



การศึกษาเปรียบเทียบการไหลของอากาศภายในตู้รถเข็นเคลื่อนย้ายผู้ป่วยโรคทางเดินหายใจความดัน  
ลบด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แบบ 3D

A Comparative Study of Air Flow Inside a Wheelchair for Transporting Patients with Negative  
Pressure Respiratory Disease Using 3D Finite Element Method.

สายชล กองทอง<sup>1</sup>ศนิ บุญญกุล<sup>2</sup> และ อนันตศักดิ์ วงศ์กำแหง<sup>3</sup>

<sup>1</sup>หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตวิทยาลัยวิศวกรรมชีวการแพทย์ มหาวิทยาลัยรังสิต, อีเมล: arjamsai@gmail.com

<sup>2</sup>วิทยาลัยวิศวกรรมชีวการแพทย์ มหาวิทยาลัยรังสิต, อีเมล: sani@rsu.ac.th

<sup>3</sup>วิทยาลัยวิศวกรรมชีวการแพทย์ มหาวิทยาลัยรังสิต, อีเมล: anantasak.w@rsu.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้ศึกษาการไหลของอากาศภายในรถเข็นสำหรับการขนส่งผู้ป่วยโรคระบบทางเดินหายใจแรงดันลบโดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แบบ 3D นายสายชล กองทอง นักศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตวิทยาลัยวิศวกรรมชีวการแพทย์ มหาวิทยาลัยรังสิตได้จำลองการไหลของอากาศ ความดัน และการแลกเปลี่ยนอากาศอย่างเหมาะสมก่อนการสร้างจริง การใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ 3D ช่วยให้สามารถเลือกรูปร่างได้อย่างเหมาะสมที่สุดและลดเวลาในการออกแบบและเหมาะสมในการใช้งาน ซึ่งรูปทรงที่ 1 จะให้กระแสลมที่เหมาะสมที่สุด การแลกเปลี่ยนอากาศ (ACH) 404 รอบ/ชั่วโมง ความดันภายใน -4.9 Pa และความดังเสียงภายใน 60.9 dB เป็นไปตามมาตรฐานการปรับอากาศและการระบายอากาศที่กำหนด (2016)

คำสำคัญ: ไฟไนต์เอลิเมนต์แบบ 3D, การไหลเวียนอากาศ, อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ

ABSTRACT

This paper examines the air flow inside the wheelchair for transporting patients with negative pressure respiratory disease by using 3D Finite Element Method. Mr. Saichon Kongtong, a student in the Master of Engineering Program at the School of Biomedical Engineering, Rangsit University has simulated air flow, pressure and air exchange. appropriately before the actual creation The use of the 3 D finite element method allows for optimum shape selection. And reduce design time and find the right place to use, which the 1<sup>st</sup> shape will provide optimum airflow. Air exchange (ACH) 404 cycles/hour, internal pressure -4.9 Pa and internal sound pressure 60.9 dB meet specified Air Conditioning and Ventilation Standards (2016).

**Keywords:** 3D Finite Element method, Optimum airflow, Air exchange rate



## 1. บทนำ

ในปัจจุบันนี้มีการค้นพบผู้ที่ป่วยโรคทางเดินหายใจมากขึ้นอันเกิดจากการเคลื่อนย้ายแรงงานจากประเทศเพื่อนบ้านข้างเคียง การท่องเที่ยวต่างประเทศ การเตรียมความพร้อมของทางกระทรวงสาธารณสุขในการรับมือโรคทางเดินหายใจในโรงพยาบาลจะมีการคัดกรองเบื้องต้นก่อนเข้ารับการรักษาซึ่งปัจจุบันโรคโควิด-19(COVID-19)ที่แพร่ระบาดทั่วโลกทำให้มีการคัดกรองที่เข้มข้นมากขึ้นข้อมูลที่ได้รับทราบ เมื่อปี 2549 เริ่มมีการก่อสร้างห้องแยกโรคทางเดินหายใจขึ้นมา โดยทางกองวิศวกรรมการแพทย์ กรมสนับสนุนบริการสุขภาพ กระทรวงสาธารณสุขได้มีการตัดแปลงห้องพิเศษทางด้านท้ายตึกขึ้นมาเป็นห้องแยกโรคทางเดินหายใจด้วยพื้นที่ขนาด 23.36 ตารางเมตร(3.2 x 7.3 ม.)ชื่อแบบ วศ.1/2549 และ วศ.2/2549 (กองวิศวกรรมการแพทย์ กรมสนับสนุนบริการสุขภาพ, 2553,หน้า 3-4) ขึ้นมา จากข้อกำหนดที่กำหนดเบื้องต้นในการคัดเลือกห้องจะต้องเป็นด้านท้ายตึกซึ่งขนาดอาคารขนาดกว้าง 27.5 เมตร ยาว 44.0 เมตร ซึ่งเป็นผลทำให้การเคลื่อนย้ายผู้ป่วยบางโรงพยาบาลจำเป็นต้องผ่านพื้นที่สะอาดผ่านผู้ป่วยที่มาขอรับการรักษาและมีการใช้ลิฟต์ขนส่งร่วมกันทำให้มีโอกาสที่จะไป ปนเปื้อนกับผู้ป่วยรายอื่นหรือผู้ใช้บริการโรงพยาบาล ในการเคลื่อนย้ายโดยทั่วไปที่พบเห็นจะใช้แคปซูลหรือชุดสวมใส่มาช่วยในการเคลื่อนย้ายทางกองวิศวกรรมการแพทย์ กรมสนับสนุนบริการสุขภาพ กระทรวงสาธารณสุข มีการสร้าง“รถเข็นผู้ป่วยควบคุมการแพร่กระจายเชื้อทางอากาศ”(กองวิศวกรรมการแพทย์ กรมสนับสนุนบริการสุขภาพ, 2560)ซึ่งจะเป็นแบบครั้งกันคลุมครั้งตัว

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นในการออกแบบชุดขนย้ายผู้ป่วยโรคทางเดินหายใจไปยังจุดที่ทำการรักษาหรือไปยังที่ห้องแยกโรคเพื่อเสียดูดอากาศในระยะทางสั้นๆไม่เกิน 20 นาที เหมือนการยื้อห้องแยกโรคขนาดใหญ่ลงมาเป็นห้องโดยสารแบบเคลื่อนที่ได้ โดยคิดความเร็วเฉลี่ยในการเดินของมนุษย์จะอยู่ที่ 1.39 เมตร/วินาที หรือ 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เหมาะกับผู้ป่วยที่ไม่สามารถเดินเองได้หรือร่างกายอ่อนแอเพื่อป้องกันไม่ให้เชื้อโรคทางเดินหายใจไปติดกันโดยใช้หลักการในการทำความดันลบในห้องโดยสารของรถเคลื่อนย้ายและรถเข็นเป็นแบบครอบเต็มคันและความพิเศษที่เพิ่มขึ้นมาคือมีการทดลองปรับอากาศทำความเย็นในห้อง โดยมีการจำลองโดยใช้วิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์ มีศึกษา งานวิจัยที่เกี่ยวข้องเช่น การไหลของอากาศภายในตู้รถเด็ก(A. Wongkamhang et al., 2012)และศึกษาการถ่ายเทความร้อนที่เกิดจากการนำ การพา การแผ่รังสี และการระเหย ภายในตู้รถเด็กแบบผนังสองชั้น(A. Wongkamhang et al., 2013)และใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Comsol Multiphysics มาช่วยจำลองในการออกแบบชุดการไหลเวียนอากาศที่เหมาะสม ความดันในห้องและอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด

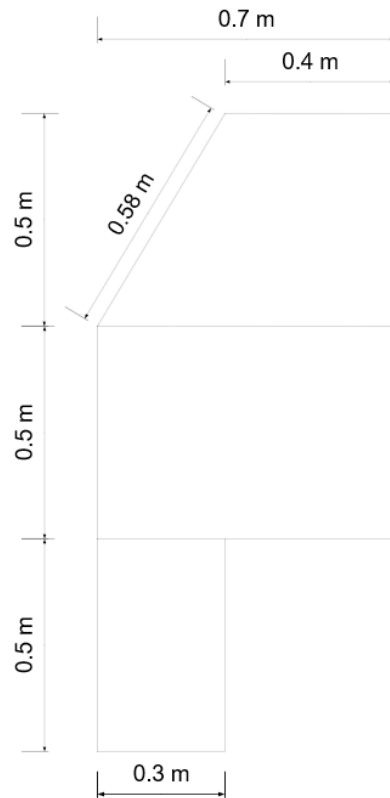
บทความที่นำเสนอในครั้งนี้ จะประกอบด้วย ส่วนที่ 1 บทนำ ในส่วนที่ 2 การออกแบบตู้รถเข็นเคลื่อนย้ายผู้ป่วยโรคทางเดินหายใจความดันลบส่วนที่ 3 ทฤษฎีของไหลส่วนที่ 4 รูปแบบการวิเคราะห์ FEM ส่วนที่ 5 ผลการจำลองจะประกอบด้วย ผลจากการจำลองเสมือนจริงของตู้รถเข็นเคลื่อนย้ายผู้ป่วยโรคทางเดินหายใจความดันลบด้วยโปรแกรม Comsol Multiphysics ส่วนที่ 6 การอภิปรายและ ส่วนที่ 7 สรุปเป็นเสนอสุดท้าย

## 2. การดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยดำเนินการ 2 ส่วนคือสร้างต้นแบบจำลองและการจำลองด้วยโปรแกรม

### 2.1 การออกแบบตู้รถเข็นเคลื่อนย้ายผู้ป่วยโรคทางเดินหายใจความดันลบ

ในการทดลองนี้เลือกใช้รูปทรงดังรูปที่ 1 มาเป็นต้นแบบจำลองต้นแบบโดยมีขนาดสัดส่วนดังตารางที่ 1



SIDE VIEW

รูปที่ 1 แสดงขนาดและภาพรวมของห้อง

ตารางที่ 1 ขนาดของชุดทดลองต้นแบบ

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

## 2.2 ทฤษฎีกลศาสตร์ของไหลและการวิเคราะห์การไหลของอากาศ

### 2.2.1 ระบบสมการย่อยนาเวียร์-สโตกส์ (Navier-Stokers Equation)

กลศาสตร์ของไหลที่นำมาใช้ในการอธิบายการเคลื่อนที่ของของไหลไม่ว่าจะเป็นของเหลวหรือก๊าซคือสมการ Navier-Stokers (อนันตศักดิ์ วงศ์กำแหง, 2558, หน้า 16) มีรูปดังสมการที่ (1)



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

โดยที่กำหนดสัญลักษณ์ของพารามิเตอร์ต่างๆ ดังนี้

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

$t$  คือเวลามีหน่วยเป็นวินาที (s)

$\rho$  คือ ความหนาแน่นของของไหล ( $m^3/kg$ )

$\eta$  คือค่าความหนืดของไหล (Pa.S)

$P$  คือ ความดันในการไหล ( $kg / (m \cdot s)$ )

$F$  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)

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

$$\nabla \cdot \mathbf{u} = 0$$

โดยที่กำหนดสัญลักษณ์ของพารามิเตอร์ต่างๆ ดังนี้

$\mu$  คือ ความหนืดไดนามิก ( $kg / (m \cdot s)$ )

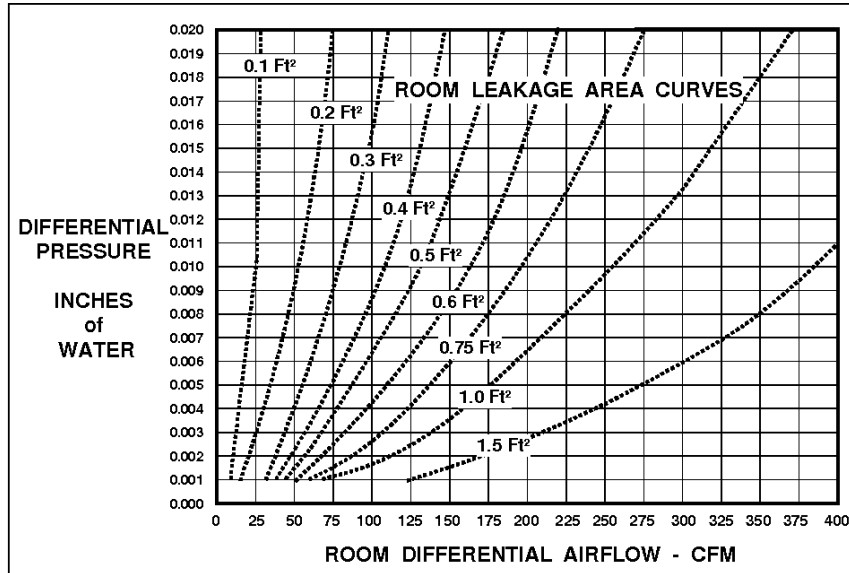
$\mathbf{u}$  คือ ความเร็วของของไหล ( $m / s$ )

$\rho$  คือ ความหนาแน่นของของเหลว ( $kg / m^3$ )

$p$  คือ ความดัน (Pa)

### 2.2.3 Room Differential Airflow vs Differential Pressure for Various Room Leakage

Areas.



รูปที่ 2 Room Differential Airflow vs Differential Pressure for Various Room Leakage Areas. (K.Phalak, 2009)

รูปที่ 2 นี้สามารถใช้ในการหาความดันในห้องโดยใช้การรั่วไหลของอากาศในห้องห้องโดยสารโดยคิดจากช่องเดิมอากาศ(รูรั่วไหล) หากจากความสามารถพัดลมและรัศมีของท่อดูด จากปริมาตรตู้รถเข็นเคลื่อนย้ายผู้ป่วยโรคทางเดินหายใจความดันลบรวม 0.465 m<sup>3</sup> ใช้อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ 12 ACH (วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, 2559, หน้า 7-3) จะได้ 5.58 m<sup>3</sup> /hr ดังนั้นต้องการใช้พัดลมมากกว่า 5.58 m<sup>3</sup> /hr จากพัดลมที่เลือกใช้มีความสามารถ 0.3 m/s จะได้ 1,080 m<sup>3</sup>/hr หรือ 637.2 CFM ช่องดูดออกมีรัศมี 0.05 m. ช่องเดิมอากาศ(รูรั่วไหล) มีรัศมี 0.0125 m. พื้นที่ leak(ปากทางเข้า)  $\pi \times 0.0125^2 = 0.0004906 \text{ m}^2$  หรือ 0.00528 ft<sup>2</sup> ที่ 637.2 CFM จากค่าที่ได้จะเห็นได้ว่ามีค่ามากกว่าตารางทั้งค่า Room Differential Airflow และค่า Room Leakage Areas Curves ดังนั้นทำให้ได้ค่าที่มากกว่า 0.020 นิ้วน้ำ หรือ มากกว่า 4.98 ปาสกาล(1 นิ้วน้ำ=249.08891 ปาสกาล)

### 3. การดำเนินการวิเคราะห์ด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์

#### 3.1 ซอฟต์แวร์ที่ใช้ประมวลผล

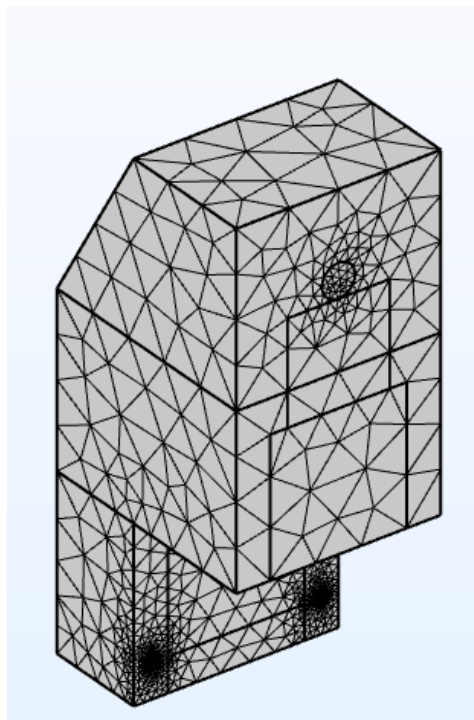
ในการทดลองวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์นี้ใช้โปรแกรม Comsol Multiphysics มาทำการสร้างแบบจำลองการกำหนดค่าคุณสมบัติจำเพาะต่าง ๆ ของวัสดุภายในการทดลองการกำหนดเงื่อนไขต่าง ๆ ในระบบและการประมวลผลด้วยวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์ทำการประมวลผลแบบจำลองบนเครื่องคอมพิวเตอร์พีซี ซีพียู Intel(R) Xeon(R) W-2223 CPU @ 3.60GHz หน่วยความจำ RAM 16 GB ระบบปฏิบัติการ Windows 10 Pro 64 -Bit เลือกเอลิเมนต์ในโดเมนที่มีความละเอียดมากที่สุดคือ Fine Mesh ซึ่งได้จำนวนเมชที่มีค่าความละเอียดสูงสุดในงานที่ทำการทดลองโดยใช้เวลาในการดำเนินการที่ 198-200 วินาทีในการทำอัตราการแลกเปลี่ยน 1 รอบ(ACH) จากคุณสมบัติของพัดลมที่เลือกใช้มีความสามารถทำได้ 0.3 m/s ช่องลมออกทรงกลม มีรัศมี 0.05 m. ดังนั้นพื้นที่ช่องลมออกทรงกลม  $\pi \cdot r^2 = \pi \cdot 0.05^2$  จะได้ 0.00785 m<sup>2</sup> ที่เวลา 1 วินาทีจะได้ 0.002355 m<sup>3</sup>/s และตู้รถเข็นเคลื่อนย้ายผู้ป่วยมีปริมาตรรวม 0.465 m<sup>3</sup> ที่ 1 ACH ได้ปริมาตรลม 0.465 m<sup>3</sup> เวลาที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนอากาศ 1 รอบ(ACH) จะได้=0.465 m<sup>3</sup> / 0.002355 m<sup>3</sup>/s จะได้เวลาประมาณ 198 วินาทีต่อการแลกเปลี่ยนอากาศ 1 รอบ(ACH)



## การกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการคำนวณ

ตารางที่ 2 แสดงค่าพารามิเตอร์ของอากาศที่ใช้ในการจำลองผล (The Pennsylvania State University, n.d.)

พารามิเตอร์	ค่าที่กำหนด	หน่วย
$\rho$ คือ ค่าความหนาแน่นของเหลว(อากาศ) ที่ 25 <sup>0</sup> C	1.184	kg/m <sup>3</sup>
$\mu$ คือ ค่าความหนืดของไหล(อากาศ) ที่ 25 <sup>0</sup> C	18.49x10 <sup>-6</sup>	Pa·s หรือ kg/ m.s
$P$ คือ ความดันของของอากาศ	0	pa
ความดันที่ช่องลมเข้า (Inflow)	0	pa
ความเร็วลมที่ช่องลมออก (Outflow)	0.3	m/s



รูปที่ 3 แสดงลักษณะเมชแบบ Fine Mesh ของตู้รถเข็นเคลื่อนย้ายผู้ป่วยโรคทางเดินหายใจความดันลบ

#### 4. ผลการวิจัย

จากการจำลองโดยใช้โปรแกรมการไหลของอากาศจะพบว่าเกิดการหมุนวนบริเวณหน้าตู้ผู้ป่วยแล้วไหลออกทางด้านหลังซึ่งจะเป็นไปตามความต้องการในการออกแบบไว้ดังรูปที่ 4 ซึ่งทั้ง 2 วิธีคือ โปรแกรมและชุดทดลองสามารถทำได้มากกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนด โดยที่ความดันมีค่าใกล้เคียงกัน โดยสิ่งที่ค่อนข้างต่างกันคืออัตราการแลกเปลี่ยนอากาศนอกจากนี้ยังมีการทดลองเพิ่มเติมในส่วนการปรับอากาศด้วย Peltier Plate ที่มุ่งหวังจะช่วยให้ผู้ป่วยได้รับอุณหภูมิที่เหมาะสมไม่ร้อนอ้อมมีความสบายตัวไม่สามารทำได้โดยอุณหภูมิภายนอกแตกต่างกับ อุณหภูมิภายใน 1.11 องศาเซลเซียสพบว่าอุณหภูมิภายใน สูงกว่าภายนอก ระดับความดังเสียงอยู่ที่ 60.9 dB ไม่เกินค่ามาตรฐานที่

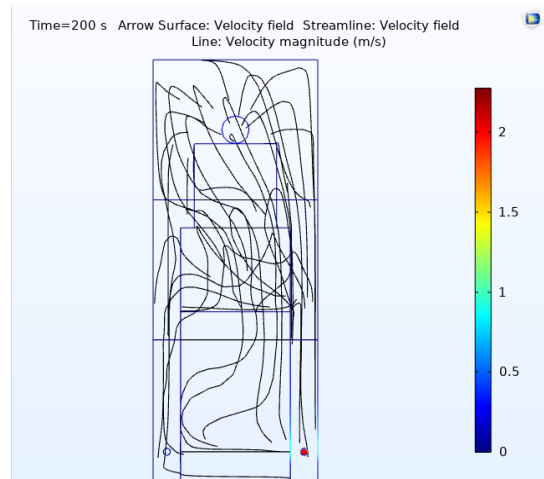
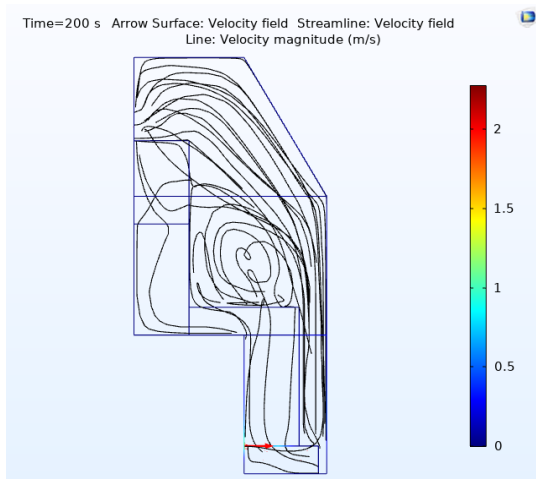


กำหนด การใช้โปรแกรม Comsol Multiphysics จะช่วยในการออกแบบก่อนการสร้างจริงเพื่อควบคุมค่าพารามิเตอร์ ให้ได้ตามที่ต้องการลดค่าความผิดพลาดลง จากการเทียบกันพบว่า การใช้ชุดทดลองจะให้ค่าที่ใกล้เคียงมากที่สุด

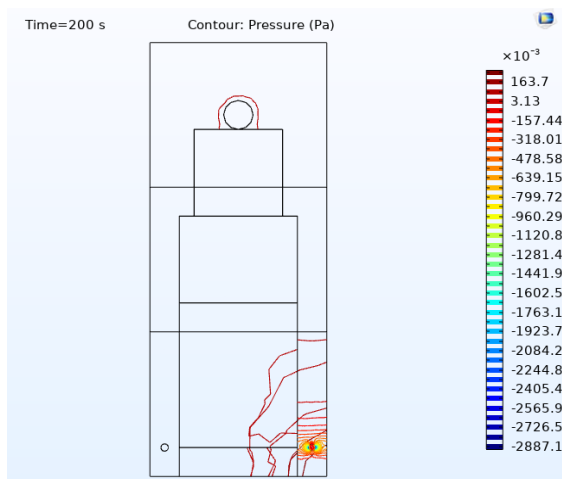
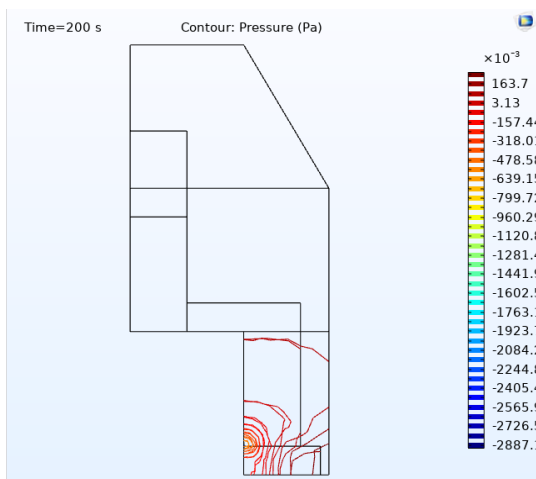
ตารางที่ 3 ผลการทดลองจากทฤษฎีเทียบกับผลการจำลองด้วยโปรแกรมและชุดทดลองต้นแบบ

ค่าพารามิเตอร์	จากการคำนวณ	ผลการจำลองด้วยโปรแกรม	ผลจากชุดทดลอง	ค่ามาตรฐาน
อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ(ACH)	12.17	404	18.05	12
ความดันภายใน (Pa)	>-4.98	-4.19	-3.9	$\geq -2.5$
ความดังของเสียงภายใน(dB)	-	-	60.9	<85

#### 4.1 รูปทรงสี่เหลี่ยมคางหมู



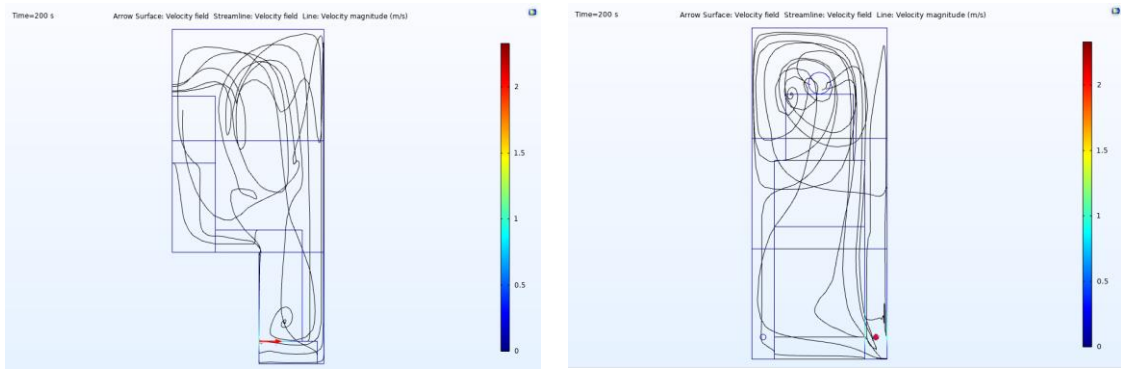
รูปที่ 4 แสดงลักษณะการไหลเวียนอากาศของความเร็วลมและ กระแสลมที่เวลา 200 วินาที



รูปที่ 5 แสดงลักษณะของความดันจุดต่างๆที่เวลา 200 วินาที



## 4.2 รูปทรงสี่เหลี่ยม



รูปที่ 6 แสดงลักษณะการไหลเวียนอากาศของความเร็วลมและ กระแสลมที่เวลา 200 วินาที



รูปที่ 7 แสดงลักษณะของความดันจุดต่างๆที่เวลา 200 วินาที

## 5. การอภิปรายผล

ก่อนที่จะทำการทดลองด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์นี้ได้ทำการเลือกรูปทรงอยู่ 2 ลักษณะก็คือแบบรูปที่ 1 (แบบคางหมู)และอีกแบบหนึ่งคือแบบสี่เหลี่ยม และทิศทางลมออก 2 รูปแบบคือแบบด้านบนศีรษะกับแบบออกด้านหลังศีรษะ จากข้อมูลที่ได้รับความเร็วลมเฉลี่ยเคลื่อนย้ายผู้ป่วยโรคทางเดินหายใจความดันลบต้นแบบหลังมีการติดตั้งบรรดเข็นผู้ป่วยมีความสูงรวม 1.55 เมตรจากพื้นและข้อมูลอีกส่วนที่ได้จากกระทรวงสาธารณสุขว่าความสูงเฉลี่ยคนไทยเพศชายอยู่ที่ 169.46 เซนติเมตรและเพศหญิงอยู่ที่ 159.32 เซนติเมตร ทำให้ตัดสินใจที่จะไม่เลือกวิธีในการทดลองทิศทางแบบลมออกด้านบนศีรษะเนื่องจากจะ บดบังทัศนวิสัยของผู้เข็นรถที่มีความสูงน้อยกว่า 160 เซนติเมตร จึงเลือกแบบห้องโดยสารเป็นดังรูปที่ 1 (แบบคางหมู)มาสร้างชุดทดลองต้นแบบเพื่อเปรียบเทียบกัน

จากรูปที่ 4 แสดงลักษณะการไหลเวียนอากาศของความเร็วลมและกระแสลมที่เวลา 200 วินาทีที่ลักษณะรูปทรงสี่เหลี่ยมคางหมู จากการกำหนดจุดลมออกด้านหลังศีรษะผู้ป่วย การไหลของอากาศจะหมุนวนบางส่วนที่บริเวณหน้าตักแล้วออกทางด้านหลังศีรษะ รูปทรงสี่เหลี่ยมคางหมูจะช่วยเรียงกระแสลมไม่ให้ไหลแบบปั่นป่วนที่ด้านหน้าผู้โดยสาร จากรูปที่ 5 ความดันสูงสุดจะเกิดบริเวณตรงกลางทางช่องลมเข้าอยู่ที่ -4.19 Pa และน้อยสุดที่บริเวณพื้นผิวที่ -0.7 Pa ค่าที่ได้มากกว่ามาตรฐานที่กำหนด





จากรูปที่ 6 แสดงลักษณะการไหลเวียนอากาศของความเร็วลมและ กระแสลมที่เวลา 200 วินาทีลักษณะรูปทรงสี่เหลี่ยม จากการกำหนดจุดลมออกด้านหลังศีรษะผู้ป่วย การไหลของอากาศจะไม่เป็นระเบียบ ปั่นป่วน ไม่มีตัวบังคับทิศทางลม ลมบางส่วนจะไปปะทะขอบผนังด้านหน้าแล้วจึงไหลออกทางด้านหลังศีรษะ จากรูปที่ 7 ความดันสูงสุดจะเกิดบริเวณตรงกลางทางช่องลมเข้าอยู่ที่  $-3.25$  Pa และน้อยสุดที่บริเวณพื้นผิวที่  $0.39$  Pa ยังสามารถทำได้มากกว่ามาตรฐานที่กำหนด

ค่าที่ได้จากการจำลองโดยใช้โปรแกรม รูปทรงดังรูปที่ 1 และชุดทดลองต้นแบบซึ่งทั้ง 2 วิธีสามารถทำได้มากกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนด โดยพบว่าความดันมีค่าใกล้เคียงกันโดยสิ่งที่ค่อนข้างต่างกันคืออัตราการแลกเปลี่ยนอากาศคาดว่าเกิดจากจุดวัดเนื่องจากใช้ Probe ในการวัด ไม่ได้ใช้วิธีการแบบใช้ Hood ครอบปล่องออก เหตุที่ไม่ได้ใช้วิธีนี้เนื่องจากเครื่องมือ Hood Flow Meter ซึ่งมีขนาดมาตรฐานปากครอบ 2 ขนาดคือ กว้าง  $60 \times 60$  เซนติเมตร และ  $60 \times 120$  เซนติเมตรซึ่งไม่สะดวกในการทำกรวัด จากการเพิ่มการปรับอุณหภูมิด้วย Peltier Plate ที่มุ่งหวังจะช่วยให้ผู้ป่วยได้รับอุณหภูมิที่เหมาะสมไม่โอ้อัดมีความสบายตัวยังไม่สามารถทำได้ชัดเจนโดยอุณหภูมิภายนอกแตกต่างกับอุณหภูมิภายใน  $1.11$  องศาเซลเซียสพบว่าอุณหภูมิภายใน สูงกว่าภายนอกซึ่งน่าจะเกิดจากการใช้วัสดุในการห่อหุ้มที่เป็นผ้าพลาสติกใส ทั้งนี้ยังไม่สามารถทำการลดอุณหภูมิได้มากเนื่องจากขนาด Peltier Plate มีขนาดไม่เหมาะสมหากเพิ่มขนาดจะทำให้การใช้พลังงานที่สูงขึ้น ระดับเสียงอยู่ที่  $60.9$  dB ไม่เกินค่ามาตรฐานที่กำหนด การใช้โปรแกรม Comsol Multiphysics จะช่วยในการออกแบบก่อนการสร้างจริง เพื่อควบคุมค่าพารามิเตอร์ให้ได้ตามที่ต้องการลดค่าความผิดพลาดลง จากการเทียบกันพบว่าการใช้ชุดทดลองจะให้ค่าที่ใกล้เคียงมากที่สุด

## 6. บทสรุปและข้อเสนอแนะ

จากผลการศึกษาผู้รื้อฟื้นเคลื่อนย้ายผู้ป่วยโรคทางเดินหายใจความดันลบสามารถนำไปใช้ในการเคลื่อนย้ายผู้ป่วยที่เป็นทางเดินหายใจได้โดยค่าพารามิเตอร์อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ทิศทางการไหลของอากาศ ความดันและอัตราแลกเปลี่ยนอากาศที่เหมาะสม

เพื่อเพิ่มความปลอดภัยทางผู้ป่วยก็ควรสวมหน้ากาก (Mask) เพื่อลดการแพร่เชื้อ ซึ่งการทดลองเพิ่มการปรับอากาศด้วย Peltier Plate มุ่งหวังว่าจะช่วยให้ผู้ป่วยได้รับอุณหภูมิที่เหมาะสมไม่โอ้อัดมีความสบายตัวซึ่งเราสามารถนำ Peltier Plate ไปประยุกต์ใช้กับชุด PPE ของพยาบาลที่ต้องสวมในการตรวจผู้ป่วยซึ่งจะมีอุณหภูมิภายในชุดจะสูง การขับเคลื่อนรถเข็นอาจปรับใช้มอเตอร์ในการขับเคลื่อนแทนการใช้แรงงานคน หรือการใช้รีโมทบังคับแทนการเข็นด้วยแรงงานคน การใช้แหล่งจ่ายไฟกระแสตรง MCP10-QS6020 REGULATED DC SUPPLY ใช้เพื่อการทดลองและรักษาแรงดันไฟฟ้าให้คงที่เท่านั้นส่วนในการใช้งานจริงจะใช้พลังงานจากแบตเตอรี่เป็นพลังงาน นอกจากนี้ควรติดตั้ง HEPA Filter และ UV Light ในการฆ่าเชื้อโรคก่อนปล่อยสู่ภายนอก ทางด้านวัสดุที่นำมาประกอบควรมีการเปลี่ยนวัสดุที่ทำโครงจากเหล็กจากมาเป็นโลหะอลูมิเนียมหรือสแตนเลสทรงกลมเพื่อเพิ่มพื้นที่ในการนั่งของผู้ป่วยที่มีรูปร่างใหญ่และลดการสัมผัสกับขอบของโครงเหล็กจากซึ่งอาจจะเกิดบาดแผลได้

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จได้เป็นอย่างดีเนื่องมาจากได้รับความอนุเคราะห์จาก ผศ.ดร ศนิ บุญญกุล และ อาจารย์อนันตศักดิ์ วงศ์กำแหง อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ให้ความเอาใจใส่ช่วยเหลือ และคอยให้คำปรึกษาแนะนำเป็นอย่างดีมาโดย



ตลอด และ รศ.ดร. ชูชาติ ปิณฑิรุจน์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านความรู้และการใช้โปรแกรม Comsol Multiphysics รวมทั้งเพื่อนร่วมงานนายสมยศ หลวงผาด, นายโชคชัย เมืองธรรม ที่ช่วยออกแบบและประกอบชิ้นส่วนรวมถึงร้านอุคมศิลป์ (เจ้าวัง) ที่สนับสนุนด้านพลาสติก โครงสร้างของผู้ตลอดจนเจ้าหน้าที่โรงพยาบาลที่ให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์

#### เอกสารอ้างอิง

- กองวิศวกรรมการแพทย์ กรมสนับสนุนบริการสุขภาพ(2553).คู่มือการใช้งานห้องแยกโรคผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศ, พิมพ์ครั้งที่ 2).กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด.3-4.
- กองวิศวกรรมการแพทย์ กรมสนับสนุนบริการสุขภาพ(2560).รถเข็นผู้ป่วยควบคุมการแพร่กระจายเชื้อทางอากาศ. เข้าถึงได้จาก[http://203.157.80.80/edoc/myfile/20210126184127\\_Isolate%20Wheelchair.pdf](http://203.157.80.80/edoc/myfile/20210126184127_Isolate%20Wheelchair.pdf)
- อนันตศักดิ์ วงศ์กำแหง(2558).การออกแบบและการจำลองตู้อบเด็กทารกแรกคลอดแบบผนังสองชั้นที่มีจำนวนช่อง การไหลเข้าและออกของอากาศหลายช่องด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์อเอลิเมนต์.(วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต). กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์(2559).มาตรฐานระบบปรับอากาศและระบายอากาศ (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ:จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- A. Wongkamhang, P. Phasukkit1,C. Pintuviroj1, S. Prasantamrongsiri, A. Sanpanich and N. Thongpance. “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). Paper ID 1569802463
- A. Wongkamhang, P. Phasukkit1, S.Airphaiboon, C. Pintavirooj, N. Thongpance. and A. Sanpanich. “3D Finite Element Analysis of Heat Transfer Efficiency in Double Wall Infant Incubator”.Proceedings of Biomedical Engineering International Conference (BMEiCON-2012). Paper ID BME-2012-81
- Comsol Multiphysics.( n.d.).*Laminar Static Mixer*. Retrieved from [https://www.comsol.com/model/download/637451/models.chem.laminar\\_static\\_mixer.pdf](https://www.comsol.com/model/download/637451/models.chem.laminar_static_mixer.pdf)
- The Pennsylvania State University, (n.d.). *Properties of air at 1 atm pressure*. Retrieved from [https://www.me.psu.edu/cimbala/me433/Links/Table\\_A\\_9\\_CC\\_Properties\\_of\\_Air.pdf](https://www.me.psu.edu/cimbala/me433/Links/Table_A_9_CC_Properties_of_Air.pdf)