การศึกษาเปรียบเทียบการไหลของอากาศภายในตู้รถเข็นเคลื่อนย้ายผู้ป่วยโรคทางเดินหายใจความดันลบด้วยระเบียบวิธีไฟไนท์อิลิเม้นแบบ 3D

โดย

สายชล กองทอง

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม

หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมชีวการแพทย์

วิทยาลัยวิศวกรรมชีวการแพทย์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยรังสิต

ปีการศึกษา 2565

A COMPARATIVE STUDY OF AIR FLOW INSIDE A TRANSFER CART IN A PATIENT WITH NEGATIVE PRESSURE RESPIRATORY DISEASE WITH 3D FINITE ELEMENT METHOD

BY

SAICHON KONGTONG

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENTS FOR

THE DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING

IN BIOMEDICAL ENGINEERING

COLLEGE OF BIOMEDICAL ENGINEERING

GRADUATE SCHOOL, RANGSIT UNIVERSITY

ACADEMIC YEAR 2022

วิทยานิพนธ์ เรื่อง

การศึกษาเปรียบเทียบการไหลของอากาศภายในตู้รถเข็นเคลื่อนย้ายผู้ป่วยโรคทางเดินหายใจความดันลบด้วยระเบียบวิธีไฟไนท์อิลิเม้นแบบ 3D

โดย

สายชล กองทอง

ได้รับการพิจารณาให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมชีวการแพทย์

มหาวิทยาลัยรังสิต
ปีการศึกษา 2565

--	--
รศ.ดร.ชูชาติ ปิณฑวิรุจน์ ประธานกรรมการสอบ	รศ.นันทชัย ทองแป้น กรรมการ
--	--
ผศ. ดร.ณัฐพล ถนัดช่างแสง กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผศ.ดร.ศนิ บุญญกุล กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(ผศ.ร.ต.หญิง ดร.วรรณี ศุขสาตร)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
19 ตุลาคม 2565

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

Thesis entitled

A COMPARATIVE STUDY OF AIR FLOW INSIDE A TRANSFER CART IN A PATIENT WITH NEGATIVE PRESSURE RESPIRATORY DISEASE WITH 3D FINITE ELEMENT METHOD

by

SAICHON KONGTONG

was submitted in partial fulfillment of the requirements
for the degree of Master of Engineering in Biomedical Engineering

Rangsit University
Academic Year 2022

--	--
Assoc.Prof. Chuchart Pintavirooj, Ph.D. Examination Committee Chairperson	Assoc.Prof.Nuntachai Thongpance Member
---	--
Asst.Prof. Nuttapol Tanadchangsaeng, D.Eng. Member and Co-Advisor	Asst.Prof. Sani Boonyagul, Ph.D Member and Advisor

Approved by Graduate School

(Asst.Prof.Plt.Off. Vannee Sooksatra, D.Eng.)
Dean of Graduate School
October 19, 2022

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จได้เป็นอย่างดีเนื่องมาจากได้รับความอนุเคราะห์จาก ผศ.ดร ศนิ บุญญกุล อาจารย์ที่ปรึกษา และ อาจารย์อนันตศักดิ์ วงศ์กำแหง อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ให้ความเอาใจใส่ช่วยเหลือ และคอยให้คำปรึกษาแนะนำเป็นอย่างดีมาโดยตลอด และ รศ.ดร.ชูชาติปิณฑวิรุจน์และ รศ.ดร ภัทรพงษ์ ผาสุขกิจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านความรู้และการใช้โปรแกรม Comsol Multiphysics และให้ความอนุเคราะห์ในการให้คำปรึกษาในการจำลองผลงานวิจัยในครั้งนี้ทั้งเพื่อนร่วมงาน นายสมยศ หลวงผาด และนายโชคชัย เมืองธรรม ที่ช่วยออกแบบและประกอบชิ้นส่วนรวมถึงร้านอุดมศิลป์ (เขาวัง) ที่สนับสนุนด้านพลาสติกโครงสร้างของตู้ตลอดจนเจ้าหน้าที่โรงพยาบาลที่ให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์

สายชล กองทอง

ผู้วิจัย

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

6106391 : สายชล กองทอง

ชื่อวิทยานิพนธ์ : การศึกษาเปรียบเทียบการไหลของอากาศภายในตู้รถเข็นเคลื่อนย้ายผู้ป่วยโรคทางเดินหายใจความดันลบด้วยระเบียบวิธีไฟล์ไนท์อิลิเม้นแบบ 3D

หลักสูตร : วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมชีวการแพทย์

อาจารย์ที่ปรึกษา : ผศ.ดร.ศนิ บุญญกุล

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม : ผศ.ดร.ณัฐพล ถนัดช่างแสง

บทคัดย่อ

บทความนี้ศึกษาการไหลของอากาศภายในตู้รถเข็นเคลื่อนย้ายผู้ป่วยโรคทางเดินหายใจแบบความดันลบด้วยระเบียบวิธีไฟล์ไนท์อิลิเม้นแบบ 3D โดยการศึกษาในครั้งนี้ได้จำลองลักษณะรูปทรงของตู้รถเข็นอัตราการไหลเวียนของอากาศ และ ความดันลบ ที่เหมาะสมต่อการนำไปออกแบบและการสร้างตู้รถเข็นเคลื่อนย้ายผู้ป่วยโรคทางเดินหายใจแบบความดันลบซึ่งผลจากการจำลองโมเดลของตู้รถเข็นเคลื่อนย้ายผู้ป่วยโรคทางเดินหายใจแบบความดันลบในลักษณะ 3Dโดยใช้ระเบียบวิธีไฟล์ไนท์อิลิเม้นแบบ 3D ซึ่งผลจากการจำลองพบว่าในการกำหนดทิศทางการไหลเข้าและไหลออกของการไหลเวียนอากาศที่เหมาะสมตามมาตรฐานเพื่อลดความเสี่ยงในการควบคุมการติดเชื้อ ต้องไม่น้อยกว่า 12 รอบ/ชั่วโมง(ACH) ซึ่งผลการไหลเวียนของอากาศที่ได้จากการจำลองมีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่ 18.25 รอบ/ชั่วโมง (ACH) ค่าความดันลบภายใน -0.29 Pa และความดังของเสียงภายใน 60.9 dB เป็นไปตามมาตรฐานระบบปรับอากาศและระบายอากาศ ฉบับปี 2559 ของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์

(วิทยานิพนธ์มีจำนวนทั้งสิ้น 57 หน้า)

คำสำคัญ: ไฟล์ไนท์อิลิเม้นแบบ 3D, การไหลเวียนอากาศ, อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ

ลายมือชื่อนักศึกษา .... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม..

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

6106391 : Saichon Kongtong

Thesis Title : A Comparative Study of Air Flow inside a Transfer Cart in a Patient With Negative Pressure Respiratory Disease With 3D Finite Element Method

Program : Master of Engineering in Biomedical Engineering

Thesis Advisor : Asst.Prof. Sani Boonyagul, Ph.D.

Thesis Co-Advisor : Asst.Prof. Nuttapol Tanadchangsaeng, D.Eng.

Abstract

This study investigated the air flow within the negative pressure isolation wheelchair using 3D finite element method. This study simulated the shape of the wheelchair, air flow rate, and negative pressure that were suitable for the design and building of wheelchairs for the patients with respiratory diseases. The results from the simulation showed that the proper inflow and outflow of air which would reduce the infection control risk must be at least 12 round/hour (ACH). The simulation also showed the air change rate at 18.25 round/hour (ACH), the negative pressure at -2.9 Pa, and the loudness inside the hood at 60.9 dB which followed the Air Conditioning and Ventilation Standard 2016 issued by the Engineering Institute of Thailand under His Majesty the King’s Patronage.

(Total 57 pages)

Keywords: 3D Finite Element, Airflow, Air Change Rate

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

Student’s Signature ……………………………………… Thesis Advisor’s Signature ………………………………………

Thesis Co-Advisor’s Signature………………………………

สารบัญ

		หน้า
กิตติกรรมประกาศ		**ก**
บทคัดย่อภาษาไทย		**ข**
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ		**ค**
สารบัญ		**ง**
สารบัญตาราง		**ฉ**
สารบัญรูป		**ช**
สัญลักษณ์และคำย่อ		**ฌ**
บทที่ 1	**บทนำ**	**1**
	1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
	1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย	2
	1.3 สมมติฐานการวิจัย	3
	1.4 กรอบแนวคิดการวิจัย	3
	1.5 ขอบเขตการวิจัย	3
	1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2	**หลักการและทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง**	**5**
	2.1 การป้องกันและควบคุมการแพร่กระจายเชื้อในโรงพยาบาล	5
	2.2 ทฤษฎีกลศาสตร์ของไหลและการวิเคราะห์การไหลของอากาศ	14
	2.3 ระเบียบวิธีไฟล์ไนท์อิลิเม้น	16
	2.4 การคำนวณหาค่าความดัน	23
	2.5 เพลเทียร์	28
บทที่ 3	**ขั้นตอนการวิจัย**	**33**
	3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	33
	3.2 ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการประมวลผล	39

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
	3.3 รูปแบบโครงสร้างและขนาดของอุปกรณ์ต้นแบบ	40
	3.4 การกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการคำนวณ	41
	3.5 วิธีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ในโปรแกรม COMSOL Multiphysics	42
	3.6 การสร้างเมชเอลิเมนต์เพื่อวิธีการดำเนินการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนท์อิลิเม้น	44
บทที่ 4	**ผลการทดลอง**	**45**
	4.1 ผลการจำลองในรูปแบบ 3D ด้วยโปรแกรม Comsol Multiphysics เปรียบเทียบ 2 รูปทรง	45
	4.2 ผลการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์โปรแกรม Comsol Multiphysics	48
	4.3 ผลการทดสอบตู้รถเข็นเคลื่อนย้ายผู้ป่วยโรคทางเดินหายใจความดันลบต้นแบบ	49
	4.4 ผลการทดลองจากทฤษฎีเทียบกับผลการจำลอง	51
บทที่ 5	**สรุปผลและข้อเสนอแนะ**	**52**
	5.1 สรุปผลการวิจัย	52
	5.2 ข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัยในอนาคต	53
บรรณานุกรม		**54**
ประวัติผู้วิจัย		**57**

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	แสดงการจำแนกพื้นที่ต่างๆในสถานพยาบาลตามความเสี่ยงของการแพร่กระจายเชื้อทางอากาศ	8
2.2	กิจกรรมที่ก่อให้เกิดฝอยละออง (Aerosol Producing Procedures)	9
2.3	แสดงชนิดและประสิทธิภาพของหน้ากากที่ใช้เพื่อป้องกันเชื้อที่แพร่กระจายทางอากาศ	10
2.4	การไหลของอากาศที่แตกต่างที่ต้องการเทียบกับการรั่วไหลของห้องแยกแรงดันลบที่ห้องแยกความดันแตกต่างกัน 0.01 นิ้วน้ำ	27
3.1	ขนาดของอุปกรณ์ต้นแบบ	41
3.2	แสดงค่าพารามิเตอร์ของอากาศที่ใช้ในการจำลอง	41
4.1	ผลการทดลองด้วยโปรแกรม Comsol Multiphysics	48
4.2	ผลการทดลองจากชุดจำลองต้นแบบ	50
4.3	ผลการทดลองจากทฤษฎีเทียบกับผลการจำลอง	51

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	กรอบแนวคิดการวิจัย	3
2.1	การติดต่อของเชื้อไวรัสทางเดินหายใจ	7
2.2	หลักการควบคุมความดันระหว่างพื้นที่	11
2.3	หลักการควบคุมทิศทางการไหลของอากาศ	12
2.4	การใช้หลอดอัลตราไวโอเลต UV (Ultraviolet)	13
2.5	แสดงตัวอย่างของรูปร่าง Mesh, Element และ Node	19
2.6	ชนิดของเอลิเมนต์พื้นฐาน	20
2.7	Primitive Structure Elements	21
2.8	Continuum Elements	21
2.9	Special Elements	22
2.10	ผลต่างความดันการไหลของอากาศในห้องเทียบกับความดันส่วนต่าง สำหรับพื้นที่การรั่วไหลของห้องต่างๆ	26
2.11	การทำความเย็นของแผ่นเพลเทียร์ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าจากภายนอก	29
2.12	การเกิดปรากฏการณ์เพลเทียร์	30
2.13	การเกิดปรากฏการณ์ซีเบค	31
2.14	วงจรการทำงานของตัวเหนี่ยวนำความร้อน	32
3.1	การแบ่งรูปร่างโดเมนของปัญหาออกเป็นเอลิเมนต์ต่างๆกัน	33
3.2	เอลิเมนต์สามเหลี่ยมแบบอย่างประกอบด้วยสามจุดต่อโดยมีตัวไม่รู้ค่าอยู่ ณ ตำแหน่งที่จุดต่อ	34
3.3	แสดงเครื่องมือที่ใช้ทดลอง	38
3.4	กระบวนการวิเคราะห์วิธีไฟไนท์อิลิเม้นด้วย COMSOL Multiphysics	39
3.5	แสดงขนาดและภาพรวมของห้อง	40
3.6	แสดงถึงการสร้างโมเดลในโปรแกรม COMSOL Multiphysics เพื่อใช้ใน การจำลอง	42
3.7	การกำหนดค่าคุณสมบัติต่างๆ ที่ใช้ในโปรแกรม COMSOL Multiphysics	43

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

รูปที่

3.8 การกำหนดค่าคุณสมบัติต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณในโปรแกรม COMSOL Multiphysics 43

3.9 แสดงลักษณะของเมชแบบ Fine Mesh 44

4.1 แสดงลักษณะStreamline Velocity ที่เวลา 200 วินาทีของรูปทรงสี่เหลี่ยมคางหมู 46

4.2 แสดงลักษณะของความดันจุดต่างๆที่เวลา 200 วินาทีของรูปทรงสี่เหลี่ยมคางหมู 46

4.3 แสดงลักษณะ Streamline Velocity ที่เวลา 200 วินาทีของรูปทรงสี่เหลี่ยม 47

4.4 แสดงลักษณะของความดันจุดต่างๆที่เวลา 200 วินาทีของรูปทรงสี่เหลี่ยม 48

4.5 แสดงลักษณะ Streamline Velocity ที่เวลา 200 วินาทีของรูปทรงสี่เหลี่ยม 48

4.6 แสดงชุดทดลองต้นแบบ 49

4.7 แสดงการทดสอบด้วยชุดสร้างควัน (Smoke Generator) 50

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

สัญลักษณ์และคำย่อ

สัญลักษณ์	ความหมาย
ACH	Air Change per Hour คือจำนวนรอบของการไหลเวียนอากาศ/ชั่วโมง
MERV	Minimum Efficiency Reporting Value ความสามารถในการกรองอนุภาค
HEPA	High Efficiency Particulate Air Filter
N95	แผ่นกรองที่ไม่ทนต่อน้ำมัน ไม่เหมาะสำหรับหน้างานที่มีน้ำมัน

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันนี้มีการค้นพบผู้ที่ป่วยเป็นโรคทางเดินหายใจที่มากขึ้นอันเกิดจากการเคลื่อนย้ายแรงงานจากประเทศเพื่อนบ้าน การท่องเที่ยวจากนักท่องเที่ยวต่างประเทศ การแสวงบุญ การค้าขายในตลาด ผับบาร์เป็นต้นในการเตรียมความพร้อมของทางกระทรวงสาธารณสุขต่อการรับมือกับโรคทางเดินหายใจในโรงพยาบาลของภาครัฐได้จัดให้มีการคัดกรองเบื้องต้นก่อนเข้ารับการรักษายิ่งปัจจุบันโรคโควิด-19 (COVID-19) ที่แพร่ระบาดทั่วโลกทำให้มีการคัดกรองที่เข้มข้นมากขึ้น ข้อมูลที่ได้รับทราบมาเมื่อปี 2549 เริ่มมีการก่อสร้างห้องแยกโรคทางเดินหายใจขึ้นมา โดยทางกองวิศวกรรมการแพทย์ กรมสนับสนุนบริการสุขภาพ กระทรวงสาธารณสุขมีการดัดแปลงห้องพิเศษทางด้านท้ายตึกขึ้นมาเป็นห้องแยกโรคทางเดินหายใจด้วยพื้นที่ใช้สอยขนาด 23.36 ตารางเมตร (3.2 x 7.3 เมตร) ชื่อแบบ วศ.1/2549 และ วศ.2/2549 (กรมสนับสนุนบริการสุขภาพ กองวิศวกรรมการแพทย์, 2553) ขึ้นมา จากข้อกำหนดเบื้องต้นในการคัดเลือกห้องจะต้องเป็นด้านท้ายตึกของอาคารขนาด กว้าง 27.5 เมตร ยาว 44.0 เมตร ซึ่งเป็นผลทำให้การเคลื่อนย้ายผู้ป่วยบางโรงพยาบาลจำเป็นต้องผ่านพื้นที่สะอาดผ่านผู้ป่วยที่มารอรับการรักษา และมีการใช้ลิฟต์ขนส่งร่วมกันทำให้มีโอกาสที่จะปนเปื้อนกับผู้ป่วยรายอื่นหรือผู้ที่มาใช้บริการ โรงพยาบาลซึ่งอาจจะแก้ปัญหาโดยใช้แคปซูลหรือชุดสวมใส่มาช่วยในการเคลื่อนย้ายผู้ป่วยโรคติดต่อโดยทางกองวิศวกรรมการแพทย์ กรมสนับสนุนบริการสุขภาพ กระทรวงสาธารณสุข ได้พัฒนานวัตกรรม“รถเข็นต้นแบบคุมเชื้อโรคแพร่กระจาย” (กรมสนับสนุนบริการสุขภาพ กองวิศวกรรมการแพทย์, 2560) ซึ่งจะเป็นแบบครึ่งคันคลุมครึ่งตัวมาใช้งานรวมถึงการใช้หน้ากากในการครอบศีรษะผู้ป่วยจากลักษณะรถเข็นต้นแบบคุมเชื้อโรคแพร่กระจายมีข้อสังเกตว่าความดันในห้องจะไม่คงที่เนื่องจากความกว้างของช่องดูดแปรผันตามขนาดของผู้ป่วยและอีกประการอากาศที่ไหลผ่านตัวผู้ป่วยไม่ผ่านแผ่นกรองอากาศซึ่งมีความเสี่ยงที่จะได้รับอากาศที่มีฝุ่นละออง ทางผู้วิจัยจึงได้สร้างตัวต้นแบบแบบครอบเต็มตัวกำหนดขนาดช่องอากาศที่เข้าคงที่และปรับความดันในห้องให้ได้ตามค่าพารามิเตอร์ตามที่กำหนดรวมถึงอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่คงที่ตลอดเวลา

ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method; FEM) หรือการวิเคราะห์ด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Analysis; FEA) หมายถึงการนำเอาหลักการทางคณิตศาสตร์มาประยุกต์ใช้เพื่อแก้ปัญหาเชิงวิศวกรรม เชิงพฤติกรรมของวัสดุ เชิงโครงสร้าง (Structural) ความร้อน (Heat Transfer)หรือของไหล (Fluid Flow) ภายใต้สภาวะแวดล้อมที่กำหนดขึ้นมา โดยใช้วิธีการแก้ปัญหาระบบสมการเชิงอนุพันธ์ย่อย(Partial Differential Equation) หรือระเบียบวิธีเชิงตัวเลข (Numerical Methods) เพื่อหาผลลัพธ์โดยประมาณ (Approximate Solution) ของปัญหาที่กำหนดไว้ผ่านอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ (ณัฐ ดวงรัตนประทีป, พิมพ์เดือน รังสิยากูล, ชาย รังสิยากูล, และกุลภพ สุทธิอาจ, 2561) ซึ่งถูกนำมาประยุกต์ เพื่อช่วยแก้ปัญหาทางวิศวกรรมเช่น ใช้ในการคำนวณหาความแข็งแรงของวัสดุหรือชิ้นส่วนเครื่องจักรตลอดจนถึงการศึกษาพฤติกรรมการไหลของของไหลต่างๆ การถ่ายเทความร้อนในชิ้นส่วนเครื่องกล รูปแบบการกระจายของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า, คลื่นเสียง เป็นต้นโดยเป้าหมายหลักก็คือช่วยจำลองหรือช่วยวิเคราะห์ในการออกแบบสิ่งต่างๆให้เหมาะสมก่อนที่จะสร้างชิ้นงานจริงขึ้นมาเพื่อจะช่วยลดเวลาและประหยัดงบประมาณ มีการใช้ไฟไนต์เอลิเมนต์กับงานทันตกรรม (ณัฐ ดวงรัตนประทีป และคณะ, 2561)

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นในการขนย้ายผู้ป่วยโรคทางเดินหายใจไปยังจุดที่ทำการรักษาหรือไปยังห้องแยกโรคเพื่อเฝ้าดูอาการในการเดินทางสั้นๆไม่เกิน 20 นาที เสมือนเป็นการย่อห้องแยกโรคขนาดใหญ่ลงมาเป็นห้องโดยสารแบบเคลื่อนที่ได้โดยความเร็วเฉลี่ยในการเดินของมนุษย์ประมาณ 1.39 เมตร/วินาที หรือ 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมงเหมาะกับผู้ป่วยที่ไม่สามารถเดินเองได้หรือร่างกายอ่อนแอเพื่อป้องกันไม่ให้เชื้อโรคทางเดินหายใจไปติดต่อกับผู้อื่นโดยใช้หลักการในการทำความดันลบในห้องโดยสารของรถเคลื่อนย้ายและรถเข็นเป็นแบบครอบเต็มคันและมีการทดลองปรับอุณหภูมิในห้อง โดยมีการจำลองโดยใช้วิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์ซึ่งพิจารณาเงื่อนไขการไหลของอากาศ และความดันใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Comsol Multiphysics มาช่วยจำลองในการออกแบบเพื่อดูการไหลเวียนอากาศที่เหมาะสม รวมถึงความดันในห้องและอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดและมีการสร้างชิ้นงานจริงเพื่อทดสอบเปรียบเทียบกัน

1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย

1.2.1 เพื่อออกแบบตู้ขนย้ายผู้ป่วยโรคทางเดินหายใจโดยใช้หลักการทางไฟไนต์เอลิเมนต์มีการจำลองทางคอมพิวเตอร์ก่อนการสร้างตู้ต้นแบบ

1.2.2 เพื่อสร้างตู้ขนย้ายผู้ป่วยต้นแบบที่สอดคล้องกับมาตรฐานที่กำหนด

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

1.3.1 ตู้ขนย้ายผู้ป่วยโรคทางเดินหายใจต้นแบบที่สามารถใช้งานได้จริงโดยมีค่าพารามิเตอร์(Parameter) ต่างๆไม่เกินค่ามาตรฐานที่กำหนด

1.4 กรอบแนวคิดการวิจัย

รูปที่ 1.1 กรอบแนวคิดการวิจัย

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

1.5 ขอบเขตการวิจัย

ขอบเขตของงานวิจัยนี้มุ่งเน้นในการออกแบบและสร้างตู้ขนย้ายผู้ป่วยโรคทางเดินหายใจไปยังจุดที่ทำการรักษาหรือไปยังที่ห้องแยกโรคเพื่อเฝ้าดูอาการในการเดินทางสั้นๆไม่เกิน 20 นาที มีการจำลองโดยใช้วิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้คือโปรแกรม COMSOL

Multiphysics มาช่วยจำลองในการออกแบบเพื่อวิเคราะห์การไหลเวียนของอากาศและความดันที่เกิดขึ้น พารามิเตอร์ที่ควบคุมที่สำคัญคือความดันในห้องและอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 ได้แบบ (Design) ตู้ขนย้ายผู้ป่วยโดยออกแบบด้วยวิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์

1.6.2 ได้ตู้ขนย้ายผู้ป่วยต้นแบบที่ได้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆไม่เกินตามค่ามาตรฐานกำหนด

1.6.3 จากแบบตู้ที่ได้สามารถใช้เป็นแบบมาตรฐานในการสร้างนวัตกรรมตู้ขนย้ายผู้ป่วยโรคติดเชื้อทางเดินหายใจของกองวิศวกรรมการแพทย์ กรมสนับสนุนบริการสุขภาพ กระทรวงสาธารณสุข

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง

2.1 การป้องกันและควบคุมการแพร่กระจายเชื้อในโรงพยาบาล (Isolation Precautions)

การป้องกันการแพร่กระจายเชื้อ (Isolation Precautions) หมายถึงวิธีการปฏิบัติเพื่อป้องกันไม่ให้เชื้อจุลชีพจากผู้ป่วยที่มีการติดเชื้อหรือมีเชื้ออยู่แล้วแต่ไม่แสดงอาการ (Carrier หรือ Colonized) แพร่ไปสู่ผู้ป่วยรายอื่นหรือบุคคลอื่น การป้องกันการแพร่กระจายเชื้อสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การแยกผู้ป่วย การทำความสะอาดมือ การทำลายเชื้อบนวัสดุอุปกรณ์ทางการแพทย์ด้วยวิธีการที่เหมาะสมเป็นต้น ในกรณีที่ผู้ป่วยสามารถแพร่กระจายเชื้อสู่ผู้อื่นมีความจำเป็นที่จะต้องแยกผู้ป่วยด้วยวิธีการที่เหมาะสมเนื่องจากการแยกผู้ป่วย อาจจะไม่สะดวกในการให้การรักษาพยาบาลทำให้เสียเวลาและมีค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นในบางครั้งก็มีโอกาสเกิดผลกระทบทางด้านจิตใจกับผู้ป่วยโดยเฉพาะผู้ป่วยที่เป็นเด็ก การเลือกใช้วิธีแยกที่เหมาะสมจะช่วยแก้ปัญหาและสามารถป้องกันการแพร่กระจายเชื้อในสถานพยาบาลได้อย่างมีประสิทธิภาพ เชื้อโรคสามารถแพร่กระจายจากผู้ป่วยที่เป็นโรคหรือผู้ที่เป็นพาหะของโรคไปสู่ผู้อื่นได้ด้วยวิธีการต่างๆ เชื้อโรคบางชนิดสามารถแพร่กระจายได้มากกว่า 1 วิธี บุคลากรที่ให้การดูแลต้องมีความรู้วิธีการแพร่กระจายเชื้อ (Isolation Precautions) เพื่อป้องกันตนเองไม่ให้ติดเชื้อในขณะปฏิบัติหน้าที่และผู้ป่วยไม่ให้ได้รับเชื้อเพิ่ม

2.1.1 วิธีการแพร่กระจายเชื้อมี 3 วิธีการดังนี้

2.1.1.1 การแพร่กระจายเชื้อโดยการสัมผัส (Contact Transmission) แบ่งออกเป็น 2 วิธี

1) การสัมผัสโดยตรง (Direct Contact Transmission)
2) การสัมผัสโดยอ้อม (Indirect Contact Transmission)

2.1.1.2 การแพร่กระจายเชื้อโดยละอองฝอยน้ำมูกน้ำลาย (Droplet Transmission)

2.1.1.3 การแพร่กระจายเชื้อทางอากาศ (Airborne Transmission)

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

2.1.2 การแบ่งการป้องกันการแพร่กระจายเชื้อโรค

สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ Standard Precautions และ Transmission-based Precautions (โรงพยาบาลทองแสนขัน สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดอุตรดิตถ์, 2563)

2.1.2.1 Standard Precautions กำหนดให้ผู้ป่วยทุกรายจะมีเชื้อโรคที่สามารถติดต่อได้ทางเลือดและสารคัดหลั่งจากร่างกายทุกชนิด (Body Fluid, Secretion, Excretion ยกเว้นเหงื่อ) ผิวหนังที่มีแผลและเยื่อบุ (Mucous Membrane) เป็นการนำแนวทางการป้องกันการติดเชื้อและการกระจายเชื้อโดยวิธี Universal Blood and Body Fluids Precautions และ Body Substance Isolations มารวมกัน

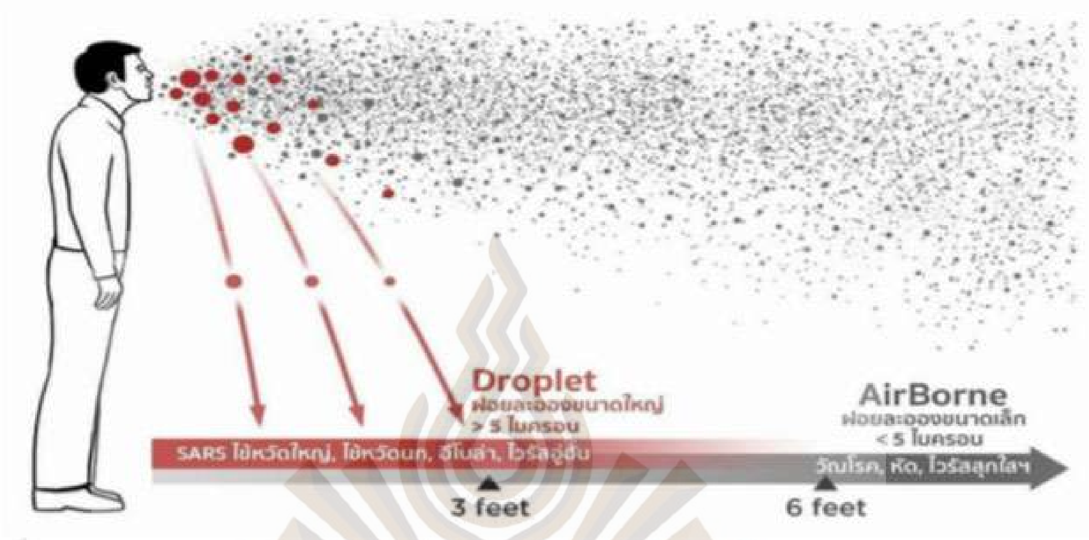
2.1.2.2 Transmission-based Precautions เฉพาะผู้ป่วยที่ทราบหรือที่วินิจฉัยแล้วว่าติดเชื้อ โดยป้องกันตามวิธีการติดต่อเพิ่มเติมจากข้อ 2.1.2.1 คือการดูแลผู้ป่วยด้วย Standard Precautions มีวิธีการป้องกันการแพร่กระจายเชื้อดังนี้

1) ทางการสัมผัส(Contact Precautions:CP) เป็นวิธีการป้องกันการแพร่กระจายเชื้อโรคที่ติดต่อได้โดยการสัมผัสทั้งทางตรงและทางอ้อมเน้นเรื่องการใช้อุปกรณ์ป้องกันร่างกายส่วนบุคคลให้เหมาะสมกับกิจกรรมที่ทำ เช่น ถุงมือ เสื้อคลุม และต้องถอดเปลี่ยนทันทีเมื่อเสร็จกิจกรรม และหลีกเลี่ยงการสัมผัสผ้าเปื้อน ขยะติดเชื้อของผู้ป่วย แยกอุปกรณ์ของใช้จากผู้ป่วยรายอื่น หากมีความจำเป็นที่จะต้องใช้ร่วมกันต้องทำความสะอาดทำลายเชื้อก่อนนำไปใช้กับผู้ป่วยรายต่อไป ล้างมือทุกครั้งหลังถอดถุงมือและสัมผัสผู้ป่วยหรือเชื้อโรค จัดสถานที่ให้ผู้ป่วยติดเชื้อแยกจากผู้ป่วยทั่วไปหรือผู้ป่วยที่มีภูมิต้านทานต่ำโรคที่แพร่กระจายเชื้อทางการสัมผัสเช่น หิด, เริม, เชื้อดื้อยา เป็นต้น

2) ทางฝอยละออง (Droplet Precautions:DP) เน้นเรื่องระยะความห่างของผู้ป่วยอย่างน้อย 3 ฟุตหรือ 1 เมตร เพื่อป้องกันการรับเชื้อโรคจากฝอยละอองน้ำมูกน้ำลาย ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่า 5 ไมครอนที่เกิดจากการไอ จาม ผู้เข้าเยี่ยมต้องใช้ผ้าปิดปาก- จมูกชนิดธรรมดา ผู้ป่วยต้องสวมผ้าปิดปาก-จมูกชนิดธรรมดา (Surgical Mask) ทุกครั้งเมื่อต้องอยู่ร่วมกับบุคคลอื่น โรคที่แพร่กระจายเชื้อทางฝอยละออง เช่นไข้สมองอักเสบ ปอดบวม ไข้หวัดใหญ่ ไข้หวัดนก ไอกรน คางทูม เป็นต้น

3) ทางอากาศ (Airborne Precautions:AP) เน้นเรื่องการแยกผู้ป่วยออกจากคนอื่น เนื่องจากผู้ป่วยสามารถแพร่กระจายได้ทางลมหายใจ (อนุภาคเล็กกว่า 5 ไมครอน) โดยการจัดผู้ป่วยแยกตรวจจากผู้ป่วยทั่วไป จัดเข้าห้องแยก (กรณี Admit ในโรงพยาบาล)มีการจัดการเรื่องการไหลเวียนอากาศ โดยจัดตำแหน่งการนั่ง/เตียงให้ผู้ป่วยอยู่ทิศใต้ลม จำกัดผู้เข้าเยี่ยมหรือบุคลากรที่มีความไวรับการติดเชื้อ ต้องใช้ผ้าปิดปาก-จมูกที่มีประสิทธิภาพ การดักจับเชื้อโรคสูง เช่น **N95** ผู้ป่วย

สวมผ้าปิดปาก-จมูกชนิดธรรมดา (Surgical Mask) ทุกครั้งเมื่ออยู่กับบุคคลอื่นโรคที่แพร่กระจายเชื้อทางอากาศ เช่น วัณโรค หัด สุกใส เป็นต้น



รูปที่ 2.1 การติดต่อของเชื้อไวรัสทางเดินหายใจ
ที่มา: สมาคมอาชีวอนามัยและความปลอดภัยในการทำงาน, 2563

2.1.3 การป้องกันการแพร่กระจายเชื้อทางอากาศในสถานพยาบาล

มีหลักการที่สำคัญอยู่ 3 ประการคือ การบริหารจัดการภายในสถานพยาบาล, การควบคุมสิ่งแวดล้อม และการใช้อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล

2.1.3.1 การบริหารจัดการภายในสถานพยาบาล (Administrative Controls)

1) สถานพยาบาลต้องให้ความสำคัญและมีนโยบาย แนวทางการปฏิบัติเพื่อการป้องกันและควบคุมโรคที่แพร่กระจายทางอากาศ

2) จัดให้มีผู้รับผิดชอบ มีคณะกรรมการควบคุมโรคติดเชื้อในสถานพยาบาลวางแนวทางปฏิบัติ ให้ความรู้แก่บุคลากรและผู้ป่วยรวมถึงผู้เกี่ยวข้องตลอดจนควบคุมประเมินแนวทางปฏิบัติ องค์ประกอบของคณะกรรมการนี้ควรจะมีผู้ที่เกี่ยวข้องหลายคนเช่นแพทย์ พยาบาล นักจุลชีววิทยา นักระบาดวิทยา วิศวกรและสถาปนิก เป็นต้น

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

3) มีการประเมินความเสี่ยงต่อการแพร่เชื้อหรือติดเชื้อทางอากาศของพื้นที่ต่างๆ ในสถานพยาบาลรวมถึงการจำแนกบุคลากรตามความเสี่ยงเพื่อวางแนวทางการปฏิบัติตามความเหมาะสมตามตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงการจำแนกพื้นที่ต่างๆในสถานพยาบาลตามความเสี่ยงของการแพร่กระจายเชื้อทางอากาศ

Low risk	Medium risk	High risk	Highest risk
▪ Office areas	▪ Cardiology ▪ Echocardiography ▪ Endoscopy ▪ Nuclear Medicine ▪ Physical Therapy ▪ Radiology/MRI ▪ Respiratory Therapy	▪ Critical-care Unit ▪ Emergency Room ▪ Labor and Delivery ▪ Laboratories(specimen) ▪ Newborn Nursery ▪ Outpatient Surgery ▪ Pediatrics ▪ Pharmacy ▪ Post-anesthesia-care Unit ▪ Surgical Units	▪ Any Area Caring for Immunocompromised Patients ▪ Burn Unit ▪ Cardiac Catheterization Lab ▪ Central Sterile Supply ▪ Intensive-care Units ▪ Medical Unit ▪ Airborne Infection Isolation Rooms ▪ Oncology ▪ Operating Rooms

ที่มา: จริยา แสงสัจจา, และทรงยศ ภารดี, 2550

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

4) มีแนวทางในการคัดกรอง วินิจฉัยผู้ป่วยที่แพร่กระจายเชื้อทางอากาศได้อย่างรวดเร็วเพื่อควบคุมโรคตลอดจนมีแนวทางปฏิบัติที่ชัดเจนเกี่ยวกับการดูแลรักษา การแยกผู้ป่วย

5) ให้ความสำคัญและปฏิบัติตามหลักการของ Respiratory Hygiene and Cough Etiquette ซึ่งเน้นการแยกผู้ป่วยที่ต้องสงสัยออกจากบุคคลอื่นตั้งแต่แรกที่เข้ามาในโรงพยาบาล การควบคุมที่แหล่งแพร่โรคคือผู้ป่วยโดยการใช้หน้ากากอนามัย การล้างมือการใช้ Droplet Precautions กับผู้ป่วยที่มีอาการทางระบบทางเดินหายใจทุกคนเมื่อต้องทำกิจกรรมที่ก่อให้เกิดฝอยละออง (ตารางที่ 2.2) รวมถึงมาตรการที่เกี่ยวกับขยะติดเชื้อ

6) ให้ความรู้ฝึกอบรมบุคลากรทางการแพทย์เกี่ยวกับโรคที่แพร่กระจายทางอากาศ

7) ให้คำแนะนำแก่ผู้ป่วยและญาติเพื่อป้องกันและควบคุมการแพร่กระจายโรค

ตารางที่ 2.2 กิจกรรมที่ก่อให้เกิดฝอยละออง (Aerosol Producing Procedures)

Aerosol-generating Procedures Produce Large & Small Particle Aerosols
1. Diagnostic Sputum Induction
2. Nasopharyngeal Aspiration/Airway Suction
3. Aerosolized Medication
4. ET Intubation
5. Chest PT
6. Bronchoscopy
7. Positive Pressure Ventilation
8. High-frequency Ventilation
9. CPR
10. Postmortem Excision of Lung Tissue
11. Inoculating Culture Media and Susceptibility Test for Airborne Transmitted Microorganisms

ที่มา: จริยา แสงสัจจา, และทรงยศ ภารดี, 2550

2.1.3.2 การควบคุมสิ่งแวดล้อม (Environmental Controls)

เป็นขั้นตอนที่ 2 ของการป้องกันและการควบคุมโรคที่มีการแพร่กระจายทางอากาศ โดยที่ต้องการจะลดความเข้มข้นของเชื้อที่อยู่ในรูปของ Droplet Nuclei ในอากาศโดยใช้หลักการทางวิศวกรรมและสถาปัตยกรรม ซึ่งการควบคุมสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ระดับคือ

1) การควบคุมที่จุด แหล่งแพร่เชื้อ (Primary Environmental Controls) ซึ่งอาจจะเป็นผู้ป่วยหรือ Laboratory Specimens โดยใช้การระบายอากาศเฉพาะที่ (Local Exhaust Ventilation) จาก Hoods ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการหรือห้องเก็บเสมหะของผู้ป่วยผ่านการเจือจางและขจัดเชื้อโรคโดยระบบการระบายอากาศปกติของอาคาร (General Ventilation)

2) การควบคุมไม่ให้อากาศโดยรอบบริเวณแหล่งโรคแพร่กระจาย(Secondary Environmental Controls) เช่นบริเวณโดยรอบห้องแยกผู้ป่วยโดยการควบคุมทิศทางการไหลของอากาศการใช้แผงกรองอากาศหรือการใช้ UVGI (Ultraviolet Germicidal Irradiation)

2.1.3.3 การใช้อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล (Respiratory-Protection Controls)

หลังจากที่ปฏิบัติตามทั้ง 2 วิธีข้างต้นแล้วสิ่งแวดล้อมในสถานพยาบาลก็จะปนเปื้อนด้วยเชื้อโรคที่แพร่กระจายทางอากาศน้อยลง อย่างไรก็ตามบุคคลที่อยู่ในห้องเดียวกันหรือ

ใกล้ชิดกับผู้ป่วยก็ยังมีโอกาสได้รับเชื้อโรคจากผู้ป่วยได้ จึงจำเป็นต้องใช้เครื่องป้องกันร่างกายส่วนบุคคลคือ Respirator หรือ Mask ระดับ N95 ขึ้นไป ตามตารางที่ 2.3 โดยสถานพยาบาลมีหน้าที่จัดให้มีหน้ากากดังกล่าวในจำนวนเพียงพอ มีข้อบ่งชี้ในการใช้ มีการฝึกอบรมการใช้หน้ากากและเครื่องป้องกันอื่นที่จำเป็นเช่น แว่นป้องกันตน นอกจากนี้ยังต้องให้ความรู้และฝึกปฏิบัติเกี่ยวกับการใช้หน้ากากอนามัย การล้างมือการป้องกันการแพร่กระจายเชื้อแก่ผู้ป่วยรวมทั้งญาติและผู้ดูแลด้วย

ตารางที่ 2.3 แสดงชนิดและประสิทธิภาพของหน้ากากที่ใช้เพื่อป้องกันเชื้อที่แพร่กระจายทางอากาศ

Resistance to Efficiency Fitter Degradation	Filter Efficiencies*		
	95 (95%)	99 (99%)	100 (99.7%)
N (Not resistant to Oil)	N95	N99	N100
R (Resistant to Oil)	R95	R 99	R100
P (Oil Proof)	P95	P99	P100

* The percentages in parenthesis indicate minimum allowable laboratory filter efficiency value when challenged with 0.3 μ particles

ที่มา: จริยา แสงสัจจา และทรงยศ ภารดี, 2550

2.1.4 การปรับอากาศและระบายในสถานพยาบาล

มีการควบคุมที่สำคัญดังนี้ (วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, 2559)

2.1.4.1 ความดันของอากาศภายในห้องจะต้องมีความดันเป็นลบเมื่อเปรียบเทียบกับบริเวณโดยรอบไม่น้อยกว่า - 2.5 ปาสคาล (-2.5 Pa)

2.1.4.2 ควบคุมอัตราการถ่ายเทอากาศผ่านห้องไม่น้อยกว่า 12 ACH

2.1.4.3 ควบคุมอุณหภูมิภายในห้องระหว่าง 21 - 24 o C

2.1.4.4 ความชื้นสัมพัทธ์ 30-60 %RH

2.1.4.5 อัตราการเติมอากาศจากภายนอกไม่น้อยกว่า 2 ACH

2.1.4.6 แผงกรองอากาศ

1) ด้านอากาศด้านจ่ายเข้าสู่ห้องใช้ MERV 14 (Medium Filter)

2) ด้านอากาศระบายทิ้งออกจากห้องใช้ MERV 17 (99.97% DOP Test*)

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

*หากอากาศระบายทิ้งออกจากห้อง อยู่ห่างจากพื้นที่สาธารณะที่มีผู้ใช้งาน หรือช่องเปิดสำหรับรับอากาศเข้าสู่ภายในอาคารมากกว่า 25 ฟุต สามารถระบายทิ้งสู่บรรยากาศได้โดยตรงโดยไม่ต้องผ่านแผงกรองอากาศประสิทธิภาพสูง (HEPA Filter)

2.1.5 หลักการออกแบบ

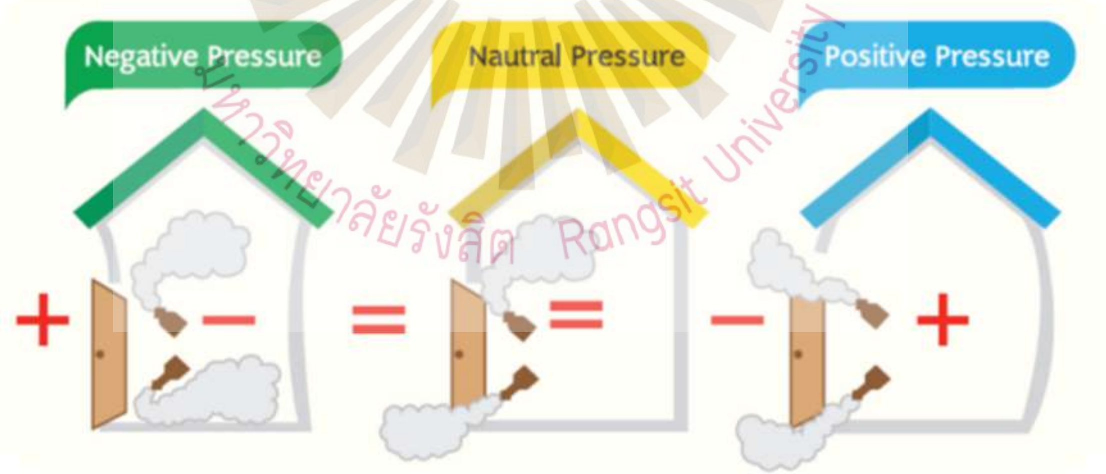
อาจจะมีหลักการสำคัญอยู่ 5 หลักการดังนี้

2.1.5.1 หลักการเติมอากาศบริสุทธิ์จากภายนอกเข้ามา

เป็นการเจือจางสิ่งที่ปนเปื้อนในอากาศโดยใช้อากาศบริสุทธิ์จากภายนอกเข้ามาเติมในพื้นที่แทนอากาศเดิมและอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศให้เหมาะสมกับพื้นที่

2.1.5.2 หลักการควบคุมความดันระหว่างพื้นที่

เป็นการกำหนดความแตกต่างของความดันอากาศของแต่ละพื้นที่ ที่ต้องการควบคุมคุณภาพอากาศให้เหมาะสมโดยในที่นี้ใช้วิธีการให้ห้องเป็นลบ(Negative Pressure) ตามมาตรฐานให้ต่างกัน $\geq$-2.5 ปาสคาล

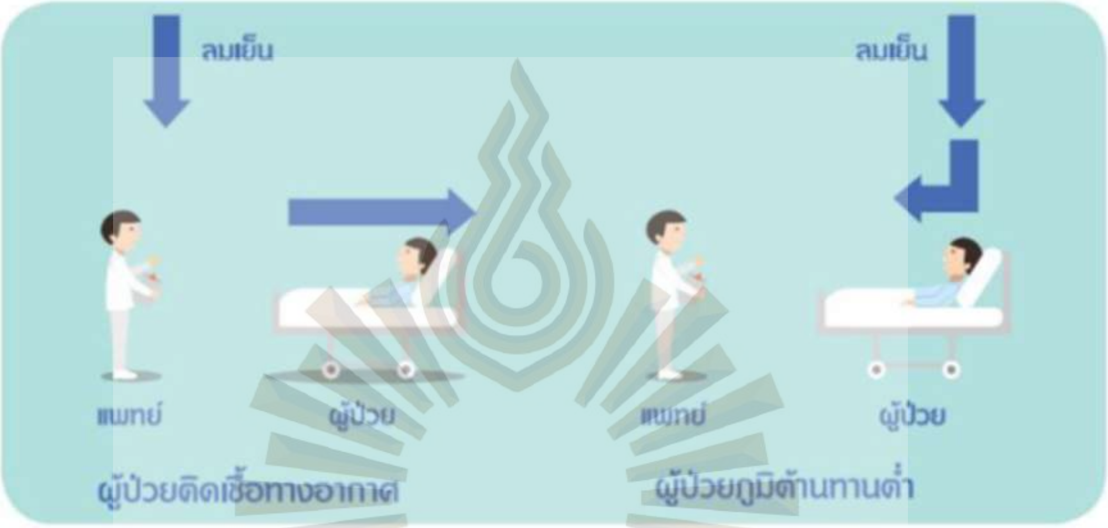


รูปที่ 2.2 หลักการควบคุมความดันระหว่างพื้นที่
ที่มา: จริยา แสงสัจจา, ภัทร วัฒนธรรม และวราภรณ์ เทียนทอง, 2560

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

2.1.5.3 หลักการควบคุมทิศทางการไหลของอากาศ

ในกรณีที่ผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศต้องกำหนดตำแหน่งจ่ายอากาศจากพื้นที่โดยรอบห้องเพื่อให้อากาศไหลผ่านบุคลากรทางการแพทย์ก่อนระบายอากาศออกจากห้องที่ผนังด้านหัวเตียงผู้ป่วยซึ่งจะช่วยลดความเสี่ยงต่อการติดเชื้อทางอากาศ หากภายในพื้นที่ควบคุมมีผู้ป่วยหลายเตียงต้องคำนึงถึงตำแหน่งและพื้นที่ที่ต้องใช้ในการให้บริการทางการแพทย์ให้เหมาะสม



รูปที่ 2.3 หลักการควบคุมทิศทางการไหลของอากาศ

ที่มา: จริยา แสงสัจจา และคณะ, 2560

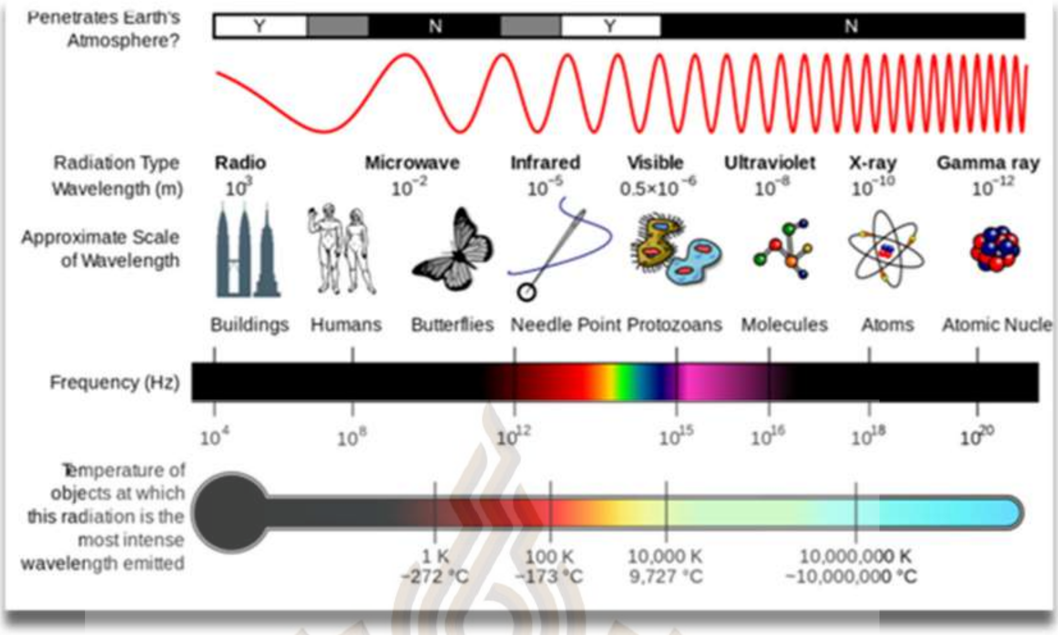
2.1.5.4 แผงกรองอากาศ

ให้เลือกใช้แผงกรองอากาศประสิทธิภาพสูง (High - Efficiency Particulate Air Filter; HEPA Filter) หรือแผงกรองอากาศแบบ Ultralow – Penetration Air Filter (ULPA) เพื่อกรองอากาศที่มีสิ่งปนเปื้อนและเชื้อโรคเป็นอุปกรณ์ที่มีความสามารถสูงในการกำจัดสิ่งปนเปื้อนในอากาศได้มีประสิทธิภาพสูงที่สุดในปัจจุบัน

2.1.5.5 การใช้หลอดอัลตราไวโอเลต UV (Ultraviolet)

เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่สั้น ช่วงต่อจากแสงสีม่วง (ระหว่างVisible Spectrum กับ X-ray) เป็นรังสีที่ตามนุษย์มองไม่เห็น และไม่สามารถรับรู้ได้เช่นคลื่นรังสีอินฟราเรด (IR) ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็นสามประเภท ดังนี้

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University



รูปที่ 2.4 การใช้หลอดอัลตราไวโอเลต UV (Ultraviolet)

ที่มา: มนัส รัตนสุวรรณ์, 2562

1) UV-A มีช่วงความยาวคลื่น 315 - 380 nm.

เป็นรังสี UV ที่ไม่ค่อยมีอันตรายมากนัก สามารถนำ มาใช้เป็นประโยชน์ได้หลายด้าน โดยเฉพาะทางด้านเคมี, ฟิสิกส์

2) UV-B มีช่วงความยาวคลื่น 280 - 315 nm.

มีผลต่อร่างกายและสิ่งของได้ ทำให้เกิดการไหม้ของผิวหนัง (Sunburn or Erythematic) และการอักเสบของตาดำ ได้ ใช้ประโยชน์ในการรักษาโรคผิวหนังบางชนิดได้ รวมถึงการประยุกต์ ในงานอุตสาหกรรมเคมี

3) UV-C มีช่วงความยาวคลื่น 200 - 280 nm.

มีพลังงานสูงสุด มีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อมากที่สุด รังสี UVC ถูกนำไปใช้ประโยชน์เกี่ยวกับการฆ่าเชื้อโรคในอากาศ พื้นผิวและน้ำ เนื่องจากแสงยูวีประเภทนี้มีอันตรายต่อผิวหนังและตามากที่สุดจึงไม่ควรที่จะได้รับแสงโดยตรง

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

2.2 ทฤษฎีกลศาสตร์ของไหลและการวิเคราะห์การไหลของอากาศ

กลศาสตร์ของไหล (Fluid Mechanics) เป็นการศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมของของไหลที่สภาวะต่างๆ แรงที่ของไหลกระทำต่อสิ่งแวดล้อมรวมถึงอิทธิผลของสิ่งต่างๆที่มีผลต่อของไหลทั้งที่อยู่นิ่งและเคลื่อนที่ซึ่งการศึกษาพฤติกรรมของของไหลที่อยู่นิ่งเรียกว่าสถิตย์ศาสตร์ของของไหล (Fluid Statics) และพฤติกรรมของของไหลที่กำลังเคลื่อนที่เรียกว่าพลศาสตร์ของของไหล (Fluid Dynamics) (ธัญดร ออกวะลา, 2553) การศึกษาวิชากลศาสตร์ของของไหลจำเป็นต้องมีความรู้ความเข้าใจหลักการและคุณสมบัติพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับของไหลไม่ว่าจะอยู่ในสถานะของเหลวหรือก๊าซ ซึ่งหลักการและคุณสมบัติพื้นฐานที่สำคัญต่อการวิเคราะห์ปัญหาด้านกลศาสตร์ของไหลสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยที่นำมาใช้ในการคำนวณหาลักษณะการไหลแบบการพาความร้อนชนิดที่เป็นการพาความร้อนแบบธรรมชาติคือระบบสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยนาเวียร์-สโตรกส์ (Navier-Stokes Equations) ซึ่งประกอบด้วยสมการอนุรักษ์มวล (Conservation of Mass) และสมการอนุรักษ์โมเมนตัม (Conservation of Momentums) รวมกับแรงลอยตัวที่จะต้องนำมาพิจารณาในกรณีการพาความร้อนแบบอิสระและใช้สมการอนุรักษ์พลังงาน (Conservation of Energy)

2.2.1 ระบบสมการย่อยนาเวียร์-สโตกส์ (Navier-Stokers Equation)

ในการศึกษารายละเอียดการใช้วิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์ในการแก้ปัญหาของการไหลในแบบต่าง ๆ กันจะต้องมีการทำความเข้าใจและศึกษาสมการพื้นฐานที่จำเป็นเกี่ยวกับการไหลเริ่มจากคำนิยามของของเหลว (Fluid) ที่มีความหมายโดยทั่วไปว่าเป็นสารต่อเนื่องที่อาจอยู่ในภาวะของของเหลวหรือแก๊สซึ่งจะเกิดการเปลี่ยนรูปได้ภายใต้ความเค้นที่มากระทำต่อการไหลของของไหลจะขึ้นอยู่หรือเปลี่ยนแปลงไปกับระยะทางและเวลาในการคำนวณภาวะลักษณะการไหลของของไหลอาจจะตั้งสมมติฐานต่าง ๆ กันขึ้นมาโดยไม่เกิดความแตกต่างไปจากความเป็นจริงมากนักและจะเป็นผลให้การทำการคำนวณนั้นง่าย เริ่มตั้งแต่การสมมติว่าการไหลนั้นเป็นการไหลแบบไม่หนืด (Inviscid Flow) หรือเป็นการไหลแบบหนืด (Viscous Flow) การไหลแบบไม่หนืดเป็นการไหลแบบไม่มีความเสียดทานเกิดขึ้นซึ่งในความเป็นจริงแล้วนั้นไม่มีจริง อย่างไรก็ตามก็อาจมีหลาย ๆ ปัญหาที่เราสามารถละเลยความเสียดทานไปได้โดยไม่มีผลผิดพลาดจากความเป็นจริงมากนักแต่ในทางตรงกันข้ามจะทำให้การคำนวณนั้นง่ายมากขึ้นมากการไหลแบบไม่หนืดยังจำแนกออกได้เป็นแบบไม่อัดตัว (Incompressible Flow) และแบบอัดตัว (Compressible Flow) การไหลแบบไม่อัดตัวปกติจะเกิดขึ้นกันกับของเหลวในขณะที่การไหลแบบอัดตัวโดยทั่วไปจะเกิดขึ้นกับแก๊ส (Gas) เนื่องจาก

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

การไหลแบบหนืดเป็นการไหลที่เกิดขึ้นในความเป็นจริงจึงมีความสำคัญมากกว่าในการศึกษาปรากฏการณ์ต่างๆที่เกิดขึ้นเราจะเรียกการไหลแบบหนืดว่าเป็นแบบนิวโทเนียน (Newtonian) ต่อเมื่อกฎเกณฑ์การเสียดทานของสโตกส์ (Stokes's Law) ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและอัตราการเปลี่ยนแปลงของความเครียดในของเหลวดังที่เราจะศึกษาโดยละเอียดต่อไปนั้นสามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้แต่หากความสัมพันธ์ดังกล่าวนั้นอยู่ในรูปแบบอื่นซึ่งเกิดขึ้นในความเป็นจริงในของเหลวบางชนิดเราจะเรียกการไหลของของเหลวเหล่านั้นว่าไม่เป็นแบบนิวโทเนียน (Non-Newtonian) การคำนวณหาลักษณะของการไหลแบบสองมิติโดยทั่วไปจำเป็นต้องแก้สมการเชิงอนุพันธ์ที่สอดคล้องกันกับ

2.2.1.1 กฎการอนุรักษ์มวล (Conservation of Mass)

2.2.1.2 กฎการอนุรักษ์โมเมนตัม (Conservation of Momentums)

2.2.1.3 กฎการอนุรักษ์พลังงาน (Conservation of Energy)

กลศาสตร์ของไหลสมการที่มีชื่อเสียงใช้ในการอธิบายการเคลื่อนที่ของของไหลไม่ว่าจะเป็นของเหลวหรือก๊าซคือสมการ Navier-Stokers (อนันตศักดิ์ วงศ์กำแหง, 2558) ซึ่งมีรูปดังสมการที่ 2-1

$$\rho\frac{\partial u}{\partial t}-\eta\nabla^2 u+\rho(u\bullet\nabla)u+\nabla p=F \tag{2-1}$$

โดยที่กำหนดสัญลักษณ์ของพารามิเตอร์ต่างๆดังนี้

u,v และ w คือความเร็วในทิศทาง x,y และ z ตามลำดับ

t คือเวลามีหน่วยเป็นวินาที (s)

ρ คือ ความหนาแน่นของของไหล (m^3/kg)

η คือค่าความหนืดของไหล (Pa.S)

P คือ ความดันในการไหล (kg / (m • s))

F คือ Volume forces (N/m^3)

2.2.2 The Laminar Flow Interface is Used to Solve for The Fluid Velocity and Pressure

การไหลแบบลามินาร์ใช้เพื่อแก้ปัญหาความเร็วและความดันของของไหล (Comsol Multiphysics, n.d.) มีรูปดังสมการที่ 2-2

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

$$\rho(\boldsymbol{u}.\nabla)\boldsymbol{u} = \nabla.[-p\boldsymbol{I} + \mu(\nabla\boldsymbol{u} + (\nabla\boldsymbol{u})^T)] \quad (2\text{-}2)$$

$$\nabla.\boldsymbol{u}=0$$

โดยที่กำหนดสัญลักษณ์ของพารามิเตอร์ต่างๆ ดังนี้

μ คือ ความหนืดไดนามิก (kg / (m • s))

$\boldsymbol{u}$ คือ ความเร็วของของไหล (m / s)

ρ คือ ความหนาแน่นของของเหลว (kg / m^3)

p คือ ความดัน (Pa)

2.3 ระเบียบวิธีไฟไนท์อิลิเม้น

ระเบียบวิธีไฟไนท์อิลิเม้น(Finite Element Method) หรือ FEM คือเทคนิคการวิเคราะห์เชิงตัวเลขสำหรับการหาคำตอบโดยประมาณของสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยพร้อม ๆ กับสมการปริพันธ์ผลลัพธ์ที่ได้จากระเบียบวิธีนี้มีพื้นฐานมาจากทั้งการกำจัดสมการเชิงอนุพันธ์อย่างสมบูรณ์สำหรับปัญหาที่อยู่ในสภาวะคงที่หรือการปรับแก้สมการเชิงอนุพันธ์ให้กลายเป็นระบบโดยประมาณของสมการเชิงอนุพันธ์สามัญซึ่งเป็นปริพันธ์ทางคณิตศาสตร์ด้วยการใช้เทคนิคมาตรฐานทางคณิตศาสตร์เช่น Euler Method, Runge–Kutta Methods ในการแก้สมการเชิงอนุพันธ์ย่อยนั้นปัญหาพื้นฐานคือการสร้างสมการที่สามารถประมาณค่าสมการที่กำลังสนใจศึกษาแต่มีความแน่นอนทางตัวเลขซึ่งหมายความว่าความคลาดเคลื่อนในข้อมูลนำเข้า (Input) และการคำนวณระหว่างกลางจะไม่ถูกรวมเข้าไปและและส่งผลให้ข้อมูลส่งออก (Output) ไร้ความหมายซึ่งวิธีการนั้นมีหลายวิธีซึ่งแต่ละวิธีก็มีข้อดีข้อเสียที่แตกต่างกันออกไประเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เป็นทางเลือกที่ดีในการแก้ปัญหาสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยในขอบเขตที่ซับซ้อน (Complex Domains) หรือเมื่อผลลัพธ์ไม่มีความราบเรียบ

2.3.1 ไฟไนท์อิลิเม้นและองค์ประกอบความรู้ที่จำเป็น

ศักยภาพของโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้คำนวณพลศาสตร์ของการไหลมักทำให้ผู้วิเคราะห์เข้าใจว่าสามารถใช้โปรแกรมเหล่านี้เพื่อหาผลลัพธ์ของการไหลสำหรับปัญหาใดๆได้โดยง่ายในความเป็นจริงนั้นเนื่องจากโปรแกรมเหล่านี้ตั้งอยู่บนความรู้ทางคณิตศาสตร์และขั้นตอน

การคำนวณที่ค่อนข้างลึกซึ้งผู้ที่สามารถใช้โปรแกรมเหล่านี้ได้ถูกต้องอย่างมีประสิทธิภาพจำเป็นต้องมีความรู้ที่เพียงพอ องค์ประกอบของความรู้ที่ต้องการ สามารถแบ่งออกเป็น 5 ข้อดังนี้

2.3.1.1 ระบบสมการเชิงอนุพันธ์ย่อย (Set of Partial Differential Equations) และความเข้าใจความหมายทางกายภาพ (Physical Meaning) ของสมการที่สนใจ

2.3.1.2 ระเบียบวิธีเชิงตัวเลข (Numerical Methods)

2.3.1.3 ระเบียบวิธีไฟล์ไนท์อิลิเม้น (Finite Element Method)

2.3.1.4 พื้นฐานในการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในส่วนของการวิเคราะห์

2.3.1.5 ประสบการณ์ที่ใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ที่มากพอ

2.3.2 ความรู้ในระบบสมการเชิงอนุพันธ์ย่อย

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ทางด้านการคำนวณพลศาสตร์ของการไหลล้วนตั้งอยู่บนการแก้ระบบสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยระบบใดระบบหนึ่งที่กำหนดให้ดังนั้นจึงจำเป็นต้องศึกษาว่าโปรแกรมคอมพิวเตอร์นั้นถูกสร้างขึ้นมาเพื่อแก้ปัญหาของการไหลที่ครอบคลุม (Governed) ด้วยระบบสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยประเภทใดนอกจากนั้นความเข้าใจทางกายภาพในแต่ละพจน์ของระบบสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยนั้นก็มีความสำคัญมากเช่นกันในการบ่งบอกศักยภาพ (Potentiality) และขอบเขตจำกัด (Limitation) ของโปรแกรมเองพจน์ต่างๆในระบบสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยนี้ยังบ่งบอกต่อไปการแก้ปัญหาด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์นี้ต้องการความลึกซึ้งของระเบียบวิธีการคำนวณมากน้อยเพียงใดและเป็นผลต่อเนื่องต่อเวลาที่ใช้ในการคำนวณปัญหานั้นๆอย่างไรดังนั้นความเข้าใจในระบบสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยจึงมีความสำคัญที่จำเป็นต้องทำความเข้าใจก่อนลงมือใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์นั้น

2.3.3 ความเข้าใจในระเบียบวิธีเชิงตัวเลข

ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขในปัจจุบันกลายมาเป็นวิชาบังคับในการเรียนวิศวกรรมศาสตร์หลายสาขานั้นเป็นความรู้พื้นฐานและองค์ประกอบหนึ่งที่จำเป็นสำหรับการคำนวณความรู้พื้นฐานในระเบียบวิธี เชิงตัวเลขนี้ประกอบด้วยความรู้ของฟังก์ชันของการประมาณภายใน (Interpolation Functions) การดิฟเฟอเรนชิเอตและการอินติเกรตเชิงตัวเลข (Numerical Differentiations and Integrations) ความรู้พื้นฐานในการแก้สมการเชิงอนุพันธ์สามัญ (Ordinary Differential Equations) รวมทั้งสมการเชิงอนุพันธ์ย่อย (Partial Differential Equations) และที่สำคัญที่สุดคือความรู้ใน

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

ระเบียบวิธีต่างๆที่ใช้แก้ระบบสมการพีชคณิต (System of Algebraic Equations) ซึ่งอาจจะอยู่ในรูปแบบเชิงเส้นที่ประกอบด้วย n สมการ ตามสมการ 2-3

$$\underset{(nx1)}{[A]}\underset{(nx1)}{\{X\}}=\underset{(nx1)}{\{X\}} \tag{2-3}$$

โดย {X}เป็นเวกเตอร์ (Vector or Column Matrix) ที่ประกอบด้วยตัวไม่ทราบค่า x_1 , x_2 , x_3 ,.......,x_n; {B} เป็นเวกเตอร์ที่ประกอบด้วยตัวรู้ค่าจำนวน n ค่าและในกรณี นี้ [A] เป็นเมตริกซ์ที่ประกอบด้วยสัมประสิทธิ์ ซึ่งเป็นตัวเลขจำนวน *nxn* ค่าในการแก้ปัญหาทางปฏิบัติ นั้นเวลาที่ใช้ไปในการแก้ระบบสมการนี้จะมากกว่าเวลาที่ใช้ไปสำหรับการคำนวณในส่วนอื่นๆ มากทีเดียวระบบสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยของการไหลโดยทั่ว ๆ ไปสามารถแสดงได้ตามสมการ 2-4 – 2-6

$$\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{\partial v}{\partial y}=0 \tag{2-4}$$

$$\rho\left(u\frac{\partial u}{\partial x}+v\frac{\partial u}{\partial y}\right)+\frac{\partial p}{\partial x}=\mu\left(u\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}+v\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}\right) \tag{2-5}$$

$$\rho\left(u\frac{\partial v}{\partial x}+v\frac{\partial v}{\partial y}\right)+\frac{\partial p}{\partial y}=\mu\left(u\frac{\partial^2 v}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 v}{\partial y^2}\right) \tag{2-6}$$

ประกอบด้วยพจน์ไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear Terms) ระบบสมการที่เกิดขึ้นอยู่ในรูปแบบไม่เชิงเส้น

$$\underset{(nx1)}{[A(X)]}\underset{(nx1)}{\{X\}}=\underset{(nx1)}{\{X\}} \tag{2-7}$$

ทำให้ต้องแก้ระบบสมการแบบไม่เป็นเชิงเส้นดังกล่าวหลายครั้งด้วยระบบการทำซ้ำ (Iteration Technique) เช่นระเบียบวิธีการทำซ้ำของนิวตัน-ราฟสัน (Newton-Raphson Iteration Method)

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

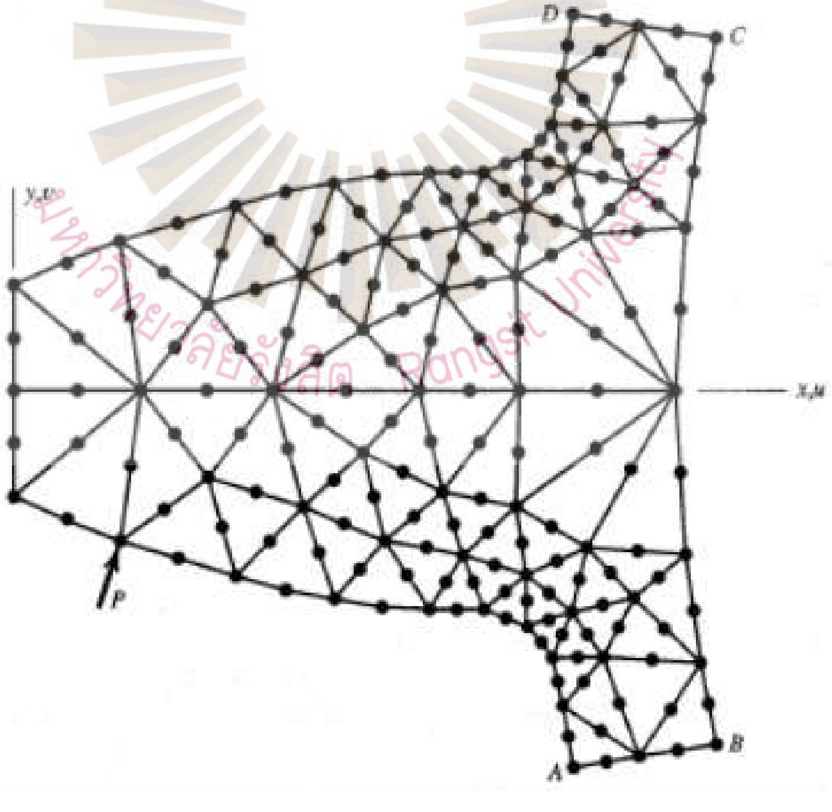
2.3.4 ความรู้ในระเบียบวิธีไฟล์ไนท์อิลิเม้น

ระเบียบวิธีไฟล์ไนท์อิลิเม้นเป็นวิธีเชิงตัวเลขที่ใช้แก้ปัญญาทางฟิสิกส์หรือทางวิศวกรรม และอื่นๆรูปแบบปัญหาคือการหาฟังก์ชันการกระจายตัวของตัวแปรในระบบสามมิติซึ่งปัญหาแต่ละอันจะสามารถอธิบายด้วย Differential Equation/Integral Equation ไฟล์ไนท์อิลิเม้นคือองค์ประประกอบย่อย ๆของโดเมนโครงสร้าง สำหรับวิธีการของ FEM โดเมนของโครงสร้างถูกแบ่งย่อยเป็นองค์ประกอบย่อยที่มีรูปร่างอย่างง่ายๆขนาดเล็กองค์ประกอบย่อยนี้จะเรียกว่า “Element”

2.3.4.1 โดเมนของโครงสร้าง:มีระดับความเสรีแบบอนันต์ (Infinite Number of DOF)

2.3.4.2 โดเมนของแบบจำลอง : มีระดับความเสรีจำกัด (Finite Number of DOF)

จึงเป็นที่มาของ “Finite Element Method” ในแต่ละ Element การกระจายตัวของตัวแปรที่สนใจนั้นจะมีค่าต่างกันตามตำแหน่งใด ๆ



มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

รูปที่ 2.5 แสดงตัวอย่างของรูปร่าง Mesh, Element และ Node
ที่มา: มนต์ศักดิ์ พิมสาร, ม.ป.ป.

ตัวแปรที่สนใจคือ u (x,y) (การขจัดตามแนวแกน x) และ v (x,y) (การขจัดตามแนวแกน y) ขั้นตอนพื้นฐานของระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์มี 3 ขั้นตอนดังนี้คือ ขั้นตอนของการเตรียมแบบจำลอง,ขั้นตอนการหาคำตอบและขั้นตอนการวิเคราะห์ผลลัพธ์

1) ขั้นตอนของการเตรียมแบบจำลอง (Preprocessing Phase)

ก) การสร้างรูปร่างของแบบจำลอง (Geometric Construction)

ข) การแบ่งโดเมนของแบบจำลองออกเป็นเอลิเมนต์ย่อย ๆ ต่อกันโดยแต่เอลิเมนต์จะประกอบไปด้วยโนด (Discretization)

ค) การกำหนด Shape Function ซึ่งแสดงถึงพฤติกรรมทางกายภาพของเอลิเมนต์หรือผลเฉลยของเอลิเมนต์ (ค่าประมาณ)

ง) สร้างสมการสำหรับเอลิเมนต์

จ) กำหนดเงื่อนไขเริ่มต้น สภาวะโหลดและสภาวะขอบให้กับปัญหา

ฉ) กำหนดคุณสมบัติของวัสดุ (Material Properties)

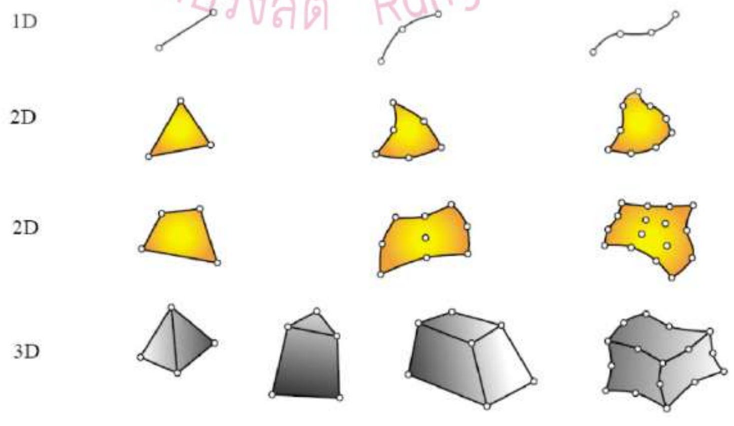
2) ขั้นตอนการหาคำตอบ (Solution Phase)

การแก้หาคำตอบของสมการซึ่งอยู่ในรูปสมการเชิงเส้นหรือสมการไม่เชิงเส้น ซึ่งคำตอบคือค่าการกระจัดที่โนดต่างๆหรือค่าอุณหภูมิที่โนดต่าง ๆ (ในกรณีเป็นปัญหาการถ่ายเทความร้อน)

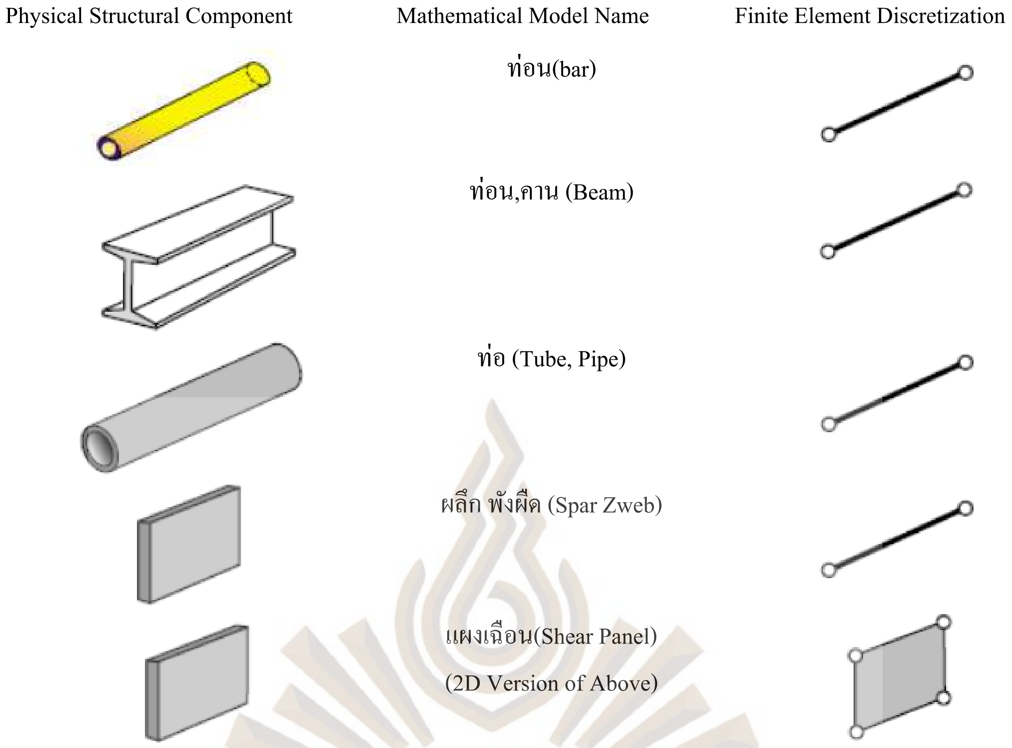
3) ขั้นตอนการวิเคราะห์ผลลัพธ์ (Post Processing Phase)

การวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่สนใจเพิ่มเติมเช่น มีความสนใจค่าความเค้นหลัก ฟลักซ์ความร้อนเป็นต้น

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

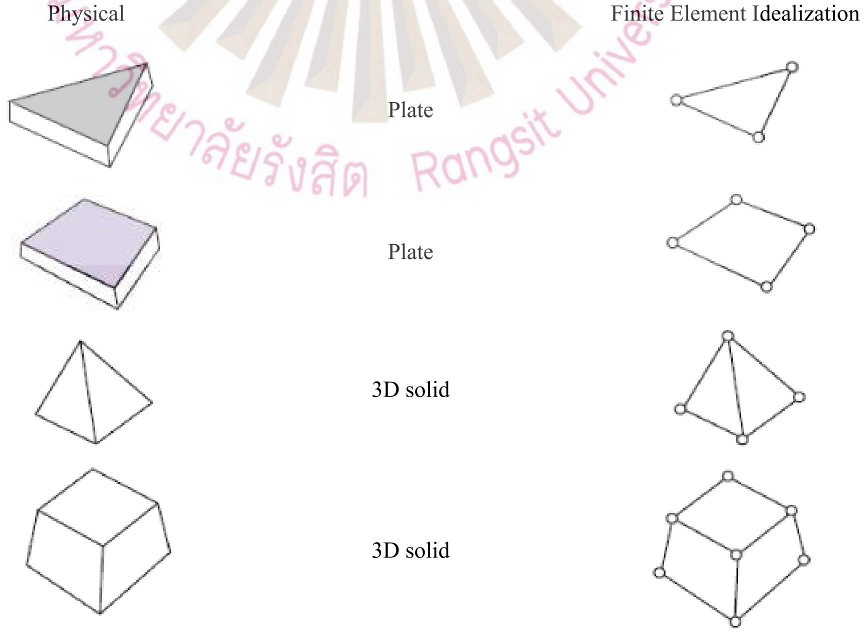


รูปที่ 2.6 ชนิดของเอลิเมนต์พื้นฐาน
ที่มา: มนต์ศักดิ์ พิมสาร, ม.ป.ป.



รูปที่ 2.7 Primitive Structure Elements

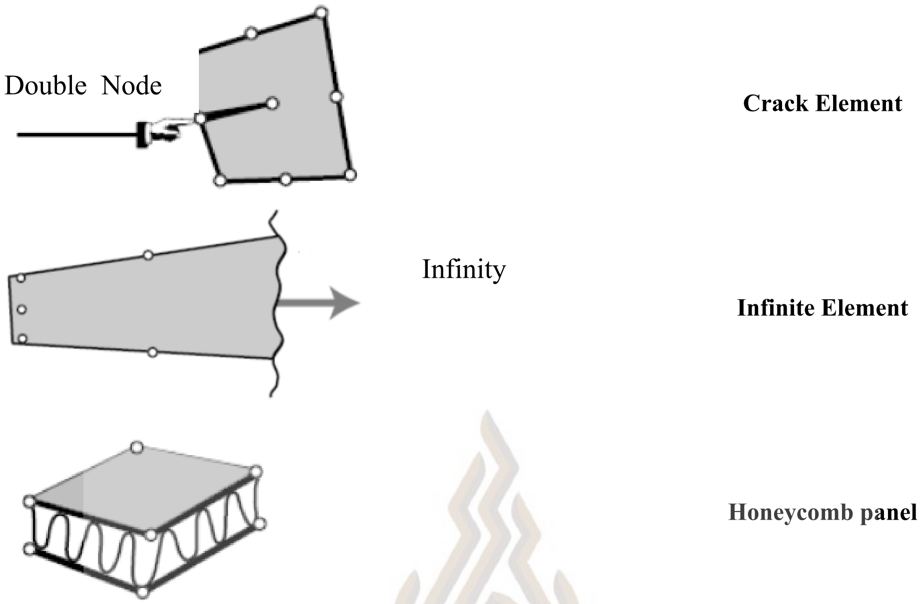
ที่มา: มนต์ศักดิ์ พิมสาร, ม.ป.ป.



รูปที่ 2.8 Continuum Elements

ที่มา: มนต์ศักดิ์ พิมสาร, ม.ป.ป.

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University



รูปที่ 2.9 Special Elements
ที่มา: มนต์ศักดิ์ พิมสาร, ม.ป.ป.

2.3.5 ความรู้ความเข้าใจในขั้นตอนการคำนวณ

ความรู้ความเข้าใจในขั้นตอนการคำนวณซึ่งถูกสร้างขึ้นมาเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่จะเป็นประโยชน์ต่อผู้วิเคราะห์ปัญหา หลายคนพยายามใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปเพื่อแก้ปัญหาการไหลที่มีความซับซ้อนที่ประกอบด้วยตัวไม่ทราบค่าจำนวนมาก การคำนวณอาจใช้เวลาต่อเนื่องนานหลายวัน ความเข้าใจในขั้นตอนของการคำนวณในโปรแกรมคอมพิวเตอร์จะสามารถช่วยลดเวลาในการคำนวณได้เป็นอย่างมากโดยผลลัพธ์ที่มีความเที่ยงตรงทัดเทียมกัน ความไม่เข้าใจในขั้นตอนการคำนวณที่ใช้ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์บางครั้งอาจนำไปสู่การไม่ได้มาซึ่งผลลัพธ์เลยหลังจากใช้เวลาในการคำนวณเป็นระยะเวลานานหรือหากได้ผลลัพธ์อาจได้ผลลัพธ์ที่ไม่เที่ยงตรง สาเหตุดังกล่าวบังคับให้ผู้ใช้โปรแกรมในทางอ้อมให้มีความรู้ความเข้าใจที่ค่อนข้างลึกซึ้งในขั้นตอนการวิเคราะห์ปัญหาความรู้ความเข้าใจเหล่านี้ซึ่งอาจหาได้จากชั้นเรียนหรือจากการได้เคยแก้ปัญหาในทำนองเดียวกันมาหลายครั้งหรือการศึกษาจากคู่มือ หนังสือที่มีผู้แต่งมากมายหรือแม้กระทั่งฝึกจากตัวอย่างจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์เหล่านั้นมาประยุกต์ใช้เทียบเคียง

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

2.3.6 ความสามารถในการใช้เครื่องคอมพิวเตอร์

ในการที่จะใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ให้ได้อย่างเชี่ยวชาญ ชำนาญนั้นจะต้องขึ้นอยู่กับเวลาที่ใช้ในการฝึกฝนที่หน้าจอคอมพิวเตอร์ยิ่งถ้าหากมีการใช้เวลาฝึกฝนที่หน้าจอนานมากเท่าไหร่ก็จะมีประสบการณ์ความชำนาญที่เพิ่มมากขึ้นเท่านั้นซึ่งไม่สามารถเกิดได้จากการนั่งฟัง การอ่าน หากแต่จะเกิดขึ้นจากการลองฝึกด้วยตัวเองเท่านั้น

2.4 การคำนวณหาค่าความดัน

2.4.1 การหาค่าความดันจากจากกราฟ

2.4.1.1 วิธีคิดคำนวณหาพื้นที่หน้าตัดในการวัดปริมาณลม (Flow)

1) พื้นที่หน้าตัดเป็นแบบสี่เหลี่ยม ให้คำนวณจาก Area (A) = Width (W) x Height (H)

2) พื้นที่หน้าตัดเป็นแบบวงกลมให้ใช้สูตรคำนวณ Area$(A) = \pi r^2$

2.4.1.2 ค่าอัตราการไหลแบ่งเป็น 2 หน่วยคือ

1) CFM (Cubic Feet Per Minute, ft^3/min) หรือลูกบาศก์ฟุตต่อนาที ต้องหาพื้นที่หน้าตัดในหน่วยตารางฟุต

2) CMM (Cubic Meters Per Minute, m^3/min) หรือลูกบาศก์เมตรต่อนาที ต้องหาค่าพื้นที่หน้าตัดในหน่วยตารางเมตร

สูตร

Q = $V x A$

Q =อัตราการไหลเชิงปริมาตร (m^3/s)

V =ความเร็วเฉลี่ยในการไหล (m/s)

A =พื้นที่หน้าตัดของการไหล (m^2)

CFM = ความเร็วลม x พื้นที่หน้าตัด

= $(ft/min) \times ft^2$

= (ft^3/min)

CMM = ความเร็วลม x พื้นที่หน้าตัด

= $m/sec \times m^2 \times 60$

= m^3/min

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

อัตราการแลกเปลี่ยน (ACH) Air Change per Hour

ACH = (*W x L x H) x (ACH ที่กำหนด)*

W =ความกว้าง (m.)

L =ความยาว (m.)

H =ความสูง (m.)

ACH = ลบม./ชม. (m^3/hr)

CFM = (ลบม./ชม.) *x 0.59* ((m^3/hr) *x 0.59*)

ข้อมูลที่ได้

วิธีนี้การหาความดันจากลมที่รั่วไหล

ก่อนจะเลือกความเร็วลมที่ช่องลมดูดออกต้องรู้ความต้องการการแลกเปลี่ยนอากาศค่ามาตรฐาน 12 ACH ปริมาตรตู้ขนย้ายผู้ป่วยต้นแบบ 0.465 m^3 จะได้ (0.465 m^3 x 12 ACH)=5.58 m^3 /hr

จากสูตร Q=VA

Q	=5.58	m^3 /hr
A	=0.007857	m^2
V	=Q/A	m/ hr
	=5.58 /0.007857	m/hr
	=710.82	m/hr
	=710.82/3,600	m/s
	=0.197	m/s

ความเร็วลมช่องลมดูดออกไม่น้อยกว่า 0.197 m/s ในที่นี้เลือก 0.3 m/s มาใช้คำนวณทำเป็นต่อชั่วโมง=ความเร็วลมช่องลมดูดออก x 3,600

(0.3 m/s) x (3,600 s)= 1,080 m^3/hr หรือ 637.2 CFM

หาปริมาณลม

CMS = ความเร็วลม x พื้นที่หน้าตัด

= 0.3sec x 0.007857 ^{2}

= 0.0023571 m^3/s

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

หาอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ 1 รอบ (ACH)

ปริมาณลม = 0.0023571 m^3/s

ปริมาตรห้อง = 0.465 ม.^{3}

ดังนั้น การแลกเปลี่ยนอากาศ 1 รอบ (ACH)

ปริมาตรห้อง/ปริมาณลม

= (0.465 ม.^{3})/(0.0023571 m^3/s)

ใช้เวลา = 197.27 sec

ข้อมูลที่ได้เพื่อจะไปหาค่าความดันที่เกิดขึ้นรูปที่ 2.10 สามารถหาค่าความดันที่เกิดขึ้นได้โดยอาศัยค่าพารามิเตอร์ดังนี้คือ

ตารางที่ 2.4 ค่าความดันที่เกิดขึ้นได้โดยอาศัยค่าพารามิเตอร์

1.	ความเร็วลมช่องลมดูดออก	0.3 m/s
2.	พื้นที่หน้าตัดของช่องลมดูดออก (r=0.05 m.)	0.007857 m^2
3.	ปริมาตรตู้ขนย้ายผู้ป่วยต้นแบบ	0.465 m^3
4.	พื้นที่หน้าตัดของช่องเติมลม (r=0.0125 m.) หรือพื้นที่รั่วไหล (leak)	0.004906 m^2 หรือ 0.005274 ft^2
5.	อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ	12 ACH

พื้นที่รั่วไหล (Leak) 0.004906 m^2 หรือ 0.005274 ft^2

ปริมาตรลม 1,080 m^3/hr หรือ 637.2 CFM

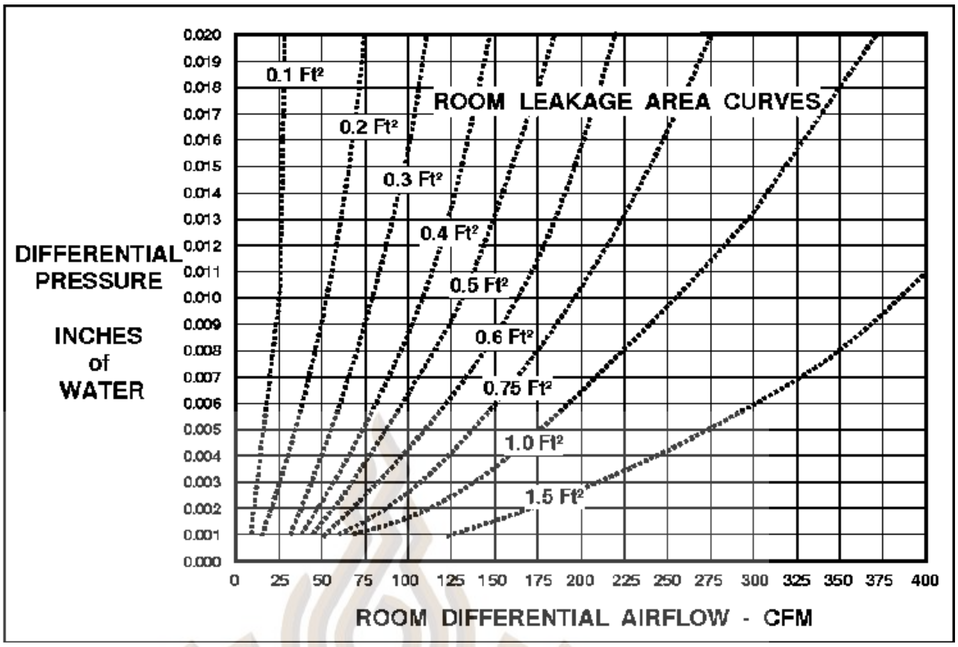
ให้ดูกราฟเส้น Room Differential Airflow –CFM และ Room Leakage Area Curves

Room Differential Airflow –CFM =637.2 CFM

Room Leakage Area Curves =0.005274 ft^2

เห็นได้ว่าค่าที่ได้มากกว่าค่าในรูปที่ 2.10 ทำให้ความดันที่ได้มากกว่า 0.020 Inches of Water หรือ มากกว่า 4.98 Pa (1 Inches of Water =249.08891 Pa)

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University



รูปที่ 2.10 ผลต่างความดันการไหลของอากาศในห้องเทียบกับความดันส่วนต่างสำหรับพื้นที่การรั่วไหลของห้องต่างๆ

ที่มา: Room Differential Airflow vs Differential Pressure for Various Room Leakage Areas, 2009

2.4.2 การหาค่าความดันจากการคำนวณ

ใช้สูตรตามสมการที่ 2-8

$$A_E=0.01138\left[\frac{DQ^{1.170}}{DP^{0.602}}\right] \qquad (2\text{-}8)$$

โดยที่

A_E is the leakage area in square inches [for instance, air gap under the isolation room entry door]

DQ is the differential airflow rate in cubic feet per minute (CFM) [the difference between airflow exhausted from the negative pressure isolation room to an adjoining area through a HEPA filter, and, supply air entering the room from sources such as the HVAC system supply vent]

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

DP is the differential pressure drop in inches of water gauge [the difference in pressure between the air in the adjoining area where the HEPA filtered isolation room air is exhausted to, and, the air within the negative pressure isolation room]

ตารางที่ 2.4 การไหลของอากาศที่แตกต่างที่ต้องการเทียบกับการรั่วไหลของห้องแยกแรงดันลบที่ห้องแยกความดันแตกต่างกัน 0.01 นิ้วน้ำ

Leakage		Differential Airflow	Differential Pressure
A_E	A_E	DQ	DP
(Square Inches)	(Square Feet)	(CFM)	(Inches wc)
17.70	0.12	50.00	0.01
39.82	0.28	100.00	0.01
64.00	0.44	150.00	0.01
89.61	0.62	200.00	0.01
116.34	0.81	250.00	0.01
144.00	1.00	300.00	0.01
172.47	1.20	350.00	0.01
201.63	1.40	400.00	0.01
231.42	1.61	450.00	0.01
261.78	1.82	500.00	0.01
292.66	2.03	550.00	0.01
324.03	2.25	600.00	0.01
355.84	2.47	650.00	0.01
388.07	2.69	700.00	0.01
420.69	2.92	750.00	0.01
453.69	3.15	800.00	0.01
487.04	3.38	850.00	0.01
520.72	3.62	900.00	0.01
554.73	3.85	950.00	0.01
589.04	4.09	1,000.00	0.01
946.61	6.57	1,500.00	0.01

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

ตารางที่ 2.4 การไหลของอากาศที่แตกต่างที่ต้องการเทียบกับการรั่วไหลของห้องแยกแรงดันลบที่ห้องแยกความดันแตกต่างกัน 0.01 นิ้วน้ำ (ต่อ)

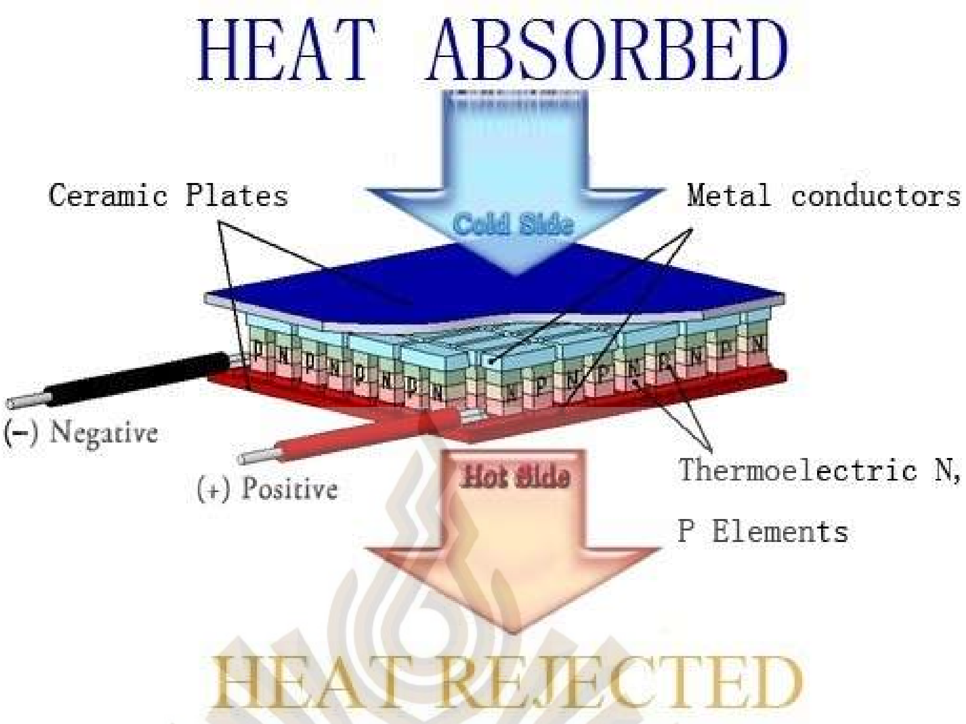
Leakage		Differential Airflow	Differential Pressure
A_E	A_E	DQ	DP
(Square Inches)	(Square Feet)	(CFM)	(Inches wc)
1,325.40	9.20	2,000.00	0.01
1,720.81	11.95	2,500.00	0.01
2,129.97	14.79	3,000.00	0.01
2,550.95	17.71	3,500.00	0.01
2,982.31	20.71	4,000.00	0.01

ที่มา: Establishing Airborne infection isolation rooms (AIIR) & Protective Environments (PE), n.d.

2.5 เพลเทียร์ (Peltier)

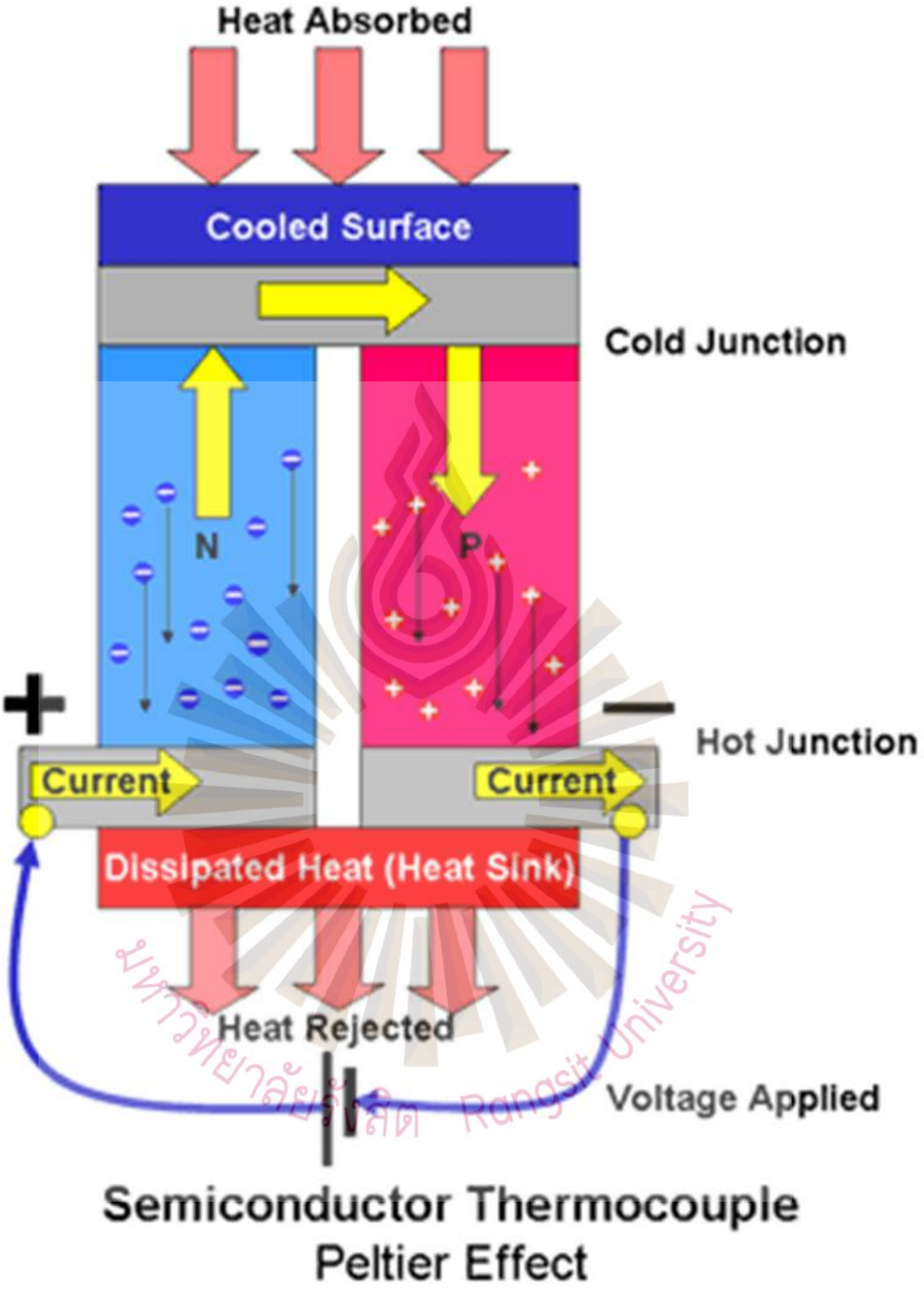
หลักการทำงานแผ่นเพลเทียร์จะทำความเย็นได้ต้องจ่ายกระแสไฟฟ้าจากภายนอกให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านแผ่นเพลเทียร์จะมีผลทำให้อีกด้านหนึ่งของแผ่นเพลเทียร์สามารถดูดความร้อน (Heat Absorbed) เพื่อนำความร้อนไปทิ้ง (Heat Rejected) ที่ด้านตรงข้าม ผลก็คือด้านที่ดูดความร้อนจะมีอุณหภูมิลดลงแต่ด้านที่นำความร้อนไปทิ้งจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นดังแสดงในรูปที่ 2.11 ข้อควรระวังในการใช้แผ่นเพลเทียร์เพื่อทำความเย็นคือจะต้องมีการระบายความร้อนของด้านที่ร้อนอยู่ตลอดเวลาขณะใช้งานเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความร้อนสะสมซึ่งอาจจะทำให้แผ่นเพลเทียร์เสียหาย ดังนั้นแผ่นเพลเทียร์จึงต้องมีตัวระบายความร้อน (Heat Sink) เป็นอุปกรณ์ประกอบเสริม

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University



รูปที่ 2.11 การทำความเย็นของแผ่นเพลเทียร์ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าจากภายนอก
ที่มา: ปิยวัฒน์ ทัพสนิท, 2562

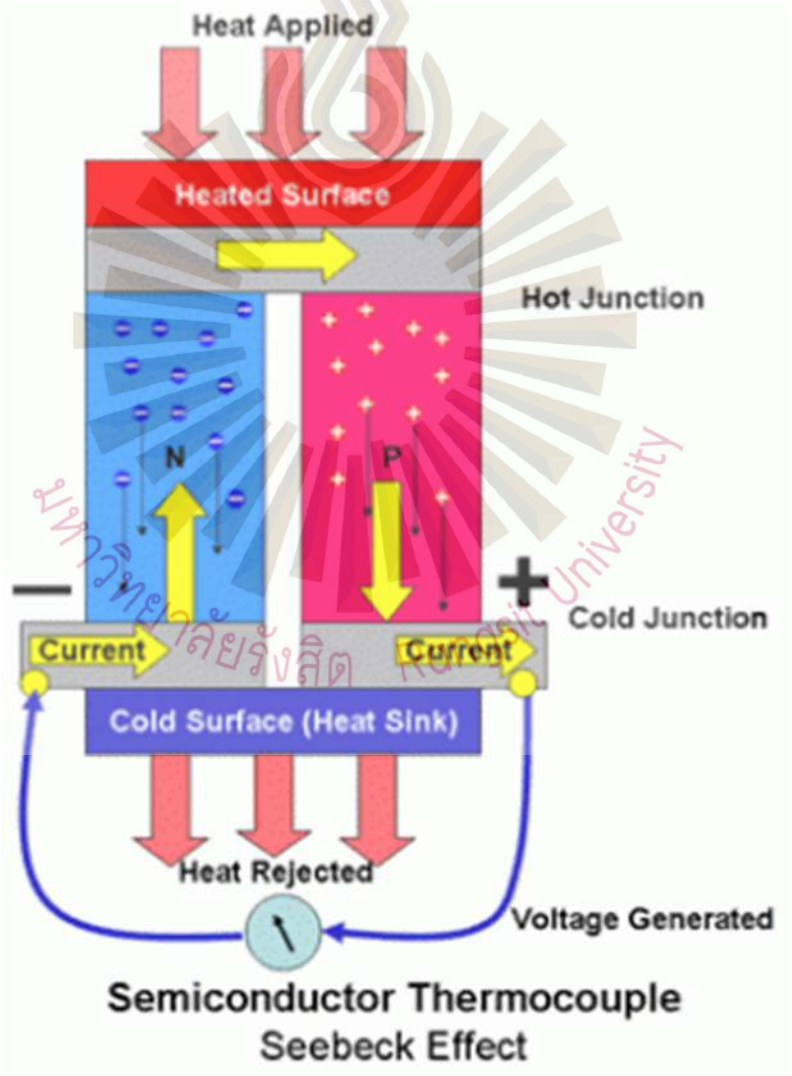
วัสดุที่ใช้ในการทำความเย็นของแผ่นเพลเทียร์คือวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric Material) ซึ่งเป็นสารกึ่งตัวนำชนิด N (มีอิเล็กตรอนประจุลบเป็นพาหะนำไฟฟ้า) และชนิด P (มีโฮลประจุบวกเป็นพาหะนำไฟฟ้า) ต่อเข้าด้วยกันแบบอนุกรมอยู่ภายในแผ่นเพลเทียร์วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกที่นิยมใช้ทำแผ่นเพลเทียร์ในปัจจุบันคือ Bismuth Telluride (Bi_2Te_3) ชนิด N และ P เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีราคาถูกและมีประสิทธิภาพในระดับดี เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกอิเล็กตรอนภายในวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกชนิด N จะถูกขับเคลื่อนให้วิ่งสวนทางกันกับกระแสไฟฟ้าแต่โฮลภายในวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกชนิด P จะถูกขับเคลื่อนให้วิ่งไปในทิศทางเดียวกันกับกระแสไฟฟ้าในขณะที่ประจุไฟฟ้าเหล่านี้เคลื่อนที่พวกมันก็จะดึงเอาพลังงานความร้อนติดตัวไปด้วยและยิ่งถ้าต่อวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกชนิด N และชนิด P เข้าด้วยกันแบบอนุกรมความร้อนที่ประจุไฟฟ้าดูดเอาไปด้วยได้ก็จะเพิ่มมากขึ้นนี่คือต้นกำเนิดทางฟิสิกส์ของการไหลของความร้อนซึ่งก่อให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างด้านทั้งสองของแผ่นเพลเทียร์เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลภายในแผ่นเพลเทียร์เราเรียกปรากฏการณ์นี้ว่าปรากฏการณ์เพลเทียร์ (Peltier Effect) ดังแสดงในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 การเกิดปรากฏการณ์เพลเทียร์
ที่มา: ปิยวัฒน์ ทัพสนิท, 2562

นอกจากจะเกิดปรากฏการณ์เพลเทียร์ดังรูปที่ 2.12 แล้วยังเกิดปรากฏการณ์ซีเบค (Seebeck Effect) ดังรูปที่ 2.13 ที่มีกระบวนการทางฟิสิกส์ตรงกันข้าม เมื่อด้านทั้งสองของวัสดุเทอร์โม

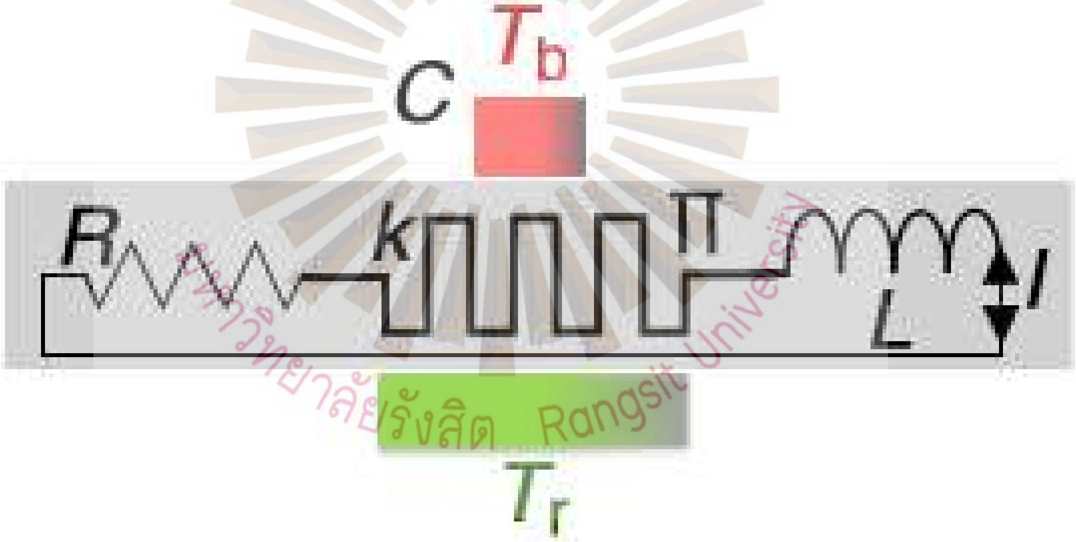
อิเล็ก ทริกมีอุณหภูมิต่างกันแล้วความร้อนจะไหลจากด้านที่มีอุณหภูมิสูงไปยังด้านที่มีอุณหภูมิต่ำ ตามกฎการนำความร้อนของฟูเรียร์ (Fourier's Law) การไหลของความร้อนจะทำให้อิเล็กตรอนและโฮลเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกันกับทิศทางการไหลของความร้อนจากนั้นการเคลื่อนที่ของประจุไฟฟ้าจะทำให้เกิดการแยกตัวของประจุไฟฟ้าภายในวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกซึ่งก่อให้เกิดแรงดันตกคร่อมวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก แรงดันตกคร่อมนี้จะแปรผันโดยตรงต่อความแตกต่างของอุณหภูมิ นอกจากนี้เมื่อต่อวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกชนิด N และชนิด P หลายตัวเข้าด้วยกันแบบอนุกรมความต่างศักย์ที่ได้ก็จะเพิ่มมากขึ้นตามจำนวนของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกทั้งหมดจะเห็นได้ว่าแผ่นเพลเทียร์นอกจากจะใช้ทำความเย็นได้แล้วยังสามารถใช้ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนได้ด้วย



รูปที่ 2.13 การเกิดปรากฏการณ์ซีเบค
ที่มา: ปิยวัฒน์ ทัพสนิท, 2562

แผ่นเพลเทียร์มีการใช้พลังงานไฟฟ้าค่อนข้างมากในการทำความเย็นเมื่อเทียบกับเครื่องปรับอากาศประสิทธิภาพต่ำทำให้ไม่เป็นที่นิยม การทำให้แผ่นเพลเทียร์สามารถทำความเย็นได้โดยไม่ใช้ไฟฟ้าจากภายนอกจึงมีความสำคัญต่อการนำเอาอุปกรณ์ชิ้นนี้ไปใช้งานจริง (ปิยวัฒน์ ทัพสนิท, 2562)

นักวิจัยจากภาควิชาฟิสิกส์ที่ University of Zürich ประเทศสวิตเซอร์แลนด์ โดย Schilling, Zhang and Bossen (2019) ได้แสดงให้เห็นเป็นครั้งแรกว่าแผ่นเพลเทียร์สามารถลดอุณหภูมิของวัตถุลงจนมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิห้องโดยไม่ต้องใช้พลังงานไฟฟ้าจากภายนอกเทคนิคที่ใช้คือการต่อแผ่นเพลเทียร์เข้ากับตัวเหนี่ยวนำไฟฟ้า (Electrical Inductor) ที่เหมาะสมแบบอนุกรมนักวิจัยเรียกวงจรไฟฟ้านี้ว่าตัวเหนี่ยวนำความร้อน (Thermal Inductor) เพราะมันสามารถทำให้ทิศทางของความร้อนเกิดการสลับไปมาระหว่างด้านทั้งสองของแผ่นเพลเทียร์ซึ่งคล้ายกับตัวเหนี่ยวนำไฟฟ้าที่สามารถทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่มีทิศทางสลับไปมา (AC)



รูปที่ 2.14 วงจรการทำงานของตัวเหนี่ยวนำความร้อน
ที่มา: ปิยวัฒน์ ทัพสนิท, 2562

วงจรการทำงานของตัวเหนี่ยวนำความร้อน โดยสัญลักษณ์ k และ π แทนแผ่นเพลเทียร์ สัญลักษณ์ L แทนตัวเหนี่ยวนำ สัญลักษณ์ R คือค่าความต้านทานภายในวงจรสัญลักษณ์ T_b แทนอุณหภูมิของวัตถุที่ต้องการทำความเย็นซึ่งมีค่าความจุความร้อนเท่ากับ C และสัญลักษณ์ T_r แทนอุณหภูมิของแหล่งสะสมพลังงานความร้อน

บทที่ 3

ขั้นตอนการวิจัย

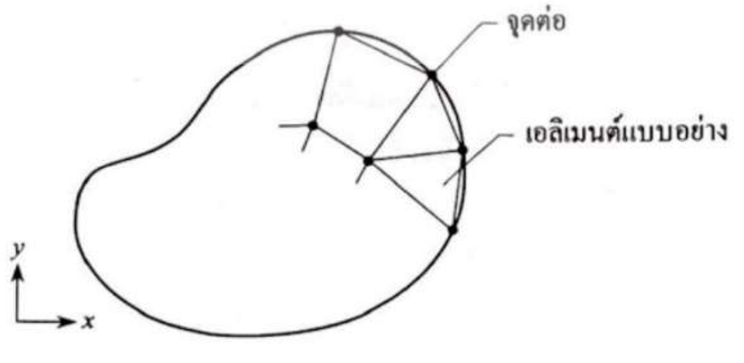
3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.1.1 เครื่องมือที่ใช้ในการออกแบบและจำลองด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

วิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์ เป็นการใช้ระเบียบวิธีทางตัวเลขเพื่อหาผลลัพธ์โดยประมาณของปัญหาที่กำหนดมาให้ โดยการแบ่งลักษณะของปัญหาออกเป็นส่วนย่อยๆ ที่เรียกว่าเอลิเมนต์ (Element) โดยแต่ละเอลิเมนต์จะเชื่อมต่อกันที่จุดโนด (Node) ซึ่งจะจำลองปัญหากับทุกเอลิเมนต์ แล้วนำแต่ละเอลิเมนต์มารวมประกอบขึ้นเป็นรูปร่างที่เราต้องการแก้ปัญหาขั้นตอนโดยทั่วไปของวิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์จะประกอบด้วย 6 ขั้นตอนดังต่อไปนี้ (ราวิน วิวัฒน์วิทยา, วสันต์ จินนะ และเอกชัย ทิลาว, 2554)

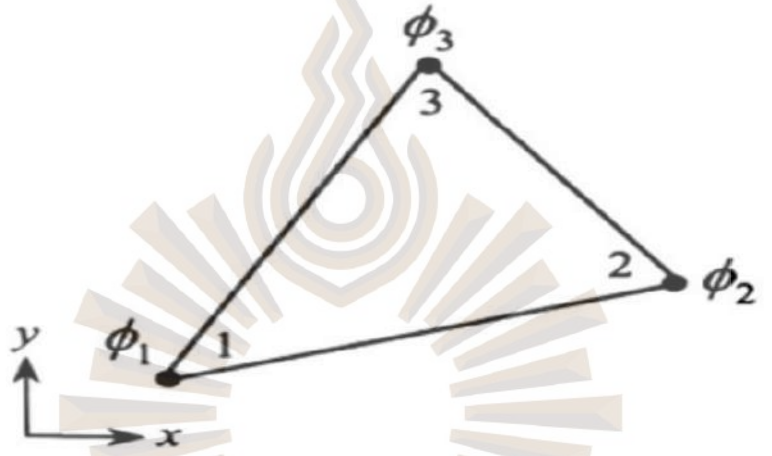
ขั้นตอนที่ 1 การแบ่งขอบเขต รูปร่างลักษณะของปัญหาที่ต้องการที่จะพิจารณาหาผลลัพธ์นั้นออกเป็นเอลิเมนต์ย่อย ๆ ขอบเขตนี้จะเป็นขอบเขตของปัญหาชนิดต่างๆกัน เช่น ปัญหาการยืดหยุ่นในของแข็ง (Elasticity Problem) ปัญหาของการไหล (Fluid Problem) ปัญหาทางด้านอุณหภูมิและความร้อน (Thermal Problem) เป็นต้น

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University



รูปที่ 3.1 การแบ่งรูปร่างโดเมนของปัญหาออกเป็นเอลิเมนต์ต่าง ๆ กัน
ที่มา: วิเชียร อุบลไทร, อรรถสิทธิ์ วงศ์เจริญและศิวพงษ์ กิ่งแก้ว, 2562

ขั้นตอนที่ 2 การเลือกฟังก์ชันประมาณภายในเอลิเมนต์ (Element Interpolation Functions) การเลือกฟังก์ชันประมาณภายในซึ่งมีความสำคัญต่อความถูกต้องของผลลัพธ์ของปัญหาที่ทำการวิเคราะห์ ฟังก์ชันประมาณภายในจะมีหลายรูปแบบให้ได้เลือกขึ้นอยู่กับปัญหาว่าจะตรงกับเงื่อนไขใด ปัญหาที่วิเคราะห์อาจจะเป็นปัญหา 1 มิติ หรือ 2 มิติรูปแบบฟังก์ชันประมาณภายในก็จะแตกต่างออกไปตัวอย่างว่าฟังก์ชันประมาณภายในหามาได้อย่างไรตัวอย่าง เช่น เอลิเมนต์รูปสามเหลี่ยมมีสามโนดต่อหนึ่งเอลิเมนต์ อาจจะเริ่มจากสมการสมมติลักษณะการกระจายตัวของผลเฉลยโดยประมาณ



รูปที่ 3.2 เอลิเมนต์สามเหลี่ยมแบบอย่างประกอบด้วยสามจุดต่อ
โดยมีตัวไม่ทราบค่าอยู่ ณ ตำแหน่งที่จุดต่อ
ที่มา: วิเชียร อุบลไทร และคณะ, 2562

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

เอลิเมนต์สามเหลี่ยม รูปที่ 3.2 เอลิเมนต์จะประกอบด้วยสามจุดต่อที่มีหมายเลข 1, 2 และ3 ดังแสดงในรูปที่ 3.2 โดยที่จุดต่อเหล่านี้นั้นเป็นตำแหน่งของตัวไม่ทราบค่า (Nodal Unknown) ซึ่งคือ $Ø_1$, $Ø_2$และ $Ø_3$ ตัวไม่ทราบค่าที่จุดต่อเหล่านี้อาจเป็นค่าการยืด หรือหดตัว (Displacement) ในกรณีทำปัญหาความยืดหยุ่นในของแข็ง หรือ อาจเป็นค่าอุณหภูมิในกรณีเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อนหรือไม่ก็อาจเป็นอัตราเร็วในกรณีทำปัญหาเกี่ยวกับของไหล เป็นต้นลักษณะการกระจายตัวของตัวไม่ทราบค่าบนเอลิเมนต์นี้ สามารถที่จะเขียนให้อยู่ในรูปของฟังก์ชันการประมาณภายใน และตัวไม่ทราบค่าที่จุดต่อดังสมการที่ 3-1

$$\emptyset(x,y) = N_1\ (x,y)\emptyset_1 + N_2\ (x,y)\emptyset_2 + N_3\ (x,y)\emptyset_3 \qquad (3\text{-}1)$$

โดย $Ni(x,y), i = 1,2,3$ คือฟังก์ชันประมาณภายในเอลิเมนต์

$\emptyset, i = 1,2,3$ คือตำแหน่งของตัวที่ไม่ทราบค่า

จากสมการ (3-1) สามารถเขียนให้อยู่ ในรูปแบบของเมตริกซ์ได้ ดังสมการที่ 3-2

$$\emptyset(x,y) = [N_1\ \ N_2\ N_3]\begin{Bmatrix}\emptyset_1\\ \emptyset_2\\ \emptyset_3\end{Bmatrix} \qquad (3\text{-}2)$$

$$= [N]\{\emptyset\}$$

(1x3) (3x1)

โดย [N] คือ เมตริกซ์ของฟังก์ชันการประมาณภายในเอลิเมนต์

{Ø} คือ เวกเตอร์เมตริกซ์ที่ประกอบด้วยตัวไม่ทราบค่าที่จุดต่อของเอลิเมนต์

[ ] แสดงถึงเมตริกซ์แถวนอน(Row Matrix)

{ } แสดงถึงเมตริกซ์แถวตั้ง (Column Matrix)

ขั้นตอนที่ 3 การสร้างสมการของเอลิเมนต์ (Element Equation) ในขั้นตอนนี้จะเป็นส่วนสำคัญของวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ซึ่งจะมีหลายวิธีในการหาสมการไฟไนต์เอลิเมนต์ ในแต่ละวิธีจะมีความยากง่ายแตกต่างกันขึ้นอยู่กับปัญหาที่เราวิเคราะห์ ท้ายที่สุดจะมีรูปสมการที่คล้าย ๆ กันเช่น สมการของเอลิเมนต์สามเหลี่ยม ตามสมการที่ 3-3

$$\begin{bmatrix}K_{11} & K_{12} & K_{13}\\ K_{21} & K_{22} & K_{23}\\ K_{31} & K_{32} & K_{33}\end{bmatrix}_e \begin{Bmatrix}\emptyset_1\\ \emptyset_2\\ \emptyset_3\end{Bmatrix}_e = \begin{Bmatrix}F_1\\ F_2\\ F_3\end{Bmatrix}_e \qquad (3\text{-}3)$$

ซึ่งสามารถที่จะเขียนย่อได้เป็นดังสมการที่ 3-4

$$[K]_e\{\emptyset\}_e = \{F\}_e \qquad (3\text{-}4)$$

โดย K คือ Element Stiffness Matrix

Ø คือตัวแปรที่ไม่ทราบค่าและเป็นค่าที่ต้องการหาเช่นถ้าเป็นกรณีทางด้านการยืดหยุ่นของของแข็งค่า Ø คือค่าการยืดตัวหดตัวของวัสดุ (Displacement) หากว่าเป็นกรณีทางด้านความร้อนค่า Ø คืออุณหภูมิ (Temperature)

F เป็นตัวแปรของโหลดที่กระทำต่อเอลิเมนต์

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

โดยทั่วไปการสร้างสมการไฟไนต์เอลิเมนต์ในขั้นตอนนี้สามารถกระทำได้ 3 วิธีคือ

1) วิธีโดยตรง (Direct Formulation)

2) วิธีการแปรผัน (Variational Method)

3) วิธีการถ่วงน้ำหนักเศษตกค้าง (Method of Weighted Residuals)

โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) การสร้างสมการไฟไนต์เอลิเมนต์วิธีโดยตรง (Direct Formulation) เป็นวิธีสร้างสมการไฟไนต์เอลิเมนต์ที่ง่าย สมการของเอลิเมนต์ดังกล่าวขึ้นตรงอยู่กับลักษณะของปัญหาที่พิจารณา เช่น ปัญหาทางด้านของแข็ง การถ่ายเทความร้อน การไหล เมื่อได้สมการของแต่ละเอลิเมนต์แล้วจึงนำสมการของทุกเอลิเมนต์มาประกอบรวมกันก่อให้เกิดสมการรวมใหญ่จากนั้นจึงทำการกำหนดขอบเขตแล้วจึงแก้ระบบสมการใหญ่นั้นออกมาเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ต้องการ

2) การสร้างสมการไฟไนต์เอลิเมนต์โดยวิธีการแปรผัน (Variational Formulation) วิธีการแปรผันจะอาศัยการสร้างสมการไฟไนต์เอลิเมนต์จากการหาพลังงานซึ่งในช่วงแรกการสร้างสมการจะใช้วิธีนี้เพราะง่ายแก่การทำความเข้าใจ

3) การสร้างสมการไฟไนต์เอลิเมนต์โดยวิธีการถ่วงน้ำหนักเศษตกค้าง (Method of Weighted Residuals) สมการไฟไนต์เอลิเมนต์สามารถสร้างขึ้นมาได้ง่ายหากรู้ฟังก์ชันแปรผันที่สอดคล้องกับปัญหาที่จะแก้ แต่สำหรับบางปัญหาทั่วๆไป จะทราบเพียงสมการเชิงอนุพันธ์และไม่สามารถหาฟังก์ชันแปรผันที่สอดคล้องกันได้ การสร้างสมการไฟไนต์เอลิเมนต์โดยวิธีการถ่วงน้ำหนักเศษตกค้างไม่จำเป็นต้องทราบฟังก์ชันแปรผันที่สอดคล้องกันเพียงแต่ทราบสมการเชิงอนุพันธ์ก็สามารถสร้างสมการไฟไนต์เอลิเมนต์โดยสามารถพิจารณาได้ทั้งปัญหาทางด้านโครงสร้าง การถ่ายเทความร้อนและการไหลกระบวนการสร้างสมการจะต้องทำในขั้นตอนที่ 1 และ 2 มาก่อน คือแบ่งขอบเขตของปัญหาออกเป็นเอลิเมนต์ย่อยและสมมุติฟังก์ชันการประมาณภายในที่เหมาะสมกับรูปร่างและความถูกต้องที่ต้องการหลังจากนั้นจึงทำการสร้างสมการไฟไนต์เอลิเมนต์โดยในขั้นแรกจะต้องทราบสมการเชิงอนุพันธ์ก่อนแล้วจะสมมุติค่าของผลเฉลยแม่นตรง (Exact Solution) ก่อน

ขั้นตอนที่ 4 การนำสมการของแต่ละเอลิเมนต์ที่ได้มาประกอบกัน ก่อให้เกิดสมการพร้อมกัน(System of Simultaneous Equation) ในรูปดังสมการที่ 3-5

$$\sum(Element\ Equation) \Rightarrow [K]_{SYS}\,\{\emptyset\}_{SYS} = \{F\}_{SYS} \qquad (3\text{-}5)$$

ขั้นตอนที่ 5 กำหนดเงื่อนไขขอบเขต (Boundary Conditions) ลงในสมการเพื่อหาตัวไม่ทราบค่าที่จุดต่อ$\{\emptyset\}$SYS ซึ่งอาจจะเป็นค่าการเคลื่อนตัวของวัสดุยืดหยุ่นหรือค่าของอุณหภูมิของวัสดุก็ได้ขึ้นอยู่กับขอบเขตปัญหาที่กำลังพิจารณา

ขั้นตอนที่ 6 เมื่อคำนวณค่าต่าง ๆ ที่จุดต่อออกมาแล้วจะเป็นปัญหาทางด้านโครงสร้างก็จะทราบค่าการเคลื่อนตัว ที่ตำแหน่งต่างๆเราก็สามารถนำค่าที่ได้ไปหาความเครียดในที่สุดก็สามารถหาค่าของความเค้นได้ แต่หากเป็นปัญหาทางด้านอุณหภูมิเมื่อทราบอุณหภูมิที่จุดต่างๆก็สามารถคำนวณปริมาณการถ่ายเทความร้อนได้จากขั้นตอนการสร้างไฟไนต์เอลิเมนต์

3.1.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.1.1.1 แหล่งจ่ายไฟกระแสตรง Single Output Adjustable DC Power Supply ยี่ห้อ MCP Lab Electronics รุ่น M10-QS6020 Regulated DC Supply

3.1.1.2 Three-phase DC Brushless Motor

3.1.1.3 Thermoelectric Cooler Peltier set

3.1.1.4 Fluke Calibration 1524 Handheld Thermometer Readout

3.1.1.5 เครื่องอุณหภูมิความชื้นสัมพัทธ์ (Hand-Held Humidity and Temperature Meter)ยี่ห้อ VAISALA รุ่น HM40

3.1.1.6 ชุดวัด Air Velocity , Relative Humidity and Temperature แบบ Hand Held ยี่ห้อKIMO รุ่น VT210

3.1.1.7 ชุดสร้างควัน (Smoke Generator) ยี่ห้อ LIGHTHOUSE

3.1.1.8 เครื่องวัดแรงดันสมบูรณ์ (Micro Manometer) ยี่ห้อ TSI รุ่น DP-Calc 5825

3.1.1.9 เครื่องตรวจระดับเสียงยี่ห้อ EXTECH รุ่น HD 600

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง

ชุดพัดลม

Pettier set

1) Fluke Calibration 1524 Handheld Thermometer Readout
2) เครื่องอุณหภูมิความชื้นสัมพัทธ์

ชุดวัด Air Velocity , Relative Humidity and Temperature แบบ Hand Held

ชุดสร้างควัน (Smoke Generator)

เครื่องวัดแรงดันสมบูรณ์

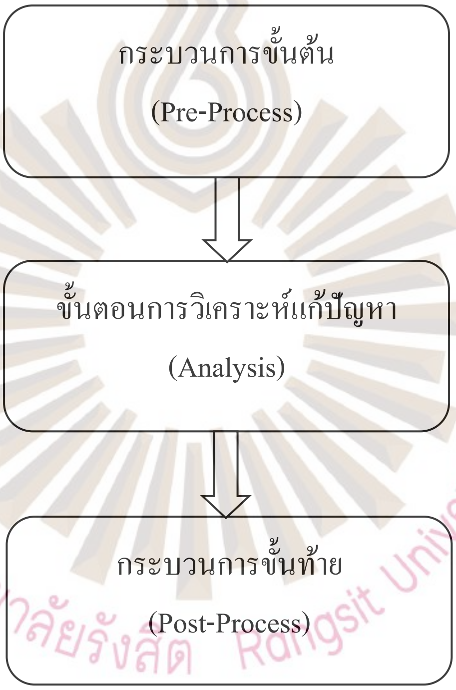
เครื่องตรวจระดับเสียง

รูปที่ 3.3 แสดงเครื่องมือที่ใช้ทดลอง

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

3.2 ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการประมวลผล

ในการทดลองวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์นี้ใช้โปรแกรม Comsol Multiphysics Version 3.5a มาทำการสร้างแบบจำลองการกำหนดค่าคุณสมบัติจำเพาะต่าง ๆของวัสดุภายในการทดลองการกำหนดเงื่อนไขต่าง ๆ ในระบบและการประมวลผลด้วยวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์ทำการประมวลผลแบบจำลองบนเครื่องคอมพิวเตอร์พีซี ซีพียู Intel(R) Xeon(R) W-2223 CPU @ 3.60GHz หน่วยความจำ RAM 16 GB ระบบปฏิบัติการ Windows 10 Pro 64 –Bit สามารถเขียนกระบวนการไฟไนต์เอลิเมนต์สำหรับการวิจัยนี้ได้ดังรูปที่ 3.4



มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

รูปที่ 3.4 กระบวนการวิเคราะห์วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วย COMSOL Multiphysics

จากรูปที่ 3.4 แสดงถึงกระบวนการวิเคราะห์วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วยโปรแกรม COMSOL Multiphysics โดยประกอบไปด้วยขั้นตอนหลักๆ 3 ขั้นตอน ดังนี้

1) กระบวนการขั้นต้น (Pre Processing) เป็นขั้นตอนแรกของการวิเคราะห์วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์โดยเริ่มจากการสร้างแบบจำลองในโปรแกรมCOMSOL Multiphysics และ กำหนดส่วนต่างๆ ของวัสดุที่ใช้ในการทดลอง กำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องในแบบจำลอง กำหนดเงื่อนไข

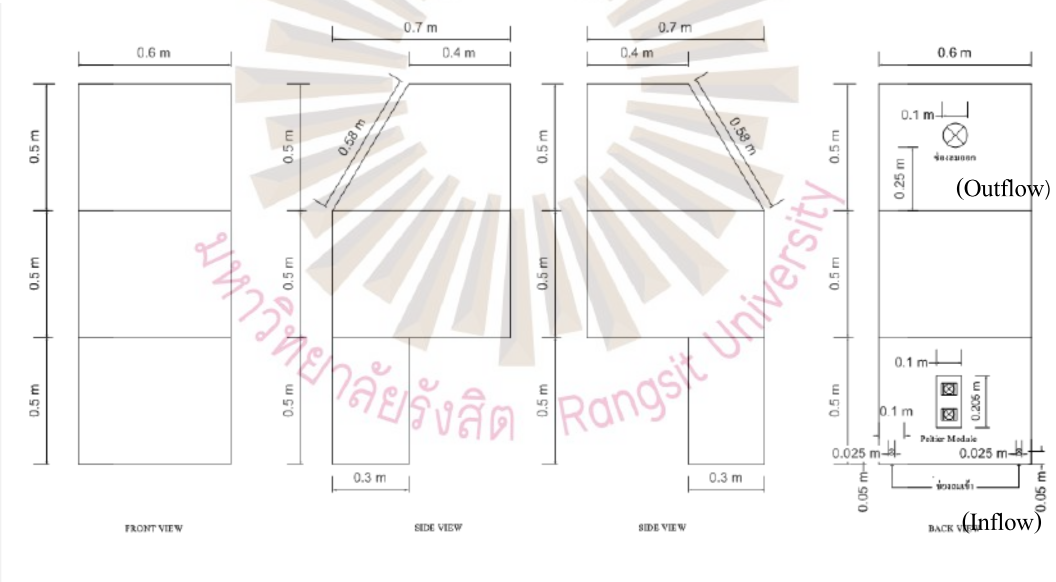
เริ่มต้น เงื่อนไขขอบเขตของแบบจำลอง และเมช (Mesh) แบบจำลอง ในโปรแกรม COMSOL Multiphysics

2) ขั้นตอนการวิเคราะห์แก้ปัญหา (Solution) เป็นขั้นตอนของการกำหนดเวลาที่ใช้ประมวลผลของการจำลองซึ่งในงานวิจัยนี้เป็นการกำหนดเวลาที่ใช้ในการจำลองที่ 198-200 วินาที เพื่อให้ครบ 1 รอบการแลกเปลี่ยนอากาศ

3) กระบวนการขั้นท้าย (Post Processing) เป็นส่วนของการวิเคราะห์ผล ซึ่งในงานวิจัยนี้เป็นการจำลองการแลกเปลี่ยนอากาศและความดันในห้อง และ วิเคราะห์ผลที่เกิดขึ้นหลังการจำลอง

3.3 รูปแบบโครงสร้างและขนาดของอุปกรณ์ต้นแบบ

ในการออกแบบตู้ใช้โครงเหล็กในการขึ้นรูปและผ้าพลาสติกหุ้มครอบพร้อมซิปปิด-เปิด วางบนรถเข็น เจาะรูนำอากาศเข้าและออกอย่างละ 1 รู มีขนาดและรูปร่างดังนี้



FRONT VIEW SIDE VIEW SIDE VIEW FRONT VIEW

รูปที่ 3.5 แสดงขนาดและภาพรวมของห้อง

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

ตารางที่ 3.1 ขนาดของอุปกรณ์ต้นแบบ

	ขนาด	กว้าง	ยาว	สูง	พื้นที่/ปริมาตร	หน่วย
1.1.	ช่องลมเข้าทรงกลมจำนวน 1 ช่อง รัศมี 0.0125 m.	-	-	-	0.00049	m^2
1.2.	บริเวณขา	0.6	0.3	0.5	0.09	m^3
1.3.	บริเวณลำตัว	0.6	0.7	0.5	0.21	m^3
1.4.	1.บริเวณศีรษะ 1	0.6	0.4	0.5	0.12	m^3
	2.บริเวณศีรษะ 2	0.6	0.3	0.5	0.045	m^3
				รวม	0.465	m^3
1.5.	ช่องลมออกทรงกลมจำนวน 1 ช่อง รัศมี 0.05 m.	-	-	-	0.007857	m^2

3.4 การกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการคำนวณ

ตารางที่ 3.2 แสดงค่าพารามิเตอร์ของอากาศที่ใช้ในการจำลอง

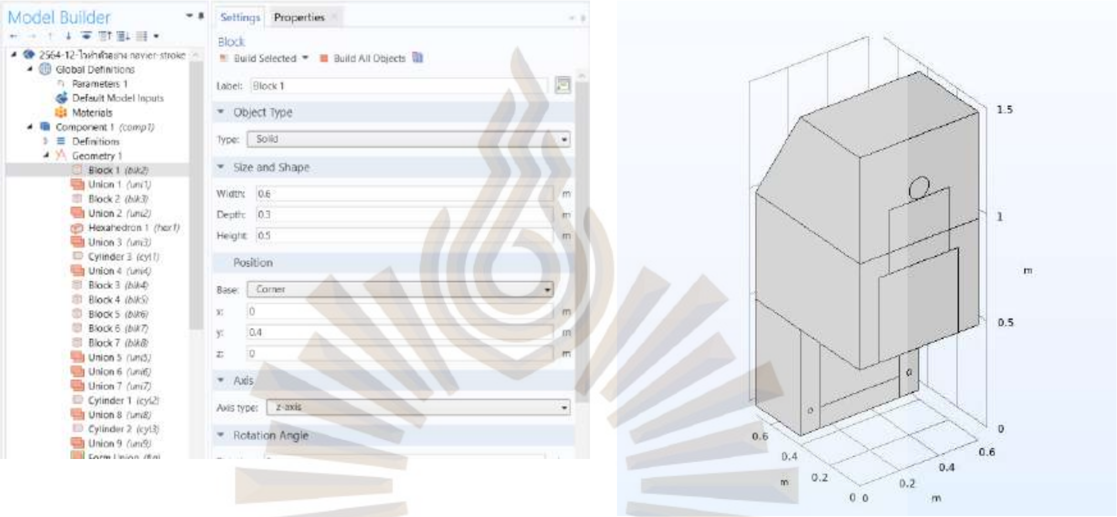
พารามิเตอร์	ค่าที่กำหนด	หน่วย
ค่าความหนาแน่นของอากาศ ที่ 25°C (ρ)	1.184	kg/m^3
ค่าความหนืดของอากาศ ที่ 25°C (μ)	18.49×10^{-6}	Pa·s หรือ kg/ m.s
ความดันของของอากาศ (p)	0	Pa
ความดันที่ช่องลมเข้า (Inflow)	0	Pa
ความเร็วลมที่ช่องลมออก (Outflow)	0.3	m/s

ที่มา: The Pennsylvania State University, n.d.

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

3.5 วิธีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ในโปรแกรม COMSOL Multiphysics

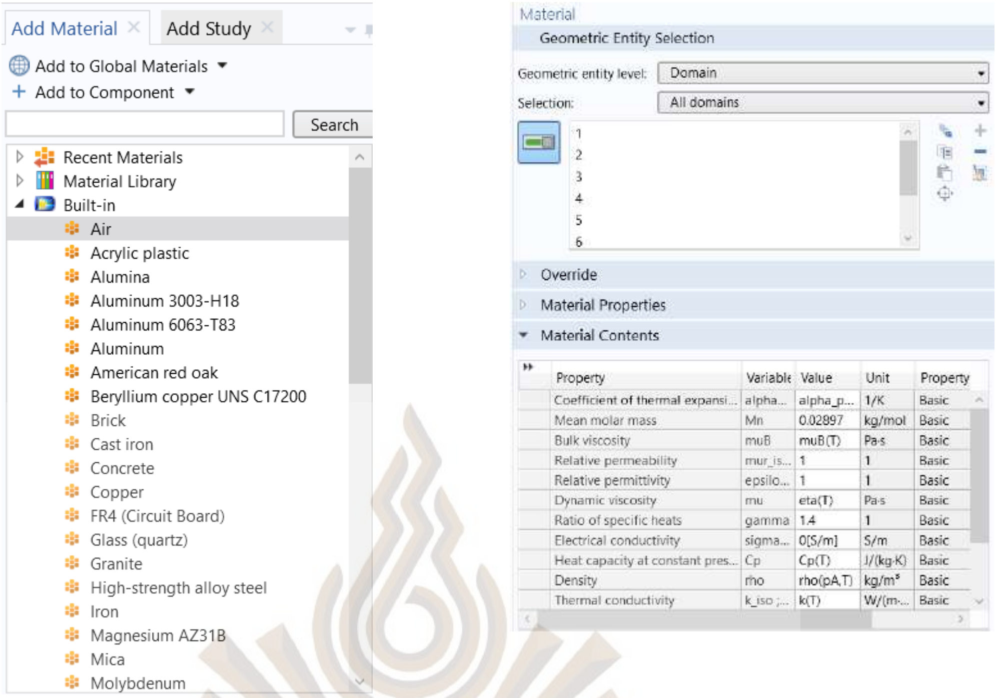
ในขั้นตอนนี้หลังเปิดโปรแกรม COMSOL Multiphysics ในโหมด Geometry แล้วทำการสร้างรูปทรงตามรูปที่ 3.5 และขนาดตามตารางที่ 3.1 พร้อมกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังตารางที่ 3.2 ตามลำดับ



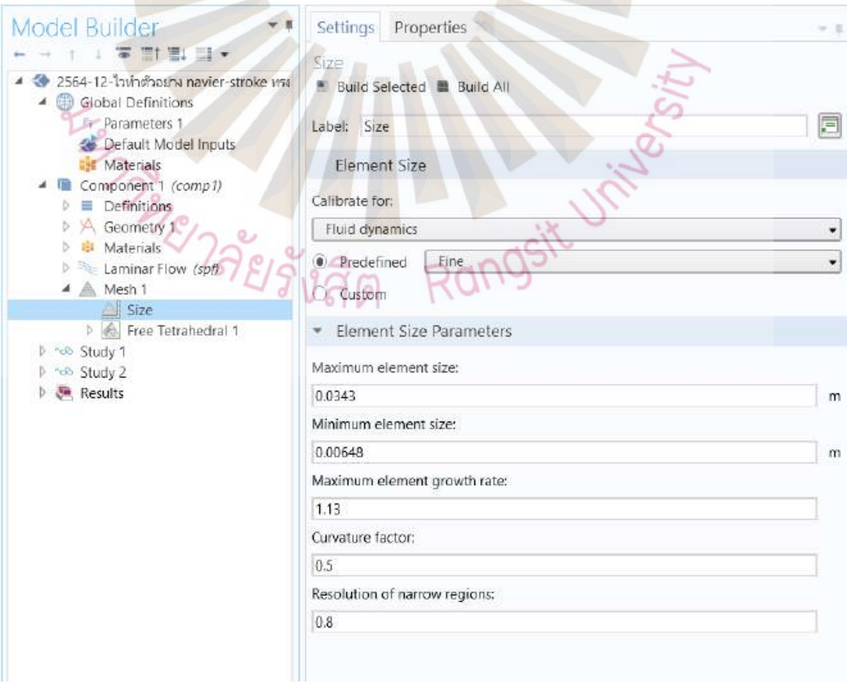
รูปที่ 3.6 แสดงถึงการสร้างโมเดลในโปรแกรม COMSOL Multiphysics เพื่อใช้ในการจำลอง

การกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณ ภายหลังการสร้างโมเดลที่ใช้สำหรับการจำลองในโปรแกรมเรียบร้อยแล้ว สามารถกำหนดค่าคุณสมบัติต่างๆ ได้ดังรูปที่ 3.7 และ 3.8

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University



รูปที่ 3.7 การกำหนดค่าคุณสมบัติต่างๆ ที่ใช้ในโปรแกรม COMSOL Multiphysics

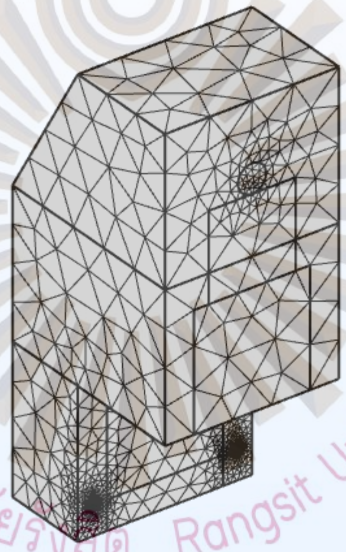


รูปที่ 3.8 การกำหนดค่าคุณสมบัติต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณในโปรแกรม COMSOL Multiphysics

Rangsit University

3.6 การสร้างเมชเอลิเมนต์เพื่อวิธีการดำเนินการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

ในที่นี้มีการเลือกเอลิเมนต์ในโดเมนที่มีความละเอียดมากสุดคือ Fine Mesh ซึ่งได้จำนวนเมชที่มีค่าความละเอียดสูงสุดในงานที่ทำการทดลองคุณสมบัติ คอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณมีรายละเอียดดังนี้คือ 1. Intel(R) Xeon(R) W-2223 CPU @ 3.60GHz, 2. RAM 16 GB, 3. Windows 10 Pro 64 –Bit โดยใช้เวลาในการดำเนินการที่ 198-200 วินาทีในการทำอัตราการแลกเปลี่ยน 1 รอบ



มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

รูปที่ 3.9 แสดงลักษณะของเมชแบบ Fine Mesh

บทที่ 4

ผลการทดลอง

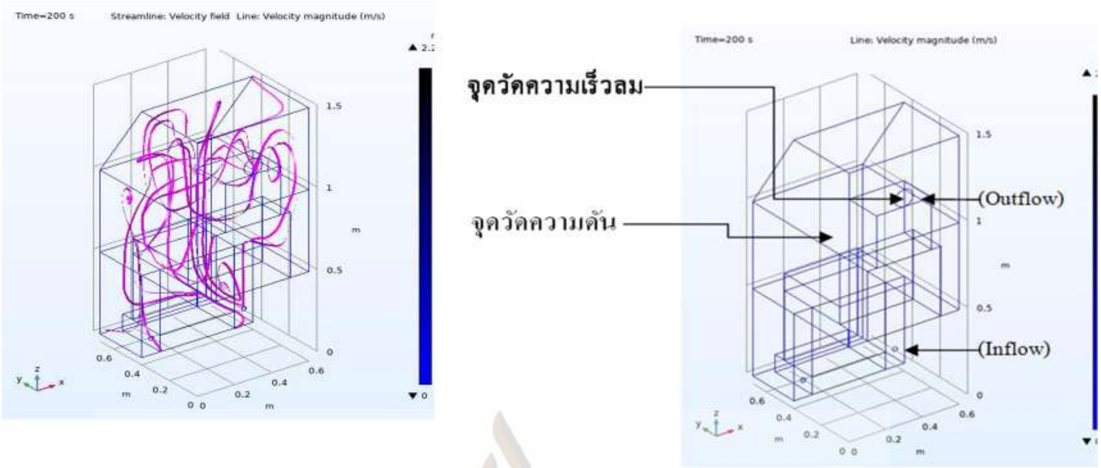
ในบทนี้จะแสดงผลการทดลองทั้ง 2 แบบคือ ผลจากการจำลองในรูปแบบ 3D ด้วยโปรแกรม Comsol Multiphysics และผลจากการทดสอบจากตู้รถเข็นเคลื่อนย้ายผู้ป่วยโรคทางเดินหายใจความดันลบต้นแบบที่เพื่อเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ต่างๆ

4.1 ผลการจำลองในรูปแบบ 3D ด้วยโปรแกรม Comsol Multiphysics เปรียบเทียบ 2 รูปทรง

ผลการจำลองด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์นี้ได้ทำการออกแบบตู้รถเข็นเคลื่อนย้ายผู้ป่วยโรคทางเดินหายใจความดันลบ แบบ 3D ที่มีรูปทรงที่แตกต่างกัน 2 แบบ คือแบบ3D ในรูปที่ 4.1 ที่มีลักษณะรูปทรงสี่เหลี่ยมคางหมูและแบบ3D ในรูปที่ 4.2 ที่มีลักษณะรูปทรงสี่เหลี่ยม โดยทั้งภายในแบบทั้งสองรูปทรงจะมีการออกแบบช่องสำหรับกำหนดทิศทางของช่องอากาศไหลเข้าตรงตำแหน่งแบบด้านบนเหนือศีรษะและช่องอากาศไหลตรงตำแหน่งด้านหลังศีรษะ ซึ่งได้ผลการจากการจำลองดังนี้

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

4.1.1 ผลการจำลองทิศทางการไหลของอากาศและความดันอากาศของแบบ 3D รูปทรงสี่เหลี่ยมคางหมู

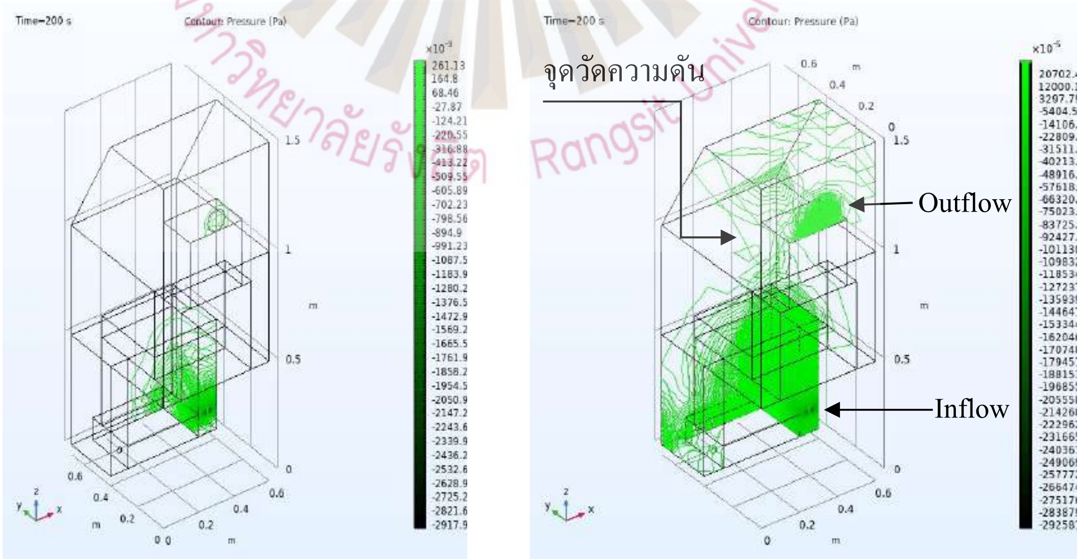


ก.แสดงลักษณะการไหลของอากาศในระนาบ x,y,z ข.แสดงจุดวัดอัตราการไหล

รูปที่ 4.1 แสดงลักษณะStreamline Velocity ที่เวลา 200 วินาทีของรูปทรงสี่เหลี่ยมคางหมู

จากรูปที่ 4.1 ก. จากการจำลองการไหลของอากาศพบว่าการไหลของอากาศจากช่องอากาศไหลเข้าไปสู่ช่องอากาศไหลออกนั้นมีแนวโน้มของการไหลเวียนที่ราบเรียบมีอัตราการไหลของอากาศที่ค่อนข้างสม่ำเสมอโดยมีค่าอัตราการไหลเฉลี่ย 0.3 m/s และมีลักษณะการเกิดการไหลแบบปั่นป่วนเล็กน้อยในบริเวณจุดกึ่งกลางตู้อันเนื่องมาจากการบังคับการไหลตามลักษณะของรูปทรงของตู้ที่ได้ออกแบบ

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

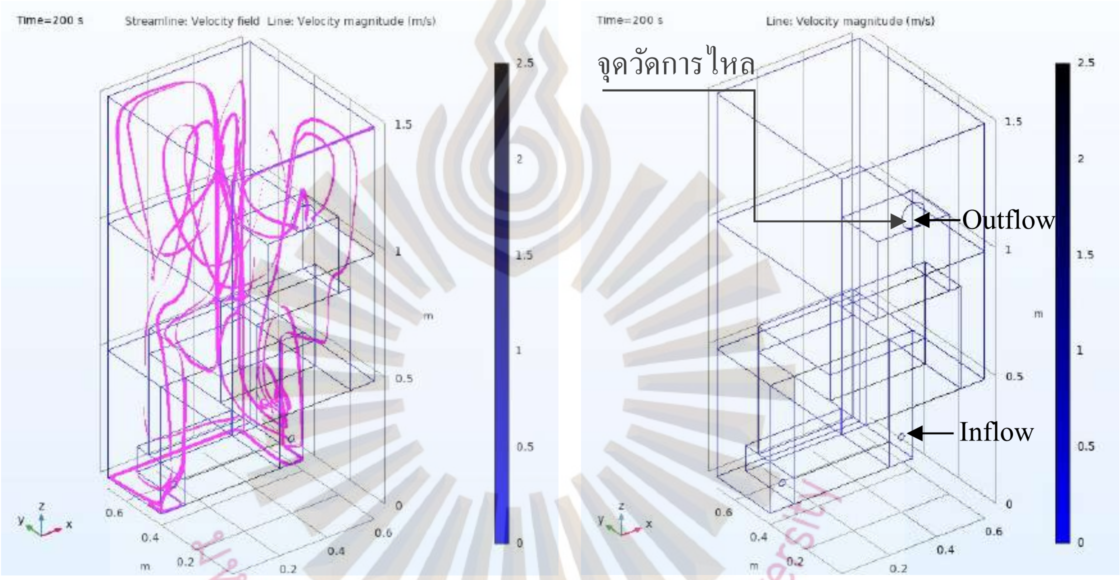


ก.แสดงการเกิดความดันลบในระนาบ x,y,z ข.แสดงจุดวัดความดันลบ

รูปที่ 4.2 แสดงลักษณะของความดันจุดต่างๆที่เวลา 200 วินาทีของรูปทรงสี่เหลี่ยมคางหมู

จากรูปที่ 4.2 ก. และ ข จากการจำลองการไหลของอากาศพบว่าเมื่อเกิดการไหลของอากาศจากช่องอากาศไหลเข้าไปสู่ช่องอากาศไหลออกนั้นมีผลการจำลองของความดันสูงสุดจะเกิดบริเวณตรงกลางทางช่องลมเข้าอยู่ที่ -2.92 Pa และน้อยสุดที่บริเวณพื้นผิวที่ -0.28 Pa ค่าที่ได้มากกว่ามาตรฐานที่กำหนด

4.1.2 ผลการจำลองทิศทางการไหลของอากาศและความดันอากาศของแบบ 3D รูปทรงสี่เหลี่ยม

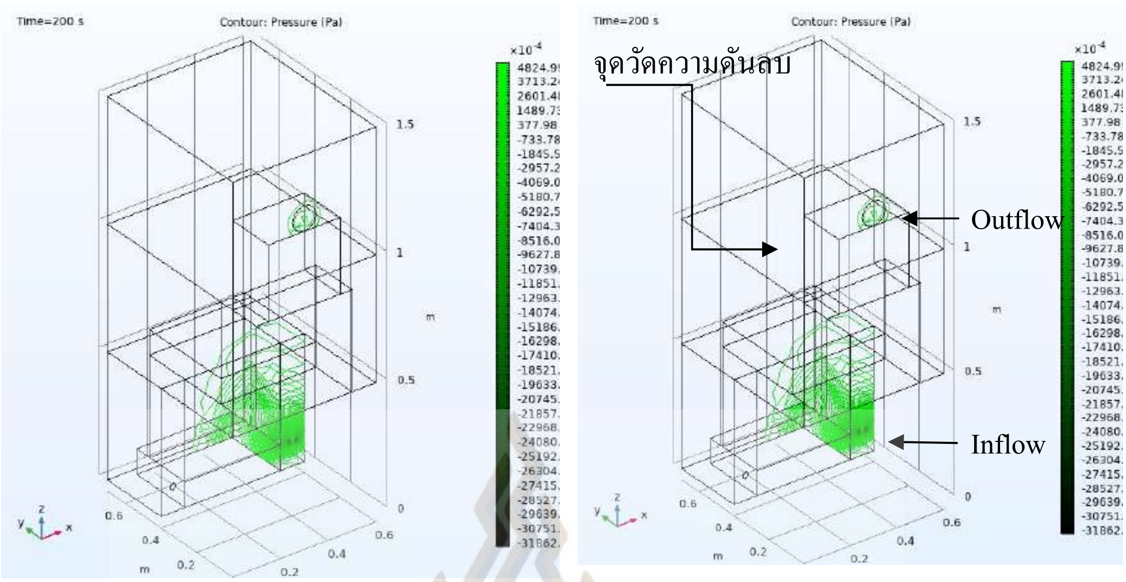


ก.แสดงลักษณะการไหลของอากาศในระนาบ x,y,z ข.แสดงจุดวัดอัตราการไหล

รูปที่ 4.3 แสดงลักษณะ Streamline Velocity ที่เวลา 200 วินาทีของรูปทรงสี่เหลี่ยม

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

จากรูปที่ 4.3ก. และ ข. จากการจำลองการไหลของอากาศพบว่าการไหลของอากาศจากช่องอากาศไหลเข้าไปสู่ช่องอากาศไหลออกนั้นมีแนวโน้มของการไหลเวียนที่ราบเรียบมีอัตราการไหลของอากาศที่ค่อนข้างสม่ำเสมอโดยมีค่าอัตราการไหลเฉลี่ย 0.3 m/s และมีลักษณะการเกิดการไหลแบบปั่นป่วนเล็กน้อยในบริเวณจุดกึ่งกลางตู้อันเนื่องมาจากการบังคับการไหลตามลักษณะของรูปทรงของตู้ที่ได้ออกแบบ



รูปที่ 4.4 แสดงลักษณะของความดันจุดต่างๆที่เวลา 200 วินาทีของรูปทรงสี่เหลี่ยม

จากรูปที่ 4.4 ก. และ ข จากการจำลองการไหลของอากาศพบว่าเมื่อเกิดการไหลของอากาศจากช่องอากาศไหลเข้าไปสู่ช่องอากาศไหลออกนั้นมีผลการจำลองของค่าความดันสูงสุดจะเกิดบริเวณตรงกลางทางช่องลมเข้าอยู่ที่ -3.15 Pa และน้อยสุดที่บริเวณพื้นผิวที่ 0.51 Pa ค่าที่ได้มากกว่ามาตรฐานที่กำหนด

4.2 ผลการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์โปรแกรม Comsol Multiphysics

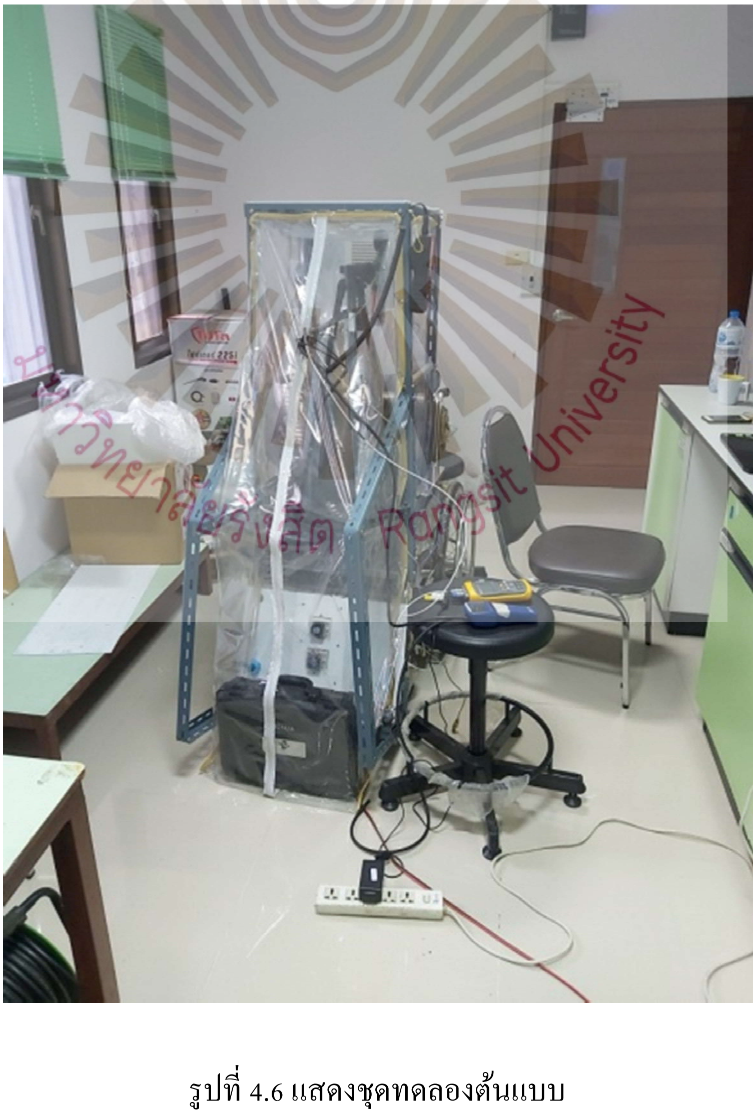
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองด้วยโปรแกรม Comsol Multiphysics

เวลา (s)	ความเร็วลม (m/s)	ความดัน (Pa)	การแลกเปลี่ยนอากาศ (ACH)
0	0.000	0.000	0
20	0.300	-2.990	0.10
40	0.300	-2.974	0.20
60	0.300	-2.977	0.30
80	0.300	-3.001	0.40
100	0.300	-2.990	0.50
120	0.300	-2.921	0.60
140	0.300	-2.926	0.70

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองด้วยโปรแกรม Comsol Multiphysics (ต่อ)

เวลา (s)	ความเร็วลม (m/s)	ความดัน (Pa)	การแลกเปลี่ยนอากาศ (ACH)
160	0.300	-2.927	0.81
180	0.300	-2.926	0.91
200	0.300	-2.926	1
3,600	0.300	-2.956	18.24
ค่าเฉลี่ย	0.300	-2.687	18.24
ค่ามาตรฐาน	-	≥-2.5	≥12

4.3 ผลการทดสอบตู้รถเข็นเคลื่อนย้ายผู้ป่วยโรคทางเดินหายใจความดันลบต้นแบบ



รูปที่ 4.6 แสดงชุดทดลองต้นแบบ

รูปที่ 4.7 แสดงการทดสอบด้วยชุดสร้างควัน (Smoke Generator)

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองจากชุดจำลองต้นแบบ

เวลา(s)	0	30	60	90	120	150	180	200	ค่าเฉลี่ย
เสียง(dB)	0	59	61.6	62	60.9	61	60.9	60.9	60.9
อุณหภูมิด้านนอก T1 (C^0)	0	23.69	25.10	25.54	23.88	23.27	23.84	24.22	24.22
อุณหภูมิด้านใน T2 (C^0)	0	27.294	25.119	24.815	24.889	24.900	24.967	25.333	25.331
ความดัน(Pa)	0	-4.1	-3.9	-3.9	-3.9	-3.8	-3.8	-3.90	-3.90
ปริมาณลมที่วัดได้(m/s)	0	0.29	0.32	0.29	0.3	0.28	0.3	0.30	0.29
อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ	0	0.15	0.32	0.44	0.61	0.71	0.91	1.01	1.00
กระแสไฟฟ้าที่ใช้ (A)	0	4.22	4.21	4.2	4.21	4.23	4.22	4.22	4.21
แรงดันไฟฟ้าที่ใช้ (V)	0	24.51	24.51	24.51	24.5	24.5	24.5	24.51	24.50
อุณหภูมิแวดล้อม(C^0)	0	26	25.2	24.8	24.9	24.6	24.8	25.05	25.05
ความชื้นสัมพัทธ์%RH	0	66.4	66.4	65.9	65.5	65.2	65.3	65.78	65.78

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

4.4 ผลการทดลองจากทฤษฎีเทียบกับผลการจำลอง

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองจากทฤษฎีเทียบกับผลการจำลอง

ค่าพารามิเตอร์	จากการคำนวณ	ผลการจำลองด้วยโปรแกรม	ผลการทดลอง	ค่ามาตรฐาน
อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ (ACH)	12.17	18.25	18.05	12
ความดันภายใน (Pa)	>-4.98	-0.29	-3.9	≥-2.5
ความดังของเสียงภายใน (dB)	-	-	60.9	<85

ผลการทดลองจากทฤษฎีเทียบกับผลการจำลองทั้งสามรูปแบบคือจากการคำนวณ จากการจำลองด้วยโปรแกรม COMSOL Multiphysics และการทดลองด้วยตู้รถเข็นเคลื่อนย้ายผู้ป่วยโรคทางเดินหายใจความดันลบต้นแบบซึ่งสิ่งที่สามารถทำได้ตามมาตรฐานคืออัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ (ACH)ที่สามารถทำได้มากกว่า 12 รอบต่อชั่วโมง ในส่วนความดันภายในที่เกิดขึ้นไม่สามารถทำได้ตามเกณฑ์คือการจำลองด้วยโปรแกรม COMSOL Multiphysics สามารถทำได้ -0.29 Pa ณ ความดันสูงสุดเกิดขึ้นบริเวณตรงกลางทางช่องลมเข้าอยู่ที่ -2.92 Pa การจำลองด้วยโปรแกรมมีขนาดของตู้รถเข็น ฯคงที่ตลอดเวลาแต่ขนาดของตู้รถเข็นเคลื่อนย้ายผู้ป่วยโรคทางเดินหายใจความดันลบต้นแบบมีการเปลี่ยนปริมาตรของตู้รถเข็น ฯตามที่พัดลมทำงานทำให้ปริมาตรลดลงจากที่ออกแบบไว้ที่ 0.465 m3เนื่องจากวัสดุที่ใช้เป็นผ้าพลาสติกทำให้มีการหดตัวลง

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบตู้ขนย้ายผู้ป่วยโรคทางเดินหายใจความดันลบในลักษณะ 3D โดยใช้หลักการทางไฟไนต์เอลิเมนต์มีการจำลองทางคอมพิวเตอร์เพื่อนำผลที่ได้ไปปรับปรุงในการออกแบบก่อนดำเนินการสร้างตู้ขนย้ายผู้ป่วยโรคทางเดินหายใจความดันลบต้นแบบที่สอดคล้องกับมาตรฐานระบบปรับอากาศและระบายอากาศของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์//ในการทดลองด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์นี้ใช้โปรแกรม COMSOL Multiphysics มาทำการสร้างแบบจำลอง 3D ภายหลังที่มีการเลือกรูปทรงของห้องโดยสารตามรูปที่ 3.5 มีการกำหนดค่าคุณสมบัติจำเพาะต่าง ๆของวัสดุภายในการทดลองการกำหนดเงื่อนไขต่าง ๆ เวลา 198 วินาทีในการแลกเปลี่ยนอากาศ 1 รอบ (ACH) ความดันที่ช่องลมเข้า (Inflow) 0 Pa ความเร็วลมที่ช่องลมออก 0.3 m/s เท่ากับ1.184 kg/m3 และ μ เท่ากับ 18.49x10-6 Pa·s มุ่งควบคุมพารามิเตอร์ที่สำคัญ 2 ตัวคืออัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ (ACH) และความดันภายใน (Pa) ผลการทดลองการไหลเวียนอากาศของความเร็วลมและกระแสลมที่เวลา 200 วินาทีลักษณะ การไหลของอากาศจะหมุนวนบางส่วนที่บริเวณหน้าตักแล้วออกทางด้านหลังศีรษะ รูปทรงสี่เหลี่ยมคางหมูจะช่วยเรียงกระแสลมไม่ให้ไหลแบบปั่นป่วน ความดันลบสูงสุดจะเกิดบริเวณตรงกลางทางช่องลมเข้าอยู่ที่ -4.19 Pa และน้อยสุดที่บริเวณพื้นผิวที่ -0.29 Pa อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ 18.25 รอบต่อชั่วโมง (ACH) ค่าที่ได้มากกว่ามาตรฐานที่กำหนดทั้งสองค่า ในส่วนตู้รถเข็นเคลื่อนย้ายผู้ป่วยต้นแบบผลการทดลองทำได้คืออัตราการแลกเปลี่ยนอากาศทำได้ 18.05 รอบต่อชั่วโมง (ACH) และความดันลบสามารถทำได้ -3.9 Pa

ซึ่งทั้งสองรูปแบบคือการจำลองด้วยโปรแกรม COMSOL Multiphysics และตู้รถเข็นเคลื่อนย้ายผู้ป่วยต้นแบบสามารถทำอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ (ACH)ได้ใกล้เคียงกันโดยการจำลองด้วยโปรแกรม COMSOL Multiphysics ทำได้ 18.25 รอบต่อชั่วโมงและตู้รถเข็นเคลื่อนย้ายผู้ป่วยต้นแบบสามารถทำอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ (ACH) ทำได้ 18.05 รอบต่อชั่วโมงสอง

รูปแบบมากกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดที่กำหนดไว้ 12 รอบต่อชั่วโมง ในส่วนของความดันโดยความดันลบการจำลองด้วยโปรแกรม COMSOL Multiphysics ความดันสูงสุดจะเกิดบริเวณตรงกลางทางช่องลมเข้า -2.92 Pa และตู้รถเข็นเคลื่อนย้ายผู้ป่วยต้นแบบสามารถสามารถวัดค่าได้ -3.9 Pa ต่างกัน 1 Pa โดยสิ่งที่ค่อนข้างต่างกันคือความดันลบภายใน ณ จุดที่ทำการวัดความดันลบผลการจำลองด้วยโปรแกรม COMSOL Multiphysics สามารถวัดค่าได้ประมาณ -0.20 Pa มีการกระจายความหนาแน่นความดันลบมากที่สุดจะเกิดที่ช่องทางเข้าอากาศแล้วค่อยๆลดลงตามระยะทางที่ห่างออกไปและจะมีความดันเป็นบวกที่บริเวณช่องทางออกของการจำลองด้วยโปรแกรม COMSOL Multiphysics ค่าความดันที่เกิดขึ้นที่ตู้รถเข็นเคลื่อนย้ายผู้ป่วยในแต่ละจุดไม่เท่ากันค่าเฉลี่ยความดันอยู่ที่ -0.2 Pa มีระดับความดังเสียงอยู่ที่ 60.9 dB ตู้รถเข็นเคลื่อนย้ายผู้ป่วยโรคทางเดินหายใจความดันลบสามารถนำไปใช้ในการเคลื่อนย้ายผู้ป่วยที่เป็นทางเดินหายใจผู้ป่วยโดยสามารถควบคุมพารามิเตอร์ของค่าความดันลบ การแลกเปลี่ยนอากาศ และความดังของเสียงอยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด

5.2 ข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัยในอนาคต

การเปรียบเทียบผลจำลองจากการออกแบบ 3D และผลจากการทดลองตู้รถเข็นเคลื่อนย้ายผู้ป่วยโรคทางเดินหายใจความดันลบต้นแบบในครั้งนี้จะเห็นได้ว่าตู้รถเข็นที่มีรูปทรงคางหมูสามารถนำไปใช้ในการออกแบบและสร้างเพื่อวัตถุประสงค์ในการใช้งานเคลื่อนย้ายผู้ป่วยที่เป็นโรคทางเดินหายใจได้ ซึ่งจะช่วยเพื่อเพิ่มความปลอดภัยผู้ป่วยและบุคคลรอบข้างในระหว่างการเคลื่อนย้าย แต่อย่างไรก็ดีในการเคลื่อนย้ายผู้ป่วยโรคทางเดินหายใจก็ต้องปฏิบัติตามหลักการของการควบคุมการติดเชื้อและควรสวมหน้ากากอนามัยให้กับผู้ป่วยในระหว่างเคลื่อนย้ายควบคู่ไปด้วยเพื่อลดโอกาสในการแพร่เชื้อทางอากาศ จากการทดลองพบว่าในอนาคตควรจะมีการพัฒนาต่อยอดโดยการลดอุณหภูมิภายในตู้ประมาณ 25.33 องศาเซลเซียส ด้วย Peltier Plate ที่มีขนาดเล็กและกินกระแสน้อย เพื่อช่วยให้ผู้ป่วยได้รับอุณหภูมิที่เหมาะสมไม่รู้สึกอึดอัดมีความสบายตัว รวมไปถึงควรมีการติดตั้งชุดหลอด UV ไว้ในในกล่อง HEPA Filter เพื่อช่วยในการฆ่าเชื้อ และควรมีการพัฒนาชุดรีโมทควบคุมชุดขับเคลื่อนล้อตู้รถเข็นโดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้าที่มีขนาดเล็กและรองรับน้ำหนักผู้ป่วยได้มากกว่า 100 กิโลกรัมขึ้นไป เพื่อช่วยอำนวยความสะดวกในการใช้งานได้มากยิ่งขึ้น

บรรณานุกรม

กรมสนับสนุนบริการสุขภาพ กองวิศวกรรมการแพทย์. (2553). *คู่มือการใช้งานห้องแยกโรคผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศ* (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด.

กรมสนับสนุนบริการสุขภาพ กองวิศวกรรมการแพทย์. (2560). *รถเข็นผู้ป่วยควบคุมการแพร่กระจายเชื้อทางอากาศ*. สืบค้นจาก http://203.157.80.80/edoc/myfile/20210126184127_Isolate%20Weelchair.pdf

การศึกษาพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของจานเบรกด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์. (ม.ป.ป.) สืบค้นจาก จาก https://repository.rmutp.ac.th/bitstream/handle/123456789/2544/ENG_61_05.pdf? sequence=1&isAllowed=y

จริยา แสงสัจจา,และทรงยศ ภารดี. (2550). *คู่มือการปรับปรุงคุณภาพอากาศภายในสถานพยาบาล*. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์สำนักงานพระพุทธศาสนาแห่งชาติ.

จริยา แสงสัจจา, ภัทร วัฒนธรรม, และวราภรณ์ เทียนทอง. (2560). *คู่มือการปรับปรุงคุณภาพอากาศภายในสถานพยาบาล*. กรุงเทพฯ:สำนักพิมพ์อักษรกราฟฟิคแอนด์ดีไซน์.

ณัฐ ดวงรัตนประทีป, พิมพ์เดือน รังสิยากูล, ชาย รังสิยากูล, และกุลภพ สุทธิอาจ. (2561). ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์และการประยุกต์ใช้ในทางทันตกรรมรากเทียม. *เชียงใหม่ทันตแพทยสาร, 39*(3), 29-42.

ธัญดร ออกวะลา. (2553). *กลศาสตร์ของไหล*. สืบค้นจาก http://irre.ku.ac.th/books/pdf/19.pdf

ปิยวัฒน์ ทัพสนิท. (2562). *แผ่นเพวเทียร์ทำความเย็นได้ด้วยตัวเองโดยไม่ใช้พลังงานไฟฟ้าจากภายนอก*. สืบค้นจาก http://www.thaiphysoc.org/article/100/

มนต์ศักดิ์ พิมสาร. (ม.ป.ป.). *ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์*. สืบค้นจาก http://eng.sut.ac.th/me/box/2_54/435301/IntroductionFEM.pdf

มนัส รัตนสุวรรณ์. (2562). *ตู้ควบคุมป้องกันการแพร่กระจายเชื้อจุดพ่นยา*. สืบค้นจาก http://medi.moph.go.th/km/rdc.pdf

ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์. (ม.ป.ป.) สืบค้นจาก http://cmuir.cmu.ac.th/bitstream/6653943832/20619/6/arc1051pp_ch3.pdf

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

บรรณานุกรม (ต่อ)

โรงพยาบาลทองแสนขัน สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดอุตรดิตถ์. (2563). *คู่มือการป้องกันและควบคุมการแพร่กระจายเชื้อในโรงพยาบาล (Isolation Precautions).* สืบค้นจาก http://www.thongsaenkhan.go.th/web/images/EB26-TSK.pdf

วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์.(2559). *มาตรฐานระบบปรับอากาศและระบายอากาศ* (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ:โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สมาคมอาชีวอนามัยและความปลอดภัยในการทำงาน (ส.อ.ป.) (2563). *คู่มือการจัดการ COVID–19 สำหรับสถานประกอบกิจการ*. สืบค้นจาก https://www.ohswa.or.th/attachments/ view/?attach_id=241857

Establishing Airborne infection isolation rooms (AIIR)& Protective Environments(PE).(n.d.) Retrieved from https://www.berriman.com/negative_pressure_isolation.htm

Ginalski, M. K., Nowak, A. J., & Wrobel, L. C. (2007). A combined study of heat and mass transfer in an infant incubator with an overhead screen. *Medical engineering & physics*, *29*(5), 531-541.

Ginalski, M. K. (2007). Numerical analysis of heat and mass transfer processes within an infant incubator (Doctoral dissertation, Silesian University of Technology) Retrieved from https://www.semanticscholar.org/paper/Numerical-analysis-of-heat-and-mass-transfer-within-Ginalski/4a8497692c4875d36c118d8ba748dbadb7d40768

Leung, A. Y. T., Tsui, W. S., Xu, J. N., & Lo, J. (2007). Nasal airflow simulations in models derived from cone beam and spiral ct scans by using CFD. *J. Applied Mathematics and Mechanics*, *3*(3), 49-61.

Limtrakarn, W., Reepolmaha, S., & Boonrat, K. (2005). Temperature prediction in anterior chamber of eye during ultrasonic phacoemulsification using node less finite element method. *Proceedings of national meeting on biomedical engineering,* 37.

Room Pressurization Control Methods - Volumetric Airflow Tracking vs. *Differential Pressure Sensing.* (2009). Retrieved from https://www.semanticscholar.org/paper/Room-Pressurization-Control-Methods- vs./29bc106d4d2575e5af9a73a9a159fcaabb71b12d

Schilling, A., Zhang, X., & Bossen, O. (2019). Heat flowing from cold to hot without external intervention by using a “thermal inductor”. *Science advances*, *5*(4), eaat9953.

บรรณานุกรม (ต่อ)

Segerlind, L. J. (1991). *Applied finite element analysis*. US: John Wiley & Sons.

Wongkamhang, A., Phasukkit1, P., Pintuviroj1, C., Prasantamrongsiri, S., Sanpanich, A., & Thongpance, N. (2013). Design and Simulation of Air Flow Inside Double Wall Infant Incubator By Using 3D FEM; Case Study for Multi Inflow and Outflow Slot. *Proceedings of Biomedical Engineering International Conference (BMEiCON-2013)*, 1-4.

Wongkamhang, A., Phasukkit1, P., Airphaiboon, S., Pintavirooj, C., Thongpance, N., & Sanpanich, A. (2012). 3D Finite Element Analysis of Heat Transfer Efficiency in Double Wall Infant Incubator. *Proceedings of Biomedical Engineering International Conference (BMEiCON-2012),* 1-4.

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ	สายชล กองทอง
วัน เดือน ปีเกิด	25 กุมภาพันธ์ 2514
สถานที่เกิด	จังหวัดสระบุรี ประเทศไทย
ประวัติการศึกษา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า (ไฟฟ้ากำลัง), 2544 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ปริญญาตรีหลักสูตรเทคโนโลยีบัณฑิต สาขาวิชา เทคโนโลยีอุตสาหกรรม (เทคโนโลยีไฟฟ้า), 2554 มหาวิทยาลัยรังสิต ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมชีวการแพทย์, 2565
ที่อยู่ปัจจุบัน	407 ถ.ยุติธรรม ต.หน้าเมือง อ.เมือง จ.ราชบุรี 70000
สถานที่ทำงาน	ศูนย์สนับสนุนบริการสุขภาพที่ 5
ตำแหน่งปัจจุบัน	วิศวกรไฟฟ้า ระดับปฏิบัติการ

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University