะเร็งไม่ใช่โรคร้ายที่น่าสะพรึงกลัว แม้จะเป็นมะเร็งหรือมีเซลมะเร็งอยู่ในร่างกาย เราก็สามารถมีความสุขได้และอาจสุขยิ่งกว่าตอนก่อนป่วยด้วยซ้ำ ส่วนปัญญาในขั้นที่สูงขึ้นไปกว่านั้น คือ การเห็นว่าไม่มีอะไรที่จะยึดมาเป็นตัวตนได้ แม้แต่ร่างกายก็ไม่ใช่ของเราจริง ๆ ปัญญาดังกล่าวช่วยให้ปล่อยวางในร่างกาย และไม่ยึดเอาทุกขเวทนาทางกายมาเป็นของตน ดังนั้น แม้จะป่วยกาย แต่ก็ไม่ป่วยใจ ปัญญาที่ละวางความยึดติดในตัวตนนี้ ช่วยให้สามารถดำเนินชีวิตอย่างมีความสุข และโปร่งเบา ปลอดพ้นจากความเครียด ความโกรธ ความริษยา ความแข่งดี ความถือตัว เป็นต้น ปัญญาที่พัฒนาเต็ม

ขั้นย่อมทำให้เป็นอิสระจากโรคทางใจได้อย่างสิ้นเชิง สุขภาวะหรือสุขภาพที่เกิดจากปัญญาดังกล่าว อาจเรียกว่าสุขภาวะทางปัญญาได้ โดยสรุปการรักษาสุขภาพแบบองค์รวมมี 4 ด้าน คือ

1. ด้านกาย ได้แก่ การฟื้นฟูและรักษาร่างกายทั้งระบบ โดยอาศัยยา กระบวนการบำบัดทางกาย ตลอดจนการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมอาทิ การกิน การนอน การพักผ่อน การออกกำลังกาย และการทำงาน

2. ด้านจิต ได้แก่ การผ่อนคลายจิต ทำให้เกิดความสงบ แช่มชื่น ผ่องใส มีเมตตา และกำลังใจ ไม่ท้อแท้สิ้นหวัง

3. ด้านปัญญา ได้แก่ การเปลี่ยนทัศนคติเกี่ยวกับโรคและชีวิต เพื่อละวางความติดยึดและเป็นอิสระจากความผันผวนปรวนแปรของชีวิต

4. ด้านสังคม ได้แก่ การมีความสัมพันธ์ที่ราบรื่นกับผู้อื่น มีครอบครัว ญาติมิตร หรือชุมชนที่พร้อมเป็นกำลังใจให้ความช่วยเหลือ มีความเอื้ออาทรต่อกัน ซึ่งกระทรวงสาธารณสุข ได้ระบุถึงเทคนิควิธีการพื้นฐานในการเยียวยาสุขภาพแบบองค์รวมว่า น่าจะประกอบด้วยวิธีการที่สำคัญ ดังนี้

1) อาหารและโภชนาการ

2) การผ่อนคลายความเครียด

3) การเยียวยาทางจิตใจและการทำสมาธิ

4) การหลีกเลี่ยงสิ่งแวดล้อมที่ไม่เอื้อต่อสุขภาพ

5) การพักผ่อนที่เพียงพอ

6) การออกกำลังกายที่เหมาะสมกับวัย เพศ และสภาพร่างกาย

7) การแบ่งปันความรัก และสร้างสัมพันธภาพระหว่างคนรอบข้าง รวมทั้งตนเอง

8) การแสดงออกอย่างสร้างสรรค์

9) การสร้างสัมพันธภาพทางจิตวิญญาณและการเยียวยา

10) การพัฒนาปัญญา

และได้กล่าวถึงการเสริมสร้างสุขภาพองค์รวมเชิงพุทธว่า บุคคลจะต้องดำเนินการดูแลรักษาสุขภาพในมิติทางกายและจิตใจ ดังนี้

1) สุขภาพดีเกิดจากความเข้าใจในธรรมชาติของโลก (ไตรลักษณ์)

2) สุขภาพดีบนความพอเพียง (สันโดษ)

3) สุขภาพทางร่างกายดีสร้างได้ด้วยการรับประทานอาหาร และการออกกำลังกาย

4) สุขภาพดีเกิดด้วยสติ

5) สุขภาพดีมีศีลธรรมเป็นพื้นฐาน

6) สุขภาพดีเกิดจากต้นแบบที่ดี (กัลยาณมิตร)

เมื่อมีการดำเนินการรักษาสุขภาพดังกล่าวแล้ว ผลที่เกิดขึ้น คือ บุคคลเป็นผู้ที่มีสุขภาพทั้งทางกายและทางจิตใจที่ดี มีความสุข เป็นผู้ตั้งตนอยู่ในบุญกุศล เป็นผู้ปฏิบัติตามหลักไตรสิกขาเป็นผู้ดำเนินชีวิตมุ่งสู่ความเจริญทั้งทางสังคมและปัญญา

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การวิจัยครั้งนี้ เป็นการวิจัยเชิงทดลองทางวิศวกรรมศาสตร์แบบบูรณาการ มีวัตถุประสงค์ 3 ประการ คือ 1) เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดพลาสมาต้นแบบที่สามารถนำมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพผิวของวัสดุที่ต้องการ 2) เพื่อทดลองปรับปรุงผิววัสดุโดยใช้กระบวนการพลาสมากับชิ้นงานทดสอบ (โลหะผสมไทเทเนียม) และทดสอบภาวะการเปียก (wettability) ของชิ้นงานที่ผ่านการปรับปรุงผิว 3) เพื่อวิเคราะห์เครื่องกำเนิดพลาสมากับงานการแพทย์เชิงบูรณาการ งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดพลาสมาต้นแบบเพื่อใช้ในการปรับปรุงผิวของวัสดุโลหะผสมไทเทเนียม อีกทั้งยังสามารถสร้างเครื่องกำเนิดพลาสมาที่มีต้นทุนต่ำลดการนำเข้าจากต่างประเทศได้อีกด้วย ผลการวิจัยโดยสรุป ดังนี้

5.1 สรุปผลการศึกษาวิจัย

ในปัจจุบันนี้ โลหะผสมไทเทเนียมเป็นวัสดุที่นิยมนำมาประยุกต์ใช้เป็นวัสดุทางการแพทย์เนื่องจากมีความสามารถในการต้านทานการกัดกร่อนและมีความเข้ากันได้ดีกับร่างกาย แต่อย่างไรก็ตามวัสดุทางการแพทย์บางชนิดยังต้องการผิวที่มีความเป็น Hydrophobic เพื่อหลีกเลี่ยงการยึดเกาะของเกล็ดเลือด หนึ่งในวิธีที่ได้ประสิทธิผลสำหรับการแก้ปัญหานี้คือการใช้กระบวนการพลาสมา ดังนั้น วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือการออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดพลาสมาต้นแบบที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงผิวของวัสดุทางการแพทย์ได้ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ใช้ Borosilicate glass เป็นวัสดุสำหรับทำภาชนะพลาสมาโดยออกแบบให้เป็นระบบสุญญากาศ และออกแบบแผนผังวงจรไฟฟ้าสำหรับการสร้างวงจรกำเนิดคลื่นความถี่ จากผลการวิจัย พบว่า ความแข็งแรงของภาชนะพลาสมาที่ออกแบบมานั้นสามารถรับความเค้นกดได้สูงถึง 70 MPa และจากการออกแบบวงจรกำเนิดคลื่นความถี่ พบว่า วงจรสามารถกำเนิดคลื่นความถี่ได้ระหว่าง 27-30 MHz หลังจากนั้นได้นำมาทดสอบการเกิดสถานะพลาสมาซึ่งใช้อากาศป้อนเข้าไปในภาชนะพลาสมาที่อยู่ในระบบสุญญากาศ โดยใช้แหล่งกำเนิดพลังงานที่ให้กำลังต่างกัน พบว่า ทั้งสองแหล่งกำเนิดพลังงานที่ 4.3 วัตต์ และ 14.4 วัตต์ สามารถกระตุ้นอากาศให้เกิดการแตกตัวเป็นสถานะพลาสมาได้อย่างมีความเสถียรภาพ ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า เครื่องกำเนิดพลาสมาต้นแบบนี้สามารถนำไปพัฒนาเพื่อต่อยอดและประยุกต์ใช้สำหรับการปรับปรุงผิวของวัสดุด้วยกระบวนการพลาสมาได้

วิธีการทดลอง ในการสร้างเครื่องกำเนิดพลาสมาต้นแบบนั้น ได้แบ่งลักษณะของงานออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่

1. การออกแบบภาชนะพลาสมา เพื่อคำนวณความแข็งแรงของภาชนะพลาสมาโดยใช้ Borosilicate glass เป็นวัสดุสร้างภาชนะพลาสมา ซึ่งสมบัติทางกลของ Borosilicate glass แสดงดังตารางที่ 1 การออกแบบภาชนะพลาสมานั้นใช้หลักการออกแบบภาชนะความดันผนังบางซึ่งเป็นการประยุกต์ใช้ความรู้การคำนวณและวิเคราะห์ของความเค้น เนื่องจากว่าผนังบางนั้นทนต่อแรงโค้ง

(Bending force) ได้เพียงเล็กน้อย จึงสามารถสมมติได้ว่าแรงภายใน (Internal force) ที่กระทำอยู่บนผนังนั้นมีทิศทางในแนวสัมผัสกับผนังของภาชนะ ดังแสดงในรูปที่ 1

จากภาชนะความดันรูปทรงกระบอก (Cylindrical vessel) ที่มีรัศมีภายใน r และความหนาของผนัง t ดังรูปที่ 2 พบว่า เราจะพิจารณาความเค้นที่กระทำบนผนังภาชนะความดันบนพื้นที่เล็กๆในแนวขนานและแนวตั้งฉากกับผิวของภาชนะ และเนื่องจากว่ารูปทรงของภาชนะนั้นสมมาตร จะไม่มีความเค้นเฉือนกระทำบนผิวของภาชนะ จากรูปที่ 2 กำหนดให้ความเค้นตั้งฉาก (Normal stress) σ_1 และ σ_2 เป็นความเค้นหลัก (Principal stress) โดย σ_1 เรียกว่า Hoop stress และ σ_2 เรียกว่า Longitudinal stress

ตารางที่ 5.1 สมบัติทางกลของ Borosilicate glass

Compressive Strength	2000 MPa
Modulus of Elasticity	67-80 GPa
Flexural Strength	34-69 MPa
Fracture Toughness	0.8 MPa-$m^{1/2}$
Knoop Hardness	510
Poisson's Ratio	0.21
Ultimate Tensile Strength	280 MPa

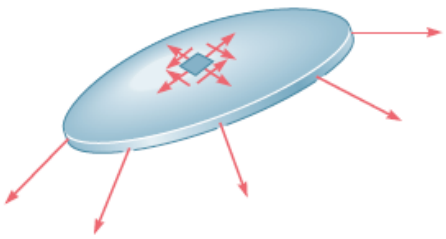
ในการคำนวณหา σ_1 (Hoop stress) นั้น เราจะทำการพิจารณาชิ้นส่วนที่ถูกตัดออกดังแสดงในรูปที่ 3 โดยแรงที่กระทำในขนานกับแนวแกน z นั้น ได้แก่ แรงที่กระทำตรงขอบของภาชนะความดัน ($\sigma_1 dA$) และแรงที่กระทำกับผิวภายในของภาชนะความดัน (pdA) โดย p คือ Gage pressure ของของไหล เมื่อพิจารณาแรงลัพธ์ทั้งหมดที่กระทำในทิศทางแกน z แล้วจะได้ว่า

$$\sum F_z = 0: \qquad \sigma_1 dA - pdA = 0 \qquad (1)$$

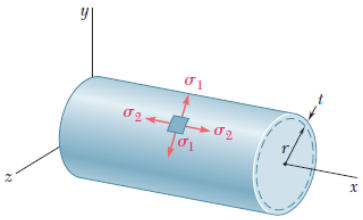
$$\sum F_z = 0: \qquad \sigma_1 (2t\Delta x) - p(2r\Delta x) = 0 \qquad (2)$$

ดังนั้น Hoop stress (σ_1) เท่ากับ $\qquad \sigma_1 = \frac{pr}{t} \qquad (3)$

ภาพที่ 5.1 แสดงความเค้นที่กระทำในแนวสัมผัสกับผนังของภาชนะ



ภาพที่ 5.2 แสดงความเค้นที่กระทำบนผิวของภาชนะความดันรูปทรงกระบอก



สำหรับการคำนวณหา σ_2 (Longitudinal stress) นั้นเราจะใช้แผนภาพอิสระดังแสดงในรูปที่ 4 โดยพิจารณาแรงลัพธ์ที่กระทำในแนวแกน x จะได้ว่า

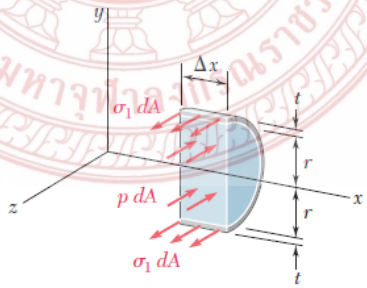
$$\sum F_x = 0: \quad \sigma_2 dA - p dA = 0 \tag{4}$$

$$\sum F_x = 0: \quad \sigma_2 (2\pi rt) - p(\pi r^2) = 0 \tag{5}$$

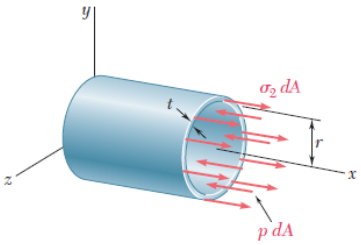
ดังนั้น Longitudinal stress (σ_2) เท่ากับ $\sigma_2 = \dfrac{pr}{2t}$ (6)

หรืออีกนัยหนึ่งคือ $\sigma_1 = 2\sigma_2$ (7)

ภาพที่ 5.3 แสดงแผนภาพอิสระสำหรับการคำนวณหา Hoop stress ในภาชนะความดันรูปทรงกระบอก



ภาพที่ 5.4 แสดงแผนภาพอิสระสำหรับการคำนวณหา Longitudinal stress ในภาชนะความดันรูปทรงกระบอก

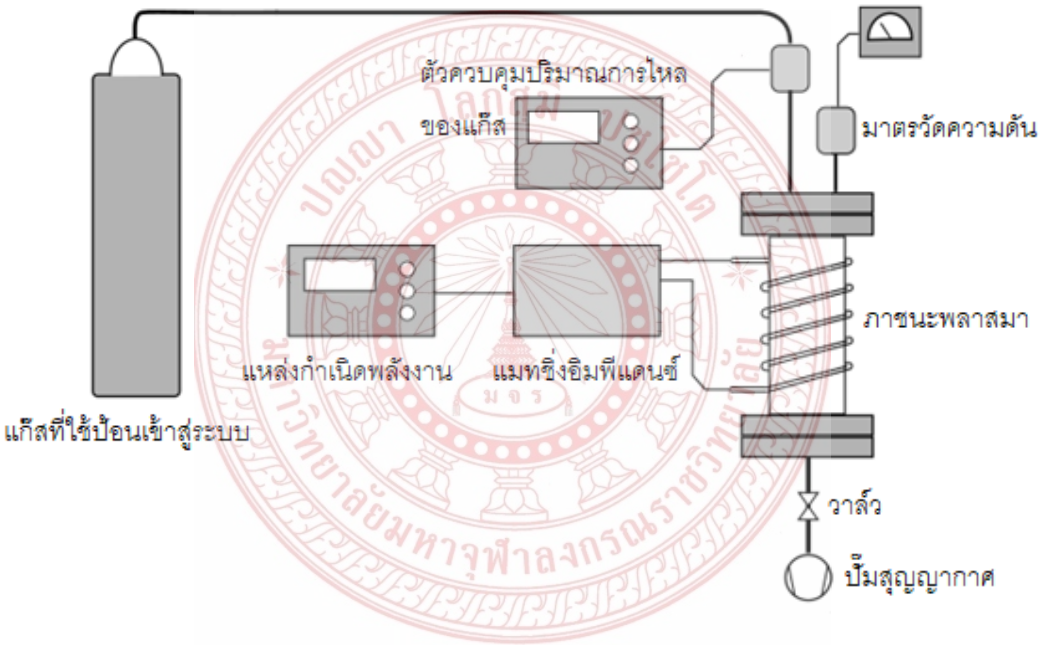


2. การออกแบบระบบสุญญากาศ เพื่อสร้างพลาสมาที่ความดันต่ำ โดยระบบสุญญากาศจะประกอบด้วยปั๊มสุญญากาศที่ดึงอากาศออกจากภาชนะ วาล์ว และมาตรวัดความดันที่บอกสถานะความดันของแก๊สภายในภาชนะ อีกทั้งยังรวมไปถึงระบบควบคุมปริมาณการไหลของแก๊สที่เข้าสู่ภาชนะพลาสมา

3. การออกแบบวงจรกำเนิดคลื่นความถี่ เพื่อสร้างแหล่งกำเนิดคลื่นความถี่ที่ให้กำลังไม่เกิน 100 วัตต์ แก่แก๊สภายในภาชนะปิดเพื่อให้เกิดการแตกตัวอยู่ในสถานะพลาสมา

หลังจากนั้นจะนำระบบทั้งสามส่วนนี้มาประกอบเข้าด้วยกัน เพื่อทดสอบการเกิดสถานะพลาสมาภายในภาชนะสุญญากาศ โดยระบบทั้งหมดแสดงดังในรูปที่ 5

ภาพที่ 5.5 แสดงส่วนประกอบของระบบพลาสมา



5.1.1 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

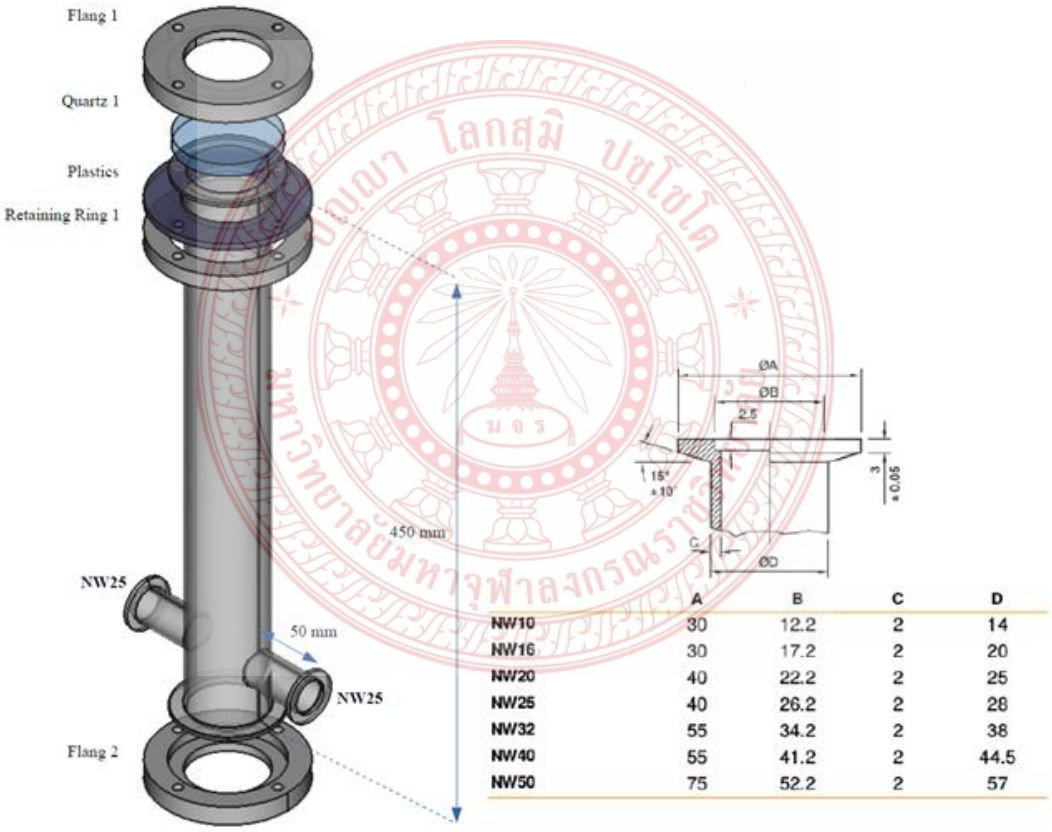
1. ผลการออกแบบและคำนวณความแข็งแรงของภาชนะพลาสมา การออกแบบภาชนะพลาสมาเป็นการออกแบบโดยใช้หลักการคำนวณความเค้นในภาชนะความดันผนังบาง โดยเลือกวัสดุเป็น Borosilicate glass ซึ่งสามารถทนความร้อนได้ประมาณ 500 องศาเซลเซียส มีค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength) เท่ากับ 280 MPa ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity) อยู่ในช่วง 67-80 GPa และค่าความต้านทานแรงกด (Compressive Strength) เท่ากับ 2000 MPa โดยภาชนะพลาสมามีขนาดดังแสดงในรูปที่ 6 ในการออกแบบภาชนะพลาสมานั้นได้กำหนดให้ภาชนะพลาสมาสามารถทนความดันภายใน (Internal Pressure) เท่ากับ 0.1 Pa โดยมีความดันภายนอก (External Pressure) เท่ากับความดันบรรยากาศ (Atmosphere Pressure, $1x10^5$ Pa) ดังนั้นความแตกต่างของความดันระหว่างภายในและภายนอกหรือเรียกว่าความดันเกจ (Gauge Pressure) มีค่าเท่ากับ $1x10^6$ Pa

จากรูปที่ 6 สามารถนำไปคำนวณ Hoop stress และ Longitudinal stress ดังสมการที่ (3) และ (6) ได้ดังนี้

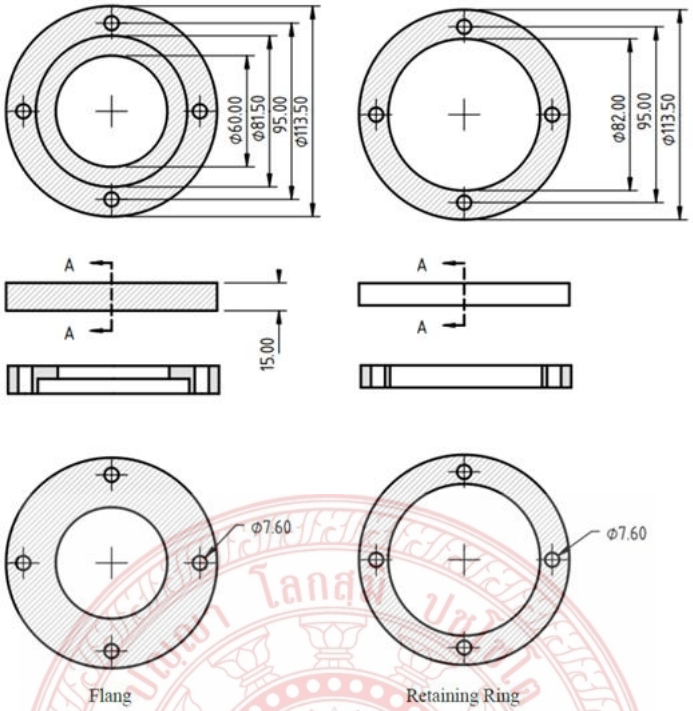
Hoop stress; $$\sigma_1 = \frac{pr}{t} = \frac{(1MPa)(30mm)}{5mm} = 6MPa$$

Longitudinal stress; $$\sigma_2 = \frac{pr}{2t} = \frac{(1MPa)(30mm)}{2(5mm)} = 3MPa$$

ภาพที่ 5.6 แสดงขนาดและรูปร่างของภาชนะพลาสมา



	A	B	C	D
NW10	30	12.2	2	14
NW16	30	17.2	2	20
NW20	40	22.2	2	25
NW25	40	26.2	2	28
NW32	55	34.2	2	38
NW40	55	41.2	2	44.5
NW50	75	52.2	2	57



จากทฤษฎีการคำนวณ Principal Stress จะได้ว่า

$$\sigma_{ave} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} = \frac{6MPa + 3MPa}{2} = 4.5MPa$$

$$R = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} = \frac{6MPa - 3MPa}{2} = 1.5MPa$$

$$\sigma_{\max} = \sigma_{ave} + R = 4.5MPa + 1.5MPa = 6MPa$$

$$\sigma_{\min} = \sigma_{ave} - R = 4.5MPa - 1.5MPa = 3MPa$$

และจากทฤษฎีการคำนวณ Factor of Safety (F.S.) พบว่า ค่า F.S. ที่นิยมใช้สำหรับการคำนวณความแข็งแรงของภาชนะความดัน (Pressure Vessel) มีค่าประมาณ 3.5-4.0 ดังนั้นจะได้ว่า

$$F.S. = \frac{\sigma_{ultimate}}{\sigma_{allowable}} \quad \text{หรือ} \quad \sigma_{allowable} = \frac{\sigma_{ultimate}}{F.S.}$$

เมื่อแทนค่า Ultimate Tensile Strength ของ Borosilicate glass และ F.S. สำหรับการคำนวณความแข็งแรงของภาชนะความดัน จะได้ว่า

$$\sigma_{allowable} = \frac{\sigma_{ultimate}}{F.S.} = \frac{280MPa}{4} = 70MPa$$

ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า $\sigma_{\max} < \sigma_{allowable}$ --> **Design is acceptable.**

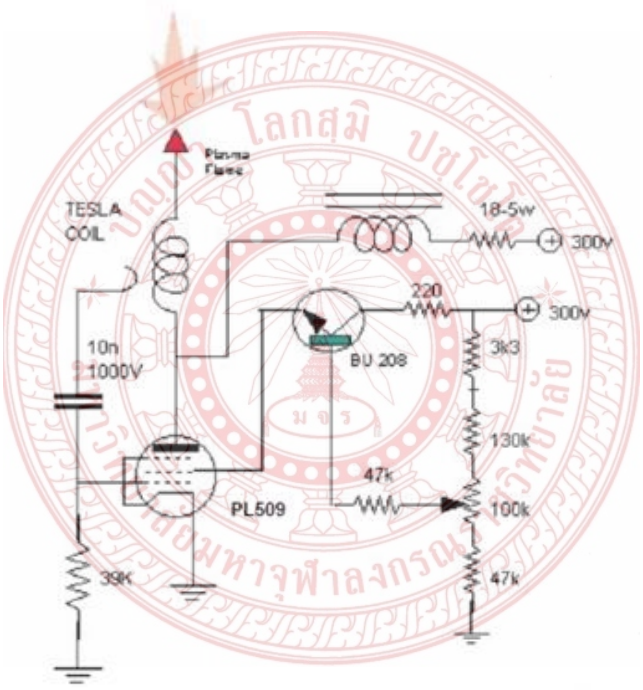
2. ผลการออกแบบวงจรกำเนิดคลื่นความถี่ ในการออกแบบวงจรกำเนิดคลื่นความถี่นั้นใช้หลักการของวงจร push-pull oscillator ในการกำเนิดคลื่นความถี่ ซึ่งการทดลองนี้ได้ทำการประยุกต์และปรับวงจรกำเนิดคลื่นความถี่จากงานวิจัยของ Canal *et al.* ซึ่งมีหลอดสุญญากาศจำนวน 2 หลอดให้เหลือเพียง 1 หลอด เพื่อลดความซับซ้อนในการทำงานโดยใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้า

สำหรับป้อนให้วงจรเพียง 300 โวลต์ และมีวงจรสำหรับควบคุมการทำงานของหลอดสุญญากาศด้วยอุปกรณ์ทรานส์ซิสเตอร์ดังแสดงในรูปที่ 7 โดยมีรายการอุปกรณ์ดังนี้

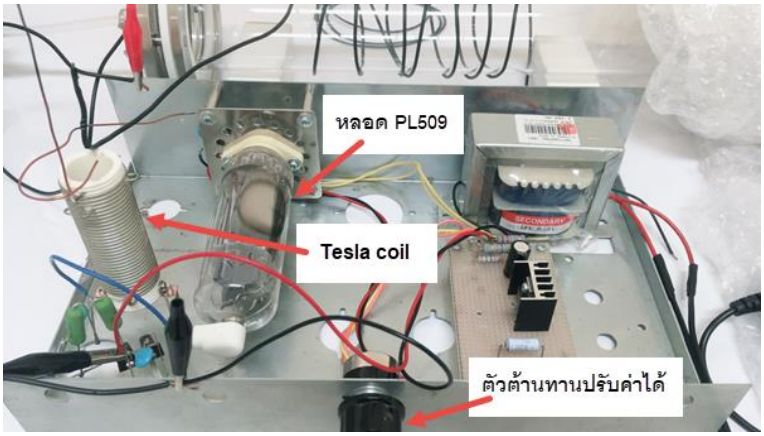
1. ตัวต้านทาน 18Ω, 220Ω, 3.3kΩ, 130kΩ, 47kΩ, 39kΩ
2. ตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ 100kΩ
3. ตัวเก็บประจุ 10nF
4. อุปกรณ์อื่นๆ เช่น ทราส์ซิสเตอร์, Tesla coil, หลอดสุญญากาศ

เมื่อนำมาต่อวงจรสำหรับทำการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 8 พบว่า วงจรสามารถกำเนิดคลื่นความถี่ได้ในช่วง 27-30 MHz ซึ่งจะนำวงจรนี้ไปทำการทดสอบการเกิดสถานะพลาสมาดังจะกล่าวในหัวข้อ 3.4

ภาพที่ 5.7 วงจรกำเนิดคลื่นความถี่แบบหลอดสุญญากาศ 1 หลอด

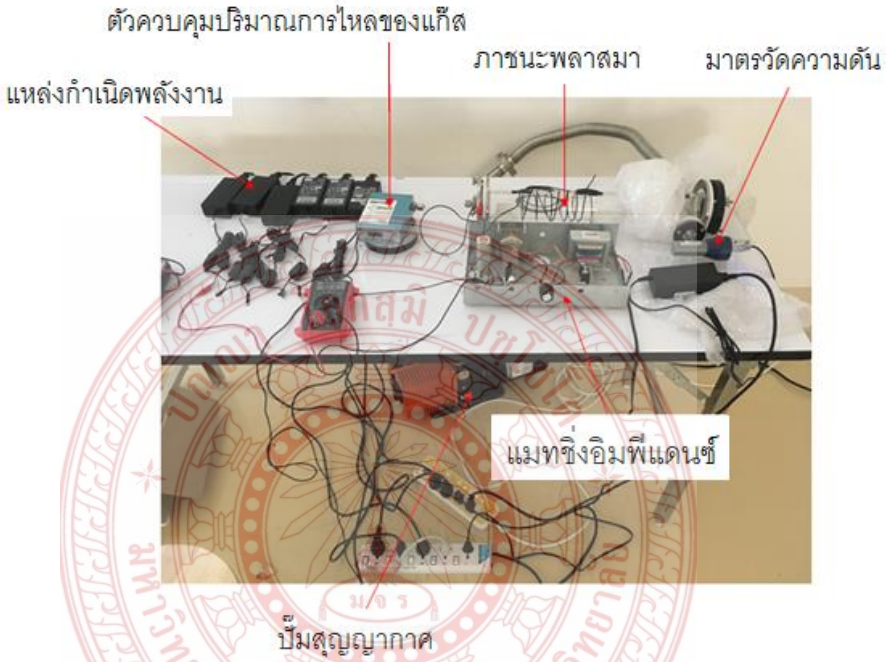


ภาพที่ 5.8 แสดงตำแหน่งของอุปกรณ์บนแผงวงจรที่สร้างจริงจากรูปที่ 5.7



3. ผลการออกแบบส่วนประกอบของระบบพลาสมา จากผลการออกแบบภาชนะพลาสมาและวงจรกำเนิดคลื่นความถี่ดังได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 3.1 และ 3.2 เมื่อนำวงจรมาประกอบและสร้างจริงตามที่ได้ออกแบบไว้ในรูปที่ 5 จะมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 5.9

รูปที่ 5.9 แสดงส่วนประกอบของระบบพลาสมาที่สร้างจริงจากรูปที่ 5

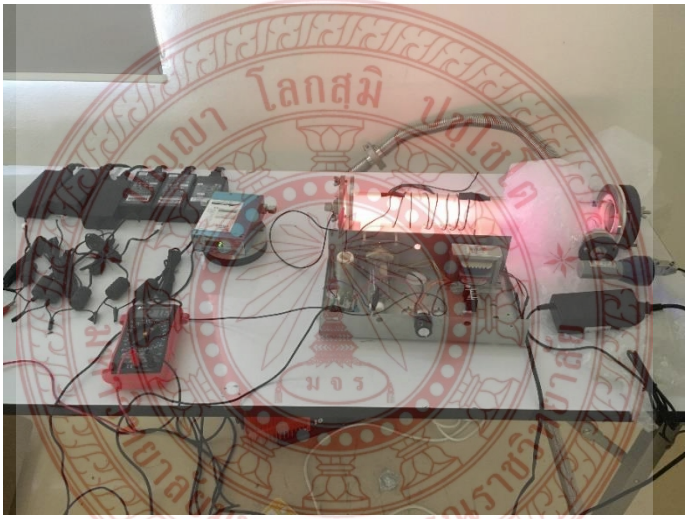


จากรูปที่ 5.9 แสดงส่วนประกอบของระบบพลาสมา โดยระบบดังกล่าวจัดเป็นโกลว์ดิสชาร์จ (Glow discharge) ด้วยการเหนี่ยวนำ (Inductive coupled plasma, ICP) ประกอบไปด้วยขดลวดที่พันรอบภาชนะพลาสมา และแก๊สที่อยู่ภายในจะได้รับพลังงานจากแหล่งจ่ายพลังงาน ซึ่งจะทำงานในช่วงความถี่ 27-30 MHz เพื่อแตกตัวเกิดเป็นสถานะพลาสมาภายในภาชนะ ชุดแมทชิ่งอิมพีแดนซ์จะทำหน้าที่ปรับให้เกิดการส่งผ่านพลังงานจากแหล่งจ่ายพลังงานให้แก๊สในภาชนะพลาสมามากที่สุด โดยระบบถูกออกแบบมาให้ทำงานในลักษณะของพลาสมาเย็น ซึ่งจะมีอุณหภูมิของอิเล็กตรอนสูง แต่มีอุณหภูมิของไอออนหนักใกล้เคียงกับอุณหภูมิห้อง โดยเงื่อนไขดังกล่าวจะเกิดได้ที่ความดันต่ำ ดังนั้นภาชนะพลาสมาจึงต้องมีระบบปั๊มสุญญากาศสำหรับลดความดัน และมีมาตรวัดความดันเพื่อตรวจสอบค่าความดันภายใน เมื่อมีการใช้งานพลาสมาจะเกิดการทำปฏิกิริยากับตัวอย่าง ทำให้ปริมาณพลาสมาในภาชนะลดลง ดังนั้นจึงต้องมีการเติมแก๊สเข้าไปในระบบโดยปริมาณแก๊สที่เติมเข้าไปจะถูกควบคุมโดยอุปกรณ์ควบคุมการไหล ซึ่งจะรักษาสมดุลของการเกิดพลาสมาในภาชนะพลาสมา

5.1.2 ผลการทดสอบเครื่องกำเนิดพลาสมา

จากรูปที่ 5.10 เป็นการทดสอบการทำงานของเครื่องกำเนิดพลาสมาโดยใช้ Adaptor จำนวน 6 ตัวที่ต่ออนุกรมกันเป็นแหล่งกำเนิดพลังงาน โดยเริ่มจากการเปิดระบบสุญญากาศเพื่อให้ความดันภายในภาชนะเป็นสุญญากาศ ซึ่งวัดค่าความดันภายในได้เท่ากับ 6 mTorr หลังจากนั้นปล่อยอากาศเข้าไปผ่านตัวควบคุมการไหลที่อัตรา 2 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที (sccm) ซึ่งวัดค่าความดันภายในได้เท่ากับ 40 mTorr พบว่า การแตกตัวของอากาศที่ทำให้เกิดพลาสมานั้นได้พลังงานมาจากต้นกำเนิดแบบวิทยุ RF (Radio frequency) ที่ให้ความถี่ในช่วง 27-30 MHz และกำลังจากแหล่งกำเนิดในขณะที่เกิดพลาสมามีค่าเท่ากับ 4.3 วัตต์

ภาพที่ 5.10 แสดงภาพการทดสอบเครื่องกำเนิดพลาสมา



5.1.3 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองข้างต้น ได้มีการพัฒนาระบบกำเนิดพลาสมาโดยใช้เทคโนโลยีที่สามารถพัฒนาขึ้นในประเทศ ซึ่งระบบดังกล่าวประกอบด้วยภาชนะพลาสมาและระบบปั๊มสุญญากาศ ชุดควบคุมการไหลของแก๊สที่เข้าสู่ภาชนะพลาสมา ชุดแหล่งกำเนิดพลังงานเพื่อให้แก๊สเกิดการแตกตัวและมีสถานะเป็นพลาสมา โดยระบบที่ถูกพัฒนาขึ้นดังกล่าวได้ถูกทดสอบและสามารถทำให้แก๊สที่ผ่านเข้าสู่ภาชนะพลาสมาเกิดการแตกตัวเป็นพลาสมาได้ แต่อย่างไรก็ตาม ระบบดังกล่าวยังเป็นเพียงระบบต้นแบบที่จะต้องมีการทดสอบและพัฒนาต่อยอดต่อไป

สิ่งที่จะต้องมีการทดสอบเพิ่มเติม คือ การหาคุณลักษณะของพลาสมาที่เกิดขึ้น ซึ่งจำเป็นจะต้องใช้อุปกรณ์ทางแสง คือ สเปกโตรมิเตอร์สำหรับใช้วิเคราะห์สเปกตรัมของแสงในขณะที่แก๊สเกิดสถานะพลาสมา โดยสเปกตรัมดังกล่าวจะบอกถึงองค์ประกอบ เช่น ชนิดและปริมาณของอนุภาคมีประจุที่เกิดขึ้นในพลาสมาขณะนั้น ซึ่งจะช่วยให้ทราบสภาวะของพลาสมาสำหรับการทดลองที่เกี่ยวข้อง นอกจากนี้ การปรับปรุงระบบกำเนิดพลาสมาก็มีความจำเป็นยิ่ง กล่าวคือ การปรับปรุงแหล่งกำเนิดพลังงานให้มีแมทชิ่งอิมพีแดนซ์ที่เหมาะสมและสามารถปรับค่าได้ ซึ่งจะช่วยให้สามารถ

ปรับระบบให้เกิดการถ่ายเทพลังงานสูงสุดจากแหล่งกำเนิดพลังงานไปสู่แก๊สในภาชนะพลาสมา ซึ่งเงื่อนไขเหล่านี้จะเปลี่ยนแปลงไปตามตัวอย่างที่อาจมีความหลากหลายเมื่อถูกใส่ลงในภาชนะพลาสมา ผลจากการวิจัยดังกล่าว มีความสัมพันธ์กับการแพทย์เชิงบูรณาการเพื่อการเสริมสร้างสุขภาพทางกาย เพื่อให้บุคคลมีสุขภาพทางกายที่ดี มีการดูแลร่างกายภายใต้หลักการพื้นฐานที่จะป้องกันไม่ให้โรคหรือทุกขเวทนาเกิดขึ้น และบรรเทารักษาโรคภัยไข้เจ็บที่เกิดขึ้นแล้วให้ลดลง ด้วยการรับประทานอาหารให้ครบถ้วน เหมาะสมกับความต้องการของร่างกาย มีการใช้สอยปัจจัย 4 อย่างเหมาะสม การออกกำลังสม่ำเสมอ มีการรักษาสุขอนามัยส่วนบุคคลอย่างต่อเนื่อง และเมื่อร่างกายเกิดเจ็บป่วยไม่สบายขึ้นก็ให้ทำการรักษา โดยใช้ภูมิปัญญาและกระบวนการของการแพทย์เข้ามาดูแล เช่น การใช้ยารักษาและการเสริมอุปกรณ์ทางการแพทย์เข้าในระบบร่างกาย เป็นต้น

จากผลการดำเนินการวิจัยที่ผ่านมาได้มีการพัฒนาระบบกำเนิดพลาสมาโดยใช้เทคโนโลยีที่สามารถพัฒนาขึ้นในประเทศ ซึ่งระบบดังกล่าวประกอบด้วยภาชนะพลาสมาและระบบปั๊มสุญญากาศ ชุดควบคุมการไหลของแก๊สที่เข้าสู่ภาชนะพลาสมา ชุดแหล่งกำเนิดพลังงานเพื่อให้แก๊สเกิดการแตกตัวและมีสถานะเป็นพลาสมา โดยระบบที่ถูกพัฒนาขึ้นดังกล่าวได้ถูกทดสอบและสามารถทำให้แก๊สที่ผ่านเข้าสู่ภาชนะพลาสมาเกิดการแตกตัวเป็นพลาสมาได้ แต่อย่างไรก็ตาม ระบบดังกล่าวยังเป็นเพียงระบบต้นแบบที่จะต้องมีการทดสอบและพัฒนาต่อยอดต่อไป โดยจำเป็นต้องมีการศึกษาเชื่อมโยงกับการบูรณาการทางการแพทย์ต่อไป

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ส่วนที่จะต้องมีการทดสอบเพิ่มเติม คือ การหาคุณลักษณะของพลาสมาที่เกิดขึ้นซึ่งจำเป็นจะต้องใช้อุปกรณ์ทางแสง คือ สเปกโตรมิเตอร์สำหรับใช้วิเคราะห์สเปกตรัมของแสงในขณะที่แก๊สเกิดสถานะพลาสมา โดยสเปกตรัมดังกล่าวจะบอกถึงองค์ประกอบ เช่น ชนิดและปริมาณของอนุภาคมีประจุที่เกิดขึ้นในพลาสมาขณะนั้น ซึ่งจะช่วยให้ทราบสภาวะของพลาสมาสำหรับการทดลองที่เกี่ยวข้อง

2. การปรับปรุงที่จำเป็นสำหรับระบบกำเนิดพลาสมาในโครงการนี้ คือ การปรับปรุงแหล่งกำเนิดพลังงานให้มี Matching network ที่เหมาะสมและสามารถปรับค่าได้ ซึ่งจะช่วยให้สามารถปรับระบบให้เกิดการถ่ายเทพลังงานสูงสุดจากแหล่งกำเนิดพลังงานไปสู่แก๊สในภาชนะพลาสมา ซึ่งเงื่อนไขเหล่านี้จะเปลี่ยนแปลงไปตามตัวอย่างที่อาจมีความหลากหลายเมื่อถูกใส่ลงในภาชนะพลาสมา

3. ให้มีการศึกษาแนวทางการวิเคราะห์เครื่องกำเนิดพลาสมาที่ได้พัฒนากับงานการแพทย์เชิงบูรณาการ ที่จะนำไปสู่การดูแลผู้ป่วยที่จำเป็นต้องใช้วัสดุและอุปกรณ์ทางการแพทย์ในการรักษาความเจ็บป่วยที่เกิดทางร่างกาย

5.3 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

จากผลการดำเนินการวิจัยนี้ องค์ความรู้ที่เกิดขึ้นในขณะที่พัฒนาระบบกำเนิดพลาสมานั้นช่วยให้นักวิจัยมีศักยภาพ และเห็นแนวทางการต่อยอดสู่การพัฒนาระบบกำเนิดพลาสมาสำหรับประยุกต์ใช้กับงานลักษณะอื่นๆในอนาคต เช่น ระบบกำเนิดพลาสมาที่มีขนาดใหญ่ขึ้นสำหรับตัวอย่าง

ที่มีขนาดใหญ่ หรือระบบกำเนิดพลาสมาที่แรงดันบรรยากาศ (Atmospheric plasma)สำหรับประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงพื้นผิวของวัสดุ หรือประยุกต์ใช้สำหรับงานทางการแพทย์ที่มีความจำเป็นต้องเคลือบวัสดุทางการแพทย์หรือทางเกษตร เป็นต้น

บรรณานุกรม

ภาษาไทย

ฟริตจ็อฟ คาปร้า, **จุดเปลี่ยนแห่งศตวรรษ เล่ม 3: มองความจริงด้วยทัศนะใหม่**, แปลโดย พระประชา ปสนฺนธมฺโม, พระไพศาล วิสาโล, สันติสุข โสภณสิริ, รสนา โตสิตระกูล, พิมพ์ครั้งที่ 6, กรุงเทพมหานคร : มูลนิธิโกมลคีมทอง, 2550.

ฟริตจ็อฟ คาปร้า, **โยงใยที่ซ่อนเร้น**, แปลโดย วิศิษฐ์-ณัฐพส วังวิญญู และสว่าง พงศ์ศิริพัฒน์, พิมพ์ครั้งที่ 3, กรุงเทพมหานคร : บริษัท แปลนพริ้นท์ติ้ง จำกัด, 2553.

ชัชพล เกียรติขจรธาดา, **เรื่องเล่าจากร่างกาย: เข้าใจร่างกาย พฤติกรรมและธรรมชาติผ่านกระบวนการวิวัฒนาการ**, พิมพ์ครั้งที่ 2, กรุงเทพมหานคร : บริษัทอมรินทร์พริ้นติ้ง แอนด์พับลิชชิ่ง จำกัด (มหาชน), 2554.

ชูชาติ ยังบรรเทา, **พจนานุกรมศัพท์ชีววิทยา**, กรุงเทพมหานคร: โอ.เอส.พริ้นติ้ง เฮ้าส์, 2546.

ปรีชา สุวรรณพินิจ, นงลักษณ์ สุวรรณพินิต, **ชีววิทยา 1**, พิมพ์ครั้งที่ 7, กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548.

ปุณวัสส์ กิตติมานนท์, “การศึกษาวิเคราะห์ปาณาติบาตในเซลล์มนุษย์และตัวอ่อนมนุษย์”, **วิทยานิพนธ์พุทธศาสตรดุษฎีบัณฑิต**, บัณฑิตวิทยาลัย: มหาจุฬาลงกรณราชวิทยาลัย, 2554.

ปุณวัสส์ กิตติมานนท์, “การศึกษาวิเคราะห์ชีวิตในกำเนิด 4 ตามหลักพระพุทธศาสนาและชีวิตในอาณาจักร 5 ตามหลักชีววิทยา”, **สารนิพนธ์พุทธศาสตรดุษฎีบัณฑิต**, บัณฑิตวิทยาลัย: มหาวิทยาลัย มหาจุฬาลงกรณราชวิทยาลัย, 2554.

วิทย์ เที่ยงบูรณธรรม, **Nation’s Most Comprehensive Dictionaries: Medical Sciences Dictionary (พจนานุกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์)**, พิมพ์ครั้งที่ 41, กรุงเทพมหานคร : ดวงกมลพับลิชชิ่ง, 2556

สิทธิศักดิ์ ไชยสมบัติ “การออกแบบและการสร้างเครื่องกำเนิดพลาสมาแบบห้วงชนิดคู่ควบเหนี่ยวนำขนาด 1.4 กิโลจูล เครื่องกำเนิดพลาสมาแบบห้วงชนิดคู่” วิทยานิพนธ์ (วท.ม.) คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2553.

อนรรฆ ขันธะชวนะ. การเคลือบผิวชนิด Fluorinated Diamond-like Carbon โดยใช้เทคนิค Plasma Based Ion Implantation สำหรับประยุกต์ใช้งานทางชีวการแพทย์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 2553.

ภาษาอังกฤษ

A.R. Addamo, E. Selli, R. Barni, C. Riccardi, F. Orsini, G. Poletti, L. Meda, M.R. Massafra. B. Marcandalli, **Cold plasma-induced modification of the dyeing properties of poly (ethylene terephthalate) fibers**. Appl. 2006.

Antonio Pinto, Sonia Fulciniti, Mariano Pepe, **MDCT Anatomy-Body**, eds. by Luigia Romano, Massimo Silva, Sonia Fulciniti, Antonio Pinto, Springer, 2011.

Anthea Maton, Jean Hopkins, Susan Johnson et al., **Human Biology and Health**, Englewood Cliffs: Prentice Hall, 2009.

A. Khoddami, O. Avinc, S. **Mallakpour.** Prog. Org. Coat. 67, 2010.

Ashley E. Wilkinson, Aleesha M. McCormick, Nic D. Leipzig, **Central Nervous System Tissue Engineering: Current Considerations and Strategies**, eds. By Kyriacos A. Athanasiou, J. Kent Leach, Ohio: Morgan & Claypool Publishers, 2012.

Alan F. Dixson, **Sexual Selection and the Origins of Human Mating Systems**, New York: Oxford University Press, 2009.

Adrianne Bendich, **Iron Physiology and Pathophysiology in Humans**, Eds. by Gregory J. Anderson, Gordon D. McLaren, New York: Humana Press, 2012.

B. McEwen, E. N. Lasley, "All stressed out ? Here's what to do about it", **Journal of Consumer Research**, Vol. 29 No. 1 2003.

Beck Gregory., Gail S. Habicht, "Immunity and the Invertebrates", **Scientific American**, Vol. 275 No. 5 November 1996.

Bernard Wood (ed.), **Wiley-Blackwell Encyclopedia of Human Evolution**, Pondicherry: SPi Publisher Services, 2011.

C.S. Ren, D.Z. Wang, Y.N. Wan., **Graft co-polymerization of acrylic acid onto the linen surface induced by DBD in air**. Surf. Coat. Technol. 2006.

C. Chaiwong, S. Tunma, W. Sangprasert, P. Nimmanpipug, D. Boonyawan, **Graft polymerization of flame-retardant compound onto silk via plasma jet.** Surf. Coat. Technol. 204, 2010.

Carryl L. Baldwin, **Auditory Cognition and Human Performance: Research and Applications**, Boca Raton: CRC Press, 2012.

Christoph N. Seubert, Mary Herman, **Monitoring the Nervous System for Anesthesiologists and other Health Care Professionals**, eds. by Antoun Koht, Tod B. Sloan, J. Richard Toleikis, (New York: Springer, 2012.

C. Li, M. Li, JR. Long, Q. Cai, W. Zheng, "Evaluating cost efficiency of SNP chips in Genomewide association studies", **Genet Epidemiol**, Vol. 32 No. 5 2008

C.L. Santos, F. Yubero, J. Cotrino, A.R.G. Elipe, **Lateral and in-depth distribution of functional groups on diamond-like carbon after oxygen plasma treatments**. Diamond Relat. Mater. 2011.

David B. Dusenbery, **Living at Micro Scale**, Cambridge: Harvard University Press, 2009.

David Shier, Jackie Butler, Ricki Lewis, **Hole's Essentials of Human Anatomy & Physiology**, 2007.

Dawn M. Hudson, **Top Shelf Science Human Anatomy & Physiology**, (Portland: J. Weston Walch Publishing, 2006.

Dityatev, C. I. Seidenbecher, M. Schachner, "Compartmentalization from the outside: the extracellular matrix and functional microdomains in the brain", **Trends in Neurosciences**, Vol. 33 No. 11 2010.

Douglas J. Eder, Shari Lewis Kaminsky, John W. Bertram, **Laboratory Atlas of Anatomy and Physiology**, 6th ed., Boston: McGraw-Hill, 2012.

F. Breme, J. Buttstaedt, G. Emig, **Coating of polymers with titanium-based layers by a novel plasma-assisted chemical vapor deposition process**, Thin Solid Films 377-378, 2000.

F.P. Beer, E.R. Johnston Jr., J.T. DeWolf, **Mechanics of Materials**. 4th Edition in SI Units, McGraw Hill, 2006.

F. Fay Evans-Martin, **The Human Body How It Works: The Nervous System**, New York: Chelsea House An imprint of Infobase Publishing, 2010.

F. Peter Lisowski, Charles E. Oxnard, **Anatomical Terms and their Derivation**, Singapore: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2007.

F.L. Freire, M.E.H.M. Costa, L.G. Jacobsohn, D.F. Franceschin, **Film growth and relationship between microstructure and mechanical properties of a-C:H:F films deposited by PECVD,** Diamond Relat. Mater. 10, 2001.

Fritjof Capra, **The Hidden Connections: Integrating the biological, cognitive and social dimensions of life into a science of sustainability**, New York: Doubleday, 2002.

Fritjof Capra, **The Turning Point: Science, society and the rising culture**, New York: Bantam Book, 1988.

Frederic H. Martini, Judi L. Nath, Edwin F. Bartholomew, **Fundamentals of Anatomy & Physiology**, 9th ed., San Francisco: Pearson Benjamin Cummings, 2012.

G.P. CanalI, H. LunaII, L.F. RuchkoIII, R.M.O. Galvãol, **Design and characterization of an RF plasma cleaner**. Brazilian Journal of Physics, 40, 2010.

George Capaccio, **Nervous System The Amazing Human Body**, ed. by Karen Ang, New York: Marshall Cavendish Benchmark, 2010.

Gerard J. Tortora & Bryan Derrickson, **Principles of anatomy & physiology**, 13th ed., New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2012.

Greg Roza, **Inside the human body: using scientific and exponential notation**, Illustrated ed., New York : The Rosen Publishing Group, 2007.

H.J. Liu, Y.N. Pei, D. Xie, X.R. Deng, Y.X. Leng, Y. Jin, N. Huang, **Surface modification of ultra-high molecular weight polyethylene (UHMWPE) by argon plasma**. Appl. Surf. Sci. 256, 2010.

H. Ikegami, **Introduction to Plasmas, Industrial Plasma Technology**. Ed. Y. Kawai et. al. Wiley-VCH, 2010.

Harry Heft, "The Tension Between the Psychological and Ecological Sciences: Making Psychology More Ecological", **Entangled Life: Organism and Environment in the Biological and Social Sciences**, eds. by Gillian Barker, Eric Desjardins and TrevorPearce, Dordrecht: Springer, 2014.

Heather Bateman, Ruth Hillmore, Daisy Jackson et al., **Dictionary of Medical Terms**, 4th ed., London: A & C Black Publishers Ltd., 2007.

Hershel Raff, Michael Levitzky, **Medical Physiology A Systems Approach**, New York: McGraw-Hill, 2011.

Henrik Lagerlund, "Medieval and Early Modern Theories", **Sourcebook for the History of the Philosophy of Mind: Philosophical Psychology from Plato to Kant**, eds. by Simo Knuuttila and Juha Sihvola, Springer, 2014.

I. Edward Alcamo, Barbara Krumhardt, **Barron's Anatomy and Physiology The Easy Way**, 2nd ed., New York: Barron's Educational Series, 2004.

J. Cracraft, M. J. Donoghue, eds, **Assembling the tree of life**, New York: Oxford University Press, 2005.

J.F. Xie, D.W. Xin, H.Y. Cao, C.T. Wang, Y. Zhao, L. Yao, F. Ji, Y.P. Qiu, **Improving carbon fiber adhesion to polyimide with atmospheric pressure plasma treatment**. Surf. Coat. Technol. 206, 2011.

J. O' Byrne and A. G. Dalgleish, "Chronic Immune Activation and Inflammation as the Cause of Malignancy", **British Journal of Cancer**, Vol. 85 No. 4, 2001.

Jiri Nedoma, Jiri Stehlik, Ivan Hlavacek, Josef Danek, Tatjana Dostalova, Petra Preckova, **Mathematical and Computational Methods in Biomechanics of Human Skeletal Systems: An Introduction**, Hoboken: JohnWiley & Sons, Inc., 2011.

Julie Mcdowell (ed.), **Encyclopedia of Human Body Systems**, Volume 1, Santa Barbara: Greenwood, 2010.

Judith Goodenough, Betty McGuire, **Biology of Humans Concepts Applications and Issues**, 4th ed., San Francisco: Pearson Benjamin Cummings, 2012.

Kara Rogers (ed.), **The Human Body The Respiratory System**, New York: Britannica Educational Publishing, 2011.

Keith Campbell, "Materialism", **Encyclopedia of Philosophy**, Vol. 6, Second Edition,

by Donald M. Borchert, 10 Vols., Farmington Hills : Thomson Gale, 2006.

Krishnan B. Chandran, H.S. Udaykumar, Joseph M. Reinhardt (eds.), **Image-Based Computational Modeling of the Human Circulatory and Pulmonary Systems**, New York: Springer, 2011.

Kyung Won Chung, Harold M. Chung, **Gross Anatomy**, 7th ed., (Baltimore: Lippincott Williams & Wilkins, 2012I.

L.C.V. Wielen, A.J. Ragauskas, **Grafting of acrylamide onto cellulosic fibers via dielectric-barrier discharge**. Eur. Polym. J. 40, 2004.

L. Jiang, A.G. Fitzgerald, M.J. Rose, R. Cheung, B. Rong, E.V. Drift, **X-ray photoelectron spectroscopy studies of the effects of plasma etching on amorphous carbon nitride films**. Appl. Surf. Sci. 193, 2002.

L.G. Jacobsohn, M.E.H.M. Costa, V.J. Trava-Airoldi, F.L. Freire, **Hard amorphous carbon-fluorine films deposited by PECVD using C_2H_2-CF_4 gas mixtures as precursor atmospheres**. Diamond Relat. Mater. 12, 2003.

L. M. Witmer, "Palaeontology: An icon knocked from its perch", **Nature**, Vol. 475 No. 7357, 2011.

Larry L. Mai, Marcus Young Owl, M. Patricia Kersting, **The Cambridge Dictionary of Human Biology and Evolution**, New York: Cambridge University Press, 2005

Lauralee Sherwood, **Human Physiology: From Cells to systems**, 7th ed., Canada: Yolanda Cossio, 2010.

Lauralee Sherwood, **Fundamentals of Human Physiology**, 4th ed., Canada: Yolanda Cossio, 2012.

Lisa M. Coussens and Zena Werb, "Inflammatory Cells and Cancer", **Journal of Experimental Medicine**, Vol. 193 No. 6 March 2001.

Lorrie Klosterman, **The Amazing Human Body Excretory System**, ed. by Karen Ang, New York: Marshall Cavendish Benchmark, 2010.

Lynette Rushton, **The Human Body How It Works: The endocrine System**, New York: Chelsea House An imprint of Infobase Publishing, 2009.

M. A. Hayat (ed.), **Tumors of the Central Nervous System: Gliomas Glioblastoma (Part 1)**, Volume 1, New York: Springer, 2011.

M. Jimenez, S. Bellayer, S. Duquesne, S. Bourbigot, **Improvement of heat resistance of high performance fibers using a cold plasma polymerization process**, Surf. Coat. Technol. 205, 2010.

M. Gherardi, R. Tonini, V. Colombo, **Plasma in Dentistry: Brief History and Current Status**. Trends in Biotechnology, 2017.

M. Keller, A. Ritter, P. Reimann, V. Thommen, A. Fischer, D. Hegemann, **Comparative study of plasma-induced and wet-chemical cleaning of synthetic fibers**, Surf. Coat. Technol. 200, 2005.

Michael Levy, John Rafferty, William L. Hosch (eds.), **Britannica Illustrated Science Library: Human Body I**, China: Encyclopedia Britannica Inc., 2008.

National Research Council. **Plasma processing of Materials**. National Academy of Press, Washington D.C., International Standard Book Number 0-309-04597-5. 1991.

O.V.Penkov, M. Khadem, W.S. Lim, D.E. Kim, **A review of recent applications ofatmospheric pressure plasma jets for materials processing,** J. Coat. Technol. Res. 2015.

R. d'Agostino (Ed.), **Plasma Deposition, Treatment and Etching of Polymers**. AcademicPress, New York, 1990.

R. J. Nelson, **Introduction to Behavioral Endocrinology**, Massachusetts: Sinauer Associates, 2005.

R. Prioli, L.G. Jacobsohn, M.E.H.M. Costa, F.L. Freire**, Nanotribological properties of amorphous carbon-fluorine films**. Tribology Lett. 15, 2003.

R.S. Peters, "Hobbes, Thomas", **Encyclopedia of Philosophy**, Vol. 4, Second Edition, by Donald M. Borchert, set of 10, Farmington Hills : Thomson Gale, 2006.

Rene Jules Dubos, **Man, Medicine and Environment,** New York: Praeger, 1968.

Robert Graves, **The Greek Myths**, 2 vols., London: Penguin, 1975.

Robert M. Anderson, M.D., **The Gross Physiology of the Cardiovascular System**, 2nd ed., Tucson: Racquet Press, 2012.

Rodney A. Rhoades, David R. Bell (eds.), **Medical Physiology Principles for Clinical Medicine**, 4th ed., Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2013.

Roger Warwick, Peter L. Williams. (eds.), "Angiology", **Gray's anatomy**, 35th ed., London: Longman, 1973.

S.A. Cateledge, R. Vaid, P.D. Diggins-IV, J.J. Weimer, M. Koopman, Y.K. Vohra, **Improved adhesion of ultra-hard carbon films on cobalt-chromium orthopaedic implant alloy**, J. Mater. Sci. Mater. Med. 22, 2011.

S.Y. Sun, J. Sun, L. Yao, Y.P. Qiu, **Wettability and sizing property improvement of raw cotton yarns treated with He/O_2 atmospheric pressure plasma jet**. Appl. Surf. Sci. 257,2011.

Steven Nadler, **The Philosopher, the Priest, and the Painter: A Portrait of Descartes**, Princeton: Princeton University Press, 2013.

Tamar Sharon, **Human Nature in an Age of Biotechnology: The Case for Mediated Posthumanism**, Dordrecht: Springer, 2014.

Vincent Di Stefano, **Holism and Complementary Medicine: Origins and Principles**, Crows Nest: Allen & Unwin, 2006.

William J. Kraemer, Steven J. Fleck, Michael R. Deschenes, **Exercise Physiology Integrating Theory and Application**, (Baltimore: Lippincott Williams & Wilkin, 2012.

Yi Lin, Bailey Forrest, **Systemic Structure Behind Human Organizations From Civilizations to Individuals**, New York: Springer, 2012.

เว็บไซต์

นพ.เทวัญ ธานีรัตน์. **ความหมายการแพทย์ทางเลือก**. สำนักการแพทย์ทางเลือก. [ออนไลน์]. http://www.thaicam.go.th/index.php?option=com_content&view=article&id=110&Itemid=109 [1 พฤศจิกายน 2556].

Tim Taylor. **Immune and Lymphatic Systems**. [online]. source: http://www.innerbody.com/image/lympov.html [29 october 2013].

Dr. Julie Graves. **Main Organs of the Reproductive System**. [online]. source: http://www.livestrong.com/article/94700-main-organs-reproductive-system/ [30 october 2013].,

New health Guide. **Reproductive System Organs**. [online]. source: http://www.newhealthguide.org/Reproductive-System-Organs.html [30 october 2013].

https://www.makeitfrom.com/material-properties/Borosilicate-Glass

การประยุกต์ใช้พลาสมาในอุตสาหกรรมต่างๆ[Online], Available: https://ienergyguru.com/2015/10/plasma[2018, June 28]

http://w2dtc.com/w2dtc-plasma-amp-page.htm

https://www.makeitfrom.com/material-properties/Borosilicate-Glass

http://en.wikipedia.org/wiki/Holism

www.visalo.org.

ภาคผนวก

การออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดพลาสมาต้นแบบเพื่อใช้สำหรับกระบวนการพลาสมา

ชวิน จองวรรณศิริ, บัญญัติ เล็กประเสริฐ และ เตชค์ฐสิณป์ เพียซ้าย [1],
กมล จิรเสรีอมรกุล[2], พระสุธีรัตนบัณฑิต และ สานุ มหัทธานดุล [3]

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันนี้ โลหะผสมไทเทเนียมเป็นวัสดุที่นิยมนำมาประยุกต์ใช้เป็นวัสดุทางการแพทย์ เนื่องจากมีความสามารถในการต้านทานการกัดกร่อนและมีความเข้ากันได้ดีกับร่างกาย แต่อย่างไรก็ตามวัสดุทางการแพทย์บางชนิดยังต้องการผิวที่มีความเป็น Hydrophobic เพื่อหลีกเลี่ยงการยึดเกาะของเกล็ดเลือด หนึ่งในวิธีที่ได้ประสิทธิผลสำหรับการแก้ปัญหานี้คือการใช้กระบวนการพลาสมา ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือการออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดพลาสมาต้นแบบที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงผิวของวัสดุทางการแพทย์ได้ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ใช้ Borosilicate glass เป็นวัสดุสำหรับทำภาชนะพลาสมา โดยออกแบบให้เป็นระบบสุญญากาศ และออกแบบแผนผังวงจรไฟฟ้าสำหรับการสร้างวงจรกำเนิดคลื่นความถี่ จากผลการวิจัย พบว่า ความแข็งแรงของภาชนะพลาสมาที่ออกแบบมานั้นสามารถรับความเค้นกดได้สูงถึง 70 MPa และจากการออกแบบวงจรกำเนิดคลื่นความถี่ พบว่า วงจรสามารถกำเนิดคลื่นความถี่ได้ระหว่าง 27-30 MHz หลังจากนั้นได้นำมาทดสอบการเกิดสถานะพลาสมาซึ่งใช้อากาศป้อนเข้าไปในภาชนะพลาสมาที่อยู่ในระบบสุญญากาศ โดยใช้แหล่งกำเนิดพลังงานที่ให้กำลังต่างกัน พบว่า ทั้งสองแหล่งกำเนิดพลังงานที่ 4.3 วัตต์ และ 14.4 วัตต์ สามารถกระตุ้นอากาศให้เกิดการแตกตัวเป็นสถานะพลาสมาได้อย่างมีความเสถียรภาพ ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า เครื่องกำเนิดพลาสมาต้นแบบนี้สามารถนำไปพัฒนาเพื่อต่อยอดและประยุกต์ใช้สำหรับการปรับปรุงผิวของวัสดุด้วยกระบวนการพลาสมาได้

คำสำคัญ : กระบวนการพลาสมา / วัสดุทางการแพทย์ / เครื่องกำเนิดพลาสมา

---

[1] มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ศูนย์บริการทางการศึกษาราชบุรี 209 หมู่ 1 ตำบลรางบัว อำเภอจอมบึง จังหวัดราชบุรี 70150

[2] ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็คทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี 126 ถนนประชาอุทิศ แขวงบางมด เขตทุ่งครุ จังหวัดกรุงเทพมหานคร 10140

[3] สถาบันวิจัยพุทธศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาจุฬาลงกรณราชวิทยาลัย 79 หมู่ 1 ตำบลลำไทร อำเภอวังน้อย จังหวัดพระนครศรีอยุธยา 13170

Abstract

Nowadays, titanium alloy is widely used as biomaterials due to good corrosion resistance and excellent biocompatibility. However, some of these materials would like to be a hydrophobic surface to avoid the platelet adhesion. One of the most effective methods to solve this problem is plasma treatment. Therefore, the aim of this study is to design and fabricate plasma generator for surface modification of biomaterials. In this study, the borosilicate glass is used as a plasma chamber in the vacuum systems. The electrical circuit is also designed as a frequency source. From the calculation, the designed plasma chamber can resist compressive stress up to 70 MPa. Moreover, the designed electrical circuit can generate frequency source in the range of 27-30 MHz. After that, the plasma chamber was evacuated, and generated the plasma, with different types of power supply, using air as a plasma source. The results indicated that both power supplies which occurred at 4.3 W and 14.4 W generated stable plasma. Consequently, it can be concluded that the designed plasma chamber is suitable to be used to as a prototype, and can develop to apply for surface modification of biomaterials using plasma treatment.

Keyword : Plasma Process, Titanium alloy, Biomaterial, plasma machines.

ที่มาและความสำคัญของการวิจัย

โลหะผสมไทเทเนียมนั้นเป็นวัสดุที่นิยมนำมาประยุกต์ใช้เป็นวัสดุทางการแพทย์เนื่องจากมีความสามารถในการต้านทานการกัดกร่อนและมีความเข้ากันได้ดีกับร่างกาย แต่อย่างไรก็ตามวัสดุทางการแพทย์บางชนิด เช่น ตัวขยายหลอดเลือดต้องการผิวที่มีความเป็น Wettability ที่ต่ำเพื่อหลีกเลี่ยงการยึดเกาะของเกล็ดเลือด หรือวัสดุทางทันตกรรมบางชนิด เช่น สกรูจัดฟันขนาดเล็กต้องการผิวที่สามารถเหนี่ยวนำให้เกิดเซลล์กระดูกตรงบริเวณที่ทำการฝังได้ง่าย ดังนั้นการปรับปรุงผิววัสดุทางการแพทย์หลังจากการผลิตและก่อนนำไปใช้งานจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง

ในปัจจุบันนี้เทคโนโลยีพลาสมาเป็นวิธีที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้สำหรับการผลิตวัสดุใหม่หรือปรับปรุงผิววัสดุเดิมให้ดีขึ้น ลักษณะของพลาสมาที่ใช้ในทางอุตสาหกรรมนั้นมีอยู่ 2 ประเภทคือ Thermal plasma (Hot plasma) และ Non-equilibrium plasma (Cold plasma) Hot plasma นั้นเกิดที่ความดันสูง (>10 kPa) แต่ Cold plasma นั้นจะเกิดที่ความดันต่ำ โดยส่วนมากพลาสมาทั้งสองแบบนี้จะถูกนำมาประยุกต์ใช้ประโยชน์ทางด้านการปรับปรุงพื้นผิวของวัสดุหรือชิ้นงาน ซึ่งไม่ทำให้สมบัติโดยรวมของวัสดุหรือชิ้นงานนั้นเปลี่ยนแปลง โดยแบ่งออกเป็น 3 วิธีหลักด้วยกันคือ Plasma etching, Plasma-assisted deposition และ Plasma treatment ยกตัวอย่างเช่นในทางทันตกรรมได้มีการนำรากฟันเทียมมาผ่านกระบวนการ cold plasma treatment ก่อนที่จะนำไปใช้งานเพื่อปรับปรุงการยึดติดของวัสดุกับเนื้อเยื่อ อีกทั้งยังเป็นการกระตุ้นการเกิดเซลล์เนื้อเยื่อกระดูกหลังจากผ่านกระบวนการอีกด้วย หรือในทางการแพทย์ได้มีการนำวัสดุชีวภาพ เช่น ตัวหลอดเลือดขยายหัวใจมาผ่านกระบวนการเคลือบผิวด้วยวิธี Plasma-assisted deposition เนื่องจากสามารถปรับปรุงสมบัติของวัสดุชีวภาพในขณะใช้งานได้ และยังเป็นการแก้ปัญหาที่ผิวของวัสดุโดยตรงอีกด้วย

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดพลาสมาต้นแบบ เพื่อใช้ในการปรับปรุงผิวของวัสดุโลหะผสมไทเทเนียม อีกทั้งยังสามารถสร้างเครื่องกำเนิดพลาสมาที่มีต้นทุนต่ำ ลดการนำเข้าจากต่างประเทศได้อีกด้วย

วัตถุประสงค์การวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ เป็นการวิจัยเชิงทดลองแบบบูรณาการ มีวัตถุประสงค์ 3 ประการ คือ 1) เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดพลาสมาต้นแบบที่สามารถนำมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพผิวของวัสดุที่ต้องการ 2) เพื่อทดลองปรับปรุงผิววัสดุโดยใช้กระบวนการพลาสมากับชิ้นงานทดสอบ (โลหะผสมไทเทเนียม) และทดสอบภาวะการเปียก (wettability) ของชิ้นงานที่ผ่านการปรับปรุงผิว 3) เพื่อวิเคราะห์เครื่องกำเนิดพลาสมากับงานการแพทย์เชิงบูรณาการ

วิธีการวิจัยและการทดลอง

การวิจัยครั้งนี้ เป็นการวิจัยเชิงทดลองทางวิศวกรรมศาสตร์แบบบูรณาการ มุ่งเน้นการออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดพลาสมาต้นแบบเพื่อใช้ในการปรับปรุงผิวของวัสดุโลหะผสมไทเทเนียม และเพื่อสร้างเครื่องกำเนิดพลาสมาที่มีต้นทุนต่ำลดการนำเข้าจากต่างประเทศ ในการสร้างเครื่องกำเนิดพลาสมาต้นแบบนั้น ได้แบ่งลักษณะของงานออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่

1. การออกแบบภาชนะพลาสมา เพื่อคำนวณความแข็งแรงของภาชนะพลาสมาโดยใช้ Borosilicate glass เป็นวัสดุสร้างภาชนะพลาสมา ซึ่งสมบัติทางกลของ Borosilicate glass แสดงดังตารางที่ 1 การออกแบบภาชนะพลาสมานั้นใช้หลักการออกแบบภาชนะความดันผนังบางซึ่งเป็นการประยุกต์ใช้ความรู้การคำนวณและวิเคราะห์ของความเค้น เนื่องจากว่าผนังบางนั้นทนต่อแรงโค้ง (Bending force) ได้เพียงเล็กน้อย จึงสามารถสมมติได้ว่าแรงภายใน (Internal force) ที่กระทำอยู่บนผนังนั้นมีทิศทางในแนวสัมผัสกับผนังของภาชนะ ดังแสดงในรูปที่ 1

จากภาชนะความดันรูปทรงกระบอก (Cylindrical vessel) ที่มีรัศมีภายใน r และความหนาของผนัง t ดังรูปที่ 2 พบว่า เราจะพิจารณาความเค้นที่กระทำบนผนังภาชนะความดันบนพื้นที่เล็กๆในแนวขนานและแนวตั้งฉากกับผิวของภาชนะ และเนื่องจากว่ารูปทรงของภาชนะนั้นสมมาตร จะไม่มีความเค้นเฉือนกระทำบนผิวของภาชนะ จากรูปที่ 2 กำหนดให้ความเค้นตั้งฉาก (Normal stress) σ_1 และ σ_2 เป็นความเค้นหลัก (Principal stress) โดย σ_1 เรียกว่า Hoop stress และ σ_2 เรียกว่า Longitudinal stress

ตารางที่ 1 สมบัติทางกลของ Borosilicate glass

Compressive Strength	2000 MPa
Modulus of Elasticity	67-80 GPa
Flexural Strength	34-69 MPa
Fracture Toughness	0.8 MPa-$m^{1/2}$
Knoop Hardness	510

Poisson's Ratio	0.21
Ultimate Tensile Strength	280 MPa

ในการคำนวณหา σ_1 (Hoop stress) นั้น เราจะทำการพิจารณาชิ้นส่วนที่ถูกตัดออกดังแสดงในรูปที่ 3 โดยแรงที่กระทำในขนานกับแนวแกน z นั้น ได้แก่ แรงที่กระทำตรงขอบของภาชนะความดัน ($\sigma_1 dA$) และแรงที่กระทำกับผิวภายในของภาชนะความดัน (pdA) โดย p คือ Gage pressure ของของไหล เมื่อพิจารณาแรงลัพธ์ทั้งหมดที่กระทำในทิศทางแกน z แล้วจะได้ว่า

$$\sum F_z = 0: \qquad \sigma_1 dA - pdA = 0 \tag{1}$$

$$\sum F_z = 0: \qquad \sigma_1 (2t\Delta x) - p(2r\Delta x) = 0 \tag{2}$$

ดังนั้น Hoop stress (σ_1) เท่ากับ $\sigma_1 = \frac{pr}{t}$ (3)

รูปที่ 1 แสดงความเค้นที่กระทำในแนวสัมผัสกับผนังของภาชนะ

รูปที่ 2 แสดงความเค้นที่กระทำบนผิวของภาชนะความดันรูปทรงกระบอก

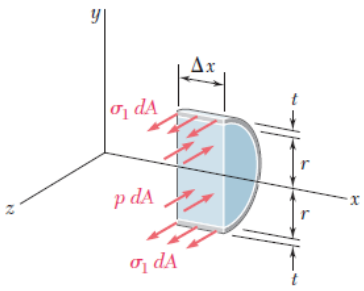
สำหรับการคำนวณหา σ_2 (Longitudinal stress) นั้นเราจะใช้แผนภาพอิสระดังแสดงในรูปที่ 4 โดยพิจารณาแรงลัพธ์ที่กระทำในแนวแกน x จะได้ว่า

$$\sum F_x = 0: \qquad \sigma_2 dA - pdA = 0 \tag{4}$$

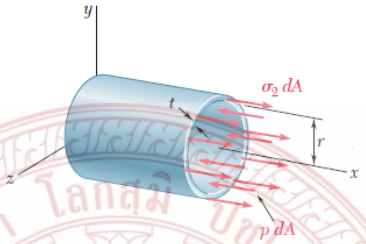
$$\sum F_x = 0: \qquad \sigma_2 (2\pi rt) - p(\pi r^2) = 0 \tag{5}$$

ดังนั้น Longitudinal stress (σ_2) เท่ากับ $\sigma_2 = \frac{pr}{2t}$ (6)

หรืออีกนัยหนึ่งคือ $\sigma_1 = 2\sigma_2$ (7)



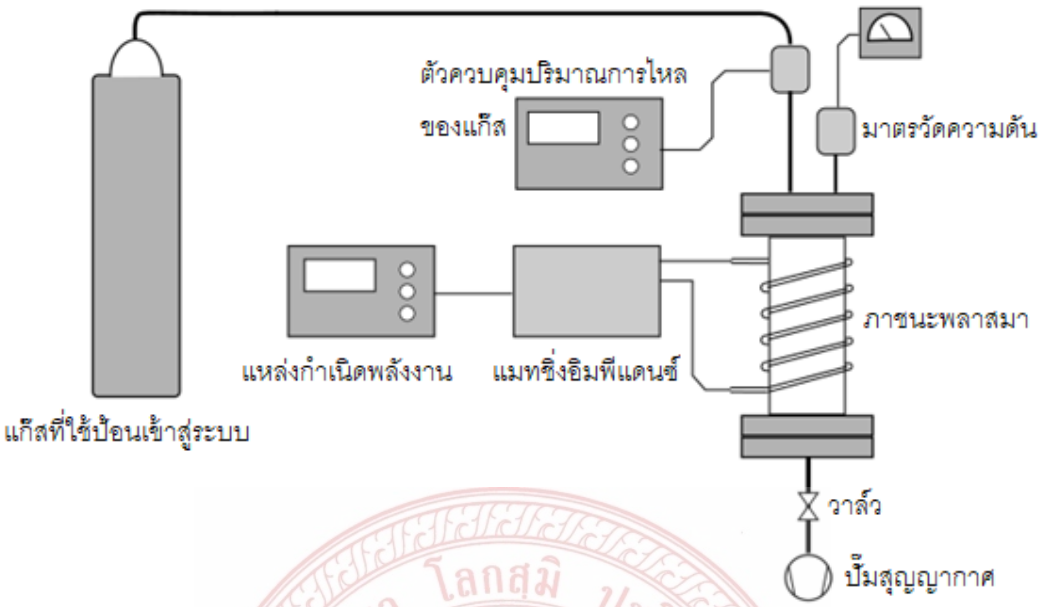
รูปที่ 3 แสดงแผนภาพอิสระสำหรับการคำนวณหา Hoop stress ในภาชนะความดันรูปทรงกระบอก



รูปที่ 4 แสดงแผนภาพอิสระสำหรับการคำนวณหา Longitudinal stress ในภาชนะความดันรูปทรงกระบอก

2. การออกแบบระบบสุญญากาศ เพื่อสร้างพลาสมาที่ความดันต่ำ โดยระบบสุญญากาศจะประกอบด้วยปั๊มสุญญากาศที่ดึงอากาศออกจากภาชนะ วาล์ว และมาตรวัดความดันที่บอกสถานะความดันของแก๊สภายในภาชนะ อีกทั้งยังรวมไปถึงระบบควบคุมปริมาณการไหลของแก๊สที่เข้าสู่ภาชนะพลาสมา

3. การออกแบบวงจรกำเนิดคลื่นความถี่ เพื่อสร้างแหล่งกำเนิดคลื่นความถี่ที่ให้กำลังไม่เกิน 100 วัตต์ แก่แก๊สภายในภาชนะปิดเพื่อให้เกิดการแตกตัวอยู่ในสถานะพลาสมา หลังจากนั้นจะนำระบบทั้งสามส่วนนี้มาประกอบเข้าด้วยกัน เพื่อทดสอบการเกิดสถานะพลาสมาภายในภาชนะสุญญากาศ โดยระบบทั้งหมดแสดงดังในรูปที่ 5



รูปที่ 5 แสดงส่วนประกอบของระบบพลาสมา

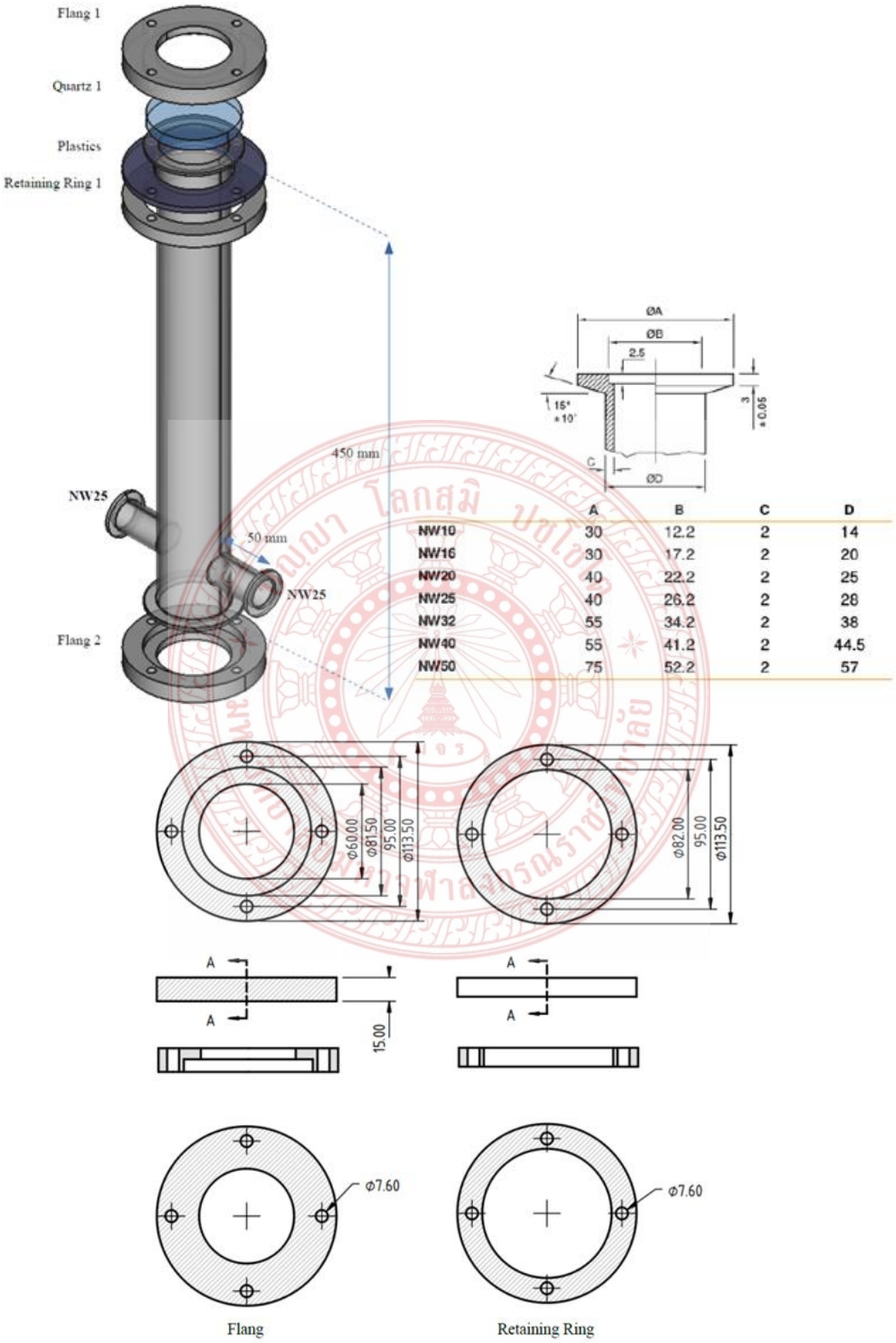
ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

1. ผลการออกแบบและคำนวณความแข็งแรงของภาชนะพลาสมา การออกแบบภาชนะพลาสมาเป็นการออกแบบโดยใช้หลักการคำนวณความเค้นในภาชนะความดันผนังบาง โดยเลือกวัสดุเป็น Borosilicate glass ซึ่งสามารถทนความร้อนได้ประมาณ 500 องศาเซลเซียส มีค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength) เท่ากับ 280 MPa ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity) อยู่ในช่วง 67-80 GPa และค่าความต้านทานแรงกด (Compressive Strength) เท่ากับ 2000 MPa โดยภาชนะพลาสมามีขนาดดังแสดงในรูปที่ 6 ในการออกแบบภาชนะพลาสมานั้นได้กำหนดให้ภาชนะพลาสมาสามารถทนความดันภายใน (Internal Pressure) เท่ากับ 0.1 Pa โดยมีความดันภายนอก (External Pressure) เท่ากับความดันบรรยากาศ (Atmosphere Pressure, $1x10^5$ Pa) ดังนั้นความแตกต่างของความดันระหว่างภายในและภายนอก หรือเรียกว่าความดันเกจ (Gauge Pressure) มีค่าเท่ากับ $1x10^6$ Pa

จากรูปที่ 6 สามารถนำไปคำนวณ Hoop stress และ Longitudinal stress ดังสมการที่ (3) และ (6) ได้ดังนี้

Hoop stress; $$\sigma_1 = \frac{pr}{t} = \frac{(1MPa)(30mm)}{5mm} = 6MPa$$

Longitudinal stress; $$\sigma_2 = \frac{pr}{2t} = \frac{(1MPa)(30mm)}{2(5mm)} = 3MPa$$



	A	B	C	D
NW10	30	12.2	2	14
NW16	30	17.2	2	20
NW20	40	22.2	2	25
NW25	40	26.2	2	28
NW32	55	34.2	2	38
NW40	55	41.2	2	44.5
NW50	75	52.2	2	57

รูปที่ 6 แสดงขนาดและรูปร่างของภาชนะพลาสมา

จากทฤษฎีการคำนวณ Principal Stress จะได้ว่า

$$\sigma_{ave} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} = \frac{6MPa + 3MPa}{2} = 4.5MPa$$
$$R = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} = \frac{6MPa - 3MPa}{2} = 1.5MPa$$
$$\sigma_{\max} = \sigma_{ave} + R = 4.5MPa + 1.5MPa = 6MPa$$
$$\sigma_{\min} = \sigma_{ave} - R = 4.5MPa - 1.5MPa = 3MPa$$

และจากทฤษฎีการคำนวณ Factor of Safety (F.S.) พบว่า ค่า F.S. ที่นิยมใช้สำหรับการคำนวณความแข็งแรงของภาชนะความดัน (Pressure Vessel) มีค่าประมาณ 3.5-4.0 ดังนั้นจะได้ว่า

$$F.S. = \frac{\sigma_{ultimate}}{\sigma_{allowable}} \text{ หรือ } \sigma_{allowable} = \frac{\sigma_{ultimate}}{F.S.}$$

เมื่อแทนค่า Ultimate Tensile Strength ของ Borosilicate glass และ F.S. สำหรับการคำนวณความแข็งแรงของภาชนะความดัน จะได้ว่า

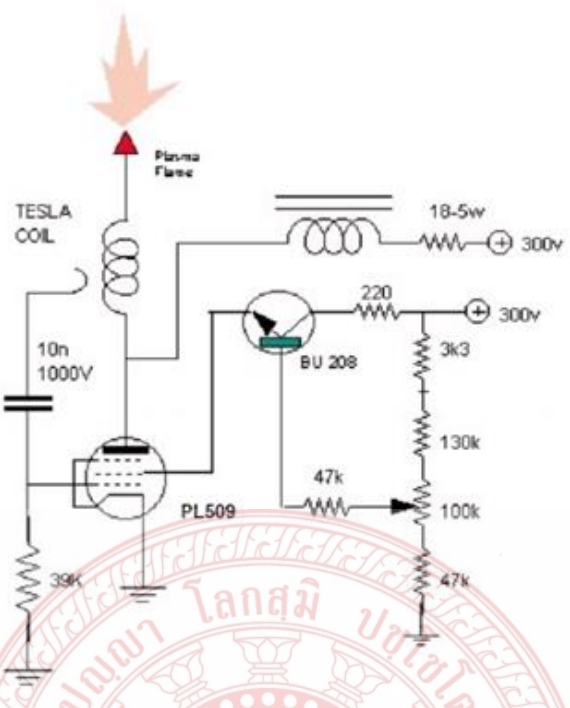
$$\sigma_{allowable} = \frac{\sigma_{ultimate}}{F.S.} = \frac{280MPa}{4} = 70MPa$$

ดังนั้น สามารถสรุปได้ว่า $\sigma_{\max} < \sigma_{allowable}$ -> **Design is acceptable.**

2. ผลการออกแบบวงจรกำเนิดคลื่นความถี่ ในการออกแบบวงจรกำเนิดคลื่นความถี่นั้นใช้หลักการของวงจร push-pull oscillator ในการกำเนิดคลื่นความถี่ ซึ่งการทดลองนี้ได้ทำการประยุกต์และปรับวงจรกำเนิดคลื่นความถี่จากงานวิจัยของ Canal *et al.* ซึ่งมีหลอดสุญญากาศจำนวน 2 หลอดให้เหลือเพียง 1 หลอด เพื่อลดความซับซ้อนในการทำงานโดยใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าสำหรับป้อนให้วงจรเพียง 300 โวลต์ และมีวงจรสำหรับควบคุมการทำงานของหลอดสุญญากาศด้วยอุปกรณ์ทรานส์ซิสเตอร์ดังแสดงในรูปที่ 7 โดยมีรายการอุปกรณ์ดังนี้

1. ตัวต้านทาน 18Ω, 220Ω, 3.3kΩ, 130kΩ, 47kΩ, 39kΩ
2. ตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ 100kΩ
3. ตัวเก็บประจุ 10nF
4. อุปกรณ์อื่นๆ เช่น ทราส์ซิสเตอร์, Tesla coil, หลอดสุญญากาศ

เมื่อนำมาต่อวงจรสำหรับทำการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 8 พบว่า วงจรสามารถกำเนิดคลื่นความถี่ได้ในช่วง 27-30 MHz ซึ่งจะนำวงจรนี้ไปทำการทดสอบการเกิดสถานะพลาสมาดังจะกล่าวในหัวข้อ 3.4



รูปที่ 7 วงจรกำเนิดคลื่นความถี่แบบหลอดสุญญากาศ 1 หลอด

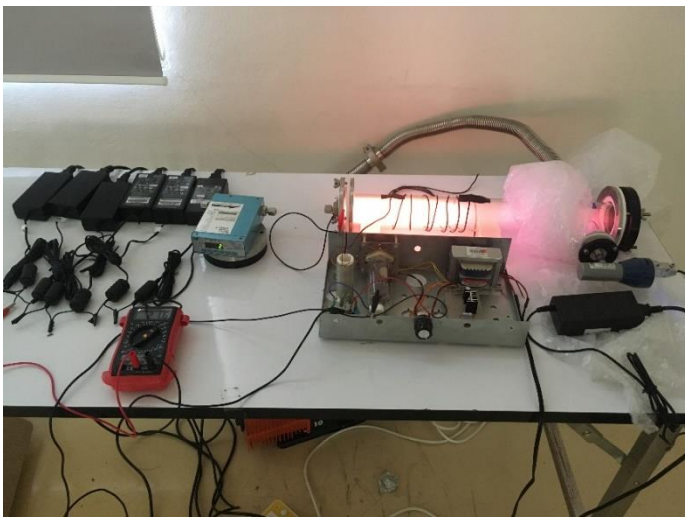
รูปที่ 8 แสดงตำแหน่งของอุปกรณ์บนแผงวงจรที่สร้างจริงจากรูปที่ 7

3. ผลการออกแบบส่วนประกอบของระบบพลาสมา จากผลการออกแบบภาชนะพลาสมาและวงจรกำเนิดคลื่นความถี่ดังได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 3.1 และ 3.2 เมื่อนำวงจรมาประกอบและสร้างจริงตามที่ได้ออกแบบไว้ในรูปที่ 5 จะมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 9

รูปที่ 9 แสดงส่วนประกอบของระบบพลาสมาที่สร้างจริงจากรูปที่ 5

จากรูปที่ 9 แสดงส่วนประกอบของระบบพลาสมา โดยระบบดังกล่าวจัดเป็นโกลว์ดิสชาร์จ (Glow discharge) ด้วยการเหนี่ยวนำ (Inductive coupled plasma, ICP) ประกอบไปด้วยขดลวดที่พันรอบภาชนะพลาสมา และแก๊สที่อยู่ภายในจะได้รับพลังงานจากแหล่งจ่ายพลังงาน ซึ่งจะทำงานในช่วงความถี่ 27-30 MHz เพื่อแตกตัวเกิดเป็นสถานะพลาสมาภายในภาชนะ ชุดแมทชิ่งอิมพีแดนซ์จะทำหน้าที่ปรับให้เกิดการส่งผ่านพลังงานจากแหล่งจ่ายพลังงานให้แก๊สในภาชนะพลาสมามากที่สุด โดยระบบถูกออกแบบมาให้ทำงานในลักษณะของพลาสมาเย็น ซึ่งจะมีอุณหภูมิของอิเล็กตรอนสูง แต่มีอุณหภูมิของไอออนหนักใกล้เคียงกับอุณหภูมิห้อง โดยเงื่อนไขดังกล่าวจะเกิดได้ที่ความดันต่ำ ดังนั้นภาชนะพลาสมาจึงต้องมีระบบปั๊มสุญญากาศสำหรับลดความดัน และมีมาตรวัดความดันเพื่อตรวจสอบค่าความดันภายใน เมื่อมีการใช้งานพลาสมาจะเกิดการทำปฏิกิริยากับตัวอย่าง ทำให้ปริมาณพลาสมาในภาชนะลดลง ดังนั้นจึงต้องมีการเติมแก๊สเข้าไปในระบบโดยปริมาณแก๊สที่เติมเข้าไปจะถูกควบคุมโดยอุปกรณ์ควบคุมการไหล ซึ่งจะรักษาสมดุลของการเกิดพลาสมาในภาชนะพลาสมา

4. ผลการทดสอบเครื่องกำเนิดพลาสมา จากรูปที่ 10 เป็นการทดสอบการทำงานของเครื่องกำเนิดพลาสมาโดยใช้ Adaptor จำนวน 6 ตัวที่ต่ออนุกรมกันเป็นแหล่งกำเนิดพลังงาน โดยเริ่มจากการเปิดระบบสุญญากาศเพื่อให้ความดันภายในภาชนะเป็นสุญญากาศ ซึ่งวัดค่าความดันภายในได้เท่ากับ 6 mTorr หลังจากนั้นปล่อยอากาศเข้าไปผ่านตัวควบคุมการไหลที่อัตรา 2 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที (sccm) ซึ่งวัดค่าความดันภายในได้เท่ากับ 40 mTorr พบว่า การแตกตัวของอากาศที่ทำให้เกิดพลาสมานั้นได้พลังงานมาจากต้นกำเนิดแบบวิทยุ RF (Radio frequency) ที่ให้ความถี่ในช่วง 27-30 MHz และกำลังจากแหล่งกำเนิดในขณะที่เกิดพลาสมามีค่าเท่ากับ 4.3 วัตต์



รูปที่ 10 แสดงภาพการทดสอบเครื่องกำเนิดพลาสมา

สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองข้างต้น ได้มีการพัฒนาระบบกำเนิดพลาสมาโดยใช้เทคโนโลยีที่สามารถพัฒนาขึ้นในประเทศ ซึ่งระบบดังกล่าวประกอบด้วยภาชนะพลาสมาและระบบปั๊มสุญญากาศ ชุดควบคุมการไหลของแก๊สที่เข้าสู่ภาชนะพลาสมา ชุดแหล่งกำเนิดพลังงานเพื่อให้แก๊สเกิดการแตกตัวและมีสถานะเป็นพลาสมา โดยระบบที่ถูกพัฒนาขึ้นดังกล่าวได้ถูกทดสอบและสามารถทำให้แก๊สที่ผ่านเข้าสู่ภาชนะพลาสมาเกิดการแตกตัวเป็นพลาสมาได้ แต่อย่างไรก็ตาม ระบบดังกล่าวยังเป็นเพียงระบบต้นแบบที่จะต้องมีการทดสอบและพัฒนาต่อยอดต่อไป

สิ่งที่จะต้องมีการทดสอบเพิ่มเติม คือ การหาคุณลักษณะของพลาสมาที่เกิดขึ้น ซึ่งจำเป็นจะต้องใช้อุปกรณ์ทางแสง คือ สเปกโตรมิเตอร์สำหรับใช้วิเคราะห์สเปกตรัมของแสงในขณะที่แก๊สเกิดสถานะพลาสมา โดยสเปกตรัมดังกล่าวจะบอกถึงองค์ประกอบ เช่น ชนิดและปริมาณของอนุภาคมีประจุที่เกิดขึ้นในพลาสมาขณะนั้น ซึ่งจะช่วยให้ทราบสภาวะของพลาสมาสำหรับการทดลองที่เกี่ยวข้อง

นอกจากนี้ การปรับปรุงระบบกำเนิดพลาสมาก็มีความจำเป็นยิ่ง กล่าวคือ การปรับปรุงแหล่งกำเนิดพลังงานให้มีแมทชิ่งอิมพีแดนซ์ที่เหมาะสมและสามารถปรับค่าได้ ซึ่งจะช่วยให้สามารถปรับระบบให้เกิดการถ่ายเทพลังงานสูงสุดจากแหล่งกำเนิดพลังงานไปสู่แก๊สในภาชนะพลาสมา ซึ่งเงื่อนไขเหล่านี้จะเปลี่ยนแปลงไปตามตัวอย่างที่อาจมีความหลากหลายเมื่อถูกใส่ลงในภาชนะพลาสมา

ข้อเสนอแนะ

1. ส่วนที่จะต้องมีการทดสอบเพิ่มเติม คือ การหาคุณลักษณะของพลาสมาที่เกิดขึ้นซึ่งจำเป็นจะต้องใช้อุปกรณ์ทางแสง คือ สเปกโตรมิเตอร์สำหรับใช้วิเคราะห์สเปกตรัมของแสงในขณะที่แก๊สเกิดสถานะพลาสมา โดยสเปกตรัมดังกล่าวจะบอกถึงองค์ประกอบ เช่น ชนิดและปริมาณของอนุภาคมีประจุที่เกิดขึ้นในพลาสมาขณะนั้น ซึ่งจะช่วยให้ทราบสภาวะของพลาสมาสำหรับการทดลองที่เกี่ยวข้อง

2. การปรับปรุงที่จำเป็นสำหรับระบบกำเนิดพลาสมาในโครงการนี้ คือ การปรับปรุงแหล่งกำเนิดพลังงานให้มี Matching network ที่เหมาะสมและสามารถปรับค่าได้ ซึ่งจะช่วยให้สามารถปรับระบบให้เกิด

การถ่ายเทพลังงานสูงสุดจากแหล่งกำเนิดพลังงานไปสู่แก๊สในภาชนะพลาสมา ซึ่งเงื่อนไขเหล่านี้จะเปลี่ยนแปลงไปตามตัวอย่างที่อาจมีความหลากหลายเมื่อถูกใส่ลงในภาชนะพลาสมา

3. ให้มีการศึกษาแนวทางการวิเคราะห์เครื่องกำเนิดพลาสมาที่ได้พัฒนากับงานการแพทย์เชิงบูรณาการ ที่จะนำไปสู่การดูแลผู้ป่วยที่จำเป็นต้องใช้วัสดุและอุปกรณ์ทางการแพทย์ในการรักษาความเจ็บป่วยที่เกิดทางร่างกาย

ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

จากผลการดำเนินการวิจัยนี้ องค์ความรู้ที่เกิดขึ้นในขณะที่พัฒนาระบบกำเนิดพลาสมานั้นช่วยให้นักวิจัยมีศักยภาพ และเห็นแนวทางการต่อยอดสู่การพัฒนาระบบกำเนิดพลาสมาสำหรับประยุกต์ใช้กับงานลักษณะอื่นๆในอนาคต เช่น ระบบกำเนิดพลาสมาที่มีขนาดใหญ่ขึ้นสำหรับตัวอย่างที่มีขนาดใหญ่ หรือระบบกำเนิดพลาสมาที่แรงดันบรรยากาศ (Atmospheric plasma)สำหรับประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงพื้นผิวของวัสดุ หรือประยุกต์ใช้สำหรับงานทางการแพทย์ที่มีความจำเป็นต้องเคลือบวัสดุทางการแพทย์หรือทางเกษตร เป็นต้น

บรรณานุกรม

A.R. Addamo, E. Selli, R. Barni, C. Riccardi, F. Orsini, G. Poletti, L. Meda, M.R. Massafra. B. Marcandalli, **Cold plasma-induced modification of the dyeing properties of poly (ethylene terephthalate) fibers**. Appl. 2006.

C.L. Santos, F. Yubero, J. Cotrino, A.R.G. Elipe, **Lateral and in-depth distribution of functional groups on diamond-like carbon after oxygen plasma treatments**. Diamond Relat. Mater. 2011.

Dawn M. Hudson, **Top Shelf Science Human Anatomy & Physiology**, (Portland: J. Weston Walch Publishing, 2006.

F.P. Beer, E.R. Johnston Jr., J.T. DeWolf, **Mechanics of Materials**. 4th Edition in SI Units) McGraw Hill, 2006.

J.F. Xie, D.W. Xin, H.Y. Cao, C.T. Wang, Y. Zhao, L. Yao, F. Ji, Y.P. Qiu, **Improving carbon fiber adhesion to polyimide with atmospheric pressure plasma treatment**. Surf. Coat. Technol. 206, 2011.

L. Jiang, A.G. Fitzgerald, M.J. Rose, R. Cheung, B. Rong, E.V. Drift, **X-ray photoelectron spectroscopy studies of the effects of plasma etching on amorphous carbon nitride films**. Appl. Surf. Sci. 193, 2002.

G.P. Canal, H. Luna, L.F. Ruchko, R.M.O. Galvão, **Design and characterization of an RF plasma cleaner**. Brazilian Journal of Physics, 2010.

H. Ikegami, **Introduction to Plasmas, Industrial Plasma Technology**. Ed. Y. Kawai et. al. Wiley-VCH, 2010.

M. Gherardi, R. Tonini, V. Colombo, **Plasma in Dentistry: Brief History and Current Status**. Trends in Biotechnology, 2017

National Academy of Press. **Plasma processing of Materials**, National Academy of Press, Washington D.C., International Standard Book Number.1991.

O.V. Penkov, M. Khadem, W.S. Lim, D.E. Kim, **A review of recent applications of atmospheric pressure plasma jets for materials processing,** J. Coat. Technol. Res. 12, 2015.

R. d'Agostino (Ed.), **Plasma Deposition, Treatment and Etching of Polymers** Academic Press, New York, 1990.

https://www.makeitfrom.com/material-properties/Borosilicate-Glass

ประวัติผู้วิจัย

1. หัวหน้าโครงการวิจัย

ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) พระสุธีรัตนบัณฑิต (สุทิตย์ อาภากโร)

ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Phra Suthirattanabundit, Ph.D. (Suthit Aphakaro)

ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยพุทธศาสตร์
มหาวิทยาลัยมหาจุฬาลงกรณราชวิทยาลัย

หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก

สถาบันวิจัยพุทธศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาจุฬาลงกรณราชวิทยาลัย
เลขที่ 79 หมู่ที่ 1 ตำบลลำไทร อำเภอวังน้อย จังหวัดพระนครศรีอยุธยา 13170
โทร. 035-24800-5 โทรสาร. 035-248-034 โทรศัพท์มือถือ 089-669-1600
E-mail suthito@hotmail.com

<u>การศึกษา</u>

เปรียญธรรม	7 ประโยค (2534)
ปริญญาตรี	รัฐศาสตรบัณฑิต (ร.บ.) มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช (2535)
ปริญญาโท	พัฒนาชุมชนมหาบัณฑิต (พช.ม.) มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ (2541)
ปริญญาเอก	พุทธศาสตรดุษฎีบัณฑิต (พธ.ด.) ม.มหาจุฬาลงกรณราชวิทยาลัย

<u>ประสบการณ์การทำงานวิจัย (ย้อนหลัง 5 ปี)</u>

ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย : จำนวน 3 แผนงานวิจัย ได้แก่

1) แผนงานวิจัยเรื่อง “การพัฒนารูปแบบและกระบวนการจัดการท่องเที่ยวทางพระพุทธศาสนาในประเทศไทย” ทุนวิจัยจาก สกว.

2) แผนงานวิจัยเรื่อง “การพัฒนาระบบการบริหารจัดการและการสร้างเครือข่ายองค์กรพระพุทธศาสนาในประเทศไทย” ทุนวิจัยจาก สสส.

3) แผนงานวิจัยเรื่อง “การเสริมสร้างสุขภาวะและการเรียนรู้ของสังคมตามแนวพระพุทธศาสนา” ทุนวิจัยจาก สสส.

หัวหน้าโครงการวิจัยหรือนักวิจัย

2555 นักวิจัยโครงการ การจัดระบบข้อมูลข่าวสารของราชการภายใต้โครงการพัฒนาระบบและการเสริมสร้างความเชื่อมั่นด้านความโปร่งใสหน่วยงานภาครัฐ เสนอสำนักงานคณะกรรมการข้อมูลข่าวสารของราชการ

2555 หัวหน้าแผนการวิจัยเรื่อง “การพัฒนาระบบการบริหารจัดการและการสร้างเครือข่ายองค์กรพระพุทธศาสนาในประเทศไทย” เสนอสำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ (สสส.) โครงการชุดมีโครงการย่อย 5 โครงการ

2555 หัวหน้าแผนงานวิจัยเรื่อง “การพัฒนารูปแบบและกระบวนการจัดการท่องเที่ยวทางพระพุทธศาสนาในประเทศไทย” เสนอ สำนักงานคณะกรรมการวิจัย

แห่งชาติและสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย

2556 หัวหน้าโครงการวิจัยเรื่อง “กระบวนการสร้างและการใช้ตัวชี้วัดความสุขตามแนวพระพุทธศาสนาของประเทศภูฏานและประเทศไทย” ทุนสนับสนุนของสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (สกอ.)

2556 หัวหน้าแผนงานวิจัยเรื่อง “การเสริมสร้างสุขภาวะและการเรียนรู้ตามแนวพระพุทธศาสนาโดยการมีส่วนร่วมของพระสงฆ์ในสังคมไทย” เสนอสำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ (สสส.) มีโครงการย่อย 7 โครงกา

2557 หัวหน้าโครงการวิจัยเรื่อง การอยู่ร่วมกันของประชาคมอาเซียน : แนวคิดและวิถีปฏิบัติตามแนวศาสนา

2557 หัวหน้าโครงการวิจัยเรื่อง การบูรณาการหลักคำสอนและแนวปฏิบัติเพื่อส่งเสริมการอยู่ร่วมกันของชุมชนชาวพุทธ คริสต์ และอิสลามในประเทศไทย

2558 หัวหน้าโครงการวิจัยเรื่อง “Eco-town : การพัฒนาระบบการจัดการสิ่งแวดล้อมเชิงนิเวศวิทยาพระพุทธศาสนาของวัดในกรุงเทพมหานคร” (ทุน มจร.)

2558-60 ผู้อำนวยการแผนงานวิจัยการเสริมสร้างสุขภาวะและการเรียนรู้ตามแนวพระพุทธศาสนา”เสนอสำนักงานกองทุน สนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ

2559 หัวหน้าโครงการวิจัยเรื่อง“จริยศาสตร์การพัฒนา : หลักการและแนวปฏิบัติทางจริยศาสตร์เพื่อความโปร่งใสและการพัฒนาที่ยั่งยืนของประชาคมอาเซียน” ทุนสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (สกอ.)

2559 หัวหน้าโครงการวิจัยเรื่อง “อัตลักษณ์ทางศาสนา : รูปแบบการสื่อความหมายเพื่อสร้างสันติภาพของประชาคมอาเซียน” (ทุน มจร.)

บทความวิชาการ และบทความวิจัย (ย้อนหลัง 5 ปี)

2555 บทความวิจัยเรื่อง การพัฒนาระบบการบริหารจัดการและการสร้างเครือข่ายองค์กรพระพุทธศาสนาในประเทศไทย เสนองานสัมมนาวิจัยและวิทยานิพนธ์ดีเด่นประจำปี 2555 ร่วมกับบัณฑิตวิทยาลัย มจร.

2555 บทความวิชาการเรื่อง มหายานในประเทศไทย : Mahayana Buddhism in Thailand เสนองานสัมมนาวิชาการ ณ วิทยาลัยสงฆ์หางโจว สาธารณรัฐประชาชนจีน

2556 บทวามเรื่อง “The Development of Management Systems and Networks for Buddhist Organizations in Thailand ” เสนองานสัมมนาวิชาการ Thai-Shino Buddhist Conference ครั้งที่ 2 กรุงเทพ และเสนองานสัมมนาวิจัยพระพุทธศาสนานานาชาติ กรุงเทพมหานคร

2556 หนังสือ เรื่อง “สุขที่ได้ธรรม” หนังสือสังเคราะห์จากงานวิจัย เสนอสำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ (สสส.)

2557 หนังสือ CSR เชิงพุทธ หนังสือสังเคราะห์จากงานวิจัย เสนอ สกอ.

2558 รายงานการวิจัยเรื่อง “การเสริมสร้างสุขภาวะและการเรียนรู้ตามแนวพระพุทธศาสนาโดยการมีส่วนร่วมของพระสงฆ์ในสังคมไทย” เสนอ สสส.

2558 บทความวิจัยเรื่อง “An analytical study of the process of creating and Using Buddhist happiness indicators in Bhutan and Thailand” เสนองาน International Conference on Social Sciences and Management (ICSSM) ณ ประเทศญี่ปุ่น

ผู้ร่วมโครงการ

1.ชื่อ-สกุล ดร.ชวิน จองวรรณศิริ

2. สถานที่ติดต่อ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ศูนย์บริการทางการศึกษาราชบุรี
209 หมู่ 1 ตำบลรางบัว อำเภอจอมบึง จังหวัดราชบุรี 70150
โทรศัพท์. 0-2470-9964-5 โทรสาร. 0-2470-8451
โทรศัพท์มือถือ. 091-871-5510

3. ประวัติการศึกษา

2016 Doctor of Engineering in Systems Engineering
Nippon Institute of Technology, Japan

2010 Master of Engineering in Mechanical Engineering
King Mongkut's University of Technology Thonburi, Thailand

2008 Bachelor of Engineering in Mechanical Engineering
King Mongkut's University of Technology Thonburi, Thailand

4. ตำแหน่ง/ประสบการณ์ในการทำงาน (จากปัจจุบัน-อดีต)

2560-ปัจจุบัน อาจารย์ประจำมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ศูนย์บริการทางการศึกษาราชบุรี

5. ประสบการณ์ในงานวิจัยและการประเมินผล

-

6. บทความ หนังสือ และผลงานทางวิชาการ

Publications

1) C. Jongwannasiri, S. Watanabe, "Tribological behavior of O_2 and CF_4 plasma post-treated diamond-like carbon films under dry air and in a high relative humidity environment," *Surface & Coatings Technology*, Vol. 306, 2016, pp. 200-204.
2) C. Jongwannasiri, S. Watanabe, "Improvement of hydrophilic stability of diamond-like carbon films by O_2/CF_4 plasma post-treatment," *Advanced Materials Research*, Vol. 1125, 2015, pp. 38-44.
3) C. Jongwannasiri, N. Moolsradoo, S. Watanabe, "Heat resistant properties of some elements-incorporated diamond-like carbon films and their trial applications for micro end mill coatings," *Materials Sciences and Applications*, Vol. 6, No. 1, 2015, pp. 9-15.
4) C. Jongwannasiri, S. Watanabe, "Effect of plasma treatment on friction coefficient of diamond-like carbon films," *Journal of The Surface Finishing Society of Japan*, Vol. 65, No. 12, 2014, pp. 621-624.
5) M. Anas Mohammed, C. Jongwannasiri, S. Watanabe, "Tribological performance of Si-N-DLC composite thin films under high temperature environment," *Journal of The Surface Finishing Society of Japan*, Vol. 65, No. 12, 2014, pp. 631-632. (In Japanese)

6) C. Jongwannasiri, S. Watanabe, "Effects of RF power and treatment time on wettability of oxygen plasma-treated diamond-like carbon thin films," *International Journal of Chemical Engineering and Applications*, Vol. 5, No. 1, 2014, pp. 13-16.

7) C. Jongwannasiri, X. Li, S. Watanabe, "Improvement of thermal stability and tribological performance of diamond-like carbon composite thin films," *Materials Sciences and Applications*, Vol. 4, No. 10, 2013, pp. 630-636.

8) C. Jongwannasiri, N. Moolsradoo, A. Khantachawana, P. Kaewtatip, S. Watanabe, "The comparison of biocompatibility properties between Ti alloys and fluorinated diamond-like carbon films," *Advances in Materials Science and Engineering*, Article ID 724126, 2012, 8 pages.

1.ชื่อ-สกุล ดร.บัญญัติ เล็กประเสริฐ

2. สถานที่ติดต่อ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ศูนย์บริการทางการศึกษาราชบุรี
209 หมู่ 1 ตำบลรางบัว อำเภอจอมบึง จังหวัดราชบุรี 70150
โทรศัพท์. 0-2470-9964-5 โทรสาร. 0-2470-8451
โทรศัพท์มือถือ. 081-530-8184

3. ประวัติการศึกษา

2013 Ph.D. (Physics) The University of Nottingham, UK
2003 M.Sc. (Physics) Chiang Mai University, Thailand
1999 B.Sc. (Physics) Chiang Mai University, Thailand

4. ตำแหน่ง/ประสบการณ์ในการทำงาน (จากปัจจุบัน-อดีต)

2557-ปัจจุบัน อาจารย์ประจำมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ศูนย์บริการทางการศึกษาราชบุรี
2004-2013 นักวิจัยประจำสถาบันการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
2003-2004 ผู้ช่วยนักวิจัย ศูนย์วิจัยนิวตรอนพลังงานสูง ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

5. ประสบการณ์ในงานวิจัยและการประเมินผล

-

6. บทความ หนังสือ และผลงานทางวิชาการ Publications

1) B. Lekaprasert, V. Korolkov, A. Falamas, V. Chis, C. J. Roberts, S. J. B. Tendler, and I. Notingher, Investigations of the Supramolecular Structure of Individual Diphenylalanine Nano- and Microtubes by Polarized Raman Microspectroscopy, Biomacromolecules, 13, 2181-2187, 2012
2) F. Sinjab, B. Lekprasert, R. A. J. Woolley, C. J. Roberts, S. J. B. Tendler, and I. Notingher, Neafield Raman spectroscopy of biological nanomaterials by insitu laser-induced synthesis of tip-enhanced Raman spectroscopy tips , Opt. Lett., 37,2256-2258, 2012.
3) B. Lekprasert, V. Sedman, C. J. Roberts, and I. Notingher, Nondestructive Raman and atomic force microscopy measurement of molecular structure for individual diphenylalanine nanotubes, Opt. Lett., 35, 4193-4195, 2010
4) S. Dangtip, P. Junphong, V. Ano, B. Lekprasert, D. Suwannakachorn, N. Thongnopparat and T. Vilaithong, Characterization of a Compact Filament-driven Multicusp Ion Source for Low Energy time-of- flight RBS application, Review of Scientific Instruments, 75, 1869-1871, 2004
5) P. Junphong, V. Ano, B. Lekprasert, D. Suwannakachorn, Thiraphat Vilaithong, H. Wiedemann, Bunch Compression of a Non-Relativistic 280-keV-He+ Beam, Solid State Phenomena, 107, 59-62, 2004

6) P. Junphong, V. Ano, N. Thongnopparat, B. Lekprasert, D. Suwannakachorn, T. Vilaithong and H. Wiedemann, The System of Nanosecond 280-keV- He+ Pulsed Beam, Proceedings of 2005 Particle Accelerator Conference, Knoxville, Tennessee, 3982-3984, 2005

International Conferences:

1) R. Rungsirisakun, and B. Lekprasert, Project Based Learning experiences in the field of Chemistry and Physics at King Mongkut's University of Technology Thonburi (Ratchaburi), Thailand, iSTEM-Ed 2016, July 6-8, Pattaya, Thailand, 8-11, 2016
2) B. Lekprasert, and T. Nantavisaragul, Opensource Software for Learning Astronomy, ICASE Asian Symposium 2006, November 28-30, Furama City Centre Hotel, Singapore, 72, 2006
3) T. Nantawisarakul, B. Lekprasert, and K. Kanon, "Promoting Science to Everyone through Science Show, ICASE Asian Symposium 2006, November 28-30, Furama City Centre Hotel, Singapore, 26-27, 2006
4) B. Lekprasert, K. Nirunpong, M. Poungsudrak, U. Klunboot, and W. Rakruengdet, "Surveying an understanding about heat and temperature: A case study of KMUTT mechanical engineering freshmen", Siam Physics Congress 2014, March 26-29, Rajamangala University of Technologh Isan, Nakhon Ratchasima, Thailand, 112, 2014

1. ชื่อ นามสกุล ผศ.ดร. กมล จิรเสรีอมรกุล

2. ที่อยู่ ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็คทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี 126 ถนนประชาอุทิศ แขวงบางมด
เขตทุ่งครุ จังหวัดกรุงเทพมหานคร 10140
โทรศัพท์ 0-2470-9067 โทรสาร 0-2470-9070
E-mail Address : kamon.jir@kmutt.ac.th

3. ประวัติการศึกษา

2549 ปริญญาเอก วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

2544 ปริญญาโท วิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

2540 ปริญญาตรี วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

4. ประสบการณ์งานวิจัยงานวิจัยที่ได้ตีพิมพ์เผยแพร่

1. Jirasereeamornkul, K., Kazimierczuk, M.K., Boonyaroonate, I., and Chamnongthai, K., 2006, "Single-Stage Electronic Ballast With Class-E Rectifier as Power-Factor Corrector", IEEE Transactions on Circuit and Systems Part I: Regular Papers, Vol. 53, No. 1, January, pp. 139-148.

2. Senanon, B., Thongtep, K., Jirasereeamornkul, K., Lenwari, W., Buochareon, S. and Auttawaitkul, Y., 2018, “Performance evaluation of sun tracking photovoltaic system in Thailand”, The 7th International Conference on Sustainable Energy and Green Architecture (SEGA-07), May 21-22, Bangkok, Thailand

3. Sutont, S., Khunkhet, S., Jirasereeamornkul, K., Lenwari, W., Buochareon, S. and Auttawaitkul, Y., 2017, “Comparison of 1MW solar power plants with “Arranging solar panel” and “Without arranging solar panels”, The 6th International Conference on Sustainable Energy and Green Architecture (SEGA-06), August 30-31, Bangkok, Thailand

4. Jirasereeamornkul, K., Boonyaaroonate, I., and Chamnongthai, K., 2005, "An Application of Power Source Element in Power Factor Correction", IEEE TENCON2005, November 21-24, Melbourne, Australia.

5. Jirasereeamornkul, K., Boonyaroonate, I., and Chamnongthai, K., 2003, "High-efficiency Electronic Transformer for Low-voltage Halogen Lamp", IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS2003), May 25-28, Bangkok, Thailand.

6. Jirasereeamornkul, K., Boonyaroonate, I., and Chamnongthai, K., 2002, "Low Switch Stress Voltage Buck-Boost DC/DC Converter," International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications (NOLTA 2002), October 7-11, Xi'an, PRC., pp. 199-202

7. Jirasereeamornkul, K., Roungraungpalangkul, Y., and Chamnongthai, K., 2001, "A Single Stage Single Switch Power Factor Correction Converter", The IEEE International Symposium on Circuits and System (ISCAS), May 6-9, Sydney, Australia.

5. รางวัลที่ได้รับ

รางวัลชมเชย ผลงานประดิษฐ์คิดค้น ประจำปี 2551 สาขาวิศวกรรมศาสตร์และอุตสาหกรรม วิจัยเรื่อง บัลลาสท์ ชนิดมัลติคอนโทรล

4. ดร. เตชค์ฐสิณป์ เพียซ้าย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ศูนย์บริการทางการศึกษาราชบุรี 209 หมู่ 1 ตำบลรางบัว อำเภอจอมบึง จังหวัดราชบุรี 70150

5. ผศ.ดร.สานุ มหัทธนาดุล

วิทยาลัยพุทธศาสตร์นานาชาติ มหาวิทยาลัยมหาจุฬาลงกรณราชวิทยาลัย