

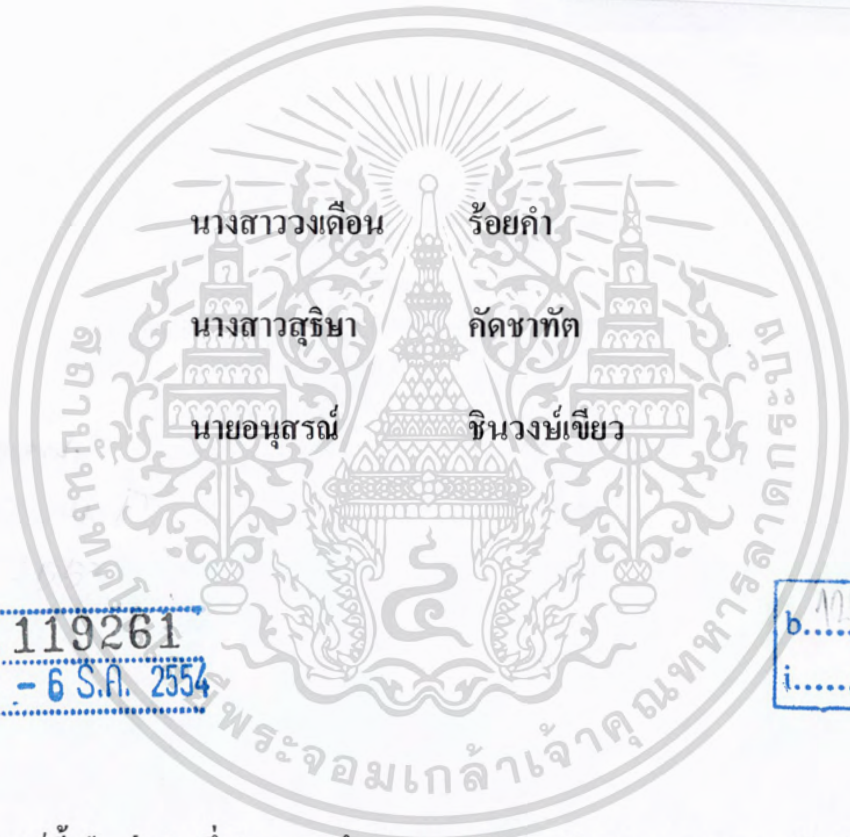
สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การพัฒนาการอบแห้งโดยการใช้โปรแกรม Air Pak

Development of the drying chamber by the Airpak Program



T119261



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....
วัน,เดือน,ปี.....

119261

- 6 S.A. 2554

b.....
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพัฒนาการอบแห้งโดยใช้โปรแกรม Air Pak



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ปีการศึกษา 2553
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Development of the drying chamber by the Airpak Program



A Report Submitter in Partial Fulfillment of the Requirements

For the Bachelor Degree of Agricultural Engineering

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

2010

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2553

ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การพัฒนาการอบแห้งโดยการใช้โปรแกรม AirPak

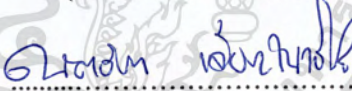
(Development of the drying chamber by the Airpak Program)

ผู้จัดทำ

1. นางสาว วงเดือน ร้อยคำ รหัสนักศึกษา 50011342
2. นางสาว สุริยา คัดชาทัต รหัสนักศึกษา 50011722
3. นาย อนุสรณ์ ชินวงษ์เขียว รหัสนักศึกษา 50011847


.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.วีระชัย ลิมพรชัยเจริญ)


.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร. นัตวิภา เจียรโนวชิระ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพัฒนาการอบแห้งโดยการใช้โปรแกรม Air Pak

นางสาววงเดือน ร้อยคำ

นางสาวสุธิษา กัดชาทัต

นายอนุสรณ์ ชินวงษ์เขียว

ผศ.วีรชัย ลิ้มพรชัยเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.ฉัตติภา เกียรติระโนวชิระ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2553

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการทำงานของตู้อบแห้งโดยลมร้อน (ที่เหมาะสม) โดยทำการจำลองกระบวนการเคลื่อนที่และการกระจายตัวของอุณหภูมิของลมร้อน โดย ใช้โปรแกรม Air Pak ซึ่งเป็นโปรแกรมประเภท Finite Volume ที่ใช้ในการออกแบบระบบการไหลของอากาศ ทำการจำลองการไหลของอากาศร้อนภายในห้องรูปสี่เหลี่ยมที่มีขนาด $1 \times 2 \times 0.5$ m และมีการกำหนดช่องทางของลมเข้าและลมออกซึ่งมีขนาด 10×10 cm ระยะเวลาที่มีความเร็วลมที่ระดับต่างๆ คือ 3 m/s , 5 m/s และ 7.4 m/s

หลังจากนั้นนำผลของค่าการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆมาเปรียบเทียบกับผล ที่ทำการทดลองจริง จากผลการทดสอบพบว่าค่าความเร็วที่เหมาะสมที่สุดคือ 3 m/s ทิศทางความเร็ว ลมเข้าเท่ากับ 90° มีความร้อนสูงสุดในตู้อบ 60°C จะทำให้เกิดการกระจายตัวของลมร้อนภายใน ตู้อบอย่างสม่ำเสมอ จากนั้นทดสอบตู้อบว่าการถ่ายเทปริมาณน้ำหรือปริมาณความชื้นที่สูงที่สุดออกจากปลาหมึกได้ประสิทธิภาพที่ดี และเปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์ภายในตู้อบต่ำกว่า 50% เกิด กระบวนการอบแห้งในรูปแบบที่เข้าใจง่าย สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการออกแบบ หรือ พฤติกรรมการอบแห้งภายในสภาวะต่างๆได้

Development of the drying chamber by the Airpak Program

MissWongdoen Roykhom

MissSutisa Kadchatat

Mr.Anusorn Chinwongkhiaw

Assist.Prof.Veerachai limphonchaicharoen Advisor.

Assist.Prof.Dr.Nuthvipa Jayranaiwachira Advisor.

Abstract

The purpose of this research paper is studying the working system of hot-air chamber by simulating the motion and spread-out process of hot-air temperature. The study uses Air Pak program ,which is categorized into Finite Volume program or program for designing air's flow process, to simulating the flow of hot temperature inside the 1*2*0.5 m squared room and limit the in-and-out air entrance into 10*10 cm. The air speed is divided into 3 level which are 3 m/s ,5 m/s ,and 7.4 m/s.

The research ,Then compares the air-spread result in all locations to real test results and found that the proper speed is 3 m/s, the inflow air speed equals 90 ,and the maximum temperature inside chamber is 60 c which make the air spread equally. After that ,the squid-dry-out study found that when relative humidity is lower than 50% ,the dry-out process is easy for understanding and be able to utilizing for designing the process of Drying in different condition.

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณ ผศ.วีรชัย ลิมพรชัยเจริญ และ ผศ.ดร.ณัฏวิภา เจียรระโนวชิระ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ให้คำปรึกษาและแนะนำ ให้ความรู้เพิ่มเติม ข้อคิดเห็นอันเป็นประโยชน์ ตลอดจนตรวจแก้ไขข้อบกพร่องของโครงการนี้

ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านในภาควิชาหลักสูตรวิศวกรรมเกษตร รวมทั้งอาจารย์และบุคลากรทุกท่านในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้แก่คณะผู้จัดทำโครงการ จนทำให้ผู้จัดทำมีความรู้ความสามารถในการคิดแก้ปัญหา พัฒนา และประยุกต์นำไปใช้ในการทำโครงการครั้งนี้

สุดท้ายขอขอบพระคุณ คุณพ่อคุณแม่ ที่ให้ความกรุณากับคณะผู้จัดทำโครงการในด้านต่างๆพร้อมกับเพื่อนๆทุกท่านที่ให้ความสนใจ ความช่วยเหลือและให้ความรู้จนโครงการในครั้งนี้เสร็จ ลุล่วงไปด้วยดี ความสำเร็จของโครงการครั้งนี้ขอขอบคุณผู้ร่วมโครงการทั้ง 3 ท่านที่ช่วยคิด ช่วยทำ ช่วยแก้ปัญหา จนโครงการนี้บรรลุผลที่ตั้งใจไว้

คุณค่าของ โครงการที่เกิดขึ้นครั้งนี้ ขอมอบให้แด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

นางสาววงเดือน ร้อยคำ

นางสาวสุธิษา คัดชาทัต

นายอนุสรณ์ ชินวงษ์เขียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้าที
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูปภาพ	ฉ
สารบัญตาราง	ญ
บทที่ 1	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 จุดประสงค์	2
1.3 ขอบเขต	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2	3
2.1 กลไกการอบแห้ง	3
2.2 การเคลื่อนที่ของความชื้นภายในวัสดุ	5
2.2.1 ทฤษฎีการแพร่ของของเหลว (Liquid Diffusion Theory)	5
2.2.2 ทฤษฎีแคปิลลารี (Capillary Theory)	6
2.3 ความชื้นในวัสดุ	9
2.4 วิธีการหาความชื้นในเมล็ดพืชและอาหาร	10
2.5 ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่ออัตราการอบแห้งวัสดุเกษตร	10
2.6 การประเมินสมรรถนะของการอบแห้ง	12
2.7 คำจำกัดความของศัพท์ไซโครเมตริก	13
2.8 สมการอบแห้ง	14
บทที่ 3	20
3.1 สร้างแบบจำลองตู้อบเพื่อตรวจสอบทิศทางการไหล ของลมร้อน และอุณหภูมิใน โปรแกรม AirPak	20
3.2 สร้างแบบจำลองการออกแบบตู้อบ โดยห้องที่มีวัสดุอยู่ (ปลาหมึก)	21
3.3 สร้างแบบจำลองเพื่อจำลองทิศทางการไหลของลมและอุณหภูมิภายในตู้อบ	22
3.3.1 วัสดุและอุปกรณ์	22
3.3.2 วิธีการสร้างแบบจำลองตู้อบ	22
3.4 ขั้นตอนการสร้าง โครงแบบจำลองในแบบรูปภาพ	23

สารบัญ (ต่อ)

	หน้าที่
3.5 ขั้นตอนการประกอบ Model ในรูปแบบภาพ	24
3.6 เครื่องมือที่ใช้วัด	25
3.7 ขั้นตอนการทดสอบคู่มือเทียบกับ โปรแกรม	27
3.7.1 ทดสอบคู่มือ โดยลมธรรมดา	27
3.7.2 ทดสอบคู่มือ โดยลมร้อนจากเครื่องทำความร้อน	27
3.8 ขั้นตอนการทดลองในรูปแบบภาพ	28
3.9 การทดสอบลดความชื้นในปลาหมึก	29
บทที่ 4	30
4.1 การจำลองคู่มือที่ไม่มีวัสดุอยู่โดยโปรแกรม Air Pak	30
4.2 การจำลองคู่มือที่มีวัสดุ โดยโปรแกรม Air Pak	31
4.3 แบบทดสอบโดยมีวัสดุจริง	53
4.4 ผลการทดสอบของคู่มือ โดยเทียบกับ โปรแกรม Air Pak	54
4.5 การหาความชื้นเริ่มต้นของปลาหมึก	58
บทที่ 5	59
5.1 สรุปและข้อเสนอแนะ	60
เอกสารอ้างอิง	61
ภาคผนวก ก	62
ภาคผนวก ข	67
ภาคผนวก ค	85
ภาคผนวก ง	89

สารบัญรูปภาพ

หน้าที่

ภาพที่ 2.1 อัตราส่วนค่าความชื้น VS เวลา	4
ภาพที่ 2.2 อัตราการอบแห้ง VS อัตราส่วนค่าความชื้น	4
ภาพที่ 2.3 ความสูงของน้ำในหลอดแคปปีลารี	6
ภาพที่ 2.4 สภาพความนำของเหลว VS อัตราส่วนค่าความชื้นของชั้นมันเทศ	8
ภาพที่ 2.5 โครงสร้างแผนภูมิความชื้น	14
ภาพที่ 3.1 แผนภาพขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม	20
ภาพที่ 3.2 แผนภาพขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมที่มีวัสดุอยู่	21
ภาพที่ 3.3 การวัดเหล็กตามขนาดที่ต้องการ	23
ภาพที่ 3.4 การตัดเหล็กมุม 45 °	23
ภาพที่ 3.5 การตัดเหล็กตามขนาดที่วัด	23
ภาพที่ 3.6 การเชื่อมต่อเหล็กสามสามทาง	23
ภาพที่ 3.7 การเชื่อม โครงของตู้อบ	23
ภาพที่ 3.8 โครงสร้างของตู้อบแบบจำลอง	23
ภาพที่ 3.9 พัดลมและมอเตอร์ขนาด ¼ hp	24
ภาพที่ 3.10 เครื่องทำความร้อนขนาด 2500 W	24
ภาพที่ 3.11 Dumper ปรับทิศทางลมเข้า	24
ภาพที่ 3.12 ประกอบเครื่องทำความร้อนเข้ากับท่อยาว 1 m	24
ภาพที่ 3.13 ประกอบชิ้นส่วนเข้าด้วยกัน	24
ภาพที่ 3.14 เครื่องมือวัดชนิดหลายพารามิเตอร์	25
ภาพที่ 3.15 Data Logger	25
ภาพที่ 3.16 สาย Thermocouple ชนิด K	26
ภาพที่ 3.17 เครื่อง Thermocouple Type K วัดอุณหภูมิ	26
ภาพที่ 3.18 แสดงการเจาะรูของแบบจำลอง และทิศทางของลมเข้า – ออก	28
ภาพที่ 3.19 วัดอัตราการไหลของลม	28
ภาพที่ 3.20 การวัดค่าโดย Data Loggeg	28
ภาพที่ 3.21 ลำดับขั้นตอนการทดสอบการลดความชื้นในปลาหมึก	29
ภาพที่ 4.1 แบบจำลองตู้อบ	30
ภาพที่ 4.2 กราฟแสดงการคำนวณ (ที่ไม่มีวัสดุอยู่ 90 องศา , Velocity 3 m/s) ที่ทางออกที่ 1	31
ภาพที่ 4.3 แสดงการไหลของอนุภาคความร้อนที่เข้าสู่ตู้อบ	31
ภาพที่ 4.4 แบบจำลองตู้อบ	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้าที่

ภาพที่ 4.5 กราฟแสดงการคำนวณ (ที่มีวัสดุอยู่ 90 องศา ,Velocity 3 m/s) ที่ทางออกที่ 1	32
ภาพที่ 4.6 แสดงการไหลของอนุภาพความร้อนที่เข้าสู่ตู้อบ	32
ภาพที่ 4.7 แสดงการกระจายตัวของการไหลด้านบน	32
ภาพที่ 4.8 กราฟแสดงการคำนวณ (Velocity 5 m/s)	33
ภาพที่ 4.9 แสดงการไหลของอนุภาพความร้อนที่เข้าสู่ตู้อบ	33
ภาพที่ 4.10 แสดงการกระจายตัวของการไหลด้านบน	33
ภาพที่ 4.11 กราฟแสดงการคำนวณ (Velocity 7.4 m/s)	34
ภาพที่ 4.12 ภาพแสดงการไหลของอนุภาพความร้อนที่เข้าสู่ตู้อบ	34
ภาพที่ 4.13 ภาพแสดงการกระจายตัวของการไหลด้านบน	34
ภาพที่ 4.14 แบบจำลองตู้อบ	35
ภาพที่ 4.15 กราฟแสดงการคำนวณ (ที่มีวัสดุอยู่ 30 องศา ,Velocity 3 m/s) ที่ทางออกที่ 1	35
ภาพที่ 4.16 ภาพแสดงการไหลของอนุภาพความร้อนที่เข้าสู่ตู้อบ	35
ภาพที่ 4.17 ภาพแสดงการกระจายตัวของการไหลด้านบน	36
ภาพที่ 4.18 กราฟแสดงการคำนวณ (Velocity 5 m/s)	36
ภาพที่ 4.19 ภาพแสดงการไหลของอนุภาพความร้อนที่เข้าสู่ตู้อบ	36
ภาพที่ 4.20 ภาพแสดงการกระจายตัวของการไหลด้านบน	37
ภาพที่ 4.21 กราฟแสดงการคำนวณ (Velocity 7.4 m/s)	37
ภาพที่ 4.22 ภาพแสดงการไหลของอนุภาพความร้อนที่เข้าสู่ตู้อบ	37
ภาพที่ 4.23 ภาพแสดงการกระจายตัวของการไหลด้านบน	38
ภาพที่ 4.24 แบบจำลองตู้อบ	38
ภาพที่ 4.25 กราฟแสดงการคำนวณ (ที่มีวัสดุอยู่ 90 องศา ,Velocity 3 m/s) ที่ทางออกที่ 2	39
ภาพที่ 4.26 ภาพแสดงการไหลของอนุภาพความร้อนที่เข้าสู่ตู้อบ	39
ภาพที่ 4.27 ภาพแสดงการกระจายตัวของการไหลด้านบน	39
ภาพที่ 4.28 กราฟแสดงการคำนวณ (Velocity 5 m/s)	40
ภาพที่ 4.29 ภาพแสดงการไหลของอนุภาพความร้อนที่เข้าสู่ตู้อบ	40
ภาพที่ 4.30 ภาพแสดงการกระจายตัวของการไหลด้านบน	40
ภาพที่ 4.31 กราฟแสดงการคำนวณ (Velocity 7.4 m/s)	41
ภาพที่ 4.32 ภาพแสดงการไหลของอนุภาพความร้อนที่เข้าสู่ตู้อบ	41
ภาพที่ 4.33 ภาพแสดงการกระจายตัวของการไหลด้านบน	41
ภาพที่ 4.34 แบบจำลองตู้อบ	42

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้าที่
ภาพที่ 4.35 กราฟแสดงการคำนวณ (ที่มีวัสดุอยู่ 30 องศา , Velocity 3 m/s) ที่ทางออกที่ 2	42
ภาพที่ 4.36 ภาพแสดงการไหลของอนุภาพความร้อนที่เข้าสู่ตู้อบ	42
ภาพที่ 4.37 ภาพแสดงการกระจายตัวของการไหลด้านบน	43
ภาพที่ 4.38 กราฟแสดงการคำนวณ (Velocity 5 m/s)	43
ภาพที่ 4.39 ภาพแสดงการไหลของอนุภาพความร้อนที่เข้าสู่ตู้อบ	43
ภาพที่ 4.40 ภาพแสดงการกระจายตัวของการไหลด้านบน	44
ภาพที่ 4.41 กราฟแสดงการคำนวณ (Velocity 7.4 m/s)	44
ภาพที่ 4.42 ภาพแสดงการไหลของอนุภาพความร้อนที่เข้าสู่ตู้อบ	44
ภาพที่ 4.43 ภาพแสดงการกระจายตัวของการไหลด้านบน	45
ภาพที่ 4.44 แบบจำลองตู้อบ	45
ภาพที่ 4.45 กราฟแสดงการคำนวณ (ที่มีวัสดุอยู่ 90 องศา , Velocity 3 m/s) ที่ทางออกที่ 3	46
ภาพที่ 4.46 ภาพแสดงการไหลของอนุภาพความร้อนที่เข้าสู่ตู้อบ	46
ภาพที่ 4.47 ภาพแสดงการกระจายตัวของการไหลด้านบน	46
ภาพที่ 4.48 กราฟแสดงการคำนวณ (Velocity 5 m/s)	47
ภาพที่ 4.49 ภาพแสดงการไหลของอนุภาพความร้อนที่เข้าสู่ตู้อบ	47
ภาพที่ 4.50 ภาพแสดงการกระจายตัวของการไหลด้านบน	47
ภาพที่ 4.51 กราฟแสดงการคำนวณ (Velocity 7.4 m/s)	48
ภาพที่ 4.52 ภาพแสดงการไหลของอนุภาพความร้อนที่เข้าสู่ตู้อบ	48
ภาพที่ 4.53 ภาพแสดงการกระจายตัวของการไหลด้านบน	48
ภาพที่ 4.54 แบบจำลองตู้อบ	49
ภาพที่ 4.55 กราฟแสดงการคำนวณ (ที่มีวัสดุอยู่ 30 องศา , Velocity 3 m/s) ที่ทางออกที่ 3	49
ภาพที่ 4.56 ภาพแสดงการไหลของอนุภาพความร้อนที่เข้าสู่ตู้อบ	50
ภาพที่ 4.57 ภาพแสดงการกระจายตัวของการไหลด้านบน	50
ภาพที่ 4.58 กราฟแสดงการคำนวณ (Velocity 5 m/s)	50
ภาพที่ 4.59 ภาพแสดงการไหลของอนุภาพความร้อนที่เข้าสู่ตู้อบ	51
ภาพที่ 4.60 ภาพแสดงการกระจายตัวของการไหลด้านบน	51
ภาพที่ 4.61 กราฟแสดงการคำนวณ (Velocity 7.4 m/s)	51
ภาพที่ 4.62 ภาพแสดงการไหลของอนุภาพความร้อนที่เข้าสู่ตู้อบ	52
ภาพที่ 4.63 ภาพแสดงการกระจายตัวของการไหลด้านบน	52
ภาพที่ 4.64 แบบจำลองตู้อบ	53

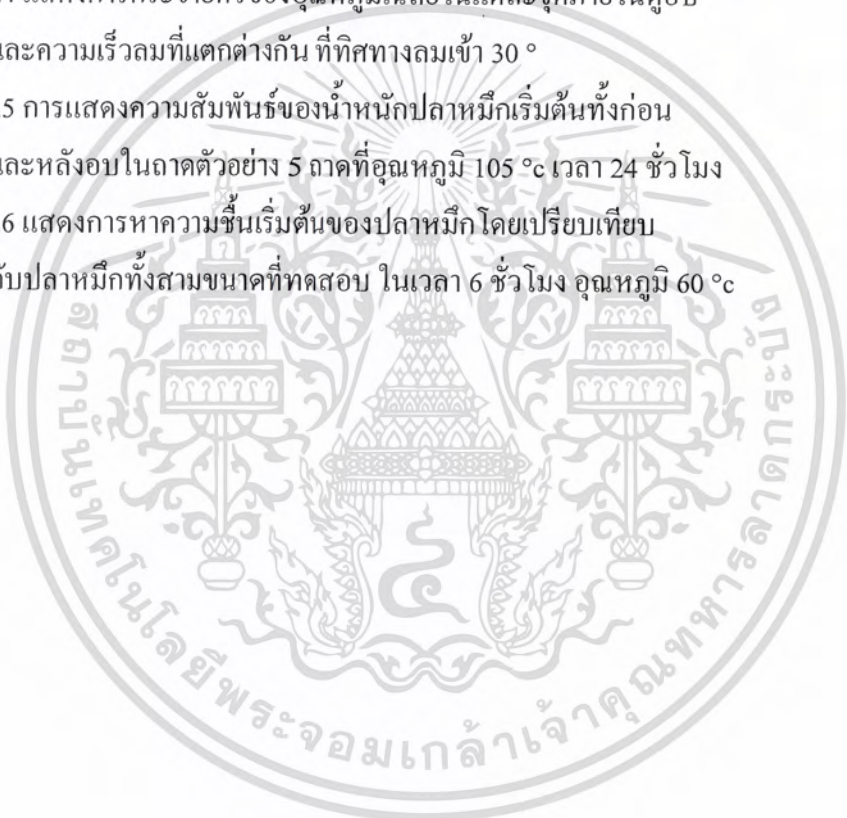
สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้าที่
ภาพที่ 4.65 กราฟแสดงการคำนวณ (ที่มีวัสดุจริง 90 องศา, Velocity 3 m/s) ที่ทางออกที่ 1	53
ภาพที่ 4.66 ภาพแสดงการไหลของอนุภาคความร้อนที่เข้าสู่ตู้อบ	53
ภาพที่ 4.67 ภาพแสดงการกระจายตัวของการไหลด้านบน	54
ภาพที่ 4.68 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับตำแหน่งต่างที่ความเร็วต่างกัน ลมเข้าทางตรง ที่ 90°	55
ภาพที่ 4.69 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับตำแหน่งต่างที่ความเร็วต่างกัน ลมเข้าทางเอียง ที่ 30°	55
ภาพที่ 4.70 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับตำแหน่งต่างที่ความเร็วต่างกัน ลมเข้าทางตรง ที่ 90°	57
ภาพที่ 4.71 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับตำแหน่งต่างที่ความเร็วต่างกัน ลมเข้าทางตรง ที่ 30°	57



สารบัญตาราง

	หน้าที่
ตารางที่ 4.1 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิเฉลี่ยในแต่ละจุดภายในตู้อบ และความเร็วลมที่แตกต่างกัน ที่ทิศทางลมเข้า 90 °	54
ตารางที่ 4.2 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิเฉลี่ยในแต่ละจุดภายในตู้อบ และความเร็วลมที่แตกต่างกัน ที่ทิศทางลมเข้า 30 °	54
ตารางที่ 4.3 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิเฉลี่ยในแต่ละจุดภายในตู้อบ และความเร็วลมที่แตกต่างกัน ที่ทิศทางลมเข้า 90 °	56
ตารางที่ 4.4 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิเฉลี่ยในแต่ละจุดภายในตู้อบ และความเร็วลมที่แตกต่างกัน ที่ทิศทางลมเข้า 30 °	56
ตารางที่ 4.5 การแสดงความสัมพันธ์ของน้ำหนักปลาหมึกเริ่มต้นทั้งก่อน และหลังอบในถาดตัวอย่าง 5 ถาดที่อุณหภูมิ 105 °c เวลา 24 ชั่วโมง	58
ตารางที่ 4.6 แสดงการหาความชื้นเริ่มต้นของปลาหมึกโดยเปรียบเทียบกับปลาหมึกทั้งสามขนาดที่ทดสอบ ในเวลา 6 ชั่วโมง อุณหภูมิ 60 °c	58



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ประเทศไทยมีผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำทางทะเลที่นิยมนำมาบริโภคและมีมูลค่าทางเศรษฐกิจของที่สำคัญต่อประเทศไทยผลผลิตสัตว์น้ำทางทะเล มีปีละประมาณ 150,000 ตันซึ่งประมาณ 2 ใน 3 ของปริมาณดังกล่าวและแปรรูปเป็นสินค้าส่งออก อีก 1 ใน 3 เป็นการบริโภคภายในประเทศ สินค้าประมงที่สำคัญได้แก่ อาหารกระป๋อง มีสัดส่วนร้อยละ 48 ของรายได้จากการส่งออกสินค้าประมงทั้งหมด รองลงมาคือ กุ้งสดแช่เย็นแช่แข็ง สัตว์น้ำร้อยละ 32 ส่วนปลาหมึก และผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำอื่นๆ คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 9.5 7.5 และ 3 ตามลำดับ ทั้งนี้ ประเทศไทยจัดเป็นผู้ผลิตสินค้าประมงในลำดับที่ 9 โดยผู้ผลิตรายใหญ่ของโลก คือประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน รองลงมา คือ ญี่ปุ่น อินเดียและสหรัฐอเมริกา ทั้งนี้ผลิตได้จากการประมงทะเล ผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำทางทะเลที่ได้เรานำมาทำการทดลองเป็นผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำทางทะเลจำพวกปลาอบแห้งชนิดต่างๆ ซึ่งในการแปรรูปปลาอบแห้งนี้ โดยวิธีทำแห้งเป็นวิธีการเก็บรักษาและเพิ่มคุณค่าให้กับปลาอบแห้ง โดย ณ ที่นี้ในวิธีการทำผลิตภัณฑ์ให้แห้งจะใช้ลมร้อนเพื่อทำให้ความชื้นในผลิตภัณฑ์ลดลง เช่น การตากบนตะแกรง ซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายและมีต้นทุนต่ำ แต่การตากแดด โดยวิธีนี้จะทำให้การควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ตากแดดนั้นทำได้ยาก เนื่องจากความไม่แน่นอนของรังสีจากดวงอาทิตย์ที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาและสภาพภูมิอากาศ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการตากแดดนั้นอาจจะไม่ถูกสุขลักษณะ มีการปนเปื้อนจะฝุ่นละอองและเชื้อโรคที่ติดมากับแมลง ซึ่งเป็นอันตรายอย่างมากกับผู้บริโภค แต่ในการนำเทคนิคการอบแห้งมาใช้ นั้นจะช่วยลดปัญหาที่ทำให้เกิดเชื้อโรคได้ เนื่องจากผลิตภัณฑ์จะอยู่ภายใต้ตู้อบที่ปิดมิดชิดและสามารถควบคุมอุณหภูมิภายในตู้ได้ ในการอบแห้งด้วยวิธีนี้สามารถรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขณะทำการอบแห้งได้ การหัตถ์ของผลิตภัณฑ์มีน้อย ส่วนคุณค่าของสารอาหารหลังการอบแห้งก็ยังคงเดิมและสะอาดถูกสุขลักษณะ ดังนั้นผู้นำการทดลองจึงเห็นว่าการอบแห้งด้วยลมร้อน เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ มีชุดควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติ และอุณหภูมิภายในตู้อบมีความสม่ำเสมออีกด้วย

ประเทศไทยในฐานะที่เป็นประเทศที่สามารถจับสัตว์ทะเลได้เป็นจำนวนมากในแต่ละปี และมีการนำไปใช้เพื่อบริโภคในรูปแบบต่างๆ กันทั้งในการบริโภคสดและเข้าสู่อุตสาหกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลิตแปรรูป ประเภทต่างๆ เช่น อาหารทะเลแช่แข็ง, อาหารทะเลกระป๋อง, ทำเค็มและอบแห้ง เป็นอุตสาหกรรมที่มีมูลค่าหลายหมื่นล้านบาทต่อปี ซึ่งการอบแห้งเป็นกรรมวิธีในการถนอมอาหารทะเลชนิดหนึ่ง ซึ่งสามารถทำให้เก็บรักษาอาหารทะเลอยู่ได้เป็นระยะเวลานานขึ้น และเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคทั้งในประเทศและต่างประเทศในเอเชีย อุตสาหกรรมการแปรรูปที่ใช้กรรมวิธีการอบแห้งในตู้อบที่ใช้งานในปัจจุบันอาจไม่มีประสิทธิภาพในการอบแห้งของผลิตภัณฑ์เพียงพอต่อความต้องการของการส่งออก จึงได้ทำการพัฒนาภายในตู้อบแห้งด้วยลมร้อนให้มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้นเพื่อส่งผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์ที่อบแห้ง

1.2 จุดประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อจำลองการไหลใน โปรแกรมของลมร้อนและอุณหภูมิในตู้อบ
2. สร้างแบบจำลองตู้อบเพื่อตรวจสอบทิศทางการไหลของลมและอุณหภูมิใน โปรแกรม
3. เพื่อศึกษาการลดความชื้นของอาหารในตู้อบด้วยลมร้อน

1.3 ขอบเขตการศึกษาของโครงการ

1. ศึกษาการลดความชื้นด้วยลมร้อนภายในตู้อบ
2. ศึกษาการปรับเปลี่ยนปริมาณและทิศทางของลมร้อน ภายในตู้อบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพมากขึ้น
3. ศึกษาการใช้โปรแกรม Air Pak เพื่อจำลองสภาวะภายในตู้อบ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ศึกษาการอบแห้งโดยลมร้อน
2. ได้ศึกษาการใช้โปรแกรมในการ Simulation ภายในของตู้อบ
3. สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการอบแห้งด้วยลมร้อน
4. สามารถทำให้อาหารทะเลแห้งมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีการอบแห้ง

ทฤษฎีการอบแห้ง

กระบวนการอบแห้งส่วนมากใช้อากาศร้อนเป็นตัวกลางผ่านไปยังวัสดุ ทำให้มีการถ่ายเทความร้อนและมวลสารขึ้นพร้อมๆกันความร้อนจะทำให้น้ำระเหยจากผิวของวัสดุ อัตราการระเหยของน้ำหรืออัตราการอบแห้งของวัสดุนั้นจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วอากาศแห้ง โดยทั่วไปแล้วอัตราการอบแห้งจะคงที่ในช่วงเวลาหนึ่ง หลังจากนั้นอัตราการอบแห้งจะลดลง และมีค่าเป็นศูนย์เมื่อความชื้นถึงสถานะสมดุล ในบทนี้จะกล่าวถึงกลไกการอบแห้งซึ่งเป็นการเคลื่อนที่ของความชื้นภายในวัสดุและสมการการอบแห้ง

2.1 กลไกการอบแห้ง

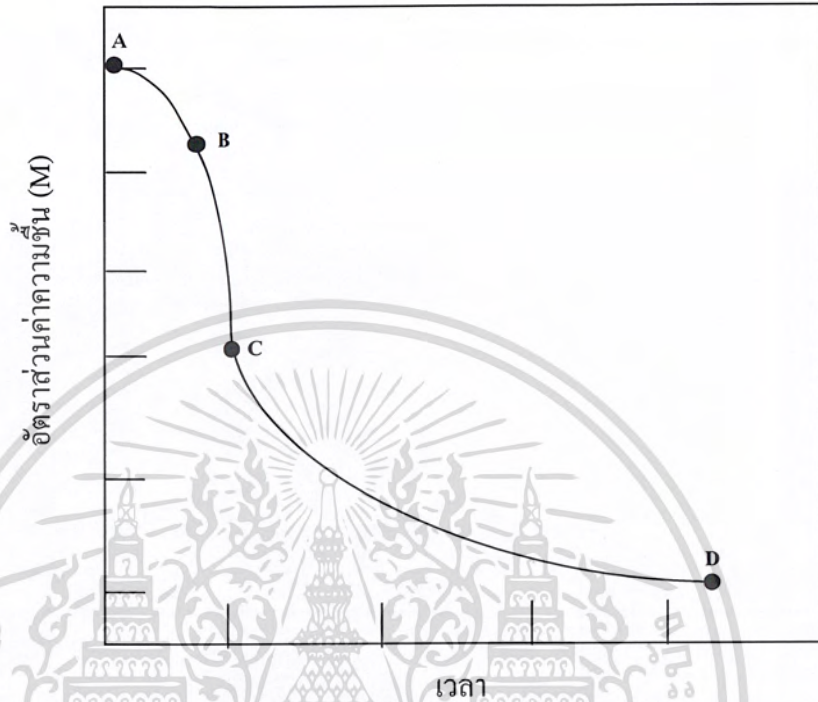
นักวิทยาศาสตร์ได้ศึกษาและอธิบายกลไกการเคลื่อนที่ของความชื้นในวัสดุขณะที่เกิดการอบแห้ง เช่น ความชื้นอาจจะเคลื่อนที่ในรูปน้ำหรือไอน้ำภายใต้แรงดันของอุณหภูมิ ความชื้นหรือผลต่างของความดันไอกภายในวัสดุหรืออาจเป็นการเคลื่อนที่แบบแคปิลารีอันเนื่องมาจากแรงตึงผิว เป็นต้น อัตราการเปลี่ยนแปลงของความชื้นหรืออัตราการอบแห้ง ซึ่งใช้อธิบายกลไกการอบแห้งและสร้างเป็นสมการอบแห้งนั้นจะต้องมีการทดสอบความถูกต้องจากการทดลอง วิธีการทดลองหาอัตราการอบแห้ง โดยทั่วไป คือการติดตามการเปลี่ยนแปลงของความชื้นเทียบกับเวลา ดังรูป 2.1 เมื่อนำมาเขียนเป็นอัตราการอบแห้ง (dM/dt) จะได้ในรูป 2.2 ซึ่งแสดงอัตราการอบแห้ง กับความชื้นจะพบว่าอัตราการอบแห้งแบ่งออกเป็น 3 ช่วง AB เป็นช่วงที่วัสดุได้รับความร้อนมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น อัตราการอบแห้งจะเพิ่มขึ้นจนถึงจุด (B) ช่วงที่สอง (BC) เป็นเส้นตรง ซึ่งวัสดุเป็นช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ การอบแห้งช่วงนี้มักพบกับวัสดุที่มีความชื้นเริ่มต้นสูง การเคลื่อนที่ของน้ำจากผิวหน้าวัสดุไปยังอากาศ จะเท่ากับการเคลื่อนที่ของความชื้นภายในวัสดุมายังผิวหน้า เปรียบได้จากการระเหยของน้ำจากเทอร์โมมิเตอร์กระเปาะเปียกดังนั้นอุณหภูมิผิวหน้าของวัสดุจะเท่ากับอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศอบแห้ง อัตราการอบแห้งช่วงนี้จะถูกควบคุมโดยสถานะอากาศอบแห้ง ซึ่งเป็นตัวแปรภายนอกของวัสดุ จุด (C) เป็นจุดที่เปลี่ยนจากอัตราการอบแห้งคงที่เป็นช่วงอัตราการอบแห้งลดลง (CD) ความชื้นที่จุดนี้เรียกว่า ค่าความชื้นวิกฤต (critical moisture content)

ในช่วงอัตราการอบแห้งลดลง (CD) อัตราการเคลื่อนที่ของความชื้นจากภายในวัสดุมายังผิวหน้าต่ำ

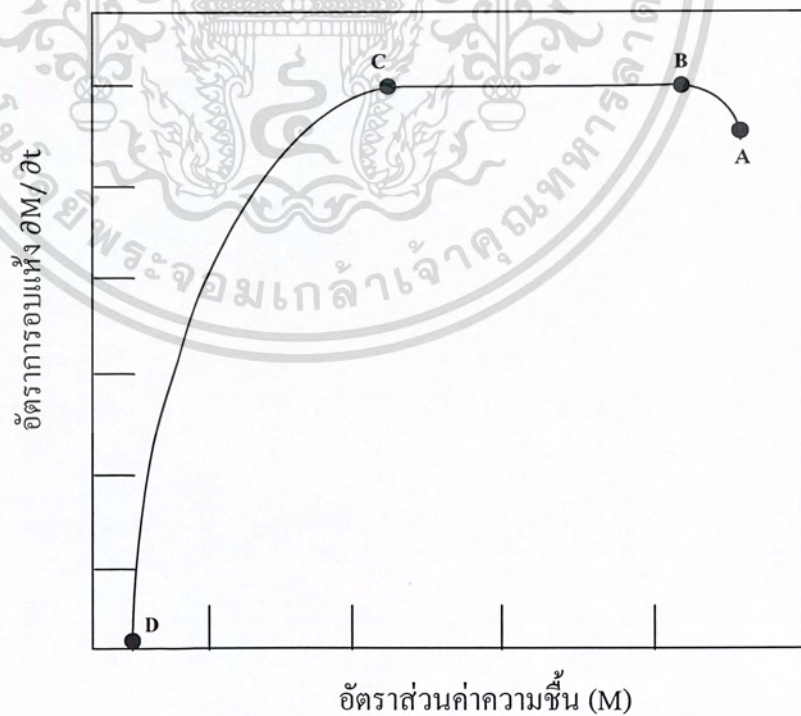
เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์ หากมีการนำ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กว่าอัตราการระเหยของน้ำจากผิวน้ำสู่อากาศ กลไกการเคลื่อนที่ของความชื้นอาจเป็นแบบใดแบบหนึ่งดังกล่าวถึงต่อไป



ภาพที่ 2.1 อัตราส่วนค่าความชื้น VS เวลา



ภาพที่ 2.2 อัตราการอบแห้ง VS อัตราส่วนค่าความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งอัตราการอบแห้งลดลงจะถูกควบคุมด้วยตัวแปรภายใน ได้แก่การเคลื่อนที่ของความชื้นภายใน โครงสร้างของวัสดุเป็นต้น อัตราการอบแห้งจะเป็นศูนย์เมื่อวัสดุมีความชื้นที่ค่าความชื้นสมดุลจุด D ซึ่งหมายความว่าสภาวะ ความดันไอของน้ำภายในวัสดุมีค่าเท่ากับความดันไอน้ำของอากาศที่ สภาวะนั้นๆ ปกติแล้ว ที่สภาวะอากาศหนึ่งๆ ค่าความชื้นวิกฤตและค่าความชื้นสมดุล ตลอดจน อัตราการอบแห้งจะเป็นลักษณะเฉพาะของวัสดุแต่ละชนิด

2.2 การเคลื่อนที่ของความชื้นภายในวัสดุ

ภายในโครงสร้างวัสดุทางการเกษตรและอาหารส่วนใหญ่ประกอบด้วย เยื่อมีช่องว่างรูพรุน หรือหลอดเล็กๆ การเคลื่อนที่ของความชื้นจากภายในอาจเกิดขึ้นเนื่องจากการแพร่ของของเหลว แรงตึงผิวของของเหลวต่างกับความดันไอของความชื้นภายใน และผลต่างของอุณหภูมิภายในวัสดุ ทฤษฎีที่ในอธิบายกลไกการเคลื่อนที่ของความชื้นมีอยู่หลายทฤษฎีด้วยกัน (Mujumdar,1980)

2.2.1 ทฤษฎีการแพร่ของของเหลว (Liquid Diffusion Theory)

การอบแห้งช่วงอัตราการอบแห้งลดลงเริ่มขึ้นเมื่อปริมาณน้ำ ซึ่งระเหยจากผิวหน้าของวัสดุ เร็วกว่าการเคลื่อนที่ของน้ำจากภายในจึงทำให้บริเวณผิวหน้ามีความชื้นต่ำลง ขณะที่ภายในมี ความชื้นสูงกว่า ดังนั้นความชื้นจากภายในจะเคลื่อนที่สู่ภายนอกด้วยการแพร่ของของเหลวอัตรา การแพร่จะขึ้นอยู่กับผลต่างของความชื้นและค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของของเหลว เมื่อให้อัตราการ ระเหยของความชื้นสู่อากาศ มาจากอัตราการแพร่ของความชื้น ภายในวัสดุอย่างเดียวยังสามารถแสดง สมการอบแห้งด้วยสมการถ่ายเทความร้อนด้วยสภาวะไม่คงที่ (Unsteady state) ตามกฎข้อที่สอง ของฟิค (Fick's second Law) ดังนี้

$$\frac{\partial M}{\partial t} = D_1 \frac{\partial^2 M}{\partial y^2} \quad (2.1)$$

เมื่อ M = ค่าความชื้น (น้ำหนักของน้ำ/น้ำหนักแห้งของวัสดุ)

D_1 = สัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำในวัสดุ

y = ระยะทาง

t = ระยะเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการ (2.1) มีผู้นำไปใช้ทำนายการอบแห้งเมล็ดพืช และผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น Bakker – Arkema และ Hall (1965) Henderson (1974) และ Crank (1958) เป็นต้น โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่คงที่ หรือสัมประสิทธิ์การแพร่ขึ้นกับอุณหภูมิตามสมการแบบอาร์เรเนียส ดังนี้

$$D_1 = D_o \exp(-E/RT_{abc}) \quad (2.2)$$

เมื่อ D_o = ค่าคงที่ของสมการ

E = พลังงานกระตุ้น (activation energy)

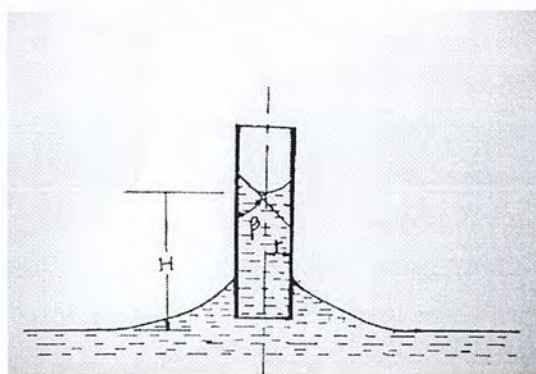
R = ค่าคงที่ของก๊าซ (gas constant)

T_{abc} = อุณหภูมิ (องศาสัมบูรณ์)

จากการทดลองเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของของเหลว Fisher (1978) พบว่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของของเหลว นอกจากจะขึ้นอยู่กัอุณหภูมิแล้วยังขึ้นอยู่กัค่าความชื้นภายในวัสดุด้วย ดังนั้นการนำทฤษฎีการแพร่ของของเหลวสมการ 2.1 มาใช้ทำนายการอบแห้งวัสดุจะทำให้เกิดความผิดพลาดได้ จึงมีการเสนอทฤษฎีอื่นๆ เพื่อนำมาอธิบายการเคลื่อนที่ของความชื้น

2.2.2 ทฤษฎีแคปิลลารี (Capillary Theory)

ทฤษฎีแคปิลลารีเป็นทฤษฎีที่อ้างถึงการเคลื่อนที่ของของเหลว เนื่องจากแรงตึงผิวในช่องว่างของหลอดเล็กๆ ทำให้ระดับน้ำในหลอดสูงชัน ดังรูป 2.3 เมื่อนำหลอดแคปิลลารีจุ่มลงในน้ำจะมีน้ำไหลขึ้นในหลอดแคปิลลารีสูงจากระดับพื้นน้ำ H ซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์ของความสูงได้ด้วยสมการต่อไปนี้



ภาพที่ 2.3 ความสูงของน้ำในหลอดแคปิลลารี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$H = 2\sigma \cos\beta / r\rho g \quad (2.3)$$

เมื่อ H = ความสูงของน้ำในหลอดแคปิลารี

σ = แรงตึงผิวของของเหลว

β = มุมที่ของเหลวทำกับผนังหลอดแคปิลารี

r = รัศมีของแคปิลารี

g = อัตราเร่งจากแรงโน้มถ่วง

ρ = ความหนาแน่นของของเหลว

จากสมการ (2.3) หากเส้นผ่านศูนย์กลางของแคปิลารียิ่งเล็กจะทำให้ความสูงของน้ำภายในหลอดสูงมากขึ้น หรือหมายถึงมีแรงดูดน้ำจากส่วนลึกลงไปของหลอดมีค่าสูง ทำให้น้ำเคลื่อนที่ออกสู่ภายนอกได้ง่าย ปรัชญาการนี้มักใช้อธิบายการเคลื่อนที่ของน้ำออกจากหลอดเล็กๆ ภายในโครงสร้างของวัสดุในขณะที่ยังมีความชื้นสูง ซึ่งเป็นช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ (Van Arsdel, 1980) ฉะนั้นการระเหยของน้ำช่วงดังกล่าวจะเท่ากับฟลักซ์ของน้ำที่เคลื่อนที่ในหลอดแคปิลารี ดังสมการต่อไปนี้

$$J_1 = K_1 S dM/dy \quad (2.4)$$

เมื่อ J_1 = ฟลักซ์ของของเหลว

K_1 = สภาพนำของเหลว (liquid conductivity)

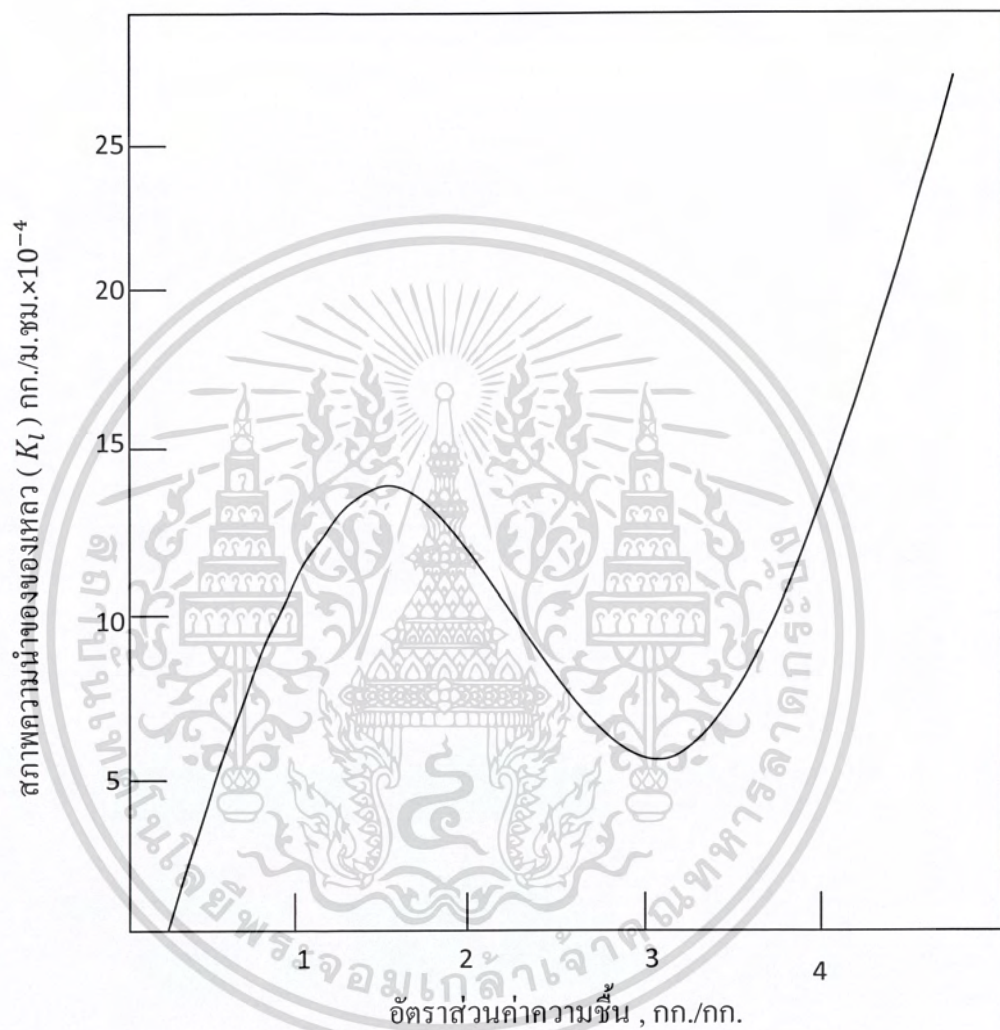
S = พื้นที่หน้าตัดของวัสดุ

dM/dy = เเรเดียนความชื้น (Moisture gradient)

ค่า K_1 เป็นค่าคงที่ของสมการ ขึ้นอยู่กับขนาดของหลอดแคปิลารี แรงตึงผิว และความหนืดของของเหลว ในช่วงที่วัสดุมีความชื้นสูง Gorling (1958) พบว่าค่าสภาพนำของเหลว K_1 ของมันเทศมีค่าไม่คงที่ แต่ขึ้นอยู่กับค่าความชื้น ดังรูป 2.4 และที่ค่าความชื้นสูงกว่า 3.5 กก./กก. ค่า K_1 จะสูงขึ้นเรื่อยๆ ช่วงค่าความชื้นต่ำกว่า 0.3 กก./กก. ค่า K_1 เท่ากับศูนย์และค่า K_1 ช่วงค่าความชื้น 0.3 - 0.5 กก./กก. มีค่าค่อนข้างคงที่ผลที่ได้เกิดขึ้นอาจมาจากการหดตัว หรือการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายใน ทำให้ไม่เกิดปรากฏการณ์แบบแคปิลารีทั้งหมด สำหรับการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อบแห้งวัสดุอาหารทฤษฎีแคปิลารีเป็นที่ยอมรับในการใช้อธิบายการเคลื่อนที่ของน้ำในช่วงแรกของการอบแห้ง ในขณะที่น้ำภายในวัสดุยังมีปริมาณมากพอ



ภาพที่ 2.4 สภาพความนำของเหลว VS อัตราส่วนค่าความชื้นของซีเมนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ความชื้นในวัสดุ

ความชื้นในวัสดุเป็นตัวบอกปริมาณน้ำที่มีอยู่ในวัสดุเมื่อเทียบกับมวลของวัสดุชื้นหรือแห้ง ความชื้นในวัสดุสามารถแบ่งออกได้ 2 ประเภทคือ

ความชื้นมาตรฐานเปียก (Wet basis)

$$M_w = (w - d)/w \quad (2.5)$$

เมื่อ M_w คือ ความชื้นมาตรฐานเปียก , เศษส่วน

w คือ มวลของวัสดุ , kg

d คือ มวลวัสดุแห้ง , (ไม่มีความชื้น) , kg

ความชื้นแบบนี้นิยมใช้ในวงการค้า โดยทั่วไปอาจจะอ้างถึงในรูปแบบของเปอร์เซ็นต์ (100% M_w)

ความชื้นมาตรฐานแห้ง (dry basis)

$$M_d = (w - d)/d \quad (2.6)$$

ความชื้นแบบนี้นิยมใช้ในการวิเคราะห์กระบวนการอบแห้งทางทฤษฎี เพราะช่วยให้การคำนวณสะดวกขึ้น ซึ่งเป็นเพราะมวลของวัสดุแห้งจะมีค่าคงที่หรือเกือบคงที่ระหว่างการอบแห้ง ที่เป็นเช่นนี้เพราะมวลของวัสดุแห้งจะมีค่าคงที่หรือเกือบคงที่ระหว่างการอบแห้ง ที่เป็นเช่นนี้เพราะผลผลิตทางการเกษตรเป็นสิ่งมีชีวิต มีการหายใจ ดังนั้นจึงมีการเผาผลาญสารอาหาร ทำให้มวลแห้งลดลง ส่วนใหญ่แล้วมวลแห้งจะลดลงเพียงเล็กน้อย

ค่า M_d และ M_w มีความสัมพันธ์กันคือ

$$M_w = M_d / (1 + M_d) \quad (2.7)$$

$$M_d = M_w / (1 + M_w) \quad (2.8)$$

2.4 วิธีการหาความชื้นในเมล็ดพืชและอาหาร

การหาความชื้นอาจแบ่งได้เป็น 2 วิธีคือ วิธีตรง (direct method) และวิธีอ้อม (indirect method) การเก็บตัวอย่างควรเก็บไว้ในภาชนะที่สามารถป้องกันไม่ให้เกิดการถ่ายเทความชื้นระหว่างตัวอย่างและอากาศก่อนที่จะทำการหาความชื้น เพื่อให้ตัวอย่างเป็นตัวแทนที่เหมาะสมของเมล็ดพืชหรืออาหารทั้งหมด

- 1) วิธีตรง (direct method) การหาความชื้นโดยตรงมีหลายวิธี เช่น การใช้ตู้อบการกลั่น และการใช้สารดูดความชื้นในห้องสูญญากาศ เป็นต้น วิธีตรงเป็นวิธีที่ใช้เวลา และมีความถูกต้องสูง สามารถใช้อ้างอิงได้
 - การใช้ตู้อบ การหาความชื้นของเมล็ดพืชทำได้โดยการใช้ตู้อบที่อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสม
 - การกลั่น ทำได้โดยใส่ตัวอย่างไว้ในน้ำมัน และทำให้ร้อนเนื่องจากน้ำมันมีจุดเดือดต่ำกว่าน้ำมัน ดังนั้นน้ำจึงระเหยออกมาก่อน โดยผ่านไอน้ำเข้าเครื่องควบแน่นจะได้หยดน้ำ ส่วนนี้คือปริมาณน้ำที่อยู่ในอาหาร
- 2) วิธีอ้อม (indirect method) การหาความชื้นของวัสดุอาจทำได้โดยการวัดคุณสมบัติบางอย่างซึ่งขึ้นอยู่กับความชื้นเช่น ความต้านทานทางไฟฟ้า หรือคุณสมบัติทางไดอิเล็กตริก(Dielectric) วิธีนี้เป็นวิธีที่สามารถทำได้เร็วแต่มีข้อเสียคือ ความชื้นที่หาได้ไม่ถูกต้องนัก นอกจากนี้คุณสมบัติเหล่านี้ยังแปรเปลี่ยนตามอุณหภูมิและความหนาแน่นของการบรรจุด้วย แม้การวัดความชื้น โดยวิธีอ้อมจะมีความคลาดเคลื่อนบ้าง แต่ก็เป็นที่ยอมรับของวงการค้า โดยทั่วไป เนื่องจากทำได้สะดวกและรวดเร็ว

2.5 ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่ออัตราการอบแห้งวัสดุเกษตร

1. สภาพธรรมชาติของวัสดุ เมื่อพิจารณาสภาพธรรมชาติของวัสดุเหล่านั้น โครงสร้างของวัสดุจะมีผลต่ออัตราการอบแห้ง กล่าวคือ ถ้าวัสดุมีโครงสร้างที่มีรูพรุนมาก ซึ่งสภาวะดังกล่าวจะทำให้โมเลกุลของน้ำในอาหารเคลื่อนที่ออกไปได้ง่าย ทำให้อัตราการอบแห้งเร็วขึ้น แต่ถ้าวัสดุมีรูพรุนมากเกินไป อาจทำหน้าที่เสมือนฉนวนของการนำความร้อน ซึ่งอาจมีผลทำให้อัตราการอบแห้งลดลงบ้างเนื่องจากทำให้การส่งผ่านความร้อน ไปยังโมเลกุลของวัสดุไม่ค่อยดีนัก ดังนั้นวัสดุที่มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างเป็นรูพรุนมาก อัตราการอบแห้งผลของการเคลื่อนที่โมเลกุลของน้ำมีอิทธิพลมากกว่าการลดลงของความสามารถในการส่งผ่านความร้อนไปยังโมเลกุลของน้ำในอาหาร

นอกจากนี้ปริมาณของน้ำในสภาพธรรมชาติของวัสดุที่จะมาทำการอบแห้งจะมีผลต่ออัตราการอบแห้ง คือ วัสดุที่มีน้ำอยู่ในรูปอิสระมาก จะทำให้อัตราการอบแห้งเป็นไปได้อย่างรวดเร็วกว่า วัสดุที่มีน้ำอยู่ในรูปของน้ำยึดเกาะ

ในแง่ขององค์ประกอบทางเคมีในสภาพธรรมชาติของอาหารที่จะมาทำการอบแห้งก็มีความสำคัญและมีผลต่ออัตราการอบแห้งของวัสดุ วัสดุที่มีชนิดและความเข้มข้นของสารอาหารที่เป็นองค์ประกอบต่างกัน จะมีผลทำให้การเคลื่อนที่ของน้ำและการส่งผ่านความร้อนไปยังโมเลกุลของน้ำต่างกันด้วย ทำให้อัตราการอบแห้งต่างกัน ในที่สุด

2. ขนาดรูปร่างของวัสดุและการจัดเรียง วัสดุที่จะนำมาทำการอบแห้งที่มีขนาดและรูปร่างต่างกันจะมีผลต่อการอบแห้งวัสดุนั้น โดยขนาดและรูปร่างของวัสดุจะมีผลทำให้พื้นที่ผิวของการอบแห้งต่อปริมาตรของวัสดุต่างกันด้วย โดยวัสดุที่มีพื้นที่ผิวต่อปริมาตรในการอบแห้งมากก็จะทำให้ประสิทธิภาพในการอบแห้งสูงขึ้น โดยการระเหยน้ำที่ผิววัสดุจะเกิดขึ้นได้ดีทำให้อัตราของการอบแห้งเร็วขึ้น

3. สภาพในการอบแห้งวัสดุ สภาพในการอบแห้งวัสดุก็เป็นปัจจัยสำคัญประการหนึ่งที่มีผลต่อการอบแห้ง ถ้าสภาพในการอบแห้งที่เหมาะสมกับการอบแห้งก็จะทำให้อัตราการอบแห้งรวดเร็วและเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ โดยปัจจัยต่างๆที่สำคัญและเกี่ยวข้องกับการอบแห้งวัสดุ อาจกล่าวได้คือ

3.1) อุณหภูมิ อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งวัสดุนั้น ควรให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมไม่ควรสูงเกินไปเนื่องจากถ้าใช้อุณหภูมิที่สูงเกินไปจะทำให้คุณภาพของวัสดุลดลง เนื่องจากผลของความร้อนเช่น การสูญเสียวิตามินต่างๆในวัสดุเกษตร อาจเกิดสีน้ำตาลหรือมีรสขมจากการไหม้เกรียมของวัสดุ

3.2) ความชื้นสัมพัทธ์ ถ้าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในขณะที่ทำการอบแห้ง จะมีผลทำให้การเคลื่อนที่ของน้ำและการระเหยน้ำ ออกจากผิววัสดุสู่อากาศเป็นไปได้ยากขึ้น เนื่องจากอากาศในระบบมีปริมาณน้ำสูงอยู่แล้วจึงเป็นผลทำให้การทำแห้งช้าลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3) ความดันบรรยากาศ ในกระบวนการแบบแห้งวัสดุถ้าลดความดันของบรรยากาศในขณะที่ทำการอบแห้ง จะทำให้จุดเดือดของน้ำในวัสดุนั้นลดลงทำให้การเคลื่อนตัวและการระเหยของน้ำออกจากวัสดุง่ายขึ้น โดยน้ำสามารถระเหยได้ที่อุณหภูมิต่ำ ดังนั้นการทำแห้งบางประเภทจึงมีการปรับปรุงสภาวะบรรยากาศในการอบแห้ง โดยมีเครื่องดูดอากาศออกทำให้ความดันต่ำกว่า 1 บรรยากาศ ในขณะที่ทำแห้งเพื่อให้อัตราการอบแห้งเร็วขึ้น ในขณะเดียวกันก็ทำให้วัสดุแห้งได้ที่อุณหภูมิต่ำลง

3.4) ความเร็วลม ในขณะที่ทำการอบแห้งวัสดุ ถ้าบรรยากาศโดยรอบมีการระบายอากาศที่เหมาะสมคือมีความเร็วลมที่พอเหมาะทำให้น้ำที่เคลื่อนที่มาที่ผิวของวัสดุสามารถระเหยได้อย่างรวดเร็วทำให้อัตราการอบแห้งเป็นไปอย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพมากขึ้น

จะเห็นได้ว่าปัจจัยต่างๆของสภาวะขณะทำการอบแห้งจะมีผลต่ออัตราการอบแห้งของวัสดุ ดังนั้นการควบคุมปัจจัยต่างๆซึ่งได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้น ความดันบรรยากาศ และความเร็วลม ในขณะที่ทำการอบแห้งจะช่วยให้ควบคุมอัตราการอบแห้งได้ดียิ่งขึ้น

2.6 การประเมินสมรรถนะของการอบแห้ง

การประเมินสมรรถนะการอบแห้ง แบ่งออกเป็นทางด้านประสิทธิภาพการอบแห้งและประสิทธิภาพการใช้พลังงาน โดยพิจารณาจากการอบแห้ง ได้ดังนี้

อัตราการอบแห้ง (Drying Rate, DR) คิดจากปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากวัสดุต่อระยะเวลาในการอบแห้ง มีหน่วยเป็น kg/h หรือคิดปริมาณความชื้น ซึ่งมีหน่วยเป็น %db/h โดยมีความสัมพันธ์คือ

$$DR = (m_{p,i} - m_{p,o})/t \quad (2.9)$$

$$DR = (m_i - m_o)/t \quad (2.10)$$

อัตราการระเหยน้ำจำเพาะ (Specific Moisture Extraction Rate, SMER) ปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากวัสดุต่อพลังงานที่ใช้ต่อการอบแห้ง มีหน่วยเป็น kg/kW h โดยมีความสัมพันธ์คือ

$$SMER = (m_{p,i} - m_{p,o})/P \quad (2.11)$$

สิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption, SEC) เป็นส่วนกลับของ SMER กล่าวคือ เป็นพลังงานที่ใช้ต่อปริมาณน้ำที่ระเหย มีหน่วยเป็น MJ/kg โดยมีความสัมพันธ์คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$SEC = 3.6P / (m_{p,i} - m_{p,o}) \quad (2.12)$$

อัตราการควบแน่น (Moisture Extraction Rate, MER) เป็นปริมาณน้ำที่ควบแน่นที่เครื่องทำ
ระเหยต่อเวลาที่ไซบอบแห้ง มีหน่วยเป็น kg/h

$$MER = m_{wc} / t \quad (2.13)$$

เมื่อ	$m_{p,i}$	=	น้ำหนักวัสดุก่อนอบแห้ง (kg)
	$m_{p,o}$	=	น้ำหนักวัสดุหลังอบแห้ง (kg)
	m_i	=	ความชื้นวัสดุก่อนอบแห้ง (%db)
	M_i	=	ความชื้นวัสดุหลังอบแห้ง (%db)
	P	=	ปริมาณพลังงานที่ใช้ (kWh)
	t	=	เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง (h)

2.7 คำจำกัดความของศัพท์ไซโครเมตริก

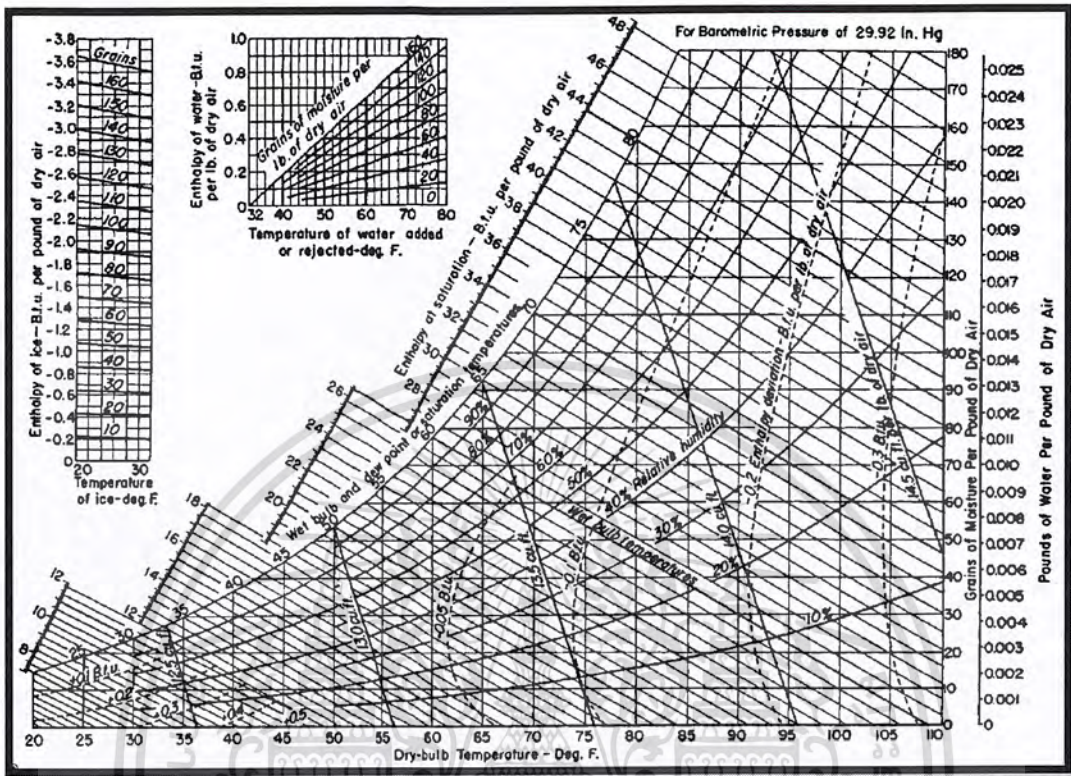
ศัพท์ไซโครเมตริก (Psychometric term) หมายถึงศัพท์ที่แสดงคุณสมบัติของอากาศชื้นเช่น
อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ เป็นต้น

ความดันไอ (Vapor Pressure) ค่าความดันไอคือส่วนของความดันย่อย (partial pressure) ที่
กระทำโดยโมเลกุลของไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศชื้น ถ้าอากาศอิ่มตัวด้วยไอน้ำเรียกความดันไอนี้ว่า
ความดันไ่อิ่มตัว (saturated vapor pressure) ค่าความดันไ่อิ่มตัวจะขึ้นกับอุณหภูมิความชื้น
สัมพัทธ์

- อัตราส่วนความชื้น (Humidity Ratio) อัตราส่วนความชื้น คือมวลของไอน้ำที่อยู่ใน
อากาศแห้งหนึ่งหน่วยมวล
- อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry-bulb Temperature) คืออุณหภูมิของอากาศที่ชั้บออกโดย
เทอร์โมมิเตอร์ทั่วไป
- อุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet-bulb Temperature) คืออุณหภูมิของอากาศชื้นที่ชั้บออก
โดยเทอร์โมมิเตอร์ที่กระเปาะถูกหุ้ม โดยผ้าเปียกและมีลมเป่าที่ 3 m/s
- อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew-Point Temperature) คืออุณหภูมิที่ไอน้ำในอากาศเริ่ม
ควบแน่นเมื่ออากาศถูกทำให้เย็นลงที่อัตราส่วนความชื้นและความดันคงที่
- เอนทาลปี (Enthalpy) ของอากาศชื้นคือค่าปริมาณความร้อนของอากาศชื้นต่อหนึ่ง
หน่วยมวลของอากาศแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ปริมาตรจำเพาะ(Specific Volume) ของอากาศชื้นคือ ปริมาตรต่อหนึ่งหน่วยมวลของอากาศแห้ง



ภาพที่ 2.5 โครงสร้างแผนภูมิความชื้น

2.8 สมการอบแห้ง

สมการอบแห้ง คือ สมการที่อาจเขียนขึ้นโดยใช้ทฤษฎีหรือผลการทดลองหรือทั้งสองอย่างประกอบกัน เพื่อนำมาใช้ทำนายอัตราอบแห้ง ตลอดจนถึงผลของตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อการอบแห้งวัสดุนั้นๆ

2.8.1 สมการอบแห้งทางทฤษฎี

ทฤษฎีการแพร่ของของเหลว และทฤษฎีหลอดแคปิลลารีเป็นกลไกส่วนหนึ่งที่ใช้อธิบายการแพร่ของความชื้นดังกล่าวมาแล้วในการสร้างสมการการอบแห้งทางทฤษฎีได้มีการเสนอกลไกการเคลื่อนที่ของความชื้นที่อาจเป็นไปได้ ซึ่งการเคลื่อนที่ของความชื้นโดยทฤษฎีทั้งสองเป็นส่วนหนึ่งในกลไกเหล่านั้น ได้แก่

1. การเคลื่อนที่ของเหลวเนื่องจากการไหลในหลอดแคปิลลารี (Capillary flow)
2. การเคลื่อนที่ของของเหลวเนื่องจากการแพร่ (Liquid diffusion)
3. การเคลื่อนที่ของของเหลวเนื่องจากการแพร่ของความชื้นบริเวณผิวหน้าของช่องว่างหรือรูพรุน (Surface diffusion)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การเคลื่อนที่ของไอน้ำเนื่องจากการแตกต่างของความชื้น (Vapor diffusion)
5. การเคลื่อนที่ของไอน้ำเนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิ (Thermal diffusion)
6. การเคลื่อนที่ของของเหลว และไอน้ำเนื่องจากความแตกต่างของความดันของของเหลว (Hydrodynamic flow)

Luikov (1966) ศึกษาสมการทางคณิตศาสตร์ที่อธิบายถึงกระบวนการรอบแห้งวัสดุภายใต้สมมติฐานการเคลื่อนที่ของความชื้นข้างต้น และสรุปสมการเป็นสมการรอบแห้งดังนี้

$$\frac{\partial M}{\partial t} = \nabla^2 K_1 M + \nabla^2 K_2 T + \nabla^2 K_3 P \quad (2.14)$$

ค่าที่ K_1, K_2, K_3 เป็นสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น อุณหภูมิ และความดันตามลำดับ สำหรับการทดลองการอบแห้งของวัสดุทางการเกษตรส่วนมากเป็นการอบแห้งแบบชั้นบางจึงทำให้ความแตกต่างของอุณหภูมิและความดันภายในวัสดุมีค่าน้อยลง เมื่อเทียบกับผลต่างของค่าความชื้น ดังนั้นสมการที่ (2.9) สามารถตัดทิ้งได้เนื่องจากการเคลื่อนที่ของความชื้นภายในวัสดุส่วนใหญ่มาจากการแพร่ความชื้น ดังนั้นสัมประสิทธิ์การแพร่ K_1 สามารถแทนด้วยสัญลักษณ์สัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น D เป็นสมการดังนี้

$$\frac{\partial M}{\partial t} = \nabla^2 DM \quad (2.15)$$

สภาวะขอบเขตและสภาวะเริ่มต้นที่ใช้แก้สมการ (2.10) คือ

$$\text{สภาวะเริ่มต้น } M(r, 0) = M_{in}$$

$$\text{สภาวะขอบเขต } M(r_0, t) = M_{eq}$$

เมื่อ r = ระยะทางวัดจากจุดกึ่งกลางของวัสดุ

$$r_0 = \text{ความกว้างหรือรัศมี}$$

$$M_{in} = \text{ค่าความชื้นเริ่มต้น}$$

$$M_{eq} = \text{ค่าความชื้นสมดุล}$$

จากวิธีเชิงวิเคราะห์ (analytical method) ได้คำตอบสำหรับการเคลื่อนที่ความชื้นภายในวัสดุรูปทรง

ต่างๆ ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผ่นราบ
$$MR = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left(\frac{-(2n+1)^2}{4} \pi^2 X^2\right) \quad (2.16)$$

ทรงกลม
$$MR = \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \exp\left(\frac{n^2}{g} \pi X^2\right) \quad (2.17)$$

ทรงกระบอก
$$MR = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{4}{x^2} \exp\left(\frac{-x^2 n}{4} X^2\right) \quad (2.18)$$

เมื่อ $MR = (M - M_{eq}) / (M_{in} - M_{eq}) =$ อัตราส่วนค่าความชื้น (Moisture ratio)

$X = A / \sqrt{Dt^2} =$ ระยะทางสมมุติ (characteristic length)

$A =$ พื้นที่ผิวของวัสดุ

$V =$ ปริมาตรของวัสดุ

$n =$ จำนวนเต็มมีค่า 1, 2, 3, ...

$t =$ ระยะเวลา

$D =$ สัมประสิทธิ์การแพร่ของความชื้น

สมการที่ได้จากวิธีเชิงวิเคราะห์เหมาะสมกับวัสดุที่มีรูปทรงเรขาคณิตแน่นอน มีขนาดเท่าเดิมตลอดการอบแห้ง และการเคลื่อนที่ของความชื้นมาจากการแพร่อย่างเดียว วัสดุทางการเกษตรส่วนมากมีรูปทรงที่ไม่แน่นอน และโครงสร้างภายในมักจะประกอบด้วยเนื้อเยื่อและหลอดเล็กๆ การเคลื่อนที่ของความชื้นระหว่างอบแห้งอาจเนื่องจากการไหลในหลอดแคปิลารีและการแพร่ของของเหลว นอกจากนี้รูปทรงของวัสดุขณะอบแห้งอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากการหดตัว การแข็งที่ผิวหน้า เป็นต้น ดังนั้นการนำสมการอบแห้งทางทฤษฎีมาหาอัตราการอบแห้งวัสดุทางการเกษตรอาจเกิดจากความผิดพลาดได้

2.8.2 สมการที่ใช้ในการอบแห้ง

$$R = - \left(\frac{W}{A} \right) \left(\frac{dx}{ds} \right) \quad (2.19)$$

เมื่อ $R =$ อัตราการอบแห้ง, กิโลกรัม/ชั่วโมง – ตารางเมตร

$W =$ น้ำหนักของวัสดุแห้ง, กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

X = เป็นความชื้นของวัสดุ , กิโลกรัม/กิโลกรัมวัสดุ

A = พื้นที่ของผิววัสดุที่ถูกอบแห้ง , ตารางเมตร

S = เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง , วินาที

$$\int ds = -\left(\frac{W}{A}\right) \int_{x_1}^{x_2} \left(\frac{dx}{R}\right) \quad (2.20)$$

x_1 = ความชื้นของวัสดุที่เวลา 0 , กิโลกรัมน้ำ/กิโลกรัมวัสดุ

x_2 = ความชื้นของวัสดุที่เวลา s , กิโลกรัมน้ำ/กิโลกรัมวัสดุ

ในช่วงการอบแห้งคงที่ $R = R_c$ เป็นค่าคงที่

จะได้
$$s_c = -\left(\frac{W}{AR_c}\right) (X_c - x_1) \quad (2.21)$$

เมื่อ X_c = เป็นความชื้นที่จุดวิกฤติ

s_c = เป็นเวลาของการอบแห้งในช่วงการอบแห้งคงที่ , วินาที

R_c จะขึ้นกับสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลระหว่างตัวกลางอบแห้งและผิววัสดุ

$$R_c = K_y(y_i - y_v)Ma = h_v(T_v - T_i)/x \quad (2.22)$$

เมื่อ $T_v - T_i$ = อุณหภูมิของลมร้อนและอุณหภูมิผิวสัมผัสของของเหลวและอากาศ , เซลเซียส

$y_i - y_v$ = ความชื้นเชิง โมลของผิวสัมผัสของของเหลวกับอากาศและความชื้นเชิง โมลของอากาศ , โมลน้ำ/โมลอากาศแห้ง

Ma = น้ำหนักโมเลกุลของของเหลว

X = ค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ , กิโลจูล/กิโลกรัม

K_y, h_v = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลและความร้อนจากผิวสัมผัสไปยังอากาศ

ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง การถ่ายเทมวลสารและพลังงานจะถูกควบคุมด้วยการแพร่

สามารถประมาณความสัมพันธ์ของอัตราการอบแห้งกับความชื้นของวัสดุเป็นฟังก์ชันเส้นตรง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{R}{X} = \frac{R_c}{X_c} \quad (2.23)$$

C หมายถึงจุดวิกฤติ เมื่อแทนค่าในสมการ 2.15 จะได้

$$\int ds = -\left(\frac{W}{AR_c}\right) \int \left(\frac{X}{X_c}\right) dx \quad (2.24)$$

$$S - S_c = -\left(\frac{WX_c}{AR_c}\right) \ln \left(\frac{X}{X_c}\right) \quad (2.25)$$

สมการ (2.24) และ (2.25) ใช้ได้ดีกับการอบแห้งวัสดุแข็งมาก ไม่เหมาะสมกับเส้นใยหรือ Gel

2.9 การประเมินสมรรถนะของการอบแห้ง

การประเมินสมรรถนะการอบแห้ง แบ่งออกเป็นทางด้านประสิทธิภาพการอบแห้ง และ ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน โดยพิจารณาจากการอบแห้ง ได้ดังนี้

อัตราการอบแห้ง (Drying Rate , DR) คิดจากปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากวัสดุต่อระยะเวลา ในการอบแห้ง มีหน่วยเป็น kg/h หรือคิดจากปริมาณความชื้น ซึ่งมีหน่วยเป็น %db/h โดยมีความสัมพันธ์คือ

$$DR = (m_{p,i} - m_{p,o})/t \quad (2.26)$$

$$DR = (m_i - m_o)/t \quad (2.27)$$

อัตราการระเหยน้ำจำเพาะ (Specific Moisture Extraction Rate , SMER) คือปริมาณน้ำที่ ระเหยออกจากวัสดุต่อพลังงานที่ใช้ตลอดการอบแห้ง มีหน่วยเป็น kg/k W h โดยมีความสัมพันธ์คือ

$$SMER = (m_{p,i} - m_o)/t \quad (2.28)$$

การสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption , SEC) เป็นส่วนกลับของ SMER กล่าวคือ เป็นพลังงานที่ใช้ต่อปริมาณน้ำที่ระเหย มีหน่วยเป็น MJ/kg โดยมีความสัมพันธ์คือ

$$SEC = 3.6P/(m_{p,i} - m_{p,o}) \quad (2.29)$$

อัตราการควบแน่นน้ำ (Moisture Extraction Rate , MER) เป็นปริมาณน้ำที่ควบแน่นที่ เครื่องทำระเหยต่อเวลาที่ใช้อบแห้ง มีหน่วยเป็น kg/h

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{MER} = m_{\text{wc}}/t \quad (2.30)$$

เมื่อ $m_{p,i}$ = น้ำหนักวัสดุก่อนการอบแห้ง (kg)

t = เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง (h)

$m_{p,o}$ = น้ำหนักวัสดุหลังอบแห้ง (kg)

m_i = ความชื้นวัสดุก่อนอบแห้ง (%db)

m_o = ความชื้นวัสดุหลังอบแห้ง (%db)

P = ปริมาณพลังงานที่ใช้ (k W h)



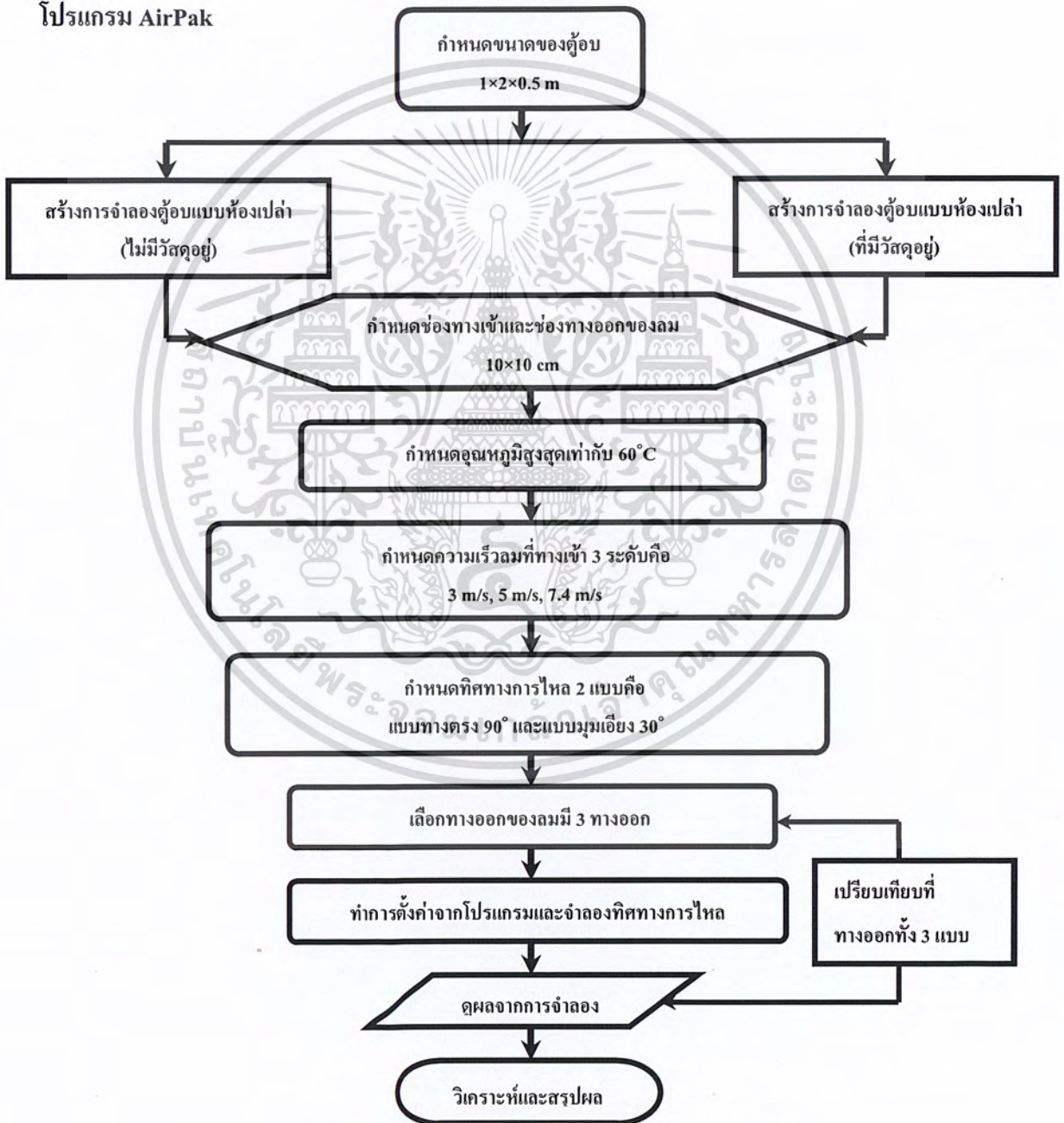
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบและการทดลองด้วยโปรแกรม

ในการสร้างโปรแกรมสำหรับออกแบบตู้อบแห้งอาหารทะเลของอุตสาหกรรมการแปรรูปที่ใช้ในหาทิศทางกรไหลของลมร้อน มีวัตถุประสงค์เพื่อจำลองการไหลในโปรแกรมของลมร้อนและอุณหภูมิในตู้อบ และศึกษาการลดความชื้นด้วยลมร้อนภายในตู้อบ

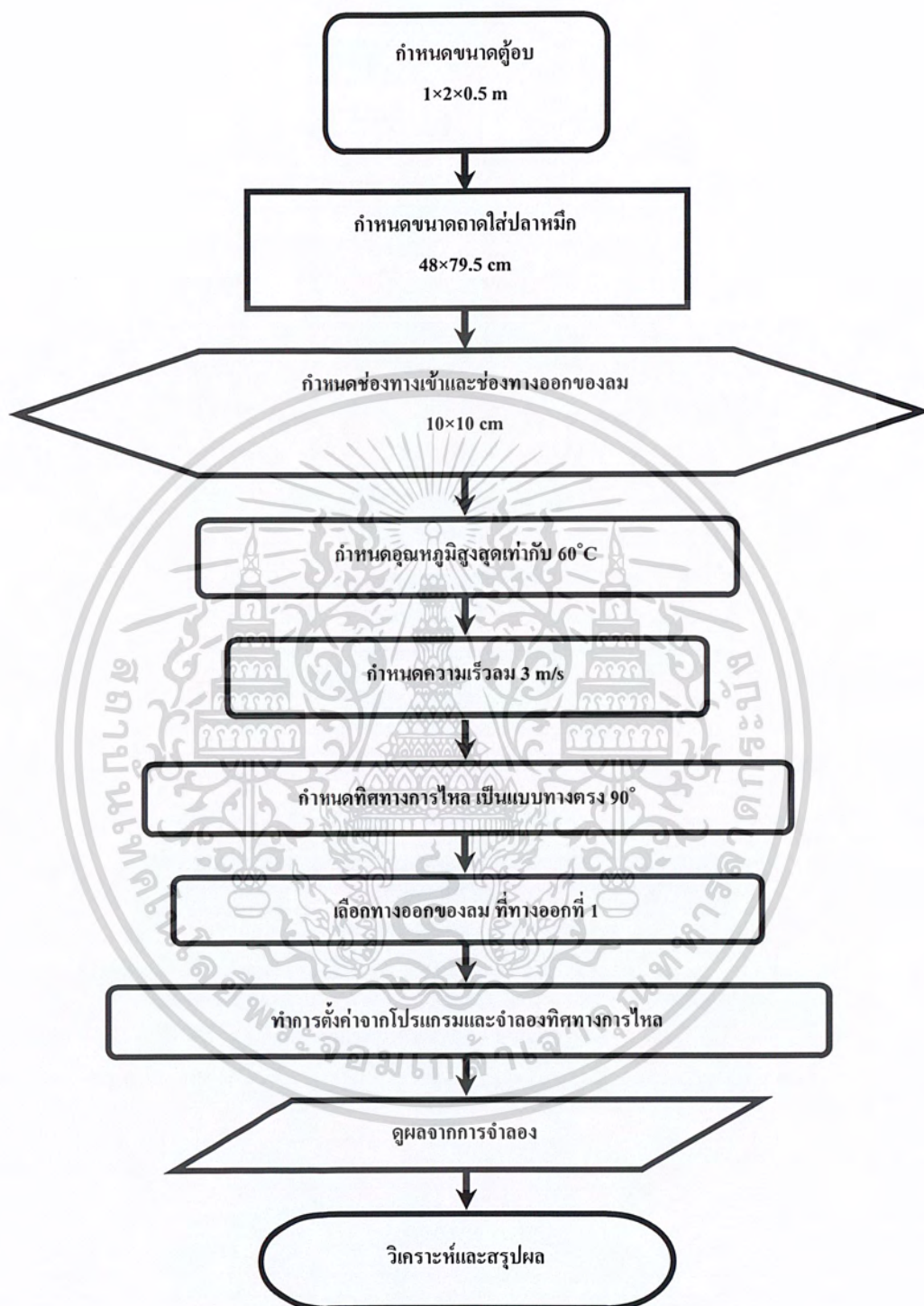
3.1 สร้างแบบจำลองตู้อบเพื่อตรวจสอบทิศทางกรไหล ของลมร้อนและอุณหภูมิในโปรแกรม AirPak



ภาพที่ 3.1 แผนภาพขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 สร้างแบบจำลองการออกแบบตู้อบโดยห้องที่มีวัสดุอยู่ (ปลาหมึก)



ภาพที่ 3.2 แผนภาพขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมที่มีวัสดุอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 สร้างแบบจำลองเพื่อจำลองทิศทางการไหลของลมและอุณหภูมิภายในตู้อบ

3.3.1 วัสดุและอุปกรณ์

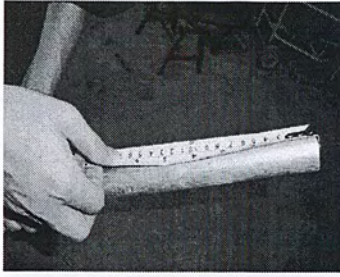
1. ท่อเหล็กกลมขนาด 0.75 นิ้ว ท่อสำหรับใช้สวมท่อเหล็กขนาด 0.75 นิ้ว หรือเหล็กฉาย
2. แผ่นยิบซัมขนาด 2×0.5 m จำนวน 1 แผ่น ,ขนาด 1×0.5 m จำนวน 2 แผ่น ,ขนาด 1×2 m จำนวน 2 แผ่นและแผ่นใสอะคริลิกขนาด 2×0.5 m จำนวน 1 แผ่น
3. พัดลมมอเตอร์ขนาด $\frac{1}{4}$ hp 1 ตัว
4. เครื่องทำความร้อนขนาด 2500 W
5. สติกเกอร์ฟอยล์ , นีออน

3.3.2 วิธีการสร้างแบบจำลองตู้อบ

1. ตัดเหล็กท่อกลมขนาด 0.75 นิ้วหรือเหล็กฉาก ขนาดความกว้าง 1 นิ้ว ความยาว 2 นิ้ว ความสูง 0.5 นิ้ว อย่างละ 4 ชั้น จำนวนทั้งหมด 12 ชั้น
2. ทำท่อที่จะสวมกับเหล็กขนาด 0.75 นิ้ว เป็นฉากสามทางเพื่อที่สามารถถอดประกอบได้ หรือใช้เหล็กฉากเชื่อมติดกันให้ได้ขนาด $2 \times 1 \times 0.5$ m ที่กำหนด
3. เจาะรูท่อสวมสามทาง โดยใช้ดอกสว่าน M9 แล้วทำการ เชื่อมท่อติดกันและเชื่อม นีออนติดบริเวณที่เจาะรู
4. ประกอบชิ้นส่วนเข้าด้วยกัน เป็น โครงสร้างของตู้อบ
5. ติดแผ่นยิบซัมทุกด้านภายนอกของ โครงสร้างตู้อบแบบจำลอง (ยกเว้นด้านขนาด 2×0.5 m สำหรับติดแผ่นใสอะคริลิก 1 ด้าน) โดยใช้ นีออนเจาะยึดแผ่นยิบซัมกับเหล็ก
6. ติดตั้งพัดลมมอเตอร์ขนาด $\frac{1}{4}$ hp (พัดลมห่างจากแบบจำลองตู้อบเป็นระยะ 1 m) เพื่อเป่าลมให้เกิดการไหลที่ราบเรียบ/เป็นระเบียบก่อนเข้าไปภายในแบบจำลองตู้อบ
7. ติดตั้งตัวเครื่องทำความร้อนไว้ที่ระยะ 0.5 m (คือช่วงที่ Blower ห่างจากแบบจำลองตู้อบเป็นระยะ 1 m)
8. ช่องทางลมเข้าขนาด 10×10 cm ใช้แบบ (Dumper) เพื่อปรับเปลี่ยนทิศทางการไหลที่ เข้าภายในตู้อบให้ได้ขนาด 90° c และ 30° c ตามที่ต้องการ
9. เจาะช่องทางออกของช่องขนาด 10×10 cm 3 ช่อง (บริเวณด้านบนบนของตู้อบ 2 ช่อง , บริเวณด้านทางช่องลมเข้า 1 ช่อง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 ขั้นตอนการสร้างโค รงแบบจำลองในแบบรูปภาพ



ภาพที่ 3.3 การวัดเหล็กตามขนาดที่ต้องการ



ภาพที่ 3.4 การตัดเหล็กมุม 45 °



ภาพที่ 3.5 การตัดเหล็กตามขนาดที่วัด



ภาพที่ 3.6 การเชื่อมต่อเหล็กสามสามทาง



ภาพที่ 3.7 การเชื่อมโครงของคู่อบ



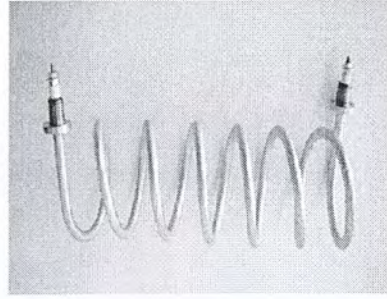
ภาพที่ 3.8 โครงสร้างของคู่อบ Model

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

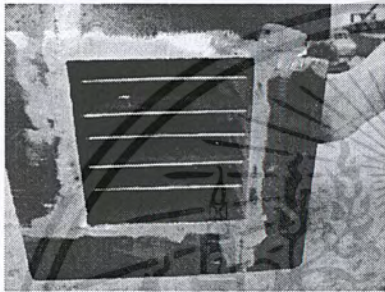
3.5 ขั้นตอนการประกอบ Model ในรูปแบบภาพ



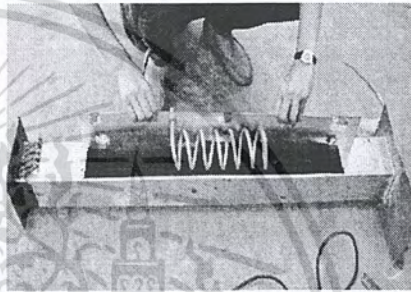
ภาพที่ 3.9 พัดลมและมอเตอร์ ขนาด ¼ hp



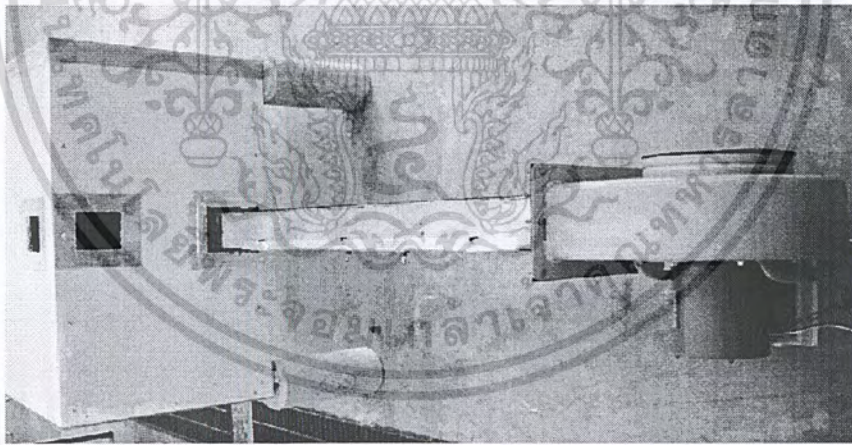
ภาพที่ 3.10 ตัวทำความร้อนขนาด 2500 W



ภาพที่ 3.11 Dumper ปรับทิศทางลมเข้า



ภาพที่ 3.12 ประกอบตัวทำความร้อนเข้ากับท่อยาว 1 m



ภาพที่ 3.13 ประกอบชิ้นส่วนเข้าด้วยกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

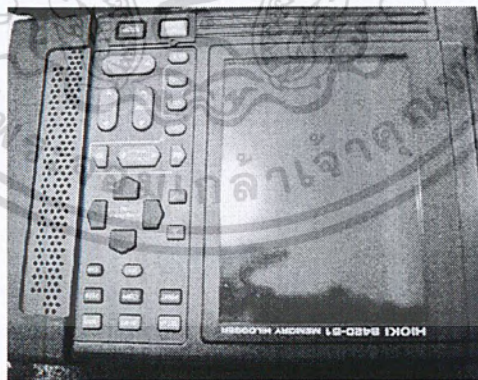
3.6 เครื่องมือที่ใช้วัด

1. เครื่องมือที่ใช้วัดปริมาณลม



ภาพที่ 3.14 เครื่องมือวัดชนิดหลายพารามิเตอร์ (Multi-Function Instrument) รุ่น testo 435 สามารถวัดและบันทึกค่าความเร็วลม อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความดันอากาศ ความเข้มแสง CO2 ในเครื่องเดียวกันได้

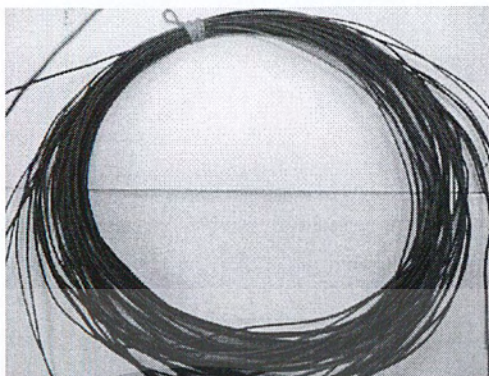
2. เครื่องมือที่ใช้วัดอุณหภูมิ Data Logger



ภาพที่ 3.15 Data Logger เครื่องมือที่ใช้สำหรับวัดและบันทึกอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. สาย Thermocouple ชนิด K



ภาพที่ 3.16 สาย Thermocouple ชนิด K สำหรับวัดค่าเก็บข้อมูล

4. Thermocouple Type K



ภาพที่ 3.17 เครื่อง Thermocouple Type K วัดอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 ขั้นตอนการทดสอบคู่อุปเทียบกับโปรแกรม

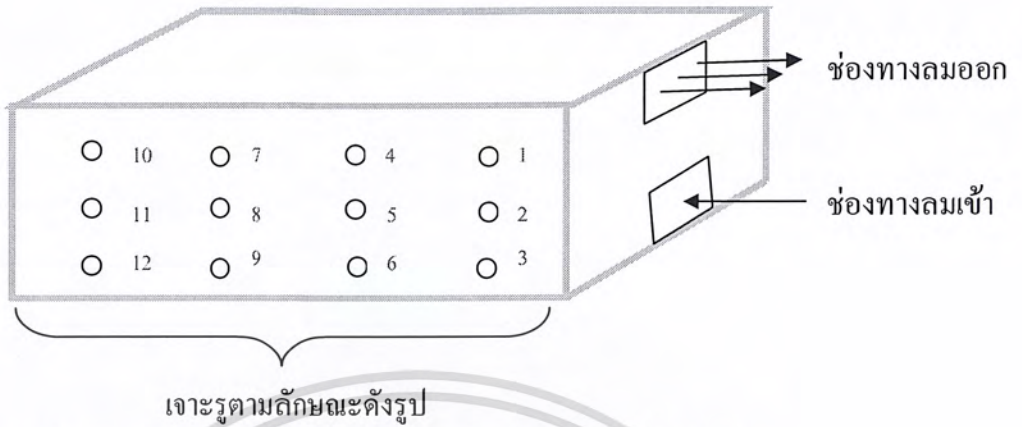
3.7.1 ทดสอบคู่อุปโดยลมธรรมชาติ

1. เปิดเครื่องพัดลมให้ทำงานเกิดลมไหลเวียนภายในแบบจำลองวัดค่าความเร็วลมให้ได้ความเร็ว 3 ระดับ คือ 3 , 5 , 7.4 m/s
2. ปรับองศาที่ตัว Dumper เพื่อปรับทิศทางการไหลของลมที่เข้าในระดับ 90° และ 30°
3. วัดอุณหภูมิของลมธรรมชาติภายในของแบบ Model โดยใช้เครื่อง Data Logger เก็บค่าของอุณหภูมิในเวลา 0 , 30 , 60 , 90 , 120 นาที เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง
4. เก็บค่าบันทึกผลการทดลอง

3.7.2 ทดสอบคู่อุปโดยลมร้อนจากเครื่องทำความร้อน

1. เครื่องพัดลมทำงานพร้อมกับ เครื่องทำความร้อนใช้ความเร็วของลม 3 ระดับ คือ 3 , 5 , 7.4 m/s
2. ใช้เครื่อง Thermocouple วัดค่าอุณหภูมิลมร้อนในแต่ละจุดตามรูปที่ 3.16 เพื่อตรวจวัดค่าอุณหภูมิก่อนใช้ Data Logger เก็บข้อมูล
3. ตั้งค่าเครื่อง Data Logger ให้เก็บค่าข้อมูลภายในเวลา 2 ชั่วโมง ทุกๆ 30 นาที
4. บันทึกผลการทดสอบและสรุปผล

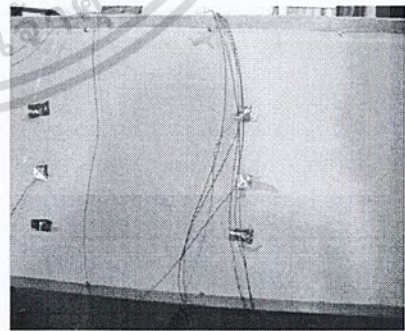
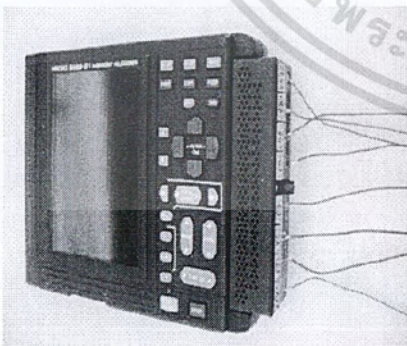
3.8 ขั้นตอนการทดลองในรูปแบบภาพ



ภาพที่ 3.18 แสดงการเจาะรูของแบบจำลองและทิศทางของลมเข้า – ออก



ภาพที่ 3.19 วัดอัตราการไหลของ



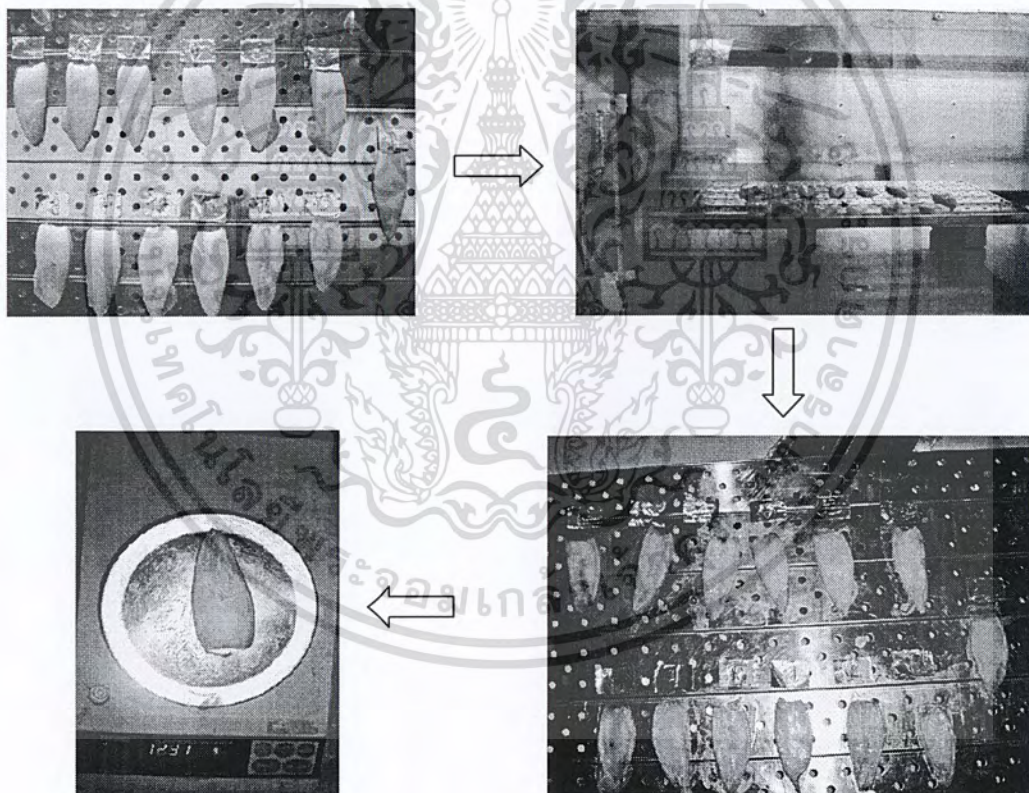
ภาพที่ 3.20 การวัดค่าโดย Data Logger

ตามตำแหน่งที่กำหนดไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.9 การทดสอบลดความชื้นในปลาหมึก

1. เมื่อได้ค่าที่ดีที่สุดจากการจำลองในโปรแกรม Air Pak แล้ว นำค่าที่ได้มาทดสอบตู้อบจริงโดยมีวัสดุอยู่ (ปลาหมึก)
2. แบ่งขนาดของปลาหมึกออกเป็น 3 ขนาดเพื่อนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบค่าปริมาณความชื้นที่สูญเสียไปจากวัสดุ (ปลาหมึก)
3. ชั่งน้ำหนักปลาหมึกแต่ละขนาดก่อนเข้าตู้อบและหลังอบทุกๆ ชั่วโมงเป็นระยะเวลา 6 ชั่วโมง
4. ภายในตู้อบมีอุณหภูมิกระเปาะเปียกและกระเปาะแห้งเพื่อตรวจสอบความชื้นสัมพัทธ์ภายในตู้ทุกๆ ชั่วโมงเป็นระยะเวลา 6 ชั่วโมง
5. เก็บค่าบันทึกผล



ภาพที่ 3.2 ลำดับขั้นตอนการทดสอบการลดความชื้นในปลาหมึก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

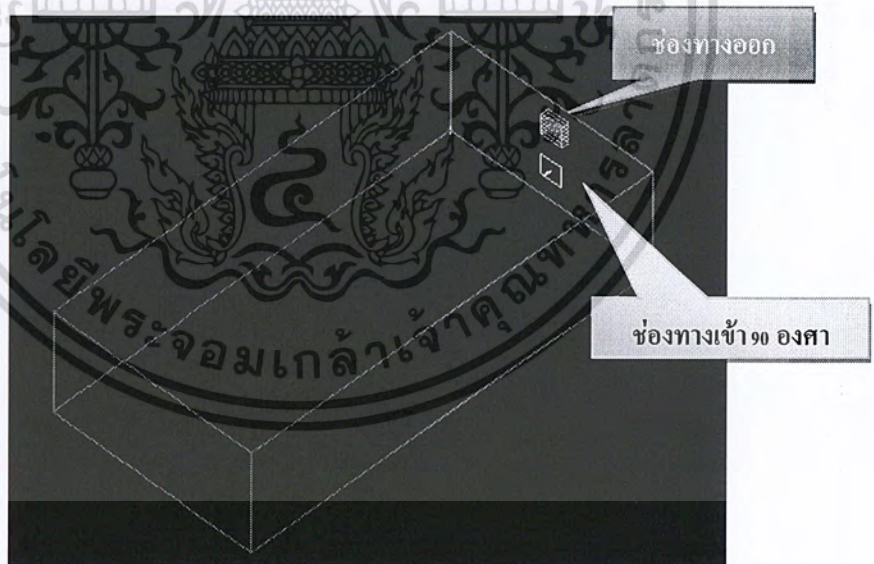
ผลการทดสอบ

เพื่อศึกษาการทำงานของตู้อบโดยลมร้อน จึงได้ทำการสร้างแบบจำลอง และศึกษาการทำงานโดยใช้โปรแกรม AirPak คำนวณหาทิศทางการไหลและการกระจายตัวของลมภายในตู้อบ แล้วนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับผลการทดลอง โดยมีปัจจัยที่คำนึงคืออุณหภูมิที่ใช้ในการอบ ความเร็วลมที่เหมาะสมในการอบแห้ง และทิศทางการไหลของลมเข้าออก สิ่งที่สำคัญของตู้อบคือผลิตภัณฑ์ที่ใช้อบแห้งและคุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังการอบ ผลการทดลองจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือการออกแบบในโปรแกรม Air Pak การตรวจวัดทิศทางการไหลของอุณหภูมิและความเร็วลมตู้อบ และการทดสอบเพื่อหาปริมาณความชื้นที่ลดลงกับเวลาที่ใช้ในการอบอาหารทะเลในตู้อบ

4.1 การจำลองตู้อบที่ไม่มีวัสดุอยู่โดยโปรแกรม Air Pak

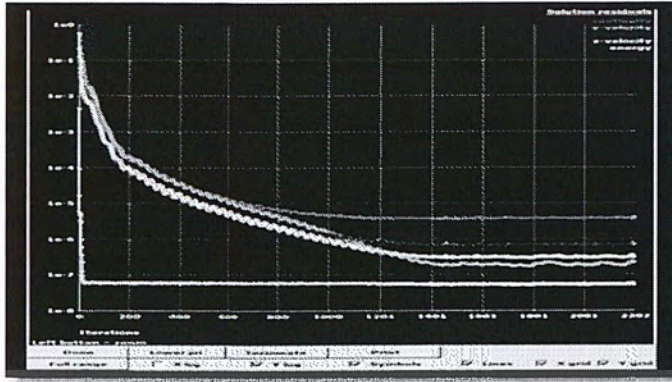
ทำการสร้างแบบจำลองขนาด $1 \times 2 \times 0.5$ m. ตามลำดับ และกำหนดขนาดของช่องทางออก และทางเข้ามีขนาดความกว้าง \times สูง เท่ากับ 10×10 cm หลังจากนั้นก็กำหนด ความเร็วลมที่ 3 m/s , 5 m/s และ 7.4 m/s ตามลำดับ อุณหภูมิ 60°C

4.1.1 ภายในตู้อบที่ไม่มีวัสดุอยู่ (การไหลแบบทางตรง 90 องศา) ที่ทางออกที่ 1

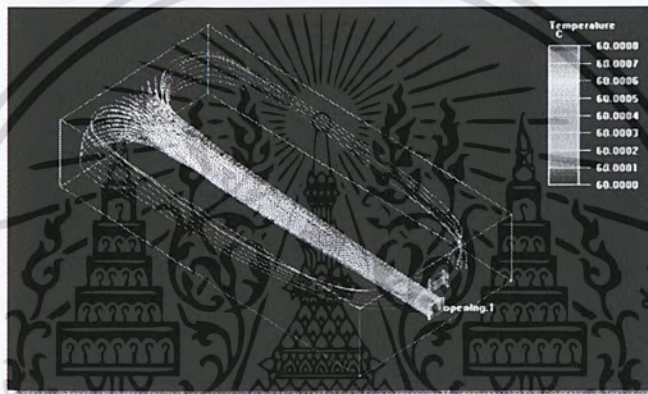


ภาพที่ 4.1 แบบจำลองตู้อบ

Velocity 3 m/s Temperature 60°C เป็นค่าที่ดีที่สุดจากการจำลองแบบในโปรแกรม



ภาพที่ 4.2 กราฟแสดงการคำนวณ

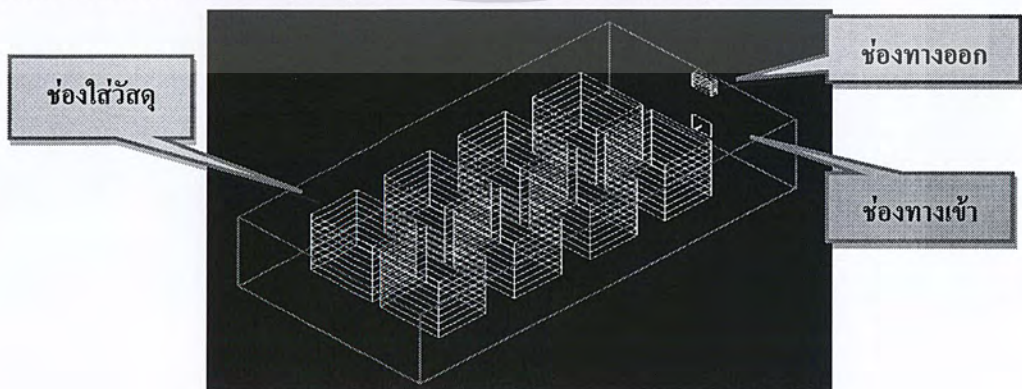


ภาพที่ 4.3 ภาพแสดงการไหลของอนุภาพความร้อนที่เข้าสู่ตู้อบ

4.2 การจำลองตู้อบที่มีวัสดุโดยโปรแกรม Air Pak

4.2.1 ภายในตู้อบที่มีวัสดุอยู่ (การไหลแบบทางตรง 90 องศา) ที่ทางออกที่ 1

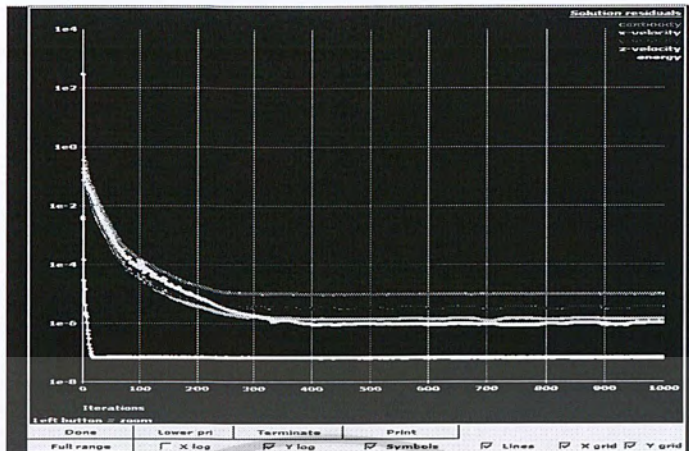
ทำการสร้างแบบจำลองขนาด $1 \times 2 \times 0.5$ m. ตามลำดับ และกำหนดขนาดของช่องทางออกและทางเข้ามีขนาดความกว้าง×สูง เท่ากับ 10×10 cm หลังจากนั้นก็กำหนด ความเร็วลมที่ 3 m/s , 5 m/s และ 7.4 m/s ตามลำดับ อุณหภูมิ 60 °C และมีทิศทางลมเข้าที่มุม 90 องศา



ภาพที่ 4.4 แบบจำลองตู้อบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

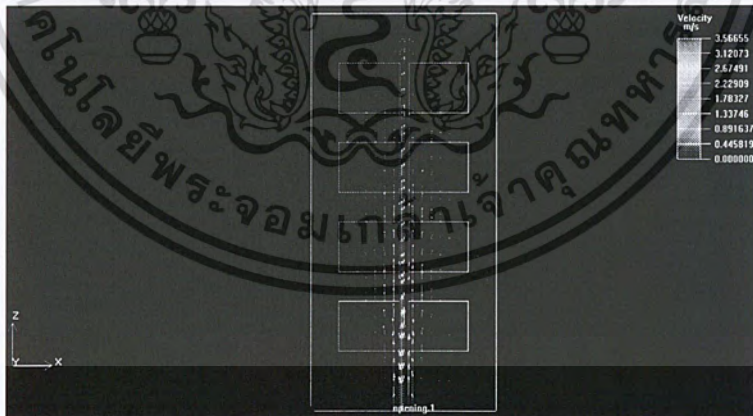
- ผลการจำลองที่ Velocity 3 m/s Temperature 60°C



ภาพที่ 4.5 กราฟแสดงการคำนวณ



ภาพที่ 4.6 ภาพแสดงการไหลของอนุภาคความร้อนที่เข้าสู่ท่อ

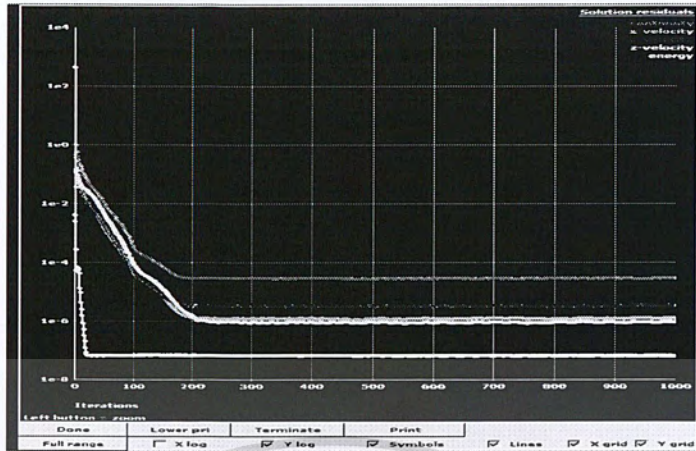


ภาพที่ 4.7 ภาพแสดงการกระจายตัวของการไหลด้านบน

ผลที่ได้จากโปรแกรม คือ กราฟมีการคงที่ เมื่ออยู่ในช่วง 400 ชั่วโมงขึ้นไป จำนวนรอบของการคำนวณ ชั่วโมงได้ผลดี ลมมีการกระจายตัวของอนุภาคความร้อนเข้าสู่ท่อได้ดี แล้วออกในช่องทางที่ 1 และเกิดการกระจายตัวของการไหล ในลักษณะของ Velocity Vector ได้ดีตามที่สททางการไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

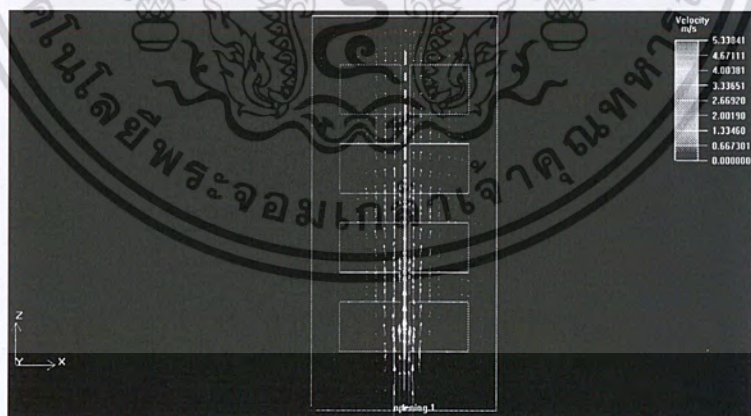
- ผลการจำลองที่ Velocity 5 m/s Temperature 60°C



ภาพที่ 4.8 กราฟแสดงการคำนวณ



ภาพที่ 4.9 ภาพแสดงการไหลของอนุภาคความร้อนที่เข้าสู่

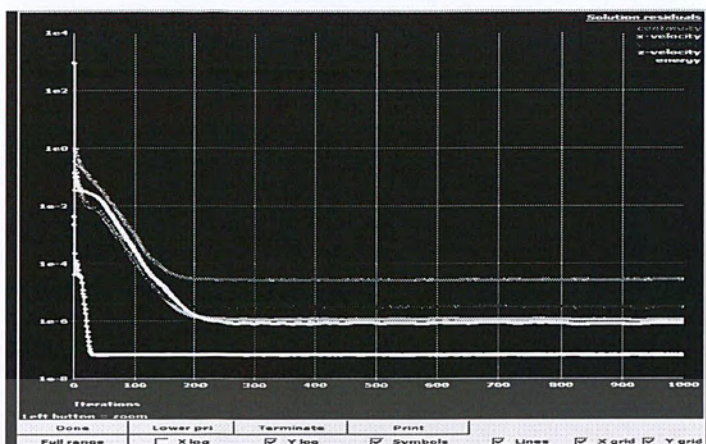


ภาพที่ 4.10 ภาพแสดงการกระจายตัวของการไหลด้านบน

ผลที่ได้จากโปรแกรม คือ กราฟมีการลงที่ เมื่ออยู่ในช่วง 300 ซ้ำ ขึ้นไป จำนวนรอบของการคำนวณซ้ำจึงได้ผลดี ลมมีการกระจายตัวของอนุภาคความร้อนเข้าสู่ตู้อบได้ดี แล้วออกในช่องทางที่ 1 และเกิดการกระจายตัวของการไหล ในลักษณะของ Velocity Vector ได้ตามทิศทางการไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

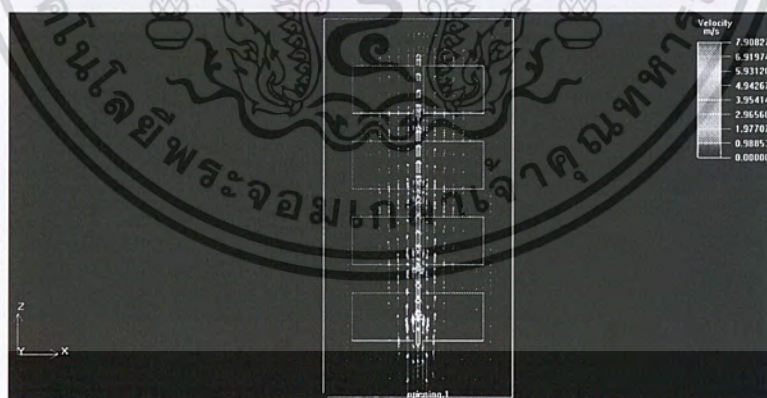
- ผลการทดลองที่ 7.3 Velocity 7.4 m/s Temperature 60°C



ภาพที่ 4.11 กราฟแสดงการคำนวณ



ภาพที่ 4.12 ภาพแสดงการไหลของอนุภาคความร้อนที่เข้าสู่ตู้อบ



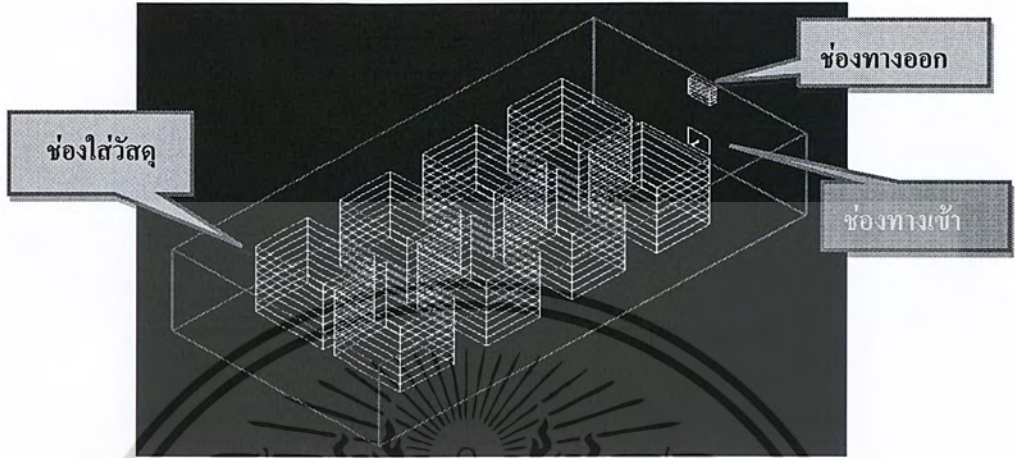
ภาพที่ 4.13 ภาพแสดงการกระจายตัวของการไหลด้านบน

ผลที่ได้จากโปรแกรม คือ กราฟมีการคงที่ เมื่ออยู่ในช่วง 300 ชั่วโมงขึ้นไป จำนวนรอบของการคำนวณ ชั่วโมง ได้ผลดี ลมมีการกระจายตัวของอนุภาคความร้อนที่แรงมากเมื่อเข้าสู่ตู้อบ แล้วออกในช่องทางที่ 1 และเกิดการกระจายตัวของการไหล ในลักษณะของ Velocity Vector ได้ตามทิศทางกรไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ภายในตู้อบที่มีวัสดุอยู่ (การไหลแบบมุมเอียง 30 องศา) ที่ทางออกที่ 1

ทำการสร้างแบบจำลองขนาด $1 \times 2 \times 0.5$ m. ตามลำดับ และกำหนดขนาดของช่องทางออก และทางเข้ามีขนาดความกว้าง×สูง เท่ากับ 10×10 cm หลังจากนั้นก็กำหนด ความเร็วลมที่ 3 m/s , 5 m/s และ 7.4 m/s ตามลำดับ อุณหภูมิ 60°C และมีทิศทางลมเข้าที่มุม 30 องศา

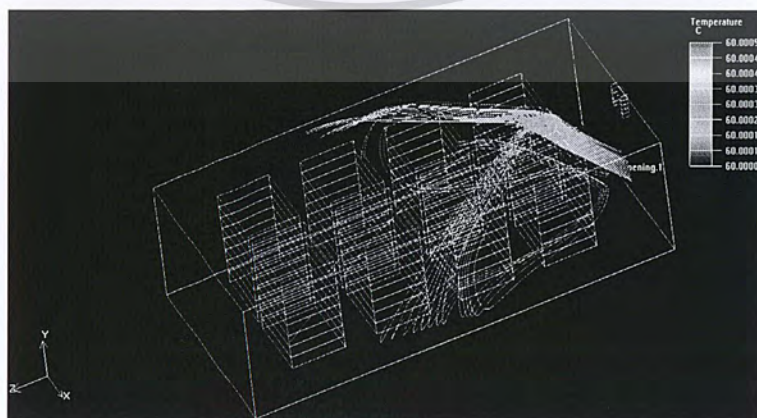


ภาพที่ 4.14 แบบจำลองตู้อบ

- ผลการทดลองที่ 8.1 Velocity 3 m/s Temperature 60°C

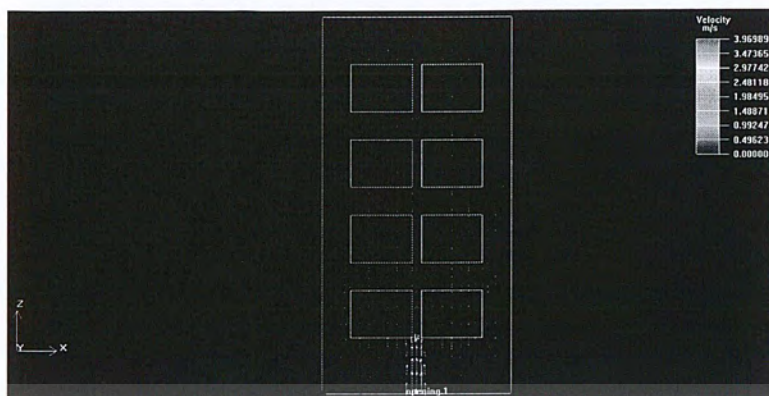


ภาพที่ 4.15 กราฟแสดงการคำนวณ



ภาพที่ 4.16 ภาพแสดงการไหลของอนุภาคความร้อนที่เข้าสู่ตู้อบ

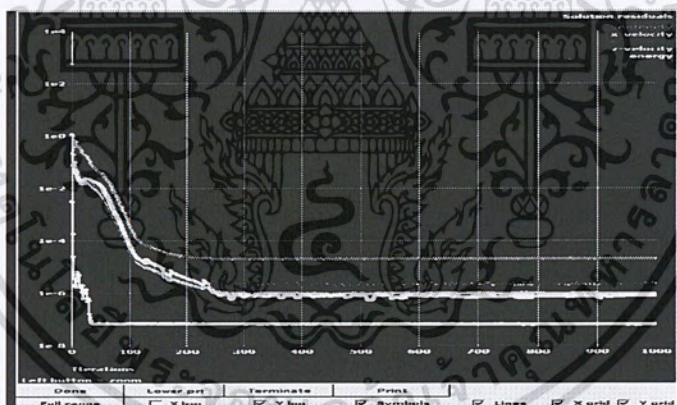
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



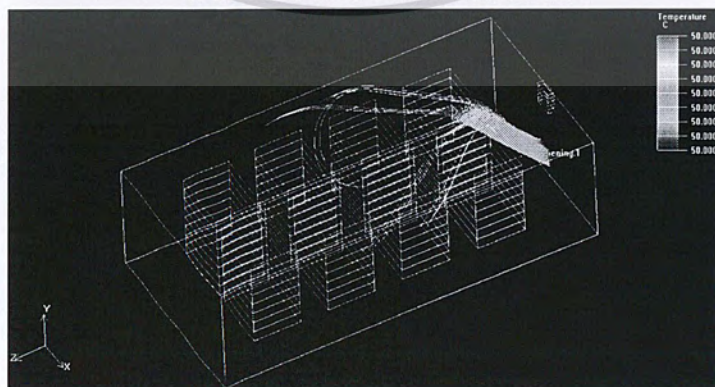
ภาพที่4.17 ภาพแสดงการกระจายตัวของ การไหลด้านบน

ผลที่ได้จากโปรแกรม คือ กราฟมีการคงที่ เมื่ออยู่ในช่วง 400 ซีซ่า ขึ้นไป จำนวนรอบของการคำนวณ ซีซ่าจึงได้ผลดี ลมไม่มีการกระจายตัวของอนุภาคความร้อนเมื่อเข้าสู่ตู้อบ แล้วออกในช่องทางที่ 1 จึงทำให้อุณหภูมิความร้อนไม่ทั่วถึงภายในตู้อบ และไม่เกิดการกระจายตัวของ การไหล ในลักษณะของ Velocity Vector ตามทิศทางการไหล

- ผลการทดลองที่ 8.2 Velocity 5 m/s Temperature 60°C

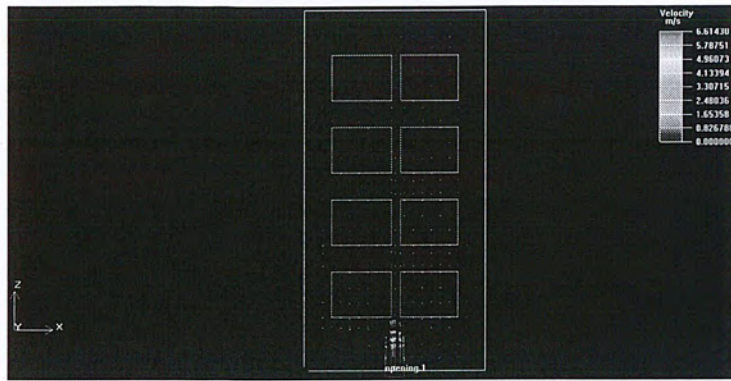


ภาพที่4.18 กราฟแสดงการคำนวณ



ภาพที่4.19 ภาพแสดงการไหลของอนุภาคความร้อนที่เข้าสู่ตู้อบ

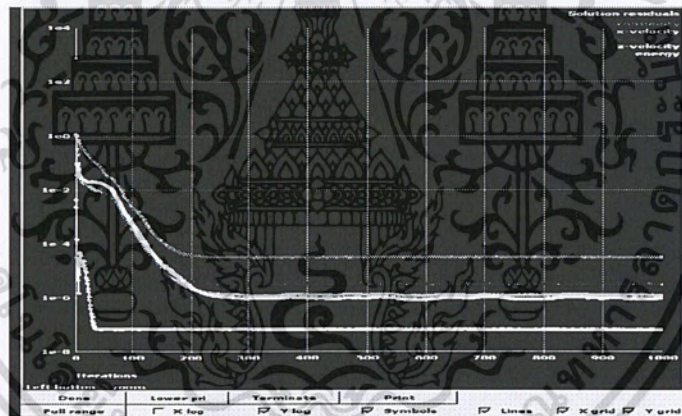
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติเห็นไปโดยประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



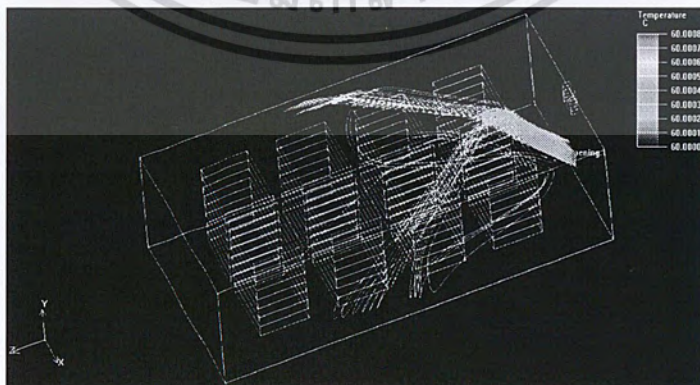
ภาพที่4.20 ภาพแสดงการกระจายตัวของการไหลด้านบน

ผลที่ได้จากโปรแกรม คือ กราฟมีการคงที่ เมื่ออยู่ในช่วง 600 ชั่วโมงขึ้นไป จำนวนรอบของการคำนวณ ชั่วโมงได้ผลดี ลมไม่มีการกระจายตัวของอนุภาคความร้อนเมื่อเข้าสู่ตู้อบ แล้วออกในช่องทางที่ 1 จึงทำให้อนุภาคความร้อนไม่ทั่วถึงภายในตู้อบ และไม่เกิดการกระจายตัวของการไหล ในลักษณะของ Velocity Vector ตามทิศทางการไหล

- ผลการทดลองที่ 8.3 Velocity 7.4 m/s Temperature 60°C

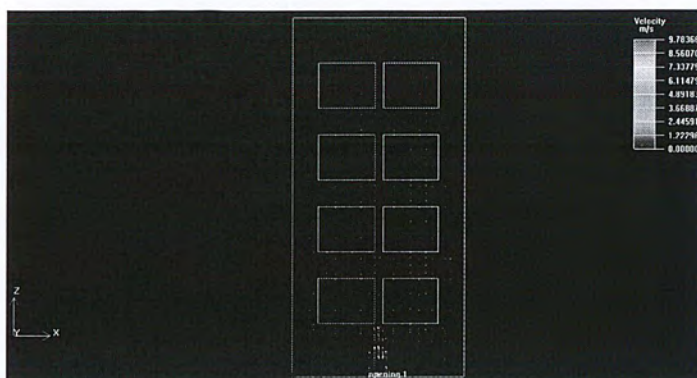


ภาพที่4.21 กราฟแสดงการคำนวณ



ภาพที่4.22 ภาพแสดงการไหลของอนุภาคความร้อนที่เข้าสู่ตู้อบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

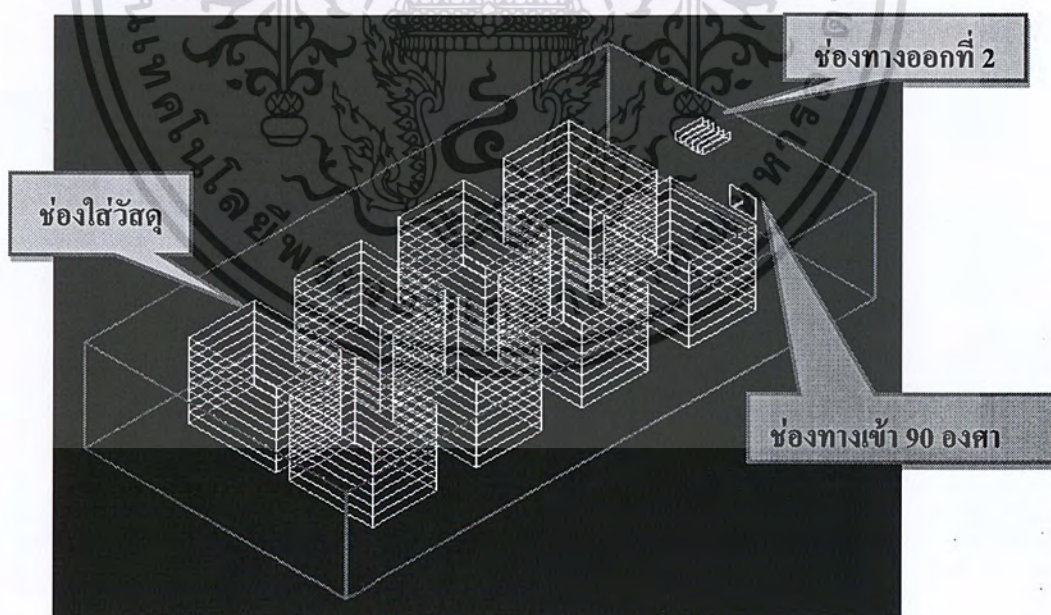


ภาพที่ 4.23 ภาพแสดงการกระจายตัวของ การไหลด้านบน

ผลที่ได้จากโปรแกรม คือ กราฟมีการคงที่ เมื่ออยู่ในช่วง 400 ชั่วโมงขึ้นไป จำนวนรอบของการคำนวณ ชั่วโมงได้ผลดี ลมไม่มีการกระจายตัวของอนุภาคความร้อนเมื่อเข้าสู่ตู้อบ แล้วออกในช่องทางที่ 1 จึงทำให้ไออนุภาคความร้อนทั่วถึงภายในตู้อบ และไม่เกิดการกระจายตัวของ การไหล ในลักษณะของ Velocity Vector ตามทิศทาง การไหล

4.2.3 ภายในตู้อบที่มีวัสดุอยู่ (การไหลแบบทางตรง 90 องศา) ที่ทางออกที่ 2

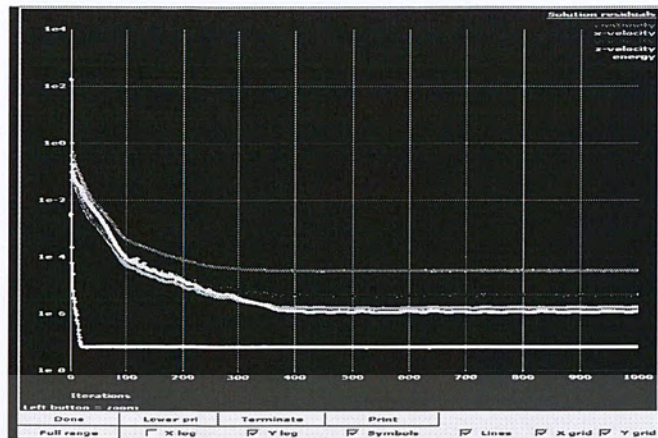
ทำการสร้างแบบจำลองขนาด $1 \times 2 \times 0.5$ m. ตามลำดับ และกำหนดขนาดของช่องทางออก และทางเข้ามีขนาดความกว้าง \times สูง เท่ากับ 10×10 cm หลังจากนั้นก็กำหนด ความเร็วลมที่ 3 m/s , 5 m/s และ 7.4 m/s ตามลำดับ อุณหภูมิ 60 °C และมีทิศทางลมเข้าที่มุม 90 องศา



ภาพที่ 4.24 แบบจำลองตู้อบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

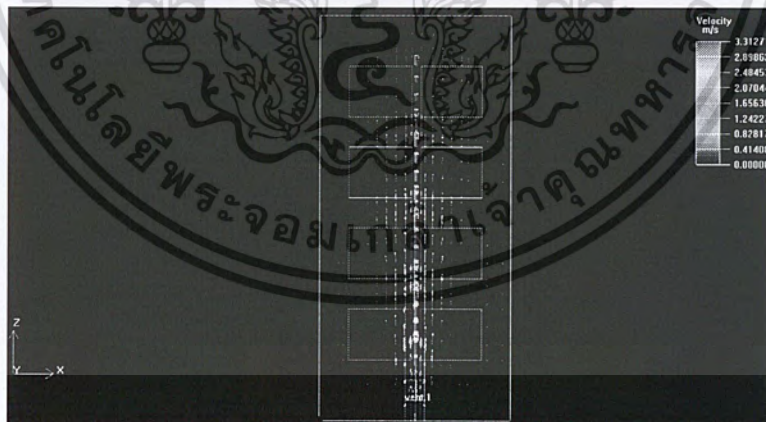
- ผลการทดลองที่ 9.1 Velocity 3 m/s Temperature 60°C



ภาพที่ 4.25 กราฟแสดงการคำนวณ



ภาพที่ 4.26 ภาพแสดงการไหลของอนุภาคความร้อนที่เข้าสู่ตู้อบ

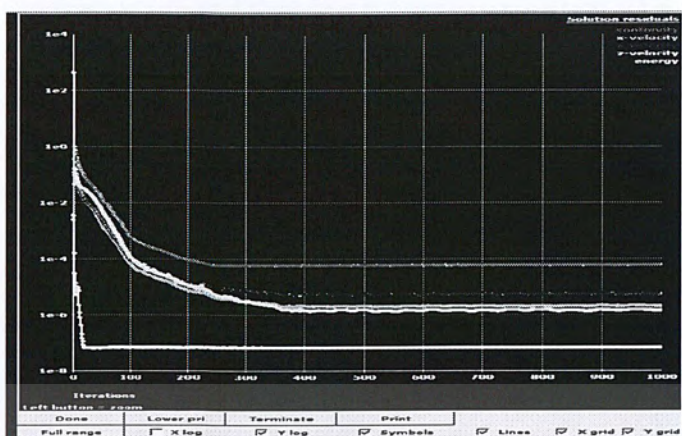


ภาพที่ 4.27 ภาพแสดงการกระจายตัวของการไหลด้านบน

ผลที่ได้จากโปรแกรม คือ กราฟมีการคงที่ เมื่ออยู่ในช่วง 500 ซ้ำ ขึ้นไป จำนวนรอบของการคำนวณซ้ำจึงได้ผลดี ลมมีการกระจายตัวของอนุภาคความร้อนเมื่อเข้าสู่ตู้อบดี แล้วออกในช่องทางที่ 2 และเกิดการกระจายตัวของการไหล ในลักษณะของ Velocity Vector ได้ตามทิศทางการไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองที่ 9.2 Velocity 5 m/s Temperature 60°C



ภาพที่ 4.28 กราฟแสดงการคำนวณ



ภาพที่ 4.29 ภาพแสดงการไหลของอนุภาคความร้อนที่เข้าสู่ตู้อบ

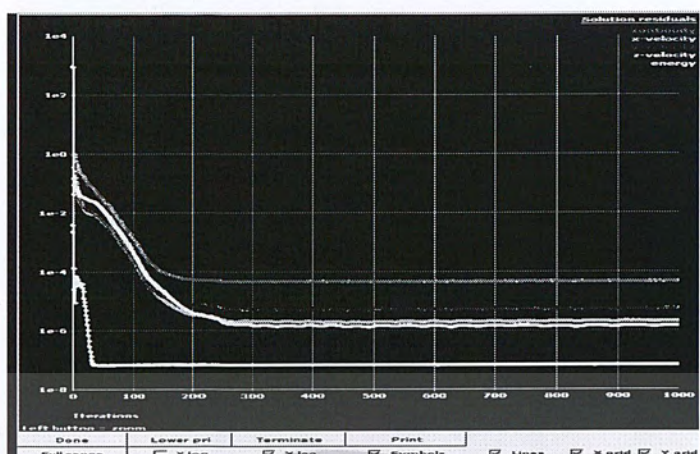


ภาพที่ 4.30 ภาพแสดงการกระจายตัวของการไหลด้านบน

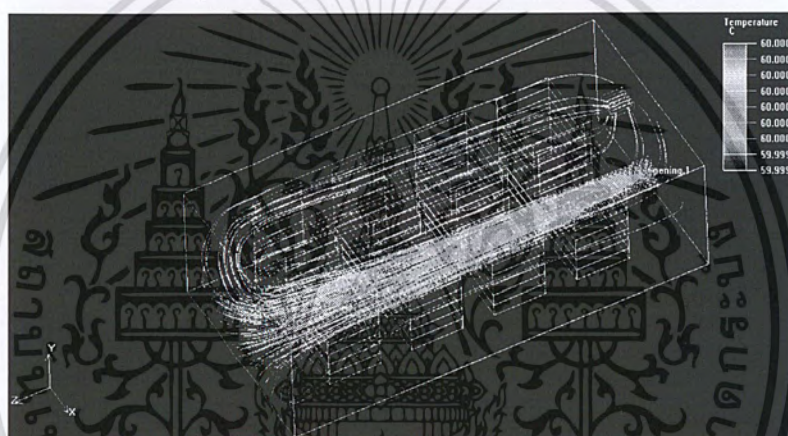
ผลที่ได้จากโปรแกรม คือ กราฟมีการลงที่ เมื่ออยู่ในช่วง 500 ชั่วโมงขึ้นไป จำนวนรอบของการคำนวณ ชั่วโมงได้ผลดี ลมมีการกระจายตัวของอนุภาคความร้อนที่แรงเมื่อเข้าสู่ตู้อบ แล้วออกในช่องทางที่ 2 และเกิดการกระจายตัวของการไหล ในลักษณะของ Velocity Vector ได้ตามทิศทางการไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

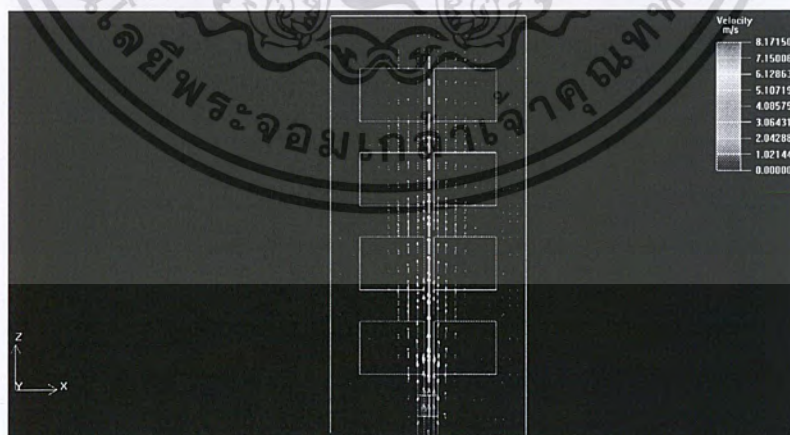
- ผลการทดลองที่ 9.3 Velocity 7.4 m/s Temperature 60°C



ภาพที่ 4.31 กราฟแสดงการคำนวณ



ภาพที่ 4.32 ภาพแสดงการไหลของอนุภาคความร้อนที่เข้าสู่คูบ



ภาพที่ 4.33 ภาพแสดงการกระจายตัวของการไหลด้านบน

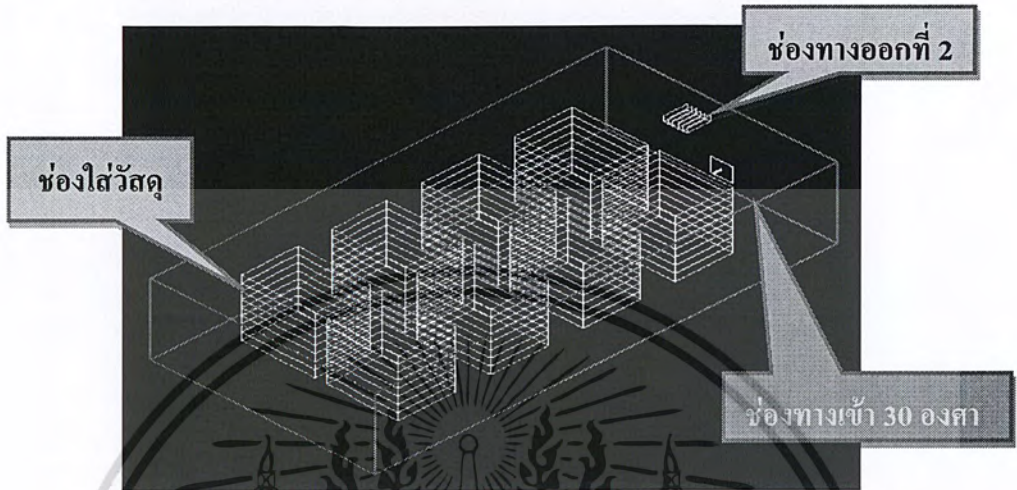
ผลที่ได้จากโปรแกรม คือ กราฟมีการคงที่ เมื่ออยู่ในช่วง 400 ซ้ำ ขึ้นไป จำนวนรอบของการคำนวณซ้ำจึงได้ผลดี ลมมีการกระจายตัวของอนุภาคความร้อนที่แรงเมื่อเข้าสู่คูบ แล้วออกในช่องทางที่ 2

และเกิดการกระจายตัวของการไหล ในลักษณะของ Velocity Vector ได้ตามที่ทิศทางการไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

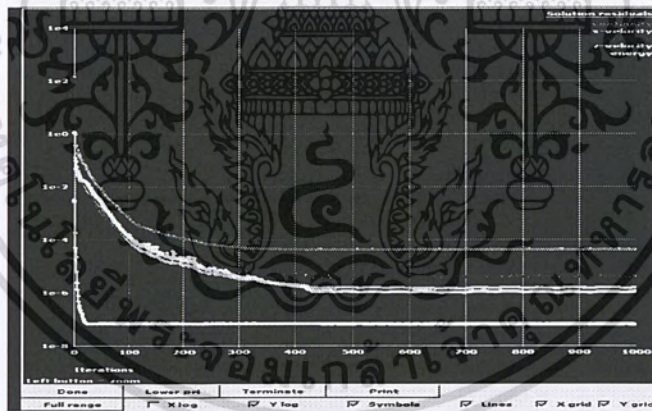
4.2.4 ภายในตู้อบที่มีวัสดุอยู่ (การไหลแบบมุมเอียง 30 องศา) ที่ทางออกที่ 2

ทำการสร้างแบบจำลองขนาด $1 \times 2 \times 0.5$ m. ตามลำดับ และกำหนดขนาดของช่องทางออก และทางเข้ามีขนาดความกว้าง×สูง เท่ากับ 10×10 cm หลังจากนั้นก็กำหนด ความเร็วลมที่ 3 m/s , 5 m/s และ 7.4 m/s ตามลำดับ อุณหภูมิ 60°C และมีทิศทางการไหลเข้าที่มุม 30 องศา

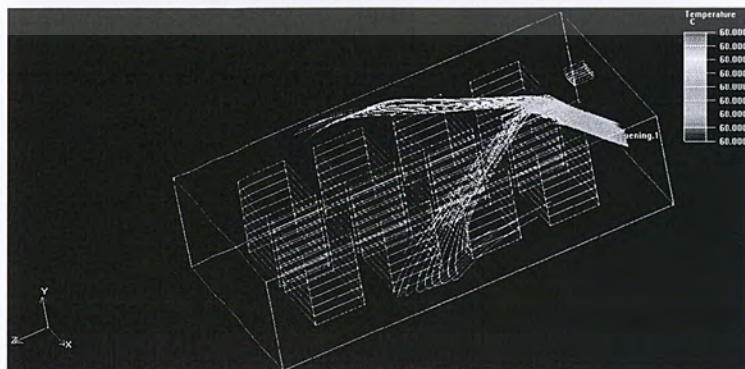


ภาพที่ 4.34 แบบจำลองตู้อบ

- ผลการทดลองที่ 10.1 Velocity 3 m/s Temperature 60°C

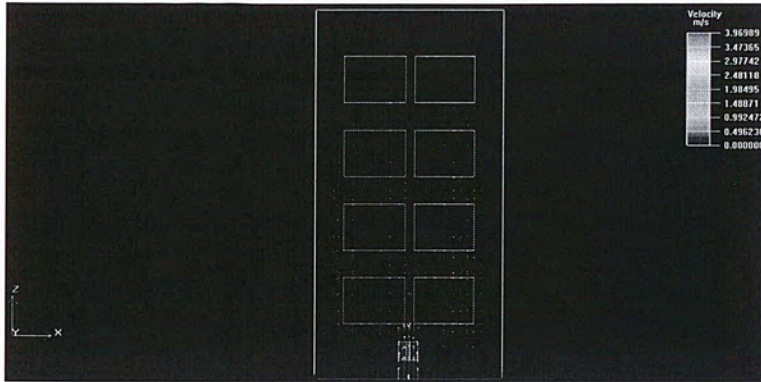


ภาพที่ 4.35 กราฟแสดงการคำนวณ



ภาพที่ 4.36 ภาพแสดงการไหลของอนุภาคความร้อนที่เข้าสู่ตู้อบ

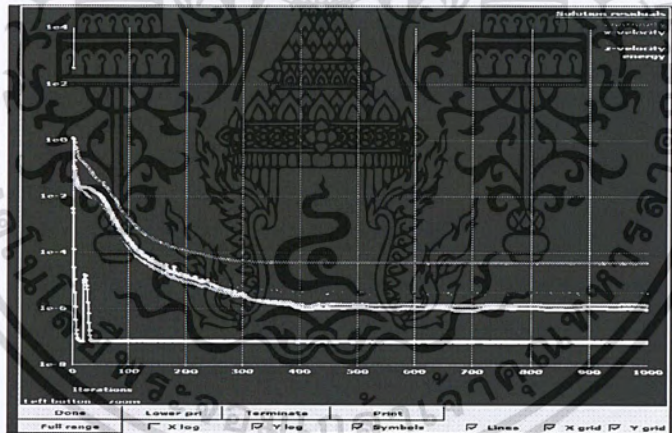
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



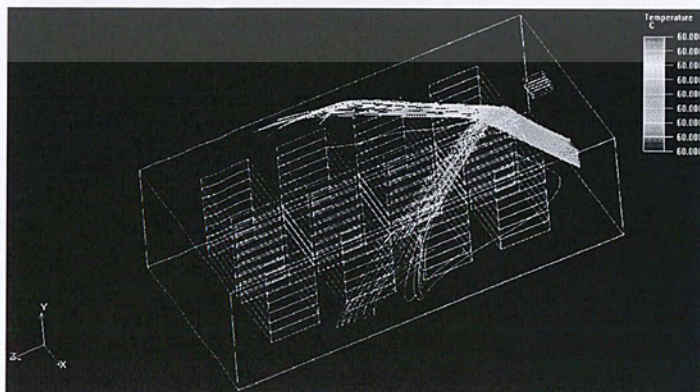
ภาพที่4.37 ภาพแสดงการกระจายตัวของกระแสไหลด้านบน

ผลที่ได้จากโปรแกรม คือ กราฟมีกราฟที่ เมื่ออยู่ในช่วง 600 ชั่วโมง จำนวนรอบของการคำนวณ ชั่วโมงได้ผลดี สมไม่มีการกระจายตัวของอนุภาคความร้อนเมื่อเข้าสู่ตู้อบ แล้วออกในช่องทางที่ 2 จึงทำให้อนุภาคความร้อนไม่ทั่วถึงภายในตู้อบ และไม่เกิดการกระจายตัวของกระแสไหล ในลักษณะของ Velocity Vector ตามทิศทางกระแสไหล

- ผลการทดลองที่ 10.2 Velocity 5 m/s Temperature 60°C

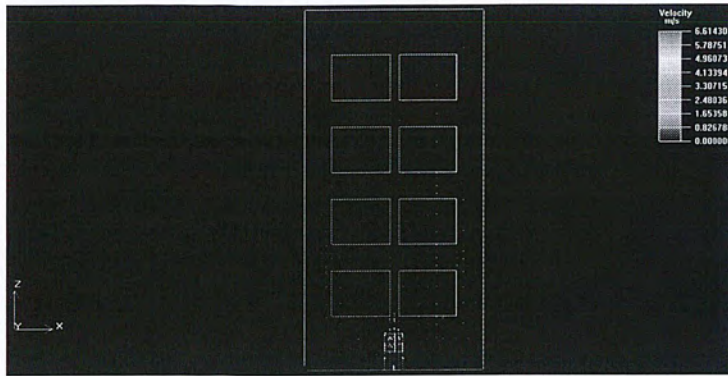


ภาพที่4.38 กราฟแสดงการคำนวณ



ภาพที่4.39 ภาพแสดงการไหลของอนุภาคความร้อนที่เข้าสู่ตู้อบ

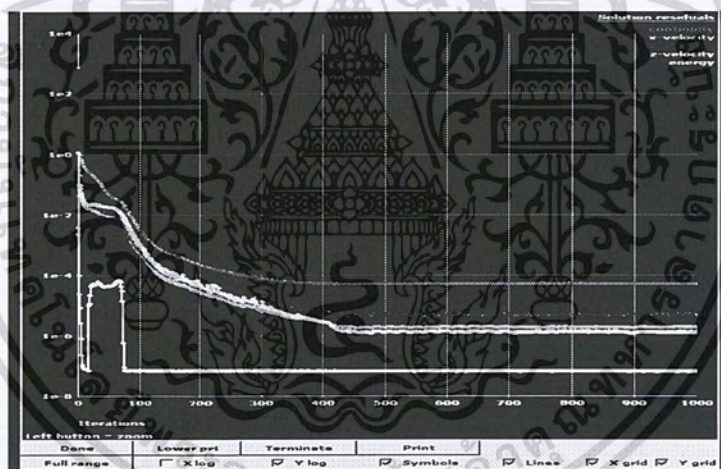
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



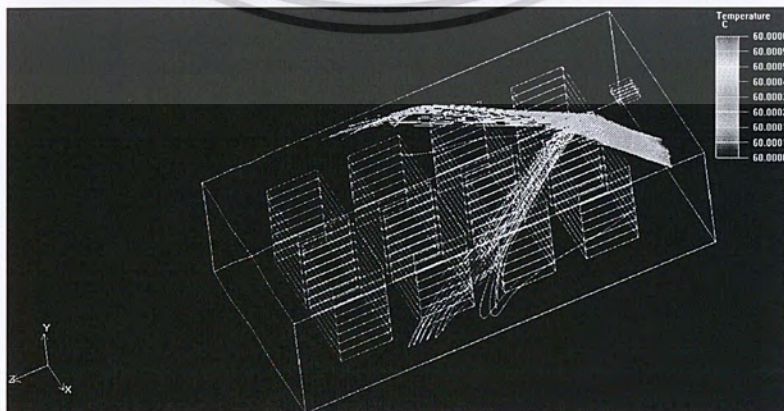
ภาพที่ 4.40 ภาพแสดงการกระจายตัวของการไหลด้านบน

ผลที่ได้จากโปรแกรม คือ กราฟมีการคงที่ เมื่ออยู่ในช่วง 500 ซ้ำ ขึ้นไป จำนวนรอบของการคำนวณซ้ำจึงได้ผลดี ลม ไม่มีการกระจายตัวของอนุภาคความร้อนเมื่อเข้าสู่ตู้อบ แล้วออกในช่องทางที่ 2 จึงทำให้อนุภาคความร้อนไม่ทั่วถึงภายในตู้อบ และไม่เกิดการกระจายตัวของการไหล ในลักษณะของ Velocity Vector ตามทิศทางการไหล

- ผลการทดลองที่ 10.3 Velocity 7.4 m/s Temperature 60°C

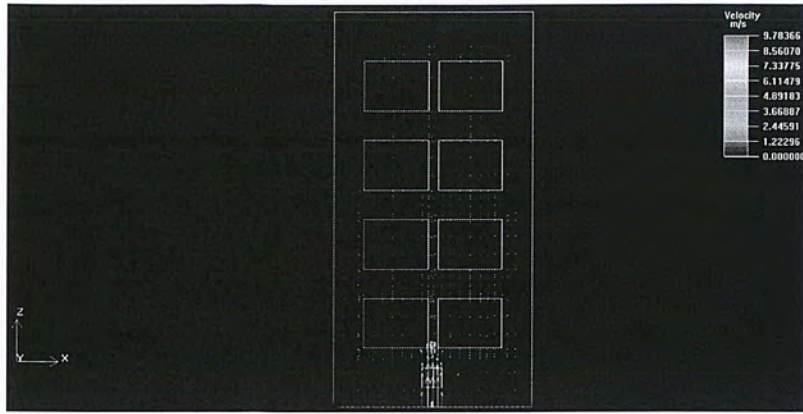


ภาพที่ 4.41 กราฟแสดงการคำนวณ



ภาพที่ 4.42 ภาพแสดงการไหลของอนุภาคความร้อนที่เข้าสู่ตู้อบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

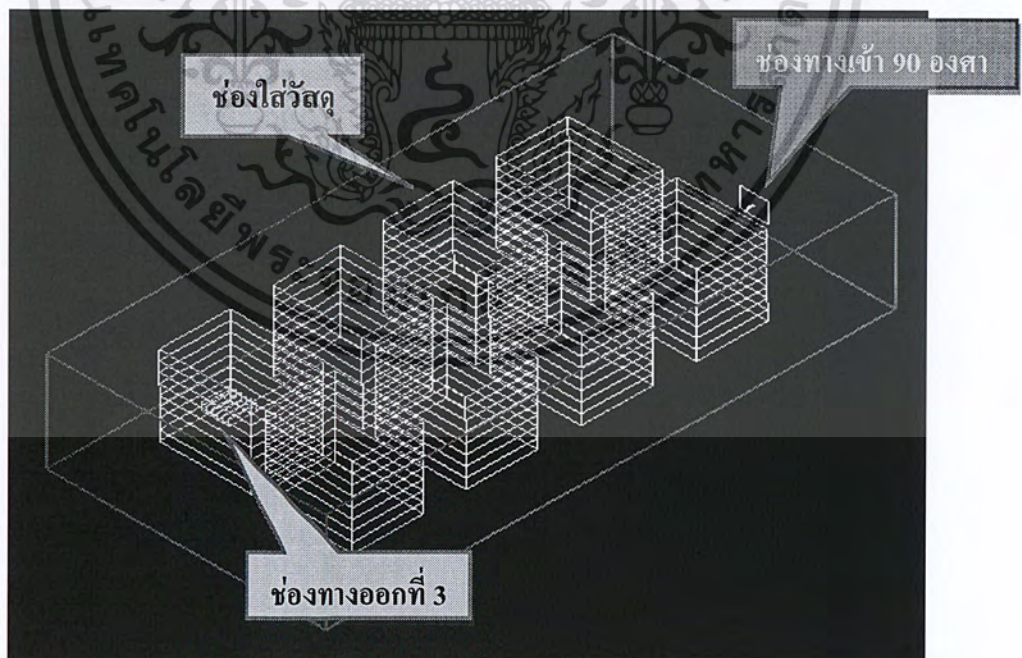


ภาพที่ 4.43 ภาพแสดงการกระจายตัวของการไหลด้านบน

ผลที่ได้จากโปรแกรม คือ กราฟมีการคงที่ เมื่ออยู่ในช่วง 700 ชั่วโมงขึ้นไป จำนวนรอบของการคำนวณ ชั่วโมงได้ผลดี ลมไม่มีการกระจายตัวของอนุภาคความร้อนเมื่อเข้าสู่ตู้อบ แล้วออกในช่องทางที่ 2 จึงทำให้อนุภาคความร้อนไม่ทั่วถึงภายในตู้อบ และไม่เกิดการกระจายตัวของการไหล ในลักษณะของ Velocity Vector ตามทิศทางการไหล

4.2.5 ภายในตู้อบที่มีวัสดุอยู่ (การไหลแบบทางตรง 90 องศา) ที่ทางออกที่ 3

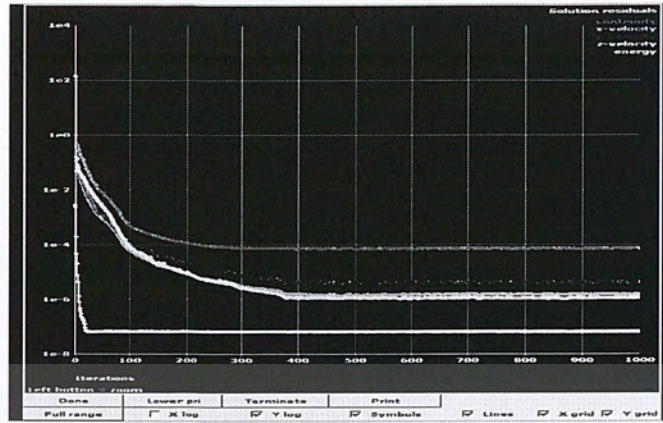
ทำการสร้างแบบจำลองขนาด $1 \times 2 \times 0.5$ m. ตามลำดับ และกำหนดขนาดของช่องทางออก และทางเข้ามีขนาดความกว้าง×สูง เท่ากับ 10×10 cm หลังจากนั้นก็กำหนด ความเร็วลมที่ 3 m/s , 5 m/s และ 7.4 m/s ตามลำดับ อุณหภูมิ 60 °C และมีทิศทางลมเข้าที่มุม 90 องศา



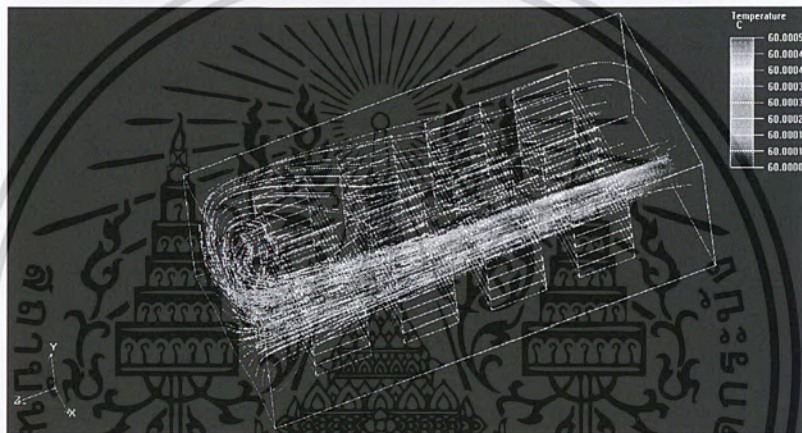
ภาพที่ 4.44 แบบจำลองตู้อบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

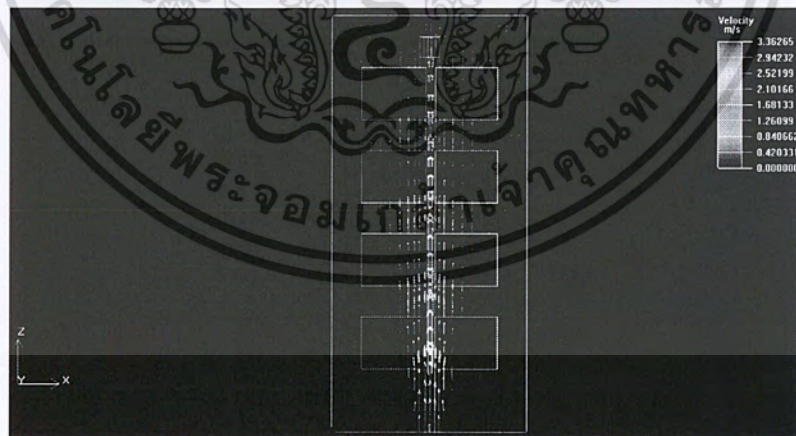
- ผลการทดลองที่ 11.1 Velocity 3 m/s Temperature 60°C



ภาพที่4.45 กราฟแสดงการคำนวณ



ภาพที่4.46 ภาพแสดงการไหลของอนุภาคความร้อนที่เข้าสู่ตู้อบ

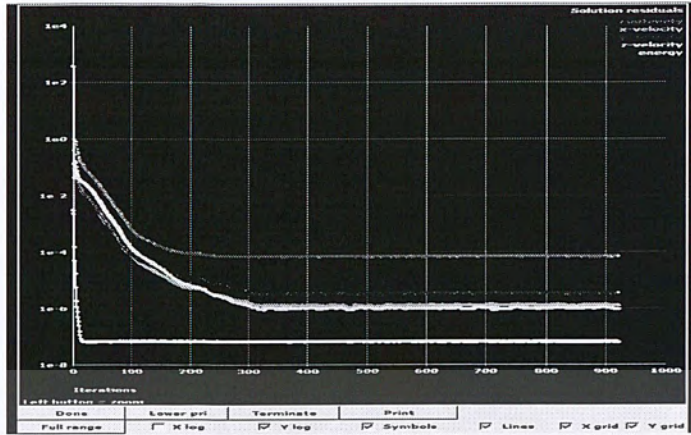


ภาพที่4.47 ภาพแสดงการกระจายตัวของการไหลด้านบน

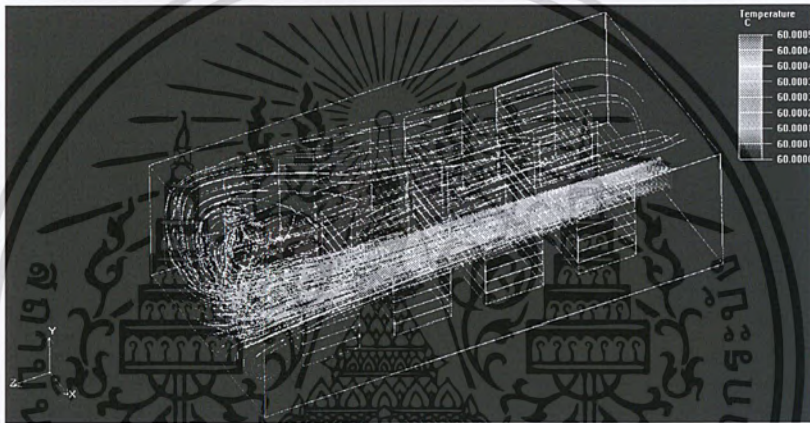
ผลที่ได้จากโปรแกรม คือ กราฟมีการคงที่ เมื่ออยู่ในช่วง 500 ซ้ำ ขึ้นไป จำนวนรอบของการคำนวณซ้ำจึงได้ผลดี สมมีการกระจายตัวของอนุภาคความร้อนที่ไม่ทั่วถึงเท่าไรนักเมื่อเข้าสู่ตู้อบ แล้วออกในช่องทางที่ 3 และเกิดการกระจายตัวของการไหล ในลักษณะของ Velocity Vector ได้ตามทิศทางการไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

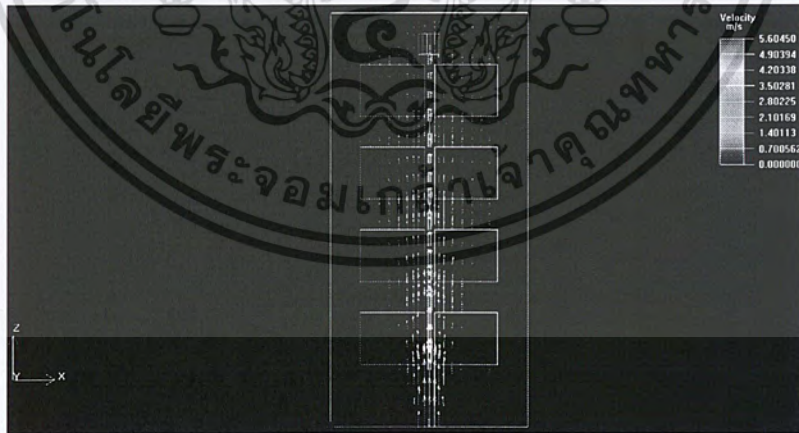
- ผลการทดลองที่ 11.2 Velocity 5 m/s Temperature 60°C



ภาพที่4.48 กราฟแสดงการคำนวณ



ภาพที่4.49 ภาพแสดงการไหลของอนุภาคความร้อนที่เข้าสู่คูบ

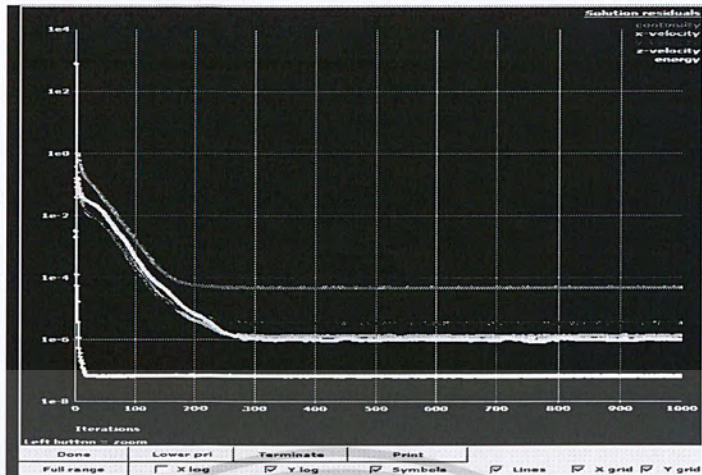


ภาพที่4.50 ภาพแสดงการกระจายตัวของการไหลด้านบน

ผลที่ได้จากโปรแกรม คือ กราฟมีการคงที่ เมื่ออยู่ในช่วง 500 ซ้ำ ขึ้นไป จำนวนรอบของการคำนวณซ้ำจึงได้ผลดี ทมมีการกระจายตัวของอนุภาคความร้อนที่แรงและการกระจายตัวของอนุภาคความร้อนไม่ทั่วถึงเท่าไรนักเมื่อเข้าสู่คูบ แล้วออกในช่องทางที่ 3 และเกิดการกระจายตัวของการไหลในลักษณะของ Velocity Vector ได้ตามทิศทางการไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

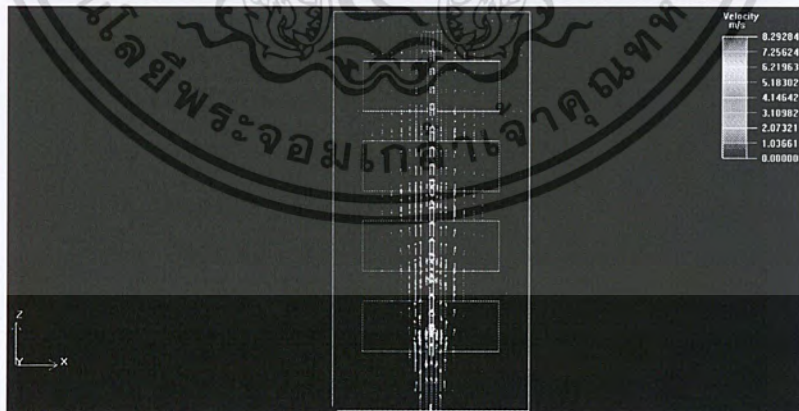
- ผลการทดลองที่ 11.3 Velocity 7.4 m/s Temperature 60°C



ภาพที่ 4.51 กราฟแสดงการคำนวณ



ภาพที่ 4.52 ภาพแสดงการไหลของอนุภาคความร้อนที่เข้าสู่ตู้อบ



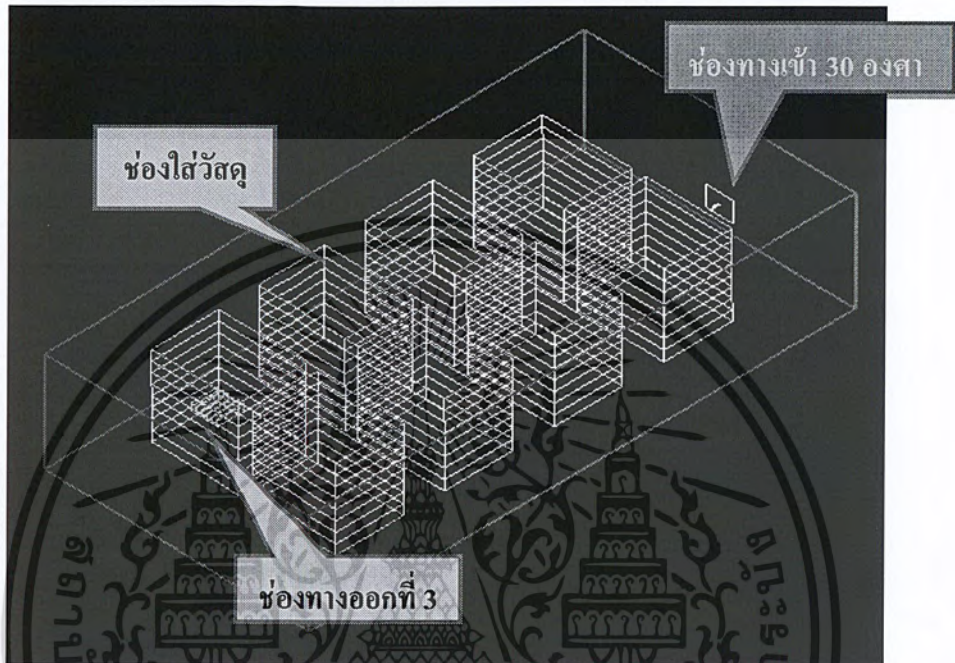
ภาพที่ 4.53 ภาพแสดงการกระจายตัวของการไหลด้านบน

ผลที่ได้จากโปรแกรม คือ กราฟมีการคงที่ เมื่ออยู่ในช่วง 400 ซ้ำ ขึ้นไป จำนวนรอบของการคำนวณซ้ำจึงได้ผลดี ลมมีการกระจายตัวของอนุภาคความร้อนที่แรงมากและการกระจายตัวของอนุภาคความร้อนไม่ทั่วถึงเท่าไรนักเมื่อเข้าสู่ตู้อบ แล้วออกในช่องทางที่ 3 และเกิดการกระจายตัวของการไหล ในลักษณะของ Velocity Vector ได้ตามที่ทางการไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

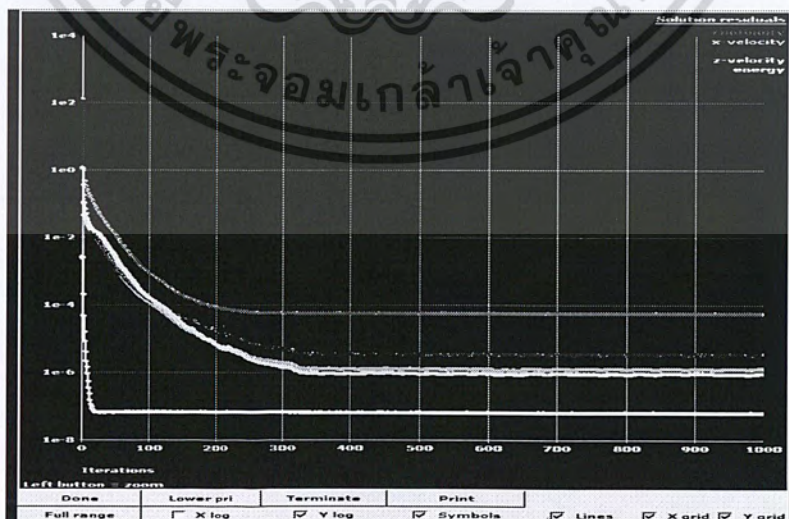
4.2.6 ภายในตึ๋บที่มีวัสดุอยู่ (การไหลแบบมุมเอียง 30 องศา) ที่ทางออกที่ 3

ทำการสร้างแบบจำลองขนาด $1 \times 2 \times 0.5$ m. ตามลำดับ และกำหนดขนาดของช่องทางออก และทางเข้ามีขนาดความกว้าง×สูง เท่ากับ 10×10 cm หลังจากนั้นก็กำหนด ความเร็วลมที่ 3 m/s , 5 m/s และ 7.4 m/s ตามลำดับ อุณหภูมิ 60°C และมีทิศทางลมเข้าที่มุม 30 องศา



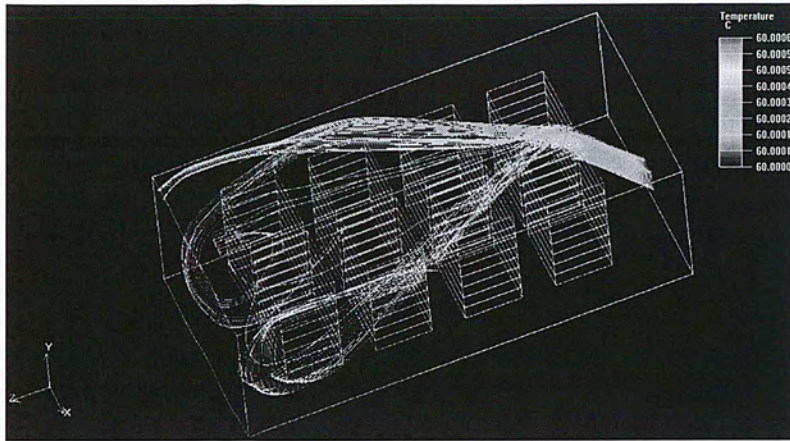
ภาพที่ 4.54 แบบจำลองตึ๋บ

- ผลการทดลองที่ 12.1 Velocity 3 m/s Temperature 60°C

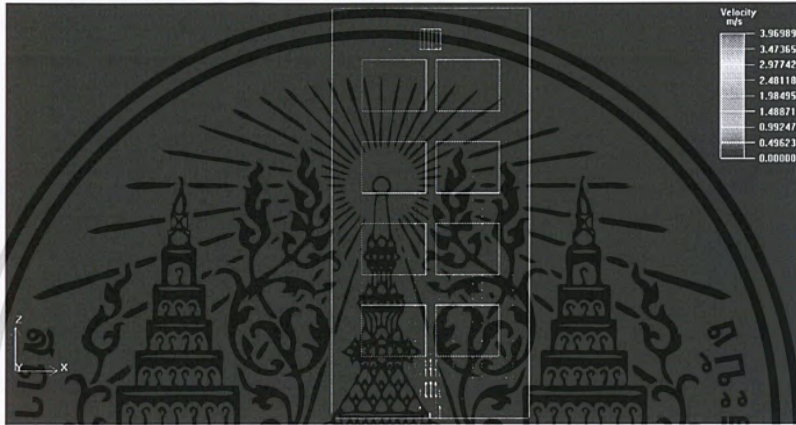


ภาพที่ 4.55 กราฟแสดงการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



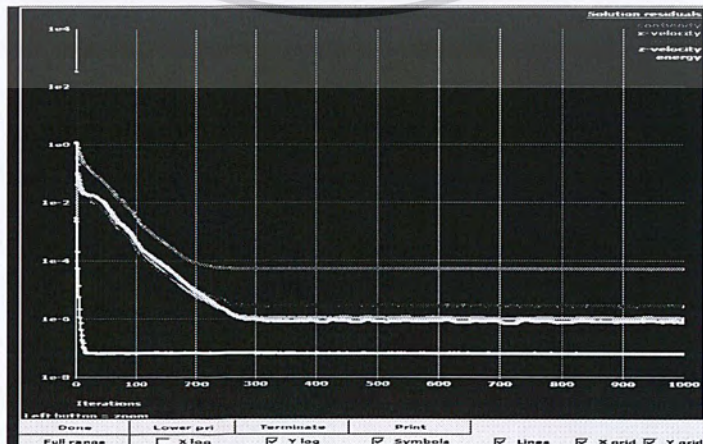
ภาพที่4.56 ภาพแสดงการไหลของอนุภาคความร้อนที่เข้าสู่ตู้อบ



ภาพที่4.57 ภาพแสดงการกระจายตัวของการไหลด้านบน

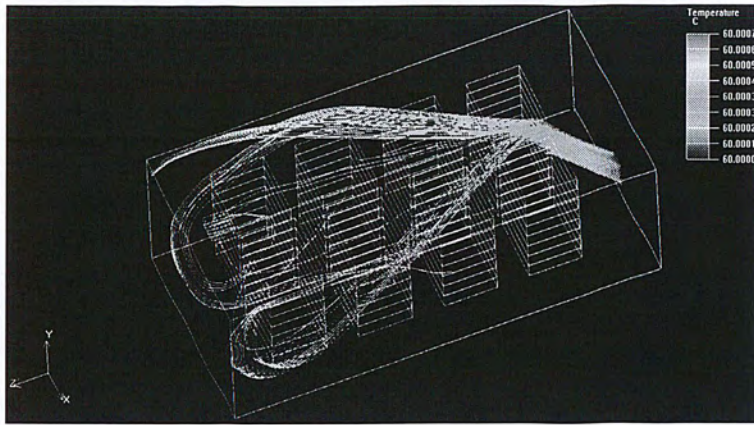
ผลที่ได้จากโปรแกรม คือ กราฟมีการคงที่ เมื่ออยู่ในช่วง 500 ชั่วโมงขึ้นไป จำนวนรอบของการคำนวณซ้ำจึงได้ผลดี ลมไม่มีการกระจายตัวของอนุภาคความร้อนเมื่อเข้าสู่ตู้อบ แล้วออกในช่องทางที่ 3 จึงทำให้อนุภาคความร้อนไม่ทั่วถึงภายในตู้อบ และไม่เกิดการกระจายตัวของการไหล ในลักษณะของ Velocity Vector ตามทิศทางกรไหล

- ผลการทดลองที่ 12.2 Velocity 5 m/s Temperature 60°C

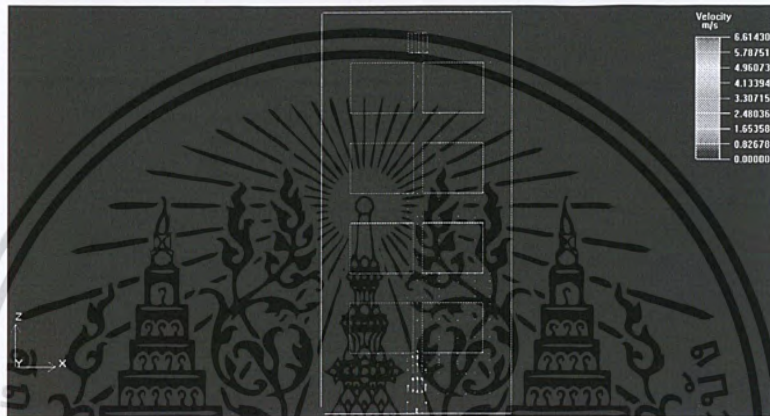


ภาพที่4.58 กราฟแสดงการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



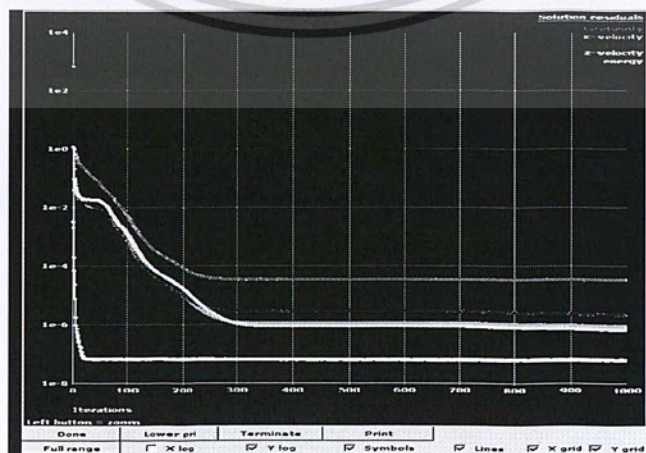
ภาพที่ 4.59 ภาพแสดงการไหลของอนุภาคความร้อนที่เข้าสู่ตู้อบ



ภาพที่ 4.60 ภาพแสดงการกระจายตัวของการไหลด้านบน

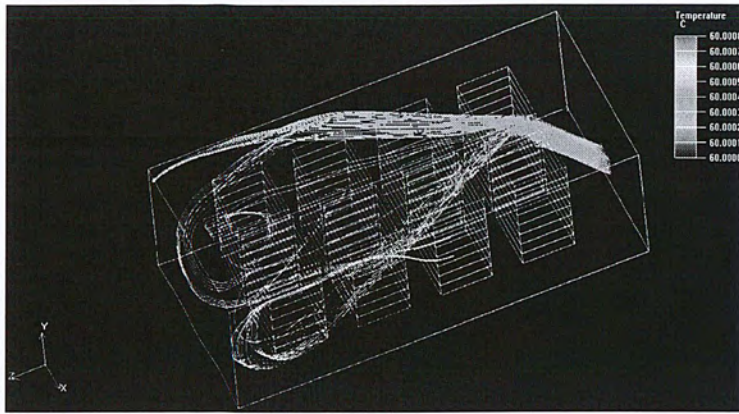
ผลที่ได้จากโปรแกรม คือ กราฟมีการคงที่ เมื่ออยู่ในช่วง 400 ชั่วโมงขึ้นไป จำนวนรอบของการคำนวณซ้ำจึงได้ผลดี สมไม่มีการกระจายตัวของอนุภาคความร้อนเมื่อเข้าสู่ตู้อบ แล้วออกในช่องทางที่ 3 จึงทำให้อนุภาคความร้อนไม่ทั่วถึงภายในตู้อบ และไม่เกิดการกระจายตัวของการไหล ในลักษณะของ Velocity Vector ตามทิศทางการไหล

- ผลการทดลองที่ 12.3 Velocity 7.4 m/s Temperature 60°C

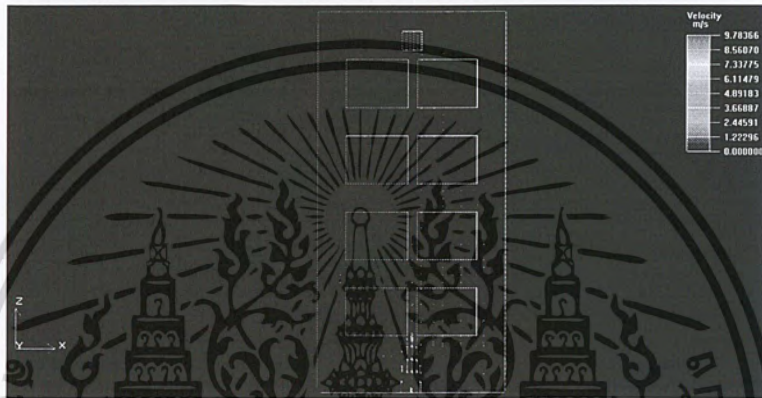


ภาพที่ 4.61 กราฟแสดงการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่4.62 ภาพแสดงการไหลของอนุภาคความร้อนที่เข้าสู่ตู้อบ



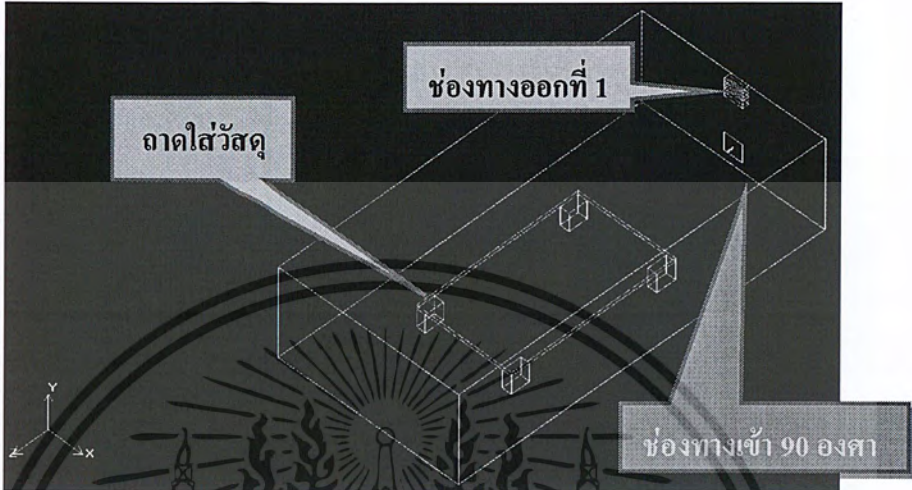
ภาพที่4.63 ภาพแสดงการกระจายตัวของการไหลด้านบน

ผลที่ได้จากโปรแกรม คือ กราฟที่มีการคงที่ เมื่ออยู่ในช่วง 400 ชั่วโมง จำนวนรอบของการคำนวณซ้ำจึงได้ผลดี ลมไม่มีการกระจายตัวของอนุภาคความร้อนเมื่อเข้าสู่ตู้อบ แล้วออกในช่องทางที่ 3 จึงทำให้อนุภาคความร้อนไม่ทั่วถึงภายในตู้อบ และไม่เกิดการกระจายตัวของการไหล ในลักษณะของ Velocity Vector ตามทิศทางการไหล

จากการตรวจสอบทิศทางการไหลภายในตู้อบที่มีวัสดุอยู่ เพื่อหาทิศทางการไหลที่ดีที่สุด (ภายใน Model) ที่มีทิศทางการไหล 2 แบบ คือ การไหลแบบทางตรง 90 องศาและการไหลแบบมุมเอียง 30 องศา รวมถึงความเร็วทั้ง 3 แบบ คือ 3 m/s, 5 m/s, 7.4 m/s ที่ทางออกทั้ง 3 แบบ นั้นปรากฏว่า ในทิศทางการไหลแบบทางตรง 90 องศาที่ความเร็ว 3 m/s ที่ทางออกที่ 1 เป็นทิศทางการไหลที่ดีที่สุด จากนั้น เราจึงทำการนำวัสดุจริงทดลอง เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับ Model

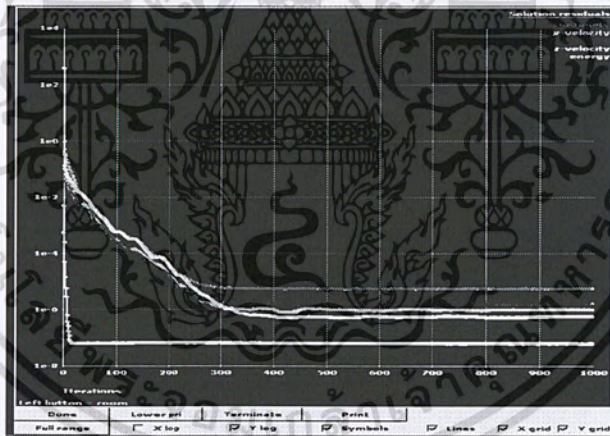
4.3 แบบทดสอบโดยมีวัสดุจริง (การไหลแบบทางตรง 90 องศา) ที่ทางออกที่ 1

ทำการสร้างแบบจำลองขนาด $1 \times 2 \times 0.5$ m. ตามลำดับ และกำหนดขนาดของช่องทางออก และทางเข้ามีขนาดความกว้าง×สูง เท่ากับ 10×10 cm หลังจากนั้นก็กำหนด ความเร็วลมที่ 3 m/s อุณหภูมิ 60 °C และมีทิศทางลมเข้าที่มุม 90 องศา

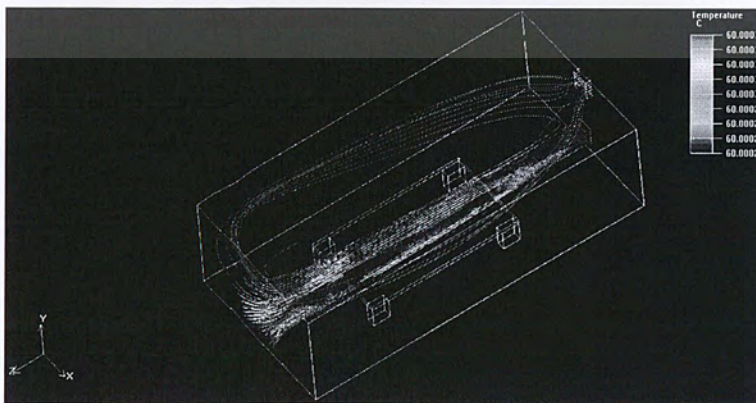


ภาพที่ 4.64 แบบจำลองตู้อบ

- ผลการทดลองที่ 13.1 Velocity 3 m/s Temperature 60 °C

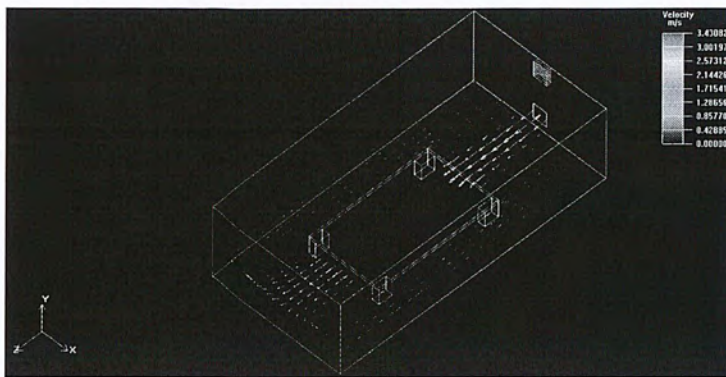


ภาพที่ 4.65 กราฟแสดงการคำนวณ



ภาพที่ 4.66 ภาพแสดงการไหลของอนุภาคความร้อนที่เข้าสู่ตู้อบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติเห็นไปโดยประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.67 ภาพแสดงการกระจายตัวของกระแสไหลด้านบน

4.4 ผลการทดสอบของตู้อบโดยเทียบกับโปรแกรม Air Pak

- ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ทั้ง 12 ตำแหน่ง ใช้ลมธรรมดา ความเร็ว 3 m/s , 5 m/s และ 7.4 m/s ทิศทางลมทั้ง 2 แบบคือทางตรงและทางเอียง

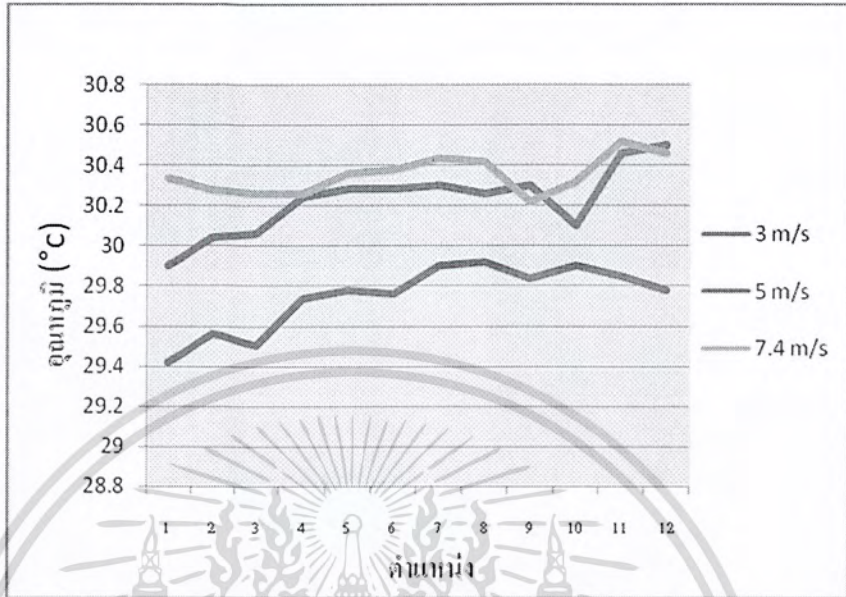
ตำแหน่ง	อุณหภูมิ (°c)		
	3 m/s	5 m/s	7.4 m/s
1	29.9	29.42	30.34
2	30.04	29.56	30.28
3	30.06	29.5	30.26
4	30.24	29.74	30.26
5	30.28	29.78	30.36
6	30.28	29.76	30.38
7	30.3	29.9	30.44
8	30.26	29.92	30.42
9	30.3	29.84	30.22
10	30.1	29.9	30.32
11	30.46	29.85	30.52
12	30.5	29.78	30.46

ตำแหน่ง	อุณหภูมิ (°c)		
	3 m/s	5 m/s	7.4 m/s
1	29.8	30.3	31.24
2	29.74	30.5	30.9
3	29.88	30.52	31.2
4	30.04	30.44	31.26
5	30.12	30.62	31.66
6	30.38	31.24	32.14
7	30.62	31.32	32.22
8	30.6	31.74	32.26
9	30.9	31.82	32.26
10	31.2	31.72	32.54
11	31.28	31.78	32.64
12	31.44	31.78	34.56

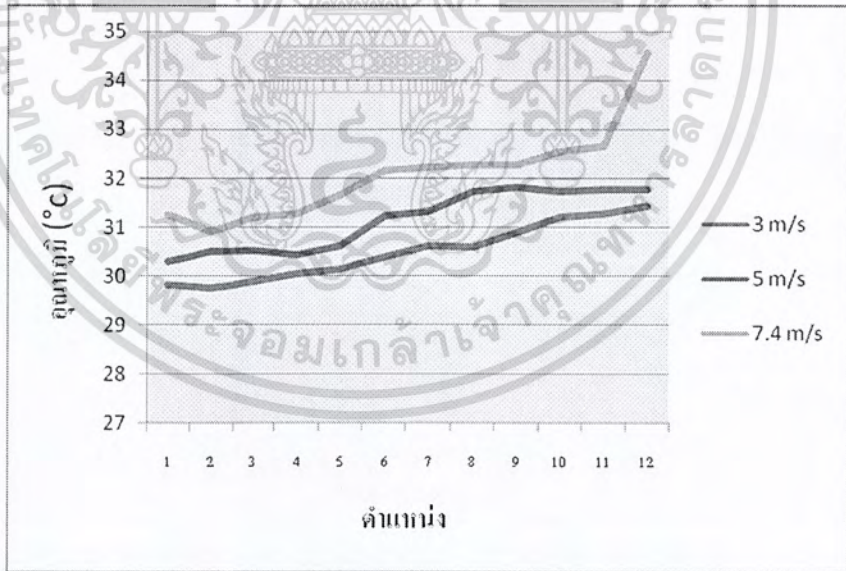
ตารางที่ 4.1 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิเฉลี่ยในแต่ละจุดภายในตู้อบและความเร็วลมที่แตกต่างกัน ที่ทิศทางลมเข้า 90°

ตารางที่ 4.2 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิเฉลี่ยในแต่ละจุดภายในตู้อบและความเร็วลมที่แตกต่างกัน ที่ทิศทางลมเข้า 30°

- แสดงแผนภูมิเปรียบเทียบการกระจายตัวของอุณหภูมิกับตำแหน่งต่างๆภายในตู้อบ ที่ทิศทางลมเข้าทั้งทางตรงและทางเอียง



ภาพที่ 4.68 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับตำแหน่งต่างที่ความเร็วต่างกัน ลมเข้าทางตรง ที่ 90°



ภาพที่ 4.69 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับตำแหน่งต่างที่ความเร็วต่างกัน ลมเข้าทางเอียง ที่ 30°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ทั้ง 12 ตำแหน่ง ใช้ลมธรรมชาติ+ Heater
ความเร็ว 3 m/s , 5 m/s และ 7.4 m/s ทิศทางลมทั้ง 2 แบบคือทางตรงและทางเอียง

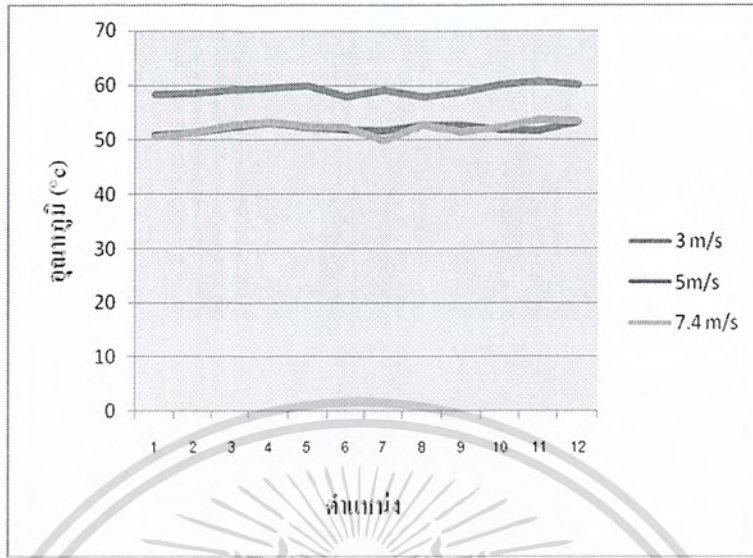
ตำแหน่ง	อุณหภูมิ(°c)		
	3 m/s	5m/s	7.4 m/s
1	58.32	50.88	50.48
2	58.48	51.34	51.3
3	59.04	52.26	52.72
4	59.56	53.22	53.3
5	59.8	52.3	52.4
6	57.94	51.96	52.18
7	59.02	51.66	49.88
8	57.98	52.8	52.66
9	58.78	52.8	51.44
10	60.1	51.96	52.3
11	60.62	51.7	53.64
12	60.06	53.34	53.54

ตารางที่ 4.3 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิเฉลี่ยในแต่ละจุดภายในตู้อบและความเร็วลมที่แตกต่างกัน ที่ทิศทางลมเข้า 90 °

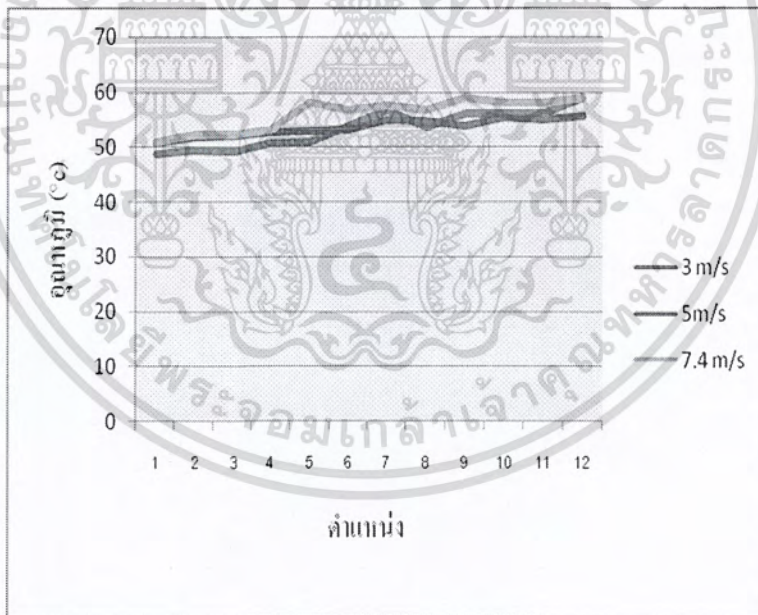
ตำแหน่ง	อุณหภูมิ (°)		
	3 m/s	5m/s	7.4 m/s
1	48.76	50.68	50.88
2	49.42	51.86	52.16
3	49.22	52.04	52.22
4	50.7	52.8	53.1
5	51.06	52.96	58.08
6	53.94	53.28	56.9
7	56.72	55.05	57.64
8	53.66	54.82	56.9
9	56.1	53.78	59.06
10	56.22	55.56	58.16
11	56.02	55.14	58.18
12	59.02	55.72	59.02

ตารางที่ 4.4 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิเฉลี่ยในแต่ละจุดภายในตู้อบและความเร็วลมที่แตกต่างกัน ที่ทิศทางลมเข้า 30 °

-แสดงแผนภูมิเปรียบเทียบการกระจายตัวของอุณหภูมิกับตำแหน่งต่างๆภายในตู้อบ ที่ทิศทางลมเข้าทั้งทางตรงและทางเอียง



ภาพที่ 4.70 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับตำแหน่งต่างที่ความเร็วต่างกัน ลมเข้าทางตรง ที่ 90 °



ภาพที่ 4.71 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับตำแหน่งต่างที่ความเร็วต่างกัน ลมเข้าทางตรง ที่ 30 °

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 การหาความชื้นเริ่มต้นของปลาหมึก

การหาความชื้นเริ่มต้นของปลาหมึกในตู้อบแบบ Forced air oven ที่อุณหภูมิ 105 °c เวลา 24 ชั่วโมง

ถาดที่	น้ำหนักก่อนอบ (g)	น้ำหนักหลังอบ (g)	น้ำหนักที่หายไป (g)
1	11.11	9.94	1.17
2	11.13	9.75	1.38
3	10.34	9.05	1.29
4	11.81	10.4	1.41
5	11.48	10.2	1.28
เฉลี่ย	11.174	9.868	1.306

ตารางที่ 4.5 การแสดงความสัมพันธ์ของน้ำหนักปลาหมึกเริ่มต้นทั้งก่อนและหลังอบในถาดตัวอย่าง 5 ถาดที่อุณหภูมิ 105 °c เวลา 24 ชั่วโมง

- การเปรียบเทียบความชื้นเริ่มต้นกับความชื้นของปลาหมึกแต่ละขนาด

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความชื้นที่คงเหลือ} = \frac{\text{น้ำหนักที่หายไป}}{\text{น้ำหนักเริ่มต้น}} \times 100$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความชื้นที่หายไป} = 100 - \text{เปอร์เซ็นต์ความชื้นที่คงเหลือ}$$

ขนาดปลาหมึก	น้ำหนักเริ่มต้น (g)	% ความชื้นที่คงเหลือ	% ความชื้นที่หายไป
ตัวอย่าง	11.174	11.7	88.3
ขนาดใหญ่	31.42	33.56	66.44
ขนาดกลาง	24.26	25.36	74.64
ขนาดเล็ก	13.92	19.04	80.96

ตารางที่ 4.6 แสดงการหาความชื้นเริ่มต้นของปลาหมึกโดยเปรียบเทียบกับปลาหมึกทั้งสามขนาดที่ทดสอบ ในเวลา 6 ชั่วโมง อุณหภูมิ 60 °c

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลจากการจำลองและทดลอง

การออกแบบและจำลองตู้อบภายในโปรแกรม AirPak ที่สามารถจำลองทิศทางการไหลของลมร้อนและอุณหภูมิ เพื่อให้เหมาะสมและมีประสิทธิภาพสูงสุดในการอบแห้ง โดยทำการทดสอบจากตู้อบที่ผู้ทดลองสร้างขึ้นที่ใช้ในการจำลองการไหลของลมและอุณหภูมิซึ่งจะมีการกำหนดความเร็วลม 3 ระดับคือ 3 m/s , 5 m/s , 7.4 m/s และมีทิศทางการไหล 2 แบบคือ การไหลแบบทางตรง 90° และการไหลที่มีมุมเอียง 30° รวมถึงช่องทางออกของลมที่ต่างกันเป็นจำนวน 3 จุด ตามลำดับ

การจำลองตู้อบในโปรแกรม AirPak จากการกำหนดขนาดต่างๆตามที่ผู้ใช้โปรแกรมกำหนดได้เลือกค่าต่างๆที่กล่าวมาเบื้องต้น เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณหาทิศทางการไหลของลมร้อนและอุณหภูมิจะพบว่า

- ในทิศทางการไหลแบบทางตรง 90° ที่ความเร็วลม 3 m/s ที่ช่องทางออกจุดที่ 1 เป็นค่าที่มีทิศทางการไหลของลมร้อนและอุณหภูมิที่ดีที่สุดในการคำนวณได้และจากการทดลองจริงก็ได้ค่าที่ใกล้เคียงกับผลที่โปรแกรมสามารถคำนวณได้
- การทดสอบตู้อบโดยไม่มีวัสดุ โดยใช้เครื่องบันทึกข้อมูล (Data Logger) ในการเก็บข้อมูล ทดสอบโดยลมธรรมดาและลมร้อน(Heater) จากการทดสอบทั้งสองกรณีพบว่า ความร้อนที่กระจายอยู่ภายในตู้อบที่ดีที่สุด และมีอุณหภูมิสม่ำเสมอทั่วทั้งตู้อบ โดยใช้เวลาในการทดสอบเก็บค่า 2 ชั่วโมง ที่ความเร็ว 3 m/s ทิศทาง 90° เป็นค่าที่ดีที่สุดในการทดสอบตู้อบ
- การทดสอบตู้อบโดยมีวัสดุ (ปลาหมึก) พบว่าเกิดการถ่ายเทปริมาณความร้อนออกจากเนื้อปลาหมึกเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับเวลาและขนาดของปลาหมึก ปริมาณความร้อนสัมพัทธ์ภายในตู้อบมีอัตราการลดลงต่ำสุดที่ 49.37%

จากการเปรียบเทียบผลการจำลองด้วยโปรแกรม และผลการทดลองของตู้อบพบว่ามีลักษณะการกระจายตัวของความเร็วที่ใกล้เคียงกัน เพราะฉะนั้นผู้ใช้โปรแกรมสามารถสร้างงานของตนเองลงไปโปรแกรมได้เพื่อช่วยลดต้นทุนและเวลาที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัญหาที่พบในการทดลอง

- จากการจำลองในโปรแกรม AirPak ถ้าสร้าง Mesh ละเอียดเกินไปจะทำการ Run โปรแกรมเป็นเวลานานหลายชั่วโมง แต่ถ้าสร้าง Mesh ที่ไม่ละเอียดจะได้ข้อมูลที่คลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง ซึ่งจะทำให้การจำลองด้วยโปรแกรมที่เกิดความผิดพลาดได้
- คอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการจำลองด้วยโปรแกรม AirPak ควรมีคุณสมบัติที่สูงพอสมควร มิฉะนั้นจะส่งผลต่อการแสดงผลข้อมูลที่ได้จากการทดลอง ซึ่งทำให้การจำลองเกิดความคลาดเคลื่อนหรือเกิดความผิดพลาดในการจำลองได้
- มอเตอร์ที่ใช้ในการขับพัดลม ควรเป็นแบบสามเฟสเพื่อสะดวกในการปรับค่าความเร็วลม
- เครื่องทำความร้อน (Heater) ไม่สามารถปรับค่าได้

ข้อเสนอแนะ

- จากการทดลองภายใน โปรแกรมผู้ทดลองสามารถใส่ถาดเพิ่มได้เพื่อเพิ่มปริมาณของปลาหมึกที่อบแห้ง
- ถาดรองปลาหมึกควรเป็นแบบตะแกรงหรือวัสดุที่ลมสามารถผ่านได้สะดวกเพื่อให้ปลาหมึกที่อบนั้นแห้งสม่ำเสมอกันทั้งตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- นมเนย มันการไถ และ นายสมศักดิ์ แดงพยนต์ ตู้อบแห้งอาหารทะเลด้วยพลังงานแสงอาทิตย์. ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขต กำแพงแสน, นครปฐม
- พงษ์ศักดิ์ เทียมทัน.2544.การพัฒนาตู้อบลมร้อนอัด โนมัดขนาดเล็ก.วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,กรุงเทพฯ.
- วีรัตน์ ทศโนยธาดา และ นายสมพล เสือคำ.2548.การศึกษาเปรียบเทียบเครื่องอบแห้งลมร้อน แบบอัด โนมัดและเครื่องอบแห้งแบบระบบ Heat Pump Dryer ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ,นครปฐม
- วิไล ถังสาตทอง.2543.เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร.สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.กรุงเทพฯ. 226-251
- สุคนธ์ชื่น ศรีงาม.2539.กระบวนการทำแห้งอาหารทะเล,น 164 – 172. ในวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร.ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,กรุงเทพฯ.
- สุทรศักดิ์ ภัทรสถาพร.2543. การพัฒนาเครื่องอบแห้งระบบบีบความร้อน.วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,กรุงเทพฯ.
- Chan Kian Jon, Arun S. Mujumder, Chou Siaw, Ho Juay Choy and Mothammad Nural Alam Hawlader.2000. Heat Pump Drying Systems: Principles, Applications and potential, p 95 – 134. Ln Development in Drying Volume II Drying of Food and Agro – Product, ed. Arun S. Mujumdar and Sirikalaya Suvachittanont. Kasetsart university Bankok, Thailand

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



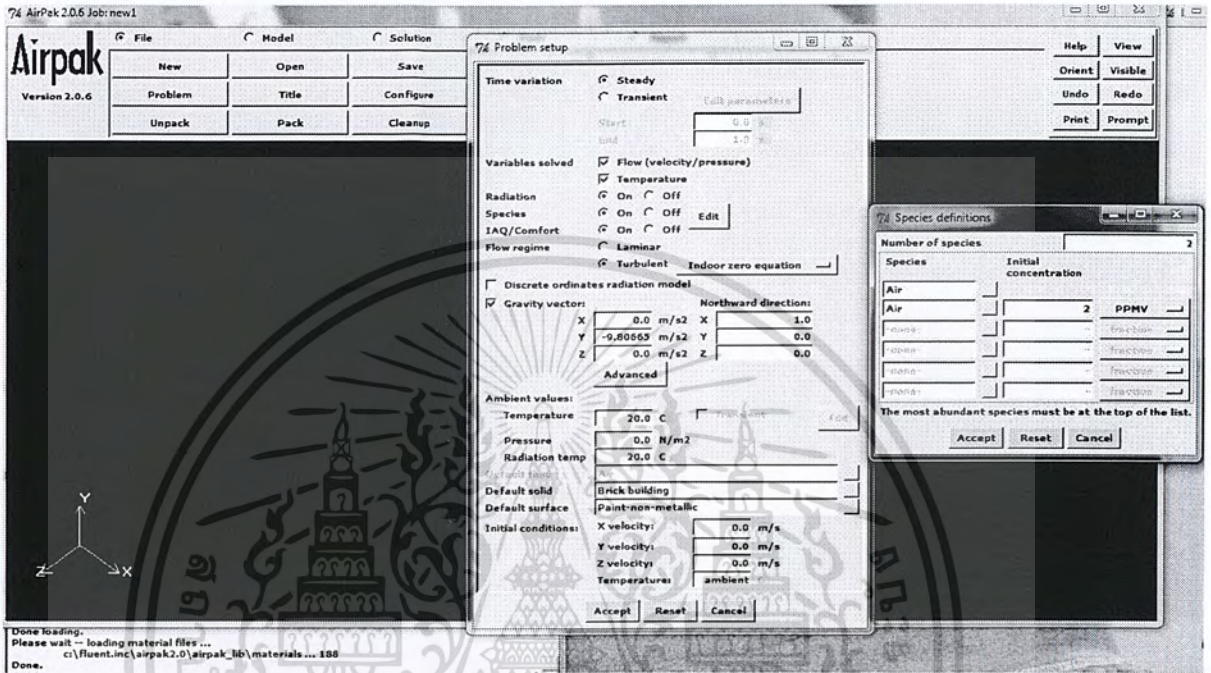
ภาคผนวก (ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก. การออกแบบจำลองโดยโปรแกรม

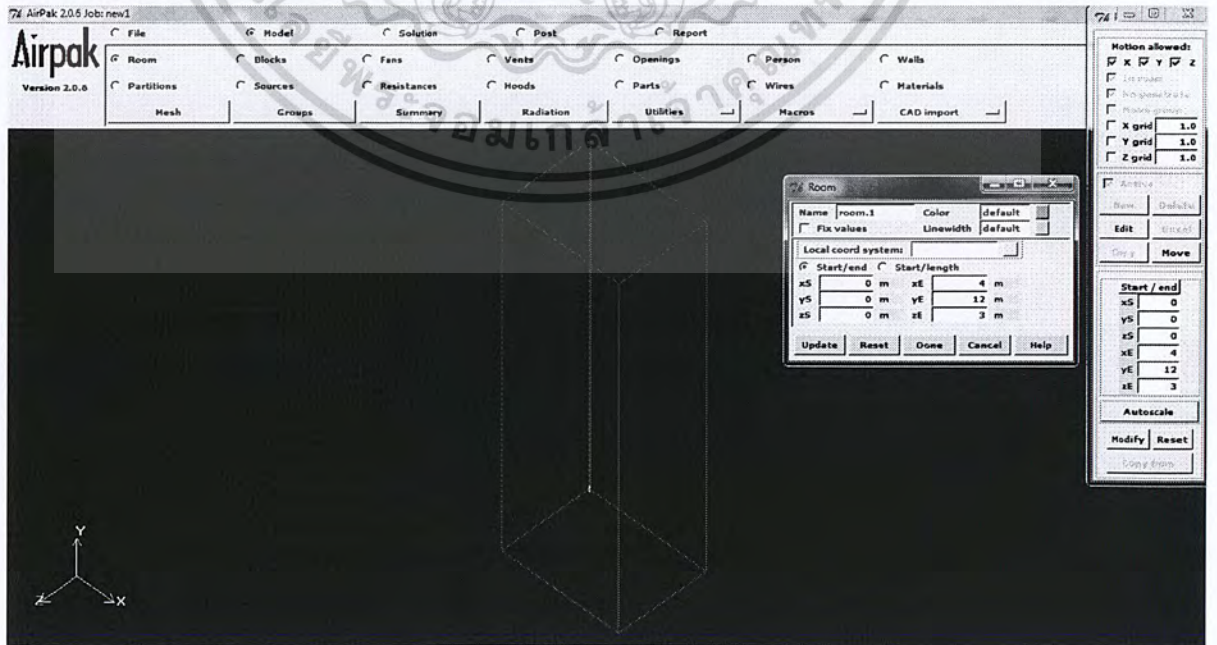
1. การเปิดโปรแกรม และสร้างงานใหม่ (Open and Define a new job)

- 1.1 เปิดโปรแกรม Airpak
- 1.3 ทำการตั้งชื่องาน : Office
- 1.4 ทำการกำหนดค่าต่างๆ ของปัญหา



ภาพที่ ก.1

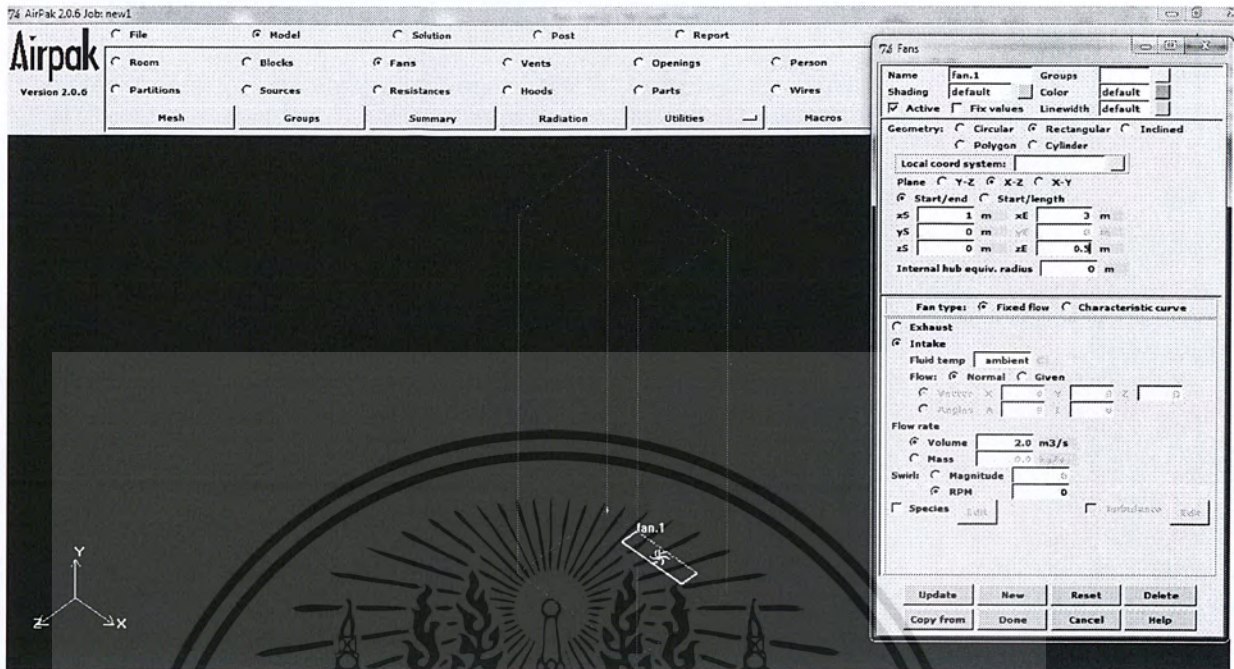
2.) โปรแกรม Airpak จะทำการสร้างห้องขนาด 4 m X3 m X12 m ในหน้าต่าง Graphics Window 151 สามารถหมุนห้อง ไปรอบๆ ได้โดยกดปุ่มซ้ายของเมาส์ เลื่อนตำแหน่งของห้องโดยใช้ปุ่มตรงกลาง และใช้ปุ่มขวาของเมาส์เพื่อขยายหรือย่อขนาดของห้อง



ภาพที่ ก.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อลดต้นทุนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.) สร้างพัดลมที่มีขนาด 1 m x 0.5m

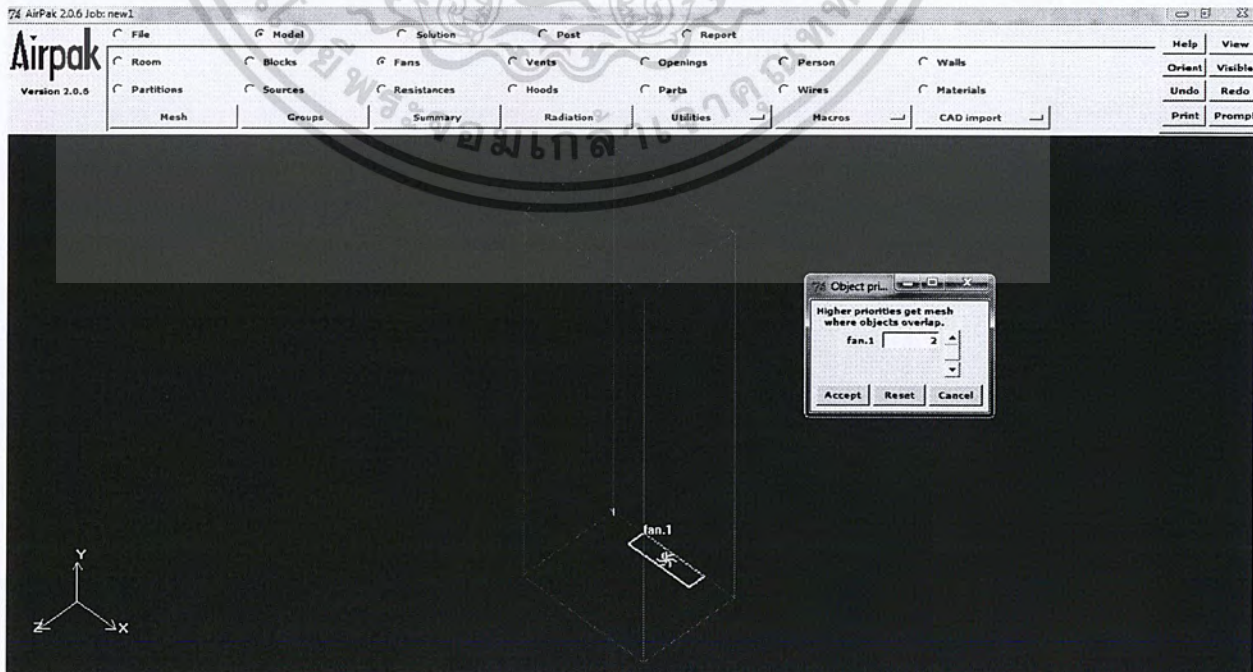


ภาพที่ ก.3

การสร้างเมช (Generate a Mesh)

ปกติแล้วเราสามารถแบ่งขั้นตอนการสร้างเมชออกเป็น 3 ขั้นตอนคือ 1) การกำหนดลำดับความสำคัญของวัตถุที่ต้องการเมช 2) ทำการสร้าง Mash อย่างหยาบๆ แล้วค่อยตรวจสอบว่าบริเวณใดที่ควรแบ่ง Mesh ให้ละเอียดยิ่งขึ้น และ 3) ทำการแบ่งเมชอย่างละเอียด

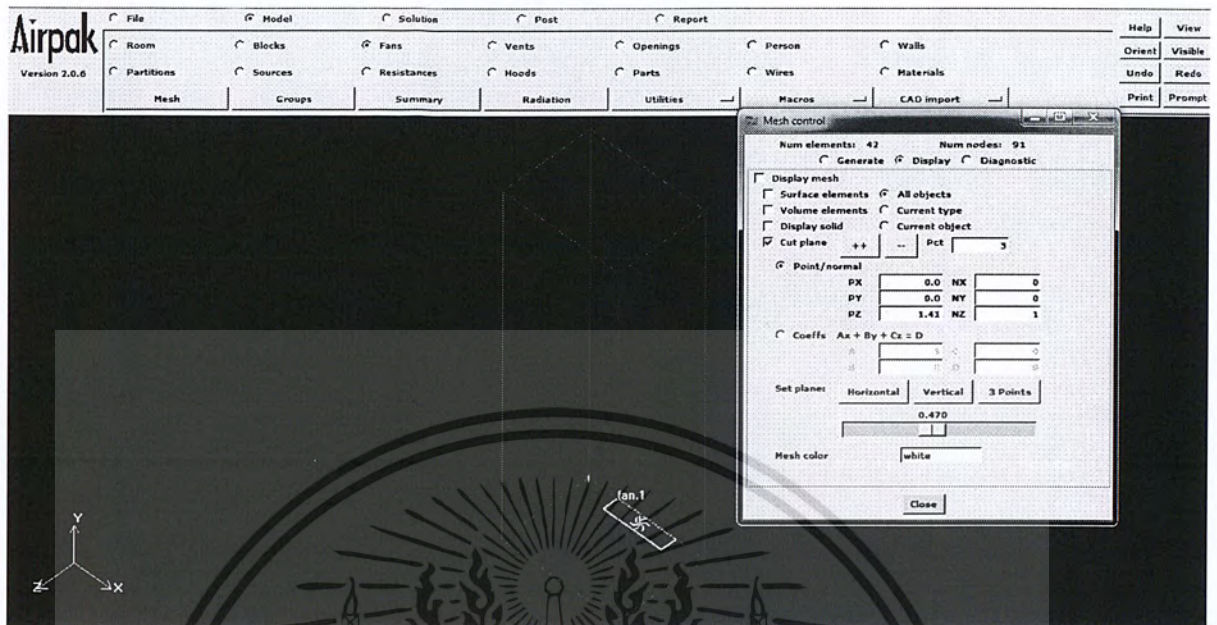
- 1) การกำหนดลำดับความสำคัญของวัตถุที่ต้องการ Mesh



ภาพที่ ก.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ทำการสร้างเมสอย่างหยาบๆแล้วค่อยตรวจสอบว่าบริเวณไหนที่ควรแบ่ง Mesh ให้ละเอียดยิ่งขึ้น



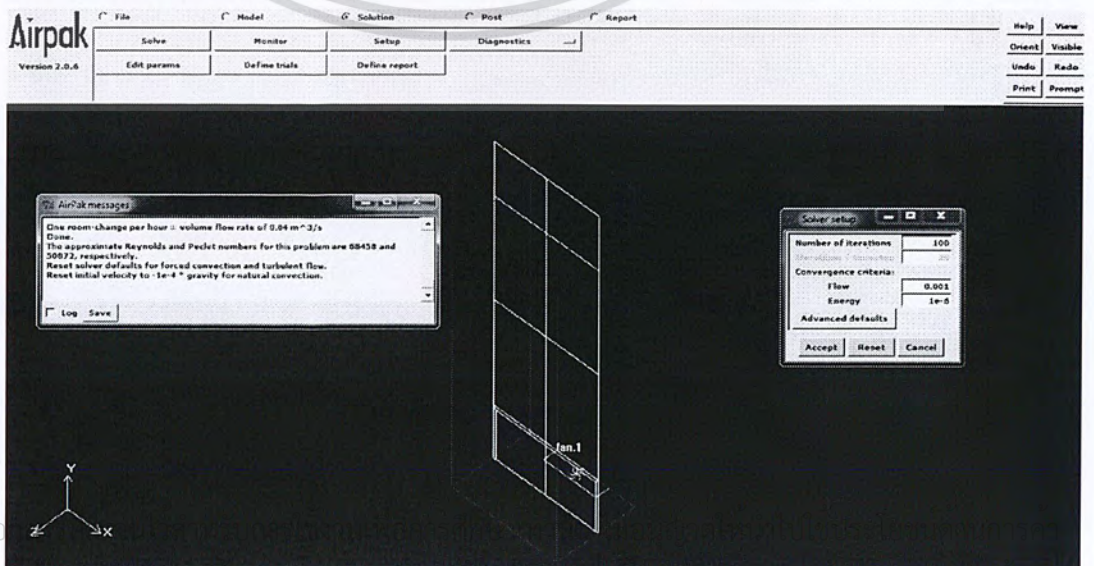
ภาพที่ ก.5

3) การสร้างเมสแบบละเอียด (Generate fine mesh)

- กดเลือก Generate จากหน้าต่าง Mesh control panel
- เลือก Normal bottom : โปรแกรม Airpak จะทำการกำหนดการ Mesh ให้ละเอียดกว่าการ Mesh แบบหยาบ

การตรวจสอบชนิดและลักษณะของการไหล (Check Flow Regime)

ก่อนที่จะทำการแก้ปัญหา (Solve) เราควรคำนวณหาค่า Reynolds numbers และ Peclet numbers โดยประมาณเสียก่อน เพื่อตรวจสอบว่าควรกำหนดชนิดและลักษณะของการไหลให้เป็นแบบใด (Laminar หรือ Turbulent)



เอกสารนี้เป็นเอกสาร

ไม่ว่ากรณีใดๆ หงสน ออกจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ และต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ ก.6

จากข้อความใน Message window จะเห็นว่า เป็นการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent flow) และจากที่เราได้กำหนดตั้งแต่เริ่มต้นแล้วว่าให้ทำการวิเคราะห์การไหลแบบปั่นป่วน ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องแก้หรือกำหนดค่าใดๆเพิ่มเติม

การบันทึกข้อมูล (Save the Model)

โดยปกติแล้วโปรแกรม Airpak จะทำการบันทึกข้อมูลโดยอัตโนมัติก่อนที่จะเริ่มทำการคำนวณ แต่เพื่อความไม่ประมาทก็ควรทำการบันทึกข้อมูลทุกครั้งก่อนจะเริ่มทำการคำนวณ

File > Save

การคำนวณหาคำตอบ (Calculate a Solution)

- กำหนดจำนวนรอบของการคำนวณซ้ำ

Solution > Setup

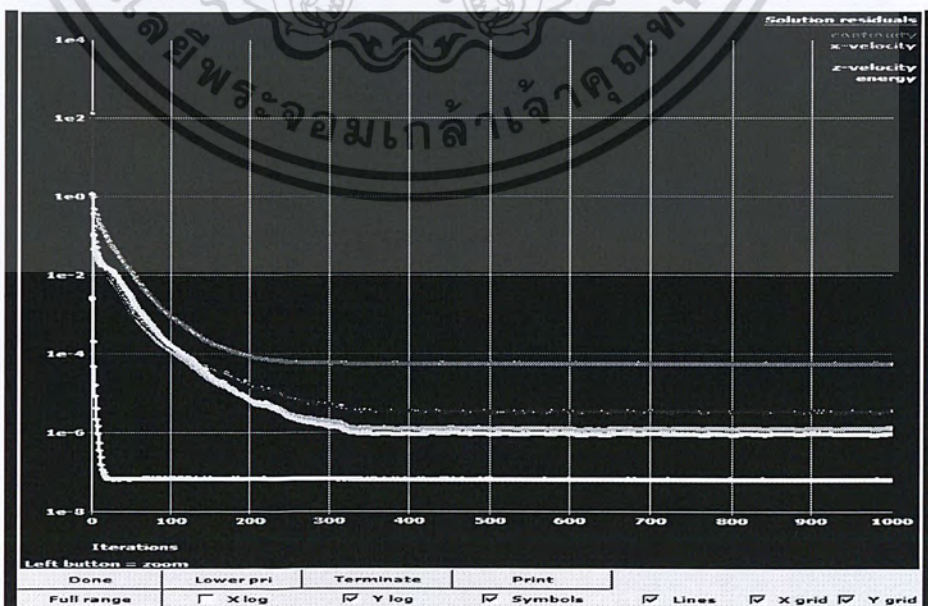
Number of iterations = 1000

- ทำการปรับเปลี่ยนค่าตัวแปรบางตัวในการแก้ปัญหา
 - a) โดยกดเลือก Advanced Defaults
 - b) กำหนดค่า Under- relaxation : Pressure = 0.7 Momentum = 0.3
 - c) กดเลือก Accept เพื่อบันทึกข้อมูลการกำหนดค่า และปิดหน้าต่าง Advanced solver setup panel
 - d) กดเลือก Accept เพื่อปิดหน้าต่าง Solver setup panel

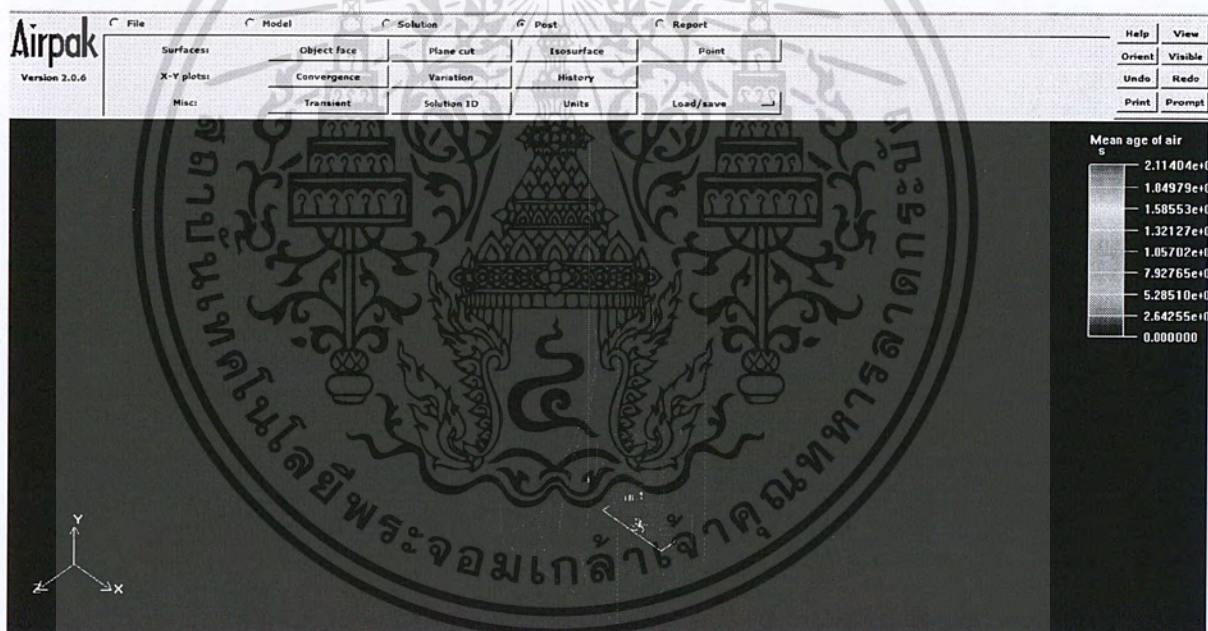
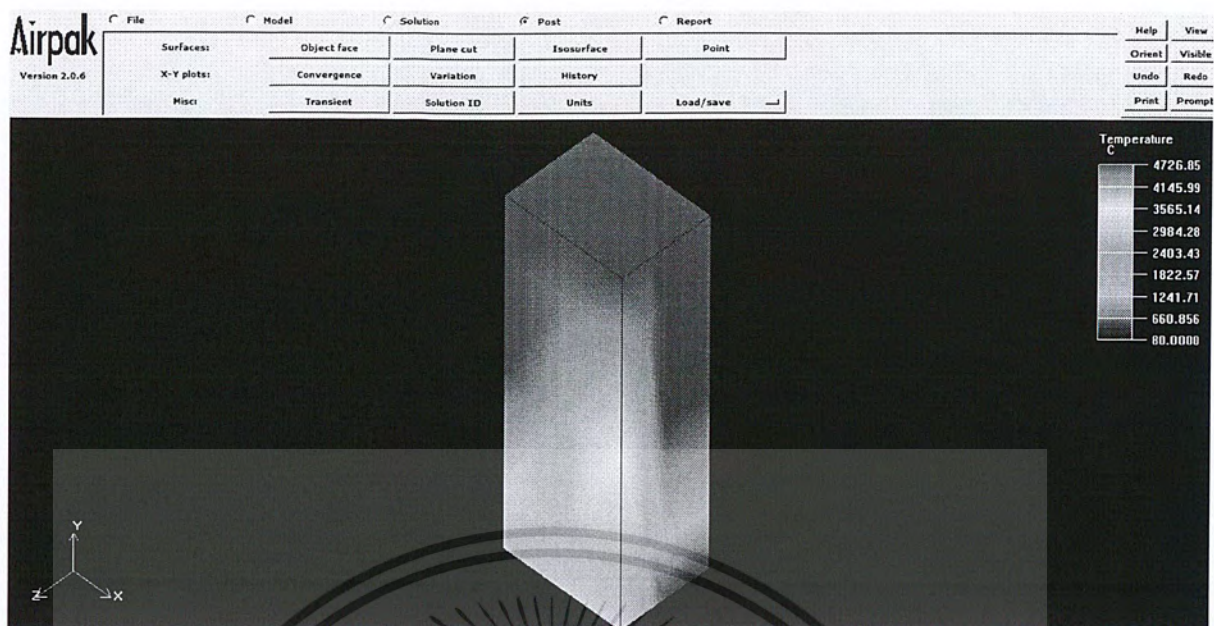
เริ่มต้นการคำนวณ (Start calculation)

Solution > Solve

- a) กด Accept เพื่อเริ่มคำนวณ



ภาพที่ ก.7 การแสดงการค่าอุณหภูมิที่ผิวของวัตถุต่างๆในห้องทำงาน (Contours of Temperature) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ก.8 การแสดงการกระจายตัวของอนุภาคอากาศ (Partical traces) จากช่องปรับอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

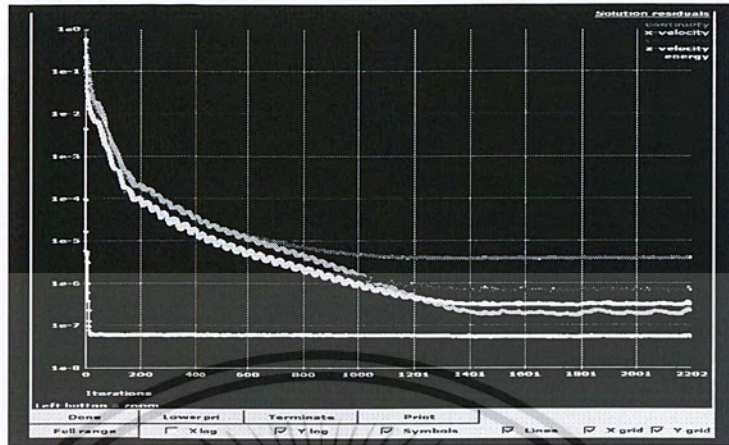


ภาคผนวก (ข)

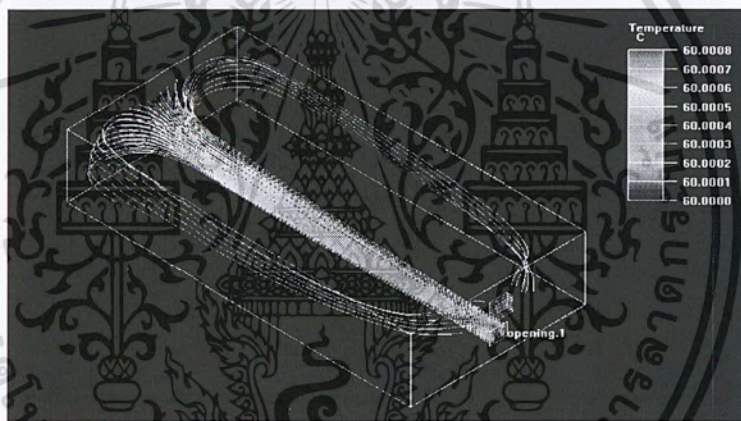
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.1 ภายในตู้อบที่ไม่มีวัสดุอยู่ (การไหลแบบทางตรง 90 องศา) ที่ทางออกที่ 1

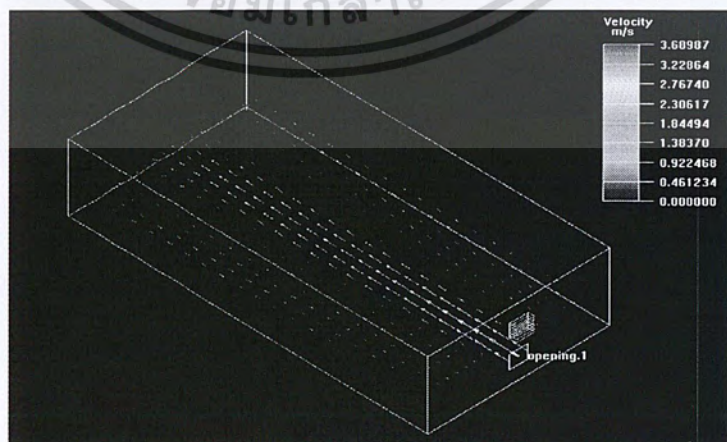
- ผลการทดลองที่ ข.1.1 Velocity 3 m/s Temperature 60°C



ภาพที่ ข.1.1.1 กราฟแสดงการคำนวณ



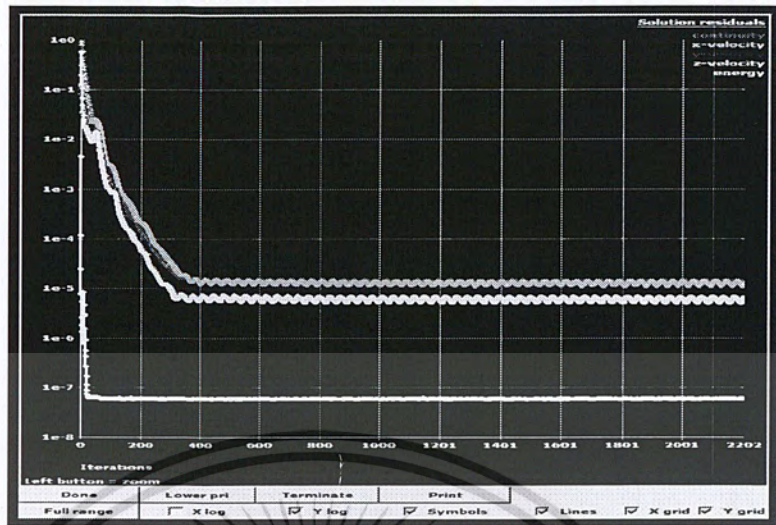
ภาพที่ ข.1.1.2 ภาพแสดงการไหลของอนุภาคความร้อนที่เข้าสู่ตู้อบ



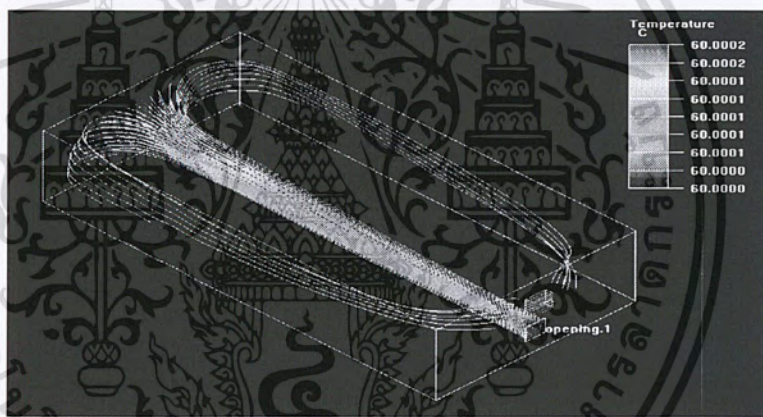
ภาพที่ ข.1.1.3 ภาพแสดงการกระจายตัวของผลการไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

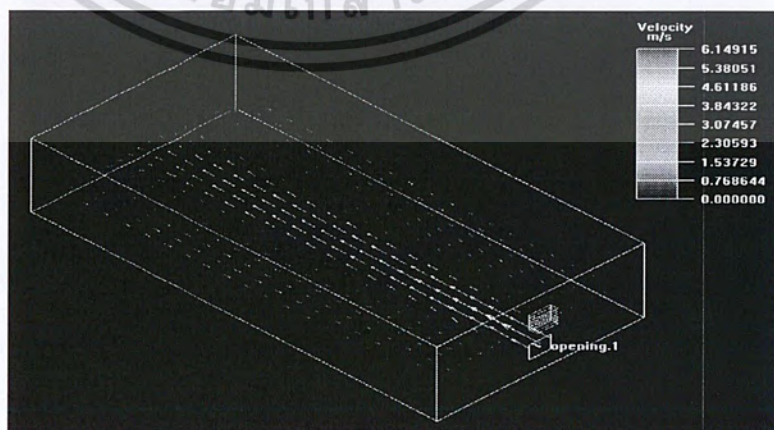
- ผลการทดลองที่ ข.1.2 Velocity 5 m/s Temperature 60°C



ภาพที่ ข.1.2.1 กราฟแสดงการคำนวณ



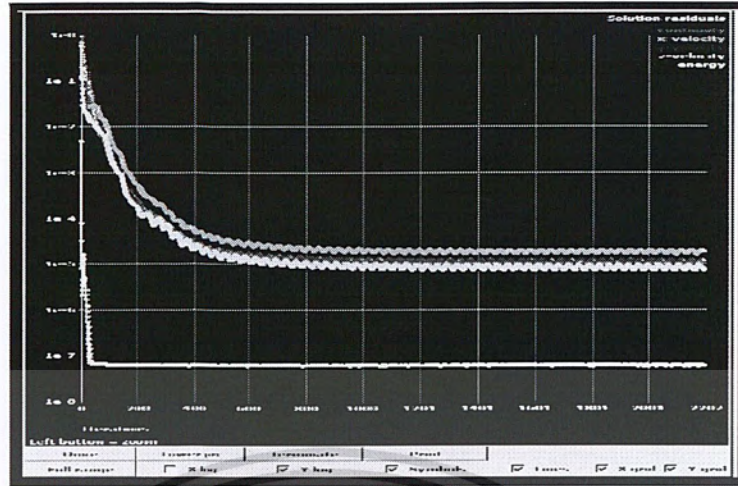
ภาพที่ ข.1.2.2 ภาพแสดงการไหลของอุณหภูมิความร้อนที่เข้าสู่ตู้



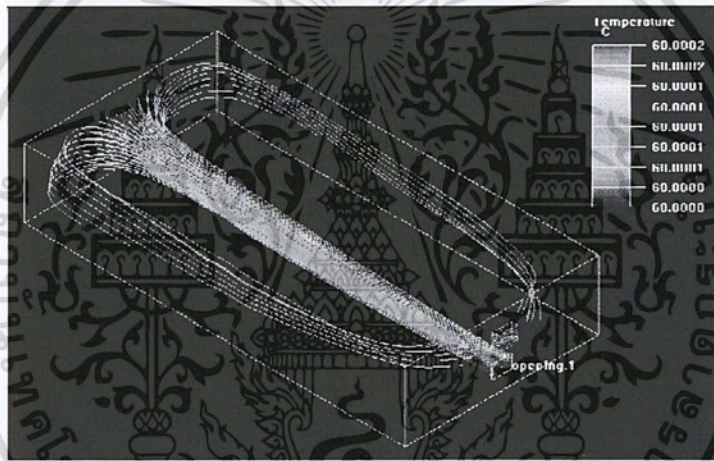
ภาพที่ ข.1.2.3 ภาพแสดงการกระจายตัวของการไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนักเรียนเห็นประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

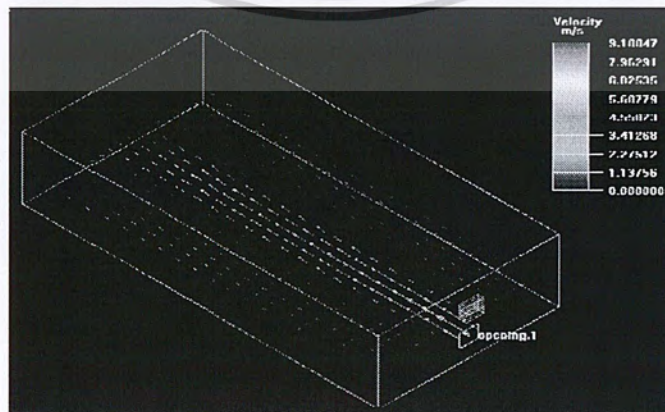
- ผลการทดลองที่ ข.1.3 Velocity 7.4 m/s Temperature 60°C



ภาพที่ ข.1.3.1 กราฟแสดงการคำนวณ



ภาพที่ ข.1.3.2 ภาพแสดงการไหลของอนุภาคความร้อนที่เข้าสู่ตู้อบ

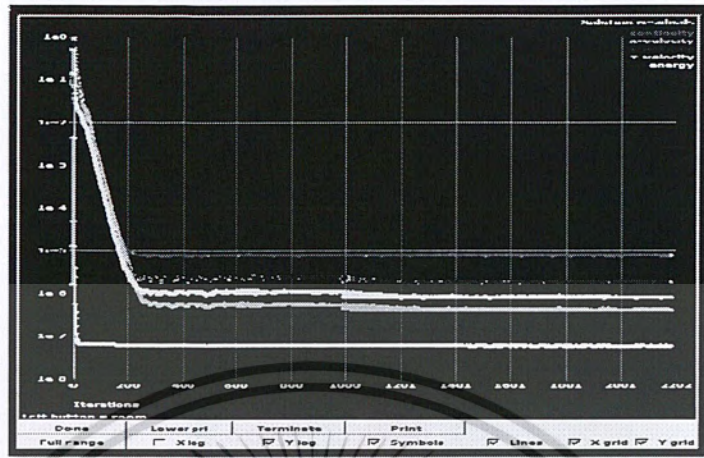


ภาพที่ ข.1.3.3 ภาพแสดงการกระจายตัวของกระแสการไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.2 ภายในตู้อบที่ไม่มีวัสดุอยู่ (การไหลแบบมุมเอียง 30 องศา) ที่ทางออกที่ 1

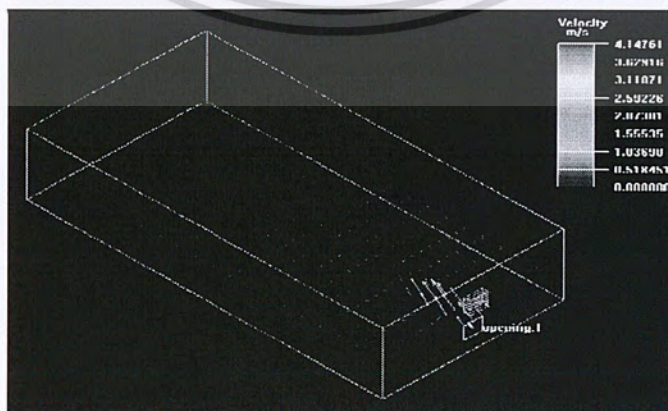
- ผลการทดลองที่ ข.2.1 Velocity 3 m/s Temperature 60°C



ภาพที่ ข.2.1.1 กราฟแสดงการคำนวณ



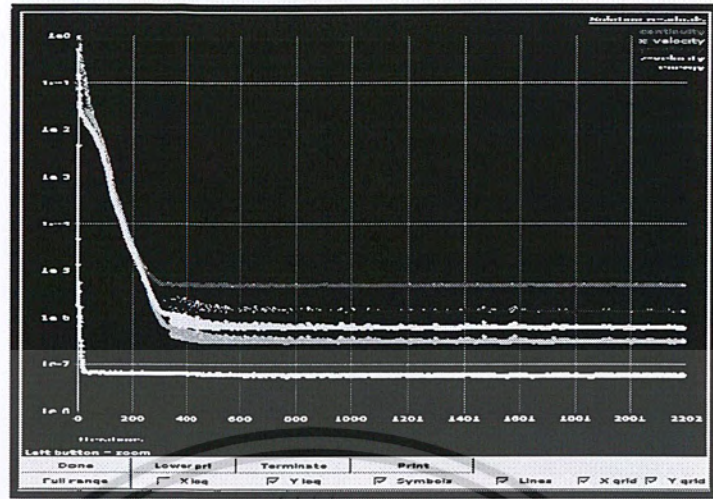
ภาพที่ ข.2.1.2 ภาพแสดงการไหลของอนุภาความร้อนที่เข้าสู่ตู้อบ



ภาพที่ ข.2.1.3 ภาพแสดงการกระจายตัวของการไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

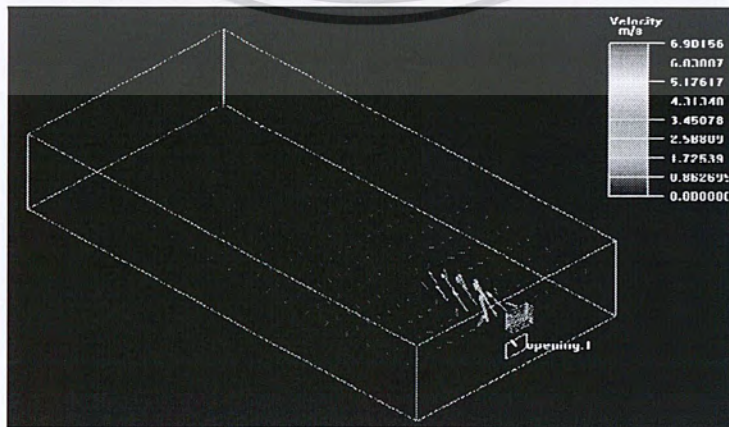
- ผลการทดลองที่ ข.2.2 Velocity 5 m/s Temperature 60°C



ภาพที่ ข.2.2.1 กราฟแสดงการคำนวณ



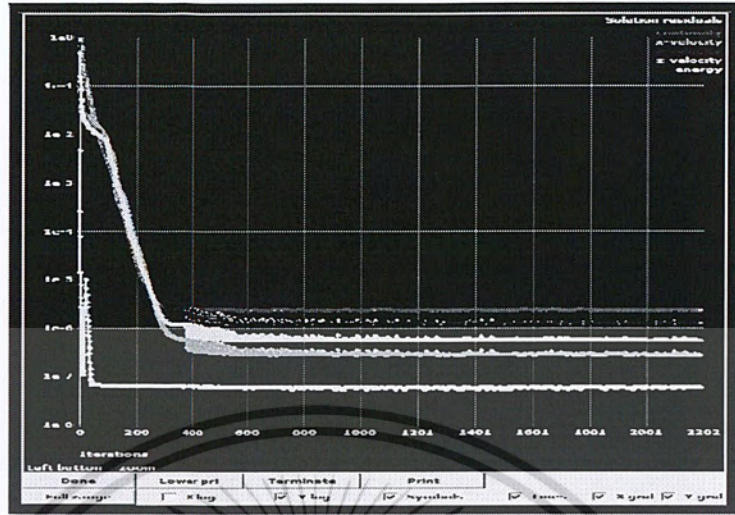
ภาพที่ ข.2.2.2 ภาพแสดงการไหลของอนุภาควัความร้อนที่เข้าสู่ตู้อบ



ภาพที่ ข.2.2.3 ภาพแสดงการกระจายตัวของการไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

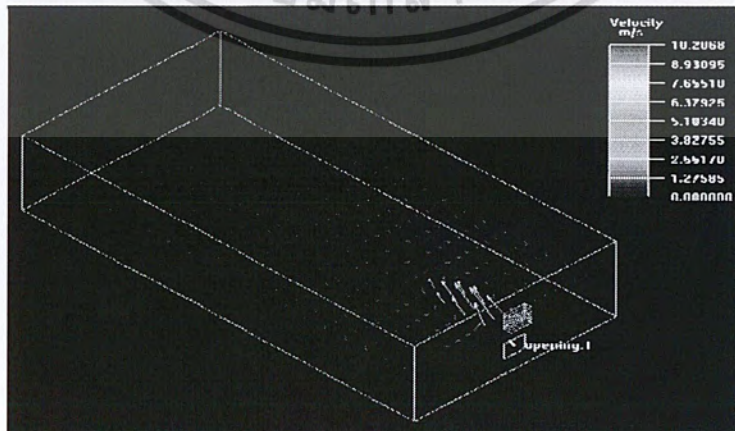
- ผลการทดลองที่ ข.2.3 Velocity 7.4 m/s Temperature 60°C



ภาพที่ ข.2.3.1 กราฟแสดงการคำนวณ



ภาพที่ ข.2.3.2 ภาพแสดงการไหลของอนุภาคความร้อนที่เข้าสู่ตู้อบ

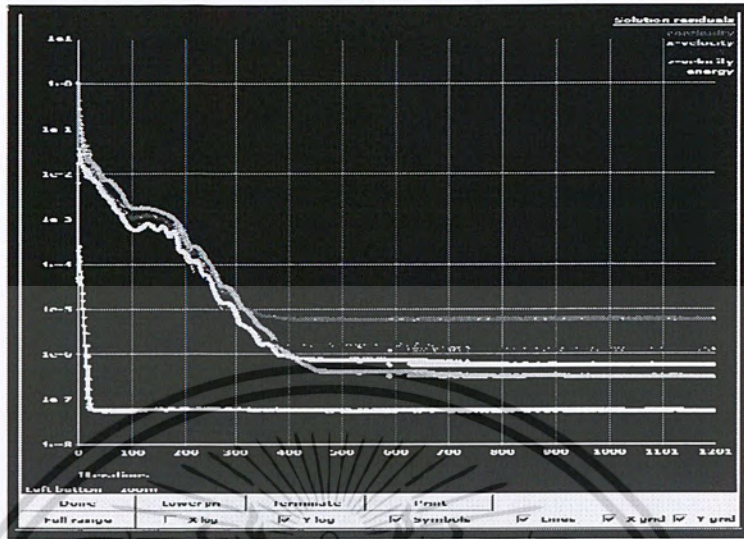


ภาพที่ ข.2.3.3 ภาพแสดงการกระจายตัวของการไหล

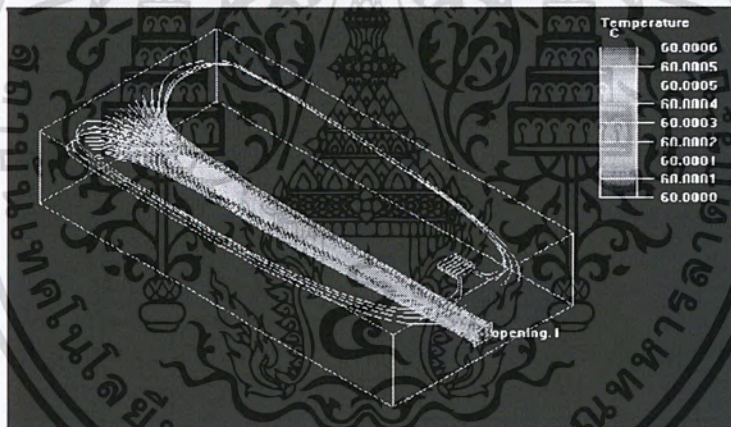
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.3 ภายในตู้อบที่ไม่มีวัสดุอยู่ (การไหลแบบทางตรง 90 องศา) ที่ทางออกที่ 2

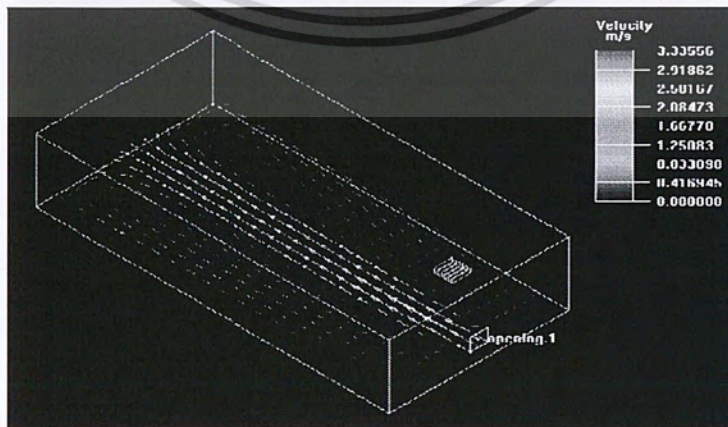
- ผลการทดลองที่ ข.3.1 Velocity 3 m/s Temperature 60°C



ภาพที่ ข.3.1.1 กราฟแสดงการ



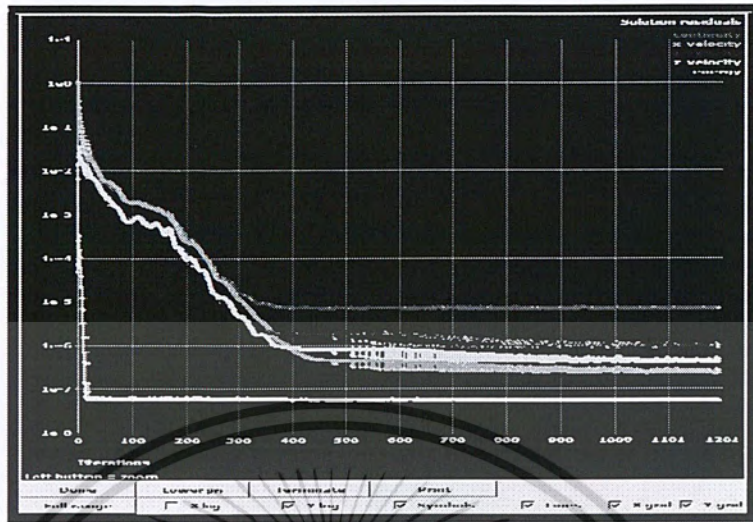
ภาพที่ ข.3.1.2 ภาพแสดงการไหลของอนุภาคความร้อนที่เข้าสู่ตู้อบ



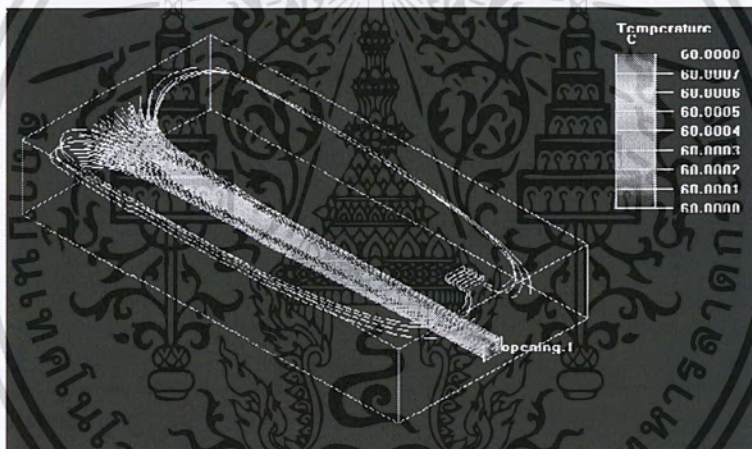
ภาพที่ ข.3.1.3 ภาพแสดงการกระจายตัวของการไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

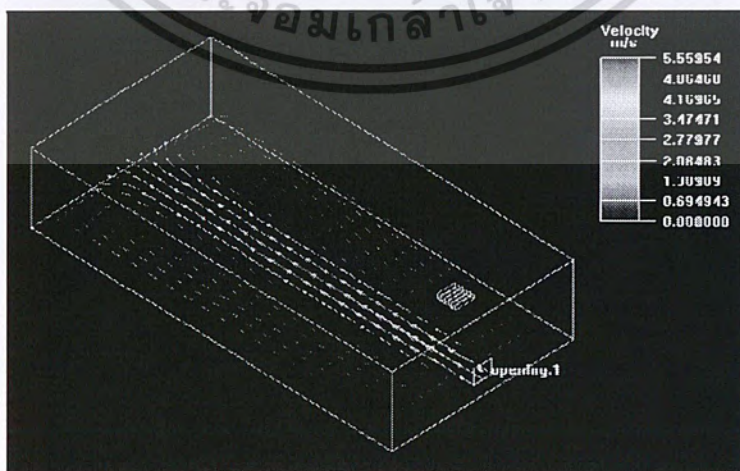
- ผลการทดลองที่ ข.3.2 Velocity 5 m/s Temperature 60°C



ภาพที่ ข.3.2.1 กราฟแสดงการคำนวณ



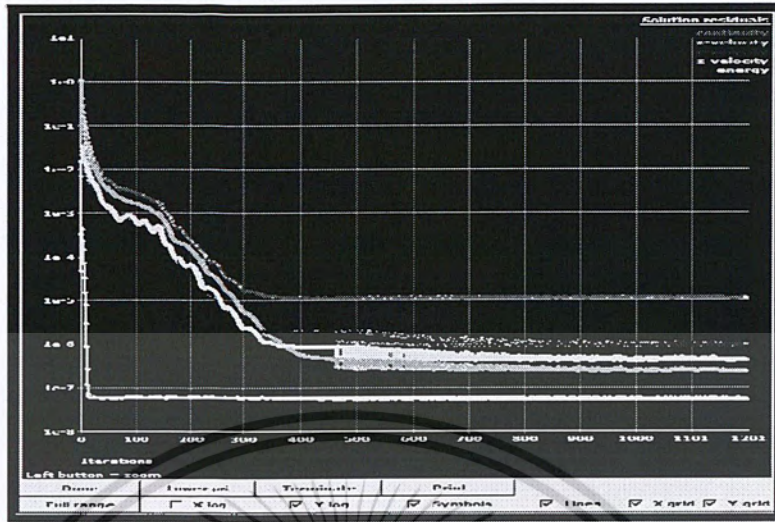
ภาพที่ ข.3.2.2 ภาพแสดงการไหลของอนุภาคความร้อนที่เข้าสู่ตู้อบ



ภาพที่ ข.3.2.3 ภาพแสดงการกระจายตัวของการไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

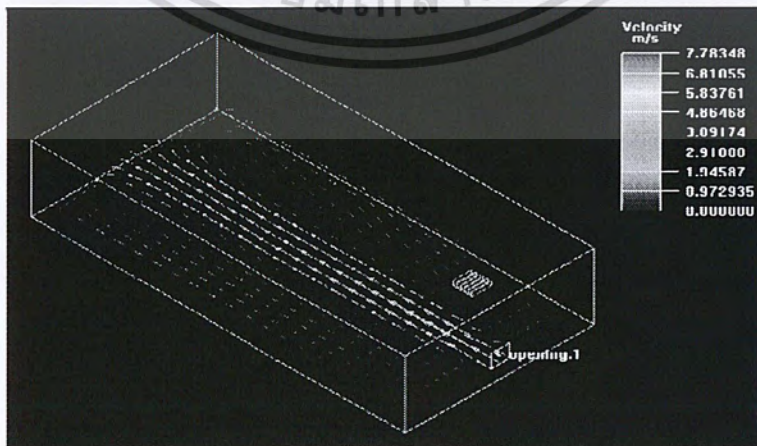
- ผลการทดลองที่ ข.3.3 Velocity 7.4 m/s Temperature 60°C



ภาพที่ ข.3.3.1 กราฟแสดงการคำนวณ



ภาพที่ ข.3.3.2 ภาพแสดงการไหลของอนุภาควิธีการที่เข้าสู่ตู้อบ

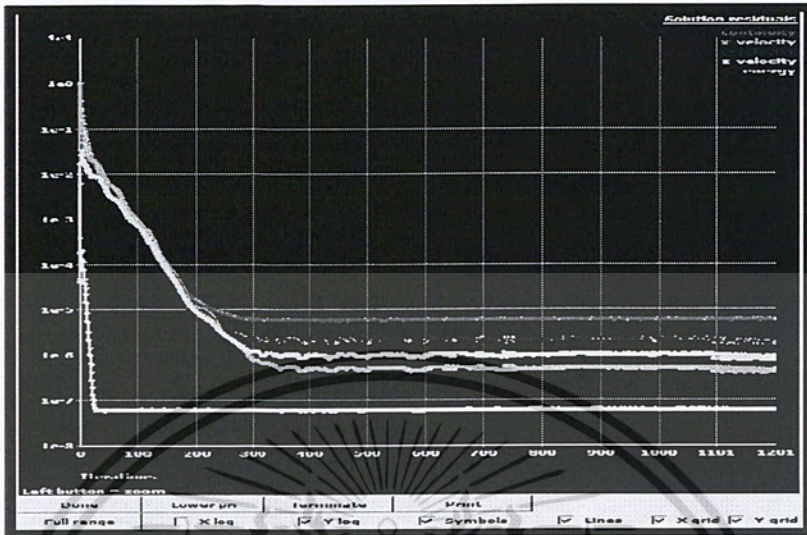


ภาพที่ ข.3.3.3 ภาพแสดงการกระจายตัวของการไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.4 ภายในตู้บับที่ไม่มีวัสดุอยู่ (การไหลแบบมุมเอียง 30 องศา) ที่ทางออกที่ 2

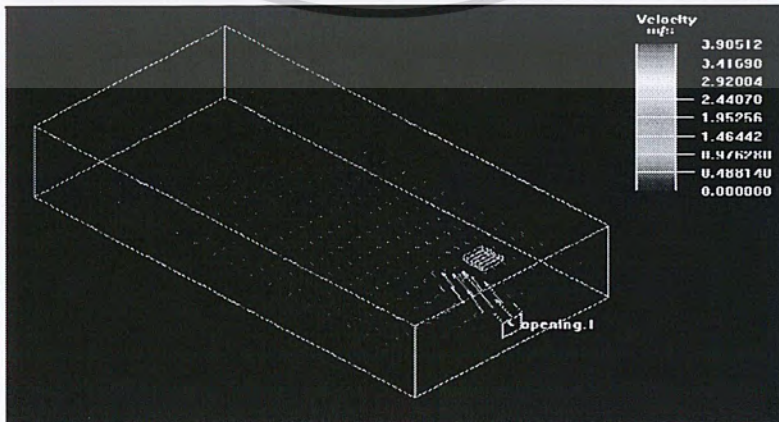
- ผลการทดลองที่ ข.4.1 Velocity 3 m/s Temperature 60°C



ภาพที่ ข.4.1.1 กราฟแสดงการคำนวณ



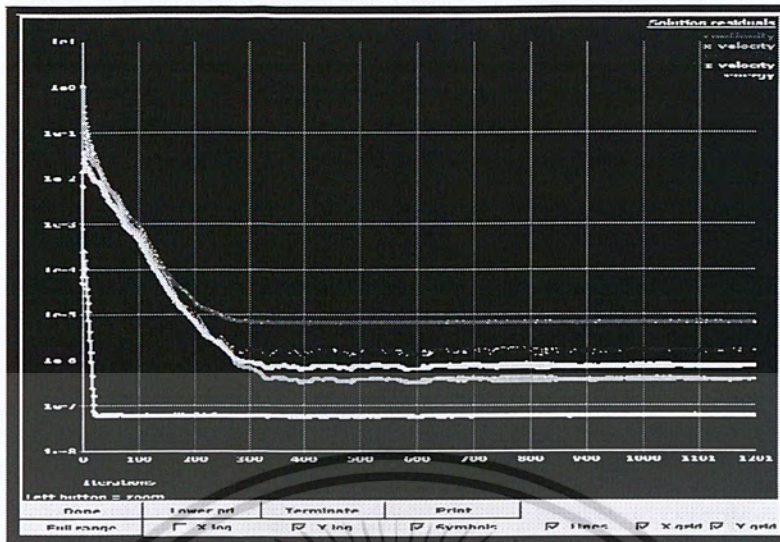
ภาพที่ ข.4.1.2 ภาพแสดงการไหลของอนุภาคร้อนที่เข้าสู่ตู้บับ



ภาพที่ ข.4.1.3 ภาพแสดงการกระจายตัวของการไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

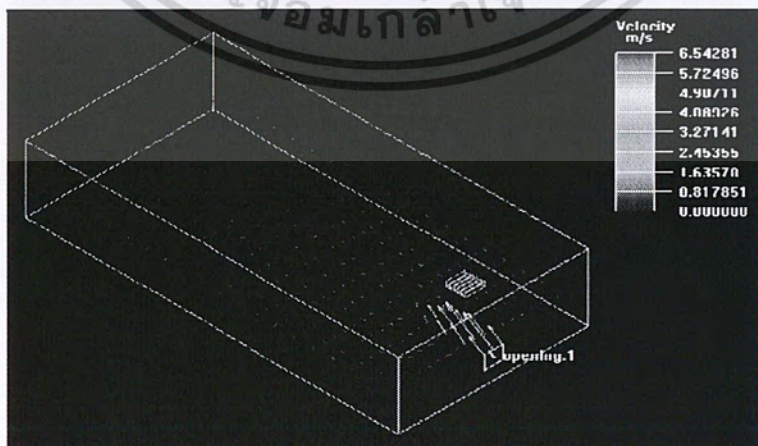
- ผลการทดลองที่ ข.4.2 Velocity 5 m/s Temperature 60°C



ภาพที่ ข.4.2.1 กราฟแสดงการคำนวณ



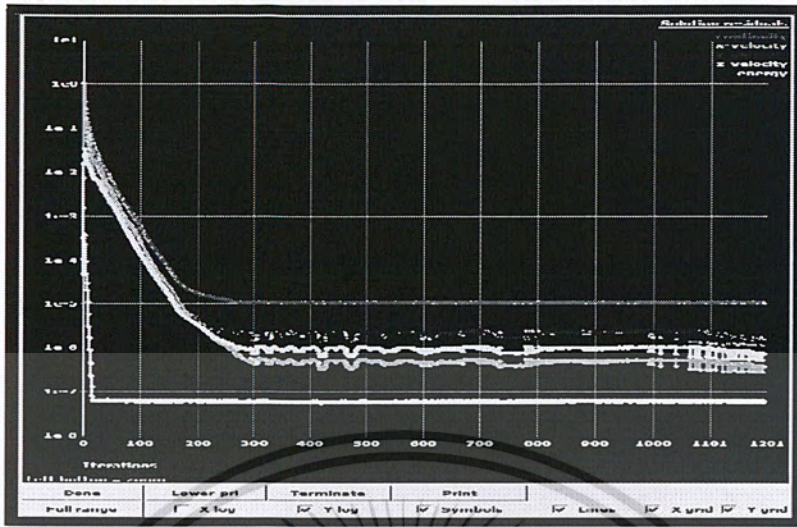
ภาพที่ ข.4.2.2 ภาพแสดงการไหลของอนุภาควิธีความร้อนที่เข้าสู่ตู้อบ



ภาพที่ ข.4.2.3 ภาพแสดงการกระจายตัวของการไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

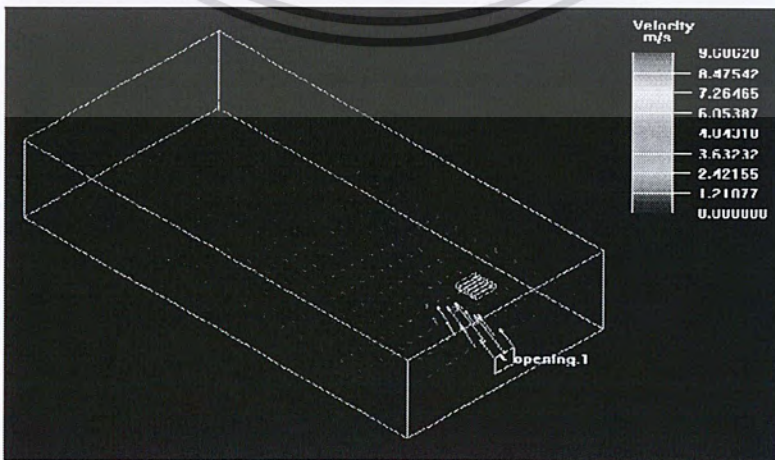
- ผลการทดลองที่ 4.3 Velocity 7.4 m/s Temperature 60°C



ภาพที่ ข.4.3.1 กราฟแสดงการคำนวณ



ภาพที่ ข.4.3.2 ภาพแสดงการไหลของอนุภาคร้อนที่เข้าสู่ตู้อบ

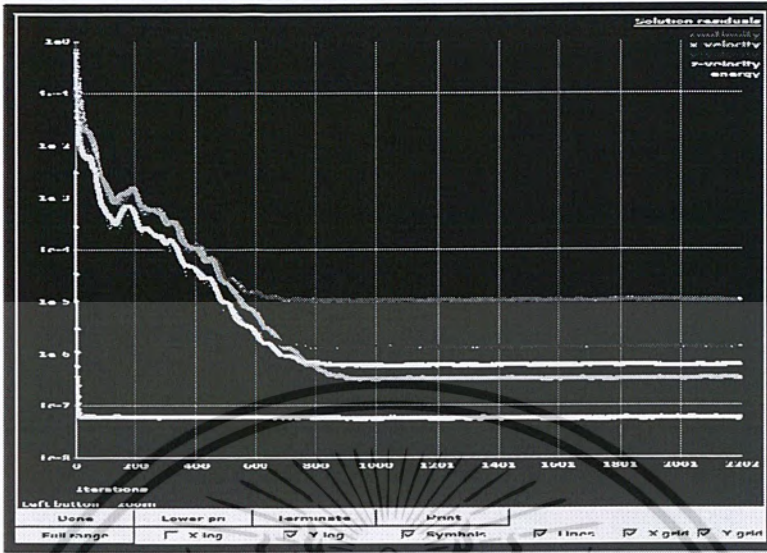


ภาพที่ ข.4.3.3 ภาพแสดงการกระจายตัวของการไหล

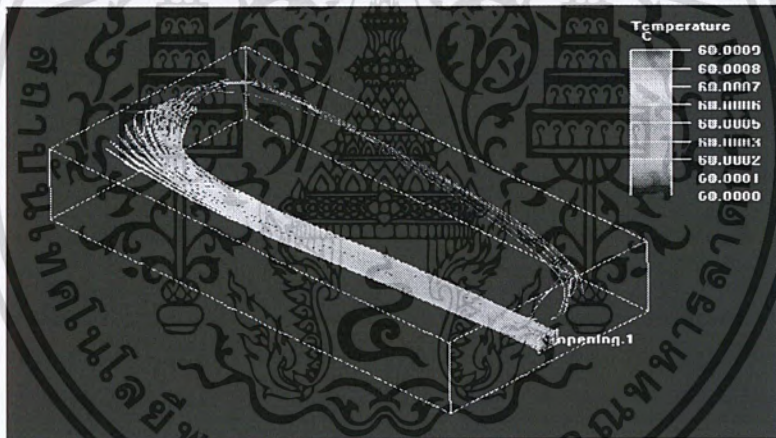
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.5 ภายในตู้อบที่ไม่มีวัสดุอยู่ (การไหลแบบทางตรง 90 องศา) ที่ทางออกที่ 3

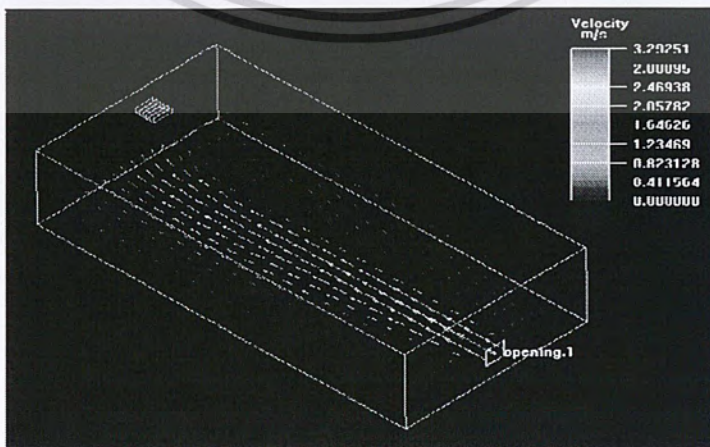
- ผลการทดลองที่ ข.5.1 Velocity 3 m/s Temperature 60°C



ภาพที่ ข.5.1.1 กราฟแสดงการคำนวณ



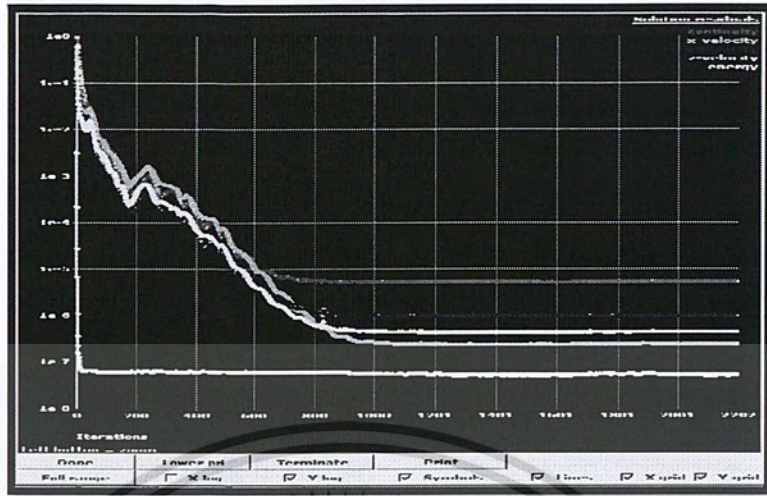
ภาพที่ ข.5.1.2 ภาพแสดงการไหลของอนุภาคร้อนที่เข้าสู่ตู้อบ



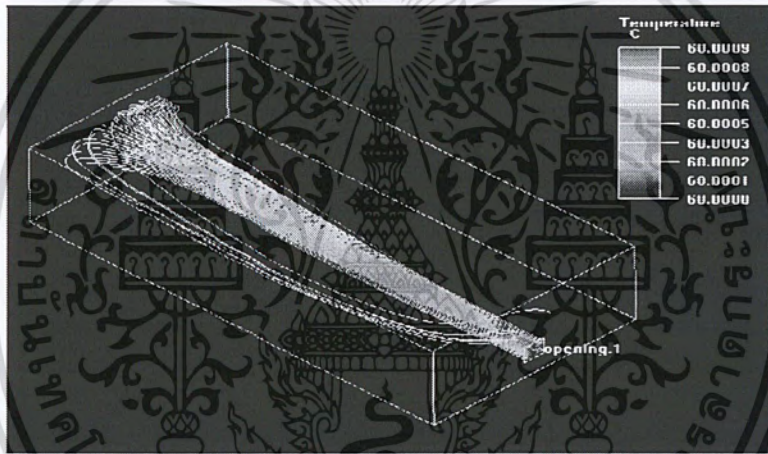
ภาพที่ ข.5.1.3 ภาพแสดงการกระจายตัวของการไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

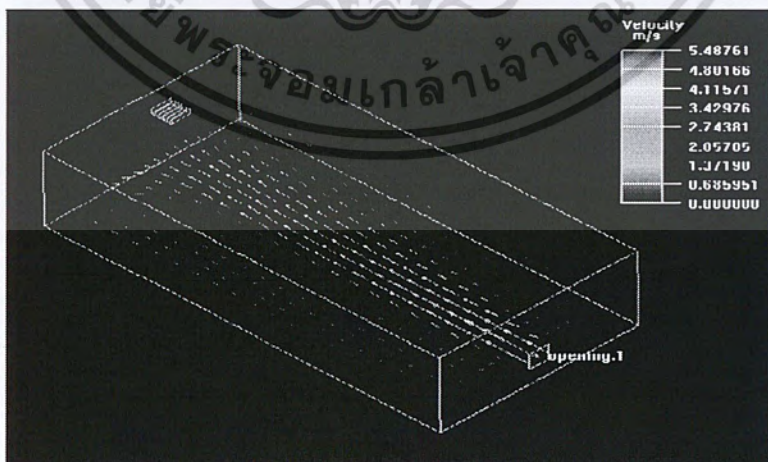
- ผลการทดลองที่ 5.2 Velocity 5 m/s Temperature 60°C



ภาพที่ ข.5.2.1 กราฟแสดงการคำนวณ



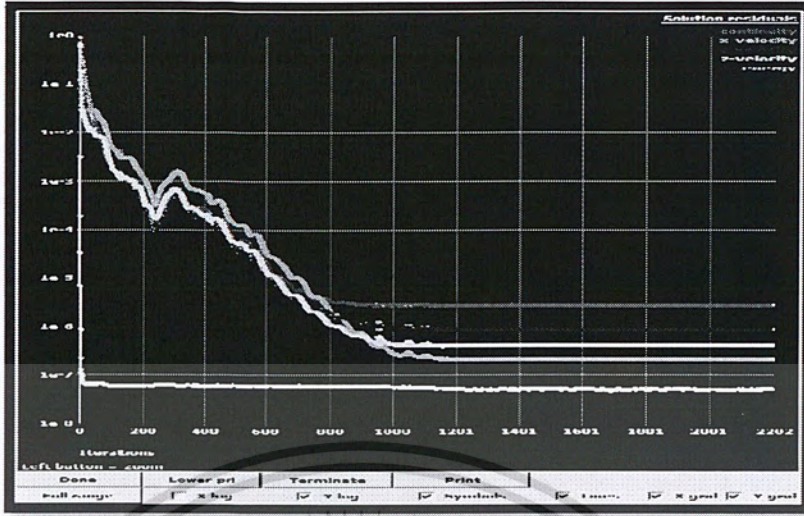
ภาพที่ ข.5.2.2 ภาพแสดงการไหลของอุณหภูมิความร้อนที่เข้าสู่ท่อ



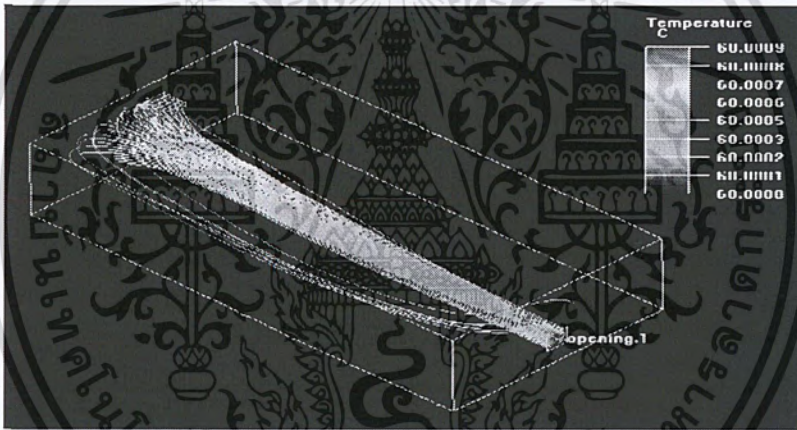
ภาพที่ ข.5.2.3 ภาพแสดงการกระจายตัวของกระแสไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

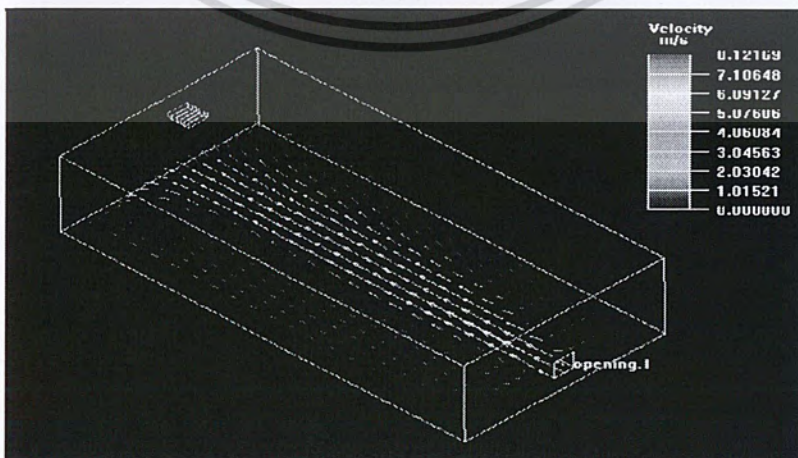
- ผลการทดลองที่ 5.3 Velocity 7.4 m/s Temperature 60°C



ภาพที่ ข.5.3.1 กราฟแสดงการคำนวณ



ภาพที่ ข.5.3.2 ภาพแสดงการไหลของอนุภาคความร้อนที่เข้าสู่ท่อ

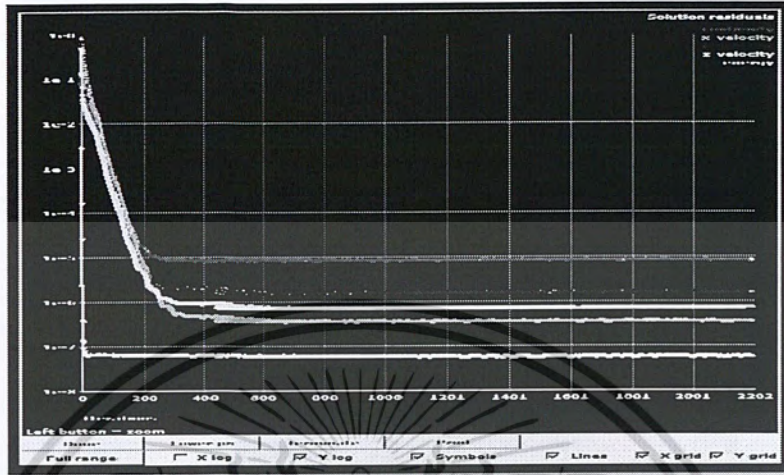


ภาพที่ ข.5.3.3 ภาพแสดงการกระจายตัวของการไหล

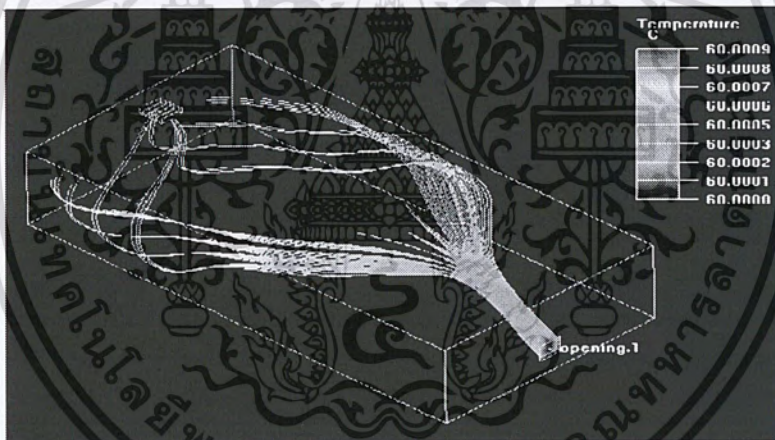
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.6 ภายในตู้อบที่ไม่มีวัสดุอยู่ (การไหลแบบมุมเอียง 30 องศา) ที่ทางออกที่ 3

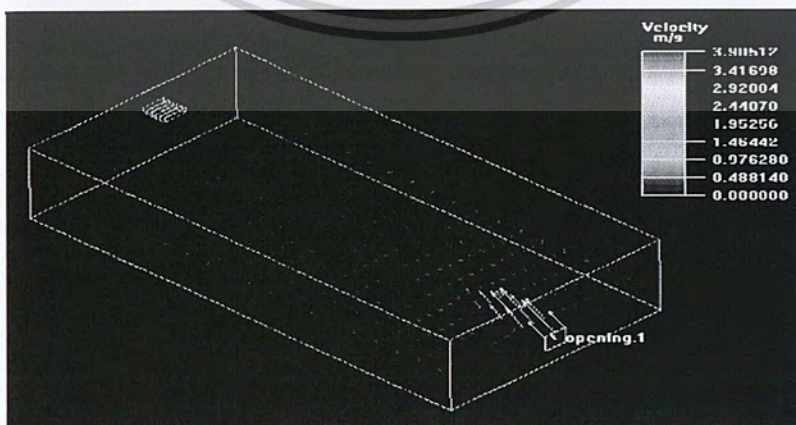
- ผลการทดลองที่ 6.1 Velocity 3 m/s Temperature 60°C



ภาพที่ ข.6.1.1 กราฟแสดงการคำนวณ



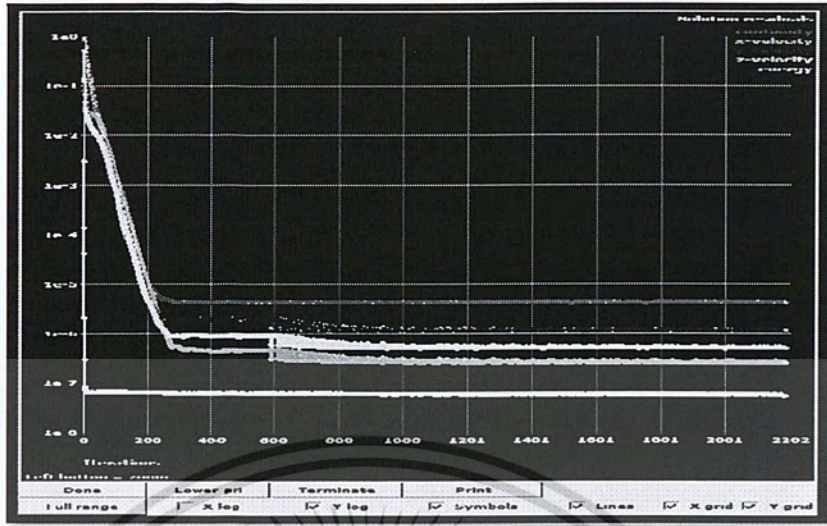
ภาพที่ ข.6.1.2 ภาพแสดงการไหลของอนุภาคความร้อนที่เข้าสู่ตู้อบ



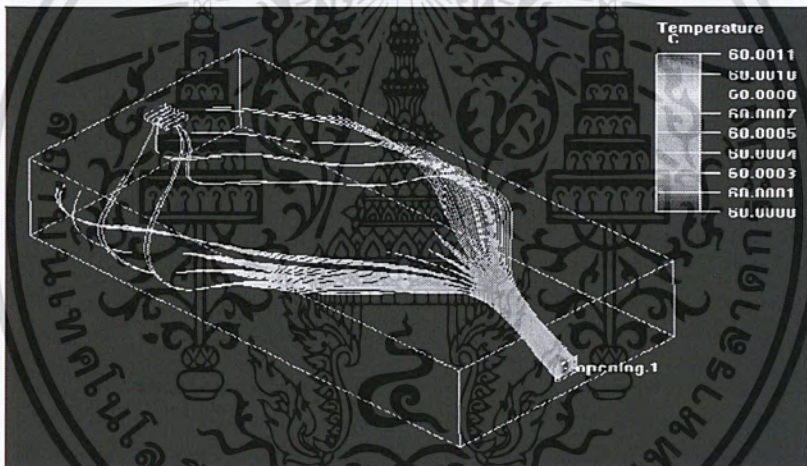
ภาพที่ ข.6.1.3 ภาพแสดงการกระจายตัวของการไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

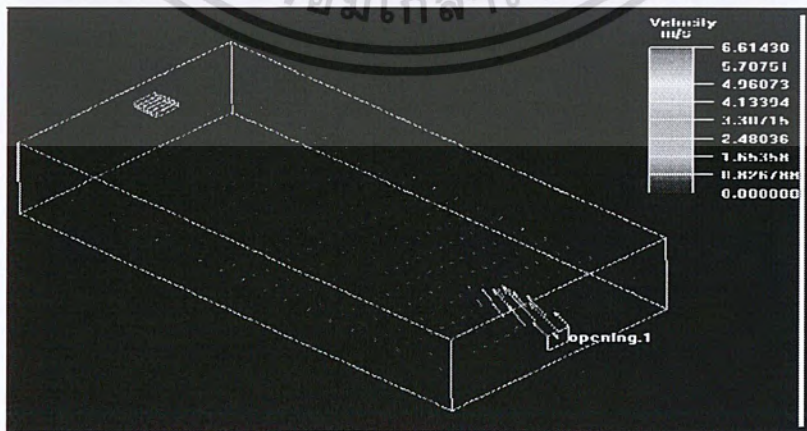
- ผลการทดลองที่ 6.2 Velocity 5 m/s Temperature 60°C



ภาพที่ ข.6.2.1 กราฟแสดงการคำนวณ



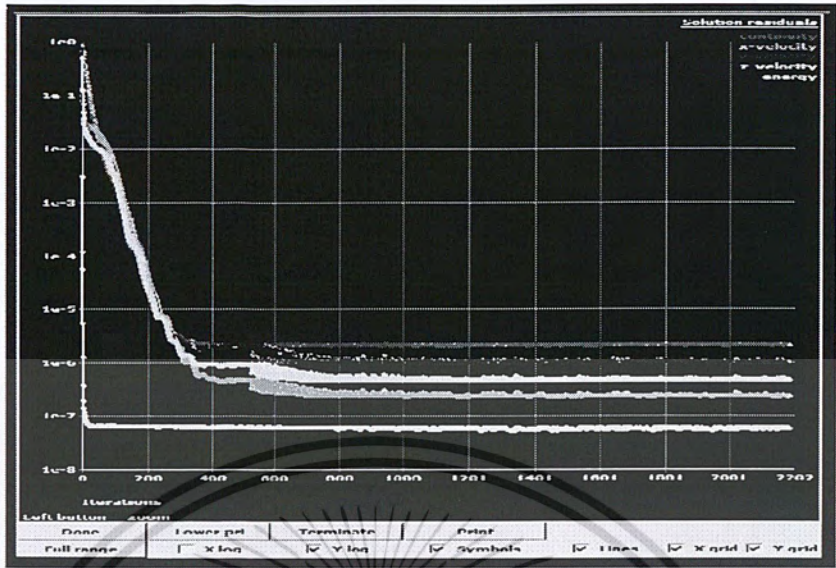
ภาพที่ ข.6.2.2 ภาพแสดงการไหลของอนุภาคความร้อนที่เข้าสู่ตู้อบ



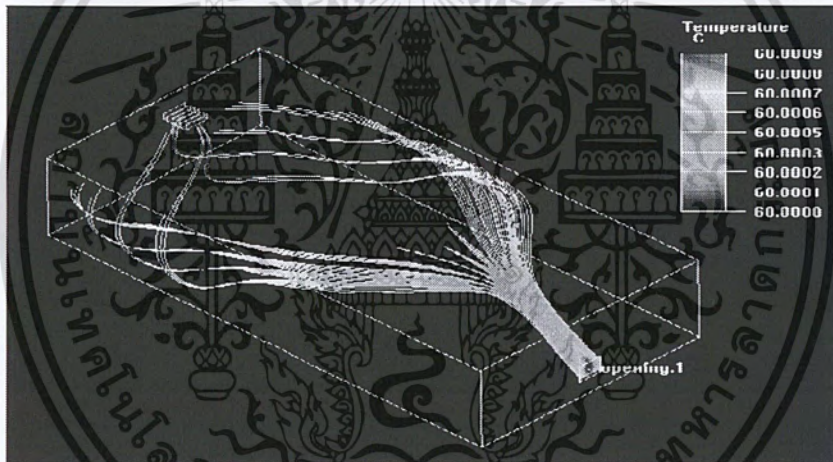
ภาพที่ ข.6.2.3 ภาพแสดงการกระจายตัวของการไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

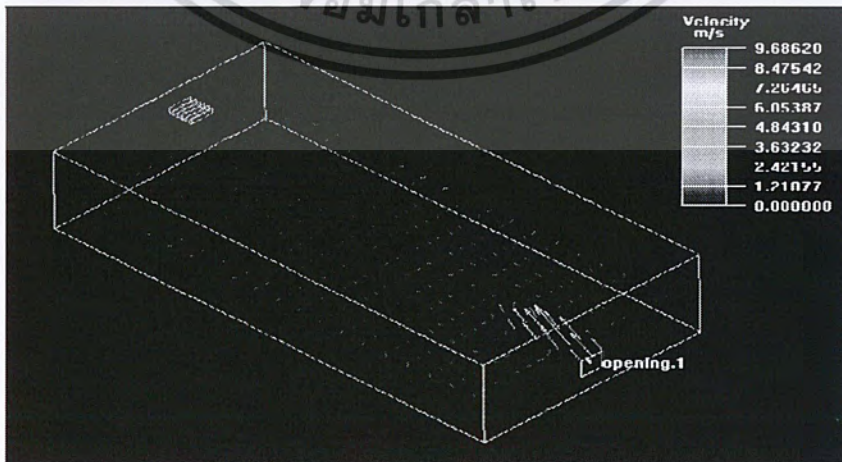
- ผลการทดลองที่ 6.3 Velocity 7.4 m/s Temperature 60°C



ภาพที่ ข.6.3.1 กราฟแสดงการคำนวณ



ภาพที่ ข.6.3.2 ภาพแสดงการไหลของอนุภาคร้อนที่เข้าสู่ตู้อบ



ภาพที่ ข.6.3.3 ภาพแสดงการกระจายตัวของการไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค. ผลการทดลองของผู้อบจริงเทียบกับโปรแกรม Air Pak

การทดสอบที่ ค.1 ใช้ความเร็วลมธรรมดาที่ 3 m/s , 5 m/s และ 7.4 m/s เพื่อตรวจสอบสภาพการไหลของลมให้เกิด Smooth ก่อน ที่ทิศทางลมเข้า 90 ° และ 30 °

ตารางบันทึกที่ ค.1.1 ความเร็วลม 3 m/s ทิศทางลมเข้า 90 °

เวลา / ตำแหน่ง	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0	29.3	29.5	30.0	29.9	30.0	30.0	30.0	30.0	30.1	30.0	29.9	30.0
30	29.8	29.4	29.9	29.9	30.1	30.1	30.2	30.2	30.2	30.2	30.1	30.1
60	30.1	30.0	30.2	30.1	30.1	30.1	30.1	30.1	30.2	30.2	30.1	30.1
90	30.2	30.1	30.1	30.2	30.1	30.1	30.1	30.0	30.0	30.0	31.1	31.1
120	30.1	31.2	30.1	31.1	31.1	31.2	31.1	31.0	31.0	31.1	31.1	31.2
เฉลี่ย	29.9	30.04	30.06	30.24	30.28	30.28	30.3	30.26	30.3	30.1	30.46	30.5

ตารางบันทึกที่ ค.1.2 ความเร็วลม 5 m/s ทิศทางลมเข้า 90 °

เวลา / ตำแหน่ง	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0	29.4	29.5	29.7	29.7	30.3	29.8	29.9	29.9	29.8	30.0	29.8	29.8
30	29.4	29.3	29.5	29.7	29.6	29.8	29.8	29.8	29.8	29.9	29.8	29.7
60	29.4	29.5	29.4	29.7	29.5	29.8	29.9	29.9	29.8	29.9	29.9	29.7
90	29.3	29.6	29.5	29.8	29.6	29.5	29.9	29.9	29.8	29.8	29.9	29.8
120	29.6	29.9	29.4	29.8	29.9	29.9	29.9	30.1	30.0	29.9	29.9	29.9
เฉลี่ย	29.42	29.56	29.5	29.74	29.78	29.76	29.9	29.92	29.84	29.9	29.85	29.78

ตารางบันทึกที่ ค.1.3 ความเร็วลม 7.4 m/s ทิศทางลมเข้า 90 °

เวลา / ตำแหน่ง	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0	30.6	30.3	30.3	30.2	30.5	30.3	30.3	30.3	30.3	30.4	30.3	30.3
30	30.5	30.6	30.7	30.8	30.9	30.8	30.9	30.9	30.0	30.0	31.1	31.0
60	30.1	30.0	30.1	30.0	30.1	30.2	30.2	30.3	30.2	30.5	30.2	30.2
90	30.3	30.2	30.0	30.1	30.1	30.2	30.3	30.2	30.3	30.2	30.4	30.3
120	30.2	30.3	30.2	30.2	30.2	30.4	30.5	30.4	30.3	30.5	30.6	30.5
เฉลี่ย	30.34	30.28	30.26	30.26	30.36	30.38	30.44	30.42	30.22	30.32	30.52	30.46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางบันทึกที่ ค.1.4 ความเร็วลม 3 m/s ทิศทางลมเข้า 30 °

เวลา / ตำแหน่ง	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0	29.9	29.7	29.9	29.5	29.6	29.9	29.9	29.9	29.8	31.0	30.9	30.8
30	29.8	29.7	29.9	29.6	29.9	29.9	29.8	30.1	30.9	30.8	30.2	31.2
60	29.6	29.7	29.7	29.8	29.8	29.9	30.1	30.0	30.1	31.1	31.4	31.5
90	29.8	29.8	29.9	30.5	30.4	30.3	31.3	31.2	31.9	31.6	31.9	31.8
120	29.9	29.8	30.0	30.8	30.9	31.9	32.0	31.8	31.8	31.5	32.0	31.9
เฉลี่ย	29.8	29.74	29.88	30.04	30.12	30.38	30.62	30.6	30.9	31.2	31.28	31.44

ตารางบันทึกที่ ค.1.5 ความเร็วลม 5m/s ทิศทางลมเข้า 30 °

เวลา / ตำแหน่ง	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0	30.0	31.0	31.0	29.9	29.9	31.3	31.3	31.4	31.7	31.5	31.7	31.7
30	30.1	30.1	30.2	30.4	30.5	30.6	30.9	31.4	31.5	31.4	31.7	31.7
60	30.3	30.4	30.5	30.5	30.6	30.9	31.1	32.0	32.0	31.7	31.8	31.9
90	30.5	30.4	30.4	30.7	31.4	31.5	31.7	32.0	31.9	32.0	31.9	31.8
120	30.6	30.6	30.5	30.7	30.7	31.9	31.6	31.9	32.0	32.0	31.8	31.8
เฉลี่ย	30.3	30.5	30.52	30.44	30.62	31.24	31.32	31.74	31.82	31.72	31.78	31.78

ตารางบันทึกที่ ค.1.6 ความเร็วลม 7.4m/s ทิศทางลมเข้า 30 °

เวลา / ตำแหน่ง	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0	31.4	31.0	31.0	30.9	32.5	32.4	31.9	31.8	32.4	32.1	32.2	32.1
30	31.1	30.1	31.2	31.4	31.3	32.7	32.4	32.3	32.4	32.7	32.4	32.8
60	31.3	31.4	31.5	31.5	31.2	31.6	31.9	32.3	32.2	33.1	33.0	32.1
90	31.5	31.4	31.4	31.3	31.4	31.5	31.9	31.7	31.9	32.3	32.6	42.7
120	30.9	30.6	30.9	31.2	31.9	32.5	33.0	33.2	32.4	32.5	33.0	33.1
เฉลี่ย	31.24	30.90	31.20	31.26	31.66	32.14	32.22	32.26	32.26	32.54	32.64	34.56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบที่ ค.2 ใช้ลมธรรมดา + Heater จะ ได้ลมร้อนที่ความเร็ว 3 m/s , 5 m/s และ 7.4 m/s ที่ ทิศทางลมเข้า 90 ° และ 30 °

ตารางบันทึกที่ ค.2.1 ความเร็วลม 3 m/s ทิศทางลมเข้า 90 °

เวลา / ตำแหน่ง	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0	52.7	54.2	54.4	55.0	55.9	54.1	53.9	53.6	54.4	56.7	59.5	55.9
30	58.8	57.3	56.2	57.0	58.3	56.8	57.3	55.8	57.9	59.7	58.8	59.0
60	59.8	58.8	58.9	59.9	60.0	58.9	60.9	59.8	58.8	60.9	60.6	59.4
90	59.4	59.9	62.3	62.6	61.3	59.7	61.0	59.9	60.9	60.6	60.6	63.4
120	60.9	62.2	63.4	63.3	63.5	60.2	62.0	60.8	61.9	62.6	63.6	62.6
เฉลี่ย	58.32	58.48	59.04	59.56	59.80	57.94	59.02	57.98	58.78	60.10	60.62	60.06

ตารางบันทึกที่ ค.1.2 ความเร็วลม 5 m/s ทิศทางลมเข้า 90 °

เวลา / ตำแหน่ง	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0	46.5	47.5	48.9	45.5	44.8	46.4	45.7	46.3	48.3	47.5	47.6	48.9
30	46.2	47.7	48.4	53.7	48.5	47.5	46.4	52.6	49.6	53.6	49.1	49.4
60	54.2	53.4	54.3	56.2	56.9	55.6	54.3	54.4	54.5	52.0	52.6	53.8
90	53.4	53.6	54.1	55.0	54.9	55.6	53.4	54.9	55.9	53.2	53.6	59.8
120	56.6	54.5	55.6	55.7	56.4	54.7	58.5	55.8	55.7	53.5	55.6	54.8
เฉลี่ย	50.88	51.34	52.26	53.22	52.30	51.96	51.66	52.80	52.80	51.96	51.70	53.34

ตารางบันทึกที่ ค.2.3 ความเร็วลม 7.4 m/s ทิศทางลมเข้า 90 °

เวลา / ตำแหน่ง	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0	45.7	43.7	48.6	47.8	46.8	44.5	46.5	46.1	46.5	45.5	46.5	45.9
30	45.8	48.5	49.5	49.9	50.1	50.1	49.3	49.9	49.9	50.0	50.1	50.0
60	52.1	55.3	55.8	56.8	56.7	55.4	45.6	56.6	49.7	53.4	59.0	58.9
90	52.1	52.3	53.1	55.1	52.1	54.4	52.4	54.4	56.7	56.0	56.0	56.0
120	56.7	56.7	56.6	56.9	56.3	56.5	55.6	56.3	54.4	56.6	56.6	56.9
เฉลี่ย	50.48	51.30	52.72	53.30	52.40	52.18	49.88	52.66	51.44	52.30	53.64	53.54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางบันทึกที่ ค.2.4 ความเร็วลม 3 m/s ทิศทางลมเข้า 30 °

เวลา \ ตำแหน่ง	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0	47.5	48.4	47.4	48.5	49.8	53.3	53.7	53.5	54.5	47.8	45.8	60.1
30	46.5	48.5	47.5	49.5	49.5	50.2	55.2	49.5	53.4	55.1	53.3	62.1
60	48.9	49.0	49.5	48.9	49.5	51.0	51.2	51.9	54.9	54.9	62.1	55.9
90	50.2	50.7	50.5	53.4	52.6	55.4	62.9	55.6	57.3	59.9	56.7	54.6
120	50.7	50.5	51.2	53.2	53.9	59.8	60.6	57.8	60.4	63.4	62.2	62.4
เฉลี่ย	48.76	49.42	49.22	50.70	51.06	53.94	56.72	53.66	56.10	56.22	56.02	59.02

ตารางบันทึกที่ ค.2.5 ความเร็วลม 5 m/s ทิศทางลมเข้า 30 °

เวลา \ ตำแหน่ง	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0	50.3	49.9	49.8	51.2	51.5	50.7	51.6	53.7	53.5	53.2	52.5	51.9
30	50.3	51.4	52.3	53.4	53.5	53.6	54.3	53.5	47.1	53.5	53.9	55.3
60	50.1	50.6	51.3	53.1	52.1	53.3	52.4	52.7	53.9	55.6	56.7	59.0
90	51.4	55.3	52.9	54.0	53.8	53.8	55.3	54.0	58.0	56.9	55.9	54.4
120	51.3	52.1	53.9	52.3	53.9	55.0	59.0	60.2	56.4	58.6	56.7	58.0
เฉลี่ย	50.68	51.86	52.04	52.80	52.96	53.28	55.05	54.82	53.78	55.56	55.14	55.72

ตารางบันทึกที่ ค.2.6 ความเร็วลม 7.4 m/s ทิศทางลมเข้า 30 °

เวลา \ ตำแหน่ง	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0	50.1	51.6	50.5	50.3	54.4	55.9	54.0	54.7	55.3	54.2	53.9	56.4
30	50.2	50.3	53.2	52.4	53.9	55.7	55.9	57.5	59.0	60.3	59.1	61.5
60	52.1	54.7	54.9	55.0	59.3	54.5	59.2	58.0	61.5	60.7	59.7	60.0
90	51.9	52.1	52.4	55.0	61.6	58.0	59.3	54.9	59.9	57.7	59.1	58.2
120	50.1	52.1	50.1	52.8	61.2	60.4	59.8	59.4	59.6	57.9	59.1	59.0
เฉลี่ย	50.88	52.16	52.22	53.10	58.08	56.90	57.64	56.90	59.06	58.16	58.18	59.02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก (ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง. การทดสอบการลดความชื้นของปลาหมึกในขนาดต่างๆ

- การทดสอบครั้งที่ 1

ตารางที่ ง.1 ค่าเฉลี่ยน้ำหนักปลาหมึกขนาดใหญ่ในการอบที่เวลา 6 ชั่วโมง

ตัวที่	น้ำหนักก่อนอบ (g)	น้ำหนักหลังอบ(g)/ชั่วโมง					
		1	2	3	4	5	6
1	31.75	25.48	21.81	18.71	16.69	14.52	12.37
2	33.37	28.12	24.27	20.43	17.72	15.51	13.1
3	30.43	24.8	20.82	17.56	14.39	12.1	9.61
เฉลี่ย	31.85	26.13333	22.3	18.9	16.26667	14.04333	11.69333

ตารางที่ ง.2 ค่าเฉลี่ยน้ำหนักปลาหมึกขนาดกลางในการอบที่เวลา 6 ชั่วโมง

ตัวที่	น้ำหนักก่อนอบ (g)	น้ำหนักหลังอบ(g)/ชั่วโมง					
		1	2	3	4	5	6
1	22.62	17.98	14.76	11.69	9.21	7.36	5.51
2	21.5	16.21	13.37	10.81	8.58	6.9	5.22
3	20.66	16.58	14.02	11.87	9.82	8.23	6.53
เฉลี่ย	21.59333333	16.92333	14.05	11.45667	9.203333	7.496667	5.753333

ตารางที่ ง.3 ค่าเฉลี่ยน้ำหนักปลาหมึกขนาดเล็กในการอบที่เวลา 6 ชั่วโมง

ตัวที่	น้ำหนักก่อนอบ (g)	น้ำหนักหลังอบ(g)/ชั่วโมง					
		1	2	3	4	5	6
1	15.48	10.59	7.89	5.68	3.96	2.87	2.01
2	12.75	8.93	7.14	5.45	3.93	2.83	2.04
3	12.95	9.17	7.08	5.43	9.92	3.01	2.03
เฉลี่ย	13.72666667	9.563333	7.37	5.52	5.936667	2.903333	2.026667

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง.2 เปรอ์เซ็นต์ความชื้นที่ลดลงในปลาหมึก

$$\text{สูตรการเปอร์เซ็นต์ความชื้น} = \frac{\text{น้ำหนักก่อนอบ} - \text{น้ำหนักหลังอบ}}{\text{น้ำหนักก่อนอบ}} \times 100$$

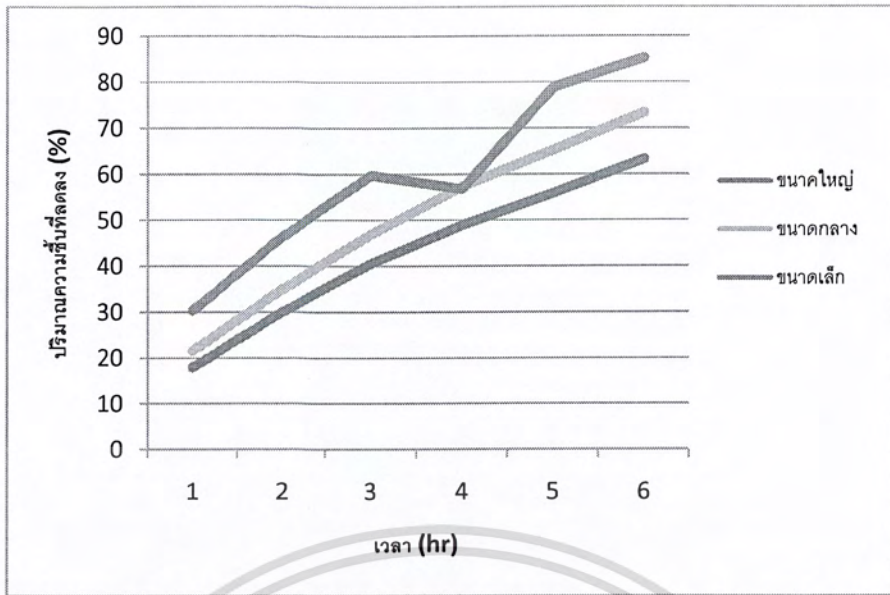
ตารางที่ ง.2.1 เปรอ์เซ็นต์ความชื้นที่ลดลงของปลาหมึกขนาดต่างๆ

ปลาหมึก	(% ความชื้นของปลาหมึก/ชั่วโมง)					
	1	2	3	4	5	6
ขนาดใหญ่	17.95	29.98	40.66	48.93	55.92	63.3
ขนาดกลาง	21.63	34.92	46.93	57.37	65.28	73.37
ขนาดเล็ก	30.33	46.31	59.79	56.75	78.85	85.23

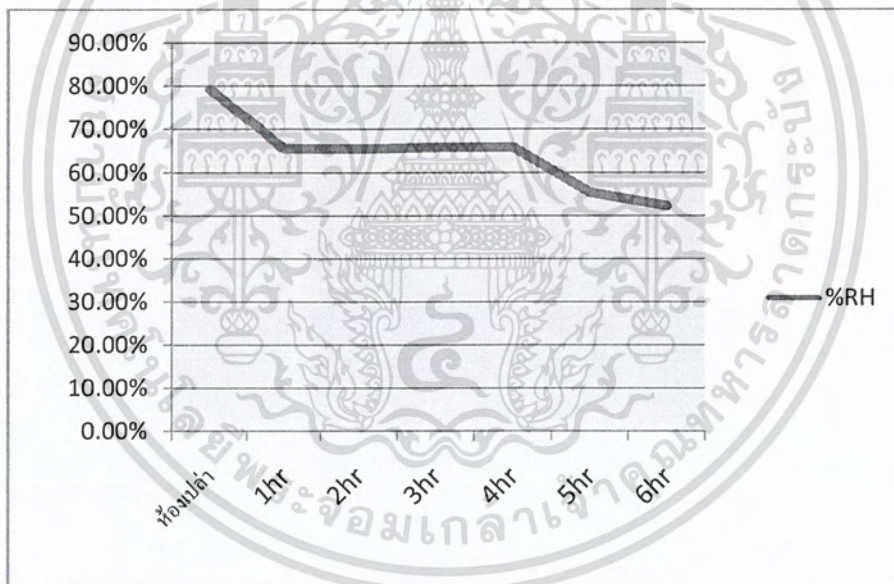
ตารางที่ ง.2.2 เปรอ์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์ภายในตู้อบแต่ละเวลา

อุณหภูมิ (°c)	อุณหภูมิห้องที่มีปลาหมึก/ชั่วโมง						
	ห้องเปล่า	1hr	2hr	3hr	4hr	5hr	6hr
Tdb	29°c	47°c	47°c	48°c	48°c	51°c	52°c
Twb	26°c	40°c	40°c	41°c	41°c	41°c	41°c
%RH	79.22%	65.52%	65.52%	65.91%	65.91%	55.38%	52.29%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ ค. 1 แสดงปริมาณความชื้นที่ลดลงกับเวลาแต่ละขนาดของปลาหมึก



กราฟที่ ค.2 แสดงอัตราความชื้นสัมพัทธ์ภายในตู้ปลาที่ลดลง แต่ละเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-การทดสอบครั้งที่ 2

ตารางที่ ง.4 ค่าเฉลี่ยน้ำหนักปลาหมึกขนาดใหญ่ในการอบที่เวลา 6 ชั่วโมง

ตัวที่	น้ำหนักก่อนอบ (g)	น้ำหนักหลังอบ(g)/ชั่วโมง					
		1	2	3	4	5	6
1	33.45	27.88	22.45	19.65	16.34	13.56	10.44
2	34.37	28.45	23.95	19.11	17.89	14.39	11.21
3	35.43	28.99	23.22	20.89	18.06	15.03	12.99
เฉลี่ย	34.41666667	28.44	23.20667	19.88333	17.43	14.32667	11.54667

ตารางที่ ง.5 ค่าเฉลี่ยน้ำหนักปลาหมึกขนาดกลางในการอบที่เวลา 6 ชั่วโมง

ตัวที่	น้ำหนักก่อนอบ (g)	น้ำหนักหลังอบ(g)/ชั่วโมง					
		1	2	3	4	5	6
1	23.45	18.46	15.82	12.69	9.5	7.32	5.33
2	24.67	19.06	16.93	12.97	10.31	8.91	6.83
3	24.66	19.23	16.22	13.02	11.6	9.07	6.28
เฉลี่ย	24.26	18.91667	16.32333	12.89333	10.47	8.433333	6.146667

ตารางที่ ง.6 ค่าเฉลี่ยน้ำหนักปลาหมึกขนาดเล็กในการอบที่เวลา 6 ชั่วโมง

ตัวที่	น้ำหนักก่อนอบ (g)	น้ำหนักหลังอบ(g)/ชั่วโมง					
		1	2	3	4	5	6
1	12.45	7.85	5.55	4.01	3.06	2.68	2.02
2	12.97	8.01	7.85	5.87	3.98	2.9	2.11
3	16.34	12.76	9.23	7.83	5.02	4.67	3.81
เฉลี่ย	13.92	9.54	7.543333	5.903333	4.02	3.416667	2.646667

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง.3 เปอร์เซ็นต์ความชื้นที่ลดลงในปลาหมึก

$$\text{สูตรการเปอร์เซ็นต์ความชื้น} = \frac{\text{น้ำหนักก่อนอบ} - \text{น้ำหนักหลังอบ}}{\text{น้ำหนักก่อนอบ}} \times 100$$

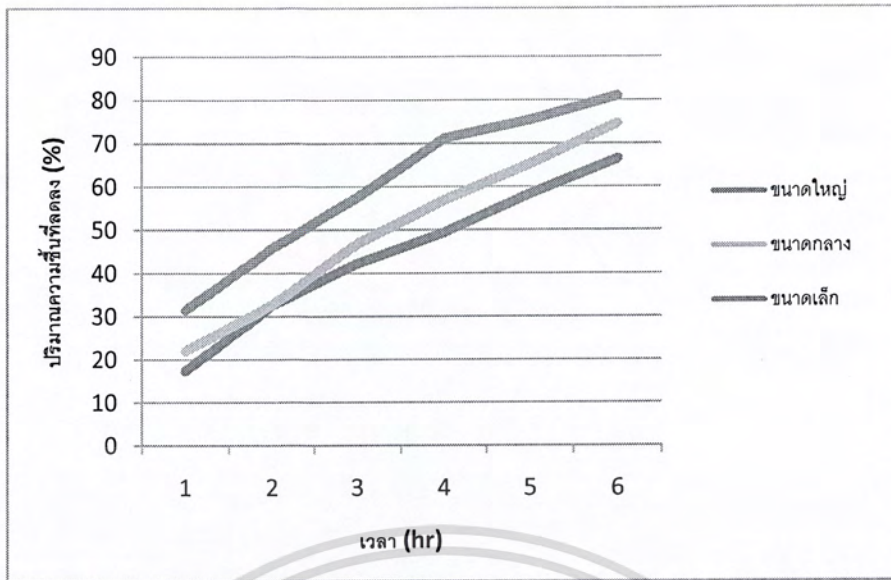
ตารางที่ ง.3.1 เปอร์เซ็นต์ความชื้นที่ลดลงของปลาหมึกขนาดต่างๆ

ปลาหมึก	(%ความชื้นของปลาหมึก/ชั่วโมง)					
	1	2	3	4	5	6
ขนาดใหญ่	17.36	32.57	42.24	49.36	58.36	66.44
ขนาดกลาง	22.01	32.73	46.87	56.84	65.25	74.65
ขนาดเล็ก	31.47	45.83	57.61	71.12	75.43	80.96

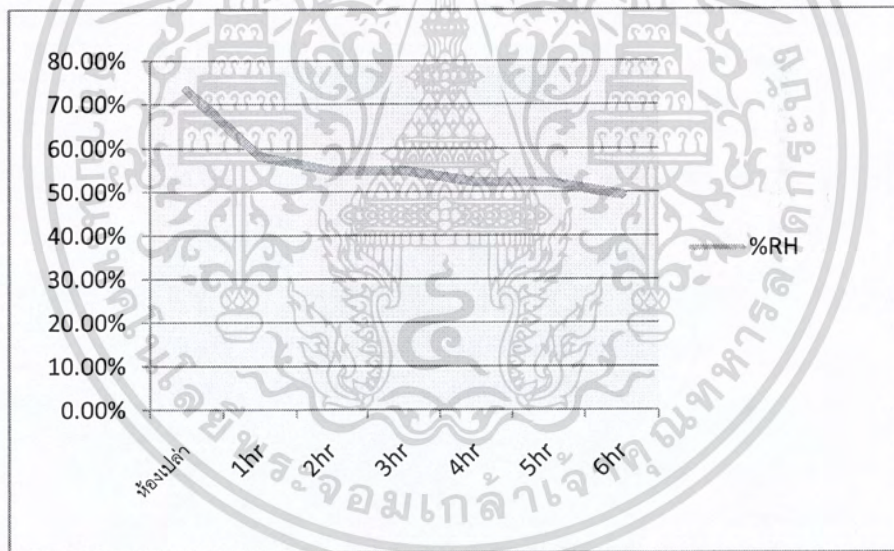
ตารางที่ ง.3.2 เปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์ภายในตู้อบแต่ละเวลา

อุณหภูมิ (°c)	อุณหภูมิห้องที่มีปลาหมึก/ชั่วโมง						
	ห้องเปล่า	1hr	2hr	3hr	4hr	5hr	6hr
Tdb	30(°c)	49(°c)	50(°c)	50(°c)	52(°c)	52(°c)	53(°c)
Twb	24(°c)	40(°c)	40(°c)	40(°c)	41(°c)	41(°c)	41(°c)
%RH	73.31%	58.22%	54.91%	54.91%	52.29%	52.29%	49.37%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ ๓.3 แสดงปริมาณความชื้นที่ลดลงกับเวลาแต่ละขนาดของปาล์มหมี



กราฟที่ ๓.4 แสดงอัตราความชื้นสัมพัทธ์ภายในตู้อบที่ลดลง แต่ละเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้