

การปรับปรุงห้องรมยาง โดยการกรองแก๊สร้อนก่อนให้ไหลผ่านแผ่นยางโดยตรง
Improvement of Rubber Smoke Room by Hot Gas Filtration of the Smoke Prior to
direct Heat Transfer with Rubber Sheets

วชร กาลาสี
Wachara Kalasee

วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
Master of Engineering Thesis in Mechanical Engineering
Prince of Songkla University


๑


เลขที่	TS1892	ภา	2548	ค. 2
เลขที่	161999			

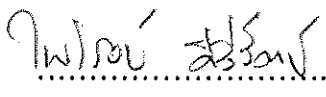
ชื่อวิทยานิพนธ์ การปรับปรุงห้องรมยาง โดยการกรองแก๊สร้อนก่อนให้ไหล
ผ่านแผ่นยางโดยตรง
ผู้เขียน นายวชร กาลาสี
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล

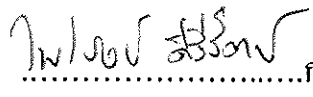
คณะกรรมการที่ปรึกษา

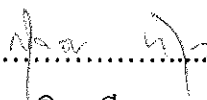
คณะกรรมการสอบ



.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.พีระพงศ์ ทิมสกุล)



.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.พีระพงศ์ ทิมสกุล)

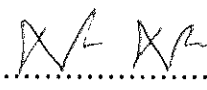

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ไพโรจน์ ศิริรัตน์)


.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ไพโรจน์ ศิริรัตน์)

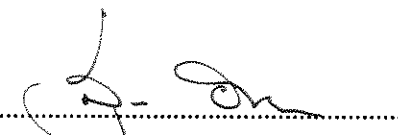

.....กรรมการ
(ดร.สุรจิตร์ ทิมสกุล)


.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์กำพล ประทีปชัยกูร)


.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประการ คุรุหงษา)


.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.เล็ก ลีคง)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา
วิศวกรรมเครื่องกล


.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุรพล อารีย์กุล)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์	การปรับปรุงห้องรมยางโดยการกรองแก๊สร้อนก่อนให้ไหลผ่านแผ่นยางโดยตรง
ผู้เขียน	นายวชร กาลาสี
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษา	2547

บทคัดย่อ

ผลของราคาพื้ไม้ยางพาราที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และการปล่อยแก๊สร้อนพร้อมควัน ที่ออกไปนอกห้องรมทางท่อกราฟท์ในการรมยางของสหกรณ์สวนยาง เพื่อควบคุมไม่ให้ยางแผ่นรมควันที่ผลิตได้มีสีที่คล้ำ เนื่องจากการสัมผัสกับควันที่มาพร้อมแก๊สร้อนมากจนเกินไป ทำให้มีความจำเป็นต้องทำการปรับปรุงห้องรมยาง เพื่อลดการใช้เชื้อเพลิงพื้ไม้ยางพาราที่เป็นต้นทุนสำคัญ ในการผลิตยางแผ่นรมควันของสหกรณ์สวนยาง ซึ่งวิธีการกรองแก๊สร้อนก่อนให้ไหลผ่านแผ่นยาง โดยตรงทั้งหมดเป็นวิธีที่ดีวิธีหนึ่ง คือมีการลงทุนที่ต่ำ ซึ่งเหมาะกับทางสหกรณ์สวนยางที่ส่วนใหญ่มีงบประมาณจำกัด การปรับปรุงห้องรมยาง โดยการกรองแก๊สร้อนก่อนให้ไหลผ่านแผ่นยางโดยตรง นั้นได้ใช้ห้องรมยางของสหกรณ์สวนยางรุ่นปี 2537 เป็นห้องรมที่ทำการศึกษา โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 5 ขั้นตอน คือ 1. ศึกษาการกระจายของอนุภาคเขม่าควันที่เกิดจากการเผาไหม้ของพื้ไม้ยางพารา 2. การออกแบบและทดสอบเครื่องมือดักจับอนุภาคเขม่าควัน 3. ศึกษาแนวโน้มการกระจายอุณหภูมิของแก๊สร้อนภายในห้องรมเปล่าด้วยวิธีการคำนวณเชิงพลศาสตร์ของไหล 4. ปรับปรุงห้องรมยางตามผลที่ศึกษาได้จากวิธีการคำนวณเชิงพลศาสตร์ของไหล และตั้งติดเครื่องมือดักจับอนุภาคเขม่าควัน 5. ทดสอบการใช้งาน โดยพิจารณาค่าปริมาณการใช้เชื้อเพลิงพื้ไม้ยางพารา ระยะเวลาการรมควัน ปริมาณและคุณภาพของยางแผ่นรมควันที่ผลิตได้ จากผลการศึกษาพบว่าอนุภาคเขม่าควันจากการเผาไหม้ของพื้ไม้ยางพารามีขนาดส่วนใหญ่ 0.95 ไมโครเมตร และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเชิงเรขาคณิต 2.51 จากการทดสอบพบว่า การใช้วิธีการตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตดักจับอนุภาคมีประสิทธิภาพสูงถึงประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ แต่มี

ค่าลดลงเมื่อเวลาการใช้งานเพิ่มขึ้น จึงได้ใช้เป็นเครื่องมือศึกษาและทดสอบปรับปรุงห้องรม ส่วนการศึกษาแนวโน้มการกระจายอุณหภูมิของแก๊สร้อนภายในห้องรมเปล่า ด้วยวิธีการคำนวณเชิงพลศาสตร์ของไหล พบว่าการปิดรอบห้องเหนือเพดาน การลดขนาดและเพิ่มจำนวนบานระบายความชื้นสามารถทำให้แก๊สร้อนไหลผ่านแผ่นยางโดยตรงได้ทั้งหมด หลังจากนั้นจึงทำการปรับปรุงห้องรมตามแบบจำลองที่ศึกษาได้จากวิธีการคำนวณเชิงพลศาสตร์ของไหลและติดตั้งเครื่องมือดักจับอนุภาคเขม่าควัน คือ เครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต พบว่าแผ่นยางที่ผลิตได้มีสีที่ใสขึ้นอย่างเห็นได้ชัด งานวิจัยนี้สามารถสรุปได้ว่า ห้องรมยางรุ่นปี 2537 ที่ได้ทำการปรับปรุงสามารถลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงไม้ฟืนได้ถึง 31.5 เปอร์เซ็นต์และสามารถลดระยะเวลาการรมควันได้ถึง 7.0 เปอร์เซ็นต์ โดยที่ยังคงสามารถผลิตยางแผ่นรมควันได้เหมือนเดิมทั้งปริมาณและคุณภาพ ส่วนในอนาคตหากสีของยางเป็นปัจจัยสำคัญในการกำหนดราคา การใช้เครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตในการดักจับอนุภาคเขม่าควันก็เป็นทางเลือกที่น่าสนใจ

Thesis Title	Improvement of Rubber Smoke Room by Hot Gas Filtration of the Smoke Prior to direct Heat Transfer with Rubber Sheets
Author	Mr.Wachara Kalasee
Major Program	Mechanical Engineering
Academic Year	2004

Abstract

Fuel cost reduction in the rubber sheets production of the rubber cooperation is essential because the price trend of rubber wood is increasing. In the rubber sheet smoking process, major of the hot gas has been drained out of the rubber smoke room by an 8-inch-diameters tube. This is to avoid the excessive exposure of the rubber sheets to the smoke, which in turn, darken the color of the rubber sheets. Improvement of rubber smoke room by hot gas filtration and using all the hot gas is a way for the rubber cooperation to reduce fuel cost. Rubber smoke room model 1994 has been chosen for this study. Methodology for this investigation includes, 1) studying of particle size distribution of smoke from rubber wood burning 2) designing and testing of appropriate smoke particles collection device 3) studying of temperature distribution in an empty rubber smoke room by the computational fluid dynamics (CFD) technique 4) Implementation of the rubber smoke room using the results of CFD studying and installing the collection device 5) Testing of the rubber smoking process in the modified room and comparing results with the unmodified room. Results from experiment result show that particle size distribution of smoke from rubber wood burning has average have mass median aerodynamic diameter (MMAD) of 0.95 micron and geometric standard deviation (GSD) of 2.51. The designed electrostatic precipitator (ESP) has efficiency about 80% it decreases according to collecting time. Study the temperature distribution in the rubber smoke room show that adding a buffer

room on top of the roof and increasing number of ventilating lid can be used to let all the hot gas flow in the smoke room. The result shows the color of the rubber sheets produced in a room equipped with ESP is clearly improved. The rubber wood consumption is reduced by 31.5% for the modified room while the smoking; time consumption is reduced by 7.0% while keeping the product quality unaltered. Presently, using the modified room without ESP result in a satisfied quality of the product in which the color is slightly darker than the unmodified room and it is recommended for rubber cooperatives. In the future, if color of the rubber sheet is more critical, ESP may be an interesting tool for smoke particles reduction.

กิตติกรรมประกาศ

ผู้แต่งขอขอบพระคุณ รศ.ดร.พีระพงศ์ ทีฆสกุล ผศ.ไพโรจน์ คีรีรัตน์ และ ดร. สุรจิตร ทีฆสกุล ซึ่งเป็นประธานกรรมการที่ปรึกษาและคณะกรรมการตามลำดับ ที่ให้คำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์ รวมไปถึงการตรวจสอบและแก้ไขการเขียนวิทยานิพนธ์ จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จตามเป้าหมายที่ตั้งไว้ด้วยดี ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ประการ คุรุหงษา ที่ให้คำแนะนำและให้ความอนุเคราะห์ยืมเครื่องมือในการทำวิทยานิพนธ์ รวมไปถึงได้ช่วยตรวจสอบและแก้ไขการเขียนวิทยานิพนธ์ ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.เล็ก สีคง ที่ให้คำแนะนำในการเลือกใช้นวนของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต รวมไปถึงได้ช่วยตรวจสอบและแก้ไขการเขียนวิทยานิพนธ์ ขอขอบพระคุณ รศ.กำพล ประทีปชัยกุล ที่ได้ช่วยตรวจสอบและแก้ไขการเขียนวิทยานิพนธ์ ขอขอบพระคุณ Professor Dr. Yoshio Otani จาก Kanazawa University ประเทศญี่ปุ่น และ ผศ.ดร.ยุทธนา ภูริระวณิชกุล ที่ให้คำแนะนำและให้ความอนุเคราะห์ยืมเครื่องมือในการทำวิทยานิพนธ์ ขอขอบพระคุณ อาจารย์เอกเขาว์ จันทร โชติ ผศ.เกศินี อัมพันสุข ดร.เจริญยุทธ เดชวายุกุล คุณวิภา พิวัฒน์ และท่านอื่นๆ ซึ่งไม่ได้กล่าวนามที่ให้ความช่วยเหลือจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ ขอขอบคุณทางสหกรณ์กองทุนสงเคราะห์การทำสวนยาง บ้านหนองบัว จำกัด สหกรณ์กองทุนสงเคราะห์การทำสวนยาง บ้านทุ่งโพธิ์ จำกัด และสหกรณ์กองทุนสงเคราะห์การทำสวนยาง บ้านหัวถนน จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ในการเก็บข้อมูลวิจัย ขอขอบคุณทางภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ที่ได้ให้โอกาสและสนับสนุนเงินทุนวิจัย ท้ายสุดนี้ขอขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่และขอบคุณเพื่อน ๆ ที่เป็นกำลังใจให้งานสำเร็จ

วชร กาลาสี

ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่จากวิทยานิพนธ์นี้

Wachara Kalasee, Surajit Tekasakul, Piroj Kirirat and Perapong Tekasakul. 2003. “Particle Size Distribution of Smoke from Rubberwood Burning”, The 1st PSU Symposium on Graduate Research, March 12, 2003., Songkhla, Thailand.

Wachara Kalasee, Yuttapoom Pongpariyawatee, Wachirapan Tantaprapa, Suthirat Suwanjarat, Pairoj Kirirat and Perapong Tekasakul. 2003. “Fuel Efficiency Enhancement in The Rubber Smoking Process of The Rubber Cooperatives” The 17th Conference on Mechanical Engineering Network of Thailand, October 15-17, 2003., Prachinburi, Thailand.

Wachara Kalasee, Surajit Tekasakul, Yoshio Otani and Perapong Tekasakul. 2003. “Characteristics of Soot Particles Produced from Rubberwood Combustion”, The 2nd Asian Particle Technology Symposium (APT 2003), Volume II, December 17-19, 2003., Penang, Malaysia.

Wachara Kalasee, Surajit Tekasakul, Piroj Kirirat and Perapong Tekasakul. 2004. “Improvement of Rubber Smoking Room for Rubber Cooperative in Southern Thailand”, The 2nd PSU Symposium on Graduate Research, March 12, 2004., Songkhla, Thailand.

พีระพงศ์ ทิมสกุล, วชร กาลาสี และ สุรจิตร์ ทิมสกุล. 2547. “การปรับปรุงการไหลในห้องรมยางของสหกรณ์กองทุนสวนยางรุ่นปี 2537 เพื่อลดการใช้เชื้อเพลิง”, มอ. วิชาการ, 14-21 สิงหาคม 2547 มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา, ประเทศไทย.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(3)
Abstract	(5)
กิตติกรรมประกาศ	(7)
ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่จากวิทยานิพนธ์นี้	(8)
สารบัญ	(9)
รายการตาราง	(15)
รายการภาพประกอบ	(19)
ตัวย่อและสัญลักษณ์	(30)
บทที่	
1 บทนำ	1
1.1 บทนำตั้งเรื่อง	1
1.2 ปัญหาของอนุภาคเขม่าควัน	3
1.3 ปัญหาของแก๊สร้อนไม่ไหลเข้าห้องรม	4
1.4 ปัญหาในการผลิตยางแผ่นรมควันของประเทศไทย	4
1.5 ต้นทุนการผลิตยางแผ่นรมควัน	5
1.5.1 ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงไม้ฟืนและระยะเวลาในการผลิตยางรมควัน	5
1.5.2 ปริมาณและคุณภาพของยางแผ่นรมควันที่ผลิตได้	6
1.5.3 แนวโน้มการเพิ่มขึ้นของราคาไม้ฟืนยางพารา	6
1.6 วัตถุประสงค์	7
1.7 ขอบเขตของการวิจัย	7
1.8 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	8
2 ทฤษฎี	9
2.1 กรรมวิธีในการรมยางแผ่น	9
2.2 ห้องรมควัน	10
2.3 การจัดชั้นยางแผ่นรมควัน	12
	(9)

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4 อนุภาคเขม่าควัน	13
2.5 การดักจับอนุภาค	15
2.5.1 การกรอง (Filtration)	18
2.5.2 การตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต (Electrostatic precipitation)	21
2.6 การศึกษาหาแนวโน้มการกระจายอุณหภูมิของแก๊สร้อนภายในห้องรมเปล่า โดยใช้วิธีการคำนวณเชิงพลศาสตร์ของไหล	28
2.6.1 สมการต่อเนื่อง (Continuity Equation)	30
2.6.2 สมการนาเวียร์-สโตกส์ (Navier–Stokes Equations)	30
2.6.3 สมการพลังงาน (Energy Equation)	31
2.6.4 สมการไฟไนต์โวลุ่ม (Finite Volume Equations)	32
2.7 บทสรุป	34
3 การกระจายขนาดของอนุภาคเขม่าควัน	35
3.1 อุปกรณ์ในการศึกษา	35
3.2 ขั้นตอนการทดลอง	37
3.3 ผลการศึกษาการกระจายขนาดของอนุภาคเขม่าควัน	42
3.4 ผลของความเข้มข้นเชิงมวลและค่าความชื้นของไม้พื้ที่มีต่ออนุภาคเขม่าควัน	44
3.5 บทสรุป	46
4 การดักจับอนุภาค	47
4.1 วิธีการดักจับอนุภาค	47
4.1.1 การใช้ตาข่ายสแตนเลส (mesh #200)	47
4.1.2 การใช้เครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต	49
4.2 ขั้นตอนการทดสอบ	51

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2.1 ส่วนของการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างศักย์ป้อนเข้า กับค่าความต่างศักย์ทุติยภูมิ	51
4.2.2 ส่วนของการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างศักย์ป้อนเข้า กับค่ากระแสไฟฟ้าโคโรนา	53
4.2.3 ส่วนของการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องตกตะกอน เชิงไฟฟ้าสถิต	55
4.3 บทสรุป	63
5 การศึกษาแนวโน้มการกระจายอุณหภูมิภายในห้องรมเป่าด้วยวิธีการคำนวณ เชิงพลศาสตร์ของไหล	64
5.1 อุปกรณ์ที่ใช้ศึกษา	64
5.2 ส่วนการวัดการกระจายอุณหภูมิของแก๊สร้อนภายในห้องรมเป่า รุ่นปี 2537	64
5.3 ส่วนการจำลองห้องรมเป่าเพื่อศึกษาแนวโน้มการกระจาย อุณหภูมิของแก๊สร้อน	68
5.3.1 รายละเอียดของห้องรมเป่าที่ใช้ในการศึกษาแนวโน้ม การกระจายอุณหภูมิของแก๊สร้อน	69
5.3.2 ขั้นตอนการศึกษา	70
5.4 ส่วนการจำลองสถานการณ์แนวโน้มการกระจายอุณหภูมิของ แก๊สร้อนของแก๊สร้อนภายในห้องรมเป่า	73
5.5 ส่วนการวัดการกระจายอุณหภูมิของแก๊สร้อนภายในห้องรมเป่า หลังจากการปรับปรุง	75
5.6 ผลการกระจายอุณหภูมิของแก๊สร้อนภายในห้องรมเป่าก่อน และหลังการปรับปรุง	77
5.7 บทสรุป	78

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
6 การปรับปรุงห้องรมยางและการทดสอบ	79
6.1 การปรับปรุงห้องรมยาง	79
6.2 การทดสอบปริมาณการใช้ไม้พิน	82
6.2.1 ห้องรมที่ไม่ได้ทำการปรับปรุง	82
6.2.2 ห้องรมที่ทำการปรับปรุง	85
6.3 การวิจารณ์ผลที่ได้จากห้องรมก่อนและหลังการปรับปรุง	87
6.4 การเปรียบเทียบปริมาณและคุณภาพของยางแผ่นรมควันที่ได้จาก การใช้และไม่ใช้เครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตในห้องรม ที่ปรับปรุงกับห้องรมแบบเดิม	91
6.5 การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์	94
6.6 บทสรุป	97
7 บทสรุป	99
7.1 ศึกษาการกระจายของอนุภาคเขม่าควันที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิง ไม้ยางพารา	99
7.2 การศึกษา เลือกและทดสอบตัวดักจับอนุภาคเขม่าควันเพื่อใช้งาน ในห้องรม	100
7.2.1 การทดสอบโดยใช้วิธีการกรอง (Filtration)	100
7.2.2 การทดสอบโดยใช้เครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต (Electrostatic precipitator)	101
7.3 การศึกษาแนวโน้มการกระจายอุณหภูมิของแก๊สร้อนภายใน ห้องรมเปล่าโดยใช้วิธีการคำนวณเชิงพลศาสตร์ของไหล	101
7.4 การปรับปรุงห้องรม	102
7.5 การทดสอบรมยางจริง	103
7.6 บทสรุปรวม	104

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
7.7 ข้อเสนอแนะ	105
บรรณานุกรม	106
ภาคผนวก ก ผลการศึกษาการกระจายขนาดของอนุภาคเขม่าควัน และค่าความชื้นไม้พินที่ทำการทดสอบ	114
ภาคผนวก ข ผลการทดสอบค่าความต่างศักย์เริ่มต้นกับค่าความต่างศักย์ ทุติยภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้าแรงสูง	141
ภาคผนวก ค ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต โดยใช้ Andersen air sampler	143
ภาคผนวก ง ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต โดยใช้ Filter holder	162
ภาคผนวก จ ผลการกระจายอนุภาคน้ำมันในห้องรมเปล่าก่อนการปรับปรุง	167
ภาคผนวก ฉ ขั้นตอนการใช้งานโปรแกรม FLOVENT	176
ภาคผนวก ช วิธีการและขั้นตอนการศึกษาแนวโน้มการกระจายอนุภาคน้ำมัน ของแก๊สร้อนภายในห้องรมเปล่า ด้วยวิธีการคำนวณเชิงพลศาสตร์ ของไหล โปรแกรม FLOVENT	191
ภาคผนวก ซ ค่าความร้อนของไม้พินตามสัดส่วนความชื้น	198
ภาคผนวก ฌ ผลการกระจายอนุภาคน้ำมันของแก๊สร้อนภายในห้องรมยางเปล่าก่อน และหลังการปรับปรุงจากการศึกษาด้วยวิธีการคำนวณเชิงพลศาสตร์ ของไหล โปรแกรม FLOVENT	200
ภาคผนวก ฎ ผลการกระจายอนุภาคน้ำมันในห้องรมเปล่าหลังการปรับปรุง	213
ภาคผนวก ฏ ผลการกระจายอนุภาคน้ำมันในห้องรมยางก่อนการปรับปรุง	221
ภาคผนวก ฐ ผลการกระจายอนุภาคน้ำมันในห้องรมยางหลังการปรับปรุง	228
ภาคผนวก ร รูปร่างและขนาดของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต	244
ภาคผนวก ฅ ยางแผ่นรมควันจากห้องรมก่อนและหลังจากทำการปรับปรุง	249

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก ฉ รูปร่างและขนาดของห้องรมยางก่อนการปรับปรุง	255
ภาคผนวก ฉ รูปร่างและขนาดของห้องรมยางหลังการปรับปรุง	264
ประวัติผู้เขียน	271

รายการตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 การจัดชั้นยางแผ่นรมควัน	12
2.2 ข้อดีและข้อเสียของเครื่องดักจับอนุภาคชนิดต่างๆ	16
3.1 ผลการศึกษาการกระจายขนาดของอนุภาคเขม่าควัน	44
3.2 ผลการศึกษาความเข้มข้นเชิงมวลที่มีต่อค่าความชื้นไม้พื้น	45
4.1 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการดักจับของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต	57
6.1 ปริมาณการใช้ไม้พื้นและปริมาณยางของห้องรมตัวอย่างก่อนการปรับปรุง ในระหว่างเดือนมิถุนายน ถึง พฤศจิกายน 2547 (ฝนตก)	83
6.2 ปริมาณการใช้ไม้พื้นและปริมาณยางของห้องรมตัวอย่างก่อนการปรับปรุง ในระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2547 ถึง มกราคม 2548 (ไม่มีฝนตก)	84
6.3 ปริมาณการใช้ไม้พื้นและปริมาณยางของห้องรมตัวอย่างหลังจาก การปรับปรุงในระหว่างเดือนมิถุนายน ถึง พฤศจิกายน 2547 (ฝนตก)	85
6.4 ปริมาณการใช้ไม้พื้นและปริมาณยางของห้องรมตัวอย่างหลังจากการปรับปรุง ในระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2547 ถึง มกราคม 2548 (ไม่มีฝนตก)	86
6.5 ต้นทุนในการปรับปรุงห้องรมต่อห้อง (กรณีไม่ได้ใช้เครื่องตกตะกอน เชิงไฟฟ้าสถิต)	95
6.6 ต้นทุนในการปรับปรุงห้องรมต่อห้อง (กรณีใช้เครื่องตกตะกอน เชิงไฟฟ้าสถิต)	95
6.7 จุดคุ้มทุนในการปรับปรุงห้องรมทั้ง 7 ห้อง (กำลังการผลิต 500 ต้นต่อปี)	97
ผก.1 ผลการศึกษาการกระจายขนาดอนุภาคของเขม่าควันที่ได้จากการเผาไหม้ ของพื้นไม้ยางพารา ครั้งที่ 1	115
ผก.2 ผลการศึกษาการกระจายขนาดอนุภาคของเขม่าควันที่ได้จากการเผาไหม้ ของพื้นไม้ยางพารา ครั้งที่ 2	118
ผก.3 ผลการศึกษาการกระจายขนาดอนุภาคของเขม่าควันที่ได้จากการเผาไหม้ ของพื้นไม้ยางพารา ครั้งที่ 3	121

รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ผก.4 ตัวอย่างค่าความชื้นของพืชมัยยางพาราที่ทำการทดสอบ ครั้งที่ 3	124
ผก.5 ผลการศึกษาการกระจายขนาดอนุภาคของเขม่าควันที่ได้จากการเผาไหม้ ของพืชมัยยางพารา ครั้งที่ 4	125
ผก.6 ตัวอย่างค่าความชื้นของพืชมัยยางพาราที่ทำการทดสอบ ครั้งที่ 4	128
ผก.7 ผลการศึกษาการกระจายขนาดอนุภาคของเขม่าควันที่ได้จากการเผาไหม้ ของพืชมัยยางพารา ครั้งที่ 5	129
ผก.8 ตัวอย่างค่าความชื้นของพืชมัยยางพาราที่ทำการทดสอบ ครั้งที่ 5	132
ผก.9 ผลการศึกษาการกระจายขนาดอนุภาคของเขม่าควันที่ได้จากการเผาไหม้ ของพืชมัยยางพารา ครั้งที่ 6	133
ผก.10 ตัวอย่างค่าความชื้นของพืชมัยยางพาราที่ทำการทดสอบ ครั้งที่ 6	136
ผก.11 ผลการศึกษาการกระจายขนาดอนุภาคของเขม่าควันที่ได้จากการเผาไหม้ ของพืชมัยยางพารา ครั้งที่ 7	137
ผก.12 ตัวอย่างค่าความชื้นของพืชมัยยางพาราที่ทำการทดสอบ ครั้งที่ 7	140
ผข.1 ผลการศึกษาการเกิดกระแสไฟฟ้าโคโรนาที่ความต่างศักย์ต่างๆ	142
ผค.1 คำนวณน้ำหนักของอนุภาคเขม่าควันในแต่ละชั้น (ทั้งหมด) ครั้งที่ 1 (1)	144
ผค.2 คำนวณน้ำหนักของอนุภาคเขม่าควันในแต่ละชั้น (กรณีถูกดักจับด้วยเครื่อง ตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต) ครั้งที่ 1 (1)	145
ผค.3 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต ครั้งที่ 1 (1)	146
ผค.4 คำนวณน้ำหนักของอนุภาคเขม่าควันในแต่ละชั้น (ทั้งหมด) ครั้งที่ 1 (2)	147
ผค.5 คำนวณน้ำหนักของอนุภาคเขม่าควันในแต่ละชั้น (กรณีถูกดักจับด้วยเครื่อง ตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต) ครั้งที่ 1 (2)	148
ผค.6 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต ครั้งที่ 1 (2)	149

รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ผค.7 ค่าน้ำหนักของอนุภาคเขม่าควันในแต่ละชั้น (ทั้งหมด) ครั้งที่ 2 (1)	150
ผค.8 ค่าน้ำหนักของอนุภาคเขม่าควันในแต่ละชั้น (กรณีถูกดักจับด้วยเครื่อง ตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต) ครั้งที่ 2 (1)	151
ผค.9 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต ครั้งที่ 2 (1)	152
ผค.10 ค่าน้ำหนักของอนุภาคเขม่าควันในแต่ละชั้น (ทั้งหมด) ครั้งที่ 2 (2)	153
ผค.11 ค่าน้ำหนักของอนุภาคเขม่าควันในแต่ละชั้น (กรณีถูกดักจับด้วยเครื่อง ตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต) ครั้งที่ 2 (2)	154
ผค.12 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต ครั้งที่ 2 (2)	155
ผค.13 ค่าน้ำหนักของอนุภาคเขม่าควันในแต่ละชั้น (ทั้งหมด) ครั้งที่ 3 (1)	156
ผค.14 ค่าน้ำหนักของอนุภาคเขม่าควันในแต่ละชั้น (กรณีถูกดักจับด้วยเครื่อง ตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต) ครั้งที่ 3 (1)	157
ผค.15 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต ครั้งที่ 3 (1)	158
ผค.16 ค่าน้ำหนักของอนุภาคเขม่าควันในแต่ละชั้น (ทั้งหมด) ครั้งที่ 3 (2)	159
ผค.17 ค่าน้ำหนักของอนุภาคเขม่าควันในแต่ละชั้น (กรณีถูกดักจับด้วยเครื่อง ตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต) ครั้งที่ 3 (2)	160
ผค.18 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต ครั้งที่ 3 (2)	161
ผง.1 ผลประสิทธิภาพของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตที่ช่วงเวลาต่างๆ ครั้งที่ 1	163
ผง.2 ปริมาณอนุภาคของเขม่าควัน ซึ่งถูกดักจับด้วยเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้า สถิตที่ช่วงเวลาต่างๆ ครั้งที่ 1	164

รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ผจ.3 ผลประสิทธิภาพของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตที่ช่วงเวลาต่างๆ ครั้งที่ 2	165
ผจ.4 ปริมาณอนุภาคของเขม่าควัน ซึ่งถูกดักจับด้วยเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้า สถิตที่ช่วงเวลาต่างๆ ครั้งที่ 2	166
ผจ.1 อุณหภูมิภายในห้องรมเปล่าก่อนการปรับปรุง ครั้งที่ 1	168
ผจ.2 อุณหภูมิภายในห้องรมเปล่าก่อนการปรับปรุง ครั้งที่ 2	170
ผจ.3 อุณหภูมิภายในห้องรมเปล่าก่อนการปรับปรุง ครั้งที่ 3	172
ผจ.4 อุณหภูมิภายในห้องรมเปล่าก่อนการปรับปรุง ครั้งที่ 4	174
ผช. 1 ขนาดและตำแหน่งของส่วนต่าง ๆ ของห้องรมยาง	194
ผช. 2 จำนวน grid ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของห้องรม	194
ผช.1 ค่าความร้อนของไม้พื้นตามสัดส่วนความชื้น	199
ผญ.1 อุณหภูมิภายในห้องรมเปล่าหลังการปรับปรุง ครั้งที่ 1	214
ผญ.2 อุณหภูมิภายในห้องรมเปล่าหลังการปรับปรุง ครั้งที่ 2	217
ผญ.3 อุณหภูมิภายในห้องรมเปล่าหลังการปรับปรุง ครั้งที่ 3	219
ผฎ.1 อุณหภูมิภายในห้องรมยางก่อนการปรับปรุง ครั้งที่ 1	222
ผฎ.2 อุณหภูมิภายในห้องรมยางก่อนการปรับปรุง ครั้งที่ 2	224
ผฎ.3 อุณหภูมิภายในห้องรมยางก่อนการปรับปรุง ครั้งที่ 3	226
ผฎ.1 อุณหภูมิภายในห้องรมยางหลังการปรับปรุง ครั้งที่ 1	229
ผฎ.2 อุณหภูมิภายในห้องรมยางหลังการปรับปรุง ครั้งที่ 2	232
ผฎ.3 อุณหภูมิภายในห้องรมยางหลังการปรับปรุง ครั้งที่ 3	235
ผฎ.4 อุณหภูมิภายในห้องรมยางหลังการปรับปรุง ครั้งที่ 4	239
ผณ.1 ระยะการเปิดท่อส่งแก๊สร้อนขนาด 4 นิ้ว ที่พื้นห้องรมยาง ณ. ตำแหน่งต่างๆ (ดูรูปที่ ผณ. 6) ในระหว่างการทดสอบรมยาง ในห้องรมยางหลังจากการปรับปรุง	270

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบที่	หน้า
1.1 แผนผังการทำงานของห้องรมยางของสหกรณ์กองทุนสวนยางรุ่นปี 2537	3
1.2 แผนผังการทำงานของระบบให้ความร้อนแก่ห้องรมรุ่นปี 2537	3
2.1 ลักษณะห้องรมยางของสหกรณ์กองทุนสวนยางปี 2537	11
2.2 ช่องปล่อยแก๊สร้อนและปล่อยระบายแก๊สร้อนภายในห้องรมยางปี 2537	11
2.3 ภาพตัดช่องปล่อยแก๊สร้อนและปล่อยระบายแก๊สร้อนภายในห้องรมยางปี 2538	12
2.4 การดักจับอนุภาคแบบสกัดกั้น (interception)	19
2.5 การดักจับอนุภาคแบบการกระทบด้วยแรงเฉื่อย (inertial impaction)	20
2.6 การดักจับอนุภาคแบบการแพร่ (diffusion)	20
2.7 หลักการทำงานของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต	22
2.8 ลักษณะของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตแบบเส้นลวดและผนังทรงกระบอก (wire-cylinder)	24
2.9 แผนผังการทำงานของห้องรมยางของสหกรณ์กองทุนสวนยางที่จะปรับปรุง	29
2.10 เซลล์ที่ศึกษาสำหรับไฟไนต์โวลุ่ม 1 มิติ	33
3.1 ช่วงการกระจายของขนาดเชิงแอโรไดนามิกของ Andersen air sampler	36
3.2 แผนภาพการทดลองเก็บตัวอย่างอนุภาค โดยใช้ Andersen air sampler	38
3.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่สะสมกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอนุภาค	41
3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัดส่วนโดยมวลกับค่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคทางแอโรไดนามิกส์	43
3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์ความถี่สะสมของอนุภาคแต่ละช่วงกับค่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคทางแอโรไดนามิกส์	43

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบที่	หน้า
3.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นเชิงมวลของอนุภาคเขม่าควันกับ ปริมาณค่าความชื้นของ ไม้พิน	45
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของแก๊สกับประสิทธิภาพการดักจับอนุภาค	48
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของแก๊สกับความดันสูญเสีย	49
4.3 วงจรไฟฟ้าของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตที่ใช้ทดสอบ	50
4.4 วงจรบริดจ์ของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตที่ใช้ทดสอบ	50
4.5 วงจรไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบ	52
4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างศักย์ป้อนเข้ากับค่าความต่างศักย์ทุติยภูมิ	53
4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสไฟฟ้าโคโรนากับค่าความต่างศักย์ป้อนเข้า	54
4.8 ค่าความต่างศักย์ทุติยภูมิที่วัดได้จาก Oscilloscope	54
4.9 ชุดการทดลองวัดประสิทธิภาพของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตเบื้องต้น โดยใช้ Andersen sampler	55
4.10 ชุดการทดลองวัดประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต กับเตาเผาพิน	58
4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต กับเวลา	60
4.12 อนุภาคเขม่าควันที่เกาะติดบนพื้นผิวเก็บอนุภาคของเครื่องตกตะกอน เชิงไฟฟ้าสถิต	61
4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของอนุภาคที่ถูกดักจับไว้บนขั้วบวกของ เครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตกับเวลา	61
4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตกับ ผลคูณความเข้มข้นของอนุภาคและความเร็วในการไหลของแก๊สร้อน (พร้อมอนุภาค) และเวลา	62
5.1 ตำแหน่งที่ทำการวัดอุณหภูมิในห้องรมปล้ำ	66

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบที่	หน้า
5.2 ชุดวัดอุณหภูมิ	66
5.3 อุณหภูมิของแก๊สร้อนที่ตำแหน่งต่างๆ	68
5.4 ลักษณะห้องรมยางซึ่งเป็นห้องแถว	69
5.5 ช่องปล่อยแก๊สร้อนและปล่อยระบายแก๊สร้อนภายในห้องรมยาง	70
5.6 ภาพจำลองด้านข้างของห้องรมเปล่า ก่อนทำการปรับปรุงด้วยโปรแกรม FLOVENT	72
5.7 ภาพจำลองด้านบนของห้องรมเปล่า ก่อนการปรับปรุงด้วยโปรแกรม FLOVENT	72
5.8 ผลการกระจายอุณหภูมิของแก๊สร้อนภายในห้องรมเปล่ารุ่นปี 2537 ก่อนการปรับปรุง ด้วยโปรแกรม FLOVENT เปรียบเทียบกับการวัดจริง	73
5.9 ภาพจำลองด้านข้างของห้องรมเปล่า หลังจากการปรับปรุงด้วยโปรแกรม FLOVENT	74
5.10 ภาพจำลองด้านบนของห้องรมเปล่า หลังจากการปรับปรุงด้วยโปรแกรม FLOVENT	74
5.11 ผลการกระจายอุณหภูมิของแก๊สร้อนภายในห้องรมเปล่ารุ่นปี 2537 หลังจากการปรับปรุง ด้วยโปรแกรม FLOVENT เปรียบเทียบกับการวัดจริง	76
5.12 ผลค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิของแก๊สร้อนภายในห้องรมเปล่ารุ่นปี 2537 ซึ่งวัดได้จากตำแหน่งต่างๆ ก่อนและหลังจากการปรับปรุง ที่สภาวะคงตัว (steady state)	76
6.1 ห้องรมยางของสหกรณ์กองทุนสวนยางที่ปรับปรุง	80
6.2 ด้านบนรอบห้องรมยางที่ทำการปรับปรุงแล้ว	80
6.3 เพดานห้องรมยางที่ทำการปรับปรุงแล้วแสดงตำแหน่งบานระบายความชื้น	81

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบที่	หน้า
6.4 ตัวระบายแบบหมุนได้ด้วยตัวเองบนหลังคาห้องรมที่ปรับปรุงแล้ว	81
6.5 ผลการเปรียบเทียบปริมาณการใช้เชื้อเพลิงระหว่างห้องรมยางก่อนและ หลังจากการปรับปรุงในระหว่างเดือนมิถุนายน ถึง พฤศจิกายน 2547	88
6.6 ผลการเปรียบเทียบปริมาณยางดีระหว่างห้องรมยางก่อนและหลังจาก การปรับปรุงในระหว่างเดือนมิถุนายน ถึง พฤศจิกายน 2547	88
6.7 ผลการเปรียบเทียบปริมาณการใช้เชื้อเพลิงระหว่างห้องรมยางก่อนและ หลังจากการปรับปรุงในระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2547 ถึง มกราคม 2548	90
6.8 ผลการเปรียบเทียบปริมาณยางดีระหว่างห้องรมยางก่อนและหลังจาก การปรับปรุงในระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2547 ถึง มกราคม 2548	90
6.9 เครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตที่ใช้งานในห้องรมยาง	92
6.10 Slide Regulator กล่องใส่หม้อแปลงและวงจรบริดจ์	92
6.11 การติดตั้งเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตเพื่อทดสอบการใช้งานใน ห้องรมยาง	92
6.12 ภาพด้านบนของเส้นทางการเดินสายหัวเทียนของเครื่องตกตะกอนเชิง ไฟฟ้าสถิตภายในในห้องรมยาง	93
6.13 สีของยางแผ่นรมควันชั้น 3 ที่ผลิตได้จากห้องรมเก่า (แบบเดิม) ห้องรมใหม่ (หลังจากการปรับปรุง) ซึ่งไม่ได้ติดตั้งเครื่องตกตะกอน เชิงไฟฟ้าสถิต (ESP) และได้ติดตั้งเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต (ESP) ตามลำดับ	94
ผก.1 ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของน้ำหนักอนุภาคในแต่ละชั้น (Mass fraction) กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางแอโรไดนามิกของอนุภาค (Aerodynamic diameter) จากการทดลองครั้งที่ 1	116

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบที่	หน้า
ผก.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่สะสมของน้ำหนักอนุภาค (Cumulative oversize) กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางแอโรไดนามิกของอนุภาค (Aerodynamic diameter) จากการทดลองครั้งที่ 1	117
ผก.3 ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของน้ำหนักอนุภาคในแต่ละชั้น (Mass fraction) กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางแอโรไดนามิกของอนุภาค (Aerodynamic diameter) จากการทดลองครั้งที่ 2	119
ผก.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่สะสมของน้ำหนักอนุภาค (Cumulative oversize) กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางแอโรไดนามิกของอนุภาค (Aerodynamic diameter) จากการทดลองครั้งที่ 2	120
ผก.5 ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของน้ำหนักอนุภาคในแต่ละชั้น (Mass fraction) กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางแอโรไดนามิกของอนุภาค (Aerodynamic diameter) จากการทดลองครั้งที่ 3	122
ผก.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่สะสมของน้ำหนักอนุภาค (Cumulative oversize) กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางแอโรไดนามิกของอนุภาค (Aerodynamic diameter) จากการทดลองครั้งที่ 3	123
ผก.7 ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของน้ำหนักอนุภาคในแต่ละชั้น (Mass fraction) กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางแอโรไดนามิกของอนุภาค (Aerodynamic diameter) จากการทดลองครั้งที่ 4	126
ผก.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่สะสมของน้ำหนักอนุภาค (Cumulative oversize) กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางแอโรไดนามิกของอนุภาค (Aerodynamic diameter) จากการทดลองครั้งที่ 4	127
ผก.9 ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของน้ำหนักอนุภาคในแต่ละชั้น (Mass fraction) กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางแอโรไดนามิกของอนุภาค (Aerodynamic diameter) จากการทดลองครั้งที่ 5	130

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบที่	หน้า
ผก.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่สะสมของน้ำหนักอนุภาค (Cumulative oversize) กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางแอโรไดนามิกของอนุภาค (Aerodynamic diameter) จากการทดลองครั้งที่ 5	131
ผก.11 ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของน้ำหนักอนุภาคในแต่ละชั้น (Mass fraction) กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางแอโรไดนามิกของอนุภาค (Aerodynamic diameter) จากการทดลองครั้งที่ 6	134
ผก.12 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่สะสมของน้ำหนักอนุภาค (Cumulative oversize) กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางแอโรไดนามิกของอนุภาค (Aerodynamic diameter) จากการทดลองครั้งที่ 6	135
ผก.13 ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของน้ำหนักอนุภาคในแต่ละชั้น (Mass fraction) กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางแอโรไดนามิกของอนุภาค (Aerodynamic diameter) จากการทดลองครั้งที่ 7	138
ผก.14 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่สะสมของน้ำหนักอนุภาค (Cumulative oversize) กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางแอโรไดนามิกของอนุภาค (Aerodynamic diameter) จากการทดลองครั้งที่ 7	139
ผจ. 1 อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆของห้องรมเป่าก่อนการปรับปรุง ครั้งที่ 1	169
ผจ. 2 อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆของห้องรมเป่าก่อนการปรับปรุง ครั้งที่ 2	171
ผจ. 3 อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆของห้องรมเป่าก่อนการปรับปรุง ครั้งที่ 3	173
ผจ. 4 อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆของห้องรมเป่าก่อนการปรับปรุง ครั้งที่ 4	175
ผฉ. 1 แผนผังแสดงการกำหนดขอบเขตที่จะทำการศึกษา	177
ผฉ. 2 แผนผังแสดงการสร้างห้องรมเป่า	178
ผฉ. 3 แผนผังแสดงการสร้างห้องส่งแก๊สร้อน	179
ผฉ. 4 แผนผังแสดงการสร้างท่อส่งแก๊สร้อนในส่วนของพื้นเอียงและผนังเอียง ด้านข้างของห้อง	180

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบที่	หน้า
ผจ. 5 แผนผังแสดงการสร้างห้องเผาไหม้	181
ผจ. 6 แผนผังแสดงการสร้างพื้นเอียงที่เป็นพาดานด้านบนของเตา	182
ผจ. 7 แผนผังการกำหนดรายละเอียดของ Model	183
ผจ. 8 แผนผังการกำหนดค่าใน Control ของระบบ	184
ผจ. 9 แผนผังการแสดงผลแบบกราฟ	188
ผจ. 10 แผนผังการแสดงผลแบบภาพเคลื่อนไหว	189
ผช. 1 ห้องรมยางที่วาดด้วยโปรแกรม Flovent	195
ผช. 2 ขั้นตอนการใช้งาน โปรแกรม	197
ผฉ.1 แบบจำลองห้องรมเปล้าของสหกรณ์สวนยาง รุ่นปี 2537 ก่อนทำการปรับปรุง	201
ผฉ.2 ผลของอุณหภูมิของห้องรมเปล้าก่อนการปรับปรุงที่ระนาบ $Y = 1$ เมตร กับ $Z = 0.75$ เมตร และ 1.65 เมตร ตามลำดับ	202
ผฉ.3 ผลของอุณหภูมิของห้องรมเปล้าก่อนการปรับปรุงที่ระนาบ $Y = 1$ เมตร, 3 เมตร และ 4.8 เมตร ตามลำดับ กับ $Z = 1.25$ เมตร	202
ผฉ.4 ผลของอุณหภูมิของห้องรมเปล้าก่อนการปรับปรุงที่ระนาบ $Y = 3$ เมตร และ 4.8 เมตร ตามลำดับ กับ $Z = 0.75$ เมตร และ 1.65 เมตร ตามลำดับ	203
ผฉ.5 ผลของอุณหภูมิของห้องรมเปล้าก่อนการปรับปรุงที่ระนาบ $X = 0.95$ เมตร, 3.35 เมตร และ 4.8 เมตร ตามลำดับ กับ $Y = 1$ เมตร	203
ผฉ.6 ผลของอุณหภูมิของห้องรมเปล้าก่อนการปรับปรุงที่ระนาบ $X = 2$ เมตร กับ $Y = 1$ เมตร, 3 เมตร และ 4.8 เมตร ตามลำดับ	204
ผฉ.7 ผลของอุณหภูมิของห้องรมเปล้าก่อนการปรับปรุงที่ระนาบ $X = 3$ เมตร กับ $Y = 1$ เมตร, 3 เมตร และ 4.8 เมตร ตามลำดับ	204
ผฉ.8 ผลของอุณหภูมิของห้องรมเปล้าก่อนการปรับปรุงที่ระนาบ $X = 4.5$ เมตร กับ $Y = 1$ เมตร, 3 เมตร และ 4.8 เมตร ตามลำดับ	205

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบที่	หน้า
ผณ.9 ผลของอุณหภูมิของห้องรมเป่าก่อนการปรับปรุงที่ระนาบ $X = 5.8$ เมตร กับ $Y = 1$ เมตร, 3 เมตร และ 4.8 เมตร ตามลำดับ	205
ผณ.10 ผลของอุณหภูมิห้องรมเป่าก่อนการปรับปรุงที่ระนาบ $X = 1$ เมตร, 3 เมตร และ 5 เมตร ตามลำดับ กับ $Z = 1.25$ เมตร	206
ผณ.11 ผลของอุณหภูมิห้องรมเป่าก่อนการปรับปรุงที่ระนาบ $X = 1$ เมตร, 3 เมตร และ 5 เมตร ตามลำดับ กับ $Z = 0.5$ เมตร และ 2 เมตร ตามลำดับ	206
ผณ.12 แบบจำลองห้องรมเป่าของสหกรณ์สวนยาง รุ่นปี 2537 หลังจากการ ปรับปรุง	207
ผณ.13 ผลของอุณหภูมิของห้องรมเป่าหลังจากการปรับปรุงที่ระนาบ $Y = 1$ เมตร กับ $Z = 0.75$ เมตร และ 1.65 เมตร ตามลำดับ	208
ผณ.14 ผลของอุณหภูมิของห้องรมเป่าหลังจากการปรับปรุงที่ระนาบ $Y = 1$ เมตร, 3 เมตร และ 4.8 เมตร ตามลำดับ กับ $Z = 1.25$ เมตร	208
ผณ.15 ผลของอุณหภูมิของห้องรมเป่าหลังจากการปรับปรุงที่ระนาบ $Y = 3$ เมตร และ 4.8 เมตร ตามลำดับ กับ $Z = 0.75$ เมตร และ 1.65 เมตร ตามลำดับ	209
ผณ.16 ผลของอุณหภูมิของห้องรมเป่าหลังจากการปรับปรุงที่ระนาบ $X = 0.95$ เมตร, 3.35 เมตร และ 4.8 เมตร ตามลำดับ กับ $Y = 1$ เมตร	209
ผณ.17 ผลของอุณหภูมิของห้องรมเป่าหลังจากการปรับปรุงที่ระนาบ $X = 2$ เมตร กับ $Y = 1$ เมตร, 3 เมตร และ 4.8 เมตร ตามลำดับ	210
ผณ.18 ผลของอุณหภูมิของห้องรมเป่าหลังจากการปรับปรุงที่ระนาบ $X = 3$ เมตร กับ $Y = 1$ เมตร, 3 เมตร และ 4.8 เมตร ตามลำดับ	210
ผณ.19 ผลของอุณหภูมิของห้องรมเป่าหลังจากการปรับปรุงที่ระนาบ $X = 4.5$ เมตร กับ $Y = 1$ เมตร, 3 เมตร และ 4.8 เมตร ตามลำดับ	211

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบที่	หน้า
ผล.20 ผลของอุณหภูมิของห้องรวมเปล่าหลังจากการปรับปรุงที่ระนาบ X = 5.8 เมตร กับ Y = 1 เมตร, 3 เมตร และ 4.8 เมตร ตามลำดับ	211
ผล.21 ผลของอุณหภูมิของห้องรวมเปล่าหลังจากการปรับปรุงที่ระนาบ X = 1 เมตร, 3 เมตร และ 5 เมตร ตามลำดับ กับ Z = 1.25 เมตร	212
ผล.22 ผลของอุณหภูมิของห้องรวมเปล่าหลังจากการปรับปรุงที่ระนาบ X = 1 เมตร, 3 เมตร และ 5 เมตร ตามลำดับ กับ Z = 0.5 เมตร และ 2 เมตร ตามลำดับ	212
ผญ. 1 อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆของห้องรวมเปล่าหลังการปรับปรุง ครั้งที่ 1 ตลอดช่วงการทดลอง	215
ผญ. 2 อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆของห้องรวมเปล่าหลังการปรับปรุง ครั้งที่ 1 ในช่วงการทดลองจนถึงสภาวะคงตัว ครั้งที่ 1	216
ผญ. 3 อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆของห้องรวมเปล่าหลังการปรับปรุง ครั้งที่ 2	218
ผญ. 4 อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆของห้องรวมเปล่าหลังการปรับปรุง ครั้งที่ 3	220
ผญ. 5 Standard deviation ของอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆของห้องรวมเปล่า ก่อนและหลังการปรับปรุง	220
ผญ. 1 อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆของห้องรวมยกก่อนการปรับปรุง ครั้งที่ 1	223
ผญ. 2 อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆของห้องรวมยกก่อนการปรับปรุง ครั้งที่ 2	225
ผญ. 3 อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆของห้องรวมยกก่อนการปรับปรุง ครั้งที่ 3	227
ผญ. 1 อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆของห้องรวมยกหลังการปรับปรุง ครั้งที่ 1	231
ผญ. 2 อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆของห้องรวมยกหลังการปรับปรุง ครั้งที่ 2	234
ผญ. 3 อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆของห้องรวมยกหลังการปรับปรุง ครั้งที่ 3	238
ผญ. 4 อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆของห้องรวมยกหลังการปรับปรุง ครั้งที่ 4	243
ผฐ.1 แบบของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต	245
ผฐ.2 แบบฉนวนของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต (ด้านบน)	246

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบที่	หน้า
ผฐ.3 แบบของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต (ตรงกลาง)	247
ผฐ.4 แบบฉนวนของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต (ด้านล่าง)	248
ผท. 1 ยางแผ่นรมควันจากห้องรมก่อนการปรับปรุงและหลังจากทำการปรับปรุง และไม่ได้ใช้เครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตดักจับอนุภาค เขม่าควัน ครั้งที่ 1	250
ผท. 2 ยางแผ่นรมควันจากห้องรมก่อนการปรับปรุงและหลังจากทำการปรับปรุง และไม่ได้ใช้เครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตดักจับอนุภาค เขม่าควัน ครั้งที่ 2	250
ผท. 3 ยางแผ่นรมควันจากห้องรมก่อนการปรับปรุงและหลังจากทำการปรับปรุง และไม่ได้ใช้เครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตดักจับอนุภาค เขม่าควัน ครั้งที่ 3	251
ผท. 4 ยางแผ่นรมควันจากห้องรมก่อนการปรับปรุงและหลังจากทำการปรับปรุง และใช้เครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตเป็นตัวดักจับอนุภาค เขม่าควัน ครั้งที่ 1	251
ผท. 5 ยางแผ่นรมควันจากห้องรมก่อนการปรับปรุงและหลังจากทำการปรับปรุง และใช้เครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตเป็นตัวดักจับอนุภาค เขม่าควัน ครั้งที่ 2	252
ผท. 6 ยางแผ่นรมควันจากห้องรมก่อนการปรับปรุงและหลังจากทำการปรับปรุง และใช้เครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตเป็นตัวดักจับอนุภาค เขม่าควัน ครั้งที่ 3	252
ผท. 7 ยางแผ่นรมควันจากห้องรมก่อนการปรับปรุงและหลังจากทำการปรับปรุง ในกรณีไม่ใช้และใช้เครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตดักจับอนุภาคเขม่าควัน ครั้งที่ 1	253

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบที่	หน้า
ผศ. 8 ยางแผ่นรมควันจากห้องรมก่อนการปรับปรุงและหลังจากทำการปรับปรุง ในกรณีไม่ใช้และใช้เครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตดักจับอนุภาคเขม่าควัน ครั้งที่ 2	253
ผศ. 9 ยางแผ่นรมควันจากห้องรมก่อนการปรับปรุงและหลังจากทำการปรับปรุง ในกรณีไม่ใช้และใช้เครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตดักจับอนุภาคเขม่าควัน ครั้งที่ 1	254
ผศ.1 แบบของห้องรมยางรุ่นปี 2537	256
ผศ.2 แบบของห้องรมยางรุ่นปี 2537	257
ผศ.3 ภาพฉายของห้องรมยางรุ่นปี 2537	258
ผศ.4 แบบของเตาของห้องรมยางรุ่นปี 2537	259
ผศ.5 แบบของเตาของห้องรมยางรุ่นปี 2537	260
ผศ.6 ภาพด้านบนของห้องรมยางรุ่นปี 2537	261
ผศ.7 ภาพด้านหน้าของห้องรมยางรุ่นปี 2537	262
ผศ.8 ภาพตัดของเตาและห้องส่งความร้อนของห้องรมยางรุ่นปี 2537	263
ผศ.1 แบบของห้องรมยางหลังการปรับปรุง	265
ผศ.2 แบบบานระบายความชื้นของห้องรมยางหลังการปรับปรุง	266
ผศ.3 แบบของเตาของห้องรมยางหลังการปรับปรุง	267
ผศ.4 แบบของหลังคาของห้องรมยางหลังการปรับปรุง	268
ผศ.5 เครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตภายในห้องรมยางหลังการปรับปรุง	269
ผศ.6 ระยะเวลาเปิดท่อส่งแก๊สร้อนขนาด 4 นิ้ว ที่พื้นห้องรมยาง	270

ตัวย่อและสัญลักษณ์

ESP	= เครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต
GSD	= ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
$MMAD$	= ขนาดของอนุภาคเขม่าควันส่วนใหญ่
PSL	= โพลีเมอร์สังเคราะห์โพลีสไตรีน
RSS	= Ribbed Smoked Sheet
a	= รัศมีของเส้นลวดโคโรนา (เมตร)
a_p	= รัศมีของอนุภาค (เมตร)
b	= ระยะห่างระหว่างขั้วโคโรนาและขั้วเก็บ (เมตร)
$d_{15.9\%}$	= เส้นผ่านศูนย์กลางอนุภาคที่ความถี่สะสมที่ 15.9%
$d_{50\%}$	= เส้นผ่านศูนย์กลางอนุภาคที่ความถี่สะสมที่ 50%
$d_{84.1\%}$	= เส้นผ่านศูนย์กลางอนุภาคที่ความถี่สะสมที่ 84.1%
div	= Divergence term
dp_{50}	= ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคทางแอโรไดนามิกที่ประสิทธิภาพ 50% (Cut size)
$grad$	= Gradient term
k	= ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน
m_f	= น้ำหนักของ Plate หลังจากใช้ดักจับอนุภาค (กรัม)
m_i	= น้ำหนักของ Plate ก่อนใช้ดักจับอนุภาค (กรัม)
m_{ESP}	= น้ำหนักของอนุภาคเขม่าควันหลังจากผ่านเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต (กรัม)
$m_{No\ ESP}$	= น้ำหนักของอนุภาคเขม่าควันก่อนผ่านเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต (กรัม)
q	= ประจุของอนุภาค (คูลอมบ์)
r	= ระยะรัศมี (เมตร)
t	= เวลา (วินาที)

ตัวย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

u	= เวกเตอร์ความเร็ว
u	= ความเร็วในทิศทาง X
v	= ความเร็วในทิศทาง Y
w	= ความเร็วในทิศทาง Z
w	= ความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างแก๊สกับอนุภาค (เมตรต่อวินาที)
A	= พื้นที่ผิวของขั้วเก็บ (ตารางเมตร)
A_x	= พื้นที่หน้าตัดในทิศทาง X (ตารางเมตร)
C_c	= แฟกเตอร์ปรับแก้ของคันทิงแฮม ($1.00+0.16 \times 10^{-4}/D_p$)
C_p	= ค่าความจุความร้อนที่ความดันคงที่
D_j	= ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกลางของ jet (เซนติเมตร)
E	= สนามไฟฟ้า (โวลต์ต่อเมตร)
$E(r)$	= ความแรงของสนามไฟฟ้า (โวลต์ต่อเมตร)
F_a	= แรงทางแอโรไดนามิก (นิวตัน)
F_e	= แรงเนื่องจากสนามไฟฟ้า (นิวตัน)
K_a	= ค่าคงที่ของสมการ Andersen (วินาที ⁻¹)
M_j	= มวลของอนุภาคที่ชั้น j (กรัม)
M_{total}	= มวลของอนุภาคทั้งหมด (กรัม)
N	= จำนวนของหัวฉีด
P	= ความดัน (ปาสกาล)
Q	= ปริมาตรการไหล (ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที)
Q	= ค่าคงที่ของอัตราการไหลที่กำหนดของ Andersen air sampler (28.3 ลิตรต่อนาที)
S_M	= Momentum source
T	= อุณหภูมิ (เคลวิน)

ตัวย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

V	= แรงดันไฟฟ้า (โวลต์)
V_p	= ปริมาตรของเซลล์ (ลูกบาศก์เมตร)
V_{total}	= ปริมาตรของแก๊สทั้งหมด (กรัม)
η	= ประสิทธิภาพการเก็บ
ρ	= ความหนาแน่น (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)
ρ_p	= ค่าความหนาแน่นของอนุภาค (1 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร)
λ	= The second viscosity
μ	= ความหนืด (กิโลกรัมต่อเมตรวินาที)
μ	= ค่าคงที่ความหนืดของอากาศที่กำหนดของ Andersen air sampler (1.84×10^{-4} กรัมต่อลูกบาศก์เมตร-วินาที)
ψ	= ตัวประกอบอิมแพคชัน (Impaction parameter) จากการ ออกแบบ
ψ_{50}	= ค่าคงที่ (0.14 เมื่อประสิทธิภาพอิมแพคชันมีค่า 50%)
Σ	= ผลรวมทั้งหมด
Φ	= Dissipation function

บทที่ 1

บทนำ

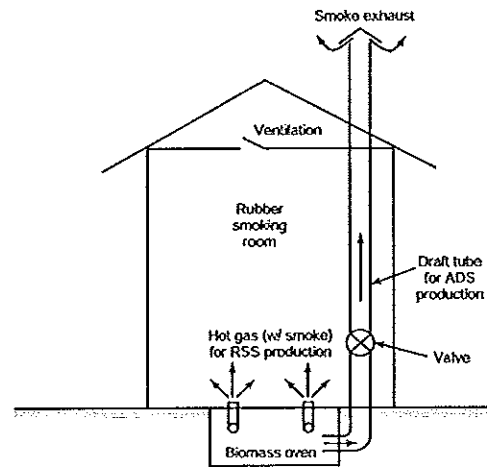
1.1 บทนำต้นเรื่อง

หลังจากประเทศไทยประสบปัญหาทางเศรษฐกิจในปี 2540 การลงทุนในด้านต่างๆ ได้ลดลงและถดถอยเป็นอันมาก ทั้งภาคการผลิต การบริการ และการบริโภค ภายในประเทศ ทำให้อุตสาหกรรมขนาดเล็กต้องปิดกิจการไป โดยเฉพาะอุตสาหกรรมทางการเกษตร ซึ่งราคาของสินค้าส่วนใหญ่ถูกกำหนดจากผู้บริโภคหรือประเทศคู่ค้า สิ่งเดียวที่จะทำให้อุตสาหกรรมเหล่านี้อยู่รอด คือการลดต้นทุนการผลิต โดยเฉพาะต้นทุนทางด้านพลังงาน พลังงานที่ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตมีทั้งนำเข้ามาจากต่างประเทศและบางส่วนที่ได้มาจากแหล่งที่มีอยู่ภายในประเทศ พลังงานหมุนเวียน ซึ่งเป็นพลังงานที่ไม่มีวันหมดสามารถเกิดหรือปลูกทดแทนแล้วนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ได้แก่ แสงแดด ลม น้ำ และพลังงานชีวมวล ซึ่งเป็นพลังงานจากวัสดุเหลือใช้ทั้งจากภาคการเกษตรและภาคอุตสาหกรรม เป็นพลังงานที่ควรนำมาพิจารณาและให้ความสนใจเป็นพิเศษ

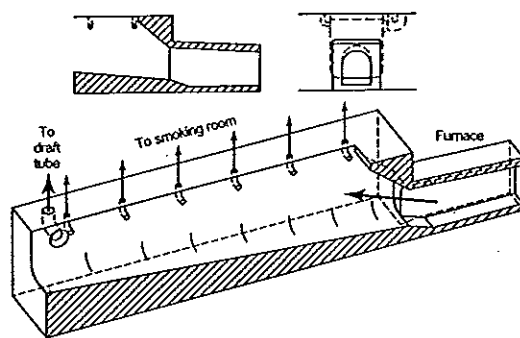
อุตสาหกรรมยางแผ่นรมควันเป็นอุตสาหกรรมอีกประเภทหนึ่งที่มีการใช้พลังงานชีวมวลเป็นจำนวนมาก ซึ่งพลังงานชีวมวลที่ใช้ในอุตสาหกรรมยางแผ่นรมควันได้แก่ ไม้ยางพาราที่มีแนวโน้มขนาดแคลนและมีราคาสูงขึ้นในอนาคต เนื่องจากการเจริญเติบโตของอุตสาหกรรมแปรรูปไม้และเฟอร์นิเจอร์ ทำให้มีความต้องการใช้ไม้ยางพารามากขึ้น ยางธรรมชาติทั่วโลกมีมากกว่า 70% ที่ผลิตมาจากทางเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ซึ่งกระบวนการผลิตยางธรรมชาติสามารถผลิตได้หลายวิธี สำหรับการผลิตยางแผ่นรมควันนั้นประเทศไทยสามารถผลิตได้อยู่ในระดับแนวหน้าของโลก โดยสามารถผลิตได้ประมาณ 1.0 ล้านตันต่อปี [สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร, 2545] อุตสาหกรรมการผลิตยางแผ่นรมควันของประเทศไทยได้มีสหกรณ์สวนยางเป็นฐานหลักในการผลิต หลังจากได้จัดตั้งขึ้นในช่วงปี 2537 ถึง 2538 ทั่วทั้งประเทศกว่า

700 โรง โดยกรมส่งเสริมสหกรณ์ ซึ่งมีการดำเนินงานโดยรับน้ำยางดิบจากสมาชิกแล้วนำไปแปรรูปเป็นยางแผ่น

โรงรมยางของสหกรณ์สวนยางส่วนใหญ่ที่ตั้งอยู่ทางภาคใต้จะใช้ไฟน้ํายางพาราเป็นเชื้อเพลิงและมีปริมาณการใช้ไฟน้ํายางสูงมาก ซึ่งสวนทางกับราคาไฟน้ํายางพาราที่สูงขึ้นจากเดิม 0.20 บาทต่อกิโลกรัมในปี 2538 [กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2538] เป็น 0.60 ถึง 0.80 บาทต่อกิโลกรัมหรือมากกว่า ในปี 2546 [สำนักงานกองทุนสงเคราะห์การทำสวนยาง, 2547] เพราะผลจากการแย่งซื้อไฟน้ํายางพาราในตลาดอย่างรุนแรงของอุตสาหกรรมแปรรูปไม้และเฟอร์นิเจอร์ โดยเมื่อปี 2541 ประเทศไทยส่งออกไฟน้ํายางพาราเพียง 74,110 ลูกบาศก์เมตร และได้เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนเป็น 2,836,536 ลูกบาศก์เมตร ในปี 2545 [สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2546] พร้อมทั้งมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นทุกปี ด้วยเหตุผลนี้จึงทำให้ต้นทุนการผลิตยางแผ่นรมควันของสหกรณ์สูงขึ้นมาก แต่ในการรมควันยางแผ่นพนักงานกลับใช้เชื้อเพลิงไม้ฟืนอย่างไม่คุ้มค่า ซึ่งจากการสำรวจของคณะนักวิจัย [คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2545] พบว่าในการรมควันยางแผ่นพนักงานได้ใช้วิธีระบายแก๊สร้อน (พร้อมควัน) จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงทิ้งออกไปนอกห้องรมทางท่อดราฟท์เป็นส่วนใหญ่ ดังแสดงในรูปที่ 1.1 และ รูปที่ 1.2 ทำให้ปริมาณของแก๊สร้อน (พร้อมควัน) ส่วนที่เข้าสู่ห้องรมมีเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับส่วนที่ระบายทิ้ง ซึ่งทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงสูงมาก สาเหตุเป็นเพราะแก๊สร้อนไม่สามารถไหลเข้าสู่ห้องรมโดยตรงทั้งหมด เนื่องจากหากให้แก๊สร้อนสามารถไหลเข้าสู่ห้องรมโดยตรงทั้งหมด แผ่นยางจะสัมผัสกับควันที่มากกับแก๊สร้อนมาก จนทำให้สภาพยางที่ได้ออกมาจะมีสีคล้ำกว่าการรมยางแบบปกติ ซึ่งหากสถานการณ์ยังคงเป็นเช่นนี้ต่อไปคงจะทำให้ทางสหกรณ์ต้องประสบภาวะขาดทุน ดังนั้นการลดต้นทุนการผลิตยางแผ่นรมควันของสหกรณ์สวนยางจึงมีความจำเป็นเป็นอย่างยิ่งในสถานะเศรษฐกิจในปัจจุบัน



รูปที่ 1.1 แผนผังการทำงานของห้องรมยางของสหกรณ์กองทุนสวนยางรุ่นปี 2537



รูปที่ 1.2 แผนผังการทำงานของระบบให้ความร้อนแก่ห้องรมรุ่นปี 2537

1.2 ปัญหาของอนุภาคเขม่าควัน

แม้ว่าวิธีการให้แก๊สร้อนไหลผ่านแผ่นยางโดยตรงและลดการปล่อยทิ้งไปทางท่อครีฟที่จะสามารถลดการใช้เชื้อเพลิงไม้ฟืนได้ แต่คุณภาพของยางแผ่นรมควันอาจจะลดลงได้เนื่องจากผลของอนุภาคเขม่าควันที่ได้ไปเกาะติดบนผิวของแผ่นยางทั้งก่อนและระหว่างการรมควัน โดยก่อนการรมยางจะมีอนุภาคเขม่าควันเกาะอยู่ที่ราวไม้ไผ่และโครงเหล็กแขวนยาง ซึ่งเมื่อนำยางแผ่นดิบไปพาดบนราวไม้ไผ่จะทำให้อนุภาคเขม่าควันไปเกาะติดบนผิวของยางแผ่น [คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์,

2545] ส่วนในระหว่างกรรมยางอนุภาคเขม่าควันที่ไหลมากับแก๊สร้อนจะไปเกาะติดบนขอบของแผ่นยางบนราวพาดและตามแผ่นยาง [Prasertsan, 1993 และ สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ, 2545] ทำให้มีสีที่คล้ำมาก จนขายได้ในราคาที่ต่ำเกินไป เช่นเดียวกับการศึกษาของยุทธภูมิ พงศ์ปรีวาที และ วชิรพันธุ์ ตัณฑะประภา [2545] ที่ได้ศึกษาผลกระทบของอนุภาคเขม่าควันที่มีต่อยางแผ่นรมควัน เมื่อให้แก๊สร้อนไหลผ่านแผ่นยางโดยตรงเพิ่มขึ้น โดยใช้วิธีการเปิดท่อคร๊าฟท์สำหรับปล่อยแก๊สร้อนทิ้งที่อยู่หน้าห้องรมเพียง $\frac{1}{4}$ ของท่อ ซึ่งจากการศึกษาพบว่ายางแผ่นรมควันที่ผลิตได้จากวิธีนี้จะมีสีที่ดำคล้ำกว่ายางแผ่นรมควันที่ได้จากการรมควัน โดยปกติ

1.3 ปัญหาของแก๊สร้อนไม่ไหลเข้าห้องรม

แก๊สร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงไม้ฟืนจะช่วยให้แผ่นยางแห้งและสุก แต่หากแก๊สร้อนไม่ไหลเข้าห้องรมหรือ ไหลเข้าน้อยเกินไป เนื่องจากเกิดความดันสูญเสีและการลดลงของอัตราเผาไหม้ เพราะข้อจำกัดของพื้นที่ถ่ายเทความร้อน [คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2545] ก็จะทำให้แผ่นยางเกิดราขึ้น และทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายและระยะเวลาในกระบวนการรมควันใหม่

1.4 ปัญหาในการผลิตยางแผ่นรมควันของประเทศไทย

โรงงานอุตสาหกรรมที่มีการแปรรูปยางเป็นผลิตภัณฑ์อย่างขั้นสูง เช่น ยางรถยนต์ และถุงมือยางนั้นยังมีจำนวนน้อยในประเทศไทย จึงทำให้ประเทศไทยส่งออกผลิตภัณฑ์ในรูปของยางแผ่นรมควันเป็นส่วนใหญ่ แต่ในปัจจุบันประเทศที่นำเข้ายางแผ่นรมควันจากไทย เช่น สหรัฐอเมริกาได้ลดการนำเข้าจากไทย เพราะยางแผ่นรมควันที่ส่งออกไปมีสิ่งเจือปนมาก และมีราคาสูงกว่ายางแผ่นรมควันของอินโดนีเซียซึ่งที่มีคุณภาพเดียวกัน [สถาบันวิจัยยาง, 2543] ซึ่งปัญหาเหล่านี้จะทำให้เกิดผลกระทบต่ออุตสาหกรรมยางแผ่นรมควันของไทยในอนาคต โดยเฉพาะสหกรณ์สวนยางที่เป็นฐานการผลิตหลักของประเทศ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องลดต้นทุนการผลิตยางแผ่นรมควัน

1.5 ต้นทุนการผลิตยางแผ่นรมควัน

ต้นทุนการผลิตยางแผ่นรมควันทั้งของสหกรณ์สวนยางและโรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่จะขึ้นอยู่กับปริมาณการใช้เชื้อเพลิงไม้ฟืน ระยะเวลาการรมควัน ปริมาณและคุณภาพของยางแผ่นรมควันที่ผลิตได้ ทำให้ยางแผ่นรมควันของสหกรณ์สวนยางมักถูกกำหนดราคาจากโรงงานอุตสาหกรรม จนสหกรณ์สวนยางอาจประสบภาวะขาดทุนได้ ดังนั้นการลดต้นทุนการผลิตยางแผ่นรมควันจึงเป็นสิ่งที่จำเป็น โดยเฉพาะต้นทุนของไม้ฟืนที่มีสูงถึง 1.20 บาท ต่อยางแผ่นรมควัน 1 กิโลกรัม [คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2545] หรือประมาณร้อยละ 40 ของต้นทุนการผลิตยางแผ่นรมควันทั้งหมด โดยที่ต้นทุนการผลิตยางแผ่นรมควันทั้งหมดมีค่าประมาณ 2.60 ถึง 2.90 บาท ต่อยางแผ่นรมควัน 1 กิโลกรัม [สถาบันวิจัยยาง, 2544]

1.5.1 ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงไม้ฟืนและระยะเวลาในการผลิตยางรมควัน

ปัจจุบันทางสหกรณ์สวนยางมีปริมาณการใช้เชื้อเพลิงไม้ฟืนสูงถึง 1200 ถึง 2000 กิโลกรัมต่อตันยางสุก และมีระยะเวลาการรมควัน 4 ถึง 7 วัน [อนันต์ จรรยาศักดิ์, 2541] โดยปัจจัยหลักที่มีผลต่อปริมาณการใช้เชื้อเพลิงไม้ฟืนและระยะเวลาในการผลิตยางแผ่นรมควัน คือการสูญเสียพลังงานความร้อนภายในห้องรม จากการศึกษาการใช้พลังงานในอุตสาหกรรมผลิตยางแผ่นรมควันของบริษัท เซาท์แลนด์ รีบเบอร์ จำกัด ที่ใช้ยางแผ่นดิบตากแห้งเป็นวัตถุดิบในการรมควัน พบว่ามีพลังงานความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงไม้ฟืนเพียง 31% เท่านั้นที่ถูกนำมาใช้ในการรมยาง โดย 57% สูญเสียไปกับการถ่ายเทความร้อนออกทางผนังห้อง และ 12% สูญเสียกับการระบายอากาศออกทางห้องรม [Prasertsan, 1994]

1.5.2 ปริมาณและคุณภาพของยางแผ่นรมควันที่ผลิตได้

ยางแผ่นรมควันที่ทางสหกรณ์สวนยางผลิตได้นั้นยังมีปริมาณและคุณภาพไม่แน่นอน ซึ่งเป็นเหตุผลที่ทำให้ถูกกดราคาจากทางโรงงานอุตสาหกรรม โดยปกติแล้วทางโรงงานจะให้ราคายางแผ่นรมควันที่ผลิตได้จากสหกรณ์สวนยางสูงสุดเพียงยางแผ่นรมควันชั้น 3 ดังนั้นการเพิ่มคุณภาพของยางแผ่นรมควันของสหกรณ์อาจเป็นสิ่งที่ไม่จำเป็นในปัจจุบัน แต่ถ้าทางสหกรณ์สามารถควบคุมปริมาณและคุณภาพของยางแผ่นรมควันที่ผลิตได้แต่ละครั้งให้คงที่ก็จะมีผลต่อต้นทุนการผลิตและการกำหนดคุณภาพมาตรฐานในอนาคต

1.5.3 แนวโน้มการเพิ่มขึ้นของราคาไม้พืนยางพารา

ไม้พืนยางพาราในปัจจุบันได้มีราคาสูงกว่า 0.60 บาทต่อกิโลกรัม และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นสูงกว่านี้อีกในอนาคต ทำให้เกิดการตื่นตัวที่จะนำพลังงานชนิดอื่นมาทดแทน เช่นการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ โดยการออกแบบห้องรมควันที่มีแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ มีพัดลมเป่าลมเข้าออก และมีเตาเผาไม้พืนอยู่ด้านหลังห้องเพื่อศึกษาการใช้พลังงานแสงอาทิตย์มาผสมผสานกับการรมควันโดยใช้เชื้อเพลิงไม้พืน [Brey Mayer et al., 1993] ผลการทดสอบพบว่า การรมควันยางโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ผสมผสานกับการใช้ไม้พืนสามารถลดปริมาณการใช้ไม้พืนลงได้ประมาณ 500 กิโลกรัมต่อยางแห้ง 1 ตัน จากปกติซึ่งมีค่าอยู่ที่ 1000 ถึง 1500 กิโลกรัม นอกจากนี้มีการเสนอทฤษฎีการออกแบบห้องอบแห้งที่นำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ในกระบวนการผลิตยางแผ่น เพื่อทดแทนปริมาณไม้พืนทั้งหมด [Pratoto et al., 1997] แต่เนื่องจากภาคใต้ของไทยอยู่ในเขตฝนตกชุกและช่วงเวลาที่ยางพาราให้น้ำยางก็อยู่ในช่วงฤดูฝนถึงครึ่งหนึ่งของระยะเวลาการผลิตทั้งหมด ดังนั้นการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ในกระบวนการผลิตยางแผ่นอาจไม่เหมาะสม จึงเห็นว่าการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงไม้พืนให้คุ้มค่าน่าจะเหมาะสมกว่า ซึ่งวิธีการให้แก๊สร้อนไหลผ่านแผ่นยางโดยตรง เพื่อลดการปล่อยทิ้งไป

ทางท่อครีฟท์ก็เป็นวิธีหนึ่งที่จะลดการใช้เชื้อเพลิงไม้ฟืนที่มีแนวโน้มการขาดแคลนในอนาคต

งานวิจัยในวิทยานิพนธ์นี้จะทำการศึกษาและปรับปรุงห้องรมของสหกรณ์สวนยางเพื่อลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงไม้ฟืนและระยะเวลาในการรมควัน โดยควบคุมให้ปริมาณและคุณภาพของยางแผ่นรมควันที่ผลิตได้ยังคงเดิม (เป็นยางแผ่นรมควันชั้น 3) เพื่อลดต้นทุนการผลิตยางแผ่นรมควันของสหกรณ์สวนยาง และทำให้ทางสหกรณ์สามารถแข่งขันในตลาดได้

1.6 วัตถุประสงค์

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ

- ลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงไม้ฟืนในการรมยางของสหกรณ์สวนยาง
- ลดระยะเวลาในการรมยางของสหกรณ์สวนยาง

1.7 ขอบเขตการศึกษา

- ศึกษาและปรับปรุงห้องรมยางโดยใช้ห้องรมรุ่นปี 2537
- ศึกษาแนวโน้มการกระจายอุณหภูมิของแก๊สร้อนภายในห้องรมเปล่าด้วยวิธีการคำนวณเชิงพลศาสตร์ของไหล โปรแกรม FLOVENT
- ออกแบบและทดสอบประสิทธิภาพการดักจับอนุภาคของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต
- ปรับปรุงห้องรมยางโดยใช้เครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต และทำการทดสอบให้ปริมาณและคุณภาพของยางแผ่นรมควันที่ผลิตได้ส่วนใหญ่ยังคงเดิม (ยางแผ่นรมควันชั้น 3)

1.8 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- สามารถลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงไม้ฟืนในการรมยางของสหกรณ์สวนยางได้
- สามารถทำให้ระยะเวลาในการรมยางของสหกรณ์สวนยางลดลงจากการรมแบบเดิมได้
- สามารถลดต้นทุนการผลิตยางแผ่นรมควันของสหกรณ์สวนยางได้

บทที่ 2

ทฤษฎี

ในบทนี้ได้กล่าวถึงทฤษฎี สมการ มาตรฐานและกระบวนการที่ศึกษาเพื่อลดต้นทุนการผลิตยางแผ่นรมควันของสหกรณ์สวนยางด้วยการปรับปรุงห้องรมยาง โดยการกรองแก๊สร้อนก่อนให้ไหลผ่านแผ่นยางโดยตรง ซึ่งประกอบด้วยการศึกษาการกระจายขนาดอนุภาคเขม่าควัน (Size distribution) จากการเผาไหม้เชื้อเพลิง ไม้ฟืน การศึกษา เลือกและทดสอบตัวดักจับอนุภาคเขม่าควัน การศึกษาแนวโน้มการกระจายอุณหภูมิของแก๊สร้อนภายในห้องรมเปล่าด้วยวิธีการคำนวณเชิงพลศาสตร์ของไหล

2.1 กรรมวิธีในการรมยางแผ่น

ในการผลิตยางแผ่นรมควันของสหกรณ์โรงรมยางนั้น ทางสหกรณ์จะรับน้ำยางจากสมาชิกมาเพื่อผลิตยางแผ่นดิบก่อนแล้วจึงทำการรมควันให้ยางแห้ง ในกรรมวิธีการรมควันนั้นทางสหกรณ์ใช้วิธีการให้แก๊สร้อนจากการเผาไหม้ไม้ฟืน ไหลเข้าสัมผัสกับแผ่นยาง ทำให้ยางแผ่นแห้งและสุก เพื่อรักษาคุณภาพของยางแผ่นและป้องกันการเกิดรา โดยการแห้งของยางแผ่นสังเกตได้จากการไม่มีส่วนชุ่มมัวในเนื้อยางแผ่น [เสาวนีย์ ก่อวุฒิรังษีกุล, 2541] ซึ่งยางแผ่นรมควันที่มีคุณภาพดีในเนื้อยางแผ่นจะไม่มีสิ่งสกปรกและฟองอากาศ ปกติในการรมควันของสหกรณ์สวนยางแต่ละครั้งใช้เวลาประมาณ 4 ถึง 7 วัน [อนันต์ จรรยาศักดิ์, 2541] แต่ถ้าหากมีปัญหาห้องรมเกิดการสูญเสียความร้อนมาก ระยะเวลาในการรมก็จะเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งอุณหภูมิที่ใช้ในการรมควันจะมีค่าอยู่ระหว่าง 49 ถึง 63 องศาเซลเซียส โดยในวันแรกจะรมยางที่อุณหภูมิประมาณ 49 ถึง 52 องศาเซลเซียส และจะค่อยเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เพราะถ้าแรงอุณหภูมิในวันแรกสูงเกินไปก็จะเกิดยางฟองขึ้น เช่นเดียวกันในวันต่อมาหากใช้อุณหภูมิสูงกว่าที่กำหนดก็จะเกิดยางฟองได้ ซึ่งการเพิ่มอุณหภูมิต้องเพิ่มอย่างช้าๆ โดยการใส่ไม้ฟืนอย่างสม่ำเสมอ 2 ถึง 3 ชั่วโมงต่อครั้ง เพื่อควบคุมให้ห้องรมควันมีอุณหภูมิประมาณ 50 ถึง 70 องศาเซลเซียส อุณหภูมิ

สูงสุดต้องควบคุมให้ไม่เกิน 70 องศาเซลเซียส มิฉะนั้นจะทำให้ยางแผ่นเหลวและมีการยืดตัว สำหรับยางแผ่นดิบที่มีความหนา 3 มิลลิเมตร ควรควบคุมอุณหภูมิห้องรม ดังนี้ [Prasertsan, 1993]

วันที่ 1 อุณหภูมิ	49-52 องศาเซลเซียส
วันที่ 2 อุณหภูมิ	52-57 องศาเซลเซียส
วันที่ 3 อุณหภูมิ	57-60 องศาเซลเซียส
วันที่ 4 อุณหภูมิ	60-63 องศาเซลเซียส

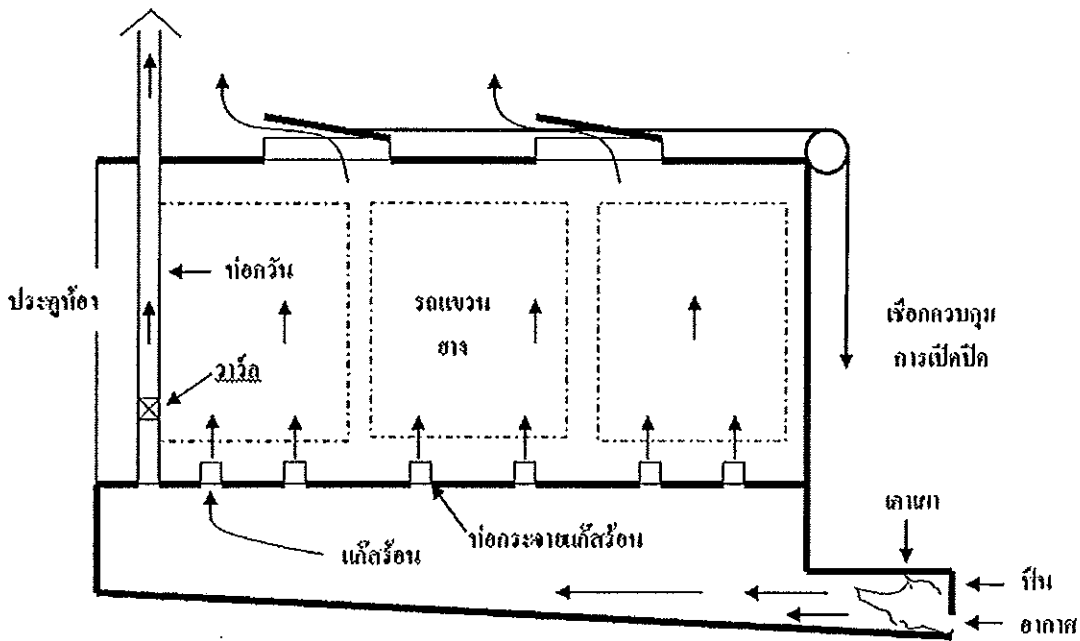
โดยทั่วไปการรมควันของสหรณ์จะหยุดใส่เชื้อเพลิงไม้ฟืนในวันสุดท้าย และห้องรมจะมีอุณหภูมิลดลงเหลือประมาณ 50 องศาเซลเซียส

การรมควันยางแผ่นนั้นจะต้องใช้เชื้อเพลิงไม้ฟืนเท่านั้น เนื่องจากในควันไฟมีกรดฟีนอลิก (phenolic acid) ที่จะไปเคลือบแผ่นยางสามารถป้องกันการเจริญเติบโตของเชื้อราได้ โดยทั่วไปทางสหรณ์จะใช้เชื้อเพลิงจากไม้ยางพารา เนื่องจากหาได้ง่ายในท้องถิ่นและต้นทุนไม่สูงนัก [คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2545]

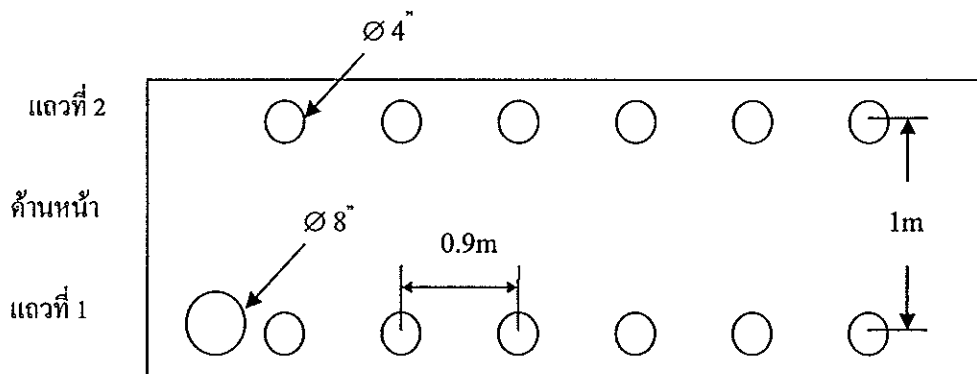
2.2 ห้องรมควัน

ห้องรมของสหรณ์กองทุนสวนยางมีอยู่ 2 รุ่นที่ใช้กันแพร่หลาย คือ ห้องรมปี 2537 ซึ่งเป็นห้องขนาด 2.5 x 6.0 x 3.5 เมตร บรรจุน้ำได้ 3 รถเข็น หรือประมาณ 1200-1500 แผ่น และห้องรมปี 2538 ซึ่งเป็นห้องขนาด 5.0 x 6.0 x 3.5 เมตร บรรจุน้ำได้ 6 รถเข็น หรือประมาณ 2400-3000 แผ่น ห้องรมแต่ละรุ่นมีท่อควันขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 นิ้วจำนวน 1 ท่อ ใช้สำหรับให้แก๊สร้อนไหลผ่านและเป็นท่อระบายควันในกรณีที่อบยางผึ่งแห้ง หรือยาง ADS ท่อควันดังกล่าวมีวาล์วเปิด – ปิด 1 ตัว สำหรับควบคุมการระบายควัน พื้นห้องรมมีวิธีการกระจายแก๊สร้อนที่แตกต่างกันคือ ห้องรมปี 2537 ใช้ท่อเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้วกระจายความร้อน 12 ตำแหน่งต่อห้องคังรูปที่ 2.1 และ 2.2 แต่ห้องรมปี 2538 ใช้การกระจายแก๊สร้อนผ่านร่องเปิดที่วางอยู่ตามความยาวห้อง 2 ร่องต่อห้อง คังรูปที่ 2.3 ส่วนเพดานห้องรมมีช่องระบายความชื้นห้องละ 2 ช่อง ซึ่งควบคุมการ

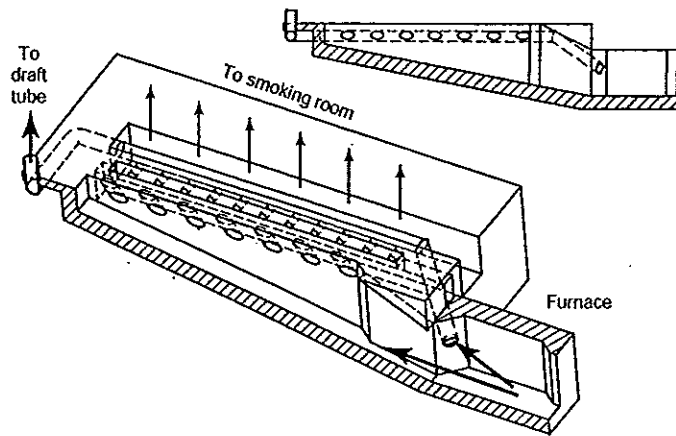
เปิด - ปิด โดยเชือกที่ด้านหลังห้องบริเวณเตาเผา ที่ต่อไปยังค้ำบานระบายความชื้น ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ลักษณะห้องรมยางของสหกรณ์กองทุนสวนยางปี 2537



รูปที่ 2.2 ช่องปล่อยแก๊สร้อนและปล่องระบายแก๊สร้อนภายในห้องรมยางปี 2537



รูปที่ 2.3 ภาพตัดช่องปล่อยแก๊สร้อนและปล่อยระบายแก๊สร้อนภายในห้องรมยางปี 2538

2.3 การจัดชั้นยางแผ่นรมควัน

การจัดชั้นยางแผ่นรมควันสามารถจัดแบ่งตามข้อกำหนดของสถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร [สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร, 2545] ได้ดังนี้

ตารางที่ 2.1 การจัดชั้นยางแผ่นรมควัน

ชั้นยาง	การหีบห่อ	ยางเสียปลอมปน	คุณสมบัติยางแผ่น
ชั้น 1 พิเศษ (NO.1 RSS XL)	แต่ละก้อนต้องไม่มีรา แต่ขณะส่งมอบอนุญาตให้มีราแห่งจำนวนเล็กน้อยบนผิวก้อนที่ติดกับแผ่นยางที่ห่อได้	ต้องไม่มียางที่รอยไหม้เป็นจุดๆ หรือเป็นแถบๆ ไม่มียางขี้ยหรือยางเอ็ม ไม่มียางอ่อนรม ไม่มียางแกร่ง ไม่มียางขุ่นมัว ไม่มียางไหม้	แผ่นยางต้องแห้งสนิท สะอาดและดูแข็งแรงคงทน ปราศจากข้อตำหนิใดๆ อันได้แก่ สิ่งปลอมแปลงเจือปน ราสนิม ขางพอง ดินหรือทราย สิ่งสกปรกเจือปนอื่นๆ อนุญาตให้มีฟองอากาศขนาดปลายเข็มได้
ชั้น 1 (NO.1 RSS)	เหมือนชั้น 1 พิเศษ	เหมือนชั้น 1 พิเศษ	เหมือนชั้น 1 พิเศษ ต่างกันที่อนุญาตให้มีตำหนิเปลือกไม้และฟองอากาศได้เล็กน้อย

ตารางที่ 2.1 การจัดชั้นยางแผ่นรมควัน (ต่อ)

ชั้นยาง	การหีบห่อ	ยางเสียปลอมปน	คุณสมบัติยางแผ่น
ชั้น 2 (NO.2 RSS)	อนุญาตให้มีราสนิมหรือ ราแห้งได้ไม่เกิน 5%	เหมือนชั้น 1 พิเศษ และ ชั้น 1	เหมือนชั้น 1
ชั้น 3 (NO.3 RSS)	อนุญาตให้มีราสนิมหรือ ราแห้งได้ไม่เกิน 10%	เหมือนชั้น 1 พิเศษ ชั้น 1 และชั้น 2	เหมือนชั้น 1 พิเศษ ชั้น 1 และชั้น 2 แต่ยินยอมให้ยาง แผ่นดูไม่ค่อยสะอาดขึ้น เล็กน้อย
ชั้น 4 (NO.4 RSS)	อนุญาตให้มีราสนิมหรือ ราแห้งได้ไม่เกิน 20%	เหมือนชั้น 1 พิเศษ ชั้น 1 ชั้น 2 และชั้น 3	เหมือนชั้น 3 และอนุญาตให้ มีตำหนิ เช่น เปลือกไม้ ฟองอากาศ สิ่งเจือปนโปร่ง แสงเหนียวเล็กน้อย ยางแก่ รมได้
ชั้น 5 (NO.5 RSS)	อนุญาตให้มีราสนิมหรือ ราแห้งได้ไม่เกิน 20%	จะต้องไม่มียางที่มีรอยไหม้ เป็นจุดๆ หรือเป็นแถบๆ ไม่ มียางข้อยหรือยางเยิ้ม ไม่มี ยางไหม้ อนุญาตให้มียาง อ่อนรมได้เล็กน้อย อนุญาต ให้มียางแก่รมได้เล็กน้อย	ยางแผ่นต้องแห้งสนิท อนุญาตให้มีตำหนิเปลือกไม้ ฟองอากาศ ยางพองได้ เล็กน้อย

หนึ่งในปัจจุบันทางสหกรณ์สวนยางสามารถผลิตยางแผ่นรมควันชั้นที่ 3 ได้ และ
ในโครงการนี้ได้สนใจเฉพาะการลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิง ไม้ฟืนและระยะเวลาในการ
รมยางเท่านั้น โดยที่ปริมาณและคุณภาพของยางแผ่นรมควันยังคงเดิม (ยางแผ่นรมควัน
ชั้น 3)

2.4 อนุภาคเขม่าควัน

อนุภาคเขม่าควันเกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ โดยมีขนาดเล็กตั้งแต่ 200
ไมโครเมตร ถึง 0.1 ไมโครเมตร [Hinds, 1999] หรือน้อยกว่า (1 ไมโครเมตร เท่ากับ
0.001 มิลลิเมตร) ปัญหาของอนุภาคเขม่าควัน คือการแขวนลอยอยู่ในอากาศ ทำให้เกิด

อันตรายต่อมนุษย์และยางแผ่นรมควันที่ได้มีสีดำน้อยกว่าปกติ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นในการดักแยกอนุภาคเขม่าควันออกจากกระแสของแก๊สร้อนก่อนให้ไหลไปสัมผัสกับแผ่นยาง ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาและทดสอบเพื่อหาวิธีการดักจับอนุภาคเขม่าควันที่เหมาะสมต่อการใช้งานในกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควันของกลุ่มสหกรณ์สวนยาง

ก่อนการศึกษา เลือกลงและทดสอบประสิทธิภาพตัวดักจับอนุภาคเขม่าควันจากการเผาไหม้ของฟืนไม้ยางพารา จำเป็นต้องทราบการกระจายของขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ย ซึ่งจากการศึกษายังไม่พบว่า มีการศึกษาถึงการกระจายของขนาดอนุภาคเขม่าควันที่เกิดจากการเผาไหม้ของฟืนไม้ยางพารา โดย Ndiema et al.[1998] ได้กล่าวเพียงการใช้ไม้ฟืนเป็นเชื้อเพลิงในเตาเผาจะทำให้เกิดปัญหาของอนุภาคเขม่าควัน เนื่องจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ Hedberg et al.[2002] ได้สรุปถึงผลจากการศึกษาคุณลักษณะการกระจายอนุภาคสารประกอบทางเคมี ซึ่งได้จากการเผาไหม้ฟืนไม้เบิร์ช (Birch wood) ในเตาเผา พบว่าการกระจายของอนุภาคมีช่วงขนาดอยู่ระหว่าง 3 นาโนเมตร ถึง 920 นาโนเมตร โดยมวลส่วนใหญ่มีขนาด 500 นาโนเมตร พร้อมทั้งยังได้เสนอว่า ไซโคลน (Cyclone) เหมาะสำหรับการดักจับอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า 2.5 ไมโครเมตร Naeher et al.[2000] ได้ศึกษาขนาดของอนุภาคที่ไหลมากับควันที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงไม้ฟืนจากเตาปรุงอาหาร พบว่าความเข้มข้นเชิงมวลของอนุภาคที่ไหลมากับควันจากเชื้อเพลิงไม้ฟืนมีค่า 528 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในช่วงขนาดน้อยกว่า 2.5 ไมโครเมตร (PM 2.5) และมีค่า 836 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในช่วงขนาดน้อยกว่า 10 ไมโครเมตร (PM 10) Osan et al. [2002] ได้ศึกษาถึงคุณลักษณะของอนุภาคที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงไม้ฟืน โดยไม่ได้กล่าวถึงว่าเป็นไม้ชนิดใดของหม้อไอน้ำขนาด 400 kW ซึ่งจากการศึกษาพบว่า ขนาดของอนุภาคที่เกิดจากการเผาไหม้และไหลมากับแก๊สร้อนมีขนาดตั้งแต่เล็กมาก (น้อยกว่า 1 ไมโครเมตร) จนกระทั่งมีขนาดใหญ่มาก (25 ไมโครเมตร) โดยอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า 10 ไมโครเมตร ได้ถูกดักจับด้วยไซโคลน ซึ่งแยกอนุภาคโดยใช้หลักของแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง ดังนั้นจึงมีความจำเป็นในการศึกษาถึงการกระจายขนาดของอนุภาคเขม่าควันที่เกิดจากการเผาไหม้ฟืนไม้ยางพารา เพื่อเป็นข้อมูลในการศึกษา เลือกลงและทดสอบประสิทธิภาพตัวดักจับอนุภาคเขม่าควันที่เป็นหัวใจหลักในงานวิทยานิพนธ์นี้ต่อไป

2.5 การดักจับอนุภาค

ปัจจุบันมีวิธีที่ใช้ในการดักจับหรือแยกอนุภาคออกจากแก๊สหลายแบบ แต่ที่นิยมใช้กันมาก มีดังนี้ คือ

1. การกรอง (Filtration)
2. การตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต (Electrostatic precipitation)
3. การตกตะกอนด้วยแรงโน้มถ่วง (Gravitational settling)
4. การแยกด้วยแรงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal separation)
5. การใช้เครื่องสัมผัสแบบเปียก (Wet scrubbers separation)

โดยการเลือกเครื่องมือการดักจับหรือแยกอนุภาคออกจากแก๊สนั้นขึ้นอยู่กับองค์ประกอบดังนี้ คือ

1. ประสิทธิภาพการดักจับ (Collection efficiency) ที่ต้องการ ซึ่งขึ้นอยู่กับอัตราที่ยอมปล่อยให้อนุภาคมวลสารออกสู่ภายนอกได้

2. การสูญเสียความดัน (Pressure loss) โดยการสูญเสียความดันจะต้องไม่สูงจนเกินไป

3. คุณสมบัติของแก๊สที่มีอนุภาคมวลสาร เช่น ชนิด อัตราการไหล อุณหภูมิ เป็นต้น

4. คุณสมบัติของอนุภาคมวลสาร เช่น ลักษณะ ความเข้มข้น การกระจายขนาด และน้ำหนัก เป็นต้น

5. การทำงาน การก่อสร้างและราคาของเครื่องมือต่างๆ

ขั้นแรกของการเลือกเครื่องมือดักจับอนุภาคที่เหมาะสมจะต้องพิจารณาข้อมูลต่อไปนี้

1. ความเข้มข้นของอนุภาคมวลสารในกระแสแก๊ส (gas stream) ที่ต้องการทำความสะอาด

2. การกระจายขนาดของอนุภาคมวลสารที่ต้องการแยกออก

3. อัตราการไหลของแก๊ส

4. อัตราที่ยอมปล่อยให้อนุภาคมวลสารออกสู่ภายนอกได้

จากข้อมูลเหล่านี้ทำให้สามารถเลือกระบบต่างๆ ซึ่งสามารถแยกอนุภาคมวลสารได้อย่างมีประสิทธิภาพตามที่ต้องการ ก่อนจะพิจารณาเปรียบเทียบค่าก่อสร้าง การใช้งาน และค่าใช้จ่ายในการทำงานของระบบที่คิดไว้เป็นขั้นตอนสุดท้าย นอกจากนี้ยังมีองค์ประกอบที่มีอิทธิพลต่อการทำงานของเครื่องมือได้แก่ ความดันที่สูญเสียในอุปกรณ์กำลังงานที่ต้องการและปริมาณของเหลวที่ต้องการ (กรณีใช้ระบบสัมผัสแบบเปียก) เป็นต้น ซึ่งชนิดเครื่องดักจับอนุภาค ขนาดอนุภาคที่เล็กที่สุดที่เก็บได้ ประสิทธิภาพ ข้อดี และข้อเสียของเครื่องดักจับอนุภาคแต่ละชนิด แสดงในตารางที่ 2.2 [วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์ และคณะ, 2529]

ตารางที่ 2.2 ข้อดีและข้อเสียของเครื่องดักจับอนุภาคชนิดต่างๆ

เครื่องมือดักจับ	ขนาดอนุภาคที่เล็กที่สุด (ไมครอน)	ประสิทธิภาพ (%)	ข้อดี	ข้อเสีย
เครื่องสกัดตะกอนด้วยแรงโน้มถ่วง	>50	<50	1. ความดันสูญเสียต่ำ 2. ง่ายต่อการออกแบบและการบำรุงรักษา	1. ต้องการเนื้อที่มาก 2. ประสิทธิภาพการเก็บต่ำ
ไซโคลน	5-25	50-90	1. ง่ายต่อการออกแบบและการบำรุงรักษา 2. ต้องการพื้นที่น้อย 3. การทิ้งฝุ่นที่เก็บได้เป็นไปอย่างต่อเนื่องและเป็นแบบแห้ง 4. ความดันสูญเสียมีขนาดต่ำถึงปานกลาง 5. ดักอนุภาคขนาดใหญ่ได้ 6. ปริมาณบรรจุฝุ่นสูง 7. ไม่ขึ้นกับอุณหภูมิ	1. ต้องการที่ว่างสูงมาก 2. ประสิทธิภาพการเก็บอนุภาคขนาดเล็กๆต่ำ 3. ไวต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณบรรจุฝุ่นและอัตราไหล

ตารางที่ 2.2 ข้อดีและข้อเสียของเครื่องคัดจับอนุภาคชนิดต่างๆ (ต่อ)

เครื่องมือคัดจับ	ขนาดอนุภาคที่เล็กที่สุด (ไมครอน)	ประสิทธิภาพ (%)	ข้อดี	ข้อเสีย
สกรับเบอร์เปียก - หอถือน้ำ - ไชโคลน - อิมพินจ์เมนต์ - เวนทูรี	>10 >2.5 >2.5 >0.5	<80 <80 <80 <99	<ol style="list-style-type: none"> 1. การดูดซึมแก๊สและการแยกอนุภาคเกิดขึ้นพร้อมกัน 2. สามารถทำความสะอาดและทำให้แก๊สที่มีอุณหภูมิสูงและชื้นเย็นลง 3. สามารถเก็บกินและทำให้เป็นกลางพวกแก๊ส และมีละอองที่กักก่อน 4. ลดการเสี่ยงต่อการแตกกระจายของฝุ่น 5. สามารถแปรประสิทธิภาพได้ 	<ol style="list-style-type: none"> 1. มีปัญหาการกัดกร่อน 2. เพิ่มค่าใช้จ่ายสำหรับการขจัดน้ำเสียและการนำกลับมาใช้อีก 3. การเก็บอนุภาคขนาดเล็กมีประสิทธิภาพต่ำ 4. กระแสที่ไหลออกจะมีของเหลวคิออกไปด้วย ต้องติดตั้งเครื่องแยก
เครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต	>1	95-99	<ol style="list-style-type: none"> 1. ประสิทธิภาพสูงถึง 99% 2. คัดอนุภาคขนาดเล็กมากๆ ได้ 3. คัดอนุภาคได้ทั้งแบบเปียกและแห้ง 4. ความดันสูญเสียและกำลังงานที่ต้องการน้อยเมื่อเทียบกับเครื่องเก็บแบบอื่นที่มีประสิทธิภาพสูง 5. การบำรุงรักษาแบบธรรมดาวันแต่ใช้กับสารที่กัดกร่อนหรือหนืด 6. มีชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่น้อยมาก 7. ทำงานที่อุณหภูมิสูงได้ (300 ถึง 400 องศาเซลเซียส) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. ค่าลงทุนเริ่มต้นสูง 2. วิศวกรรมการเปลี่ยนแปลงบรรทุกฝุ่นและอัตราไหล 3. ความต้านทานจำเพาะของสารบางชนิดทำให้การเก็บไม่ประหยัด 4. จำเป็นต้องมีมาตรการรักษาความปลอดภัยจากไฟฟ้าแรงสูง 5. ประสิทธิภาพการเก็บอาจเสื่อมตามลำดับ

ตารางที่ 2.2 ข้อดีและข้อเสียของเครื่องดักจับอนุภาคชนิดต่างๆ (ต่อ)

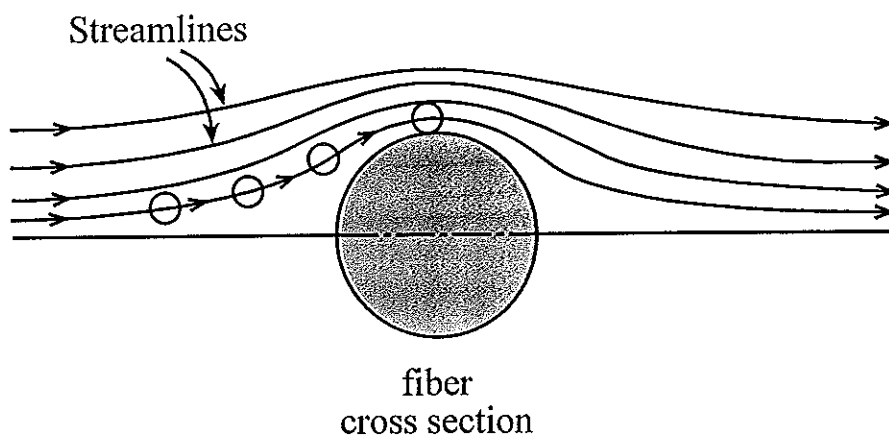
เครื่องมือดักจับ	ขนาดอนุภาคที่เล็กที่สุด (ไมครอน)	ประสิทธิภาพ (%)	ข้อดี	ข้อเสีย
แบบเส้นใยกรอง	<1	>99	<ol style="list-style-type: none"> 1. อาจดักเก็บแบคทีเรียได้ 2. เมื่อประสิทธิภาพการทำงานลดลงสังเกตได้ง่าย 3. เก็บอนุภาคขนาดเล็กได้ 4. ประสิทธิภาพสูง 	<ol style="list-style-type: none"> 1. ไวต่อความเร็วของการกรอง 2. แก๊สที่มีอุณหภูมิสูงจะต้อง ทำให้เย็นลงเหลือ 100 ถึง 450 องศาเซลเซียส 3. ความชื้นสัมพัทธ์มีผลต่อการทำงาน 4. เส้นใยอาจถูกสารเคมีกัดกร่อน

ซึ่งในงานวิจัยนี้จะศึกษาและทดสอบเพื่อหาวิธีการดักจับอนุภาคเขม่าควันที่ผสมมากับแก๊สร้อนบางส่วนก่อนให้ไหลผ่านแผ่นยางโดยตรง โดยกลไกที่จะกล่าวและพิจารณาใช้ในงานวิทยานิพนธ์นี้ คือการกรอง (Filtration) และการตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต (Electrostatic precipitation) เนื่องจากมีประสิทธิภาพการดักจับอนุภาคขนาดเล็กสูง (หลังจากทราบการกระจายขนาดของอนุภาคเขม่าควันที่จะกล่าวในบทที่ 4) ไม่มีปัญหาการกัดกร่อนและใช้พื้นที่ในการติดตั้งน้อย ซึ่งรายละเอียดของกลไกทั้ง 2 กลไก มีดังนี้

2.5.1 การกรอง (Filtration)

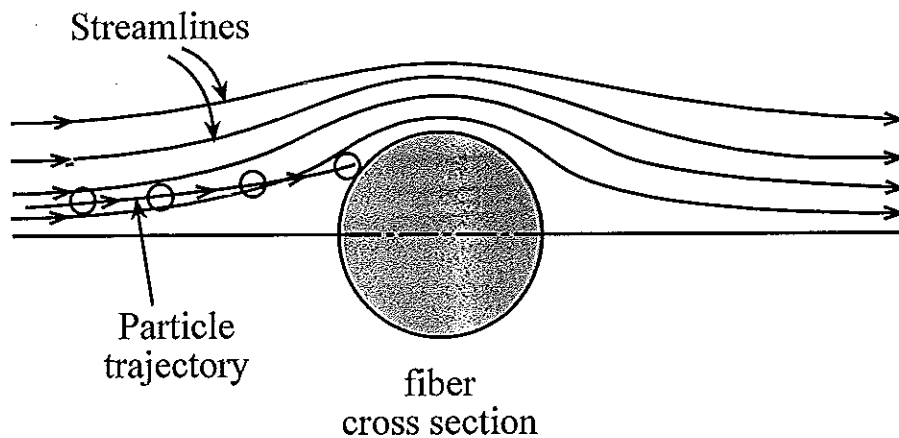
การจับอนุภาคโดยการกรองเป็นวิธีการง่ายที่สุดในการลุ่มตัวอย่างแอโรซอล และเป็นวิธีการที่ใช้กันอย่างกว้างขวางในการทำอากาศให้สะอาด เนื่องจากการกรองเป็นวิธีการที่สะดวก มีประโยชน์กว้างขวางและประหยัด ซึ่งการจับอนุภาคโดยการกรองมีกลไกในการดักจับอยู่ 3 วิธีการ คือ การดักจับแบบสกัดกั้น (interception) การกระทบด้วยแรงเฉื่อย (inertial impaction) และการแพร่ (diffusion) [Hinds, 1999 และ Reist, 1993]

การดักจับแบบสกัดกัน (Interception) เกิดขึ้นสำหรับอนุภาคมีขนาดระหว่าง 0.2-0.5 ไมโครเมตร [Hinds, 1999] เมื่ออนุภาคเคลื่อนที่ตามกระแสของแก๊ส (gas streamline) แล้ววัดกระทบกับเส้นใย (fiber) โดยไม่ได้ชนจากนั้นจึงถูกจับไว้ ดังรูปที่ 2.4 เนื่องจากอนุภาคมีขนาดที่แน่นอนจึงถูกสมมติว่า อนุภาคเคลื่อนที่ตามกระแสของแก๊ส (streamline) เพียงอย่างเดียว โดยกลไกการดักจับแบบสกัดกัน (interception) เป็นกลไกอย่างเดียวกับที่อนุภาคไม่ได้เคลื่อนที่ออกจากกระแสของแก๊สเลย ซึ่งอนุภาคที่ถูกดักจับด้วยวิธีนี้จะเป็นอนุภาคที่เคลื่อนที่ในแนวกระแสที่มีระยะทางห่างจากเส้นใยไม่เกินรัศมีของอนุภาคนั้นๆ [Yeh and Liu, 1974]



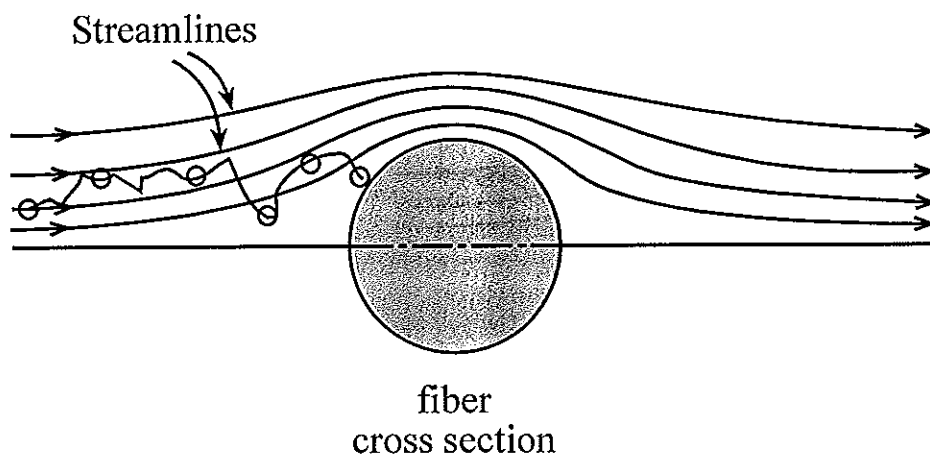
รูปที่ 2.4 การดักจับอนุภาคแบบสกัดกัน (interception)

การกระทบด้วยแรงเฉื่อย (Inertial impaction) เกิดขึ้นสำหรับอนุภาคที่มีขนาดตั้งแต่ 0.5 ไมโครเมตร [Hinds, 1999] เพราะอนุภาคมีความเฉื่อย เนื่องจากอนุภาคมีขนาดใหญ่ทำให้ไม่สามารถปรับตัวให้ว่องไวหรือมีความเร็วพอที่จะเปลี่ยนทิศทางตามกระแสของแก๊สได้อย่างทันทีทันใด เมื่อเข้าไปใกล้บริเวณเส้นใย (fiber) ทำให้อนุภาคเคลื่อนออกจากแนวกระแสและชนกับเส้นใยตัวกรอง ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 การดักจับอนุภาคแบบการกระทบด้วยแรงเฉื่อย (inertial impaction)

การแพร่ (Diffusion) หรือการเคลื่อนที่แบบบราวเนียน (Brownian motion) เกิดขึ้นสำหรับอนุภาคที่มีขนาดน้อยกว่า 0.2 ไมโครเมตร [Hinds, 1999] เนื่องจากอนุภาคมีขนาดเล็กจึงมีการเคลื่อนที่เป็นแบบไร้ระเบียบ (random) กระทบกับเส้นใย (fiber) จนถูกจับไว้ โดยการเคลื่อนที่ของอนุภาคนั้นจะเกิดจากอิทธิพลของการพาตามแนวกระแสและการเคลื่อนที่แบบไร้ระเบียบออกนอกแนวกระแส ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 การดักจับอนุภาคแบบการแพร่ (diffusion)

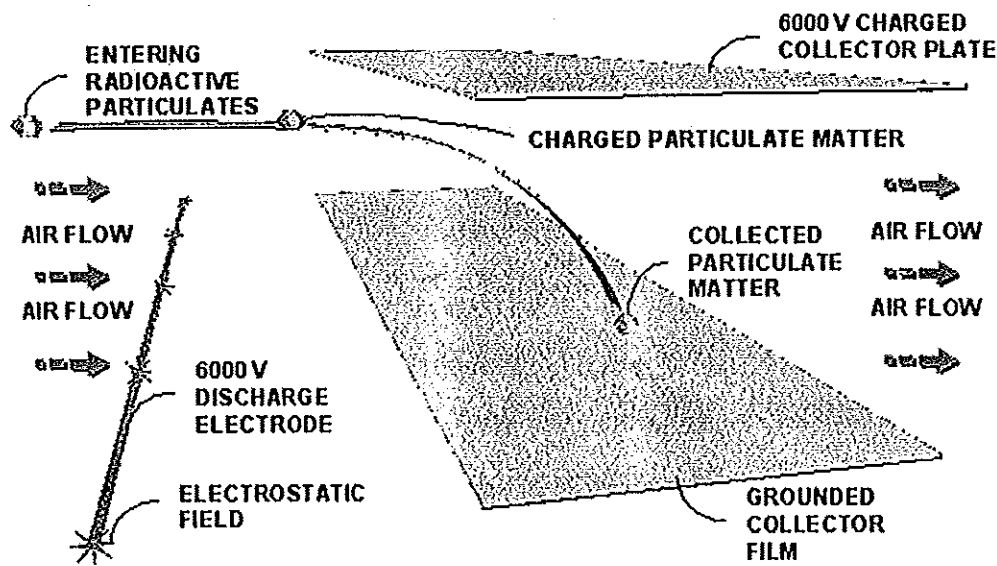
โดยในงานวิจัยนี้ได้ใช้วิธีการกรองทำการทดสอบการดักจับอนุภาค โดยใช้แผ่นตาข่ายสแตนเลสอย่างละเอียดเนื่องจากมีต้นทุนต่ำและง่ายต่อการใช้งาน

2.5.2 การตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต (Electrostatic precipitation)

การใช้เครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตมีต้นทุนค่อนข้างสูง แต่ก็มีมีการนำไปใช้ดักจับอนุภาคกันอย่างแพร่หลาย ทั้งจากฝุ่นละอองที่ผสมมากับควันไฟ [เกรียงศักดิ์ และ นวลอนงค์, 2533] เขม่าควันของบุหรี่ [Otani, et al., 1993] และควันจากท่อแก๊สไอเสียจากเครื่องยนต์ [Kubo, et al., 2000] เป็นต้น จากการศึกษาพบว่า เครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตเหมาะสมที่จะดักจับอนุภาคที่มีขนาดต่ำกว่า 5 ไมโครเมตร [Kubo et al., 2000] และในการทดสอบดักจับอนุภาคที่มี ขนาดอยู่ระหว่าง 0.1 ถึง 2.0 ไมโครเมตร โดยใช้แรงดันไฟฟ้าระหว่างเส้นลวดและแผ่นราบ (Plate) 5 กิโลโวลต์ กระแสไฟฟ้าโคโรนาประมาณ 1-4 ไมโครแอมแปร์ พบว่ามีประสิทธิภาพสูงถึง 80-90% แต่ถ้านำไปใช้งานจริงก็จะมีประสิทธิภาพลดลงเหลือประมาณ 50% เนื่องจากปริมาณของอนุภาคที่เกาะติดบนผิวของตัวเก็บมีเพิ่มขึ้น ทำให้การดักจับอนุภาคมีค่าลดลง [Laskin and Cowin, 2002]

วิธีการตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต (Electrostatic precipitation process) เป็นการกำจัดอนุภาคออกจากกระแสแก๊สโดยอาศัยแรงที่เกิดขึ้นกับประจุไฟฟ้าสถิตภายในสนามไฟฟ้า โดยมีเอกลักษณ์ คือ ความดันสูญญากาศของแก๊สมีค่าต่ำและค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่องต่ำกว่ากรรมวิธีการทำความสะอาดแก๊สวิธีอื่น ซึ่งกระบวนการตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตประกอบด้วย

1. การเติมประจุให้อนุภาค
2. การเก็บประจุที่มีประจุไฟฟ้าบนผิวที่มีศักย์ (Potential)
3. การแยกอนุภาคที่ทับถมบนผิวเก็บ



รูปที่ 2.7 หลักการทำงานของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต

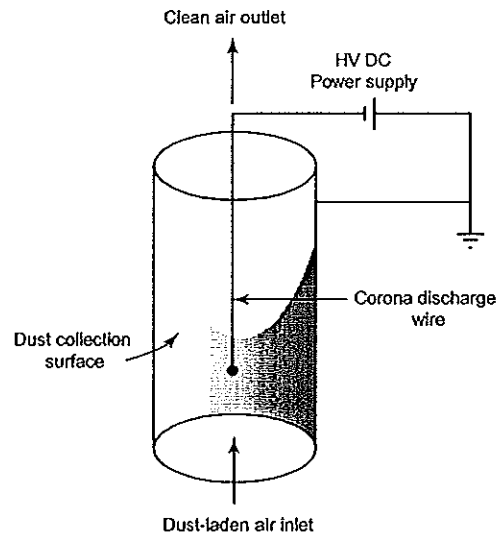
รูปที่ 2.7 แสดงการทำงานของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตแบบเส้นลวดและแผ่นราบ (wire-plate) โดยเมื่อแก๊สไหลผ่านแถวของแผ่นขั้วไฟฟ้า (electrode) ที่ขนานกัน ตรงกลางระหว่างแผ่นขั้วไฟฟ้าแต่ละชุดจะมีเส้นลวดที่มีแรงดันไฟฟ้าสูง ถ้าความต่างศักย์ระหว่างเส้นลวดถ่ายประจุ (discharging electrode) และแผ่นเก็บประจุขั้วบวก (collection electrode) มีค่าสูงพอ แก๊สที่อยู่ระหว่างขั้วไฟฟ้านั้นจะแตกตัวเป็นไอออน (ions) แล้วเคลื่อนที่ไปสู่แผ่นเก็บ การที่โมเลกุลของแก๊สเป็นจำนวนมากแตกตัวเป็นไอออนอยู่รอบๆ เส้นลวดนี้ ทำให้เกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่าโคโรนา (corona) ซึ่งจะเห็นเป็นสีน้ำเงินรอบๆเส้นลวด [Chang et al., 1991] ไอออนที่มีประจุลบจะเคลื่อนที่ไปสู่แผ่นเก็บ ขณะเคลื่อนที่ไอออนจะชนกับอนุภาคแล้วทำให้อนุภาคนั้นมีประจุลบ และอนุภาคจะเคลื่อนไปสู่แผ่นเก็บแล้วถูกยึดอยู่ที่แผ่นเก็บด้วยแรงไฟฟ้าสถิต และสุดท้ายจะถูกทำให้หลุดออกแล้วหล่นไปเก็บในถังเก็บ

สนามไฟฟ้าของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตถูกสร้างขึ้น โดยการใส่ไฟฟ้าแรงสูงแบบกระแสตรง (DC) ให้กับระบบขั้วไฟฟ้า [Schmatloch and Rauch, 2004] โดยระบบขั้วไฟฟ้าประกอบด้วยขั้วด้านหนึ่งที่มีความโค้งมาก เช่น เส้นลวด เป็นต้น เพื่อให้เกิดสนามไฟฟ้าที่ไม่สม่ำเสมออย่างมากและทำหน้าที่ปล่อยโคโรนา

ไฟฟ้า ส่วนขั้วไฟฟ้าอีกด้านหนึ่งอาจเป็นผนังทรงกระบอกที่มีแกนกลางร่วมกับขั้วโคโรนา หรืออาจเป็นแผ่นราบที่วางขนานกับแนววางเรียงของเส้นลวดโคโรนา โคโรนาที่เกิดขึ้นในย่านสนามไฟฟ้าแรงสูงจะเติมประจุให้กับอนุภาค เมื่ออนุภาคที่ได้รับประจุวิ่งเข้าไปในย่านสนามไฟฟ้าสำหรับเก็บอนุภาค แรงไฟฟ้าสถิตที่เกิดขึ้นจะชักนำอนุภาคให้วิ่งเข้าหาขั้วเก็บ ซึ่งเป็นขั้วตรงข้ามกับขั้วโคโรนา โดยอนุภาคบนขั้วเก็บจะเกาะติดขั้วเก็บด้วยแรงทางไฟฟ้า แรงกล และแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล

เครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตแบ่งตามวิธีการใส่ประจุได้เป็นสองแบบใหญ่ คือแบบขั้นเดียว (one-stage type) และแบบสองขั้น (two-stage type) [ชिकाโอะ คานาโอะ และวิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล, 2528] โดยเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตแบบขั้นเดียวนี้ การใส่ประจุให้อนุภาคและการเก็บอนุภาคที่ได้รับประจุจะกระทำในสนามไฟฟ้าขั้นเดียวกัน เครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตแบบนี้มีใช้กันอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมต่างๆ และขั้วโคโรนา (ขั้วเส้นลวด) มักจะเป็นขั้วลบเนื่องจากการใส่ประจุให้กับอนุภาคในภาคปฏิบัติจะได้ผลดีกว่ากรณีที่ขั้วโคโรนาเป็นขั้วบวก ส่วนเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตแบบสองขั้น การใส่ประจุให้อนุภาคและการเก็บอนุภาคที่ได้รับประจุจะกระทำในสนามไฟฟ้าที่แยกต่างหากกัน โดยทั่วไปเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตแบบนี้จะใช้เป็นเครื่องทำความสะอาดอากาศ (air cleaner) เพื่อทำความสะอาดอากาศที่มีอนุภาคละเอียดผสมอยู่ในความเข้มข้นต่ำ และมักใช้ขั้วบวกเป็นขั้วโคโรนาเพื่อป้องกันการเกิดแก๊สอันตราย เช่น โอโซน เป็นต้น

รูปที่ 2.8 แสดงการทำงานของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตแบบขั้นเดียว ซึ่งใช้เส้นลวดและท่อที่มีแนวกลางร่วมกันเป็นขั้วไฟฟ้า ไฟฟ้าแรงสูงที่ใส่ให้กับขั้วเส้นลวด (ขั้วโคโรนา) จะก่อให้เกิดสนามไฟฟ้าแรงสูงและโคโรนาขึ้นรอบเส้นลวด โคโรนาที่เกิดขึ้นนี้จะทำให้โมเลกุลของแก๊สรอบๆ แยกตัวเป็นไอออนบวกและลบจำนวนมาก ไอออนที่มีประจุตรงกันข้ามกับขั้วเส้นลวดจะถูกดึงดูดเข้าหาขั้วเส้นลวดและถูกทำให้เป็นกลางอย่างรวดเร็ว ส่วนไอออนที่มีประจุเหมือนกับขั้วเส้นลวดจะถูกขับไล่ให้วิ่งผ่านกระแสดักไปยังขั้วตรงข้าม ในขณะที่วิ่งผ่านไอออนเหล่านี้อาจชนกันกับอนุภาคทำให้อนุภาคเหล่านี้มีประจุไฟฟ้าสถิตขึ้น โดยสนามไฟฟ้าระหว่างขั้วทั้งสองจะสร้างแรงดึงดูดให้กับอนุภาคที่มีประจุ และชักนำอนุภาคให้วิ่งไปยังขั้วเก็บอนุภาค



รูปที่ 2.8 ลักษณะของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตแบบเส้นลวดและผนังทรงกระบอก (wire-cylinder)

การทำงานและการกำหนดประสิทธิภาพของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตเกิดจากปัจจัยหลัก คือปริมาณของประจุที่ใส่ให้แก่อนุภาค ความแรงของสนามไฟฟ้าที่ใช้เก็บอนุภาคและความเร็วในการเคลื่อนย้ายของอนุภาค [ซิกาโอะ คานาโอกะ และ วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล, 2528] ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

สนามไฟฟ้า (Electric field) มีบทบาทสำคัญในกระบวนการตกตะกอนเพราะสนามไฟฟ้ามีผลทั้งต่อการใส่ประจุให้กับอนุภาคและต่อแรงที่กระทำต่ออนุภาคที่ได้รับประจุแล้ว ซึ่งผลคูณระหว่างความแรงของสนามไฟฟ้าในย่านที่เกิดการใส่ประจุกับความแรงของสนามไฟฟ้าใกล้ขั้วเก็บจะเป็นตัวที่กำหนดประสิทธิภาพในการเก็บอนุภาค ในกรณีของระบบขั้วแบบเส้นลวดและผนังทรงกระบอกที่มีแนวกลางร่วมกัน ความแรงของสนามไฟฟ้าที่ระยะรัศมีใดๆ $E(r)$ สามารถคำนวณได้จาก

$$E(r) = \frac{V}{r \ln(b/a)} \quad (2.1)$$

โดยที่ a คือ รัศมีของเส้นลวดโคโรนา (เมตร) b คือ ระยะห่างระหว่างขั้วโคโรนาและขั้วเก็บ (เมตร) r คือ ระยะรัศมี (เมตร) V คือ แรงดันไฟฟ้าที่ใส่ (โวลต์) $E(r)$ คือ ความแรงของสนามไฟฟ้า (โวลต์ต่อเมตร)

การใส่ประจุให้อนุภาค เป็นเงื่อนไขพื้นฐานข้อหนึ่งของกระบวนการตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต โดยปกติถือว่าการใส่ประจุเกิดขึ้นในย่านระหว่างขอบนอกของแสงเรืองโคโรนากับขั้วเก็บ ซึ่งภายในย่านนี้อนุภาคจะถูกชนโดยไอออนจำนวนมากที่เกิดจากปรากฏการณ์โคโรนา ซึ่งการใส่ประจุให้กับอนุภาคเกิดขึ้น 3 วิธีคือ

1. การใส่ประจุโดยสนามไฟฟ้า (Field charging) เกิดจากอนุภาคที่รับประจุมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโตกว่า 0.5 ไมโครเมตร ทำให้เกิดการแปร โนมเฉพาะถิ่น (local deformation) ของสนามไฟฟ้าในลักษณะที่สนามไฟฟ้าวิ่งตัดกับอนุภาค เนื่องจากไอออนซึ่งเคลื่อนที่ตามเส้นสนามไฟฟ้าจะกระทบกับอนุภาคและถูกจับยึดด้วยแรงของประจุจินตภาพ (image charge force) เมื่อจำนวนไอออนที่กระทบกับอนุภาคได้เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนก่อให้เกิดการบิดเบี้ยวของเส้นสนามไฟฟ้าเดิม ทำให้เส้นสนามไฟฟ้าเหล่านี้ไม่วิ่งตัดกับอนุภาคอีกต่อไป สภาวะที่เกิดขึ้นนี้ทำให้ไอออนจะไม่กระทบกับอนุภาคอีก และจะไม่เกิดการเพิ่มของประจุบนอนุภาคอีก ซึ่งวิธีการใส่ประจุแบบนี้มีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า การใส่ประจุที่ขึ้นกับสนามไฟฟ้า (field dependent charging)

2. การใส่ประจุโดยการแพร่ (Diffusion charging) เป็นกลไกที่ใส่ประจุให้อนุภาค โดยการสัมผัสและการเกาะติดของไอออน ซึ่งเกิดจากการเคลื่อนที่อย่างไม่มีการเรียงตัวเชิงความร้อน (thermal random motion) โดยมักเกิดขึ้นกับอนุภาคที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่า 0.2 ไมโครเมตร ซึ่งการใส่ประจุโดยการแพร่นี้จะขึ้นกับความแรงของสนามไฟฟ้าด้วย เพราะการเคลื่อนไหวของไอออนย่อมขึ้นกับทั้งแรงเชิงไฟฟ้าสถิตและแรงของการแพร่

3. การใส่ประจุโดยทั้งสนามไฟฟ้าและการแพร่ มักเกิดขึ้นกับอนุภาคที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 0.2 ไมโครเมตร ถึง 0.5 ไมโครเมตร

ความเร็วในการเคลื่อนย้ายอนุภาค การเคลื่อนที่ของอนุภาคที่มีประจุในสนามไฟฟ้าจะถูกกำหนด โดยแรงทางไฟฟ้าสถิตและแรงทางแรงแโรไดนามิกเป็นหลัก ซึ่งแรงทางไฟฟ้าสถิตสามารถคำนวณได้จาก

$$F_e = qE \quad (2.2)$$

โดยที่ F_e คือ แรงเนื่องจากสนามไฟฟ้า (นิวตัน) q คือ ประจุของอนุภาค (คูลอมบ์) E คือ สนามไฟฟ้า (โวลต์ต่อเมตร)

ส่วนแรงทางแรงแโรไดนามิกจะเป็นแรงเสียดทานจุด (drag force) ซึ่งสามารถคำนวณได้จาก

$$F_a = 6\pi\mu w a_p \quad (2.3)$$

โดยที่ F_a คือ แรงทางแรงแโรไดนามิก (นิวตัน) μ คือ ความหนืดของแก๊ส (กิโกลกรัมต่อเมตรวินาที) w คือ ความเร็วในการเคลื่อนย้าย (ความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างแก๊สและอนุภาค; เมตรต่อวินาที) a_p คือ รัศมีของอนุภาค (เมตร)

ซึ่งแรงทางไฟฟ้าจะเร่งให้อนุภาควิ่งเร็วขึ้นจนถึงความเร็วสูงสุดค่าหนึ่ง โดยที่ความเร็วนี้ แรงเนื่องจากสนามไฟฟ้า (F_e) จะเท่ากับแรงทางแรงแโรไดนามิก (F_a) ดังนั้นความเร็วสูงสุด (w) ที่ได้ คือ

$$w = \frac{qE}{6\pi\mu a_p} \quad (2.4)$$

โดยทั่วไป w ถูกเรียกว่าความเร็วในการเคลื่อนย้าย (migration velocity) ของอนุภาค นั่นคือความเร็วสัมพัทธ์สูงสุดของอนุภาคที่มีประจุ q เมื่อเทียบกับกระแสแก๊ส

ประสิทธิภาพของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต สามารถหาได้จากสมการของ Deutsch และ Anderson โดย Anderson ได้เสนอสมการสำหรับหาประสิทธิภาพของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต ดังนี้

$$\eta = 1 - \exp(-K_a t) \quad (2.5)$$

โดยที่ η คือ ประสิทธิภาพการเก็บ K_a คือ ค่าคงที่ของสมการ Andersen (วินาที⁻¹)
 t คือ เวลาที่แก๊สอยู่ในเครื่องตกตะกอน (วินาที)

โดยค่าคงที่ K_a จะเป็นค่าเฉพาะของเครื่องตกตะกอนและเงื่อนไขในการปฏิบัติการที่ใช้ ซึ่งต่อมา Deutsch ได้ใช้สมมุติฐานคือ ความเข้มข้นของอนุภาคในแก๊สมีค่าสม่ำเสมอตลอดพื้นที่หน้าตัดของเครื่องตกตะกอน อนุภาคจึงได้รับประจุเต็มที่ในทันทีที่วิ่งเข้าเครื่องตกตะกอนและอนุภาคที่เก็บได้ไม่มีการหลุดลอยหนีใหม่ ดังนั้นสมการของ Deutsch-Anderson คือ

$$\eta = 1 - \exp\left(-\frac{Aw}{Q}\right) \quad (2.6)$$

เมื่อ A คือ พื้นที่ผิวของขั้วเก็บ (ตารางเมตร) Q คือ อัตราการไหลปริมาตรของแก๊สที่เข้าเครื่องตกตะกอน w คือ ความเร็วของการเคลื่อนย้ายอนุภาค (เมตรต่อวินาที) ซึ่งสมการของ Deutsch นี้ได้รับการประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวางในการออกแบบ และการวิเคราะห์เครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต

ประสิทธิภาพในการเก็บของเครื่องตกตะกอนอนุภาคไฟฟ้าสถิตนี้ขึ้นอยู่กับรูปร่างและขนาดของเครื่อง อัตราการไหล ขนาดของอนุภาค และคุณสมบัติของแก๊ส [Chang and Bai, 2000 และ Park and Chun, 2002]

ข้อดีของเครื่องดักอนุภาคด้วยไฟฟ้าสถิตมีดังนี้

1. มีประสิทธิภาพในการเก็บสูง
2. สามารถประยุกต์ใช้กับทั้งกระบวนการแบบเปียกและแห้ง
3. ความดันสูญเสียต่ำกว่าและใช้ไฟฟ้าน้อยกว่าอุปกรณ์อย่างอื่น
4. สามารถบำบัดแก๊สที่มีอุณหภูมิสูงได้

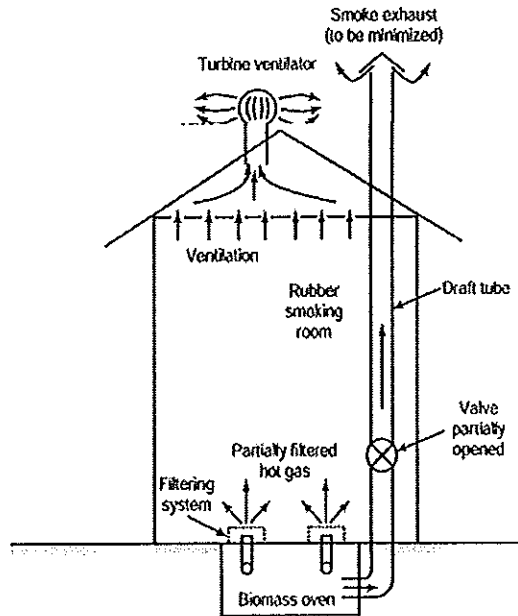
ข้อเสียของเครื่องดักอนุภาคด้วยไฟฟ้าสถิต คือ

1. ค่าใช้จ่ายเริ่มแรกสูง
2. ไม่เหมาะกับอนุภาคที่มีความต้านทานไฟฟ้าสูง
3. ระบบต้องใช้ไฟฟ้าแรงสูง จำเป็นต้องมีมาตรการด้านความปลอดภัยที่ดีในการ

บำรุงรักษาเนื่องจากเป็นระบบที่ค่อนข้างสลับซับซ้อน ต้องใช้วิศวกรหรือผู้ที่อบรมมาเป็นพิเศษ

2.6 การศึกษาหาแนวโน้มการกระจายอุณหภูมิของแก๊สร้อนภายในห้องรมเปล่า โดยใช้วิธีการคำนวณเชิงพลศาสตร์ของไหล

การปรับปรุงห้องรมยางโดยการให้แก๊สร้อนไหลผ่านแผ่นยางโดยตรงนี้จะทำตามแบบจำลองที่ศึกษาได้จากแนวโน้มการกระจายอุณหภูมิของแก๊สร้อนภายในห้องรมเปล่ารุ่นปี 2537 ด้วยวิธีการคำนวณเชิงพลศาสตร์ของไหล เพื่อศึกษาว่าวิธีการให้แก๊สร้อนไหลผ่านแผ่นยาง โดยตรงผ่านท่อขนาด 4 นิ้ว ที่อยู่ตรงพื้นของห้องรมทั้งหมดและทำการปิดท่อดราฟท์ขนาด 8 นิ้ว ที่ใช้ในการปล่อยแก๊สร้อนทิ้งไป ดังรูปที่ 2.9 นั้นสามารถลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงไม้ฟืนและระยะเวลาในการรมยางของสหกรณ์สวนยางได้หรือไม่ โดยในการปรับปรุงนี้จะพยายามรักษาส่วนประกอบต่างๆ ของห้องรมให้เหมือนเดิมมากที่สุดและให้มีการลงทุนที่น้อยที่สุด เพื่อให้เหมาะกับกลุ่มเป้าหมาย คือสหกรณ์สวนยางที่มีต้นทุนจำกัด



รูปที่ 2.9 แผนผังการทำงานของห้องรมยางของสหกรณ์กองทุนสวนยาง
ที่จะปรับปรุง

วิธีการคำนวณเชิงพลศาสตร์ของไหลเป็นวิธีหนึ่ง ซึ่งถูกนำไปใช้ในการจำลองแบบ และจำลองสถานการณ์ต่างๆกันอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะการศึกษาการกระจาย อุณหภูมิภายในแบบจำลอง [Negro and Franco, 2001] ห้องหรืออาคาร [Choudhary and Malkawi, 2001] หรือการจำลองภายในท่อสำหรับการอบผลิตภัณฑ์ในโรงงาน อุตสาหกรรมที่ใช้หม้อไอน้ำในการเผาไหม้ [Maref, et al., 2003] รวมไปถึงการจำลอง แบบเพื่อหาสภาวะนำสลายภายในห้องจากตำแหน่งการติดตั้งแอร์และเฟอร์นิเจอร์ที่ เหมาะสม [Bojic, et al., 2002] ซึ่งจากการศึกษาพบว่า ผลการกระจายอุณหภูมิที่ได้จาก วิธีการคำนวณเชิงพลศาสตร์ของไหล มีค่าใกล้เคียงกับการทดสอบจริงมาก [Choudhary and Malkawi, 2001 และ Bartak, et al., 2001] ได้ศึกษาผลของการกำหนดความหนาแน่นของระยະช่อง (Grid) จากวิธีการคำนวณเชิงพลศาสตร์ของไหล พบว่า ความหนาแน่นของผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณจะมีความถูกต้องสูงขึ้น เมื่อความหนาแน่นของ Grid มีค่าเพิ่มขึ้น และ [Li, et al., 1999] พบว่า อิทธิพลของทางออกของอากาศภายใน ห้องจะมีผลต่อลักษณะของรูปแบบการไหลมากกว่าทางเข้าของอากาศ

วิธีการคำนวณเชิงพลศาสตร์ของไหลเป็นวิธีที่ใช้ในการคำนวณหาการไหลของของไหล โดยการแก้ระบบสมการเชิงอนุพันธ์ย่อย (partial differential equations) ด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลข ซึ่งมีสมการที่เกี่ยวข้อง ดังนี้ [ปราโมทย์ เดชะอำไพ, 2545 และ Versteeg and Malalasekera, 1995]

2.6.1 สมการต่อเนื่อง (Continuity Equation) หรือกฎทรงมวลนั้นสามารถเขียนได้ดังรูป

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho \mathbf{u}) = 0 \quad (2.7)$$

โดยที่

$$\text{div}(\mathbf{u}) = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \quad (2.8)$$

ในที่นี้ \mathbf{u} คือ เวกเตอร์ความเร็ว u คือ ความเร็วในทิศทาง x , v คือ ความเร็วในทิศทาง y , w คือ ความเร็วในทิศทาง z และ ρ คือ ความหนาแน่นของของไหล

2.6.2 สมการนาเวียร์-สโตกส์ (Navier–Stokes Equations) เป็นสมการที่ใช้ศึกษาความเร็วของของไหลชนิดอัดตัวไม่ได้และเป็นการไหลหนืด สามารถเขียนได้ในรูป

ทิศทาง x

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \text{div}(\rho u \mathbf{u}) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \text{div}(\mu \text{ grad } u) + S_{Mx} \quad (2.9)$$

ทิศทาง y

$$\frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \text{div}(\rho v \mathbf{u}) = -\frac{\partial p}{\partial y} + \text{div}(\mu \text{ grad } v) + S_{My} \quad (2.10)$$

ทิศทาง z

$$\frac{\partial(\rho w)}{\partial t} + \text{div}(\rho w \mathbf{u}) = -\frac{\partial p}{\partial z} + \text{div}(\mu \text{ grad } w) + S_{Mz} \quad (2.11)$$

สมการนี้จะใช้ร่วมกับสมการต่อเนื่อง เพื่อหาค่าความดัน (p) และความเร็ว (u, v, w)

2.6.3 สมการพลังงาน (Energy Equation) สามารถเขียนได้ในรูป

$$\frac{\partial(\rho i)}{\partial t} + \text{div}(\rho i \mathbf{u}) = -p \text{ div } \mathbf{u} + \text{div}(k \text{ grad } T) + \Phi + S_i \quad (2.12)$$

โดยที่

$$p = p(\rho, T) \quad (2.13)$$

$$i = i(\rho, T) \quad (2.14)$$

$$\begin{aligned} \Phi = \mu \{ & 2\left[\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial z}\right)^2\right] + \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x}\right)^2 \\ & + \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y}\right)^2 \} + \lambda (\text{div } \mathbf{u})^2 \end{aligned} \quad (2.15)$$

ในที่นี้ k คือ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของของไหล μ คือ ค่าความหนืดของของไหล λ คือ The second viscosity S_M คือ momentum source Φ คือ dissipation function

โดยในการใช้งานจริงค่าของ λ จะมีอิทธิพลน้อยมาก ดังนั้นสำหรับการพิจารณาในส่วนของแก๊สจึงสามารถประมาณให้ $\lambda = -\frac{2}{3}\mu$ ได้ (Schlichting, 1979)

สมการพลังงานนี้ต้องใช้ร่วมกับสมการนาเวียร์-สโตกส์และสมการต่อเนื่อง เพื่อหาค่าของอุณหภูมิซึ่งเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงพลังงานของปริมาตรควบคุม (control volume)

2.6.4 สมการไฟไนต์โวลุ่ม (Finite Volume Equations)

สมการไฟไนต์โวลุ่มเป็นสมการที่ใช้ในระเบียบวิธีเชิงตัวเลขวิธีหนึ่ง ในการหาผลต่างสี่เหลี่ยมใช้ในการแก้สมการเชิงอนุพันธ์ย่อย (partial differential equations) สมการเชิงอนุพันธ์ย่อยทั้ง 3 ที่กล่าวมาแล้วสามารถเขียนในรูปของสมการอินทิกรัล (integral equations) แล้วแปลงเป็นสมการไฟไนต์โวลุ่ม โดยพิจารณากรณีตัวอย่างของการไหลใน 1 มิติได้ ดังนี้ [Flovent V3.2, 2001 และ Flovent V4.2, 2003]

สมการต่อเนื่องในทิศทาง x คือ

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} = 0 \quad (2.16)$$

สมการนาเวียร์-สโตกส์ในทิศทาง x คือ

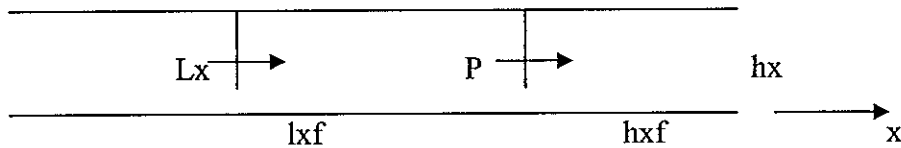
$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u^2)}{\partial x} = -\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu \frac{\partial u}{\partial x} \right) + S_M \quad (2.17)$$

สมการอุณหภูมิในทิศทาง x คือ

$$\frac{\partial(\rho C_p T)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u C_p T)}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\lambda \partial T}{\partial x} \right) = S \quad (2.18)$$

โดยที่ C_p คือ ค่าความจุความร้อนที่ความดันคงที่ และ λ คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (thermal conductivity)

ตัวอย่างของการไหลใน 1 มิติ สมการไฟไนต์โวลุ่มพิจารณาปริมาตรของเซลล์ ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 เซลล์ที่ศึกษาสำหรับไฟไนต์โวลุ่ม 1 มิติ

ปริมาตรของเซลล์คือ $V_p = \delta x \delta y \delta z$ ส่วนพื้นที่หน้าตัดในทิศทาง x คือ $A_x = \delta y \delta z$

พิจารณาสมการต่อเนื่องจากสมการ (2.16) จะได้

$$\iiint_{z,y,x} \frac{\partial \rho}{\partial t} dx dy dz = \left(\frac{\rho_p - \rho_t}{\partial t} \right) \delta x \delta y \delta z = \left(\frac{\rho_p - \rho_t}{\partial t} \right) V_p \quad (2.19)$$

$$\begin{aligned} \iiint_{z,y,x} \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} dx dy dz &= \int_z \int_y [(\rho u)_{hxf} - (\rho u)_{lxf}] dy dz \\ &= (\rho u)_{hxf} \delta y \delta z - (\rho u)_{lxf} \delta y \delta z \\ &= (\rho u)_{hxf} A_x - (\rho u)_{lxf} A_x \end{aligned} \quad (2.20)$$

แทนค่าสมการ(2.19) และ (2.20) ลงในสมการ (2.16) จะได้สมการต่อเนื่องดังนี้คือ

$$\left(\frac{\rho_p - \rho_t}{\partial t} \right) V_p + (\rho u)_{hxf} A_x - (\rho u)_{lxf} A_x = 0 \quad (2.21)$$

สำหรับกรณีสภาวะคงตัวจะได้ผลต่างของมวลไหลออกและมวลไหลเข้าเท่ากับศูนย์

สำหรับสมการอุณหภูมิสามารถเขียนได้ คือ

$$\iiint_{z y x} S dx dy dz = S_p V_p \quad (2.22)$$

สมการ (2.18) สามารถเขียนให้อยู่ในรูปสมการ (2.22) ได้ดังนี้คือ

$$\begin{aligned} T_p \left[\frac{\rho_p C_p V_p}{\delta t} + \rho_p C_p u_{hf} A_x + \frac{\lambda A_x}{\delta x} + \frac{\lambda A_x}{\delta x} \right] \\ - \left[\frac{\rho_p C_p V_p T_i}{\delta t} + \left(\rho_{ik} C_p u_{kf} A_x + \frac{\lambda A_x}{\delta x} \right) T_{ik} + \frac{\lambda A_x}{\delta x} T_{hx} \right] = S \end{aligned} \quad (2.23)$$

สมการ (2.21) และ (2.23) เป็นสมการไฟไนต์โวลุ่มที่ใช้ในการคำนวณผลของโปรแกรม Flovent เพื่อใช้หาค่าอุณหภูมิและความเร็วของของไหล โดยในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาเฉพาะแนวโน้มการกระจายของอุณหภูมิภายในห้องรมเปล่าเท่านั้น

2.7 บทสรุป

ในบทที่ 2 นี้ได้เสนอทฤษฎี สมการและกระบวนการที่ศึกษา ซึ่งประกอบด้วย ทฤษฎีการกระจายของขนาดอนุภาคเขม่าควันจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงไม้พืน วิธีการดักจับอนุภาคเขม่าควันทั้งแบบการกรองและการตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต การศึกษาหาแนวโน้มการกระจายอุณหภูมิของแก๊สร้อนภายในห้องรมเปล่าด้วยวิธีการคำนวณเชิงพลศาสตร์ของไหลโปรแกรม FLOVENT เพื่อนำไปปรับปรุงห้องรมยางโดยการกรองแก๊สร้อนก่อนให้ไหลผ่านแผ่นยางโดยตรง เพื่อลดต้นทุนการผลิตยางแผ่นรมควันของสหกรณ์สวนยาง ซึ่งจะกล่าวในบทต่อไป

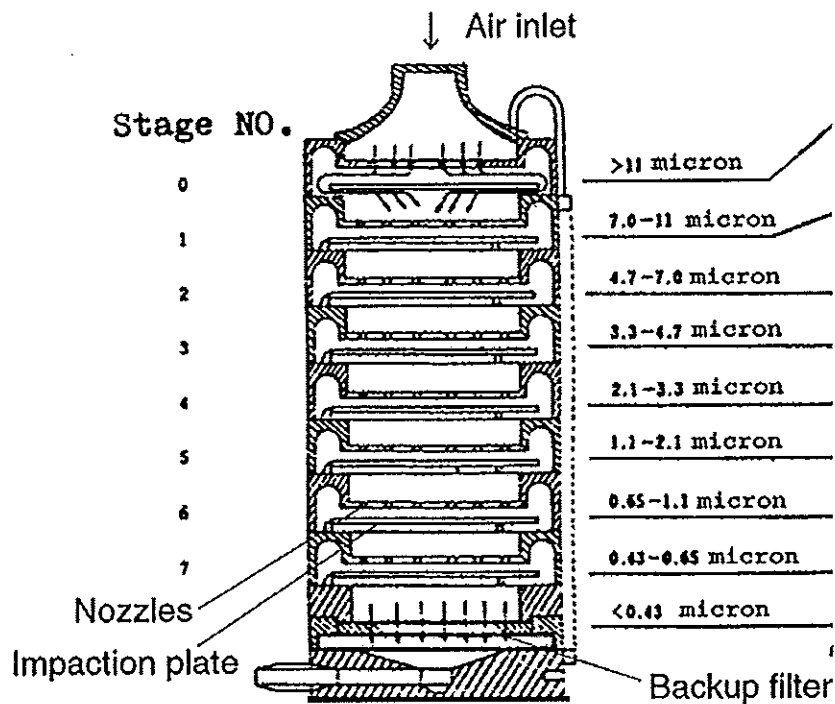
บทที่ 3

การกระจายขนาดของอนุภาคเขม่าควัน

เนื่องจากงานวิทยานิพนธ์นี้ได้เน้นการกำจัดหรือลดปริมาณอนุภาคเขม่าควันจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงไม้ฟืนก่อนให้ไหลผ่านแผ่นยาง โดยตรงทั้งหมด เพื่อรักษาปริมาณและคุณภาพของยางแผ่นรมควันที่ผลิตได้ให้คงเดิม (ยางแผ่นรมควันชั้น 3) ดังนั้นจึงจำเป็นต้องศึกษาคุณลักษณะของอนุภาคเขม่าควันเหล่านี้ก่อน คุณลักษณะที่สำคัญและจะศึกษาในที่นี้ คือขนาดของอนุภาคและการกระจาย ซึ่งจะมีผลต่อการเลือกใช้อุปกรณ์ดักจับที่เหมาะสม โดยในบทนี้จะกล่าวถึงอุปกรณ์ ขั้นตอนกระบวนการวิจัย ผลการทดสอบและการวิจารณ์ผลของการศึกษาการกระจายขนาดของอนุภาคเขม่าควัน (size distribution) ที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟืนไม้ยางพารา เพื่อนำผลที่ได้ไปใช้ในการศึกษา เลือก ออกแบบและทดสอบตัวดักจับอนุภาคต่อไป

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ศึกษา

การศึกษากการกระจายของอนุภาคเขม่าควันนั้น ทำให้สามารถเลือกวิธีการดักจับอนุภาคเขม่าควันได้อย่างเหมาะสม ซึ่งในการทดลองนี้จะใช้ Andersen air sampler (Dylec, Model AN-200) ซึ่งใช้หลักการดักจับอนุภาคแบบตกกระทบ (impaction) กล่าวคือเมื่อกระแสแก๊สเกิดการเปลี่ยนทิศทางการไหลอย่างกะทันหัน อนุภาคที่มีความเหนียวมากจะไม่สามารถเปลี่ยนเส้นโคจรตามเส้นทางการไหลของแก๊สได้ทัน จึงถูกดักเก็บไว้ เครื่องมือนี้สามารถแยกอนุภาคในช่วง 0.43 ถึง 11 ไมโครเมตร ช่วงของการกระจายของขนาดเชิงแอโรไดนามิกในแต่ละชั้นของเครื่อง Andersen air sampler ที่ทำการทดสอบถูกแบ่งเป็นช่วง cut off ได้ถึง 8 ขนาด ซึ่งประกอบด้วย cut off ที่ขนาด 11.0 ไมโครเมตร, 7.0 ไมโครเมตร, 4.7 ไมโครเมตร, 3.3 ไมโครเมตร, 2.1 ไมโครเมตร, 1.1 ไมโครเมตร, 0.65 ไมโครเมตร และ 0.43 ไมโครเมตรตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ช่วงการกระจายของขนาดเชิงแอโรไดนามิกของ Andersen air sampler

โดย Andersen air sampler 1 ชุด ประกอบด้วยชั้นดักจับอนุภาคจำนวน 8 ชั้น เครื่องวัดอัตราการไหล (Flow meter) และปั๊มสุญญากาศ (Linear motor Vacuum pump, Model VP 0935) ซึ่งในการหาขนาดเชิงแอโรไดนามิกในแต่ละชั้น (Cut size diameter) ของเครื่อง Andersen air sampler สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$dp_{50} = \sqrt{\frac{18\mu\psi_{50}N\pi D_j^3 60}{4C_c Q \rho_p}} \quad (3.1)$$

เมื่อ Q คือ อัตราการไหลสำหรับเครื่องนี้ออกแบบไว้ที่ 28.3 ลิตรต่อนาที ρ_p คือ ความหนาแน่นของอนุภาคมาตรฐาน (1 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร) μ คือ ความหนืดของอากาศ (1.84×10^{-4} กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร-นาที) ψ คือ ตัวประกอบอิมแพคชัน (Impaction parameter) จากการออกแบบ โดยที่ $\psi_{50} = 0.14$ เมื่อประสิทธิภาพอิมแพคชัน

มีค่า 50% N คือ จำนวนของหัวฉีด C_c คือ แฟกเตอร์ปรับแก้ของคันทิงแฮม (Cunningham correction factor = $1.00+0.16 \times 10^{-4}$) D_j คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ jet (เซนติเมตร) dp_{50} คือ ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคทางแอโรไดนามิกที่ประสิทธิภาพ 50%

ในการใช้ Andersen air sampler เพื่อศึกษาการกระจายของขนาดอนุภาคเขม่าควันแล้ว ได้ใช้เครื่องชั่งน้ำหนักแบบละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่งของกรัม (Denver Instrument, TC-254) เพื่อหาน้ำหนักของอนุภาคเขม่าควันที่จับได้ในแต่ละขนาด

3.2 ขั้นตอนการทดลอง

ขั้นตอนในการดำเนินงานสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของการหาขนาดการกระจายของอนุภาคเขม่าควันและการหาค่าความชื้นของไม้พืนที่ใช้ทดสอบ

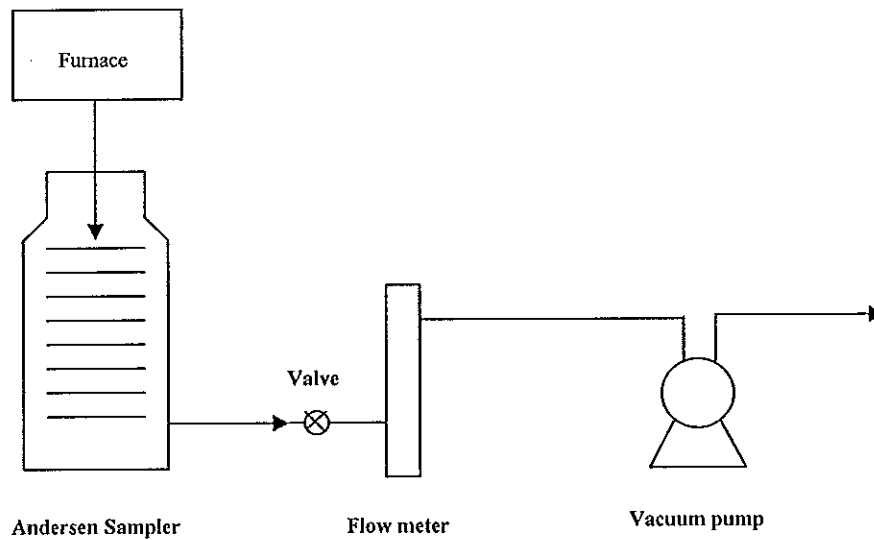
1. ส่วนของการหาขนาดการกระจายของอนุภาคเขม่าควัน สามารถแบ่งขั้นตอนในการดำเนินงานออกเป็น 4 ขั้นตอน คือ

1.1 เตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์ในการเก็บตัวอย่าง

- ล้างทำความสะอาดแผ่นกระจก (Plate) และ Andersen air sampler
- อบแผ่นกระจกที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมงและชั่งน้ำหนักของ Plate เปล่าก่อนนำไปใช้งาน (m_1) ด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักแบบละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่งของกรัม: Denver Instrument TC-254
- เก็บ Plate ที่ชั่งน้ำหนักแล้วไว้ในกล่องปิดสนิทและมีวัสดุดูดความชื้น (silica gel) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

1.2 ทำการเก็บตัวอย่างในภาคสนาม

- ทำการติดตั้งเครื่องมือและอุปกรณ์ดังรูป 3.2



รูปที่ 3.2 แผนภาพการทดลองเก็บตัวอย่างอนุภาค โดยใช้ Andersen air sampler

- ตรวจสอบการติดตั้งเครื่องมือและอุปกรณ์ หลังจากนั้นทำการเปิดปั๊มสุญญากาศ โดยตั้งอัตราการไหลที่ 28.3 ลิตรต่อนาที และจับเวลาที่เริ่มเดินเครื่อง
- เมื่อครบ 10 นาทีทำการปิดปั๊มสุญญากาศและนำ Plate ออกจาก Andersen air sampler และเก็บ Plate ในกล่องปิดสนิทที่มีวัสดุดูดความชื้น (silica gel) เพื่อดูดความชื้นออกจาก Plate

1.3 นำผลที่ได้มาหาการกระจายของอนุภาคเขม่าควัน

- ชั่งน้ำหนัก Plate พร้อมอนุภาคเขม่าควันหลังจากการใช้งาน (m_f) ด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักแบบละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่งของกรีมเครื่องเดิม
- หาน้ำหนักของอนุภาคเขม่าควันแต่ละชั้น (Collected weight) จาก

$$M_j = (m_f - m_i) \quad (3.2)$$

- หาหน้าหนักอนุภาคเขม่าควันรวม

$$M_{total} = \sum_{n=1}^n M_j \quad (3.3)$$

เมื่อ M_j คือ มวลของอนุภาคที่ชั้น j M_{total} คือ มวลของอนุภาคทั้งหมด

- หาสัดส่วนของน้ำหนักอนุภาคในแต่ละชั้น (Mass fraction) จาก

$$Mass \text{ fraction} = \frac{M_j}{M_{total}} \quad (3.4)$$

- หาความเข้มข้นเชิงมวลโดยรวม (Total mass concentration) จาก

$$Total \text{ mass concentration} = \frac{M_{total}}{V_{total}} \quad (3.5)$$

เมื่อ V_{total} คือ ปริมาตรของแก๊สทั้งหมดที่ไหลผ่าน Andersen sampler ตลอดการเก็บตัวอย่าง ซึ่งหาได้จาก

$$V_{total} = Qt \quad (3.6)$$

เมื่อ Q คือ อัตราการไหล (28.3 ลิตรต่อนาที) t คือ ระยะเวลาทั้งหมดตลอดการเก็บตัวอย่าง

ส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางอากาศพลศาสตร์มัธยฐานเชิงมวล (Mass Median Aerodynamic Diameter, MMAD) สามารถหาได้โดยการนำข้อมูลที่วัดได้ไปวิเคราะห์โดยใช้กราฟ Log-Probability ที่มีค่าแกนของความถี่สะสมเป็นมาตราส่วน Probability และค่าแกนของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาค (diameter) เป็นหน่วยของ

ลอการิทึม (Logarithm) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่สะสมของการกระจายของขนาดอนุภาคในแต่ละชั้นกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาค จะมีลักษณะเป็นเส้นตรง [Hinds, 1999] ดังรูปที่ 3.3 ซึ่งสามารถนำไปหาค่าเฉลี่ยโดยมวลของอนุภาคส่วนใหญ่ได้โดย

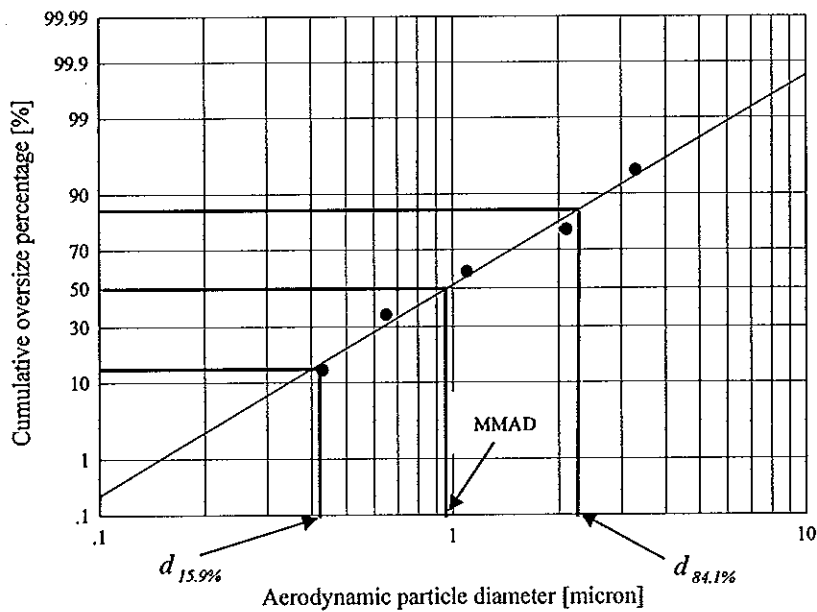
$$MMAD = d_{50\%} \quad (3.7)$$

เมื่อ $d_{50\%}$ คือ เส้นผ่านศูนย์กลางอนุภาคที่ความถี่สะสม 50%

สำหรับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเชิงเรขาคณิต (Geometric Standard Deviation, GSD) คืออัตราส่วนระหว่างขนาดของอนุภาค ซึ่งนับสะสมที่ 84.1% กับค่าขนาดอนุภาค ซึ่งนับสะสมที่ 50% หรืออัตราส่วนระหว่างขนาดสะสมที่ 50% กับขนาดสะสมที่ 15.9% [Hinds, 1999] ซึ่งสามารถเขียนได้เป็น

$$GSD = \frac{d_{84.1\%}}{d_{50\%}} = \frac{d_{50\%}}{d_{15.9\%}} = \left[\frac{d_{84.1\%}}{d_{15.9\%}} \right]^{1/2} \quad (3.8)$$

โดยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (GSD) ของอัตราส่วนทั้งสองขนาดจะไม่มีหน่วยและต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 1.0 เสมอ



รูปที่ 3.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่สะสมกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอนุภาค

1.4 นำผลที่ได้มาวิเคราะห์และสรุปผล

2. ส่วนของการหาค่าความชื้นของไม้พินที่ใช้ทดสอบ เนื่องจากจำนวนของอนุภาคเขม่าควันที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงมีค่าขึ้นอยู่กับปริมาณค่าความชื้นของไม้พินที่ทำการทดสอบ ดังนั้นหลังจากการทดสอบหาขนาดการกระจายของอนุภาคเขม่าควันในแต่ละครั้ง จำเป็นต้องหาปริมาณค่าความชื้นของไม้พินด้วย ซึ่งในการหาปริมาณค่าความชื้นของไม้พินสามารถแบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอน คือ

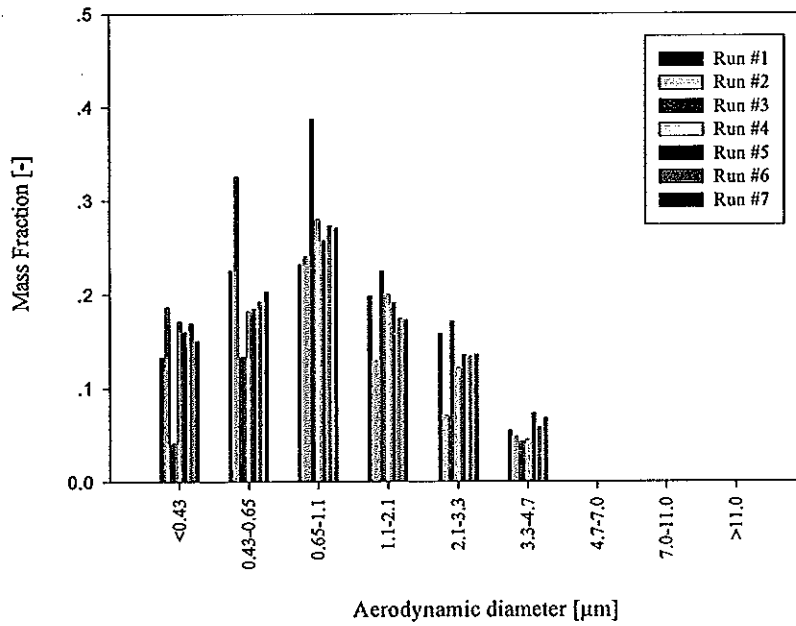
2.1 สุ่มตัวอย่างเลือกไม้พินที่ทำการทดสอบเป็นแผ่นบางๆ จำนวน 5 ชิ้น ก่อนนำไปชั่งน้ำหนักเริ่มต้น

2.2 อบไม้พินด้วยเตาอบไฟฟ้าที่ 105 องศาเซลเซียส และชั่งน้ำหนักทุกๆ 3-6 ชั่วโมง จนกว่าน้ำหนักไม้พินจะคงที่

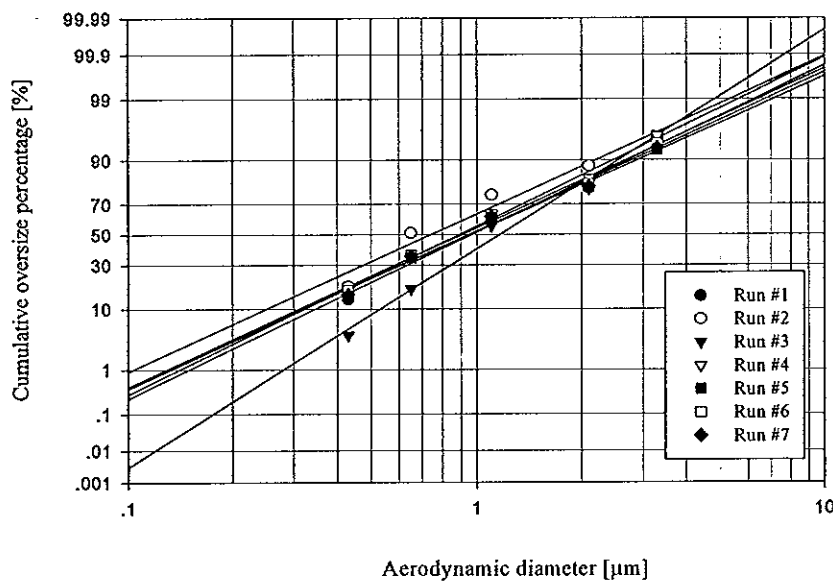
2.3 นำผลที่ได้มาวิเคราะห์หาค่าความชื้นและสรุปผล

3.3 ผลการศึกษาการกระจายขนาดของอนุภาคเขม่าควัน

ผลการศึกษาการกระจายขนาดของอนุภาคเขม่าควันนั้นสามารถนำไปใช้ศึกษาและทดสอบกระบวนการดักจับอนุภาคเขม่าควันที่ได้คาดไว้ว่า เป็นสาเหตุที่ทำให้คุณภาพผลผลิตของยางแผ่นรมควันลดลงต่ำกว่าเดิม (ยางแผ่นรมควันชั้น 3) หากจะให้แก่สร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงไม้ฟืนไหลผ่านแผ่นยางโดยตรง เพื่อลดการใช้เชื้อเพลิงไม้ฟืนและระยะเวลาการรมควัน ซึ่งจากการทดสอบพบว่า การกระจายของอนุภาคเขม่าควันจะมีอยู่ 1 โหมด (1 mode) เท่านั้นทุกครั้งที่ทำการเก็บตัวอย่าง โดยช่วงขนาดอนุภาคเขม่าควันมีตั้งแต่ไม่น้อยกว่า 0.43 ไมโครเมตร ถึง 4.7 ไมโครเมตร ดังรูปที่ 3.4 และในภาคผนวก ก ส่วนรูปที่ 3.5 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์ความถี่สะสมของอนุภาคแต่ละช่วง (Cumulative oversize percentage) กับค่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคแอโรไดนามิก (Aerodynamic diameter) ซึ่งใช้ในการหาค่าเส้นผ่านศูนย์กลางอากาศพลศาสตร์มัธยฐานเชิงมวล (Mass Median Aerodynamic diameter, MMAD) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเชิงเรขาคณิต (Geometric Standard Deviation, GSD) ที่ได้แสดงสมการและวิธีการหาไว้ข้างต้น พบว่าอนุภาคของเขม่าควันที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟืนไม้ยางพารามีค่าเส้นผ่านศูนย์กลางอากาศพลศาสตร์มัธยฐานเชิงมวลเฉลี่ย 0.95 ± 0.25 ไมโครเมตร และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเชิงเรขาคณิตเฉลี่ย 2.51 ± 0.51 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 3.1



รูปที่ 3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัดส่วนโดยมวลกับค่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคทางแอโรไดนามิกส์



รูปที่ 3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์ความถี่สะสมของอนุภาคแต่ละช่วงกับค่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคทางแอโรไดนามิกส์

ตารางที่ 3.1 ผลการศึกษาการกระจายขนาดของอนุภาคเขม่าควัน

ครั้งที่	MMAD (ไมโครเมตร)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเชิงเรขาคณิต (GSD)
1	1.00	2.50
2	0.70	2.85
3	1.20	2.00
4	0.90	2.44
5	1.00	2.50
6	0.90	2.56
7	0.95	2.74
เฉลี่ย	0.95	2.51

จากการสะสมของขนาดอนุภาค (Particle cumulative oversize) เขม่าควัน พบว่าขนาดของอนุภาคเขม่าควันส่วนใหญ่ (MMAD) ที่ได้จากการทดสอบทั้งหมดมีขนาดตั้งแต่ 0.7 ไมโครเมตร ถึง 1.2 ไมโครเมตร และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเชิงเรขาคณิต (GSD) ตั้งแต่ 2.00 ถึง 2.86 ในตารางที่ 3.1 และรูปที่ 3.5 ข้างต้น

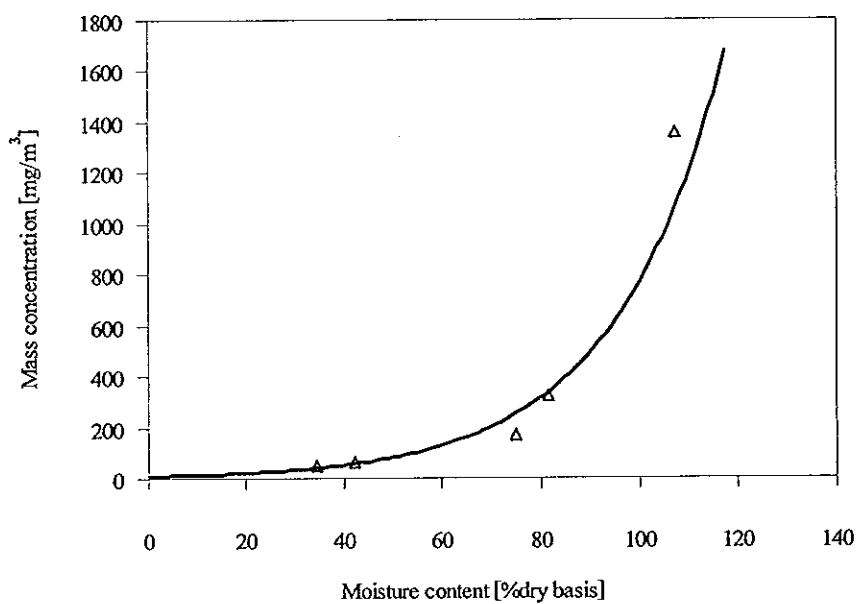
3.4 ผลของความเข้มข้นเชิงมวลและค่าความชื้นของไม้ฟืนที่มีต่ออนุภาคเขม่าควัน

ปริมาณความเข้มข้นเชิงมวลของอนุภาคเขม่าควันที่เกิดขึ้นในการรมยางแต่ละครั้งขึ้นอยู่กับค่าความชื้นของไม้ฟืน ซึ่งจากการทดสอบพบว่า เมื่อปริมาณความเข้มข้นเชิงมวลของอนุภาคเขม่าควันเพิ่มขึ้น ปริมาณค่าความชื้นของไม้ฟืนได้เพิ่มขึ้นด้วย ดังแสดงในตารางที่ 3.2 และรูปที่ 3.6

ตารางที่ 3.2 ผลการศึกษาความเข้มข้นเชิงมวลที่มีต่อค่าความชื้น ไม้พื้น

ครั้งที่	ความชื้น ไม้พื้นฐานแห้ง (%)	ความเข้มข้นเชิงมวล (mg/m^3)
1	-	271
2	-	279
3	107.5	1358
4	81.5	323
5	75.2	170
6	42.1	61
7	34.5	47

จากตารางที่ 3.2 พบว่า ค่าความชื้น ไม้พื้นในแต่ละครั้งแตกต่างกันมาก เนื่องจากในการเก็บพื้น ไม้ยางพาราของทางสหกรณ์สวนยาง ได้ตั้งทิ้งไว้ในที่โล่งแจ้ง และในช่วงการทดสอบอยู่ในฤดูฝน โดยจากตารางที่ 3.2 การทดสอบครั้งที่ 1 และ 2 ไม่ได้ทำการวัดค่าความชื้น ไม้พื้น ส่วนการทดสอบครั้งที่ 3, 4 และ 5 ได้ทำการทดสอบโดยใช้ไม้พื้นที่เปียกฝน จึงมีค่าความชื้นสูงกว่าการทดสอบครั้งที่ 6 และ 7 ที่ได้ใช้ไม้พื้นแห้งทดสอบ



รูปที่ 3.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นเชิงมวลของอนุภาคเขม่าควันกับปริมาณค่าความชื้นของไม้พื้น

จากตารางที่ 3.2 และรูปที่ 3.6 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ของความเข้มข้นเชิงมวลของอนุภาคเขม่าควันกับปริมาณค่าความชื้นของไม้พืน พบว่าความเข้มข้นเชิงมวลของอนุภาค (Mass concentration) มีความสัมพันธ์กับปริมาณค่าความชื้นของไม้พืนที่นำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงแบบพอลิโนเมียลอันดับที่ 2 (Polynomial order 2) นั่นคือ หากปริมาณค่าความชื้นของไม้พืนมีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้ปริมาณค่าของความเข้มข้นเชิงมวลของอนุภาคเขม่าควันที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงมีค่าสูงขึ้นด้วย เนื่องจากเมื่อไม้พืนที่มีความชื้นสูงปริมาณการเกิดไอน้ำก็จะเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์มากขึ้น ซึ่งจากผลการทดสอบนี้ยังพบว่าความเข้มข้นเชิงมวลเฉลี่ยของอนุภาคเขม่าควันที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงไม้พืนมีค่า 358 mg/m^3

3.5 บทสรุป

จากการศึกษาการกระจายขนาดของอนุภาคเขม่าควัน ซึ่งได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงไม้ยางพารา โดยใช้ Andersen air sampler (Dylec, Model AN-200) ที่มีกระบวนการดักจับอนุภาคแบบตกกระทบ (Impaction) เป็นอุปกรณ์ที่ทำการศึกษาพบว่าเส้นผ่านศูนย์กลางอากาศพลศาสตร์มัธยฐานเชิงมวล (Mass Median Aerodynamic diameter, MMAD) ของอนุภาคเขม่าควันมีค่า 0.95 ไมโครเมตร และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเชิงเรขาคณิต (Geometric Standard Deviation, GSD) มีค่า 2.51 โดยผลของการกระจายขนาดของอนุภาคเขม่าควันนั้นจะนำไปใช้ในการการศึกษา เลือกลงแบบและทดสอบตัวดักจับอนุภาค ซึ่งจะกล่าวในบทต่อไป

บทที่ 4

การดักจับอนุภาค

ในบทนี้ได้กล่าวถึงวิธีการดักจับอนุภาค ขั้นตอนกระบวนการวิจัย ผลการทดสอบ และการวิจารณ์ผลของการศึกษา การเลือก ออกแบบและทดสอบตัวดักจับอนุภาค เพื่อหาตัวดักจับอนุภาคที่เหมาะสมต่อการใช้งานในห้องรมยาต่อไป

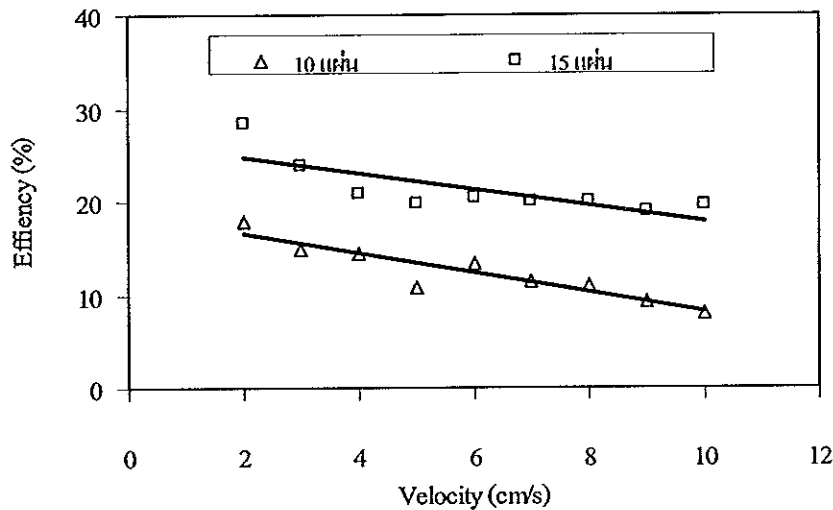
4.1 วิธีการดักจับอนุภาค

เมื่อทราบผลการศึกษาระยะกระจายขนาดของอนุภาคเขม่าควันที่อนุภาคส่วนใหญ่มีค่า 0.95 ไมโครเมตร จึงได้ทำการศึกษา ออกแบบและทดสอบประสิทธิภาพการดักจับอนุภาค ซึ่งในงานวิทยานิพนธ์นี้จะพิจารณาประสิทธิภาพของการกรองด้วยตาข่ายสแตนเลสเพื่อดูความเหมาะสมก่อน หากพบว่าไม่เหมาะสมจะเลือกใช้วิธีการตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตที่มีประสิทธิภาพการดักจับอนุภาคขนาดเล็กสูงมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ [วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์ และคณะ, 1997] และสามารถใช้งานในอุณหภูมิสูงได้

4.1.1 การใช้ตาข่ายสแตนเลส (mesh #200)

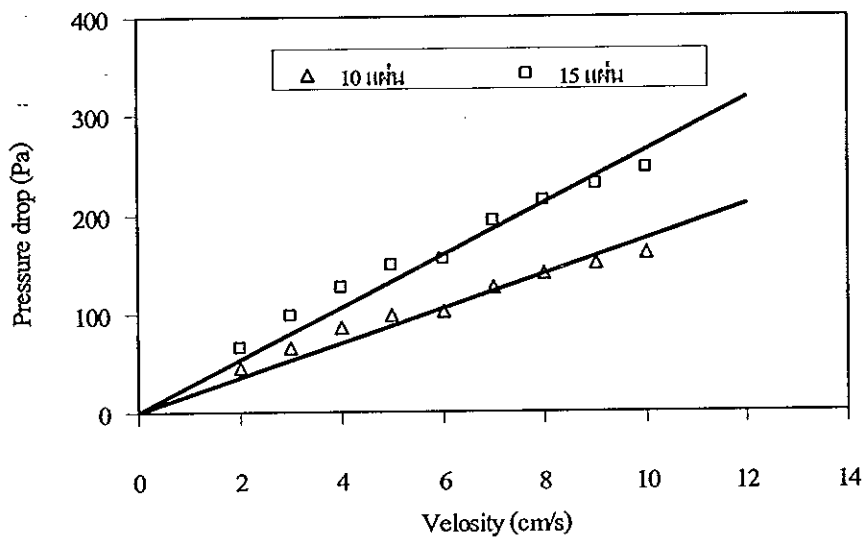
จากศึกษาการดักจับอนุภาคเขม่าควันจากการเผาไหม้พื้นไม้ยางพาราโดยใช้ตาข่ายสแตนเลสอย่างละเอียดขนาด 1 นิ้ว มี 200 เส้น ของธนวรรธ สิริสันติพงษ์ และ ไมตรี ตันติเชาวนันท์, [2545] ซึ่งเป็นงานสนับสนุนงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ โดยทำการดักจับอนุภาคโพลีเมอร์สังเคราะห์โพลีสไตรีน (Polystyrene, PSL) ซึ่งใช้แทนอนุภาคเขม่าควันจากเครื่องกำเนิดอนุภาค (atomizer) และใช้ปั๊มดูดแอโรซอลทำการควบคุมอัตราการไหลด้วยวาล์วและมาตรวัดอัตราการไหล (Flow meter) การหาประสิทธิภาพการดักจับทำโดยการสุ่มแอโรซอลก่อนและหลังตาข่ายสแตนเลส และนับจำนวนอนุภาคโดยใช้เครื่องนับอนุภาค (laser particle counter) ส่วนความดันสูญเสีย (pressure drop)

หลังผ่านตาข่ายสแตนเลสวัดโดยใช้ทรานสดิวเซอร์ ซึ่งจากการทดสอบพบว่า วิธีการกรองด้วยตาข่ายสแตนเลสมีประสิทธิภาพในการดักจับต่ำกว่า 30 เปอร์เซ็นต์และมีการสูญเสียความดันสูงกว่า 200 ปาสคาล จึงไม่เหมาะสมที่จะใช้งานในงานวิทยานิพนธ์นี้



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของแก๊สกับประสิทธิภาพการดักจับอนุภาค

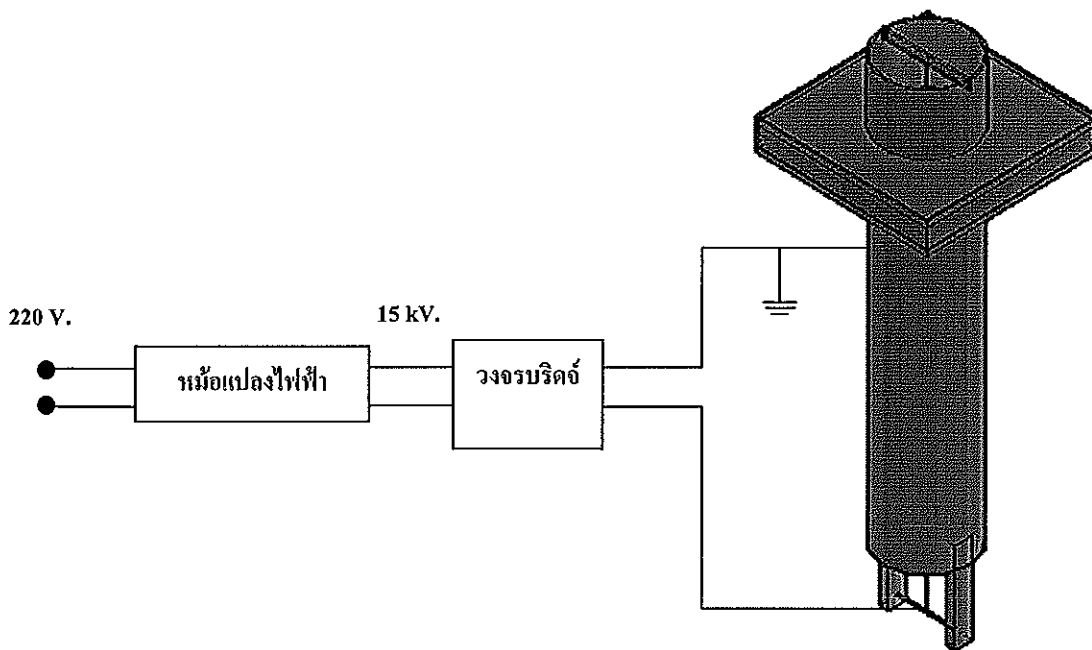
จากรูปที่ 4.1 พบว่าประสิทธิภาพในการดักจับอนุภาคของตาข่ายสแตนเลสขนาด 1 นิ้ว มี 200 เส้น ซึ่งวางซ้อนกันจำนวน 15 แผ่น มีค่าสูงกว่าจำนวน 10 แผ่นถึงประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากช่องว่างของแผ่นตาข่ายสแตนเลสที่วางซ้อนกันจำนวนมากกว่า จะมีค่าน้อยกว่าช่องว่างของแผ่นตาข่ายสแตนเลสที่มีจำนวนน้อยกว่า แต่ในทางกลับกัน หากมีจำนวนแผ่นวางซ้อนกันมากกว่าก็จะเกิดการสูญเสียความดันสูงกว่าตามมาด้วย นอกจากนี้ความเร็วของแก๊สก็เป็นเหตุผลหนึ่งที่ทำให้เกิดความดันสูญเสียด้วย โดยความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของแก๊สกับความดันสูญเสีย แสดงได้ดังรูปที่ 4.2



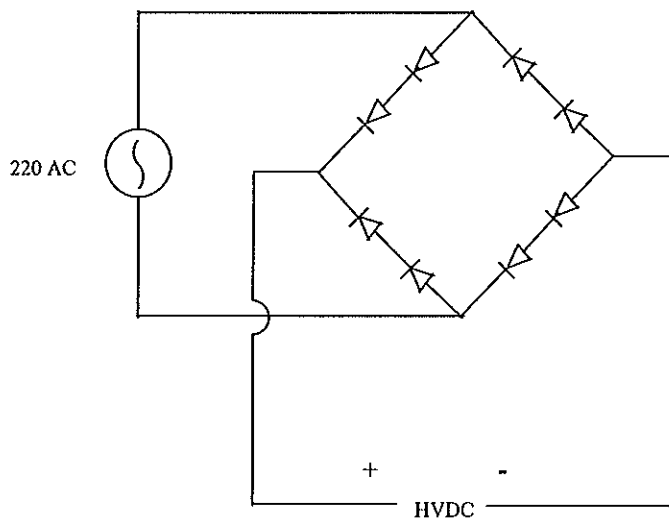
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของแก๊สกับความดันสูญเสีย

4.1.2 การใช้เครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต

จากการศึกษาการดักจับอนุภาคเขม่าควันจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลอย่างพาราโดยใช้ตาข่ายสแตนเลสอย่างละเอียดขนาด 1 นิ้ว มี 200 เส้น พบว่ามีประสิทธิภาพการดักจับต่ำและเกิดการสูญเสียความดันสูง ไม่เหมาะสมที่จะใช้ในการดักจับอนุภาคเขม่าควัน ดังนั้นจึงได้ใช้วิธีการตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตแทน โดยเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตที่ใช้ศึกษา ทดสอบ และติดตั้งเพื่อดักจับอนุภาคเขม่าควันในห้องรมยางได้ถูกออกแบบดังรูปที่ 4.3 ซึ่งประกอบด้วยท่อสแตนเลสทำหน้าที่เป็นขั้วเก็บอนุภาค และมีหลอดทองแดงที่อยู่กลางท่อซึ่งถูกยึดด้วยเซรามิกทำหน้าที่เป็นขั้วโคโรนาถ่ายประจุให้กับอนุภาค โดยในการใช้งานจะนำหม้อแปลงไฟฟ้าแรงสูงไปต่อกับไฟฟ้า เพื่อแปลงศักย์ไฟฟ้าแรงต่ำให้เป็นศักย์ไฟฟ้าแรงสูง ก่อนที่จะผ่านวงจรบริดจ์ (Wheatstone bridge) ที่ใช้เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแล้วจึงเข้าสู่เครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตต่อไป



รูปที่ 4.3 วงจรไฟฟ้าของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตที่ใช้ทดสอบ



รูปที่ 4.4 วงจรบริดจ์ของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตที่ใช้ทดสอบ

โดยรูปที่ 4.3 ได้แสดงถึงวงจรไฟฟ้าของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตที่ใช้ทดสอบ ส่วนอุปกรณ์ทั้งหมดที่ใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องตกตะกอนเชิง

ไฟฟ้าสถิต ประกอบด้วย เครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตที่ออกแบบไว้ เครื่องเก็บตัวอย่างอนุภาคชนิด Andersen air sampler (Dylec, Model AN-200) จำนวน 2 ชุด ตัวยึดแผ่นกรอง (Filter holder) จำนวน 2 ชุด ปั๊มสุญญากาศ (Linear motor Vacuum pump, Model VP 0935) จำนวน 1 ชุด เครื่องวัดอัตราการไหล (Flow meter) จำนวน 2 ชุด สำหรับหม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูงได้ต่อขนานกับเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต โดยมีวงจรบริดจ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นกระแสตรง ซึ่งได้ใช้ไดโอดแรงดันสูง (hi voltage diode) รุ่น HV 03-12 ต่อกันข้างละ 2 ตัว รวมทั้งสิ้น 8 ตัว ดังรูปที่ 4.4 สำหรับการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตที่ออกแบบไว้เบื้องต้นด้วย Andersen sampler ได้ใช้เครื่องชั่งน้ำหนักแบบละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่งของกริม (Denver Instrument Company, TC-254) สำหรับชั่งแผ่นเก็บตัวอย่าง ส่วนการทดสอบประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตที่ออกแบบไว้ด้วยตัวยึดแผ่นกรองที่ทำการทดสอบภายหลังได้ใช้เครื่องชั่งน้ำหนักแบบละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่งของกริม (Mettler Toledo, AB-204-S) แทน เนื่องจากได้พบว่ามีสารเคมีหยดตกลงบนแป้นชั่งของเครื่องชั่งตัวเดิม ทำให้อาจมีความผิดพลาดของเครื่องมือได้

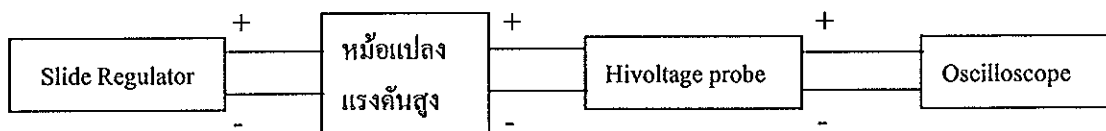
4.2 ขั้นตอนการทดสอบ

ขั้นตอนในการดำเนินงานสามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนของการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างศักย์ป้อนเข้า (input voltage) กับค่าความต่างศักย์ทุติยภูมิและกระแสไฟฟ้าโคโรนา และส่วนของการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต

4.2.1. ส่วนของการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างศักย์ป้อนเข้ากับค่าความต่างศักย์ทุติยภูมินั้น ได้ใช้หม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูง (LECIP Neon Transformer) แปลงความต่างศักย์ป้อนเข้าที่เป็นไฟฟ้าแรงดันต่ำให้เป็นความต่างศักย์ทุติยภูมิที่เป็นไฟฟ้าแรงดันสูง ใช้ Slide Regulator (Chuan Hsin, SRV-10) สำหรับปรับค่าความต่างศักย์

ป้อนเข้า ใช้มัลติมิเตอร์ (Fluke, 83III) วัดค่าแรงดันไฟฟ้าป้อนเข้า และใช้ Hivoltage probe (Tektronix, P6015B) และ Oscilloscope (Hitachi, V-252 20 MHz) ต่อดังรูป 4.5 เพื่อวัดความต่างศักย์ทุติยภูมิ โดยในการทดสอบสามารถแบ่งขั้นตอนในการดำเนินงานออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ

1. ทำการติดตั้งเครื่องมือและต่อดังรูป 4.5

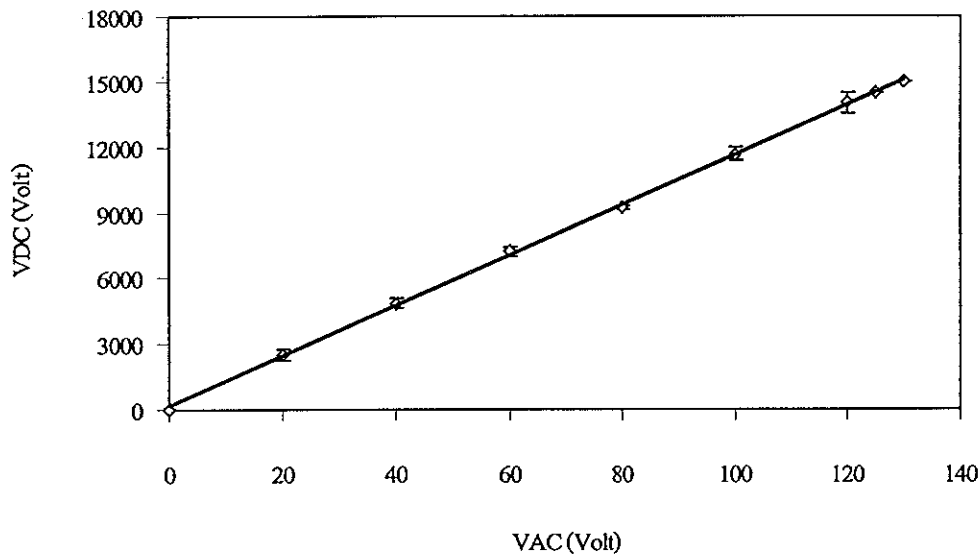


รูปที่ 4.5 วงจรไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบ

2. ปรับค่าความต่างศักย์ป้อนเข้าเพิ่มครั้งละ 20 โวลต์ พร้อมวัดค่าความต่างศักย์ทุติยภูมิ

ผลการทดสอบ

ผลการทดสอบพบว่าค่าความต่างศักย์ป้อนเข้ากับค่าความต่างศักย์ทุติยภูมิมีความสัมพันธ์กันเป็นเส้นตรง ดังรูปที่ 4.6



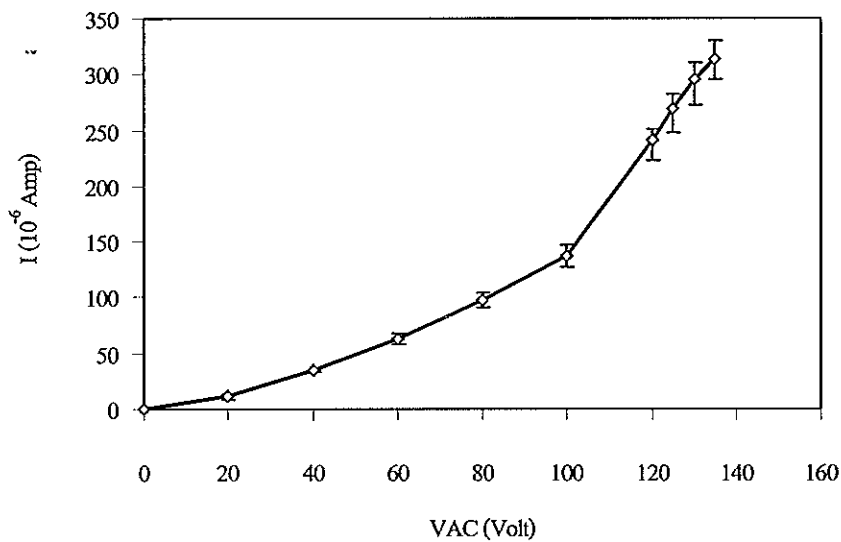
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างศักย์ป้อนเข้ากับค่าความต่างศักย์ทุติยภูมิ

4.2.2. ส่วนของการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างศักย์ป้อนเข้ากับค่ากระแสไฟฟ้าโคโรนา สามารถทำได้โดยติดตั้งอุปกรณ์และทดสอบเช่นเดียวกับการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างศักย์ป้อนเข้ากับค่าความต่างศักย์ทุติยภูมิ ซึ่งจะแตกต่างกันเพียงในการทดสอบนี้ได้ใช้มัลติมิเตอร์ในการวัดกระแสไฟฟ้าแทน Oscilloscope ที่ใช้วัดความต่างศักย์ทุติยภูมิในหัวข้อที่แล้ว

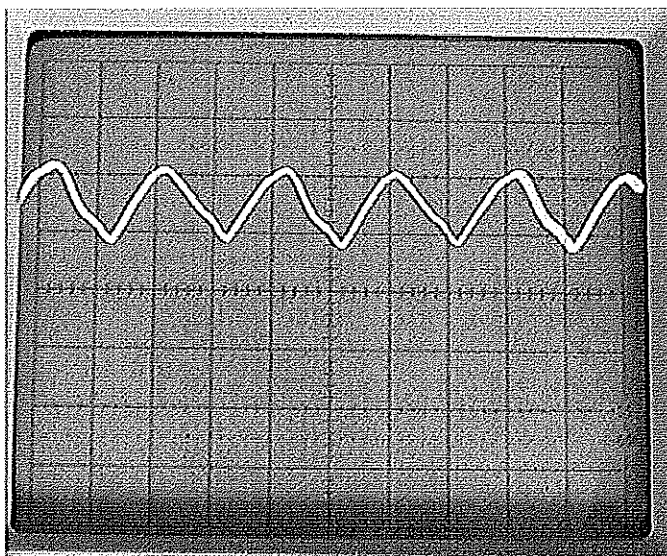
ผลและการวิเคราะห์ผล

ในการนำเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตไปใช้งานจำเป็นต้องทราบค่าการเกิดกระแสไฟฟ้าโคโรนา เพื่อหาตำแหน่งการเกิดโคโรนาของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตที่ออกแบบก่อน ซึ่งจากผลการทดสอบพบว่ากระแสไฟฟ้าโคโรนาของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตที่ออกแบบไว้เกิดขึ้นที่ความต่างศักย์เริ่มต้น 5 โวลต์ และจะมีค่าแตกต่างอย่างชัดเจนที่ความต่างศักย์เริ่มต้น 100 โวลต์ ดังรูปที่ 4.7 และในภาคผนวก ข นั้นคือในการทดสอบประสิทธิภาพและการใช้งานเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตสามารถใช้ได้ในช่วงระหว่างความต่างศักย์เริ่มต้น 100 โวลต์ ถึง 130 โวลต์ หรือที่จุดสูงสุด (Peak) ของความต่างศักย์ทุติยภูมิ 11600 โวลต์ ถึง 15000 โวลต์ โดยในงาน

วิทยานิพนธ์นี้ได้กำหนดเคินเครื่องที่ความต่างศักย์เริ่มต้น 125 โวลต์ หรือที่ความต่างศักย์ทุติยภูมิ 14500 โวลต์ ส่วนค่าความต่างศักย์ทุติยภูมิที่มีค่าไม่ราบเรียบ ดังรูปที่ 4.8 นั้นน่าจะเกิดขึ้นเพราะไม่ได้ติดตั้งอุปกรณ์กรองสัญญาณรบกวน ทำให้อาจมีสัญญาณรบกวนในระหว่างการทดลองได้



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสไฟฟ้าโคโรนากับค่าความต่างศักย์ป้อนเข้า



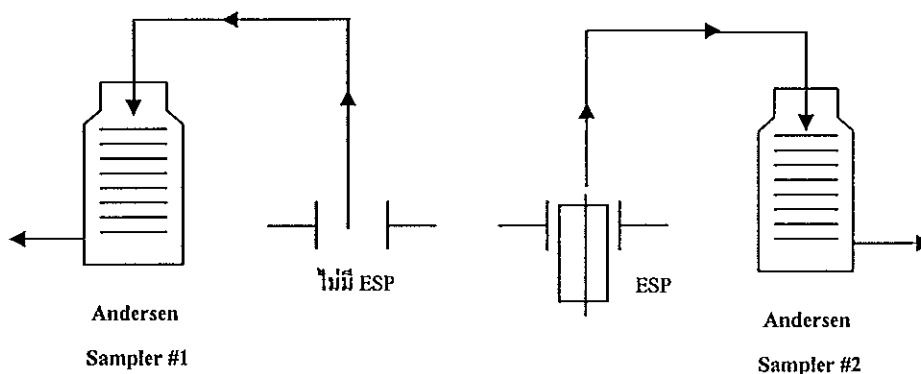
รูปที่ 4.8 ค่าความต่างศักย์ทุติยภูมิที่วัดได้จาก Oscilloscope

4.2.3. ส่วนของการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตสามารถแบ่งขั้นตอนในการดำเนินงานออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ

- การทดสอบโดยใช้ Andersen sampler เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการดักจับตามช่วงขนาดของอนุภาค
- การทดสอบโดยใช้แผ่นกรอง เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการดักจับอนุภาคโดยรวม

การทดสอบหาประสิทธิภาพของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตเบื้องต้น โดยใช้ Andersen sampler

1. ทำการติดตั้งเครื่องมือและอุปกรณ์เช่นเดียวกับรูป 3.2 ข้างต้น เพื่อหาปริมาณของอนุภาคเขม่าควันทั้งหมด ส่วนในการทดสอบหาประสิทธิภาพของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตได้ทำการติดตั้งเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตขวางทางการไหลของแก๊สร้อนก่อนให้ไหลผ่าน Andersen air sampler โดยจะทำการทดสอบพร้อมกัน 2 ชุด ดังรูปที่ 4.9 ตามลำดับ



รูปที่ 4.9 ชุดการทดลองวัดประสิทธิภาพของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตเบื้องต้น โดยใช้ Andersen sampler

2. ตรวจสอบการติดตั้งเครื่องมือและอุปกรณ์ หลังจากนั้นทำการเปิดปั๊มสูญญากาศ โดยตั้งอัตราการไหลที่ 28.3 ลิตรต่อนาที และจับเวลาที่เริ่มเดินเครื่องทั้ง 2 ชุด

3. เมื่อครบ 10 นาทีทำการปิดปั๊มสุญญากาศและนำ Plate ออกจาก Andersen air sampler และเก็บ Plate ในกล่องปิดสนิทที่มีวัสดุดูดความชื้น (silica gel) เพื่อดูดความชื้นออกจาก Plate ทั้ง 2 ชุด ซึ่งชุดแรก คือชุดสำหรับหาปริมาณของอนุภาคเขม่าควันทั้งหมด ส่วนชุดหลัง คือชุดสำหรับหาปริมาณของอนุภาคเขม่าควันหลังจากถูกดักจับด้วยเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต

4. นำผลที่ได้มาหาประสิทธิภาพการดักจับอนุภาคของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตจากสมการ

$$Efficiency = \left(\frac{m_{No\ ESP} - m_{ESP}}{m_{No\ ESP}} \right) \quad (4.1)$$

เมื่อ $m_{No\ ESP}$ คือ น้ำหนักของอนุภาคเขม่าควันจาก Plate ชุดแรก และ m_{ESP} คือ น้ำหนักของอนุภาคเขม่าควันจาก Plate ชุดที่ 2 ซึ่งผ่านเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต

ผลและการวิเคราะห์ผล

ผลการทดสอบประสิทธิภาพการดักจับของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตที่ออกแบบไว้เบื้องต้น โดยใช้ Andersen air sampler เป็นเครื่องมือทำการทดสอบ พบว่ามีประสิทธิภาพระหว่าง 40 ถึง 60 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงตามตารางที่ 4.1 และในภาคผนวก ค ซึ่งน่าจะเหมาะที่จะใช้ในการดักจับอนุภาคของเขม่าควันที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงไม้ฟืน แต่ข้อมูลที่ได้ อาจมีความผิดพลาดเนื่องจากการทดสอบได้ทำการทดสอบดักจับอนุภาคเขม่าควันจากท่อปล่อยแก๊สร้อนขนาด 4 นิ้ว ภายในห้องรมจริง ทำให้เกิดข้อจำกัดของการทดสอบที่ต้องใช้ท่อ 2 ท่อที่อยู่ด้านหน้าของห้อง โดยท่อแรกใช้สำหรับดักจับอนุภาคเขม่าควันทั้งหมด ซึ่งไม่ผ่านเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต ส่วนท่อที่สองใช้สำหรับดักจับอนุภาคเขม่าควันที่ผ่านเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต ดังนั้นจึงควรทำการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตอีกครั้ง โดยใช้เตาเผาจำลอง

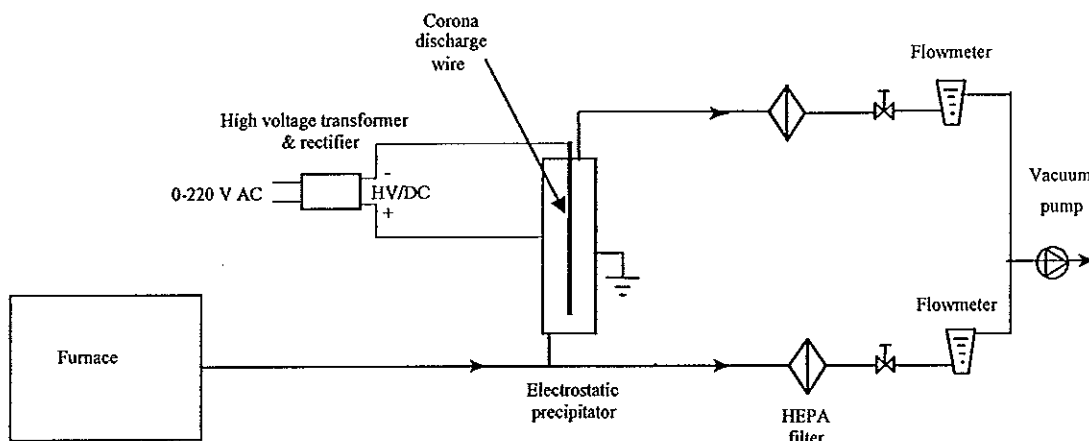
ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการดักจับของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต

วันที่	ครั้งที่ (ทดสอบ)	ปริมาตรอากาศ (m ³)	น้ำหนักของอนุภาค เขม่าควันทั้งหมดที่เก็บ ได้ โดยไม่ใช้เครื่องตก ตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต (g)	น้ำหนักของอนุภาค เขม่าควันทั้งหมดที่เก็บ ได้ โดยใช้เครื่องตก ตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต (g)	ประสิทธิภาพของ เครื่องตกตะกอน เชิงไฟฟ้าสถิต (เปอร์เซ็นต์)
1	1	0.283	0.0502	0.0161	67.93
	2	0.340	0.1014	0.0403	58.75
2	1	0.283	0.0424	0.0203	52.12
	2	0.283	0.0451	0.0234	48.12
3	1	0.283	0.0378	0.0179	52.65
	2	0.283	0.0430	0.0227	47.21
				เฉลี่ย 1	57.56
				2	51.36
Note: 1 การทดสอบครั้งแรก 2 การทดสอบครั้งที่สอง					

จากตาราง 4.1 ซึ่งแสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพการดักจับของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตที่ออกแบบไว้เบื้องต้น โดยในการทดสอบแต่ละครั้งได้ทำการทดสอบ 2 ชุด พบว่าประสิทธิภาพในการดักจับอนุภาคเขม่าควันของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตครั้งแรกจะมีค่าสูงกว่าครั้งหลัง เนื่องจากในการทดสอบครั้งแรกทรงกระบอกสแตนเลสที่ใช้เป็นขั้วจับอนุภาคเขม่าควันนั้นยังคงสะอาด แต่เมื่อใช้ไปเป็นระยะเวลานานขึ้นประสิทธิภาพในการดักจับอนุภาคของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตจะมีค่าลดลง ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องทดสอบประสิทธิภาพในการดักจับอนุภาคเขม่าควันของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตเทียบกับเวลา เพื่อที่จะสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานจริงได้

การทดสอบหาประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตกับเตาเผาฝุ่น จากผลของประสิทธิภาพของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตที่ออกแบบไว้มีค่าลดลงตามเวลา จึงได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพในการดักจับอนุภาคของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตเทียบกับเวลาเพิ่มเติม โดยกำหนดอัตราการไหลที่ 20 ลิตรต่อนาที เนื่องจากข้อจำกัดของเครื่องมือทดสอบและผลการศึกษาที่พบว่า อัตราการไหลของแก๊สร้อนที่ไหลเข้าสู่ห้องรมยามีค่าไม่คงที่ โดยขึ้นอยู่กับอัตราการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงไม้ฟืน [Prasertsan, 1993] นอกจากนั้นอัตราการไหล 20 ลิตรต่อนาที ที่กำหนดในงานวิทยานิพนธ์นี้ก็ยังคงมีค่าอยู่ในช่วงอัตราการไหลของชุดทดลองการศึกษาตัวแปรที่มีอิทธิพลในการรวมควันยางแผ่นของ Prasertsan and Kirirat [1993] ซึ่งกำหนดอัตราการไหลที่ 3.0-33.5 ลิตรต่อนาที โดยในการทดสอบนี้ได้ใช้เตาเผาจำลองในการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟืน ไม้ยางพาราและได้ทำการเติม ไม้ฟืนทุก 1-2 ชั่วโมง ซึ่งขั้นตอนในการทดสอบมีดังนี้

1. ทำการติดตั้งเครื่องมือและอุปกรณ์ดังกับรูป 4.10 เพื่อหาประสิทธิภาพของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต (ใช้ Filter holder จำนวน 2 ชุด)



รูปที่ 4.10 ชุดการทดลองวัดประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตกับเตาเผาฝุ่น

2. ตรวจสอบการติดตั้งเครื่องมือและอุปกรณ์ หลังจากนั้นทำการเปิดปั๊ม สูญญากาศ โดยตั้งอัตราการไหลที่ 20 ลิตรต่อนาที

3. เมื่อครบ 30 นาที ทำการปิดปั๊มสูญญากาศและนำกระดาษกรองออกจาก Filter holder และเก็บกระดาษกรอง ในกล่องปิดสนิทที่มีวัสดุดูดความชื้น (silica gel) เพื่อดูดความชื้นออกจากกระดาษกรองทั้ง 2 ชุด ซึ่งชุดแรก คือชุดสำหรับหาปริมาณของอนุภาค เขม่าควันทั้งหมด ส่วนชุดหลัง คือชุดสำหรับหาปริมาณของอนุภาคเขม่าควันหลังจากถูก ดักจับด้วยเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต

4. นำผลที่ได้มาหาประสิทธิภาพการดักจับอนุภาคของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตจากสมการ

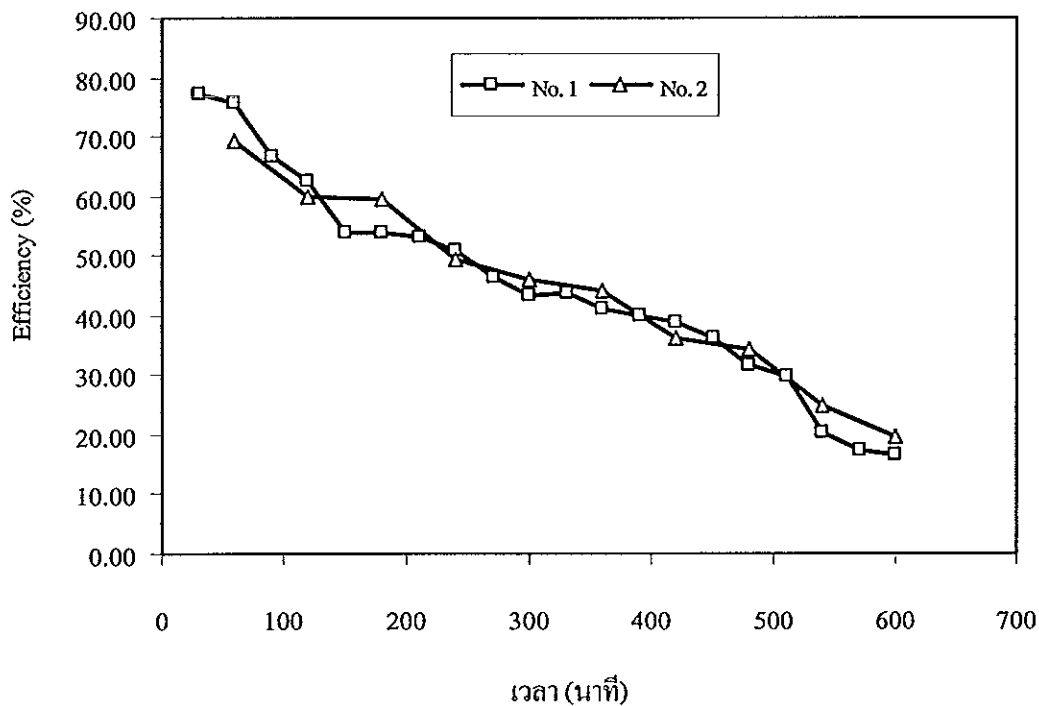
$$Efficiency = \left(\frac{m_{No\ ESP} - m_{ESP}}{m_{No\ ESP}} \right) \quad (4.2)$$

เมื่อ $m_{No\ ESP}$ คือ น้ำหนักของอนุภาคเขม่าควันจากกระดาษกรองชุดที่ไม่ผ่านเครื่อง ตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต และ m_{ESP} คือ น้ำหนักของอนุภาคเขม่าควันจากกระดาษกรอง ชุดที่ผ่านเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต

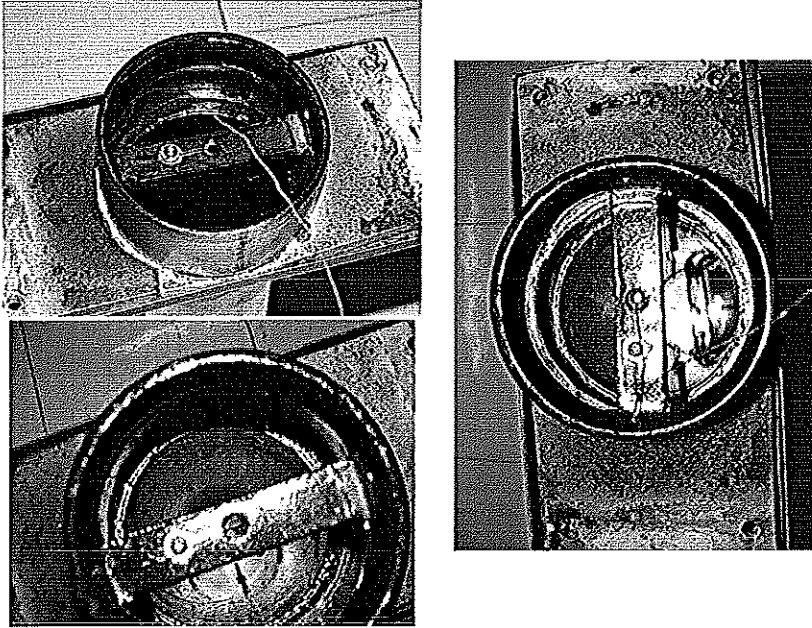
ผลและการวิเคราะห์ผล

จากผลการทดสอบพบว่าประสิทธิภาพในการดักจับอนุภาคของเครื่องตกตะกอนเชิง ไฟฟ้าสถิตมีความสัมพันธ์กับเวลา ดังแสดงตามรูปที่ 4.11 โดยประสิทธิภาพของเครื่อง ตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตที่มีแนวโน้มลดลง เมื่อมีระยะเวลาการใช้งานเพิ่มขึ้นนั้นเกิดจาก ในช่วงแรกพื้นผิวเก็บอนุภาคของท่อสแตนเลสที่ทำหน้าที่เป็นขั้วบวก (กรณีอนุภาค ได้รับประจุลบ) ยังไม่มีการเกาะของอนุภาคมากนักทำให้มีแรงไฟฟ้าบวกสูง จึงสามารถ ดึงดูดอนุภาคที่มีประจุลบได้ดี แต่เมื่อนำไปใช้ดักจับอนุภาคเป็นเวลานานขึ้น พื้นผิวเก็บ อนุภาคจะถูกเกาะด้วยอนุภาคที่มีประจุลบ ทำให้แรงไฟฟ้าบวกของพื้นผิวเก็บมีค่าลดลง

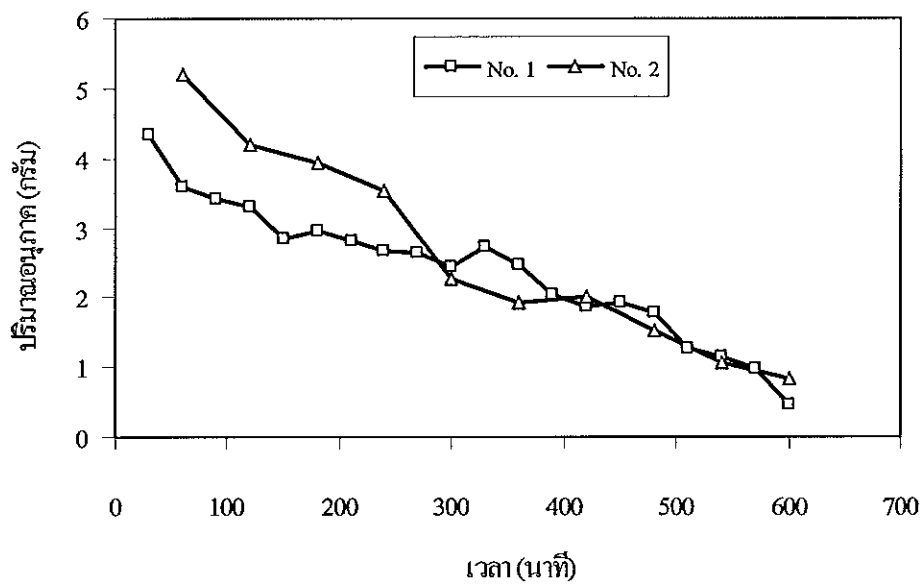
นอกจากนี้อนุภาคที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงไม้ฟืนยังประกอบไปด้วยทาร์ (Tar) และวอลาไทล์ (Volatiles) เป็นส่วนใหญ่ (The center for biomass technology, 2002) จึงทำให้พื้นผิวเก็บอนุภาค (ท่อสแตนเลส) ของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตมีความสกปรกมาก เมื่อถูกใช้งานเป็นเวลานานดังแสดงตามรูปที่ 4.12 เป็นผลให้ประสิทธิภาพการดักจับอนุภาคของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตมีค่าลดลงไปด้วย ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของอนุภาคที่ถูกดักจับไว้บนขั้วบวกของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต (Dust load) กับเวลา แสดงดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตกับเวลา

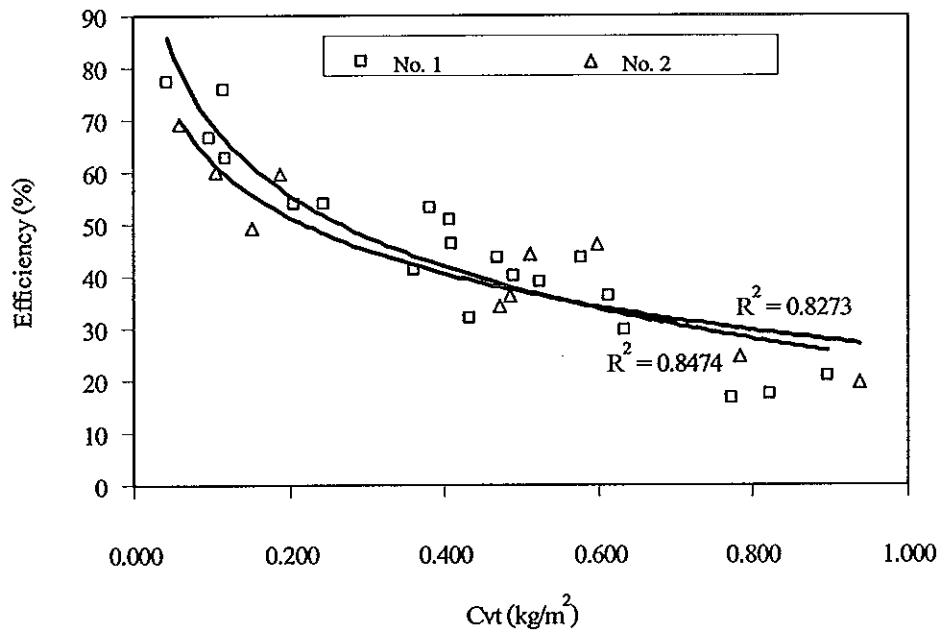


รูปที่ 4.12 อนุภาคเขม่าควันที่เกาะติดบนพื้นผิวเก็บอนุภาคของเครื่องตักตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต



รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของอนุภาคที่ถูกดักจับไว้บนขั้วบวกของเครื่องตักตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตกับเวลา

ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตกับผลคูณของความเข้มข้นของอนุภาคและความเร็วในการไหลของแก๊สร้อน (พร้อมอนุภาค) และเวลานั้น จะมีความสัมพันธ์แบบถ้อยกการิทึม ดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตกับผลคูณความเข้มข้นของอนุภาคและความเร็วในการไหลของแก๊สร้อน (พร้อมอนุภาค) และเวลา

จากรูปที่ 4.14 พบว่าข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตกับผลคูณความเข้มข้นของอนุภาคและความเร็วในการไหลของแก๊สร้อน (พร้อมอนุภาค) และเวลานั้น มีการกระจายพอสมควร เนื่องมาจากการทดสอบนี้ได้ใช้วิธีดักจับอนุภาคเขม่าควันที่ผสมมากับแก๊สร้อนจากการเผาไหม้พื้นไม้ยางพารา และมีการเติมไม้พื้นทุก 1-2 ชั่วโมง ซึ่งปริมาณของอนุภาคเขม่าควันได้แปรผันตามปริมาณของความชื้นไม้พื้น และในการเผาไหม้ไม้พื้นปริมาณของอนุภาคเขม่าควันจะเกิดขึ้นมากในช่วงแรกของการเผาไหม้ [Schmatloch and Brenn, 2001] สาเหตุเหล่านี้ทำให้ปริมาณของอนุภาคเขม่าควันที่ผสมมากับแก๊สร้อนมีค่าไม่คงที่ตลอดช่วงการ

ทดสอบ จนทำให้เกิดการกระจายของข้อมูล ส่วนในการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตนี้ ได้ทำการทดสอบเป็นเวลาทั้งสิ้น 10 ชั่วโมง ในแต่ละช่วงแรกของการใส่ไม้พิน เนื่องจากในการใช้งานจริงได้ใช้เครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตดักจับอนุภาคเขม่าควันภายในห้องรมยางเฉพาะช่วงแรกของการเติมเชื้อเพลิงไม้พินในแต่ละครั้ง ตามเหตุผลของปริมาณอนุภาคเขม่าควันข้างต้นที่กล่าวไว้รวมเป็นเวลาทั้งสิ้น 8 ชั่วโมงตลอดในการรมควันยางแผ่นในแต่ละครั้ง

4.3 บทสรุป

จากการศึกษา เลือกลงแบบและทดสอบประสิทธิภาพการดักจับอนุภาค พบว่าวิธีการกรองด้วยตาข่ายสแตนเลสอย่างละเอียดมีประสิทธิภาพการดักจับต่ำเพียง 10 ถึง 20 เปอร์เซ็นต์ และเกิดการสูญเสียความดันสูง จึงไม่เหมาะสมที่จะใช้งานในงานวิจัยนี้ แตกต่างจากการใช้วิธีการตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตที่มีประสิทธิภาพการดักจับเริ่มต้นสูงถึงประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ แต่มีค่าลดลงเมื่อเวลาการใช้งานเพิ่มขึ้น ซึ่งเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตที่ออกแบบไว้สามารถใช้งานได้มากกว่า 10 ชั่วโมง โดย 6 ชั่วโมงแรกมีประสิทธิภาพการดักจับประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในภาคผนวก ง พร้อมทั้งมีการสูญเสียความดันต่ำ จึงได้ใช้เป็นอุปกรณ์ในการปรับปรุงห้องรมยาง เพื่อนำลักษณะสีของยางแผ่นรมควันที่ผลิตได้เปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่ได้ใช้เครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตดักจับอนุภาคเขม่าควัน ซึ่งจะกล่าวในบทที่ 6 ต่อไป

บทที่ 5

การศึกษาแนวโน้มการกระจายอุณหภูมิภายในห้องรมเปล่า ด้วยวิธีการคำนวณเชิงพลศาสตร์ของไหล

ในบทนี้ได้กล่าวถึงอุปกรณ์ ขั้นตอนกระบวนการวิจัย ผลการจำลอง ผลการทดสอบ และการวิเคราะห์ผลของการศึกษาแนวโน้มการกระจายอุณหภูมิของแก๊สร้อนภายในห้องรมเปล่า โดยใช้วิธีการคำนวณเชิงพลศาสตร์ของไหล (Computational fluid dynamics; CFD) ด้วยโปรแกรม FLOVENT เพื่อศึกษาว่าวิธีการให้แก๊สร้อนไหลผ่านแผ่นยางโดยตรงทั้งหมดนั้นสามารถทำได้หรือไม่ ก่อนที่จะนำไปปรับปรุงห้องรมยาง พร้อมติดตั้งตัวกรอง เพื่อทำการทดสอบต่อไป

5.1 อุปกรณ์ที่ใช้ศึกษา

การศึกษาแนวโน้มการกระจายอุณหภูมิของแก๊สร้อนภายในห้องรมเปล่า โดยใช้วิธีการคำนวณเชิงพลศาสตร์ของไหล โปรแกรม FLOVENT ไม่ได้เป็นวัตถุประสงค์หลักในงานวิจัย เนื่องจากในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาเพียงว่าวิธีการให้แก๊สร้อนไหลเข้าห้องรมโดยตรงนั้นสามารถทำได้หรือไม่ หากทำได้แล้วอย่างแผ่นรมวันที่ผลิตได้จะคงเดิมหรือไม่ โดยในการศึกษาส่วนนี้ได้แบ่งการศึกษาเป็น 2 ส่วน คือการวัดการกระจายอุณหภูมิภายในห้องรมเปล่าจริง และการศึกษาและจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

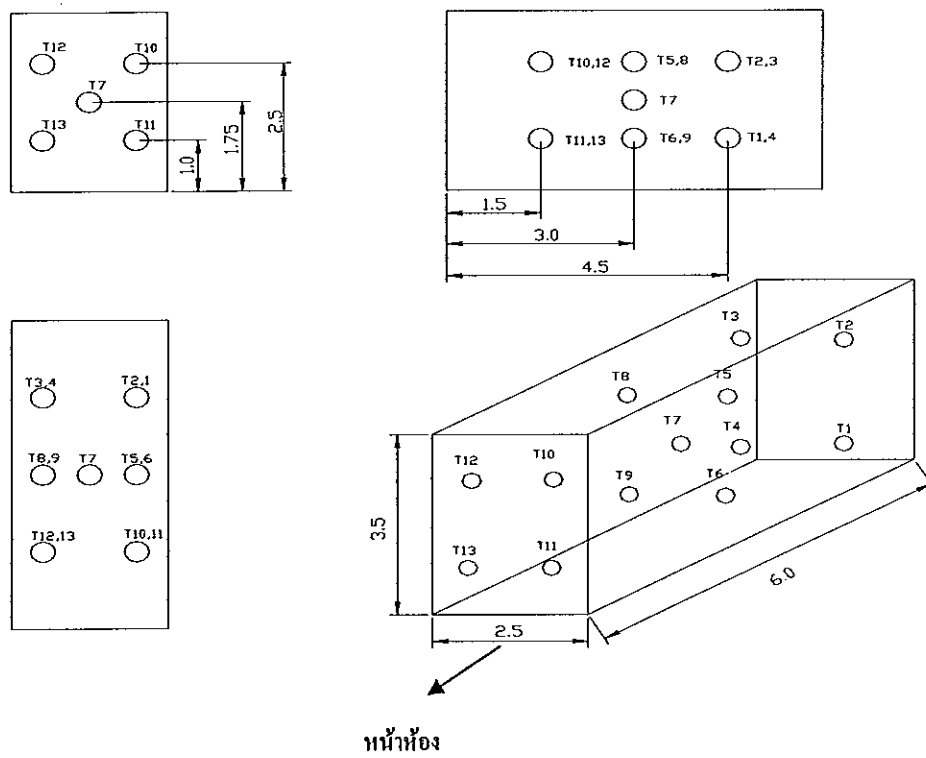
5.2 ส่วนการวัดการกระจายอุณหภูมิของแก๊สร้อนภายในห้องรมเปล่ารุ่นปี 2537

แม้ว่าวิธีการให้แก๊สร้อนไหลผ่านแผ่นยางโดยตรงทั้งหมดจะสามารถช่วยลดการสูญเสียพลังงานความร้อนจากการปล่อยแก๊สร้อนทิ้งไปทางท่อดริฟท์ ทำให้สามารถลดการใช้เชื้อเพลิงไม่สิ้นลงได้ แต่วิธีการนี้ก็ทำให้เกิดปัญหาของการกระจายอุณหภูมิ

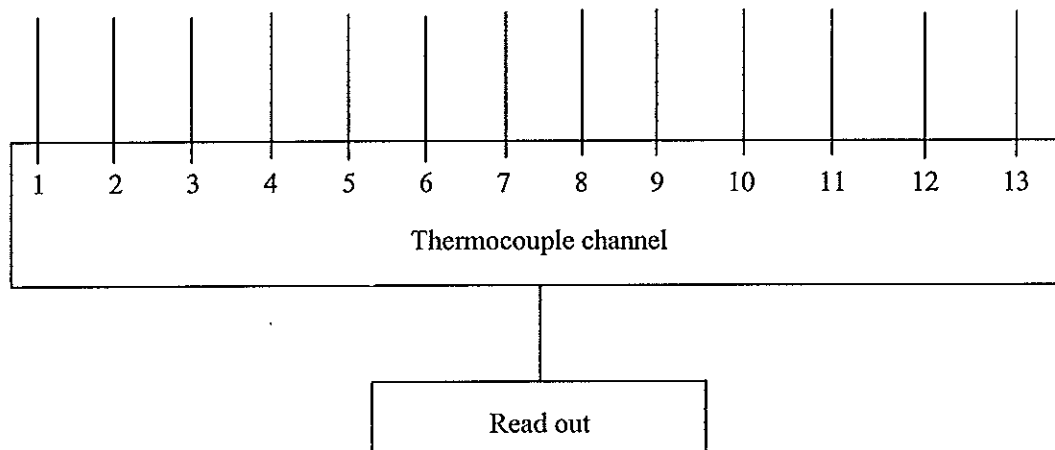
ของแก๊สร้อนไม่ทั่วถึงทั้งห้องรม เพราะการลดลงของอัตราการเผาไหม้ไม้ฟืนที่เตาเผา เนื่องจากข้อจำกัดของพื้นที่ถ่ายเทความร้อน [คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2545] จนทำให้แก๊สร้อนบางส่วนได้ไหลออกจากเตาเผา [ยุทธภูมิ พงศ์ปริยวาที และ วชิรพันธุ์ ตัณฑะประภา, 2545] เป็นผลให้ปริมาณของยางแผ่นรมควันที่มีคุณภาพ (ยางแผ่นรมควันชั้น 3) ที่สหกรณ์สวนยางผลิตได้มีค่าลดลง ดังนั้นวิธีการคำนวณเชิงพลศาสตร์ของไหล ด้วยโปรแกรม FLOVENT จึงได้ถูกนำมาใช้ในการจำลองแบบห้องรมเปล่ารุ่นปี 2537 และจำลองสถานการณ์เพื่อหาแนวทางและศึกษาว่าวิธีการให้แก๊สร้อนไหลผ่านแผ่นยางโดยตรงทั้งหมดพร้อมทั้งทำการปิดท่อครีฟท์ขนาด 8 นิ้ว หน้าห้องรมสามารถทำได้หรือไม่ ทั้งนี้การจำลองแบบและการวัดอุณหภูมิเปรียบเทียบได้สนใจศึกษาเฉพาะแนวโน้มของการกระจายอุณหภูมิของแก๊สร้อนภายในห้องรมเปล่าเท่านั้น ซึ่งการวัดอุณหภูมิของแก๊สร้อนภายในห้องรมเปล่าได้ใช้ชุดวัดอุณหภูมิที่ประกอบด้วยสายเทอร์โมคัปเปิลชนิด K (type K) และสวิทช์เลือก Digicon รุ่น model TS-84HT (K) โดยมีขั้นตอนดังนี้

- ติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลภายในห้องรมเปล่าจำนวน 13 ตำแหน่ง ดังรูปที่ 5.1
- บันทึกอุณหภูมิห้องรมทุกๆ 10 นาที จนกระทั่งอุณหภูมิภายในห้องรมเปล่าคงตัว
- นำผลการทดสอบที่ได้มาเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการจำลองด้วยวิธีการคำนวณ

เชิงพลศาสตร์ของไหล โปรแกรม FLOVENT เพื่อหาแนวโน้มการกระจายอุณหภูมิของแก๊สร้อนภายในห้องรมเปล่า



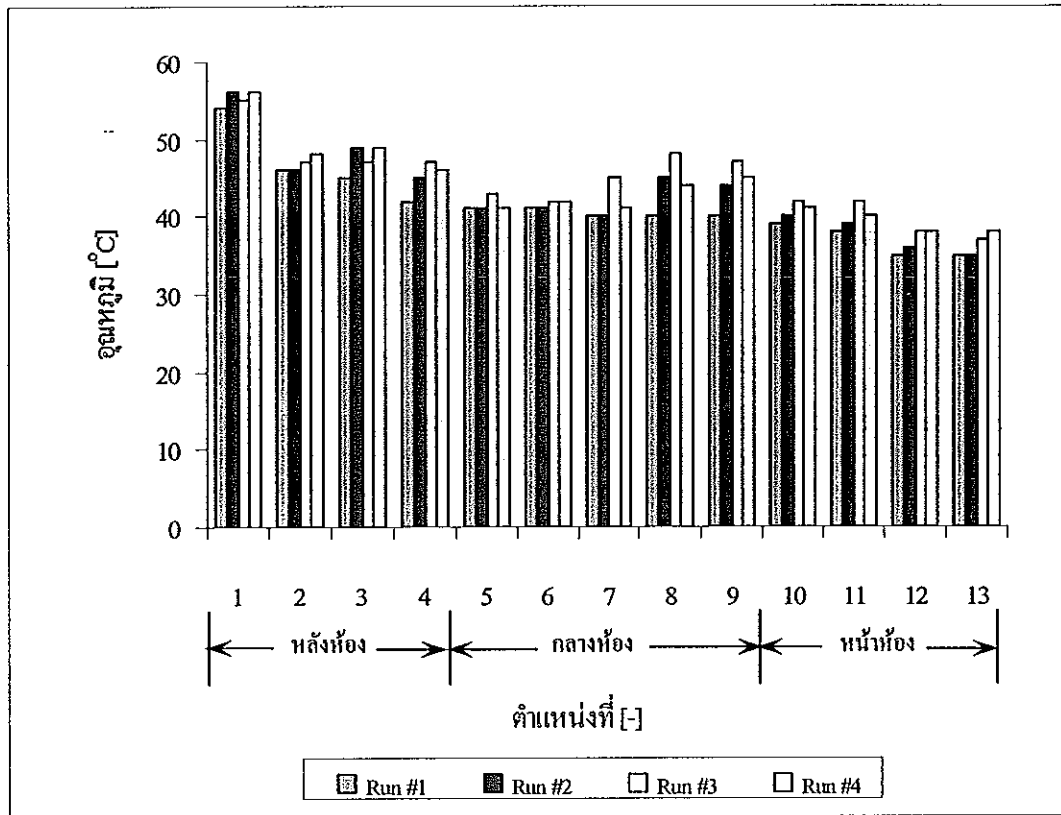
รูปที่ 5.1 ตำแหน่งที่ทำกรวัดอุณหภูมิในห้องรมปลา



รูปที่ 5.2 ชุดวัดอุณหภูมิ

ผลและการวิเคราะห์ผล

ผลการวัดการกระจายอุณหภูมิของแก๊สร้อนภายในห้องรมเป่ารุ่นปี 2537 ทั้ง 13 จุด ซึ่งมีตำแหน่งตามรูปที่ 5.1 ข้างต้น เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการจำลองแบบ ซึ่งจากการทดสอบพบว่า การกระจายอุณหภูมิของแก๊สร้อนภายในห้องรมเป่าที่ยังไม่ได้ปรับปรุงที่สภาวะคงตัว (steady state) มีความแตกต่างกันสูงถึง 15-20 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิทางด้านหลังของห้องมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิด้านหน้าของห้องมาก ดังแสดงตามรูปที่ 5.3 และในภาคผนวก จ (ตำแหน่งที่ 1-4 อยู่ด้านหลังของห้อง ตำแหน่งที่ 5-9 อยู่ตรงกลางของห้อง ส่วนตำแหน่งที่ 10-13 อยู่ด้านหน้าของห้อง) เนื่องจากเตาเผาไม้ฟืนอยู่ด้านหลังของห้องรม แก๊สร้อนจึงไหลเข้าสู่ห้องรมทางด้านหลังของห้องมากกว่าทางด้านหน้าของห้อง ซึ่งความแตกต่างของการกระจายอุณหภูมิตั้งนี้ ยังคงสามารถผลิตยางแผ่นรมควันที่มีคุณภาพ (ยางแผ่นรมควันชั้น 3) ได้ในปริมาณที่สูงกว่า 70% แต่ในงานวิจัยนี้สนใจเฉพาะการรักษาปริมาณของยางแผ่นรมควันที่มีคุณภาพที่ผลิตได้ให้คงเดิมเท่านั้น เมื่อใช้วิธีการให้แก๊สร้อนไหลผ่านแผ่นยางโดยตรง ดังนั้นการกระจายอุณหภูมิของแก๊สร้อนภายในห้องรมเป่าหลังจากการปรับปรุงต้องมีค่าความแตกต่างไม่เกิน 15-20 องศาเซลเซียส เช่นเดียวกับการกระจายอุณหภูมิของแก๊สร้อนภายในห้องรมเป่าก่อนการปรับปรุง



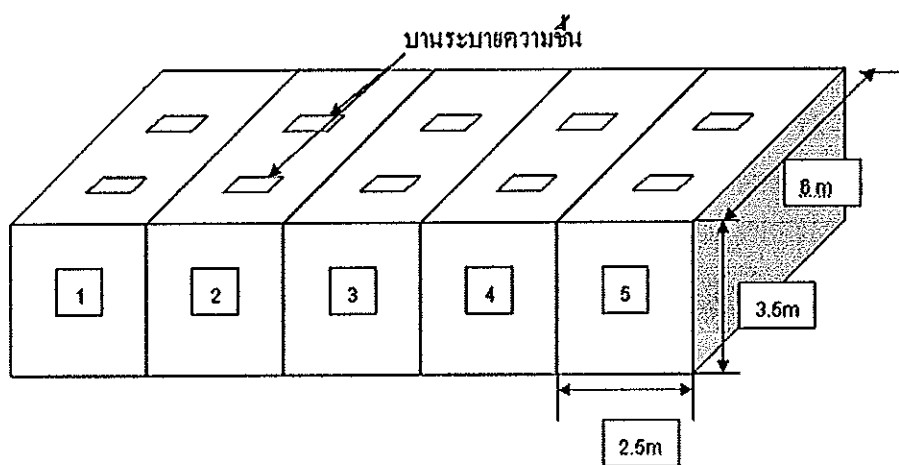
รูปที่ 5.3 อุณหภูมิของแก๊สร้อนที่ตำแหน่งต่างๆ

5.3 ส่วนการจำลองห้องรมเปล่าเพื่อศึกษาแนวโน้มการกระจายอุณหภูมิของแก๊สร้อน

ในส่วนการจำลองห้องรมเปล่าเพื่อศึกษาแนวโน้มการกระจายอุณหภูมิของแก๊สร้อนได้ใช้วิธีการคำนวณเชิงพลศาสตร์ของไหลด้วยโปรแกรม FLOVENT ซึ่งเป็นการจำลองแบบและสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์ โดยขั้นตอนการใช้งานของโปรแกรม FLOVENT ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก

5.3.1 รายละเอียดของห้องรมเปล่าที่ใช้ในการศึกษาแนวโน้มการกระจายอุณหภูมิของแก๊สร้อน

ห้องรมเปล่าที่ใช้ศึกษาในงานวิจัยนี้เป็นห้องรมยางของกองทุนสงเคราะห์การทำสวนยางรุ่นปี 2537 มีลักษณะเป็นห้องแถวดังรูปที่ 5.4



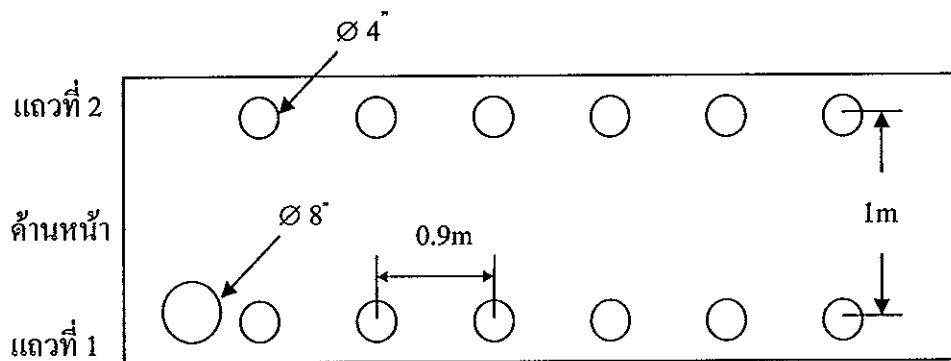
รูปที่ 5.4 ลักษณะห้องรมยางซึ่งเป็นห้องแถว

โดยห้องรมยางที่ใช้ศึกษาในโครงการนี้มีรายละเอียดดังนี้

1. ห้องรมยางกว้าง 2.5 เมตร สูง 3.5 เมตร ลึก 6 เมตร
2. เพดานห้องรมยางปิดด้วยกระเบื้องแผ่นเรียบหนา 4 มิลลิเมตร และได้เจาะเป็นช่องระบายความชื้น 2 ช่องขนาด 0.6 x 0.6 เมตร แต่ในการใช้งานจริงจะเปิดบานระบายเพียง 0.1 x 0.6 เมตร เท่านั้น
3. ผนังห้องรมยางทำด้วยอิฐฉาบผิวเรียบทั้ง 3 ด้าน
4. ประตูด้านหน้าทำด้วยเหล็กมีความหนารวม 3 มิลลิเมตร
5. ภายในห้องรมยางมีช่องปล่อยแก๊สร้อนขนาด 100 มิลลิเมตร จำนวน 12 ช่อง โดยแบ่งเป็น 2 แถวๆ ละ 6 ช่อง ระยะห่างของช่องปล่อยแก๊สร้อนเท่ากับ 0.9 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 5.5

6. ภายในห้องรมยางมีปล่องระบายแก๊สร้อนขนาด 200 มิลลิเมตร 1 ปล่องที่บริเวณ
ด้านหน้าของห้อง

7. ด้านล่างของพื้นห้องปูด้วยเหล็กแผ่นหนา 6 มิลลิเมตร



รูปที่ 5.5 ช่องปล่องแก๊สร้อนและปล่องระบายแก๊สร้อนภายในห้องรมยาง

5.3.2 ขั้นตอนการศึกษา

วิธีการการศึกษาแนวโน้มการกระจายอุณหภูมิของแก๊สร้อนภายในห้องรมเปลา
ด้วยวิธีการคำนวณเชิงพลศาสตร์ของไหล โปรแกรม FLOVENT นั้นได้แสดงไว้ใน
ภาคผนวก ข และมีขั้นตอนการศึกษา ดังนี้

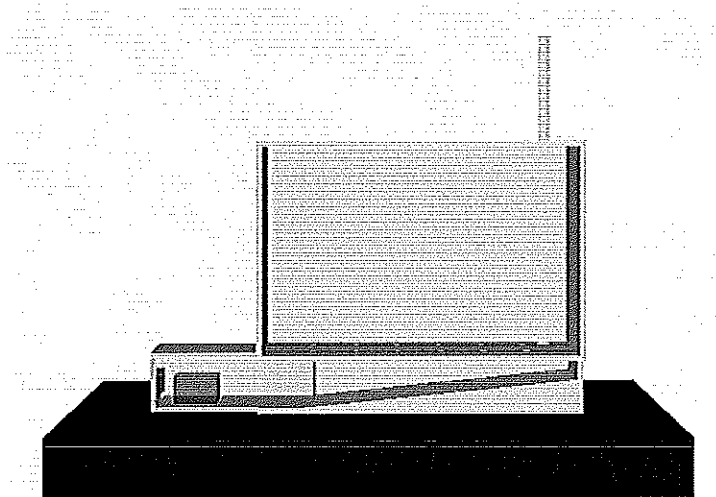
1. กำหนดค่าขอบเขตของสิ่งที่ศึกษา
2. กำหนดค่าแรงโน้มถ่วงของโลกและสภาวะอากาศ
3. กำหนดเงื่อนไขขอบเขต คือค่าของความดัน, อุณหภูมิ, การแผ่รังสีความร้อนและ
การพาความร้อน
4. สร้างแบบจำลองห้องรมพร้อมทั้งกำหนดชนิดของวัสดุและค่าของการนำความร้อน
5. สร้างเตาเผาพร้อมทั้งกำหนดชนิดของวัสดุ, ค่าของพลังงานความร้อน (กำหนด
เป็น Heat source โดยได้แปลงมาจากค่าพลังงานความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง
ไม้พื้นที่ทั้งหมดตามสัดส่วนความชื้นฐานแห้งตามที่ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข เทียบกับ
ระยะเวลา) และค่าของการนำความร้อน

6. กำหนดค่าของ Grid เพื่อใช้ในการคำนวณด้วยวิธีการไฟไนต์วอลุ่ม โดยใช้ turbulent model ชนิด $k - \epsilon$
7. กำหนด Iteration ในการคำนวณ ซึ่งมีลักษณะการคำนวณเป็นแบบ Trial and error และให้โปรแกรมคำนวณจนระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว (Steady state)
8. แสดงผลที่ได้โดยการเขียนกราฟอุณหภูมิของแก๊สร้อนที่ตำแหน่งต่างๆ ดังแสดงไว้ในภาคผนวก ฉ
9. นำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับผลจากการวัดอุณหภูมิภายในห้องรมเปลา

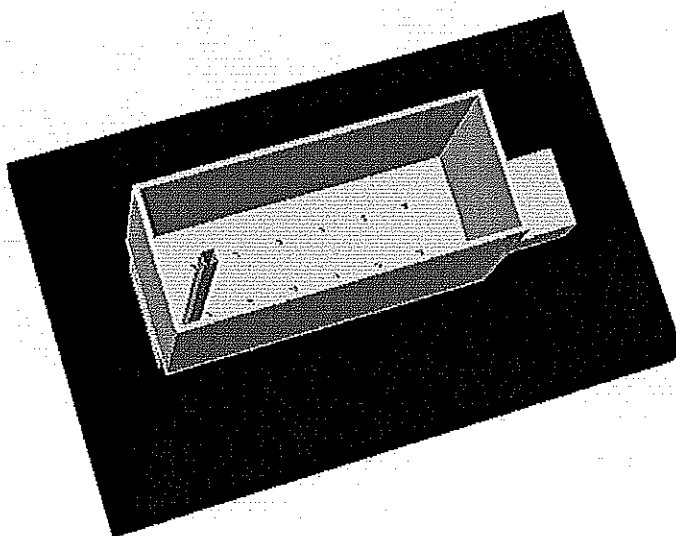
ผลและการวิเคราะห์ผล

รูปที่ 5.6 และรูปที่ 5.7 แสดงภาพการจำลองด้านข้างและด้านบนของห้องรมเปลา รุ่นปี 2537 ก่อนการปรับปรุงด้วยวิธีการคำนวณเชิงพลศาสตร์ของไหล โปรแกรม FLOVENT ตามลำดับ จากการจำลองแบบเพื่อศึกษาหาแนวโน้มการกระจายอุณหภูมิของแก๊สร้อนภายในห้องรมเปลา พบว่าการกระจายอุณหภูมิของแก๊สร้อนมีค่าอยู่ระหว่าง 54-57 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิที่ด้านหลังของห้องจะมีค่าสูงกว่าด้านหน้าของห้องเล็กน้อย เนื่องจากแหล่งพลังงานความร้อน (เตาเผา) อยู่ด้านหลังของห้อง ส่วนการเปรียบเทียบระหว่างผลการกระจายอุณหภูมิของแก๊สร้อนภายในห้องรมรุ่นปี 2537 ด้วยวิธีการคำนวณเชิงพลศาสตร์ของไหล โปรแกรม FLOVENT กับผลที่ได้จากการวัดจริง พบว่ามีความแตกต่างกันประมาณ 15% ตามรูปที่ 5.8 โดยอุณหภูมิที่ได้จากการวัดจริงจะมีความแตกต่างกับอุณหภูมิที่ได้จากการคำนวณเชิงพลศาสตร์ของไหลมากทางด้านกลางและด้านหน้าของห้อง เนื่องจากอุณหภูมิของพลังงานความร้อนที่ได้จากการวัดจริง เป็นพลังงานที่ได้รับจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงไม้ฟืนที่มีอัตราการเผาไหม้ไม่คงที่ แตกต่างจากพลังงานความร้อนที่กำหนดใน โปรแกรม FLOVENT ที่เป็นพลังงานคงที่ตลอดเวลา เช่นเดียวกับการสูญเสียพลังงานความร้อนในห้องรมจริงที่มีการสูญเสียไปมากกว่าการจำลองแบบทางรอยรั่วของเตาเผา ผนัง และประตูของห้องรม ซึ่งไม่ได้พิจารณาในแบบจำลอง รวมไปถึงสภาวะคงตัวที่ใช้เป็นตัวแทนจากการวัดการกระจายอุณหภูมิของแก๊สร้อนภายในห้องรมเปลาจริงอาจคลาดเคลื่อนไปบ้าง เนื่องจาก

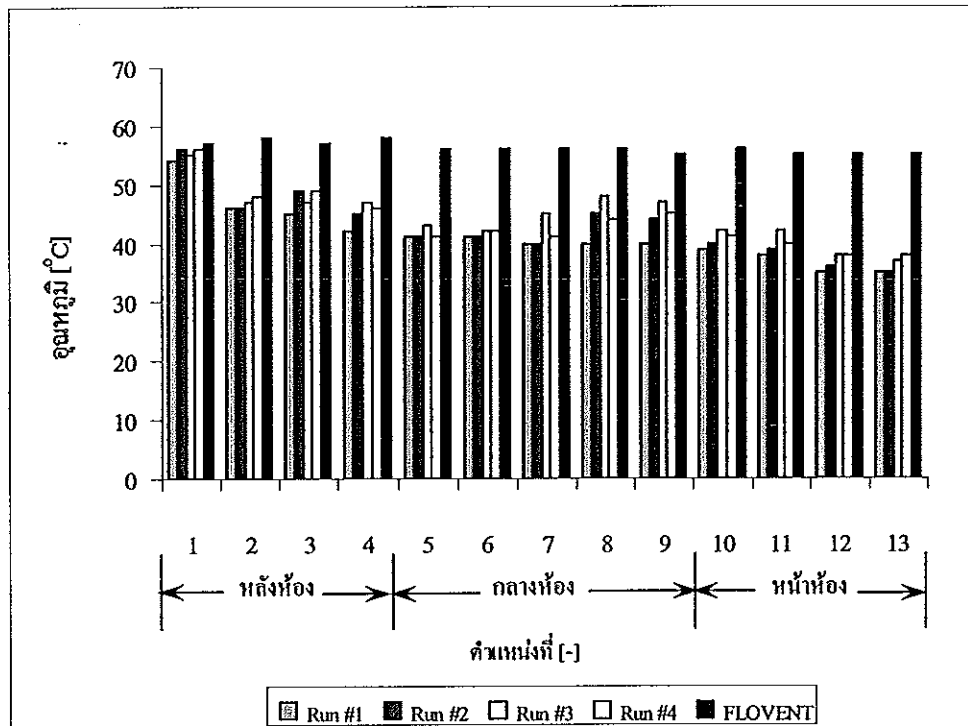
ในการวัดอุณหภูมิแต่ละจุดแต่ละครั้งได้ใช้ชุดวัดอุณหภูมิที่ใช้สวิตช์กด ทำให้ช่วงเวลาที่ทำการวัดมีความแตกต่างกันเล็กน้อย



รูปที่ 5.6 ภาพจำลองด้านข้างของห้องรวมเปล่า ก่อนทำการปรับปรุ่งด้วยโปรแกรม FLOVENT



รูปที่ 5.7 ภาพจำลองด้านบนของห้องรวมเปล่า ก่อนการปรับปรุ่งด้วยโปรแกรม FLOVEN



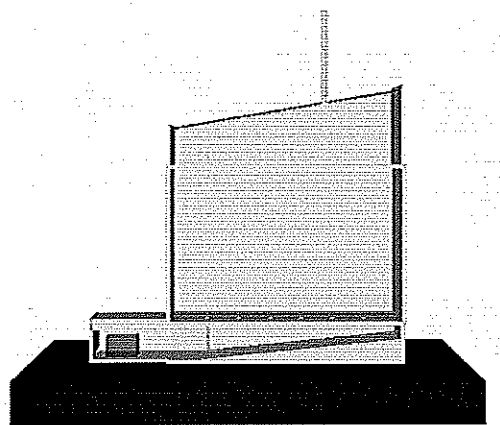
รูปที่ 5.8 ผลการกระจายอุณหภูมิของแก๊สร้อนภายในห้องรมเปล่ารุ่นปี 2537 ก่อนการปรับปรุง ด้วยโปรแกรม FLOVENT เปรียบเทียบกับการวัดจริง

5.4 ส่วนการจำลองสถานการณ์แนวโน้มการกระจายอุณหภูมิของแก๊สร้อนของแก๊สร้อนภายในห้องรมเปล่า เป็นการศึกษาเพื่อหาแนวทางให้แก๊สร้อนไหลผ่านแผ่นยางโดยตรงทั้งหมด โดยทำการปิดท่อกราฟท์ขนาด 8 นิ้ว หน้าห้องรม ซึ่งมีขั้นตอนการศึกษา เช่นเดียวกับการจำลองแบบของห้องรมเปล่าข้างต้นพร้อมทั้งได้ทำการเปลี่ยนแบบจำลองเป็นแบบต่างๆ จนได้แบบจำลองที่น่าจะเหมาะสม (ดูผลจากการกระจายอุณหภูมิภายในห้องรมเปล่าเท่านั้น) ก่อนจะนำแบบจำลองที่ได้ไปปรับปรุงห้องรมอย่างต่อเนื่องต่อไป

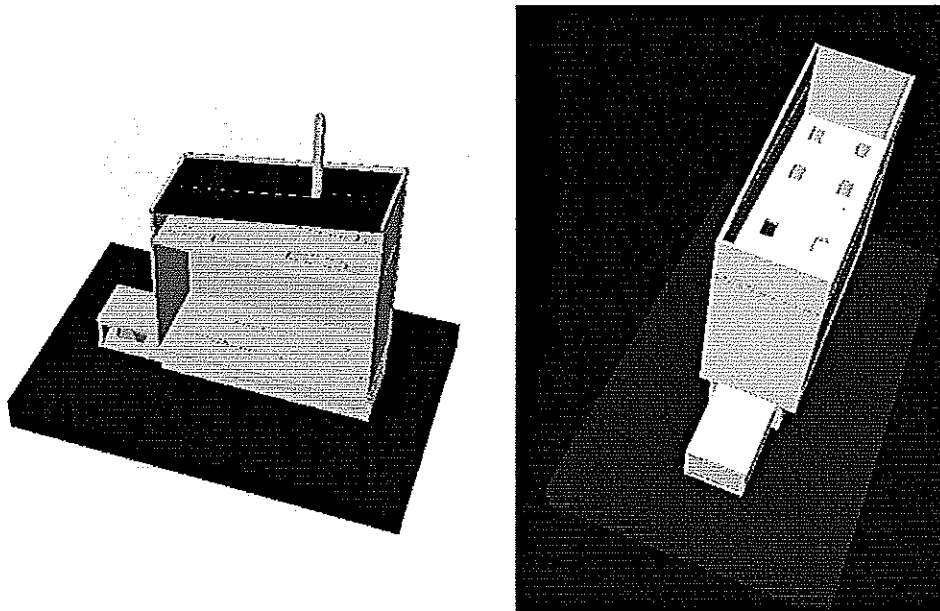
ผลและการวิเคราะห์ผล

ผลการจำลองสถานการณ์เพื่อหาวิธีการให้แก๊สร้อนไหลผ่านแผ่นยางโดยตรงทั้งหมด โดยได้ทำการเปลี่ยนขนาดและตำแหน่งของบานระบายความชื้นของแบบจำลองประมาณ 20 แบบ และพบว่าการปิดรอบห้องเหนือเพดาน การลดขนาด

บานระบายความชื้นจากขนาด 0.6x0.6 ตารางเมตร เป็นขนาด 0.3x0.5 ตารางเมตร การเพิ่มจำนวนบานระบายความชื้นจากจำนวน 2 บาน เป็น 6 บาน และการใช้ปล่องระบายเหนือห้องรม สามารถทำให้แก๊สร้อนสามารถไหลเข้าสู่ห้องรมโดยตรงทั้งหมด ดังแสดงตามรูปที่ 5.9 และ 5.10



รูปที่ 5.9 ภาพจำลองด้านข้างของห้องรมเปล่า หลังจากการปรับปรุงด้วยโปรแกรมFLOVENT

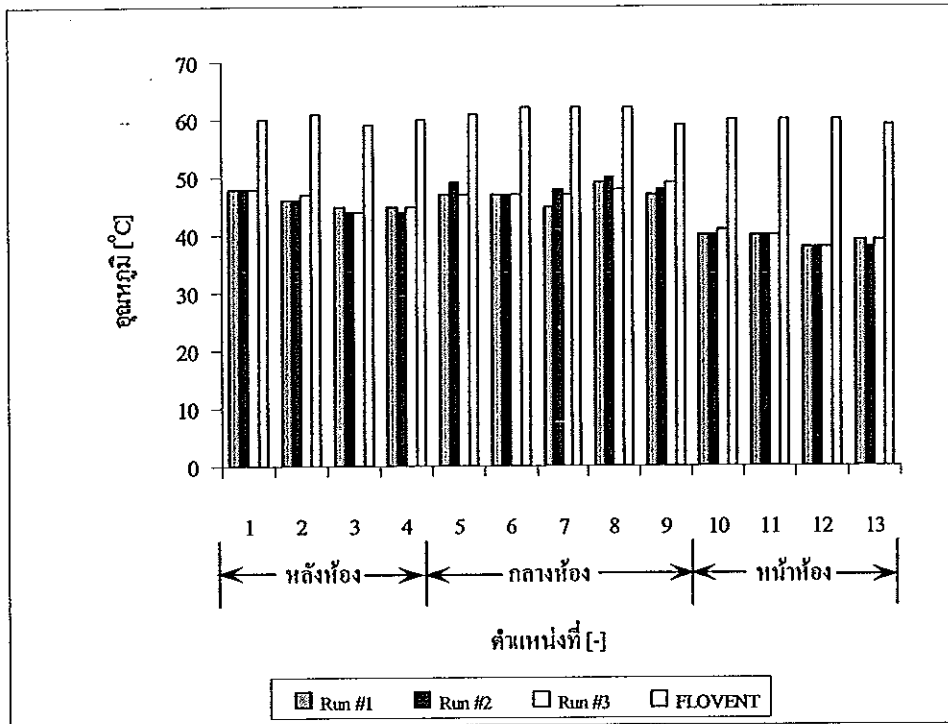


รูปที่ 5.10 ภาพจำลองด้านบนของห้องรมเปล่า หลังจากการปรับปรุงด้วยโปรแกรมFLOVENT

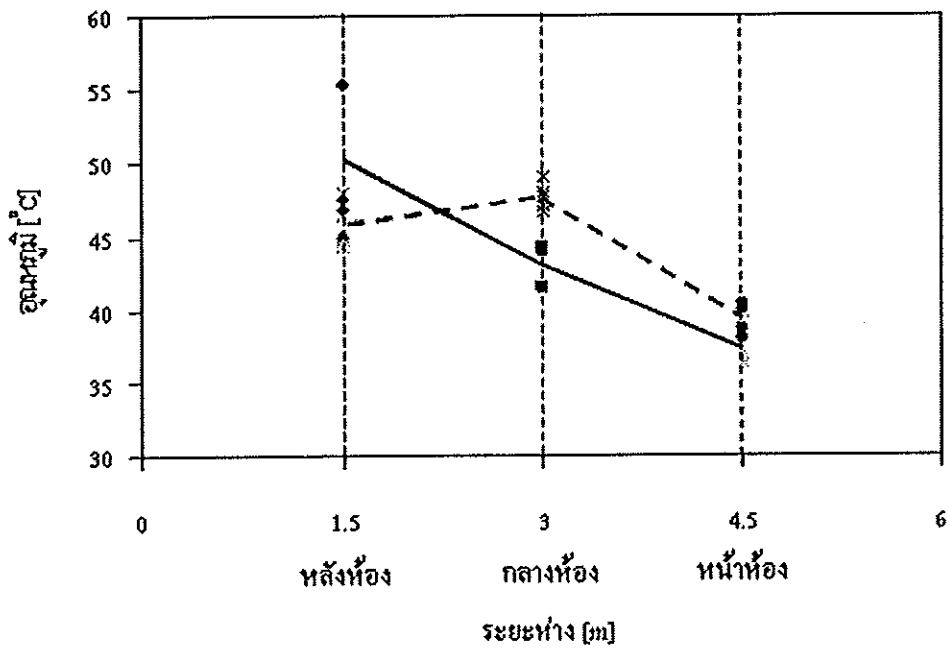
5.5 ส่วนการวัดการกระจายอุณหภูมิของแก๊สร้อนภายในห้องรมเปล่าหลังจากการปรับปรุง เป็นการศึกษาว่าผลการกระจายอุณหภูมิของแก๊สร้อนภายในห้องรมเปล่าที่ได้จากการจำลองสถานการณ์นั้นมีแนวโน้มที่ถูกต้องหรือไม่ ซึ่งอุปกรณ์และขั้นตอนการศึกษาสามารถทำได้เช่นเดียวกับวัดการกระจายอุณหภูมิของแก๊สร้อนภายในห้องรมเปล่าข้างต้น

ผลและการวิเคราะห์ผล

ผลการวัดการกระจายอุณหภูมิของแก๊สร้อนภายในห้องรมเปล่าหลังจากได้ทำการปรับปรุงแล้ว เพื่อเปรียบเทียบกับผลการจำลองสถานการณ์ ซึ่งจากการทดสอบพบว่า แนวโน้มการกระจายอุณหภูมิของแก๊สร้อนภายในห้องรมเปล่ารุ่นปี 2537 ที่หลังจากการปรับปรุงด้วยโปรแกรม FLOVENT มีความแตกต่างจากการวัดจริงประมาณ 15% เช่นเดียวกับผลที่ได้จากแบบจำลองก่อนทำการปรับปรุง ดังรูปที่ 5.11 และในภาคผนวก ญ นั้นแสดงว่าค่าต่างๆที่กำหนดในการจำลองแบบและการจำลองสถานการณ์มีแนวโน้มถูกต้อง ส่วนอุณหภูมิที่ได้จากการวัดจริงซึ่งมีค่าสูงมากในส่วนกลางของห้องรมนั้นน่าจะเกิดจากการใช้ตัวระบายอากาศแบบหมุนได้ด้วยตัวเอง ซึ่งติดตั้งอยู่บริเวณส่วนกลางของห้องเหนือห้องรม ทำให้แก๊สร้อนไหลเข้าสู่ส่วนนี้มากกว่าส่วนอื่น



รูปที่ 5.11 ผลการกระจายอุณหภูมิของแก๊สร้อนภายในห้องรมเปล่ารุ่นปี 2537 หลังจากการปรับปรุง ด้วยโปรแกรม FLOVENT เปรียบเทียบกับการวัดจริง



รูปที่ 5.12 ผลค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิของแก๊สร้อนภายในห้องรมเปล่ารุ่นปี 2537 ซึ่งวัดได้จากตำแหน่งต่างๆ ก่อนและหลังจากการปรับปรุง ที่สภาวะคงตัว (steady state)

จากรูปที่ 5.12 พบว่าผลค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิของแก๊สร้อนภายในห้องรมเปล่านั้นปี 2537 ซึ่งวัดได้จากตำแหน่งต่างๆ ตามรูปที่ 5.1 ข้างต้นก่อนและหลังจากการปรับปรุงที่สถานะคงตัว (steady state) นั้นมีแนวโน้มการกระจายอุณหภูมิที่แตกต่างกัน โดยห้องรมก่อนการปรับปรุงนั้น อุณหภูมิที่ตำแหน่งทางด้านหลังของห้องมีค่าสูงสุดและมีแนวโน้มที่จะลดลงไปเรื่อยๆจนมีค่าต่ำสุดที่ทางด้านหน้าของห้อง แตกต่างกับห้องรมหลังจากการปรับปรุง ซึ่งอุณหภูมิที่ตำแหน่งตรงกลางของห้องมีค่าสูงสุด และจะมีลดลงไปเรื่อยๆทางด้านหลังและด้านหน้าของห้อง โดยอุณหภูมิที่ตำแหน่งทางด้านหน้าของห้องจะมีค่าต่ำสุดเช่นเดียวกันกับห้องรมก่อนการปรับปรุง แต่เมื่อพิจารณาผลความแตกต่างของการกระจายอุณหภูมิในแต่ละตำแหน่ง พบว่าอุณหภูมิแต่ละตำแหน่งของห้องรมหลังจากการปรับปรุงมีค่าอยู่ในช่วงของการกระจายอุณหภูมิของห้องรมก่อนการปรับปรุง ซึ่งน่าจะนำไปใช้งานจริงได้

5.6 ผลการกระจายอุณหภูมิของแก๊สร้อนภายในห้องรมยางก่อนและหลังการปรับปรุง

การวัดการกระจายอุณหภูมิของแก๊สร้อนภายในห้องรมยางนั้น เป็นเพียงเฉพาะผลของการทดสอบเพิ่มเติมนอกเหนือจากขอบเขตของงานวิทยานิพนธ์นี้ ซึ่งได้สนใจเฉพาะปริมาณการใช้เชื้อเพลิงไม้ฟืน ระยะเวลาการรมยาง ปริมาณและคุณภาพของยางแผ่นรมควันเท่านั้น จากผลการทดสอบพบว่าการกระจายอุณหภูมิของแก๊สร้อนภายในห้องรมยางก่อนและหลังจากการปรับปรุงมีช่วงของความแตกต่างใกล้เคียงกัน แต่จะแตกต่างกันตรงที่อุณหภูมิของแก๊สร้อนภายในห้องรมยางก่อนการปรับปรุงจะมีค่าสูงทางด้านหลังของห้องรม และมีแนวโน้มที่จะลดลงไปเรื่อยๆ จนมีค่าต่ำสุดที่ทางด้านหน้าของห้องเช่นเดียวกับผลของการกระจายอุณหภูมิภายในห้องรมเปล่านั้นก่อนการปรับปรุง ดังแสดงในภาคผนวก ก ในกรณีเดียวกันการกระจายอุณหภูมิของแก๊สร้อนภายในห้องรมยางหลังจากการปรับปรุง จะมีค่าสูงที่ตำแหน่งกลางห้องรมและมีแนวโน้มลดลงไปเรื่อยๆทางด้านหลังและด้านหน้าของห้อง เช่นเดียวกับผลของการกระจายอุณหภูมิภายในห้องรมเปล่านั้นหลังจากการปรับปรุง ดังแสดงในภาคผนวก ก

5.7 บทสรุป

จากการศึกษาหาแนวโน้มนำการกระจายอุณหภูมิของแก๊สร้อนภายในห้องรมเปล่า ด้วยวิธีการคำนวณเชิงพลศาสตร์ของไหล พบว่าวิธีการให้แก๊สร้อนไหลผ่านแผ่นยาง โดยตรงทั้งหมดสามารถทำได้โดยการปิดรอบห้องเหนือเพดาน การเปลี่ยนตำแหน่งของ บานระบายความชื้น การลดขนาดบานระบายความชื้นจาก 0.6x0.6 เมตร เป็น 0.3x0.5 เมตร และเพิ่มจำนวนจาก 2 บาน เป็น 6 บาน พร้อมทั้งติดตั้งท่อปล่องควันขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 นิ้ว สูง 2.5 เมตร อีก 1 ท่อทางบริเวณด้านหน้าเหนือขึ้นไปด้านบนของห้อง รม (ได้เปลี่ยนเป็นการใช้ตัวระบายอากาศแบบหมุนได้ด้วยตัวเองแทนในการปรับปรุง จริง เนื่องจากปัญหาด้านการก่อสร้าง) นั้นสามารถนำไปปรับปรุงห้องรมยางเพื่อใช้งาน จริงได้ เนื่องจากผลของแนวโน้มนำการกระจายอุณหภูมิของแก๊สร้อนภายในห้องรมเปล่า ก่อนและหลังจากการปรับปรุงที่ศึกษาได้จากวิธีการคำนวณเชิงพลศาสตร์ของไหลนั้น มี ค่าความแตกต่างที่ใกล้เคียงกัน ทำให้มีความเป็นไปได้ที่จะสามารถผลิตยางแผ่นรมควัน ได้คงเดิมทั้งปริมาณและคุณภาพ (ยางแผ่นรมควันชั้น 3) ด้วยวิธีการกรองแก๊สร้อนก่อน ให้ไหลผ่านแผ่นยางโดยตรงทั้งหมด ซึ่งการปรับปรุงห้องรมยางโดยการติดตั้งตัวดักจับ อนุภาคและทำการทดสอบ จะได้กล่าวในบทต่อไป

บทที่ 6

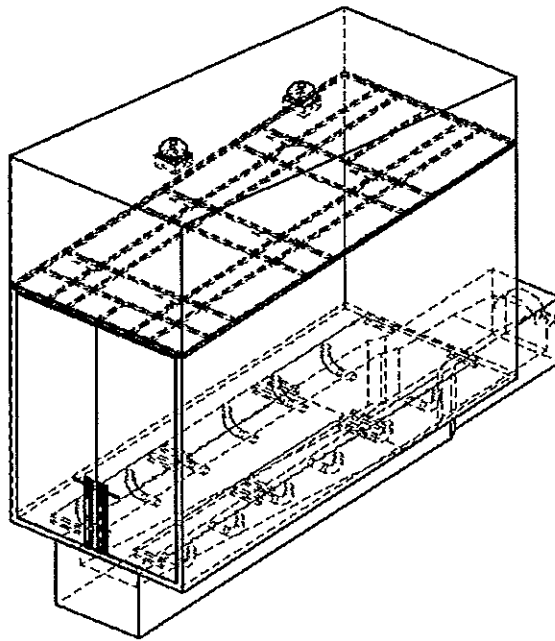
การปรับปรุงห้องรมยางและการทดสอบ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการปรับปรุงห้องรมยางพร้อมติดตั้งตัวดักจับอนุภาคเขม่าควัน คือเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต เพื่อศึกษาความเหมาะสมในการใช้ดักจับอนุภาคเขม่าควันภายในห้องรมยาง และศึกษาว่าวิธีการกรองแก๊สร้อนก่อนให้ไหลผ่านแผ่นยาง โดยตรงสามารถลดการใช้เชื้อเพลิงไม้ฟืนและระยะเวลาการรมยางได้หรือไม่ รวมไปถึง ปริมาณและคุณภาพของยางแผ่นรมควันที่ผลิตได้จะยังคงเดิมหรือไม่

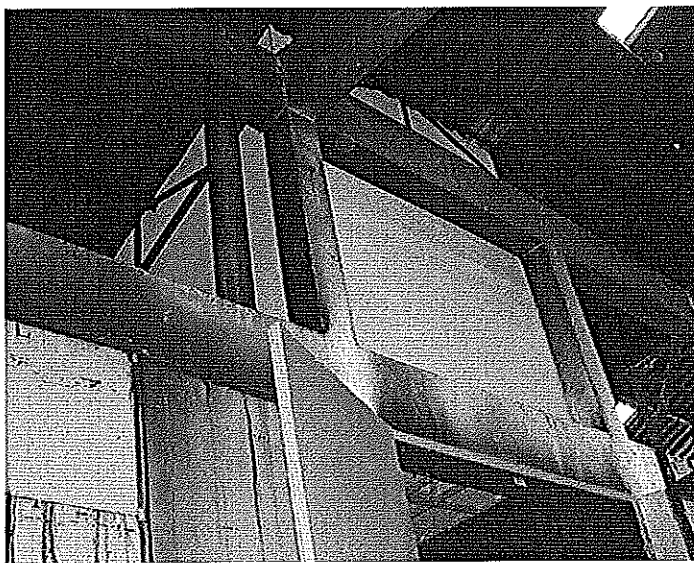
6.1 การปรับปรุงห้องรมยาง

เนื่องจากการปรับปรุงห้องรมยางรุ่นปี 2537 ในงานวิจัยนี้ ได้ใช้วิธีการกรองแก๊สร้อนก่อนให้ไหลผ่านแผ่นยาง โดยตรงที่มีความพยายามในการรักษาส่วนประกอบต่างๆของห้องรมให้เหมือนเดิมมากที่สุดและให้มีการลงทุนน้อยที่สุด ดังนั้นการปรับปรุงห้องรมยางนั้นจึงทำตามผลของแบบจำลองที่ศึกษาได้จากแนวโน้มการกระจายอุณหภูมิของแก๊สร้อนภายในห้องรมเปล่า ด้วยวิธีการคำนวณเชิงพลศาสตร์ของไหลและความเหมาะสมในการติดตั้ง ดังรูปที่ 6.1 ซึ่งรูปที่ 6.2 และรูปที่ 6.3 นั้นได้แสดงถึงด้านบนรอบห้องรมยางและเพดานและบานระบายความชื้นของห้องรมยางที่ทำการปรับปรุงตามแบบจำลอง การติดตั้งท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 นิ้ว สูง 2.5 เมตรเหนือห้องรมนั้นพบปัญหาด้านการก่อสร้าง เนื่องจากการติดตั้งท่อขนาดนี้เหนือห้องรมจะเกิดข้อจำกัดในการหาตำแหน่งที่เหมาะสมเพื่อรับน้ำหนักของท่อ ซึ่งอาจเกิดปัญหาการพังทลายได้ จึงได้เปลี่ยนจากการใช้ท่อระบายมาเป็นการใช้ตัวระบายอากาศแบบหมุนได้ด้วยตัวเองแทน ดังรูปที่ 6.4 ส่วนการติดตั้งตัวดักจับอนุภาคเขม่าควันเพื่อรักษาคุณภาพของยางแผ่นรมควันให้คงเดิม (ยางแผ่นรมควันชั้น 3) ที่เป็นหัวใจหลักของงานวิจัยนี้ ได้ทำการติดตั้งเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตภายในห้องรม เพื่อศึกษาความเหมาะสมใน

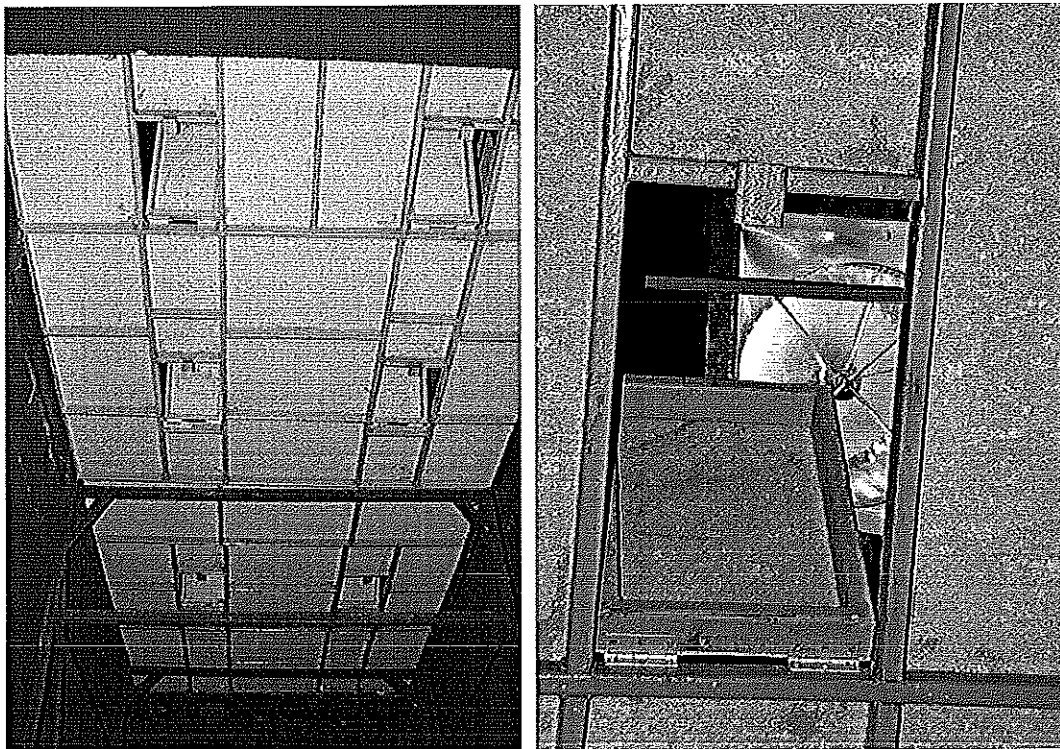
การใช้ดักจับอนุภาคเขม่าควันภายในห้องรมยาง โดยเปรียบเทียบลักษณะสีของยางแผ่นรมควันที่ผลิตได้กับกรณีที่ไม่ได้ติดตั้งเครื่องตักตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต



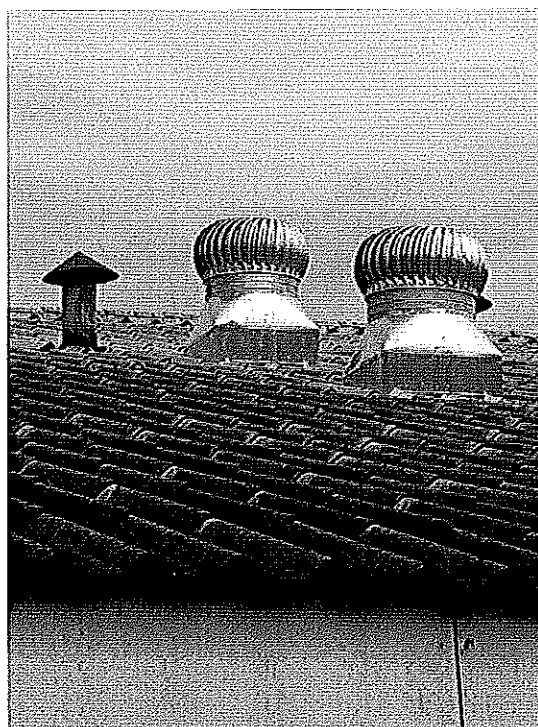
รูปที่ 6.1 ห้องรมยางของสหกรณ์กองทุนสวนยางที่ปรับปรุง



รูปที่ 6.2 ด้านบนรอบห้องรมยางที่ทำการปรับปรุงแล้ว



รูปที่ 6.3 เพดานห้องรมยางที่ทำการปรับปรุงแล้วแสดงตำแหน่งบานระบายความชื้น



รูปที่ 6.4 ตัวระบายแบบหมุนได้ด้วยตัวเองบนหลังคาห้องรมที่ปรับปรุงแล้ว

6.2 การทดสอบปริมาณการใช้ไม้พิน

การทดสอบปริมาณการใช้ไม้พินตลอดระยะเวลาการรมยางแผ่นได้พิจารณาเปรียบเทียบผลโดยรวมทั้งหมดระหว่างห้องรมที่ไม่ได้ทำการปรับปรุงกับห้องรมที่ทำการปรับปรุงเท่านั้น โดยในการทดสอบได้แยกพิจารณาข้อมูลออกเป็น 2 ช่วง คือ ระหว่างเดือนมิถุนายน ถึง พฤศจิกายน 2547 และระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2547 ถึง มกราคม 2548 เนื่องจากยางแผ่นรมควันที่ทางสหกรณ์ผลิตทั้งสองช่วงนั้นมีความหนาแตกต่างกัน ทำให้มีผลต่อปริมาณการใช้ไม้พินและระยะเวลาการรมยาง ส่วนการพิจารณาผลของปริมาณการใช้ไม้พินตลอดระยะเวลาการรมยางแผ่นของห้องรมที่ทำการปรับปรุงนั้น ได้พิจารณาโดยรวมทั้งกรณีที่ทำกรติดตั้งเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต และกรณีไม่ได้ทำการติดตั้ง เนื่องจากในส่วนของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตนั้น ไม่ได้มีผลต่อปริมาณการใช้ไม้พิน พร้อมทั้งได้ทำการเปรียบเทียบผลของระยะเวลาการรมยาง ปริมาณและคุณภาพของยางแผ่นรมควันที่ผลิตได้ด้วย

6.2.1 ห้องรมที่ไม่ได้ทำการปรับปรุง เป็นห้องรมตัวอย่างรุ่นปี 2537 ที่ใช้สำหรับการทดสอบหาปริมาณการใช้เชื้อเพลิงไม้พิน ระยะเวลาการรมยาง ปริมาณและคุณภาพของยางแผ่นรมควันที่ผลิตได้ ซึ่งมีขั้นตอนการทดสอบ คือ

1. บันทึกปริมาณไม้พินที่ใช้ต่อการรมยางหนึ่งห้องรมในแต่ละครั้ง (กิโลกรัมไม้พินต่อกิโลกรัมยางสุก)
2. บันทึกระยะเวลาในการรมยางแต่ละห้องแต่ละครั้ง
3. บันทึกปริมาณยางดี (ยางแผ่นรมควันชั้น 3), ยางฟอง, ยางคัทตั้งและยางดิบในการรมยางแต่ละห้องแต่ละครั้ง

ผลและการวิจารณ์ผล

ผลของการเก็บข้อมูลปริมาณการใช้เชื้อเพลิงไม้พิน ระยะเวลาการรมยาง ปริมาณและคุณภาพของยางแผ่นรมควันของห้องรมก่อนทำการปรับปรุงได้แสดงตามตารางที่ 6.1 และ 6.2

ตารางที่ 6.1 ปริมาณการใช้ไม้พินและปริมาณยางของห้องรมตัวอย่างก่อนการปรับปรุง
ในระหว่างเดือนมิถุนายน ถึง พฤศจิกายน 2547 (ฝนตก)

ครั้งที่	เวลาที่ใช้ (วัน)	ยางดี (กก.)	ยางฟอง/ คล้ำ (กก.)	ยางคัตตั้ง (กก.)	ยางดิบ (กก.)	เศษยาง (กก.)	ไม้พินที่ใช้ (กก.)	ปริมาณไม้พินที่ใช้ต่อ ยางสุก 1000 กก. (กก./ตันยาง)
1	7.0	161	562	149	17	0	1924	2164
2	8.0	747	402	110	0	0	1782	1415
3	6.0	886	258	100	10	0	1708	1362
4	8.0	1250	15	30	0	0	2253	1740
5	10.0	1090	38	33	120	0	2520	1967
6	7.0	1113	23	124	34	0	1791	1384
เฉลี่ย	7.7	875	216	91	30	0	1996	1647
เปอร์เซ็นต์		72	18	8	2	0		

จากตารางที่ 6.1 ซึ่งแสดงปริมาณยางและปริมาณการใช้ไม้พินของห้องรมยาง
ตัวอย่างก่อนการปรับปรุงในระหว่างเดือนมิถุนายน ถึง พฤศจิกายน 2547 พบว่าปริมาณ
ไม้พินที่ใช้เฉลี่ยประมาณ 1647 กิโลกรัมต่อตันยางสุก หรือ 1.65 กิโลกรัมต่อกิโลกรัม
ยางสุก และมีปริมาณยางดีเฉลี่ย 875 กิโลกรัม หรือประมาณ 72 % ของยางสุก ส่วน
ที่เหลือเป็นยางฟอง/คล้ำและยางคัตตั้ง รวมประมาณ 28 % และมีระยะเวลาที่ใช้ในการ
รมยางทั้งหมดประมาณ 7.7 วัน ซึ่งเป็นระยะเวลาการรมยางที่สูงผิดปกติ เนื่องจากทาง
สหกรณ์สวนยางได้ผลิตยางแผ่นรมควันที่มีความหนาถึง 4.2 มิลลิเมตร เพราะความ
บกพร่องของจักรรีดยางแผ่นดิบและช่วงที่ทดสอบนี้เป็นช่วงฝนตก ทำให้มีความชื้นใน
อากาศสูง ส่วนในการทดสอบบางครั้งพบว่าจำนวนยางดิบ (ยางไม่สุก) ที่ได้จาก
การรมควันมีปริมาณสูงพอสมควรนั้นน่าจะเกิดจากคุณภาพของน้ำยางและการทำ
ยางแผ่นดิบที่ไม่ได้มาตรฐานเหมือนกันทุกแผ่น ซึ่งยางดิบ (ยางไม่สุก) ที่ได้นี้แม้ได้มี
การนำไปรมควันอีกครั้งก็อาจจะสามารถผลิตยางแผ่นรมควันชั้น 3 ได้ แต่ก็จะทำให้เกิด
การสูญเสียเวลาและค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิตเพิ่มเติม

ตารางที่ 6.2 ปริมาณการใช้ไม้พืนและปริมาณยางของห้องรมตัวอย่างก่อนการปรับปรุง
ในระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2547 ถึง มกราคม 2548 (ไม่มีฝนตก)

ครั้งที่	เวลาที่ใช้ (วัน)	ยางดี (กก.)	ยางฟอง/ คล้ำ (กก.)	ยางกั้ดตั้ง (กก.)	ยางดิบ (กก.)	เศษยาง (กก.)	ไม้พืนที่ใช้ (กก.)	ปริมาณไม้พืนที่ใช้ต่อ ยางสุก 1000 กก. (กก./ตันยาง)
1	5.0	1233	9	46	150	0	1340	932
2	4.0	817	0	46	43	0	1120	1236
3	5.0	1028	126	79	103	0	1275	954
4	3.0	1067	47	68	0	0	960	812
5	4.0	1370	0	66	0	0	1060	738
6	4.0	1300	47	48	0	0	1060	760
7	4.0	1250	0	51	0	0	1250	961
8	4.0	1300	145	0	43	0	910	612
เฉลี่ย	4.3	1171	47	51	42	0	1122	856
เปอร์เซ็นต์		89	4	4	3	0		

จากตารางที่ 6.2 ซึ่งแสดงปริมาณยางและปริมาณการใช้ไม้พืนของห้องรมยาง
ตัวอย่างก่อนการปรับปรุงในระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2547 ถึง มกราคม 2548 พบว่า
หลังจากทางสหกรณ์สวนยางได้รับทราบถึงปัญหาและทำการแก้ไข จนสามารถผลิต
ยางแผ่นรมควันที่มีความหนาตามมาตรฐาน คือ 2.8-3.0 มิลลิเมตร และเป็นช่วงที่ไม่มี
ฝนตก ทำให้ปริมาณไม้พืนที่ใช้เฉลี่ยลดลงเหลือประมาณ 856 กิโลกรัมต่อตันยางสุก
หรือ 0.86 กิโลกรัมต่อกิโลกรัมยางสุก และมีปริมาณยางดีเฉลี่ย 1171 กิโลกรัม หรือ
ประมาณ 89 % ของยางสุก ส่วนที่เหลือเป็นยางฟอง/คล้ำและยางกั้ดตั้ง รวมประมาณ
11 % และระยะเวลาที่ใช้ในการรมยางทั้งหมดลดลงเหลือประมาณ 4.3 วัน

6.2.2 ห้องรมที่ทำการปรับปรุง

การเก็บข้อมูลของห้องรมที่ทำการปรับปรุงได้ทำเช่นเดียวกับการเก็บข้อมูลของห้องรมที่ไม่ได้ทำการปรับปรุง แต่ได้ทำการทดสอบเครื่องมือดักจับอนุภาคเขม่าควันเพื่อเปรียบเทียบลักษณะของสีของยางแผ่นรมควันที่ผลิตได้ ระหว่างกรณีที่ใช้และไม่ได้ใช้เครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต ทำให้สามารถหาเครื่องมือดักจับอนุภาคเขม่าควันที่เหมาะสมในการรมยางของทางสหกรณ์ส่วนยางด้วยวิธีการกรองแก๊สร้อนก่อนให้ไหลผ่านแผ่นยางโดยตรง โดยปริมาณและคุณภาพของยางแผ่นรมควันที่ผลิตได้นั้นยังคงเดิม (ยางแผ่นรมควันชั้น 3)

ผลและการวิจารณ์ผล

ผลของการเก็บข้อมูลปริมาณการใช้เชื้อเพลิงไม้ฟืน ระยะเวลาการรมยาง ปริมาณ และคุณภาพของยางแผ่นรมควันของห้องรมหลังจากทำการปรับปรุงได้แสดงตามตารางที่ 6.3 และ 6.4

ตารางที่ 6.3 ปริมาณการใช้ไม้ฟืนและปริมาณยางของห้องรมตัวอย่างหลังจากการปรับปรุงในระหว่างเดือนมิถุนายน ถึง พฤศจิกายน 2547 (ฝนตก)

ครั้งที่	เวลาที่ใช้ (วัน)	ยางดี (กก.)	ยางฟอง/ คัลล่า (กก.)	ยางคัตตั้ง (กก.)	ยางคิบ (กก.)	เศษยาง (กก.)	ไม้ฟืนที่ใช้ (กก.)	ปริมาณไม้ฟืนที่ใช้ต่อ ยางสุก 1000 กก. (กก./ตันยาง)	หมายเหตุ
1	4.0	995	70	29	31	0	621	552	ไม่ใช่ ESP
2	4.0	1105	59	50	0	0	850	700	ไม่ใช่ ESP
3	5.0	1264	25	40	52	0	1015	735	ฝนตกหลังการร่ว
4	4.5	1228	112	46	0	0	1094	789	ฝนตกหลังการร่ว
เฉลี่ย	4.4	1148	67	41	21	0	895	701	
เปอร์เซ็นต์		90	5	3	2	0			

จากตารางที่ 6.3 ซึ่งแสดงปริมาณยางและปริมาณการใช้ไม้พินของห้องรมยาง ตัวอย่างหลังจากการปรับปรุงในระหว่างเดือนมิถุนายน ถึง พฤศจิกายน 2547 ที่เป็นช่วง ฝนตกทำให้มีความชื้นในอากาศสูง ในกรณียางแผ่นรมควันที่ผลิตได้มีความหนา 4.2 มิลลิเมตร พบว่าปริมาณไม้พินที่ใช้เฉลี่ยประมาณ 701 กิโลกรัมต่อตันยางสุก หรือ 0.70 กิโลกรัมต่อกิโลกรัมยางสุก และมีปริมาณยางดีเฉลี่ย 1148 กิโลกรัม หรือประมาณ 90 % ของยางสุก ส่วนที่เหลือเป็นยางฟอง/คล้ำและยางคัตตัง รวมประมาณ 10 % และมีระยะเวลาที่ใช้ในการรมยางทั้งหมดประมาณ 4.4 วัน ส่วนปริมาณการใช้ไม้พินในการ รมยางครั้งที่ 3 และ 4 ที่มีค่าสูงพอสมควร เนื่องจากในการทดลองช่วงนี้เกิดฝนตกหนัก และหลังการร่ว รวมไปถึงเกิดการร่วของเตาเผาพิน จึงทำให้เกิดการสูญเสียพลังงาน ความร้อนในส่วนนี้

ตารางที่ 6.4 ปริมาณการใช้ไม้พินและปริมาณยางของห้องรมตัวอย่างหลังจากการ ปรับปรุงในระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2547 ถึง มกราคม 2548 (ไม่มีฝนตก)

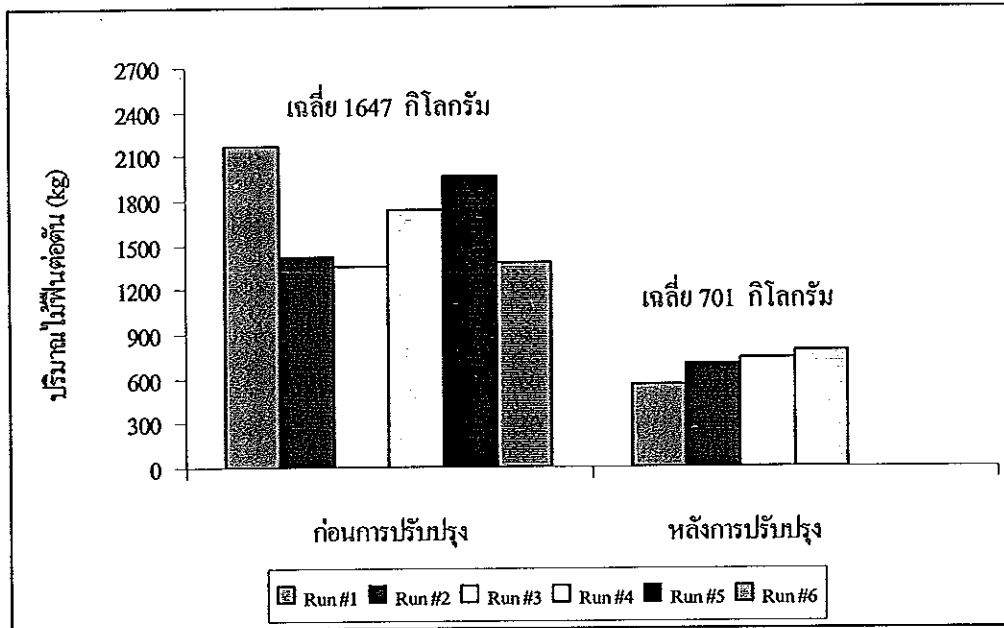
ครั้งที่	เวลาที่ใช้ (วัน)	ยางดี (กก.)	ยางฟอง/คล้ำ (กก.)	ยางคัตตัง (กก.)	ยางดิบ (กก.)	เศษยาง (กก.)	ไม้พินที่ใช้ (กก.)	ปริมาณ ไม้พินที่ใช้ต่อ ยางสุก 1000 กก. (กก./ตันยาง)	หมายเหตุ
0*	4.5	1228	112	46	0	0	1094	789	ใช้ ESP
1	3.5	950	70	71	0	0	633	580	ใช้ ESP
2	4.5	1029	20	62	13	0	742	660	ใช้ ESP
3	4.0	1148	200	58	20	0	740	519	ไม่ใช่ ESP
4	4.0	1400	0	45	15	0	960	658	ไม่ใช่ ESP
5	4.0	1434	26	35	0	0	790	528	ไม่ใช่ ESP
เฉลี่ย	4.0	1192	63	54	10	0	773	586	
เปอร์เซ็นต์		90	5	4	1	0			

หมายเหตุ * ข้อมูลชุดนี้ไม่ได้นำมาคำนวณค่าเฉลี่ยเนื่องจากบานระบายความชื้นในห้อง รมไม่สามารถปิดได้ 1 บานทำให้เกิดการสูญเสียความร้อนในส่วนนี้

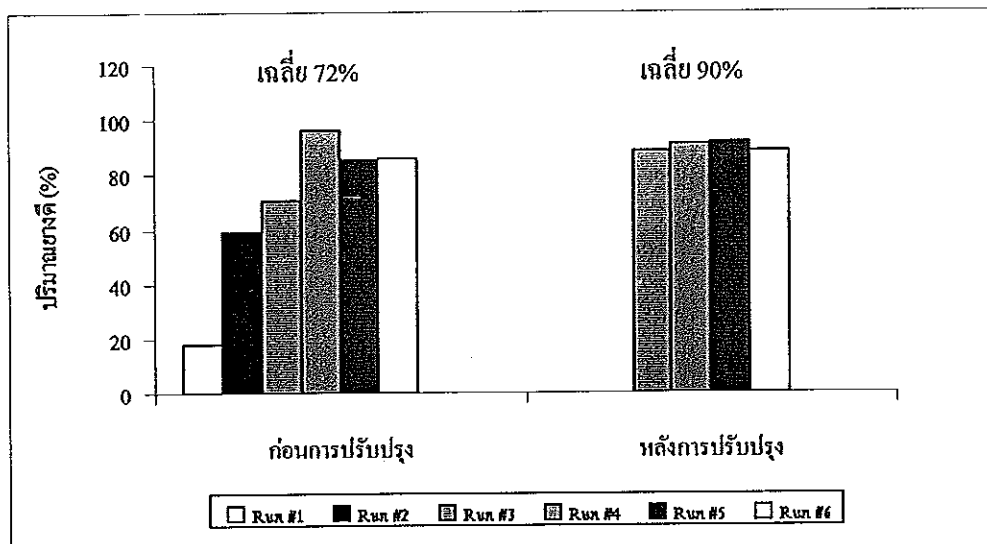
จากตารางที่ 6.4 ซึ่งแสดงปริมาณยางและปริมาณการใช้ไม้พื้นของห้องรมยาง ตัวอย่างหลังจากการปรับปรุงในระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2547 ถึงมกราคม 2548 ในกรณียางแผ่นรมควันที่ผลิตได้มีความหนาตามมาตรฐาน คือ 2.8-3.0 มิลลิเมตรและไม่มีฝนตก พบว่าปริมาณไม้พื้นที่ใช้เฉลี่ยลดลงเหลือประมาณ 586 กิโลกรัมต่อตันยางสุก หรือ 0.59 กิโลกรัมต่อกิโลกรัมยางสุก และมีปริมาณยางดีเฉลี่ย 1192 กิโลกรัม หรือประมาณ 90 % ของยางสุก ส่วนที่เหลือเป็นยางฟอง/คล้ำและยางคัตตั้งรวมประมาณ 10 % และมีระยะเวลาที่ใช้ในการรมยางทั้งหมดเพียงประมาณ 4.0 วัน

6.3 การวิจารณ์ผลที่ได้จากห้องรมก่อนและหลังการปรับปรุง

จากส่วนต่างของระยะเวลาการรมยางที่ได้ทำการทดสอบเปรียบเทียบกันระหว่างห้องรมแบบเดิมดังแสดงตามตารางที่ 6.1 และ 6.2 ตามลำดับและห้องรมที่ได้ทำการปรับปรุงใหม่ดังแสดงตามตารางที่ 6.3 และ 6.4 ตามลำดับนั้น จำเป็นต้องทำการแยกพิจารณาเป็น 2 ช่วง เนื่องจากความหนาของยางแผ่นรมควันที่ผลิตได้และความชื้นในอากาศทั้ง 2 ช่วงมีค่าไม่เท่ากัน ซึ่งผลการเปรียบเทียบระยะเวลาการรมยางระหว่างห้องรมแบบเดิมและห้องรมที่ได้ทำการปรับปรุงใหม่พบว่า ในการทดสอบระหว่างเดือนมิถุนายน ถึง พฤศจิกายน 2547 ห้องรมยางที่ได้ทำการปรับปรุงให้แก๊สร้อนไหลผ่านแผ่นยางโดยตรงทั้งหมดมีระยะเวลาการรมยางที่สั้นกว่าห้องรมยางที่ไม่ได้ทำการปรับปรุงอยู่ประมาณ 3.3 วัน หรือคิดเป็น 42.9% แตกต่างจากในการทดสอบระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2547 ถึง มกราคม 2548 ที่มีระยะเวลาการรมยางที่สั้นกว่าห้องรมยางที่ไม่ได้ทำการปรับปรุงอยู่เพียงประมาณ 0.3 วัน หรือคิดเป็น 7.0% นั้นแสดงว่าวิธีการให้แก๊สร้อนไหลผ่านแผ่นยางโดยตรงทั้งหมดจะมีผลต่อการลดลงของระยะเวลาการรมยางมากเมื่อยางแผ่นดิบมีความหนาเพิ่มขึ้น

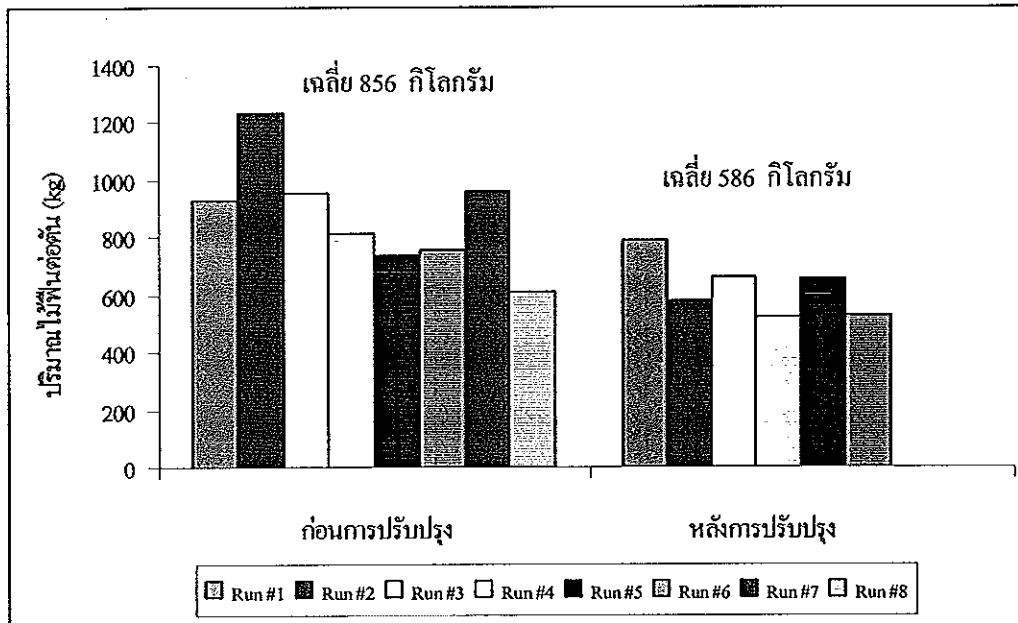


รูปที่ 6.5 ผลการเปรียบเทียบปริมาณการใช้เชื้อเพลิงระหว่างห้องรมยางก่อนและหลังจากการปรับปรุงในระหว่างเดือนมิถุนายน ถึง พฤศจิกายน 2547

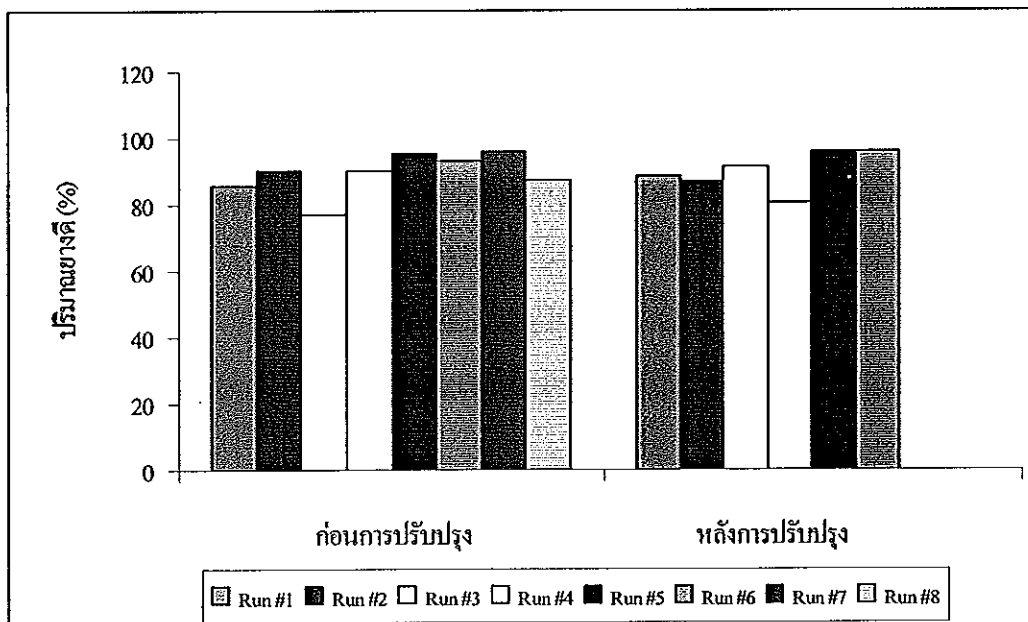


รูปที่ 6.6 ผลการเปรียบเทียบปริมาณยางดีระหว่างห้องรมยางก่อนและหลังจากการปรับปรุงในระหว่างเดือนมิถุนายน ถึง พฤศจิกายน 2547

จากรูปที่ 6.5 และรูปที่ 6.6 ซึ่งได้แสดงการเปรียบเทียบปริมาณการใช้ไม้พืนและปริมาณยางแผ่นรมควันที่มีคุณภาพ (ยางแผ่นรมควันชั้น 3) ระหว่างกรรมยางของห้องรมยางรุ่นปี 2537 ก่อนและหลังจากทำการปรับปรุงในระหว่างเดือนมิถุนายน ถึง พฤศจิกายน 2547 ตามลำดับ ในกรณียางแผ่นรมควันมีความหนา 4.2 มิลลิเมตรและมีความชื้นในอากาศสูง พบว่าเมื่อยังไม่ได้ทำการปรับปรุงห้องรม ห้องรมตัวอย่างจะมีการใช้ไม้พืนเฉลี่ย 1647 กิโลกรัม/ตันยางสุก และมียางดีเฉลี่ยประมาณ 72% แต่หลังจากทำการปรับปรุงห้องรมโดยใช้วิธีการกรองแก๊สร้อนก่อนให้ไหลผ่านแผ่นยาง โดยตรงทั้งหมดพบว่า ห้องรมตัวอย่างจะมีการใช้ไม้พืนเหลือเพียงเฉลี่ย 701 กิโลกรัม/ตันยางสุก นั่นคือสามารถลดปริมาณการใช้ไม้พืนได้ถึง 946 กิโลกรัม/ตันยางสุก หรือลดลง 57.4% เนื่องจากไม่มีการสูญเสียพลังงานความร้อนส่วนใหญ่ผ่านทางท่อครีฟท์ 8 นิ้วหน้าห้องรม และยางแผ่นรมควันที่ผลิตได้ก็เป็นยางดีเฉลี่ยประมาณ 90% ซึ่งดีขึ้นกว่าเดิม ส่วนในกรณียางแผ่นรมควันมีความหนาตามมาตรฐาน 2.8-3.2 มิลลิเมตรที่ได้ทำการทดสอบในระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2547 ถึงมกราคม 2548 ซึ่งเป็นช่วงไม่มีฝนตกนั้น พบว่าปริมาณการใช้ไม้พืนเฉลี่ยมีค่าลดลงทั้งห้องรมก่อนและหลังทำการปรับปรุง โดยห้องรมที่ยังไม่ได้ทำการปรับปรุงมีการใช้ไม้พืนเฉลี่ยเพียง 856 กิโลกรัม/ตันยางสุก และมียางดีเฉลี่ยประมาณ 89% แต่ในกรณีที่ได้ทำการปรับปรุงพบว่าสามารถลดปริมาณการใช้ไม้พืนได้ 270 กิโลกรัม/ตันยางสุก หรือลดลง 31.5% และยางแผ่นรมควันที่ผลิตได้ก็เป็นยางดีเฉลี่ยประมาณ 90% ซึ่งดีขึ้นกว่าเดิมเล็กน้อย ดังรูปที่ 6.7 และ 6.8 ตามลำดับ จากเหตุการณ์ทั้ง 2 กรณีนี้ จึงสรุปได้ว่าค่าของปริมาณการใช้เชื้อเพลิงไม้พืนและปริมาณยางดีที่ได้จากการรมของห้องรมยางที่ทำการปรับปรุงโดยใช้วิธีการให้แก๊สร้อนไหลผ่านแผ่นยางโดยตรงทั้งหมด ในการทดสอบในระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2547 ถึงมกราคม 2548 นั้นจะมีความถูกต้องมากกว่าในระหว่างเดือนมิถุนายน ถึง พฤศจิกายน 2547 เนื่องจากยางแผ่นที่ใช้ในการทดสอบเป็นขนาดที่มาตรฐานและขนาดที่ทางสหกรณ์สามารถผลิตได้จริง ซึ่งไม่ได้เกิดจากความบกพร่องของเครื่องมือ



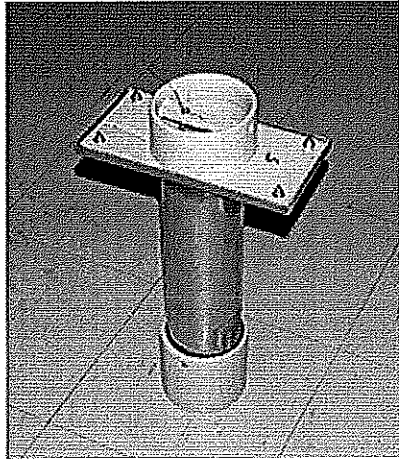
รูปที่ 6.7 ผลการเปรียบเทียบปริมาณการใช้เชื้อเพลิงระหว่างห้องรมยางก่อนและหลังจากการปรับปรุงในระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2547 ถึงมกราคม 2548



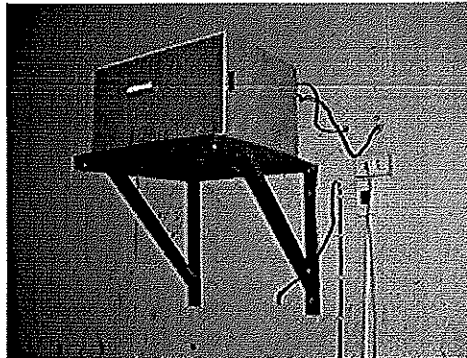
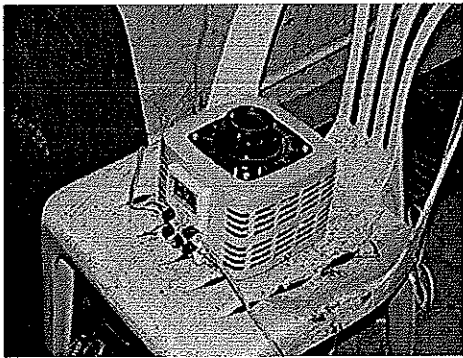
รูปที่ 6.8 ผลการเปรียบเทียบปริมาณยางดีระหว่างห้องรมยางก่อนและหลังจากการปรับปรุงในระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2547 ถึงมกราคม 2548

6.4 การเปรียบเทียบปริมาณและคุณภาพของยางแผ่นรมควันที่ได้จากการใช้และไม่ใช้เครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตในห้องรมที่ปรับปรุงกับห้องรมแบบเดิม

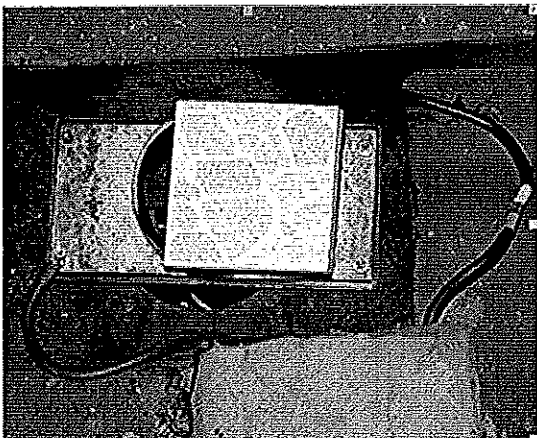
เครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตที่ออกแบบไว้ ดังรูปที่ 6.9 (โดยรายละเอียดของรูปร่างและขนาดได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข) ถูกนำมาใช้ดักจับอนุภาคเขม่าควันจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟืนไม้ยางพาราในห้องยางหลังจากทำการปรับปรุงในการทดสอบรมยางโดยใช้วิธีการให้แก่สร้อนไหลผ่านแผ่นยางโดยตรง เพื่อเปรียบเทียบผลของปริมาณและคุณภาพของยางแผ่นรมควันที่ผลิตได้กับกรณีไม่ได้ใช้เครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต และห้องรมแบบเดิม สำหรับการติดตั้งเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตภายในห้องรมยังสามารถทำได้ โดยใช้สายหัวเทียน (plug cable) แทนสายไฟฟ้า เนื่องจากสะดวกต่อการติดตั้งและยังเป็นสายที่สามารถใช้งานกับไฟฟ้าแรงสูงได้ สายหัวเทียนที่ใช้แทนสายไฟได้ถูกต่อกับกล่องใส่หม้อแปลงและวงจรบริดจ์ ซึ่งได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 4 ซึ่งต่ออยู่กับ Voltage regulator (FRANGRI, TDGC-2) ดังรูปที่ 6.10 ก่อนเดินสายเข้าไปในห้องรมผ่านทางผนังด้านข้างของห้อง ภายในห้องรมสายหัวเทียนได้ถูกเดินไว้ในช่องของอิฐที่ได้ต่อเป็นแนวยาวและต่อกับเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตทั้ง 12 ตัวที่ปล่องของท่อขนาด 4 นิ้ว ที่นำแก๊สร้อนเข้าสู่ห้องรม ดังรูปที่ 6.11 และ 6.12 ตามลำดับ โดยในการทดสอบการใช้งานได้เดินเครื่องตกตะกอนไฟฟ้าสถิตทุกครั้งที่มีการเติมไม้ฟืนทุกครั้งเป็นเวลา 30 นาทีตลอดระยะเวลาการรมยางแต่ละครั้ง เป็นเวลารวม 8 ชั่วโมง เนื่องจากปริมาณของอนุภาคเขม่าควันที่ได้จากการเผาไหม้ไม้ฟืนจะเกิดเฉพาะช่วงแรกเท่านั้นดังได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 4



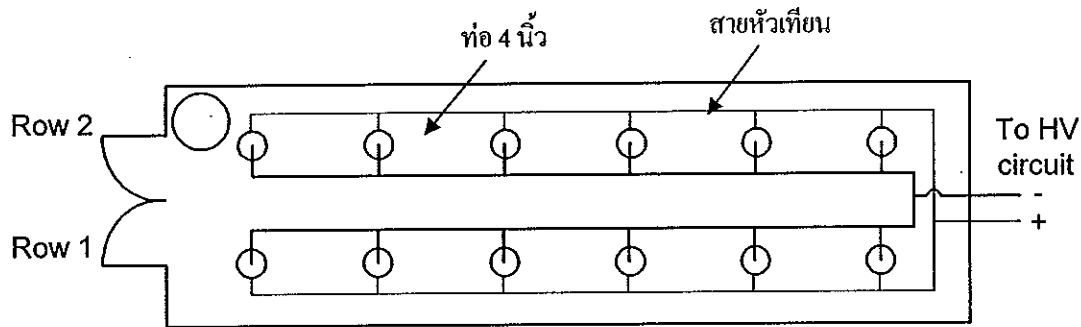
รูปที่ 6.9 เครื่องตดตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตที่ใช้งานในห้องรมยาง



รูปที่ 6.10 Slide Regulator กล่องใส่หม้อแปลงและวงจรบริดจ์



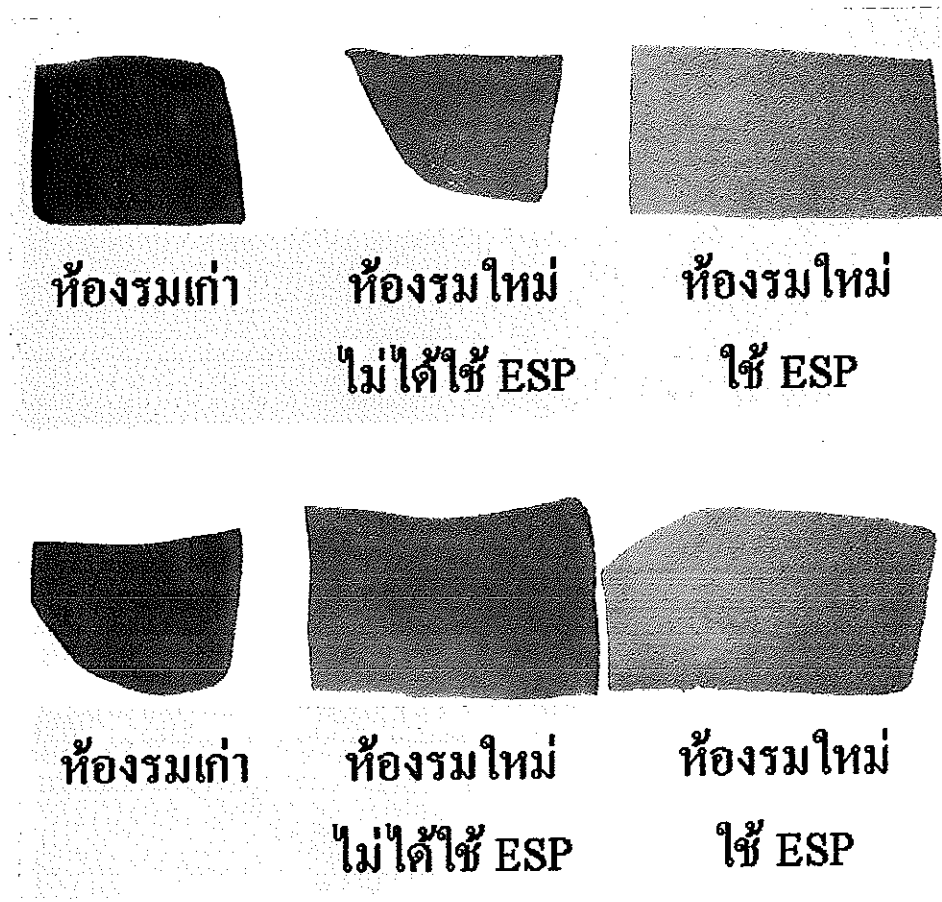
รูปที่ 6.11 การติดตั้งเครื่องตดตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตเพื่อทดสอบการใช้งานในห้องรมยาง



รูปที่ 6.12 ภาพด้านบนของเส้นทางการเดินสายหัวเทียนของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตภายในในห้องรมยาง

ผลและการวิจารณ์ผล

ผลของยางแผ่นรมควันที่ผลิตได้จากห้องรมยางที่ทำการปรับปรุง พบว่าการใช้เครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตดักจับอนุภาคเขม่าควันที่ไหลมากับแก๊สร้อนนั้น สามารถทำให้ยางแผ่นรมควันที่ผลิตได้มีสีใสกว่ากรณีที่ไม่ได้ใช้จากการมองด้วยสายตา เนื่องจากในขณะนี้ยังไม่มีมาตรฐานในการพิจารณาความใสของสี ดังแสดงตามรูปที่ 6.13 และรูปในภาคผนวก ๓ ส่วนยางแผ่นรมควันที่ได้ด้วยวิธีดักจับอนุภาคในกรณีที่ไม่ได้ใช้เครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตดักจับอนุภาคเขม่าควันก่อนให้ไหลผ่านแผ่นยางโดยตรงทั้งหมดก็มีสีที่ใกล้เคียงกับยางแผ่นรมควันจากห้องรมแบบเดิม แต่ด้วยวิธีการทั้ง 2 วิธีนี้คุณภาพของยางแผ่นรมควันที่ผลิตได้ยังคงเป็นชั้น 3 เหมือนเดิม เพราะกลไกของตลาดและมาตรฐานการจัดชั้นของยางแผ่นรมควันที่ยังหยابอยู่มาก ดังนั้นในปัจจุบันนี้การใช้เครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตดักจับอนุภาคเขม่าควันภายในห้องรมยางยังอาจจะไม่มีความจำเป็น เนื่องจากมีต้นทุนที่ค่อนข้างสูงและมีความยุ่งยากต่อการใช้งาน แต่หากในอนาคตมีการปรับมาตรฐานการจัดชั้นยางแผ่นรมควันให้ละเอียดมากขึ้น เครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตอาจเป็นเครื่องมือชิ้นสำคัญ ซึ่งมีความจำเป็นต้องใช้ในการดักจับอนุภาคเขม่าควันภายในห้องรมยางเพื่อรักษาหรือเพิ่มคุณภาพของยางแผ่นรมควัน



รูปที่ 6.13 สีของยางแผ่นรมควันชั้น 3 ที่ผลิตได้จากห้องรมเก่า (แบบเดิม) ห้องรมใหม่ (หลังจากการปรับปรุง) ซึ่งไม่ได้ติดตั้งเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต (ESP) และได้ติดตั้งเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต (ESP) ตามลำดับ

6.5 การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์

ในส่วนนี้ได้กล่าวถึงการเปรียบเทียบต้นทุนและจุดคุ้มทุนเมื่อได้มีการลงทุนปรับปรุงห้องรมยางในกรณีใช้และไม่ได้เครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต ตามลำดับ ดังข้ออนุภาคเขม่าควันจากการเผาไหม้ของฟืนไม้ยางพาราก่อนให้ไหลผ่านแผ่นยางโดยตรงทั้งหมด ซึ่งต้นทุนในการปรับปรุงห้องรมยางต่อห้องมีรายละเอียดตารางที่ 6.5 และ 6.6 ตามลำดับ

ตารางที่ 6.5 ต้นทุนในการปรับปรุงห้องรมยางต่อห้อง (กรณีไม่ได้ใช้เครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต)

รายการ	ราคา (บาท)
1. ห้องรม	
เพดานและรอบห้องรม	44,000
พัดลมดูดชนิดหมุนด้วยตัวเอง 2 ตัว	4,300
แผ่นกระเบื้องเคลือบ	100
รวม	48,400

ตารางที่ 6.6 ต้นทุนในการปรับปรุงห้องรมยางต่อห้อง (กรณีใช้เครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต)

รายการ	ราคา (บาท)
1. ห้องรม	
เพดานและรอบห้องรม	44,000
พัดลมดูดชนิดหมุนด้วยตัวเอง 2 ตัว	4,300
แผ่นกระเบื้องเคลือบ	100
รวม	48,400
2. เครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต	
โครงสร้างเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต	8,400
วงจรไฟฟ้าแรงสูง	3,700
Variac	4,200
สายไฟ	1,000
ค่าติดตั้ง	5,000
รวม	22,300
รวมทั้งสิ้น	70,700

จากรูปที่ 6.5 ข้างต้นพบว่าในกรณียางแผ่นรมควันมีความหนาตามมาตรฐาน (2.8-3.2 มิลลิเมตร) วิธีการกรองแก๊สร้อนก่อนให้ไหลผ่านแผ่นยางโดยตรงสามารถลดการใช้เชื้อเพลิงไม้ฟืนในการรมยางแต่ละครั้งลงได้ 270 กิโลกรัมต่อตันยางสุก หรือคิดเป็น 31.5% (จากเดิม 856 กิโลกรัมต่อตันยางสุก เหลือเพียง 586 กิโลกรัมต่อตันยางสุก) นั่นคือสามารถลดค่าใช้จ่ายส่วนของไม้ฟืนลงได้ 14,938 บาทต่อปี เมื่อดำเนินทุนการใช้ไม้ฟืนทั้งหมดต่อปีของสหกรณ์ คือ 331,950 บาท [สหกรณ์กองทุนสวนยางบ้านหัวถนน จำกัด, 2547] หรือคิดเป็นต้นทุนการใช้ไม้ฟืนทั้งหมดต่อห้องต่อปีของสหกรณ์ 47,421 บาท

จากตารางที่ 6.5 และ 6.6 ข้างต้นที่แสดงต้นทุนในการปรับปรุงห้องรมแต่ไม่ติดตั้งอุปกรณ์ดักเขม่า คือเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตพบว่า การปรับปรุงห้องรมเฉพาะการเปลี่ยนเพดานให้มีบานระบายความชื้นจำนวน 6 บาน ทำการปิดรอบห้องเหนือเพดาน และติดตั้งพัดลมดูดชนิดหมุนด้วยตัวเอง 2 ตัว มีค่าลงทุนห้องละ 48,400 บาท ถ้าทำการปรับปรุงทั้ง 7 ห้องต้องลงทุนทั้งหมด 338,100 บาท เมื่อคิดสำหรับสหกรณ์ที่มีกำลังผลิต 500 ตันต่อปี และราคาไม้ฟืน 80 สตางค์ต่อกิโลกรัม จะสามารถประหยัดต้นทุนได้ 108,000 บาทต่อปี ซึ่งมีระยะคืนทุนเท่ากับ 3.1 ปี ส่วนการปรับปรุงห้องรมพร้อมทั้งติดตั้งอุปกรณ์ดักเขม่า คือเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตมีค่าลงทุนห้องละ 70,700 บาท ถ้าทำการปรับปรุงทั้ง 7 ห้องต้องลงทุนทั้งหมด 494,900 บาท และมีระยะคืนทุนเท่ากับ 4.6 ปี ดังตารางที่ 6.7 ในปัจจุบันควรใช้วิธีการปรับปรุงห้องรมเฉพาะเพดานและรอบห้องรมโดยไม่จำเป็นต้องติดตั้งเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตดักจับอนุภาคเขม่าควัน เนื่องจากมีระยะคืนทุนเร็วกว่า แต่ในอนาคตหากกลไกของตลาดในการจัดชั้นยางแผ่นรมควันเปลี่ยนไป การปรับปรุงห้องรมและใช้เครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตดักจับอนุภาคเขม่าควันอาจมีระยะเวลาคืนทุนเร็วกว่า เนื่องจากมีความจำเป็นต้องนำชั้นและราคาของยางแผ่นรมควันที่ผลิตได้มาพิจารณาด้วย

ตารางที่ 6.7 จุดคุ้มทุนในการปรับปรุงห้องรมทั้ง 7 ห้อง (กำลังการผลิต 500 ตันต่อปี)

รายการ	ปรับปรุงเฉพาะ ส่วนของห้องรม เพียงอย่างเดียว	ปรับปรุงห้องรมและ ติดตั้งเครื่องตกตะกอน เชิงไฟฟ้าสถิต
1. ต้นทุนการปรับปรุงห้องรมยาง	338,100	494,900
2. การลดต้นทุนไม้พินต่อปี	108,000	108,000
3. ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	3.1	4.6

6.6 บทสรุป

จากการปรับปรุงห้องรมยางรุ่นปี 2537 โดยการกรองแก๊สร้อนก่อนให้ไหลผ่านแผ่นยาง โดยตรง และทำการทดสอบการรมยางเพื่อเปรียบเทียบผลการใช้เชื้อเพลิง ไม้พิน ระยะเวลาการรมยาง ปริมาณและคุณภาพของยางแผ่นรมควันที่ผลิตได้ระหว่างห้องรม ก่อนการปรับปรุงและห้องรมหลังจากการปรับปรุง พบว่าในกรณียางแผ่นรมควันมีความหนาตามมาตรฐาน (2.8-3.2 มิลลิเมตร) การรมยางในห้องรมหลังจากการปรับปรุงสามารถลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงไม้พินได้เฉลี่ยประมาณ 31.5 เปอร์เซ็นต์ (จากเดิม 856 กิโลกรัมต่อตันยางสุก เหลือเพียง 586 กิโลกรัมต่อตันยางสุก) และสามารถลดระยะเวลาการรมยางได้เฉลี่ยประมาณ 7.0 เปอร์เซ็นต์ (จากเดิมใช้เวลาเฉลี่ย 4.3 วัน เหลือเพียง 4.0 วัน) โดยที่ยังคงสามารถผลิตยางแผ่นรมควันได้เหมือนเดิมทั้งปริมาณและคุณภาพ ส่วนระยะเวลาการคืนทุนในกรณีไม่ติดตั้งเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตดักจับอนุภาคเขม่าควันมีค่า 3.1 ปี และในกรณีติดตั้งเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตดักจับอนุภาคเขม่าควัน จะมีระยะเวลาการคืนทุน 4.6 ปี

ข้อสรุปแสดงให้เห็นว่า การปรับปรุงห้องรมยาง โดยการกรองแก๊สร้อนก่อนให้ไหลผ่านแผ่นยาง โดยตรงนั้น สามารถลดต้นทุนการผลิตยางแผ่นรมควันของสหกรณ์สวนยางได้ โดยห้องรมที่ทำการปรับปรุงเฉพาะเพดานและรอบห้องรม โดยไม่ได้ติดตั้ง

เครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตดักจับอนุภาคเขม่าควันก่อนให้แก่สร้อนไหลผ่านแผ่นยางโดยตรงทั้งหมด ยังคงสามารถผลิตยางแผ่นรมควันได้เหมือนเดิมทั้งปริมาณและคุณภาพ ส่วนการดักจับอนุภาคเขม่าควันโดยใช้เครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตจะทำให้ยางแผ่นรมควันที่ผลิตได้มีสีใสขึ้นกว่าเดิมอย่างเห็นได้ชัด แต่การใช้เครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตดักจับอนุภาคเขม่าควันอาจจะไม่จำเป็นมากนักในปัจจุบัน เนื่องจากมาตรฐานของการจัดชั้นยางแผ่นรมควันนั้นยังหยابอยู่มาก จนทำให้ปัญหาของอนุภาคเขม่าควันไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพของยางแผ่นรมควันที่ผลิตได้

บทที่ 7

บทสรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงบทสรุปของการปรับปรุงห้องรมยางของสหกรณ์สวนยางรุ่นปี 2537 โดยใช้วิธีการกรองแก๊สร้อนก่อนให้ไหลผ่านแผ่นยางโดยตรง เพื่อลดการสูญเสียพลังงานความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงไม้ฟืนที่ได้ถูกปล่อยทิ้งไปนอกห้องรมทางท่อครัวฟัท โดยใช้วิธีการปรับเปลี่ยนการไหลของแก๊สร้อนภายในห้องรมเปล่าด้วยวิธีการคำนวณเชิงพลศาสตร์ของไหล การศึกษาการกระจายขนาดของอนุภาคเขม่าควัน พร้อมทั้งทำการออกแบบ ติดตั้ง และทดสอบตัวดักจับอนุภาคเขม่าควันเพื่อรักษาคุณภาพของยางแผ่นรมควันที่ผลิตได้ให้คงเดิม (เป็นยางแผ่นรมควันชั้น 3) ทำให้สามารถลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงไม้ฟืนที่ราคามีแนวโน้มสูงขึ้น ทำให้ทางสหกรณ์สามารถลดต้นทุนการผลิตยางแผ่นรมควันและสามารถแข่งขันในตลาดได้

7.1 ศึกษาการกระจายของอนุภาคเขม่าควันที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงไม้ยางพารา

ในการศึกษา เลือกและทดสอบตัวดักจับอนุภาคเขม่าควันที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงไม้ยางพาราให้เหมาะสมนั้น จำเป็นต้องทราบขนาดการกระจายของอนุภาคเขม่าควันก่อน ซึ่งจากการศึกษาการกระจายขนาดของอนุภาคเขม่าควันที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงไม้ยางพารา โดยใช้ Andersen air sampler ที่มีกระบวนการดักจับอนุภาคแบบตกกระทบ (impaction) เป็นอุปกรณ์ที่ทำการศึกษา พบว่าเส้นผ่านศูนย์กลางอากาศพลศาสตร์มัธยฐานเชิงมวล (Mass Median Aerodynamic diameter, MMAD) ของอนุภาคเขม่าควันมีค่าประมาณ 0.95 ไมโครเมตร และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเชิงเรขาคณิต (Geometric Standard Deviation, GSD) มีค่า 2.51 โดยที่ความเข้มข้นของอนุภาคเขม่าควัน (Mass concentration) มีค่า 358 mg/m³ นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณค่าของความเข้มข้นของอนุภาคเขม่าควันนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณค่าความชื้นของไม้ฟืนที่นำมาใช้เป็นเชื้อเพลิง โดยที่มีความสัมพันธ์กันแบบพหุนามอันดับที่ 2 (Polynomial order 2) นั่นคือ

หากปริมาณค่าความชื้นของไม้พื้นมีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้ปริมาณค่าของความเข้มข้นของอนุภาคเขม่าควันที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงไม้พื้นมีค่าสูงขึ้นด้วย

7.2 การศึกษา เลือกและทดสอบตัวดักจับอนุภาคเขม่าควันเพื่อใช้งานในห้องรม

หลังจากได้ทำการศึกษาการกระจายขนาดของอนุภาคเขม่าควันที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟืนไม่ย่างพารา ทำให้สามารถเลือกตัวดักจับอนุภาคเขม่าควันได้ โดยคำนึงถึงประสิทธิภาพของการดักจับพบว่า วิธีการดักจับอนุภาคเขม่าควันที่มีการกระจายขนาดของมวลส่วนใหญ่โดยเฉลี่ย 0.95 ไมโครเมตร และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Geometric Standard Deviation, GSD) 2.51 ยังไม่สามารถอธิบายเชิงทางเลือกได้ชัดเจนทั้งหมด จึงได้พิจารณาวิธีการกรอง (filtration) ด้วยแผ่นตาข่าย สแตนเลสขนาด 1 นิ้ว มี 200 เส้น (Mesh #200) และการใช้วิธีการตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต (electrostatic precipitater) ทดสอบเพื่อหาตัวดักจับอนุภาคที่เหมาะสมต่อการใช้งานในโรงรมยาง

7.2.1 การทดสอบโดยใช้วิธีการกรอง (Filtration)

วิธีการกรองเป็นวิธีการแรก que เลือกใช้ทดสอบเนื่องจากเป็นวิธีการที่ง่ายและมีต้นทุนต่ำ แต่จากข้อมูลทดสอบในห้องทดลอง [ธนวรรณ สิริสันติพงษ์ และ ไมตรี ตันติเชาวนันท, 2545] พบว่าวิธีการกรอง (filtration) โดยใช้แผ่นตาข่ายสแตนเลสขนาดหมายเลข 200 (Mesh #200) วางซ้อนกัน 10 แผ่น และ 15 แผ่น ตามลำดับ สำหรับใช้เป็นเครื่องมือดักจับอนุภาคโพลีเมอร์สังเคราะห์โพลีสไตรีน (Polystyrene, PSL) ขนาด 1 ไมโครเมตร ซึ่งใช้แทนอนุภาคเขม่าควันที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงไม้ย่างพารานั้น มีประสิทธิภาพไม่เกิน 30 เปอร์เซ็นต์ และมีการสูญเสียความดัน (pressure drop) สูงกว่า 200 ปาสคาล จึงไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้งานในห้องรม

7.2.2 การทดสอบโดยใช้เครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต (Electrostatic precipitator)

วิธีการใช้เครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตเป็นวิธีการหนึ่ง ซึ่งได้ถูกเลือกใช้ในการดักจับอนุภาคเขม่าควันภายในห้องรมยาง เนื่องจากเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตมีประสิทธิภาพในการดักจับอนุภาคที่มีขนาด 1 ไมโครเมตรสูง ซึ่งมีขนาดที่ใกล้เคียงกับอนุภาคของเขม่าควันภายในห้องรมที่ได้มาจากการเผาเชื้อเพลิงไม้ฟืน นอกจากนี้ยังเป็นเครื่องมือที่มีการสูญเสียความดันต่ำ โดยในการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตตามช่วงของขนาดอนุภาคได้ใช้ Andersen air sampler 2 ชุด ทำการทดสอบประสิทธิภาพเป็นเวลา 10 นาที ซึ่งจากการทดสอบพบว่า ประสิทธิภาพของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตที่ออกแบบมีค่า 50-60 เปอร์เซ็นต์ แต่ประสิทธิภาพจะลดลงเมื่อได้ใช้ไปเป็นเวลานานขึ้น ด้วยเหตุนี้จึงได้ใช้แผ่นกรองทำการทดสอบประสิทธิภาพโดยรวมเพิ่มเติม โดยทำการทดสอบเดินเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตที่แรงดันไฟฟ้าทุติยภูมิ 14500 โวลต์ เป็นเวลา 30 นาที ซึ่งจากการทดสอบพบว่า ประสิทธิภาพการดักจับเริ่มต้นของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตที่ออกแบบไว้มีค่าสูงถึงประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ แต่มีค่าลดลงเมื่อเวลาการใช้งานเพิ่มขึ้น ซึ่งเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตนี้สามารถใช้งานได้มากกว่า 10 ชั่วโมง โดย 6 ชั่วโมงแรกมีประสิทธิภาพการดักจับมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ พร้อมทั้งมีการสูญเสียความดันต่ำ จึงได้ใช้เป็นเครื่องมือศึกษาและทดสอบปรับปรุงห้องรมยาง

7.3 การศึกษาแนวโน้มการกระจายอุณหภูมิของแก๊สร้อนภายในห้องรมเปล้า โดยใช้วิธีการคำนวณเชิงพลศาสตร์ของไหล

วิธีการคำนวณเชิงพลศาสตร์ของไหลได้ถูกนำมาใช้ศึกษาในการจำลองแบบและจำลองสถานการณ์หาแนวโน้มการกระจายอุณหภูมิของแก๊สร้อนภายในห้องรมเปล้า เพื่อหาแนวทางที่จะให้แก๊สร้อนไหลผ่านแผ่นยางโดยตรงทั้งหมด ทำให้สามารถหยุดการปล่อยแก๊สร้อนทิ้งไปทางท่อระบายที่อยู่อ่ด้านหน้าของห้องรม โดยใช้โปรแกรม

FLOVENT ซึ่งจากการศึกษาพบว่า วิธีการให้แก๊สร้อนไหลผ่านแผ่นยางโดยตรงทั้งหมดสามารถทำได้โดยการปิดรอบห้องเหนือเพดาน การเปลี่ยนตำแหน่งของบานระบายความชื้น การลดขนาดบานระบายความชื้นจาก 0.6x0.6 เมตร เป็น 0.3x0.5 เมตร และเพิ่มจำนวนจาก 2 บาน เป็น 6 บาน (โดยรูปร่างและขนาดของห้องรังก่อนและหลังการปรับปรุงได้แสดงไว้ในภาคผนวก ฅ และ ภาคผนวก ฆ ตามลำดับ) พร้อมทั้งติดตั้งท่อปล่องควันขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 นิ้ว สูง 2.5 เมตร อีก 1 ท่อทางบริเวณด้านหน้าเหนือขึ้นไปด้านบนของห้องรม ส่วนการวัดกระจายอุณหภูมิของแก๊สร้อนภายในห้องรมเปล่า เพื่อเปรียบเทียบกับการจำลองแบบทั้งห้องรมแบบเดิมและห้องรมที่ทำการปรับปรุงใหม่ พบว่าในสภาวะคงตัว (steady state) การกระจายอุณหภูมิของห้องรมเปล่าแบบเดิมมีความแตกต่างกันประมาณ 10-15 องศาเซลเซียส โดยพื้นที่ด้านหลังห้องจะร้อนมากที่สุด ส่วนพื้นที่ส่วนอื่นจะมีความแตกต่างของอุณหภูมิน้อยเช่นเดียวกับแบบจำลองที่ศึกษาได้จากวิธีการคำนวณเชิงพลศาสตร์ของไหล โปรแกรม FLOVENT เช่นเดียวกับการวัดอุณหภูมิภายในห้องรมเปล่า ซึ่งทำการปรับปรุงใหม่ที่พบว่าในสภาวะคงตัว (steady state) การกระจายอุณหภูมิของห้องรมเปล่ามีความแตกต่างกันประมาณ 10-15 องศาเซลเซียส โดยที่กลางห้องจะร้อนมากที่สุด ส่วนพื้นที่หลังห้องและหน้าห้องอุณหภูมิจะลดลงตามลำดับ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า ในการจำลองแบบของห้องรมแบบเดิมและแบบที่ทำการปรับปรุงใหม่ โดยใช้วิธีการคำนวณเชิงพลศาสตร์ของไหล โปรแกรม FLOVENT นั้นแนวโน้มการกระจายอุณหภูมิของแก๊สร้อนภายในห้องรมเปล่าทั้งสองมีความแตกต่างของช่วงการกระจายอุณหภูมิน้อยมาก จึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำไปปรับปรุงห้องรมยาง โดยการให้แก๊สร้อนไหลผ่านแผ่นยางโดยตรงทั้งหมด เพื่อลดระยะเวลาการรมยางและปริมาณการใช้เชื้อเพลิงไม้ฟืน

7.4 การปรับปรุงห้องรม

หลังจากสามารถหาวิธีการให้แก๊สร้อนไหลผ่านแผ่นยางโดยตรงทั้งหมดและทดสอบตัวดักจับอนุภาคเขม่าควัน โดยใช้เครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตแล้ว จึงได้ทำการปรับปรุงห้องรมต่อไป ซึ่งในขั้นนี้จำเป็นต้องมีการติดตั้งตัวระบายอากาศแบบหมุน

ด้วยตัวเอง (turbine ventilator) ที่หลังคาห้องรมจำนวน 2 ตัว ที่ตรงกลางและด้านหน้าของห้องแทนท่อปล่องควันขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 นิ้ว สูง 2.5 เมตร ซึ่งศึกษาได้จากการใช้วิธีการคำนวณเชิงพลศาสตร์ของไหล เนื่องจากความเหมาะสมในด้านการติดตั้ง นอกจากนี้ยังทำการปรับปรุงห้องรมโดยติดตั้งเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตเพื่อทดสอบผลกระทบของอนุภาคเขม่าควันที่มีต่อยางแผ่นรมควัน เพื่อหาตัวกรองที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งานจริงในห้องรม ซึ่งเป็นหัวใจหลักในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

7.5 การทดสอบรมยางจริง

การทดสอบรมยางจริงเพื่อเปรียบเทียบกับการใช้เชื้อเพลิงไม้ฟืน ระยะเวลาการรมปริมาณและคุณภาพของยางแผ่นรมควันที่ผลิตได้ของห้องรมแบบเดิม และห้องรมที่ทำการปรับปรุง พร้อมทั้งศึกษาผลกระทบของอนุภาคเขม่าควันที่มีต่อยางแผ่นรมควัน และหาวิธีการดักจับอนุภาคเขม่าควันที่เหมาะสมในการใช้งานจริงในห้องรม ซึ่งจากการทดสอบพบว่า วิธีการปรับปรุงห้องรมยางโดยการกรองแก๊สร้อนก่อนให้ไหลผ่านแผ่นยางโดยตรง สามารถลดการใช้เชื้อเพลิงไม้ฟืนได้ถึง 270 กิโลกรัม/ตันยางสุกหรือลดลงประมาณ 31.5 เปอร์เซ็นต์และยังสามารถลดระยะเวลาการรมควันได้ประมาณ 7.0 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังได้ทำการทดสอบผลการดักจับอนุภาคเขม่าควันของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตภายในห้องรมจริงก่อนให้ไหลผ่านแผ่นยางโดยตรง เพื่อสังเกตสีของยางแผ่นรมควันที่ได้ว่ามีความแตกต่างกับกรณีไม่ได้ติดตั้งอุปกรณ์ดักจับอนุภาคเขม่าควันและยางแผ่นรมควันที่ได้จากห้องรมแบบเดิมเพียงใด ซึ่งจากการทดสอบพบว่ายางแผ่นรมควันที่ได้จากการติดตั้งเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตดักจับอนุภาคเขม่าควันก่อนให้ไหลผ่านแผ่นยางโดยตรงนั้น จะมีสีใสมากกว่ายางแผ่นรมควันที่ได้จากกรณีไม่ได้ติดตั้งและยางแผ่นรมควันที่ได้จากห้องรมแบบเดิม ตามรูปที่ 6.9 ในบทที่ 6 และมีจุดคุ้มทุนที่ 4.6 ปี ซึ่งยังเหมาะสมที่จะสามารถลงทุนได้ในปัจจุบัน แต่จากผลการทดสอบที่พบว่าในกรณีไม่ได้ติดตั้งเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต เพื่อดักจับอนุภาคเขม่าควันก่อนให้แก๊สร้อนไหลผ่านแผ่นยางโดยตรงนั้น ชั้นของยางแผ่นรมควันที่ผลิต

ได้ก็ยังคงเป็นยางแผ่นรมควันชั้น 3 เช่นกัน แม้จะมีสีที่ค่อนข้างจะคล้ำกว่าการดักจับอนุภาคเขม่าควันของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าปัญหาของอนุภาคเขม่าควันนั้นจะมีผลต่อคุณภาพของยางแผ่นรมควันที่ผลิตได้ แต่จะไม่มีผลทำให้คุณภาพชั้นของยางแผ่นรมควันที่ผลิตได้เปลี่ยนไปในสถานการณ์ปัจจุบัน (ยังคงเป็นยางแผ่นรมควันชั้น 3) ส่วนในอนาคตหากกลไกของตลาดเปลี่ยนเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตอาจเป็นเครื่องมือที่จำเป็นในการดักจับอนุภาคเขม่าควันเพื่อเพิ่มคุณภาพของยางแผ่นรมควัน แต่จำเป็นต้องมีการศึกษาเพื่อลดต้นทุนการผลิตและมีการออกแบบเพื่อเพิ่มความปลอดภัยในการใช้งาน

7.6 บทสรุปรวม

วิธีการปรับปรุงห้องรมยาง โดยการกรองแก๊สร้อนก่อนให้ไหลผ่านแผ่นยาง โดยตรงสามารถลดการใช้เชื้อเพลิงไม้ฟืน ได้ถึง 270 กิโลกรัมต่อตันยางสุก หรือคิดเป็น 31.5% (จากเดิม 856 กิโลกรัมต่อตันยางสุก เหลือเพียง 586 กิโลกรัมต่อตันยางสุก) และยังสามารถลดระยะเวลาการรมควันเฉลี่ยได้ประมาณ 7.0 เปอร์เซ็นต์ (จากเดิมใช้เวลาเฉลี่ย 4.3 วัน เหลือเพียง 4.0 วัน) ทำให้สามารถลดต้นทุนการผลิตยางแผ่นรมควันของสหกรณ์สวนยางลงได้ ทำให้ทางสหกรณ์สวนยางมีรายได้เพิ่มขึ้นและสามารถยืนอยู่ได้ด้วยตนเองโดยไม่จำเป็นต้องรับการช่วยเหลือจากรัฐ ซึ่งมีแนวโน้มว่าจะลดน้อยลงไปในอนาคตอันใกล้นี้ และห้องรมยางที่ได้ทำการปรับปรุงใหม่เฉพาะเพดานและรอบห้องรม โดยไม่จำเป็นต้องติดตั้งเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตดักจับอนุภาคเขม่าควันก่อนให้แก๊สร้อนไหลผ่านแผ่นยาง โดยตรงทั้งหมดนั้นมีความเหมาะสมต่อการลงทุนเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากมีการลงทุนที่ค่อนข้างต่ำและมีระยะเวลาคืนทุนเพียง 3.1 ปี ส่วนในกรณีที่ใช้เครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตดักจับอนุภาคเขม่าควันด้วยมีระยะเวลาคืนทุน 4.6 ปี

7.7 ข้อเสนอแนะ

งานที่ควรศึกษาต่อนอกเหนือจากงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ คือการปรับปรุงระบบทำความสะอาดและระบบความปลอดภัยของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต เพื่อให้มีประสิทธิภาพในการดักจับอนุภาคเขม่าควันเพิ่มขึ้น จนสามารถเพิ่มคุณภาพของยางแผ่นรมควันในอนาคตได้ นอกจากนี้การศึกษาและปรับปรุงห้องรม โดยใช้วิธีการคำนวณเชิงพลศาสตร์ของไหลด้วยโปรแกรม FLOVENT นั้นควรใส่แผ่นยางเข้าไปในห้องรมด้วย เพื่อให้แบบจำลองมีความถูกต้องยิ่งขึ้น การศึกษาและปรับปรุงการกระจายอุณหภูมิ ความเร็วและการไหลของแก๊สร้อนภายในห้องรมยางก็เป็นสิ่งจำเป็น เนื่องจากถ้าสามารถปรับปรุงห้องรมยางให้แก๊สร้อนมีการไหล การกระจายอุณหภูมิและความเร็วที่สม่ำเสมอมากยิ่งขึ้นนั้น จะยิ่งทำให้สามารถลดการใช้เชื้อเพลิง ไม้ฟืนและระยะเวลาการรมควันลงได้อีก เป็นผลทำให้ทางสหกรณ์สวนยางมีรายได้เพิ่มขึ้น

บรรณานุกรม

- กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2538. “คู่มือส่งเสริมสหกรณ์กองทุนสวนยาง”,
 กรุงเทพฯ : กรมส่งเสริมสหกรณ์, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- เกรียงศักดิ์ ไหลเวชพิทยา และ นวลอนงค์ ตปะนัยพันธ์. 2533. “Electrostatic filter”
 หาดใหญ่, สงขลา : โครงการงานเลขที่ 36/2533, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า,
 คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 2545. “คู่มือการปฏิบัติงานของ
 สหกรณ์กองทุนสวนยาง โครงการเร่งรัดการปรับปรุงประสิทธิภาพการ
 ประกอบธุรกิจของสหกรณ์สวนยาง”, หาดใหญ่, สงขลา :
 คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 2545. “คู่มือการรมยางแผ่น”,
 หาดใหญ่, สงขลา : คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- จารูวรรณ พรหมวิเศษ, 2537. “อิทธิพลของความเร็วมและอุณหภูมิที่มีผลต่อการแห้ง
 ของยางแผ่น”, หาดใหญ่, สงขลา : โครงการงานเลขที่ 6/2537, ภาควิชาวิศวกรรม
 เครื่องกล, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ซิกาโอะ คานาโอกะ และ วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล. 2528. “มลภาวะทางอากาศ”,
 กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
- ธนวรรณ สิริสันติพงษ์ และ ไมตรี ตันติเชาวนนท์. 2545. “สมรรถนะการกรองอนุภาค
 ของแผ่นตาข่าย Stainless Steel (SS)”, หาดใหญ่, สงขลา : ภาควิชาเคมี,
 คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ปราโมทย์ เดชะอำไพ. 2545. “ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อการคำนวณพลศาสตร์ของ
 ไหล”, กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ยุทธภูมิ พงศ์ปรีวาที และ วชิรพันธุ์ ตัณฑะประภา. 2545. “การปรับปรุงประสิทธิภาพ
 การใช้เชื้อเพลิงในการรมยางของสหกรณ์สวนยางในภาคใต้”, หาดใหญ่,
 สงขลา : โครงการงานเลขที่ 14/2545, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล,
 คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

- รุจิรา บุญเจริญ และ วัชรินทร์ ย่องยุทธกานนท์. 2537. “เครื่องตัดฝุ่นไฟฟ้าสถิต”,
 หาดใหญ่, สงขลา : โครงการงานเลขที่ 33/2537, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า,
 คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสณีย์, นิตยา มหาผล และ ชีระ เกรอต. 2529. “มลภาวะทางอากาศ”,
 กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สถาบันวิจัยยาง. 2543. “ข้อมูลทางวิชาการยางพาราปี 2543”, กรุงเทพฯ :
 กรมวิชาการเกษตร.
- สถาบันวิจัยยาง. 2544. “การผลิตยางแผ่นรมควัน”, กรุงเทพฯ : กรมวิชาการเกษตร.
- สถาบันวิจัยยาง. 2545. “ผลผลิตยางธรรมชาติของประเทศไทยแยกตามประเภท ปี
 2544”, กรุงเทพฯ : กรมวิชาการเกษตร.
- สมยศ นาวิการ. 2543. “การบริหารเชิงกลยุทธ์และนโยบายธุรกิจ” กรุงเทพฯ :
 สำนักพิมพ์ผู้จัดการ.
- สหกรณ์กองทุนสวนยางบ้านหัวถนน จำกัด. 2547. “รายงานประจำปี 2546 แสดง
 แผนการดำเนินงานของสหกรณ์กองทุนสวนยางบ้านหัวถนน จำกัด”, สะเดา,
 สงขลา : สหกรณ์กองทุนสวนยางบ้านหัวถนน จำกัด.
- สำนักงานกองทุนสงเคราะห์การทำสวนยาง. 2547. “ราคาไม้ยางพารา ปี 2546”
 กรุงเทพฯ : กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ. 2545. “รายงานความก้าวหน้า
 โครงการวิจัยการพัฒนาห้องอบยางแผ่นรมควันชนิดประหยัดพลังงาน”
 กรุงเทพฯ : สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2546. “ปริมาณและมูลค่าการส่งออกไม้ยางพารา ปี
 2541-2545”, กรุงเทพฯ : กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- สุรเชษฐ ต้นสัตยาเลิศ, 2542. “Parametric Optimization of Rubber Sheet Drying”,
 หาดใหญ่, สงขลา : โครงการงานเลขที่ 25/2542, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล,
 คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังษี. 2541. “ยางแผ่นรมควัน”, วารสารยางและพอลิเมอร์, ปีที่ 2,
 ฉบับที่ 2, หน้า 7-19.

อนันต์ จรรยาศักดิ์. 2541. “การทำยางแผ่นชั้นดี”, วารสารข่าวกองทุนสงเคราะห์การทำสวนยาง, ปีที่ 35, ฉบับที่ 137, หน้า 21-23.

Allouis, C.; Beretta, F. and D’Alessio, A. 2003. “Structure of inorganic and carbonaceous particles emitted from heavy oil combustion”, Chemosphere, Volume 51, Issue 10, pp. 1091-1096.

Andersen Model-AN 200. “Instruction manual for Andersen sampler”, Dylec Limited.

Bartak, M.; Cermak, M.; Clarke, J.A.; Dener, J.; Drkal, F.; Lain, M.; Macdonald, I.A.; Majer, M. and Stankov, P. 2001. “Experimental and numerical study of local mean age of air”, 7th International IBPSA Conference, Rio de Janeiro, Brasil, August 13-15, pp. 773-780.

Bhattacharya, S. C.; Abdul Salam, P. and Sharma, Mahen. 2002. “Sustainable biomass production for energy in selected Asian countries”, Biomass and Bioenergy, Volume 25, Issue 5, pp. 471-482.

Bojic, M.; Yik, T. and Lo, T.Y. 2002. “Locating air conditioners and furniture inside residential flats to obtain good thermal comfort”, Energy and Buildings, Volume 34, Issue 7, pp. 745-751.

Breymayer, M.; Pass, T.; Mühlbauer, W.; Amir, E. J. and Mulato, S. 1993. “Solar-assisted smokehouse for the drying of natural rubber on small-scale Indonesian farms”, Journal of renewable energy, Volume 3, Issue 8, pp. 831-839.

Brunner, T.; Joeller, M.; Obernberger, I. and Frandsen, F. 2002. “Aerosol and fly ash formation in fixed bed biomass combustion systems using woody biofuels” 12th European conference and technology exhibition on biomass for Energy, Industry and Climate protection”, Amsterdam, June 17-21, pp. 1-5.

Burtscher, H. 2001. “Sampling, measurement and characterization of combustion aerosols for chemistry, morphology and size distribution” Aerosols from Biomass Combustion, pp.19-27.

- Chang, C.L. and Bai, H. 2000. "Effects of some geometric parameters on the electrostatic precipitator efficiency at difference operation indexes", Journal of Aerosol science and technology, Volume 33, pp. 228-238.
- Chang, Jen-Shih; Lawless, Phil A. and Yamamoto, T. 1991. "Corona discharge processes", IEEE Transactions on plasma science, Volume 19, Issue 6, pp. 1152-1166.
- Choudhary, R. and Malkawi, A. 2001. "A methodology for micro-level building thermal analysis: Combining CFD and experimental set-ups", 7th International IBPSA Conference, Rio de Janeiro, Brasil, August 13-15, pp. 1275-1282.
- Ebert, F. 2001. "Particle separation for biomass combustion", Aerosols from Biomass Combustion, pp. 41-46.
- Fleckl, T.; Jager, H. and Obernberger, I. 2000. "Combustion diagnostics at biomass-fired grate furnace using FT-IR absorption spectroscopy for hot gas measurements", Proceedings of the 5th European conference on Industrial furnaces and boilers, Porto, Portugal, April, pp. 1-11.
- Flovent V3.2, 2001. "Introductory course lectures", Flomeric Limited.
- Flovent V4.1, 2003. "Basic training course", Flomeric Limited.
- Flovent V4.2 Program, 2003. Flomeric Limited.
- Flovent V4.2 Reference Manual, 2003. Flomeric Limited.
- Hedberg, E.; Kristensson, A.; Ohlsson, M.; Johansson, C.; Johansson, Per-Åke; Swietlicki, E.; Vesely, V.; Wideqvist, U. and Westerholm, R. 2002. "Chemical and physical characterization of emissions from birch wood combustion in a wood stove", Atmospheric Environment, Volume 36, Issue 30, pp. 4823-4837.
- Hinds, W.C. 1999. "Aerosol technology", New York : John Wiley & Sons, 2nd ed.

- Khullar, C.; 1995. "Effects of chemical additives on the reduction of particulate emissions and combustion deposits in solid fuel fired systems", European – ASEAN conference on combustion of solids and treatment of products, Hua Hin, Thailand, pp. 362-386.
- Kidger, J.W.; Ledin, H.S. and Lea, C.J. 2002. "Overview : Validation of CFD for process safety", QNET-CFD Network Newsletter, Volume 1, No.4 – November.
- Kim, S.H.; Park, H.S. and Lee, K.W. 2001. "Theoretical model of electrostatic precipitator performance for collecting polydisperse particles", Journal of Electrostatics, Volume 50, pp. 177-190.
- Kubo, T.; Kawada, Y.; Takahashi, T.; Ehara, Y.; Ito, T.; Zukeran, A. and Takamatsu, T. 2000. "The relation between shape of particles and collection efficiency by electrostatic precipitators", Journal of aerosol science, Volume 31, Supplement 1, pp. 452-453.
- Laskin, A. and Cowin, James P. 2002. "On deposition efficiency of point-to-plate electrostatic precipitator", Journal of aerosol science, Volume 33, Issue 3, pp. 405-553.
- Li, X.; Wang, X.; Li, X.F. and Li, Y. 1999. "Investigation on relationship between flow pattern and air age", Proceedings of building simulation' 99, Kyoto, Japan, September 13-15, pp. 423-429.
- Maref, W.; Cherkaoui, H.; Crausse, P. and Boisson, H. 2003. "Heat transfer in the turbulent flow through a conduit for removal of combustion products", Building and Environment, Volume 38, Issue 6, pp. 763-770.
- Naeher, L. P.; Leaderer, B. P. and Smith, K. R. 2000. "Particulate matter and carbon monoxide in highland Guatemala: indoor and outdoor levels from traditional and improved wood stoves and gas stoves", Indoor Air, Volume 10, Issue 3, pp. 200-205.

- Ndiema, C. K.W.; Mpendazoe, F. M. and Williams, A. 1998. "Emission of pollutants from a biomass stove", Energy Conversion and Management, Volume 39, Issue 13, pp. 200-205.
- Negrao, C.O.R.; Franco, A.T. and Macedo, L.M. 2001. "Simplified model to predict indoor air temperature distribution", 7th International IBPSA Conference, Rio de Janeiro, Brasil, August 13-15, pp. 273-278.
- Novozhilov, V. and Koseki, H. 2004. "Computational fluid dynamics prediction of self-sustained pool fire combustion", Journal of the Institution of Engineering, Singapore, Volume 1, Issue 5, pp.69-82.
- Obernberger, I. and Thek, G. 2002. "Physical characterization and chemical combustion of densified biomass fuels with regard to their combustion behavior", Proceedings of the 1st World conference on Pellets, Stockholm, Sweden, pp. 115-122.
- Osán, J.; Alföldy, B.; Török, S. and Van Grieken, R. 2002. "Characterisation of wood combustion particles using electron probe microanalysis", Atmospheric Environment, Volume 36, Issue 13, pp. 2207-2214.
- Otani, Y.; Namiki, N.; Yen, C.-M. and Emi, H. 1993. "Simultaneous removal of particulate and gaseous cigarette smoke components by corona discharge" Japan : Journal of aerosol research.
- Park, J.H. and Chun, C.H. 2002. "An improved modelling for prediction of grade efficiency of electrostatic precipitators with negative corona", Journal of Aerosol Science, Volume 33, Issue 4, pp. 673-694.
- Prasertsan, S. 1993. "Energy Conservation in rubber smoking industry", Hat Yai, Thailand : Department of Mechanical Engineering, Prince of Songkla University.

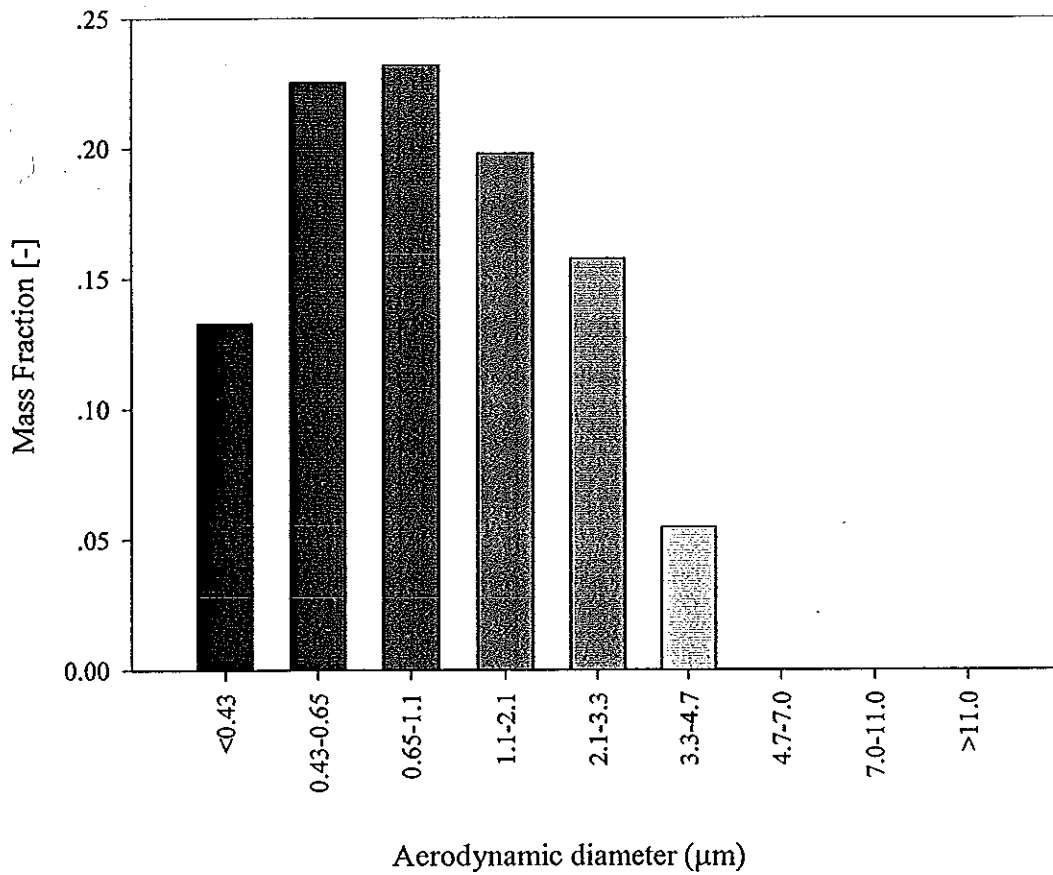
- Prasertsan, S. 1994. "A Close look at Energy Conservation in rubber smoking industry", Bangkok, Thailand : The 5th Asean conference on energy technology, Volume 1, pp.102-110.
- Prasertsan, S. and Kirirat, P. 1993. "Factors affecting rubber sheet curing", RERIC International energy journal, Volume 15, No.2, pp.77-87.
- Prasertsan, S.; Kirirat, P.; Sen-Ngam, S. and Prateepchaikul, G. 1993. "Monitoring of the rubber smoking process", RERIC International energy journal, Volume 15, No.1, pp.49-63.
- Pratoto, A.; Daguinet, M. and Zeghmami, B. 1997. "Sizing solar-assisted natural rubber dryers", Journal of solar energy, Volume 61, Issue 4, pp. 287-291.
- Reist, P.C. 1993. "Aerosol science and technology", New York : McGraw-Hill, 2nd ed.
- Riedl, R.; Dahl, J.; Obernberger, I. and Narodoslowsky, M. 1999. "Corrosion in fire tube boilers of biomass combustion plants", Proceedings of the China International Corrosion Control Conference' 99, Beijing, China.
- Shaw, D.T. "Fundamentals of aerosol science", New York : John Wiley & Sons.
- Schlichting, H. 1979. "Boundary-layer theory", New York : McGraw-Hill, 7th ed.
- Schmatloch, V. and Brenn, J. 2001. "Fine particle emissions from combustion in small wood fired furnaces", Aerosols from Biomass Combustion, pp. 93-96.
- Schmatloch, V. and Rauch, S. 2004. "Design and characterisation of an electrostatic precipitator for small heating appliances", Journal of Electrostatics, Volume 63, Issue 2, pp. 85-100.
- Tamburrini, M.; Palmer, D. and A Macdonald, I.; 2003. "Calibrating models for simulation use in design particles", 8th International IBPSA Conference, Eindhoven, Netherlands, August 11-14, pp. 1273-1278.
- The center for biomass technology. 2002. "Theory of wood firing", Wood for energy production (Technology-Environment-Economy), Denmark, 2nd Edition.

- Venkataraman, C.; Negi, G.; Brata Sardar, S. and Rastogi, R. 2002. "Size distributions of polycyclic aromatic hydrocarbons in aerosol emissions from biofuel combustion", Journal of aerosol science, Volume 33, Issue 3, pp. 503-518.
- Versteeg, H. K. and Malalasekera, W. 1995. "An introduction to computational fluid dynamics (The finite volume method)", New York : John Wiley & Sons.
- White, F.M. 1999. "Fluid mechanics", New York : McGraw-Hill.
- Yeh, H.C. and Liu, B.Y.H. 1974. "Aerosol filtration by fibrous filters", Journal of aerosol science, Volume 5, pp. 191-217.
- Zhou, X.Y. and Pereira, J.C.F. 2000. "A multidimensional model for simulating vegetation fire spread using a porous media sub-model", Fire and Materials, Volume 24, pp. 37-43.

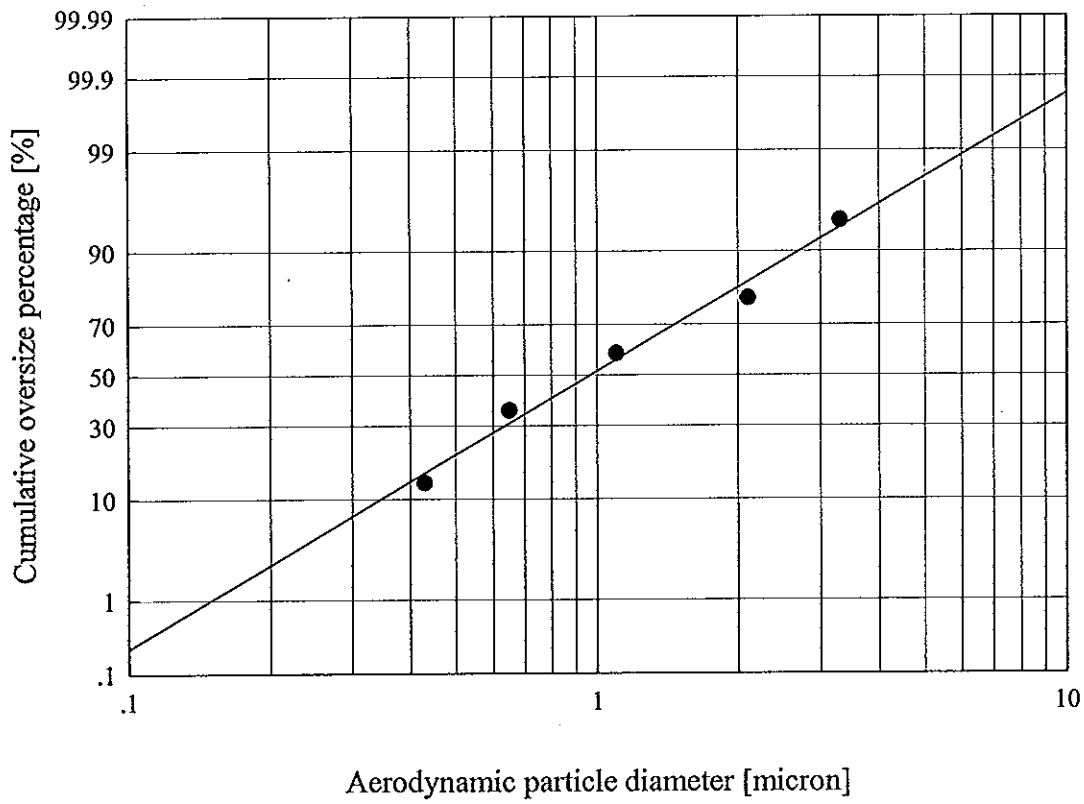
ภาคผนวก ก
ผลการศึกษาระยะยาวขนาดของอนุภาคเขม่าควัน
และค่าความชื้นไม้พืนที่ทำการทดสอบ

ตารางที่ ผก.1 ผลการศึกษาการกระจายขนาดอนุภาคของเขม่าควันที่ได้จากการเผาไหม้ของพืชน้ำมันอย่างพารา ครึ่งที่ 1

Stage#	Plate#	Size range (um)	Weight before (g)	Weight after (g)	Collected weight (g)	Mass fraction [-]	Cumulative oversize fraction [-]
0	0	>11.0	12.7838	12.7838	0.0000	0.0000	1.0000
1	1	7.0-11.0	12.0472	12.0472	0.0000	0.0000	1.0000
2	2	4.7-7.0	12.2790	12.2790	0.0000	0.0000	1.0000
3	3	3.3-4.7	13.0556	13.0598	0.0042	0.0547	1.0000
4	4	2.1-3.3	13.1010	13.1131	0.0121	0.1576	0.9453
5	5	1.1-2.1	12.8553	12.8705	0.0152	0.1979	0.7878
6	6	0.65-1.1	13.1490	13.1668	0.0178	0.2318	0.5898
7	7	0.43-0.65	12.8884	12.9057	0.0173	0.2253	0.3581
BF	BF	<0.43	0.1780	0.1882	0.0102	0.1328	0.1328
				Total	0.0768	1.0000	



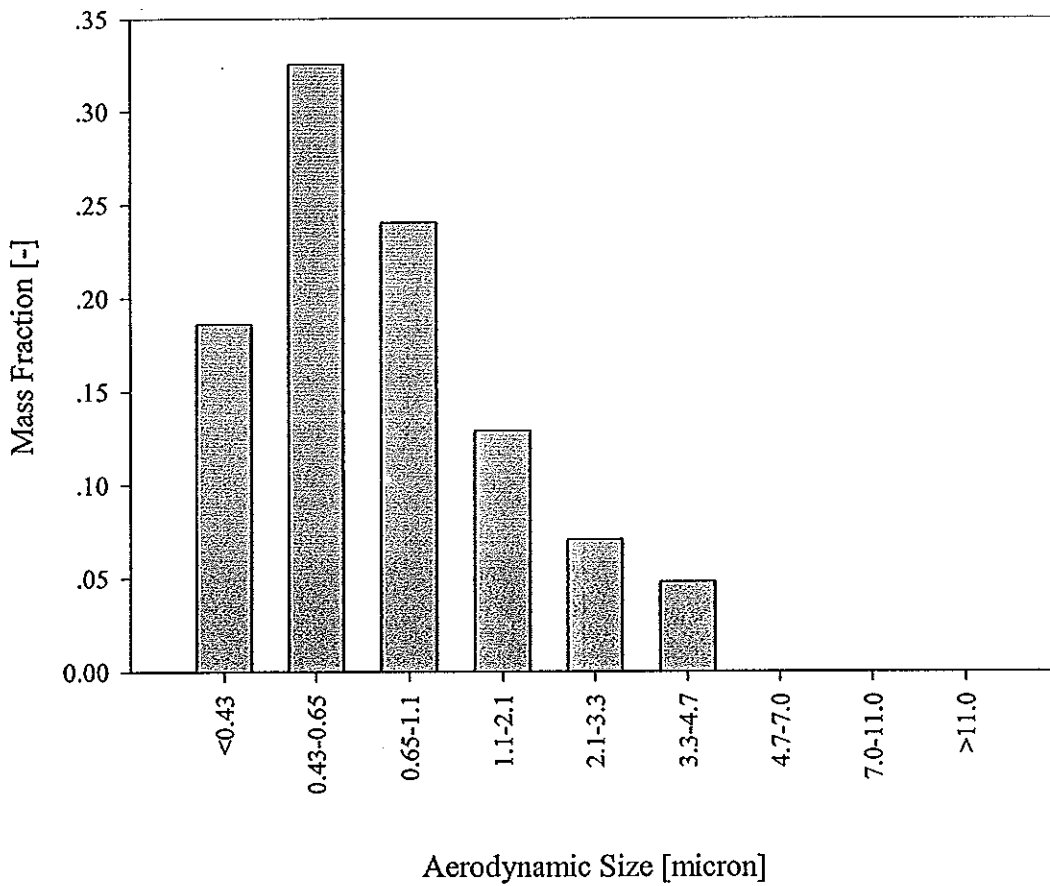
รูปที่ ผก.1 ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของน้ำหนักอนุภาคในแต่ละชั้น (Mass fraction) กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางแอโรไดนามิกของอนุภาค (Aerodynamic diameter) จากการทดลองครั้งที่ 1



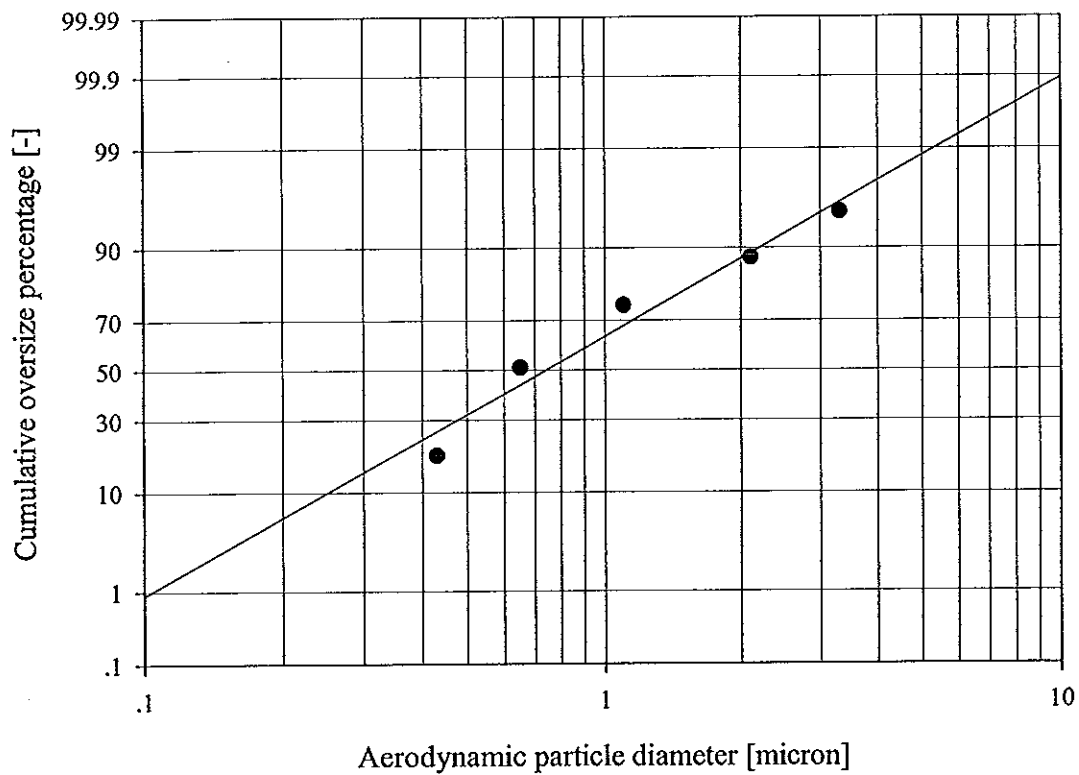
รูปที่ ผก.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่สะสมของน้ำหนักร้อนภาค (Cumulative oversize) กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางแอโรไดนามิกของอนุภาค (Aerodynamic diameter) จากการทดลองครั้งที่ 1

ตารางที่ ผก.2 ผลการศึกษาระยะยาวขนาดอนุภาคของเมทิลีนไดไอโซไซยาเนตที่ได้จากการเผาไหม้ของฟีนอลเมทิลพารา ครึ่งที่ 2

Stage#	Plate#	Size range (um)	Weight before (g)	Weight after (g)	Collected weight (g)	Mass fraction [-]	Cumulative oversize fraction [-]
0	0	>11.0	13.1015	13.1015	0.0000	0.0000	1.0000
1	1	7.0-11.0	13.0560	13.0560	0.0000	0.0000	1.0000
2	2	4.7-7.0	12.8892	12.8892	0.0000	0.0000	1.0000
3	3	3.3-4.7	12.7849	12.7887	0.0038	0.0481	1.0000
4	4	2.1-3.3	12.0472	12.0528	0.0056	0.0709	0.9519
5	5	1.1-2.1	13.1490	13.1592	0.0102	0.1291	0.8810
6	6	0.65-1.1	12.8560	12.8750	0.0190	0.2405	0.7519
7	7	0.43-0.65	12.2796	12.3053	0.0257	0.3253	0.5114
BF	BF	<0.43	0.1784	0.1931	0.0147	0.1861	0.1861
			Total	Total	0.0790	1.0000	



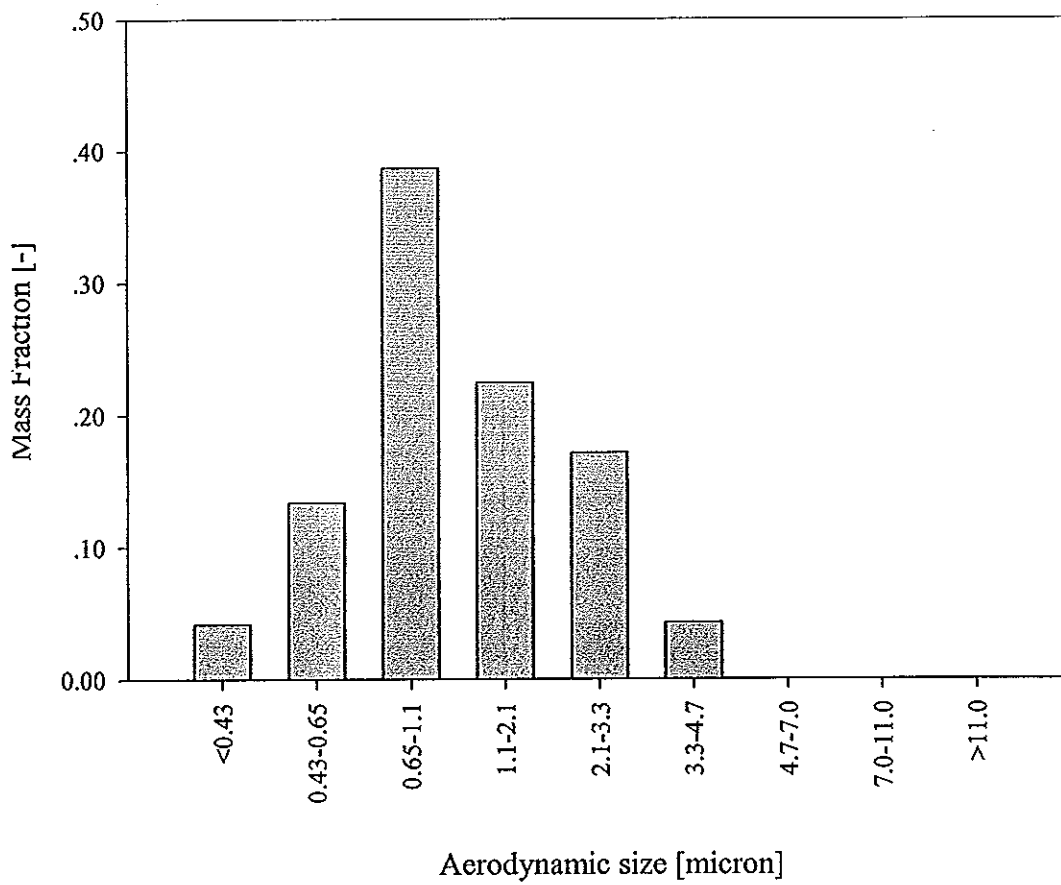
รูปที่ ผก.3 ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของน้ำหนักอนุภาคในแต่ละชั้น (Mass fraction) กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางแอโรไดนามิกของอนุภาค (Aerodynamic diameter) จากการทดลองครั้งที่ 2



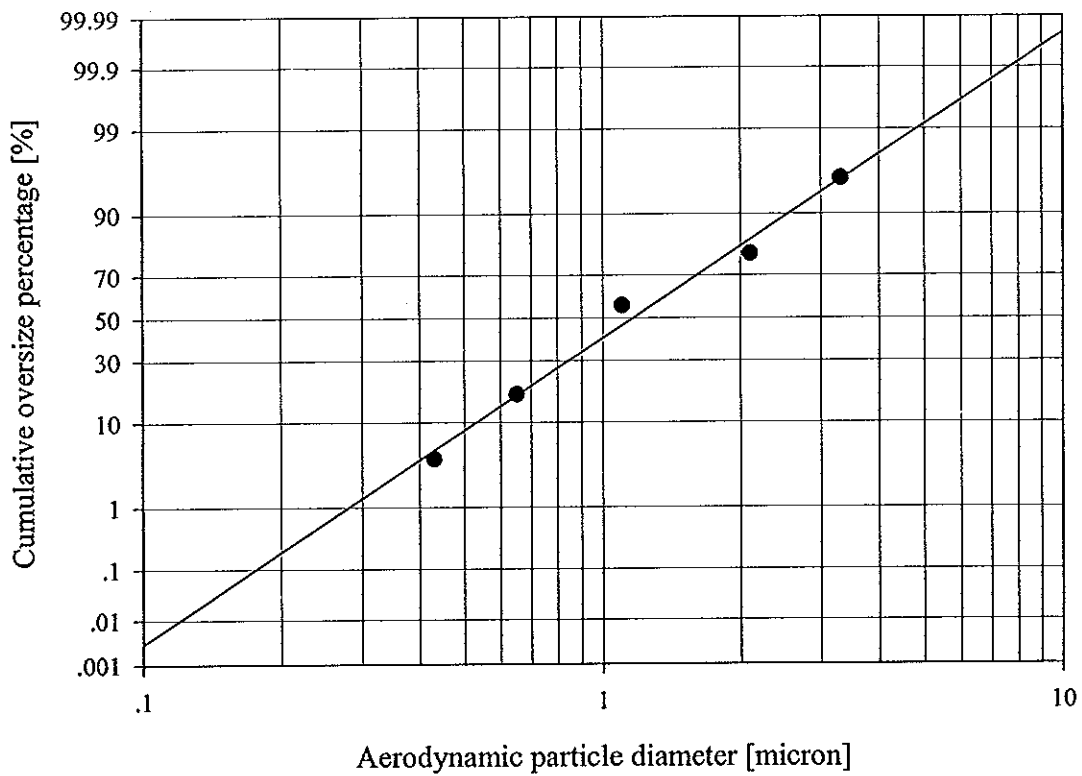
รูปที่ ผก.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่สะสมของน้ำหนักร้อนภาค (Cumulative oversize) กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางแอโรไดนามิกของอนุภาค (Aerodynamic diameter) จากการทดลองครั้งที่ 2

ตารางที่ ผก.3 ผลการศึกษาระยะขนาดอนุภาคของเม้าคั่วที่ได้จากการเผาไหม้ของพื้นไม้อย่างพารา ครึ่งที่ 3

Stage#	Plate#	Size range (um)	Weight before (g)	Weight after (g)	Collected weight (g)	Mass fraction [-]	Cumulative oversize fraction [-]
0	0	>11.0	13.1014	13.1014	0.0000	0.0000	1.0000
1	1	7.0-11.0	13.0547	13.0547	0.0000	0.0000	1.0000
2	2	4.7-7.0	12.8888	12.8888	0.0000	0.0000	1.0000
3	3	3.3-4.7	12.7846	12.8010	0.0164	0.0427	1.0000
4	4	2.1-3.3	12.0465	12.1123	0.0658	0.1712	0.9573
5	5	1.1-2.1	13.1488	13.2351	0.0863	0.2246	0.7861
6	6	0.65-1.1	12.8548	13.0034	0.1486	0.3867	0.5615
7	7	0.43-0.65	12.2790	12.3303	0.0513	0.1335	0.1749
BF	BF	<0.43	0.1756	0.1915	0.0159	0.0414	0.0414
Total					0.3843	1.0000	



รูปที่ ผก.5 ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของน้ำหนักร้อนอากาศในแต่ละชั้น (Mass fraction) กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางแอโรไดนามิกของอนุภาค (Aerodynamic diameter) จากการทดลองครั้งที่ 3



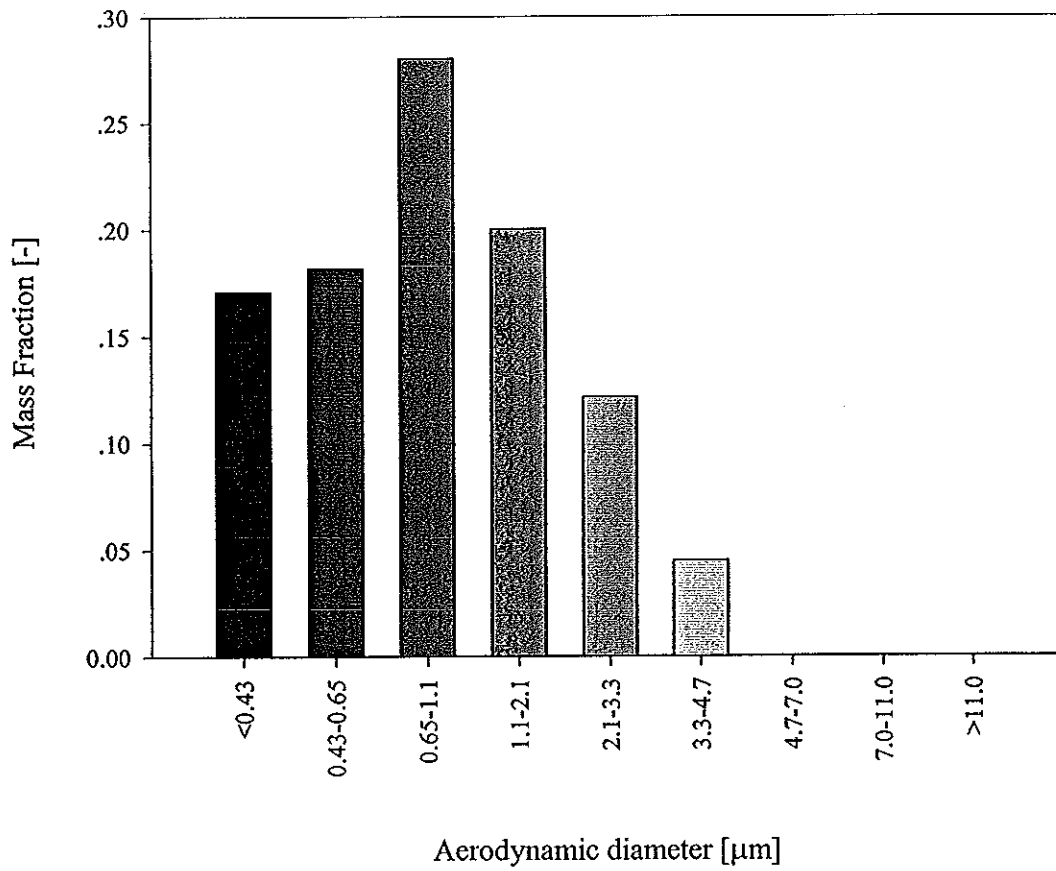
รูปที่ ผก.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่สะสมของน้ำหนักอนุภาค (Cumulative oversize) กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางแอโรไดนามิกของอนุภาค (Aerodynamic diameter) จากการทดลองครั้งที่ 3

ตารางที่ ผค.4 ตัวอย่างค่าความชื้นของฟืนไม้ยางพาราที่ทำการทดสอบ ครั้งที่ 3

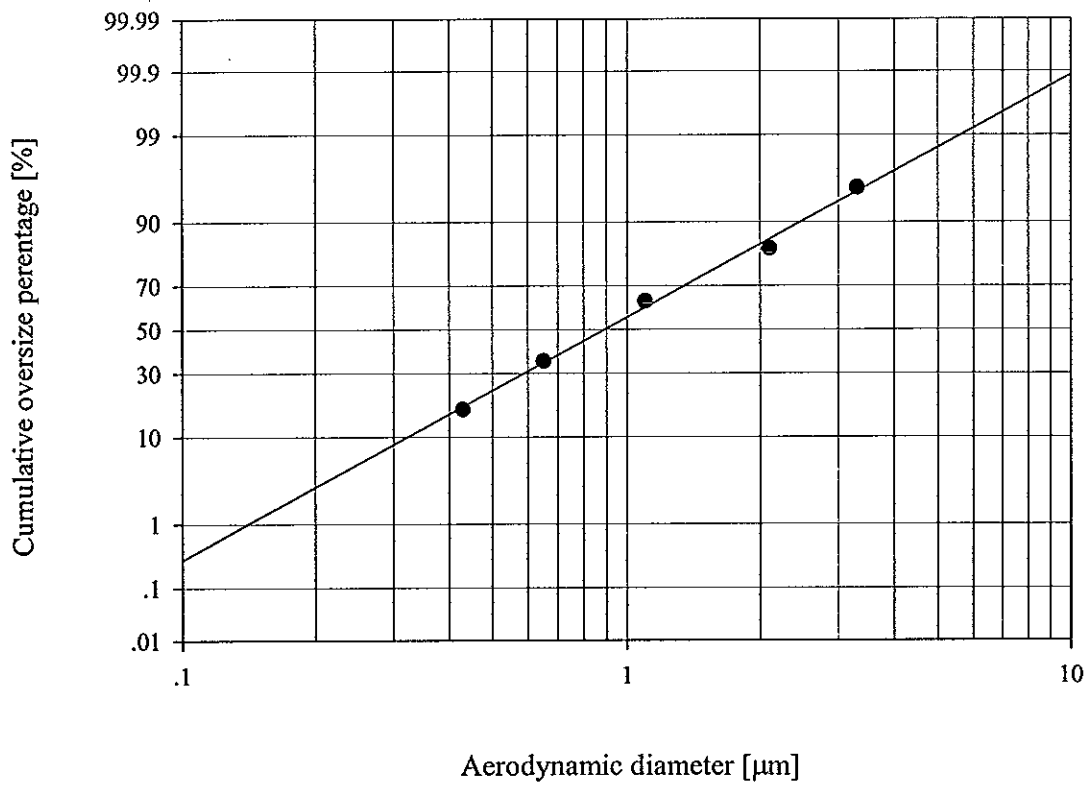
ฐัณที่	น้ำหนักร่อน (g)	น้ำหนักหลังอบ (g)	ปริมาณน้ำ (g)	ค่าความชื้น [%]	น้ำต่อมวล [%]
1	10.67	4.56	6.11	133.99	57.26
2	9.12	3.98	5.14	129.15	56.36
3	8.89	3.94	4.95	125.63	55.68
4	6.02	2.64	3.38	128.03	56.15
5	6.38	2.81	3.57	127.05	55.96
6	3.47	1.83	1.64	89.62	47.26
7	5.39	2.94	2.45	83.33	45.45
8	4.85	2.67	2.18	81.65	44.95
9	4.63	2.49	2.14	85.94	46.22
10	6.12	3.21	2.91	90.65	47.55
			เฉลี่ย	107.50	51.28

ตารางที่ ผก.5 ผลการศึกษาการกระจายขนาดอนุภาคของเขม่าควันที่ได้จากการเผาไหม้ของฟืน ไม้ยางพารา ครั้งที่ 4

Stage#	Plate#	Size range (um)	Weight before (g)	Weight after (g)	Collected weight (g)	Mass fraction [-]	Cumulative oversize fraction [-]
0	0	>11.0	13.1008	13.1008	0.0000	0.0000	1.0000
1	1	7.0-11.0	13.0542	13.0542	0.0000	0.0000	1.0000
2	2	4.7-7.0	12.8884	12.8884	0.0000	0.0000	1.0000
3	3	3.3-4.7	12.7840	12.7881	0.0041	0.0449	1.0000
4	4	2.1-3.3	12.0464	12.0575	0.0111	0.1216	0.9551
5	5	1.1-2.1	13.1482	13.1665	0.0183	0.2004	0.8335
6	6	0.65-1.1	12.8549	12.8805	0.0256	0.2804	0.6331
7	7	0.43-0.65	12.2787	12.2953	0.0166	0.1818	0.3527
BF	BF	<0.43	0.1771	0.1927	0.0156	0.1709	0.1709
				Total	0.0913	1.0000	



รูปที่ ผก.7 ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของน้ำหนักร้อนภาคในแต่ละชั้น (Mass fraction) กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางแอโรไดนามิกของอนุภาค (Aerodynamic diameter) จากการทดลองครั้งที่ 4



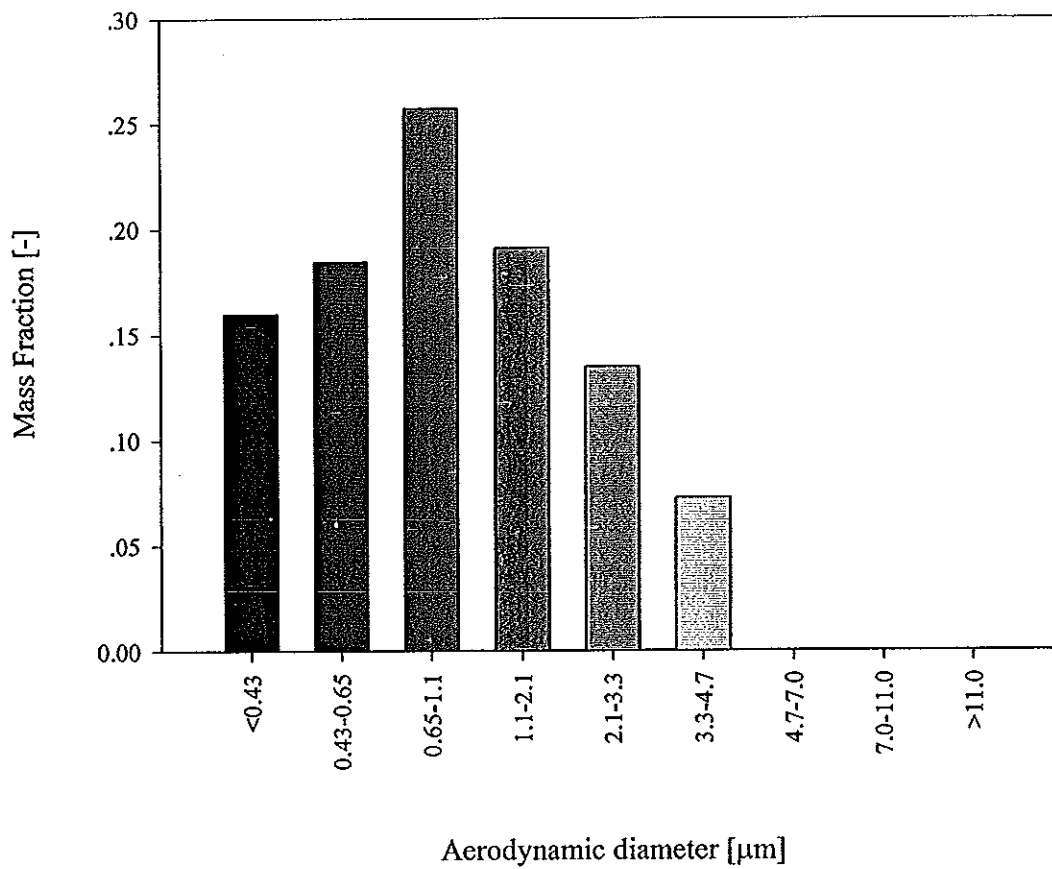
รูปที่ ผก.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่สะสมของน้ำหนักร้อนภาค (Cumulative oversize) กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางแอโรไดนามิกของอนุภาค (Aerodynamic diameter) จากการทดลองครั้งที่ 4

ตารางที่ ผก.6 ตัวอย่างค่าความชื้นของพื้นไม้ยางพาราที่ทำการทดสอบ ครั้งที่ 4

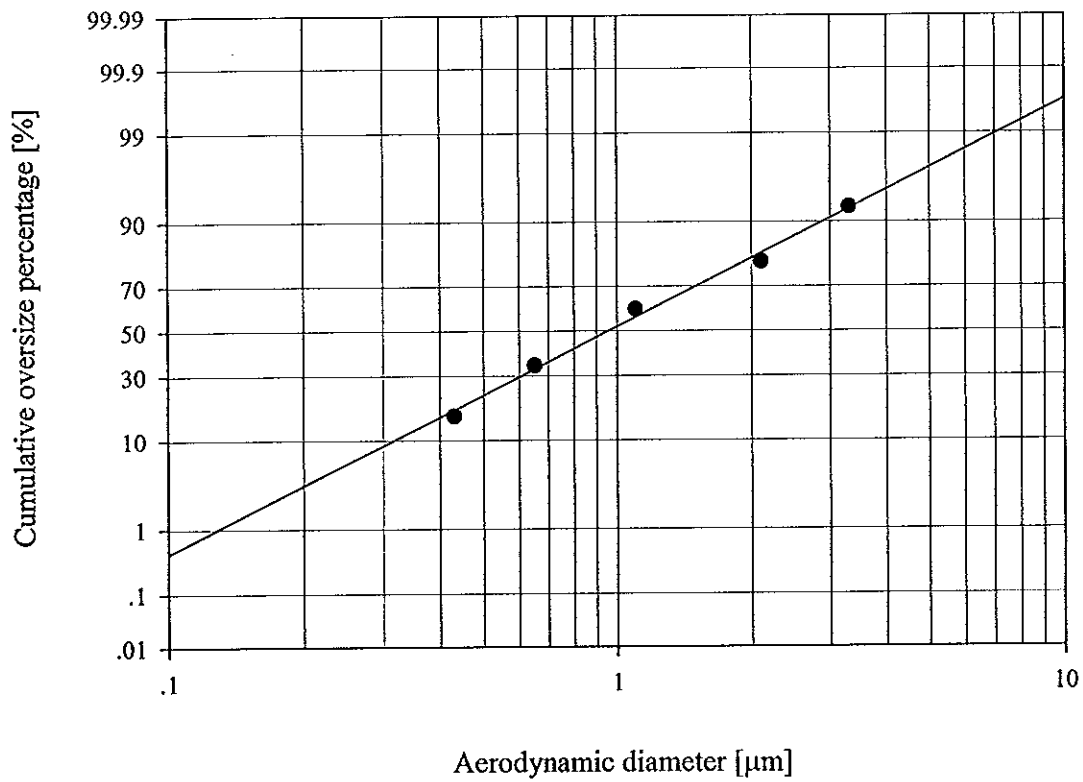
ชั้นที่	น้ำหนักก่อนอบ (g)	น้ำหนักหลังอบ (g)	ปริมาณน้ำ (g)	ค่าความชื้น [%]	น้ำต่อมวล [%]
1	4.24	2.36	1.88	79.66	44.34
2	3.38	1.92	1.46	76.04	43.20
3	3.26	1.75	1.51	86.29	46.32
4	2.75	1.52	1.23	80.92	44.73
5	3.32	1.80	1.52	84.44	45.78
			เฉลี่ย	81.47	44.87

ตารางที่ ผก.7 ผลการศึกษาการกระจายขนาดอนุภาคของเขม่าควันที่ได้จากการเผาไหม้ของฟืนไม้ยางพารา ครั้งที่ 5

Stage#	Plate#	Size range (um)	Weight before (g)	Weight after (g)	Collected weight (g)	Mass fraction [-]	Cumulative oversize fraction [-]
0	0	>11.0	13.1005	13.1005	0.0000	0.0000	1.0000
1	1	7.0-11.0	13.0550	13.0550	0.0000	0.0000	1.0000
2	2	4.7-7.0	12.8886	12.8886	0.0000	0.0000	1.0000
3	3	3.3-4.7	12.7850	12.7885	0.0035	0.0726	1.0000
4	4	2.1-3.3	12.0480	12.0545	0.0065	0.1349	0.9274
5	5	1.1-2.1	13.1495	13.1587	0.0092	0.1909	0.7925
6	6	0.65-1.1	12.8555	12.8679	0.0124	0.2573	0.6017
7	7	0.43-0.65	12.2795	12.2884	0.0089	0.1846	0.3444
BF	BF	<0.43	0.1827	0.1904	0.0077	0.1598	0.1598
			Total		0.0482	1.0000	



รูปที่ ผก.9 ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของน้ำหนักอนุภาคในแต่ละชั้น (Mass fraction) กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางแอโรไดนามิกของอนุภาค (Aerodynamic diameter) จากการทดลองครั้งที่ 5



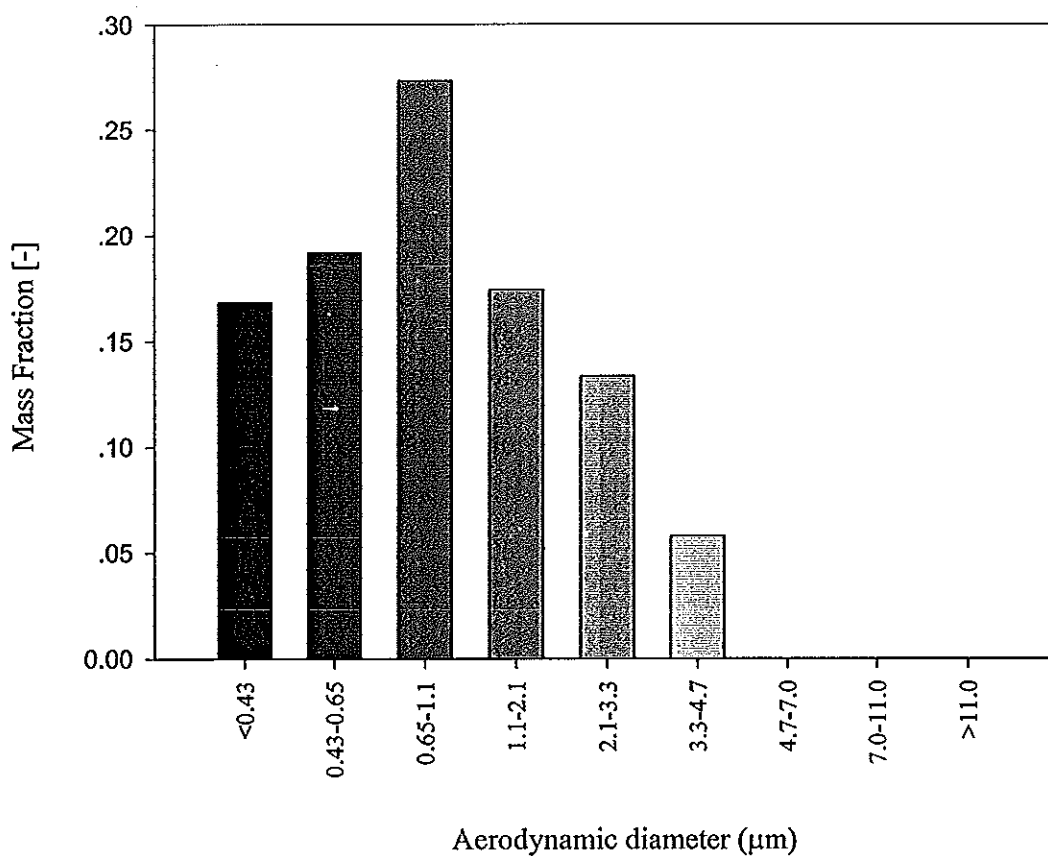
รูปที่ ผก.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่สะสมของน้ำหนักร้อนภาค (Cumulative oversize) กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางแโรไดนามิกของอนุภาค (Aerodynamic diameter) จากการทดลองครั้งที่ 5

ตารางที่ ผก.8 ตัวอย่างค่าความชื้นของฟืนไม้ยางพาราที่ทำการศึกษาทดสอบ ครั้งที่ 5

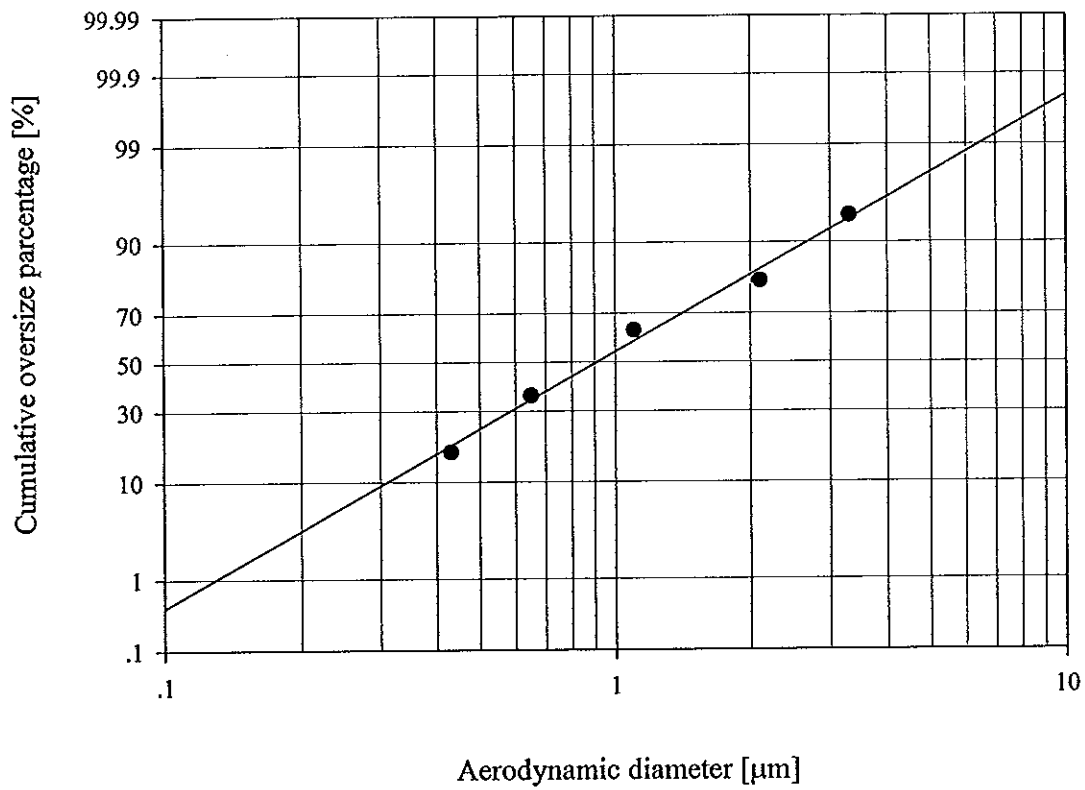
ชั้นที่	น้ำหนักก่อนอบ (g)	น้ำหนักหลังอบ (g)	ปริมาณน้ำ (g)	ค่าความชื้น [%]	น้ำต่อมวล [%]
1	2.67	1.48	1.19	80.41	44.57
2	3.89	2.15	1.74	80.93	44.73
3	6.47	3.64	2.83	77.75	43.74
4	4.12	2.24	1.88	83.93	45.63
5	1.76	0.98	0.78	79.59	44.32
6	4.24	2.45	1.79	73.06	42.22
7	2.78	1.61	1.17	72.67	42.09
8	9.17	5.32	3.85	72.37	41.98
9	5.89	3.51	2.38	67.81	40.41
10	10.07	6.15	3.92	63.74	38.93
			เฉลี่ย	75.22	42.86

ตารางที่ ๖.๑ ผลการศึกษาการกระจายขนาดอนุภาคของเขม่าควันที่ได้จากการเผาไหม้ของฟีนโพลีเอทรีน ไม่ยางพารา ครั้งที่ 6

Stage#	Plate#	Size range (um)	Weight before (g)	Weight after (g)	Collected weight (g)	Mass fraction [-]	Cumulative oversize fraction [-]
0	0	>11.0	13.0529	13.0529	0.0000	0.0000	1.0000
1	1	7.0-11.0	12.7840	12.7840	0.0000	0.0000	1.0000
2	2	4.7-7.0	12.2791	12.2791	0.0000	0.0000	1.0000
3	3	3.3-4.7	12.0459	12.0469	0.0010	0.0581	1.0000
4	4	2.1-3.3	13.1474	13.1497	0.0023	0.1337	0.9419
5	5	1.1-2.1	12.8558	12.8588	0.0030	0.1744	0.8081
6	6	0.65-1.1	12.2622	12.2669	0.0047	0.2733	0.6337
7	7	0.43-0.65	12.9085	12.9118	0.0033	0.1919	0.3605
BF	BF	<0.43	0.1802	0.1831	0.0029	0.1686	0.1686
			Total	Total	0.0172	1.0000	



รูปที่ ผก.11 ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของน้ำหนักอนุภาคในแต่ละชั้น (Mass fraction) กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางแโรไดนามิกของอนุภาค (Aerodynamic diameter) จากการทดลองครั้งที่ 6



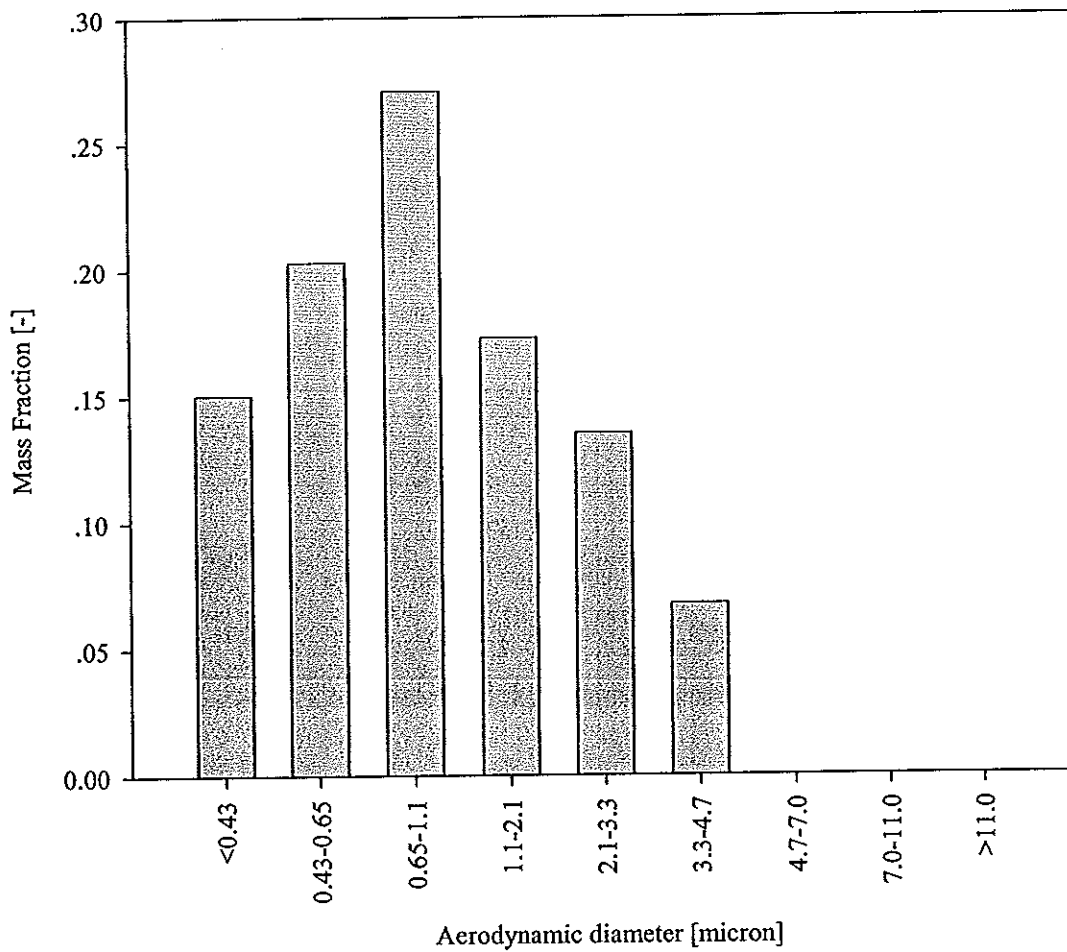
รูปที่ ผก.12 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่สะสมของน้ำหนักร้อนภาค (Cumulative oversize) กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางแอร์โรไดนามิกของอนุภาค (Aerodynamic diameter) จากการทดลองครั้งที่ 6

ตารางที่ ผก.10 ตัวอย่างค่าความชื้นของพื้นไม้ยางพาราที่ทำการศึกษาทดสอบ ครั้งที่ 6

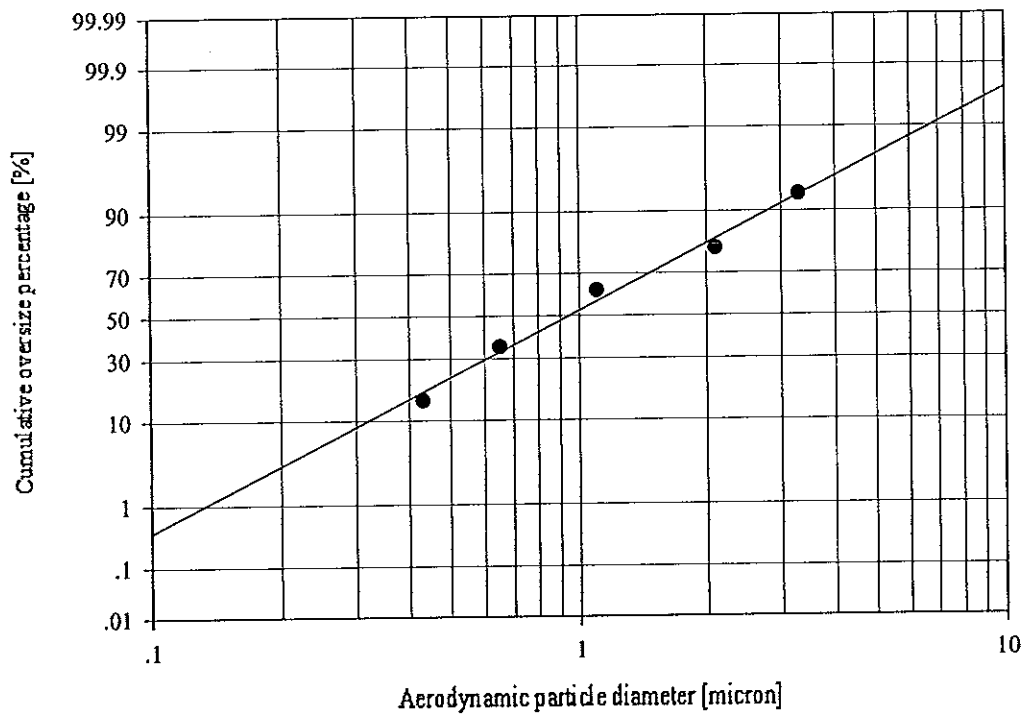
ชั้นที่	น้ำหนักก่อนอบ (g)	น้ำหนักหลังอบ (g)	ปริมาณน้ำ (g)	ค่าความชื้น [%]	น้ำต่อมวล [%]
1	4.45	3.13	1.32	42.17	29.66
2	3.06	2.28	0.78	34.21	25.49
3	4.54	3.09	1.45	46.93	31.94
4	4.87	3.44	1.43	41.57	29.36
5	1.81	1.23	0.58	47.15	32.04
			เฉลี่ย	42.41	29.70

ตารางที่ ผก.11 ผลการศึกษาระยะยาวขนาดอนุภาคของเขม่าควันที่ได้จากการเผาไหม้ของหินไม่ยางพารา ครั้งที่ 7

Stage#	Plate#	Size range (um)	Weight before (g)	Weight after (g)	Collected weight (g)	Mass fraction [-]	Cumulative oversize fraction [-]
0	0	>11.0	14.0175	14.0175	0.0000	0.0000	1.0000
1	1	7.0-11.0	13.8230	13.8230	0.0000	0.0000	1.0000
2	2	4.7-7.0	14.0556	14.0556	0.0000	0.0000	1.0000
3	3	3.3-4.7	14.7829	14.7838	0.0009	0.0677	1.0000
4	4	2.1-3.3	13.5959	13.5977	0.0018	0.1353	0.9323
5	5	1.1-2.1	13.9649	13.9672	0.0023	0.1729	0.7970
6	6	0.65-1.1	13.2882	13.2918	0.0036	0.2707	0.6241
7	7	0.43-0.65	14.0914	14.0941	0.0027	0.2030	0.3534
BF	BF	<0.43	0.1833	0.1853	0.0020	0.1504	0.1504
			Total	Total	0.0133	1.0000	



รูปที่ ผก.13 ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของน้ำหนักอนุภาคในแต่ละชั้น (Mass fraction) กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางแโรไดนามิกของอนุภาค (Aerodynamic diameter) จากการทดลองครั้งที่ 7



รูปที่ ผก.14 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่สะสมของน้ำหนักร้อนภาค (Cumulative oversize) กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางแอโรไดนามิกของอนุภาค (Aerodynamic diameter) จากการทดลองครั้งที่ 7

ตารางที่ ผก.12 ตัวอย่างค่าความชื้นของพื้นไม้ยางพาราที่ทำการทดสอบ ครั้งที่ 7

ชั้นที่	น้ำหนักก่อนอบ (g)	น้ำหนักหลังอบ (g)	ปริมาณน้ำ (g)	ค่าความชื้น [%]	น้ำต่อมวล [%]
1	5.24	4.31	0.93	21.58	17.75
2	3.95	3.07	0.88	28.66	22.28
3	7.35	5.01	2.34	46.71	31.84
4	3.07	2.47	0.60	24.29	19.54
5	6.39	4.23	2.16	51.06	33.80
			เฉลี่ย	34.46	25.04

ภาคผนวก ข
ผลการทดสอบค่าความต่างศักย์เริ่มต้นกับค่าความต่างศักย์สุดท้าย
ของหม้อแปลงไฟฟ้าแรงสูง

ตารางที่ ผข.1 ผลการศึกษาการเกิดกระแสไฟฟ้าโคโรนาที่ความต่างศักย์ต่างๆ

VAC (Volt)	VDC (Volt)			I (10^{-6} A)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
20	2200	2000	2500	9	12	14
40	4400	4400	4800	35	35	34
60	7000	6800	7200	68	61	57
80	9000	9000	9200	104	98	90
100	11200	11000	11600	147	138	128
120	13000	13500	14000	251	247	223
125	14500	14500	14500	282	275	248
130	15000	15000	15000	305	311	272
135	-	-	-	-	331	295

ภาคผนวก ค
ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต
โดยใช้ Andersen air sampler

ตารางที่ ผค.1 คำนวณหนักของอนุภาคเขม่าควันในแต่ละชั้น (ทั้งหมด) ครั้งที่ 1 (1)

Stage#	Plate#	Size range (um)	Weight before (g)	Weight after (g)	Collected weight (g)	Mass fraction [-]	Cumulative oversize fraction [-]
0	0	>11.0	13.0795	13.0795	0.0000	0.0000	1.0000
1	1	7.0-11.0	12.0398	12.0398	0.0000	0.0000	1.0000
2	2	4.7-7.0	13.0559	13.0559	0.0000	0.0000	1.0000
3	3	3.3-4.7	12.8565	12.8583	0.0018	0.0359	1.0000
4	4	2.1-3.3	12.9675	12.9745	0.0070	0.1394	0.9641
5	5	1.1-2.1	12.0469	12.0548	0.0079	0.1574	0.8247
6	6	0.65-1.1	13.1495	13.1632	0.0137	0.2729	0.6673
7	7	0.43-0.65	12.9608	12.9740	0.0132	0.2629	0.3944
BF	BF	<0.43	0.1793	0.1859	0.0066	0.1315	0.1315
Total					0.0502	1.0000	

ตารางที่ ผค.2 คำนวณน้ำหนักของอนุภาคเขม่าควันในแต่ละชั้น (กรณีถูกตัดกับด้วยเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต) ครั้งที่ 1 (1)

Stage#	Plate#	Size range (µm)	Weight before (g)	Weight after (g)	Collected weight (g)	Mass fraction [-]	Cumulative oversize fraction [-]
0	0	>11.0	12.2659	12.2659	0.0000	0.0000	1.0000
1	1	7.0-11.0	12.4534	12.4534	0.0000	0.0000	1.0000
2	2	4.7-7.0	12.9107	12.9107	0.0000	0.0000	1.0000
3	3	3.3-4.7	12.6328	12.6328	0.0000	0.0000	1.0000
4	4	2.1-3.3	12.8499	12.8521	0.0022	0.1366	1.0000
5	5	1.1-2.1	13.1419	13.1442	0.0023	0.1429	0.8634
6	6	0.65-1.1	12.2807	12.2845	0.0038	0.2360	0.7205
7	7	0.43-0.65	12.7871	12.7914	0.0043	0.2671	0.4845
BF	BF	<0.43	0.1788	0.1823	0.0035	0.2174	0.2174
				Total	0.0161	1.0000	

ตารางที่ ผค.3 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต ครั้งที่ 1 (1)

Stage#	Plate#	Size range (um)	Glass Collected weight (g)	EP. Collected weight (g)	Efficiency (%)	100-Eff (%)
0	0	>11.0	0	0	-	-
1	1	7.0-11.0	0	0	-	-
2	2	4.7-7.0	0	0	-	-
3	3	3.3-4.7	0.0018	0	100.00	0.00
4	4	2.1-3.3	0.007	0.0022	68.57	31.43
5	5	1.1-2.1	0.0079	0.0023	70.89	29.11
6	6	0.65-1.1	0.0137	0.0038	72.26	27.74
7	7	0.43-0.65	0.0132	0.0043	67.42	32.58
BF	BF	<0.43	0.0066	0.0035	46.97	53.03
		Total	0.0502	0.0161	67.93	32.07

ตารางที่ ผค.4 กำน้ำหนักของอนุภาคเขม่าควันในแต่ละชั้น (ทั้งหมด) ครั้งที่ 1 (2)

Stage#	Plate#	Size range (um)	Weight before (g)	Weight after (g)	Collected weight (g)	Mass fraction [-]	Cumulative oversize fraction [-]
0	0	>11.0	14.1397	14.1397	0.0000	0.0000	1.0000
1	1	7.0-11.0	13.7493	13.7493	0.0000	0.0000	1.0000
2	2	4.7-7.0	14.1045	14.1045	0.0000	0.0000	1.0000
3	3	3.3-4.7	14.0501	14.0529	0.0028	0.0276	1.0000
4	4	2.1-3.3	13.6060	13.6196	0.0136	0.1341	0.9724
5	5	1.1-2.1	13.9452	13.9680	0.0228	0.2249	0.8383
6	6	0.65-1.1	13.7769	13.8088	0.0319	0.3146	0.6134
7	7	0.43-0.65	13.7495	13.7742	0.0247	0.2436	0.2988
BF	BF	<0.43	0.1771	0.1827	0.0056	0.0552	0.0552
Total					0.1014	1.0000	

ตารางที่ ผค.5 คำนำหนักของอนุภาคเข้ามาคว้นในแต่ละชั้น (กรณีถูกดักจับด้วยเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต) ครั้งที่ 1 (2)

Stage#	Plate#	Size range (um)	Weight before (g)	Weight after (g)	Collected weight (g)	Mass fraction [-]	Cumulative oversize fraction [-]
0	0	>11.0	14.0176	14.0176	0.0000	0.0000	1.0000
1	1	7.0-11.0	13.8216	13.8216	0.0000	0.0000	1.0000
2	2	4.7-7.0	14.0539	14.0539	0.0000	0.0000	1.0000
3	3	3.3-4.7	14.7822	14.7822	0.0000	0.0000	1.0000
4	4	2.1-3.3	13.5955	13.6012	0.0057	0.1414	1.0000
5	5	1.1-2.1	13.9630	13.9718	0.0088	0.2184	0.8586
6	6	0.65-1.1	13.2879	13.2992	0.0113	0.2804	0.6402
7	7	0.43-0.65	14.0897	14.1011	0.0114	0.2829	0.3598
BF	BF	<0.43	0.1751	0.1782	0.0031	0.0769	0.0769
Total					0.0403	1.0000	

ตารางที่ ผท.6 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต ครั้งที่ 1 (2)

Stage#	Plate#	Size range (um)	Glass Collected weight (g)	EP. Collected weight (g)	Efficiency (%)	100-Eff (%)	
0	0	>11.0	0	0	-		-
1	1	7.0-11.0	0	0	-		-
2	2	4.7-7.0	0	0	-		-
3	3	3.3-4.7	0.0028	0	100.00		0.00
4	4	2.1-3.3	0.0136	0.0057	58.09		41.91
5	5	1.1-2.1	0.0228	0.0088	61.40		38.60
6	6	0.65-1.1	0.0319	0.0113	64.58		35.42
7	7	0.43-0.65	0.0247	0.0114	53.85		46.15
BF	BF	<0.43	0.0056	0.0031	44.64		55.36
		Total	0.0977	0.0403	58.75		41.25

ตารางที่ ผค.7 ตำแหน่งนักของอนุภาคเขม่าควันในแต่ละชั้น (ทั้งหมด) ครั้งที่ 2 (1)

Stage#	Plate#	Size range (um)	Weight before (g)	Weight after (g)	Collected weight (g)	Mass fraction [-]	Cumulative oversize fraction [-]
0	0	>11.0	12.4510	12.4510	0.0000	0.0000	1.0000
1	1	7.0-11.0	12.8479	12.8479	0.0000	0.0000	1.0000
2	2	4.7-7.0	12.2617	12.2617	0.0000	0.0000	1.0000
3	3	3.3-4.7	12.9071	12.9089	0.0018	0.0425	1.0000
4	4	2.1-3.3	12.2789	12.2814	0.0025	0.0590	0.9575
5	5	1.1-2.1	12.7834	12.7888	0.0054	0.1274	0.8986
6	6	0.65-1.1	12.9601	12.9728	0.0127	0.2995	0.7712
7	7	0.43-0.65	13.1398	13.1510	0.0112	0.2642	0.4717
BF	BF	<0.43	0.1804	0.1892	0.0088	0.2075	0.2075
			Total	Total	0.0424	1.0000	

ตารางที่ ผค.8 คำนวณน้ำหนักของอนุภาคเข้ามาวันในแต่ละชั้น (กรณีถูกกักจับด้วยเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต) ครั้งที่ 2 (1)

Stage#	Plate#	Size range (um)	Weight before (g)	Weight after (g)	Collected weight (g)	Mass fraction [-]	Cumulative oversize fraction [-]
0	0	>11.0	13.0778	13.0778	0.0000	0.0000	1.0000
1	1	7.0-11.0	12.6318	12.6318	0.0000	0.0000	1.0000
2	2	4.7-7.0	13.1479	13.1479	0.0000	0.0000	1.0000
3	3	3.3-4.7	12.0401	12.0406	0.0005	0.0246	1.0000
4	4	2.1-3.3	12.0462	12.0475	0.0013	0.0640	0.9754
5	5	1.1-2.1	12.9689	12.9712	0.0023	0.1133	0.9113
6	6	0.65-1.1	13.0547	13.0599	0.0052	0.2562	0.7980
7	7	0.43-0.65	12.8546	12.8608	0.0062	0.3054	0.5419
BF	BF	<0.43	0.1750	0.1798	0.0048	0.2365	0.2365
				Total	0.0203	1.0000	

ตารางที่ ผค.9 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต ครั้งที่ 2 (1)

Stage#	Plate#	Size range (um)	Glass Collected weight (g)	EP. Collected weight (g)	Efficiency (%)	100-Eff (%)
0	0	>11.0	0	0	-	-
1	1	7.0-11.0	0	0	-	-
2	2	4.7-7.0	0	0	-	-
3	3	3.3-4.7	0.0018	0.0005	72.22	27.78
4	4	2.1-3.3	0.0025	0.0013	48.00	52.00
5	5	1.1-2.1	0.0054	0.0023	57.41	42.59
6	6	0.65-1.1	0.0127	0.0052	59.06	40.94
7	7	0.43-0.65	0.0112	0.0062	44.64	55.36
BF	BF	<0.43	0.0088	0.0048	45.45	54.55
		Total	0.0424	0.0203	52.12	47.88

ตารางที่ ผศ.10 คำนวณน้ำหนักของอนุภาคขนาดวันในแต่ละชั้น (ทั้งหมด) ครั้งที่ 2 (2)

Stage#	Plate#	Size range (um)	Weight before (g)	Weight after (g)	Collected weight (g)	Mass fraction [-]	Cumulative oversize fraction [-]
0	0	>11.0	14.1394	14.1394	0.0000	0.0000	1.0000
1	1	7.0-11.0	13.7483	13.7483	0.0000	0.0000	1.0000
2	2	4.7-7.0	14.1044	14.1044	0.0000	0.0000	1.0000
3	3	3.3-4.7	14.0502	14.0519	0.0017	0.0377	1.0000
4	4	2.1-3.3	13.6067	13.6088	0.0021	0.0466	0.9623
5	5	1.1-2.1	13.9436	13.9520	0.0084	0.1863	0.9157
6	6	0.65-1.1	13.7772	13.7894	0.0122	0.2705	0.7295
7	7	0.43-0.65	13.7490	13.7628	0.0138	0.3060	0.4590
BF	BF	<0.43	0.1745	0.1814	0.0069	0.1530	0.1530
Total					0.0451	1.0000	

ตารางที่ ผค.11 ค่าน้ำหนักของอนุภาคเข้ามาวันในแต่ละชั้น (กรณีถูกดักจับด้วยเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต) ครั้งที่ 2 (2)

Stage#	Plate#	Size range (um)	Weight before (g)	Weight after (g)	Collected weight (g)	Mass fraction [-]	Cumulative oversize fraction [-]
0	0	>11.0	14.0170	14.0170	0.0000	0.0000	1.0000
1	1	7.0-11.0	13.8207	13.8207	0.0000	0.0000	1.0000
2	2	4.7-7.0	14.0533	14.0533	0.0000	0.0000	1.0000
3	3	3.3-4.7	14.7815	14.7819	0.0004	0.0171	1.0000
4	4	2.1-3.3	13.5948	13.5960	0.0012	0.0513	0.9829
5	5	1.1-2.1	13.9623	13.9664	0.0041	0.1752	0.9316
6	6	0.65-1.1	13.2869	13.2931	0.0062	0.2650	0.7564
7	7	0.43-0.65	14.0880	14.0956	0.0076	0.3248	0.4915
BF	BF	<0.43	0.1764	0.1803	0.0039	0.1667	0.1667
				Total	0.0234	1.0000	

ตารางที่ ผค.12 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต ครั้งที่ 2 (2)

Stage#	Plate#	Size range (um)	Glass Collected weight (g)	EP. Collected weight (g)	Efficiency (%)	100-Eff (%)
0	0	>11.0	0	0	-	-
1	1	7.0-11.0	0	0	-	-
2	2	4.7-7.0	0	0	-	-
3	3	3.3-4.7	0.0017	0.0004	76.47	23.53
4	4	2.1-3.3	0.0021	0.0012	42.86	57.14
5	5	1.1-2.1	0.0084	0.0041	51.19	48.81
6	6	0.65-1.1	0.0122	0.0062	49.18	50.82
7	7	0.43-0.65	0.0138	0.0076	44.93	55.07
BF	BF	<0.43	0.0069	0.0039	43.48	56.52
		Total	0.0451	0.0234	48.12	51.88

ตารางที่ ผค.13 ค่าน้ำหนักของอนุภาคขนาดวันในแต่ละชั้น (ทั้งหมด) ครั้งที่ 3 (1)

Stage#	Plate#	Size range (um)	Weight before (g)	Weight after (g)	Collected weight (g)	Mass fraction [-]	Cumulative oversize fraction [-]
0	0	>11.0	13.0780	13.0780	0.0000	0.0000	1.0000
1	1	7.0-11.0	12.0405	12.0405	0.0000	0.0000	1.0000
2	2	4.7-7.0	12.2615	12.2615	0.0000	0.0000	1.0000
3	3	3.3-4.7	12.6316	12.6341	0.0025	0.0661	1.0000
4	4	2.1-3.3	12.8480	12.8529	0.0049	0.1296	0.9339
5	5	1.1-2.1	12.7828	12.7892	0.0064	0.1693	0.8042
6	6	0.65-1.1	12.8541	12.8627	0.0086	0.2275	0.6349
7	7	0.43-0.65	13.1396	13.1475	0.0079	0.2090	0.4074
BF	BF	<0.43	0.1795	0.1870	0.0075	0.1984	0.1984
Total					0.0378	1.0000	

ตารางที่ ผค.14 คำนวณน้ำหนักของอนุภาคเข้ามาวันในแต่ละชั้น (กรณีถูกดักจับด้วยเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต) ครั้งที่ 3 (1)

Stage#	Plate#	Size range (um)	Weight before (g)	Weight after (g)	Collected weight (g)	Mass fraction [-]	Cumulative oversize fraction [-]
0	0	>11.0	12.9682	12.9682	0.0000	0.0000	1.0000
1	1	7.0-11.0	12.2788	12.2788	0.0000	0.0000	1.0000
2	2	4.7-7.0	12.0459	12.0459	0.0000	0.0000	1.0000
3	3	3.3-4.7	13.0549	13.0549	0.0000	0.0000	1.0000
4	4	2.1-3.3	12.9604	12.9628	0.0024	0.1341	1.0000
5	5	1.1-2.1	12.9073	12.9104	0.0031	0.1732	0.8659
6	6	0.65-1.1	13.1485	13.1522	0.0037	0.2067	0.6927
7	7	0.43-0.65	12.4516	12.4560	0.0044	0.2458	0.4860
BF	BF	<0.43	0.1798	0.1841	0.0043	0.2402	0.2402
Total					0.0179	1.0000	

ตารางที่ ผค.15 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องตกตะกอนจริงไฟฟ้าสถิต ครั้งที่ 3 (1)

Stage#	Plate#	Size range (um)	Glass Collected weight (g)	EP. Collected weight (g)	Efficiency (%)	100-Eff (%)	
0	0	>11.0	0	0	-		-
1	1	7.0-11.0	0	0	-		-
2	2	4.7-7.0	0	0	-		-
3	3	3.3-4.7	0.0025	0	100.00		0.00
4	4	2.1-3.3	0.0049	0.0024	51.02		48.98
5	5	1.1-2.1	0.0064	0.0031	51.56		48.44
6	6	0.65-1.1	0.0086	0.0037	56.98		43.02
7	7	0.43-0.65	0.0079	0.0044	44.30		55.70
BF	BF	<0.43	0.0075	0.0043	42.67		57.33
		Total	0.0378	0.0179	52.65		47.35

ตารางที่ ผค.16 คำนวณหนักของอนุภาคเข้ามาควีนในแต่ละชั้น (ทั้งหมด) ครั้งที่ 3 (2)

Stage#	Plate#	Size range (um)	Weight before (g)	Weight after (g)	Collected weight (g)	Mass fraction [-]	Cumulative oversize fraction [-]
0	0	>11.0	14.0169	14.0169	0.0000	0.0000	1.0000
1	1	7.0-11.0	13.8206	13.8206	0.0000	0.0000	1.0000
2	2	4.7-7.0	14.0539	14.0539	0.0000	0.0000	1.0000
3	3	3.3-4.7	14.7811	14.7826	0.0015	0.0349	1.0000
4	4	2.1-3.3	13.5941	13.5988	0.0047	0.1093	0.9651
5	5	1.1-2.1	13.9615	13.9707	0.0092	0.2140	0.8558
6	6	0.65-1.1	13.2859	13.2967	0.0108	0.2512	0.6419
7	7	0.43-0.65	14.0879	14.0965	0.0086	0.2000	0.3907
BF	BF	<0.43	0.1802	0.1884	0.0082	0.1907	0.1907
Total					0.0430	1.0000	

ตารางที่ ผค.17 คำนวณน้ำหนักของอนุภาคเมามากวันในแต่ละชั้น (กรณีถูกคักจับด้วยเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต) ครั้งที่ 3 (2)

Stage#	Plate#	Size range (um)	Weight before (g)	Weight after (g)	Collected weight (g)	Mass fraction [-]	Cumulative oversize fraction [-]
0	0	>11.0	14.1392	14.1392	0.0000	0.0000	1.0000
1	1	7.0-11.0	13.7475	13.7475	0.0000	0.0000	1.0000
2	2	4.7-7.0	14.1040	14.1040	0.0000	0.0000	1.0000
3	3	3.3-4.7	14.0499	14.0502	0.0003	0.0132	1.0000
4	4	2.1-3.3	13.6054	13.6080	0.0026	0.1145	0.9868
5	5	1.1-2.1	13.9443	13.9492	0.0049	0.2159	0.8722
6	6	0.65-1.1	13.7766	13.7821	0.0055	0.2423	0.6564
7	7	0.43-0.65	13.7487	13.7534	0.0047	0.2070	0.4141
BF	BF	<0.43	0.1809	0.1856	0.0047	0.2070	0.2070
Total					0.0227	1.0000	

ตารางที่ ผศ.18 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต ครั้งที่ 3 (2)

Stage#	Plate#	Size range (um)	Glass Collected weight (g)	EP. Collected weight (g)	Efficiency (%)	100-Eff (%)
0	0	>11.0	0	0	-	-
1	1	7.0-11.0	0	0	-	-
2	2	4.7-7.0	0	0	-	-
3	3	3.3-4.7	0.0015	0.0003	80.00	20.00
4	4	2.1-3.3	0.0047	0.0026	44.68	55.32
5	5	1.1-2.1	0.0092	0.0049	46.74	53.26
6	6	0.65-1.1	0.0108	0.0055	49.07	50.93
7	7	0.43-0.65	0.0086	0.0047	45.35	54.65
BF	BF	<0.43	0.0082	0.0047	42.68	57.32
		Total	0.043	0.0227	47.21	52.79

ภาคผนวก ง
ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต
โดยใช้ Filter holder

ตารางที่ ผง.1 ผลประสิทธิภาพของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตที่ช่วงเวลาต่างๆ
ครั้งที่ 1

t (s)	EP upstream (g)			BP downstream (g)			E [%]
	MF _{initial} (g)	MF _{final} (g)	ΔM_F (g)	MF _{initial} (g)	MF _{final} (g)	ΔM_F (g)	
30	0.1255	0.3271	0.2016	0.1241	0.1698	0.0457	77.33
60	0.1274	0.3892	0.2618	0.1275	0.1912	0.0637	75.67
90	0.1255	0.2747	0.1492	0.1297	0.1795	0.0498	66.62
120	0.128	0.2638	0.1358	0.126	0.1769	0.0509	62.52
150	0.1281	0.3494	0.2213	0.1296	0.2314	0.1018	54.00
180	0.1276	0.2829	0.1553	0.1256	0.1975	0.0719	53.70
210	0.1406	0.3875	0.2469	0.1389	0.2135	0.0746	52.94
240	0.1358	0.3668	0.2310	0.1372	0.2512	0.1140	50.65
270	0.1375	0.3441	0.2066	0.1309	0.2421	0.1112	46.18
300	0.1257	0.388	0.2623	0.1232	0.2716	0.1484	43.42
330	0.1343	0.3272	0.1929	0.1315	0.2403	0.1088	43.60
360	0.1381	0.2747	0.1366	0.1303	0.2106	0.0803	41.22
390	0.1389	0.3098	0.1709	0.1302	0.2326	0.1024	40.08
420	0.1299	0.2993	0.1694	0.1293	0.2327	0.1034	38.96
450	0.1279	0.3137	0.1858	0.1241	0.2426	0.1185	36.22
480	0.13	0.253	0.1230	0.1296	0.2135	0.0839	31.79
510	0.1381	0.307	0.1689	0.1316	0.2502	0.1186	29.78
540	0.132	0.3577	0.2257	0.1332	0.3123	0.1791	20.65
570	0.1302	0.3262	0.1960	0.1373	0.2995	0.1622	17.24
600	0.1332	0.3082	0.1750	0.1294	0.2752	0.1458	16.69

ตารางที่ ผง.2 ปริมาณอนุภาคของเขม่าควัน ซึ่งถูกคักจับด้วยเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้า
สถิตที่ช่วงเวลาต่างๆ ครั้งที่ 1

t (s)	MEP _{initial} (g)	MEP _{final} (g)	ΔM_{EP} (g)
30	1574.98	1579.32	4.34
60	1579.32	1582.92	3.60
90	1582.92	1586.35	3.43
120	1586.35	1589.66	3.31
150	1589.66	1592.49	2.83
180	1592.49	1595.44	2.95
210	1595.44	1598.26	2.82
240	1598.26	1600.94	2.68
270	1600.94	1603.58	2.64
300	1603.58	1606.01	2.43
330	1606.01	1608.75	2.74
360	1608.75	1611.23	2.48
390	1611.23	1613.28	2.05
420	1613.28	1615.14	1.86
450	1615.14	1617.06	1.92
480	1617.06	1618.84	1.78
510	1618.84	1620.11	1.27
540	1620.11	1621.25	1.14
570	1621.25	1622.23	0.98
600	1622.23	1622.68	0.45

ตารางที่ ผง.3 ผลประสิทธิภาพของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตที่ช่วงเวลาต่างๆ
ครั้งที่ 2

t (s)	EP upstream (g)			EP downstream (g)			E [%]
	MF _{initial} (g)	MF _{final} (g)	ΔM_F (g)	MF _{initial} (g)	MF _{final} (g)	ΔM_F (g)	
60	0.1265	0.2638	0.1373	0.1333	0.1754	0.0421	69.34
120	0.1256	0.2449	0.1193	0.1243	0.1720	0.0477	60.02
180	0.1243	0.2657	0.1414	0.1249	0.1821	0.0572	59.55
240	0.1332	0.2188	0.0856	0.1274	0.1709	0.0435	49.18
300	0.1259	0.3974	0.2715	0.1372	0.2836	0.1464	46.08
360	0.1247	0.3176	0.1929	0.1246	0.2322	0.1076	44.22
420	0.1382	0.2952	0.1570	0.1282	0.2285	0.1003	36.11
480	0.1211	0.2549	0.1338	0.1218	0.2099	0.0881	34.16
540	0.1237	0.3208	0.1971	0.1219	0.2702	0.1483	24.76
600	0.1272	0.3399	0.2127	0.1292	0.3005	0.1713	19.46

ตารางที่ ผง.4 ปริมาณอนุภาคของเขม่าควัน ซึ่งถูกดักจับด้วยเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้า สถิติที่ช่วงเวลาต่างๆ ครั้งที่ 2

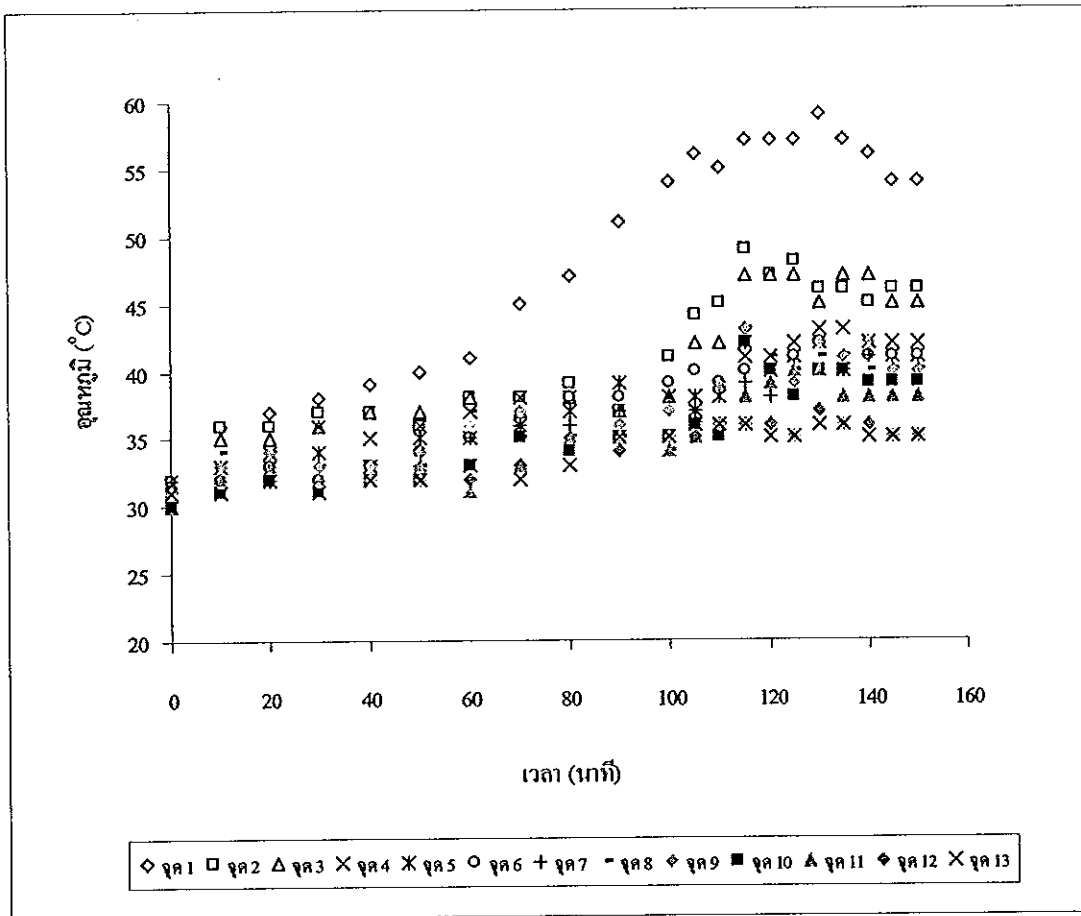
t (s)	MEP _{initial} (g)	MEP _{final} (g)	ΔM_{EP} (g)
60	1567.73	1572.93	5.20
120	1572.93	1577.12	4.19
180	1577.12	1581.04	3.92
240	1581.04	1584.57	3.53
300	1584.57	1586.84	2.27
360	1586.84	1588.77	1.93
420	1588.77	1590.79	2.02
480	1590.79	1592.32	1.53
540	1592.32	1593.38	1.06
600	1593.38	1594.21	0.83

ภาคผนวก จ

ผลการกระจายอุณหภูมิภายในห้องรวมแปล่าก่อนการปรับปรุง

ตารางที่ ผจ.1 อุณหภูมิภายในห้องรมเปล่าก่อนการปรับปรุง ครั้งที่ 1

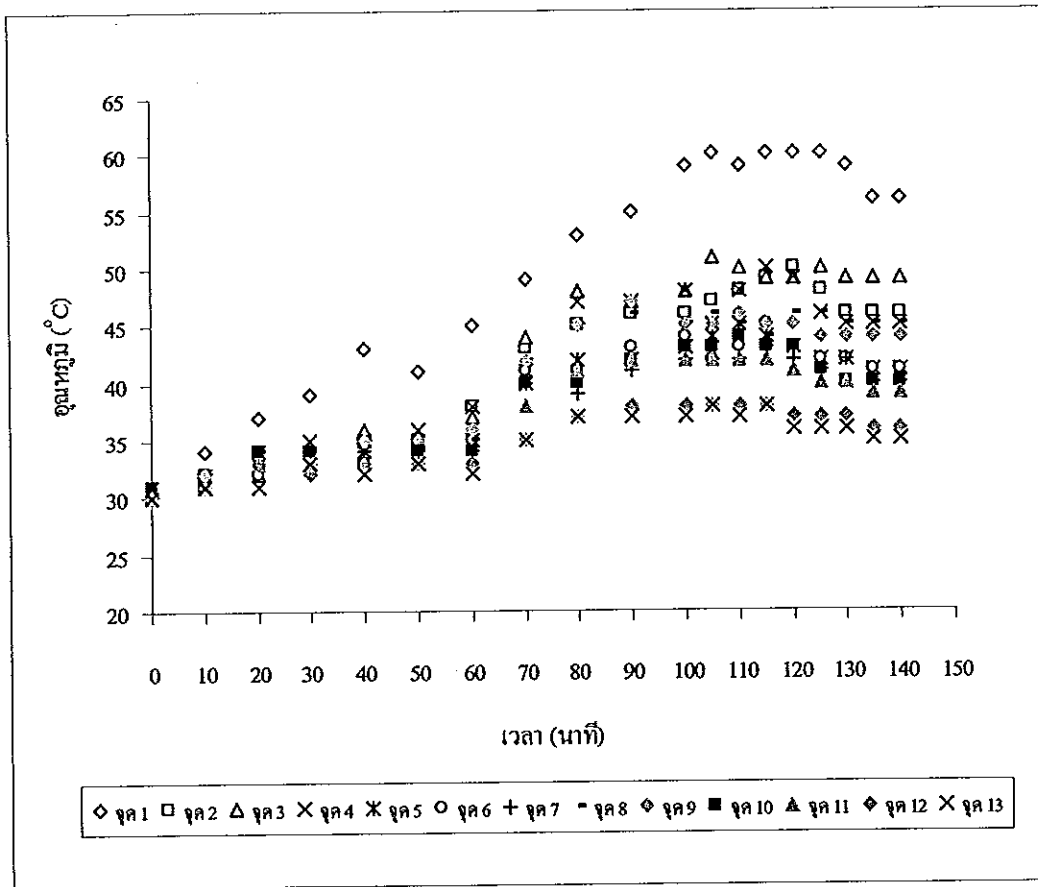
เวลา (นาที)	อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ภายในห้องรมยาง (°C)													พื้น (กก.)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
0	31	31	30	30	32	32	32	31	30	30	31	31	31	35.0
10	36	36	35	33	33	32	32	34	33	31	32	32	31	
20	37	36	35	34	33	33	32	34	34	32	33	33	32	
30	38	37	36	36	34	32	32	33	33	31	32	32	31	
40	39	37	37	35	33	33	32	33	33	32	32	32	32	
50	40	36	37	36	35	34	33	33	34	32	33	32	32	
60	41	38	38	37	35	35	35	37	36	33	31	32	33	
70	45	38	37	38	36	35	36	35	37	35	33	33	32	
80	47	39	38	38	37	38	36	35	35	34	35	35	33	
90	51	37	37	39	39	38	37	35	36	35	35	34	35	
100	54	41	38	38	38	39	37	34	37	35	34	35	35	
105	56	44	42	37	38	40	37	36	36	36	35	35	36	
110	55	45	42	38	38	39	39	36	36	35	39	36	36	
115	57	49	47	41	42	40	39	43	43	42	38	36	36	
120	57	47	47	41	40	40	38	41	40	40	39	36	35	
125	57	48	47	42	41	41	39	40	39	38	40	35	35	
130	59	46	45	43	42	42	42	41	42	40	40	37	36	
135	57	46	47	43	40	40	40	41	41	40	38	36	36	
140	56	45	47	42	42	41	41	40	42	39	38	36	35	
145	54	46	45	42	41	41	40	40	40	39	38	35	35	
150	54	46	45	42	41	41	40	40	40	39	38	35	35	



รูปที่ ผจ. 1 อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆของห้องรมปลา ก่อนการปรับปรุง ครั้งที่ 1

ตารางที่ ผจ.2 อุณหภูมิภายในห้องรมเปล่าก่อนการปรับปรุง ครั้งที่ 2

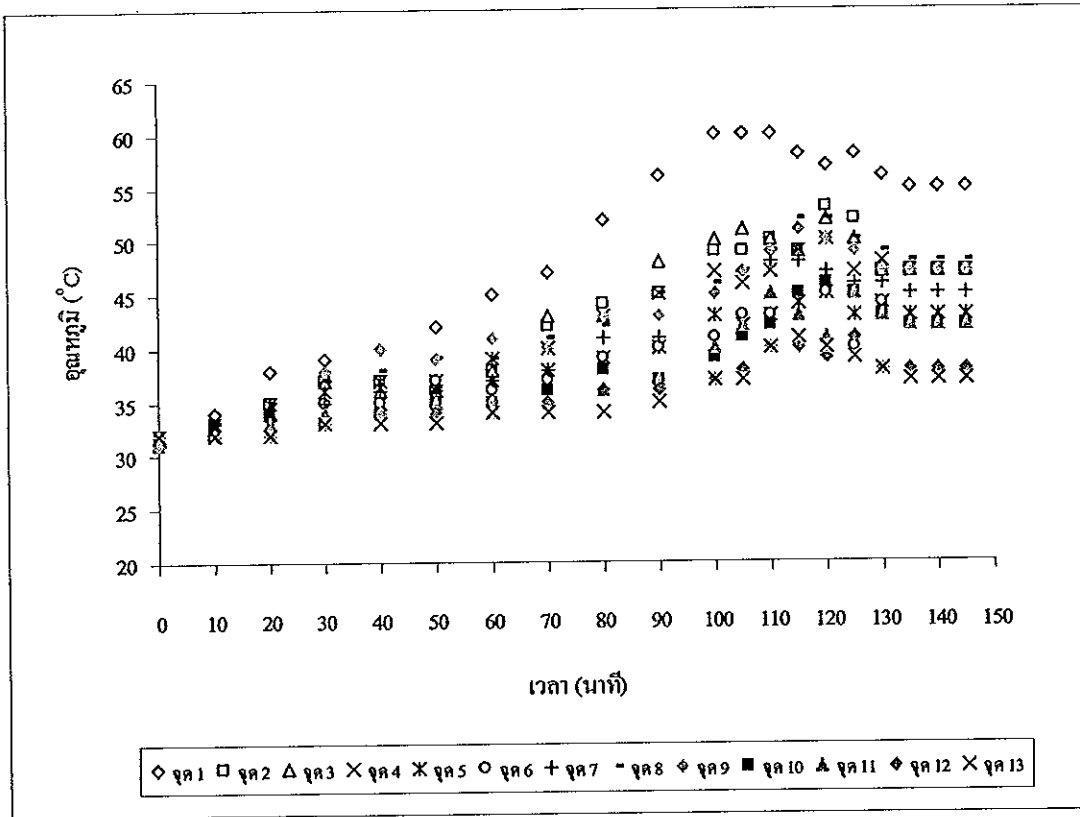
เวลา (นาที)	อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ภายในห้องรมยาง (°C)													พื้น (กก.)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
0	30	30	30	30	31	31	30	30	31	31	30	30	30	40.0
10	34	32	32	32	32	32	31	32	32	31	31	31	31	
20	37	34	32	34	33	32	33	34	33	34	33	33	31	
30	39	34	33	35	33	34	34	34	33	34	33	32	33	
40	43	35	36	35	34	35	34	35	35	33	33	33	32	
50	41	35	35	36	35	34	34	34	35	34	33	33	33	
60	45	38	37	38	35	35	34	35	36	34	33	33	32	
70	49	43	44	41	40	41	40	42	42	40	38	35	35	
80	53	45	48	47	42	41	39	45	45	40	41	37	37	
90	55	46	47	47	42	43	41	46	47	42	42	38	37	
100	59	46	48	48	43	44	42	45	45	43	42	38	37	
105	60	47	51	45	44	42	42	46	45	43	42	38	38	
110	59	48	50	48	45	43	42	45	46	44	42	38	37	
115	60	49	49	50	44	45	43	44	45	43	42	38	38	
120	60	50	49	49	43	43	42	46	45	43	41	37	36	
125	60	48	50	46	42	42	41	46	44	41	40	37	36	
130	59	46	49	45	42	42	42	45	44	40	40	37	36	
135	56	46	49	45	41	41	40	45	44	40	39	36	35	
140	56	46	49	45	41	41	40	45	44	40	39	36	35	



รูปที่ ผจ. 2 อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆของห้องรมปลา ก่อนการปรับปรุง ครั้งที่ 2

ตารางที่ ผจ.3 อุณหภูมิภายในห้องรมเปล่าก่อนการปรับปรุง ครั้งที่ 3

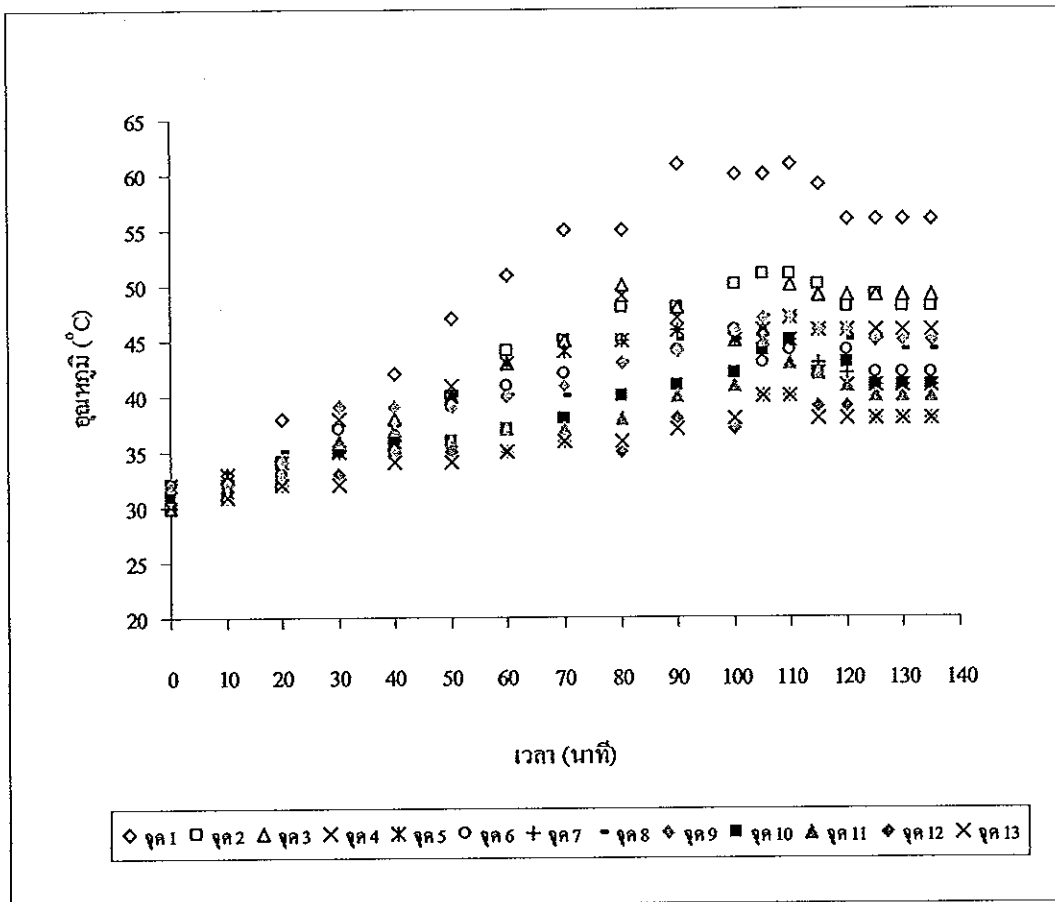
เวลา (นาที)	อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ภายในห้องรมยาง (°C)													พื้น (กก.)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
0	31	31	32	32	32	32	31	31	31	32	32	32	32	35.0
10	34	32	32	32	33	33	32	33	32	33	32	32	32	
20	38	35	34	33	35	34	34	35	34	34	33	32	32	
30	39	37	37	36	36	35	35	37	38	33	34	33	33	
40	40	37	36	35	37	35	36	38	40	34	34	34	33	
50	42	36	36	36	37	37	36	39	39	35	35	34	33	
60	45	38	38	37	39	36	37	39	41	35	34	35	34	
70	47	42	43	40	38	37	38	41	40	36	35	35	34	
80	52	44	43	43	39	39	41	42	43	38	36	36	34	
90	56	45	48	45	40	40	41	45	43	37	37	36	35	
100	60	49	50	47	43	41	45	46	45	39	40	37	37	
105	60	49	51	46	42	43	47	47	47	41	42	38	37	
110	60	50	50	47	43	43	48	49	49	42	45	40	40	
115	58	49	49	49	44	45	48	52	51	45	43	40	41	
120	57	53	52	50	45	45	47	52	50	46	41	39	40	
125	58	52	50	47	43	40	46	50	49	45	45	41	39	
130	56	47	47	48	44	44	46	49	47	43	43	38	38	
135	55	47	47	47	43	42	45	48	47	42	42	38	37	
140	55	47	47	47	43	42	45	48	47	42	42	38	37	
145	55	47	47	47	43	42	45	48	47	42	42	38	37	



รูปที่ ผจ. 3 อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆของห้องรมเป่าก่อนการปรับปรุง ครั้งที่ 3

ตารางที่ ผจ.4 อุณหภูมิภายในห้องรมเปล่าก่อนการปรับปรุง ครั้งที่ 4

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ภายในห้องรมยาง (°C)													พื้น (กก.)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
0	30	30	30	30	32	32	32	32	31	31	32	32	31	35.0
10	33	31	31	32	33	32	32	32	31	31	31	32	31	
20	38	34	33	34	34	33	34	35	34	32	33	32	32	
30	39	35	36	38	35	37	35	35	39	35	36	33	32	
40	42	36	38	37	36	35	36	36	39	36	37	35	34	
50	47	40	40	41	40	39	39	40	39	36	36	35	34	
60	51	44	43	43	43	41	40	40	40	37	37	35	35	
70	55	45	45	44	44	42	41	40	41	38	37	36	36	
80	55	48	50	49	45	45	45	43	43	40	38	35	36	
90	61	48	48	47	46	44	46	45	44	41	40	38	37	
100	60	50	45	45	45	46	46	45	46	42	41	37	38	
105	60	51	46	46	45	43	47	47	47	44	45	40	40	
110	61	51	50	47	45	44	45	47	47	45	43	40	40	
115	59	50	49	46	42	42	43	46	46	42	42	39	38	
120	56	48	49	46	41	44	42	45	46	43	41	39	38	
125	56	49	49	46	41	42	41	45	45	41	40	38	38	
130	56	48	49	46	41	42	41	44	45	41	40	38	38	
135	56	48	49	46	41	42	41	44	45	41	40	38	38	

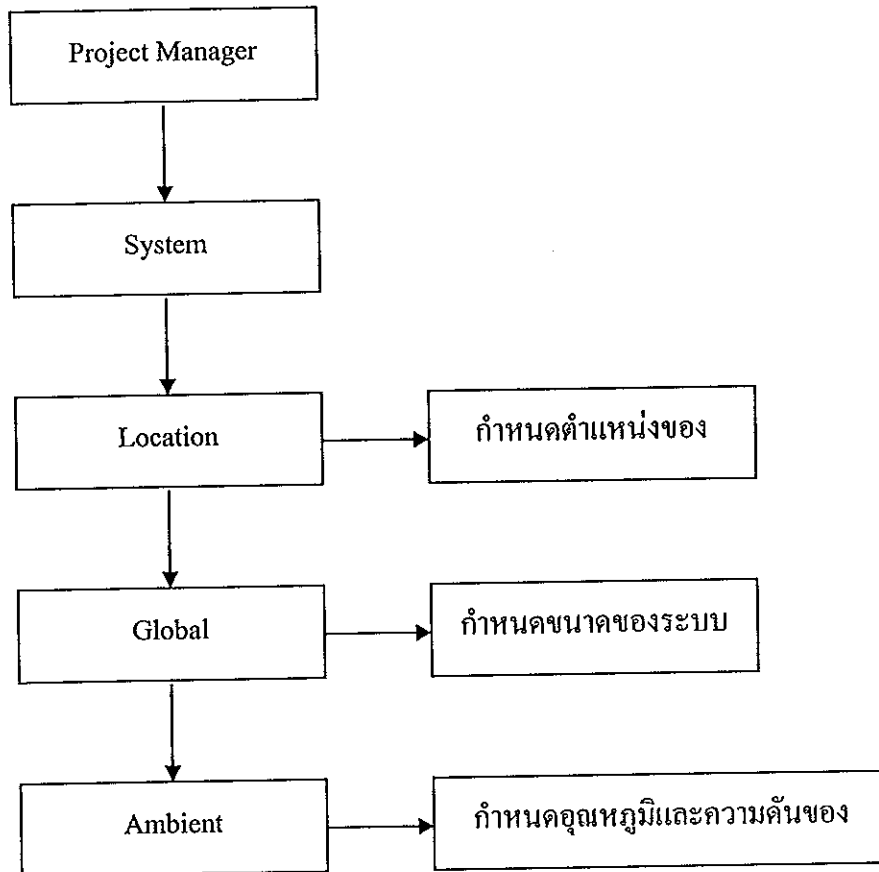


รูปที่ ผจ. 4 อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆของห้องรมเป่าก่อนการปรับปรุง ครั้งที่ 4

ภาคผนวก ฉ
ขั้นตอนการใช้งานโปรแกรม FLOVENT

การใช้งานโปรแกรม FLOVENT มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. แผนผังแสดงการกำหนดขอบเขตที่จะทำการศึกษา



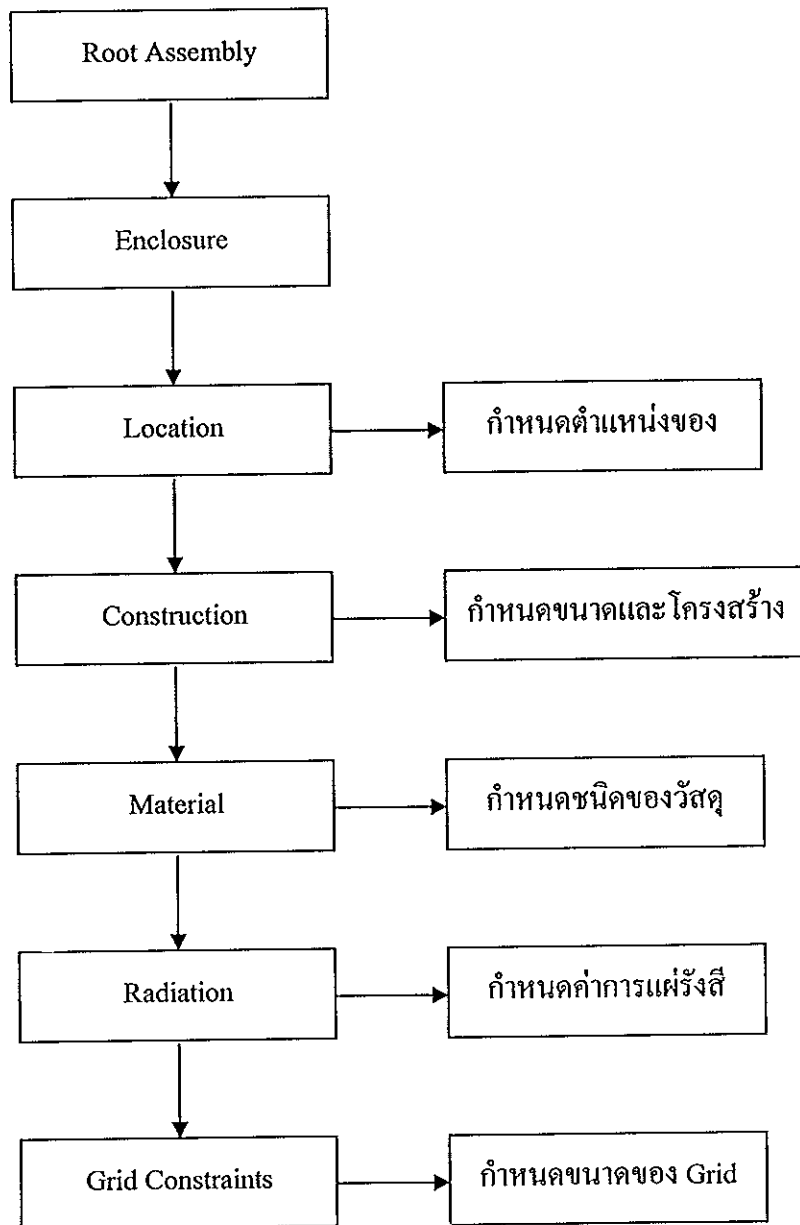
รูปที่ ผจ. 1 แผนผังแสดงการกำหนดขอบเขตที่จะทำการศึกษา

2. การสร้างห้องรวมเปล่าและการกำหนดเงื่อนไขต่าง ๆ

ขั้นตอนการสร้างห้องรวมภายในโปรแกรมแบ่งเป็น 4 ขั้นตอนคือ

1. การสร้างห้องรวมเปล่า
2. การสร้างท่อส่งแก๊สร้อน
3. การสร้างห้องเตาเผาไหม้
4. การสร้างแหล่งให้ความร้อน

2.1 แผนผังแสดงการสร้างห้องรมเปล่า

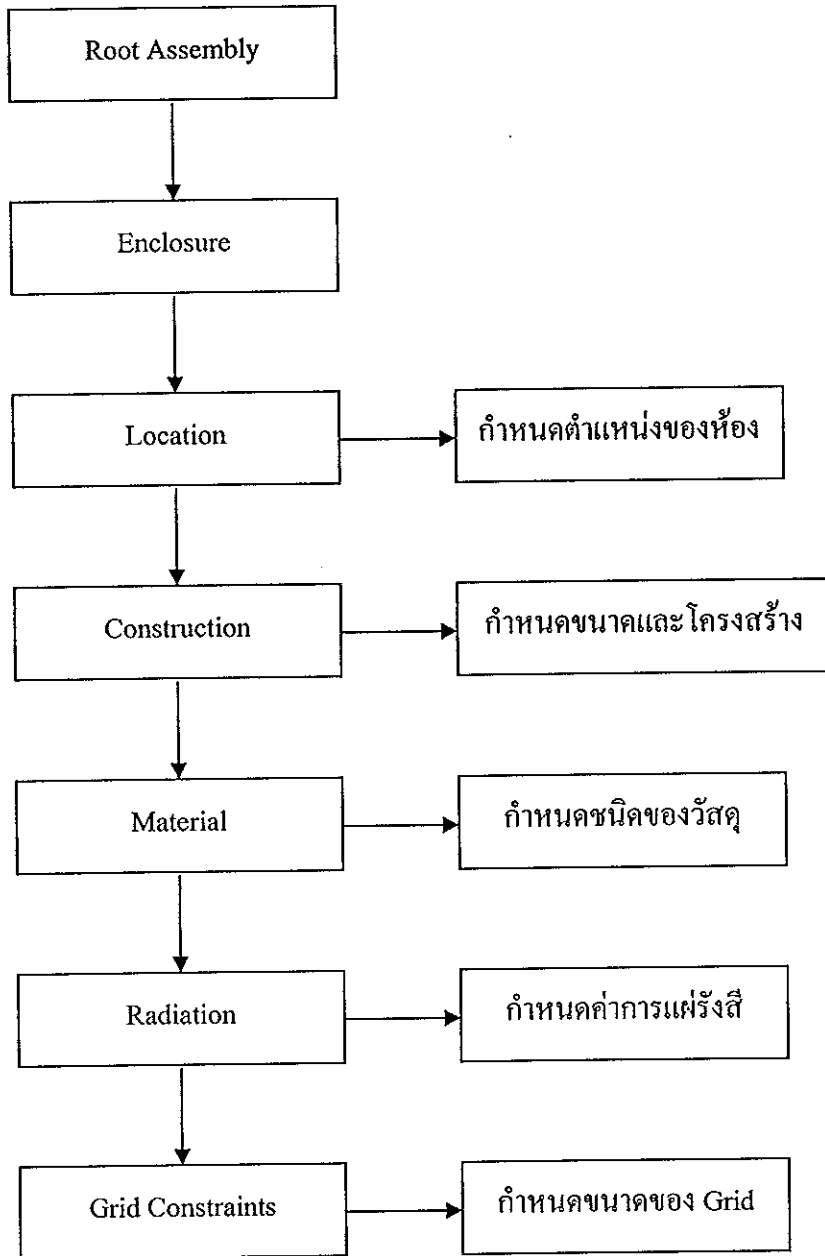


รูปที่ ผจ. 2 แผนผังแสดงการสร้างห้องรมเปล่า

2.2 การสร้างท่อส่งแก๊สร้อนแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ

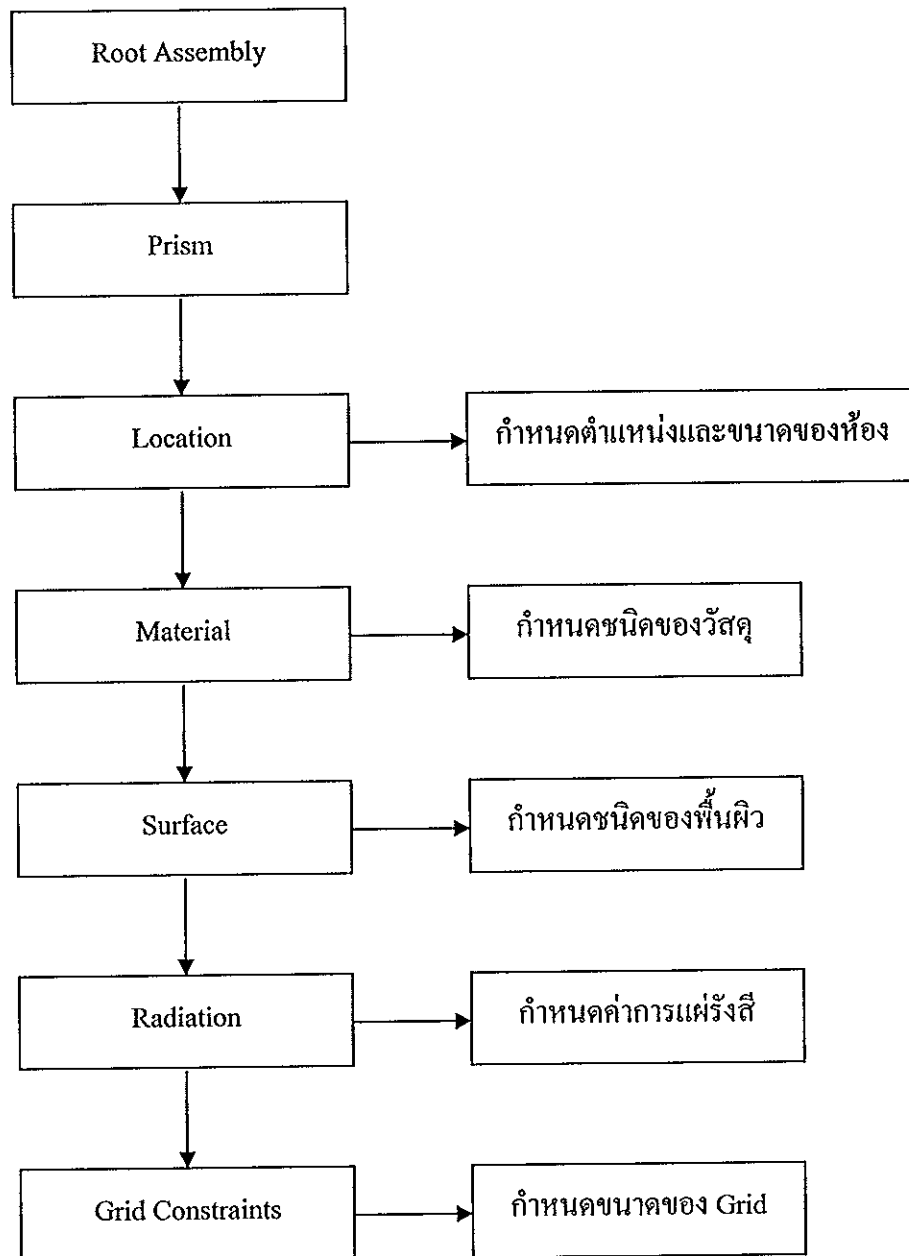
- 1.การสร้างห้องส่งแก๊สร้อน
- 2.การสร้างพื้นเอียงและผนังด้านข้าง

2.2.1 แผนผังแสดงการสร้างห้องส่งแก๊สร้อน



รูปที่ ผณ. 3 แผนผังแสดงการสร้างห้องส่งแก๊สร้อน

2.2.2 แผนผังแสดงการสร้างท่อส่งแก๊สร้อนในส่วนของพื้นเอียงและผนังเอียงด้านข้างของห้อง



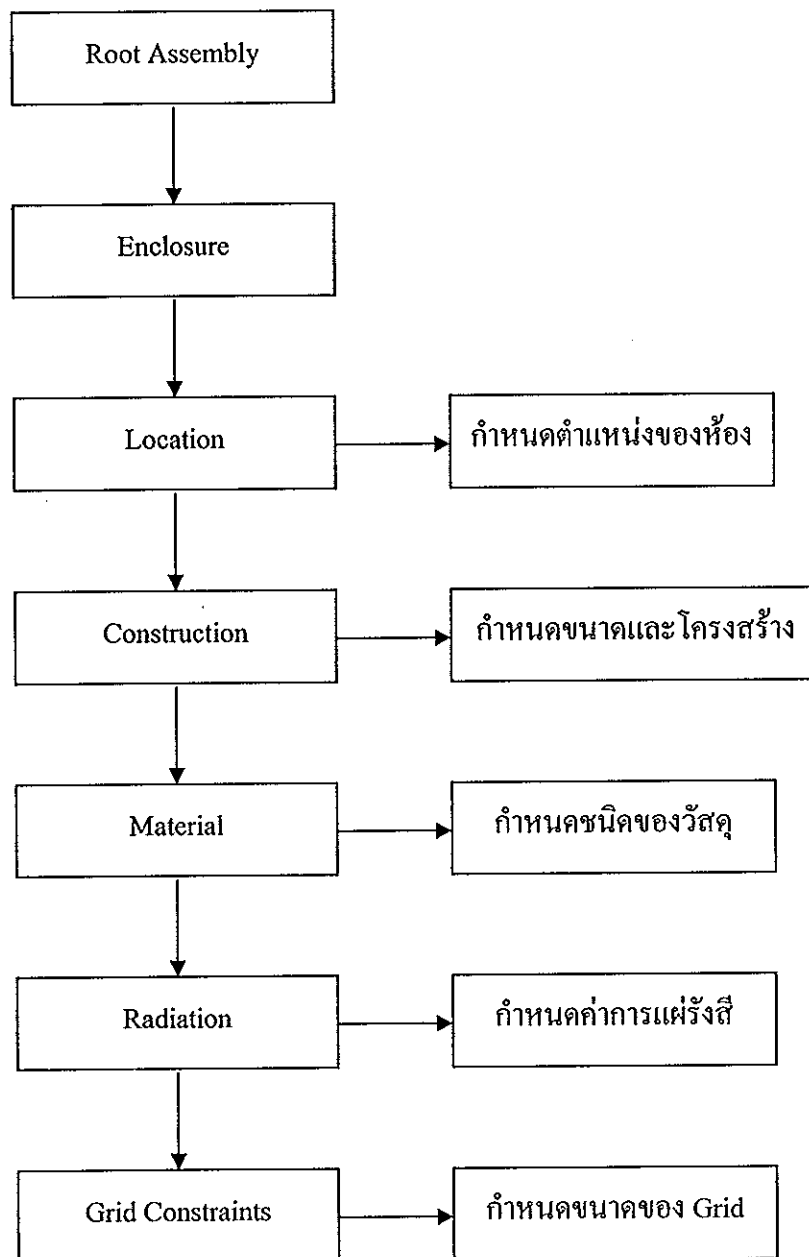
รูปที่ ผจ. 4 แผนผังแสดงการสร้างท่อส่งแก๊สร้อนในส่วนของพื้นเอียงและผนังเอียงด้านข้างของห้อง

2.3 การสร้างห้องเผาไหม้แบ่งเป็น 2 ส่วนคือ

1.การสร้างห้องเผาไหม้

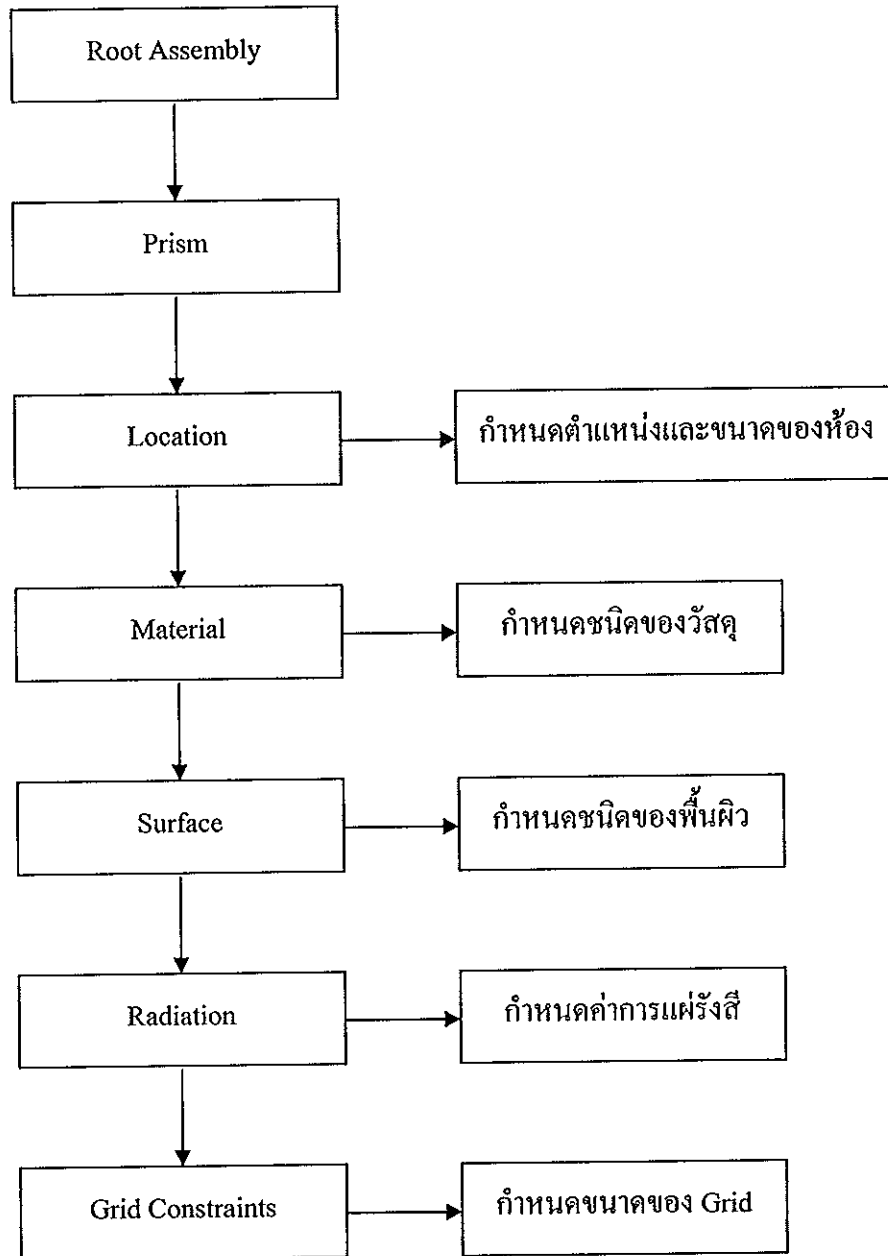
2.การสร้างพื้นเอียงซึ่งเป็นเพดานด้านบนของเตา

2.3.1 แผนผังแสดงการสร้างห้องเผาไหม้



รูปที่ ผจ. 5 แผนผังแสดงการสร้างห้องเผาไหม้

2.3.2 แผนผังแสดงการสร้างพื้นเอียงที่เป็นพาดานด้านบนของเตา



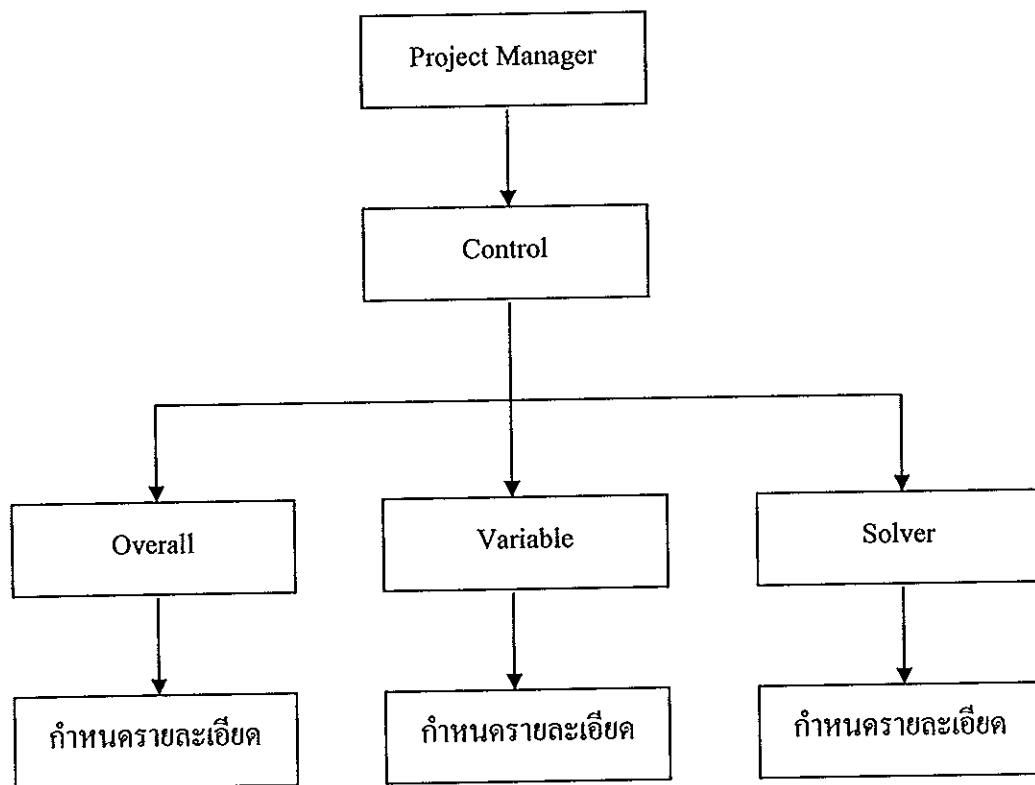
รูปที่ ผจ. 6 แผนผังแสดงการสร้างพื้นเอียงที่เป็นพาดานด้านบนของเตา

- 3) Solution Type: Steady State
- 4) Store Mean Radiant Temperature

2.การกำหนดรายละเอียดของ Turbulence ประกอบด้วย

- 1) Turbulent : LEVEL K-Epsilon
- 2) KE Model : Stratification

3.2 การกำหนดค่าใน Control ของระบบแสดงดังแผนผังด้านล่างคือ



รูปที่ ผณ. 8 แผนผังการกำหนดค่าใน Control ของระบบ

- 1) การกำหนดรายละเอียดของ Overall Solution Control
 - 1.1) Solver Option: Segregated Conjugate Residual
 - 1.2) Outer Iteration: 500
 - 1.3) Fan Relaxation: 0.7
 - 1.4) E Estimate Free Convection Velocity: 2 m/s

- 2) การกำหนดรายละเอียดของ Variable Solution Control แบ่งเป็น 5 ส่วนคือ
 - 2.1) ความดัน (Pressure) กำหนดรายละเอียดดังนี้
 - 2.1.1) Variable: Pressure
 - 2.1.2) False Time Step: Automatic
 - 2.1.3) Termination Residuals: Automatic
 - 2.1.4) Inner Iterations: 100
 - 2.2) ความเร็วในทิศทาง X (XVelocity) กำหนดรายละเอียดดังนี้
 - 2.2.1) Variable: XVelocity
 - 2.2.2) False Time Step: Automatic
 - 2.2.3) Termination Residuals: Automatic
 - 2.2.4) Inner Iterations: 5
 - 2.3) ความเร็วในทิศทาง Y (YVelocity) กำหนดรายละเอียดดังนี้
 - 2.3.1) Variable: YVelocity
 - 2.3.2) False Time Step: Automatic
 - 2.3.3) Termination Residuals: Automatic
 - 2.3.4) Inner Iterations: 5
 - 2.4) ความเร็วในทิศทาง Z (ZVelocity) กำหนดรายละเอียดดังนี้
 - 2.4.1) Variable: ZVelocity
 - 2.4.2) False Time Step: Automatic
 - 2.4.3) Termination Residuals: Automatic
 - 2.4.4) Inner Iterations: 5

2.5) อุณหภูมิ (Temperature) กำหนดรายละเอียดดังนี้

2.5.1) Variable: Temperature

2.5.2) False Time Step: Automatic

2.5.3) Termination Residuals: Automatic

2.5.4) Inner Iterations: 110

3) การกำหนดรายละเอียดของ Additional Solver Control แบ่งเป็น 5 ส่วนดังนี้

3.1) ความดัน (Pressure) กำหนดรายละเอียดดังนี้

3.1.1) Variable: Pressure

3.1.2) Any Variable: Linear Relaxation: 1

3.1.3) Dependent Variables Only:

Error Compute Frequency: 100

Successive Over-relaxation: 1.2

3.2) ความเร็วในทิศทาง X (XVelocity) กำหนดรายละเอียดดังนี้

3.2.1) Variable: XVelocity

3.2.2) Any Variable: Linear Relaxation: 1

3.2.3) Dependent Variables Only:

Error Compute Frequency: 5

Successive Over-relaxation: 1.2

3.3) ความเร็วในทิศทาง Y (YVelocity) กำหนดรายละเอียดดังนี้

3.3.1) Variable: YVelocity

3.3.2) Any Variable: Linear Relaxation: 1

3.3.3) Dependent Variables Only:

Error Compute Frequency: 5

Successive Over-relaxation: 1.2

3.4) ความเร็วในทิศทาง Z (ZVelocity) กำหนดรายละเอียดดังนี้

3.4.1) Variable: ZVelocity

3.4.2) Any Variable: Linear Relaxation: 1

3.4.3) Dependent Variables Only:

Error Compute Frequency: 5

Successive Over-relaxation: 1.2

3.5) อุณหภูมิ (Temperature) กำหนดรายละเอียดดังนี้

3.5.1) Variable: Temperature

3.5.2) Any Variable: Linear Relaxation: 1

3.5.3) Dependent Variables Only:

Error Compute Frequency: 110

Successive Over-relaxation: 1.2

4.การแสดงผลของโปรแกรม

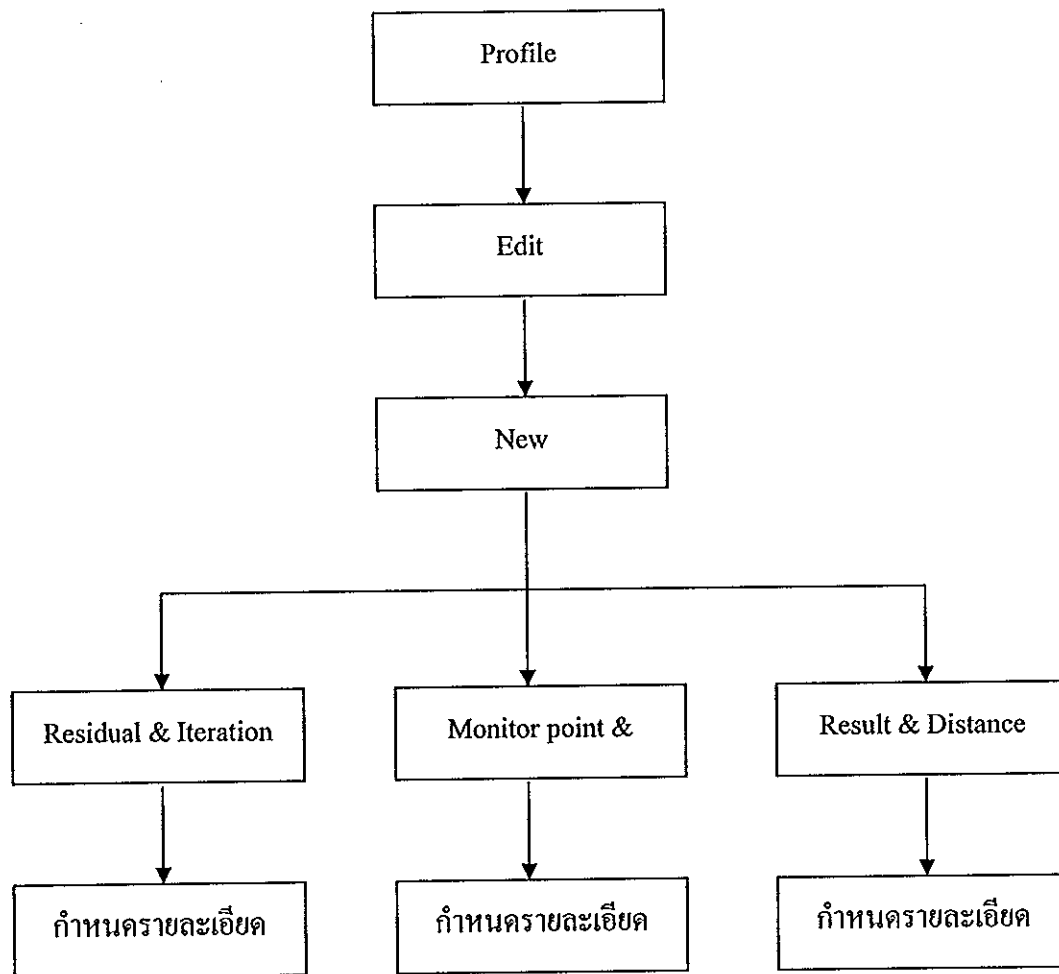
การแสดงผลของโปรแกรม FLOVENT สามารถทำได้ 3 วิธีคือ

1.การแสดงผลแบบกราฟ

2.การแสดงผลแบบภาพเคลื่อนไหว

3.การแสดงผลแบบตาราง

4.1การแสดงผลแบบกราฟมีด้วยกัน 3 แบบดังแสดงในแผนผังด้านล่าง



รูปที่ ผล. 9 แผนผังการแสดงผลแบบกราฟ

1. การแสดงผลแบบกราฟ Residual & Iteration จะปรากฏขึ้น โดยอัตโนมัติเมื่อมีการรันโปรแกรมซึ่งไม่มีความจำเป็นที่จะสร้างขึ้นมาใหม่

2. การแสดงผลแบบกราฟ Monitor point & Iteration จะปรากฏขึ้น โดยอัตโนมัติเมื่อมีการรันโปรแกรมเช่นเดียวกับกราฟ Residual & Iteration แต่กราฟจะปรากฏก็ต่อเมื่อมีการใส่ Monitor point ในกระบวนการสร้างใน Root Assembly เพื่อทำการวัดค่าที่ต้องการเช่น อุณหภูมิ ความเร็ว หรือความดัน เป็นต้น

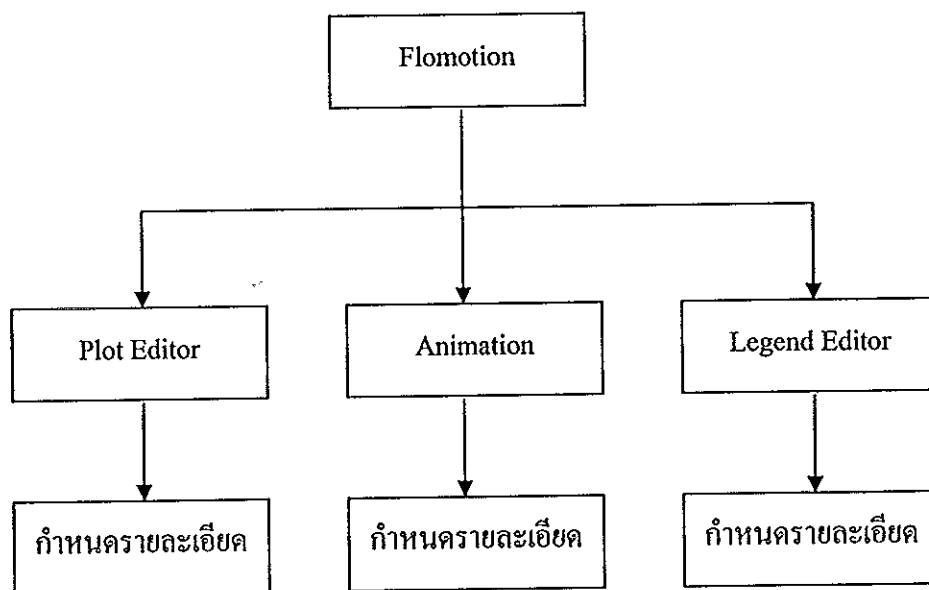
3. การแสดงผลแบบกราฟ Result & Distance การแสดงผลแบบนี้จะเป็นการวัดค่าตัวแปรที่ต้องการทราบที่ระยะทางต่าง ๆ

ขั้นตอนการกำหนดรายละเอียดในการสร้างกราฟทั้ง 3 แบบมีดังนี้

3.1 Variables : เลือกตัวแปรที่ต้องการทราบค่า

3.2 End points : กำหนดตำแหน่งที่ต้องการวัดค่าตัวแปรที่ต้องการ

4.2 การแสดงผลแบบภาพเคลื่อนไหวมีขั้นตอนดังแสดงในแผนผังด้านล่าง



รูปที่ ผจ. 10 แผนผังการแสดงผลแบบภาพเคลื่อนไหว

1. การกำหนดรายละเอียดของ Plot Editor ประกอบด้วย

1.1 Plot Type : Plane and Iso Surface

1.2 Vector : Velocity

1.3 Scalars : Temperature

1.4 Clip/Wireframe Geometry

Above : Wireframe

Below : Wireframe

2. การกำหนดรายละเอียดของ Animation ประกอบด้วย

2.1 Frame speed : 30

2.2 Step (% of domain length) : 1

2.3 Range : กำหนดช่วงของอุณหภูมิ

High : กำหนดอุณหภูมิสูงสุดที่ต้องการ

Low : กำหนดอุณหภูมิต่ำสุดที่ต้องการ

Select loop or swing

3. การกำหนดรายละเอียดของ Legend Editor ประกอบด้วย

3.1 Scalar Field : Temperature

3.2 Scale Type :

3.3 Range : User

Max : กำหนดค่าอุณหภูมิสูงสุด

Min : กำหนดค่าอุณหภูมิต่ำสุด

ภาคผนวก ข
วิธีการและขั้นตอนการการศึกษาแนวโน้มนการกระจายอุณหภูมิของแก๊สร้อน
ภายในห้องรมเปล่า ด้วยวิธีการคำนวณเชิงพลศาสตร์ของไทย
โปรแกรม FLOVENT

วิธีการและขั้นตอนการศึกษาแนวโน้มการกระจายอุณหภูมิของแก๊สร้อนภายในห้อง
รมเปล่า ด้วยวิธีการคำนวณเชิงพลศาสตร์ของไหล โปรแกรม FLOVENT

1. การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของระบบ

เงื่อนไขขอบเขตของระบบในการศึกษาแนวโน้มการกระจายอุณหภูมิของแก๊สร้อน
ภายในห้องรมเปล่า ด้วยวิธีการคำนวณเชิงพลศาสตร์ของไหล โปรแกรม FLOVENT

เงื่อนไขขอบเขตของระบบที่ศึกษาในงานวิจัยส่วนนี้ มีดังนี้

1. อากาศภายนอกห้องรมยางมีอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 1
บรรยากาศ
2. ความเร็วของอากาศเท่ากับ 1 เมตรต่อวินาที
3. ลักษณะของช่องปล่อยแก๊สร้อนและปล่อยระบายแก๊สร้อน ซึ่งเขียนใน
โปรแกรมมีลักษณะเป็นช่องสี่เหลี่ยมขนาด 4 x 4 นิ้ว และ 8 x 8 นิ้วตามลำดับ

คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการจำลองห้องรมยาง

คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการจำลองห้องรมยางในโปรแกรม ซึ่งเป็นค่าที่
กำหนดไว้โดยโปรแกรมมีดังนี้

1. เพดานห้องทำด้วยกระเบื้องแผ่นเรียบซึ่งมีคุณสมบัติดังนี้

ค่าการนำความร้อน 0.056 W/mK

ความหนาแน่น 380 kg/m³

ค่าความร้อนจำเพาะ 1000 J/kgK

2. ผนังห้องทำด้วยอิฐฉาบผิวเรียบซึ่งมีคุณสมบัติดังนี้

ค่าการนำความร้อน 0.62 W/mK

ความหนาแน่น 1700 kg/m³

ค่าความร้อนจำเพาะ 800 J/kgK

3. ประตูห้อง ช่องปล่อยแก๊สร้อน และปล่อยระบายแก๊สร้อนทำด้วยเหล็ก ซึ่งมีคุณสมบัติดังนี้

ค่าการนำความร้อน	63	W/mK
ความหนาแน่น	7860	kg/m ³
ค่าความร้อนจำเพาะ	420	J/kgK

4. พื้นห้องเป็นคอนกรีตซึ่งมีคุณสมบัติดังนี้

ค่าการนำความร้อน	1.1	W/mK
ความหนาแน่น	2100	kg/m ³
ค่าความร้อนจำเพาะ	837	J/kgK

5. พื้นเอียงภายในห้องส่งแก๊สร้อนทำด้วยกรวดซึ่งมีคุณสมบัติดังนี้

ค่าการนำความร้อน	0.36	W/mK
ความหนาแน่น	1840	kg/m ³
ค่าความร้อนจำเพาะ	840	J/kgK

2 ขั้นตอนการใช้โปรแกรม

ขั้นตอนการใช้งานโปรแกรมแบ่งได้เป็น 4 ขั้นตอน ดังนี้คือ

- การกำหนดขอบเขตที่จะทำการศึกษา

ในขั้นตอนนี้จะเป็นขั้นตอนที่ใช้กำหนดขนาดโดเมนให้ครอบคลุมระบบที่ต้องการศึกษา

- การสร้างห้องรมยาง

ในขั้นตอนนี้จะเป็นขั้นตอนที่ต้องมีการสร้างห้องรมยางในโปรแกรม โดยการใช้เครื่องมือต่าง ๆ ที่มีอยู่ในโปรแกรมพร้อมทั้งมีการกำหนดรายละเอียดต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับห้องรมยางทั้งหมดซึ่งประกอบด้วย

1. ขนาดและตำแหน่งของห้องรมยางแสดงดังตารางที่ ผช. 1
ตารางที่ ผช. 1 ขนาดและตำแหน่งของส่วนต่าง ๆ ของห้องรมยาง

	ขนาด (m)			ตำแหน่ง (m)		
	x	y	z	x	y	z
ห้องบรรจุยาง	6	3.5	2.5	0	1.3	0
ห้องส่งแก๊สร้อน	5.9	1.2	2.5	0.1	0	0
เตาเผาเชื้อเพลิง	2	1.2	1	-2	0	0.8

2. การกำหนดการแผ่รังสีความร้อน

การกำหนดการแผ่รังสีความร้อนกำหนดใน Radiation Attribute
ดังนี้คือ

Surface : Sub-divided Radiating

Subdivided Surface Tolerance : 0.4 m

Minimum Area Considered : 0.2 m²

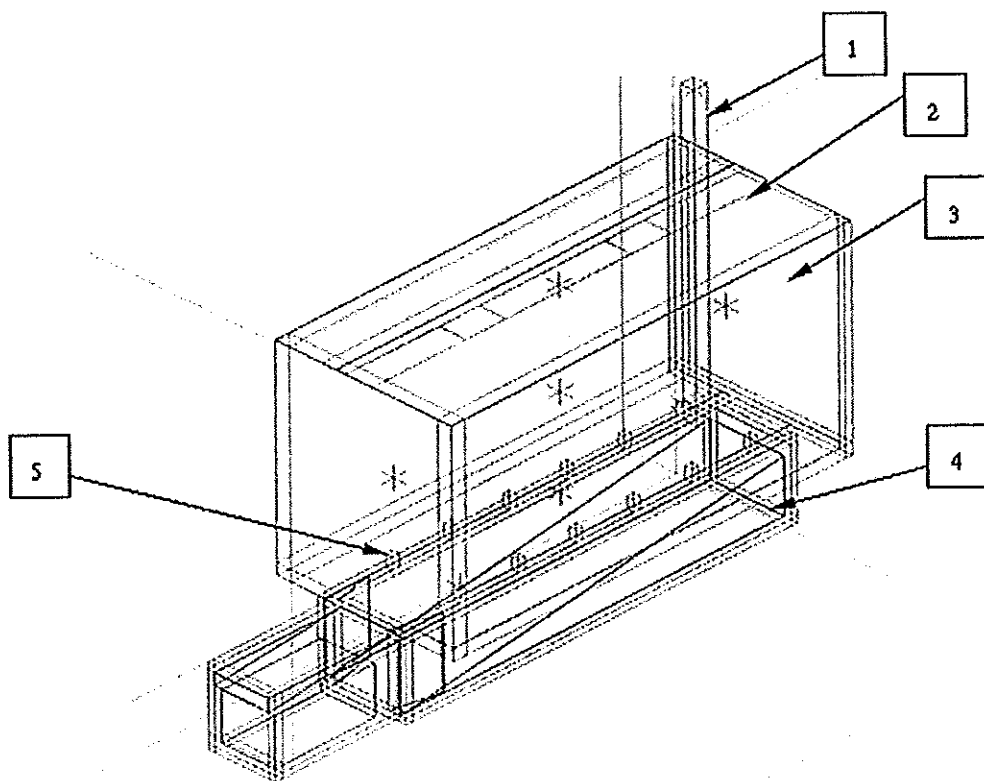
3. การกำหนด grid ในตำแหน่งต่าง ๆ ของห้องรมดังแสดงในตารางที่
ผช. 2

ตารางที่ ผช. 2 จำนวน grid ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของห้องรม

ตำแหน่งของ grid	จำนวน grid
ห้องบรรจุยางแผ่น	20
ช่องปล่อยแก๊สร้อน	5
บานระบายความชื้น	10
แหล่งกำเนิดความร้อน	20

4. การกำหนดวัสดุและพื้นผิวของโครงสร้างของห้องรมยางที่สร้างใน
โปรแกรม (แทนด้วยตัวเลข 1-5) ซึ่งได้แสดงดังรูปที่ ผช. 1

- 1 คือปล่องระบายแก๊สร้อนทำด้วยเหล็ก
- 2 คือเพดานห้องทำด้วยกระเบื้องแผ่นเรียบ
- 3 คือผนังห้องรมยางทำด้วยอิฐฉาบผิวเรียบ
- 4 คือพื้นเอียงในห้องส่งแก๊สร้อนทำด้วยกรวดฉาบผิวด้วยคอนกรีต
- 5 คือช่องปล่อยแก๊สร้อนทำด้วยเหล็ก



รูปที่ ผข. 1 ห้องรมยางที่วาดด้วยโปรแกรม Flovent

- การกำหนดเงื่อนไขต่าง ๆ และการหาผลเฉลยด้วยโปรแกรม

ในงานวิจัยส่วนนี้จะศึกษาเฉพาะแนวโน้มการกระจายอุณหภูมิของแก๊สร้อนภายในห้องรมเปล่า และศึกษาเฉพาะกรณีการไหลคงที่ (steady flow) เท่านั้น ซึ่งในขั้นตอนนี้จะเป็นขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับการกำหนดคุณสมบัติต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับระบบที่ทำการศึกษาครั้งนี้คืออากาศมีอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บรรยากาศ

1. อากาศมีความเร็ว 2 เมตรต่อวินาที
2. รูปแบบของการหาผลเฉลยกำหนดเป็นแบบสภาวะคงตัว (steady state)

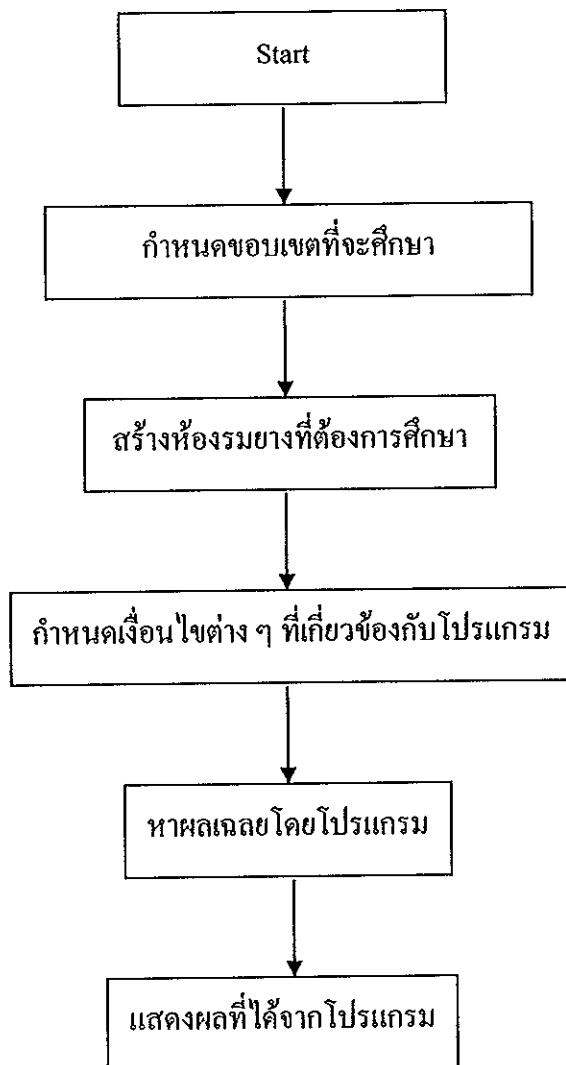
3. กำหนดการไหลของของไหลเป็นแบบการไหลปั่นป่วน (turbulence)
4. กำหนดค่า Fan Relaxation เท่ากับ 0.7 ใน Overall Solution Control
5. กำหนดค่า Successive Over-relaxation เท่ากับ 1.2 ใน Solver Control

- การแสดงผลของโปรแกรม

ในขั้นตอนนี้จะเป็นขั้นตอนที่เกี่ยวกับการแสดงผลที่ได้จากโปรแกรม ซึ่งสามารถแสดงเป็นกราฟหรือภาพเคลื่อนไหวก็ได้ และในขั้นตอนนี้จะแสดงให้เห็นว่าการกำหนดค่าต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง ซึ่งกับการคำนวณของโปรแกรมมีความเหมาะสมหรือไม่

นอกจากขั้นตอนต่าง ๆ ที่กล่าวมาแล้วข้างต้นยังมีอีกสิ่งหนึ่งที่มีความสำคัญต่อผลที่ได้จากโปรแกรมคือ การกำหนดขนาดของแหล่งให้ความร้อนของระบบที่ทำการศึกษา โดยในการทดสอบจริงนั้นแหล่งความร้อนที่ให้แก่ระบบมาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงไม้ฟืน ซึ่งจะให้ค่าความร้อนไม่คงที่เปลี่ยนแปลงตามปริมาณเชื้อเพลิงที่ลุกไหม้ โดยจะแตกต่างจากการศึกษาด้วยวิธีนี้ ซึ่งได้กำหนดขนาดของแหล่งให้ความร้อนมีขนาดเท่ากับ 15000 วัตต์ และเป็นค่าคงที่ เนื่องจากในโปรแกรมไม่สามารถกำหนดแหล่งความร้อนที่มาจากกาเผาไหม้ได้ และค่าความร้อนที่กำหนดขึ้นนั้น ได้มาจากค่าของผลคูณของปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้กับค่าความร้อนของเชื้อเพลิงนั้นและเวลาที่ใช้ในการทดสอบ

โดยขั้นตอนการใช้งาน โปรแกรมแสดงให้เห็นในรูปที่ ผช. 2



รูปที่ ผช. 2 ขั้นตอนการใช้งาน โปรแกรม

ภาคผนวก ซ

ค่าความร้อนของไม้พืนตามสัดส่วนความชื้น

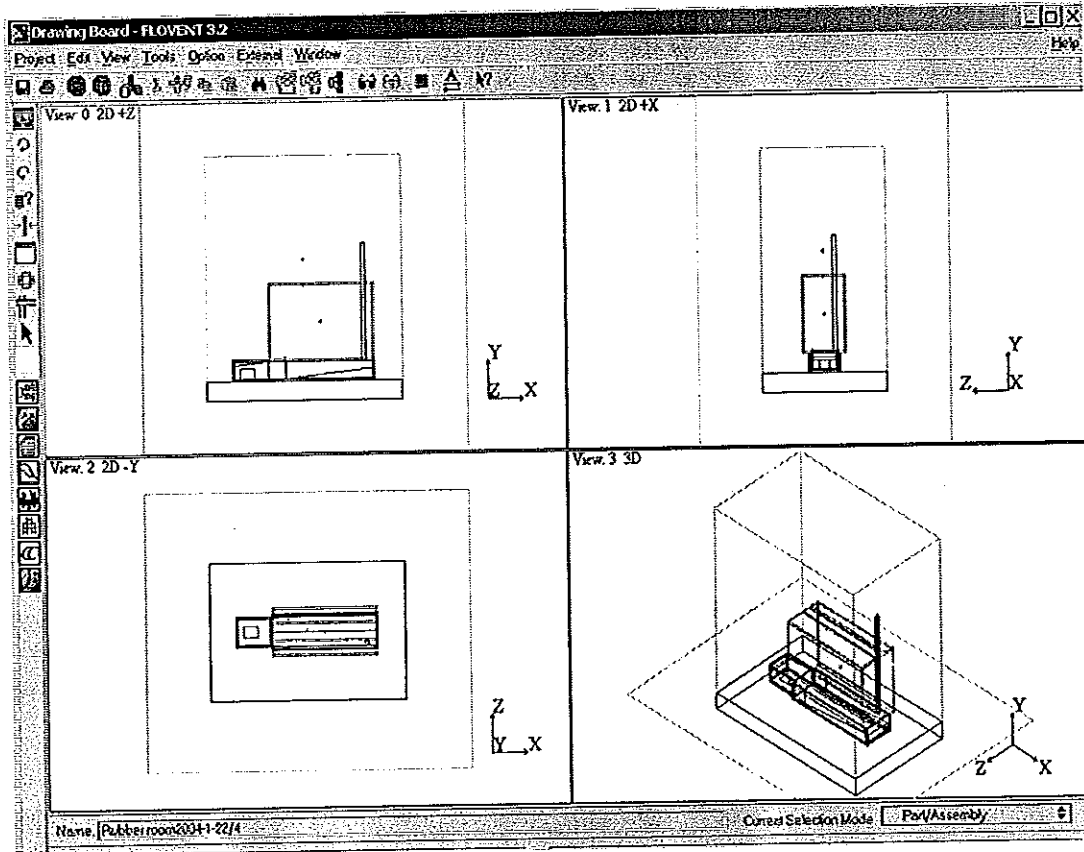
ตารางที่ ผช.1 ค่าความร้อนของไม้พืนตามสัดส่วนความชื้น

ความชื้น (% ฐานแห้ง)	ค่าความร้อน (กิโลจูลต่อกิโลกรัม)
11.1	16240
17.6	15200
25.0	14140
33.3	13100
42.8	12050
53.8	11000
66.6	9960
81.8	8910
100.0	7870
122.2	6450
150	5360
185.7	4270
233.3	3180
300	2090

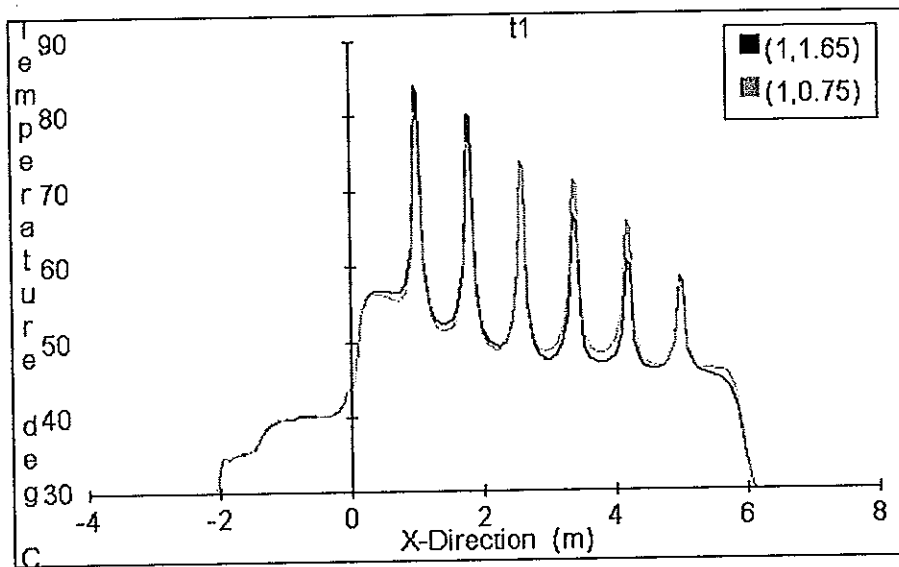
ภาคผนวก ฅ

ผลการกระจายอุณหภูมิของแก๊สร้อนภายในห้องรมยางเปล้าก่อนและหลังการปรับปรุง
จากการศึกษาด้วยวิธีการคำนวณเชิงพลศาสตร์ของไหล โปรแกรม FLOVENT

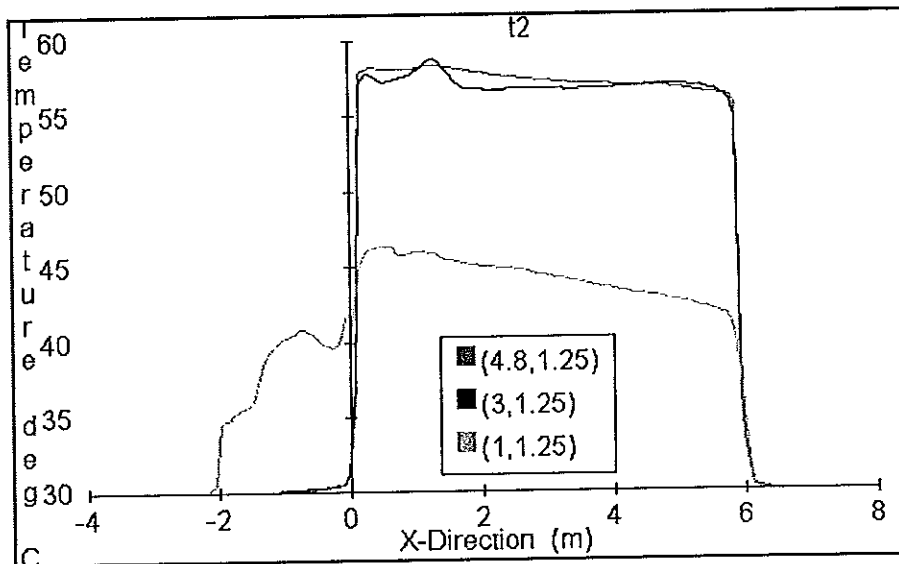
1. ผลการกระจายอุณหภูมิของห้องรมเปล่าของสหกรณ์สวนยาง รุ่นปี 2537 ก่อนทำการปรับปรุงที่ได้จากการศึกษาด้วยวิธีการเชิงพลศาสตร์ของไหล โปรแกรม FLOVENT



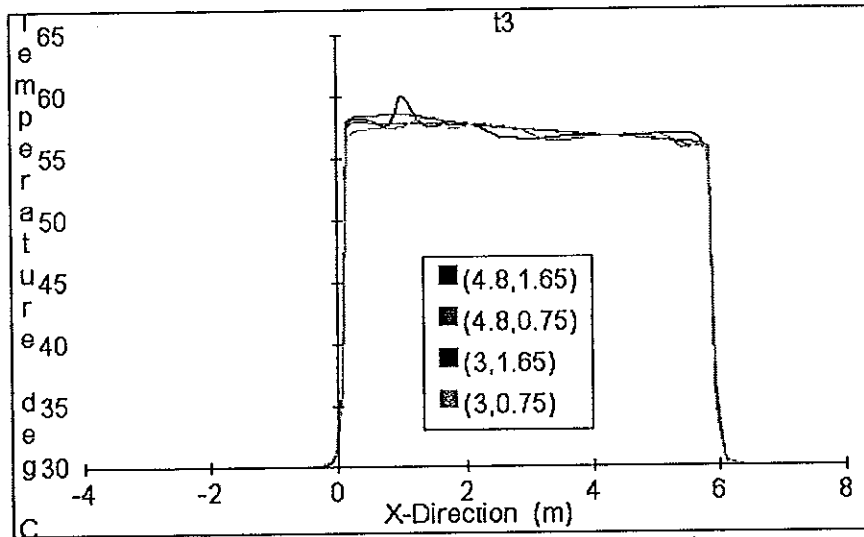
รูปที่ ผณ.1 แบบจำลองห้องรมเปล่าของสหกรณ์สวนยาง รุ่นปี 2537
ก่อนทำการปรับปรุง



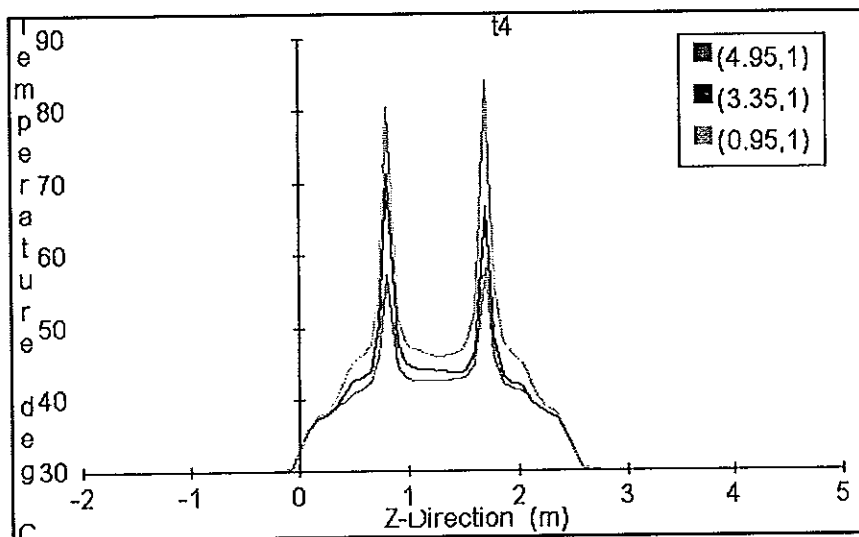
รูปที่ ๒ ผลของอุณหภูมิของห้องรรมเปล้าก่อนการปรับปรุงที่ระนาบ $Y = 1$ เมตร
กับ $Z = 0.75$ เมตร และ 1.65 เมตร ตามลำดับ



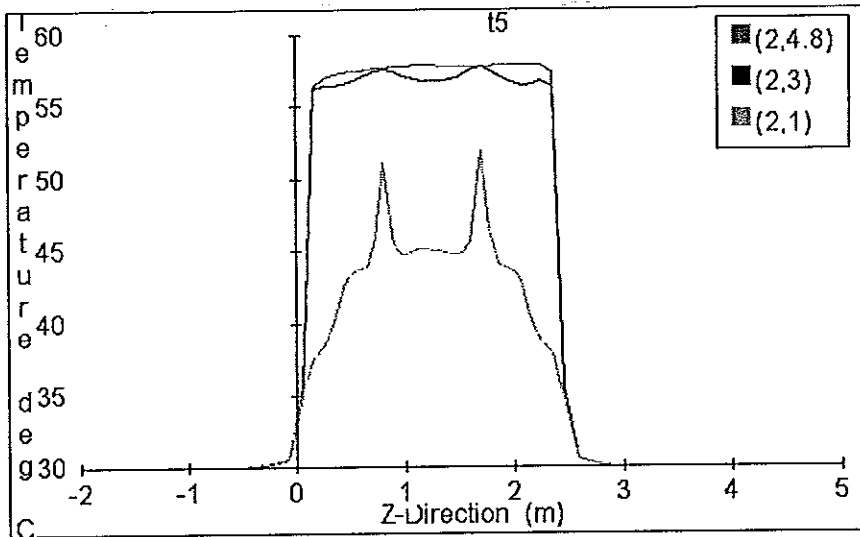
รูปที่ ๓ ผลของอุณหภูมิของห้องรรมเปล้าก่อนการปรับปรุงที่ระนาบ $Y = 1$ เมตร,
 3 เมตร และ 4.8 เมตร ตามลำดับ กับ $Z = 1.25$ เมตร



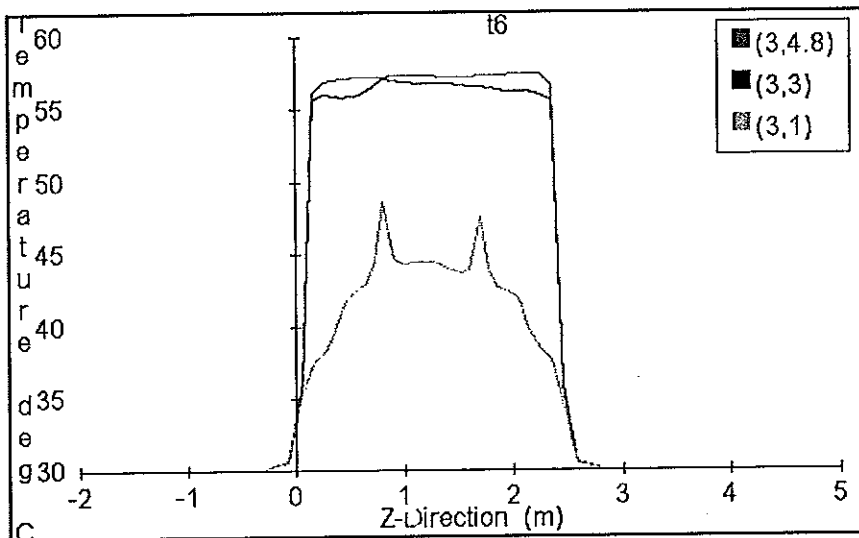
รูปที่ ๔ ผลของอุณหภูมิของห้องรมเป่าก่อนการปรับปรุงที่ระนาบ $Y = 3$ เมตร และ 4.8 เมตร ตามลำดับ กับ $Z = 0.75$ เมตร และ 1.65 เมตร ตามลำดับ



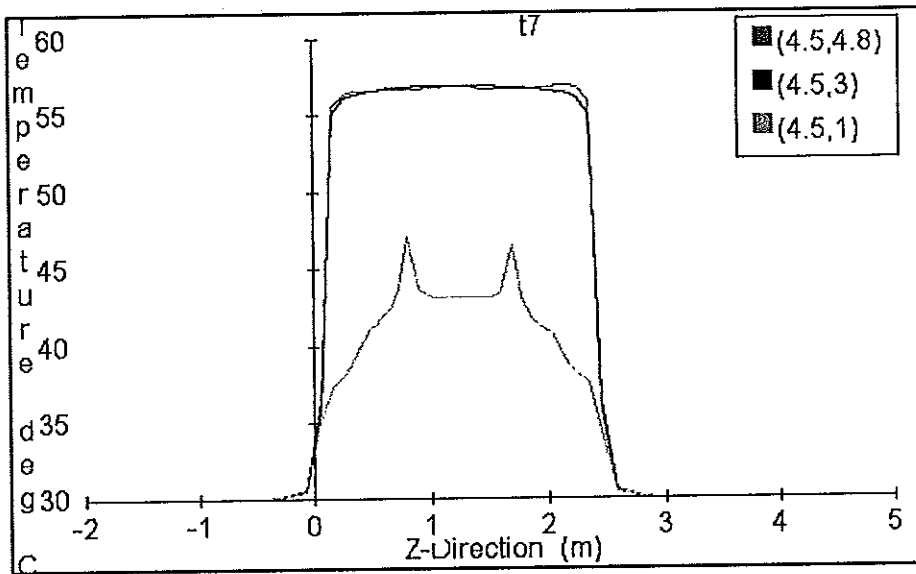
รูปที่ ๕ ผลของอุณหภูมิของห้องรมเป่าก่อนการปรับปรุงที่ระนาบ $X = 0.95$ เมตร, 3.35 เมตร และ 4.8 เมตร ตามลำดับ กับ $Y = 1$ เมตร



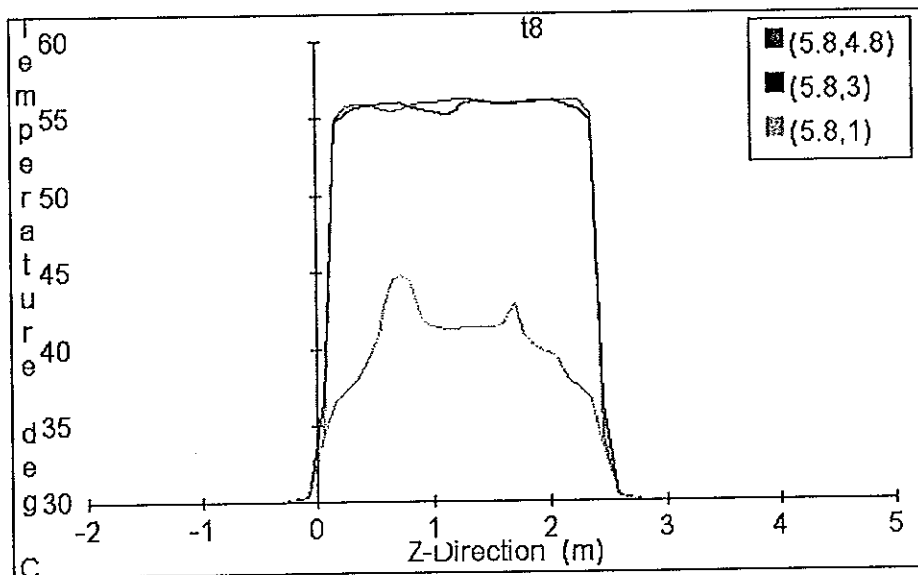
รูปที่ ๑๕.๖ ผลของอุณหภูมิของห้องรมเปล่าก่อนการปรับปรุงที่ระนาบ $X = 2$ เมตร
กับ $Y = 1$ เมตร, 3 เมตร และ 4.8 เมตร ตามลำดับ



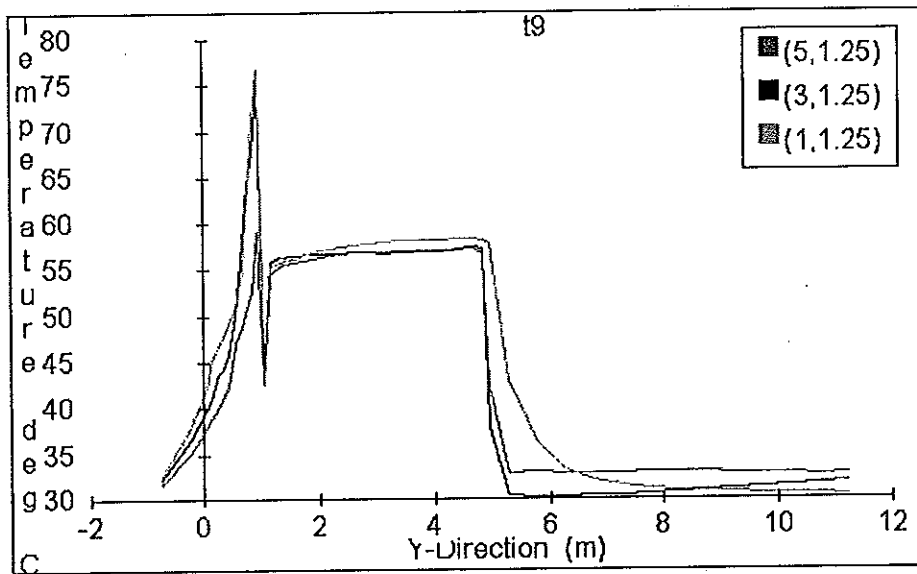
รูปที่ ๑๕.๗ ผลของอุณหภูมิของห้องรมเปล่าก่อนการปรับปรุงที่ระนาบ $X = 3$ เมตร
กับ $Y = 1$ เมตร, 3 เมตร และ 4.8 เมตร ตามลำดับ



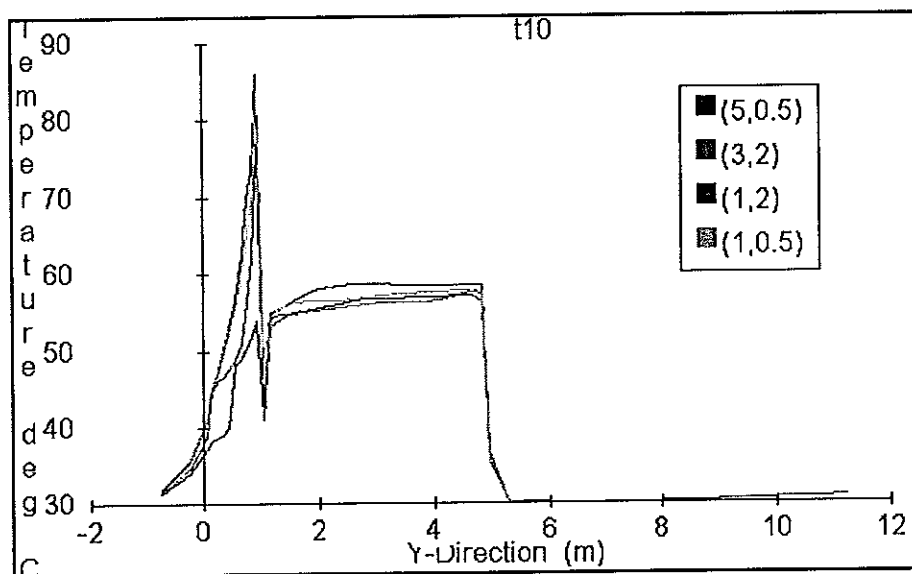
รูปที่ ๘ ผลของอุณหภูมิของห้องรมเปล้าก่อนการปรับปรุงที่ระนาบ $X = 4.5$ เมตร
กับ $Y = 1$ เมตร, 3 เมตร และ 4.8 เมตร ตามลำดับ



รูปที่ ๙ ผลของอุณหภูมิห้องรมเปล้าก่อนการปรับปรุงที่ระนาบ $X = 5.8$ เมตร
กับ $Y = 1$ เมตร, 3 เมตร และ 4.8 เมตร ตามลำดับ

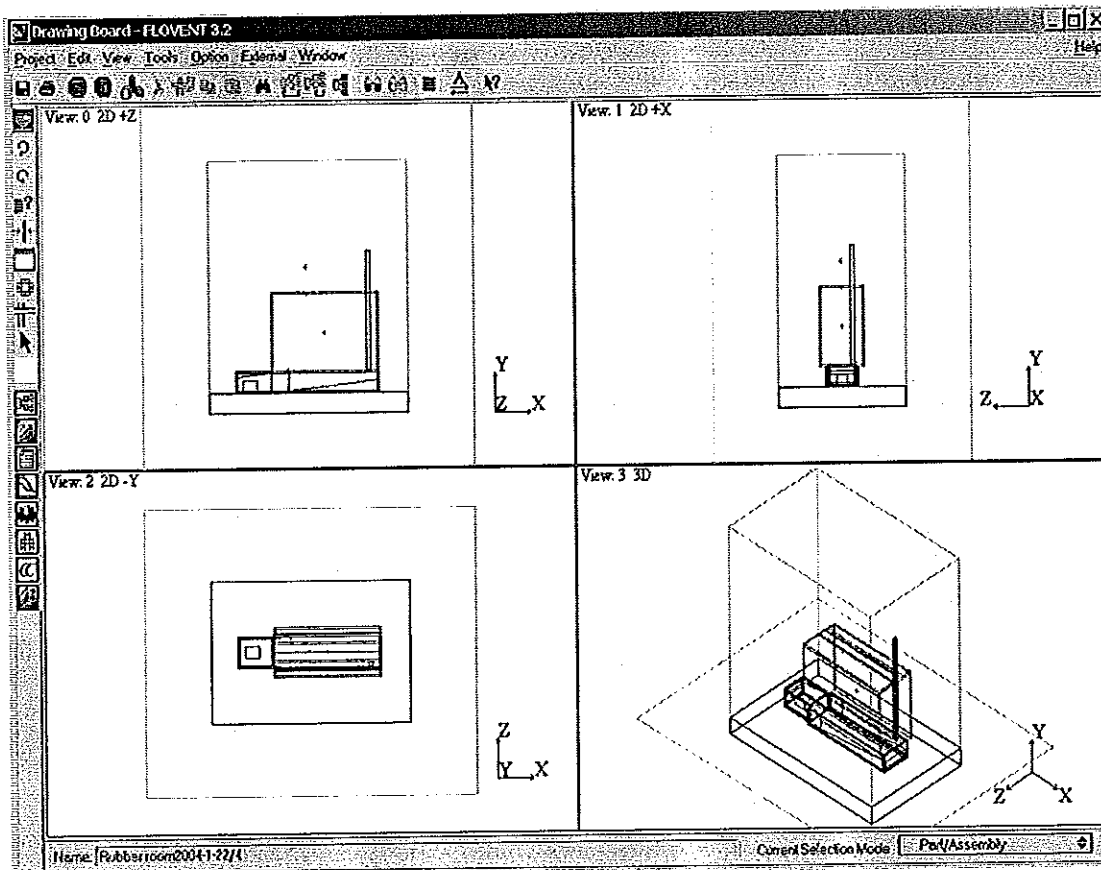


รูปที่ ๑๐.๑๐ ผลของอุณหภูมิห้องรมเปล่าก่อนการปรับปรุงที่ระนาบ $X = 1$ เมตร, 3 เมตร และ 5 เมตร ตามลำดับ กับ $Z = 1.25$ เมตร

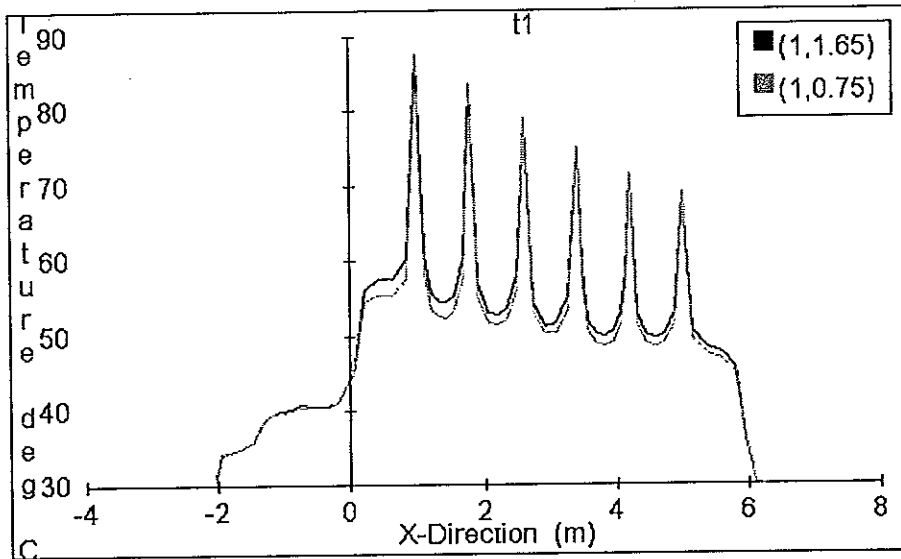


รูปที่ ๑๑.๑๑ ผลของอุณหภูมิห้องรมเปล่าก่อนการปรับปรุงที่ระนาบ $X = 1$ เมตร, 3 เมตร และ 5 เมตร ตามลำดับ กับ $Z = 0.5$ เมตร และ 2 เมตร ตามลำดับ

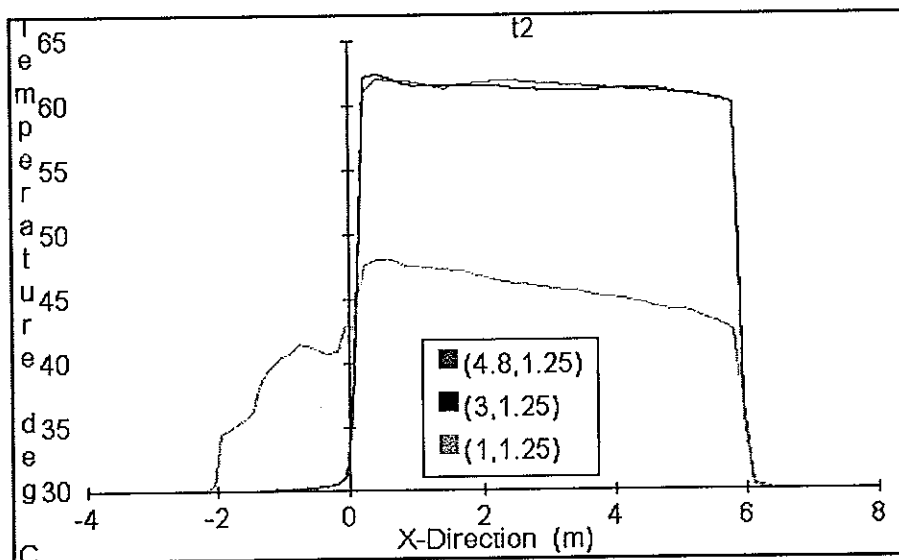
2. ผลการกระจายอุณหภูมิของห้องรมยางเปล้าของสหกรณ์สวนยาง รุ่นปี 2537 หลังทำการปรับปรุงที่ได้จากการศึกษาด้วยวิธีการเชิงพลศาสตร์ของไหล โปรแกรม FLOVENT



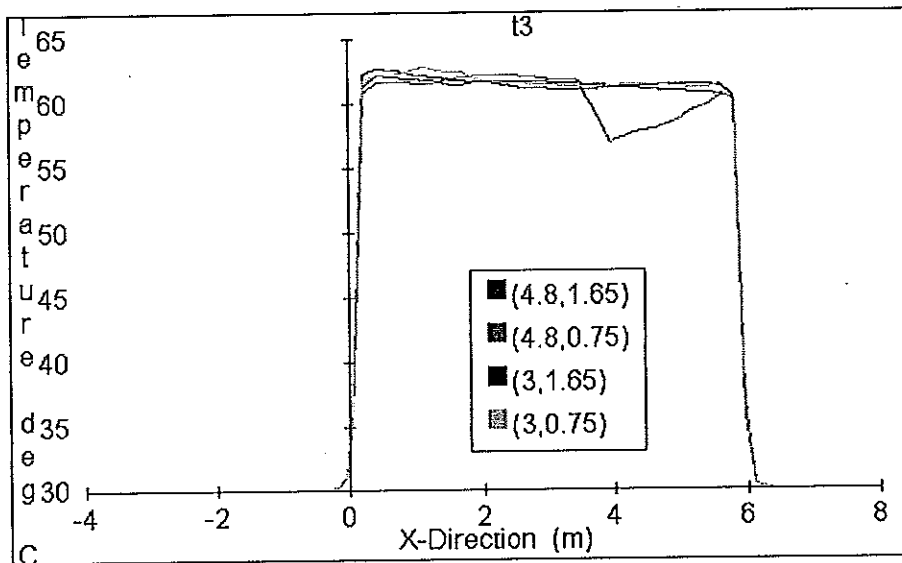
รูปที่ ผณ.12 แบบจำลองห้องรมเปล้าของสหกรณ์สวนยาง รุ่นปี 2537
หลังจากการปรับปรุง



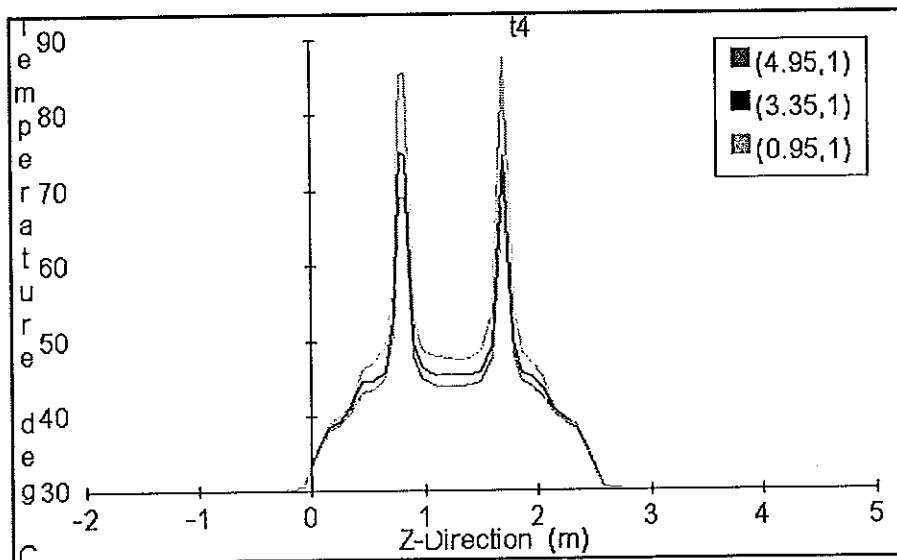
รูปที่ ๑๓.๑๓ ผลของอุณหภูมิของห้องรมเป่าหลังจากการปรับปรุงที่ระนาบ $Y = 1$ เมตร
กับ $Z = 0.75$ เมตร และ 1.65 เมตร ตามลำดับ



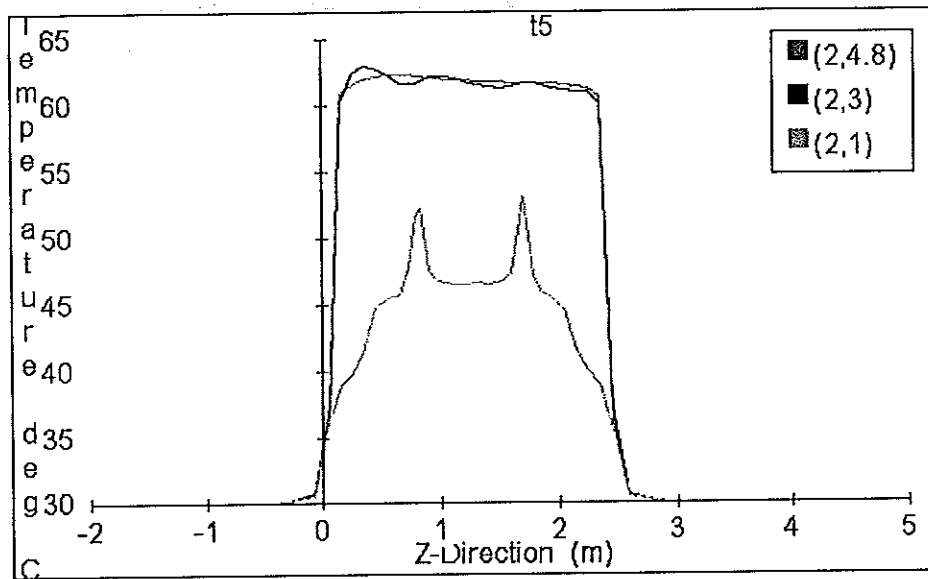
รูปที่ ๑๓.๑๔ ผลของอุณหภูมิของห้องรมเป่าหลังจากการปรับปรุงที่ระนาบ $Y = 1$ เมตร
3 เมตร และ 4.8 เมตร ตามลำดับ กับ $Z = 1.25$ เมตร



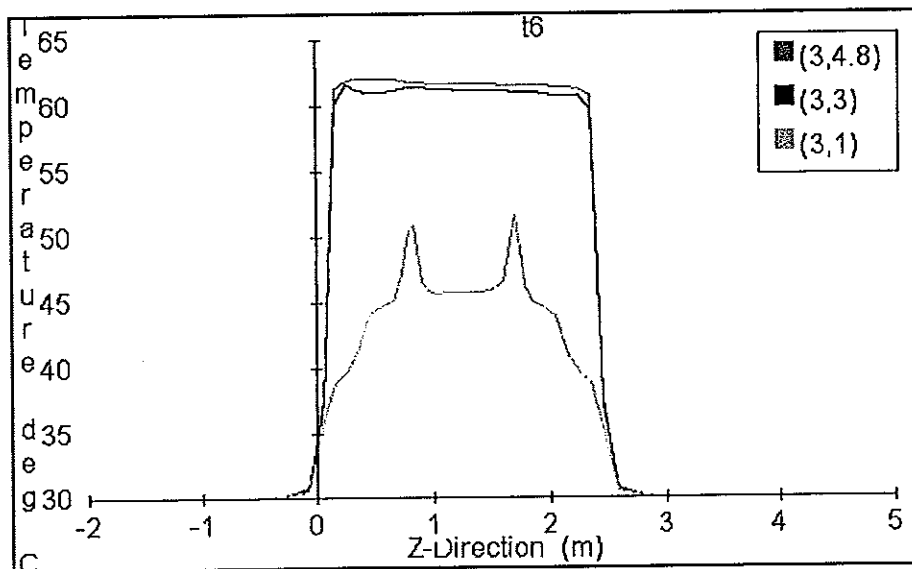
รูปที่ ๑๕.๑๕ ผลของอุณหภูมิของห้องรวมเปล่าหลังจากการปรับปรุงที่ระนาบ $Y = 3$ เมตร และ 4.8 เมตร ตามลำดับ กับ $Z = 0.75$ เมตร และ 1.65 เมตร ตามลำดับ



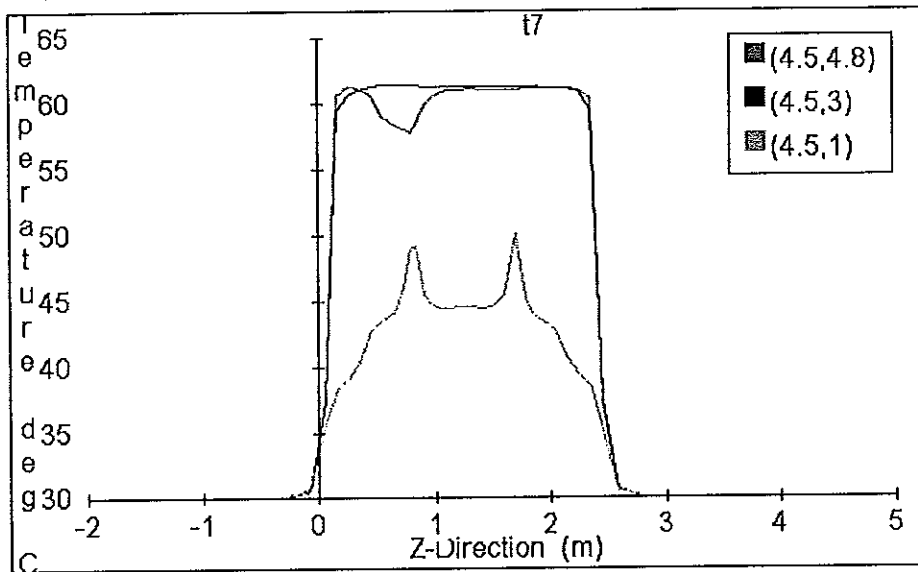
รูปที่ ๑๕.๑๖ ผลของอุณหภูมิของห้องรวมเปล่าหลังจากการปรับปรุงที่ระนาบ $X = 0.95$ เมตร, 3.35 เมตร และ 4.8 เมตร ตามลำดับ กับ $Y = 1$ เมตร



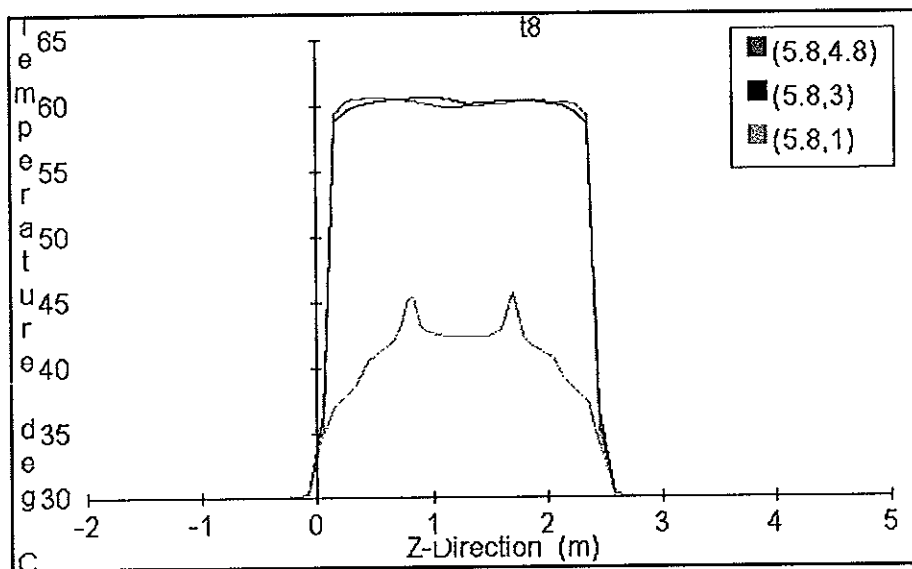
รูปที่ ๑๗.๑๗ ผลของอุณหภูมิของห้องรวมเปล่าหลังจากการปรับปรุงที่ระนาบ $X = 2$ เมตร
กับ $Y = 1$ เมตร, 3 เมตร และ 4.8 เมตร ตามลำดับ



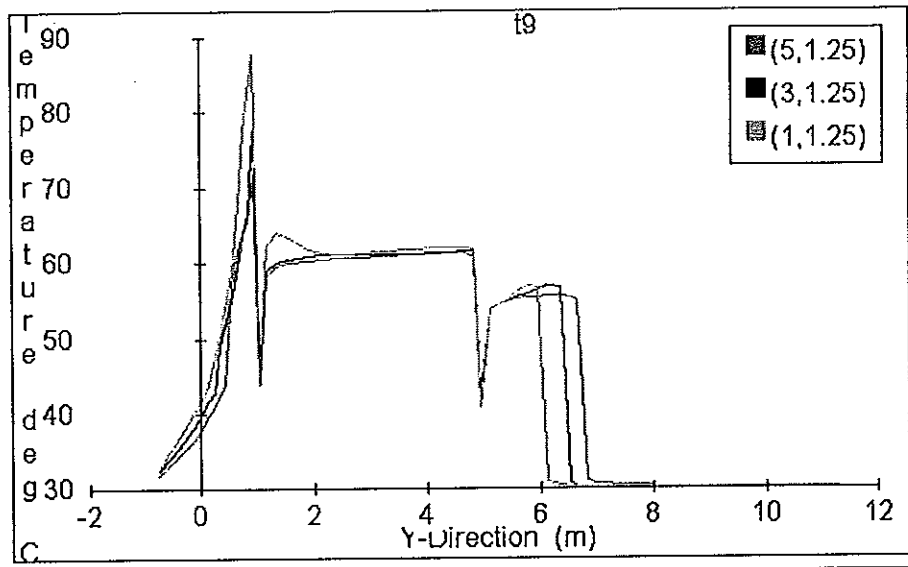
รูปที่ ๑๗.๑๘ ผลของอุณหภูมิของห้องรวมเปล่าหลังจากการปรับปรุงที่ระนาบ $X = 3$ เมตร
กับ $Y = 1$ เมตร, 3 เมตร และ 4.8 เมตร ตามลำดับ



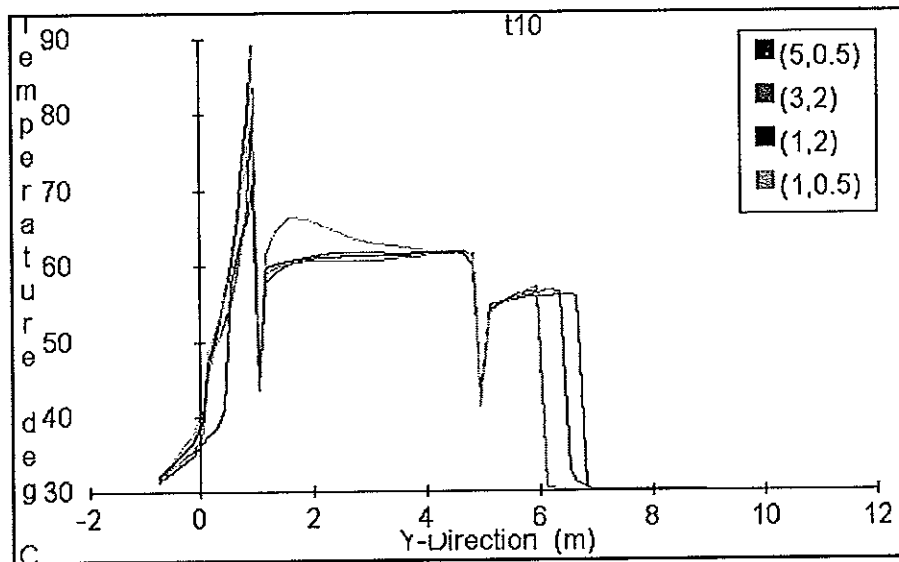
รูปที่ ๑๙ ผลของอุณหภูมิของห้องรมเปล่าหลังจากการปรับปรุงที่ระนาบ
 $X = 4.5$ เมตร กับ $Y = 1$ เมตร, 3 เมตร และ 4.8 เมตร ตามลำดับ



รูปที่ ๒๐ ผลของอุณหภูมิห้องรมเปล่าหลังจากการปรับปรุงที่ระนาบ $X = 5.8$ เมตร
 กับ $Y = 1$ เมตร, 3 เมตร และ 4.8 เมตร ตามลำดับ



รูปที่ ๒๑.๒๑ ผลของอุณหภูมิห้องรวมแปล่าหลังจากการปรับปรุงที่ระนาบ $X = 1$ เมตร, 3 เมตร และ 5 เมตร ตามลำดับ กับ $Z = 1.25$ เมตร



รูปที่ ๒๒.๒๒ ผลของอุณหภูมิห้องรวมแปล่าหลังจากการปรับปรุงที่ระนาบ $X = 1$ เมตร, 3 เมตร และ 5 เมตร ตามลำดับ กับ $Z = 0.5$ เมตร และ 2 เมตร ตามลำดับ

ภาคผนวก ญ

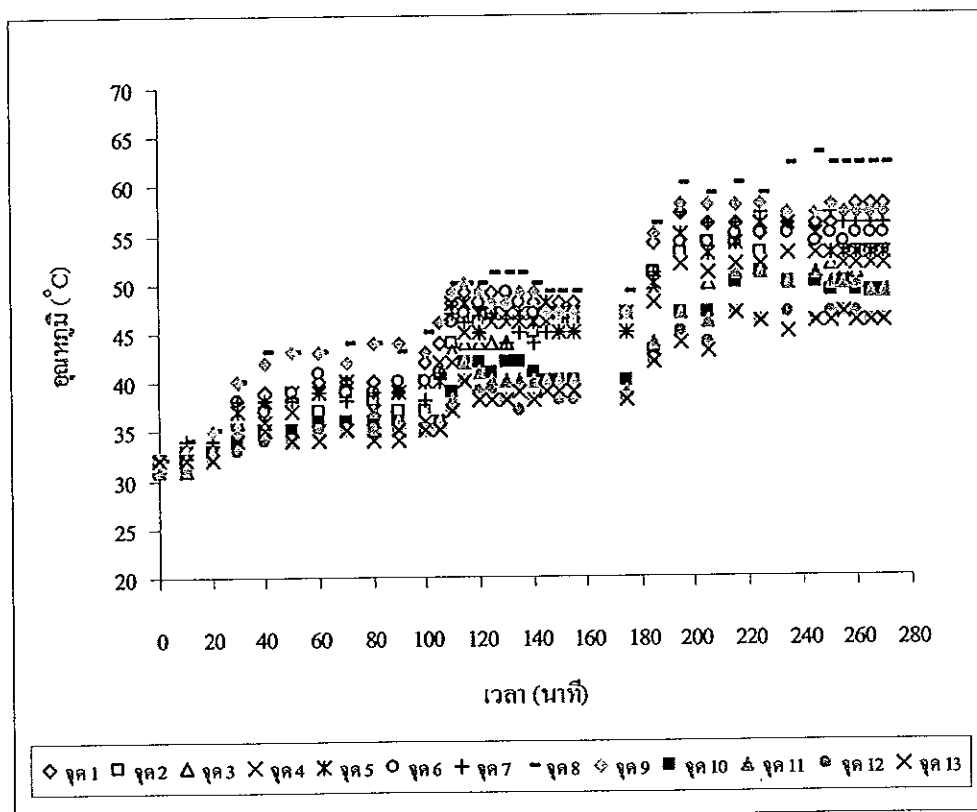
ผลการกระจายอุณหภูมิภายในห้องรมเปล่าหลังการปรับปรุง

ตารางที่ ผอ.1 อุณหภูมิภายในห้องรมเปล่าหลังการปรับปรุง ครั้งที่ 1

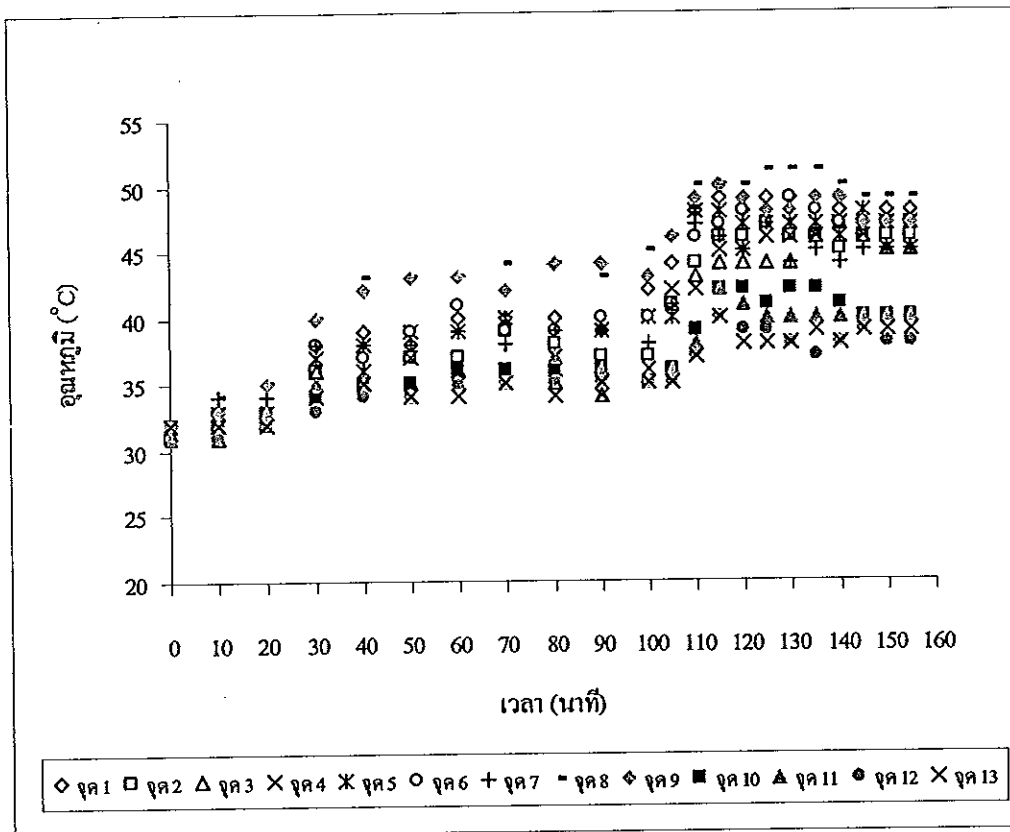
เวลา (นาที)	อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ภายในห้องรมยาง (°C)													พื้น (กก.)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
0	31	31	31	32	32	32	32	32	32	32	31	32	32	35.0
10	33	32	31	32	33	33	34	34	33	32	32	31	32	
20	35	32	33	32	33	33	34	35	35	33	33	32	32	
30	38	36	36	37	37	38	38	40	40	34	35	33	34	
40	39	35	35	38	36	37	38	43	42	35	35	34	35	
50	38	37	35	37	39	39	38	43	43	35	34	34	34	
60	40	37	36	35	39	41	39	43	43	36	35	35	34	
70	40	39	35	35	40	39	38	44	42	36	35	35	35	
80	40	38	35	36	37	39	39	44	44	36	37	35	34	
90	39	37	34	34	39	40	39	43	44	36	36	35	35	
100	42	37	35	36	40	40	38	45	43	35	35	35	35	
105	44	41	41	42	40	41	41	46	46	36	36	35	35	
110	48	44	43	42	48	46	47	50	49	39	38	37	37	
115	49	46	44	45	48	47	46	50	50	42	42	40	40	
120	48	46	44	45	47	48	45	50	49	42	41	39	38	
125	49	47	44	46	47	47	47	51	48	41	40	39	38	
130	49	46	44	46	47	49	44	51	48	42	40	38	38	
135	49	46	46	46	47	48	45	51	49	42	40	37	39	
140	48	45	47	47	46	47	44	50	49	41	40	38	38	
145	47	46	46	46	48	47	45	49	47	40	40	39	39	
150	48	46	45	45	47	47	45	49	47	40	40	38	39	
155	48	46	45	45	47	47	45	49	47	40	40	38	39	
175	47	45	45	45	47	47	45	49	47	40	39	38	38	30.0
185	54	51	49	48	50	51	51	56	55	43	44	42	42	
195	57	53	52	52	55	54	57	60	58	47	47	45	44	
205	56	54	50	51	53	54	56	59	58	47	46	44	43	
215	56	54	52	52	54	55	56	60	58	50	51	47	47	

ตารางที่ ผญ.1 อุณหภูมิภายในห้องรมเปล่าหลังการปรับปรุง ครั้งที่ 1 (ต่อ)

เวลา (นาทึ)	อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ภายในห้องรมยาง (°C)													พื้น (กก.)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
225	55	53	52	52	56	55	57	59	58	51	51	46	46	
235	56	53	53	53	56	55	56	62	57	50	50	47	45	
245	56	53	53	53	55	54	57	63	57	50	51	46	46	
250	56	53	52	53	53	55	57	62	58	49	50	47	46	
255	57	53	51	52	53	54	56	62	57	50	50	47	47	
260	58	53	51	52	53	55	56	62	57	49	50	47	46	
265	58	53	52	52	53	55	56	62	57	49	49	46	46	
270	58	53	52	52	53	55	56	62	57	49	49	46	46	



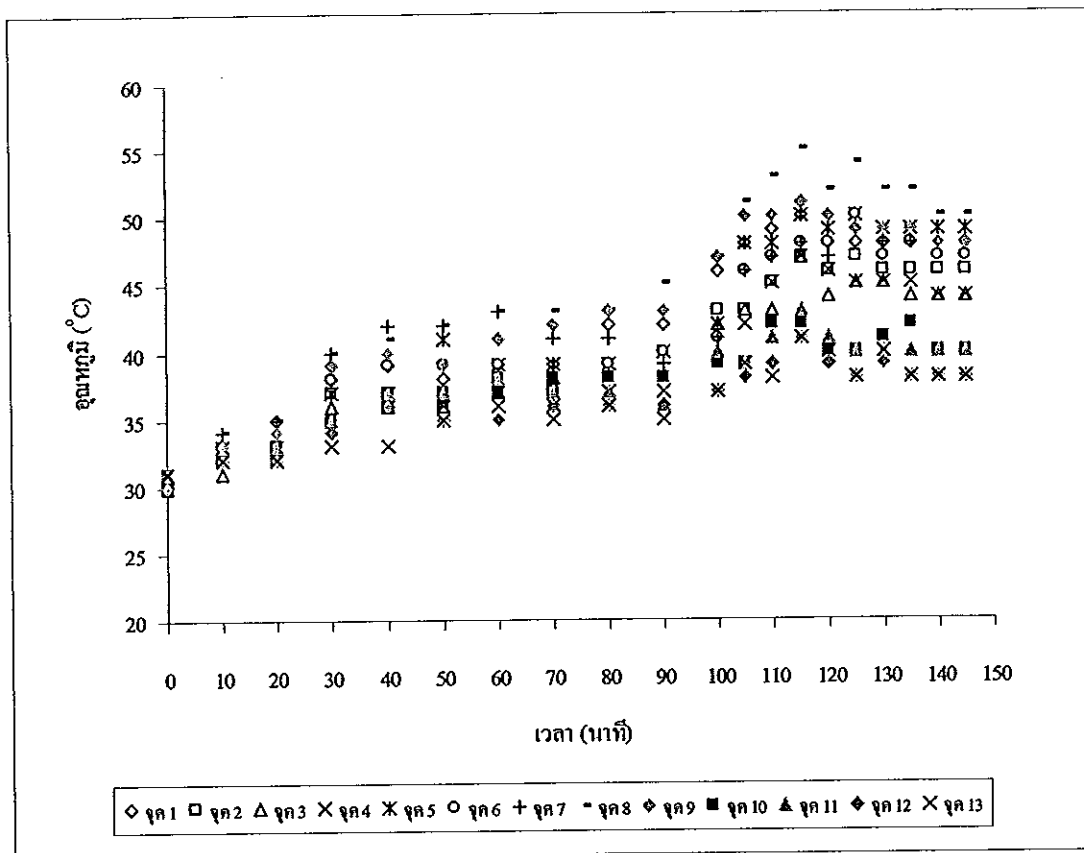
รูปที่ ผญ. 1 อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆของห้องรมเปล่าหลังการปรับปรุง ครั้งที่ 1 ตลอดช่วงการทดลอง



รูปที่ ๒ อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆของห้องรมเป่าหลังการปรับปรุง ครั้งที่ 1 ในช่วงการทดลองจนถึงสภาวะคงตัว ครั้งที่ 1

ตารางที่ ผญ.2 อุณหภูมิภายในห้องรมเปล่าหลังการปรับปรุง ครั้งที่ 2

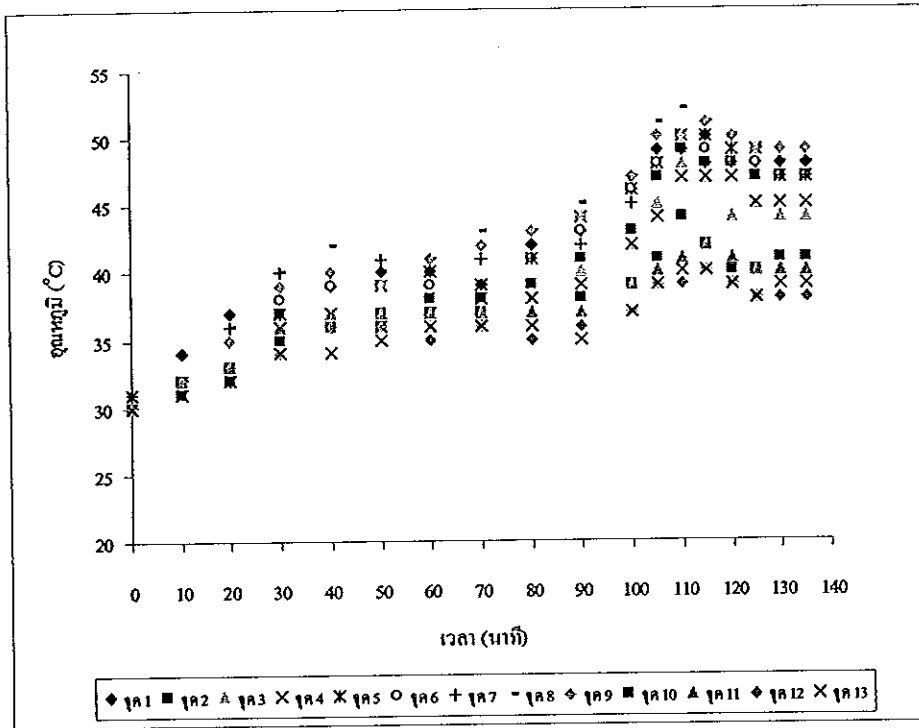
เวลา (นาที)	อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ภายในห้องรมยาง (°C)													ฟิน (กก.)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
0	30	30	30	30	31	31	31	30	30	31	31	31	31	40.0
10	33	32	31	32	33	33	34	34	33	32	32	32	32	
20	35	33	33	33	32	33	35	35	34	32	33	32	32	
30	38	37	36	37	37	38	40	40	39	35	35	34	33	
40	39	37	36	36	37	39	42	41	40	36	37	36	33	
50	38	36	36	36	41	39	42	42	39	37	37	35	35	
60	39	38	37	37	39	39	43	43	41	37	38	35	36	
70	39	37	38	36	39	38	41	43	42	38	37	36	35	
80	42	38	37	37	39	39	41	43	43	38	37	36	36	
90	42	38	36	37	40	40	39	45	43	38	36	36	35	
100	46	43	42	42	42	41	41	47	47	39	40	37	37	
105	48	43	43	42	48	46	46	51	50	39	39	38	39	
110	49	45	43	45	48	47	47	53	50	42	41	39	38	
115	50	47	47	47	50	48	48	55	51	42	43	41	41	
120	48	46	44	46	49	48	47	52	50	40	41	39	40	
125	48	47	45	45	50	50	49	54	49	40	40	38	38	
130	48	46	45	45	49	47	48	52	49	41	40	39	40	
135	48	46	44	45	49	48	48	52	49	42	40	38	38	
140	48	46	44	44	49	47	48	50	48	40	40	38	38	
145	48	46	44	44	49	47	48	50	48	40	40	38	38	



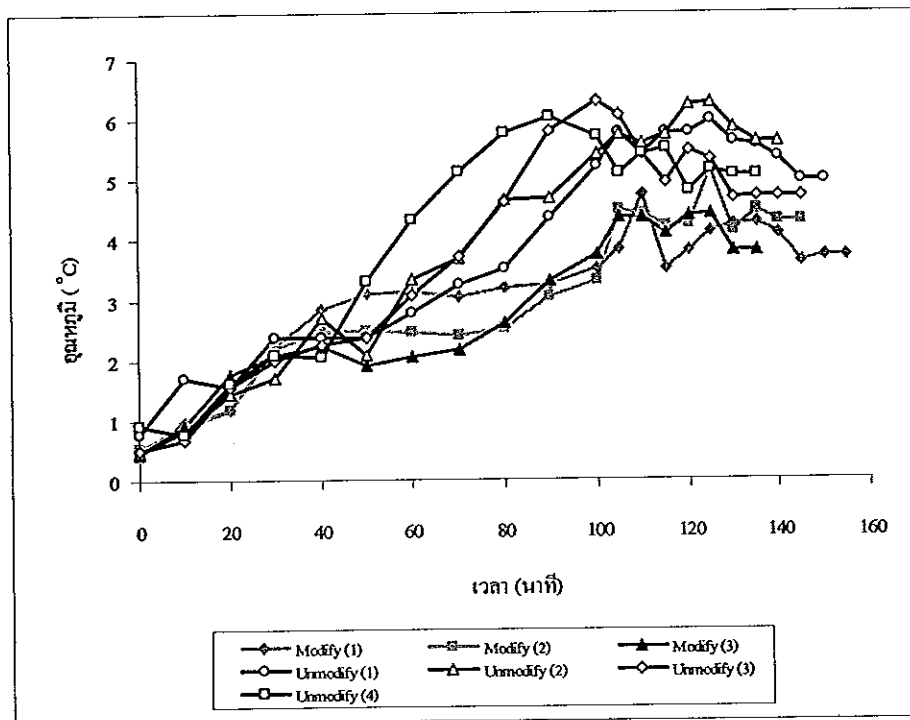
รูปที่ ๓. ๓ อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆของห้องรมเป่าหลังการปรับปรุง ครั้งที่ 2

ตารางที่ ผญ.3 อุณหภูมิภายในห้องรมเปล่าหลังการปรับปรุง ครั้งที่ 3

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ภายในห้องรมยาง (°C)													พื้น (กก.)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
0	30	30	31	30	31	30	31	30	30	30	30	30	30	30.0
10	34	31	32	32	32	32	34	32	32	32	32	32	31	
20	37	33	33	32	32	33	36	36	35	32	33	33	32	
30	39	37	36	36	37	38	40	40	39	35	36	34	34	
40	39	36	36	37	37	39	40	42	40	36	37	36	34	
50	40	36	37	36	39	39	41	40	39	37	37	36	35	
60	40	38	36	37	40	39	40	41	41	37	37	35	36	
70	39	37	38	38	39	38	41	43	42	38	37	36	36	
80	42	39	38	38	41	41	41	43	43	39	37	35	36	
90	43	41	40	39	44	43	42	45	44	38	37	36	35	
100	46	43	42	42	46	46	45	47	47	39	39	37	37	
105	49	47	45	44	48	48	49	51	50	41	40	39	39	
110	49	49	48	47	50	50	50	52	50	44	41	39	40	
115	50	48	47	47	50	49	48	51	51	42	42	40	40	
120	50	48	44	47	49	48	48	50	50	40	41	39	39	
125	48	47	45	45	49	48	49	49	49	40	40	38	38	
130	48	47	44	45	47	47	47	48	49	41	40	38	39	
135	48	47	44	45	47	47	47	48	49	41	40	38	39	



รูปที่ ๔ อนุกรมที่ตำแหน่งต่างๆของห้องรมเปล่าหลังการปรับปรุง ครั้งที่ 3

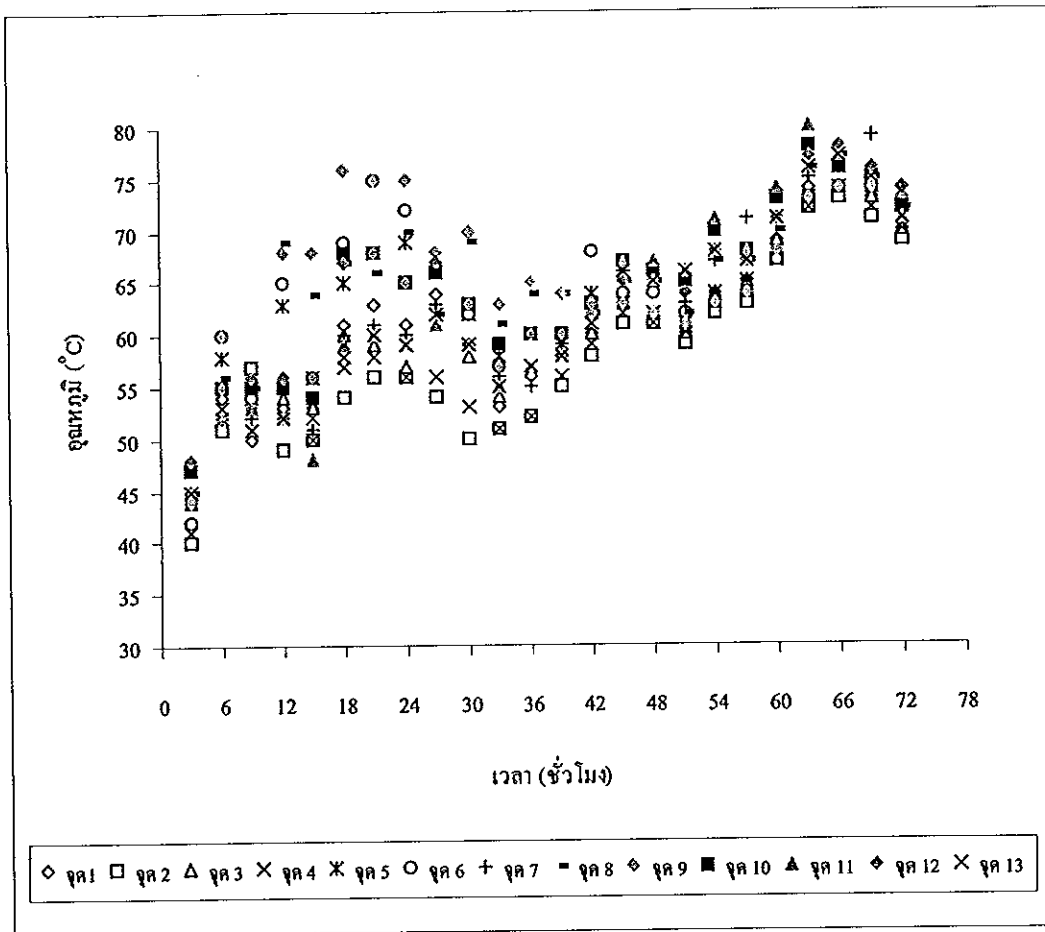


รูปที่ ๕ Standard deviation ของอนุกรมที่ตำแหน่งต่างๆของห้องรมเปล่า ก่อนและหลังการปรับปรุง

ภาคผนวก ฎ
ผลการกระจายอุณหภูมิภายในห้องรมยางก่อนการปรับปรุง

ตารางที่ ผฎ.1 อุณหภูมิภายในห้องรมยางก่อนการปรับปรุง ครั้งที่ 1

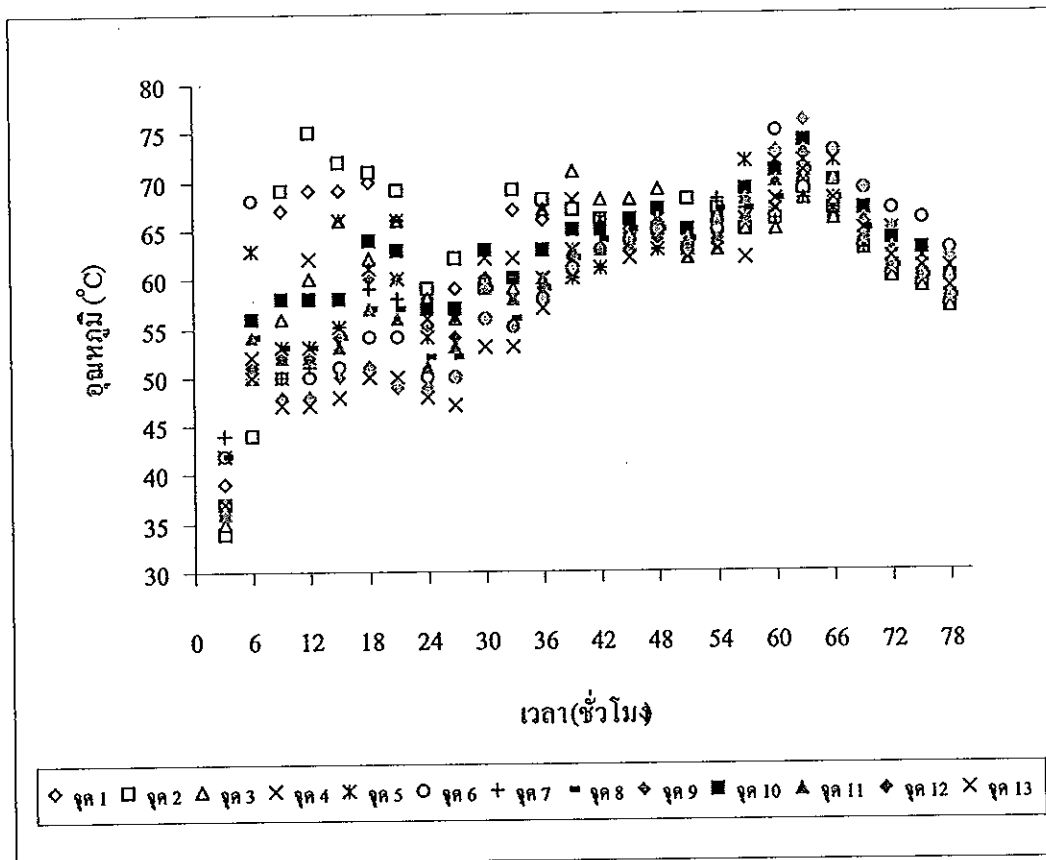
เวลา (hr)	อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ภายในห้องรมยาง (°C)												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
3	45	40	44	41	44	42	44	45	44	47	45	48	45
6	54	51	52	52	58	60	52	56	60	55	52	55	53
9	50	57	55	55	54	54	52	55	53	55	53	56	51
12	53	49	54	52	63	65	52	69	68	55	52	56	52
15	53	50	53	52	56	56	51	64	68	54	48	56	50
18	61	54	60	57	65	69	60	67	76	68	59	67	58
21	63	56	59	58	68	75	61	66	75	68	60	68	60
24	61	56	57	56	69	72	60	70	75	65	59	65	59
27	64	54	61	56	66	66	63	62	68	66	61	67	62
30	59	50	58	53	62	62	59	69	70	63	59	63	59
33	53	51	54	51	58	57	56	61	63	59	55	57	55
36	56	52	57	52	60	60	55	64	65	60	57	60	57
39	58	55	58	56	59	60	59	64	64	60	58	60	58
42	60	58	60	59	64	68	62	62	62	63	62	63	61
45	63	61	63	62	63	64	66	65	63	67	67	65	66
48	62	61	62	61	62	64	65	65	62	66	67	65	65
51	60	59	60	60	61	62	63	62	61	65	66	64	66
54	64	62	64	63	64	63	67	67	63	70	71	68	68
57	65	63	65	64	65	64	71	67	64	68	68	67	67
60	69	67	69	67	68	67	71	70	68	73	74	71	71
63	74	72	73	72	73	73	75	76	73	78	80	77	76
66	74	73	74	74	76	74	82	77	74	76	77	78	77
69	73	71	73	72	74	74	79	75	74	75	75	76	75
72	70	69	70	70	71	72	74	72	73	72	71	74	71



รูปที่ ผฏ. 1 อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆของห้องรมยางก่อนการปรับปรุง ครั้งที่ 1

ตารางที่ ผฎ.2 อุณหภูมิภายในห้องรมยางก่อนการปรับปรุง ครั้งที่ 2

เวลา (hr)	อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ภายในห้องรมยาง (°C)												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
3	39	34	35	36	42	42	44	42	36	37	36	37	37
6	51	44	50	52	63	68	51	54	50	56	54	51	50
9	67	69	56	50	53	50	50	53	48	58	52	52	47
12	69	75	60	62	53	50	51	53	48	58	52	52	47
15	69	72	66	66	55	51	55	54	50	58	53	54	48
18	70	71	62	64	61	54	59	57	51	64	57	60	50
21	66	69	66	66	60	54	58	57	49	63	56	60	50
24	58	59	58	56	54	50	55	52	49	57	51	55	48
27	59	62	56	57	56	50	54	52	50	57	53	54	47
30	60	59	60	62	59	56	60	59	56	63	59	59	53
33	67	69	59	62	58	55	60	56	55	60	58	55	53
36	66	68	67	67	60	58	59	59	58	63	60	59	57
39	67	67	71	68	63	61	60	62	61	65	63	62	60
42	65	66	68	66	66	63	61	64	63	65	63	63	61
45	65	66	68	64	66	64	63	65	63	66	64	63	62
48	64	65	69	66	66	65	63	65	65	67	66	64	63
51	65	68	62	63	65	63	63	64	63	65	64	63	62
54	65	67	63	64	66	65	68	67	64	66	66	64	63
57	65	65	65	66	72	69	67	67	68	69	68	66	62
60	67	66	65	68	72	75	66	68	73	71	70	67	67
63	70	69	68	70	72	74	68	71	76	74	73	71	71
66	66	67	66	67	72	73	67	68	73	70	70	68	68
69	63	63	63	64	67	69	63	65	69	67	66	64	65
72	60	60	60	61	65	67	61	61	65	64	63	61	62
75	59	59	59	60	62	66	60	60	63	63	61	60	61
78	57	57	57	58	61	63	58	58	62	60	60	58	59



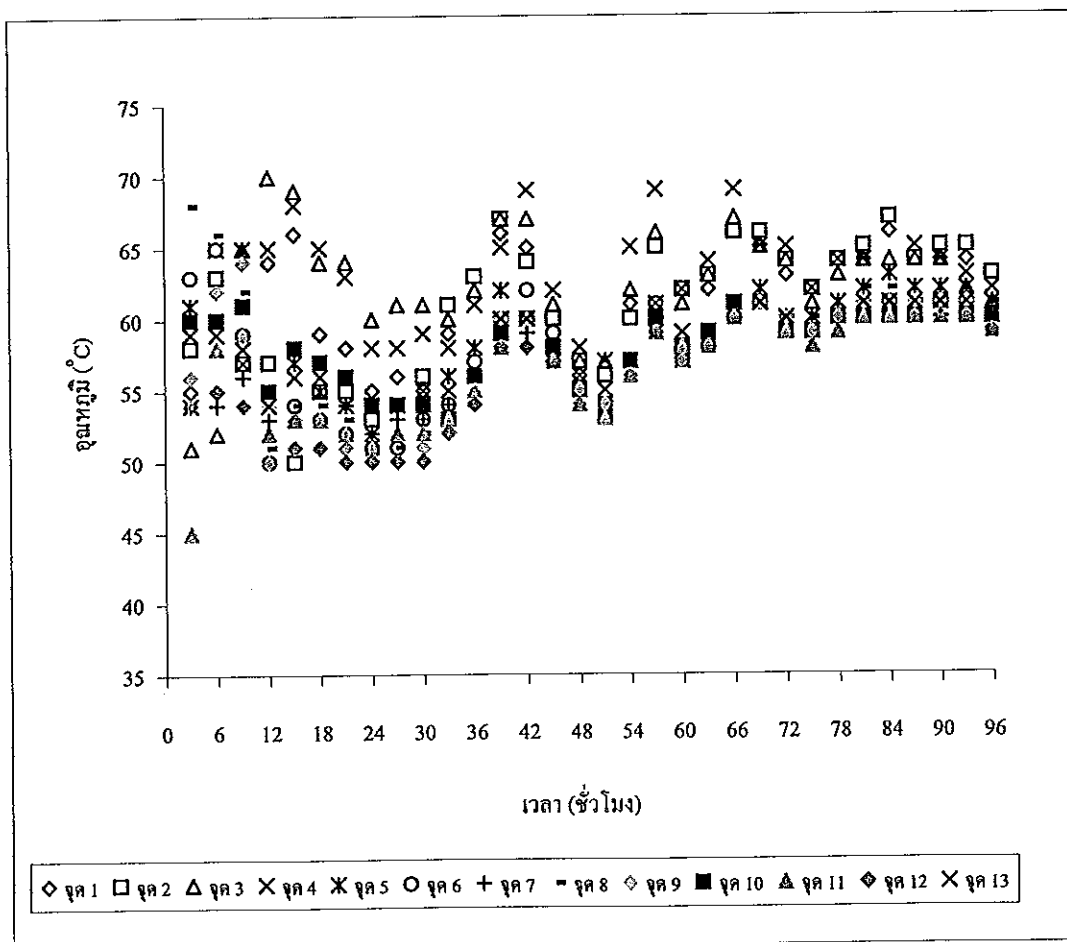
รูปที่ ๒. อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆของห้องรมยางก่อนการปรับปรุง ครั้งที่ 2

ตารางที่ ผอ.3 อุณหภูมิภายในห้องรมยางก่อนการปรับปรุง ครั้งที่ 3

เวลา (hr)	อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ภายในห้องรมยาง (°C)												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
3	55	58	51	54	61	63	54	68	56	60	45	54	59
6	60	63	52	59	65	65	54	66	62	60	58	55	59
9	64	57	65	57	65	59	56	62	64	61	59	54	58
12	64	57	70	65	55	50	53	51	54	55	52	50	54
15	66	50	69	68	57	54	53	54	53	58	53	51	56
18	59	55	64	65	55	53	53	54	51	57	53	51	56
21	58	55	64	63	54	52	54	53	51	56	52	50	56
24	55	53	60	58	52	51	52	51	50	54	51	50	54
27	56	54	61	58	54	51	53	51	50	54	52	50	54
30	55	56	61	59	54	53	53	52	51	54	52	50	55
33	59	61	60	58	56	54	54	53	52	53	53	52	55
36	63	63	62	61	58	57	56	56	56	56	55	54	58
39	66	67	67	65	62	60	58	59	60	59	58	58	60
42	65	64	67	69	60	62	59	60	58	60	60	58	60
45	60	60	61	62	57	59	57	58	57	58	57	57	58
48	56	57	57	58	55	55	54	55	54	55	54	55	56
51	56	56	57	57	54	54	53	54	53	53	53	54	55
54	61	60	62	65	57	57	56	57	57	57	56	56	57
57	65	65	66	69	59	61	59	60	59	60	59	59	61
60	62	62	61	62	57	57	58	58	57	58	58	57	59
63	62	63	63	64	58	58	59	59	59	59	58	58	59
66	66	66	67	69	61	60	60	61	60	61	60	60	61
69	65	66	65	65	62	61	61	61	61	61	61	61	61
72	63	64	64	65	60	59	59	60	59	59	59	60	60
75	62	62	61	62	60	59	59	60	59	59	58	59	60
78	64	64	63	64	61	60	60	60	60	60	59	60	61

ตารางที่ ผฏ.3 อุณหภูมิภายในห้องรมยางก่อนการปรับปรุง ครั้งที่ 3 (ต่อ)

เวลา (hr)	อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ภายในห้องรมยาง (°C)												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
81	64	65	64	64	62	60	60	62	60	60	60	61	61
84	66	67	64	63	63	61	61	62	61	60	60	61	61
87	64	64	64	65	62	60	60	61	61	60	60	60	61
90	64	65	64	64	62	61	60	61	61	61	60	61	61
93	64	65	62	63	62	61	60	61	61	60	60	60	61
96	63	63	61	62	61	60	60	61	60	60	59	59	60



รูปที่ ผฏ. 3 อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆของห้องรมยางก่อนการปรับปรุง ครั้งที่ 3

ภาคผนวก ก

ผลการกระจายอุณหภูมิภายในห้องรมยางหลังการปรับปรุง

ตารางที่ ผฏ.1 อุณหภูมิภายในห้องรมยางหลังการปรับปรุง ครั้งที่ 1

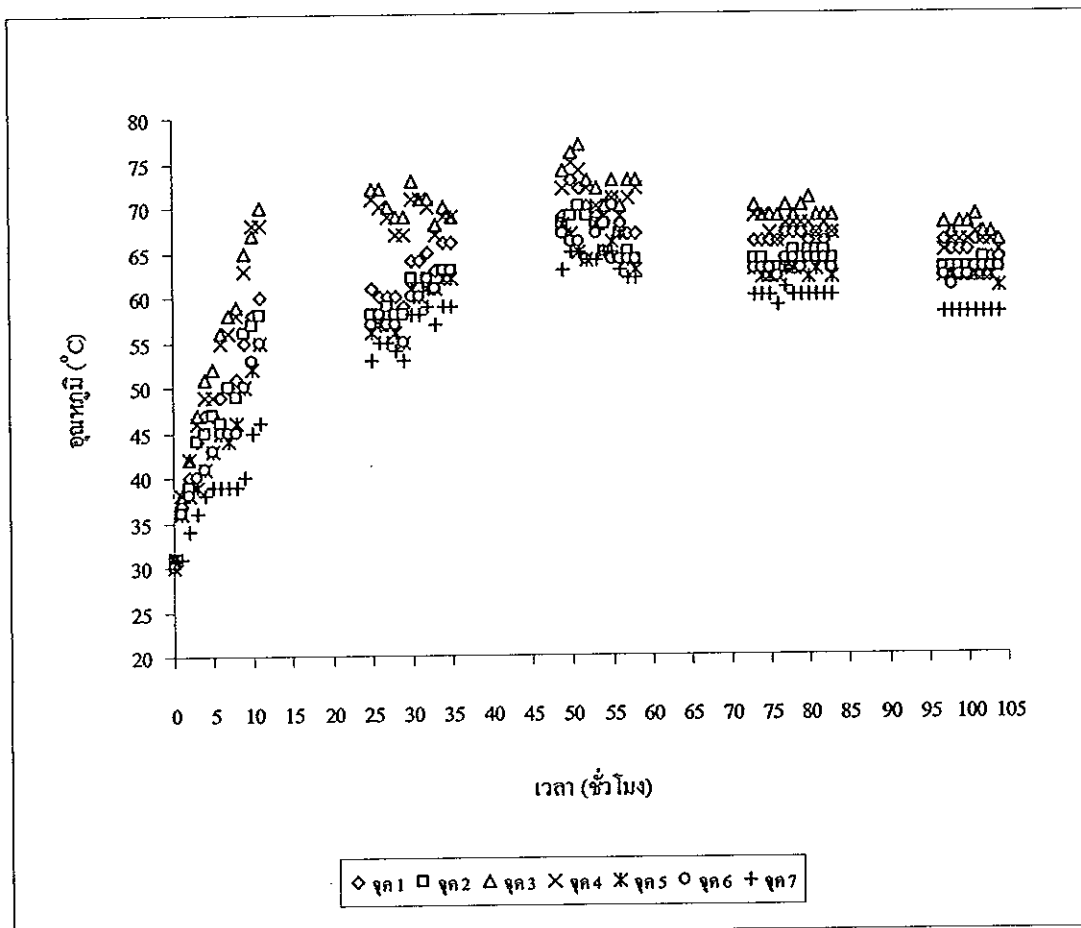
เวลา (hr)	อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ภายในห้องรมยาง (°C)						หน้าห้อง
	1	2	3	4	5	6	
0	31	31	31	31	30	30	30
1	37	36	38	38	36	36	31
2	40	39	42	42	38	38	34
3	44	44	47	46	39	40	36
4	47	45	51	49	41	41	38
5	47	47	52	49	43	43	39
6	49	46	56	55	45	45	39
7	50	50	58	56	44	45	39
8	51	49	59	58	46	45	39
9	55	56	65	63	50	50	40
10	58	57	67	68	52	53	45
11	60	58	70	68	55	55	46
25	61	58	72	71	56	57	53
26	60	58	72	70	57	58	55
27	60	59	70	69	57	57	55
28	60	58	69	67	56	57	54
29	59	58	69	67	55	55	53
30	64	62	73	71	61	60	58
31	64	61	71	71	60	60	58
32	65	62	71	70	61	62	59
33	63	61	68	67	61	61	57
34	66	63	70	69	62	63	59
35	66	63	69	69	62	63	59
49	69	68	74	72	68	67	63
50	73	69	76	75	67	66	65

ตารางที่ ผศ.1 อุณหภูมิภายในห้องรมยางหลังการปรับปรุง ครั้งที่ 1 (ต่อ)

เวลา (hr)	อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ภายในห้องรมยาง (°C)						
	1	2	3	4	5	6	หน้าห้อง
51	72	70	77	74	65	66	65
52	70	69	73	72	64	64	64
53	69	68	72	70	68	67	64
54	68	68	70	69	65	65	65
55	71	70	73	71	66	64	65
56	68	67	70	69	67	64	63
57	67	65	73	71	64	64	62
58	67	64	73	72	63	64	62
73	66	64	70	69	63	63	60
74	66	64	69	69	62	63	60
75	66	63	69	67	62	63	60
76	66	63	69	66	62	62	59
77	67	63	70	68	63	64	61
78	67	65	69	68	63	64	60
79	67	64	70	68	63	63	60
80	66	65	71	68	62	64	60
81	67	65	69	67	63	64	60
82	66	65	69	68	64	64	60
83	67	64	69	67	62	63	60
97	66	63	68	65	62	62	58
98	65	63	67	66	62	61	58
99	65	63	68	66	62	62	58
100	65	63	68	66	62	62	58
101	66	63	69	67	62	63	58
102	66	64	67	66	62	63	58
103	64	63	67	66	62	63	58

ตารางที่ ผฎ.1 อุณหภูมิภายในห้องรมยางหลังการปรับปรุง ครั้งที่ 1 (ต่อ)

เวลา (hr)	อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ภายในห้องรมยาง (°C)						
	1	2	3	4	5	6	หน้าห้อง
104	64	63	66	65	61	63	58
105	64	63	66	65	62	63	58



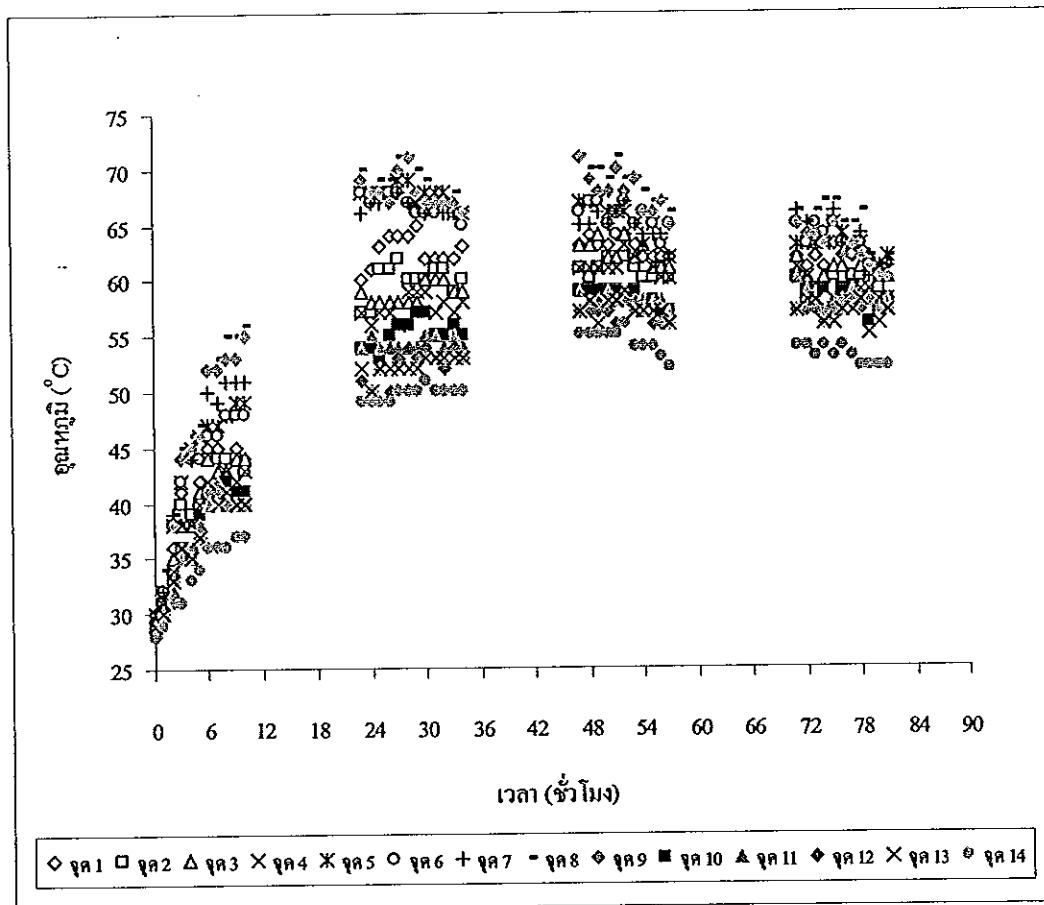
รูปที่ ผฎ. 1 อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆของห้องรมยางหลังการปรับปรุง ครั้งที่ 1

ตารางที่ ผฎ.2 อุณหภูมิภายในห้องรมยางหลังการปรับปรุง ครั้งที่ 2

เวลา (hr)	อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ภายในห้องรมยาง (°C)													หน้าห้อง
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
0	30	29	29	29	30	29	29	30	29	29	29	28	29	28
1	32	31	31	31	32	32	32	34	30	30	30	30	30	29
2	36	34	35	34	38	38	39	39	38	33	32	33	33	31
3	41	40	38	38	42	42	44	45	44	36	35	36	36	31
4	39	39	38	38	45	44	44	46	45	35	35	36	35	33
5	42	40	41	40	46	44	46	47	46	39	38	37	37	34
6	45	44	44	42	47	46	50	52	52	41	40	41	42	36
7	45	44	43	41	47	46	49	53	52	41	42	41	40	36
8	44	44	43	43	48	48	51	55	53	42	40	40	41	36
9	45	44	44	42	49	48	51	55	53	41	40	40	40	37
10	44	43	44	43	49	48	51	56	55	41	40	40	40	37
23	60	57	59	57	68	68	66	70	69	54	54	51	52	49
24	61	57	58	56	68	67	67	68	68	54	55	50	50	49
25	63	61	58	57	68	68	67	69	68	53	54	52	52	49
26	64	61	58	57	68	68	67	69	67	55	54	50	52	49
27	64	62	58	56	69	68	68	71	70	56	54	53	52	50
28	64	60	58	59	69	67	67	71	71	56	54	54	52	50
29	65	60	58	59	67	66	67	70	68	57	54	53	52	50
30	62	60	60	59	68	66	66	69	67	57	55	54	53	51
31	62	61	60	57	68	66	67	67	67	55	55	53	53	50
32	62	61	60	58	68	67	66	67	67	55	54	52	53	50
33	62	59	59	57	66	66	66	68	67	56	55	54	53	50
34	63	60	59	58	66	65	66	66	66	55	54	53	53	50
47	63	61	63	61	67	66	65	71	71	59	59	57	57	55
48	64	60	63	61	67	67	65	70	69	59	58	57	58	55
49	63	61	64	61	67	67	66	70	68	59	58	57	56	55

ตารางที่ ผฏ.2 อุณหภูมิภายในห้องรมยางหลังการปรับปรุง ครั้งที่ 2 (ต่อ)

เวลา (hr)	อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ภายในห้องรมยาง (°C)													หน้าห้อง
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
50	63	62	62	61	66	65	65	69	68	59	59	57	58	55
51	64	62	62	61	66	64	66	71	70	59	58	56	58	55
52	64	62	64	63	66	67	67	69	68	58	59	58	59	56
53	63	61	62	62	65	65	65	69	69	59	58	57	57	54
54	62	60	63	63	63	66	64	68	66	57	58	57	57	54
55	62	60	61	61	65	65	64	67	66	58	58	56	57	54
56	62	61	61	60	63	63	64	67	67	57	58	56	57	53
57	62	60	61	60	62	65	65	66	65	57	57	56	56	52
71	62	60	62	61	63	65	66	66	65	60	60	57	57	54
72	61	58	60	60	63	63	65	65	64	59	59	57	58	54
73	62	59	59	58	63	65	64	66	64	58	58	57	58	53
74	61	59	60	59	63	64	63	67	63	59	57	56	56	54
75	63	60	61	58	65	65	66	67	65	57	58	57	56	53
76	62	58	61	58	64	63	63	65	62	59	58	57	57	54
77	62	60	63	59	63	62	63	65	63	59	59	58	57	53
78	62	60	61	59	63	63	64	66	62	58	58	57	58	52
79	61	58	62	59	61	61	60	62	61	56	58	58	55	52
80	60	59	60	58	61	60	61	61	60	57	57	57	56	52
81	58	58	60	58	62	61	61	62	60	57	58	57	57	52



รูปที่ ผฎ. 2 อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆของห้องรมยางหลังการปรับปรุง ครั้งที่ 2

ตารางที่ ผฎ.3 อุณหภูมิภายในห้องรมยางหลังการปรับปรุง ครั้งที่ 3

เวลา (hr)	อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ภายในห้องรมยาง (°C)													หน้าห้อง
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
0	31	31	31	31	30	31	30	30	31	30	31	31	31	29
1	36	35	35	36	37	38	38	41	39	35	34	34	34	33
2	36	36	36	36	40	40	40	42	40	35	35	34	34	34
3	35	35	36	36	39	39	40	41	41	35	34	34	34	35
4	39	40	40	41	42	43	43	46	44	39	39	39	39	39
5	41	41	41	41	46	46	46	48	47	41	41	39	39	39
6	41	41	40	40	46	46	47	52	51	41	41	39	40	38
7	40	40	40	40	47	47	47	53	51	41	41	40	40	38
8	42	40	42	41	46	47	45	53	50	40	40	37	38	37
9	54	54	51	51	61	60	61	62	63	52	50	49	49	49
10	54	54	52	52	62	61	61	62	64	53	52	49	50	47
11	55	55	51	51	63	63	63	64	64	53	53	51	48	47
12	53	52	52	51	60	61	62	62	61	50	51	47	48	45
13	56	55	54	54	64	62	63	65	64	55	52	50	51	48
14	56	54	53	54	63	63	61	67	65	53	54	52	51	49
15	57	56	54	54	61	60	59	63	64	54	50	47	48	45
16	54	55	53	54	60	60	60	63	64	55	52	48	48	45
17	53	53	53	52	60	59	58	62	61	54	51	47	47	44
18	53	52	51	51	59	59	59	60	60	51	50	45	45	43
19	55	53	54	54	60	60	60	57	56	54	52	47	47	48
20	56	53	51	51	55	57	55	59	61	54	51	50	50	49
21	54	51	48	49	58	58	58	59	63	55	53	50	49	48
22	55	51	50	50	60	60	61	63	66	54	53	49	49	49
23	54	50	50	51	60	62	62	65	65	53	53	50	49	49
24	53	52	52	51	54	64	65	65	65	50	51	50	49	46
25	53	52	52	51	58	63	64	65	65	51	51	50	50	46

ตารางที่ ผศ.3 อุณหภูมิภายในห้องรมยางหลังการปรับปรุง ครั้งที่ 3 (ต่อ)

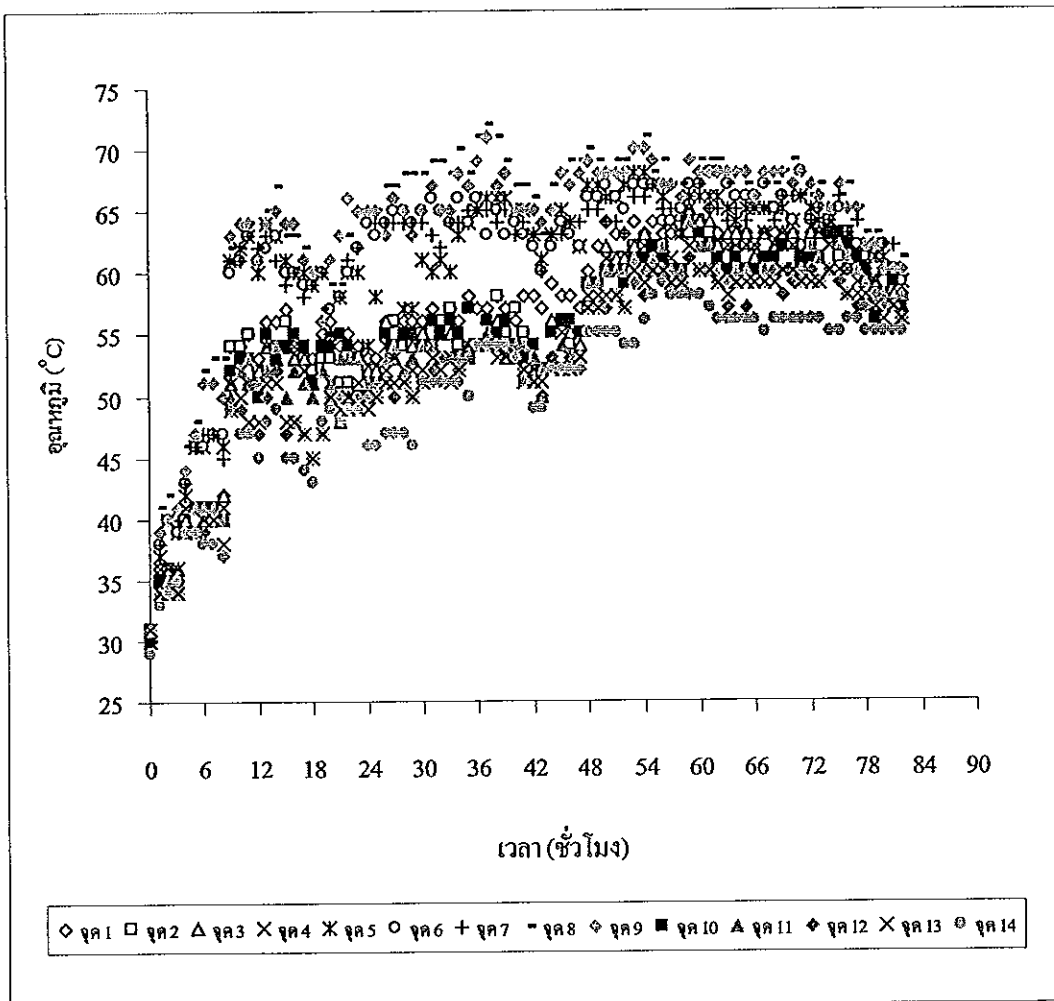
เวลา (hr)	อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ภายในห้องรมยาง (°C)													หน้าห้อง
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
26	56	55	56	52	54	64	64	67	63	55	53	51	51	47
27	56	56	53	53	54	65	64	67	66	54	54	50	51	47
28	56	54	55	52	57	65	64	68	65	55	52	51	51	47
29	56	54	54	52	57	64	64	68	63	55	53	50	50	46
30	56	55	55	52	61	65	64	68	65	54	54	51	51	51
31	57	54	54	54	60	66	63	69	67	56	54	52	53	51
32	56	56	55	52	61	65	62	69	65	55	53	53	52	51
33	57	57	55	53	60	64	64	68	65	56	53	53	51	51
34	56	54	53	53	63	66	64	70	68	55	53	52	52	51
35	58	53	54	54	64	64	65	68	67	57	53	53	54	50
36	57	54	54	54	65	66	65	71	69	54	54	54	54	54
37	57	56	55	54	66	63	65	72	71	56	55	54	54	54
38	58	58	56	53	66	65	64	71	67	55	54	54	54	54
39	57	55	53	53	66	63	65	69	68	56	54	54	54	54
40	56	57	53	53	65	64	63	67	65	54	54	53	53	53
41	58	55	53	51	65	63	64	67	65	53	54	52	52	51
42	58	54	52	52	63	62	63	66	65	54	53	51	51	49
43	57	52	50	51	61	60	60	63	64	52	52	50	51	49
44	59	55	56	52	63	62	63	67	65	55	53	53	52	52
45	58	56	56	55	65	64	63	68	68	56	54	52	52	52
46	58	54	55	53	64	63	64	69	67	56	52	53	52	52
47	57	55	54	53	62	62	64	69	68	55	53	52	53	52
48	60	57	59	58	67	66	65	70	69	59	59	57	57	55
49	62	59	59	58	67	66	65	69	68	59	59	57	57	55
50	64	60	62	61	66	67	64	68	68	60	60	57	58	55
51	63	61	61	60	66	66	64	69	68	60	60	58	58	55

ตารางที่ ผฎ.3 อุณหภูมิภายในห้องรมยางหลังการปรับปรุง ครั้งที่ 3 (ต่อ)

เวลา (hr)	อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ภายในห้องรมยาง (°C)													หน้าห้อง
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
52	63	61	61	60	67	65	63	69	68	59	60	57	57	54
53	64	62	62	61	68	67	66	70	70	61	61	59	60	54
54	63	61	63	62	68	67	66	71	70	61	60	58	59	56
55	64	61	62	62	67	67	67	68	69	62	61	60	60	58
56	63	62	60	61	66	64	65	69	67	61	62	60	60	59
57	63	60	60	61	64	64	65	67	67	60	60	59	59	58
58	63	60	60	60	63	65	64	67	66	60	60	59	59	58
59	64	63	65	65	66	67	66	69	69	64	64	61	62	58
60	64	64	64	62	66	67	67	69	68	63	62	60	60	58
61	65	63	64	62	66	68	65	69	68	62	62	60	60	57
62	63	62	62	61	66	68	65	69	68	61	60	59	59	56
63	62	62	63	62	65	67	64	67	68	60	59	57	58	56
64	63	63	63	62	64	66	65	68	68	61	60	59	59	56
65	63	62	63	62	65	66	64	67	68	60	60	57	59	56
66	62	62	61	62	65	66	65	66	66	60	59	59	59	56
67	63	61	63	63	65	67	65	67	68	61	60	59	59	55
68	63	61	62	62	65	65	64	67	68	61	60	60	59	56
69	62	62	63	63	65	66	66	68	68	62	60	58	60	56
70	63	62	63	62	64	64	66	69	67	60	60	59	60	56
71	62	60	61	60	66	68	66	66	68	61	60	59	59	56
72	63	62	63	61	65	64	64	66	67	61	62	60	59	56
73	63	61	63	63	64	65	65	67	66	61	61	59	59	56
74	63	63	63	62	64	64	64	65	65	63	60	60	60	55
75	62	61	63	60	63	65	66	66	67	63	62	59	60	55
76	60	63	63	60	63	63	63	67	65	62	61	58	58	56
77	61	60	62	59	62	62	64	65	65	61	60	57	58	56

ตารางที่ ผฏ.3 อุณหภูมิภายในห้องรมยางหลังการปรับปรุง ครั้งที่ 3 (ต่อ)

เวลา (hr)	อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ภายในห้องรมยาง (°C)													หน้าห้อง
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
78	59	57	60	59	61	61	60	63	62	60	59	57	58	55
79	57	58	59	59	61	62	62	63	62	56	58	58	57	55
80	60	58	60	58	61	62	62	62	60	58	58	57	56	55
81	57	57	58	57	60	60	62	60	60	59	57	57	57	55
82	58	57	57	57	59	59	60	61	60	57	58	56	56	55



รูปที่ ผฏ. 3 อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆของห้องรมยางหลังการปรับปรุง ครั้งที่ 3

ตารางที่ ผฏ.4 อุณหภูมิภายในห้องรมยางหลังการปรับปรุง ครั้งที่ 4

เวลา (hr)	อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ภายในห้องรมยาง (°C)													หน้าห้อง
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
0	29	29	30	30	29	30	30	29	30	30	29	30	30	29
1	35	33	35	34	38	37	36	42	41	36	35	34	34	31
2	39	35	36	34	39	41	40	42	39	36	34	33	34	31
3	39	34	35	36	42	42	42	44	41	37	36	36	36	33
4	43	41	39	40	41	45	44	48	45	39	38	37	38	36
5	43	41	42	41	45	46	47	48	47	41	40	38	38	36
6	44	44	43	41	47	46	49	53	52	40	39	39	38	37
7	45	45	43	43	48	48	51	55	53	40	39	38	38	36
8	45	44	43	42	49	48	51	55	53	40	40	37	38	38
9	45	44	44	45	49	48	52	55	52	43	42	40	40	40
10	46	45	44	46	50	48	50	55	52	44	42	41	41	40
11	46	46	45	46	50	50	50	57	52	43	40	41	42	39
12	46	46	45	47	51	51	53	57	52	44	42	41	40	39
13	45	46	47	43	48	48	51	55	53	45	43	43	42	40
14	47	48	46	45	51	50	51	55	53	45	44	43	42	39
15	46	46	46	45	50	52	51	56	55	46	44	42	42	39
16	49	47	46	44	49	52	50	56	55	46	45	42	42	40
17	47	47	45	44	50	52	52	56	54	46	45	43	44	40
18	48	47	45	44	49	50	52	61	56	47	44	43	43	40
19	48	48	46	47	50	50	51	61	56	47	44	43	42	40
20	46	45	44	46	48	51	50	60	56	47	45	43	42	39
21	47	48	46	44	52	52	55	60	58	48	45	44	43	40
22	46	48	46	44	51	54	53	60	57	47	44	42	42	41
23	46	50	50	51	60	62	62	65	65	53	53	50	49	40
24	54	56	55	53	60	57	61	68	67	57	55	52	53	49
25	54	52	52	51	58	63	64	65	65	51	51	50	50	48
26	58	57	53	52	57	68	68	67	61	56	54	51	51	47

ตารางที่ ผฎ.4 อุณหภูมิภายในห้องรมยางหลังการปรับปรุง ครั้งที่ 4 (ต่อ)

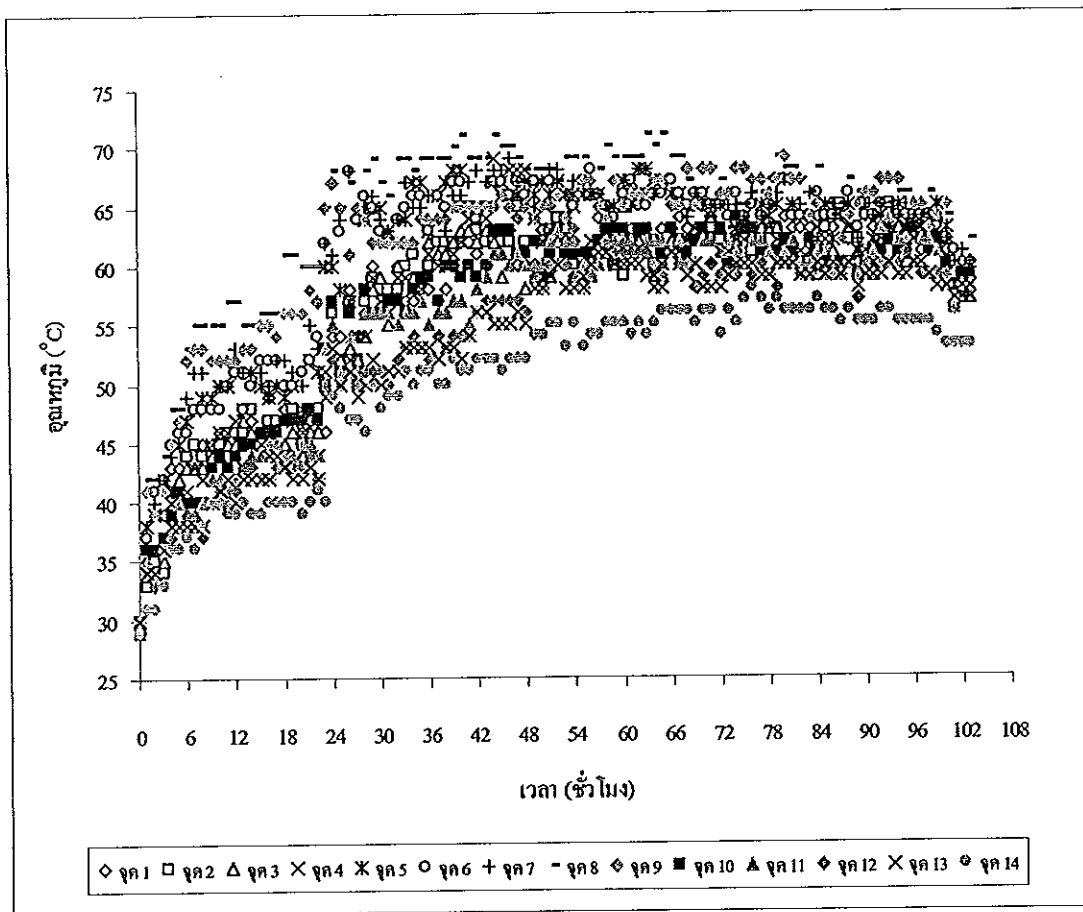
เวลา (hr)	อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ภายในห้องรมยาง (°C)													หน้าห้อง
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
27	54	52	52	51	54	64	65	65	65	50	51	50	49	47
28	56	57	54	54	64	66	65	68	64	58	56	51	50	46
29	60	59	58	59	65	65	66	69	62	56	56	51	52	50
30	58	58	59	57	65	63	64	67	62	56	56	51	50	48
31	58	58	55	56	63	62	63	66	62	57	56	50	51	49
32	60	58	60	59	62	64	64	69	62	57	55	52	51	49
33	57	60	56	59	64	65	67	69	62	56	56	53	53	51
34	57	61	59	58	67	66	65	68	62	58	56	54	53	50
35	58	59	59	58	67	66	65	69	64	59	57	53	53	51
36	58	60	62	61	63	63	66	69	64	59	55	52	53	51
37	57	62	61	60	66	66	64	69	64	57	56	54	52	50
38	58	62	61	60	67	65	63	69	64	60	56	53	53	50
39	60	62	62	61	68	67	66	70	65	60	57	54	53	52
40	62	65	63	62	68	67	66	71	65	59	57	54	52	51
41	62	65	63	64	65	65	67	69	65	60	55	54	54	51
42	61	63	62	64	64	64	68	69	65	59	58	56	56	52
43	60	62	63	64	65	65	67	69	65	60	59	57	56	52
44	63	62	62	69	67	67	68	71	65	63	61	57	55	52
45	62	62	59	67	66	67	68	70	66	63	61	57	55	51
46	63	62	60	68	66	66	69	70	65	63	60	57	55	52
47	60	65	61	68	66	67	67	69	64	61	61	57	56	52
48	60	62	58	68	67	66	67	68	65	61	60	56	55	52
49	60	62	59	64	66	67	65	68	64	62	60	59	58	54
50	63	62	59	62	67	65	65	68	65	59	60	58	58	54
51	63	63	59	63	66	67	68	68	65	61	62	60	59	55
52	64	64	62	63	67	66	68	67	66	63	63	60	60	55
53	62	63	62	64	66	64	66	69	64	61	62	60	58	53

ตารางที่ ผฎ.4 อุณหภูมิภายในห้องรมยางหลังการปรับปรุง ครั้งที่ 4 (ต่อ)

เวลา (hr)	อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ภายในห้องรมยาง (°C)													หน้าห้อง
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
54	62	60	59	65	66	65	67	69	63	61	62	59	58	55
55	60	59	60	59	66	67	67	69	67	61	60	58	58	53
56	60	60	59	62	66	68	67	66	67	61	60	59	60	54
57	64	62	60	62	66	66	66	68	65	62	60	61	61	54
58	64	62	61	62	62	65	65	70	64	63	62	62	61	55
59	61	60	60	63	65	64	67	69	67	63	62	61	60	55
60	60	59	65	66	67	66	67	69	65	63	62	61	60	55
61	63	62	62	66	67	67	65	69	66	62	62	61	60	54
62	63	62	62	66	68	65	68	69	66	63	61	61	60	55
63	63	62	61	66	68	65	68	71	66	63	62	61	59	54
64	62	60	59	58	67	66	66	70	67	62	62	60	59	55
65	63	60	59	58	67	66	67	71	67	61	62	59	60	56
66	63	63	62	61	66	67	65	69	65	63	61	61	61	56
67	64	65	61	60	66	66	65	69	65	62	62	60	61	56
68	63	61	62	62	65	65	64	67	68	61	60	60	59	56
69	62	62	63	63	65	66	66	65	65	62	60	58	60	55
70	63	62	62	62	66	66	65	68	68	63	62	59	58	56
71	64	63	64	64	65	65	65	68	68	62	62	60	58	56
72	62	62	63	61	65	65	65	67	66	63	61	59	58	54
73	60	60	62	61	62	64	65	63	66	60	62	59	59	56
74	61	60	62	62	63	66	65	65	68	64	61	59	60	55
75	64	63	63	62	64	64	64	65	68	63	60	60	60	57
76	62	61	63	60	63	65	66	66	67	63	62	59	60	58
77	63	62	63	61	65	64	64	66	67	61	62	60	59	57
78	63	61	63	63	64	65	65	67	66	61	61	59	59	56
79	63	63	63	62	65	67	66	69	67	61	60	58	60	57
80	64	61	62	62	67	67	67	68	69	62	61	60	60	56

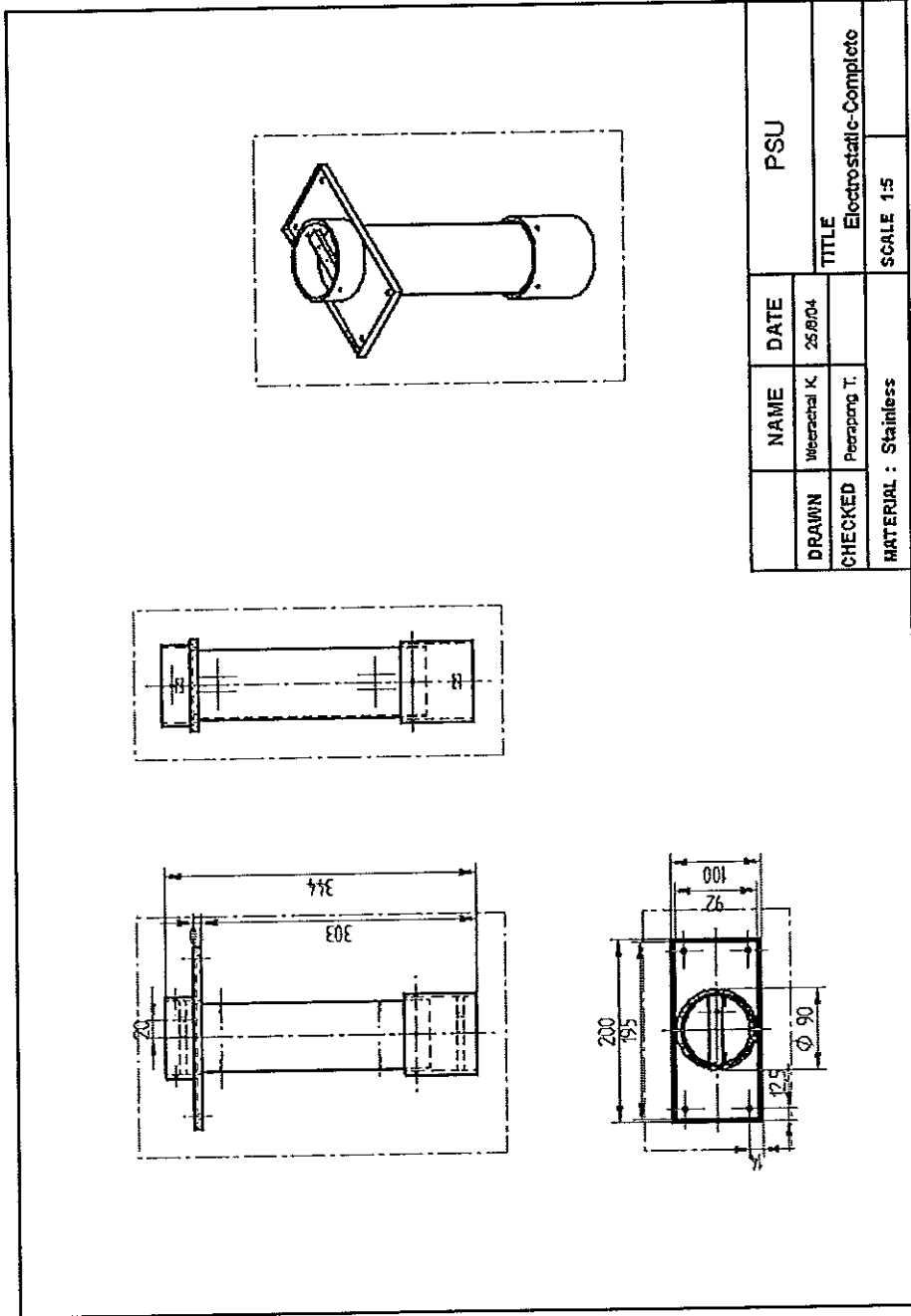
ตารางที่ ผฏ.4 อุณหภูมิภายในห้องรมยางหลังการปรับปรุง ครั้งที่ 4 (ต่อ)

เวลา (hr)	อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ภายในห้องรมยาง (°C)													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	หน้าห้อง
81	63	61	60	61	65	64	65	68	67	61	62	60	60	56
82	63	60	60	61	64	64	65	67	67	60	60	59	59	56
83	63	60	60	61	61	64	66	66	64	62	60	59	59	56
84	64	61	59	63	62	66	65	68	65	61	61	60	60	57
85	63	63	60	62	65	64	65	65	61	60	59	59	59	56
86	63	64	61	60	62	64	65	64	60	60	60	59	60	56
87	64	65	59	60	64	64	64	65	62	60	59	59	59	55
88	62	62	63	63	65	66	65	67	64	60	60	60	60	56
89	60	62	61	61	61	63	62	66	65	59	59	57	58	55
90	64	65	60	61	64	64	65	66	66	60	60	60	59	55
91	63	60	59	60	62	64	64	65	66	61	61	59	59	55
92	63	61	62	62	64	65	65	67	67	61	63	60	59	56
93	65	65	62	60	63	64	63	65	67	62	64	60	60	56
94	63	62	63	61	65	64	64	66	67	61	62	60	59	55
95	64	62	60	62	63	64	65	66	62	61	61	61	59	55
96	63	63	63	62	64	64	64	65	65	63	60	60	60	55
97	61	62	63	60	63	64	64	64	65	62	62	59	60	55
98	61	61	63	59	63	64	64	66	63	61	62	59	59	55
99	62	61	64	62	65	63	62	65	64	62	61	59	58	54
100	61	59	62	60	63	62	62	64	65	60	59	58	58	53
101	58	56	59	57	58	61	60	59	59	58	57	56	57	53
102	60	58	57	57	59	59	61	58	59	59	58	58	58	53
103	60	59	57	57	59	59	60	62	59	59	58	58	58	53

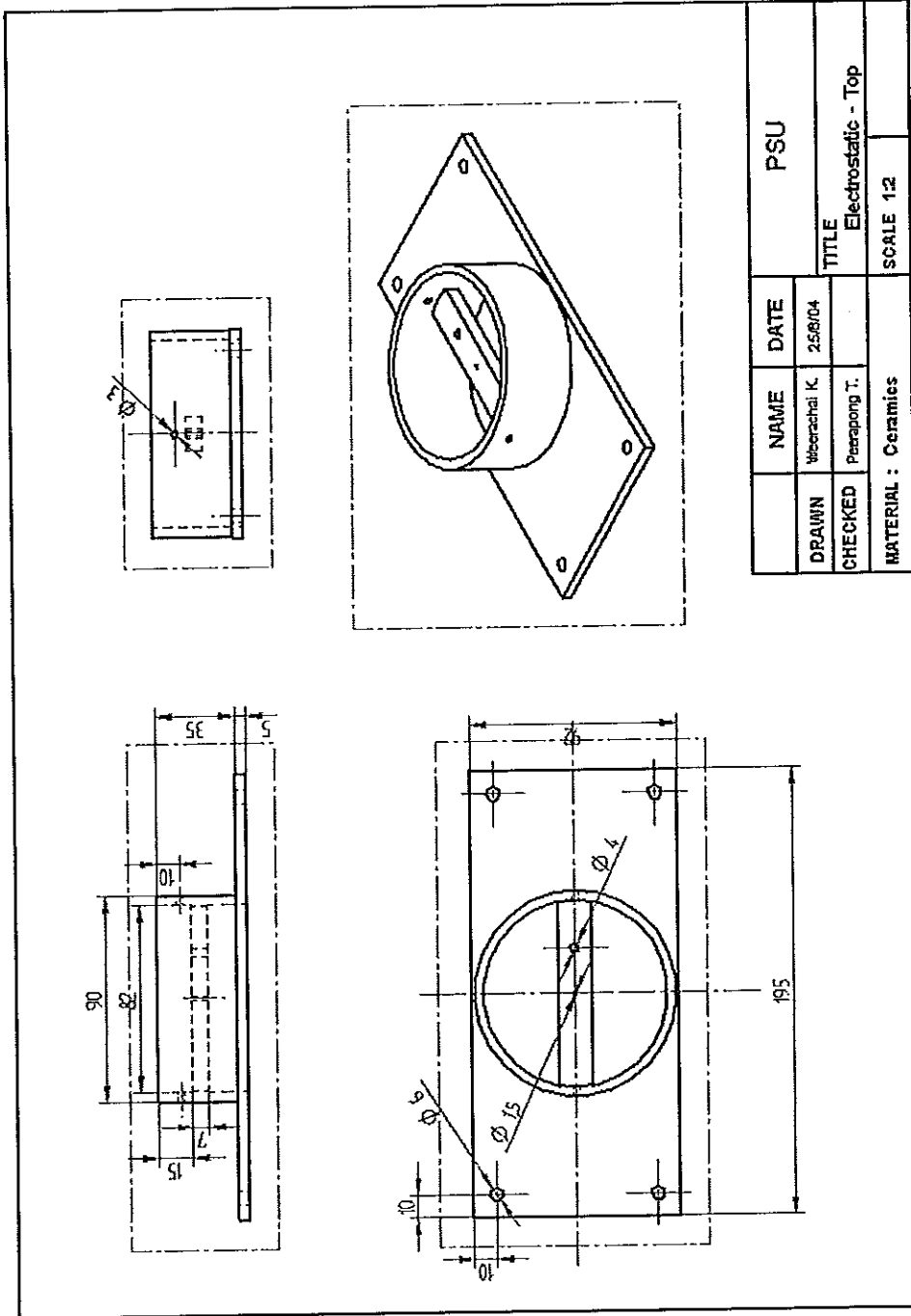


รูปที่ ๓. ๔ อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆของห้องรมยางหลังการปรับปรุง ครั้งที่ 4

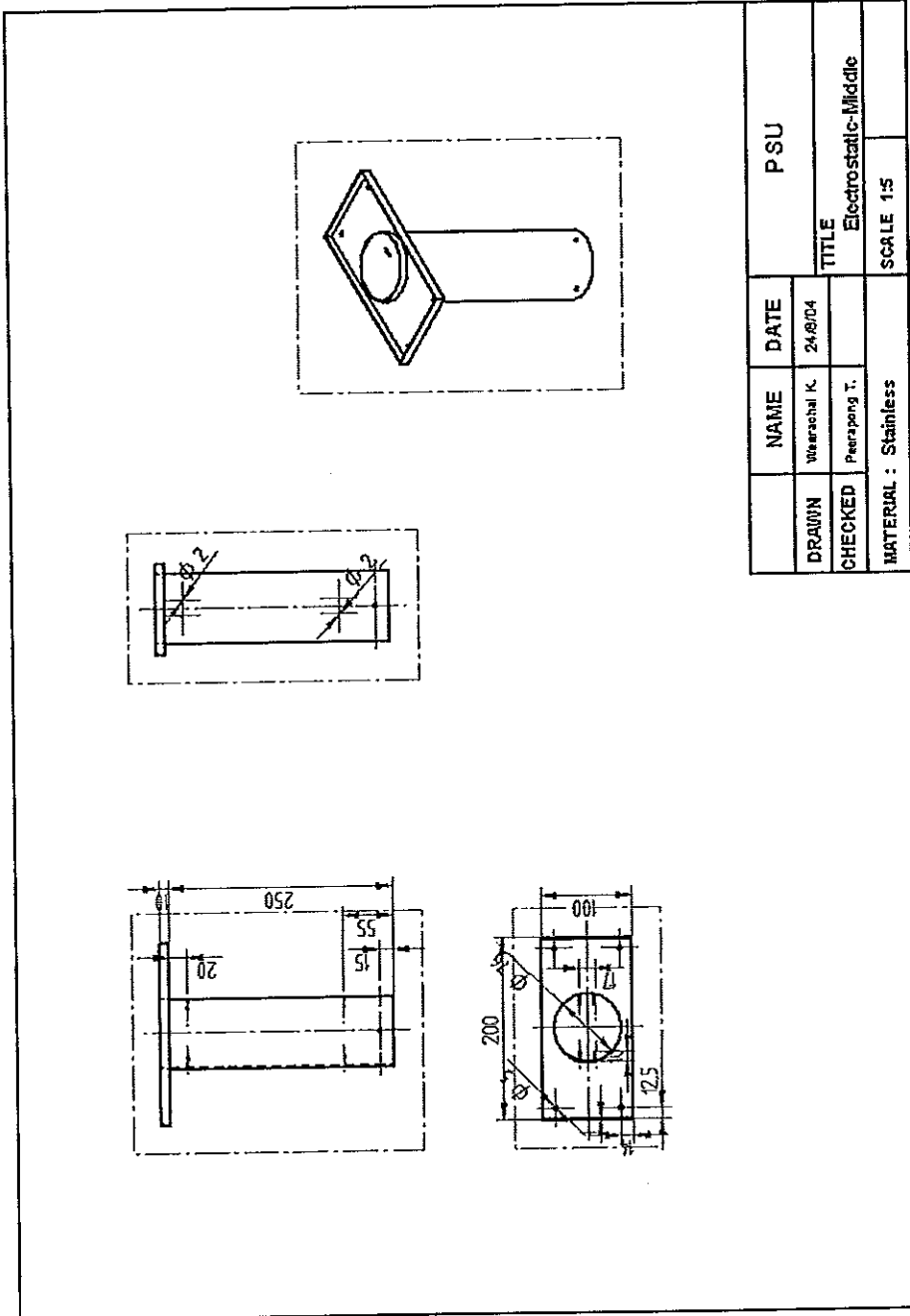
ภาคผนวก ข
รูปร่างและขนาดของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต



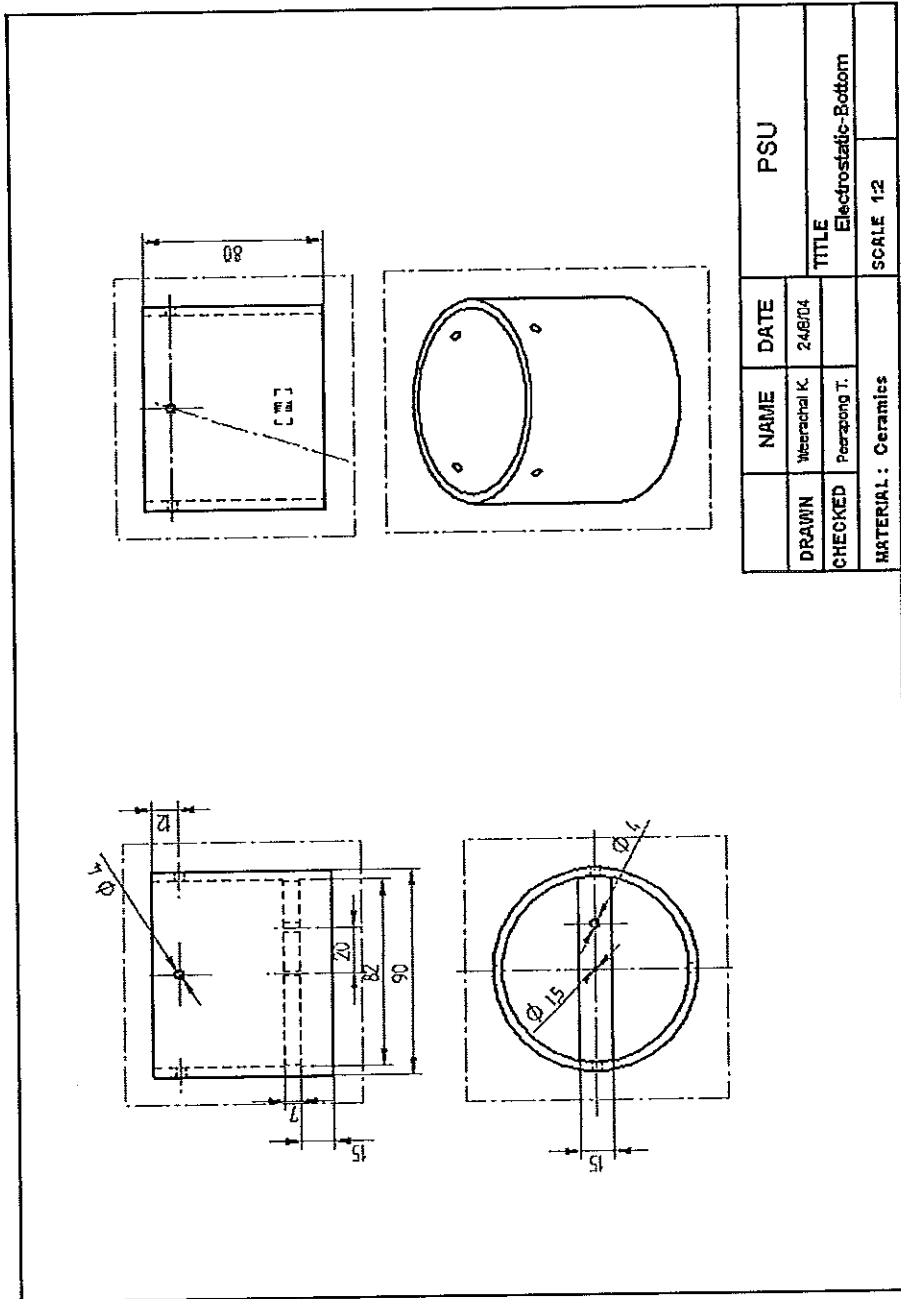
รูปที่ ผฐ.1 แบบของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต



รูปที่ ผฐ.2 แบบคำนวณของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต (ด้านบน)



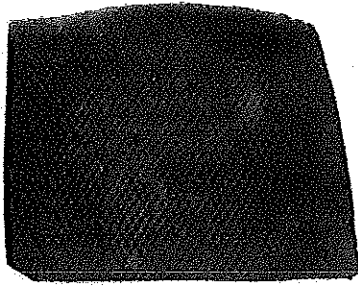
รูปที่ ผฐ.3 แบบของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต (ตรงกลาง)



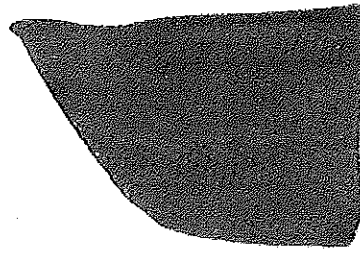
รูปที่ ผฐ.4 แบบคำนวณของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต (ค้ำกลาง)

ภาคผนวก ท

วางแผนรวมวันจากห้องรวมก่อนและหลังจากทำการปรับปรุง

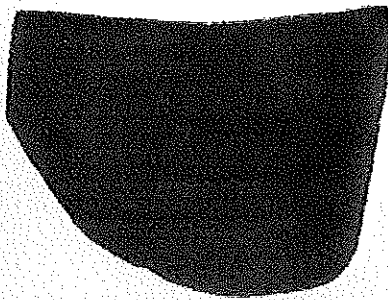


ห้องรมเก่า

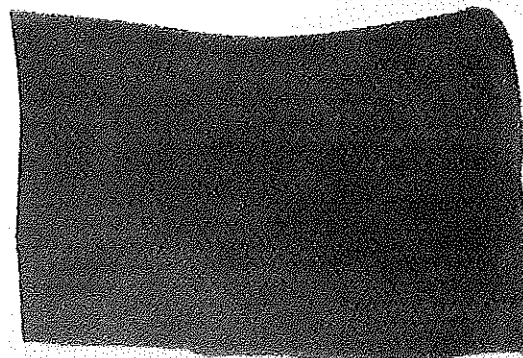


ห้องรมใหม่ ไม่ได้ใช้ ESP

รูปที่ ผท. 1 ยางแผ่นรมควันจากห้องรมก่อนการปรับปรุงและหลังจากทำการปรับปรุง
และไม่ได้ใช้เครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตคัดจับอนุภาคเขม่าควัน ครั้งที่ 1

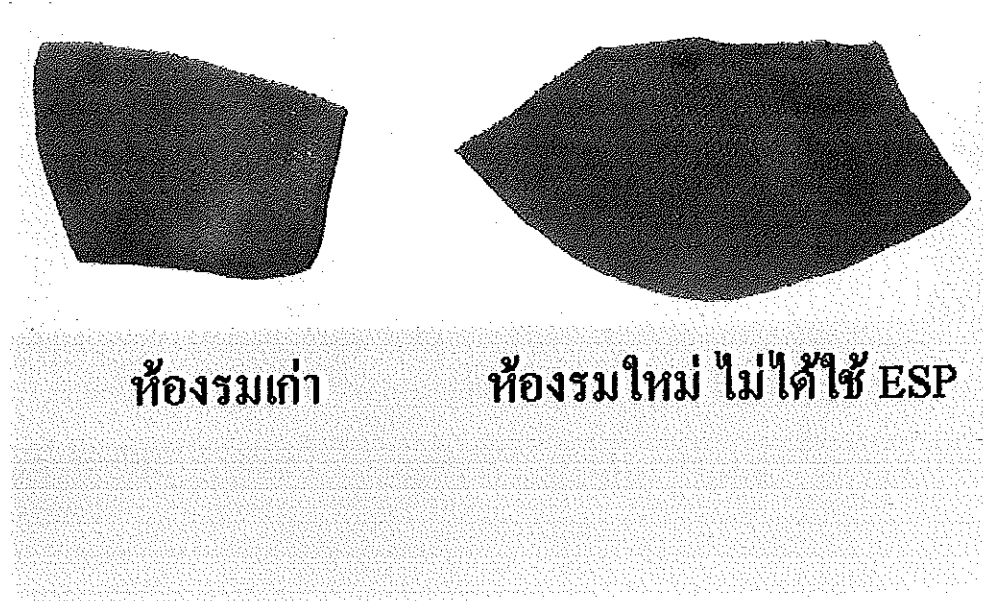


ห้องรมเก่า

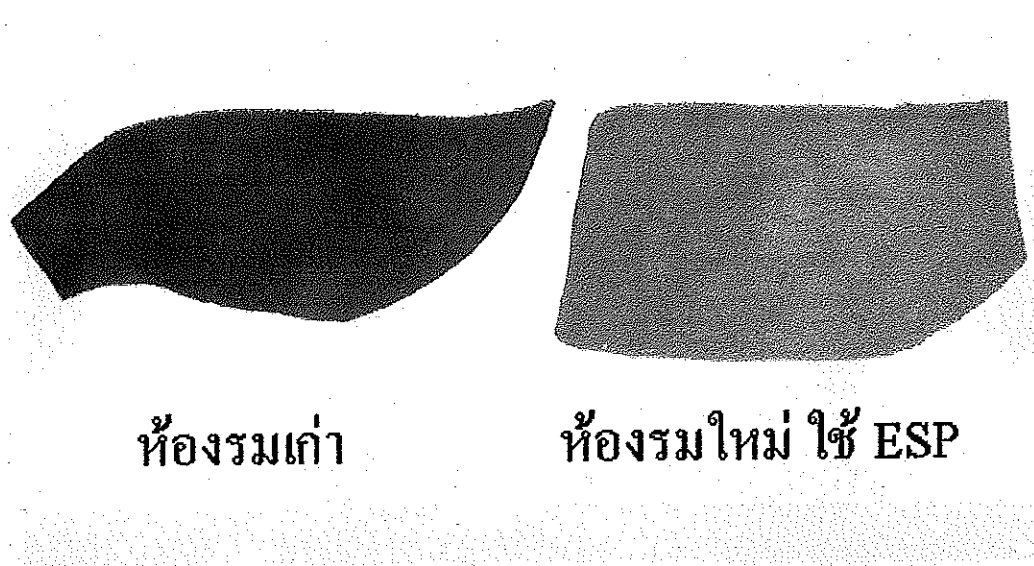


ห้องรมใหม่ ไม่ได้ใช้ ESP

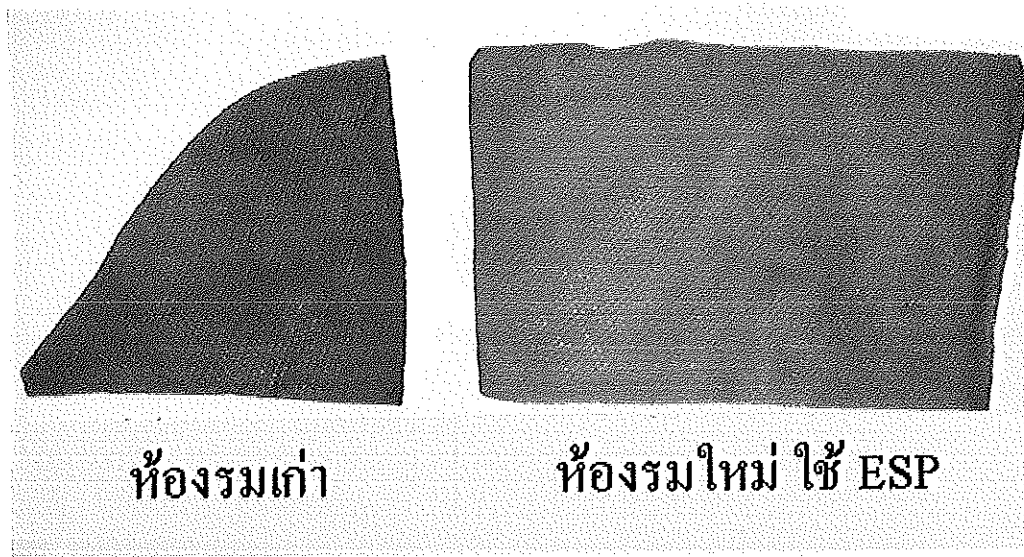
รูปที่ ผท. 2 ยางแผ่นรมควันจากห้องรมก่อนการปรับปรุงและหลังจากทำการปรับปรุง
และไม่ได้ใช้เครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตคัดจับอนุภาคเขม่าควัน ครั้งที่ 2



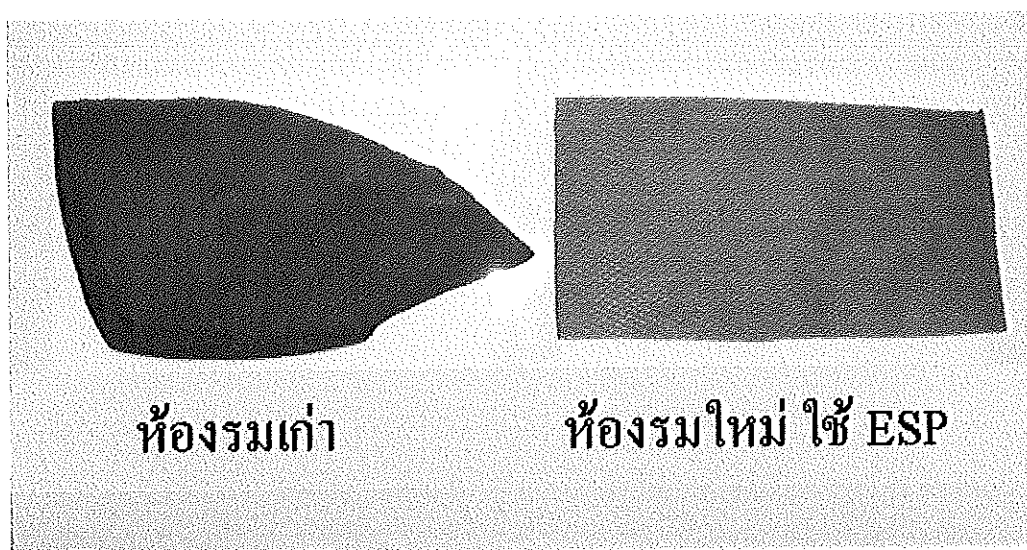
รูปที่ ผท. 3 ขางแผ่นรมควันจากห้องรมก่อนการปรับปรุงและหลังจากทำการปรับปรุง
และไม่ได้ใช้เครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตดักจับอนุภาคเขม่าควัน ครั้งที่ 3



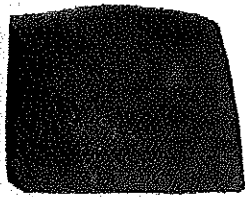
รูปที่ ผท. 4 ขางแผ่นรมควันจากห้องรมก่อนการปรับปรุงและหลังจากทำการปรับปรุง
และใช้เครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตเป็นตัวดักจับอนุภาคเขม่าควัน ครั้งที่ 1



รูปที่ ผท. 5 ยางแผ่นรมควีนจากห้องรมก่อนการปรับปรุงและหลังจากทำการปรับปรุง และใช้เครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตเป็นตัวดักจับอนุภาคเขม่าควัน ครั้งที่ 2



รูปที่ ผท. 6 ยางแผ่นรมควีนจากห้องรมก่อนการปรับปรุงและหลังจากทำการปรับปรุง และใช้เครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตเป็นตัวดักจับอนุภาคเขม่าควัน ครั้งที่ 3

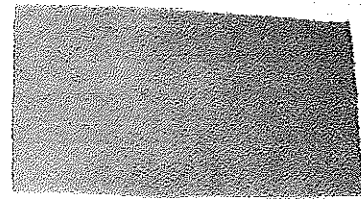


ห้องรมเก่า



ห้องรมใหม่

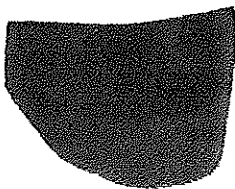
ไม่ได้ใช้ ESP



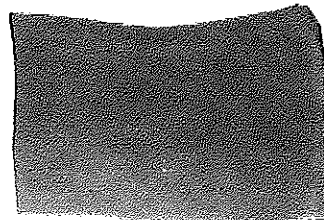
ห้องรมใหม่

ใช้ ESP

รูปที่ ผท. 7 ข้างแผ่นรมควันจากห้องรมก่อนการปรับปรุงและหลังจากทำการปรับปรุง
ในกรณีไม่ใช้และใช้เครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตคัดจับอนุภาคเขม่าควัน ครั้งที่ 1

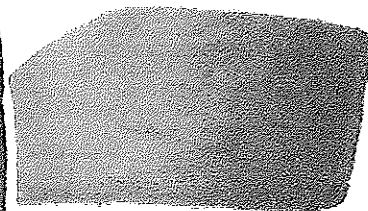


ห้องรมเก่า



ห้องรมใหม่

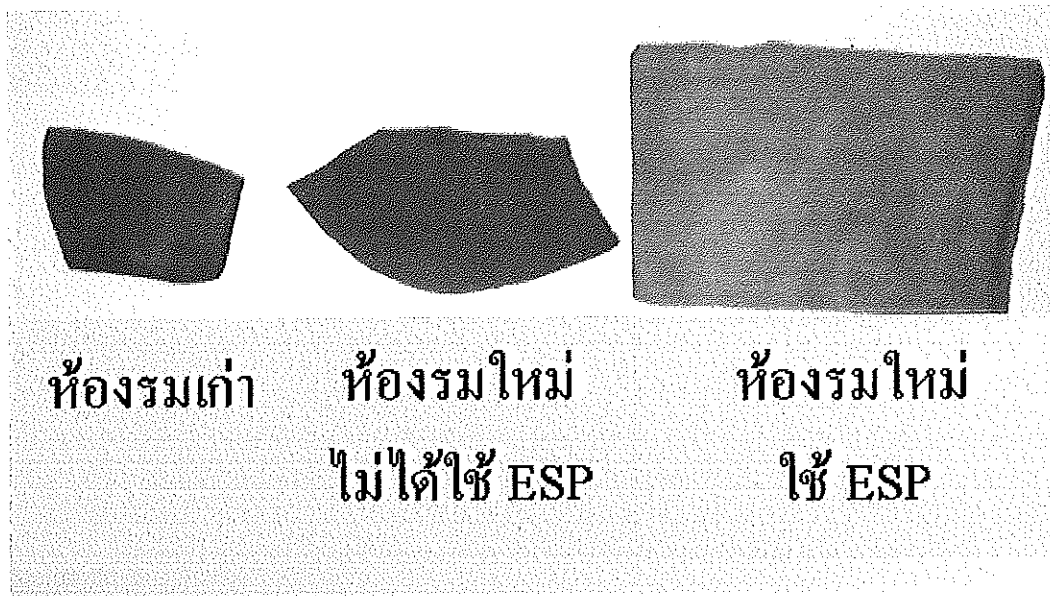
ไม่ได้ใช้ ESP



ห้องรมใหม่

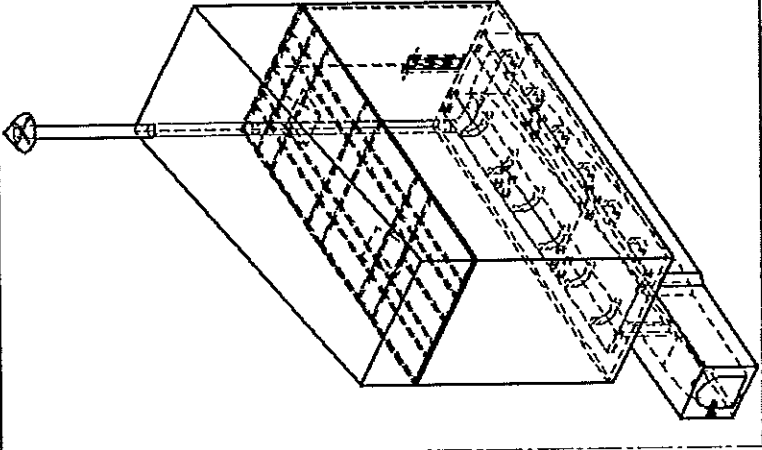
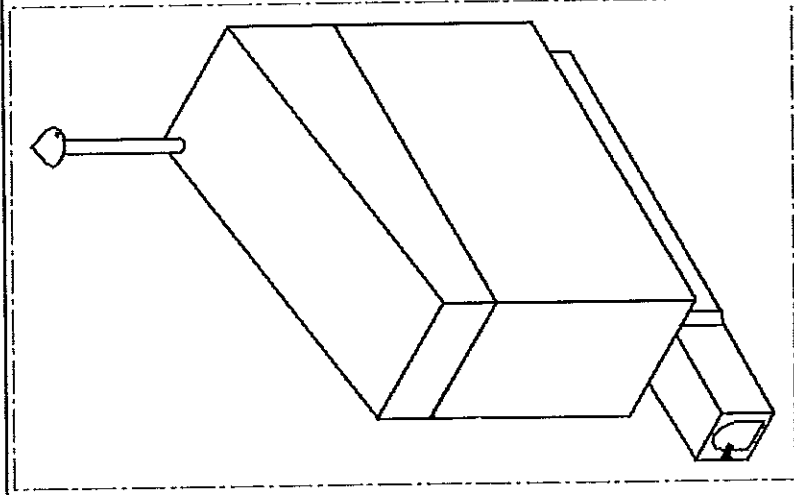
ใช้ ESP

รูปที่ ผท. 8 ข้างแผ่นรมควันจากห้องรมก่อนการปรับปรุงและหลังจากทำการปรับปรุง
ในกรณีไม่ใช้และใช้เครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตคัดจับอนุภาคเขม่าควัน ครั้งที่ 2

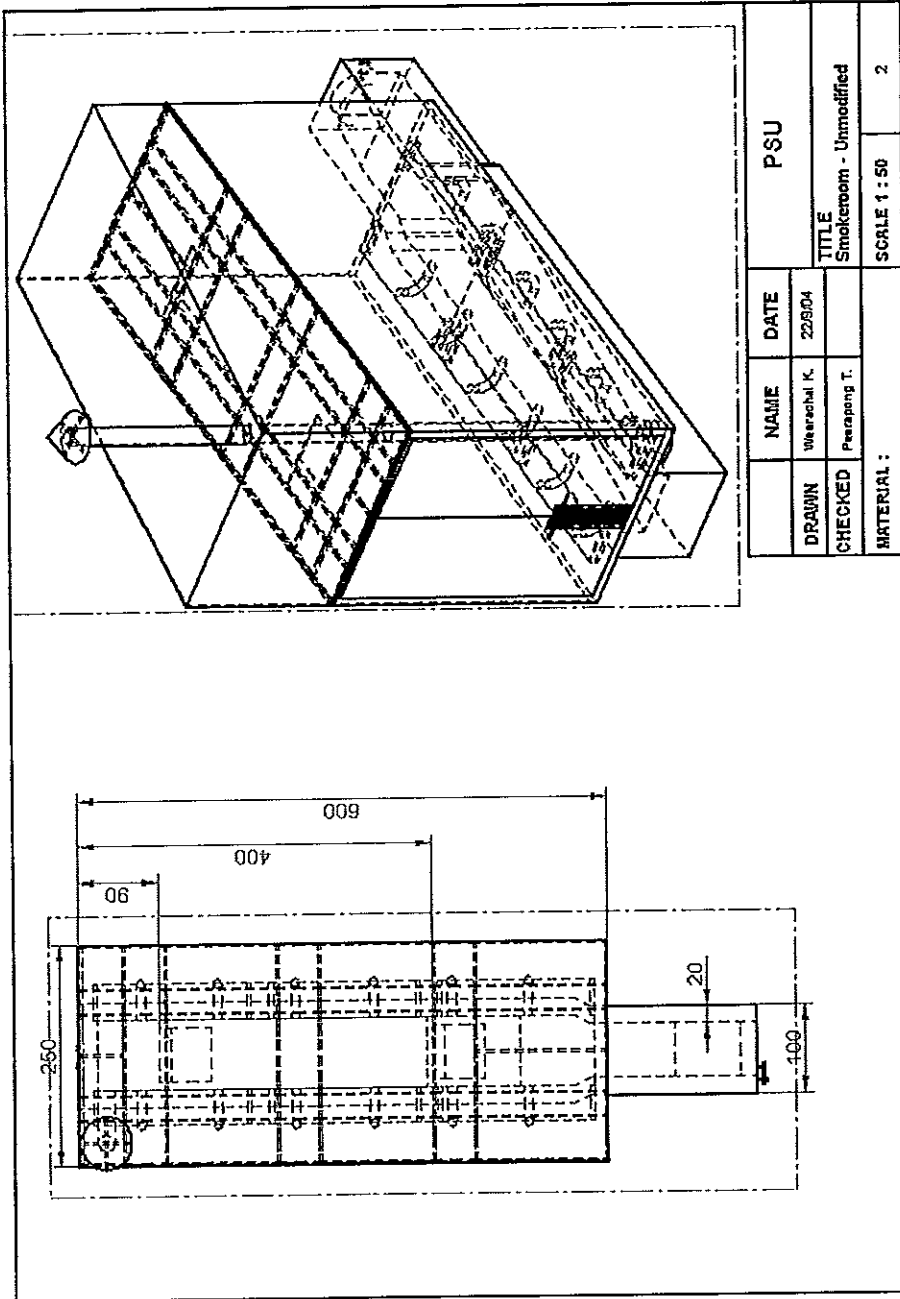


รูปที่ ผศ. 9 งามแผ่นรมควันจากห้องรมก่อนการปรับปรุงและหลังจากทำการปรับปรุง
ในกรณีไม่ใช้และใช้เครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตดักจับอนุภาคเขม่าควัน ครั้งที่ 3

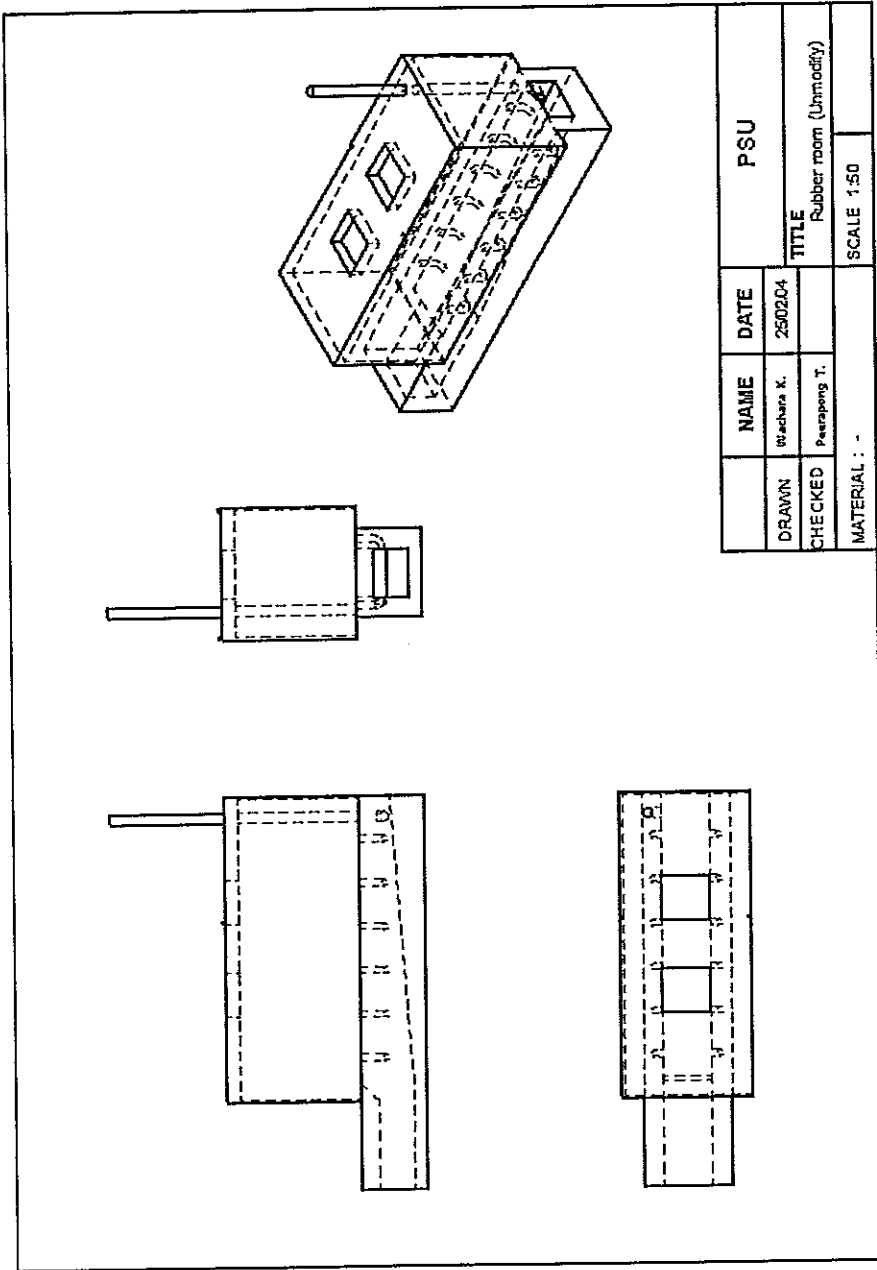
ภาคผนวก ค
รูปร่างและขนาดของห้องรมยงก่อนการปรับปรุง

		PSU	
		NAME	DATE
DRAWN	Weerathai K.	22/2/04	TITLE
CHECKED	Peerapong T.		Smokeroom - UNmodified ISO
MATERIAL :		SCALE	Back

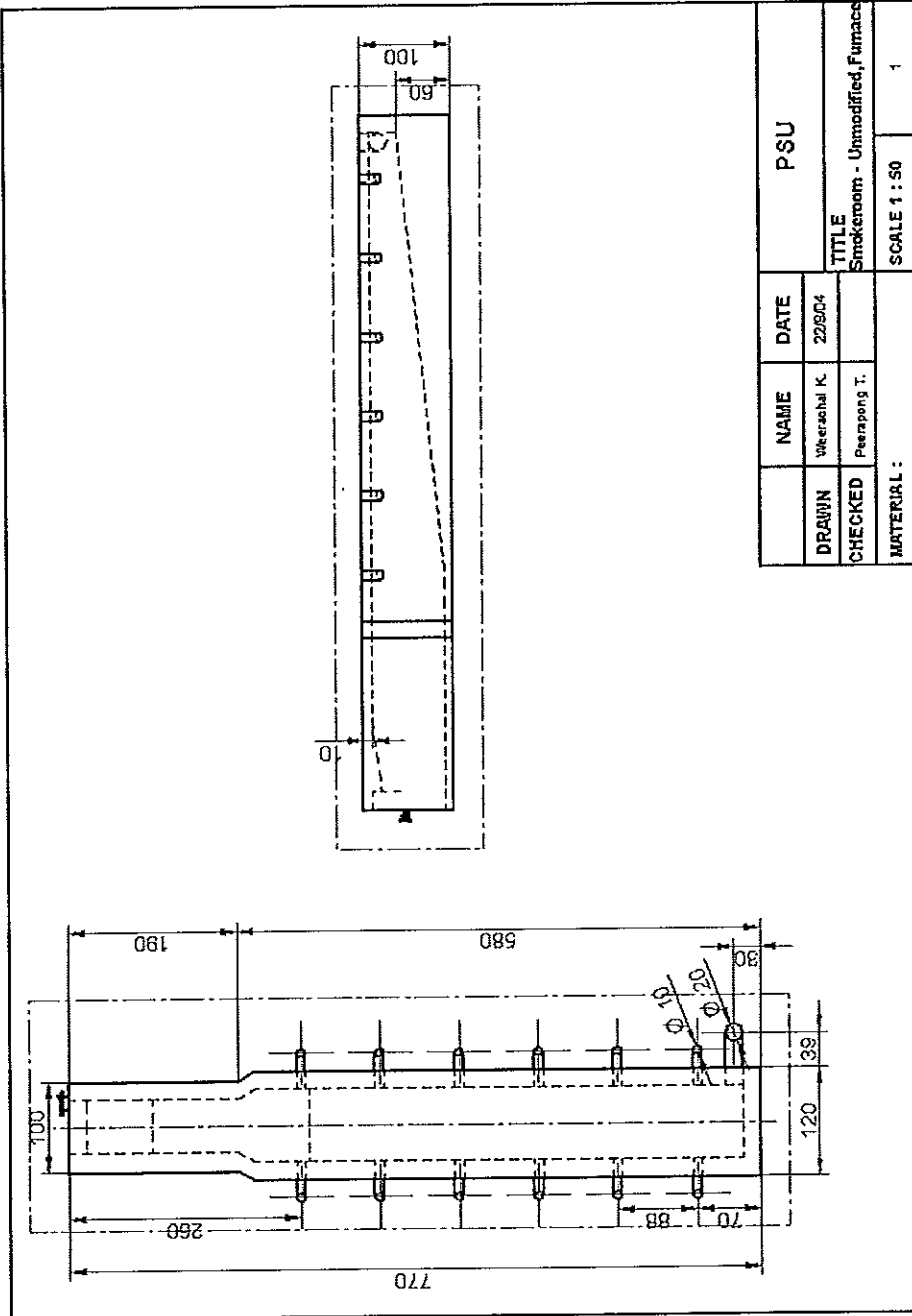
รูปที่ ผม.1 แบบของห้องรมยา รุ่นปี 2537



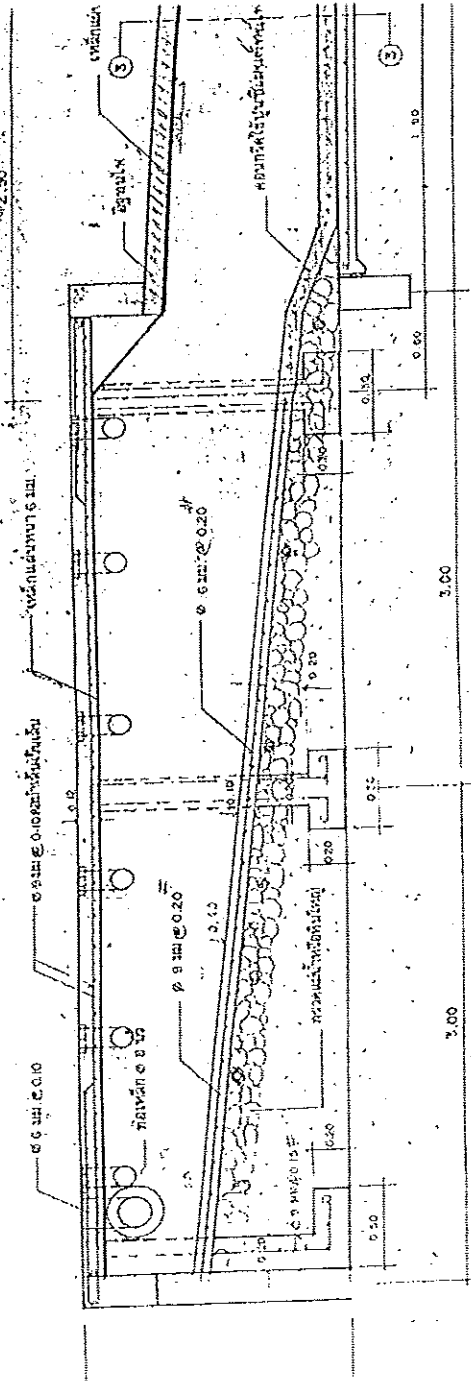
รูปที่ ผท.2 แบบของห้องรมยา รุ่นที่ 2537



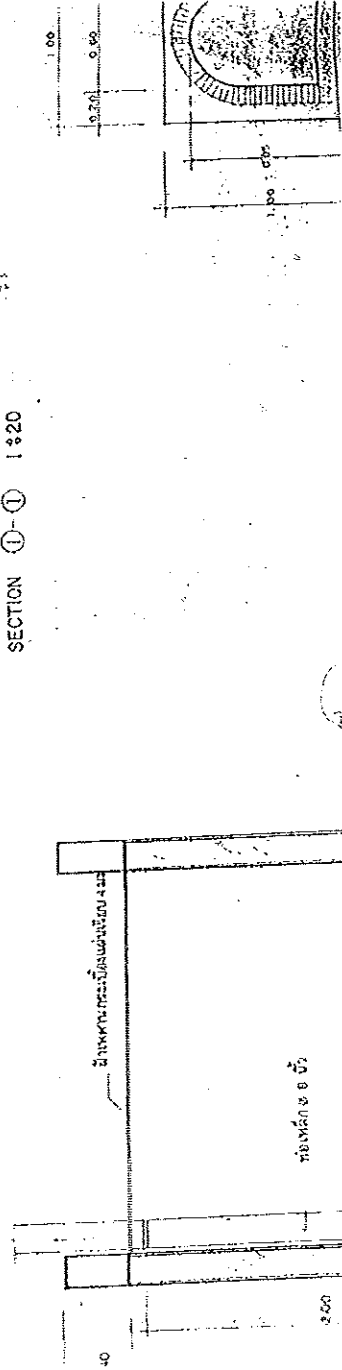
รูปที่ ผต.3 ภาพฉายของห้องรมยางรุ่นปี 2537



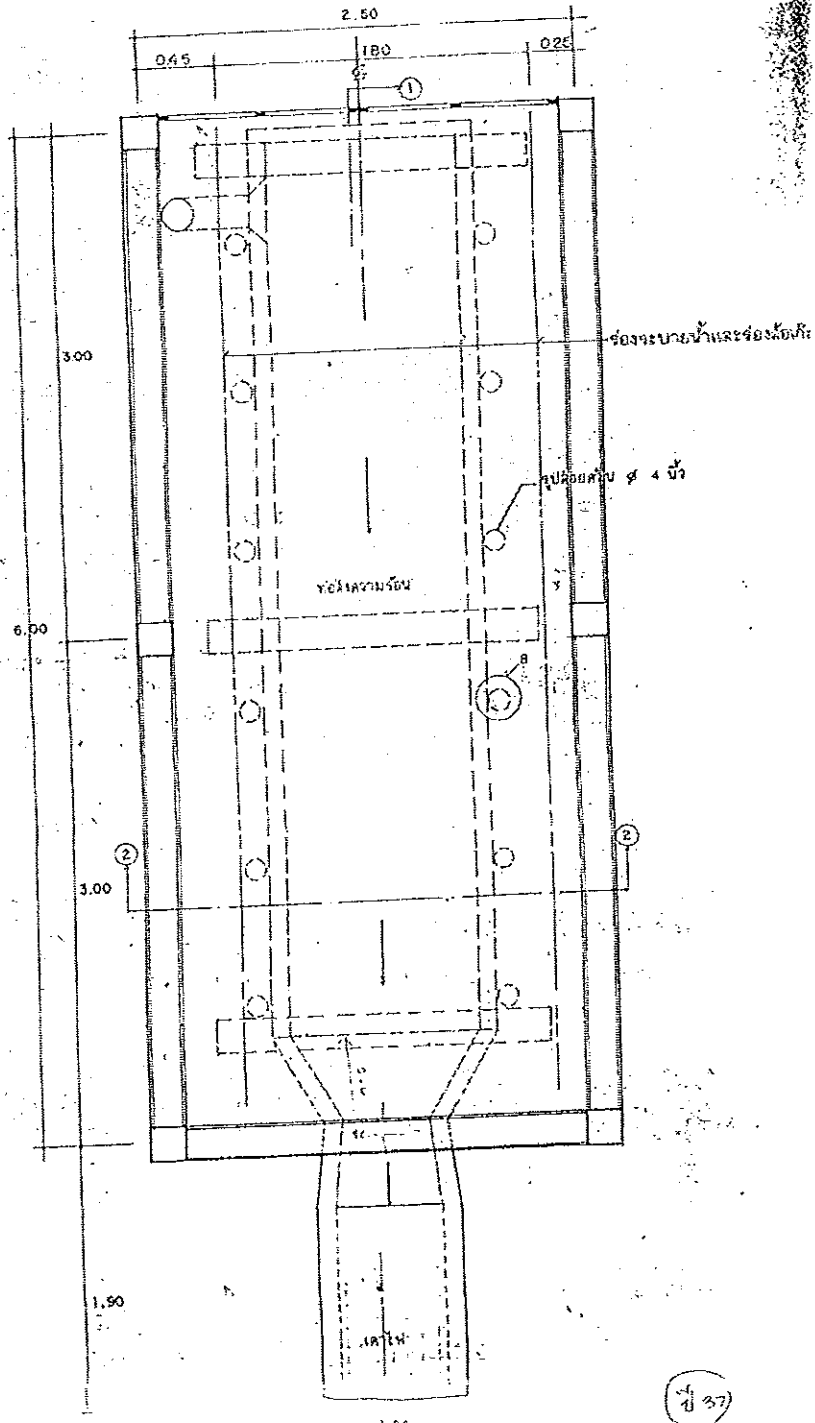
รูปที่ ผณ.4 แบบของเตาของห้องรมยารุ่นปี 2537



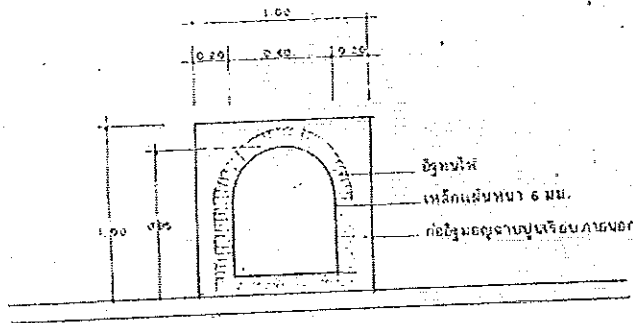
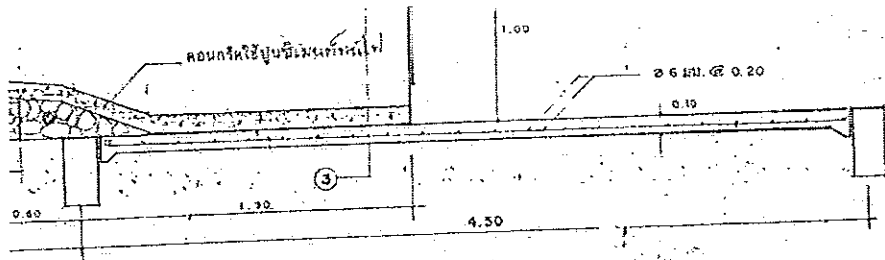
SECTION ①-① 1:20



รูปที่ ผด.5 แบบของเตาของห้องรมยางรุ่นปี 2537

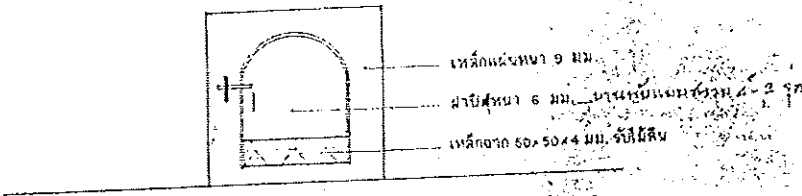


รูปที่ ผด.6 ภาพด้านบนของห้องรมยางรุ่นปี 2537



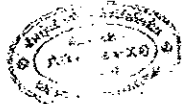
DETAIL

SECTION ③-③ 18 20



FRONT VIEW 18 20

หนา 4 มม. รวมค้ำกัน
เหล็กเส้นทรง ยี่ห้อ Ca-01C ระบายค้ำกัน
/ มม. 1 จุด ต่อข้างหน้าค้ำค้ำช่องค้ำกัน



0/25



Handwritten signature or initials.

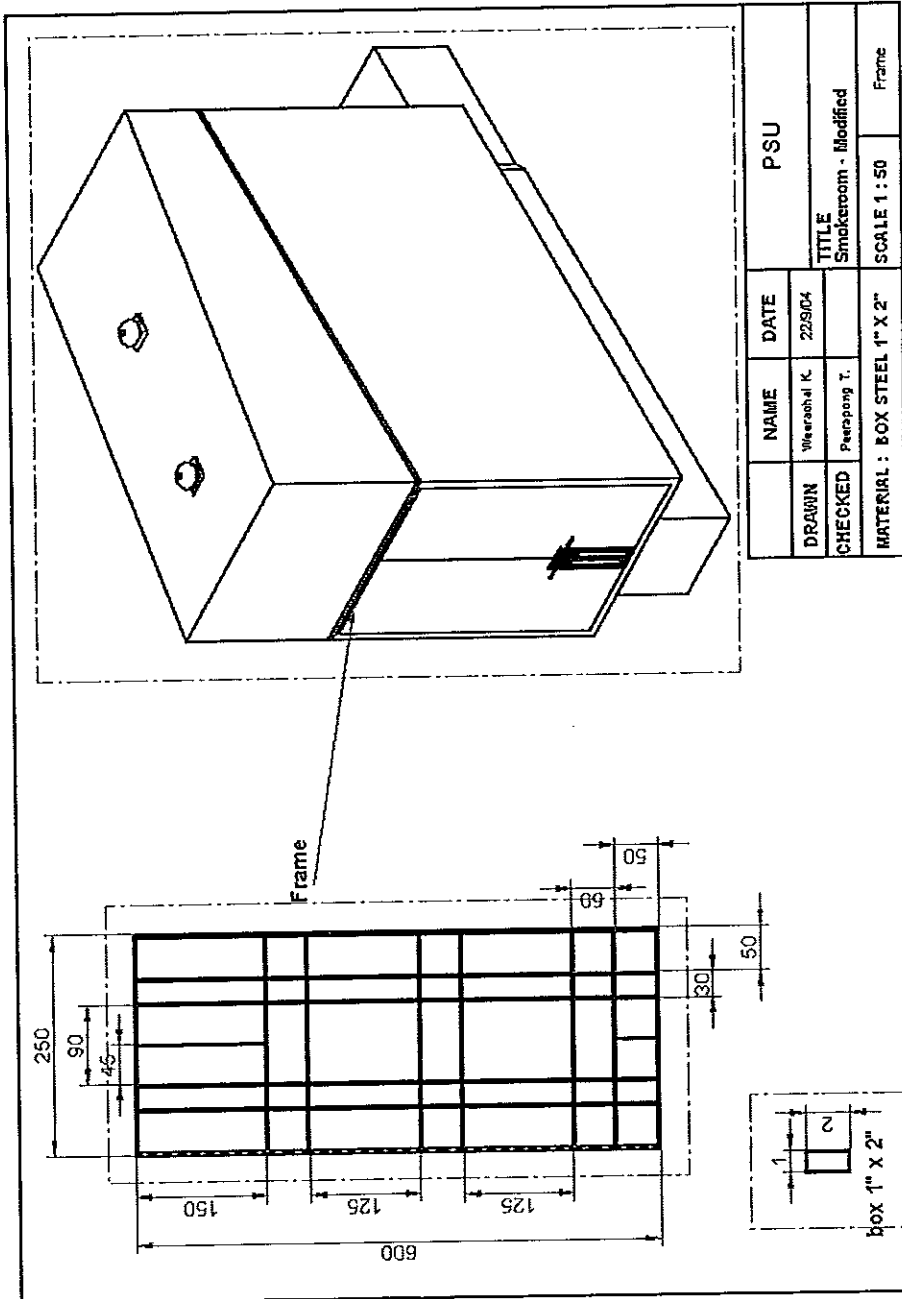
แบบขยายนี้

และถือเป็นที่กำหนด

ปี 37

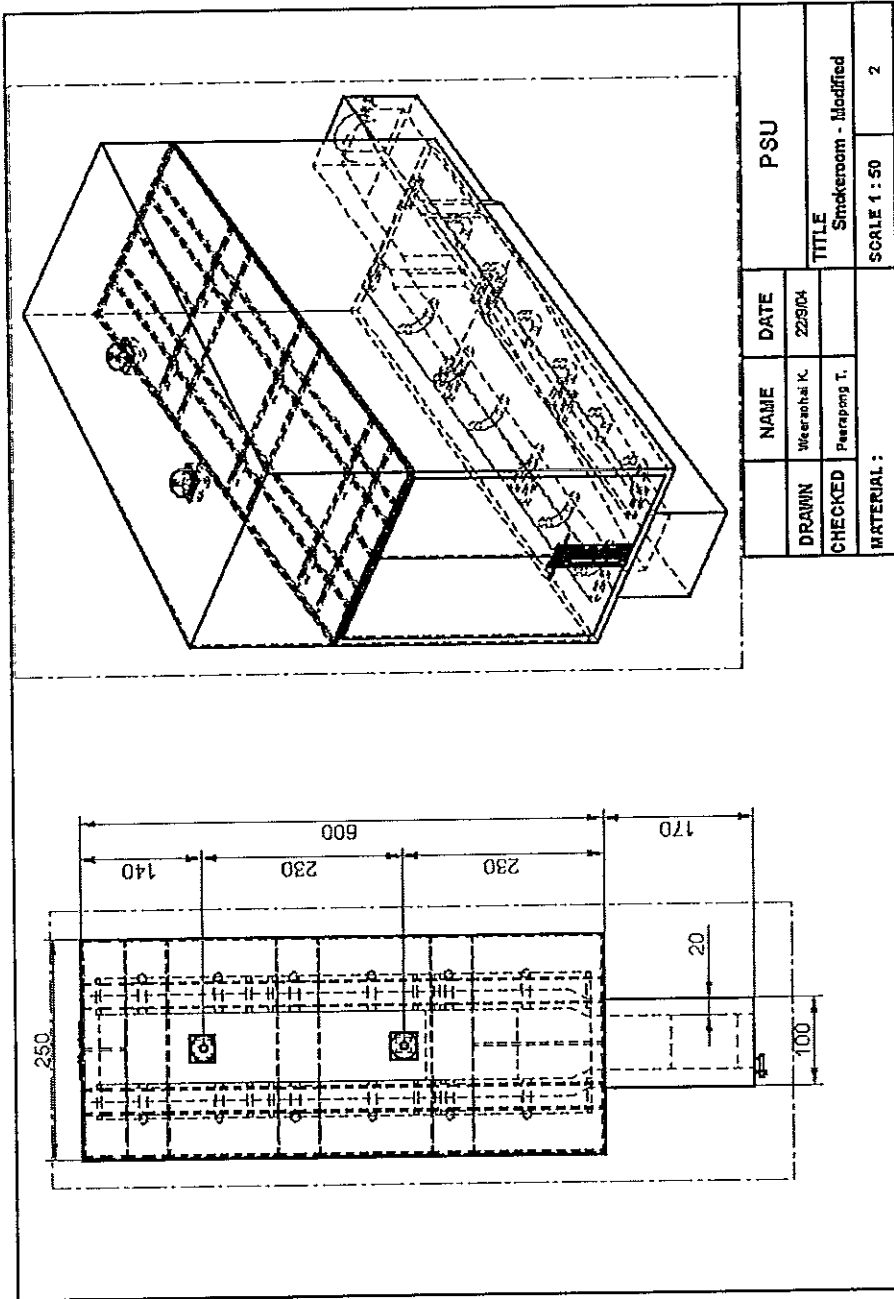
รูปที่ ผศ.8 ภาพตัดของเตาและห้องส่งความร้อนของห้องรมยางรุ่นปี 2537

ภาคผนวก ฅ
รูปร่างและขนาดของห้องรมยางหลังการปรับปรุง

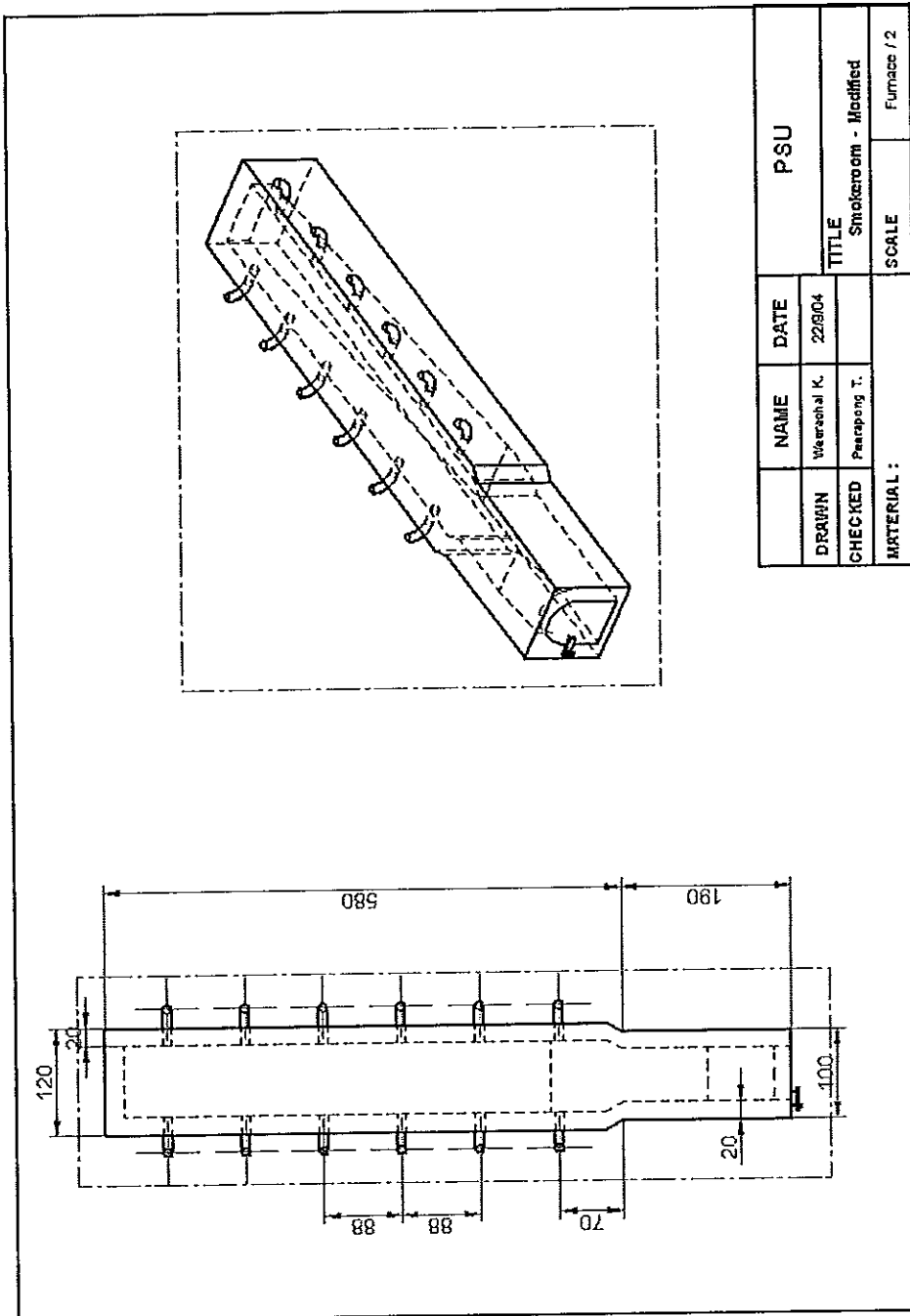


รูปที่ ผณ.1 แบบของห้องรมยาหลังการปรับปรุง

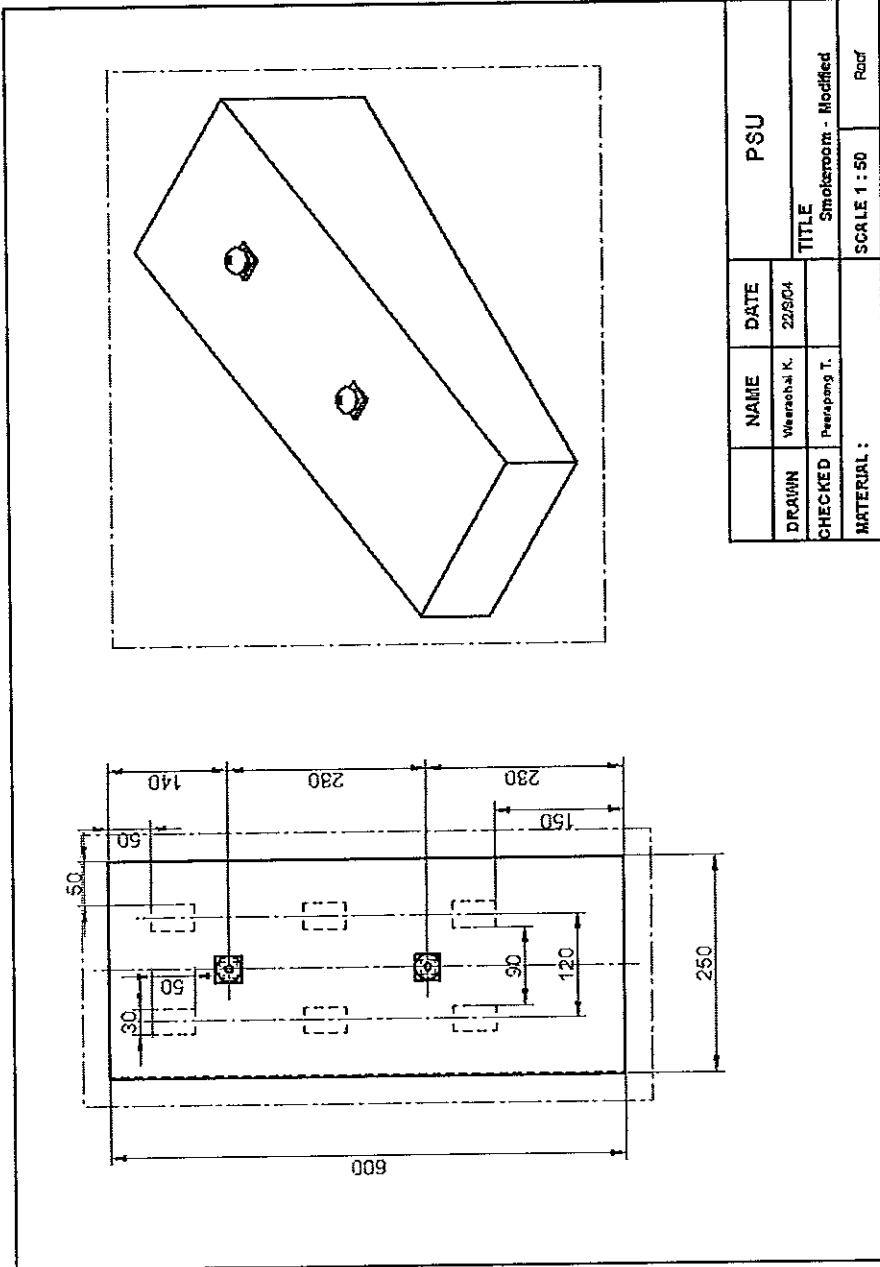
DRAWN		NAME	DATE	PSU	
CHECKED		Werasahai K.	22/9/04	TITLE	
		Peepong T.		Smokeroom - Modified	
		MATERIAL : BOX STEEL 1" X 2"		SCALE 1 : 50	Frame



รูปที่ ผณ.2 แบบงานระบายความชื้นของห้องรมยางหลังการปรับปรุง



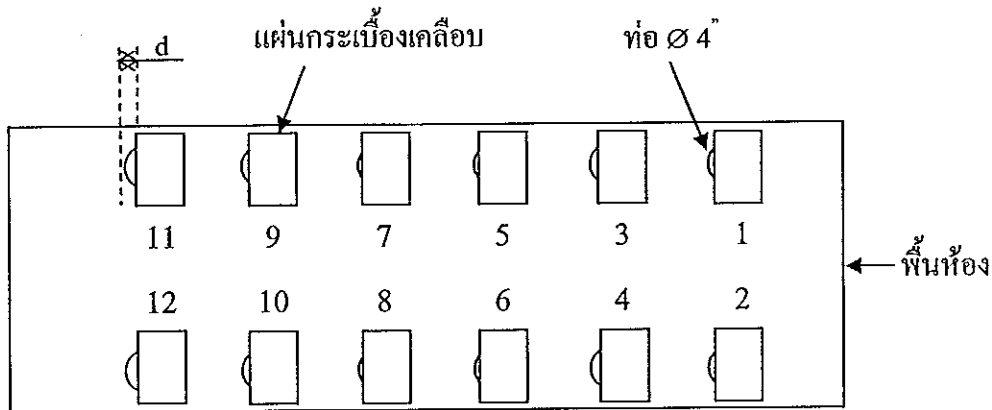
รูปที่ ผณ.3 แบบของตาของห้องรมยางหลังการปรับปรุง



รูปที่ ผณ.4 แบบของหลังคาของห้องรมยาลงการปรับปรุง



รูปที่ ผณ.5 เครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตภายในห้องรมยางหลังการปรับปรุง



รูปที่ ผณ.6 ระยะการเปิดท่อส่งแก๊สร้อนขนาด 4 นิ้ว ที่พื้นห้องรมยาง

ตารางที่ ผณ. 1 ระยะการเปิดท่อส่งแก๊สร้อนขนาด 4 นิ้ว ที่พื้นห้องรมยาง ณ. ตำแหน่งต่างๆ (ดูรูปที่ ผณ.6) ในระหว่างการทดสอบรมยางในห้องรมยางหลังจากการปรับปรุง

ตำแหน่งที่	d (cm)
1	1.5
2	1.5
3	2.0
4	2.0
5	1.0
6	1.0
7	1.0
8	1.0
9	2.0
10	2.0
11	3.5
12	3.5