

การออกแบบระบบระบายอากาศที่เหมาะสมสำหรับโรงเรียนเลี้ยงไก่พันธุ์เนื้อ



นายวสันต์ เล่าห์กมล

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

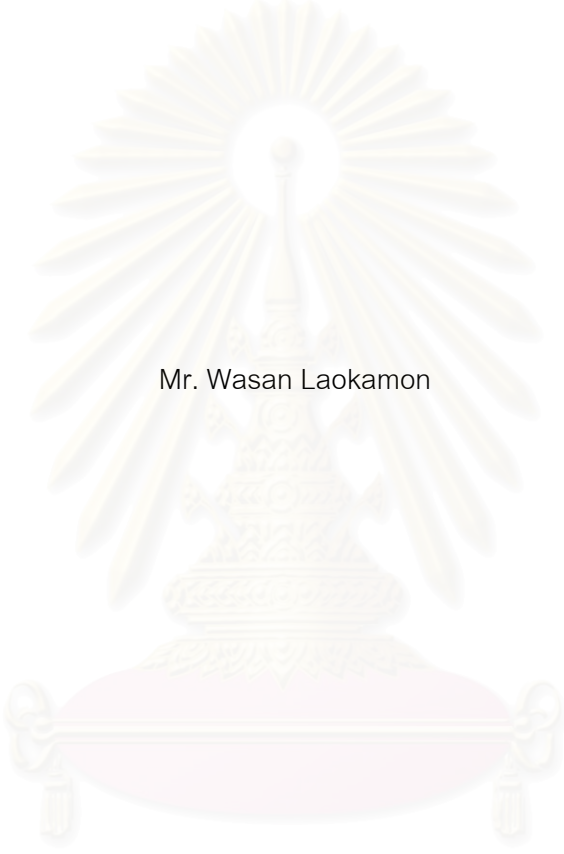
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2547

ISBN 974-17-7175-4

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A DESIGN OF AN APPROPRIATE VENTILATION SYSTEM FOR BROILER HOUSES



Mr. Wasan Laokamon

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering in Mechanical Engineering

Department of Mechanical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2004

ISBN 974-17-7175-4

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การออกแบบระบบระบายอากาศที่เหมาะสมสำหรับโรงเรียนเลี้ยงไก่ พันธุ์เนื้อ
โดย	นายวสันต์ เลาน์กมล
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ตุลย์ มณีวัฒนา

---

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัย  
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(ศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.มานิจ ทองประเสริฐ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ตุลย์ มณีวัฒนา)

..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ฤชากร จิรกาลวสาน)

..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมพงษ์ พุทธิวิสุทธิศักดิ์)

วสันต์ เล่าห์กมล : การออกแบบระบบระบายอากาศที่เหมาะสมสำหรับโรงเรือนเลี้ยงไก่พันธุ์เนื้อ. (A DESIGN OF AN APPROPRIATE VENTILATION SYSTEM FOR BROILER HOUSES) อ. ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ตุลย์ มณีวัฒนา, 150 หน้า. ISBN 974-17-7175-4.

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ทำการศึกษาโรงเรือนเลี้ยงไก่พันธุ์เนื้อระบบปิดในส่วนของ การระบายอากาศภายใน โดยนำโรงเรือนกว้าง 12 เมตรที่พบได้ทั่วไปในประเทศไทยเปรียบเทียบกับโรงเรือนกว้าง 24 เมตร นอกจากนั้นจะตรวจสอบอิทธิพลของตัวแปรโรงเรือนต่างๆ ได้แก่ ความยาวโรงเรือน, ตำแหน่งการวางแผงทำความเย็น, ระยะห่างระหว่างซิงลม และความสูงของซิงลมจากพื้น โดยวิทยานิพนธ์นี้ได้สร้างโปรแกรมสำหรับคำนวณการไหลในสองมิติ เพื่อคำนวณหาความเร็วลมที่ความสูงระดับตัวไก่และความดันตกท้ายโรงเรือนซึ่งไม่รวมความดันตกจากแผงทำความเย็น จากนั้นจะนำผลการคำนวณจากระเบียบวิธีสมดุลความร้อนของวิทยานิพนธ์ที่ศึกษาโรงเรือนเลี้ยงไก่ในด้านการถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคาร มาช่วยในการคำนวณหาค่าดัชนีความร้อน (BGHI) ที่ใช้ประเมินสภาวะแวดล้อมของไก่ในตำแหน่งต่างๆ เพื่อหาพื้นที่ที่เหมาะสมในการเลี้ยง

จากผลการศึกษา พบว่า โรงเรือนกว้าง 12 เมตร มีค่าเฉลี่ยของ BGHI ดีกว่าโรงเรือนกว้าง 24 เมตรเพียงเล็กน้อย ทำให้ในวันที่อากาศร้อนโรงเรือนทั้งสองมีพื้นที่เลี้ยงไก่ที่เหมาะสมใกล้เคียงกัน โดยภายในโรงเรือนกว้าง 12 เมตรจะมีการกระจายลมที่สม่ำเสมอมากกว่า สำหรับโรงเรือนยาว 90, 120 และ 150 เมตร จะมีค่าความดันตกท้ายโรงเรือนประมาณ 0.04, 0.12 และ 0.24 นิ้วน้ำ ตามลำดับ ในขณะที่มีค่าร้อยละของพื้นที่ที่เหมาะสมใกล้เคียงกัน เมื่อพิจารณาโรงเรือนที่ติดตั้งแผงทำความเย็นรูปแบบต่างๆ พบว่า ทุกโรงเรือนมีค่าเฉลี่ยของ BGHI ไม่ต่างกัน แต่จะต่างกันที่การกระจายลมภายในโรงเรือน โดยการวางแผงทำความเย็นเฉพาะผนังด้านกว้างจะให้ความสม่ำเสมอมากที่สุด ในด้านการติดซิงลม โรงเรือนที่ติดซิงลมใกล้กันจะให้ค่าเฉลี่ยของ BGHI ดีกว่า และทำให้ความเร็วลมที่ระดับตัวไก่มีความสม่ำเสมอมากขึ้น โรงเรือนที่ติดซิงลมห่างกัน 10 เมตรจึงมีพื้นที่ที่เหมาะสมเพิ่มขึ้นจากโรงเรือนที่ติดซิงลมห่างกัน 15 เมตรประมาณ 3-7% นอกจากนี้เมื่อติดซิงลมต่ำลง โรงเรือนจะมีค่าเฉลี่ยของ BGHI ดีขึ้นพอสมควร ดังนั้นโรงเรือนที่ติดซิงลมสูงจากพื้น 1.75 เมตร จึงมีพื้นที่การเลี้ยงที่เหมาะสมเพิ่มขึ้นจากโรงเรือนที่ติดซิงลมสูงจากพื้น 2 เมตรประมาณ 6-11% แต่ก็จะทำให้ค่าความดันตกท้ายโรงเรือนมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0.12 เป็น 0.20 นิ้วน้ำ

ภาควิชา.....วิศวกรรมเครื่องกล..... ลายมือชื่อนิสิต.....  
 สาขาวิชา.....วิศวกรรมเครื่องกล..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....  
 ปีการศึกษา.....2547.....

# # 4470525121 : MAJOR MECHANICAL ENGINEERING

KEY WORD : FINITE VOLUME / TURBULENT FLOW / BROILER HOUSE / VENTILATION / HEAT INDEX

WASAN LAOKAMON : A DESIGN OF AN APPROPRIATE VENTILATION SYSTEM FOR BROILER HOUSES. THESIS ADVISOR : ASST. PROF.TUL MANEEWATTANA, Ph.D., 150 pp. ISBN 974-17-7175-4.

This thesis studied the ventilation in a closed-type broiler house. The 12-meter-width house that is commonly found in Thailand is compared with the 24-meter-width house. The influence of parameters that consisted of a length of a house, a cooling pad location, a distance between air deflectors and a height of air deflectors above floor were investigated. The computer program was developed to solve a two-dimension flow field. The air velocities at the height of broiler level and the pressure drop at the rear of the house, which excludes pressure drop from cooling pad, can be acquired. The results from the related thesis which analyzed the broiler house in aspect of heat transfer through building envelopes are used for the calculation of Black Globe-Humidity Index (BGHI) to evaluate thermal environment so that the appropriate rearing area can be determined.

The results show that the average BGHI in the 12-meter-width house is slightly better than in the 24-meter-width house. The appropriate rearing areas are almost the same for both houses. Moreover, the distribution of air velocity in the 12-meter-width house is more uniform than the 24-meter one. For the houses which are 90, 120 and 150 meters long, pressure drops at the rear of house are 0.04, 0.12 and 0.24 in. of water respectively, while percents of appropriate area for rearing are nearly same. When considering broiler houses with varying formations of cooling pad, all of them has nearly the same average BGHI while air velocity distribution are different. The most uniform air velocity distribution is obtained from a wide wall formation. From air deflectors investigation, decreasing the distance between air deflectors improves the average BGHI and the uniformity of air velocities at broiler level. Consequently, a house with 10 meters apart air deflectors has 3-7% more appropriate rearing area than a house with 15 meters apart air deflectors. Furthermore, decreasing the height of air deflectors has significantly improved the average BGHI. The broiler house which air deflector height of 1.75 meters has around 6-11% more appropriate rearing areas than the house which air deflectors height of 2.0 meters. However, pressure drop of the later also increases from 0.12 to 0.20 in. of water.

Department...Mechanical Engineering... Student's signature.....

Field of study...Mechanical Engineering... Advisor's signature.....

Academic year .....2004.....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ตุลย์ มณีวัฒนา อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้ให้ความรู้ ข้อคิดเห็น และข้อเสนอแนะต่างๆ ที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่ง ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.มานิจ ทองประเสริฐ, ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ฤชากร จิรกาลวสาน และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมพงษ์ พุทธิวิสุทธิศักดิ์ ที่ได้ให้ข้อเสนอแนะและถ่ายทอดความรู้ที่เป็นประโยชน์ในการดำเนินงานวิจัย นำมาซึ่งความสมบูรณ์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณรุ่นพี่และเพื่อนๆ ทุกคนในห้องปฏิบัติการวิจัยทางเทคโนโลยีอาคารและสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความช่วยเหลือทั้งด้านกำลังใจและกำลังใจตลอดการทำงานวิจัยนี้ โดยเฉพาะนายธีระ สุทธิญา ที่ได้ร่วมกันแก้ไขปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นในระหว่างการศึกษาให้สามารถผ่านพ้นไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา ซึ่งคอยเป็นกำลังใจ อบรมสั่งสอน และให้การสนับสนุนในด้านต่างๆ ตลอดมาจนกระทั่งสำเร็จการศึกษา

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	จ
กิตติกรรมประกาศ .....	ฉ
สารบัญ .....	ช
สารบัญตาราง .....	ญ
สารบัญภาพ .....	ฎ
คำอธิบายสัญลักษณ์ .....	ท
บทที่ 1 บทนำ .....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของวิทยานิพนธ์ .....	1
1.2 งานวิจัยที่ผ่านมา .....	6
1.3 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์ .....	7
1.4 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ .....	7
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน .....	8
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ .....	8
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง .....	9
2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับการระบายอากาศและการทำความเย็นในโรงเรือนเลี้ยงไก่ .....	9
2.1.1 ลักษณะของโรงเรือนเลี้ยงไก่ .....	9
2.1.2 หลักการระบายอากาศภายในโรงเรือนระบบปิด .....	10
2.1.3 ระบบทำความเย็นแบบระเหย (Evaporative Cooling System) .....	13
2.1.4 ชีงลม (Air Deflector) .....	15
2.1.5 มาตรฐานการระบายอากาศและสภาวะอากาศภายในโรงเรือนเลี้ยงไก่ .....	17
2.1.6 การประเมินสภาวะทางความร้อนของไก่ .....	18
2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับการคำนวณเชิงตัวเลขสำหรับปัญหาการไหล .....	21
2.2.1 สมการพื้นฐานของการไหล .....	21
2.2.1.1 สมการพื้นฐานสำหรับการไหลแบบราบเรียบ .....	21
2.2.1.2 สมการพื้นฐานสำหรับการไหลแบบปั่นป่วน .....	22
2.2.1.3 แบบจำลองความปั่นป่วน (Turbulence model) .....	24

2.2.2	ระเบียบวิธีปริมาตรจำกัด (Finite volume method)	28
2.2.2.1	สมการควบคุมพื้นฐาน (Governing equations)	28
2.2.2.2	ปัญหาการพาและการแพร่กระจาย	29
2.2.2.3	การแก้ปัญหาสนามการไหล	33
2.2.2.4	เงื่อนไขขอบเขต	37
2.2.2.5	การหาคำตอบโดยใช้วิธี TDMA (Tri-Diagonal Matrix Algorithm)	41
2.2.2.6	การวางกริดแบบไม่สม่ำเสมอ (Non-uniform grids)	42
2.2.2.7	สรุปเนื้อหาของระเบียบวิธีปริมาตรจำกัด	44
บทที่ 3	การตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมคอมพิวเตอร์	45
3.1	การไหลแบบปั่นป่วนในแผ่นคู่ขนานที่อยู่นิ่ง	45
3.2	การไหลแบบปั่นป่วนผ่าน Backward-facing step	47
3.3	การไหลแบบปั่นป่วนผ่านช่องเปิดขนานที่ติดครีบและมีการถ่ายเทความร้อน	51
3.4	สรุปผล	53
บทที่ 4	ลักษณะของโรงเรือนที่ใช้ศึกษา	54
4.1	ลักษณะของโรงเรือนในระนาบคำนวณแนวราบที่ทำการปรับเปลี่ยนจากโรงเรือน กรณีพื้นฐาน	56
4.2	ลักษณะของโรงเรือนในระนาบคำนวณแนวตั้งที่ทำการปรับเปลี่ยนจากโรงเรือน กรณีพื้นฐาน	57
4.3	เงื่อนไขขอบเขตของโรงเรือน	58
4.3.1	เงื่อนไขขอบเขตสำหรับการไหลของอากาศ	58
4.3.2	เงื่อนไขขอบเขตสำหรับการถ่ายเทความร้อน	58
4.4	ขั้นตอนการคำนวณเพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ	60
บทที่ 5	ผลการคำนวณและการวิเคราะห์	62
5.1	ลักษณะของความเร็วลม, ค่าความดันตก และดัชนีความร้อน BGHI ภายในโรงเรือนกรณีพื้นฐาน	62



5.2	อิทธิพลของความกว้างโรงเรือนที่มีต่อความเร็วลม, ค่าความดันตก และดัชนีความร้อน BGHI .....	73
5.3	อิทธิพลของความยาวโรงเรือนที่มีต่อความเร็วลม, ค่าความดันตก และดัชนีความร้อน BGHI .....	83
5.4	อิทธิพลของตำแหน่งการวางแผงทำความเย็นที่มีต่อความเร็วลม, ค่าความดันตก และดัชนีความร้อน BGHI .....	95
5.5	อิทธิพลของระยะห่างระหว่างซึ่งลมที่มีต่อความเร็วลม, ค่าความดันตก และดัชนีความร้อน BGHI .....	106
5.6	อิทธิพลของความสูงซึ่งลมจากพื้นที่มีต่อความเร็วลม, ค่าความดันตก และดัชนีความร้อน BGHI .....	118
5.7	ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลม, ความดันตก และดัชนีความร้อน BGHI ภายในโรงเรือนเลี้ยงไก่พันธุ์เนื้อ .....	129
5.7.1	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันตกที่ท้ายโรงเรือน และค่าความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับตัวไก่ .....	129
5.7.2	ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีความร้อน BGHI เฉลี่ย และค่าความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับตัวไก่ .....	130
5.7.3	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละพื้นที่เลี้ยงไก่ที่เหมาะสม และดัชนีความร้อน BGHI เฉลี่ยที่ระดับตัวไก่ .....	131
บทที่ 6	สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ .....	132
6.1	สรุปผลการวิจัย .....	132
6.2	ข้อเสนอแนะ .....	136
รายการอ้างอิง	.....	138
ภาคผนวก	.....	142
ภาคผนวก ก.	การคำนวณค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย (Mean radiant temperature) ..	143
ภาคผนวก ข.	ค่าการผลิตความร้อนของไก่พันธุ์เนื้อ .....	146
ภาคผนวก ค.	การหาความเร็วลมที่พื้นผิวผนังในโรงเรือน .....	148
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	.....	150

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ตัวอย่างข้อมูลอัตราการระบายอากาศของพัดลมขนาด 36 นิ้วและ 48 นิ้ว ที่ความดันสถิตยต์ต่างๆ .....	12
2.2 ปริมาณน้ำหมุนเวียนในระบบและปริมาตรของบ่อพักน้ำสำหรับแผงทำความเย็นที่ติดตั้งในแนวตั้ง .....	17
2.3 ค่ามาตรฐานการระบายอากาศและสภาวะอากาศภายในโรงเรียนเลี้ยงไก่ระบบปิด .....	18
2.4 ตัวแปรจากสมการของการไหลแบบปั่นป่วนเปรียบเทียบกับตัวแปรจากสมการพื้นฐานในรูปทั่วไป .....	29
4.1 ตัวแปรและค่าที่จะเปลี่ยนแปลงจากโรงเรียนกรณีพื้นฐานในการศึกษาอิทธิพลที่มีต่อการกระจายลม, ความดันตก และดัชนีความร้อน BGHI ภายในโรงเรียน .....	54
4.2 สภาวะอากาศภายนอกโดยเฉลี่ยของวันที่ 18-22 เมษายน สำหรับใช้คำนวณหาเงื่อนไขขอบเขตทางความร้อน .....	59
5.1 ผลต่างของค่าดัชนีความร้อน BGHI เฉลี่ยในโรงเรียนกว้าง 24 เมตร เมื่อเทียบกับค่าในโรงเรียนกรณีพื้นฐาน .....	80
5.2 ผลต่างของค่าร้อยละพื้นที่เลี้ยงไก่ที่เหมาะสมในโรงเรียนกว้าง 24 เมตร เมื่อเทียบกับค่าในโรงเรียนกรณีพื้นฐาน .....	81
5.3 ผลต่างของค่าดัชนีความร้อน BGHI เฉลี่ยในโรงเรียนยาว 90 และ 150 เมตร เมื่อเทียบกับค่าในโรงเรียนกรณีพื้นฐาน .....	92
5.4 ผลต่างของค่าร้อยละพื้นที่เลี้ยงไก่ที่เหมาะสมในโรงเรียนยาว 90 และ 150 เมตร เมื่อเทียบกับค่าในโรงเรียนกรณีพื้นฐาน .....	93
5.5 ผลต่างของค่าดัชนีความร้อน BGHI เฉลี่ยในโรงเรียนที่วางแผงทำความเย็นเฉพาะผนังด้านกว้างและโรงเรียนที่วางแผงทำความเย็นทั้งผนังด้านกว้างและด้านข้าง เมื่อเทียบกับค่าในโรงเรียนกรณีพื้นฐาน .....	103
5.6 ผลต่างของค่าร้อยละพื้นที่เลี้ยงไก่ที่เหมาะสมในโรงเรียนที่วางแผงทำความเย็นเฉพาะผนังด้านกว้างและโรงเรียนที่วางแผงทำความเย็นทั้งผนังด้านกว้างและด้านข้าง เมื่อเทียบกับค่าในโรงเรียนกรณีพื้นฐาน .....	104
5.7 ผลต่างของค่าดัชนีความร้อน BGHI เฉลี่ยในโรงเรียนที่ติดตั้งลมห่างกัน 10 และ 20 เมตร เมื่อเทียบกับค่าในโรงเรียนกรณีพื้นฐาน .....	115

ตารางที่	หน้า
5.8 ผลต่างของค่าร้อยละพื้นที่เลี้ยงไก่ที่เหมาะสมในโรงเรือนที่ติดตั้งลมห่างกัน 10 และ 20 เมตร เมื่อเทียบกับค่าในโรงเรือนกรณีพื้นฐาน .....	116
5.9 ผลต่างของค่าดัชนีความร้อน BGHI เฉลี่ยในโรงเรือนที่ติดตั้งลมสูงจากพื้น 1.75 และ 2.75 เมตร เมื่อเทียบกับค่าในโรงเรือนกรณีพื้นฐาน .....	126
5.10 ผลต่างของค่าร้อยละพื้นที่เลี้ยงไก่ที่เหมาะสมในโรงเรือนที่ติดตั้งลมสูงจากพื้น 1.75 และ 2.75 เมตร เมื่อเทียบกับค่าในโรงเรือนกรณีพื้นฐาน .....	127
ก.1 ตัวประกอบพื้นที่ภาพฉายของร่างกายคนสำหรับท่าทางยืนและนั่งในทิศทางต่างๆ .....	145
ข.1 ค่าการผลิตความร้อนสัมผัสและความร้อนรวมของไก่ รวบรวมจากแหล่งข้อมูลต่างๆ ...	147

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
1.1 โครงสร้างของโรงเรือนระบบปิดที่ใช้ระบบทำความเย็นแบบระเหย .....	2
1.2 การวางแผนทำความเย็นที่ผนังด้านข้างบริเวณต้นทางของโรงเรือนระบบปิด เมื่อมอง จากด้านบนของโรงเรือน (Not to scale) .....	3
1.3 การวางแผนทำความเย็นที่ผนังด้านกว้างบริเวณต้นทางของโรงเรือนระบบปิด เมื่อมอง จากด้านบนของโรงเรือน (Not to scale) .....	4
1.4 การวางแผนทำความเย็นที่ผนังด้านกว้างและด้านยาวบริเวณต้นทางของโรงเรือนระบบ ปิด เมื่อมองจากด้านบนของโรงเรือน (Not to scale) .....	4
1.5 ลักษณะซึ่งลมที่ใช้ในโรงเรือนระบบปิด .....	5
2.1 โรงเรือนที่มีการถ่ายเทอากาศแบบอุโมงค์ลม .....	13
2.2 ลักษณะของแผนทำความเย็น .....	16
2.3 ค่าความดันตกของอากาศที่ไหลผ่านแผนทำความเย็น ยี่ห้อ CELdek รุ่น 7060-15 .....	16
2.4 วงจรการหมุนเวียนน้ำของระบบทำความเย็นแบบระเหยที่ใช้แผนทำความเย็น .....	17
2.5 ขั้นตอนการหาค่าขอบเขต BGHI ที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงไก่ .....	20
2.6 ลักษณะของความเร็วในการไหลแบบปั่นป่วน .....	22
2.7 การวางตัวของปริมาตรควบคุมในสองมิติ .....	30
2.8 การวางกริดและปริมาตรควบคุมแบบเยื้องกัน (Staggered grid) .....	33
2.9 ขั้นตอนการคำนวณของ SIMPLE algorithm .....	36
2.10 ปริมาตรควบคุมที่อยู่ใกล้ผนัง .....	38
2.11 ลักษณะการกระจายตัวของความเร็วที่บริเวณใกล้ผนัง .....	38
2.12 การวางกริดแบบไม่สม่ำเสมอ กรณีที่พื้นผิวปริมาตรควบคุมอยู่กึ่งกลางระหว่างจุดกริด หลัก .....	43
2.13 การวางกริดแบบไม่สม่ำเสมอ กรณีที่จุดกริดหลักอยู่กึ่งกลางระหว่างพื้นผิวปริมาตร ควบคุม .....	43
3.1 ลักษณะของปัญหาการไหลในแผ่นคู่ขนานที่อยู่หนึ่ง .....	45
3.2 ลักษณะรูปร่างของกริด 62×33 และเงื่อนไขขอบเขตในการจำลองการไหลในแผ่น คู่ขนานที่อยู่หนึ่ง สำหรับ $Re_H = 13,750$ (Not to scale) .....	46

รูปที่	หน้า
3.3 การเปรียบเทียบลักษณะการกระจายตัวของค่าความเร็วที่คำนวณได้กับค่าความเร็วจากการคำนวณแบบ DNS ของการไหลในแผ่นคู่ขนาน .....	47
3.4 ลักษณะของปัญหาการไหลผ่าน Backward-facing step .....	48
3.5 ลักษณะรูปร่างของกริด 72×52 และเงื่อนไขขอบเขตในการจำลองการไหลผ่าน Backward-facing step สำหรับ $Re_H = 36,000$ (Not to scale) .....	49
3.6 การเปรียบเทียบค่าความเร็วที่ได้จากผลการคำนวณเชิงเลขกับผลการทดลองสำหรับ $Re_H = 36,000$ ที่ $x/h$ ต่างๆ กัน .....	50
3.7 เวกเตอร์ความเร็วของของไหลภายใน Backward-facing step สำหรับ $Re_H = 36,000$ .....	50
3.8 Streamline ของการไหลภายใน Backward-facing step สำหรับ $Re_H = 36,000$ .....	50
3.9 ลักษณะของปัญหาการไหลผ่านช่องเปิดขนานที่ติดครีปและมีการถ่ายเทความร้อน .....	51
3.10 ลักษณะรูปร่างของกริด 94×43 และเงื่อนไขขอบเขตในการจำลองการไหลผ่านช่องเปิดขนานที่ติดครีป (Not to scale) .....	52
3.11 การเปรียบเทียบค่าความเร็วที่ได้จากผลการคำนวณเชิงเลขและผลการทดลองที่ $x/h$ ต่างๆ .....	52
3.12 Streamline ของการไหลภายในช่องเปิดขนานที่ติดครีป .....	53
3.13 การเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิที่ได้จากผลการคำนวณเชิงเลขและผลการทดลองที่ $x/h$ ต่างๆ .....	53
4.1 ขนาดและตำแหน่งการติดตั้งระบบระบายอากาศของโรงเรือนกรณีพื้นฐาน .....	54
4.2 ลักษณะของระนาบคำนวณแนวราบ (Not to scale) .....	55
4.3 ลักษณะของระนาบคำนวณแนวตั้ง (Not to scale) .....	55
4.4 ขั้นตอนการคำนวณเพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ .....	61
5.1 ลักษณะและขนาดของระนาบคำนวณแนวตั้งสำหรับโรงเรือนกรณีพื้นฐาน (Not to scale) .....	66
5.2 ลักษณะรูปร่างของกริดจำนวน 349×137 ที่ใช้ในระนาบคำนวณแนวตั้งสำหรับโรงเรือนกรณีพื้นฐาน (Not to scale) .....	66
5.3 เวกเตอร์ความเร็วของการไหลภายในโรงเรือนกรณีพื้นฐาน (ระนาบคำนวณแนวตั้ง) .....	66
5.4 Streamline ของการไหลภายในโรงเรือนกรณีพื้นฐาน (ระนาบคำนวณแนวตั้ง) .....	66

รูปที่	หน้า
5.5 ความเร็วลมที่ระดับความสูง 0.3 เมตรจากพื้นโรงเรือน ในกรณีที่ดินซึ่งลมและไม่ติดซึ่งลม (ระนาบคำนวณแนวตั้ง) .....	67
5.6 ความดันอากาศสัมพัทธ์ที่ระดับความสูง 1.1 เมตรจากพื้นโรงเรือน ในกรณีที่ดินซึ่งลมและไม่ติดซึ่งลม (ระนาบคำนวณแนวตั้ง) .....	67
5.7 ลักษณะและขนาดของระนาบคำนวณแนวราบสำหรับโรงเรือนกรณีพื้นฐาน (Not to scale) .....	68
5.8 ลักษณะรูปร่างของกริดจำนวน 290×165 ที่ใช้ในระนาบคำนวณแนวราบ (Not to scale) .....	68
5.9 เวกเตอร์ความเร็วของการไหลภายในโรงเรือนกรณีพื้นฐาน (ระนาบคำนวณแนวราบ) ....	68
5.10 Streamline ของการไหลภายในโรงเรือนกรณีพื้นฐาน (ระนาบคำนวณแนวราบ) .....	68
5.11 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร็วลมภายในโรงเรือนกรณีพื้นฐาน (ระนาบคำนวณแนวราบ) .....	69
5.12 ความดันอากาศสัมพัทธ์ที่ตำแหน่งต่างๆ ภายในโรงเรือนกรณีพื้นฐาน (ระนาบคำนวณแนวราบ) .....	69
5.13 อุณหภูมิอากาศที่ตำแหน่งต่างๆ ภายในโรงเรือนกรณีพื้นฐาน ในช่วงเวลา 8:00-17:00 น. ของวันที่ 20 เมษายน .....	70
5.14 พื้นที่ที่เหมาะสมในการเลี้ยงไก่ภายในโรงเรือนกรณีพื้นฐาน ในช่วงเวลา 8:00-17:00 น. ของวันที่ 20 เมษายน .....	71
5.15 ดัชนีความร้อน BGHI เฉลี่ยของโรงเรือนกรณีพื้นฐาน ในช่วงเวลา 8.00–17.00 น. ของวันที่ 18-22 เมษายน .....	72
5.16 ร้อยละของพื้นที่ที่เหมาะสมในการเลี้ยงไก่ของโรงเรือนกรณีพื้นฐาน ในช่วงเวลา 8.00-17.00 น. ของวันที่ 18-22 เมษายน .....	72
5.17 ลักษณะความเร็วลมที่ระยะทางต่างๆ ภายในโรงเรือนกว้าง 12 และ 24 เมตร (ระนาบคำนวณแนวราบ) .....	76
5.18 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร็วลมในแต่ละหน้าตัดที่ระยะทางต่างๆ ของโรงเรือนกว้าง 12 และ 24 เมตร .....	77
5.19 ความดันอากาศสัมพัทธ์ที่กึ่งกลางโรงเรือนที่ระยะทางต่างๆ ภายในโรงเรือนกว้าง 12 และ 24 เมตร (ระนาบคำนวณแนวราบ) .....	77

รูปที่	หน้า
5.20 คุณหม้ออากาศที่ตำแหน่งต่างๆ สำหรับโรงเรือนกว้าง 12 และ 24 เมตร ในเวลา 14:00 น. ของวันที่ 20 เมษายน .....	78
5.21 พื้นที่ที่เหมาะสมในการเลี้ยงไก่ภายในโรงเรือนกว้าง 24 เมตร ในช่วงเวลา 8:00- 17:00 น. ของวันที่ 20 เมษายน .....	79
5.22 ดัชนีความร้อน BGHI เฉลี่ยภายในโรงเรือนกว้าง 12 และ 24 เมตร ในช่วงเวลา 8:00- 17:00 น. ของวันที่ 18-22 เมษายน .....	80
5.23 ร้อยละของพื้นที่เลี้ยงไก่ที่เหมาะสมภายในโรงเรือนกว้าง 12 และ 24 เมตร ในช่วงเวลา 8:00-17:00 น ของวันที่ 18-22 เมษายน .....	81
5.24 ดัชนีความร้อน BGHI เฉลี่ยตลอดความกว้างของโรงเรือน 12 และ 24 เมตร ในเวลา 14:00 น. ของวันที่ 20 เมษายน .....	82
5.25 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของดัชนีความร้อน BGHI ในแต่ละหน้าตัดที่ระยะทางต่างๆ ของ โรงเรือนกว้าง 12 และ 24 เมตร ในเวลา 14:00 น. ของวันที่ 20 เมษายน .....	82
5.26 ความเร็วลมที่ระดับความสูงจากพื้น 0.3 เมตร ภายในโรงเรือนยาว 90, 120 และ 150 เมตร (ระนาบคำนวณแนวตั้ง) .....	86
5.27 ลักษณะความเร็วลมที่ระยะทางต่างๆ ตลอดความกว้างของโรงเรือน ในกรณีโรงเรือน ยาว 90, 120 และ 150 เมตร (ระนาบคำนวณแนวราบ) .....	87
5.28 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร็วลมในแต่ละหน้าตัดที่ระยะทางต่างๆ ภายใน โรงเรือนยาว 90, 120 และ 150 เมตร .....	88
5.29 ความดันอากาศสัมพัทธ์ที่ระดับความสูงจากพื้น 1.1 เมตร ที่ระยะทางต่างๆ ภายใน โรงเรือนยาว 90, 120 และ 150 เมตร (ระนาบคำนวณแนวตั้ง) .....	88
5.30 ความดันอากาศสัมพัทธ์ที่กึ่งกลางโรงเรือนที่ระยะทางต่างๆ ภายในโรงเรือนยาว 90, 120 และ 150 เมตร (ระนาบคำนวณแนวราบ) .....	89
5.31 คุณหม้ออากาศที่ตำแหน่งต่างๆ สำหรับโรงเรือนยาว 90, 120 และ 150 เมตร ในเวลา 14:00 น. ของวันที่ 20 เมษายน .....	89
5.32 พื้นที่ที่เหมาะสมในการเลี้ยงไก่ภายในโรงเรือนยาว 90 เมตร ในช่วงเวลา 8:00-17:00 น. ของวันที่ 20 เมษายน .....	90
5.33 พื้นที่ที่เหมาะสมในการเลี้ยงไก่ภายในโรงเรือนยาว 150 เมตร ในช่วงเวลา 8:00-17:00 น. ของวันที่ 20 เมษายน .....	91

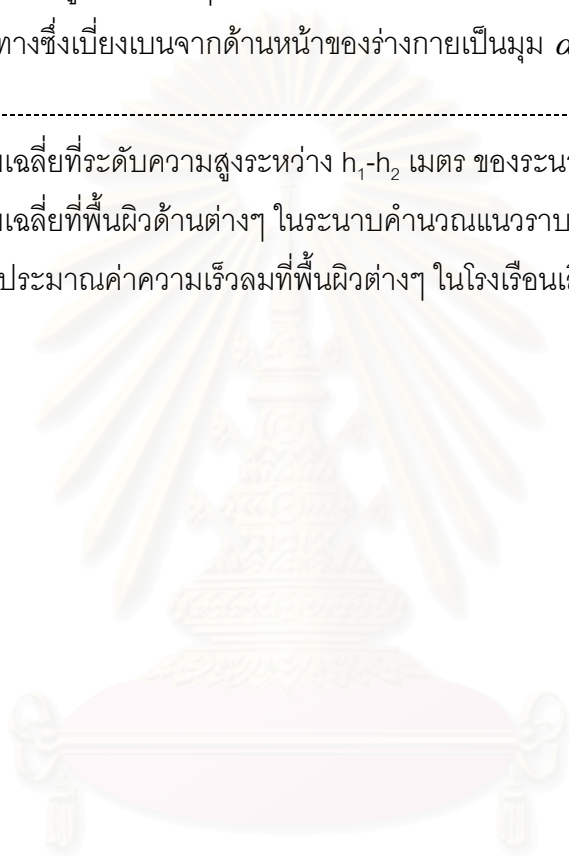
รูปที่	หน้า
5.34 ดัชนีความร้อน BGHI เฉลี่ยภายในโรงเรือนยาว 90, 120 และ 150 เมตร ในช่วงเวลา 8:00-17:00 น.ของวันที่ 18-22 เมษายน .....	92
5.35 ร้อยละของพื้นที่เลี้ยงไก่ที่เหมาะสมภายในโรงเรือนยาว 90, 120 และ 150 เมตร ในช่วงเวลา 8:00-17:00 น.ของวันที่ 18-22 เมษายน .....	93
5.36 ดัชนีความร้อน BGHI เฉลี่ยตลอดความกว้างของโรงเรือนยาว 90, 120 และ 150 เมตร ในเวลา 14:00 น. ของวันที่ 20 เมษายน .....	94
5.37 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของดัชนีความร้อน BGHI ตามความกว้างของโรงเรือนยาว 90, 120 และ 150 เมตร ในเวลา 14:00 น. ของวันที่ 20 เมษายน .....	94
5.38 ลักษณะความเร็วลมที่ตำแหน่งต่างๆ ตลอดความกว้างของโรงเรือนซึ่งวางแผงทำ ความเย็นในรูปแบบที่ 1, 2 และ 3 .....	98
5.39 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร็วลมในแต่ละหน้าตัดความกว้างของโรงเรือนที่วาง แผงทำความเย็นรูปแบบที่ 1, 2 และ 3 .....	99
5.40 ความดันอากาศสัมพัทธ์ที่กึ่งกลางโรงเรือนซึ่งวางแผงทำความเย็นในรูปแบบที่ 1, 2 และ 3 ที่ระยะทางต่างๆ (ระนาบค่านวณแนวราบ) .....	99
5.41 อุณหภูมิอากาศภายในโรงเรือนที่วางแผงทำความเย็นรูปแบบที่ 1, 2 และ 3 ในเวลา 14:00 น. ของวันที่ 20 เมษายน .....	100
5.42 พื้นที่ที่เหมาะสมในการเลี้ยงไก่ภายในโรงเรือนที่วางแผงทำความเย็นเฉพาะผนังด้าน กว้าง (รูปแบบที่2) ในช่วงเวลา 8:00-17:00 น. ของวันที่ 20 เมษายน .....	101
5.43 พื้นที่ที่เหมาะสมในการเลี้ยงไก่ภายในโรงเรือนที่วางแผงทำความเย็นทั้งผนังด้านกว้าง และด้านข้าง (รูปแบบที่ 3) ในช่วงเวลา 8:00-17:00 น. ของวันที่ 20 เมษายน .....	102
5.44 ดัชนีความร้อน BGHI เฉลี่ยภายในโรงเรือนที่วางแผงทำความเย็นรูปแบบที่ 1, 2 และ 3 ในช่วงเวลา 8:00-17:00 น. ของวันที่ 18-22 เมษายน .....	103
5.45 ร้อยละของพื้นที่เลี้ยงไก่ที่เหมาะสมภายในโรงเรือนที่วางแผงทำความเย็นรูปแบบที่ 1, 2 และ 3 ในช่วงเวลา 8:00-17:00 น. ของวันที่ 18-22 เมษายน .....	104
5.46 ดัชนีความร้อน BGHI เฉลี่ยตลอดความกว้างของโรงเรือนที่วางแผงทำความเย็น รูปแบบที่ 1, 2 และ 3 ในเวลา 14:00 น. ของวันที่ 20 เมษายน .....	105



รูปที่	หน้า
5.47 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของดัชนีความร้อน BGHI ในแต่ละหน้าตัดความกว้างของ โรงเรือนที่วางแผงทำความเย็นรูปแบบที่ 1, 2 และ 3 ในเวลา 14:00 น. ของวันที่ 20 เมษายน .....	105
5.48 ความเร็วลมที่ระดับความสูงจากพื้น 0.3 เมตรภายในโรงเรือนที่มีระยะห่างระหว่าง ชิงลม (ก) 10 และ 15 เมตร (ข) 15 และ 20 เมตร (ระนาบคำนวณแนวตั้ง) .....	109
5.49 ลักษณะความเร็วลมที่ตำแหน่งต่างๆ ตลอดความกว้างของโรงเรือนที่ติดชิงลมห่างกัน 10, 15 และ 20 เมตร (ระนาบคำนวณแนวราบ) .....	110
5.50 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร็วลมในแต่ละหน้าตัดความกว้างของโรงเรือนที่ติด ชิงลมห่างกัน 10, 15 และ 20 เมตร .....	111
5.51 ความดันอากาศสัมพัทธ์ที่ระดับความสูงจากพื้น 1.1 เมตร ที่ระยะทางต่างๆ ภายใน โรงเรือนที่ติดชิงลมห่างกัน 10, 15 และ 20 เมตร (ระนาบคำนวณแนวตั้ง) .....	111
5.52 ความดันอากาศสัมพัทธ์ที่กึ่งกลางโรงเรือนภายในโรงเรือนที่ติดชิงลมห่างกัน 10, 15 และ 20 เมตร (ระนาบคำนวณแนวราบ) .....	112
5.53 อุณหภูมิอากาศภายในโรงเรือนที่วางชิงลมห่างกัน 10, 15 และ 20 เมตร ในเวลา 14:00 น. ของวันที่ 20 เมษายน .....	112
5.54 พื้นที่ที่เหมาะสมในการเลี้ยงไก่ภายในโรงเรือนที่ติดชิงลมห่างกัน 10 เมตร ในช่วงเวลา 8:00-17:00 น. ของวันที่ 20 เมษายน .....	113
5.55 พื้นที่ที่เหมาะสมในการเลี้ยงไก่ภายในโรงเรือนที่ติดชิงลมห่างกัน 20 เมตร ในช่วงเวลา 8:00-17:00 น. ของวันที่ 20 เมษายน .....	114
5.56 ดัชนีความร้อน BGHI เฉลี่ยภายในโรงเรือนที่ติดชิงลมห่างกัน 10, 15 และ 20 เมตร ในช่วงเวลา 8:00-17:00 น. ของวันที่ 18-22 เมษายน .....	115
5.57 ร้อยละของพื้นที่เลี้ยงไก่ที่เหมาะสมภายในโรงเรือนที่ติดชิงลมห่างกัน 10, 15 และ 20 เมตร ในช่วงเวลา 8:00-17:00 น. ของวันที่ 18-22 เมษายน .....	116
5.58 ดัชนีความร้อน BGHI เฉลี่ยตลอดความกว้างของโรงเรือน ภายในโรงเรือนซึ่งติดชิงลม ห่างกัน 10, 15 และ 20 เมตร ในเวลา 14:00 น. ของวันที่ 20 เมษายน .....	117
5.59 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของดัชนีความร้อน BGHI ตามความกว้างของโรงเรือน ภายในโรงเรือนที่ติดชิงลมห่างกัน 10, 15 และ 20 เมตร ในเวลา 14:00 น. ของวันที่ 20 เมษายน .....	117

รูปที่	หน้า
5.60 ความเร็วลมที่ระดับความสูง 0.3 เมตร ภายในโรงเรือนที่ติดตั้งลมสูงจากพื้น 1.75, 2.0 และ 2.75 เมตร (ระนาบคำนวณแนวตั้ง) .....	120
5.61 ลักษณะความเร็วลมที่ตำแหน่งต่างๆ ตลอดความกว้างของโรงเรือนที่ติดตั้งลมสูงจากพื้น 1.75, 2.0 และ 2.75 เมตร (ระนาบคำนวณแนวราบ) .....	121
5.62 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร็วลมในแต่ละหน้าตัดความกว้างของโรงเรือนที่ติดตั้งลมสูงจากพื้น 1.75, 2.0 และ 2.75 เมตร (ระนาบคำนวณแนวราบ) .....	122
5.63 ความดันอากาศสัมพัทธ์ที่ระดับความสูง 1.1 เมตร ภายในโรงเรือนที่ติดตั้งลมสูงจากพื้น 1.75, 2.0 และ 2.75 เมตร (ระนาบคำนวณแนวตั้ง) .....	122
5.64 ความดันอากาศสัมพัทธ์ที่กึ่งกลางโรงเรือน ที่ระยะทางต่างๆ ภายในโรงเรือนที่ติดตั้งลมสูงจากพื้น 1.75, 2.0 และ 2.75 เมตร (ระนาบคำนวณแนวราบ) .....	123
5.65 อุณหภูมิอากาศภายในโรงเรือนที่ติดตั้งลมสูงจากพื้น 1.75, 2.0 และ 2.75 เมตร ในเวลา 14:00 น. ของวันที่ 20 เมษายน .....	123
5.66 พื้นที่ที่เหมาะสมในการเลี้ยงไก่ภายในโรงเรือนที่ติดตั้งลมสูงจากพื้น 1.75 เมตร ในช่วงเวลา 8:00-17:00 น. ของวันที่ 20 เมษายน .....	124
5.67 พื้นที่ที่เหมาะสมในการเลี้ยงไก่ภายในโรงเรือนที่ติดตั้งลมสูงจากพื้น 2.75 เมตร ในช่วงเวลา 8:00-17:00 น. ของวันที่ 20 เมษายน .....	125
5.68 ดัชนีความร้อน BGHI เฉลี่ยภายในโรงเรือนที่ติดตั้งลมสูงจากพื้น 1.75, 2.0 และ 2.75 เมตร ในช่วงเวลา 8:00-17:00 น. ของวันที่ 18-22 เมษายน .....	126
5.69 ร้อยละของพื้นที่เลี้ยงไก่ที่เหมาะสมภายในโรงเรือนที่ติดตั้งลมสูงจากพื้น 1.75, 2.0 และ 2.75 เมตร ในช่วงเวลา 8:00-17:00 น. ของวันที่ 18-22 เมษายน .....	127
5.70 ดัชนีความร้อน BGHI เฉลี่ยตลอดความกว้างของโรงเรือน ภายในโรงเรือนซึ่งติดตั้งลมสูงจากพื้น 1.75, 2.0 และ 2.75 เมตร ในเวลา 14:00 น. ของวันที่ 20 เมษายน .....	128
5.71 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของดัชนีความร้อน BGHI ตามความกว้างของโรงเรือน ภายในโรงเรือนที่ติดตั้งลมสูงจากพื้น 1.75, 2.0 และ 2.75 เมตร ในเวลา 14:00 น. ของวันที่ 20 เมษายน .....	128
5.72 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันตกที่ท้ายโรงเรือนและค่าความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับตัวไก่ ของโรงเรือนรูปแบบต่างๆ .....	129

รูปที่	หน้า
5.73 ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีความร้อน BGHI เฉลี่ยและค่าความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับ ตัวไก่ของโรงเรียนรูปแบบต่างๆ ในเวลา 14:00 น. ของวันที่ 20 เมษายน .....	130
5.74 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละของพื้นที่เลี้ยงไก่ที่เหมาะสมและดัชนีความร้อน BGHI เฉลี่ยของโรงเรียนรูปแบบต่างๆ ในเวลา 14:00 น. ของวันที่ 20 เมษายน .....	131
ก.1 การระบุทิศทางซึ่งเบี่ยงเบนจากด้านหน้าของร่างกายเป็นมุม $\alpha$ ในแนวราบและมุม $\beta$ ในแนวตั้ง .....	145
ค.1 ความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับความสูงระหว่าง $h_1$ - $h_2$ เมตร ของระนาบค่านวนแนวตั้ง .....	148
ค.2 ความเร็วลมเฉลี่ยที่พื้นผิวด้านต่างๆ ในระนาบค่านวนแนวราบ .....	149
ค.3 ขั้นตอนการประมาณค่าความเร็วลมที่พื้นผิวต่างๆ ในโรงเรียนเลี้ยงไก่ .....	149



## คำอธิบายสัญลักษณ์

$a$	สัมประสิทธิ์ของสมการดิสครีไทซ์
$A$	พื้นที่ผิวของปริมาตรควบคุม
$A_g$	พื้นที่ผิวทรงกลม
ATHG	ภาวะความร้อนรวมเฉลี่ย (Average Total Heat Gain)
BGHI	Black globe-humidity index
$C_p$	ความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่
$D$	สัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย
$D_h$	Hydraulic diameter
$d_g$	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของทรงกลม
$E$	Logarithmic law constant
$f$	Interpolation factor
$F$	สัมประสิทธิ์ของการพา
$f_p$	ตัวประกอบพื้นที่ภาพฉายของร่างกาย
$F_{p-N}$	ตัวประกอบเชิงมุมระหว่างคนและพื้นผิวด้านที่ N
$h$	ความสูงของ Backward facing step, ความสูงของครีป
$H$	ระยะห่างระหว่างแผ่นคู่ขนาน
$h_c$	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน
$H_{DF}$	ความสูงของซิงลมจากพื้นโรงเรือน
$L$	Characteristic length, ความยาวของช่องทางไหล
$L_{DF}$	ระยะห่างระหว่างซิงลม
$L_{BH}$	ความยาวของโรงเรือนเลี้ยงไก่
$L_{pad}$	ความยาวของแผงทำความเย็น
$k$	Turbulent kinetic energy
$k_c$	สัมประสิทธิ์การนำความร้อน
$p$	ความดัน
Pe	ค่าเพกเลตน์มเบอร์ (Peclet number)
Pr	ค่าพรันด์เทิลน์มเบอร์ (Prandtl number)
$P_k$	Rate of turbulent kinetic energy production

$m_{\text{animal}}$	มวลของสัตว์
$Met_{\text{animal}}$	อัตราการเผาผลาญพลังงานมูลฐานของสัตว์ (Basal metabolic rate of animal)
$q$	ปริมาณความร้อน
$Q$	อัตราการระบายอากาศ
$\dot{q}''$	ฟลักซ์ความร้อน
$\dot{q}'''$	Rate of heat generation หรือ Energy source
$R_{ij}$	Kinetic Reynolds Stress
$Re$	ค่าเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์ (Reynolds number)
$Rh$	ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ
$S$	Source term
$t$	เวลา
$T$	อุณหภูมิ
$T_{\text{air}}$	อุณหภูมิอากาศ
$t_{\text{db}}$	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง
$t_{\text{dp}}$	อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew point)
$T_i$	Turbulent intensity
$T_g, t_g$	Black globe temperature
$T_{\text{mrt}}$	อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย (Mean radiant temperature)
$T_{\text{pr}}$	อุณหภูมิการแผ่รังสีของเอลิเมนต์ระนาบเล็ก ๆ
$u$	ความเร็วของของไหลในแนวแกน x
$u_{\text{in,hor}}$	ความเร็วลมที่ทางเข้าในระนาบค่านวณแนวราบ
$u_{\text{in,ver}}$	ความเร็วลมที่ทางเข้าในระนาบค่านวณแนวตั้ง
$U_{\text{ref}}$	Reference mean velocity
$U_0$	ความเร็วที่ Free stream
$v$	ความเร็วของของไหลในแนวแกน y
$V$	ปริมาตรของปริมาตรควบคุม
$V_{\text{air}}$	ความเร็วลม
$W_{\text{BH}}$	ความกว้างของโรงเรือนเลี้ยงไก่
$x$	ระยะทางในแนวแกน x

$y$	ระยะทางในแนวแกน $y$
$\Delta y_p$	ระยะทางจากผนังถึงจุดกริดใกล้ที่สุด
$\alpha$	Under-relaxation factor
$\delta_{ij}$	Kronecker delta function
$\delta_u$	ความหนาของชั้น Boundary layer
$\varepsilon$	Turbulent dissipation rate
$\varepsilon_{bg}$	สภาพการปล่อยรังสีของทรงกลมสีดำ
$\phi$	ตัวแปรสเกลาร์
$\Phi$	Dissipation Function
$\Gamma$	สัมประสิทธิ์การแพร่ (Diffusion coefficient)
$\kappa$	Von Karman's constant
$\mu$	ความหนืดสัมบูรณ์
$\nu$	ความหนืดจลศาสตร์ (Kinetic viscosity)
$\rho$	ความหนาแน่น
$\tau_w$	เป็นค่าความเค้นเฉื่อยที่ผนัง

#### ตัวห้อย (Subscripts)

$e, w, n, s$	พื้นผิวปริมาตรควบคุมที่อยู่ระหว่างจุดกริดหลัก P และ E, P และ W, P และ N, P และ S
$E, W, N, S$	จุดที่อยู่ข้างเคียงในทิศ east, west, north และ south
$i, j$	Cartesian indices
$nb$	จุดที่อยู่ข้างเคียง
$t$	Turbulent

#### ตัวยก (Superscripts) และ Overbars

$^+$	ค่า Normalized ใน Wall function
$'$	ค่าการสั่นที่ได้จาก Reynolds decomposition
$*$	ค่าตัวแปรจากการคำนวณซ้ำ ซึ่งยังไม่เท่ากับคำตอบแน่นอนตรง (Exact solution)
$\bar{\quad}$	ค่าเฉลี่ยที่ไม่ขึ้นกับเวลาที่ได้จาก Reynolds decomposition

# บทที่ 1

## บทนำ

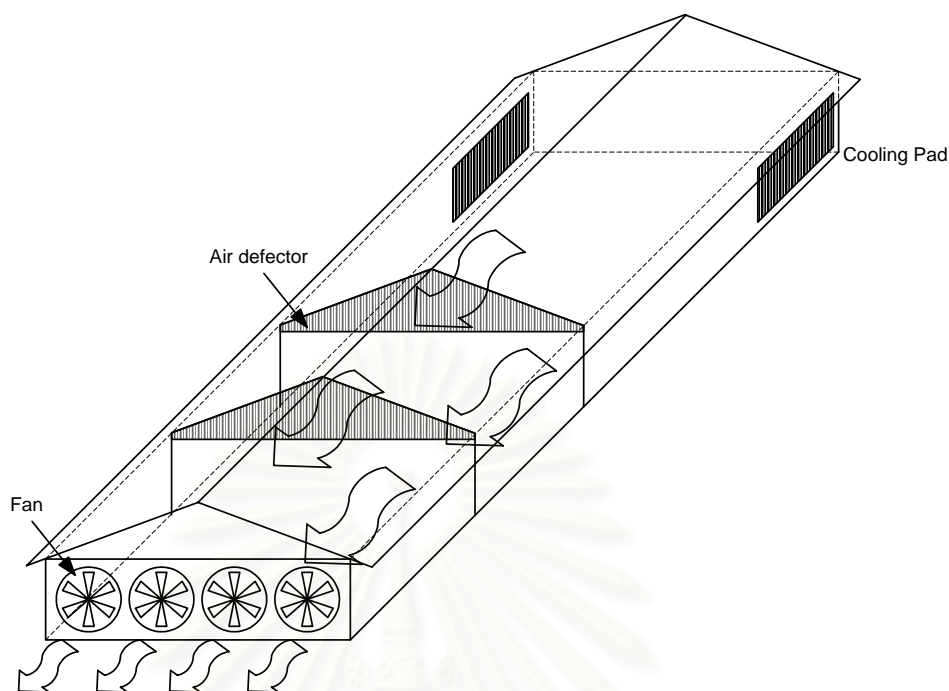
### 1.1 ความสำคัญและที่มาของวิทยานิพนธ์

ในแต่ละปีประเทศไทยสามารถส่งออกเนื้อไก่ซึ่งสร้างรายได้ให้กับประเทศได้เป็นจำนวนมาก ซึ่งไก่ที่นิยมเลี้ยงกันเพื่อเอาเนื้อจะเรียกว่าไก่พันธุ์เนื้อหรือไก่กระตัง (Broiler) ในปัจจุบันได้มีการค้นคว้าปรับปรุงไก่พันธุ์เนื้อให้มีลักษณะที่ดีขึ้น เพื่อให้สามารถเลี้ยงโดยมุ่งประโยชน์ในทางเศรษฐกิจ คือ มีลักษณะเจริญเติบโตเร็ว, อัตราการแลกเนื้อสูง และสามารถต้านทานโรคได้ดี

โรงเรือนสำหรับเลี้ยงไก่พันธุ์เนื้อ (Broiler house) ก็เป็นองค์ประกอบที่สำคัญประการหนึ่ง โดยเฉพาะในสภาพอากาศร้อนชื้นของเมืองไทย การออกแบบโรงเรือนที่ดีโดยให้มีสภาวะแวดล้อมภายในโรงเรือนที่ทำให้ไก่สุขสบาย จะส่งผลให้ไก่โตเร็วและให้ผลผลิตสูง

ระบบการเลี้ยงไก่พันธุ์เนื้อในเมืองไทยสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ตามลักษณะการสร้างโรงเรือน คือ โรงเรือนระบบเปิดและโรงเรือนระบบปิด ลักษณะของโรงเรือนระบบเปิดจะเป็นพื้นที่เปิดโล่ง มีหลังคาแบบจั่วและใช้การระบายอากาศแบบธรรมชาติ (Natural ventilation) ส่วนโรงเรือนระบบปิดจะมีผนังผ้าพลาสติกพี.วี.ซี. หรือ พี.อี. ปิดรอบโรงเรือน และใช้พัดลมดูดอากาศทำหน้าที่ดูดอากาศร้อนออกจากโรงเรือน โดยให้อากาศที่จะเข้ามาในโรงเรือนไหลผ่านแผงทำความเย็นแบบเยื่อกระดาษ (Cooling pad) ซึ่งเรียกระบบการทำความเย็นแบบนี้ว่าระบบการทำความเย็นแบบระเหย (Evaporative cooling system) โดยแผงทำความเย็นจะถูกทำให้ขึ้นตลอดเวลา เมื่ออากาศไหลผ่านแผงทำความเย็นเข้าสู่ภายในโรงเรือน อากาศก็จะมีอุณหภูมิลดลงเนื่องจากผลของการระเหยของน้ำ สำหรับแผงทำความเย็นที่ยังไม่เคยใช้งานสามารถทำให้อากาศเย็นลงได้ประมาณ 80% ของผลต่างระหว่างอุณหภูมิกระเปาะแห้งและอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศภายนอก หรือมีอุณหภูมิลดลงประมาณ 3-4 °F เหนืออุณหภูมิกระเปาะเปียก (ASHRAE, 1999)

โดยทั่วไปของการเลี้ยงไก่พันธุ์เนื้อในเชิงอุตสาหกรรม จะสร้างเป็นโรงเรือนระบบปิด ซึ่งมีลักษณะโรงเรือนเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาดความกว้าง 10-12 เมตร, ความยาวไม่เกิน 100-120 เมตร, ความสูงตรงกลางโรงเรือนประมาณ 4.5 เมตร และความสูงที่ผนังข้างประมาณ 2 เมตร โดยมีพัดลมดูดอากาศติดอยู่ที่ปลายด้านหนึ่งของโรงเรือน ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งก็ติดตั้งแผงทำความเย็นเพื่อให้อากาศไหลเข้าสู่โรงเรือน ดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 โครงสร้างของโรงเรือนระบบปิดที่ใช้ระบบทำความเย็นแบบระเหย

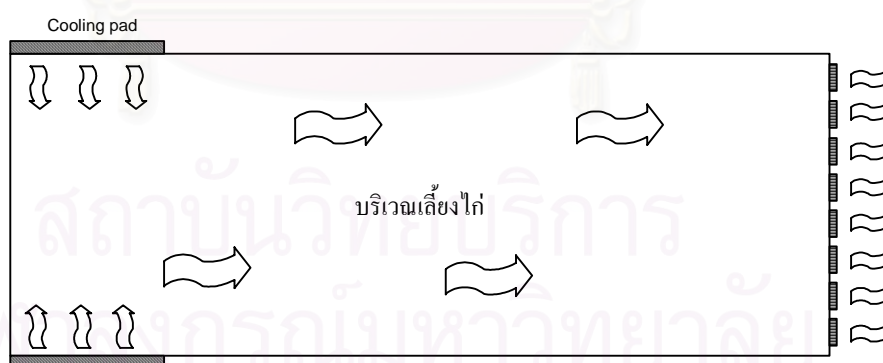
เป็นที่ทราบกันดีว่าระบบการกระจายลมที่เหมาะสมภายในห้องปรับอากาศ เป็นปัจจัยหนึ่งส่งผลต่อสภาวะความสบาย (Thermal comfort) ของผู้ที่อยู่อาศัย นอกเหนือไปจากเรื่องของอุณหภูมิและความชื้น ถ้าหากในบางบริเวณมีความเร็วลมมากไปก็ทำให้ผู้ที่อยู่อาศัยเกิดความรำคาญ หรือในทางกลับกันความเร็วลมที่ต่ำไปก็ทำให้ผู้ที่อยู่อาศัยรู้สึกอึดอัดได้ โดยในลักษณะเดียวกันนี้เมื่อเราประยุกต์ใช้กับไก่พันธุ์เนื้อที่เลี้ยงภายในโรงเรือน หากเราสามารถออกแบบให้มีการกระจายลมที่เหมาะสม ก็จะทำให้ไก่เจริญเติบโตได้เร็ว และโตอย่างสม่ำเสมอทั้งทั้งโรงเรือน

ในช่วงหน้าร้อน จะมีไก่ตายมากกว่าในช่วงฤดูกาลอื่น ซึ่งบริเวณที่ไก่ตายส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นที่บริเวณด้านข้างของโรงเรือน จึงทำให้เกิดแนวคิดที่จะลดจำนวนไก่ที่ตายโดยการก่อสร้างโรงเรือนกว้าง 24 เมตรเพื่อจะลดพื้นที่ของผนังข้างให้น้อยลง โดยภายในยังคงมีพื้นที่เลี้ยงไก่เป็นสองเท่าของโรงเรือนกว้าง 12 เมตร ข้อดีอีกประการของการสร้างโรงเรือนกว้าง 24 เมตร คือประหยัดพื้นที่และค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างเมื่อเปรียบเทียบกับการก่อสร้างโรงเรือนกว้าง 12 เมตรสองโรงเรือน แต่หากพิจารณาในด้านการระบายอากาศ เมื่อโรงเรือนมีความกว้างมากขึ้นก็ไม่สามารถระบุได้ว่าจะมีการกระจายลมและสภาวะความร้อนแตกต่างจากในโรงเรือนกว้าง 12 เมตรหรือไม่

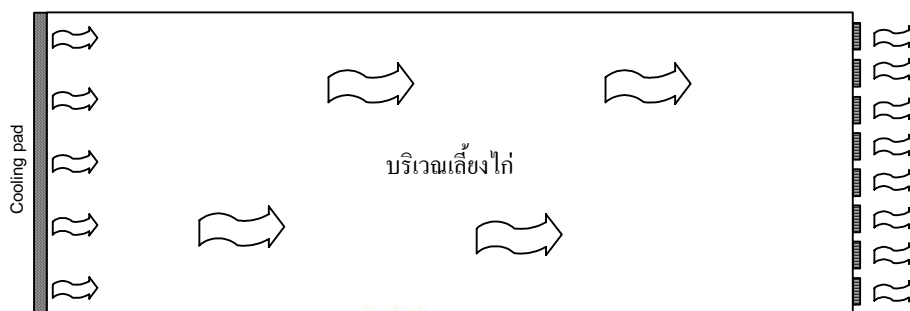


ค่าความดันตก (Pressure drop) ภายในโรงเรือนก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่ต้องคำนึงถึงในการออกแบบโรงเรือนเลี้ยงไก่ระบบปิด หากผลต่างของความดันอากาศระหว่างภายในและภายนอกโรงเรือนมีมากเกินไปก็จะทำให้ประสิทธิภาพของพัดลมดูดอากาศลดลง เมื่อพัดลมดูดอากาศได้น้อยลง (ความเร็วลมภายในโรงเรือนจะลดลง) ปริมาณความร้อนสะสมในโรงเรือนจะเพิ่มขึ้น ไก่ที่อยู่บริเวณด้านท้ายของโรงเรือนจะได้รับผลกระทบเป็นอย่างมาก อาจทำให้มีอาการอึดอัดและหอบ ซึ่งส่งผลต่อการเจริญเติบโตเช่นเดียวกัน

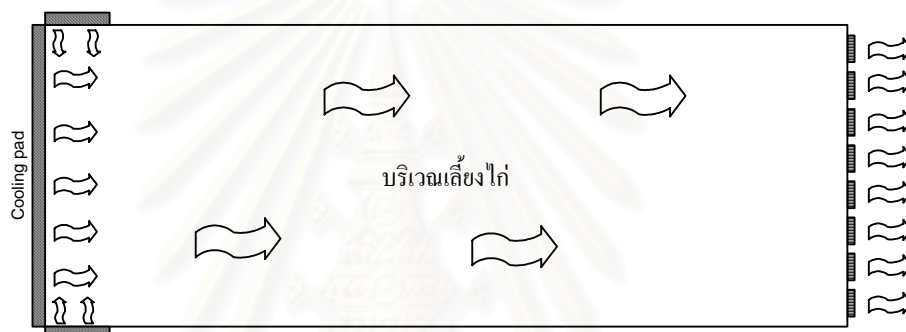
นอกเหนือไปจากตำแหน่งการวางแผงทำความเย็นที่แสดงในรูปที่ 1.1 แล้ว ยังสามารถวางแผงทำความเย็นในตำแหน่งต่างๆ ได้อีก ซึ่งตรงส่วนนี้จะเป็นปัญหาที่ผู้เลี้ยงไก่พันธุ์เนื้อยังไม่สามารถทราบได้ว่า เมื่อเปลี่ยนตำแหน่งแผงทำความเย็นจะส่งผลต่อความสม่ำเสมอของการกระจายลมภายในโรงเรือนอย่างไร โดยในรูปที่ 1.2-1.4 ได้แสดงตำแหน่งการวางแผงทำความเย็นที่จะนำมาพิจารณาในวิทยานิพนธ์นี้ ซึ่งโรงเรือนระบบปิดในอดีตจะวางแผงทำความเย็นดังรูปที่ 1.2 เนื่องจากเป็นโรงเรือนที่ดัดแปลงมาจากโรงเรือนระบบเปิดซึ่งผนังด้านกว้างทางซ้ายมือในรูปจะเป็นทางเข้าออกและห้องเก็บวัสดุ ในปัจจุบันเริ่มมีการก่อสร้างโรงเรือนดังรูปที่ 1.3 กันบ้างแล้วโดยย้ายทางเข้าออกและห้องเก็บวัสดุมาไว้ทางผนังด้านยาว ส่วนโรงเรือนดังรูปที่ 1.4 เป็นโรงเรือนอีกรูปแบบหนึ่งที่มีการก่อสร้าง ลักษณะการกระจายลมและค่าความดันตกของโรงเรือนระบบปิดทั้งสามแบบที่ยกตัวอย่างนั้นยังไม่ได้มีการตรวจสอบว่ามีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันอย่างไร และมีเหมาะสมในการปรับเปลี่ยนในเชิงธุรกิจหรือไม่



รูปที่ 1.2 การวางแผงทำความเย็นที่ผนังด้านข้างบริเวณต้นทางของโรงเรือนระบบปิด  
เมื่อมองจากด้านบนของโรงเรือน (Not to scale)

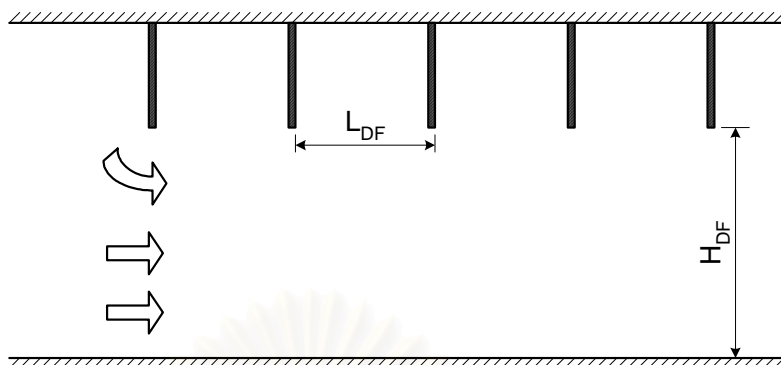


รูปที่ 1.3 การวางแผนทำความเย็นที่ผนังด้านกว้างบริเวณต้นทางของโรงเรือนระบบปิด  
เมื่อมองจากด้านบนของโรงเรือน (Not to scale)



รูปที่ 1.4 การวางแผนทำความเย็นที่ผนังด้านกว้างและด้านข้างบริเวณต้นทางของโรงเรือนระบบปิด  
เมื่อมองจากด้านบนของโรงเรือน (Not to scale)

เนื่องจากโรงเรือนมีความสูงค่อนข้างมากเมื่อเปรียบเทียบกับความสูงของไก่ ดังนั้นจึงเป็นการสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายด้านพลังงานในการเปิดพัดลมดูดอากาศจำนวนมาก เพื่อให้ได้ความเร็วลมเฉลี่ยทั้งโรงเรือนที่สามารถระบายความร้อนจากตัวไก่ซึ่งอยู่ที่บริเวณพื้นดินได้อย่างเพียงพอ ซึ่งลม (Air deflector) ถือเป็นอุปกรณ์หนึ่งซึ่งช่วยให้ความเร็วลมที่ระดับตัวไก่เพิ่มมากขึ้นโดยใช้วิธีการลดพื้นที่หน้าตัดของโรงเรือน ซึ่งจะทำให้บริเวณที่อยู่ใต้ซึ่งลมมีความเร็วลมมากและจะลดลงในตำแหน่งที่อยู่ห่างออกไป จึงต้องทำการติดตั้งซึ่งลมไว้เป็นระยะๆ เพื่อให้มีความเร็วที่สม่ำเสมอและเพียงพอ ในการปรับเปลี่ยนค่าระยะห่างระหว่างซึ่งลมและความสูงของซึ่งลมจะส่งผลกับค่าความเร็วลมที่ระดับความสูงประมาณ 30 เซนติเมตรเหนือพื้นดินซึ่งสมมติว่าเป็นค่าความสูงของตัวไก่ และส่งผลกับค่าความดันตกภายในโรงเรือน โดยในรูปที่ 1.5 ได้แสดงลักษณะของซึ่งลมที่ใช้ในโรงเรือนระบบปิดซึ่งมีระยะห่างระหว่างซึ่งลม ( $L_{DF}$ ) และความสูงของซึ่งลมจากพื้นโรงเรือน ( $H_{DF}$ )



รูปที่ 1.5 ลักษณะซึ่งลมที่ใช้ในโรงเรือนระบบปิด

จากที่กล่าวมาข้างต้นสามารถสรุปตัวแปรที่จะนำมาพิจารณาในวิทยานิพนธ์นี้ ถึงผลกระทบที่มีต่อความเร็วลมและความดันตกภายในโรงเรือน ได้ดังนี้

1. ความกว้างของโรงเรือน
2. ความยาวของโรงเรือน
3. ตำแหน่งการวางแผงทำความเย็น
4. ระยะห่างระหว่างซึ่งลม
5. ความสูงของซึ่งลมจากพื้น

สำหรับวิธีการตรวจสอบผลกระทบเนื่องจากตัวแปรต่างๆ ข้างต้น เพื่อใช้ในการออกแบบโรงเรือนที่มีลักษณะการกระจายลมและความดันตกที่เหมาะสมในวิทยานิพนธ์นี้ จะใช้การคำนวณเชิงตัวเลขสำหรับปัญหาการไหล (Computational fluid dynamics) เข้ามาช่วย โดยทำการประยุกต์โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับคำนวณการไหลแบบปั่นป่วนในสองมิติจาก Pultivisitak (2002) ซึ่งจะทำให้ทราบถึงลักษณะการกระจายลมและค่าความดันตกที่ตำแหน่งต่างๆ สำหรับขั้นตอนและระเบียบวิธีในการสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์นั้น จะได้กล่าวถึงในบทถัดไป โดยที่ จะตั้งสมมติฐานของของไหลที่นำมาพิจารณาในการสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ดังต่อไปนี้

1. ของไหลเป็นชนิดอัดตัวไม่ได้ (Incompressible flow)
2. เป็นการไหลที่มีความหนืด (Viscous flow)
3. การไหลมีอุณหภูมิคงที่ (Isothermal flow)
4. การไหลเป็นแบบปั่นป่วน (Turbulent flow)
5. การไหลอยู่ในสภาวะคงตัว (Steady flow)

## 1.2 งานวิจัยที่ผ่านมา

Nielsen et al. (1978) ได้ทำการทดลองวัดและทำการคำนวณเชิงตัวเลขเพื่อหาค่าความเร็วลมภายในห้องที่ความยาวห้องมีค่าเป็นสามเท่าของความสูง โดยจะจ่ายลมผ่านช่องเปิดแคบ (Slot) ที่มีความกว้างเท่ากับความกว้างของห้อง ในส่วนของการวัดค่าความเร็วลมจะใช้ Laser-doppler anemometer และในส่วนของการคำนวณเชิงตัวเลขจะใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ TEACH ซึ่งเป็นโปรแกรมสำหรับคำนวณการไหลแบบปั่นป่วนในสองมิติที่ใช้  $k-\epsilon$  turbulence model มาช่วยทำนายค่าความเร็วที่จุดต่างๆ เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองกับผลการคำนวณ Nielsen et al. สรุปว่าผลการคำนวณเชิงตัวเลขในช่วงความกว้าง  $-0.4W$  ถึง  $0.4W$  เมื่อวัดจากกึ่งกลางห้อง มีความถูกต้องเพียงพอในการนำมาใช้เพื่อการออกแบบ โดยที่  $W$  คือความกว้างของห้อง

Murakami et al. (1987) ได้ประดิษฐ์โปรแกรมคำนวณการไหลแบบปั่นป่วนในสามมิติ สำหรับการระบายอากาศภายในห้องที่มีรูปแบบที่แตกต่างกัน 6 รูปแบบ โดยทำการเปลี่ยนแปลงขนาดห้อง รวมถึงตำแหน่ง, ขนาด และจำนวนของช่องลมออก โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ประดิษฐ์ขึ้นจะใช้ Standard  $k-\epsilon$  turbulence model ร่วมกับวิธีการกำหนดเงื่อนไขที่ผิวปริมาตรควบคุมแบบ Power-law สำหรับสมการอนุพันธ์โมเมนต์ ผลที่ได้จากโปรแกรมจะนำมาเปรียบเทียบกับผลจากการทดลองที่วัดโดยใช้ Hot-wire anemometer ซึ่ง Murakami สรุปว่าผลที่ได้จากโปรแกรมและผลการทดลองมีความใกล้เคียงกัน

Liou and Kao (1988) ได้ทำการศึกษาเชิงทดลองร่วมกับการจำลองการไหลแบบปั่นป่วนในช่องขนานที่มีครีบซึ่งอยู่ติดกับผนังทั้งสองด้านจำนวนหนึ่งตำแหน่ง โดยใช้โปรแกรม TEACH-2EF code เพื่อหาค่าความเร็วในแนวแกนและปริมาณความปั่นป่วน โดยการทดลองยังได้ศึกษาผลจากเปลี่ยนแปลงค่า Reynolds number, ความสูงของครีบ, ความกว้างของครีบ และผลของ Boundary layer thickness ซึ่งผลจากการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรต่างๆ มีอิทธิพลต่อพฤติกรรมของของไหลที่เกิดขึ้น โดยผลจากการทดลองกับการจำลองการไหล ปรากฏว่ามีความถูกต้องและสอดคล้องกันดี

Durst (1988) ได้ทำการศึกษาเชิงทดลองร่วมกับการจำลองการไหลแบบปั่นป่วนในช่องขนานที่มีสิ่งกีดขวางซึ่งอยู่ติดกับผนังหนึ่งด้านจำนวนสองตำแหน่ง เพื่อหาค่าความเร็วตามแนวแกนและปริมาณความปั่นป่วน นอกจากนั้นยังได้ศึกษาผลของค่า Reynolds number และ Blockage ratio ต่อค่าความยาวและตำแหน่งของการหมุนวนด้านหลังสิ่งกีดขวางทั้งสองตำแหน่ง

ในส่วนของการจำลองการไหลได้ใช้โปรแกรมที่พัฒนามาจาก TEACH code โดยผลจากการทดลองกับผลการคำนวณเชิงเลขปรากฏว่ามีความถูกต้องและสอดคล้องกันดี

Haghighat et al. (1992) ได้สร้างห้องทดสอบแบบ Two-zone enclosure โดยเชื่อมโซนทั้งสองด้วยประตู และแต่ละโซนจะมีช่องเปิดหนึ่งช่องเพื่อให้อากาศไหลเข้าและไหลออก ห้องทดสอบนี้สร้างขึ้นเพื่อศึกษาการกระจายตัวของความเร็วลม, อุณหภูมิ และความเข้มข้นของสิ่งเจือปน (Contaminant) ในอากาศ ของทั้งสองโซน โดยทำการวัดผลจากการทดลองเปรียบเทียบกับผลการคำนวณเชิงตัวเลขจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สร้างขึ้นโดยใช้แบบจำลองความปั่นป่วน  $k-\epsilon$  model ร่วมกับ SIMPLE algorithm และเปรียบเทียบกับผลการคำนวณเชิงตัวเลขจากโปรแกรม PHOENICS ซึ่งพบว่าผลการคำนวณจากโปรแกรมทั้งสองสอดคล้องเป็นอย่างดีกับผลจากการทดลอง และตำแหน่งของช่องเปิดทั้งสองช่องรวมถึงตำแหน่งของประตูมีผลต่อคุณภาพของอากาศภายในโซนแต่ละโซน

### 1.3 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

1. เพื่อตรวจสอบลักษณะการกระจายลมและค่าความดันตกภายในโรงเรือน โดยใช้การคำนวณเชิงตัวเลขสำหรับปัญหาการไหล (Computational fluid dynamics)
2. เพื่อศึกษาถึงอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อลักษณะการกระจายลมและค่าความดันตกภายในโรงเรือน

### 1.4 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

1. ตรวจสอบอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ได้แก่ ความกว้างของโรงเรือน, ความยาวของโรงเรือน, ตำแหน่งการวางแผงทำความเย็น, ระยะห่างระหว่างชิงลม และความสูงของชิงลมจากพื้น เพื่อให้ทราบถึงผลกระทบในด้านการกระจายลมและความดันตกภายในโรงเรือนโดยใช้การคำนวณเชิงตัวเลขในปัญหาการไหลเข้ามาช่วย
2. แบบจำลองความปั่นป่วน (Turbulence model) ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ คือ Standard  $k-\epsilon$  model และใช้ระเบียบวิธีปริมาตรจำกัด (Finite volume method) ร่วมกับ Hybrid scheme ในการแก้ปัญหาการไหลแบบปั่นป่วน

### 1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ตรวจสอบรูปแบบของโรงเรียนระบบปิดที่มีอยู่ในปัจจุบัน
2. ทำการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการไหลแบบปั่นป่วน รวมถึงแบบจำลองความปั่นป่วน
3. ศึกษาวิธีการแก้ปัญหาเชิงตัวเลขด้วยระเบียบวิธีปริมาตรจำกัด
4. ประดิษฐ์โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการแก้ปัญหาคาร์ไหลแบบปั่นป่วนใน 2 มิติ
5. ตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้น
6. นำโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ได้ไปทำนายการกระจายลมและความดันตกในโรงเรียนรูปแบบต่างๆ
7. เปรียบเทียบผลการคำนวณเชิงตัวเลขที่ได้ เพื่อหาผลกระทบเนื่องจากตัวแปรต่างๆ
8. เขียนวิทยานิพนธ์และสอบวิทยานิพนธ์

### 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบแนวทางสำหรับการออกแบบทางด้านการระบายอากาศภายในโรงเรียนระบบปิดที่เหมาะสม
2. สามารถนำความรู้ทางด้านการคำนวณเชิงเลขมาช่วยในการออกแบบได้
3. สามารถนำขั้นตอนการประเมินพื้นที่การเลี้ยงที่เหมาะสมและไม่เหมาะสมไปประยุกต์ใช้กับโรงเรียนเลี้ยงไก่ในรูปแบบต่างๆ ได้

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 2

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวกับการระบายอากาศและการทำความเย็นในโรงเรือนเลี้ยงไก่

ในอดีตโรงเรือนที่ใช้ในการเลี้ยงไก่เนื้อส่วนใหญ่จะเป็นระบบเปิดซึ่งสามารถเลี้ยงไก่ได้ประมาณ 8 - 9 ตัวต่อตารางเมตร โดยจะควบคุมสภาวะแวดล้อมรอบตัวไก่ตามธรรมชาติ (Natural ventilation) และอุณหภูมิจะแปรไปตามสภาพของอากาศรอบโรงเรือน ดังนั้นในช่วงที่อากาศร้อนอบอ้าวมากๆ จะทำให้ไก่หอบ ซึ่งจะดึงเอาพลังงานจากอาหารส่วนหนึ่งมาใช้ในการปรับตัว ทำให้ส่งผลต่ออัตราการเจริญเติบโตของไก่เนื้อ

เนื่องจากการขยายตัวของอุตสาหกรรมการเลี้ยงไก่ จึงมีความจำเป็นที่จะต้องทำให้ไก่สามารถเจริญเติบโตได้อย่างเต็มที่ และสามารถเลี้ยงในปริมาณมากๆ โดยใช้พื้นที่เท่าเดิม จึงมีความจำเป็นที่จะต้องควบคุมสภาวะแวดล้อมได้แก่ อุณหภูมิ, ความชื้น, การระบายอากาศ และแสงสว่างให้เหมาะสมกับสภาวะแวดล้อมที่แนะนำในการเลี้ยงไก่เนื้อ โรงเรือนในปัจจุบันจึงเป็นแบบระบบปิด โดยใช้การระบายอากาศและการปรับอากาศมาช่วยควบคุมให้สภาวะอากาศภายในโรงเรือนเป็นไปตามที่ต้องการ ส่งผลให้สามารถเลี้ยงไก่เนื้อได้เพิ่มมากขึ้นโดยสามารถเลี้ยงได้ประมาณ 12 - 13 ตัวต่อตารางเมตร อีกทั้งยังทำให้อัตราการเจริญเติบโตดีขึ้นอีกด้วย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความสามารถของระบบทั้งสองที่จะคงสภาวะอุณหภูมิที่เหมาะสมไว้ได้ดีมากน้อยเท่าใด ข้อดีอื่นๆ ของโรงเรือนระบบปิด คือ ในเรื่องของการจัดการฟาร์มเลี้ยง จะสามารถป้องกันการระบาดของโรคได้อย่างมีประสิทธิภาพ, การป้องกันแมลงและศัตรูที่จะมารบกวนไก่เนื้อได้ และข้อดีในเรื่องการจัดการฟาร์มที่กล่าวมานี้จึงสามารถลดจำนวนคนดูแลฝูงไก่ลงได้อีกด้วย

##### 2.1.1 ลักษณะของโรงเรือนเลี้ยงไก่

โรงเรือนเลี้ยงไก่ที่ใช้เลี้ยงเพื่ออุตสาหกรรม จะมีลักษณะทั่วไปดังนี้

1. โรงเรือนจะหันแนวยาวในทิศตะวันออก – ตะวันตก
2. ความกว้างของโรงเรือนอยู่ระหว่าง 10 – 12 เมตร ความยาวของโรงเรือนประมาณ 100 – 120 เมตร ความสูงของโรงเรือนวัดจากพื้นถึงจั่วสูงประมาณ 4.5 – 5.0 เมตร และเมื่อวัดจากพื้นที่บริเวณตาข่ายขึ้นไปจนถึงชายคาจะสูงประมาณ 2 เมตร ทั้งนี้เพื่อการหมุนเวียนอากาศ, การกันแดดกันฝน และการจัดการภายในโรงเรือน

3. หลังคาโรงเรือนทำจากวัสดุที่กันความร้อนได้ดี มีลักษณะเป็นหน้าจั่ว มีชายคายื่นออกไปจากตัวโรงเรือน เพื่อป้องกันแดดส่องเข้าไปในโรงเรือน
4. พื้นโรงเรือนเป็นพื้นคอนกรีตปูด้วยวัสดุรองพื้น (แกลบหรือขี้เลื่อย), พื้นสแลต (slat) หรือใช้ทั้งสองชนิดร่วมกัน
5. ผนังด้านข้าง จะทำจากผ้าพลาสติกหนาที่เป็นฉนวนความร้อน เช่น PE หรือ PVC เพื่อป้องกันอากาศร้อน, ความชื้น และสัตว์กินเนื้อที่จะเข้ามาสู่ภายในโรงเรือน
6. ระบบระบายอากาศและระบบทำความเย็น เป็นส่วนสำคัญสำหรับควบคุมสภาวะแวดล้อมภายในโรงเรือน ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป

### 2.1.2 หลักการระบายอากาศภายในโรงเรือนระบบปิด

ระบบระบายอากาศที่มีประสิทธิภาพเป็นสิ่งสำคัญอย่างมากสำหรับโรงเรือนระบบปิด เนื่องจากความหนาแน่นของไอน้ำที่เลี้ยงมีมาก ทำให้เกิดปัญหาในด้านต่างๆ ที่ส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของไก่ สำหรับวัตถุประสงค์หลักของการระบายอากาศในโรงเรือนเลี้ยงไก่ คือ

1. เพื่อดึงความร้อนออกจากโรงเรือน
2. เพื่อลดความชื้นภายในโรงเรือน
3. เพื่อลดฝุ่นละอองและกลิ่นที่เกิดขึ้น
4. เพื่อจำกัดการก่อกวนของก๊าซที่เป็นอันตราย เช่น แอมโมเนีย หรือคาร์บอนไดออกไซด์ ฯลฯ
5. เพื่อป้องกันอากาศสำหรับการหายใจ

การทำให้ระบบระบายอากาศของโรงเรือนที่ตั้งอยู่ในเขตร้อน สามารถลดความเครียดจากอากาศร้อน (Heat stress) ได้นั้น จะต้องทำให้สภาวะอากาศภายในโรงเรือนอยู่ภายในช่วงที่เหมาะสม ซึ่งกรมปศุสัตว์ (2542) ได้กำหนดสภาวะอากาศที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงไก่อุดังต่อไปนี้ สำหรับลูกไก่ที่มีอายุไม่เกิน 3 สัปดาห์ อุณหภูมิอากาศที่เหมาะสมคือ 30 – 35°C ส่วนไก่เนื้อที่โตกว่าจะมีช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 20 – 30°C โดยมีความชื้นสัมพัทธ์อยู่ระหว่าง 50 – 80% ส่วนอัตราการระบายอากาศที่เหมาะสม คือ สามารถแลกเปลี่ยนอากาศภายในโรงเรือนได้ทั้งหมดภายในเวลา 45 วินาที – 1 นาที 15 วินาที หรือ 1 – 2 L/s ต่อกิโลกรัมของไก่อเนื้อ

การระบายอากาศด้วยข้อกำหนดนี้จะสามารถระบายความร้อนที่เกิดจากตัวไก่, ความร้อนจากแสงแดดที่ทะลุผ่านผนังด้านต่างๆ รวมทั้งหลังคา อีกทั้งความร้อนจากอากาศภายนอกที่แทรกซึมเข้ามาในโรงเรือนได้อย่างมีประสิทธิภาพ



ดังนั้นโรงเรือนระบบปิดจึงใช้การระบายอากาศแบบเชิงกล โดยใช้พัดลมในการสร้างความแตกต่างของความดันสถิตย (Static pressure) ระหว่างภายในและภายนอกโรงเรือน สามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ

1. แบบความดันสถิตยเป็นบวก (Positive pressure ventilation) ในรูปแบบนี้พัดลมจะพ่นอากาศจากภายนอกเข้าสู่โรงเรือนและผลักดันให้อากาศขึ้นในโรงเรือนออกไปสู่ภายนอกที่ช่องลมออกและรูรั่วต่างๆ ที่อยู่ตามผนังและหลังคา ข้อเสียประการหนึ่งของการระบายอากาศแบบนี้ คือ พลังงานที่พัดลมใช้บางส่วนจะกลายเป็นความร้อนที่เข้าสู่โรงเรือนได้

2. แบบความดันสถิตยติดลบ (Negative pressure ventilation) เป็นรูปแบบที่นิยมใช้กันมากที่สุด โดยพัดลมจะดูดอากาศจากภายในโรงเรือนออกไปสู่ภายนอก ซึ่งทำให้อากาศจากภายนอกจะเข้าสู่โรงเรือนโดยทางช่องลมเข้าและรูรั่วต่างๆ ที่อยู่ตามผนังและหลังคา การกระจายตัวของลมในโรงเรือนที่ระบายอากาศในลักษณะนี้จะราบเรียบมากกว่าโรงเรือนในข้อ 1

สำหรับการระบายอากาศแบบความดันสถิตยติดลบ พัดลมดูดอากาศที่ใช้ในโรงเรือนโดยทั่วไปจะมีอยู่ 2 ขนาด คือ พัดลมที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 36 นิ้วและ 48 นิ้ว ซึ่งจะให้อัตราการระบายอากาศเท่ากับ 11,000 cfm และ 22,000 cfm ตามลำดับ การใช้พัดลมในการระบายอากาศจะทำให้เกิดความดันสถิตยภายในโรงเรือน ตารางที่ 2.1 ได้แสดงตัวอย่างข้อมูลอัตราการระบายอากาศของพัดลมขนาด 36 นิ้วและ 48 นิ้ว ที่ความดันสถิตยค่าต่างๆ จะเห็นได้ว่าหากความดันสถิตยภายในโรงเรือนมีค่าติดลบมากเกินไป (ค่าความดันตกภายในโรงเรือนสูง) ก็จะส่งผลให้ประสิทธิภาพของพัดลมดูดอากาศลดต่ำลงอย่างมาก ดังนั้นค่าความดันตกจึงเป็นตัวแปรหนึ่งที่ต้องคำนึงถึงในการเลือกพัดลมดูดอากาศเพื่อให้สามารถระบายอากาศภายในโรงเรือนได้อย่างเพียงพอและตรงตามความต้องการ

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างข้อมูลอัตราการระบายอากาศของพัดลมขนาด 36 นิ้วและ 48 นิ้วที่ความดันสถิตยต์ต่างๆ

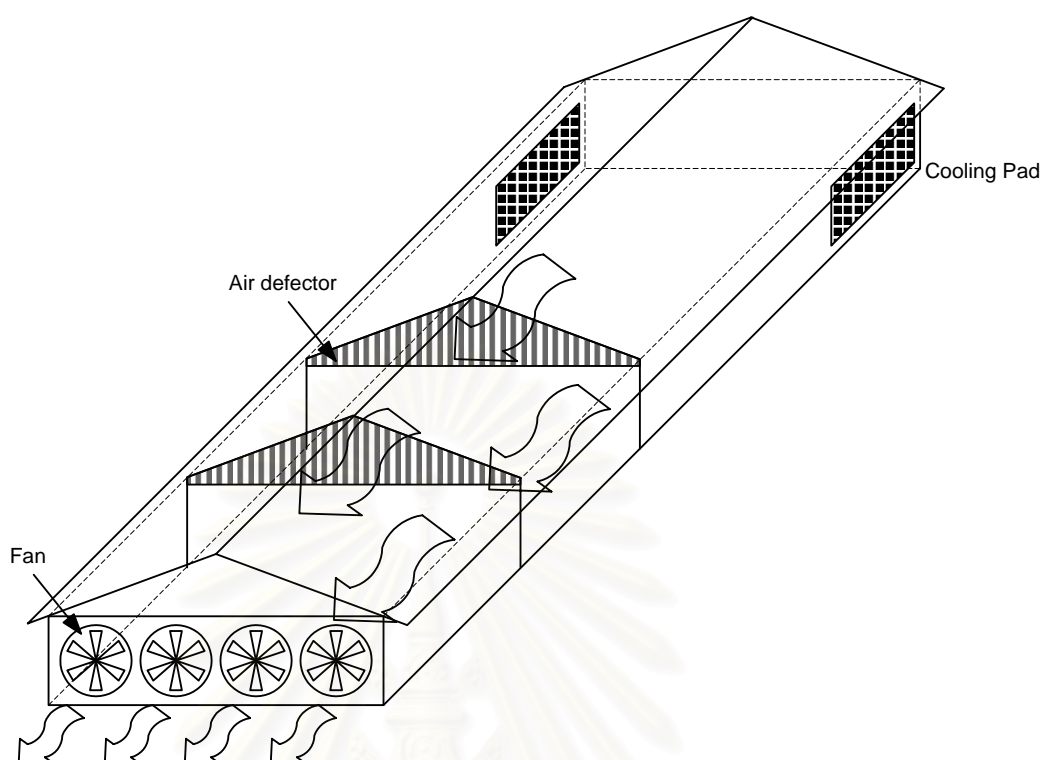
ความดันสถิตยต์ (นิ้วน้ำ)	อัตราการระบายอากาศ (cfm)	
	พัดลมขนาด 36 นิ้ว (Canarm รุ่น 60-36-5205)	พัดลมขนาด 48 นิ้ว (ACME รุ่น DDPG48J-C)
0.00	10,820	23,200
0.05	9,790	22,000
0.10	8,610	20,800
0.15	6,570	19,200
0.20	3,680	17,300
0.25	2,820	15,000
0.30	1,690	8,900

แหล่งที่มา : Bioenvironmental and Structural Systems Lab (BESS Lab), Department of Agricultural Engineering, University of Illinois

โรงเรือนที่มีการระบายอากาศแบบอุโมงค์ลม (Tunnel Ventilation) จะมีด้านยาวยาวกว่าด้านกว้างมาก มีอัตราการระบายอากาศสูง โรงเรือนแบบนี้จะติดตั้งพัดลมดูดอากาศไว้ที่ด้านท้ายของโรงเรือน และมีช่องเปิดให้อากาศเข้าที่ปลายโรงเรือนฝั่งตรงข้าม ที่ผนังโรงเรือนระหว่างช่องเปิดและพัดลมดูดอากาศจะถูกปิดไม่ให้อากาศแทรกผ่านเข้ามาได้ ดังในรูปที่ 2.1 พัดลมดูดอากาศจะดูดอากาศร้อนและก๊าซภายในโรงเรือนออก ขณะเดียวกันอากาศจากภายนอกจะผ่านเข้าทางช่องเปิดด้านหน้า อากาศจะเข้าแทนที่อากาศที่ถูกดูดออกทันที ทำให้ความร้อนภายในโรงเรือนไม่ถูกสะสมและขณะที่อากาศเคลื่อนที่ก็จะทำให้เกิดความเย็นต่อตัวไก่ตลอดทั้งโรงเรือนด้วย ซึ่งจะเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า “ปฏิกิริยาความเย็นจากความเร็วลม” (Wind-chill effect) ซึ่งปฏิกิริยานี้จะมีประสิทธิผลมากน้อยเพียงใด ขึ้นกับปัจจัยสำคัญ 2 ประการคือ

1. ความเร็วลม ถ้าลมมีความเร็วต่ำกว่า 60 fpm (0.3 m/s) จะไม่เกิดการทำความเย็น แต่ถ้าลมมีความเร็วสูงเกินไป ไก่จะสูญเสียความร้อนและน้ำออกจากตัวมาก (Dehydration) ซึ่งความเร็วลมสูงสุดเฉลี่ยที่เหมาะสมภายในเล้าไก่ ควรมีค่าประมาณ 2.5 – 3.5 m/s หรือ 500 – 700 fpm

2. อุณหภูมิของลม เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการทำความเย็น หากอุณหภูมิของลมที่พัดผ่านตัวไก่ใกล้เคียงกับอุณหภูมิของตัวไก่ ก็จะทำให้ปฏิกิริยาความเย็นจากความเร็วลมไม่มีประสิทธิภาพ ดังนั้นอุณหภูมิของลมควรจะแตกต่างจากอุณหภูมิของตัวไก่มากพอสมควร



รูปที่ 2.1 โรงเรือนที่มีการถ่ายเทอากาศแบบอุโมงค์ลม

### 2.1.3 ระบบทำความเย็นแบบระเหย (Evaporative Cooling System)

สำหรับในสภาพอากาศร้อนชื้นของประเทศไทย การทำความเย็นก็เป็นสิ่งสำคัญที่จะต้อง มีเพื่อทำให้ไก่เนื้อภายในโรงเรือนไม่เกิดความเครียดเนื่องจากความร้อน (Heat stress) ซึ่งจะส่งผล ต่ออัตราการเจริญเติบโตหรือทำให้ไก่ตายในที่สุด

โรงเรือนที่มีการระบายอากาศแบบอุโมงค์ลม (Tunnel ventilation) จะมีประสิทธิภาพดี ถ้าอุณหภูมิอากาศอยู่ต่ำกว่า 80 – 90 °F แต่เมื่อใดที่อุณหภูมิสูงกว่านี้ การเคลื่อนไหวของลมเพื่อ ก่อให้เกิดความเย็นที่ตัวไก่จะลดประสิทธิภาพลง อุณหภูมิที่สูงเช่นนี้สามารถทำให้ลดลงได้โดยการ นำเอาระบบการทำความเย็นโดยการระเหยของน้ำ (Evaporative cooling) มาใช้ ซึ่งมีอยู่ 2 แบบ คือ การใช้หัวฉีดพ่นน้ำออกเป็นหมอก (Fogging nozzles) และการใช้แผงทำความเย็นแบบเยื่อ กระดาษ (Cooling pad) ระบบทำความเย็นทั้งสองแบบจะแตกต่างกันเฉพาะอุปกรณ์ที่ใช้ในการ ระเหยน้ำเท่านั้น คือ หัวฉีดและแผงทำความเย็น เมื่อพิจารณาปัญหาในการใช้งาน การใช้หัวฉีด พ่นน้ำจะมีปัญหามากกว่า โดยเฉพาะปัญหาในเรื่องของความชื้นส่วนเกินที่อาจเกิดขึ้นภายใน โรงเรือนและปัญหาของเชื้อโรคซึ่งอาจปลอมปนมากับน้ำ

หลักการการทำงานของระบบทำความเย็นแบบระเหย คือ ให้อากาศและน้ำแลกเปลี่ยนความร้อนโดยการสัมผัสกันโดยตรง ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนและความชื้นระหว่างกัน โดยน้ำจะได้รับความร้อนจากอากาศและระเหยกลายเป็นไอ ทำให้อากาศมีอุณหภูมิกระเปาะแห้งลดลง แต่มีความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้น

ระบบการทำความเย็นแบบระเหยเป็นระบบที่เหมาะสมในการใช้กับโรงเรือนเลี้ยงไก่ เนื่องจากสามารถใช้ได้กับอัตราการระบายอากาศที่มากเพียงพอที่จะกำจัดกลิ่นและก๊าซแอมโมเนียออกไปได้ อีกทั้งความเร็วลมที่สูงยังช่วยในการพาความร้อนอีกด้วย ในด้านของค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง, ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานและค่าบำรุงรักษา จะมีน้อยกว่าระบบทำความเย็นรูปแบบอื่น แม้ว่าระบบทำความเย็นแบบระเหยนี้จะมีประสิทธิภาพสูงสุดในสภาวะอากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ แต่ด้วยข้อดีของระบบนี้จึงทำให้มีการนำระบบทำความเย็นแบบระเหยมาใช้ในสภาวะอากาศร้อนชื้น สำหรับส่วนประกอบของระบบทำความเย็นแบบระเหยที่ใช้ในโรงเรือนเลี้ยงไก่ จะมีดังต่อไปนี้

1. แผงทำความเย็น – มีหน้าที่เพิ่มพื้นที่สัมผัสระหว่างน้ำกับอากาศที่ไหลผ่าน จะทำจากกระดาษเซลลูโลสที่ผ่านการชุบเคมีพิเศษเพื่อให้ต้านทานการย่อยสลายและการผุพังเนื่องจากน้ำและอากาศ ลักษณะของแผงทำความเย็นจะเป็นกระดาษที่มีลักษณะเป็นลอนมาประกบกันเป็นก้อน ซึ่งมีช่องว่างทำให้อากาศและน้ำผ่านได้ดังในรูปที่ 2.2 สำหรับค่าความดันตกที่เกิดจากแผงทำความเย็นจะเปลี่ยนแปลงตามค่าความเร็วลมที่ผ่าน, มุมของลอนกระดาษ และความหนาของแผงทำความเย็น ดังรูปที่ 2.3 ซึ่งเป็นตัวอย่างข้อมูลของแผงทำความเย็นที่ลอนกระดาษทำมุมกัน  $60^{\circ}$

2. บ่อพักน้ำ – ควรทำเป็น 2 บ่อเชื่อมต่อกัน บ่อหนึ่งใช้สำหรับรับน้ำ (Sump tank) ที่ไหลกลับมาจากแผงทำความเย็นเพื่อพักตะกอนและอีกบ่อหนึ่งใช้สำหรับจ่ายน้ำ (Supply tank) เพื่อไปรดแผงทำความเย็น บ่อพักน้ำควรมีความจุดังแสดงในตารางที่ 2.2 อาจเป็นบ่อที่ก่อด้วยคอนกรีตหรือเป็นถังเก็บน้ำที่มีขายทั่วไป

3. บั๊มน้ำและระบบท่อ – ใช้หมุนเวียนน้ำจากบ่อจ่ายน้ำไปสู่แผงทำความเย็น น้ำจะถูกส่งไปตามท่อที่ติดตั้งไว้เหนือแผงทำความเย็นผ่านแผ่นกระจายน้ำ เพื่อให้แผงทำความเย็นเปียกชื้นอย่างสม่ำเสมอ น้ำที่ระเหยไม่หมดจะไหลผ่านแผงทำความเย็นลงสู่ท่อซึ่งอยู่ข้างใต้และกลับสู่บ่อพักน้ำ วงจรการหมุนเวียนน้ำสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.4

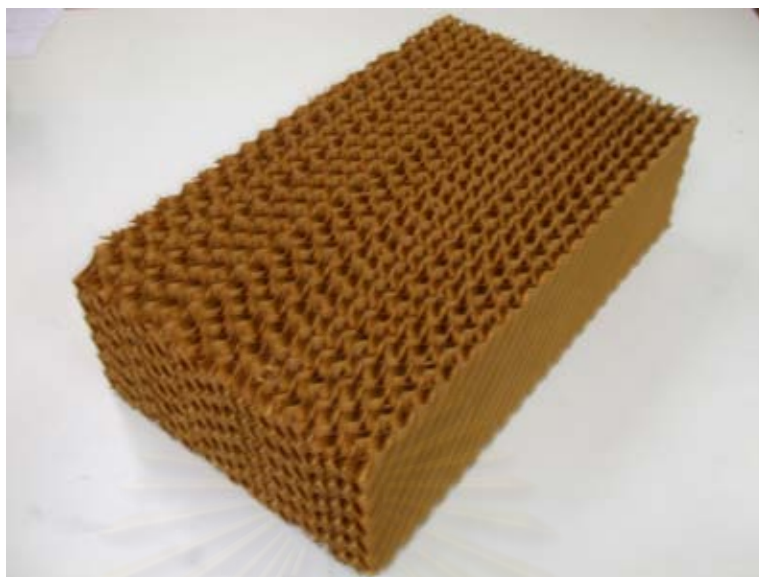
4. ท่อน้ำเติม – มีหน้าที่นำน้ำเข้ามาในระบบเพื่อชดเชยน้ำที่หายไปจากการระเหยเพื่อทำความเย็นและการคัตน้ำทิ้ง (Bleed-off)

5. ท่อคัตน้ำทิ้ง – ใช้คัตน้ำที่หมุนเวียนในระบบทิ้งบางส่วน เพื่อป้องกันปัญหาอันเกิดจากการสะสมของแร่ธาตุหรือสิ่งสกปรกที่อยู่ในน้ำ ซึ่งจะไปเกาะบนพื้นผิวของแผงทำความเย็นจนทำให้เกิดตะกอนอุดตันส่งผลให้ลมพัดผ่านได้น้อยลง

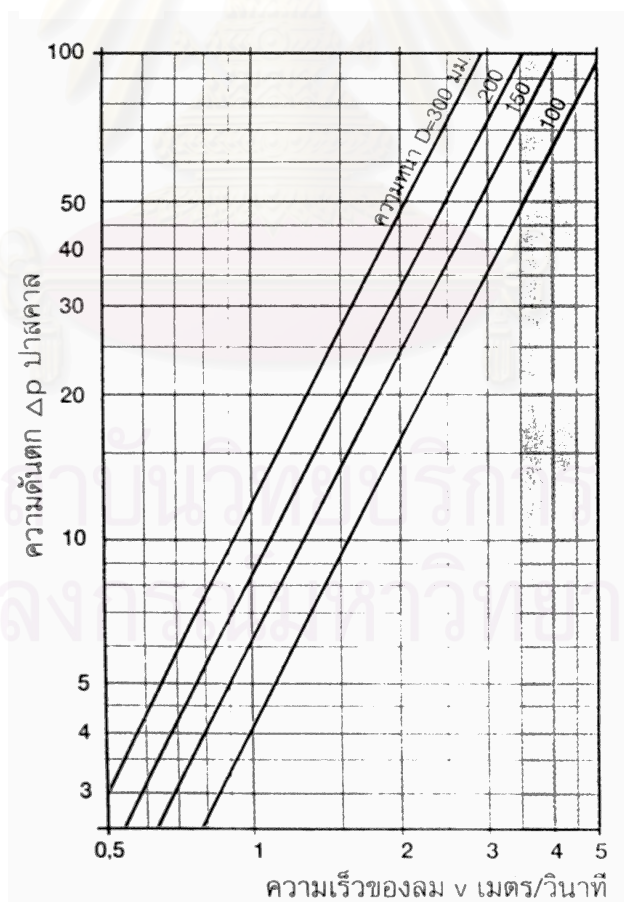
6. ชุดควบคุมอุณหภูมิและความชื้น – ใช้ควบคุมการทำงานของพัดลมดูดอากาศและปั้มน้ำให้สัมพันธ์กับระดับอุณหภูมิและความชื้นของอากาศที่แนะนำสำหรับการเลี้ยงไก่เนื้อ ชุดควบคุมควรตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาวะอากาศได้อย่างรวดเร็วและถูกต้อง

#### 2.1.4 ชิงลม (Air Deflector)

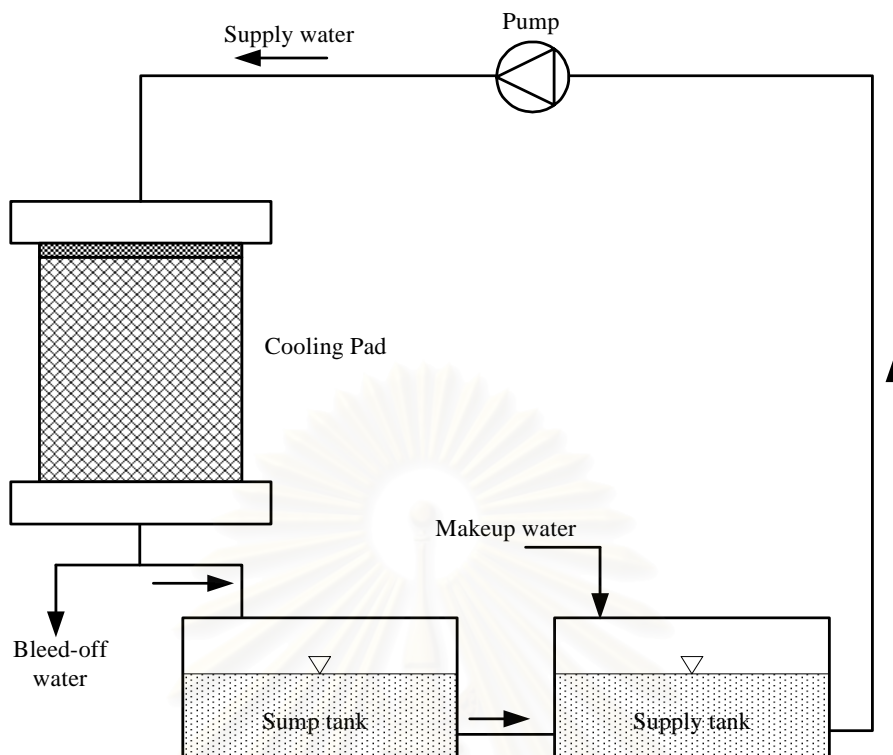
สำหรับสภาวะอากาศร้อนและมีความชื้นสัมพัทธ์มาก การทำความเย็นโดยการระเหยของน้ำอาจจะทำให้อุณหภูมิของอากาศลดลงไม่มาก อีกทั้งความเร็วลมที่ระดับตัวไก่ซึ่งเกิดจากอัตราการระบายอากาศที่แนะนำอาจจะทำให้การระบายความร้อนจากตัวไก่ไม่เพียงพอ การแก้ไขปัญหасสามารถทำได้โดยการเพิ่มความเร็วลมที่ระดับตัวไก่โดยใช้ชิงลมเพื่อลดพื้นที่หน้าตัดของโรงเรือน ชิงลมทำจากผ้ามาเนพลาสติกหรือไม้อัด วางตามแนวขวางของโรงเรือนโดยติดตั้งไว้เป็นระยะๆ ตลอดทั้งโรงเรือน การติดตั้งชิงลมอย่างไม่เหมาะสมจะทำให้ค่าความดันตกภายในโรงเรือนมีค่าสูงขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพของพัดลมดูดอากาศลดต่ำลง



รูปที่ 2.2 ลักษณะของแผงทำความเย็น



รูปที่ 2.3 ค่าความดันตกของอากาศที่ไหลผ่านแผงทำความเย็น ยี่ห้อ CELdek รุ่น 7060-15



รูปที่ 2.4 วงจรการหมุนเวียนน้ำของระบบทำความเย็นแบบระเหยที่ใช้แผงทำความเย็น

ตารางที่ 2.2 ปริมาณน้ำหมุนเวียนในระบบและปริมาณของบ่อกักน้ำสำหรับแผงทำความเย็นที่ติดตั้งในแนวตั้ง

ความหนาของแผงทำความเย็น	อัตราการไหลน้อยที่สุดของน้ำหมุนเวียนต่อความยาวของแผงทำความเย็น, gpm	ปริมาตรที่น้อยที่สุดของบ่อกักน้ำต่อพื้นที่หนึ่งหน่วยของแผงทำความเย็น, gal/ft <sup>2</sup>
4 นิ้ว	0.5	0.8
6 นิ้ว	0.8	1.0

แหล่งที่มา : ASHRAE. 1999 ASHRAE Applications Handbook. Chapter 21. pp.14. Atlanta: The American Society of Heating, Refrigerating, and Air-conditioning Engineers, 1999.

### 2.1.5 มาตรฐานการระบายอากาศและสภาวะอากาศภายในโรงเรือนเลี้ยงไก่

เพื่อเป็นการพัฒนาสินค้าเกษตรและยกระดับฟาร์มเลี้ยงไก่เนื้อให้ได้มาตรฐาน ดังนั้นทางกรมปศุสัตว์ (2542) ได้กำหนดระเบียบมาตรฐานที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงไก่ภายในโรงเรือนระบบปิดขึ้น ตามประกาศกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ เรื่องมาตรฐานฟาร์มเลี้ยงสัตว์ของประเทศ ไทย พ.ศ.2542 ในวิทยานิพนธ์นี้จะนำค่ามาตรฐานบางส่วนมาเป็นค่าอ้างอิง ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ค่ามาตรฐานการระบายอากาศและสภาวะอากาศภายในโรงเรือนเลี้ยงไก่ระบบปิด

สภาวะภายในโรงเรือนระบบปิด	ค่ามาตรฐานของการเลี้ยงไก่
อัตราการระบายอากาศ	0.8 – 1.33 เท่าของปริมาตรโรงเรือนต่อนาที
อุณหภูมิอากาศ	20 - 30 °C
ความชื้นสัมพัทธ์	50 - 80 %
พื้นที่ในการเลี้ยง	น้ำหนักไก่เป็นรวมไม่เกิน 34 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

### 2.1.6 การประเมินสภาวะทางความร้อนของไก่

ในวิทยานิพนธ์นี้จะใช้ดัชนีที่แสดงสภาวะทางความร้อนสำหรับไก่คือ Black Globe-Humidity Index (BGHI) ซึ่ง Buffington et. al.(1981) ได้นำมาใช้เป็นครั้งแรกในการทำนายสภาวะทางความร้อนของสัตว์ ดัชนี BGHI ได้ดัดแปลงมาจาก Temperature Humidity Index (THI) โดยการแทนค่าอุณหภูมิอากาศด้วย Black globe temperature ดังนั้นดัชนีนี้จึงเป็นดัชนีที่รวมผลของตัวแปรสิ่งแวดล้อมหลัก 4 ตัวแปรที่ส่งผลต่อการเกิด Heat stress ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ, ความชื้นสัมพัทธ์, ความเร็วลมและอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย โดยสามารถหาดัชนี BGHI ได้ดังสมการต่อไปนี้

$$BGHI = t_g + 0.36t_{dp} + 41.5 \quad (2.1)$$

โดยที่  $t_g$  คือ Black globe temperature, °C  
 $t_{dp}$  คือ อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew point), °C

จะเห็นได้จากสมการข้างต้นว่าผลของตัวแปรสิ่งแวดล้อม 3 ตัว คือ อุณหภูมิอากาศ, ความเร็วลม และอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยได้รวมเข้าไว้ในตัวแปร Black globe temperature ซึ่งจะกล่าวถึงรายละเอียดของตัวแปรได้ดังต่อไปนี้

Black globe temperature เป็นอุณหภูมิที่วัดได้จากเครื่องตรวจวัดอุณหภูมิ เช่น เทอร์โมมิเตอร์หรือเทอร์โมคัปเปอ์ ซึ่งติดตั้งอยู่ที่จุดศูนย์กลางของวัสดุทรงกลมกลวงสีดำ มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 นิ้ว หลักการของการวัดค่า Black globe temperature คือ ภายหลังจากให้เวลาในการวัดที่มากพอ ที่ผิวของทรงกลมก็จะเกิดสมดุลระหว่างการพาความร้อนและการแผ่รังสีความร้อน อุณหภูมิที่วัดได้ (Black globe Temperature) จะสอดคล้องกับสมการต่อไปนี้

$$h_c A_g (T_g - T_{air}) = \epsilon \sigma A_g (T_{mrt}^4 - T_g^4) \quad (2.2)$$



โดยที่	$h_c$	คือ	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน, $W / m^2K$
	$A_g$	คือ	พื้นที่ผิวทรงกลม, $m^2$
	$T_g$	คือ	Black globe temperature, K
	$T_{air}$	คือ	อุณหภูมิอากาศ, K
	$T_{mrt}$	คือ	อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย (Mean radiant temperature), K
	$\varepsilon_{bg}$	คือ	สภาพการปล่อยรังสีของทรงกลมสีดำมีค่าประมาณ 0.95

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสำหรับการระบายอากาศทางกล ซึ่งมีค่า Sphere Reynolds number ( $Re_D = V_{air} d / \nu$ ) อยู่ระหว่าง  $10^2 - 10^5$  จะหาได้จากสมการ

$$h_c = 6.3 V_{air}^{0.6} d_g^{-0.4} \quad (2.3)$$

โดยที่	$V_{air}$	คือ	ความเร็วลม, m/s
	$d_g$	คือ	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของทรงกลม, m

ในส่วนของวิธีการหาค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยของไก่ที่ตำแหน่งต่างๆ ภายในโรงเรือนซึ่งใช้ในงานวิจัยนี้ ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก.

ดัชนีความร้อน BGHI ของ Buffington ได้มีการนำไปใช้ในการประเมินสภาวะทางความร้อนของไก่เพื่อทำการตรวจสอบโรงเรือนในรูปแบบต่างๆ ดังจะเห็นได้จากบทความทางวิชาการต่อไป

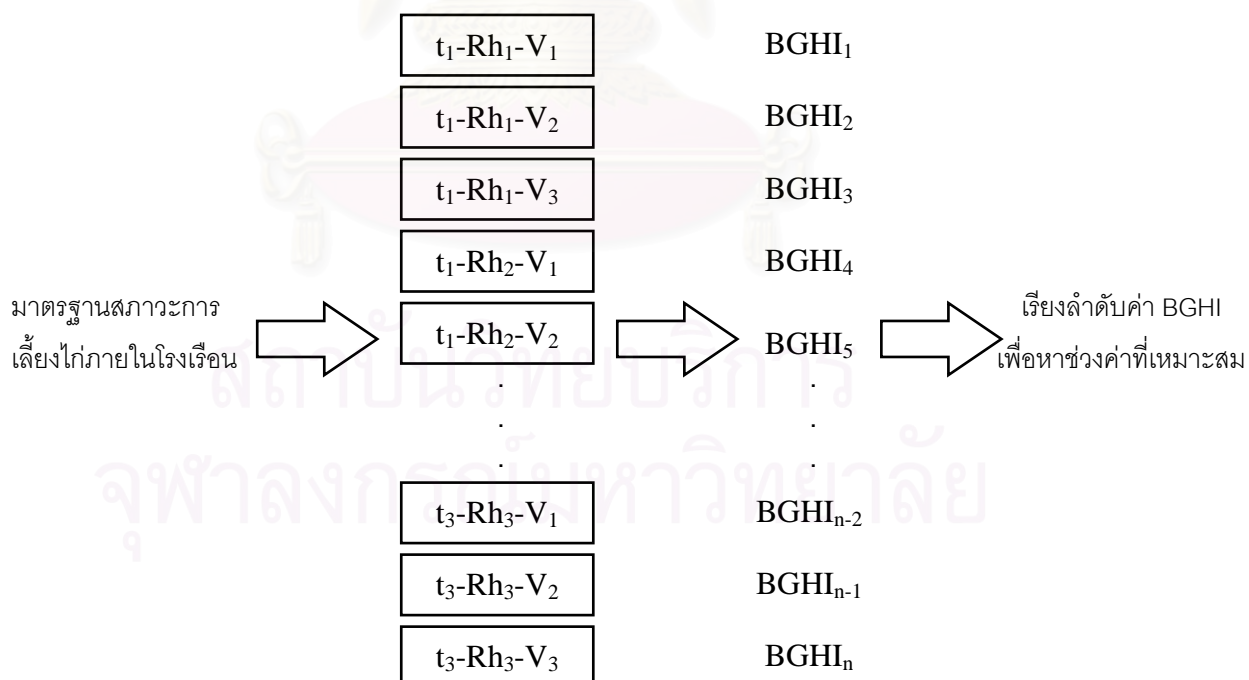
Morais et. al.(2001) ได้ทำการทดลองสร้างแบบจำลองย่อยส่วนของโรงเรือนเลี้ยงไก่ และเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการใช้วัสดุต่างๆ เป็นหลังคาโรงเรือนในช่วงเวลาฤดูร้อนของประเทศบราซิล ซึ่งจะใช้ค่า BGHI ที่ระดับตัวไก่ในช่วงเวลาที่อุณหภูมิอากาศมีค่าสูงสุดในการหาค่าประสิทธิภาพ จากผลการทดลองพบว่าโรงเรือนที่มีค่าประสิทธิภาพดีที่สุดคือโรงเรือนที่มีการพ่นน้ำรดบนหลังคาแบบ Tiles of clay, asbestos tiles และ aluminum tiles โดยจะให้ค่าประสิทธิภาพดีขึ้นประมาณ 13% เมื่อเปรียบเทียบกับหลังคาแบบ aluminum tile ทั่วไป

Moura et. al.(2001) ได้สร้างแบบจำลองย่อยส่วนของโรงเรือนเลี้ยงสัตว์ปีก เพื่อศึกษาประสิทธิภาพทางความร้อน (Thermal efficiency) ในกรณีที่โรงเรือนวางตัวในทิศตะวันออก-ตะวันตกและทิศเหนือ-ใต้ โดยเฉพาะในทิศเหนือ-ใต้จะปลูกต้นไม้เพื่อให้ร่มเงาที่ผนังข้างโรงเรือนเพื่อลดความร้อนของการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ สำหรับการเปรียบเทียบประสิทธิภาพทางความร้อน

ร้อนจะใช้ดัชนีความสบาย 2 ตัวคือ BGHI และ RTL (Thermal radiation load) จากผลการทดลองพบว่าโรงเรือนที่มีการระบายอากาศทางกลซึ่งวางตัวในทิศตะวันออก-ตะวันตก และในทิศเหนือ-ใต้ ที่มีต้นไม้อื่นเพื่อให้ร่มเงาจะมีค่า BGHI และ RTL ใกล้เคียงกัน

Yanagi et. al.(2001) ได้สร้างโปรแกรมสำหรับคำนวณหา BGHI เพื่อใช้ออกแบบโรงเรือนเลี้ยงไก่ที่มีความชันของหลังคาและความสูงของโรงเรือนแตกต่างกัน ค่า BGHI ที่คำนวณได้ถูกนำมาเปรียบเทียบกับผลการทดลอง โดยมีค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ยเท่ากับ 1.31% ผลที่ได้จากโปรแกรมสามารถสรุปได้ว่าค่า BGHI จะลดลง 0.12 หน่วย เมื่อหลังคาที่มีความชันเพิ่มขึ้น 5 องศา และจะมีค่า BGHI ลดลง 0.10 หน่วย เมื่อเพิ่มความสูงของโรงเรือน 0.5 เมตร

การกำหนดช่วงค่า BGHI ที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงไก่จะทำได้โดยการนำช่วงค่ามาตรฐานของตัวแปรสิ่งแวดล้อมแต่ละตัวจากในตารางที่ 2.3 มาทำการแบ่งเป็นค่าต่างๆ เช่น  $[t_1, t_2, \dots, t_n]$ ,  $[Rh_1, Rh_2, \dots, Rh_n]$  และ  $[V_1, V_2, \dots, V_n]$  จากนั้นจัดกลุ่มของค่าตัวแปรที่เป็นไปได้ แล้วนำค่าแต่ละชุดไปคำนวณหาดัชนี BGHI โดยใช้สมการ (2.1)-(2.3) ค่าดัชนี BGHI ที่ได้จะนำมาจัดเรียงค่าจากน้อยไปมาก ดังรูปที่ 2.5 จากขั้นตอนวิธีที่ได้กล่าวมานี้จะได้ช่วงค่า BGHI ซึ่งจะนำไปใช้เป็นที่ในการแบ่งพื้นที่ที่เหมาะสมในการเลี้ยงภายในโรงเรือนต่อไป



รูปที่ 2.5 ขั้นตอนการหาค่าขอบเขต BGHI ที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงไก่

## 2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณเชิงตัวเลขสำหรับปัญหาการไหล

### 2.2.1 สมการพื้นฐานของการไหล

ในการวิเคราะห์ปัญหาการไหลที่มีการถ่ายเทความร้อนโดยทั่วไป จะมีสมการพื้นฐานที่เกี่ยวข้องในรูปของสมการเชิงอนุพันธ์อยู่ 3 สมการคือ

- 1) สมการอนุรักษ์มวลหรือสมการความต่อเนื่อง (Continuity equation)
- 2) สมการอนุรักษ์โมเมนตัม (Momentum equations)
- 3) สมการอนุรักษ์พลังงาน (Energy equation)

โดยสมการในข้อ 1) และ 2) จะสัมพันธ์กับค่าความเร็วและความดันในสนามการไหล (Flow field) ส่วนสมการในข้อ 3) จะสัมพันธ์กับการถ่ายเทความร้อน (Thermal energy) ภายในสนามการไหล

การไหลสามารถแบ่งตามลักษณะทางกายภาพได้เป็นสองประเภทใหญ่ๆ คือ การไหลแบบราบเรียบ (Laminar flow) และการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent flow) ในที่นี้เราจะกล่าวถึงสมการเชิงอนุพันธ์สำหรับการไหลทั้งสองประเภทในรูปของระบบพิกัดคาร์ทีเซียน (ระบบแกน  $x$  และ  $y$ ) ภายใต้สมมติฐานว่าการไหลเป็นแบบอัดตัวไม่ได้, มีความหนืด, เป็นการไหลแบบคงตัว และมีการถ่ายเทความร้อน

#### 2.2.1.1 สมการพื้นฐานสำหรับการไหลแบบราบเรียบ

สมการอนุรักษ์มวลหรือสมการความต่อเนื่อง, สมการอนุรักษ์โมเมนตัมและสมการอนุรักษ์พลังงานสำหรับการไหลแบบราบเรียบ สามารถเขียนอยู่ในรูปของเทนเซอร์ (Tensor) ได้ดังนี้

Continuity :

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (2.4)$$

Momentum :

$$\rho u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \mu \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] \quad (2.5)$$

Energy :

$$\rho C_p u_j \frac{\partial T}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( k_c \frac{\partial T}{\partial x_j} \right) + \mu \Phi + \dot{q}''' \quad (2.6)$$

โดยที่  $\rho$  คือ ความหนาแน่นของของไหล,  $\text{kg/m}^3$

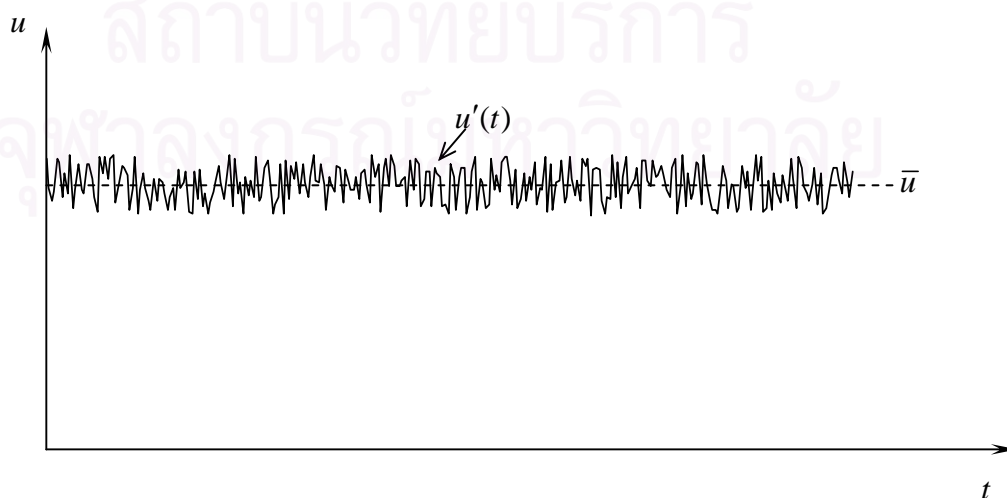
$\mu$	คือ	ความหนืดของของไหล, Pa.s
$\rho$	คือ	ความดันของของไหล, Pa
$u_i$	คือ	ความเร็วของของไหล, m/s
$T$	คือ	อุณหภูมิของของไหล, K
$k_c$	คือ	สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของของไหล, W/m.K
$C_p$	คือ	ความร้อนจำเพาะของของไหลที่ความดันคงที่, J/kg.K
$\dot{q}'''$	คือ	Rate of heat generation หรือ Energy source ของสมการอนุรักษ์พลังงาน, W/m <sup>3</sup>
$\Phi$	คือ	Dissipation Function ซึ่งมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$\Phi = \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \quad (2.7)$$

ในกรณีที่เป็นการไหลแบบอัดตัวไม่ได้และมีความเร็วของการไหลค่อนข้างต่ำ เราสามารถละเว้น Dissipation Function ในสมการอนุรักษ์พลังงานได้

### 2.2.1.2 สมการพื้นฐานสำหรับการไหลแบบปั่นป่วน

โดยปกติแล้ว ค่าของตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการไหลจะมีค่าไม่คงที่โดยจะเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา ยกตัวอย่างเช่นค่าความเร็ว  $u$  ที่แสดงในรูปที่ 2.6 ซึ่งลักษณะการสั่น (Fluctuation) เช่นนี้ทำให้การคำนวณหาค่าของตัวแปรเป็นไปได้ยาก ดังนั้นในการวิเคราะห์ปัญหาจึงต้องเริ่มด้วยการทำการเฉลี่ยค่าของตัวแปรในช่วงเวลาหนึ่ง (Time-averaging) เพื่อตัดผลของการสั่นทิ้ง



รูปที่ 2.6 ลักษณะของความเร็วในการไหลแบบปั่นป่วน

สมมติว่าค่าของตัวแปรต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการไหลสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน โดยใช้หลักการ Reynolds decomposition กล่าวคือแบ่งออกได้เป็นส่วนของค่าเฉลี่ยที่ไม่ขึ้นกับเวลา เช่น  $\bar{u}, \bar{v}, \bar{p}$  หรือ  $\bar{T}$  และส่วนที่แทนผลของการสั่นที่ขึ้นกับเวลา เช่น  $u'(t), v'(t), p'(t)$  หรือ  $T'(t)$  ดังนั้นถ้าให้ฟังก์ชัน  $f$  แทนค่าตัวแปรหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับการไหลจะสามารถเขียน  $f$  ได้ว่า

$$f = \bar{f} + f' \quad (2.8)$$

เนื่องจากค่าเฉลี่ยในช่วงเวลาหนึ่ง (Time-averaging) ของฟังก์ชัน  $f$  สามารถนิยามได้เป็น

$$\bar{f}(x) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_t^{t+T} f(x,t) dt \quad (2.9)$$

และเมื่อทำการหาค่าเฉลี่ยในช่วงเวลาหนึ่งกับส่วนที่แทนผลการสั่นจะพบว่าค่าเฉลี่ยที่ได้จะมีค่าเป็นศูนย์ ( $\overline{f'} = 0$ ) นอกจากนี้ค่าเฉลี่ยของผลคูณของสองตัวแปรจะมีความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

$$\overline{fg} = \overline{f} \overline{g} + \overline{f'g'} \quad ; \quad \overline{f \bar{g}} = \overline{f} \overline{g} \quad ; \quad \overline{f' \bar{g}} = 0 \quad (2.10)$$

เมื่อเรานำหลักการของ Reynolds decomposition ดังในสมการ (2.8) มาใช้ในการแยกตัวแปรที่ปรากฏอยู่ในสมการอนุรักษ์มวล, สมการอนุรักษ์โมเมนตัมและสมการอนุรักษ์พลังงาน (สมการ (2.4)-(2.6)) แล้วทำการเฉลี่ยในช่วงเวลาหนึ่ง (Time-averaging) โดยใช้ร่วมกับความสัมพันธ์ในสมการ (2.10) เราจะได้สมการอนุรักษ์มวลและสมการอนุรักษ์โมเมนตัมของการไหลแบบปั่นป่วนสำหรับของไหลที่มีคุณสมบัติคงตัวในรูปเทนเซอร์ (Tensor) ดังสมการต่อไปนี้

Continuity :

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_i} = 0 \quad (2.11)$$

Momentum :

$$\rho \bar{u}_j \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} = -\frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \mu \left( \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x_j} (-\rho \overline{u'_i u'_j}) \quad (2.12)$$

Energy :

$$\rho C_p \bar{u}_j \frac{\partial \bar{T}}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( k_c \frac{\partial \bar{T}}{\partial x_j} \right) + \overline{\phi'''} - \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho C_p \overline{u'_j T'}) \quad (2.13)$$

สมการ (2.12) เรียกว่าสมการ Reynolds-Averaged Navier-Stokes equation (RANS) ซึ่งจะเห็นว่าสมการ (2.12) มีรูปแบบสมการที่เหมือนกับสมการ (2.5) ยกเว้นเพียงเทอมของ Reynolds stress ( $R_{ij} = \overline{u'_i u'_j}$ ) ที่เพิ่มขึ้นมาทางฝั่งขวามือของสมการ ซึ่งเป็นเทอมที่เกิดขึ้นเนื่องจากการไหลแบบปั่นป่วนนั่นเอง นอกจากนั้นเมื่อเปรียบเทียบกับสมการ (2.6) กับสมการ (2.13) ก็ยังมีเทอมของ Turbulent heat flux ( $\overline{u'_i T'}$ ) เพิ่มขึ้นมาเช่นกัน

การเพิ่มเทอมของ Reynolds stress และ Turbulent heat flux เข้ามาในสมการ (2.12) และสมการ (2.13) ทำให้จำนวนตัวแปรที่มีมากกว่าจำนวนสมการจึงไม่สามารถแก้สมการเชิงอนุพันธ์ทั้งสองได้ ดังนั้นจึงต้องอาศัยแบบจำลองความปั่นป่วน (Turbulence model) มาช่วยในการคำนวณ ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป

### 2.2.1.3 แบบจำลองความปั่นป่วน (Turbulence model)

แบบจำลองความปั่นป่วนที่นำมาใช้ในวิทยานิพนธ์นี้คือ Standard  $k-\varepsilon$  model ซึ่งเป็นแบบจำลองที่ได้รับความนิยมมากที่สุด ในปัจจุบันแบบจำลองนี้ได้ถูกพัฒนาไปในรูปแบบต่างๆ แต่รูปแบบที่ได้รับความนิยมกันมากที่สุด ก็คือ แบบจำลองของ Launder and Spalding (1974)

Standard  $k-\varepsilon$  model เป็นแบบจำลองความปั่นป่วนที่ประกอบด้วยสมการเชิงอนุพันธ์สองสมการ (Two-equation model) สำหรับหาค่า Turbulent kinetic energy ( $k$ ) และ Turbulent dissipation rate ( $\varepsilon$ ) โดยที่ Turbulent kinetic energy และ Dissipation rate มีนิยามดังนี้

$$k = \frac{1}{2} \overline{u'_i u'_i} = \frac{1}{2} (\overline{u'u'} + \overline{v'v'}) \quad (2.14)$$

$$\varepsilon = \nu \overline{\frac{\partial u'_i}{\partial x_j} \frac{\partial u'_i}{\partial x_j}} \quad (2.15)$$

สำหรับ Standard  $k-\varepsilon$  model นั้นจะใช้ Boussinesq approximation ในการประมาณค่า Reynolds stress และ Turbulent heat flux ที่อยู่ในสมการ (2.12) และสมการ (2.13) โดย Boussinesq approximation กำหนด Reynolds stress เป็นความสัมพันธ์ระหว่าง Turbulent viscosity และ Mean velocity gradient ดังต่อไปนี้

$$-\rho \overline{u'_i u'_j} = \mu_t \left( \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \rho k \delta_{ij} \quad (2.16)$$

และสามารถเขียนความสัมพันธ์ที่คล้ายคลึงกันนี้ สำหรับ Turbulent heat flux ได้เป็น

$$-\rho \overline{u_i' T'} = \frac{\mu_t}{Pr_t} \frac{\partial \bar{T}}{\partial x_i} \quad (2.17)$$

โดยที่  $\delta_{ij} = \begin{cases} 1 & , i = j \\ 0 & , i \neq j \end{cases}$

เมื่อนำความสัมพันธ์ในสมการ (2.16) และ (2.17) กลับไปแทนในสมการอนุรักษ์โมเมนตัมและสมการอนุรักษ์พลังงานสำหรับการไหลแบบปั่นป่วน (สมการ (2.12)-(2.13)) เราจะได้สมการที่นำมาใช้แก้ปัญหาร่วมกับ Standard  $k-\epsilon$  model ในรูปแบบเทนเซอร์ดังนี้

Momentum :

$$\rho \bar{u}_j \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} = -\frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ (\mu + \mu_t) \left( \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) \right] \quad (2.18)$$

Energy :

$$\rho \bar{u}_j \frac{\partial \bar{T}}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \frac{\mu}{Pr} + \frac{\mu_t}{Pr_t} \right) \frac{\partial \bar{T}}{\partial x_j} \right] + \frac{\overline{\phi'''}}{C_p} \quad (2.19)$$

โดยที่  $\mu_t$  คือ Turbulent viscosity  
 $Pr$  คือ Prandtl number ,  $Pr = \frac{\mu C_p}{k_c}$   
 $Pr_t$  คือ Turbulent Prandtl number

สมการ (2.18) และ (2.19) ยังไม่สามารถนำไปแก้ปัญหาคารไหลแบบปั่นป่วนได้ เพราะไม่ทราบว่า Turbulent viscosity ( $\mu_t$ ) มีค่าเท่าไร เนื่องจาก  $\mu_t$  ไม่เป็นคุณสมบัติของของไหลดังเช่นค่าความหนืดนิวโทเนียน ( $\mu$ ) โดย  $\mu_t$  จะขึ้นอยู่กับลักษณะของความปั่นป่วน (Structure of the turbulence) และอาจจะแตกต่างกันที่ตำแหน่งต่างๆ ของการไหล ซึ่งใน Standard  $k-\epsilon$  model ค่า Turbulent viscosity สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\epsilon} \quad (2.20)$$

โดยที่  $C_\mu = 0.09$  ดังนั้นหากเราทราบค่า Turbulent kinetic energy ( $k$ ) และ Turbulent dissipation rate ( $\epsilon$ ) เราก็สามารถหาค่า Turbulent viscosity ( $\mu_t$ ) ได้จากสมการ (2.20) นี้

ในส่วนของการเชิงอนุพันธ์ของ Turbulent kinetic energy ( $k$ ) และ Turbulent dissipation rate ( $\varepsilon$ ) สำหรับ Standard  $k-\varepsilon$  model ในกรณีที่ไม่มีผลของแรงลอยตัว (Buoyancy) สามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

$$\rho \bar{u}_j \frac{\partial k}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + P_k - \rho \varepsilon \quad (2.21)$$

$$\rho \bar{u}_j \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + \frac{C_1 \varepsilon}{k} P_k - \frac{\rho C_2 \varepsilon^2}{k} \quad (2.22)$$

โดยที่  $C_1 = 1.44$ ,  $C_2 = 1.92$ ,  $\sigma_k = 1.0$ ,  $\sigma_\varepsilon = 1.3$

$P_k$  คือ Rate of turbulent kinetic energy production ซึ่งมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$P_k = \mu_t \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} \left( \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) \quad (2.23)$$

สำหรับบริเวณที่อยู่ใกล้ผนังจะไม่ใช้ Standard  $k-\varepsilon$  model ในการแก้ปัญหาการไหล เนื่องจากในบริเวณนี้ Reynolds number มีค่าต่ำ การไหลจะได้รับอิทธิพลจากความหนืดของของไหลและการสั่นของค่าของตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการไหลจะหมดไป ทำให้การคำนวณโดยใช้ Standard  $k-\varepsilon$  model จะให้ผลที่ผิดพลาด การแก้ปัญหาการไหลในบริเวณใกล้ผนังนี้ทำได้ 2 วิธี โดยการเพิ่มเติม damping function ใน Standard  $k-\varepsilon$  model หรือการใช้ Wall function

การเพิ่มเติม Damping function ใน Standard  $k-\varepsilon$  model จะต้องวางกริดจำนวนมากไว้ในบริเวณที่อยู่ใกล้ผนัง ซึ่งจะให้ผลการทำนายที่แม่นยำมากขึ้น แต่เนื่องจากจะเป็นการสิ้นเปลืองหน่วยความจำ ทำให้วิธีการนี้ไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ในการแก้ปัญหาการไหลบางชนิด ในขณะที่การใช้ Wall function จะใช้จำนวนกริดที่น้อยกว่า เพราะจะวางกริดแรกห่างจากผนังไว้ในชั้น Log-law ของ Turbulent boundary layer โดยจะกำหนดลักษณะการกระจายตัวของความเร็วและความสัมพันธ์ต่างๆ ดังนี้

$$u^+ = \frac{1}{\kappa} \ln(Ey^+) \quad ; \quad k = \frac{u_\tau^2}{\sqrt{C_\mu}} \quad ; \quad \varepsilon = \frac{u_\tau^3}{\kappa y} \quad (2.24)$$

และในส่วนของการถ่ายเทความร้อน จะใช้การกระจายตัวของอุณหภูมิในบริเวณใกล้ผนังสำหรับการไหลที่มีค่า Reynolds number สูง ตามความสัมพันธ์ต่อไปนี้ (Launder and Spalding, 1974)



$$T^+ = -\frac{\rho C_p u_\tau (T - T_w)}{q_w} = \text{Pr}_t \left[ u^+ + P \left( \frac{\text{Pr}}{\text{Pr}_t} \right) \right] \quad (2.25)$$

โดยที่	$u^+$	คือ	ความเร็วไร้มิติ, $u^+ = U / u_\tau$
	$u_\tau$	คือ	Friction velocity, $u_\tau = (\tau_w / \rho)^{1/2}$
	$y^+$	คือ	ความยาวไร้มิติ, $y^+ = \rho u_\tau y / \mu$
	$\kappa$	คือ	Von Karman's constant, $\kappa = 0.4187$
	$E$	คือ	Logarithmic law constant, $E = 9.793$
	$T_w$	คือ	อุณหภูมิผนัง, K
	$P \left( \frac{\text{Pr}}{\text{Pr}_t} \right)$	คือ	ฟังก์ชันที่ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของ Pr กับ $\text{Pr}_t$ มีนิยามดังนี้

$$P \left( \frac{\text{Pr}}{\text{Pr}_t} \right) = 9.24 \left[ \left( \frac{\text{Pr}}{\text{Pr}_t} \right)^{0.75} - 1 \right] \times \left\{ 1 + 0.28 \exp \left[ -0.007 \left( \frac{\text{Pr}}{\text{Pr}_t} \right) \right] \right\} \quad (2.26)$$

## 2.2.2 ระเบียบวิธีปริมาตรจำกัด (Finite volume method)

### 2.2.2.1 สมการควบคุมพื้นฐาน (Governing equations)

สำหรับการใช้ระเบียบวิธีปริมาตรจำกัด (Finite volume method) ในการแก้ไขปัญหาการไหลจากสมการพื้นฐานของการไหลที่ได้กล่าวถึงในหัวข้อก่อนหน้านี้ เราสามารถแสดงสมการดังกล่าวให้อยู่ในรูปทั่วไปของสมการควบคุมพื้นฐานของตัวแปร  $\phi$  ได้ดังนี้

$$\underbrace{\frac{\partial}{\partial t}(\rho\phi)}_{\text{Rate of increase of } \phi \text{ of fluid element}} + \underbrace{\text{div}(\rho\phi\mathbf{u})}_{\text{Net rate of flow of } \phi \text{ out of fluid element}} = \underbrace{\text{div}(\Gamma \text{ grad } \phi)}_{\text{Rate of increase of } \phi \text{ due to diffusion}} + \underbrace{S_\phi}_{\text{Rate of increase of } \phi \text{ due to sources}} \quad (2.27)$$

โดยที่  $\phi$  เป็นตัวแปรที่พิจารณา,  $\Gamma$  เป็นสัมประสิทธิ์ของการแพร่กระจาย และ  $S_\phi$  เป็นเทอมของ source สำหรับรายละเอียดของแต่ละสมการสำหรับการไหลแบบปั่นป่วนถูกแสดงในตารางที่ 2.4

สมการ (2.27) เป็นสมการเชิงอนุพันธ์พื้นฐานที่จะนำมาแก้สมการ โดยใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลข Finite volume มาเปลี่ยนรูปแบบของสมการ จากสมการที่อยู่ในรูปของอนุพันธ์ย่อยให้เป็นสมการพีชคณิตโดยทำการอินทิเกรตตลอดปริมาตรควบคุม (Control volume) ดังนี้

$$\int_{CV} \frac{\partial(\rho\phi)}{\partial t} dV + \int_{CV} \text{div}(\rho\phi\mathbf{u}) dV = \int_{CV} \text{div}(\Gamma \text{ grad } \phi) dV + \int_{CV} S_\phi dV \quad (2.28)$$

ในกรณีที่การไหลอยู่ในสภาวะคงตัว (Steady state) จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงของ  $\phi$  เทียบกับเวลา ดังนั้นจึงสามารถตัดเทอมแรกทางด้านซ้ายมือของสมการ (2.28) ทิ้งได้ โดยสมการ (2.28) จะลดรูปเป็น

$$\int_{CV} \text{div}(\rho\phi\mathbf{u}) dV = \int_{CV} \text{div}(\Gamma \text{ grad } \phi) dV + \int_{CV} S_\phi dV \quad (2.29)$$

ซึ่งสมการนี้ก็คือ สมการควบคุมพื้นฐานในรูปทั่วไปที่เขียนอยู่ในรูปของอินทิกรัลนั่นเอง

ตารางที่ 2.4 ตัวแปรจากสมการของการไหลแบบปั่นป่วนเปรียบเทียบกับตัวแปรจากสมการพื้นฐานในรูปแบบทั่วไป

Transport Equation	$\phi$	$\Gamma$	$S_\phi$
Continuity	1	0	0
X-Momentum	$U$	$\mu_{eff}$	$-\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \mu_{eff} \frac{\partial U}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \mu_{eff} \frac{\partial V}{\partial x} \right)$
Y-Momentum	$V$	$\mu_{eff}$	$-\frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \mu_{eff} \frac{\partial U}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \mu_{eff} \frac{\partial V}{\partial y} \right)$
Temperature	$T$	$\Gamma_{eff}$	$\frac{\Phi''}{C_p}$
Turbulent kinetic energy	$k$	$\frac{\mu_{eff}}{\sigma_k}$	$G - \rho\varepsilon$
Dissipation rate	$\varepsilon$	$\frac{\mu_{eff}}{\sigma_\varepsilon}$	$(C_{\varepsilon 1} G) \frac{\varepsilon}{k} - (C_{\varepsilon 2} \rho \varepsilon) \frac{\varepsilon}{k}$

โดยที่  $\sigma_k = 1.0$ ,  $\sigma_\varepsilon = 1.3$ ,  $C_{\varepsilon 1} = 1.44$ ,  $C_{\varepsilon 2} = 1.92$ ,  $\mu_{eff} = \mu + \mu_t$ ,  $\Gamma_{eff} = \frac{\mu}{Pr} + \frac{\mu_t}{Pr_t}$

$$G = \mu_t \left[ 2 \left( \frac{\partial U}{\partial x} \right)^2 + 2 \left( \frac{\partial V}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\partial U}{\partial y} \right)^2 \right]$$

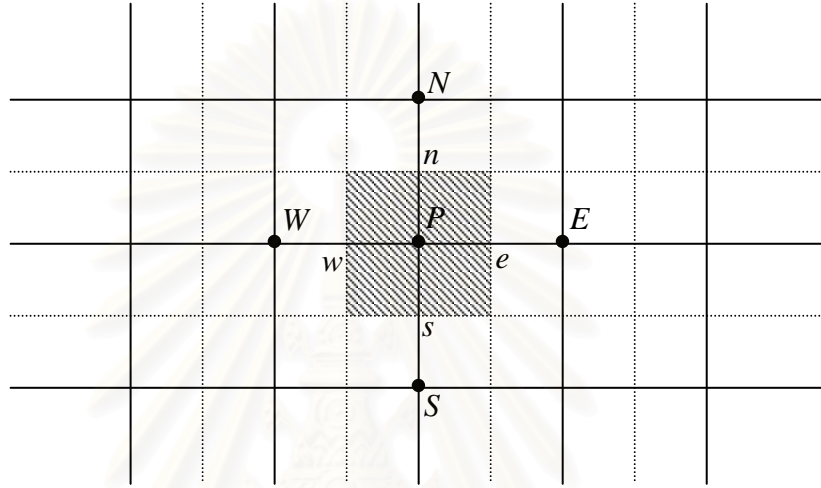
### 2.2.2.2 ปัญหาการพาและการแพร่กระจาย (Convection and diffusion)

เมื่อพิจารณาภายในสนามการไหล ของไหลจะส่งผ่านคุณลักษณะของการไหล  $\phi$  เช่น อุณหภูมิ, ความเข้มข้นของมวล ฯลฯ ในสองวิธีได้แก่การพา (Convection) และการแพร่กระจาย (Diffusion) โดยที่ทั้งสองวิธีจะเกิดขึ้นพร้อมกัน การแก้ปัญหาในลักษณะนี้จำเป็นที่จะต้องทราบลักษณะของสนามการไหลก่อน แล้วจึงทำการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรคุณลักษณะ  $\phi$  เมื่อพิจารณาสมการในรูปแบบทั่วไป (สมการ (2.27)) เราสามารถเขียนสมการสำหรับปัญหาการพาและการแพร่กระจายใน 2 มิติที่มีสภาวะคงตัวได้ดังนี้

$$\frac{\partial(\rho u \phi)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v \phi)}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \Gamma \frac{\partial \phi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \Gamma \frac{\partial \phi}{\partial y} \right) + S_\phi \quad (2.30)$$

ในการเปลี่ยนรูปสมการตั้งต้นที่เป็นสมการเชิงอนุพันธ์ให้อยู่ในรูปสมการพีชคณิตโดยระเบียบวิธีปริมาตรจำกัด สามารถทำได้โดยทำการอินทิเกรตสมการตั้งต้นตลอดปริมาตรควบคุมในรูปที่ 2.7

$$\int_{CV} \left[ \frac{\partial(\rho u \phi)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v \phi)}{\partial y} \right] dV = \int_{CV} \left[ \frac{\partial}{\partial x} \left( \Gamma \frac{\partial \phi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \Gamma \frac{\partial \phi}{\partial y} \right) + S_\phi \right] dV \quad (2.31)$$



รูปที่ 2.7 การวางตัวของปริมาตรควบคุมในสองมิติ

จากการแยกพิจารณาอินทิกรัลที่ละเทอม โดยกำหนด  $A_e = A_w = 1 \times \Delta y$  และ  $A_n = A_s = \Delta x \times 1$  จะได้เทอมของการพาในสองแนวแกน คือ

$$\int_{\Delta V} \frac{\partial}{\partial x} (\rho u \phi) dV = (\rho u A)_e \phi_e - (\rho u A)_w \phi_w = F_e \phi_e - F_w \phi_w \quad (2.32a)$$

$$\int_{\Delta V} \frac{\partial}{\partial y} (\rho v \phi) dV = (\rho v A)_n \phi_n - (\rho v A)_s \phi_s = F_n \phi_n - F_s \phi_s \quad (2.32b)$$

เทอมการแพร่กระจาย คือ

$$\begin{aligned} \int_{\Delta V} \left[ \frac{\partial}{\partial x} \left( \Gamma \frac{\partial \phi}{\partial x} \right) \right] dV &= \left( \Gamma \frac{\partial \phi}{\partial x} A \right)_e - \left( \Gamma \frac{\partial \phi}{\partial x} A \right)_w \\ &= D_e (\phi_e - \phi_P) - D_w (\phi_P - \phi_w) \end{aligned} \quad (2.33a)$$

$$\begin{aligned} \int_{\Delta V} \left[ \frac{\partial}{\partial y} \left( \Gamma \frac{\partial \phi}{\partial y} \right) \right] dV &= \left( \Gamma \frac{\partial \phi}{\partial y} A \right)_n - \left( \Gamma \frac{\partial \phi}{\partial y} A \right)_s \\ &= D_n (\phi_n - \phi_P) - D_s (\phi_P - \phi_s) \end{aligned} \quad (2.33b)$$

และ Source term คือ

$$\int_{\Delta V} S_\phi dV = S_\phi \Delta V \quad (2.34)$$

เมื่อ  $F$  และ  $D$  คือ สัมประสิทธิ์ของการพาและการแพร่กระจาย ซึ่งมีค่าเท่ากับ  $\rho uA$  และ  $\frac{\Gamma A}{\delta}$  ตามลำดับ

ค่าของ  $\phi$  บนผิวปริมาตรควบคุมในเทอมการพาที่อยู่ในสมการ (2.32a-b) สามารถหาได้จากการประมาณค่าด้วย Scheme ต่างๆ เช่น Central differencing scheme, Upwind differencing scheme หรือ Hybrid differencing scheme โดยรายละเอียดของวิธีต่างๆ มีดังนี้

- The central differencing scheme

เป็นการประมาณเชิงเส้นของค่า  $\phi$  โดยการหาค่าเฉลี่ยที่เกิดขึ้นที่พื้นผิวร่วมระหว่างปริมาตรควบคุม (Interface) ดังนี้ (ยกตัวอย่างเฉพาะที่ตำแหน่ง e เท่านั้น)

$$\phi_e = \frac{1}{2}(\phi_E + \phi_P) \quad (2.35)$$

ที่ Interface อื่นๆ จะทำในทำนองเดียวกัน

ปัญหาของการใช้ Scheme นี้ก็คือ เมื่อต้องแก้ปัญหาการพาและการแพร่กระจาย ที่มีค่า Reynolds number สูงผลเฉลยจะไม่ลู่เข้าสู่ค่าใดๆ เนื่องจากละเมิดกฎพื้นฐาน (Basic rules) ใน Patankar (1980) ที่ว่า เมื่อค่าสัมประสิทธิ์ติดลบจะทำให้  $a_p \neq \sum |a_{nb}|$  ซึ่งไม่เป็นไปตาม Scarborough criterion ที่ใช้เป็นเกณฑ์ในการตรวจสอบการลู่เข้าคำตอบของระบบสมการ ดิสครีไทซ์

- The upwind differencing scheme

Scheme นี้ใช้การประมาณค่า  $\phi$  ที่ตำแหน่งผิวของปริมาตรควบคุมใดๆ โดยใช้ค่าที่ตำแหน่งต้นกระแสน้ำไหล (Upstream) ที่อยู่ข้างเคียง ดังนี้ (ยกตัวอย่างเฉพาะที่ตำแหน่งผิว e เท่านั้น)

$$\phi_e = \phi_P \quad \text{เมื่อ } F_e > 0 \quad (2.36a)$$

$$\phi_e = \phi_E \quad \text{เมื่อ } F_e < 0 \quad (2.36b)$$

เนื่องจาก Scheme นี้ไม่ละเมิดกฎพื้นฐาน (Basic rules) ของ Patankar (1980) ดังนั้นจึงทำให้สามารถแก้ปัญหาต่างๆ ได้โดยที่ผลเฉลยลู่เข้าสู่ค่าใดค่าหนึ่ง

- The hybrid differencing scheme

Scheme นี้ถูกนำเสนอโดย Spalding (1972) มีความแม่นยำที่อนุพันธ์อันดับหนึ่ง เป็นวิธีที่รวมข้อดีของวิธี Central และ Upwind differencing scheme ไว้ด้วยกัน โดยใช้ค่า Peclet number,  $(Pe = \frac{F}{D})$  เป็นตัวกำหนดช่วงในการเลือกใช้ Scheme โดยจะใช้ Central differencing scheme เมื่อ  $-2 \leq Pe \leq 2$  และใช้ Upwind differencing scheme เมื่อ  $|Pe| > 2$  ดังนี้

$$\phi_e = \phi_P \quad \text{เมื่อ} \quad Pe > 2 \quad (2.37a)$$

$$\phi_e = \frac{1}{2}(\phi_E + \phi_P) \quad \text{เมื่อ} \quad -2 \leq Pe \leq 2 \quad (2.37b)$$

$$\phi_e = \phi_E \quad \text{เมื่อ} \quad Pe < -2 \quad (2.37c)$$

โดยที่การประมาณที่ Interface อื่นๆ ก็ทำในทำนองเดียวกัน

สำหรับการนำ Hybrid differencing scheme มาใช้ในปัญหาการพาและการแพร่กระจายเราสามารถเขียนในรูปของสมการพีชคณิตของสมการทั่วไปได้เป็น

$$a_P \phi_P = a_W \phi_W + a_E \phi_E + a_S \phi_S + a_N \phi_N + S_\phi \Delta V \quad (2.38)$$

โดยที่  $a_N = \max\left(-F_n, D_n - \frac{F_n}{2}, 0\right)$

$$a_S = \max\left(F_s, D_s + \frac{F_s}{2}, 0\right)$$

$$a_E = \max\left(-F_e, D_e - \frac{F_e}{2}, 0\right)$$

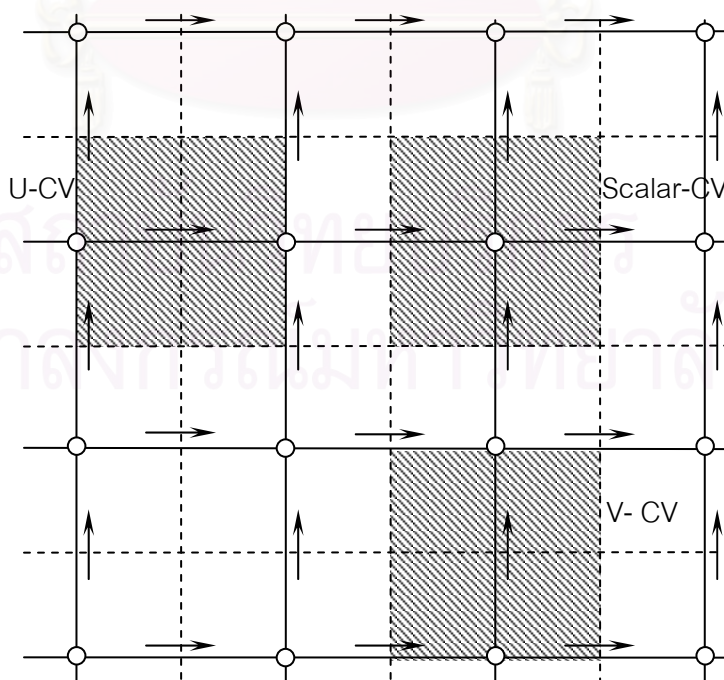
$$a_W = \max\left(F_w, D_w + \frac{F_w}{2}, 0\right)$$

และ  $a_P = a_N + a_S + a_E + a_W + (F_n - F_s + F_e - F_w)$

### 2.2.2.3 การแก้ปัญหاسนามการไหล

ในการแก้สมการอนุกรมโมเมนตัม ผลเฉลยของสมการไหลที่ได้ อาจจะมีค่าที่ไม่สอดคล้องกับสมการอนุกรมมวล เพื่อให้ค่าผลเฉลยที่ได้จากสองสมการนี้มีความสอดคล้องกัน เราจะใช้ขั้นตอนวิธีที่เรียกว่า SIMPLE (Semi-Implicit Method for Pressure-Linked Equations) ซึ่งถูกพัฒนาโดย Patankar and Spalding (1972) ขั้นตอนวิธีนี้เป็นขั้นตอนการแก้ปัญหาสนามการไหล โดยการสมมติค่าความดันและความเร็วในขอบเขตของปัญหาที่สนใจแล้วคำนวณหาค่าความเร็ว ต่อจากนั้นก็นำค่าความเร็วนี้ไปคำนวณเพื่อหาค่าความดันอีกครั้ง โดยใช้ Pressure-correction method ช่วยในการคำนวณหาความดันที่ถูกต้อง ซึ่งค่า Pressure correction ที่ได้นี้จะถูกนำกลับมาหาค่าความเร็ว และทำซ้ำตามขั้นตอนดังกล่าวจนกระทั่งผลเฉลยเข้าสู่ค่าใดค่าหนึ่ง ซึ่งวิธีนี้เป็นการช่วยให้ค่าความเร็วและความดันมีความสัมพันธ์เป็นไปตามกฎการอนุกรมโมเมนตัมและกฎการอนุกรมมวล โดยจะใช้ร่วมกับวิธีการวางกริดแบบเยื้องกัน (Staggered grid) ซึ่งมีลักษณะดังต่อไปนี้

Staggered grid เป็นการวางกริดเพื่อให้กริดความเร็วอยู่ระหว่างจุดต่อของตัวแปรสเกลาร์ ทั้งนี้เพื่อให้สอดคล้องกับสมการความต่อเนื่อง (Continuity equation) และแก้ปัญหาการเกิด Checker-board effect (Patankar, 1980) อันจะก่อให้เกิดความผิดพลาดในการคำนวณเชิงตัวเลข ซึ่งการวางกริดและปริมาตรควบคุมของตัวแปรสเกลาร์ (เช่น  $p$ ,  $T$ ) และตัวแปรความเร็ว ( $u$  และ  $v$ ) ถูกแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 การวางกริดและปริมาตรควบคุมแบบเยื้องกัน (Staggered grid)

จากสมการอนุรักษ์โมเมนตัมในแนวแกน  $x$  และ  $y$

$$\frac{\partial}{\partial x}(\rho uu) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho vu) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x}\left(\mu \frac{\partial u}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\mu \frac{\partial v}{\partial x}\right) + S_u \quad (2.39a)$$

$$\frac{\partial}{\partial x}(\rho uv) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho vv) = -\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x}\left(\mu \frac{\partial u}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\mu \frac{\partial v}{\partial y}\right) + S_v \quad (2.39b)$$

ทำการอินทิเกรตสมการ (2.39a-b) ตลอดปริมาตรควบคุมของ  $u$  และปริมาตรควบคุมของ  $v$  ตามลำดับจะได้สมการดิสครีไทซ์ (Discretized equation) ดังต่อไปนี้

$$\text{ในแกน } x \quad a_w u_w = \sum_{nb} a_{nb} u_{nb} + (p_w - p_p) A_w + S_u \Delta V \quad (2.40a)$$

$$\text{ในแกน } y \quad a_s v_s = \sum_{nb} a_{nb} v_{nb} + (p_s - p_p) A_s + S_v \Delta V \quad (2.40b)$$

สมมติว่าค่าของตัวแปรที่ถูกต้องสามารถเขียนได้ในรูปของค่าของตัวแปรที่กำหนดขึ้นหรือค่าจากการคำนวณที่ยังไม่ถูกต้อง ( $p^*, u^*, v^*$ ) รวมกับค่าของตัวแปรที่ใช้แก้ไข ( $p', u', v'$ ) ดังนี้

$$p = p^* + p' \quad (2.41a)$$

$$u = u^* + u' \quad (2.41b)$$

$$v = v^* + v' \quad (2.41c)$$

โดยความเร็ว  $u^*$  และ  $v^*$  สามารถคำนวณได้จากสมการ (2.40a-b) เช่นกันซึ่งจะได้สมการดิสครีไทซ์ของความเร็วทั้งสองเป็น

$$a_w u_w^* = \sum_{nb} a_{nb} u_{nb}^* + (p_w^* - p_p^*) A_w + S_u \Delta V \quad (2.42a)$$

$$a_s v_s^* = \sum_{nb} a_{nb} v_{nb}^* + (p_s^* - p_p^*) A_s + S_v \Delta V \quad (2.42b)$$

นำสมการ (2.40a) ลบด้วยสมการ (2.42a) แล้วตัดเทอม  $\sum_{nb} a_{nb} (u_{nb} - u_{nb}^*)$  จากนั้นใช้ความสัมพันธ์จากสมการ (2.41a-c) เราจะได้สมการของค่าแก้ไขความเร็ว (Velocity-correction equation) เป็น

$$u_w = u_w^* + d_w (p_w' - p_p') \quad (2.43a)$$



$$\text{โดยที่ } d_w = \frac{A_w}{a_w}$$

ในทำนองเดียวกันที่ผิวอื่นของปริมาตรควบคุมจะเขียนได้เป็น

$$u_e = u_e^* + d_e (p'_P - p'_E) \quad \text{โดย } d_e = \frac{A_e}{a_e} \quad (2.43b)$$

$$v_s = v_s^* + d_s (p'_S - p'_P) \quad \text{โดย } d_s = \frac{A_s}{a_s} \quad (2.43c)$$

$$v_n = v_n^* + d_n (p'_P - p'_N) \quad \text{โดย } d_n = \frac{A_n}{a_n} \quad (2.43d)$$

จากสมการอนุรักษ์มวลที่เขียนอยู่ในรูปสมการเชิงอนุพันธ์ เมื่อทำการอินทิเกรตตลอดปริมาตรควบคุมของสเกลาร์ดังในรูปที่ 2.8 จะได้สมการเป็น

$$(\rho u A)_e - (\rho u A)_w + (\rho v A)_n - (\rho v A)_s = 0 \quad (2.44)$$

เพราะฉะนั้นเมื่อแทนค่าความเร็วจากสมการ (2.43a-d) ลงไปจะได้สมการของความดันแก้ไข (Pressure-correction equation) ดังต่อไปนี้

$$a_P p'_P = a_N p'_N + a_S p'_S + a_E p'_E + a_W p'_W + b \quad (2.45)$$

$$\text{โดยที่ } a_N = \rho d_n A_n, \quad a_S = \rho d_s A_s, \quad a_E = \rho d_e A_e, \quad a_W = \rho d_w A_w$$

$$a_P = a_N + a_S + a_E + a_W$$

$$\text{และ } b = (\rho u^* A)_e - (\rho u^* A)_w + (\rho v^* A)_n - (\rho v^* A)_s$$

ในการปรับค่าของความดัน จะต้องมีการ Under relaxation เพื่อให้คำตอบลู่อู่เข้าสู่ค่าใดค่าหนึ่งดังนี้

$$p = p^* + \alpha_p p' \quad (2.46)$$

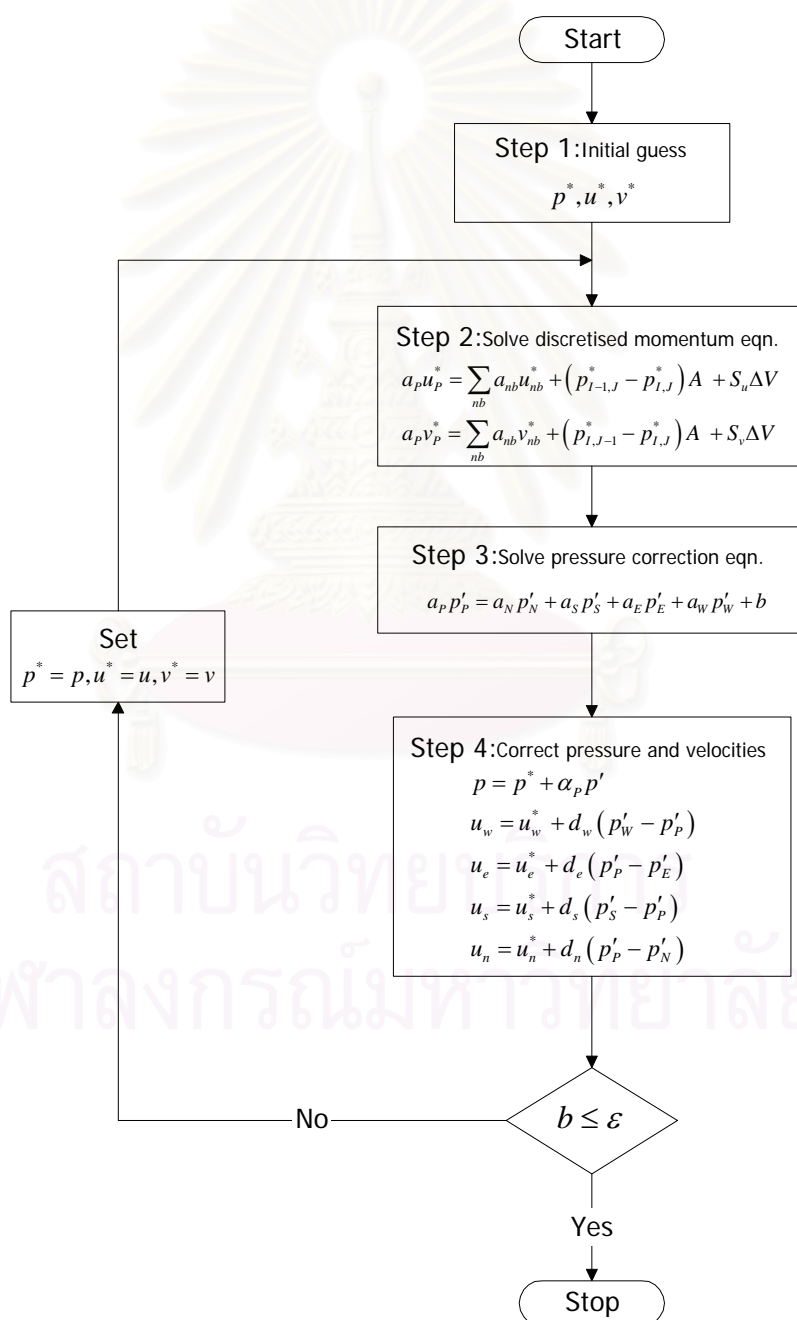
โดยที่  $\alpha_p$  คือ ค่า Under-relaxation factor สำหรับความดัน

จากที่กล่าวมาทั้งหมด สามารถสรุปขั้นตอนของ SIMPLE algorithm ได้ดังนี้

- 1) สมมติค่าเริ่มต้นของ  $u^*, v^*$  และ  $p^*$
- 2) คำนวณค่า  $u^*, v^*$  จากสมการ (2.42a-b)
- 3) นำค่า  $u^*, v^*$  ที่คำนวณได้มาแทนค่าในตัวแปร b ของสมการ (2.45) แล้วคำนวณหาค่า  $p'$

- 4) นำค่า  $p'$  ที่ได้แทนลงในสมการ (2.43a-d) และสมการ (2.46) เพื่อปรับปรุงค่า  $u, v$  และ  $p$
- 5) กำหนดให้ค่า  $u, v$  และ  $p$  ที่ได้เป็น  $u^*, v^*$  และ  $p^*$  ค่าใหม่แล้วทำซ้ำขั้นตอนที่ 2 ถึง 4 จนกระทั่ง  $u^*, v^*$  และ  $p^*$  มีค่าลู่เข้าสู่ค่าที่ถูกต้อง โดยตรวจสอบจากการเข้าใกล้ศูนย์ของเทอม  $b$  (Mass source term) ในสมการที่ (2.45) ซึ่งแสดงว่าค่า  $u^*, v^*$  และ  $p^*$  ที่คำนวณได้สอดคล้องกับสมการอนุรักษ์มวล

ขั้นตอนที่กล่าวมาข้างต้นสามารถสรุปเป็น Flow chart ได้ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ขั้นตอนการคำนวณของ SIMPLE algorithm

### 2.2.2.4 เงื่อนไขขอบเขต (Boundary conditions)

ในการใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขในการแก้ปัญหาคำนวณต่างๆ นั้น จำเป็นต้องมีการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตให้สอดคล้องกับสภาพทางกายภาพของปัญหาที่จำลองมา ซึ่งจะส่งผลต่อความแม่นยำของผลการคำนวณเชิงเลขที่ได้ ในหัวข้อนี้จะนำเสนอเงื่อนไขขอบเขตที่ใช้ในงานวิจัยซึ่งมี 3 ชนิดได้แก่

- เงื่อนไขขอบเขตที่ทางเข้า (Inlet boundary conditions)

การกำหนดสภาวะที่ทางเข้าของขอบเขตการคำนวณ จะใช้ข้อมูลจากผลการคำนวณตั้งที่จะกล่าวในบทที่ 5 ยกเว้นสภาวะที่ทางเข้าของ Turbulent kinetic energy และ Turbulent dissipation rate ซึ่งสามารถคำนวณหาได้จากสมการดังต่อไปนี้ (Versteeg and Malalasekera, 1995)

$$k = \frac{3}{2} (U_{ref} T_i)^2 \quad (2.47)$$

$$\varepsilon = C_\mu^{3/4} \frac{k^{3/2}}{l} \quad ; \quad l = 0.07L \quad (2.48)$$

โดยที่  $U_{ref}$  คือ Reference mean velocity, m/s  
 $T_i$  คือ Turbulent intensity  
 $L$  คือ Characteristic length, m

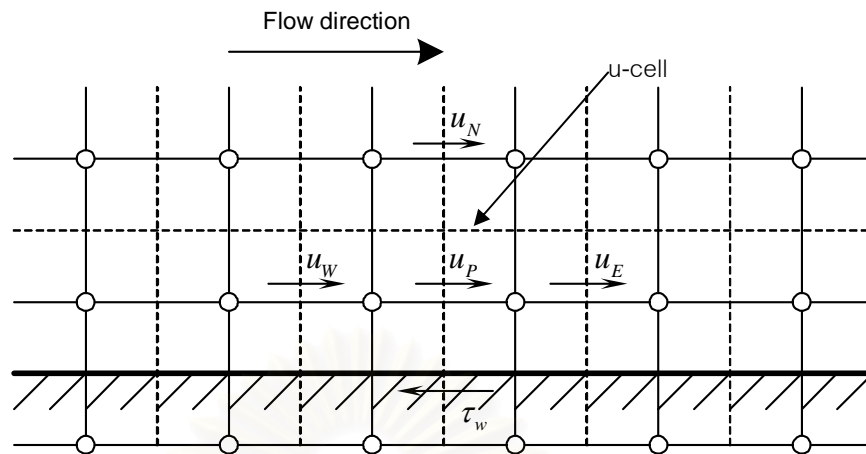
- เงื่อนไขขอบเขตที่ทางออก (Outlet boundary conditions)

โดยปกติแล้วจะไม่ทราบค่าสภาวะที่ทางออก ดังนั้นในการกำหนดเงื่อนไขของตัวแปรต่างๆ จึงใช้การประมาณที่ทางออกว่า ตัวแปรจะไม่มีกรเปลี่ยนแปลงค่า (Zero gradient) ยกเว้นตัวแปร  $u$  ที่จะมีการปรับค่าเพื่อให้สอดคล้องกับสมการความต่อเนื่องในทุกกรอบของการคำนวณซ้ำ

$$\left. \frac{\partial \phi}{\partial x_i} \right|_{exit} = 0 \quad (2.49)$$

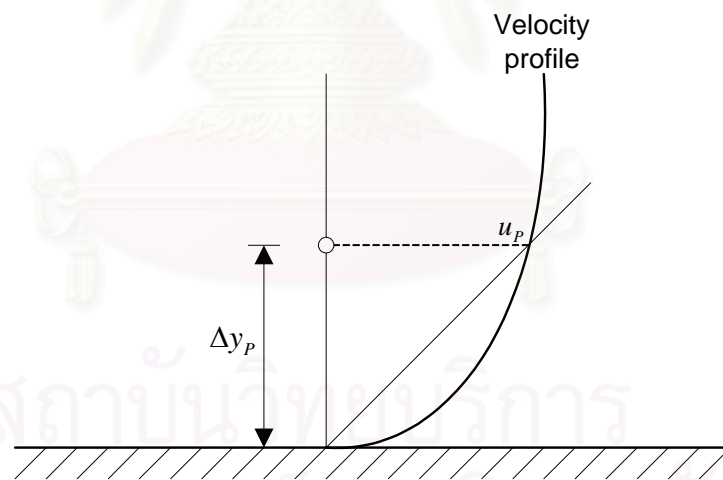
- เงื่อนไขขอบเขตที่ผนัง (Wall boundary conditions)

ผนังเป็นเงื่อนไขขอบที่พบในปัญหาการไหลทั่วไป โดยอาจแบ่งเงื่อนไขขอบชนิดนี้เป็นเงื่อนไขย่อยหลายประเภท ซึ่งในที่นี้จะใช้ผนังที่ขนานกับแนวแกน  $x$  ในการพิจารณาดังในรูปแบบที่



รูปที่ 2.10 ปริมาตรควบคุมที่อยู่ใกล้ผนัง

เงื่อนไขที่ไม่มีการลื่นไถล (No-slip conditions;  $u = 0, v = 0$ ) เป็นเงื่อนไขการประมาณของความเร็วที่ผิวของแข็ง โดยความเร็วของกริดที่อยู่ในผนังจะมีค่าเท่ากับศูนย์ และปริมาตรควบคุมที่ถัดขึ้นไปจะกำหนดให้  $a_s = 0$  เนื่องจากไม่มีการคำนวณ Pressure correction ที่ตำแหน่งนี้



รูปที่ 2.11 ลักษณะการกระจายตัวของความเร็วที่บริเวณใกล้ผนัง

เงื่อนไขขอบผนังสำหรับการไหลแบบปั่นป่วน ณ ตำแหน่งที่ผนัง กำหนดให้  $u$  และ  $v$  มีค่าเท่ากับศูนย์ แต่เนื่องจากบริเวณใกล้ผนังนั้นจะมีผลของชั้น Boundary layer อยู่ ดังนั้นจึงต้องใช้ Wall function ควบคู่กับ Standard  $k-\epsilon$  model (Launder and Spalding, 1974) ในการประมาณค่าความเร็วบริเวณผนัง ซึ่งการใช้ Wall function นั้นมีสมมติฐานดังนี้

1) ค่า Shear stress ของของไหลที่บริเวณใกล้ผนังมีค่าเท่ากับค่า Shear stress ที่ผนัง

2) Convection และ Diffusion ที่บริเวณใกล้ผนังถือว่าน้อยมากทำให้ Production term ของ  $k$  มีค่าเท่ากับ Dissipation term (หรือเรียกอีกอย่างว่ามีสภาพของ Local Equilibrium)

ตัวแปรไร้มิติ  $y^+$  นี้ใช้แทนการวัดระยะในชั้น Boundary layer แสดงได้เป็น

$$y^+ = \frac{\rho u_\tau \Delta y_p}{\mu} \quad (2.50)$$

โดยที่  $\Delta y_p$  เป็นระยะที่วัดจากผนังดังแสดงในรูปที่ 2.11 และ  $u_\tau$  คือ friction velocity มีนิยามดังนี้

$$u_\tau = \sqrt{\frac{\tau_w}{\rho}} \quad (2.51)$$

เมื่อ  $\tau_w$  เป็นค่าความเค้นเฉื่อยที่ผนัง โดยในบริเวณ Boundary layer ถูกแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ

- 1) ในช่วง  $0 < y^+ < 11.63$  เป็นช่วง Laminar sub-layer ซึ่ง Molecular diffusion มีอิทธิพลสูง ( $\mu \gg \mu_t$ ) และสมมติว่าเป็นการไหลแบบ Newtonian
- 2) ในช่วง  $11.63 < y^+ < 300$  เป็นช่วง Turbulent layer ซึ่ง Turbulent diffusion มีอิทธิพลสูง ( $\mu_t \gg \mu$ ) และจะใช้ Wall function ในการคำนวณ

เกณฑ์ที่ใช้ในการเปลี่ยนจากการไหลแบบราบเรียบไปเป็นการไหลแบบปั่นป่วนในบริเวณใกล้ผนังของ Buffer layer คือระหว่างช่วง Linear sublayer และช่วง Log-law layer ของ Turbulent region จะใช้ค่า  $y^+ = 11.63$  ซึ่งเป็นค่าที่จุดต่อของทั้งสองช่วงนี้เป็นเกณฑ์ โดยที่ภายใน Log-law layer มีความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและระยะห่างจากผนังดังนี้

$$u^+ = \frac{1}{\kappa} \ln(Ey^+) \quad (2.52)$$

โดย  $\kappa$  เป็น Von Karman constant และ  $E$  เป็นค่าความขรุขระของผิวผนังโดยสำหรับพื้นผิวเรียบ (Smooth wall)  $\kappa$  มีค่าเท่ากับ 0.4187 และ  $E$  เท่ากับ 9.793

สำหรับสมการอนุกรมมิเนนตัมที่บริเวณใกล้ผนังนั้น สามารถหาค่าแรงที่ผนัง ( $F_s$ ) ได้จาก

$$F_s = -\frac{\rho C_\mu^{1/4} k_p^{1/2} u_p}{u^+} A_{cell} \quad (2.53)$$

โดยที่บริเวณใกล้ผนังด้านล่างนั้น จะทำให้การกำหนดค่าให้  $a_s = 0$  ในสมการดิสครีไทซ์และจะให้แรงที่ผนัง ( $F_s$ ) เป็น Source term ในสมการของความเร็ว  $u$  โดยที่

$$S_u = 0 \quad , \quad S_p = -\frac{\rho C_\mu^{1/4} k_P^{1/2}}{u^+} A_{cell} \quad (2.54)$$

สำหรับสมการ Turbulent kinetic energy ที่บริเวณใกล้ผนังด้านล่างนั้นจะกำหนดให้  $a_s = 0$  ในสมการดิสครีไทซ์ และสามารถหาค่า Source term ได้เป็น

$$S_u = \frac{\tau_w u_P}{\Delta y_p} \Delta V \quad , \quad S_p = -\frac{\rho C_\mu^{3/4} k_P^{3/2} u^+}{\Delta y_p} \Delta V \quad (2.55)$$

และสำหรับสมการ Dissipation rate เนื่องจากที่บริเวณใกล้ผนัง ค่า  $\varepsilon$  หาได้จาก

$$\varepsilon_p = \frac{C_\mu^{3/4} k_P^{3/2}}{\kappa \Delta y_p} \quad (2.56)$$

เพื่อเป็นการกำหนดค่า  $\varepsilon$  ในบริเวณนี้ให้มีค่าเท่ากับค่า  $\varepsilon_p$  ในสมการ (2.56) จึงต้องทำการกำหนดค่า Source term ดังนี้

$$S_u = \frac{C_\mu^{3/4} k_P^{3/2}}{\kappa \Delta y_p} \times 10^{30} \quad , \quad S_p = -10^{30} \quad (2.57)$$

ในส่วนของการถ่ายเทความร้อนจากผนังที่มีอุณหภูมิสม่ำเสมอ  $T_w$  สามารถคำนวณหาฟลักซ์ความร้อน ( $\dot{q}_w''$ ) ที่บริเวณใกล้ผนังได้จาก

$$\dot{q}_w'' = -\rho C_p C_\mu^{1/4} k_P^{1/2} \frac{(T_p - T_w)}{T^+} \quad (2.58)$$

โดยที่  $C_p$  คือ ความร้อนจำเพาะของของไหลที่ความดันคงที่, J/kg.K  
 $T_p$  คือ อุณหภูมิของของไหล, K  
 $T^+$  คือ ตัวแปรไร้มิติของการกระจายอุณหภูมิในบริเวณใกล้ผนังสำหรับการไหลแบบปั่นป่วน มีความสัมพันธ์ดังสมการ (2.25)

การประยุกต์เงื่อนไขขอบเขตกับสมการดิสครีไทซ์ของสมการอนุรักษ์พลังงาน จะกำหนดให้  $a_s = 0$  และกำหนด Source term เป็น

$$S_u = \frac{\rho C_\mu^{1/4} k_P^{1/2} T_w}{T^+} A_{cell} \quad , \quad S_p = -\frac{\rho C_\mu^{1/4} k_P^{1/2}}{T^+} A_{cell} \quad (2.59)$$

สำหรับผนังที่มีการถ่ายเทความร้อนแบบฟลักซ์ความร้อนสม่ำเสมอ (Uniform heat flux) การกำหนด Source term จะทำได้โดยการแปลงค่าปริมาณความร้อนจากผนัง ( $q_w$ ) ให้อยู่ในรูปแบบเชิงเส้นดังสมการ

$$q_w = S_u + S_p T_p \quad (2.60)$$

### 2.2.2.5 การหาคำตอบโดยใช้วิธี TDMA (Tri-Diagonal Matrix Algorithm)

การแก้สมการดิสครีไทซ์ เช่น สมการ (2.38) เพื่อหาผลเฉลยของสมการนั้นสามารถทำได้โดยใช้ขั้นตอนวิธี TDMA ในการแก้ระบบสมการ ซึ่งวิธี TDMA นี้เป็นวิธีที่นิยมใช้ในการคำนวณแก้สมการในรูปเมตริกซ์ เมื่อระบบสมการมีจำนวนมาก

เมื่อพิจารณา Computational domain พบว่ามีลักษณะเป็นเส้นๆ ประกอบกัน และในแต่ละเส้นถูกแก้หาคำตอบโดยใช้วิธี TDMA โดยสมมติว่าทราบค่าบริเวณจุดต่อข้างเคียง จากนั้นใช้วิธีการทำซ้ำจนกว่าคำตอบจะเข้าสู่ จากสมการพีชคณิต (2.38) ซึ่งเป็นจุดหนึ่งบนเส้นตัวอย่าง สามารถจัดรูปใหม่ได้เป็น

$$a_p \phi_p = a_E \phi_E + a_W \phi_W + (a_N \phi_N + a_S \phi_S + S_C) \quad (2.61)$$

เทอมที่อยู่ในวงเล็บสมมติว่าเป็นค่าคงที่ จากสมการข้างต้นสามารถแสดงให้เป็น

$$D_i \phi_i = A_i \phi_{i+1} + B_i \phi_{i-1} + C_i \quad (2.62)$$

เมื่อ  $i$  เป็นตำแหน่งของจุดต่อบนกริด ในแนวแกน  $x$  หรือ  $y$  และสมมติให้  $i = 2 \dots n$  โดยที่จุด  $i = 1$  และ  $i = n + 1$  นั้น ค่า  $\phi_i$  มีค่าเท่ากับค่าเงื่อนไขขอบ

ยกตัวอย่างในแนวแกน  $x$

$$A_i = a_E$$

$$B_i = a_W$$

$$C_i = (a_N \phi_N + a_S \phi_S + S_C)$$

$$D_i = \sum a_{nb} - S_p \quad , nb = \text{จุดต่อที่อยู่ข้างเคียง}$$

จากกระบวนการทำซ้ำโดยแทนไปข้างหน้าแล้วจัดรูปจะได้

$$\phi_i = A'_i \phi_{i+1} + C'_i \quad (2.63)$$

$$\text{โดยที่ } A'_i = \frac{A_i}{D_i - B_i A'_{i-1}}$$

$$C'_i = \frac{C_i + C'_{i-1} B_i}{D_i - B_i A'_{i-1}}$$

เนื่องจากเราทราบเงื่อนไขขอบของ Domain ที่ใช้ในการคำนวณคือ ที่จุด  $i = 1$  และ  $i = n+1$  ดังนั้นจะได้ค่าของ  $A'_i$  และ  $C'_i$  ที่จุดเหล่านั้น ดังนี้

$$\begin{aligned} A'_{i=1} &= 0 & \text{และ} & & C'_{i=1} &= \phi_1 \\ A'_{i=n+1} &= 0 & \text{และ} & & C'_{i=n+1} &= \phi_{n+1} \end{aligned}$$

จากการที่เราทราบค่าดังกล่าว ทำให้เราสามารถแก้สมการหาค่าของผลลัพธ์ออกมาได้ ทั้งนี้โดยเริ่มจากการหาค่า  $A'_i$  และ  $C'_i$  สำหรับทุกค่า  $i$  ( $i = 2 \dots n$ ) จากนั้นจึงหาค่าตัวแปร  $\phi$  ของทุกจุดย้อนกลับจาก  $\phi_n$  ไปหา  $\phi_2$  โดยใช้วิธีการแทนค่าย้อนกลับ (Backward substitution)

### 2.2.2.6 การวางกริดแบบไม่สม่ำเสมอ (Non-uniform grids)

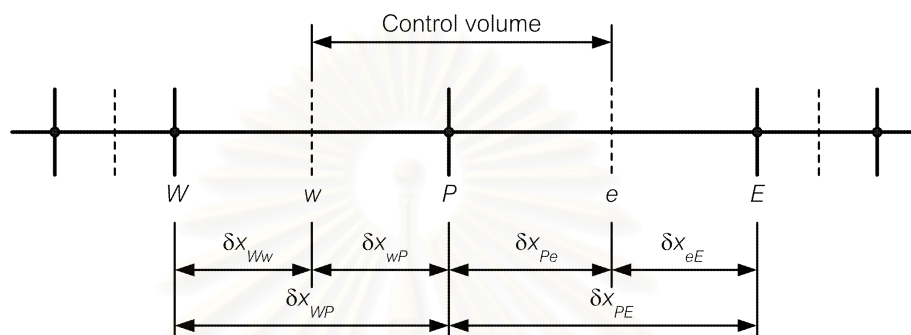
ในปัญหาการคำนวณเชิงเลขหลายปัญหาจะมีบางบริเวณที่ค่าของตัวแปรการไหลมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งจะต้องวางกริดการคำนวณในบริเวณนั้นให้ชิดกันมาก เพื่อให้ผลการคำนวณมีความถูกต้องแม่นยำ ในขณะที่เดียวกันบริเวณที่ค่าของตัวแปรการไหลมีการเปลี่ยนแปลงน้อย การวางกริดให้ห่างกันมากขึ้นก็สามารถได้ผลการคำนวณที่ถูกต้องเช่นกัน ดังนั้นการกำหนดระยะระหว่างกริดที่เหมาะสมสำหรับแต่ละบริเวณก็สามารถลดจำนวนกริดและเวลาที่ใช้คำนวณลงได้อย่างมาก ซึ่งการที่กริดมีระยะห่างไม่เท่ากันตลอดทั้งโดเมนการคำนวณจะเรียกว่าการวางกริดแบบไม่สม่ำเสมอ (Non-uniform grids)

ลักษณะการวางกริดแบบไม่สม่ำเสมอสำหรับระเบียบวิธีปริมาตรจำกัดสามารถแบ่งได้ 2 ประเภท ตามการวางตำแหน่งของพื้นผิวปริมาตรควบคุมดังนี้ (Patankar, 1980)

1. ตำแหน่งของพื้นผิวปริมาตรควบคุม (Control volume face) อยู่กึ่งกลางระหว่างจุดกริดหลัก (Main grid point) ดังรูปที่ 2.12 โดยจะเริ่มวางจุดกริดหลักก่อนแล้วจึงวางตำแหน่งพื้นผิวปริมาตรควบคุม ข้อดีของการวางกริดลักษณะนี้คือ สามารถใช้ Scheme ประมวล

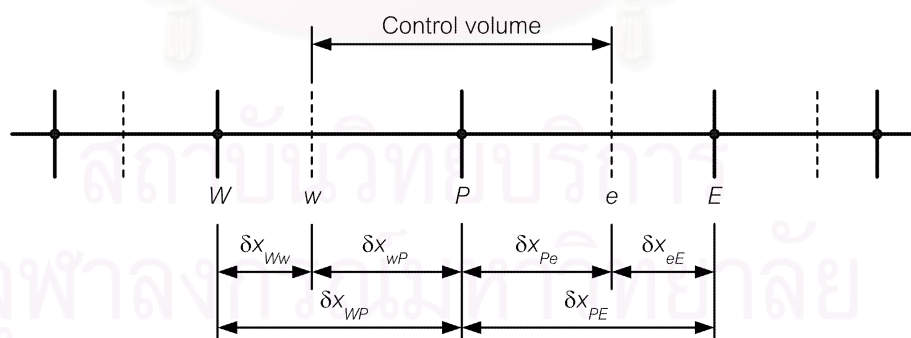


ค่าพลักซ์การพาที่มีความถูกต้องแม่นยำในอันดับที่ 2 (2rd-order accuracy) หรือสูงกว่าได้ เช่น QUICK scheme และการหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายก็ทำได้ง่ายกว่าคือเป็นค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายเฉลี่ยของจุดกริดหลักที่อยู่โดยรอบ สำหรับข้อเสียก็คือ การวางกริดในลักษณะนี้จะทำให้จุดกริดหลักไม่อยู่กึ่งกลางปริมาตรควบคุม จึงไม่เหมาะสมที่จะเป็นค่าตัวแทนของทั้งปริมาตรควบคุม



รูปที่ 2.12 การวางกริดแบบไม่สม่ำเสมอ กรณีที่พื้นผิวปริมาตรควบคุมอยู่กึ่งกลางระหว่างจุดกริดหลัก

2. ตำแหน่งของจุดกริดหลักอยู่กึ่งกลางระหว่างพื้นผิวปริมาตรควบคุม ดังรูปที่ 2.13 โดยจะเริ่มวางตำแหน่งพื้นผิวปริมาตรควบคุมก่อน จากนั้นจึงวางจุดกริดหลัก ข้อดีของการวางกริดลักษณะนี้คือ ค่าที่จุดกริดหลักจะเป็นค่าตัวแทนที่เหมาะสมสำหรับปริมาตรควบคุมนั้นๆ แต่จะทำให้สามารถใช้ Scheme ที่มีอันดับความถูกต้องแม่นยำได้ลดลง



รูปที่ 2.13 การวางกริดแบบไม่สม่ำเสมอ กรณีที่จุดกริดหลักอยู่กึ่งกลางระหว่างพื้นผิวปริมาตรควบคุม

เนื่องจากในงานวิจัยนี้ใช้การคำนวณโดยใช้ Staggered grid ดังนั้นสำหรับปริมาตรควบคุมของตัวแปรความเร็วได้แก่  $u$  และ  $v$  จะใช้ลักษณะการวางกริดในแบบแรกและปริมาตรควบคุมของตัวแปรสเกลาร์อื่นๆ ก็จะใช้ลักษณะการวางกริดในแบบที่สอง ซึ่งการประมาณ

ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายที่พื้นผิวปริมาตรควบคุมสามารถหาได้จากการประมาณเชิงเส้น ดังสมการ

$$\Gamma_w = (1 - f_w)\Gamma_w + f_w\Gamma_P \quad (2.64a)$$

$$\Gamma_e = (1 - f_p)\Gamma_P + f_p\Gamma_E \quad (2.64b)$$

โดยที่ค่าอัตราส่วนการประมาณค่า  $f_w$  และ  $f_p$  หาได้ดังนี้

$$f_w = \frac{\delta x_{ww}}{\delta x_{ww} + \delta x_{wP}} \quad (2.65a)$$

$$f_p = \frac{\delta x_{pe}}{\delta x_{pe} + \delta x_{eE}} \quad (2.65b)$$

### 2.2.2.7 สรุปเนื้อหาของระเบียบวิธีปริมาตรจำกัด

การคำนวณสมการเชิงอนุพันธ์โดยใช้วิธีการวิเคราะห์เชิงตัวเลขด้วยวิธีปริมาตรจำกัดได้ถูกอธิบายไว้ในหัวข้อนี้ โดยแปลงสมการเชิงอนุพันธ์ให้เป็นสมการพีชคณิตซึ่งจะได้ระบบสมการเชิงเส้นที่สามารถนำเอาวิธี TDMA มาช่วยเพื่อหาคำตอบได้ ส่วนขั้นตอนการคำนวณที่ใช้จะใช้วิธี SIMPLE algorithm ซึ่งเป็นวิธีการคำนวณหาค่าความเร็วที่สอดคล้องกับกฎอนุรักษ์มวล โดยใช้สมการของค่าแก้ไขความดัน (Pressure correction equation) ที่ประดิษฐ์ขึ้น และมีการใช้เทคนิคการวางกริดแบบเยื้องกัน (Staggered grid) รวมทั้งการกำหนดเงื่อนไขขอบที่ผนัง เพื่อช่วยในด้านความถูกต้องของคำตอบที่ได้ นอกจากนี้ยังใช้เทคนิคการวางกริดแบบไม่สม่ำเสมอ (Non-uniform grids) ในการลดจำนวนกริดและเวลาที่ใช้ในการคำนวณ

### บทที่ 3

#### การตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมคอมพิวเตอร์

ในบทนี้ จะนำโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้นโดยใช้ขั้นตอนวิธี (Algorithm) ตามที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ผ่านมา เพื่อทำการตรวจสอบความถูกต้อง (Validation) กับผลการทดลองมาเปรียบเทียบ ทั้งนี้เพื่อเป็นการแสดงว่าโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้นนี้มีความถูกต้องและเชื่อถือได้ในระดับที่น่าพอใจ

กรณีศึกษา (Case study) ที่นำมาใช้ในการทดสอบ นั้นจะมีอยู่ 3 กรณี คือ

- 1) การไหลแบบปั่นป่วนในแผ่นคู่ขนานที่อยู่หนึ่ง (Turbulent flow in parallel plates)
- 2) การไหลแบบปั่นป่วนผ่าน Backward-facing step
- 3) การไหลแบบปั่นป่วนผ่านช่องเปิดขนานที่ติดครีบและมีการถ่ายเทความร้อน

#### 3.1 การไหลแบบปั่นป่วนในแผ่นคู่ขนานที่อยู่หนึ่ง (Turbulent flow in parallel plates)

การไหลชนิดนี้เป็นการไหลแบบอัดตัวไม่ได้ที่สภาวะคงตัวผ่านแผ่นคู่ขนานที่อยู่หนึ่ง แผ่นคู่ขนานจะวางห่างกันเป็นระยะ  $H$  โดยที่แต่ละแผ่นมีขนาดความยาวเป็นระยะ  $L$  และมีความกว้างเป็นอนันต์ (รูปที่ 3.1)



รูปที่ 3.1 ลักษณะของปัญหาการไหลในแผ่นคู่ขนานที่อยู่หนึ่ง

กำหนดให้ความเร็วที่ปากทางเข้ามีค่าสม่ำเสมอตลอดหน้าตัด (Uniform flow) ของไหลจะถูกแรงเฉือนที่แผ่นคู่ขนานทำให้เกิด Boundary layer ขึ้น ซึ่ง Boundary layer จะโตขึ้นเรื่อยๆ จนทำให้การไหลพัฒนาไปสู่การไหลแบบพัฒนาเต็มรูป (Fully-developed flow)

ในการทดสอบการไหลในแผ่นคู่ขนานจะทำการทดสอบที่ Reynolds number เท่ากับ 13,750 โดยที่ค่า  $Re_H$  ถูกนิยามดังนี้

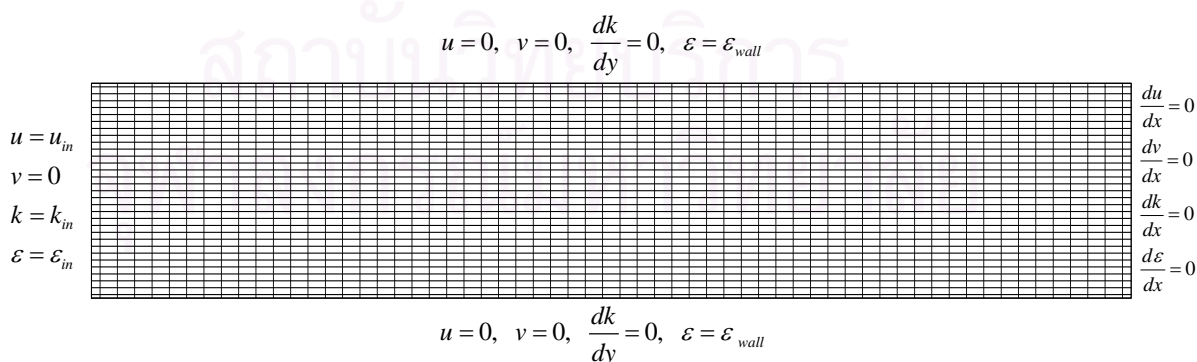
$$Re_H = \frac{\rho \bar{V} H}{\mu} \quad (3.1)$$

โดยที่	$\rho$	คือ	ค่าความหนาแน่นของของไหล, $kg/m^3$
	$\bar{V}$	คือ	ความเร็วเฉลี่ย, $m/s$
	$H$	คือ	ระยะห่างระหว่างแผ่นคู่ขนาน, $m$
	$\mu$	คือ	ค่าความหนืดสัมบูรณ์ (Absolute viscosity), $Pa.s$

กำหนดให้แผ่นคู่ขนานยาว ( $L$ ) 12.0 เมตร วางห่างกัน ( $H$ ) 0.1 เมตร ค่าความหนาแน่นและค่าความหนืดของของไหลมีค่าเท่ากับ  $1.23 \text{ kg/m}^3$  และ  $1.8 \times 10^{-5} \text{ Pa.s}$  ตามลำดับ โดยสามารถหาค่าความเร็วที่ทางเข้าได้ดังนี้

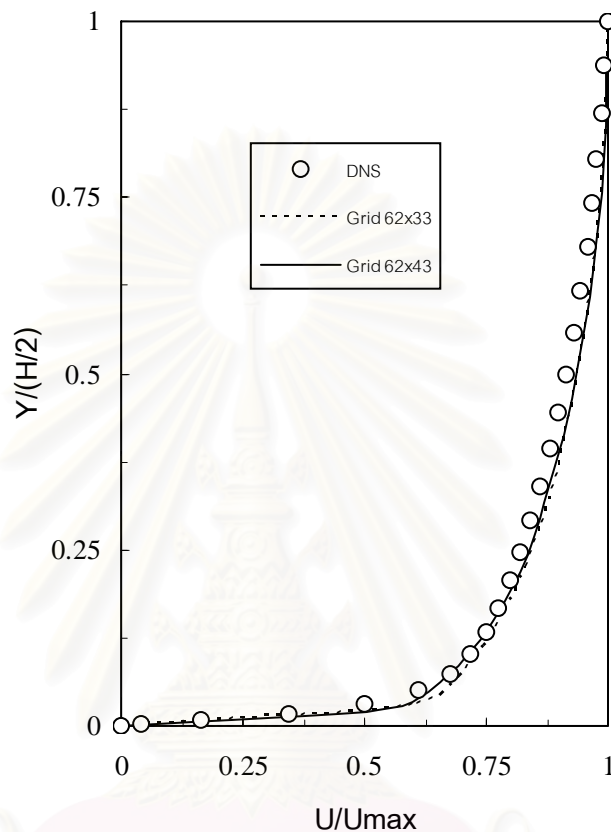
$$\begin{aligned} \bar{V} &= \frac{Re_H \times \mu}{\rho \times H} \\ &= \frac{13750 \times (1.8 \times 10^{-5})}{1.23 \times 0.1} \\ &= 2.012 \text{ m/s} \end{aligned}$$

ในการคำนวณเชิงเลขสำหรับปัญหานี้จะใช้จำนวนกริด  $62 \times 33$  และ  $62 \times 43$  เพื่อตรวจสอบผลของคำตอบที่ขึ้นต่อจำนวนกริดที่ใช้ (Grid Dependence) โดยที่ลักษณะการวางกริดและเงื่อนไขขอบเขตที่ใช้เป็นดังในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ลักษณะรูปร่างของกริด  $62 \times 33$  และเงื่อนไขขอบเขตในการจำลองการไหลในแผ่นคู่ขนานที่อยู่หนึ่ง สำหรับ  $Re_H = 13,750$  (Not to scale)

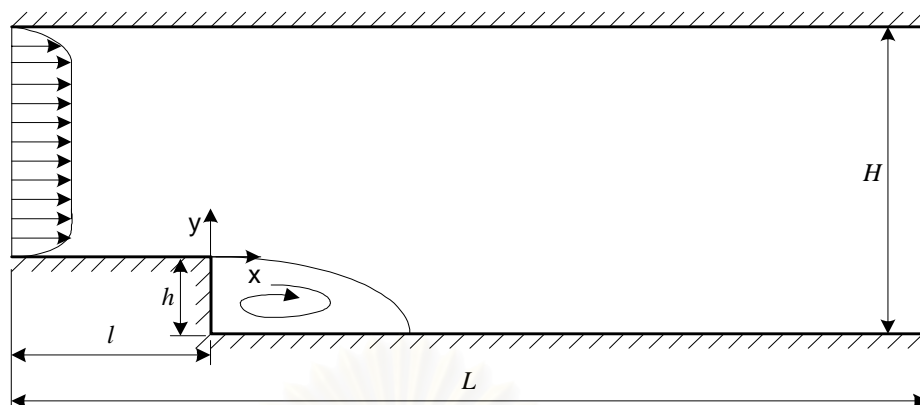
สำหรับความถูกต้องของผลการคำนวณเชิงตัวเลขที่ได้สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.3 โดยผลการคำนวณที่นำมาเปรียบเทียบได้มาจาก Mansour et al. (1988) ซึ่งเป็นการคำนวณแบบ DNS ดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.3 การเปรียบเทียบลักษณะการกระจายตัวของค่าความเร็วที่คำนวณได้ กับค่าความเร็วจากการคำนวณแบบ DNS ของการไหลในแผ่นคู่ขนาน

### 3.2 การไหลแบบปั่นป่วนผ่าน Backward-facing step

กรณีศึกษาต่อไปนี้จะเป็นการศึกษาการไหลแบบปั่นป่วนอัดตัวไม่ได้ใน 2 มิติ ที่สภาวะคงตัว ซึ่งความสูงของ Step ( $h$ ) มีค่าเท่ากับ 38 mm. มีระยะทางจากทางเข้าก่อนถึง Step ( $l$ ) เท่ากับ 127 mm. และช่องทางการไหลที่ขยายตัวออกจะมีความสูง ( $H$ ) เท่ากับ 190 mm. ดังนั้นความสูงที่ปากทางเข้าของ Backward-facing step จึงเท่ากับ  $H - h = 152$  mm. ซึ่งทำให้มีอัตราส่วนการขยาย (Expansion ratio) เท่ากับ 1.25 และค่าความยาวรวม ( $L$ ) ของ Domain ที่ศึกษาคือ 889 mm. (รูปที่ 3.4)



รูปที่ 3.4 ลักษณะของปัญหาการไหลผ่าน Backward-facing step

สำหรับค่า Reynolds number ในกรณีศึกษาี้สามารถคำนวณหาได้จากสมการ

$$\text{Re}_H = \frac{\rho U_0 h}{\mu} \quad (3.2)$$

โดยที่  $\text{Re}_H$  คือ Reynolds number based on step height  
 $h$  คือ ความสูงของ Backward facing step, m  
 $U_0$  คือ ความเร็วที่ Free stream, m/s

การตรวจสอบโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในกรณีนี้ จะเปรียบเทียบกับผลการคำนวณที่ได้กับผลการทดลองของ Adams and Eaton (1988) ซึ่งทำการทดลองที่  $\text{Re}_H = 36,000$  โดยค่าความเร็วที่ทางเข้าจะอ้างอิงเทียบกับความเร็วที่ Free stream ( $U_0$ ) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 15 m/s

จากสมการ (3.2) สามารถหาค่าคุณสมบัติของของไหลได้ดังนี้

$$36,000 = \frac{\rho \times 15 \times 0.038}{\mu} \quad (3.3)$$

$$\frac{\rho}{\mu} = 63157.895$$

ให้  $\rho = 1.23$  ดังนั้นสามารถหาค่า  $\mu$  โดยใช้สมการ (3.3) คือ

$$\mu = \frac{1.23}{63157.895}$$

$$= 1.9475 \times 10^{-5} \quad \text{Pa.s}$$

ฉะนั้นสามารถสรุปคุณสมบัติของของไหลที่  $Re_H = 36,000$  ได้ดังนี้

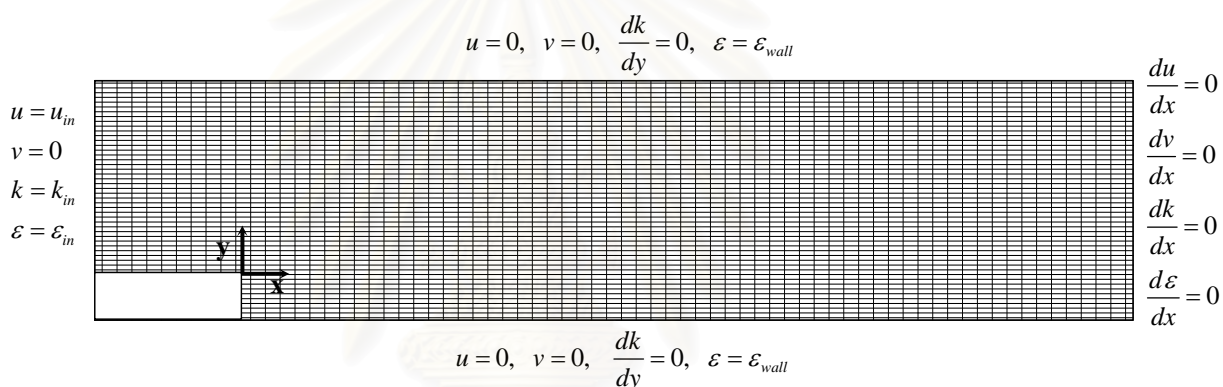
ความหนาแน่น ( $\rho$ )	=	1.23	kg/m <sup>3</sup>
ความหนืดสัมบูรณ์ ( $\mu$ )	=	$1.9475 \times 10^{-5}$	Pa.s
ความเร็วอ้างอิงที่ทางเข้า ( $U_0$ )	=	15	m/s

และได้รายละเอียดของกริดที่ใช้ในการจำลองการไหล ดังแสดงในรูปที่ 3.5 คือ

จำนวนของกริด =  $72 \times 52$

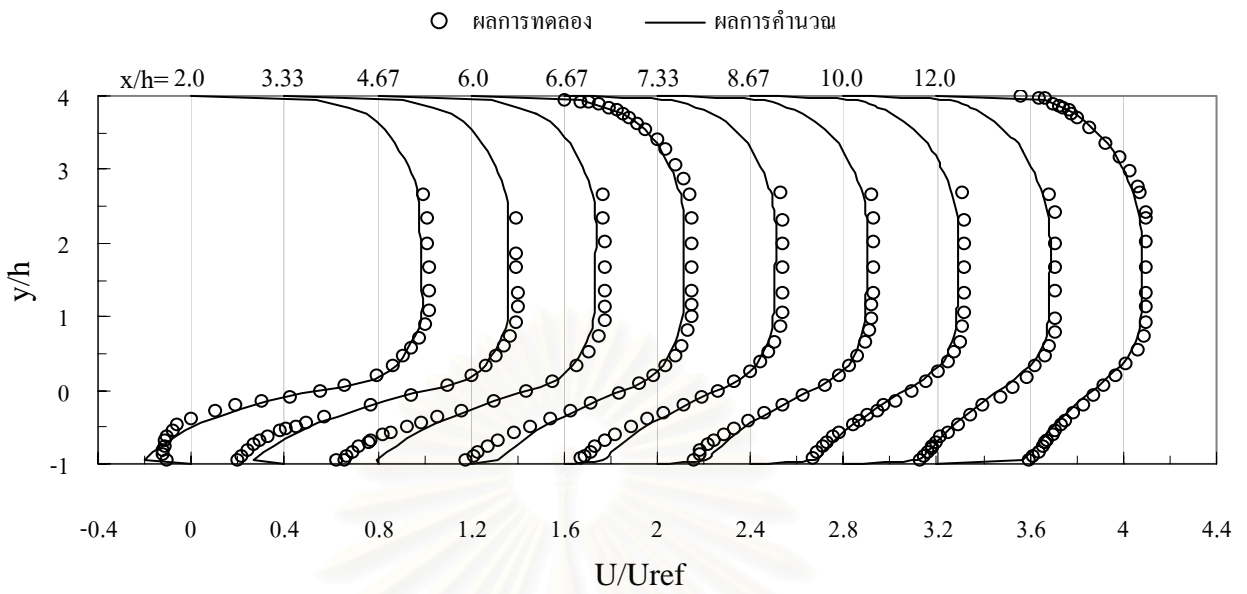
ระยะห่างระหว่างกริดในแนวแกน  $x$  มีค่าเท่ากับ ( $dx$ ) = 12.7 mm.

ระยะห่างระหว่างกริดในแนวแกน  $y$  มีค่าเท่ากับ ( $dy$ ) = 3.8 mm.

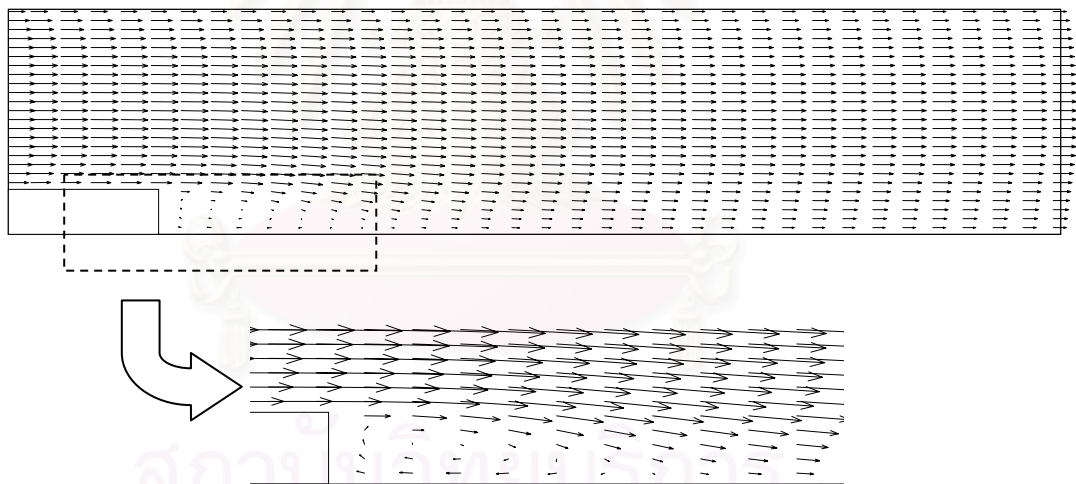


รูปที่ 3.5 ลักษณะรูปร่างของกริด  $72 \times 52$  และเงื่อนไขขอบเขตในการจำลองการไหลผ่าน Backward-facing step สำหรับ  $Re_H = 36,000$  (Not to scale)

ความถูกต้องของผลการคำนวณเชิงตัวเลขสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.6 โดยทำการเปรียบเทียบกับผลการทดลองของ Adams and Eaton (1988) ณ ตำแหน่งต่างๆ โดยเริ่มวัดระยะในแนวแกน  $x$  และ  $y$  ดังในรูปที่ 3.5 และจะเห็นบริเวณที่เกิดการหมุนวนของของไหลที่ผนังด้านล่างติดกับช่องทางการไหลที่ขยายออกได้อย่างชัดเจนจากรูปที่ 3.7 และรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.6 การเปรียบเทียบค่าความเร็วที่ได้จากผลการคำนวณเชิงเลขกับผลการทดลอง สำหรับ  $Re_H = 36,000$  ที่  $x/h$  ต่างๆ กัน



รูปที่ 3.7 เวกเตอร์ความเร็วของของไหลภายใน Backward-facing step สำหรับ  $Re_H = 36,000$

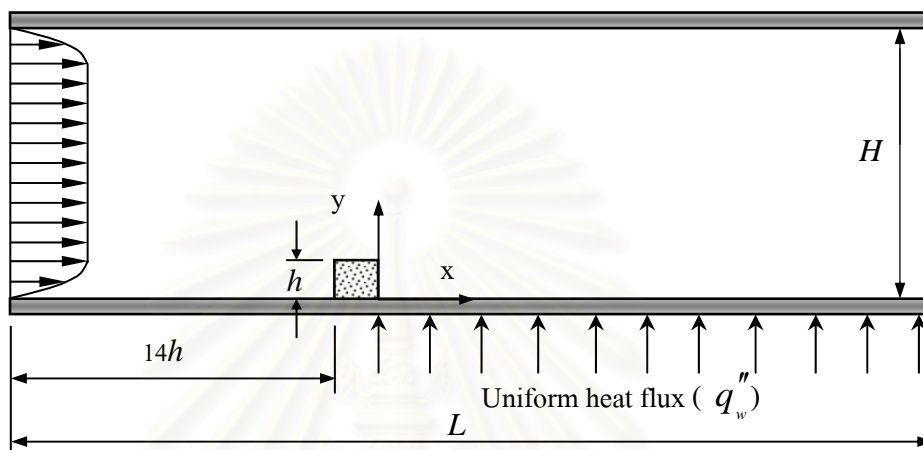


รูปที่ 3.8 Streamline ของการไหลภายใน Backward-facing step สำหรับ  $Re_H = 36,000$



### 3.3 การไหลแบบปั่นป่วนผ่านช่องเปิดขนานที่ติดครีบบนและมีการถ่ายเทความร้อน

สำหรับกรณีศึกษาี้ จะสมมติว่าเป็นการไหลแบบปั่นป่วนอัดตัวไม่ได้ที่สภาวะคงตัวใน 2 มิติ ซึ่งไหลผ่านช่องเปิดขนานที่ติดครีบบนด้านล่าง และมีการถ่ายเทความร้อนที่ผนังแบบ Uniform heat flux ภายหลังจากผ่านครีบบนแล้วดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 ลักษณะของปัญหาการไหลผ่านช่องเปิดขนานที่ติดครีบบนและมีการถ่ายเทความร้อน

ระยะความสูงของช่องเปิดขนาน ( $H$ ) เท่ากับ 61 mm, ความยาวของช่องเปิด ( $L$ ) เท่ากับ 285.75 mm โดยที่ผนังด้านล่างจะติดครีบบนจัตุรัสซึ่งมีความสูง ( $h$ ) เท่ากับ 6.35 mm และติดครีบบนห่างจากทางเข้าช่องเปิดที่ระยะ  $14h$  ภายหลังจากการไหลผ่านครีบบนจะมีการถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นเนื่องจากการให้ฟลักซ์ความร้อน ( $q_w''$ ) ขนาด  $280 \text{ W/m}^2$  อย่างสม่ำเสมอที่ผนังด้านล่าง โดยในที่นี้ของไหลที่พิจารณาคือ อากาศที่อุณหภูมิ  $25^\circ\text{C}$  ซึ่งมีค่าความหนาแน่น  $\rho = 1.2 \text{ kg/m}^3$ , ความหนืดสัมบูรณ์  $\mu = 1.85 \times 10^{-5} \text{ Pa}\cdot\text{s}$  และสัมประสิทธิ์การนำความร้อน  $k_c = 0.026 \text{ W/m}\cdot\text{K}$

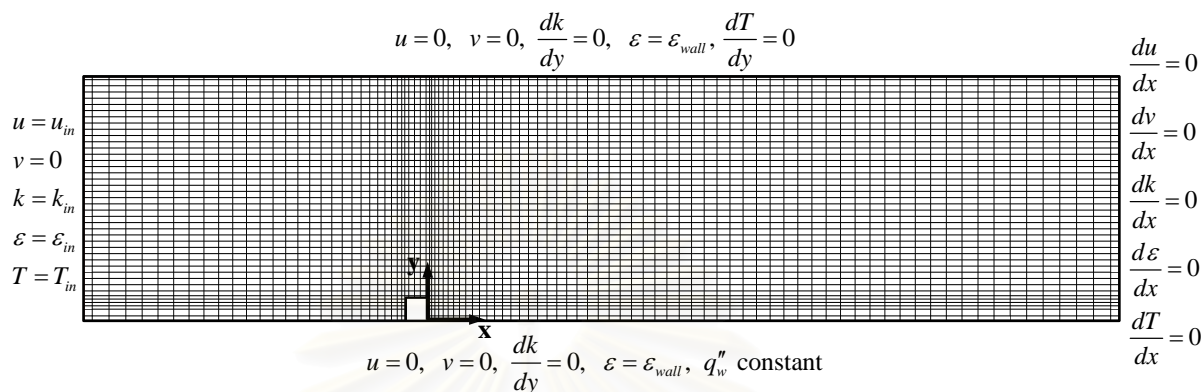
สำหรับเงื่อนไขขอบเขตที่ทางเข้าจะกำหนดความเร็ว  $u$  ในแนวแกน  $x$  ตามความสัมพันธ์ต่อไปนี้

$$1. \frac{u_{in}}{U_o} = \left( \frac{y}{\delta_u} \right)^{1/5.6} \quad \text{เมื่อ } \frac{y}{\delta_u} > 1 \quad \text{และ} \quad \frac{y}{\delta_u} > \left( \frac{H}{\delta_u} - 1 \right)$$

$$2. \frac{u_{in}}{U_o} = 1 \quad \text{เมื่อ } 1 \leq \frac{y}{\delta_u} \leq \left( \frac{H}{\delta_u} - 1 \right)$$

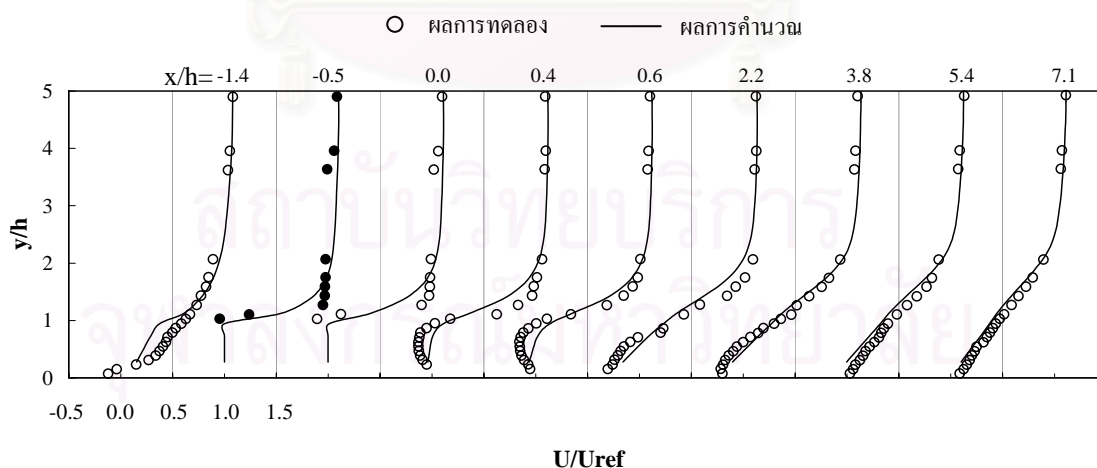
โดยที่  $U_o$  คือ Free stream velocity มีค่าเท่ากับ 3.6 m/s และ  $\delta_u$  คือ ความหนาของชั้น Boundary layer มีค่าเท่ากับ  $3.3h$  ในส่วนของเงื่อนไขขอบเขตอื่นๆ ได้แสดงดังรูปที่ 3.10 ในการคำนวณจะใช้กริดจำนวน  $94 \times 43$  ซึ่งจะให้ผลการคำนวณที่ไม่ขึ้นกับจำนวนกริดที่ใช้ (Grid

independent) และมีลักษณะการวางกริดแบบไม่สม่ำเสมอ (Non-uniform) เพื่อลดจำนวนกริดคำนวณเนื่องจากในบางบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรของการไหลมากจะต้องวางกริดขนาดเล็กกว่าในบริเวณอื่น

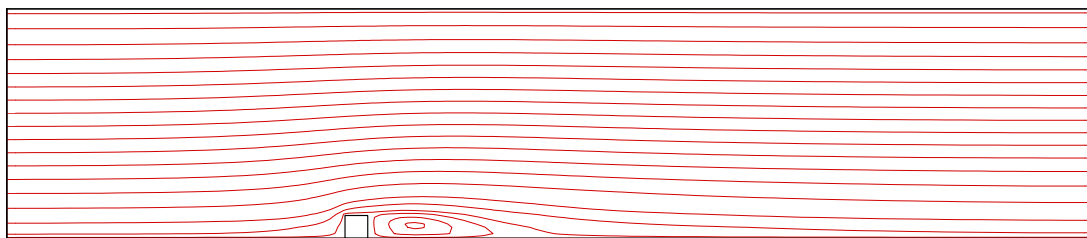


รูปที่ 3.10 ลักษณะรูปร่างของกริด 94×43 และเงื่อนไขขอบเขตในการจำลองการไหลผ่านช่องเปิดขนาดที่ติดครีบ (Not to scale)

จากรูปที่ 3.11 ผลการคำนวณเชิงเลขที่ได้จะนำไปตรวจสอบความถูกต้องกับผลการทดลองของ Acharya et al. (1998) ณ ตำแหน่งต่างๆ โดยจะเริ่มวัดระยะแนวแกน x และ y ดังในรูปที่ 3.10 และจะเห็นบริเวณที่เกิดการหมุนวนที่ด้านหลังของครีบได้จาก Streamline ในรูปที่ 3.12 เหมือนกับที่เกิดขึ้นในกรณีของการไหลผ่าน Backward-facing step

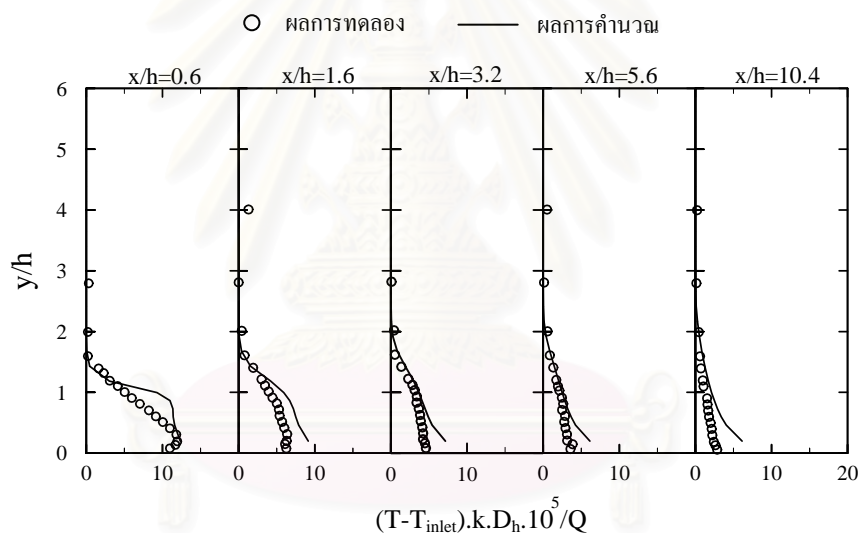


รูปที่ 3.11 การเปรียบเทียบค่าความเร็วที่ได้จากการคำนวณเชิงเลขและผลการทดลองที่ x/h ต่างๆ



รูปที่ 3.12 Streamline ของการไหลภายในช่องเปิดขนานที่ติดครีบ

จากค่าอุณหภูมิที่คำนวณได้สามารถนำมาเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ตำแหน่งต่างๆ ดังรูปที่ 3.13 โดยที่ค่า Hydraulic diameter ( $D_h$ ) ของช่องเปิดคือ 101.6 mm และค่าความร้อนรวม ( $Q$ ) ภายในช่องเปิดมีค่าเท่ากับ 85 W



รูปที่ 3.13 การเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิที่ได้จากผลการคำนวณเชิงเลขและผลการทดลอง ที่  $x/h$  ต่างๆ

### 3.4 สรุปผล

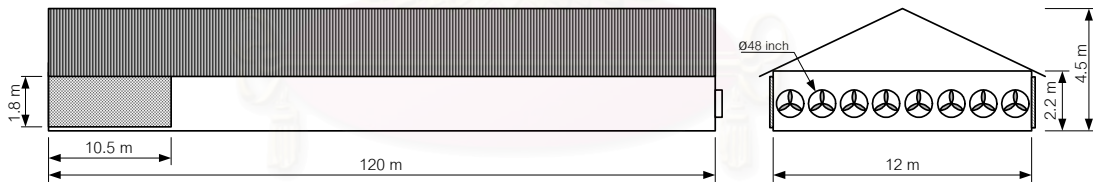
จากกรณีทดสอบเพื่อแก้ปัญหาคารไหลแบบปั่นป่วนในแผ่นคู่ขนานที่อยู่หนึ่ง, การไหลแบบปั่นป่วนผ่าน Backward-facing step และการไหลแบบปั่นป่วนผ่านช่องเปิดขนานที่ติดครีบและมีการถ่ายเทความร้อน สามารถแสดงถึงประสิทธิภาพของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้นมาว่ามีความถูกต้องอยู่ในระดับที่น่าพอใจ และ Turbulence model ที่ใช้ในโปรแกรมนี้ก็สามารถใช้ในการทำนายผลของการไหลแบบปั่นป่วนและการถ่ายเทความร้อนได้อย่างถูกต้องเพียงพอ

## บทที่ 4

### ลักษณะของโรงเรือนที่ใช้ศึกษา

ในการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อรูปแบบของโรงเรือน จะต้องทำการตรวจสอบการกระจายลม, ค่าความดันตกและค่าดัชนีความร้อนของไก่ในโรงเรือนหลายๆ รูปแบบ การกำหนดขนาดโรงเรือนและตำแหน่งในการวางแผงทำความเย็น และซึ่งลมของโรงเรือนแต่ละรูปแบบเป็นสิ่งสำคัญ โดยจะส่งผลกระทบต่อความถูกต้องในการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรแต่ละตัว ในที่นี่จะกำหนดให้โรงเรือนระบบปิดรูปแบบหนึ่งเป็นโรงเรือนกรณีพื้นฐาน แล้วจึงทำการปรับเปลี่ยนลักษณะของโรงเรือนกรณีพื้นฐาน เพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ต่อไป

โรงเรือนระบบปิดที่ใช้เป็นโรงเรือนกรณีพื้นฐานในการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ นี้จะมีขนาดความกว้าง 12 เมตร, ความยาว 120 เมตร, ความสูงด้านข้าง 2.2 เมตร และความสูงจากพื้นถึงหน้าจั่ว 4.5 เมตร ที่ปลายด้านหนึ่งของโรงเรือน ผนังด้านข้างแต่ละด้านจะติดตั้งทำความเย็นที่มีความยาว 10.5 เมตร และสูง 1.8 เมตร ดังในรูปที่ 4.1 ส่วนที่ปลายอีกด้านหนึ่งจะติดตั้งพัดลมขนาด 48 นิ้ว จำนวน 8 ตัว ภายในโรงเรือนจะติดตั้งซึ่งลมทุกๆ 15 เมตรตลอดความยาวของโรงเรือน โดยมีความสูงของซึ่งลมจากพื้นเท่ากับ 2 เมตร นอกจากนี้ตามที่กล่าวไว้ในบทนำ สามารถสรุปตัวแปรและค่าที่จะเปลี่ยนแปลงจากโรงเรือนกรณีพื้นฐาน ได้ดังตารางที่ 4.1

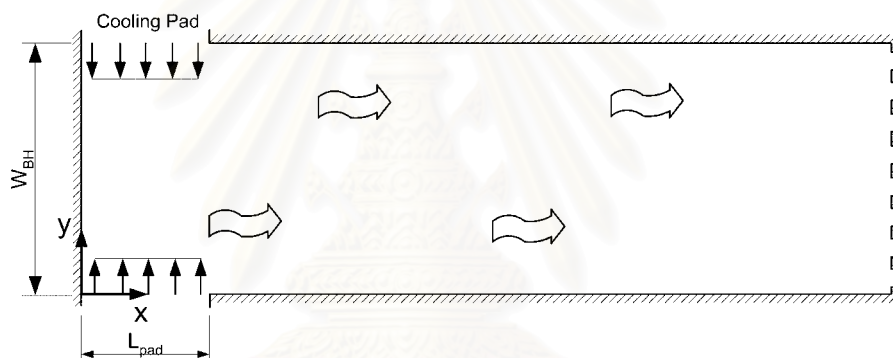


รูปที่ 4.1 ขนาดและตำแหน่งการติดตั้งระบบระบายอากาศของโรงเรือนกรณีพื้นฐาน

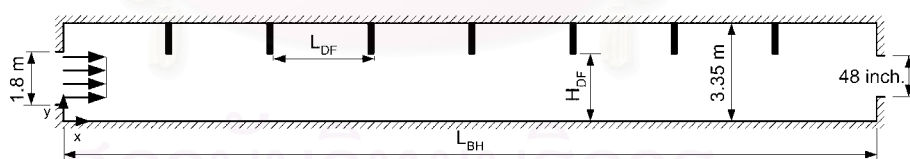
ตารางที่ 4.1 ตัวแปรและค่าที่จะเปลี่ยนแปลงจากโรงเรือนกรณีพื้นฐานในการศึกษาอิทธิพลที่มีต่อการกระจายลม, ความดันตก และดัชนีความร้อน BGHI ภายในโรงเรือน

ลำดับที่	ตัวแปรที่พิจารณา	ค่าตัวแปรที่จะเปลี่ยนแปลง
1	ความกว้างของโรงเรือน ( $W_{BH}$ )	24 เมตร
2	ความยาวของโรงเรือน ( $L_{BH}$ )	90 เมตร และ 150 เมตร
3	ตำแหน่งการวางแผงทำความเย็น	มีรูปแบบ ดังในรูปที่ 1.2 – 1.4
4	ระยะห่างระหว่างซึ่งลม ( $L_{DF}$ )	10 เมตร และ 20 เมตร
5	ความสูงของซึ่งลมจากพื้น ( $H_{DF}$ )	1.75 เมตร และ 2.75 เมตร

ในวิทยานิพนธ์นี้จะประยุกต์ใช้โปรแกรมสำหรับการคำนวณการไหลแบบปั่นป่วนในสองมิติเพื่อตรวจสอบอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ จึงต้องแบ่งระนาบที่ใช้ในการคำนวณออกเป็น 2 ระนาบคือ ระนาบคำนวณแนวราบ (Horizontal plane) และระนาบคำนวณแนวตั้ง (Vertical plane) ซึ่งผลการคำนวณเชิงเลขในระนาบคำนวณแนวราบจะไม่แสดงอิทธิพลของซึ่งลมบนหลังคา ในขณะที่ผลการคำนวณเชิงเลขในระนาบคำนวณแนวตั้งก็ไม่สามารถแสดงอิทธิพลของความกว้างโรงเรือนและการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งแผงทำความเย็นได้ ดังนั้นการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรแต่ละตัวจะต้องศึกษาจากทั้งสองระนาบ เพื่อให้สามารถวิเคราะห์การกระจายตัวของความเร็วลมและดัชนีความร้อนที่ตำแหน่งต่างๆ ในระนาบคำนวณแนวราบ โดยได้รับอิทธิพลของซึ่งลมจากผลการคำนวณในระนาบคำนวณแนวตั้งด้วย ลักษณะของระนาบคำนวณทั้งสองและตัวแปรของโรงเรือนที่สอดคล้องกับตัวแปรในตารางที่ 4.1 ได้แสดงไว้ดังในรูปที่ 4.2 และ 4.3



รูปที่ 4.2 ลักษณะของระนาบคำนวณแนวราบ (Not to scale)



รูปที่ 4.3 ลักษณะของระนาบคำนวณแนวตั้ง (Not to scale)

รายละเอียดของโรงเรือนแต่ละรูปแบบซึ่งได้ถูกปรับเปลี่ยนจากโรงเรือนกรณีพื้นฐานสำหรับระนาบคำนวณแต่ละระนาบ เป็นดังนี้

#### 4.1 ลักษณะของโรงเรือนในระนาบคำนวณแนวราบที่ทำการปรับเปลี่ยนจากโรงเรือนกรณีพื้นฐาน

##### ความกว้างของโรงเรือน

สำหรับโรงเรือนความกว้าง 24 เมตร จะกำหนดรูปแบบโรงเรือนดังต่อไปนี้

- ความยาวของโรงเรือนเท่ากับโรงเรือนกรณีพื้นฐาน
- วางแผงทำความเย็นที่ตำแหน่งเดิมแต่มีความยาว ( $L_{pad}$ ) ด้านละ 21 เมตร
- พัดลมดูดอากาศจะใช้ขนาด 48 นิ้ว จำนวน 16 ตัว

##### ตำแหน่งการวางแผงทำความเย็น

รายละเอียดของโรงเรือนที่มีตำแหน่งการวางแผงทำความเย็น ดังในรูปที่ 1.3 และ 1.4 จะเป็นดังต่อไปนี้

##### 1) วางแผงทำความเย็นเฉพาะผนังด้านกว้างของโรงเรือน

- ความกว้างและความยาวของโรงเรือนเท่ากับโรงเรือนกรณีพื้นฐาน
- วางแผงทำความเย็นตลอดความกว้างของโรงเรือน ยาว 12 เมตร
- พัดลมดูดอากาศจะใช้ขนาด 48 นิ้ว จำนวน 8 ตัว

##### 2) วางแผงทำความเย็นทั้งผนังด้านกว้างและด้านข้างของโรงเรือน

- ความกว้างและความยาวของโรงเรือนเท่ากับโรงเรือนกรณีพื้นฐาน
- วางแผงทำความเย็นตลอดความกว้างของโรงเรือน ยาว 12 เมตร
- วางแผงทำความเย็นที่ผนังข้างแต่ละด้านยาว 4.5 เมตร
- พัดลมดูดอากาศจะใช้ขนาด 48 นิ้ว จำนวน 8 ตัว

##### ความยาวของโรงเรือน

นอกเหนือจากความยาวของโรงเรือนที่จะมีค่าเป็น 90 และ 150 เมตรแล้ว ความยาวของแผงทำความเย็นก็จะปรับเปลี่ยนตามอัตราการระบายอากาศมาตรฐานของโรงเรือนเลี้ยงไก่ (กรมปศุสัตว์, 2542) ที่เปลี่ยนไปด้วยเช่นกัน เพื่อให้ความเร็วลมที่ผ่านแผงทำความเย็นในโรงเรือนทั้งสองมีค่าใกล้เคียงกับในโรงเรือนกรณีพื้นฐาน ดังนั้นจะกำหนดให้โรงเรือนยาว 90 และ 150 เมตร มีความยาวของแผงทำความเย็น ( $L_{pad}$ ) ที่ผนังข้างโรงเรือนแต่ละด้านเท่ากับ 8 และ 13 เมตร ตามลำดับ นอกจากนี้เนื่องจากพัดลมดูดอากาศขนาด 48 นิ้วจำนวน 8 ตัวไม่สามารถที่จะทำการระบายอากาศได้ตามมาตรฐานของกรมปศุสัตว์ในโรงเรือนยาว 150 เมตร จึงต้องติดตั้งพัดลมเพิ่มขึ้นอีก 1 ตัวที่ผนังข้างแต่ละด้านห่างจากท้ายโรงเรือนประมาณ 1 เมตร

#### ระยะห่างระหว่างชิงลมและความสูงของชิงลมจากพื้น

เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงขนาดหรือลักษณะของชิงลมไม่สามารถกระทำได้ในระนาบค่านวณนี้ ดังนั้นขนาดและองค์ประกอบของระนาบจะไม่มี การเปลี่ยนแปลงจากในโรงเรือนกรณีพื้นฐาน

#### 4.2 ลักษณะของโรงเรือนในระนาบค่านวณแนวตั้งที่ทำการปรับเปลี่ยนจากโรงเรือนกรณีพื้นฐาน

จากการที่หลังคาของโรงเรือนเป็นหลังคาจั่ว การกำหนดความสูงของโรงเรือนสำหรับระนาบค่านวณแนวตั้ง จะใช้ค่าเฉลี่ยของความสูงที่ผนังข้าง (2.2 เมตร) และความสูงที่กึ่งกลางโรงเรือน (4.5 เมตร) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 3.35 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.3

#### ความกว้างของโรงเรือนและตำแหน่งการวางแผงทำความเย็น

เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงขนาดความกว้างของโรงเรือนและตำแหน่งของแผงทำความเย็นไม่สามารถกระทำได้ในระนาบค่านวณนี้ ดังนั้นขนาดและองค์ประกอบของระนาบจะไม่มี การเปลี่ยนแปลงจากในโรงเรือนกรณีพื้นฐาน

#### ความยาวของโรงเรือน

เมื่อโรงเรือนมีความยาวมากหรือน้อยกว่าโรงเรือนกรณีพื้นฐาน ชิงลมที่ติดตั้งภายในโรงเรือนก็จะมีจำนวนแตกต่างกันไป (กำหนดให้ระยะห่างระหว่างชิงลมเท่ากับในโรงเรือนกรณีพื้นฐาน) โดยโรงเรือนที่มีความยาว 90 และ 150 เมตร จะมีจำนวนชิงลมเท่ากับ 5 และ 9 ตามลำดับ ขนาดและองค์ประกอบของระนาบในส่วนอื่นๆ จะไม่มี การเปลี่ยนแปลงจากโรงเรือนกรณีพื้นฐาน

#### ระยะห่างระหว่างชิงลม

สำหรับโรงเรือนที่ยาวเท่ากับโรงเรือนกรณีพื้นฐาน การติดชิงลมห่างกัน 10 เมตร และ 20 เมตร จะทำให้มีจำนวนชิงลมเท่ากับ 11 และ 5 ตามลำดับ ขนาดและองค์ประกอบของระนาบในส่วนอื่นๆ จะไม่มี การเปลี่ยนแปลงจากโรงเรือนกรณีพื้นฐาน

#### ความสูงของชิงลมจากพื้น

ในการตรวจสอบจะทำการปรับเปลี่ยนความสูงของชิงลมจากพื้นให้มีค่าน้อยและมากกว่าในโรงเรือนกรณีพื้นฐาน นั่นคือจะวางชิงลมที่ความสูง 1.75 และ 2.75 เมตร โดยที่ค่าความสูง 2.75 เมตรนั้นเป็นค่าความสูงของชิงลมที่แนะนำโดยสุภาพร (2543) ขนาดและองค์ประกอบของระนาบในส่วนอื่นๆ จะไม่มี การเปลี่ยนแปลงจากโรงเรือนกรณีพื้นฐาน

### 4.3 เงื่อนไขขอบเขตของโรงเรือน

การคำนวณเชิงเลขเพื่อหาลักษณะการไหลของอากาศและลักษณะการถ่ายเทความร้อนภายในโรงเรือน จะแบ่งเงื่อนไขขอบเขตออกเป็น 2 ชนิด คือ

#### 4.3.1 เงื่อนไขขอบเขตสำหรับการไหลของอากาศ

- เงื่อนไขที่ทางเข้า (Inlet boundary condition)

ในการกำหนดความเร็วลมที่แผงทำความเข้าใจในระนาบคำนวณทั้งสอง สามารถทำได้ตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

- 1) คำนวณหาความเร็วลมเฉลี่ยทั้งโรงเรือน จากค่ามาตรฐานการระบายอากาศในโรงเรือนเลี้ยงไก่ (กรมปศุสัตว์, 2542) ซึ่งจะต้องระบายอากาศภายในโรงเรือนออกให้หมดในเวลา 1 นาที (1 Air change per minute)
- 2) คำนวณหาความเร็วลมที่แผงทำความเข้าใจ สำหรับระนาบคำนวณแนวตั้ง
- 3) หลังจากที่ทำกรคำนวณเชิงเลขในระนาบคำนวณแนวตั้งโดยใช้ความเร็วลมในข้อ 2) เป็นเงื่อนไขที่ทางเข้าแล้ว ก็จะได้ความเร็วลมที่ตำแหน่งต่างๆ จากนั้นทำการหาค่าเฉลี่ยความเร็วลมที่ระดับความสูง 0.3 เมตรจากพื้นโรงเรือน
- 4) นำความเร็วลมที่ระดับ 0.3 เมตรในข้อ 3) มาเป็นค่าความเร็วลมเฉลี่ยที่หน้าตัดใดๆ ในระนาบคำนวณแนวราบ
- 5) คำนวณหาความเร็วลมที่แผงทำความเข้าใจ สำหรับระนาบคำนวณแนวราบ

- เงื่อนไขที่ผนังและที่ทางออก (Wall and outlet boundary condition)

ดังที่ได้กล่าวในบทที่ 2 เงื่อนไขขอบเขตที่บริเวณใกล้ผนังโรงเรือน จะใช้ Wall function ในการประมาณค่าความเร็วลม และสำหรับเงื่อนไขขอบเขตที่ทางออก (พัดลมดูดอากาศ) จะประมาณว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าของตัวแปร (Zero gradient) ยกเว้นความเร็ว  $u$  ที่จะต้องทำการคำนวณเพื่อให้สอดคล้องกับสมการความต่อเนื่อง โดยจะกำหนดให้พัดลมดูดอากาศท้ายโรงเรือนมีอัตราการดูดอากาศเท่ากันทุกตัว

#### 4.3.2 เงื่อนไขขอบเขตสำหรับการถ่ายเทความร้อน

- 1) เงื่อนไขแบบอุณหภูมิพื้นผิวสม่ำเสมอ (Uniform wall temperature) พื้นผิวของโรงเรือนที่มีเงื่อนไขแบบนี้ได้แก่ พื้นผิวของแผงทำความเข้าใจด้านใน



2) เงื่อนไขแบบฟลักซ์ความร้อนสม่ำเสมอ (Uniform heat flux) พื้นผิวที่มีเงื่อนไขแบบนี้ได้แก่ ผนังของโรงเรือนทั้ง 4 ด้าน, หลังคาและพื้นของโรงเรือน โดยที่สาเหตุในการกำหนดเงื่อนไขที่ผนังและหลังคาของโรงเรือนเป็นแบบฟลักซ์ความร้อนคงที่เนื่องจากพื้นผิวดังกล่าวเป็นฉนวนความร้อนและมีความยาวมาก อีกทั้งภายในโรงเรือน อุณหภูมิอากาศและความเร็วลมมีความแตกต่างกันในแต่ละจุด จึงทำให้อุณหภูมิพื้นผิวที่ตำแหน่งต่างๆ มีค่าไม่เท่ากัน

สำหรับค่าอุณหภูมิและฟลักซ์ความร้อนของพื้นผิวผนังด้านในโรงเรือนที่จะนำมาเป็นเงื่อนไขขอบเขตนั้น จะได้จากผลการคำนวณของธีระ (2547) ซึ่งเป็นวิทยานิพนธ์ที่ได้ศึกษาโรงเรือนเลี้ยงไก่ร่วมกันแต่พิจารณาในส่วนของกรถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคาร โดยจะเลือกผลการคำนวณที่ใช้ค่าเฉลี่ยข้อมูลอากาศของวันที่ 18-22 เมษายน ดังที่ได้แสดงในตารางที่ 4.2 สาเหตุที่เลือกวันดังกล่าวเนื่องจากในการตรวจสอบเบื้องต้นโดยใช้ผลของวิทยานิพนธ์ทางด้านเปลือกอาคารนั้น วันที่ 20 เมษายนจะมีชั่วโมงที่ค่าดัชนีความร้อน BGHI เฉลี่ยมีค่าสูงสุดในรอบปี สำหรับการตรวจสอบในเบื้องต้นนี้ จะกำหนดให้โรงเรือนวางตัวในแนวทิศตะวันออก-ตะวันตก โดยต้นโรงเรือนซึ่งเป็นบริเวณที่ติดตั้งทำความเย็นจะอยู่ทางทิศตะวันออก ในส่วนของวิธีการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของโรงเรือนแบบอุณหภูมิพื้นผิวสม่ำเสมอและแบบฟลักซ์ความร้อนสม่ำเสมอลงในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2

ตารางที่ 4.2 สภาพะอากาศภายนอกโดยเฉลี่ยของวันที่ 18-22 เมษายน สำหรับใช้คำนวณหาเงื่อนไขขอบเขตทางความร้อน

เวลา	18 เมษายน		19 เมษายน		20 เมษายน		21 เมษายน		22 เมษายน	
	$t_{db}$ (°C)	Rh(%)	$t_{db}$ (°C)	Rh(%)	$t_{db}$ (°C)	Rh(%)	$t_{db}$ (°C)	Rh(%)	$t_{db}$ (°C)	Rh(%)
8:00	29.4	80	30.0	79	30.5	79	30.2	79	29.4	80
9:00	31.4	71	31.9	70	30.0	76	32.2	72	30.9	73
10:00	32.0	66	32.8	67	30.8	74	33.1	62	32.3	66
11:00	32.8	66	33.3	65	33.2	67	33.8	63	31.5	70
12:00	34.1	61	34.5	60	34.3	63	34.2	61	32.4	67
13:00	34.2	59	35.2	55	34.3	63	35.0	58	33.1	64
14:00	34.4	58	35.5	56	34.8	62	35.1	56	33.2	61
15:00	34.5	56	35.4	58	34.9	61	34.4	57	33.4	59
16:00	34.2	57	35.1	56	34.7	61	34.5	57	33.2	56
17:00	33.4	61	33.9	60	33.5	65	33.3	62	33.0	60

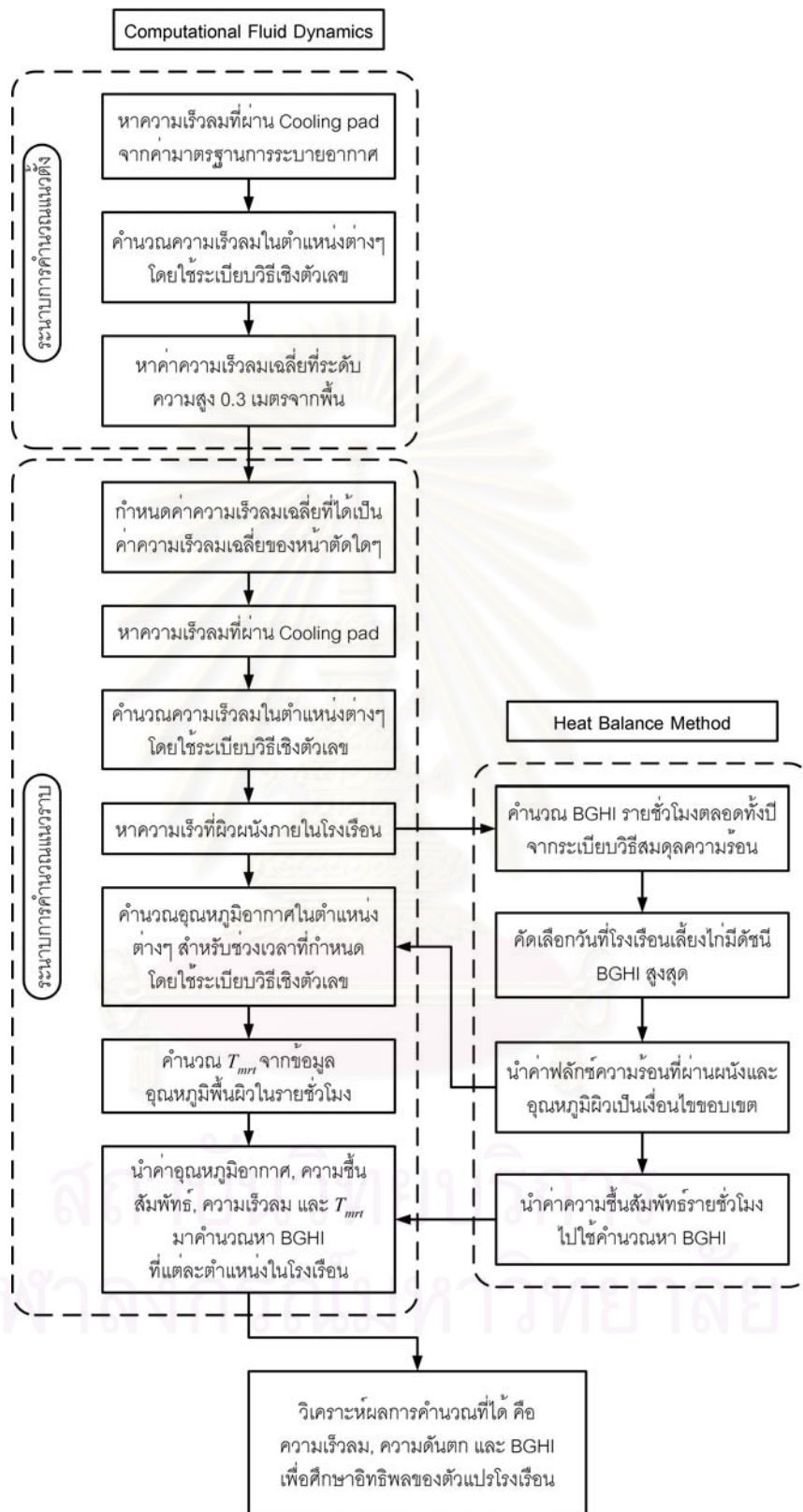
#### 4.4 ขั้นตอนการคำนวณเพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ

การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรโรงเรียนต่างๆ ที่มีผลต่อการระบายอากาศภายในจะเริ่มจากการคำนวณในระนาบคำนวณแนวตั้ง เมื่อแก้ปัญหาสนามการไหลในระนาบนี้โดยใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขก็จะได้ค่าความเร็วลมและความดันสัมพัทธ์ที่ตำแหน่งต่างๆ ซึ่งได้รับอิทธิพลของซึ่งลม หลังจากนั้นจะนำผลการคำนวณมาหาค่าความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับความสูงโดยประมาณของตัวไก่ (0.3 เมตร) ค่าความเร็วลมเฉลี่ยนี้จะนำไปใช้ต่อในระนาบคำนวณแนวราบเพื่อเป็นค่าความเร็วลมเฉลี่ยที่หน้าตัดต่างๆ โดยที่หลังจากการแก้ปัญหาสนามการไหล ก็จะใช้ระนาบนี้ในการแก้ปัญหาการถ่ายเทความร้อนภายในโรงเรียนเช่นกันเพื่อตรวจสอบการกระจายตัวของอุณหภูมิ ซึ่งเมื่อนำความเร็วลมและอุณหภูมิอากาศที่ได้รวมกับค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย ( $T_{mrr}$ ) ที่คำนวณจากอุณหภูมิพื้นผิวภายใน จะทำให้สามารถประเมินค่าดัชนีความร้อน BGHI ที่ตำแหน่งต่างๆ เป็นรายชั่วโมงได้

ในการหาเงื่อนไขขอบเขตทางความร้อน ผลจากการแก้ปัญหาสนามการไหลจะต้องนำไปใช้ในระเบียบวิธีสมดุลความร้อนของวิทยานิพนธ์ที่พิจารณาโรงเรียนเลี้ยงไก่ในส่วนของเปลือกอาคาร (ธีระ, 2547) เพื่อให้การคำนวณค่าฟลักซ์ความร้อนที่ผ่านผนังเข้าสู่โรงเรียนมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น โดยจะต้องหาค่าความเร็วลมที่ผิวของผนังด้านต่างๆ ซึ่งได้แสดงขั้นตอนการหาในภาคผนวก ค. หลังจากนั้นก็จะใช้ระเบียบวิธีสมดุลความร้อนทำการคำนวณหาค่า BGHI ในรายชั่วโมงเพื่อคัดเลือกวันที่ดัชนีความร้อน BGHI มีค่าสูงสุดในรอบปี แล้วจึงนำค่าฟลักซ์และอุณหภูมิที่ผนังของวันนั้นๆ ในรายชั่วโมงไปใช้เป็นค่าเงื่อนไขขอบเขตของสมการอนุรักษ์พลังงานต่อไป

สำหรับขั้นตอนที่จะทำให้ได้ผลการคำนวณในตำแหน่งต่างๆ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.4

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.4 ขั้นตอนการคำนวณเพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ

## บทที่ 5

### ผลการคำนวณและการวิเคราะห์

ในบทนี้จะเป็นการนำโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้น มาใช้วิเคราะห์หาค่าของตัวแปรของโรงเรือนต่างๆ ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในบทก่อนหน้านี้ ได้แก่ ความกว้างของโรงเรือน, ความยาวของโรงเรือน, ตำแหน่งการวางแผงทำความเย็น, ระยะห่างระหว่างซิงลม และความสูงของซิงลมจากพื้น ที่จะมีผลต่อการกระจายลม, ค่าความดันตก และดัชนีความร้อน BGHI โดยจะกำหนดให้มีโรงเรือนเลี้ยงไก่ที่เป็นโรงเรือนกรณีพื้นฐานสำหรับการเปรียบเทียบกับโรงเรือนที่มีรูปแบบแตกต่างกันไป ดังนั้นในหัวข้อแรกจะนำเสนอผลการคำนวณที่ได้จากโรงเรือนกรณีพื้นฐานก่อน เพื่อจะได้ทราบถึงลักษณะและการเปลี่ยนแปลงค่าภายใน โดยจะนำผลที่ได้ไปใช้เป็นค่าอ้างอิงในการเปรียบเทียบ เมื่อจะทำการปรับเปลี่ยนค่าตัวแปรโรงเรือน ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อต่อไป

#### 5.1 ลักษณะของความเร็วลม, ค่าความดันตก และดัชนีความร้อน BGHI ภายในโรงเรือนกรณีพื้นฐาน

ดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 4 จะกำหนดให้โรงเรือนกรณีพื้นฐานซึ่งจะใช้เปรียบเทียบกับโรงเรือนในรูปแบบอื่นๆ เป็นโรงเรือนที่มีความกว้าง 12 เมตร, ความยาว 120 เมตร และความสูงเฉลี่ย 3.35 เมตร ในบริเวณต้นโรงเรือนจะติดตั้งทำความเย็นที่ผนังข้างแต่ละด้าน โดยมีความยาวด้านละ 10.5 เมตร ส่วนภายในโรงเรือนจะติดตั้งซิงลมสูงจากพื้น 2 เมตร และติดตั้งทุกๆ ระยะทาง 15 เมตร

ในการตรวจสอบลักษณะความเร็วลมภายในโรงเรือนกรณีพื้นฐาน จะตรวจสอบที่ระดับความสูงของตัวไก่ ซึ่งในงานวิจัยนี้กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 0.3 เมตร การคำนวณจะเริ่มจากในระนาบคำนวณแนวตั้ง เพื่อรวมอิทธิพลของซิงลมสำหรับการคำนวณในระนาบคำนวณแนวราบต่อไป โดยจะกำหนดให้ระนาบคำนวณแนวตั้งมีลักษณะและขนาด ดังแสดงในรูปที่ 5.1 สำหรับการคำนวณเชิงเลข จะใช้กริดคำนวณแบบไม่สม่ำเสมอจำนวน  $349 \times 137$  ดังรูปที่ 5.2 ซึ่งจากการทดลองเปลี่ยนแปลงกริดขนาดต่างๆ กันพบว่ากริดขนาดนี้จะให้คำตอบที่ไม่ขึ้นกับจำนวนกริดที่ใช้ (Grid independent)

สำหรับเงื่อนไขที่ทางเข้าของระนาบคำนวณแนวตั้งจะกำหนดความเร็วลม  $u$  ในแนวแกน  $x$  ให้สอดคล้องกับมาตรฐานการระบายอากาศในโรงเรือนไก่เนื้อ (กรมปศุสัตว์, 2542) ซึ่งปริมาตรโรงเรือนกรณีพื้นฐานมีค่าเท่ากับ  $4824 \text{ m}^3$  ดังนั้นอัตราการระบายอากาศ ( $Q$ ) ตามข้อกำหนด

จะต้องเป็น 4824 m<sup>3</sup>/min เนื่องจากแผงทำความเย็นซึ่งนำอากาศเข้าสู่โรงเรือนมีความสูง 1.8 เมตร ดังนั้นความเร็วที่ผ่านแผงทำความเย็นในระนาบค่านวนแนวตั้ง ( $u_{in,ver}$ ) จะมีค่าเท่ากับ

$$u_{in,ver} = \frac{Q}{A_{Pad}} = \frac{4824/60}{12 \times 1.8} = 3.722 \text{ m/s}$$

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 5.3 และ 5.4 ซึ่งเป็นเวกเตอร์ความเร็วและ Streamline ของผลการคำนวณที่ได้จะพบว่า การไหลของอากาศภายในจะเกิดการเปลี่ยนแปลงไปตลอดแนวยาวของโรงเรือนเนื่องจากอิทธิพลของซึ่งลมที่ติดเป็นระยะๆ กล่าวคือพื้นที่หน้าตัดภายในโรงเรือนจะมีค่าลดลงในบริเวณใต้ซึ่งลม ทำให้ในบริเวณนี้จะมีความเร็วลมมากและจะมีค่าลดลงในตำแหน่งที่ห่างออกไป นอกจากนี้ยังทำให้ความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับความสูงมากกว่า 2 เมตรซึ่งไม่ได้ใช้งานมีค่าน้อยลง

ในรูปที่ 5.5 เป็นค่าความเร็วลมที่ระดับความสูงจากพื้น 0.3 เมตร จะเห็นว่าค่าความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับตัวโกมีค่าสูงขึ้นในโรงเรือนที่ติดซึ่งลม โดยมีค่าประมาณ 3.54 m/s จากเดิมเมื่อไม่ติดซึ่งลมจะมีค่าความเร็วลมเฉลี่ยประมาณ 2 m/s นั่นคือ ความเร็วลมมีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 77% ถึงแม้ว่าการติดซึ่งลมจะทำให้ความเร็วลมมากขึ้นโดยไม่ต้องเพิ่มจำนวนพัดลมที่ท้ายโรงเรือนแต่ก็มีข้อเสียในเรื่องของค่าความดันตกที่เพิ่มสูงขึ้นดังรูปที่ 5.6 ซึ่งแสดงค่าความดันที่ระดับความสูงจากพื้น 1.1 เมตร โดยเป็นค่าความสูงที่ระดับกึ่งกลางของพัดลมดูดอากาศท้ายโรงเรือน เมื่ออากาศไหลผ่านซึ่งลมแต่ละตำแหน่งก็จะทำให้ค่าความดันสัมพัทธ์ลดลงอย่างรวดเร็ว ค่าความดันตกที่สูงขึ้นก็จะส่งผลต่อค่าประสิทธิภาพของพัดลมดูดอากาศ ทำให้สามารถดูดอากาศได้ลดลงตามลักษณะของตัวอย่างข้อมูลในตารางที่ 2.1 ส่งผลให้อัตราการระบายอากาศของโรงเรือนเลี้ยงไก่ไม่อยู่ในค่าที่เหมาะสม

ลักษณะของระนาบค่านวนแนวราบและขนาดต่างๆ แสดงในรูปที่ 5.7 จากการทดลองวางกริดขนาดต่างๆ กัน โดยวางกริดแบบไม่สม่ำเสมอ พบว่ากริดขนาด 290×165 ดังรูปที่ 5.8 จะให้ค่าตอบที่ไม่ขึ้นกับจำนวนกริดที่ใช้ เมื่อนำค่าความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับความสูง 0.3 เมตร จากพื้นโรงเรือนของระนาบค่านวนแนวตั้ง มาใช้ในระนาบค่านวนแนวราบโดยกำหนดให้เป็นค่าความเร็วลมเฉลี่ยในหน้าตัดใดๆ เพื่อรวมอิทธิพลของซึ่งลมลงในระนาบค่านวนนี้ ทำให้สามารถคำนวณหาความเร็วอากาศที่ผ่านแผงทำความเย็นในระนาบค่านวนแนวราบ ( $u_{in,hor}$ ) ได้จากการ

$$u_{in,hor} = \frac{Q}{A_{Pad}} = \frac{\bar{u} \times A_{Cross}}{A_{Pad}} = \frac{3.54 \times 12}{21} = 2.02 \text{ m/s}$$

ผลการคำนวณความเร็วลมในระนาบคำนวณแนวราบสำหรับโรงเรือนกรณีพื้นฐานสามารถแสดงลักษณะการไหลของอากาศภายในโรงเรือนดังรูปที่ 5.9 และ 5.10 ลักษณะการกระจายตัวของความเร็วลมที่แต่ละหน้าตัดจะมีความเร็วลมมากในบริเวณกลางโรงเรือนและมีค่าลดลงเมื่อใกล้ผนังข้าง นอกจากนี้พบสำหรับแต่ละหน้าตัดในบริเวณต้นโรงเรือน ค่าความเร็วลมจะแตกต่างกันมากกว่าในบริเวณท้ายโรงเรือน รูปที่ 5.11 เป็นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร็วลมตลอดความกว้างของโรงเรือนที่ระยะทางต่างๆ โดยจะมีค่าสูงสุดที่ระยะประมาณ 14 เมตร ซึ่งเป็นบริเวณที่อากาศเกิดการหมุนวนเนื่องจากการเปลี่ยนทิศทางของอากาศที่เข้าสู่โรงเรือน หลังจากนั้นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานก็จะลดลงอย่างรวดเร็วจนถึงระยะประมาณ 70 เมตร การกระจายตัวของความเร็วลมตลอดความกว้างก็จะไม่เปลี่ยนแปลงมากนักจนถึงปลายโรงเรือน

ในส่วน of ค่าความดันตกภายในโรงเรือน จากรูปที่ 5.12 จะพบว่าในช่วงต้นของโรงเรือน ค่าความดันสัมพัทธ์ซึ่งอ้างอิงที่ตำแหน่งผิวด้านในของแผงทำความเย็นมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมากตามการเปลี่ยนทิศทางของความเร็วลม โดยความดันในแต่ละตำแหน่งจะเริ่มมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงหลังจากที่อากาศไหลในโรงเรือนเป็นระยะทางประมาณ 18 เมตร นอกจากนี้ค่าความดันตกท้ายโรงเรือนที่คำนวณได้จะมีค่าประมาณ 15 Pa น้อยกว่าค่าที่ได้จากระนาบคำนวณแนวตั้งที่มีค่าประมาณ 29 Pa เนื่องจากในระนาบคำนวณนี้ไม่ได้รับอิทธิพลของซึ่งลม

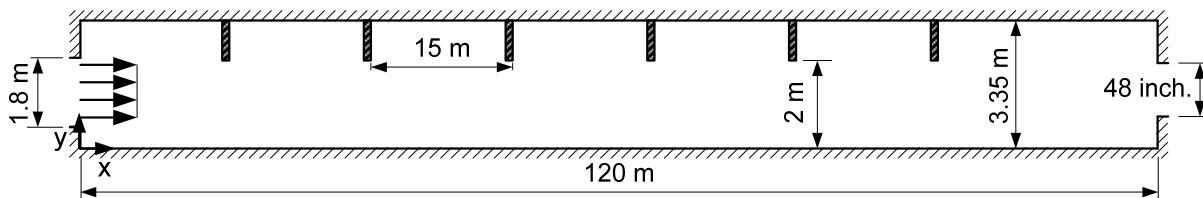
ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิอากาศสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.13 ซึ่งเป็นผลการคำนวณในช่วงเวลา 8:00-17:00 น. ของวันที่ 20 เมษายน ค่าฟลักซ์ความร้อนที่ผ่านเข้ามาในโรงเรือนจากผนังด้านต่างๆ จะได้จากธีระ (2547) ที่ศึกษาโรงเรือนเลี้ยงไก่ในส่วนของ การถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคาร ซึ่งใช้ระเบียบวิธีสมดุลความร้อน (Heat Balance Method) ร่วมกับข้อมูลอากาศโดยเฉลี่ยในตารางที่ 4.2 ในส่วนของฟลักซ์ความร้อนจากหลังคาและพื้นซึ่งไม่ใช่เงื่อนไขขอบเขตสำหรับระนาบคำนวณแนวราบก็จะนำไปรวมกับเทอมการผลิตความร้อนในสมการอนุรักษ์พลังงาน (สมการ (2.19)) เพื่อให้ผลการคำนวณอุณหภูมิอากาศภายในโรงเรือนใกล้เคียงกับสภาพที่เป็นจริง จากรูปที่ 5.13 จะพบว่าในบางชั่วโมงอุณหภูมิอากาศที่บริเวณท้ายโรงเรือนจะมีค่าสูงกว่าค่าอุณหภูมิมาตรฐานในการเลี้ยงไก่ แต่เนื่องจากค่าความเร็วลมที่บริเวณดังกล่าวก็มีมากกว่าค่าความเร็วลมมาตรฐานเช่นกัน จึงไม่สามารถที่จะระบุได้แน่ชัดว่ามีตำแหน่งใดบ้างที่ไก่จะอยู่ภายใต้สภาวะการเลี้ยงที่ไม่เหมาะสม ทั้งนี้จึงได้ทำการหาค่าดัชนีความร้อน BGHI เพื่อรวมผลของตัวแปรสิ่งแวดล้อมต่างๆ เข้าด้วยกัน

สำหรับการหาค่าดัชนีความร้อน BGHI ที่แต่ละตำแหน่งซึ่งได้กล่าวรายละเอียดในหัวข้อที่ 2.1.6 นั้น จะนำผลของความเร็วและค่าอุณหภูมิอากาศที่คำนวณได้ รวมกับค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยซึ่งหาได้จากอุณหภูมิผิวที่ผนังด้านในของแต่ละด้าน และข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ในโรงเรือนราย

ชั่วโมง มาแทนลงในสมการ (2.1) - (2.3) จากนั้นก็จะหาค่าขอบเขต BGHI ที่เหมาะสมในการเลี้ยงไก่ตามขั้นตอนในรูปที่ 2.5 โดยจะได้ค่าอยู่ระหว่าง 68.4 - 83.0 เมื่อนำค่าขอบเขตที่ได้มาหาพื้นที่ที่เหมาะสมในแต่ละชั่วโมง จะได้ดังรูปที่ 5.14 ซึ่งยกตัวอย่างผลการคำนวณของวันที่ 20 เมษายน เมื่อพิจารณาลักษณะของเส้นแบ่งระหว่างพื้นที่ที่เหมาะสมในการเลี้ยง ( $68.4 \leq BGHI \leq 83.0$ ) และพื้นที่ที่ไม่เหมาะสม ( $BGHI > 83.0$ ) ทำให้ทราบว่าบริเวณใกล้ผนังด้านข้าง มีโอกาสเกิดสภาวะที่ไม่เหมาะสมมากกว่าบริเวณกึ่งกลางโรงเรือน ทั้งนี้ผลที่เกิดขึ้นก็เป็นไปตามลักษณะการกระจายลมที่ตำแหน่งต่างๆ คือ บริเวณที่มีความเร็วต่ำก็จะมีค่าดัชนี BGHI สูง นอกจากนี้ในแต่ละชั่วโมง บริเวณผนังข้างแต่ละด้านจะมีค่าดัชนี BGHI ไม่เท่ากัน ดังจะเห็นได้จากลักษณะที่ไม่สมมาตรของเส้นแบ่งระหว่างพื้นที่ซึ่งเกิดจากทิศทางของการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์

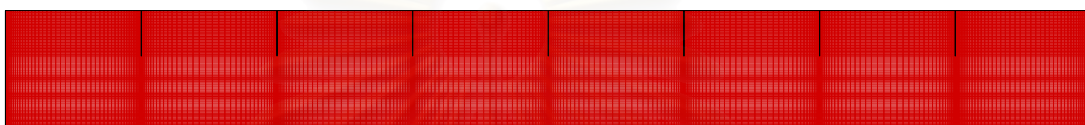
เมื่อทำการหาค่าเฉลี่ยของดัชนี BGHI ในช่วงเวลา 8:00-17:00 น. ของวันที่ 18-22 เมษายน ดังรูปที่ 5.15 จะพบว่าในชั่วโมงที่โรงเรือนมีค่าเฉลี่ยของดัชนี BGHI สูงสุดของแต่ละวัน ก็จะมีค่าร้อยละของพื้นที่ที่เหมาะสมในการเลี้ยงไก่เมื่อเทียบกับพื้นที่การเลี้ยงทั้งหมดน้อยที่สุดเช่นกัน ดังรูปที่ 5.16

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

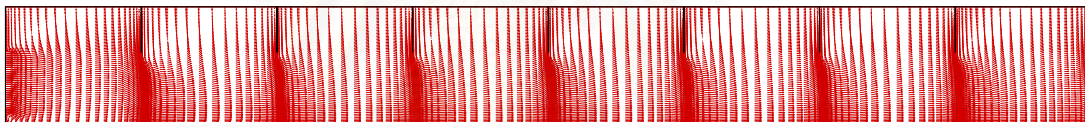


รูปที่ 5.1 ลักษณะและขนาดของระนาบคำนวณแนวตั้งสำหรับโรงเรือนกรณีพื้นฐาน

(Not to scale)

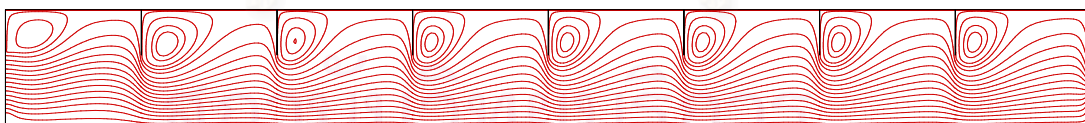


รูปที่ 5.2 ลักษณะรูปร่างของกริดจำนวน 349×137 ที่ใช้ในระนาบคำนวณแนวตั้งสำหรับโรงเรือนกรณีพื้นฐาน (Not to scale)



รูปที่ 5.3 เวกเตอร์ความเร็วของการไหลภายในโรงเรือนกรณีพื้นฐาน

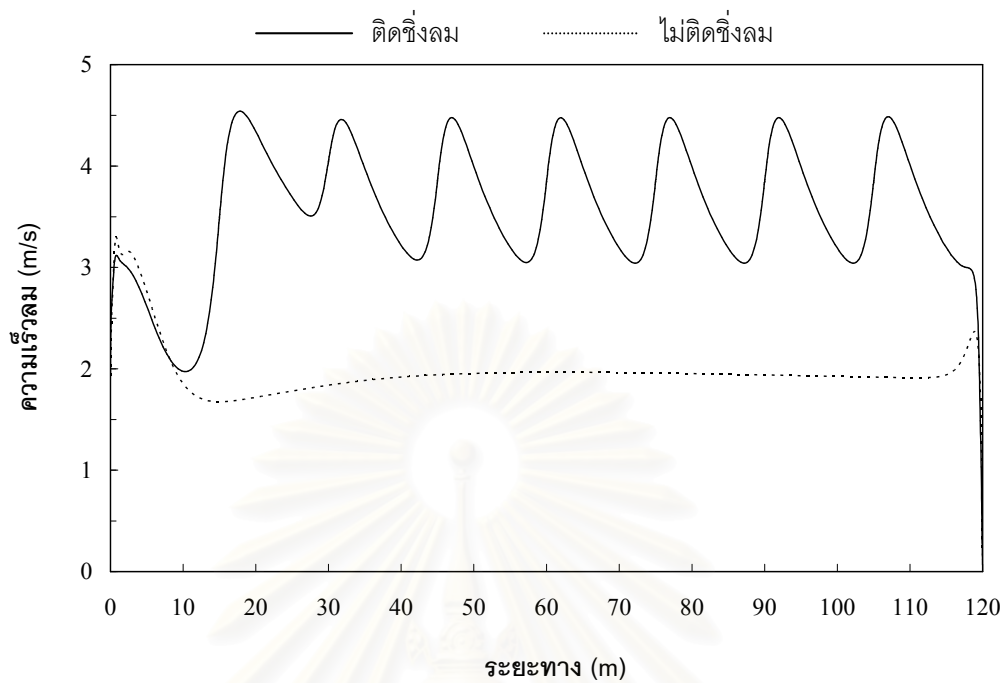
(ระนาบคำนวณแนวตั้ง)



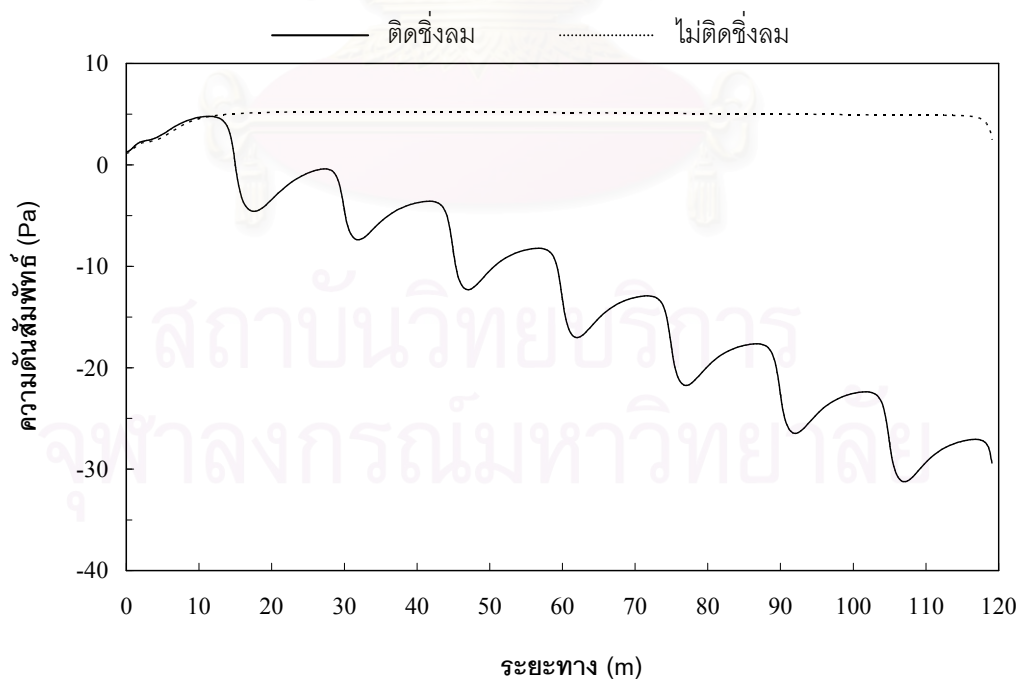
รูปที่ 5.4 Streamline ของการไหลภายในโรงเรือนกรณีพื้นฐาน

(ระนาบคำนวณแนวตั้ง)

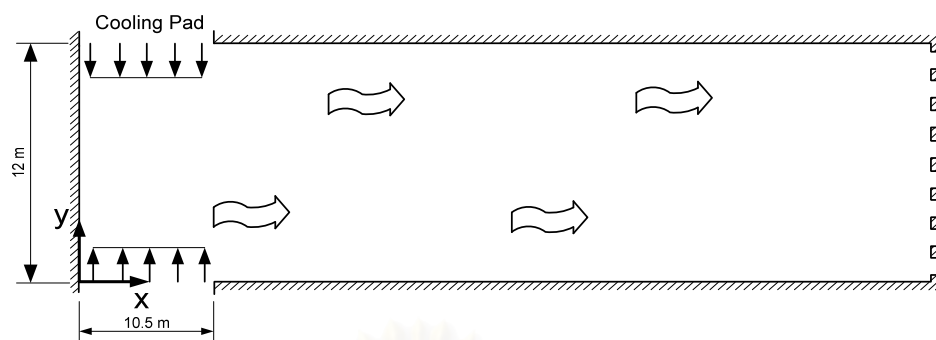




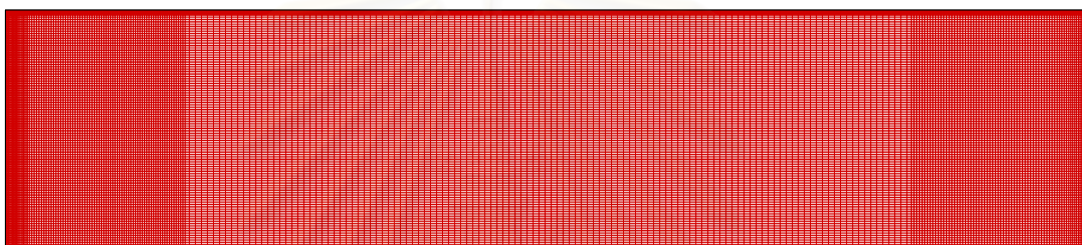
รูปที่ 5.5 ความเร็วลมที่ระดับความสูง 0.3 เมตรจากพื้นโรงเรือน ในกรณีที่ติดชิงลมและไม่ติดชิงลม (ระนาบค่านวณแนวตั้ง)



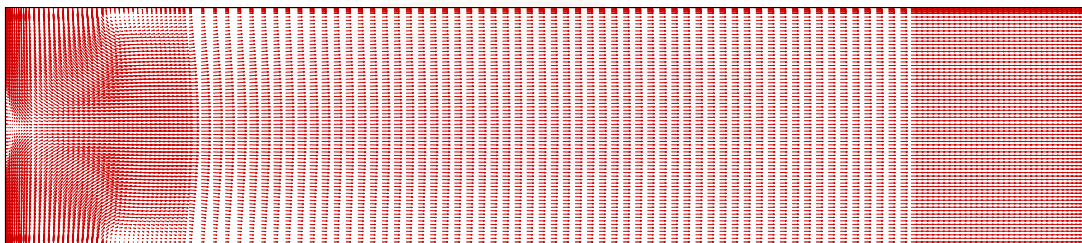
รูปที่ 5.6 ความดันอากาศสัมพัทธ์ที่ระดับความสูง 1.1 เมตรจากพื้นโรงเรือน ในกรณีที่ติดชิงลมและไม่ติดชิงลม (ระนาบค่านวณแนวตั้ง)



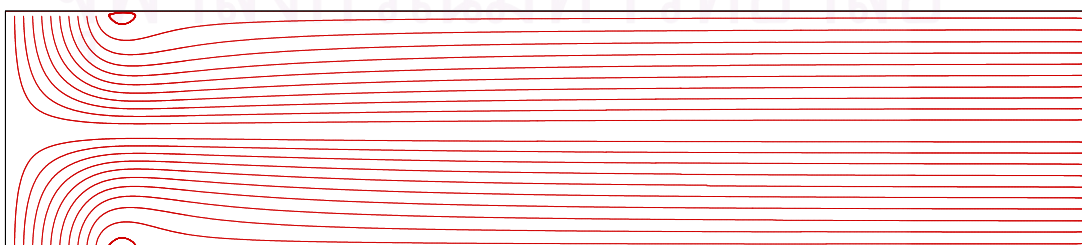
รูปที่ 5.7 ลักษณะและขนาดของระนาบคำนวณแนวราบสำหรับโรงเรือนกรณีพื้นฐาน  
(Not to scale)



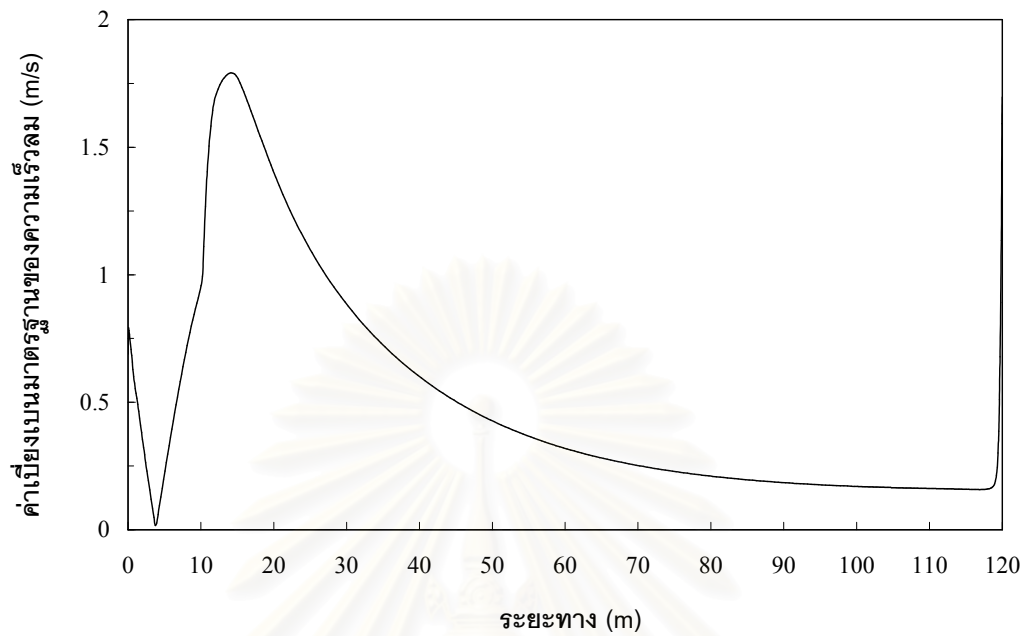
รูปที่ 5.8 ลักษณะรูปร่างของกริดจำนวน 290×165 ที่ใช้ในระนาบคำนวณแนวราบ  
(Not to scale)



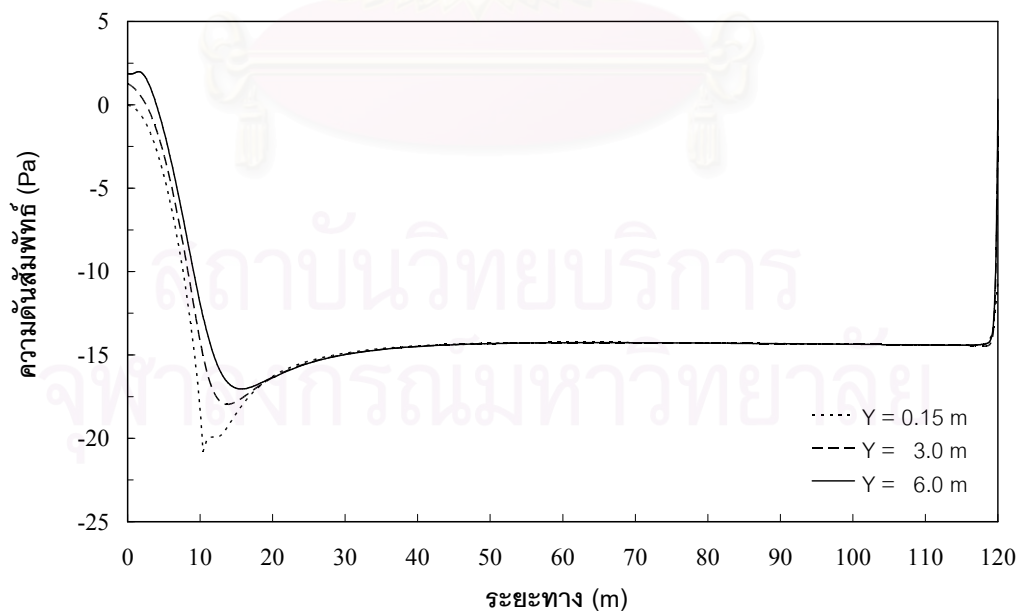
รูปที่ 5.9 เวกเตอร์ความเร็วของการไหลภายในโรงเรือนกรณีพื้นฐาน  
(ระนาบคำนวณแนวราบ)



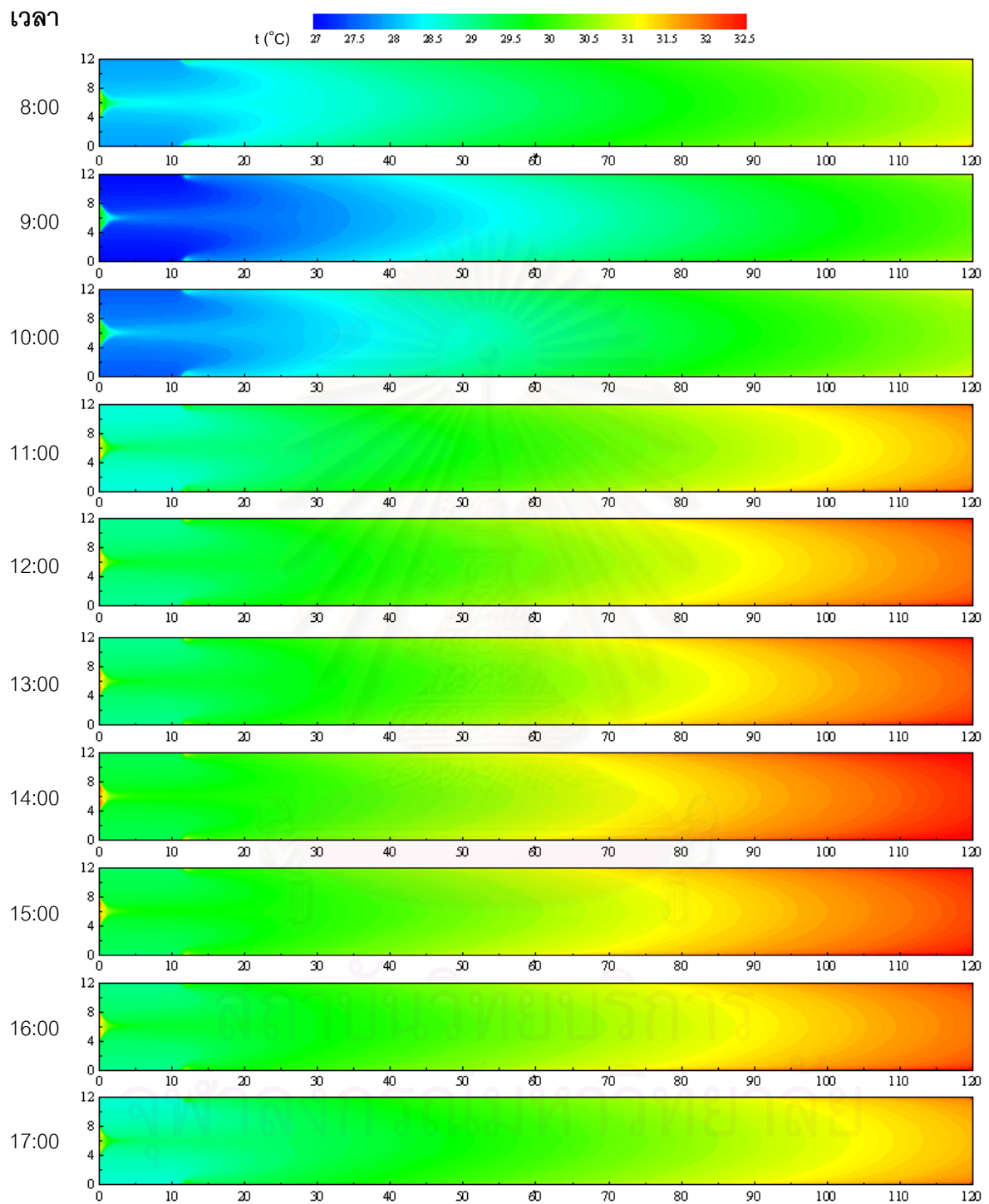
รูปที่ 5.10 Streamline ของการไหลภายในโรงเรือนกรณีพื้นฐาน  
(ระนาบคำนวณแนวราบ)



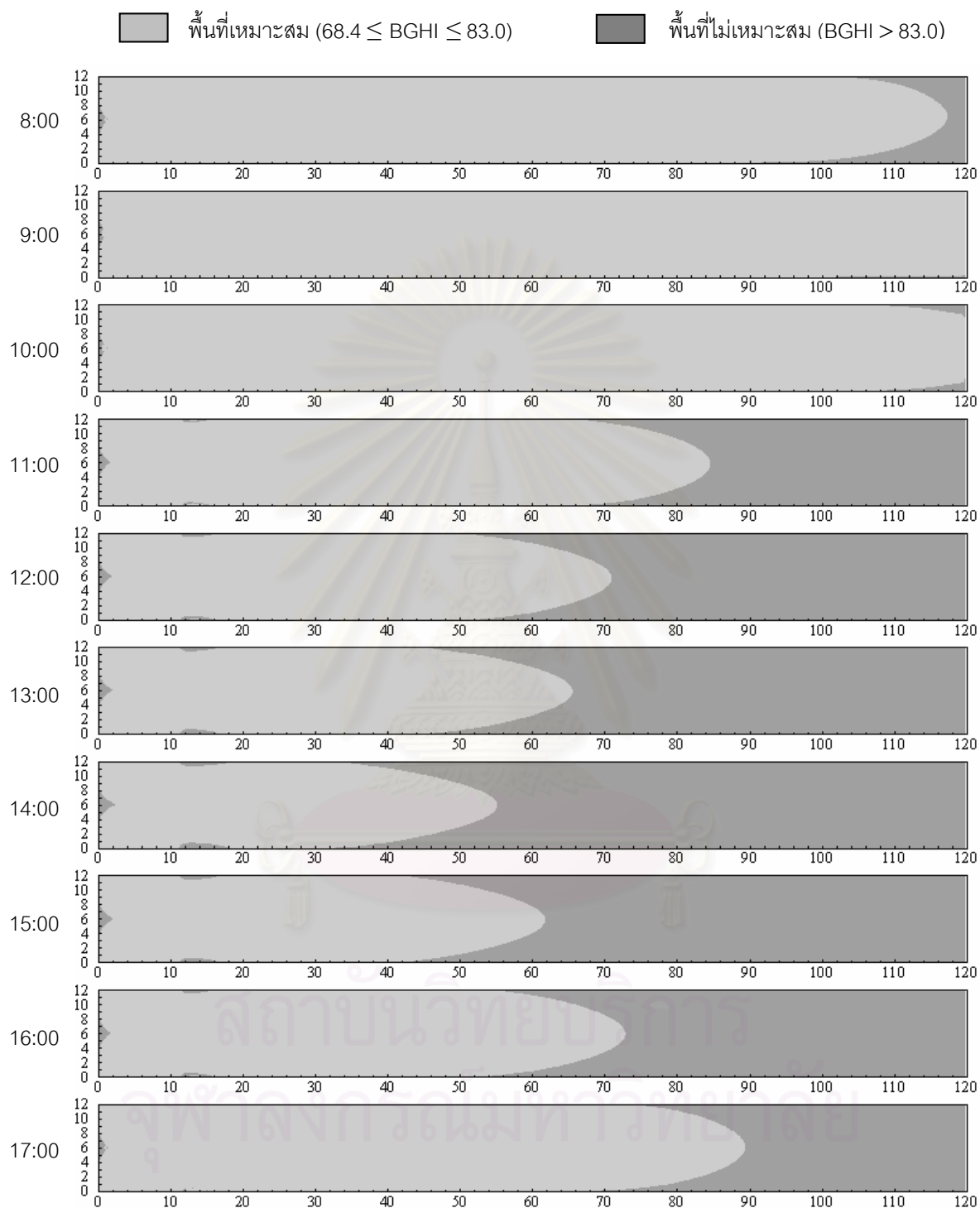
รูปที่ 5.11 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร็วลมภายในโรงเรือนกรณีพื้นฐาน  
(ระนาบค่านวณแนวราบ)



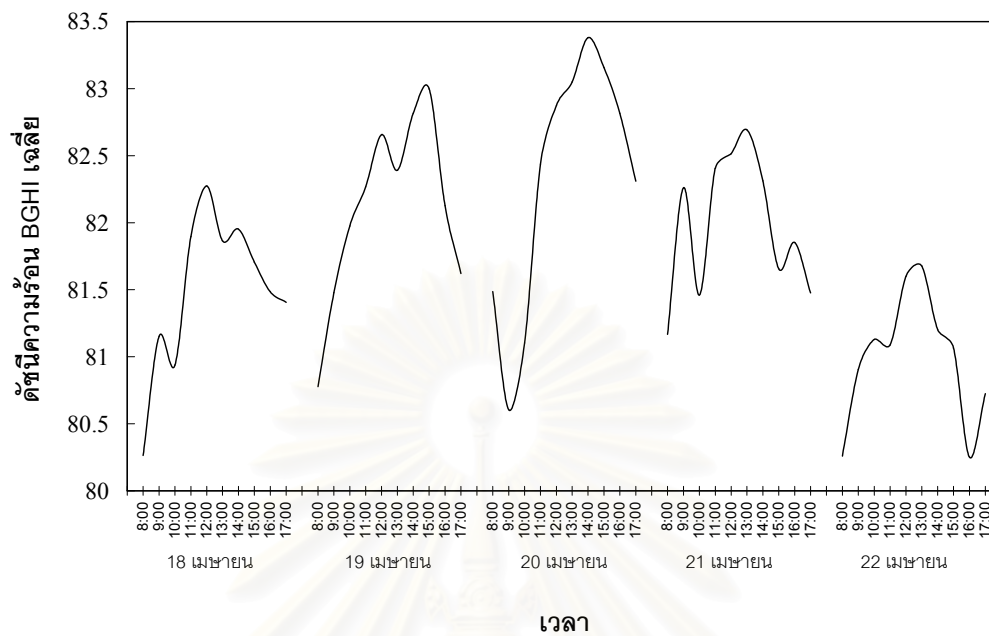
รูปที่ 5.12 ความดันอากาศสัมพัทธ์ที่ตำแหน่งต่างๆ ภายในโรงเรือนกรณีพื้นฐาน  
(ระนาบค่านวณแนวราบ)



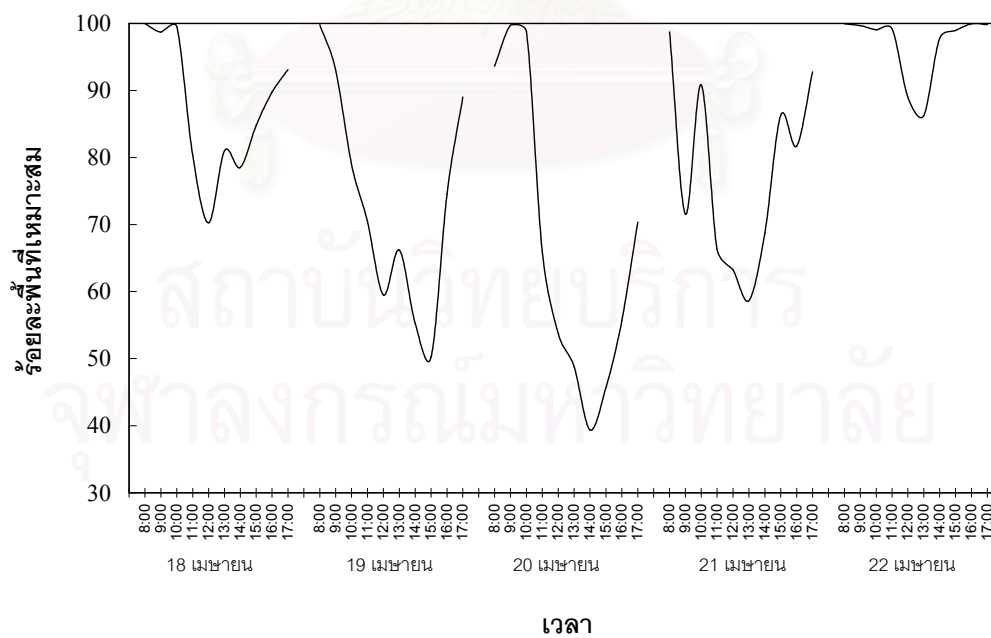
รูปที่ 5.13 อุณหภูมิอากาศที่ตำแหน่งต่างๆ ภายในโรงเรือนกรณีพื้นฐาน  
ในช่วงเวลา 8:00-17:00 น. ของวันที่ 20 เมษายน



รูปที่ 5.14 พื้นที่ที่เหมาะสมในการเลี้ยงไก่ภายในโรงเรียนกรณีพื้นฐาน  
 ในช่วงเวลา 8:00-17:00 น. ของวันที่ 20 เมษายน



รูปที่ 5.15 ดัชนีความร้อน BGHI เฉลี่ยของโรงเรียนกรณีพื้นฐาน  
ในช่วงเวลา 8.00–17.00 น. ของวันที่ 18-22 เมษายน



รูปที่ 5.16 ร้อยละของพื้นที่ที่เหมาะสมในการเดินไกลของโรงเรียนกรณีพื้นฐาน  
ในช่วงเวลา 8.00–17.00 น. ของวันที่ 18-22 เมษายน

## 5.2 อิทธิพลของความกว้างโรงเรือนที่มีต่อความเร็วลม, ค่าความดันตก และดัชนีความร้อน BGHI

สำหรับโรงเรือนกว้าง 24 เมตร จะมีจำนวนซึ่งลม, ระยะห่างระหว่างซึ่งลม และความยาวของโรงเรือนเท่ากับโรงเรือนกรณีพื้นฐาน แต่จะมีความยาวของแผงทำความเย็นและจำนวนพัดลมดูดอากาศเพิ่มขึ้นอีกเท่าตัว สำหรับระนาบคำนวณแนวราบจะกำหนดให้ความเร็วเฉลี่ยที่หน้าตัดต่างๆ มีค่าเท่าเดิม เนื่องจากความเร็วลมเฉลี่ยนี้มาจากผลการคำนวณในระนาบคำนวณแนวตั้งซึ่งไม่ได้รับอิทธิพลจากการเปลี่ยนแปลงความกว้างของโรงเรือน

การคำนวณหาความเร็วและอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ภายในโรงเรือนกว้าง 24 เมตร ในระนาบคำนวณแนวราบ จะวางกริดแบบไม่สม่ำเสมอจำนวน  $290 \times 275$  ซึ่งผลการคำนวณที่ได้จะไม่เปลี่ยนแปลงไปตามจำนวนกริดที่ใช้

### อิทธิพลที่มีต่อการกระจายลม

ลักษณะการกระจายลมที่ระยะทางต่างๆ ของโรงเรือนกว้าง 24 เมตร สามารถเปรียบเทียบกับลักษณะภายในโรงเรือนกว้าง 12 เมตร (โรงเรือนกรณีพื้นฐาน) ได้ดังรูปที่ 5.17 ซึ่งแสดงที่ระยะทางต่างๆ ตามแนวยาวของโรงเรือน ในช่วงระยะทาง 20 เมตรแรก ความเร็วลมภายในโรงเรือนกว้าง 24 เมตรจะมีค่าน้อย เนื่องจากอากาศยังไหลเข้าโรงเรือนไม่เต็มที่ หลังจากนั้นจะพบว่าค่าความเร็วลมที่บริเวณกึ่งกลางโรงเรือนจะมีค่ามากกว่าในโรงเรือนกว้าง 12 เมตร ขณะที่บริเวณใกล้ผนังกลับมีค่าความเร็วลมน้อยกว่า จากรูปที่ 5.18 ซึ่งแสดงการเปรียบเทียบค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร็วลมในโรงเรือนทั้งสองขนาดที่หน้าตัดต่างๆ จะเห็นได้ว่าโรงเรือนกว้าง 24 เมตร มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร็วลมในหน้าตัดต่างๆ มากกว่าในโรงเรือนกว้าง 12 เมตรอย่างเห็นได้ชัด หรือกล่าวได้ว่าในโรงเรือนกว้าง 24 เมตร ความแตกต่างของความเร็วลมที่กึ่งกลางและบริเวณด้านข้างโรงเรือนจะมีมากกว่าในโรงเรือนกว้าง 12 เมตร ซึ่งส่งผลต่อความสม่ำเสมอในการเจริญเติบโตของไก่ด้วย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงสุดในโรงเรือนกว้าง 24 เมตร จะเกิดขึ้นที่ระยะทางประมาณ 28 เมตร โดยมีค่าใกล้เคียงกับค่าสูงสุดของโรงเรือนกว้าง 12 เมตรซึ่งเกิดขึ้นที่ระยะทางประมาณ 14 เมตร แต่หลังจากนั้นค่าเบี่ยงเบนในโรงเรือนกว้าง 24 เมตรก็จะลดลงได้ช้ากว่า

### อิทธิพลที่มีต่อความดันตกท้ายโรงเรือน

เมื่อพิจารณาค่าความดันตกที่ท้ายโรงเรือนทั้งสองขนาด จากผลการคำนวณในระนาบคำนวณแนวราบจะพบว่าไม่มีค่าแตกต่างกัน ดังรูปที่ 5.19 โดยที่ในช่วงต้นของโรงเรือนกว้าง 24 เมตร ค่าความดันอากาศสัมพัทธ์จะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมากจนถึงระยะทางประมาณ 30 เมตรหลังจากนั้นค่าความดันก็จะเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยจนถึงที่ปลายโรงเรือน

### อิทธิพลที่มีต่อดัชนีความร้อน BGHI

การหาลักษณะการกระจายอุณหภูมิภายในโรงเรือนกว้าง 24 เมตรก็จะใช้เงื่อนไขขอบเขตที่ผนังซึ่งนำมาจากผลการคำนวณของวิทยานิพนธ์ที่ศึกษาโรงเรือนเลี้ยงไก่ร่วมกันในส่วนของเปลือกอาคารดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ผลการคำนวณสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.20 ซึ่งยกตัวอย่างในเวลา 14:00 น. ของวันที่ 20 เมษายน จะพบว่าบริเวณกึ่งกลางโรงเรือนอากาศจะมีอุณหภูมิต่ำกว่าโรงเรือนกว้าง 12 เมตรแต่ในบริเวณด้านข้างอากาศกลับมีอุณหภูมิสูงกว่า

จากการแสดงพื้นที่ที่ค่าดัชนีความร้อน BGHI อยู่ในช่วงที่เหมาะสมภายในโรงเรือนกว้าง 24 เมตร ยกตัวอย่างผลการคำนวณของวันที่ 20 เมษายน ดังรูปที่ 5.21 จะพบว่าในบริเวณด้านข้างโรงเรือนทั้งสองด้านจะมีพื้นที่ที่ไม่เหมาะสมในการเลี้ยงมาก เนื่องจากการตรวจสอบที่ผ่านมาพบว่าความเร็วลมส่วนใหญ่อยู่ที่กึ่งกลางโรงเรือน ดังนั้นบริเวณด้านข้างโรงเรือนซึ่งมีความเร็วลมต่ำ มีอุณหภูมิอากาศสูงและมีผลเนื่องจากการแผ่รังสีความร้อนจากผนังด้านข้างจึงทำให้เกิดพื้นที่การเลี้ยงที่ไม่เหมาะสมมากกว่าในโรงเรือนกว้าง 12 เมตร จากรูปที่ 5.22 และตารางที่ 5.1 จะพบว่าในช่วงเวลาตั้งแต่ 8:00-17:00 น. ของวันที่ 18-22 เมษายน ค่าดัชนีความร้อน BGHI เฉลี่ยในโรงเรือนกว้าง 24 เมตรมีค่าสูงกว่าเล็กน้อย ส่งผลให้ในการเปรียบเทียบร้อยละของพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงไก่ในโรงเรือนกว้าง 12 และ 24 เมตรที่เวลาต่างๆ ดังรูปที่ 5.23 และตารางที่ 5.2 จะพบว่าโรงเรือนกว้าง 24 เมตรจะมีร้อยละของพื้นที่น้อยกว่าในโรงเรือนกว้าง 12 เมตรเล็กน้อยเช่นกันโดยที่ในช่วงเวลาตั้งแต่ 8:00-17:00 น. โรงเรือนกว้าง 24 เมตรจะมีค่าพื้นที่ที่เหมาะสมน้อยกว่าประมาณ 0-2.5%

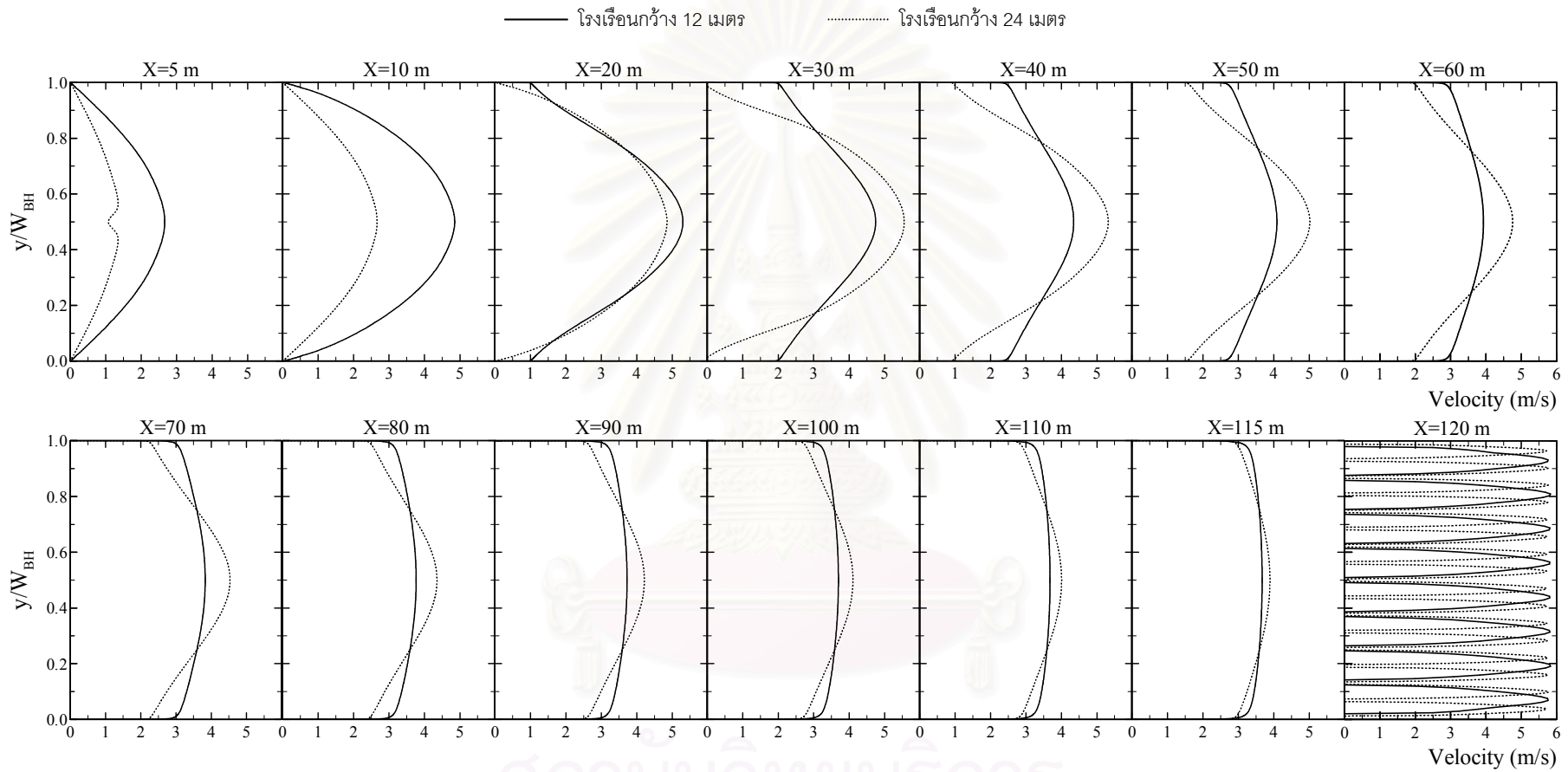
เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีความร้อนภายในโรงเรือน โดยยกตัวอย่างผลการคำนวณในเวลา 14:00 น. ของวันที่ 20 เมษายน จากรูปที่ 5.24 จะเห็นว่าหลังจากที่อากาศไหลเข้าสู่โรงเรือนเป็นระยะทางประมาณ 40 เมตร ค่าดัชนีความร้อน BGHI เฉลี่ยตลอดหน้าตัดโรงเรือนกว้าง 12 และ 24 เมตร ที่ระยะทางต่างๆ จะมีค่าใกล้เคียงกันมาก แต่หากพิจารณาในด้านความสม่ำเสมอของ BGHI ที่แต่ละหน้าตัดในโรงเรือนดังรูปที่ 5.25 โรงเรือนกว้าง 12 เมตรจะมีค่า



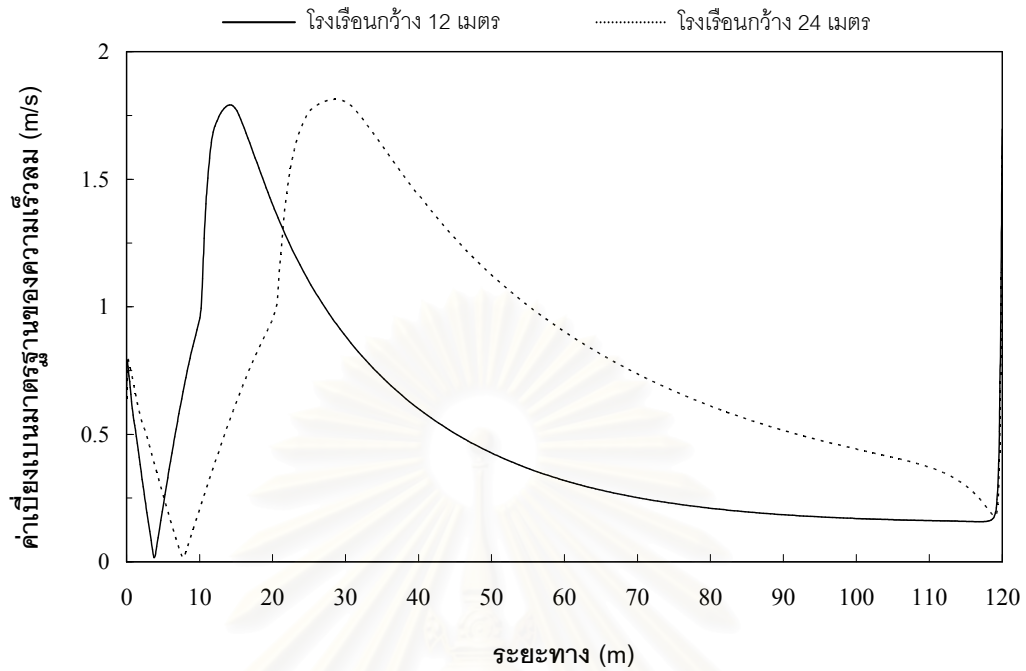
เบี่ยงเบนมาตรฐานของ BGHI ที่แต่ละหน้าตัดของโรงเรียนน้อยกว่าโรงเรียนกว้าง 24 เมตร นั่นคือ เมื่อพิจารณาในด้านความสม่ำเสมอของการเจริญเติบโตของไถ่ภายในโรงเรียน โรงเรียนกว้าง 12 เมตรจะสามารถเลี้ยงไถ่ให้เจริญเติบโตอย่างสม่ำเสมอมากกว่า



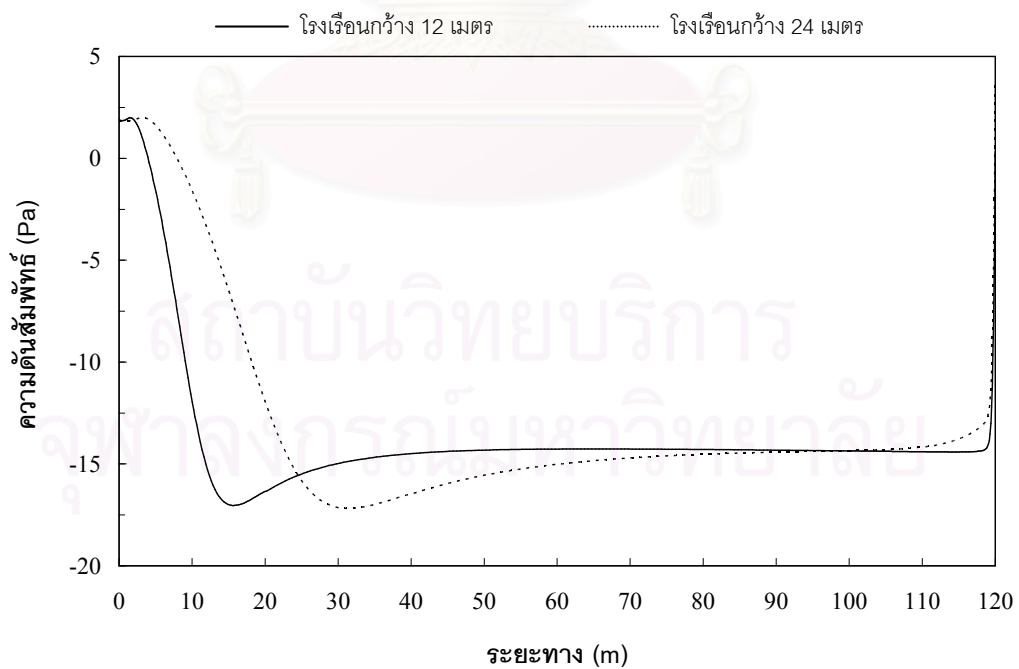
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



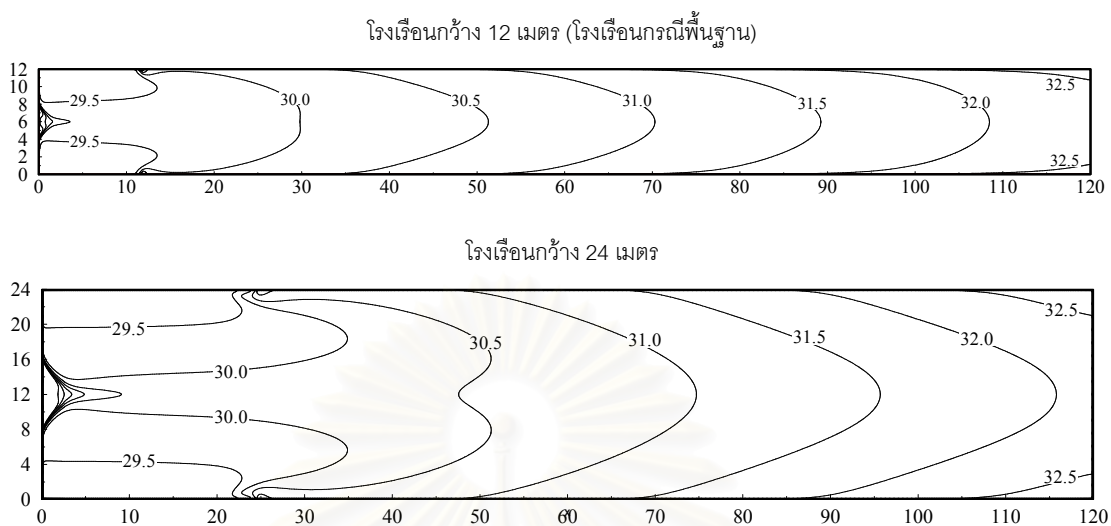
รูปที่ 5.17 ลักษณะความเร็วลมที่ระยะทางต่างๆ ภายในโรงแจ้งน้ำกว้าง 12 และ 24 เมตร  
(ระนาบค่านวนแนวราบ)



รูปที่ 5.18 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร็วลมในแต่ละหน้าตัดที่ระยะทางต่างๆ  
ของรถไฟเรือกว้าง 12 และ 24 เมตร



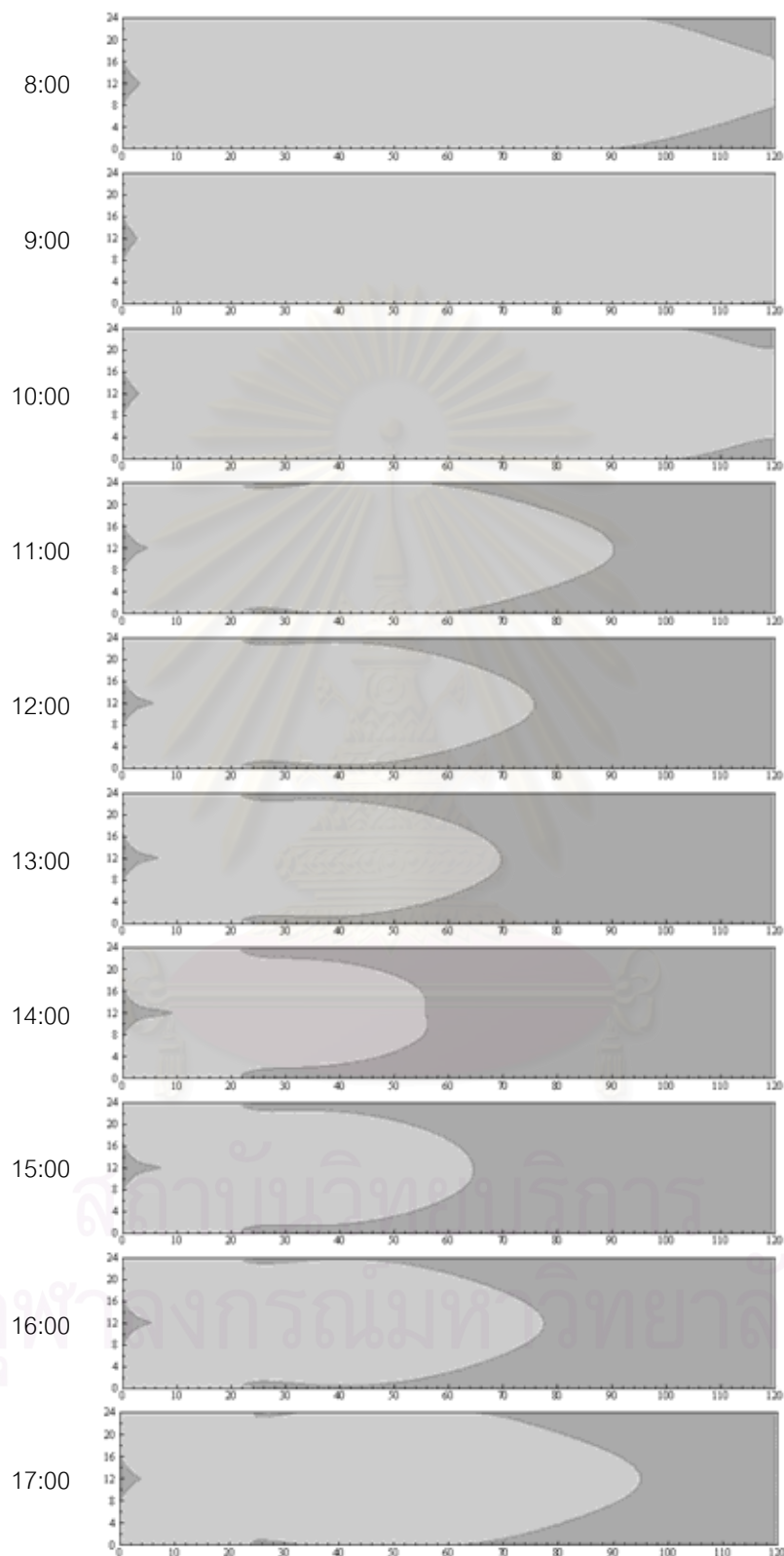
รูปที่ 5.19 ความดันอากาศสัมพัทธ์ที่กึ่งกลางรถไฟที่ระยะทางต่างๆ  
ภายในรถไฟเรือกว้าง 12 และ 24 เมตร (ระนาบค่านวณแนวราบ)



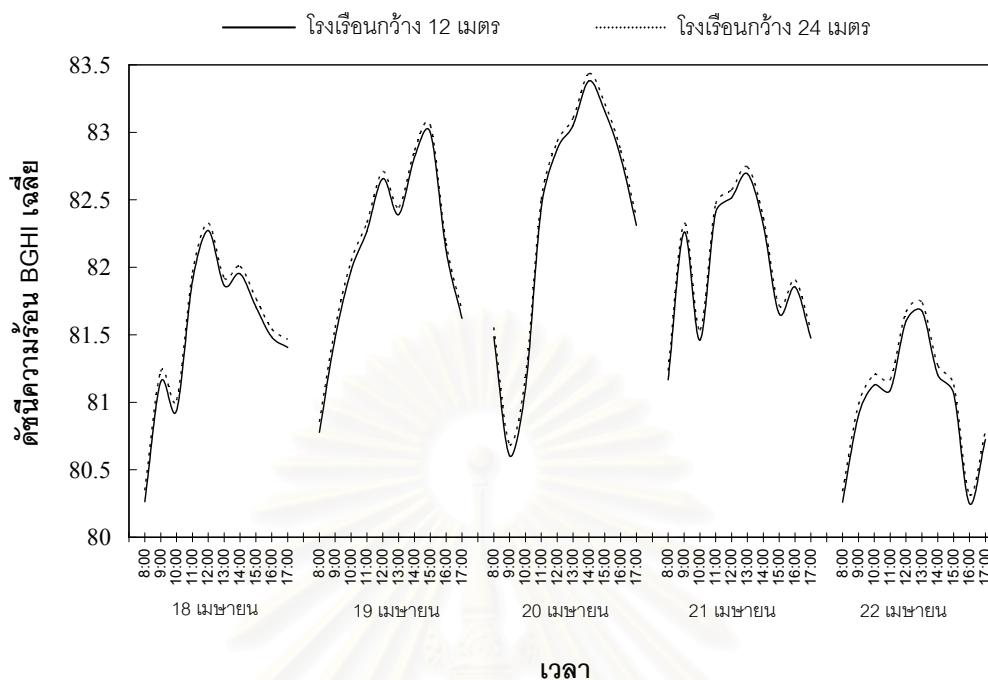
รูปที่ 5.20 อุณหภูมิอากาศที่ตำแหน่งต่างๆ สำหรับโรงเรือนกว้าง 12 และ 24 เมตร  
ในเวลา 14:00 น. ของวันที่ 20 เมษายน

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พื้นที่เหมาะสม ( $68.4 \leq \text{BGHI} \leq 83.0$ )
     
 
 พื้นที่ไม่เหมาะสม ( $\text{BGHI} > 83.0$ )



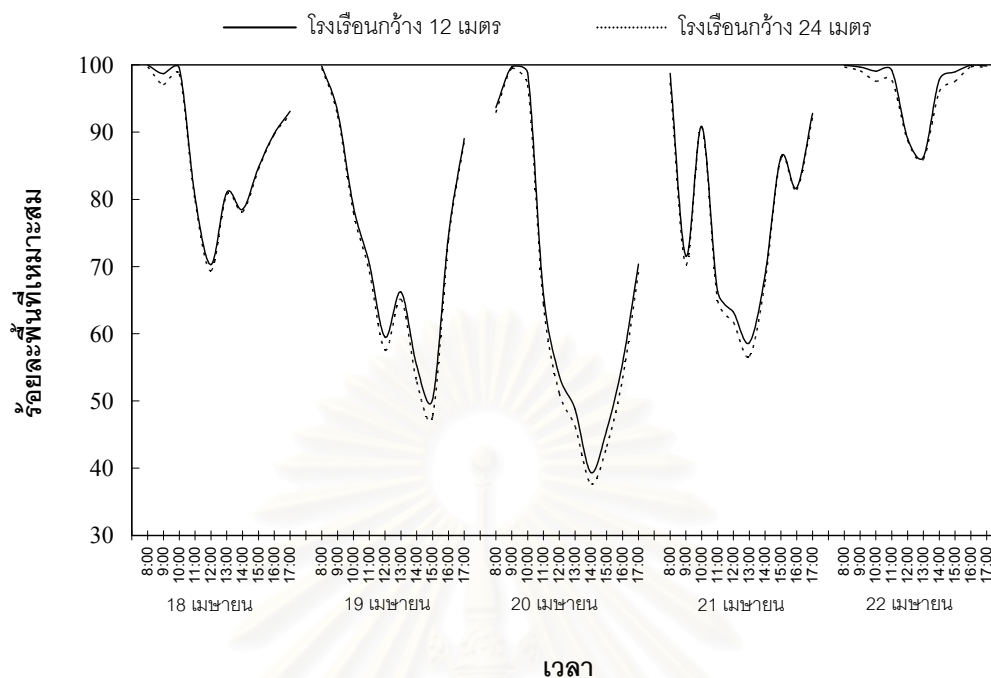
รูปที่ 5.21 พื้นที่ที่เหมาะสมในการเลี้ยงไก่ภายในโรงเรือนกว้าง 24 เมตร  
 ในช่วงเวลา 8:00-17:00 น. ของวันที่ 20 เมษายน



รูปที่ 5.22 ดัชนีความร้อน BGHI เฉลี่ยภายในโรงเรือนกว้าง 12 และ 24 เมตร  
ในช่วงเวลา 8:00-17:00 น. ของวันที่ 18-22 เมษายน

ตารางที่ 5.1 ผลต่างของค่าดัชนีความร้อน BGHI เฉลี่ยในโรงเรือนกว้าง 24 เมตร เมื่อเทียบกับค่า  
ในโรงเรือนกรณีพื้นฐาน

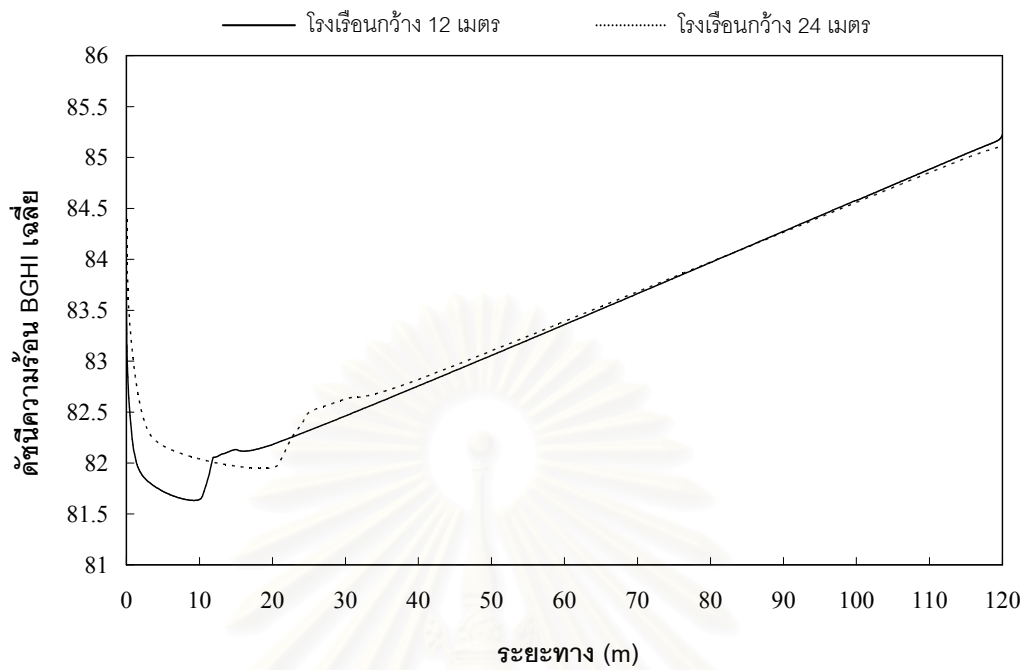
เวลา	18 เม.ย.	19 เม.ย.	20 เม.ย.	21 เม.ย.	22 เม.ย.
8.00	0.08	0.08	0.07	0.07	0.08
9.00	0.08	0.07	0.09	0.07	0.08
10.00	0.08	0.07	0.09	0.07	0.08
11.00	0.06	0.06	0.06	0.06	0.08
12.00	0.05	0.05	0.05	0.06	0.07
13.00	0.06	0.05	0.05	0.05	0.06
14.00	0.06	0.05	0.05	0.06	0.07
15.00	0.06	0.05	0.06	0.06	0.07
16.00	0.06	0.05	0.05	0.05	0.07
17.00	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06



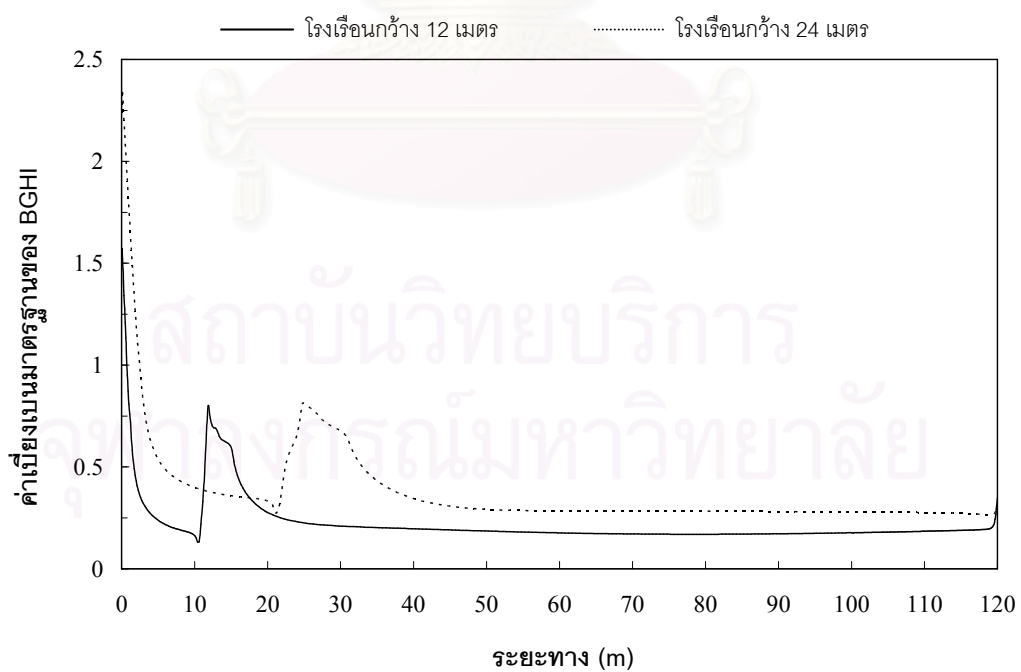
รูปที่ 5.23 ร้อยละของพื้นที่เลี้ยงไก่ที่เหมาะสมภายในโรงเรียนกว้าง 12 และ 24 เมตร  
ในช่วงเวลา 8:00-17:00 น ของวันที่ 18-22 เมษายน

ตารางที่ 5.2 ผลต่างของค่าร้อยละพื้นที่เลี้ยงไก่ที่เหมาะสมในโรงเรียนกว้าง 24 เมตร เมื่อเทียบกับ  
ค่าในโรงเรียนกรณีพื้นฐาน

เวลา	18 เม.ย.	19 เม.ย.	20 เม.ย.	21 เม.ย.	22 เม.ย.
8.00	-0.3	-0.3	-0.7	-1.4	-0.3
9.00	-1.6	-0.6	-0.3	-1.3	-0.6
10.00	-0.9	-0.9	-1.8	-0.1	-1.5
11.00	-0.6	-1.2	-1.5	-1.4	-1.5
12.00	-0.9	-2.0	-2.6	-1.5	-0.3
13.00	-0.3	-1.1	-2.6	-2.0	-0.3
14.00	-0.4	-2.4	-1.7	-1.0	-1.8
15.00	-0.3	-2.6	-2.5	-0.3	-1.4
16.00	-0.1	-0.7	-2.3	-0.3	-0.2
17.00	-0.5	-0.4	-1.2	-0.6	-0.3



รูปที่ 5.24 ดัชนีความร้อน BGHI เฉลี่ยตลอดความกว้างของโรงเรือน 12 และ 24 เมตร  
ในเวลา 14:00 น. ของวันที่ 20 เมษายน



รูปที่ 5.25 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของดัชนีความร้อน BGHI ในแต่ละหน้าตัดที่ระยะทางต่างๆ  
ของโรงเรือนกว้าง 12 และ 24 เมตร ในเวลา 14:00 น. ของวันที่ 20 เมษายน



### 5.3 อิทธิพลของความยาวโรงเรือนที่มีต่อความเร็วลม, ค่าความดันตก และดัชนีความร้อน BGHI

องค์ประกอบของโรงเรือนกว้าง 12 เมตรที่มีความยาวมากและน้อยกว่า 120 เมตร เช่น ความยาวแผงทำความเย็นหรือจำนวนพัดลมดูดอากาศ จะแตกต่างกันไปจากของโรงเรือนกรณีพื้นฐาน เนื่องจากโรงเรือนที่ปรับเปลี่ยนมีปริมาตรโรงเรือนที่ไม่เท่าเดิม ดังนั้นจึงต้องคำนวณหาอัตราการระบายอากาศที่เป็นไปตามมาตรฐานของกรมปศุสัตว์ (2542) สำหรับโรงเรือนเลี้ยงไก่ขนาดใหญ่อีกครั้ง ดังนี้

1. กรณีโรงเรือนยาว 90 เมตรจะต้องมีอัตราการระบายอากาศภายในโรงเรือนเท่ากับ  $3618 \text{ m}^3/\text{min}$  หรือ  $60.3 \text{ m}^3/\text{s}$  ดังนั้นจะมีค่าความเร็วลมเฉลี่ยทั้งโรงเรือน 1.5 เมตร
2. กรณีโรงเรือนยาว 150 เมตรจะต้องมีอัตราการระบายอากาศภายในโรงเรือนเท่ากับ  $6030 \text{ m}^3/\text{min}$  หรือ  $100.5 \text{ m}^3/\text{s}$  ดังนั้นจะมีค่าความเร็วลมเฉลี่ยทั้งโรงเรือน 2.5 เมตร

อัตราการระบายอากาศที่คำนวณได้ใหม่นี้ จะนำไปคำนวณหาความยาวของแผงทำความเย็นและจำนวนพัดลมดูดอากาศที่เหมาะสม เพื่อให้ความเร็วลมที่ผ่านแผงทำความเย็นมีค่าใกล้เคียงกับในโรงเรือนกรณีพื้นฐาน โดยจากการคำนวณ แผงทำความเย็นในโรงเรือนยาว 90 และ 150 เมตร จะมีความยาว 8 และ 13 เมตรตามลำดับ สำหรับจำนวนพัดลม เนื่องจากในโรงเรือนยาว 150 เมตร มีอัตราการระบายอากาศสูงจึงต้องเพิ่มจำนวนพัดลมเป็น 10 ตัว เพื่อให้สอดคล้องกับความสามารถในการดูดอากาศของพัดลมขนาด 48 นิ้ว ที่มีค่าประมาณ 22,000 cfm

เนื่องจากอัตราการระบายอากาศภายในโรงเรือนยาว 90 และ 150 เมตร แตกต่างจากในโรงเรือนกรณีพื้นฐาน ดังนั้นจึงจะต้องกำหนดเกณฑ์การแบ่งพื้นที่ที่เหมาะสมในการเลี้ยงใหม่ โดยใช้การคำนวณค่าขอบเขต BGHI ตามขั้นตอนในรูปที่ 2.5 ซึ่งจะได้ว่า พื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับโรงเรือนยาว 90 และ 150 เมตร คือ พื้นที่ที่มีค่าดัชนีความร้อน BGHI อยู่ในช่วง 69.0 – 83.3 และ 68.1 – 82.8 ตามลำดับ

#### อิทธิพลที่มีต่อความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับตัวไก่และการกระจายลม

เมื่อพิจารณาโรงเรือนในระนาบคำนวณแนวตั้ง ถ้ากำหนดให้ระยะห่างระหว่างซึ่งลมเท่ากับ 15 เมตร ดังนั้นในโรงเรือนยาว 90 และ 150 เมตร จะมีจำนวนซึ่งลมเท่ากับ 5 และ 9 ตามลำดับ โดยที่ความสูงของซึ่งลมจากพื้นยังคงเท่ากับ 2 เมตร สำหรับจำนวนกริดที่ใช้กับปัญหาในโรงเรือนยาว 90 และ 150 เมตร จะเป็นจำนวน  $267 \times 137$  และ  $431 \times 137$  ตามลำดับ ซึ่งเป็น

กริดที่วางแบบไม่สม่ำเสมอและจะให้คำตอบที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามจำนวนกริดที่ใช้ ลักษณะของความเร็วลมที่ระดับความสูงจากพื้น 0.3 เมตรภายในโรงเรือนทั้งสองขนาดเปรียบเทียบกับลักษณะภายในโรงเรือนยาว 120 เมตร (โรงเรือนกรณีพื้นฐาน) สามารถแสดงดังรูปที่ 5.26 เมื่อคำนวณหาค่าความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับความสูงนี้จะได้ว่า ความเร็วลมเฉลี่ยภายในโรงเรือนยาว 90 และ 150 เมตรมีค่าเท่ากับ 2.64 และ 4.48 m/s ตามลำดับ แม้ว่าโรงเรือนยาว 150 เมตรจะมีความเร็วลมเฉลี่ยมากที่สุด แต่ก็มีช่วงการเปลี่ยนแปลงของค่าความเร็วลมมากด้วยเช่นกัน ซึ่งจะทำให้ไก่อาศัยอยู่ในบริเวณใกล้ซึ่งลมหนาแน่นกว่าเมื่อเทียบกับบริเวณเดียวกันในโรงเรือนยาว 90 และ 120 เมตร ในขณะที่โรงเรือนยาว 90 เมตรจะมีความสม่ำเสมอมากกว่า เพราะมีช่วงการเปลี่ยนแปลงของค่าความเร็วลมในบริเวณใต้ซึ่งลมและบริเวณที่อยู่ห่างออกไปน้อยกว่าโรงเรือนรูปแบบอื่น

เมื่อพิจารณาปัญหาในระนาบคำนวณแนวราบเพื่อหาลักษณะการกระจายตัวของค่าความเร็วลมภายในโรงเรือนยาว 90 และ 150 เมตร โดยใช้ความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับความสูง 0.3 เมตรจากพื้นในระนาบคำนวณแนวตั้งเป็นค่าความเร็วลมเฉลี่ยที่หน้าตัดใดๆ และทำการกำหนดจำนวนกริดสำหรับโรงเรือนยาว 90 และ 150 เมตร ที่จะไม่ทำให้คำตอบเปลี่ยนแปลงตามขนาดของกริด เท่ากับ  $280 \times 165$  และ  $370 \times 165$  ตามลำดับ จะได้ลักษณะการกระจายตัวของความเร็วลมที่ระยะทางต่างๆ ดังรูปที่ 5.27 เมื่อทำการตรวจสอบค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่หน้าตัดใดๆ ดังรูปที่ 5.28 พบว่าโรงเรือนทั้งสามจะมีค่าเบี่ยงเบนของความเร็วลมใกล้เคียงกันเมื่ออากาศไหลเป็นระยะทางประมาณ 60 เมตร โดยจุดที่เกิดค่าเบี่ยงเบนมากที่สุดจะเกิดขึ้นไม่ตรงกันเนื่องจากความยาวของแผงทำความเย็นที่แตกต่างกันในแต่ละโรงเรือน สำหรับโรงเรือนยาว 150 เมตรในช่วงปลายโรงเรือนจะเกิดความแปรปรวนสูงเนื่องจากมีพัดลมดูดอากาศติดเพิ่มขึ้นไว้ที่ผนังด้านข้างของโรงเรือน

#### อิทธิพลที่มีต่อความดันตกท้ายโรงเรือน

ค่าความดันตกภายในโรงเรือนยาว 90 และ 150 เมตร จะมีค่าแตกต่างจากค่าความดันตกในโรงเรือนยาว 120 เมตร (กรณีพื้นฐาน) ดังแสดงในรูปที่ 5.29 ซึ่งแสดงค่าความดันที่ระดับความสูงจากพื้น 1.1 เมตรของระนาบคำนวณแนวตั้ง โดยในโรงเรือนยาว 90 เมตรจะมีความดันตกน้อยที่สุดคือประมาณ 11 Pa ส่วนโรงเรือนยาว 120 เมตรจะมีความดันตกประมาณ 29 Pa และโรงเรือนยาว 150 เมตรจะมีความดันตกประมาณ 60 Pa นั่นคือ โรงเรือนยาว 90 และ 150 เมตร จะมีความดันตกแตกต่างจากโรงเรือนกรณีพื้นฐาน -62% และ 107%

ตามลำดับ นอกจากนี้จะพบว่าอัตราการลดลงของความดันที่ไม่เท่ากันหลังจากผ่านซึ่งลมแต่ละตำแหน่งเนื่องจากมาจากความเร็วลมเฉลี่ยภายในโรงเรือนมีค่าแตกต่างกัน

ค่าความดันสัมพัทธ์ที่คำนวณได้จากระนาบคำนวณแนวราบดังรูปที่ 5.30 ก็จะมีแนวโน้มคล้ายคลึงกับผลที่ได้จากระนาบคำนวณแนวตั้ง คือ โรงเรือนยาว 150 เมตรจะเกิดความดันตกมากที่สุด ตามแนวโน้มของค่าความเร็วลมเฉลี่ยที่หน้าตัดใดๆ ในโรงเรือนนี้ซึ่งมีค่าสูงที่สุด

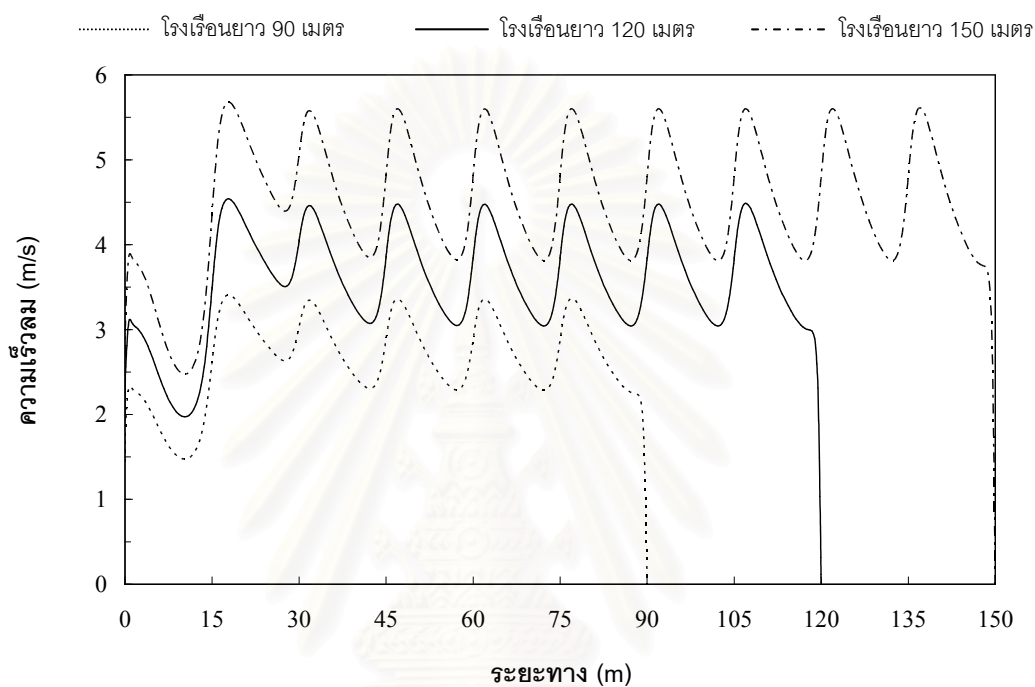
### อิทธิพลที่มีต่อดัชนีความร้อน BGHI

การกระจายตัวของอุณหภูมิอากาศภายในโรงเรือนยาว 90, 120 และ 150 เมตร สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.31 โดยยกตัวอย่างผลการคำนวณที่เวลา 14:00 น. ของวันที่ 20 เมษายน ซึ่งจะพบว่าในโรงเรือนทั้งสามขนาด จะมีการกระจายอุณหภูมิตกคล้ายคลึงกัน โดยในพื้นที่หน้าตัดบริเวณกึ่งกลางโรงเรือน จะมีอุณหภูมิประมาณ  $31^{\circ}\text{C}$  ในขณะที่ปลายโรงเรือน จะมีอุณหภูมิประมาณ  $32^{\circ}\text{C}$

เมื่อทำการคำนวณหาค่าดัชนีความร้อน BGHI ภายในโรงเรือนยาว 90 และ 150 เมตร แล้วตรวจสอบหาตำแหน่งที่เหมาะสมในการเลี้ยงภายในโรงเรือนทั้งสองขนาด จะได้ผลการคำนวณ ซึ่งยกตัวอย่างผลของวันที่ 20 เมษายน ดังรูปที่ 5.32 และ 5.33 ตามลำดับ โดยสามารถสรุปค่าดัชนีความร้อน BGHI เฉลี่ยและร้อยละของพื้นที่ที่เหมาะสมในช่วงเวลา 8:00-17:00 น. ของวันที่ 18-22 เมษายน ได้ดังรูปที่ 5.34 และ 5.35 นอกจากนี้ในตารางที่ 5.3 และ 5.4 ยังได้แสดงค่าผลต่างของตัวแปรทั้งสองเมื่อเทียบกับค่าในโรงเรือนกรณีพื้นฐาน แม้ว่าค่าดัชนีความร้อนเฉลี่ยของโรงเรือนยาว 90 เมตรจะมีค่าสูงสุดในทุกชั่วโมง แต่เมื่อพิจารณาค่าร้อยละของพื้นที่ที่เหมาะสมในการเลี้ยง กลับพบว่าโรงเรือนยาว 90 เมตรมีพื้นที่ที่เหมาะสมมากกว่าโรงเรือนกรณีพื้นฐาน ประมาณ 1-4% ในขณะที่โรงเรือนยาว 150 เมตร จะมีพื้นที่ที่เหมาะสมน้อยกว่าโรงเรือนกรณีพื้นฐานประมาณ 1-3% โดยในโรงเรือนทั้งสามขนาดจะมีค่าผลต่างของร้อยละพื้นที่ที่เหมาะสมลดลงในวันที่ดัชนีความร้อน BGHI มีค่าสูง เนื่องจากในโรงเรือนที่สั้นกว่าจะเกิดพื้นที่ที่ไม่เหมาะสมในบริเวณผนังข้างมากขึ้นตามค่าความเร็วลมเฉลี่ยที่น้อยกว่าค่าในโรงเรือนยาว ดังจะเห็นได้จากลักษณะพื้นที่ที่ไม่เหมาะสมในเวลา 12:00-15:00 น.ของรูปที่ 5.32

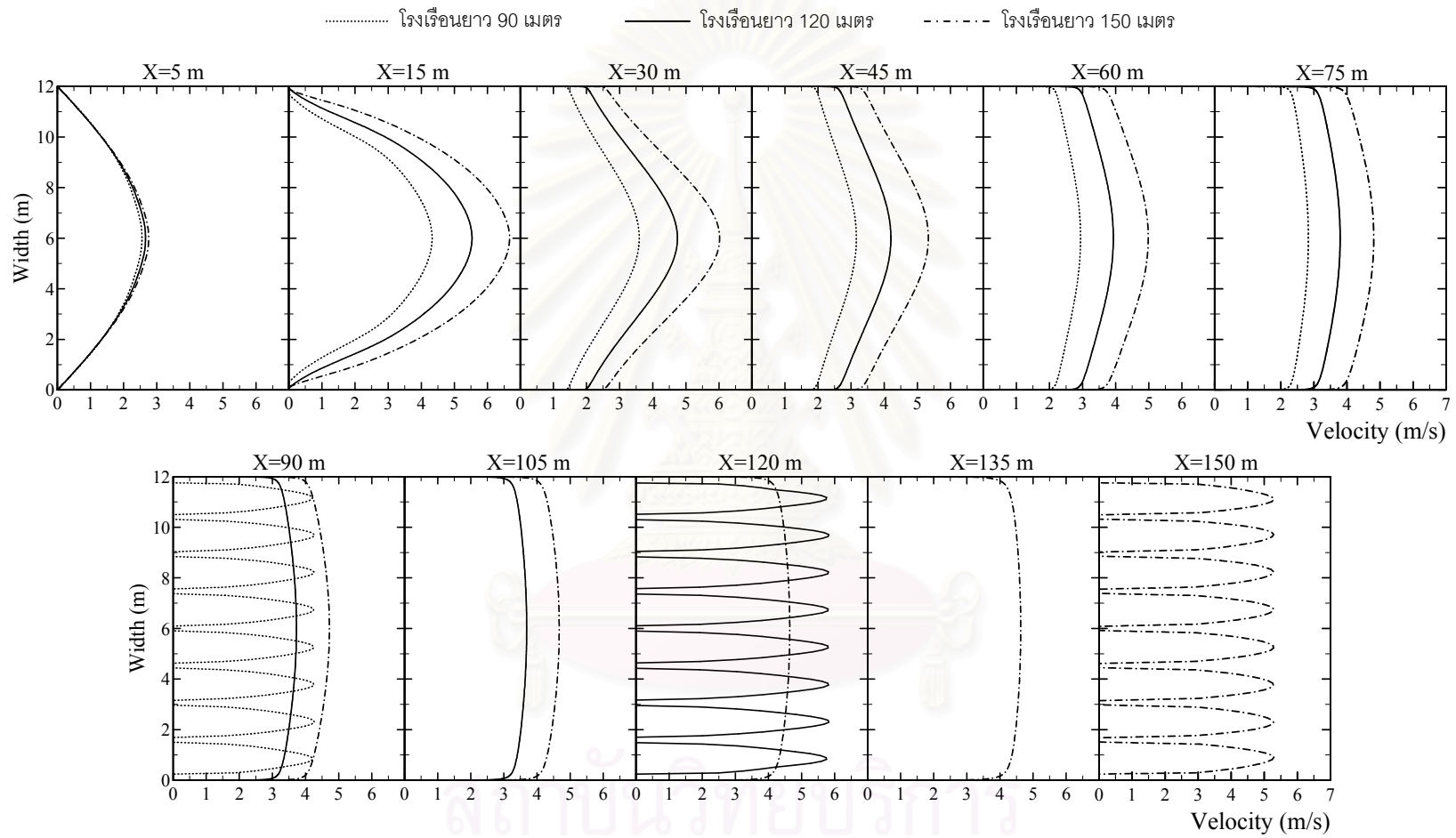
จากการพิจารณาค่าดัชนีความร้อนเฉลี่ยที่แต่ละหน้าตัดโรงเรือน ยกตัวอย่างในเวลา 14:00 น. ของวันที่ 20 เมษายน จะพบผลการคำนวณที่สอดคล้องกัน กล่าวคืออัตราการเพิ่มขึ้นตามระยะทางของค่าดัชนีความร้อน BGHI เฉลี่ยในกรณีของโรงเรือนยาว 90 เมตรจะมีค่าสูงสุด โดยที่มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของ BGHI มากที่สุดเช่นกัน ดังรูปที่ 5.36 และ 5.37 ซึ่ง

ส่งผลให้ในบริเวณด้านข้างของโรงเรือนจะมีความร้อนสูงกว่าบริเวณกึ่งกลางโรงเรือนมาก ในขณะที่โรงเรือนยาว 150 เมตร จะมีความสม่ำเสมอของดัชนี BGHI ที่หน้าตัดต่างๆ มากกว่าในโรงเรือนยาว 120 เมตรเล็กน้อย

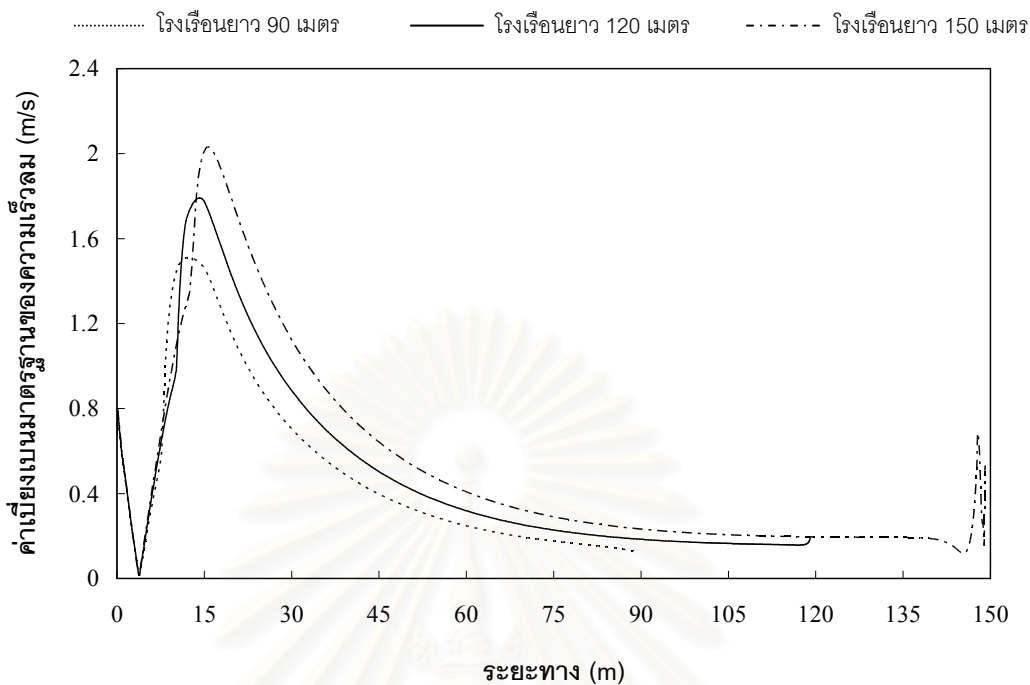


รูปที่ 5.26 ความเร็วลมที่ระดับความสูงจากพื้น 0.3 เมตร ภายในโรงเรือนยาว 90, 120 และ 150 เมตร (ระนาบค่านวณแนวตั้ง)

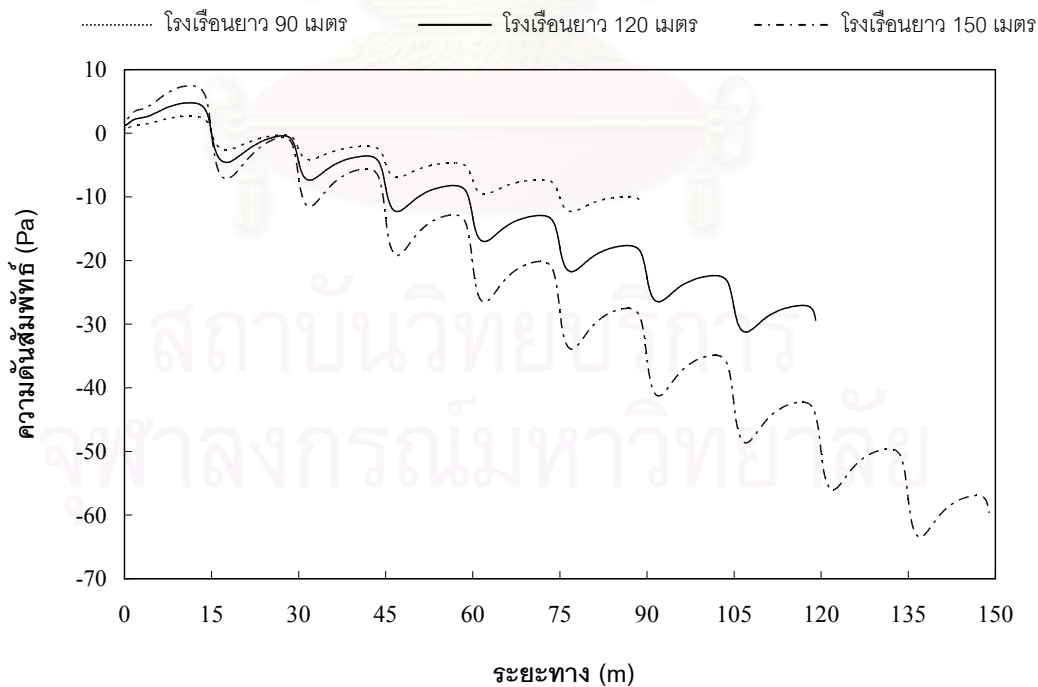
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



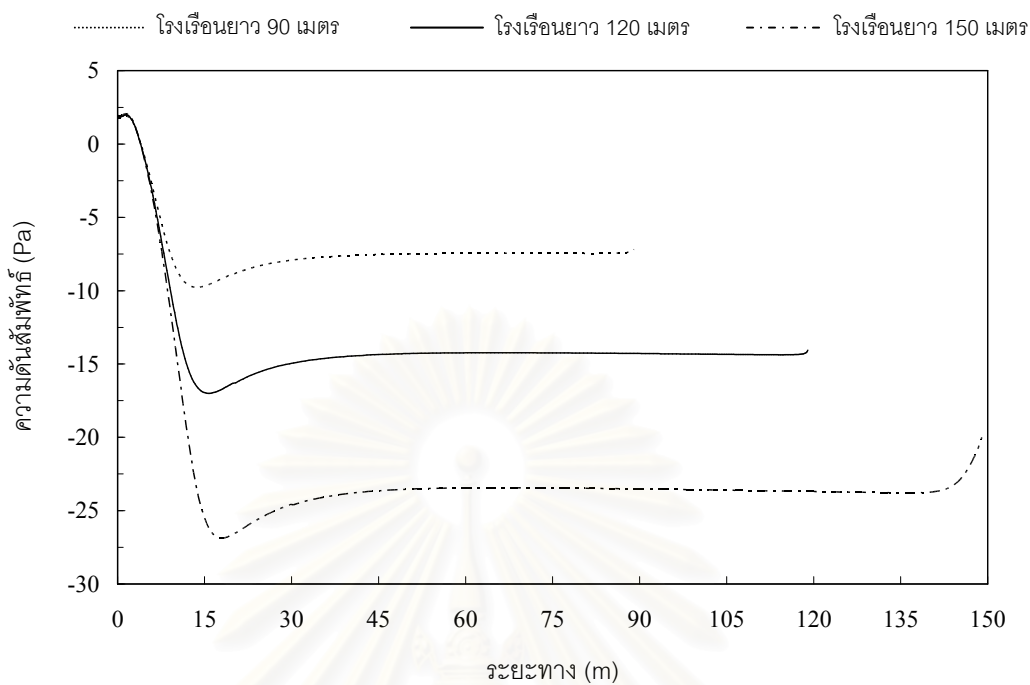
รูปที่ 5.27 ลักษณะความเร็วลมที่ระยะทางต่างๆ ตลอดความกว้างของโจ้งเรือ่น ในกรณีทีโจ้งเรือ่นยาว 90, 120 และ 150 เมตร (ระนาบค้ำนวนแนวราบ)



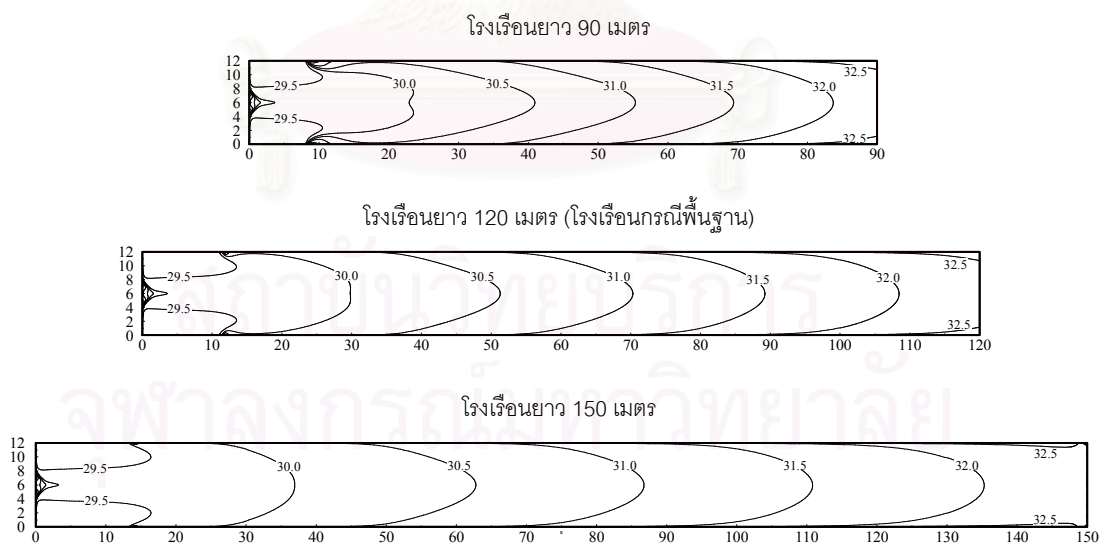
รูปที่ 5.28 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร็วลมในแต่ละหน้าตัดที่ระยะทางต่างๆ ภายในโรงเรือนยาว 90, 120 และ 150 เมตร



รูปที่ 5.29 ความดันอากาศสัมพัทธ์ที่ระดับความสูงจากพื้น 1.1 เมตร ที่ระยะทางต่างๆ ภายในโรงเรือนยาว 90, 120 และ 150 เมตร (ระนาบค่านวณแนวตั้ง)

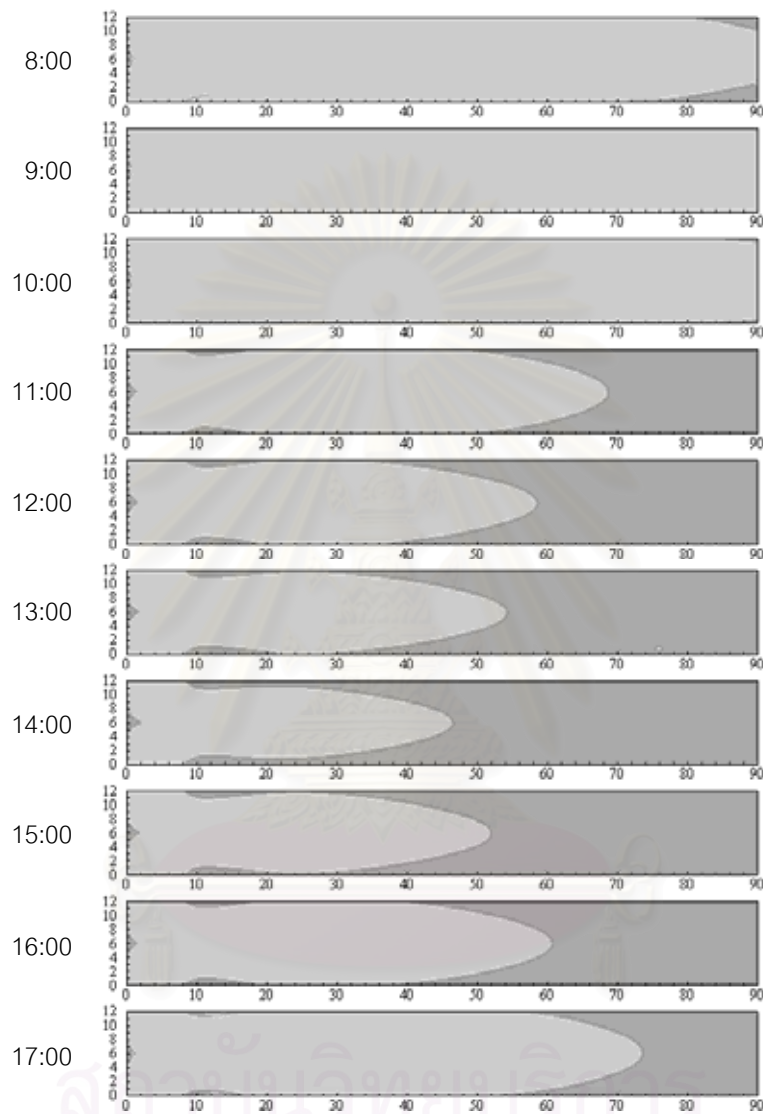


รูปที่ 5.30 ความดันอากาศสัมพัทธ์ที่กึ่งกลางโจ้งเรือ่นที่ระยะทางต่างๆ ภายในโจ้งเรือ่นยาว 90, 120 และ 150 เมตร (ระนาบค่านวณแนวราบ)



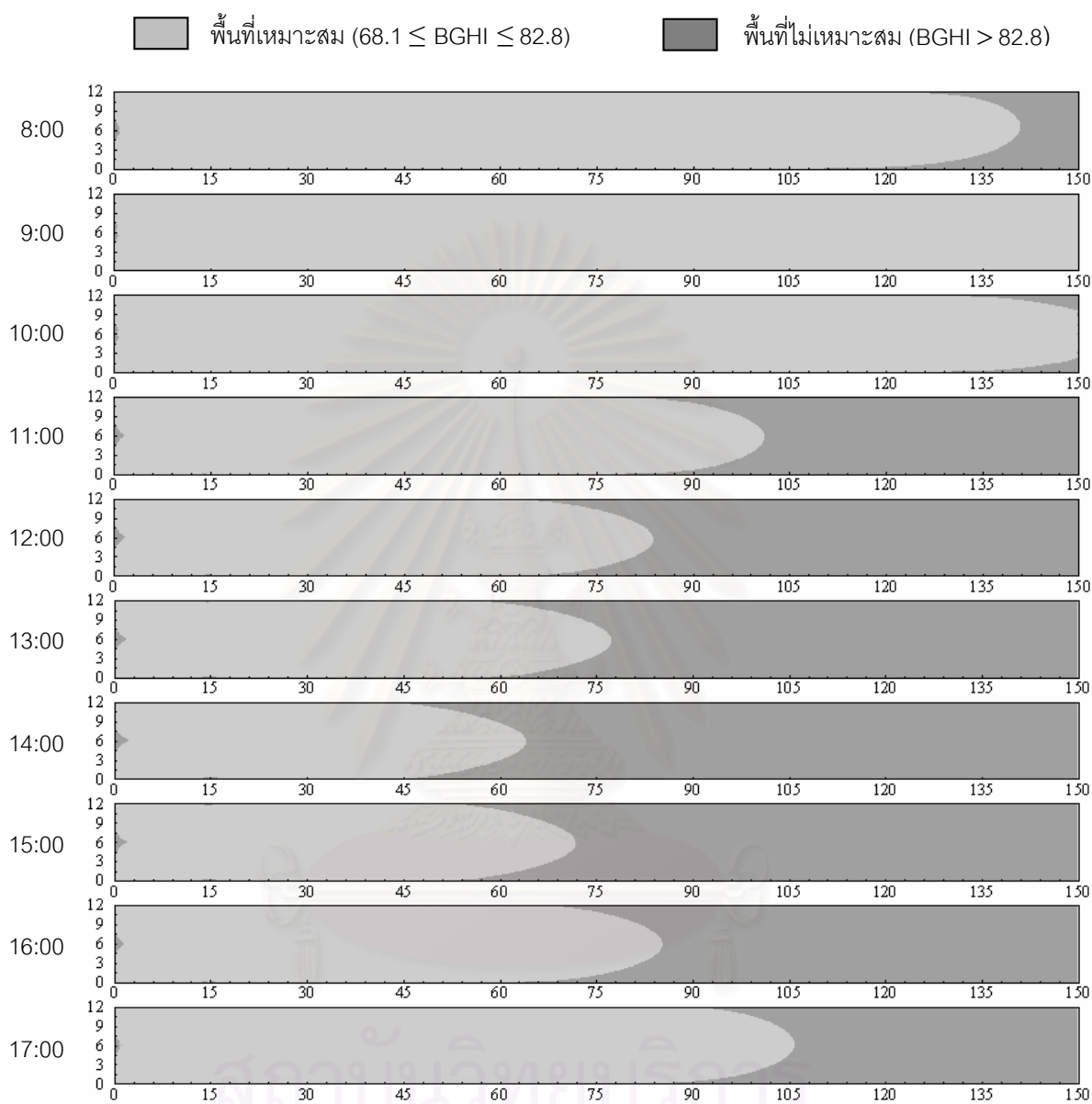
รูปที่ 5.31 อุณหภูมิอากาศที่ตำแหน่งต่างๆ สำหรับโจ้งเรือ่นยาว 90, 120 และ 150 เมตร ในเวลา 14:00 น. ของวันที่ 20 เมษายน

พื้นที่ที่เหมาะสม ( $69.0 \leq \text{BGHI} \leq 83.3$ )
     
 
 พื้นที่ที่ไม่เหมาะสม ( $\text{BGHI} > 83.3$ )

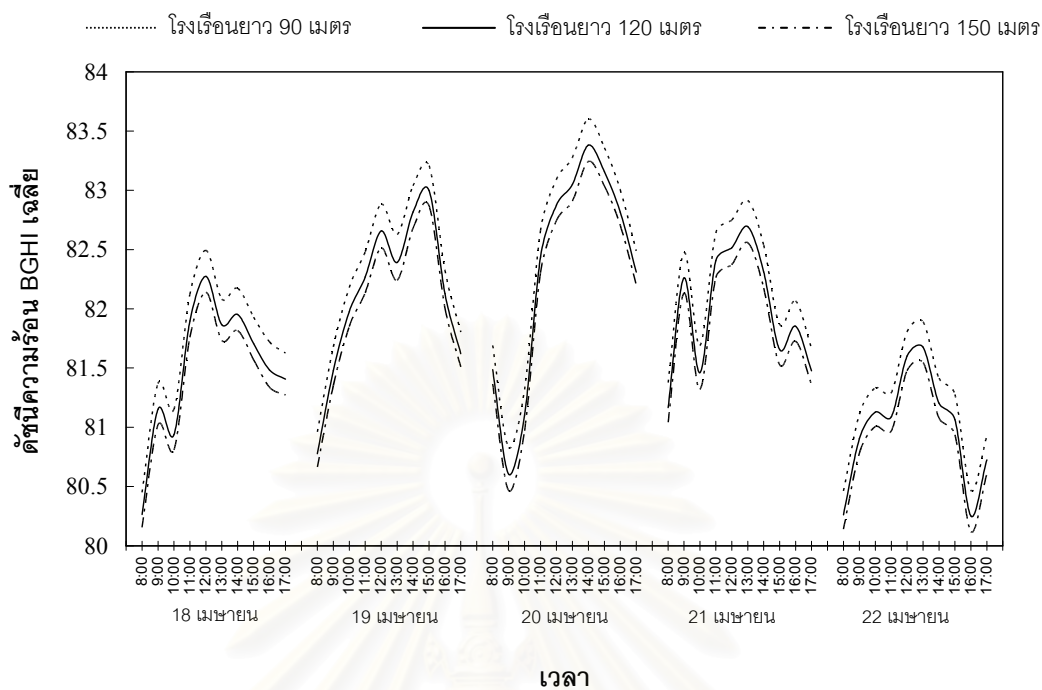


รูปที่ 5.32 พื้นที่ที่เหมาะสมในการเลี้ยงไก่ภายในโรงเรือนยาว 90 เมตร  
 ในช่วงเวลา 8:00-17:00 น. ของวันที่ 20 เมษายน





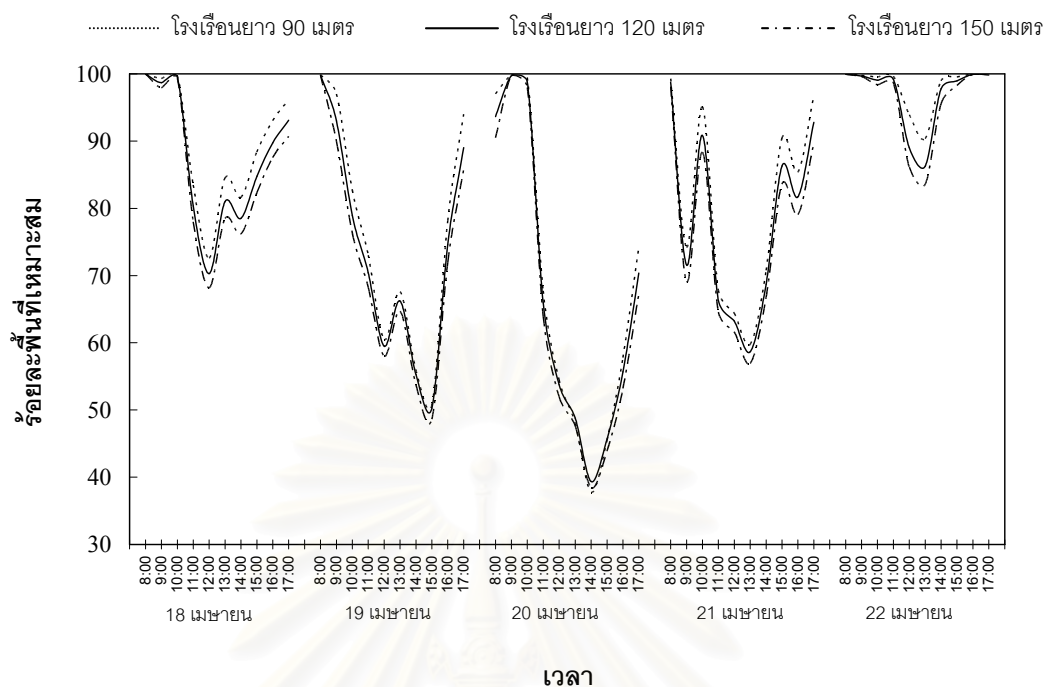
รูปที่ 5.33 พื้นที่ที่เหมาะสมในการเลี้ยงไก่ภายในโรงเรือนยาว 150 เมตร  
ในช่วงเวลา 8:00-17:00 น. ของวันที่ 20 เมษายน



รูปที่ 5.34 ดัชนีความร้อน BGHI เฉลี่ยภายในโรงเรือนยาว 90, 120 และ 150 เมตร  
ในช่วงเวลา 8:00-17:00 น.ของวันที่ 18-22 เมษายน

ตารางที่ 5.3 ผลต่างของค่าดัชนีความร้อน BGHI เฉลี่ยในโรงเรือนยาว 90 และ 150 เมตร เมื่อเทียบกับค่าในโรงเรือนกรณีพื้นฐาน

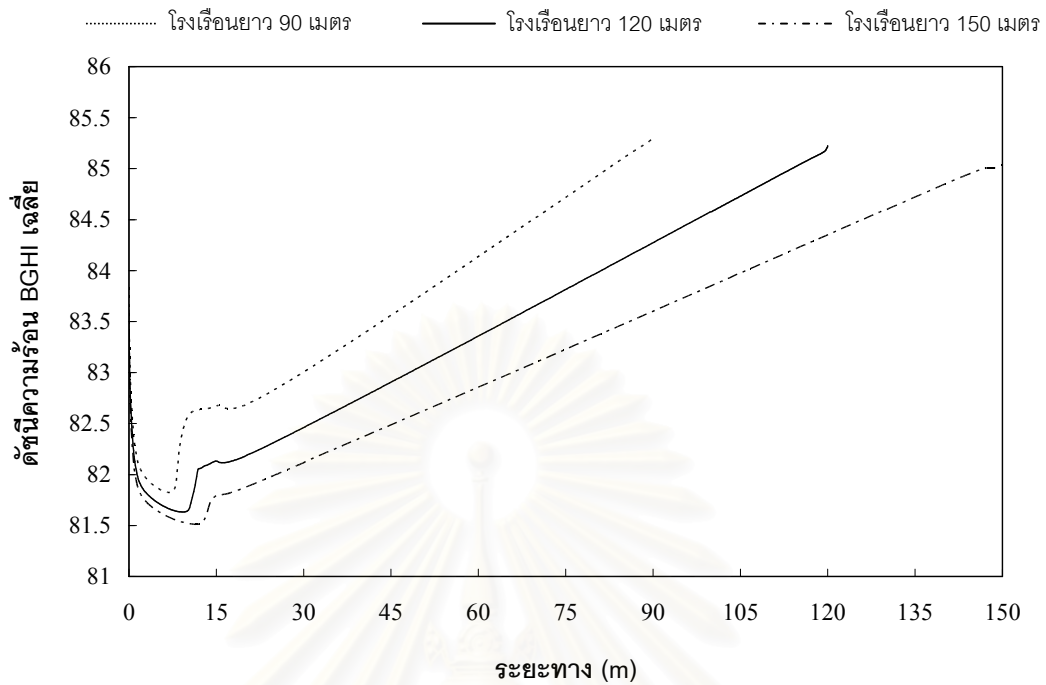
เวลา	โรงเรือนยาว 90 เมตร					โรงเรือนยาว 150 เมตร				
	18 เม.ย.	19 เม.ย.	20 เม.ย.	21 เม.ย.	22 เม.ย.	18 เม.ย.	19 เม.ย.	20 เม.ย.	21 เม.ย.	22 เม.ย.
8.00	0.19	0.18	0.20	0.21	0.20	-0.11	-0.11	-0.12	-0.13	-0.12
9.00	0.22	0.20	0.22	0.21	0.21	-0.13	-0.12	-0.14	-0.13	-0.12
10.00	0.21	0.20	0.22	0.23	0.20	-0.13	-0.13	-0.13	-0.14	-0.12
11.00	0.22	0.21	0.22	0.23	0.20	-0.14	-0.13	-0.13	-0.14	-0.12
12.00	0.22	0.23	0.22	0.23	0.21	-0.13	-0.14	-0.13	-0.14	-0.12
13.00	0.22	0.24	0.23	0.22	0.21	-0.13	-0.15	-0.14	-0.14	-0.13
14.00	0.22	0.22	0.22	0.22	0.21	-0.14	-0.14	-0.14	-0.14	-0.13
15.00	0.22	0.21	0.20	0.21	0.21	-0.14	-0.13	-0.12	-0.13	-0.13
16.00	0.24	0.20	0.19	0.21	0.22	-0.15	-0.12	-0.11	-0.13	-0.13
17.00	0.22	0.18	0.18	0.19	0.20	-0.13	-0.11	-0.11	-0.11	-0.12



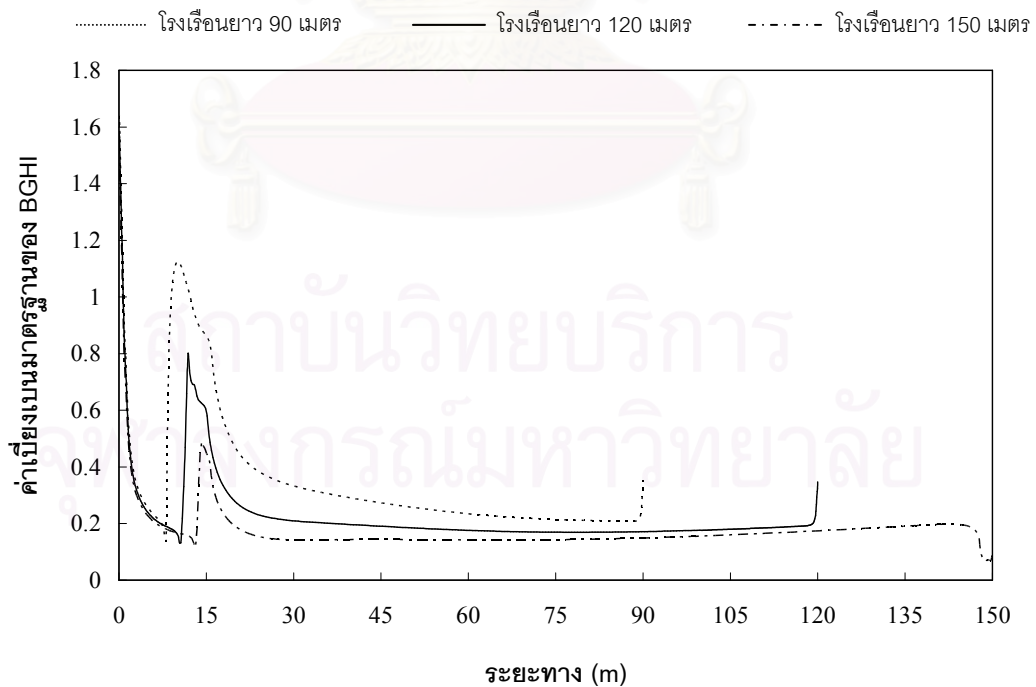
รูปที่ 5.35 ร้อยละของพื้นที่เลี้ยงไก่ที่เหมาะสมภายในโรงเรียนยาว 90, 120 และ 150 เมตร  
ในช่วงเวลา 8:00-17:00 น.ของวันที่ 18-22 เมษายน

ตารางที่ 5.4 ผลต่างของค่าร้อยละพื้นที่เลี้ยงไก่ที่เหมาะสมในโรงเรียนยาว 90 และ 150 เมตร เมื่อเทียบกับค่าในโรงเรียนกรณีพื้นฐาน

เวลา	โรงเรียนยาว 90 เมตร					โรงเรียนยาว 150 เมตร				
	18 เม.ย.	19 เม.ย.	20 เม.ย.	21 เม.ย.	22 เม.ย.	18 เม.ย.	19 เม.ย.	20 เม.ย.	21 เม.ย.	22 เม.ย.
8.00	0.0	0.0	3.4	0.5	0.0	0.0	0.0	-3.1	-0.6	0.0
9.00	0.6	4.0	0.0	2.7	0.1	-0.8	-3.0	0.0	-2.4	-0.1
10.00	0.2	3.8	0.6	4.2	0.5	-0.1	-2.6	-0.8	-2.5	-0.7
11.00	3.1	2.6	1.8	1.5	0.4	-2.4	-2.2	-2.0	-1.7	-0.6
12.00	2.3	1.0	0.7	1.2	4.9	-2.1	-1.5	-1.8	-1.6	-2.9
13.00	3.5	1.4	-0.8	1.1	4.1	-2.5	-1.5	-1.2	-1.7	-2.7
14.00	3.1	0.7	-1.6	2.1	1.2	-2.3	-1.5	-0.9	-1.9	-2.3
15.00	3.6	0.5	-0.2	4.1	0.6	-2.5	-1.6	-1.8	-2.7	-0.7
16.00	3.3	3.6	2.1	3.7	0.0	-2.2	-2.6	-2.5	-2.7	0.0
17.00	3.1	5.0	3.9	3.9	0.1	-2.4	-3.2	-3.0	-3.1	-0.1



รูปที่ 5.36 ดัชนีความร้อน BGHI เฉลี่ยตลอดความกว้างของโจ้งเรือ่นยาว 90, 120 และ 150 เมตร  
ในเวลา 14:00 น. ของวันที่ 20 เมษายน



รูปที่ 5.37 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของดัชนีความร้อน BGHI ตามความกว้างของโจ้งเรือ่นยาว  
90, 120 และ 150 เมตร ในเวลา 14:00 น. ของวันที่ 20 เมษายน

#### 5.4 อิทธิพลของตำแหน่งการวางแผงทำความเย็นที่มีต่อความเร็วลม, ค่าความดันตก และดัชนีความร้อน BGHI

รายละเอียดของตำแหน่งการวางแผงทำความเย็นทั้งสามรูปแบบได้กล่าวไว้ในบทที่ 4 โดยในที่นี้เพื่อให้ง่ายในการกล่าวถึง จะเรียกการวางแผงทำความเย็นเฉพาะที่ผนังด้านข้างในโรงเรือนกรณีพื้นฐานว่าเป็น “การวางแผงทำความเย็นรูปแบบที่ 1” ส่วนการวางแผงทำความเย็นดังในรูปที่ 1.3 และ 1.4 ก็จะใช้เรียกว่าเป็นการวางแผงทำความเย็นรูปแบบที่ 2 และ 3 ตามลำดับ โดยนอกจากตำแหน่งของแผงทำความเย็นแล้ว องค์ประกอบและขนาดต่างๆ ภายในโรงเรือนก็จะเหมือนกับในโรงเรือนกรณีพื้นฐาน ดังนั้นในระนาบคำนวณแนวตั้งก็จะใช้ผลการคำนวณของโรงเรือนกรณีพื้นฐาน เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งการวางแผงทำความเย็นไม่มีผลต่อการคำนวณในระนาบนี้

การคำนวณในระนาบคำนวณแนวราบจึงกำหนดความเร็วลมเฉลี่ยที่หน้าตัดใดๆ เท่ากับในโรงเรือนกรณีพื้นฐาน โดยสำหรับโรงเรือนที่วางแผงทำความเย็นรูปแบบที่ 2 และ 3 จะใช้กริดที่วางแบบไม่สม่ำเสมอจำนวน  $260 \times 165$  และ  $315 \times 165$  ตามลำดับ ซึ่งไม่ทำให้ค่าตอบเปลี่ยนแปลงตามจำนวนกริดที่ใช้

##### อิทธิพลที่มีต่อการกระจายลม

ลักษณะความเร็วลมในโรงเรือนทั้งสามรูปแบบสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.38 การกระจายลมในโรงเรือนที่วางแผงทำความเย็นรูปแบบที่ 2 จะมีความสม่ำเสมอมากที่สุด แต่ในช่วงหลังจากระยะทางประมาณ 80 เมตร โรงเรือนที่วางแผงทำความเย็นรูปแบบนี้จะมีความเร็วที่ด้านข้างน้อยกว่าในโรงเรือนรูปแบบอื่นๆ ในรูปที่ 5.39 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร็วลมในบริเวณต้นโรงเรือนรูปแบบที่ 1 และ 3 จะแตกต่างกับโรงเรือนรูปแบบที่ 2 อย่างชัดเจน แต่ภายหลังจากที่อากาศไหลเป็นระยะทางประมาณ 80 เมตรค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานในโรงเรือนกรณีพื้นฐานกลับมีค่าน้อยกว่าโรงเรือนรูปแบบที่ 2 ทั้งนี้เนื่องจากความแตกต่างของความเร็วลมที่กึ่งกลางและด้านข้างโรงเรือนมีน้อยกว่า

##### อิทธิพลที่มีต่อความดันตกท้ายโรงเรือน

ค่าความดันสัมพัทธ์ที่กึ่งกลางของโรงเรือนที่วางแผงทำความเย็นในรูปแบบต่างๆ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.40 แม้ว่าการเปลี่ยนแปลงค่าความดันสัมพัทธ์ในโรงเรือนที่วางแผงทำ

ความเย็นรูปแบบที่ 2 จะมีเพียงเล็กน้อย แต่เนื่องจากความเร็วลมที่ผ่านแผงทำความเย็นของโรงเรือนนี้มีค่าเท่ากับความเร็วลมเฉลี่ย คือ 3.54 m/s ในขณะที่โรงเรือนรูปแบบอื่นมีค่าความเร็วลมผ่านแผงทำความเย็นประมาณ 2.0 m/s ทำให้อากาศที่ผ่านแผงทำความเย็นเข้าสู่โรงเรือนรูปแบบที่ 2 จะมีความดันลดลงมากกว่า จากตัวอย่างรูปแสดงค่าความดันตก ในรูปที่ 2.3 เมื่อสมมติให้ใช้แผงทำความเย็นหนา 150 มิลลิเมตร ความดันอากาศที่ผ่านแผงทำความเย็นในโรงเรือนรูปแบบที่ 2 จะมีค่าลดลงประมาณ 75 Pa ในขณะที่โรงเรือนรูปแบบที่ 1 และ 3 จะมีความดันอากาศลดลงประมาณ 25 Pa ดังนั้นเมื่อรวมผลของความดันตกเนื่องจากแผงทำความเย็นด้วย จะพบว่า โรงเรือนรูปแบบที่ 2 กลับมีค่าความดันตกที่สูงที่สุด และการวางแผงทำความเย็นในรูปแบบที่ 3 จะทำให้เกิดค่าความดันตกน้อยที่สุด

### อิทธิพลที่มีต่อดัชนีความร้อน BGHI

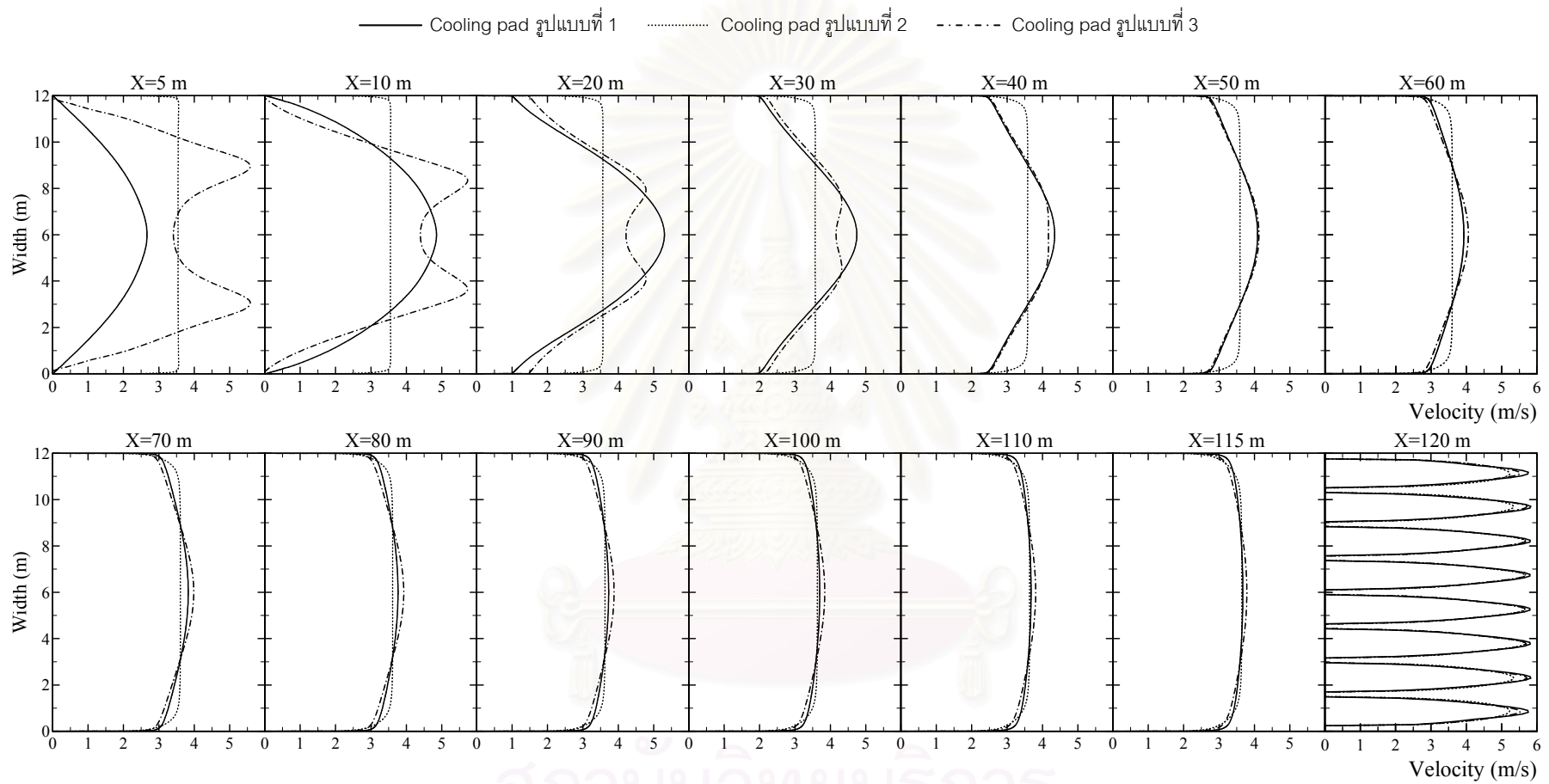
การกระจายตัวของอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ภายในโรงเรือนแสดงเปรียบเทียบได้ดังรูปที่ 5.41 โดยยกตัวอย่างที่เวลา 14:00 น. ของวันที่ 20 เมษายน จะพบว่าในช่วงต้นของโรงเรือนที่วางแผงทำความเย็นรูปแบบที่ 2 จะมีค่าอุณหภูมิอากาศสม่ำเสมอตลอดทั้งหน้าตัดโรงเรือน แต่เมื่ออากาศไหลภายในโรงเรือนเป็นระยะทางหนึ่ง ค่าอุณหภูมิอากาศที่บริเวณด้านข้างโรงเรือนจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมาก โดยสังเกตได้จากลักษณะความลาดเอียงของเส้นอุณหภูมิคงที่ต่างๆ นอกจากนี้ในโรงเรือนที่วางแผงทำความเย็นรูปแบบที่ 3 ก็จะมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิตลอดหน้าตัดโรงเรือนมากเช่นกัน ตามลักษณะความลาดเอียงของเส้นอุณหภูมิคงที่

การกำหนดพื้นที่เลี้ยงไก่ที่เหมาะสมภายในโรงเรือนที่วางแผงทำความเย็นรูปแบบที่ 2 และ 3 โดยยกตัวอย่างผลของวันที่ 20 เมษายน จะเป็นดังรูปที่ 5.42 และ 5.43 ตามลำดับ จะเห็นว่าลักษณะการกระจายตัวของดัชนีความร้อน BGHI มีความคล้ายคลึงกับลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิอากาศ สำหรับค่าดัชนีความร้อน BGHI เฉลี่ยและร้อยละของพื้นที่การเลี้ยงที่เหมาะสมของวันที่ 18-22 เมษายน สามารถสรุปได้ดังรูปที่ 5.44 และ 5.45 โดยผลต่างของค่าตัวแปรทั้งสองเมื่อเทียบกับโรงเรือนกรณีพื้นฐานได้แสดงในตารางที่ 5.5 และ 5.6 จากผลที่ได้จะพบว่าโรงเรือนทั้งสามรูปแบบมีค่าดัชนีความร้อนเฉลี่ยและพื้นที่ที่เหมาะสมใกล้เคียงกันมาก เนื่องจากเมื่อพิจารณาในภาพรวมแล้วโรงเรือนทั้งสามมีค่าความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับตัวไก่และค่าความเร็วลมเฉลี่ยทั้งโรงเรือนเท่ากัน จึงทำให้ปริมาณความร้อนที่ถูกนำออกจากโรงเรือนมีค่าใกล้เคียงกันด้วย

เมื่อพิจารณาลักษณะการกระจายตัวของ BGHI ที่ตำแหน่งต่างๆ ยกตัวอย่างใน เวลา 14:00 น. ของวันที่ 20 เมษายน จากรูปที่ 5.46 ซึ่งแสดงค่าดัชนีความร้อน BGHI เฉลี่ยตลอด ความกว้างของโรงเรียน จะพบว่ามีความแตกต่างของค่าดัชนี BGHI เฉลี่ยในช่วงแรกของโรงเรียน ทั้งสามรูปแบบแต่เมื่ออากาศไหลเป็นระยะทางประมาณ 20 เมตรก็จะเริ่มมีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนใน รูปที่ 5.47 ซึ่งเป็นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของ BGHI จะพบว่าหลังจากที่อากาศไหลเป็นระยะทาง ประมาณ 40 เมตร ในโรงเรียนที่วางแผนทำความเย็นรูปแบบที่ 2 จะมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมาก ที่สุด ซึ่งเป็นผลจากการที่ดัชนีความร้อน BGHI ที่ผนังด้านข้างมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมาก เนื่องจากความเร็วลมได้รับอิทธิพลของผนังโรงเรียนด้านข้าง ในขณะที่ตำแหน่งที่ห่างจากผนัง ออกมาค่าดัชนี BGHI จะค่อนข้างสม่ำเสมอ ซึ่งลักษณะการเปลี่ยนแปลงนี้ อาจส่งผลต่อค่า เบี่ยงเบนมาตรฐานที่หาได้ ส่วนโรงเรียนที่วางแผนทำความเย็นรูปแบบที่ 3 ก็จะมีค่าเบี่ยงเบน มาตรฐานของ BGHI สูงมากกว่าโรงเรียนกรณีพื้นฐาน ตามลักษณะความลาดเอียงของเส้นแบ่ง พื้นที่ที่เหมาะสมจากผนังข้างจนถึงกึ่งกลางโรงเรียนดังในรูปที่ 5.43

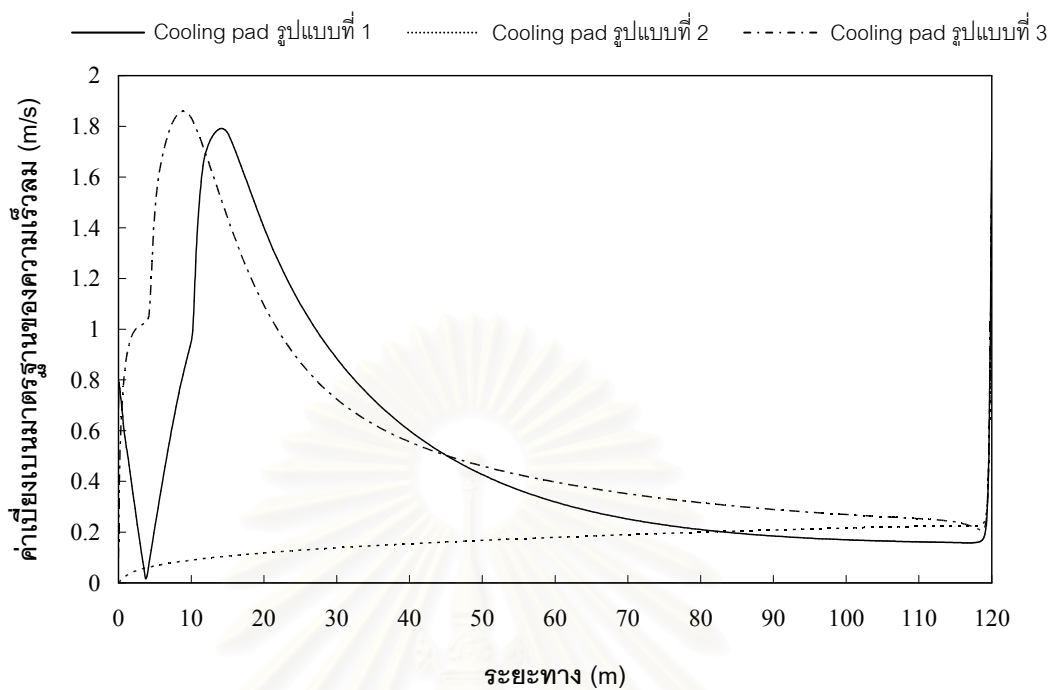


สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

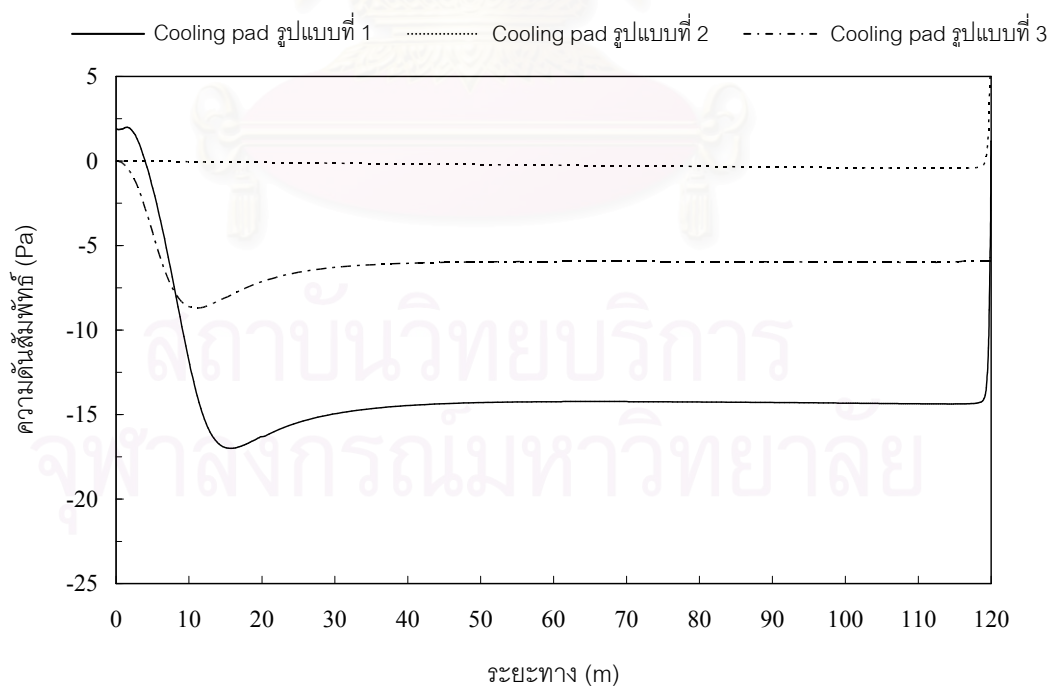


รูปที่ 5.38 ลักษณะความเร็วลมที่ตำแหน่งต่างๆ ตลอดความกว้างของโรงเรือนซึ่งวางแผงทำความเย็นในรูปแบบที่ 1, 2 และ 3 (ระนาบค่านวนแนวราบ)



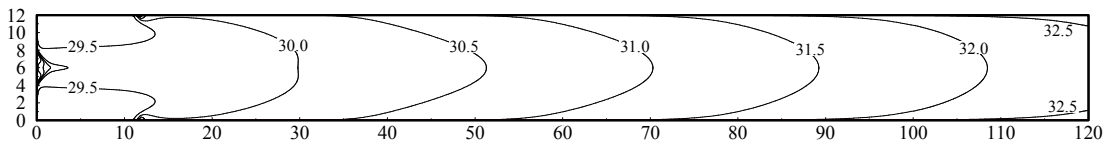


รูปที่ 5.39 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร็วลมในแต่ละหน้าตัดความกว้างของโรงเรือนที่วางแผงทำความเย็นรูปแบบที่ 1, 2 และ 3

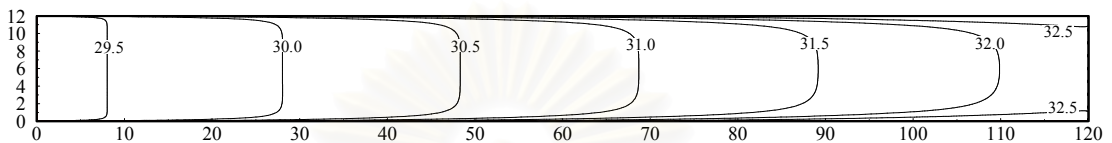


รูปที่ 5.40 ความดันอากาศสัมพัทธ์ที่กึ่งกลางโรงเรือนซึ่งวางแผงทำความเย็นรูปแบบที่ 1, 2 และ 3 ที่ระยะทางต่างๆ (ระนาบคำนวณแนวราบ)

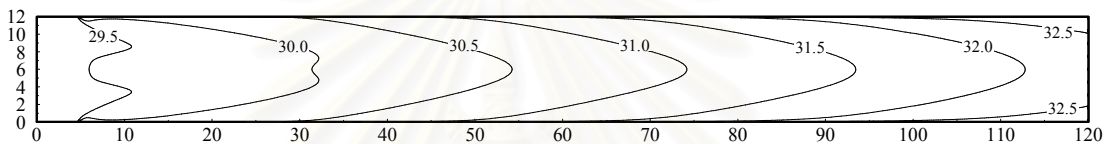
รูปแบบที่ 1 – วางแผนทำความเย็นเฉพาะผนังด้านข้างของโรงเรียน (โรงเรียนกรณีพื้นฐาน)



รูปแบบที่ 2 – วางแผนทำความเย็นเฉพาะผนังด้านกว้างของโรงเรียน

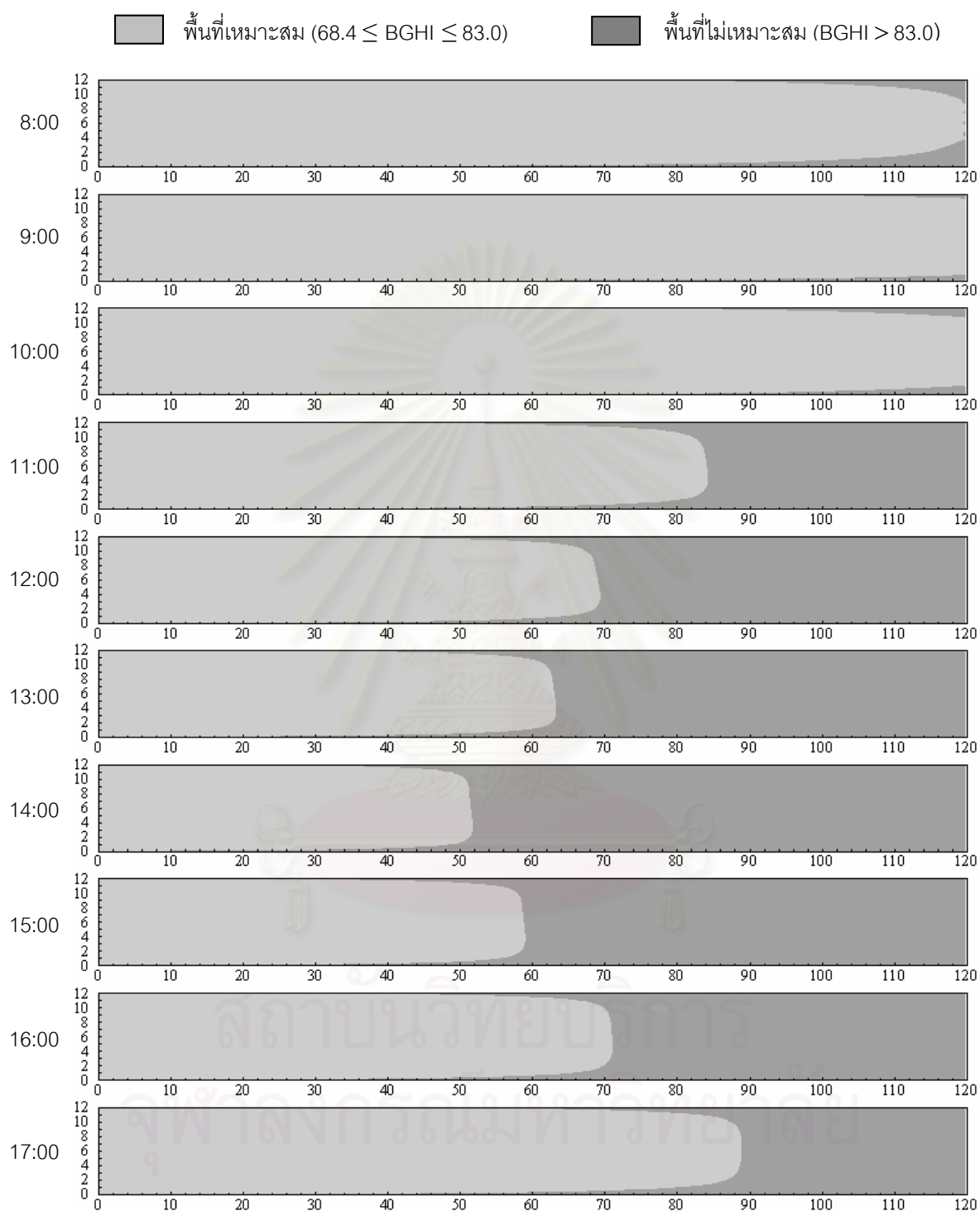


รูปแบบที่ 3 – วางแผนทำความเย็นทั้งผนังด้านกว้างและด้านข้างของโรงเรียน

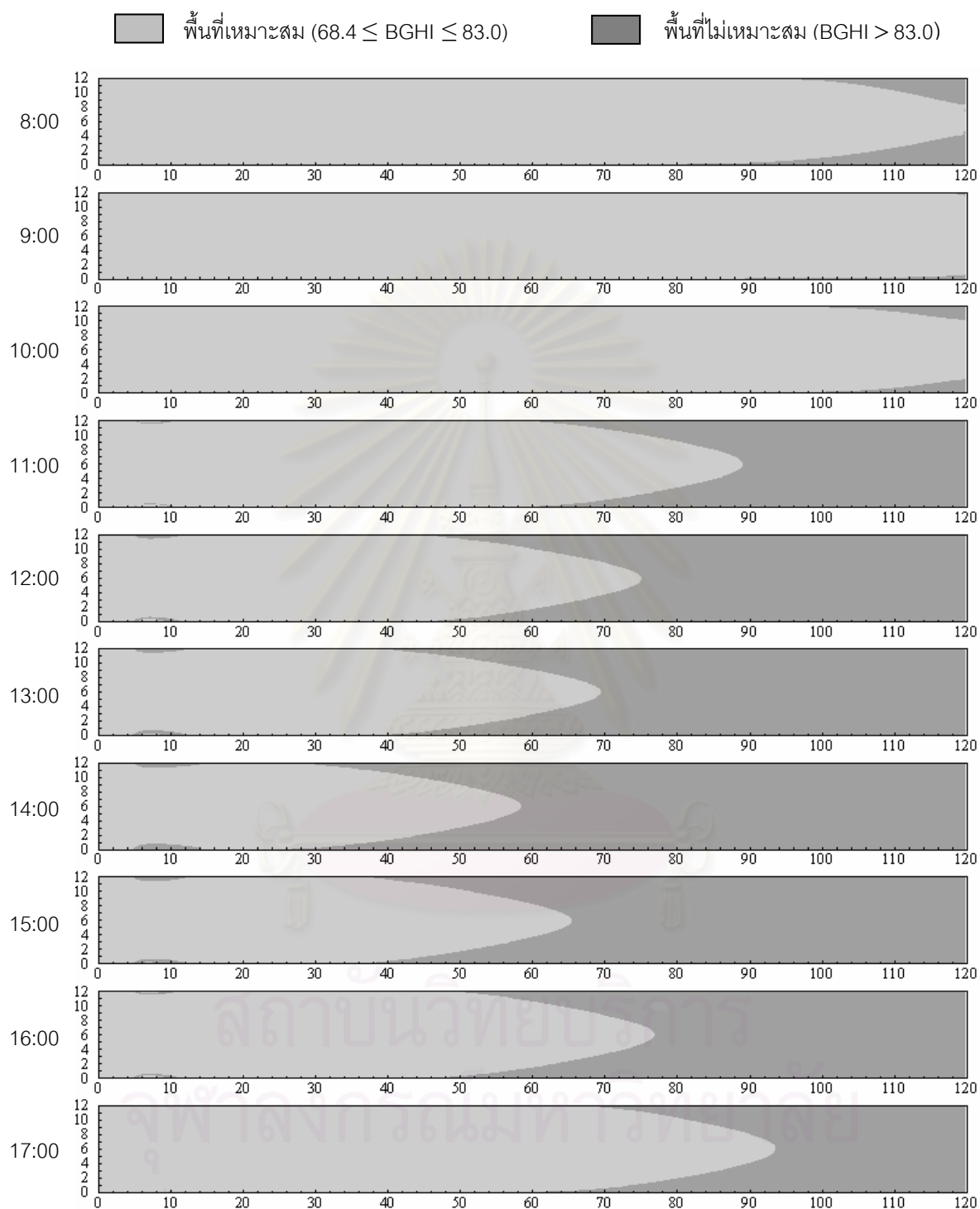


รูปที่ 5.41 คุณหม้ออากาศภายในโรงเรียนที่วางแผนทำความเย็นรูปแบบที่ 1, 2 และ 3  
ในเวลา 14:00 น. ของวันที่ 20 เมษายน

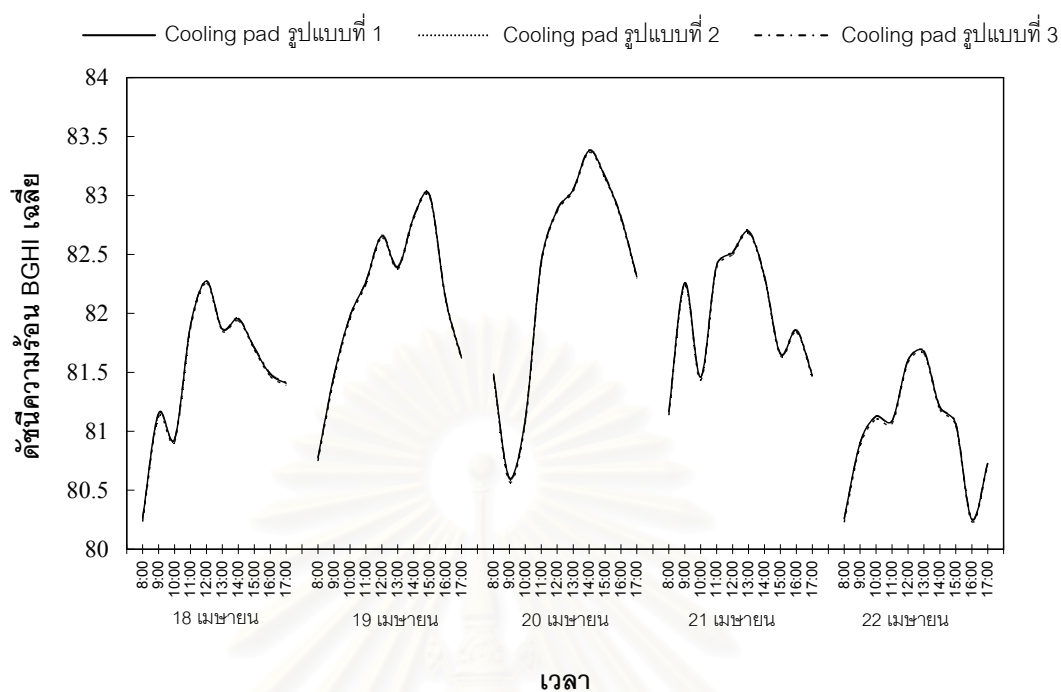
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.42 พื้นที่ที่เหมาะสมในการเลี้ยงไก่ภายในโรงเรียนที่วางแผนทำความเย็นเฉพาะผนังด้านกว้าง (รูปแบบที่2) ในช่วงเวลา 8:00-17:00 น. ของวันที่ 20 เมษายน



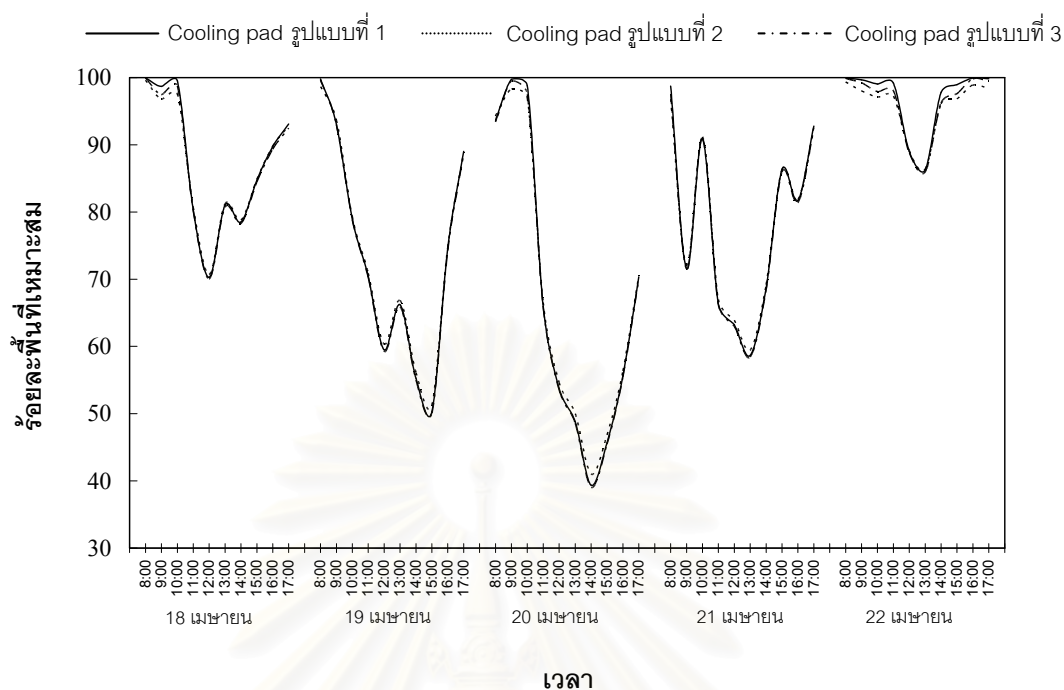
รูปที่ 5.43 พื้นที่ที่เหมาะสมในการเลี้ยงไก่ภายในโรงเรือนที่วางแผนทำความเย็นทั้งผนังด้านกว้างและด้านข้าง (รูปแบบที่ 3) ในช่วงเวลา 8:00-17:00 น. ของวันที่ 20 เมษายน



รูปที่ 5.44 ระดับความร้อน BGHI เฉลี่ยภายในโรงเรือนที่วางแผงทำความเย็นรูปแบบที่ 1, 2 และ 3 ในช่วงเวลา 8:00-17:00 น. ของวันที่ 18-22 เมษายน

ตารางที่ 5.5 ผลต่างของค่าระดับความร้อน BGHI เฉลี่ยในโรงเรือนที่วางแผงทำความเย็นเฉพาะผนังด้านกว้างและโรงเรือนที่วางแผงทำความเย็นทั้งผนังด้านกว้างและด้านข้าง เมื่อเทียบกับค่าในโรงเรือนกรณีพื้นฐาน

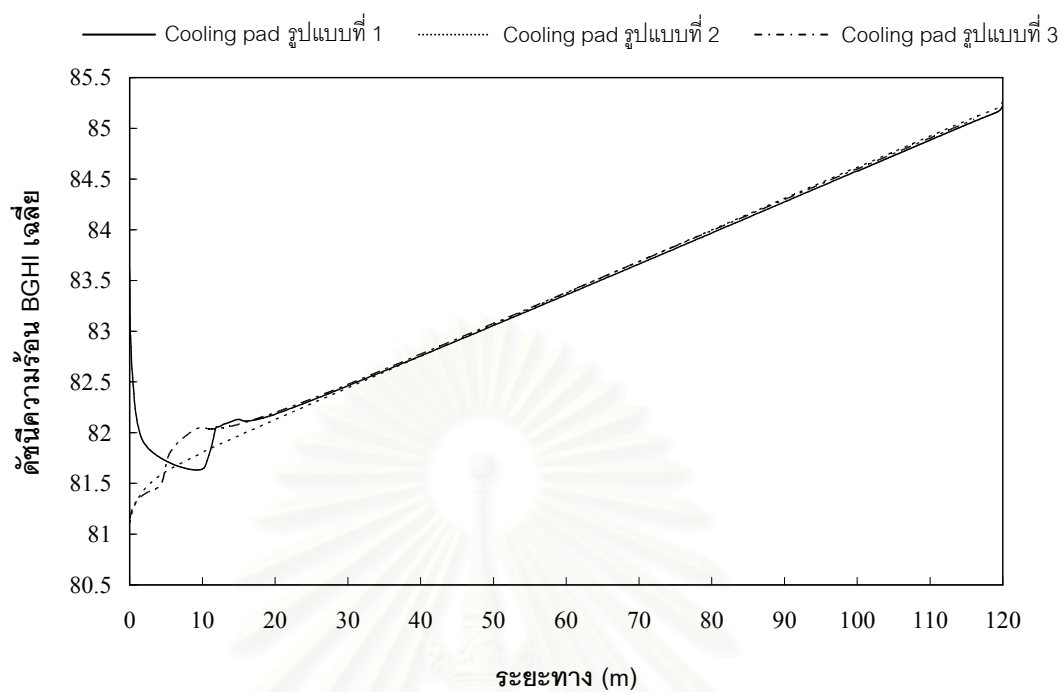
เวลา	โรงเรือนที่วางแผงทำความเย็นเฉพาะผนังด้านกว้าง					โรงเรือนที่วางแผงทำความเย็นทั้งผนังด้านกว้างและด้านข้าง				
	18-เม.ย.	19-เม.ย.	20-เม.ย.	21-เม.ย.	22-เม.ย.	18-เม.ย.	19-เม.ย.	20-เม.ย.	21-เม.ย.	22-เม.ย.
8.00	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01
9.00	-0.03	-0.03	-0.04	-0.03	-0.03	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01
10.00	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	0.00	0.00	-0.01	-0.01	0.00
11.00	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12.00	-0.02	-0.02	-0.01	-0.02	-0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00
13.00	-0.02	-0.02	-0.01	-0.01	-0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
14.00	-0.02	-0.01	-0.01	-0.02	-0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00
15.00	-0.02	-0.01	-0.01	-0.02	-0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
16.00	-0.02	-0.01	-0.01	-0.01	-0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
17.00	-0.02	-0.01	-0.01	-0.01	-0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01



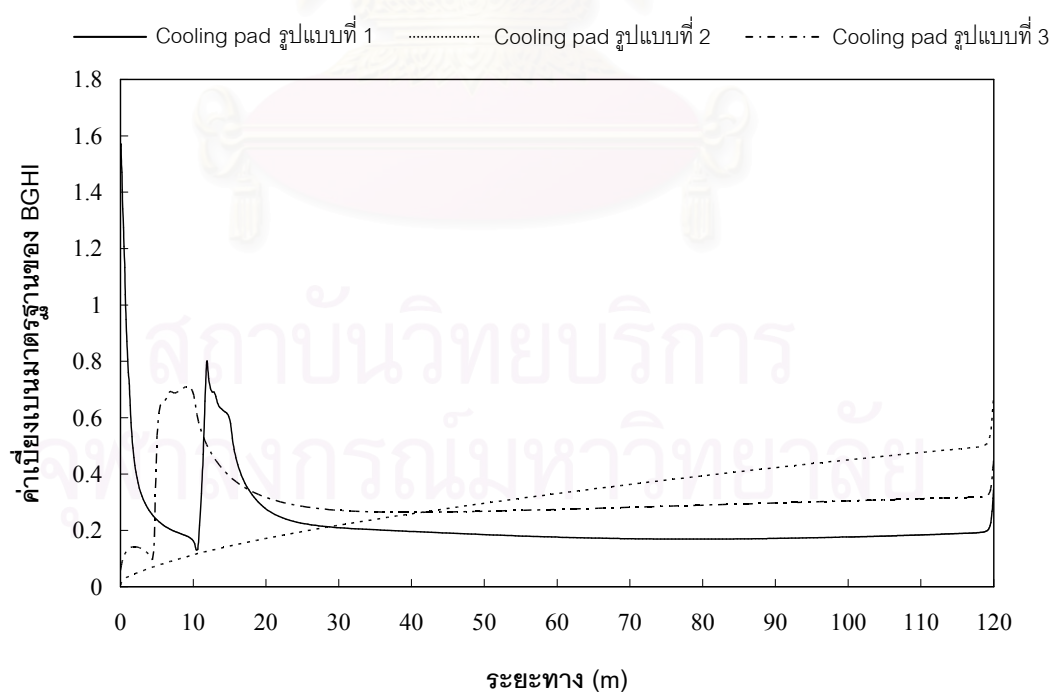
รูปที่ 5.45 ร้อยละของพื้นที่เลี้ยงไก่ที่เหมาะสมภายในโรงเรือนที่วางแผงทำความเย็น รูปแบบที่ 1, 2 และ 3 ในช่วงเวลา 8:00-17:00 น. ของวันที่ 18-22 เมษายน

ตารางที่ 5.6 ผลต่างของค่าร้อยละพื้นที่เลี้ยงไก่ที่เหมาะสมในโรงเรือนที่วางแผงทำความเย็น เฉพาะผนังด้านกว้างและโรงเรือนที่วางแผงทำความเย็นทั้งผนังด้านกว้างและด้านข้าง เมื่อเทียบกับค่าในโรงเรือนกรณีพื้นฐาน

เวลา	โรงเรือนที่วางแผงทำความเย็น เฉพาะผนังด้านกว้าง					โรงเรือนที่วางแผงทำความเย็น ทั้งผนังด้านกว้างและด้านข้าง				
	18-เม.ย.	19-เม.ย.	20-เม.ย.	21-เม.ย.	22-เม.ย.	18-เม.ย.	19-เม.ย.	20-เม.ย.	21-เม.ย.	22-เม.ย.
8.00	-0.4	-1.2	0.7	-2.0	-0.6	0.0	-0.2	-0.2	-1.2	0.0
9.00	-1.9	0.7	-1.4	0.5	-1.7	-1.3	0.0	-0.2	0.0	-0.5
10.00	-1.9	0.3	-1.8	0.4	-2.0	-0.8	-0.1	-1.3	0.2	-1.2
11.00	0.4	0.5	0.6	0.7	-2.0	-0.2	-0.2	-0.1	-0.1	-1.2
12.00	0.5	0.8	0.9	0.7	0.1	-0.2	-0.3	-0.2	-0.2	-0.2
13.00	0.2	0.6	1.2	0.8	0.1	-0.3	-0.3	-0.2	-0.3	-0.3
14.00	0.3	0.9	1.6	0.5	-1.7	-0.3	-0.2	-0.3	-0.3	-1.6
15.00	0.1	1.0	1.2	0.0	-2.1	-0.3	-0.2	-0.2	-0.3	-1.3
16.00	0.0	0.2	0.7	0.1	-1.0	-0.4	-0.3	-0.2	-0.3	-0.1
17.00	-0.3	-0.1	0.2	-0.2	-1.5	-0.7	-0.4	-0.3	-0.6	-0.4



รูปที่ 5.46 ดัชนีความร้อน BGHI เฉลี่ยตลอดความกว้างของโรงเรือนที่วางแผงทำความเย็นรูปแบบที่ 1, 2 และ 3 ในเวลา 14:00 น. ของวันที่ 20 เมษายน



รูปที่ 5.47 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของดัชนีความร้อน BGHI ในแต่ละหน้าตัดความกว้างของโรงเรือนที่วางแผงทำความเย็นรูปแบบที่ 1, 2 และ 3 ในเวลา 14:00 น. ของวันที่ 20 เมษายน

## 5.5 อิทธิพลของระยะห่างระหว่างชิงลมที่มีต่อความเร็วลม, ค่าความดันตก และดัชนีความร้อน BGHI

การตรวจสอบอิทธิพลของระยะห่างระหว่างชิงลมจะทำการปรับเปลี่ยนให้วางชิงลมในโรงเรือนห่างกัน 10 และ 20 เมตร นอกเหนือจากค่าระยะห่างระหว่างชิงลมในโรงเรือนกรณีพื้นฐานคือ 15 เมตร ทำให้ในโรงเรือนทั้งสองจะมีจำนวนชิงลมเท่ากับ 11 และ 5 ตามลำดับ สำหรับขนาดและองค์ประกอบอื่นๆ ของโรงเรือนทั้งสองจะคล้ายคลึงกับโรงเรือนกรณีพื้นฐาน

### อิทธิพลที่มีต่อความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับตัวไก่และการกระจายลม

ในระนาบคำนวณแนวตั้งสำหรับโรงเรือนที่วางชิงลมห่างกัน 10 และ 20 เมตร จะใช้กริดไม้ส้มา้เสมอจำนวน  $341 \times 137$  และ  $327 \times 137$  ตามลำดับ ซึ่งจะได้คำตอบที่ไม่ขึ้นกับจำนวนกริดที่ใช้ การเปรียบเทียบค่าความเร็วลมที่ระดับความสูงจากพื้น 0.3 เมตร ระหว่างโรงเรือนที่วางชิงลมห่างกัน 10, 15 และ 20 เมตร แสดงดังรูปที่ 5.48(ก) และ 5.48(ข) จากรูปที่ 5.48(ก) ความเร็วลมในโรงเรือนที่วางชิงลมห่างกัน 10 เมตร จะมีการเปลี่ยนแปลงค่าในช่วงที่แคบกว่า และมีค่าความเร็วลมเฉลี่ยเท่ากับ  $3.81 \text{ m/s}$  ซึ่งมากกว่าความเร็วลมเฉลี่ยในโรงเรือนกรณีพื้นฐานประมาณ 7.5% ในลักษณะเดียวกันนี้จากรูปที่ 5.48(ข) ความเร็วลมของโรงเรือนที่วางชิงลมห่างกัน 20 เมตรจะมีช่วงการเปลี่ยนแปลงค่าที่ค่อนข้างกว้าง ซึ่งส่งผลต่อความสม่ำเสมอของสภาวะการเลี้ยงไก่ตลอดระยะทางในแนวยาวของโรงเรือน และมีค่าความเร็วลมเฉลี่ยเท่ากับ  $3.34 \text{ m/s}$  หรือมีค่าน้อยกว่าในโรงเรือนกรณีพื้นฐานประมาณ 5.6%

เมื่อนำค่าความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับความสูง 0.3 เมตรของโรงเรือนแต่ละรูปแบบมาใช้คำนวณในระนาบคำนวณแนวนอน จะสามารถเปรียบเทียบลักษณะการกระจายตัวของความเร็วลมภายในโรงเรือนที่ติดชิงลมห่างกัน 10, 15 และ 20 เมตร ได้ดังรูปที่ 5.49 โดยใช้กริดไม้ส้มา้เสมอจำนวน  $290 \times 165$  ในทุกโรงเรือน ลักษณะการกระจายลมจะมีความคล้ายคลึงกัน แต่จะมีขนาดความเร็วลมที่แตกต่างกันตามค่าความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับความสูง 0.3 เมตรจากพื้นของโรงเรือนแต่ละรูปแบบ เมื่อพิจารณาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร็วลมตลอดหน้าตัดความกว้างโรงเรือน ดังรูปที่ 5.50 จะพบว่าโรงเรือนทั้งสามรูปแบบมีลักษณะการกระจายลมใกล้เคียงกัน



### อิทธิพลที่มีต่อความดันตกท้ายโรงเรือน

ลักษณะของค่าความดันตกในระนาบค่านวนแนวตั้งที่เกิดขึ้นภายในโรงเรือนทั้งสามรูปแบบที่ความสูงระดับกึ่งกลางของพัดลมดูดอากาศ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.51 จะเห็นได้ว่าจำนวนซึ่งลมภายในโรงเรือนจะส่งผลต่อค่าความดันตกที่ท้ายโรงเรือนเนื่องจากค่าความดันจะลดลงอย่างมากเมื่อผ่านซึ่งลมแต่ละตำแหน่ง โดยสำหรับโรงเรือนที่มีซึ่งลมห่างกัน 10, 15 และ 20 เมตร จะมีค่าความดันตกประมาณ 38, 29 และ 23 Pa ตามลำดับ หรือจะกล่าวได้ว่าความดันตกภายในโรงเรือนที่ติดซึ่งลมห่างกัน 10 และ 20 เมตร จะทำให้ค่าความดันตกเปลี่ยนแปลงจากค่าในโรงเรือนกรณีพื้นฐานประมาณ 31.0% และ -20.7%

ผลการคำนวณค่าความดันตกในระนาบค่านวนแนวราบจะมีลักษณะที่สอดคล้องกับในระนาบค่านวนแนวตั้ง กล่าวคือ ในโรงเรือนที่มีระยะห่างระหว่างซึ่งลม 10 เมตร จะมีค่าความดันตกสูงสุด รองลงมาคือ โรงเรือนกรณีพื้นฐานและโรงเรือนที่มีซึ่งลมห่างกัน 20 เมตร ดังรูปที่ 5.52

### อิทธิพลที่มีต่อดัชนีความร้อน BGHI

จากผลการคำนวณค่าอุณหภูมิอากาศภายในโรงเรือนทั้งสามรูปแบบ ซึ่งยกตัวอย่างที่เวลา 14:00 น. ของวันที่ 20 เมษายน ดังรูปที่ 5.53 จะพบว่าโรงเรือนที่ติดซึ่งลมห่างกัน 10 เมตรจะมีอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำกว่าโรงเรือนกรณีพื้นฐานและโรงเรือนที่ติดซึ่งลมห่างกัน 20 เมตรเล็กน้อย แต่หากพิจารณาในด้านการกระจายตัวของอุณหภูมิ จะพบว่าในแต่ละหน้าตัดของโรงเรือนทั้งสามรูปแบบ จะมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิจากบริเวณผนังข้างถึงกึ่งกลางโรงเรือนที่คล้ายคลึงกัน

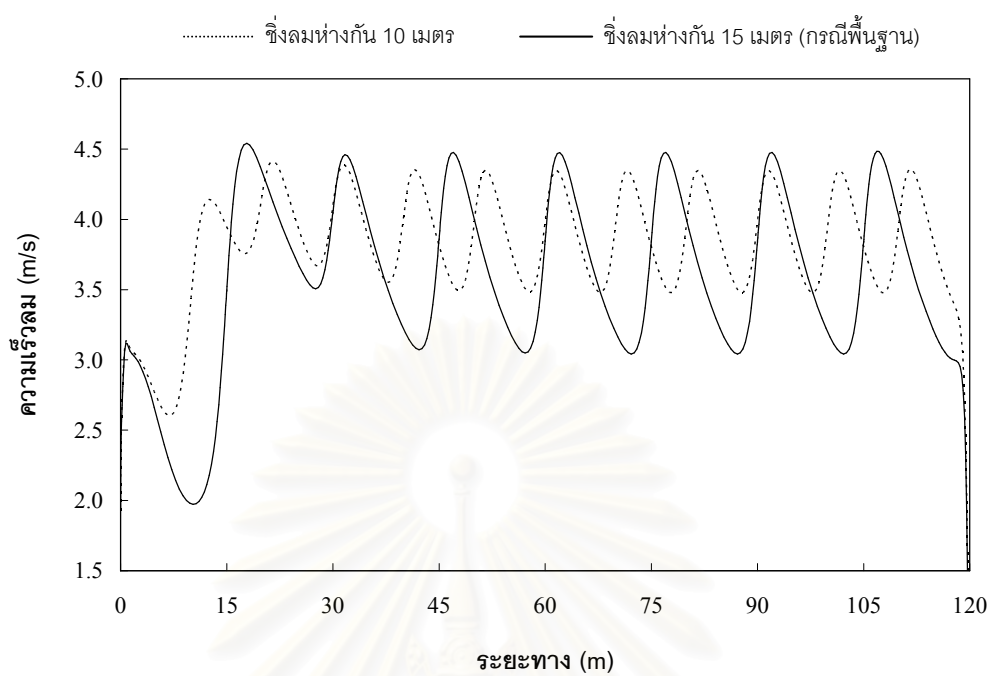
หลังจากการคำนวณหาดัชนีความร้อนที่ตำแหน่งต่างๆ ก็จะมีการประเมินเพื่อกำหนดพื้นที่เลี้ยงไก่ที่เหมาะสมภายในโรงเรือนที่ติดซึ่งลมห่างกัน 10 และ 20 เมตร ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 5.54 และ 5.55 ตามลำดับ โดยยกตัวอย่างผลการคำนวณของวันที่ 20 เมษายน ในช่วงเวลา 8:00-17:00 น. สำหรับค่าดัชนีความร้อน BGHI เฉลี่ยและร้อยละของพื้นที่ที่เหมาะสมของวันที่ 18-22 เมษายน จะแสดงดังรูปที่ 5.56 และ 5.57 โดยสามารถตรวจสอบผลต่างของค่าตัวแปรทั้งสองเมื่อเทียบกับโรงเรือนกรณีพื้นฐานได้ในตารางที่ 5.7 และ 5.8 จะเห็นได้ว่าการปรับเปลี่ยนระยะห่างระหว่างซึ่งลมจะทำให้ดัชนีความร้อนเฉลี่ยในโรงเรือนมีค่าเปลี่ยนแปลงพอสมควร โดยจะส่งผลให้ค่าร้อยละพื้นที่ที่เหมาะสมของโรงเรือนที่ติดซึ่งลมห่างกัน 10 เมตร ในช่วงเวลา 11:00-17:00 น. มีค่าเพิ่มขึ้นจากโรงเรือนกรณีพื้นฐานประมาณ 3-7% ในขณะที่โรงเรือนที่ติดซึ่งลมห่างกัน 20 เมตร

ก็จะมีค่าร้อยละของพื้นที่ที่เหมาะสมลดลงจากโรงเรือนกรณีพื้นฐานประมาณ 3-5% นอกจากนี้จะสังเกตได้ว่าในวันที่อุณหภูมิอากาศไม่สูงมากนัก ผลต่างของค่าร้อยละพื้นที่ที่เหมาะสมในโรงเรือนที่ติดซึ่งลมห่างกัน 10 และ 20 เมตร เมื่อเทียบกับค่าในโรงเรือนกรณีพื้นฐานจะมากขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิของอากาศที่เข้าสู่โรงเรือนมีค่าลดลง ซึ่งจะทำให้ในโรงเรือนที่มีความเร็วลมเฉลี่ยสูงจะสามารถเพิ่มพื้นที่ที่เหมาะสมได้มากขึ้น

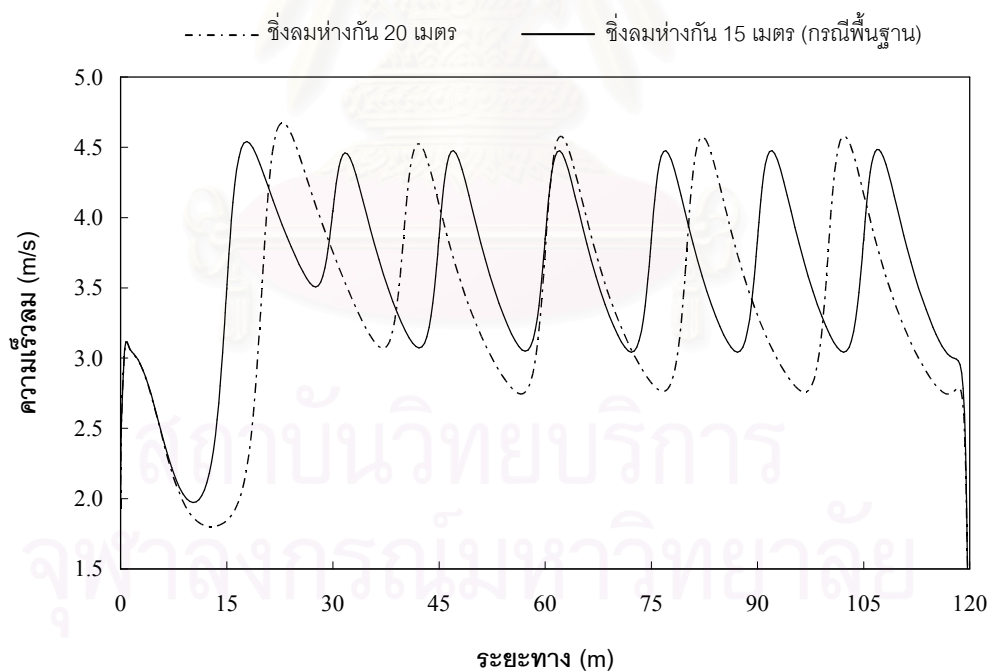
เมื่อพิจารณาค่าดัชนีความร้อน BGHI เฉลี่ยตามความกว้างของโรงเรือนที่ตำแหน่งต่างๆ ยกตัวอย่างในเวลา 14:00 น. ของวันที่ 20 เมษายน จากรูปที่ 5.58 จะพบว่าเมื่อระยะห่างระหว่างซึ่งลมมากขึ้น ดัชนีความร้อนเฉลี่ยก็จะมีอัตราการเพิ่มขึ้นตามแนวยาวของโรงเรือนมากขึ้นเช่นกัน ทั้งนี้เป็นผลมาจากค่าความเร็วลมเฉลี่ยในระดับความสูงจากพื้น 0.3 เมตร ที่ลดลง ส่วนในรูปที่ 5.59 ได้แสดงให้เห็นว่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของดัชนี BGHI ตามความกว้างของโรงเรือนทั้งสามรูปแบบซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันมาก



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก)

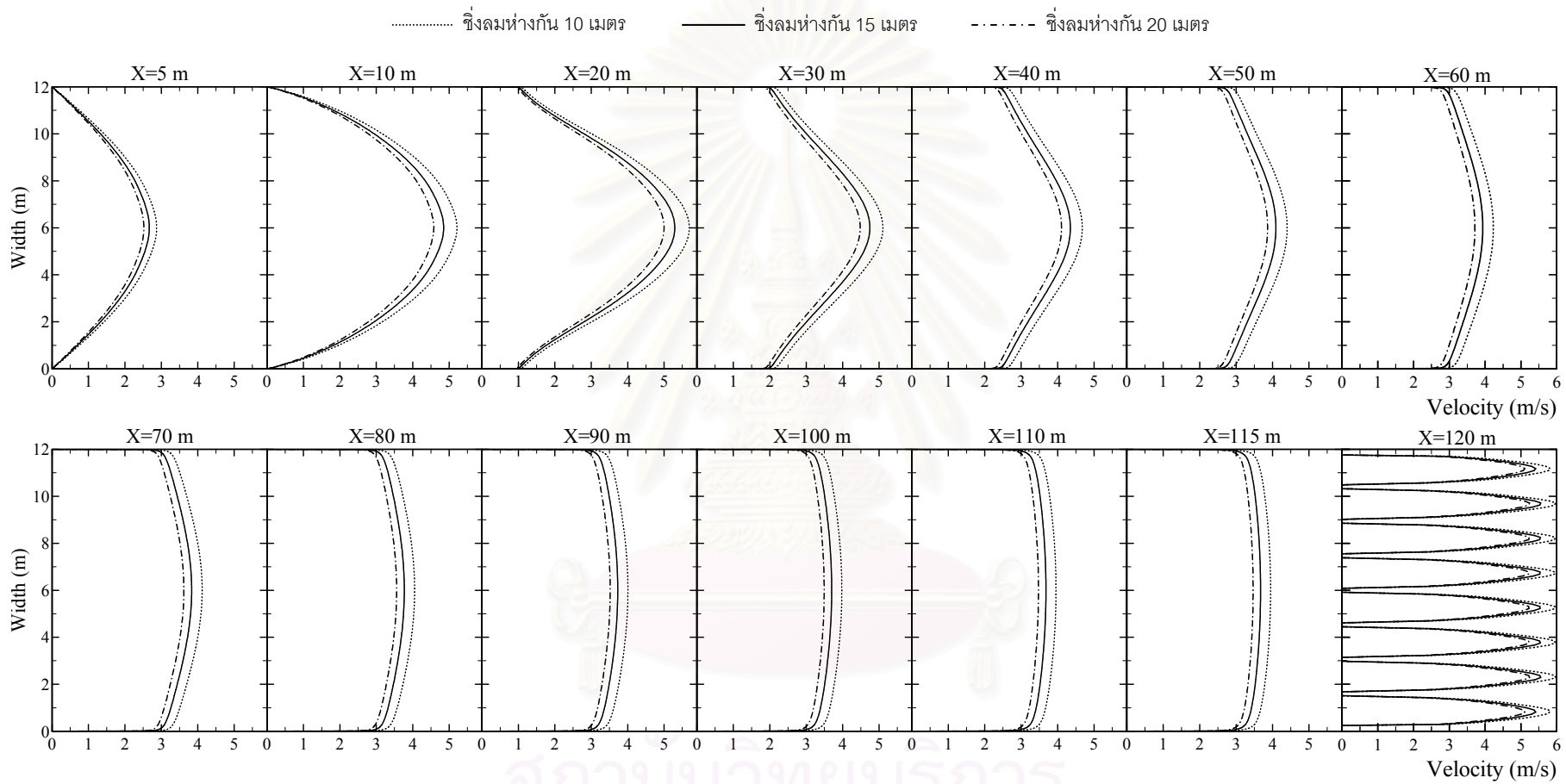


(ข)

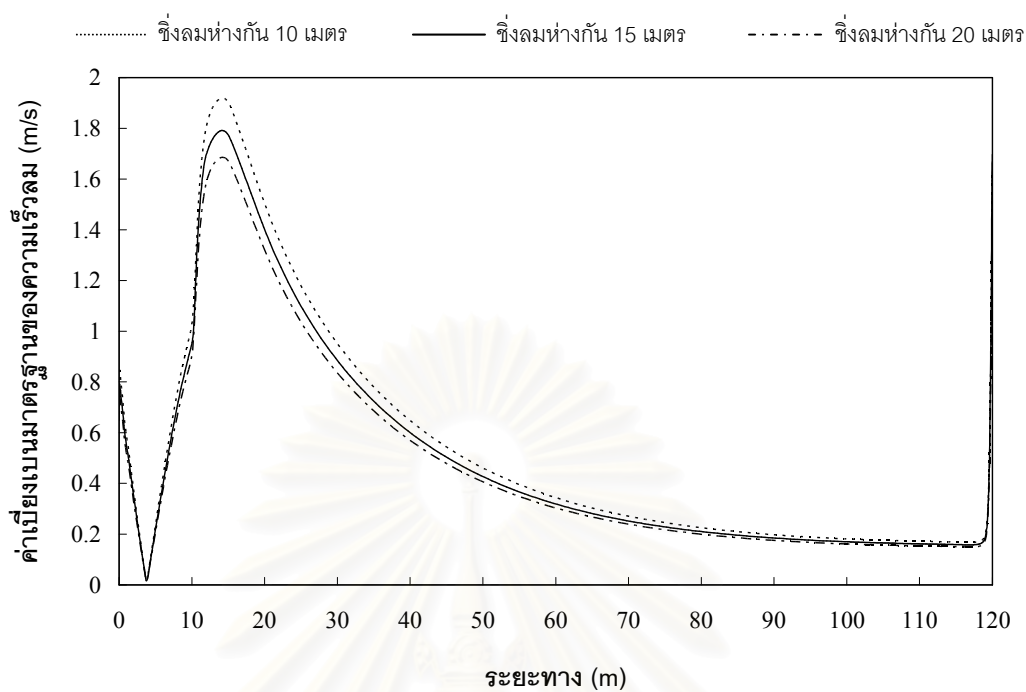
รูปที่ 5.48 ความเร็วลมที่ระดับความสูงจากพื้น 0.3 เมตรภายในโรงเรือนที่มีระยะห่างระหว่างชั่งลม

(ก) 10 และ 15 เมตร      (ข) 15 และ 20 เมตร

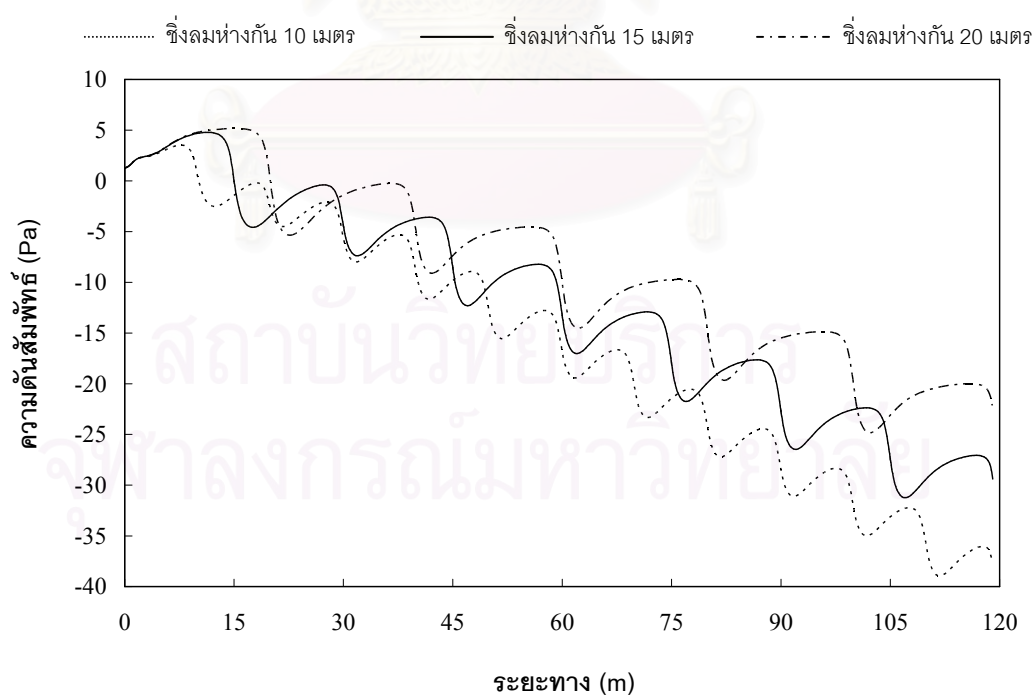
(ระนาบคำนวณแนวนอนตั้ง)



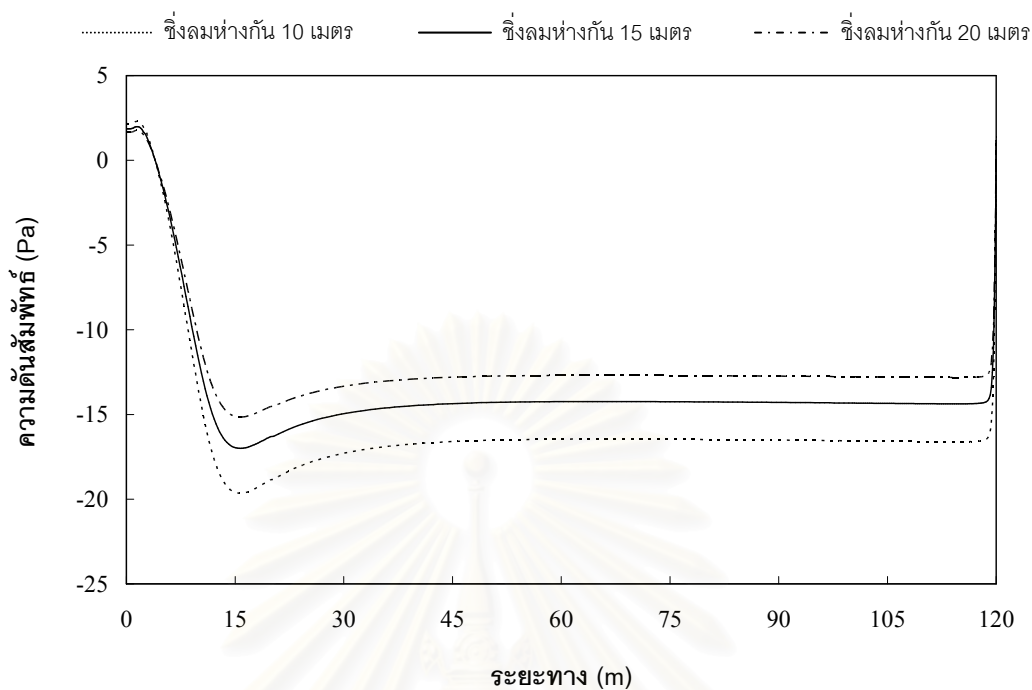
รูปที่ 5.49 ลักษณะความเร็วลมที่ตำแหน่งต่างๆ ตลอดความกว้างของโรงเรือนที่ติดชิงลมห่างกัน 10, 15 และ 20 เมตร (ระนาบค่านวนแนวราบ)



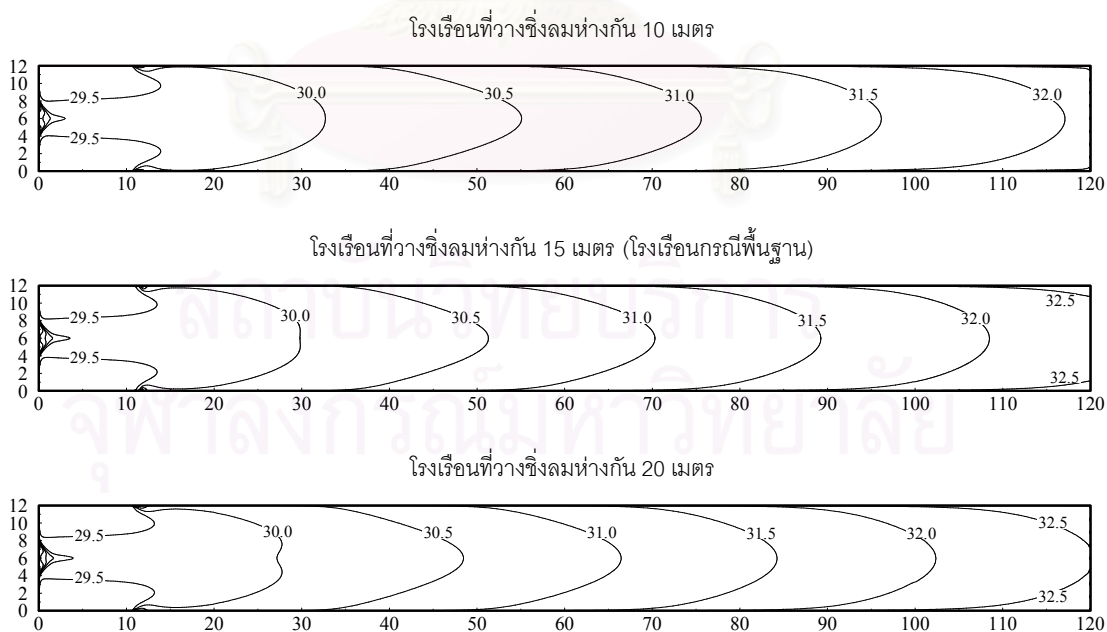
รูปที่ 5.50 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร็วลมในแต่ละหน้าตัดความกว้างของโรงเรือนที่ติดตั้งชิงลมห่างกัน 10, 15 และ 20 เมตร



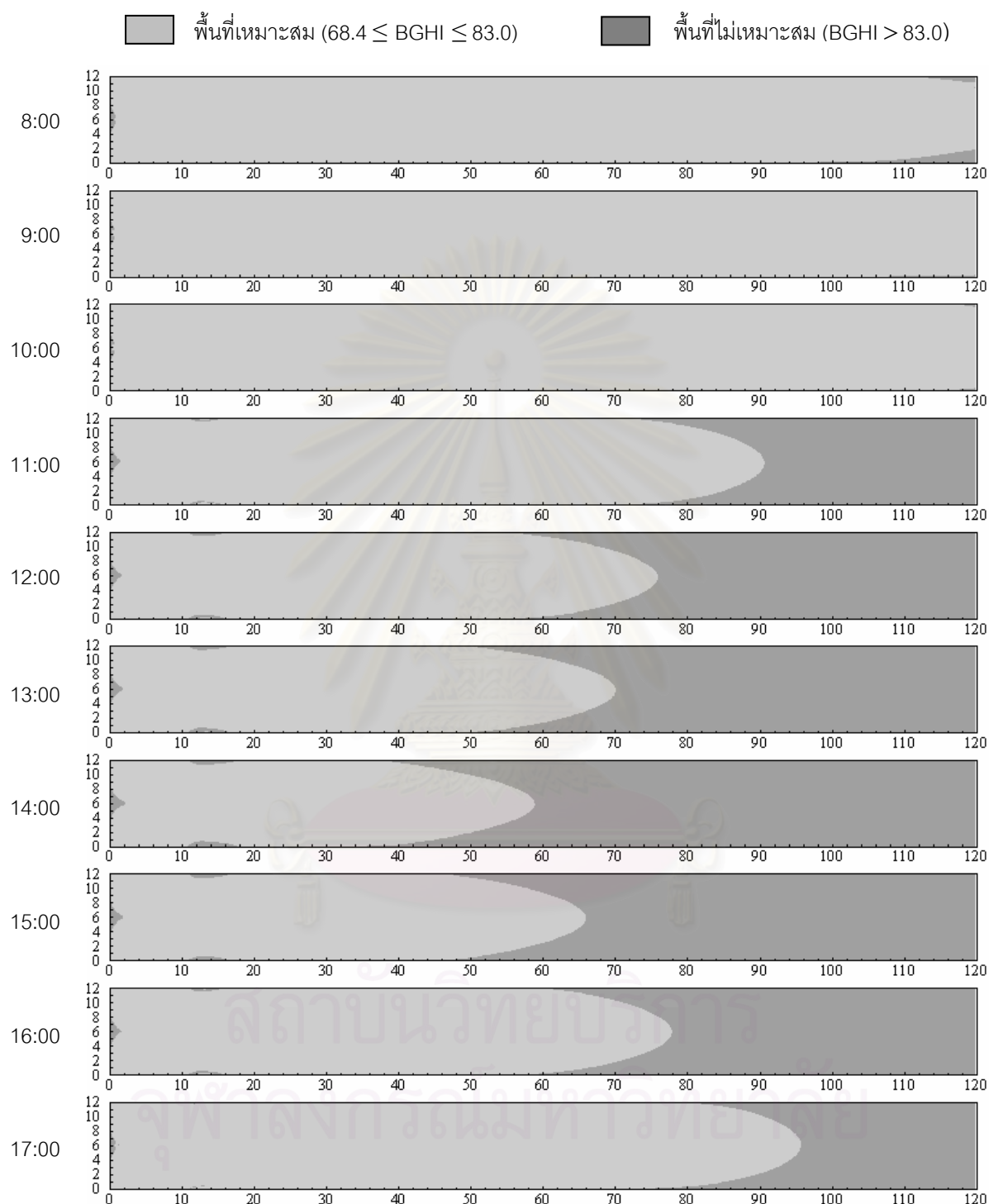
รูปที่ 5.51 ความดันอากาศสัมพัทธ์ที่ระดับความสูงจากพื้น 1.1 เมตร ที่ระยะทางต่างๆ ภายในโรงเรือนที่ติดตั้งชิงลมห่างกัน 10, 15 และ 20 เมตร (ระนาบคำนวณแนวตั้ง)



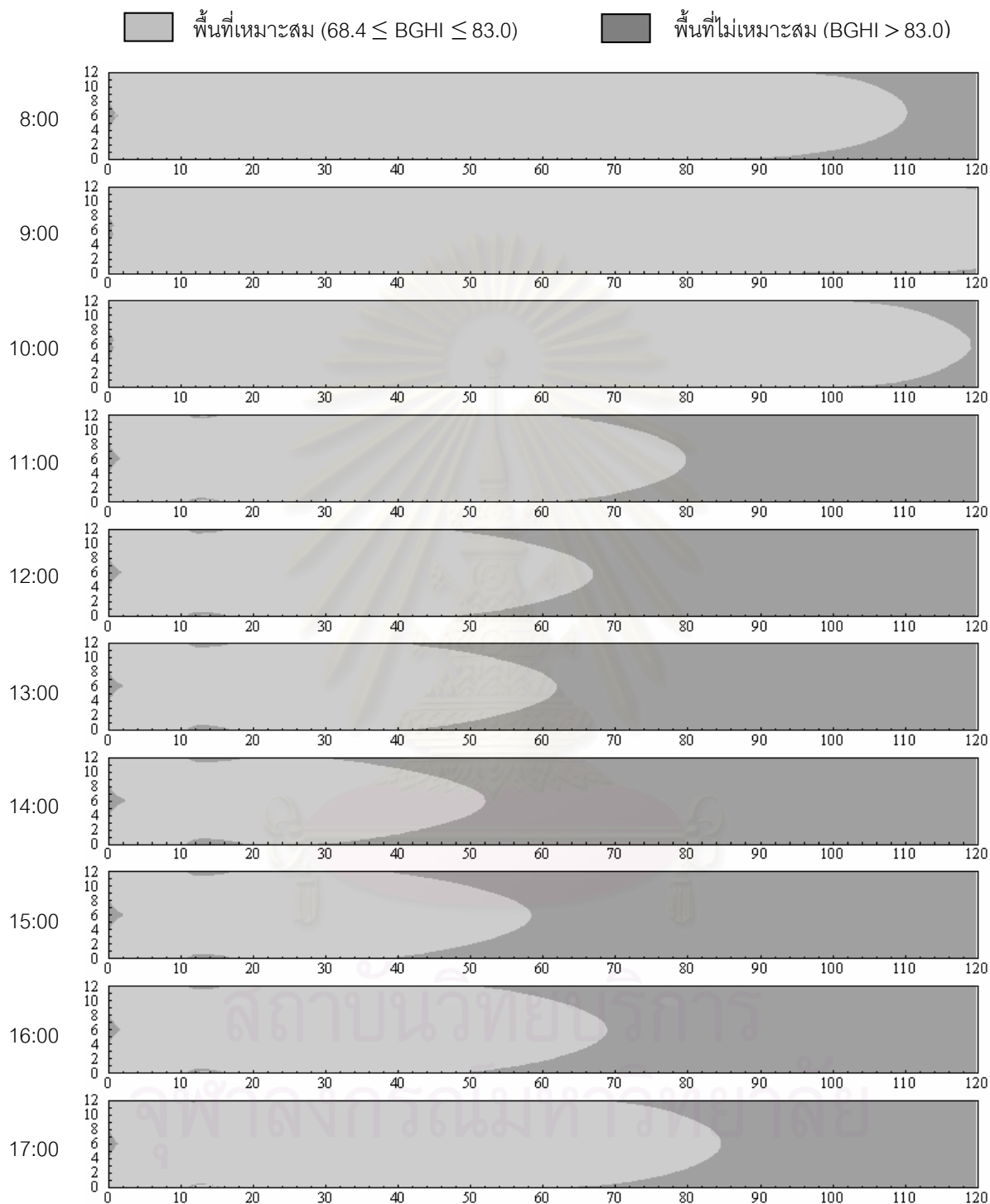
รูปที่ 5.52 ความดันอากาศสัมพัทธ์ที่กึ่งกลางโรงเรือนภายในโรงเรือนที่ติดซึ่งลมห่างกัน 10, 15 และ 20 เมตร (ระนาบค่านวณแนวราบ)



รูปที่ 5.53 อุณหภูมิอากาศภายในโรงเรือนที่วางซึ่งลมห่างกัน 10, 15 และ 20 เมตร ในเวลา 14:00 น. ของวันที่ 20 เมษายน

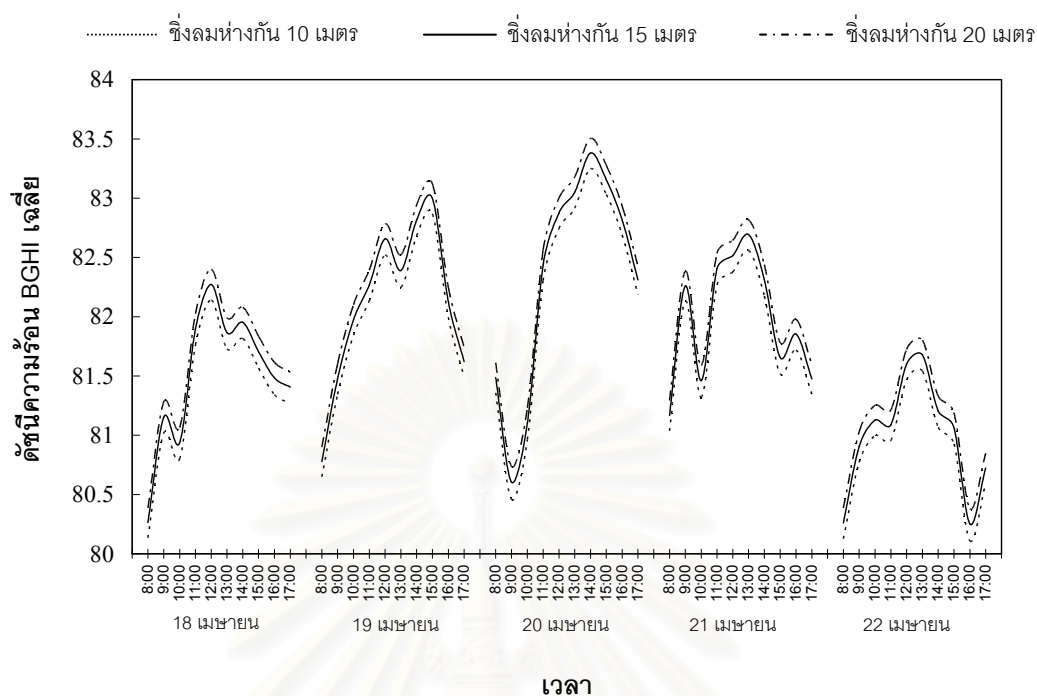


รูปที่ 5.54 พื้นที่ที่เหมาะสมในการเลี้ยงไก่ภายในโรงเรียนที่ติดตั้งลมห่างกัน 10 เมตร  
 ในช่วงเวลา 8:00-17:00 น. ของวันที่ 20 เมษายน



รูปที่ 5.55 พื้นที่ที่เหมาะสมในการเลี้ยงไก่ภายในโรงเรียนที่ติดตั้งลมห่างกัน 20 เมตร  
ในช่วงเวลา 8:00-17:00 น. ของวันที่ 20 เมษายน

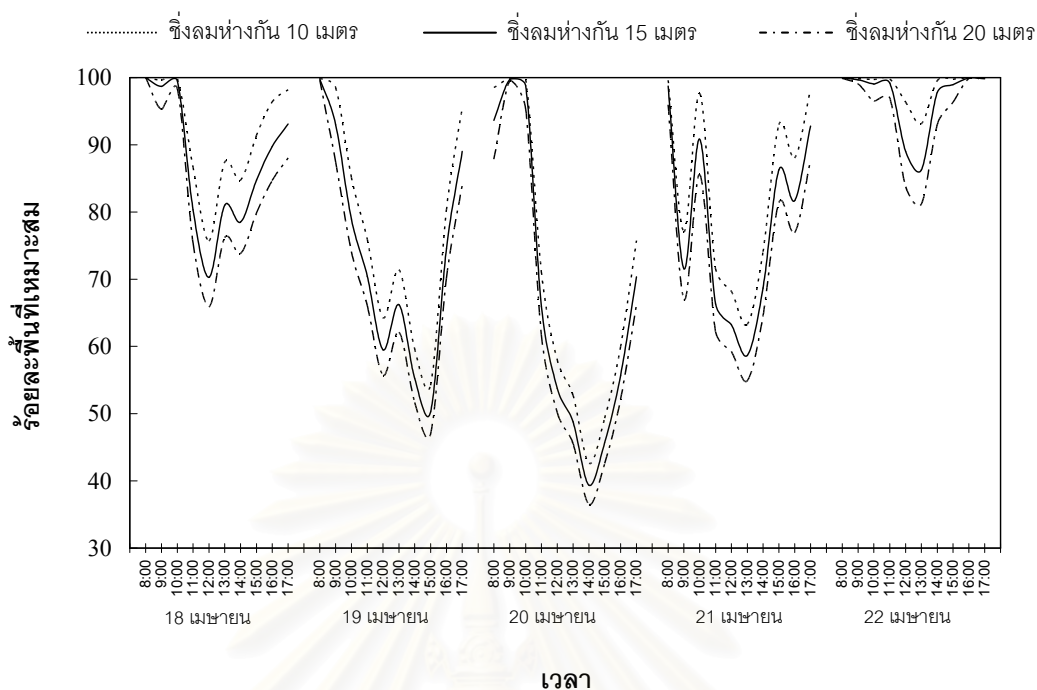




รูปที่ 5.56 ระดับความร้อน BGHI เฉลี่ยภายในโรงเรียนที่ติดตั้งชิงลมห่างกัน 10, 15 และ 20 เมตร ในช่วงเวลา 8:00-17:00 น. ของวันที่ 18-22 เมษายน

ตารางที่ 5.7 ผลต่างของค่าระดับความร้อน BGHI เฉลี่ยในโรงเรียนที่ติดตั้งชิงลมห่างกัน 10 และ 20 เมตร เมื่อเทียบกับค่าในโรงเรียนกรณีพื้นฐาน

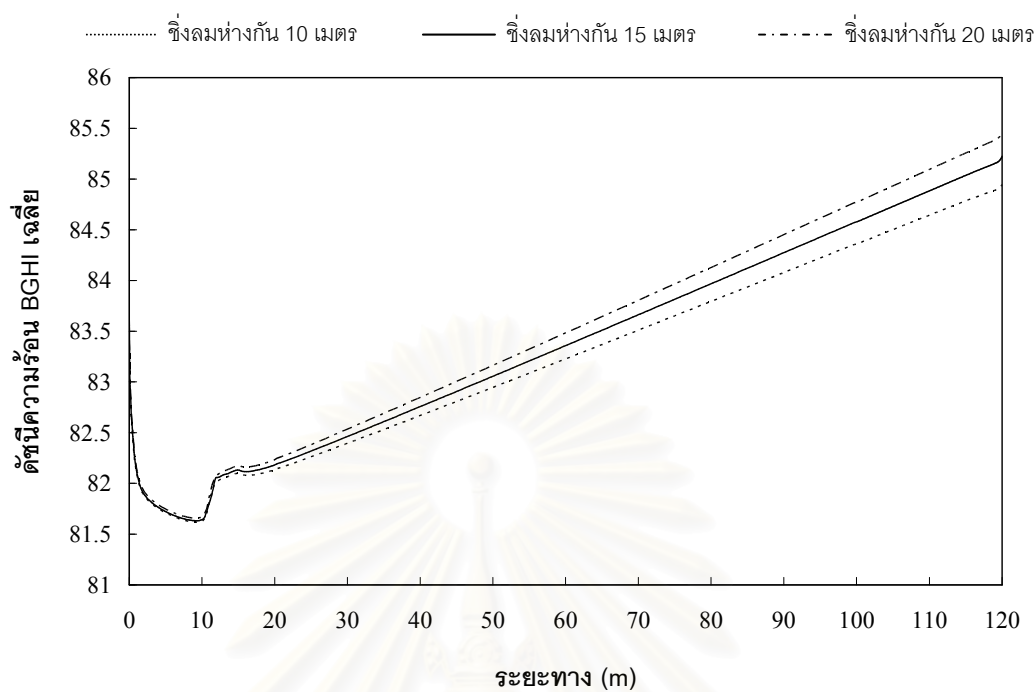
เวลา	โรงเรียนที่วางชิงลมห่างกัน 10 เมตร					โรงเรียนที่วางชิงลมห่างกัน 20 เมตร				
	18-เม.ย.	19-เม.ย.	20-เม.ย.	21-เม.ย.	22-เม.ย.	18-เม.ย.	19-เม.ย.	20-เม.ย.	21-เม.ย.	22-เม.ย.
8.00	-0.13	-0.13	-0.13	-0.13	-0.13	0.12	0.12	0.12	0.13	0.13
9.00	-0.14	-0.13	-0.15	-0.13	-0.13	0.13	0.13	0.13	0.12	0.13
10.00	-0.14	-0.13	-0.14	-0.14	-0.13	0.13	0.12	0.13	0.13	0.12
11.00	-0.14	-0.13	-0.13	-0.14	-0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.12
12.00	-0.13	-0.14	-0.13	-0.14	-0.13	0.13	0.13	0.12	0.13	0.12
13.00	-0.14	-0.14	-0.14	-0.13	-0.14	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13
14.00	-0.14	-0.13	-0.13	-0.14	-0.14	0.13	0.13	0.12	0.13	0.13
15.00	-0.14	-0.13	-0.13	-0.14	-0.14	0.13	0.12	0.12	0.12	0.13
16.00	-0.14	-0.13	-0.12	-0.13	-0.14	0.13	0.12	0.12	0.12	0.13
17.00	-0.14	-0.13	-0.12	-0.13	-0.13	0.13	0.12	0.12	0.12	0.12



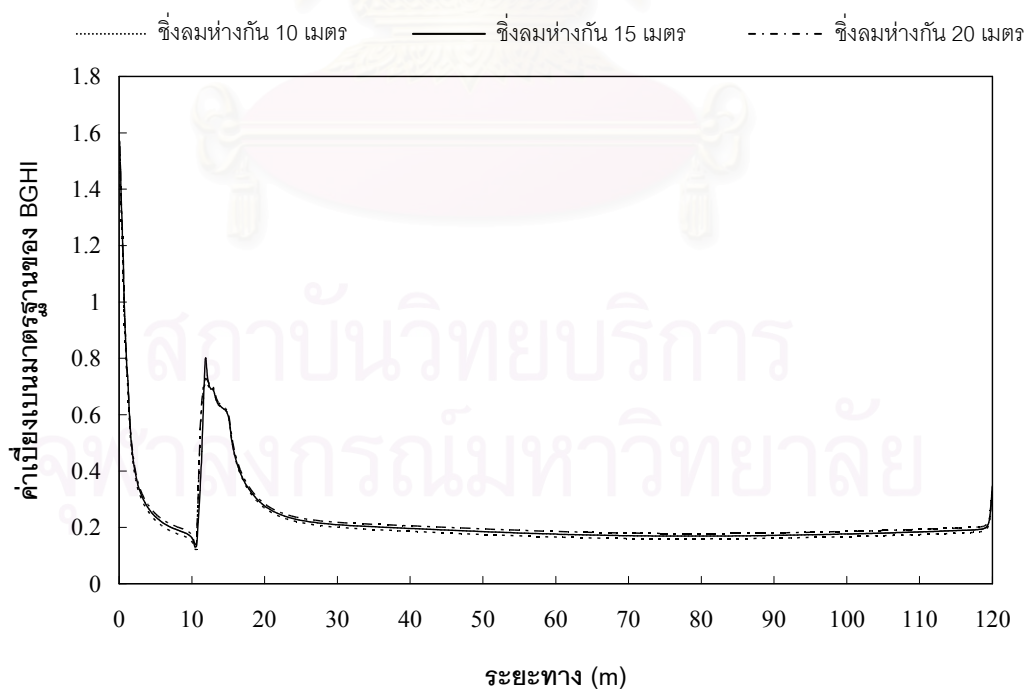
รูปที่ 5.57 ร้อยละของพื้นที่เลี้ยงไก่ที่เหมาะสมภายในโรงเรียนที่ติดซึ่งลมห่างกัน 10, 15 และ 20 เมตร ในช่วงเวลา 8:00-17:00 น.ของวันที่ 18-22 เมษายน

ตารางที่ 5.8 ผลต่างของค่าร้อยละพื้นที่เลี้ยงไก่ที่เหมาะสมในโรงเรียนที่ติดซึ่งลมห่างกัน 10 และ 20 เมตร เมื่อเทียบกับค่าในโรงเรียนกรณีพื้นฐาน

เวลา	โรงเรียนที่วางซึ่งลมห่างกัน 10 เมตร					โรงเรียนที่วางซึ่งลมห่างกัน 20 เมตร				
	18-เม.ย.	19-เม.ย.	20-เม.ย.	21-เม.ย.	22-เม.ย.	18-เม.ย.	19-เม.ย.	20-เม.ย.	21-เม.ย.	22-เม.ย.
8.00	0.0	0.1	4.9	0.9	0.0	0.0	-0.2	-5.8	-2.8	0.0
9.00	0.9	5.5	0.1	5.5	0.2	-3.4	-5.6	-0.2	-4.6	-0.6
10.00	0.3	6.2	0.9	6.8	0.7	-1.2	-4.8	-3.5	-5.3	-2.5
11.00	6.3	5.5	5.1	5.2	0.6	-5.0	-4.4	-4.2	-4.2	-2.3
12.00	5.4	4.7	4.2	5.0	7.3	-4.4	-3.8	-3.6	-4.0	-5.3
13.00	6.4	5.2	3.9	4.6	6.9	-4.8	-4.1	-3.3	-3.8	-5.1
14.00	6.2	4.4	3.2	5.4	1.7	-4.7	-3.6	-2.9	-4.2	-4.8
15.00	6.6	4.0	3.6	6.7	0.8	-4.9	-3.3	-3.1	-4.9	-2.6
16.00	6.6	5.8	4.3	6.3	0.0	-5.1	-4.4	-3.6	-4.8	-0.1
17.00	5.1	6.5	5.4	5.4	0.1	-5.1	-5.0	-4.2	-5.1	-0.3



รูปที่ 5.58 ดัดขึ้นความร้อน BGHI เฉลี่ยตลอดความกว้างของโรงเรือน ภายในโรงเรือนซึ่งติดชั่งลมห่างกัน 10, 15 และ 20 เมตร ในเวลา 14:00 น. ของวันที่ 20 เมษายน



รูปที่ 5.59 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของดัดขึ้นความร้อน BGHI ตามความกว้างของโรงเรือน ภายในโรงเรือนที่ติดชั่งลมห่างกัน 10, 15 และ 20 เมตร ในเวลา 14:00 น. ของวันที่ 20 เมษายน

## 5.6 อิทธิพลของความสูงซึ่งลมจากพื้นที่มีต่อความเร็วลม, ค่าความดันตก และดัชนีความชื้น BGHI

ความสูงของซึ่งลมจะส่งผลต่อค่าความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับตัวไก่ ในการตรวจสอบอิทธิพลของซึ่งลมจึงได้ทำการกำหนดระยะความสูงของตำแหน่งซึ่งลมที่แตกต่างไปจากในโรงเรือนกรณีพื้นฐาน โดยจะทำการติดตั้งซึ่งลมที่ความสูงจากพื้น 1.75 และ 2.75 เมตร ในขณะที่ขนาดและองค์ประกอบอื่นๆ ของโรงเรือนทั้งสองจะเหมือนกับโรงเรือนกรณีพื้นฐาน นอกจากนี้เนื่องจากตำแหน่งการติดตั้งซึ่งลมไม่ส่งผลต่อค่าอัตราการระเหยอากาศภายในโรงเรือน ดังนั้นในระนาบคำนวณแนวตั้งของโรงเรือนที่มีความสูงซึ่งลมต่างกันก็ยังคงมีค่าความเร็วลมที่ทางเข้าเท่ากับค่าความเร็วของโรงเรือนกรณีพื้นฐาน

### อิทธิพลที่มีต่อความเร็วลมเฉลี่ยและการกระจายลม

เมื่อทำการคำนวณเชิงเลขเพื่อหาค่าความเร็วลมที่ตำแหน่งต่างๆ ในระนาบคำนวณแนวตั้งโดยวางกริดแบบไม่สม่ำเสมอจำนวน  $349 \times 139$  และ  $349 \times 143$  สำหรับโรงเรือนที่ติดตั้งซึ่งลมสูงจากพื้น 1.75 และ 2.75 เมตรตามลำดับ โดยจะได้คำตอบไม่เปลี่ยนแปลงตามจำนวนกริดที่ใช้ ซึ่งลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าความเร็วลมที่ระดับความสูงจากพื้น 0.3 เมตรในโรงเรือนที่ติดตั้งซึ่งลมสูง 1.75, 2.0 และ 2.75 เมตร ได้แสดงในรูปที่ 5.60 ค่าความเร็วลมในโรงเรือนที่ติดตั้งซึ่งลมสูง 1.75 เมตร จะมีช่วงการเปลี่ยนแปลงที่กว้างมากตลอดความยาวของโรงเรือน แต่ก็ให้ค่าเฉลี่ยสูงสุดคือมีค่าเท่ากับ  $3.98 \text{ m/s}$  ในขณะที่โรงเรือนซึ่งติดตั้งซึ่งลมสูง 2.75 เมตรกลับมีความสม่ำเสมอของความเร็วลมในบริเวณใต้ซึ่งลมกับตำแหน่งที่อยู่ห่างออกไปมากกว่า โดยมีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุดคือเท่ากับ  $2.63 \text{ m/s}$  นั่นคือ ในโรงเรือนที่ติดตั้งซึ่งลมสูง 1.75 เมตรจะมีความเร็วลมเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 12.6% และโรงเรือนที่ติดตั้งซึ่งลมสูง 2.75 เมตร จะมีความเร็วลมเฉลี่ยลดลง 25.6%

ในระนาบคำนวณแนวราบ ลักษณะของความเร็วลมที่ตำแหน่งต่างๆ ตลอดความกว้างของโรงเรือนแสดงดังรูปที่ 5.61 ซึ่งในช่วงต้นของโรงเรือนที่ติดตั้งซึ่งลม 2.75 เมตร จะมีความแตกต่างของความเร็วลมที่กึ่งกลางและด้านข้างโรงเรือนน้อยกว่าโรงเรือนรูปแบบอื่น แต่เมื่ออากาศไหลจนถึงระยะทางประมาณ 60 เมตร พบว่าความเร็วลมในโรงเรือนทุกรูปแบบมีลักษณะที่คล้ายคลึงกัน จากรูปที่ 5.62 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร็วลมที่แต่ละหน้าตัดของโรงเรือนทั้งสามขนาด จะเปลี่ยนแปลงผกผันกับความสูงของการติดตั้งซึ่งลม นั่นคือเมื่อโรงเรือนติดตั้งซึ่งลมสูงจากพื้นมากขึ้นก็จะมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ลดลง

### อิทธิพลที่มีต่อความดันตกท้ายโรงเรือน

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงค่าความดันสัมพัทธ์ของระนาบคำนวณแนวตั้งภายในโรงเรือนทั้งสามรูปแบบ ดังรูปที่ 5.63 จะพบว่าโรงเรือนที่ติดตั้งลมสูง 2.75 เมตรจะไม่ทำให้ความดันอากาศที่ท้ายโรงเรือนลดลงมากนัก ขณะที่โรงเรือนที่ติดตั้งลมสูง 1.75 เมตรจะมีค่าความดันตกที่ท้ายโรงเรือนประมาณ 50 Pa ซึ่งมีค่ามากกว่าในโรงเรือนกรณีพื้นฐานประมาณ 72.4%

ในระนาบคำนวณแนวราบ ค่าความดันสัมพัทธ์ที่กึ่งกลางโรงเรือนทั้งสามรูปแบบได้แสดงดังรูปที่ 5.64 โรงเรือนที่ติดตั้งลมสูงจากพื้น 1.75 เมตรซึ่งมีความเร็วลมเฉลี่ยสูงสุดจะทำให้เกิดค่าความดันตกในโรงเรือนมากที่สุดเช่นเดียวกัน ในขณะที่โรงเรือนรูปแบบอื่นจะมีความดันตกที่น้อยกว่าตามขนาดของค่าความเร็วลมเฉลี่ยที่ใช้คำนวณในระนาบนี้

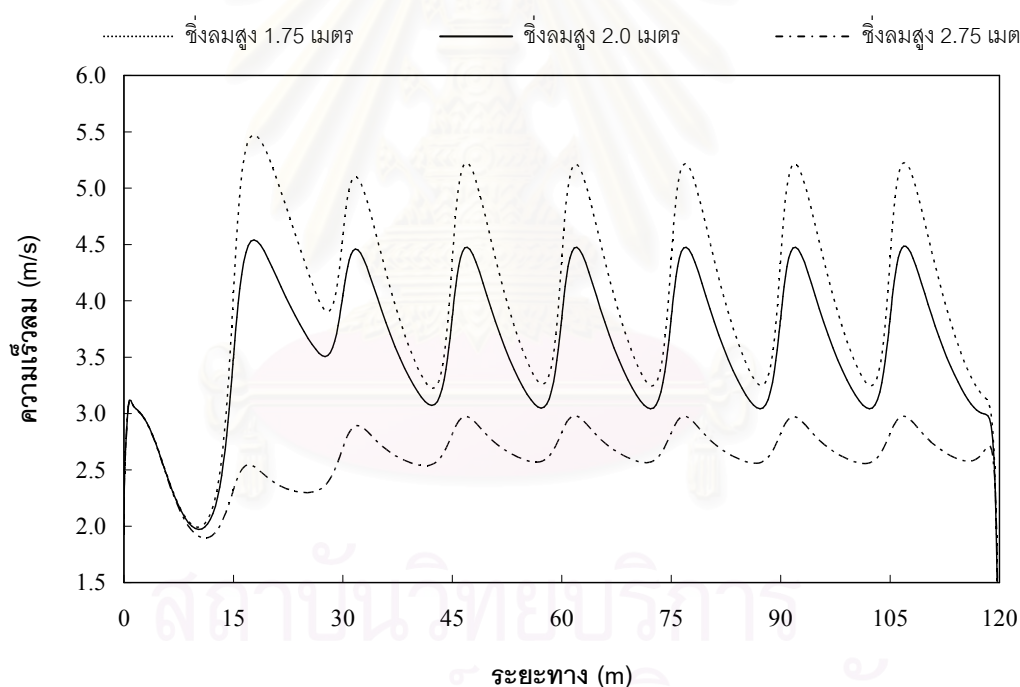
### อิทธิพลที่มีต่อดัชนีความร้อน BGHI

จากการคำนวณหาค่าอุณหภูมิอากาศที่ตำแหน่งต่างๆ ของโรงเรือนทั้งสามรูปแบบในช่วงเวลา 8:00-17:00 น. จะได้ผลการคำนวณดังรูปที่ 5.65 ซึ่งยกตัวอย่างในเวลา 14:00 น. ของวันที่ 20 เมษายน การกระจายอุณหภูมิที่หน้าตัดใดๆ ภายในโรงเรือนทั้งสาม จะมีลักษณะที่คล้ายคลึงกัน แม้ว่าในแต่ละโรงเรือนจะมีอุณหภูมิเฉลี่ยที่แตกต่างกันเล็กน้อยตามค่าเฉลี่ยของความเร็วลมภายใน

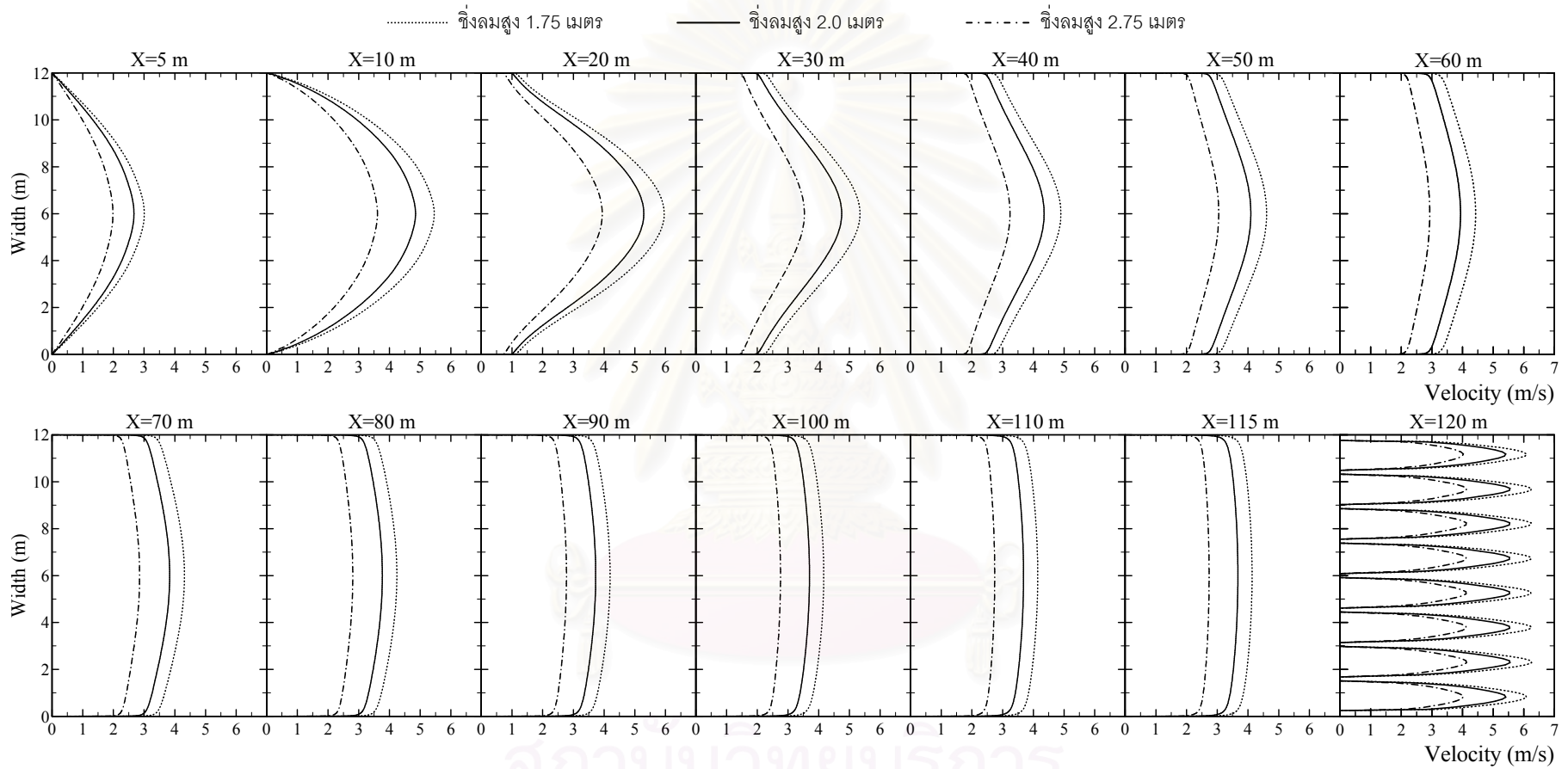
เมื่อคำนวณหาค่าดัชนีความร้อน BGHI ที่ตำแหน่งต่างๆ ในโรงเรือนที่ติดตั้งลมสูงจากพื้น 1.75 และ 2.75 เมตร ทำให้สามารถกำหนดพื้นที่เลี้ยงไก่ที่เหมาะสมภายในโรงเรือนทั้งสองได้ดังรูปที่ 5.66 และ 5.67 ซึ่งยกตัวอย่างผลการคำนวณของวันที่ 20 เมษายน โดยมีการสรุปค่าดัชนีความร้อน BGHI เฉลี่ยและค่าร้อยละของพื้นที่เลี้ยงไก่ที่เหมาะสม ในช่วงเวลา 8:00-17:00 น. ของวันที่ 18-22 เมษายน ดังรูปที่ 5.68 และ 5.69 สำหรับผลต่างของค่าตัวแปรทั้งสองเมื่อเทียบกับค่าในโรงเรือนกรณีพื้นฐานได้แสดงในตารางที่ 5.9 และ 5.10 จะเห็นว่าโรงเรือนที่ติดตั้งลมสูง 2.75 เมตรจะมีค่าดัชนี BGHI เฉลี่ยสูงสุดในทุกชั่วโมง เช่นเดียวกับที่เมื่อพิจารณาค่าร้อยละของพื้นที่ที่เหมาะสมในวันที่ 18-22 เมษายน โรงเรือนนี้จะมีพื้นที่การเลี้ยงที่เหมาะสมลดลงจากโรงเรือนกรณีพื้นฐานประมาณ 15-25% ขณะที่โรงเรือนที่ติดตั้งลมสูงจากพื้น 1.75 เมตร สามารถเลี้ยงไก่ภายใต้พื้นที่ที่เหมาะสมในช่วงเวลา 11:00-17:00 น. ได้มากกว่าโรงเรือนกรณีพื้นฐาน 6-11% โดยประมาณ

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของดัชนี BGHI ที่ระยะทางต่างๆ ยกตัวอย่างในเวลา 14:00 น. ของวันที่ 20 เมษายน จะได้ค่าดัชนีความร้อน BGHI เฉลี่ยตลอดทั้งหน้าตัดความ

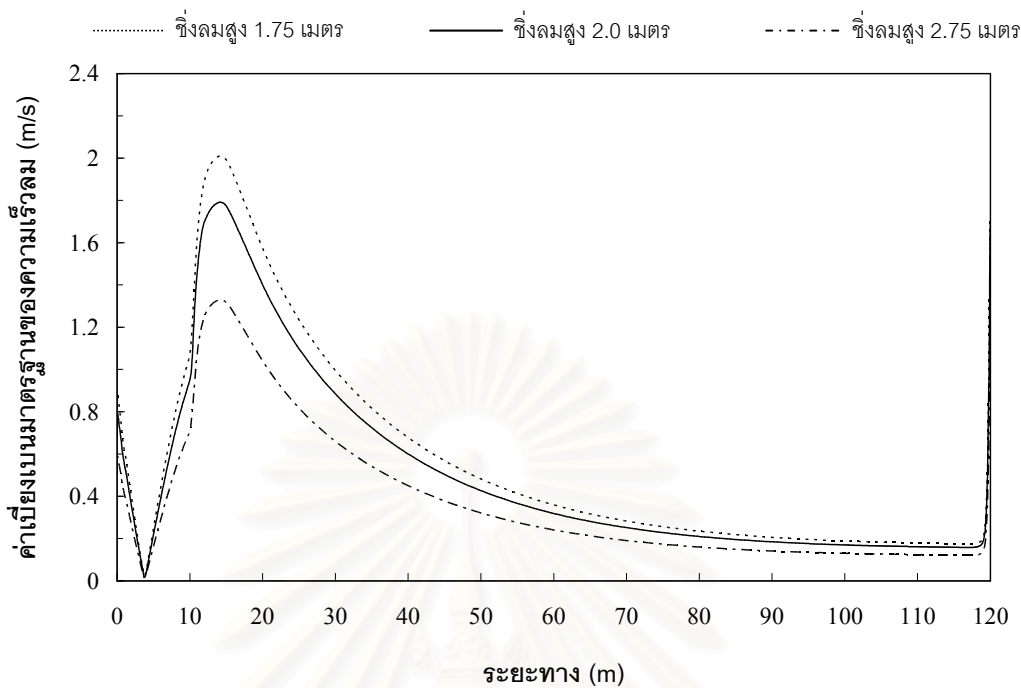
กว้างของโรงเรือนดังรูปที่ 5.70 ซึ่งในโรงเรือนที่ซึ่งลมสูงจากพื้น 2.75 เมตรก็จะมีค่าอัตราการเพิ่มขึ้นของดัชนี BGHI สูงสุดเนื่องจากค่าความเร็วลมเฉลี่ยที่น้อยกว่าทำให้ไม่สามารถนำความร้อนออกจากโรงเรือนได้รวดเร็วเพียงพอ จึงเกิดการสะสมของความร้อนภายใน ส่วนในรูปที่ 5.71 เป็นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของดัชนีความร้อน BGHI ตลอดความกว้างของโรงเรือนในเวลา 14:00 น. แม้ว่าในโรงเรือนที่ติดซึ่งลมสูง 2.75 เมตรจะมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร็วลมต่ำกว่าโรงเรือนรูปแบบอื่นแต่กลับมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของ BGHI สูงกว่า ทั้งนี้เมื่อกลับไปพิจารณาที่รูปที่ 5.67 ลักษณะความลาดเอียงของเส้นแบ่งระหว่างพื้นที่ที่เหมาะสมและไม่เหมาะสมในการเลี้ยงไก่ได้แสดงให้เห็นว่ามีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วของดัชนี BGHI จากบริเวณผนังข้างจนถึงกลางโรงเรือน หรือกล่าวได้ว่ามีความแตกต่างระหว่างค่าดัชนี BGHI ที่กึ่งกลางและด้านข้างโรงเรือนสูงกว่ำนั่นเอง



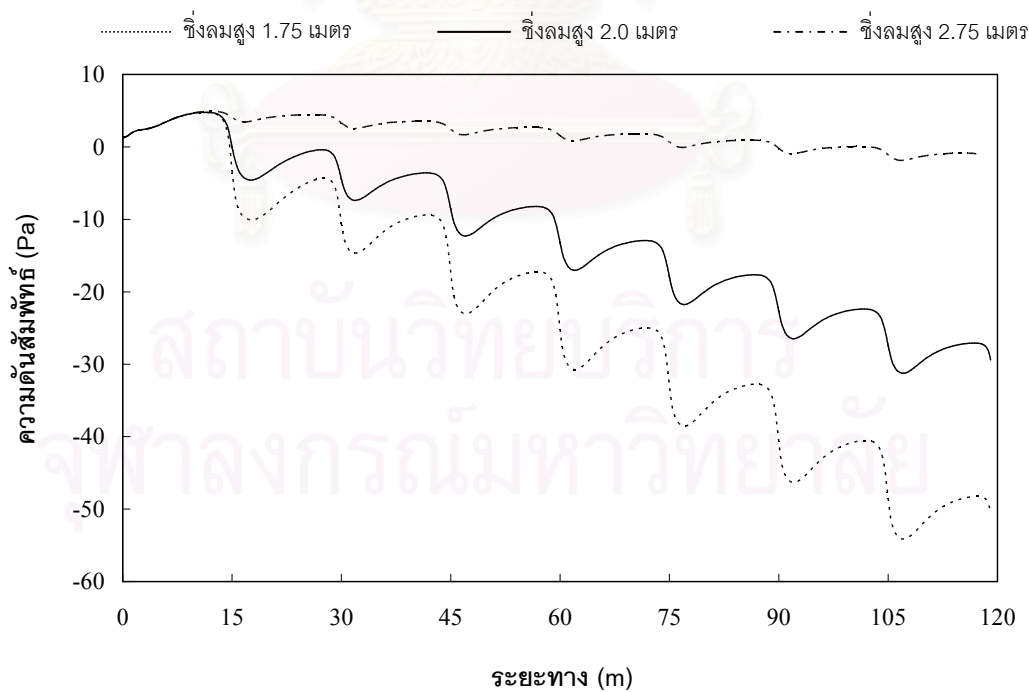
รูปที่ 5.60 ความเร็วลมที่ระดับความสูง 0.3 เมตร ภายในโรงเรือนที่ติดซึ่งลมสูงจากพื้น 1.75, 2.0 และ 2.75 เมตร (ระนาบค่านวณแนวตั้ง)



รูปที่ 5.61 ลักษณะความเร็วลมที่ตำแหน่งต่างๆ ตลอดความกว้างของโรงเรือนที่ติดตั้งลมสูงจากพื้น 1.75, 2.0 และ 2.75 เมตร (ระนาบค่านวนแนวราบ)

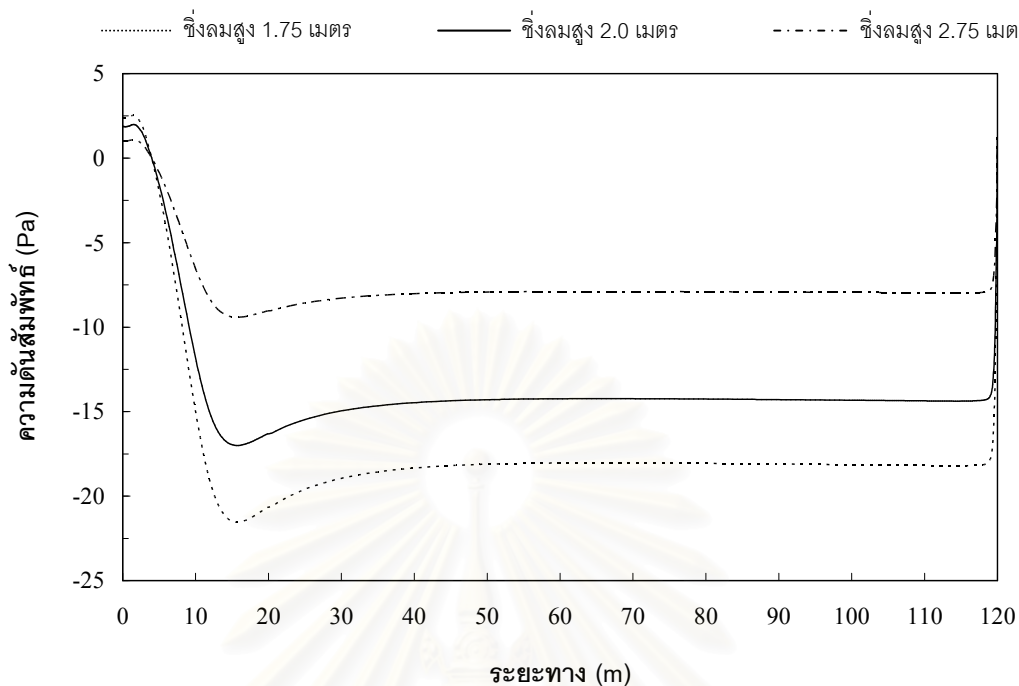


รูปที่ 5.62 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร็วลมในแต่ละหน้าตัดความกว้างของโรงเรือนที่ติดตั้งชิงลมสูงจากพื้น 1.75, 2.0 และ 2.75 เมตร (ระนาบค่านวณแนวราบ)

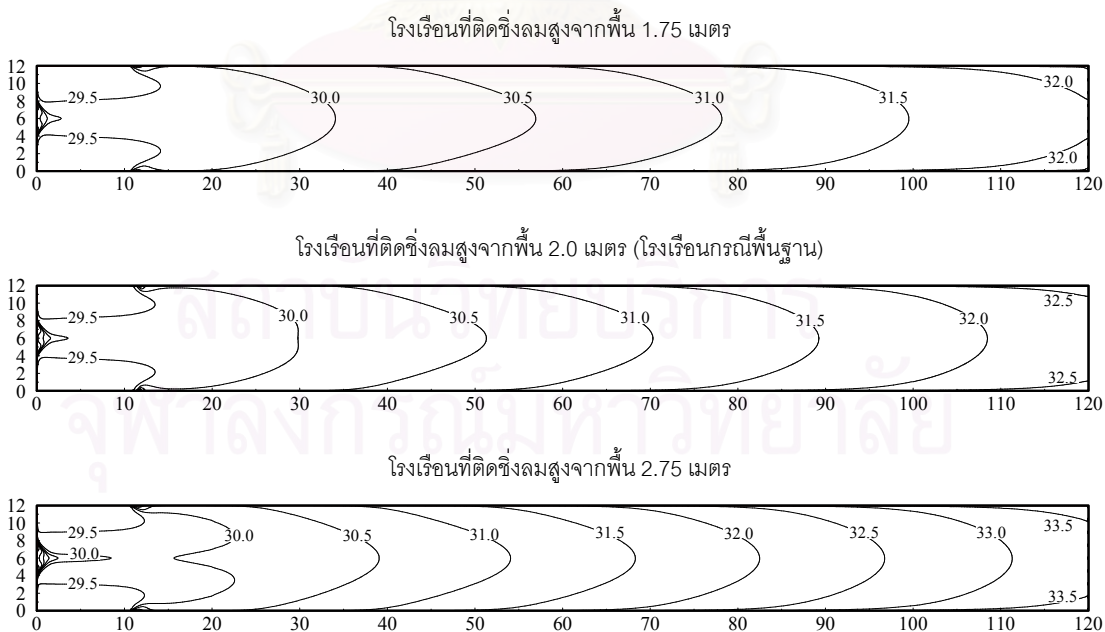


รูปที่ 5.63 ความดันอากาศสัมพัทธ์ที่ระดับความสูง 1.1 เมตร ภายในโรงเรือนที่ติดตั้งชิงลมสูงจากพื้น 1.75, 2.0 และ 2.75 เมตร (ระนาบค่านวณแนวตั้ง)

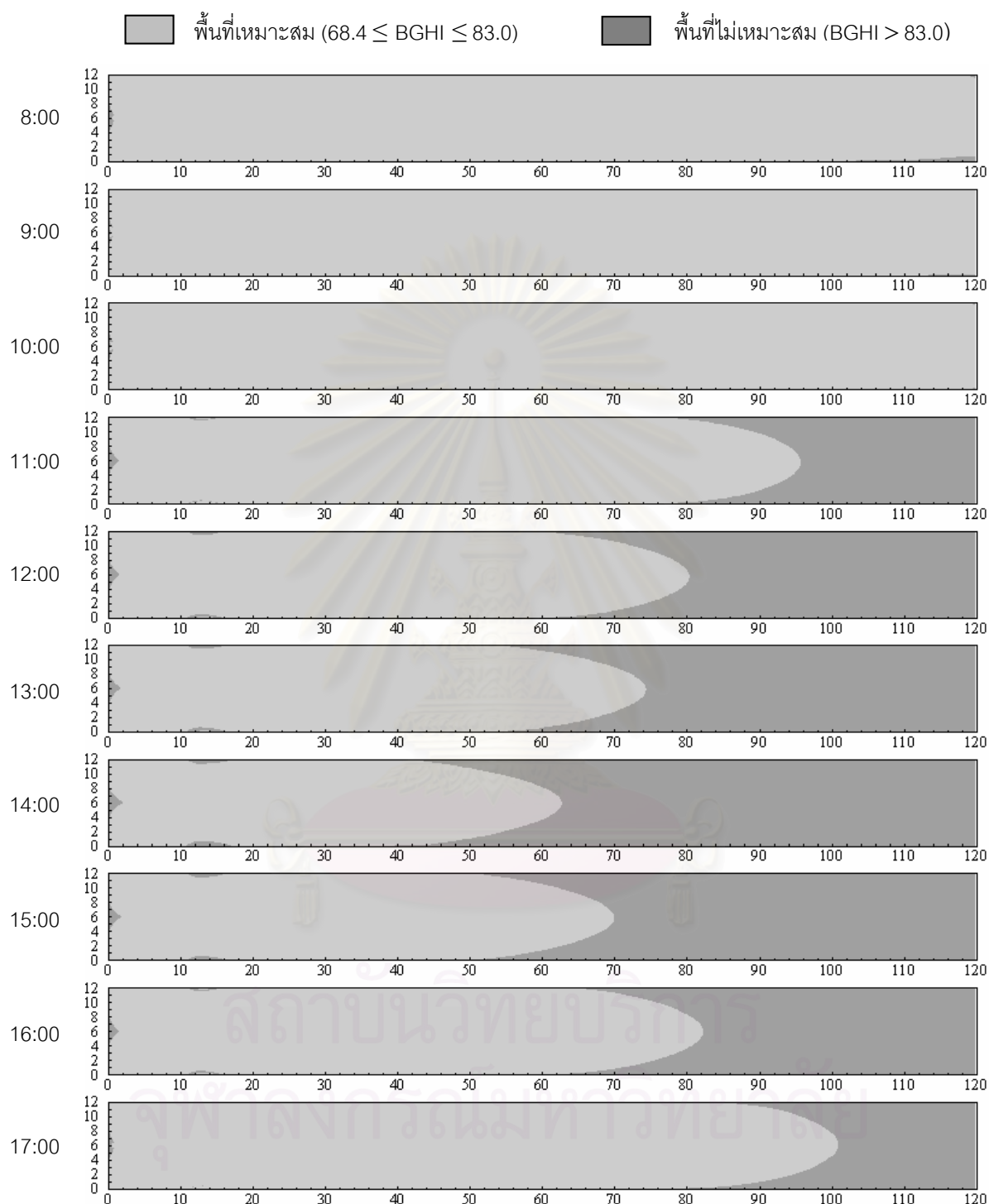




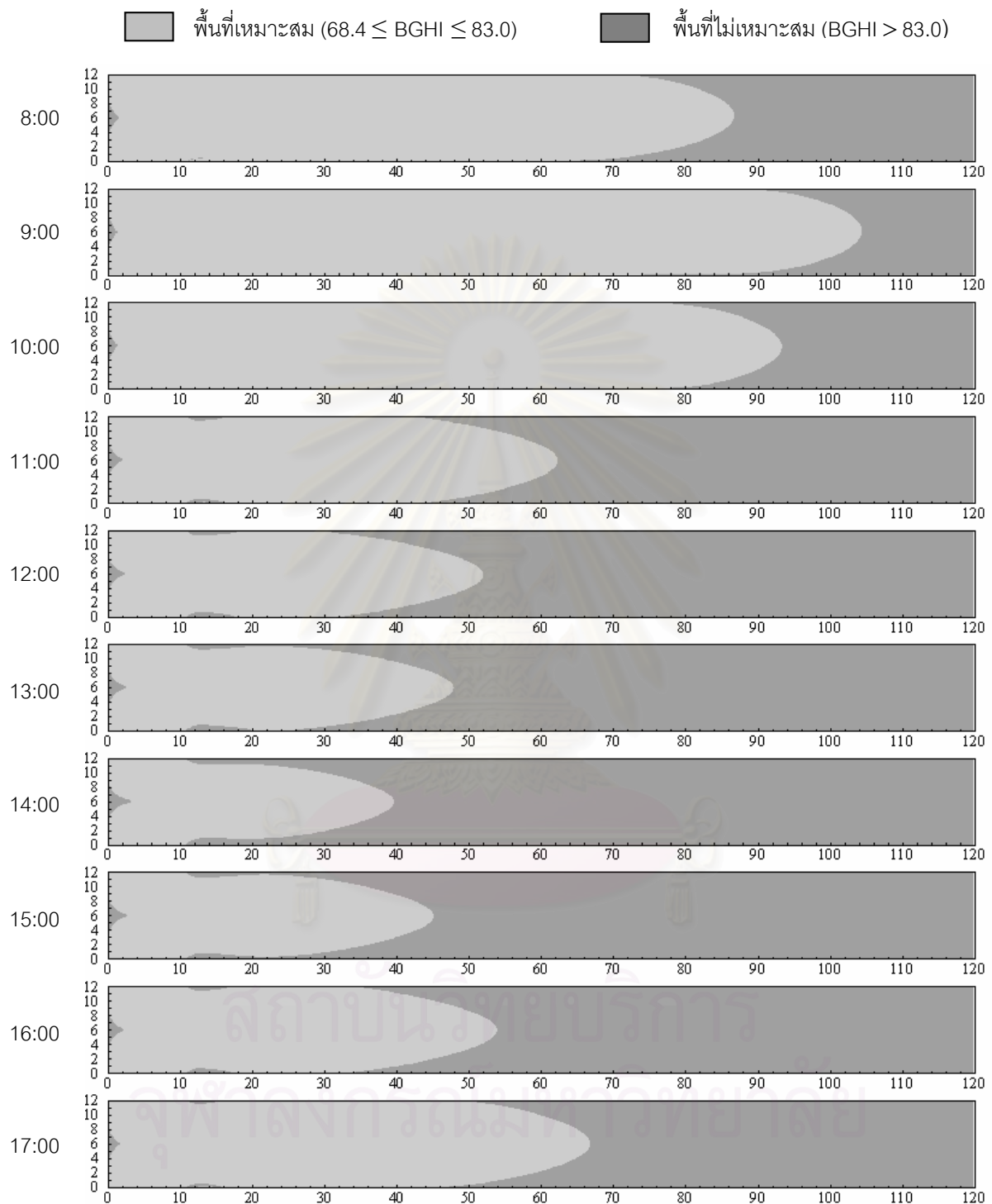
รูปที่ 5.64 ความดันอากาศสัมพัทธ์ที่กึ่งกลางโรงเรือน ที่ระยะทางต่างๆ ภายในโรงเรือนที่ติดซึ่งลมสูงจากพื้น 1.75, 2.0 และ 2.75 เมตร (ระนาบค่านวนแนวราบ)



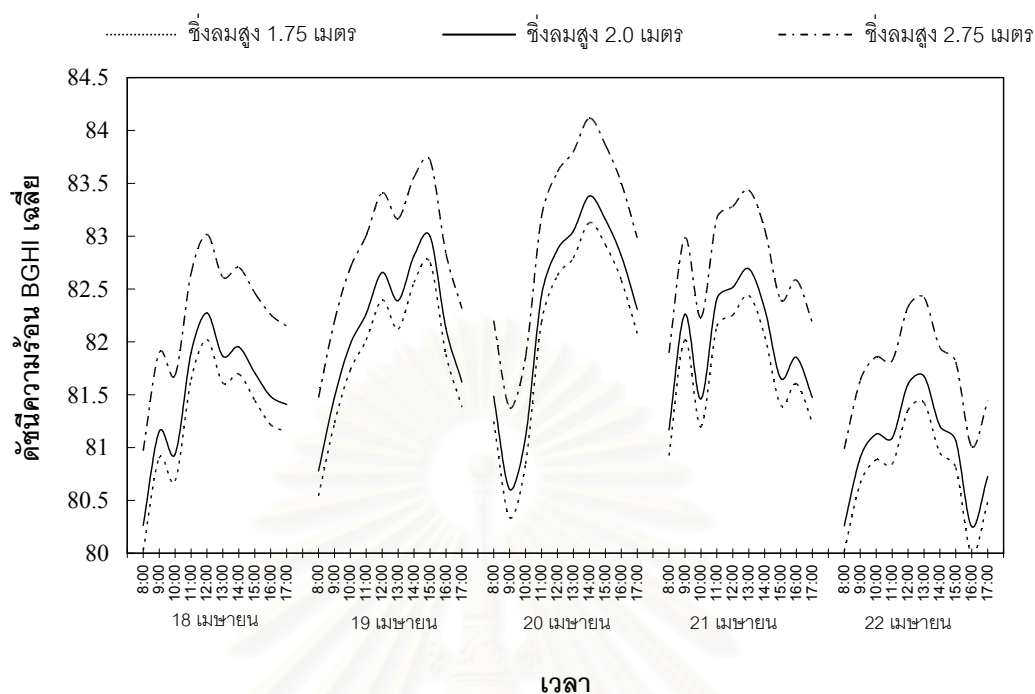
รูปที่ 5.65 อุณหภูมิอากาศภายในโรงเรือนที่ติดซึ่งลมสูงจากพื้น 1.75, 2.0 และ 2.75 เมตร ในเวลา 14:00 น. ของวันที่ 20 เมษายน



รูปที่ 5.66 พื้นที่ที่เหมาะสมในการเลี้ยงไก่ภายในโรงเรือนที่ติดตั้งลมสูงจากพื้น 1.75 เมตร  
 ในช่วงเวลา 8:00-17:00 น. ของวันที่ 20 เมษายน



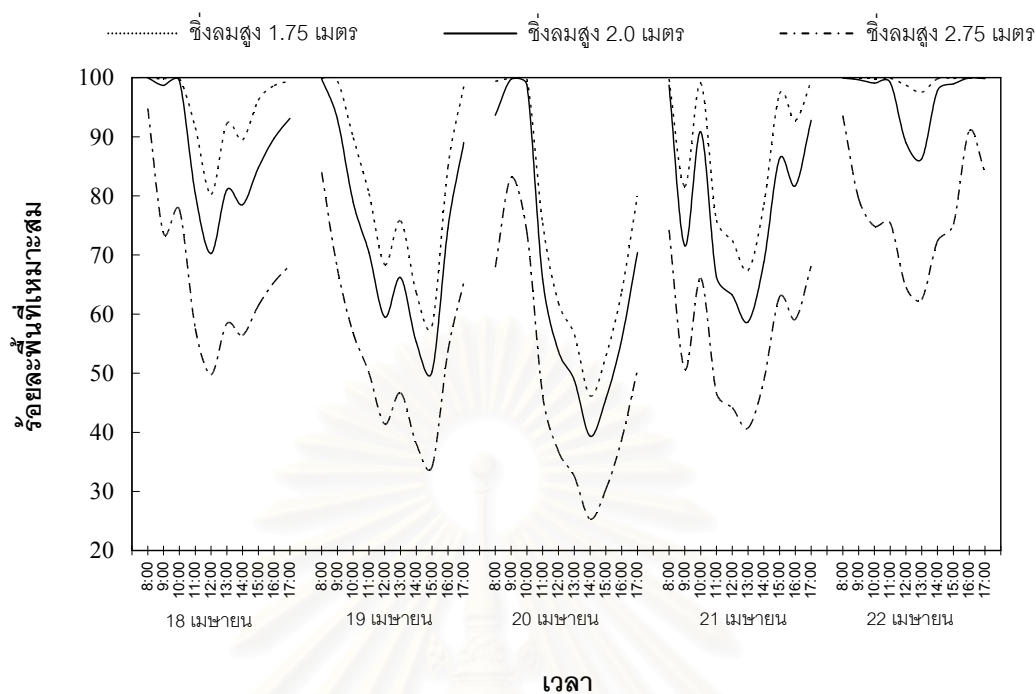
รูปที่ 5.67 พื้นที่ที่เหมาะสมในการเลี้ยงไก่ภายในโรงเรือนที่ติดตั้งลมสูงจากพื้น 2.75 เมตร  
 ในช่วงเวลา 8:00-17:00 น. ของวันที่ 20 เมษายน



รูปที่ 5.68 ดัชนีความร้อน BGHI เฉลี่ยภายในโรงเรียนที่ติดตั้งขั้วลมสูงจากพื้น 1.75, 2.0 และ 2.75 เมตร ในช่วงเวลา 8:00-17:00 น. ของวันที่ 18-22 เมษายน

ตารางที่ 5.9 ผลต่างของค่าดัชนีความร้อน BGHI เฉลี่ยในโรงเรียนที่ติดตั้งขั้วลมสูงจากพื้น 1.75 และ 2.75 เมตร เมื่อเทียบกับค่าในโรงเรียนกรณีพื้นฐาน

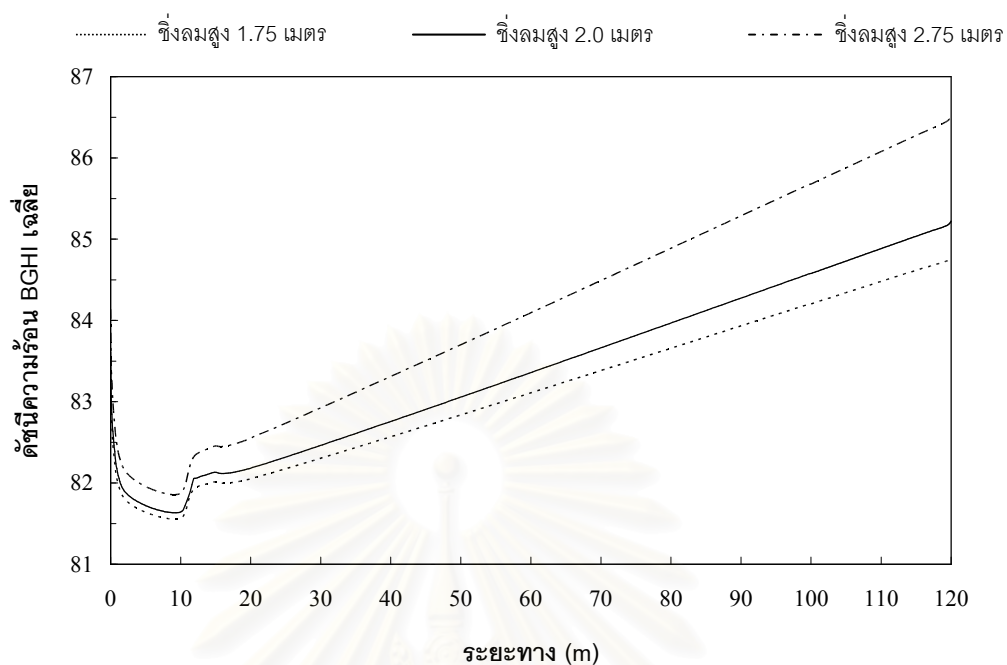
เวลา	โรงเรียนที่ติดตั้งขั้วลมสูงจากพื้น 1.75 เมตร					โรงเรียนที่ติดตั้งขั้วลมสูงจากพื้น 2.75 เมตร				
	18-เม.ย.	19-เม.ย.	20-เม.ย.	21-เม.ย.	22-เม.ย.	18-เม.ย.	19-เม.ย.	20-เม.ย.	21-เม.ย.	22-เม.ย.
8.00	-0.24	-0.24	-0.24	-0.24	-0.24	0.71	0.70	0.71	0.73	0.73
9.00	-0.25	-0.24	-0.27	-0.24	-0.25	0.75	0.72	0.77	0.72	0.73
10.00	-0.25	-0.25	-0.26	-0.26	-0.24	0.75	0.72	0.76	0.77	0.73
11.00	-0.25	-0.25	-0.25	-0.26	-0.25	0.75	0.74	0.74	0.76	0.73
12.00	-0.25	-0.26	-0.25	-0.26	-0.25	0.74	0.75	0.73	0.77	0.73
13.00	-0.25	-0.27	-0.26	-0.25	-0.25	0.75	0.77	0.75	0.74	0.74
14.00	-0.26	-0.26	-0.25	-0.26	-0.25	0.75	0.74	0.74	0.75	0.74
15.00	-0.26	-0.25	-0.24	-0.26	-0.25	0.76	0.72	0.71	0.74	0.74
16.00	-0.27	-0.24	-0.23	-0.25	-0.26	0.77	0.71	0.69	0.73	0.76
17.00	-0.25	-0.24	-0.23	-0.24	-0.24	0.74	0.69	0.68	0.71	0.72



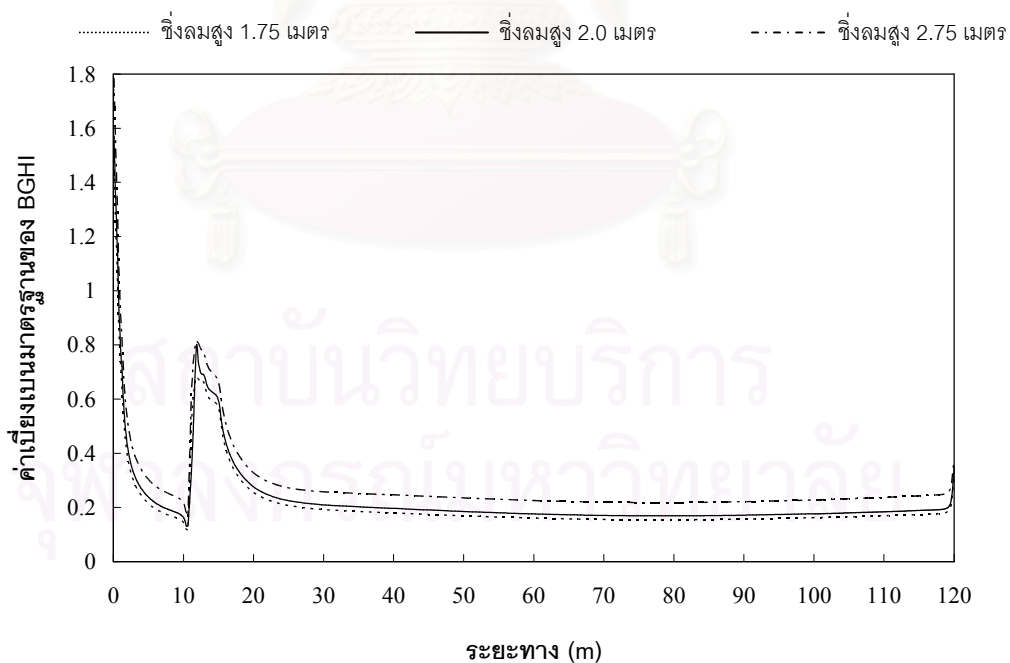
รูปที่ 5.69 ร้อยละของพื้นที่เลี้ยงไก่ที่เหมาะสมภายในโรงเรียนที่ติดตั้งลมสูงจากพื้น 1.75, 2.0 และ 2.75 เมตร ในช่วงเวลา 8:00-17:00 น. ของวันที่ 18-22 เมษายน

ตารางที่ 5.10 ผลต่างของค่าร้อยละพื้นที่เลี้ยงไก่ที่เหมาะสมในโรงเรียนที่ติดตั้งลมสูงจากพื้น 1.75 และ 2.75 เมตร เมื่อเทียบกับค่าในโรงเรียนกรณีพื้นฐาน

เวลา	โรงเรียนที่ติดตั้งลมสูงจากพื้น 1.75 เมตร					โรงเรียนที่ติดตั้งลมสูงจากพื้น 2.75 เมตร				
	18-เม.ย.	19-เม.ย.	20-เม.ย.	21-เม.ย.	22-เม.ย.	18-เม.ย.	19-เม.ย.	20-เม.ย.	21-เม.ย.	22-เม.ย.
8.00	0.0	0.1	5.8	1.0	0.1	-5.2	-15.8	-25.7	-24.5	-6.4
9.00	1.1	6.4	0.2	10.0	0.2	-25.1	-25.3	-16.6	-20.9	-20.1
10.00	0.4	11.0	1.0	8.3	0.8	-21.8	-22.1	-24.8	-24.8	-24.2
11.00	11.2	10.0	9.5	9.6	0.7	-22.8	-20.3	-19.7	-19.7	-23.8
12.00	10.0	8.8	8.1	9.2	9.7	-20.5	-18.1	-17.0	-19.0	-24.5
13.00	11.2	9.6	7.7	8.7	11.3	-22.6	-19.5	-16.3	-18.0	-23.8
14.00	10.9	8.4	6.8	9.7	2.0	-22.1	-17.2	-14.1	-20.0	-25.5
15.00	11.4	7.8	7.2	11.0	0.9	-23.4	-16.1	-15.4	-23.4	-23.8
16.00	8.9	10.3	8.1	11.0	0.1	-24.4	-20.8	-16.9	-22.6	-8.9
17.00	6.3	9.5	9.6	6.6	0.1	-24.8	-23.7	-19.8	-24.6	-15.9



รูปที่ 5.70 ดัชนีความร้อน BGHI เฉลี่ยตลอดความกว้างของโรงเรือน ภายในโรงเรือนซึ่งติดชิงลมสูงจากพื้น 1.75, 2.0 และ 2.75 เมตร ในเวลา 14:00 น. ของวันที่ 20 เมษายน



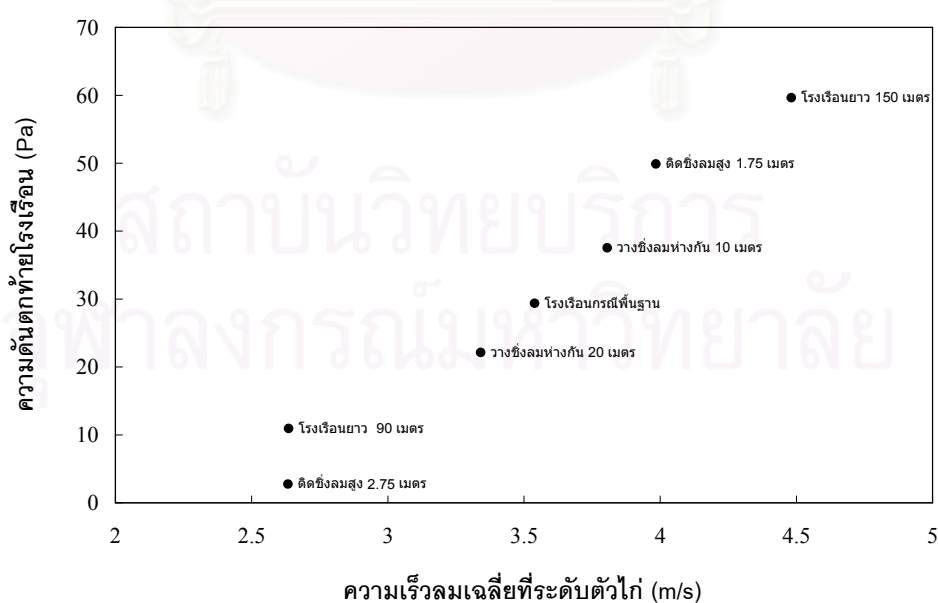
รูปที่ 5.71 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของดัชนีความร้อน BGHI ตามความกว้างของโรงเรือน ภายในโรงเรือนที่ติดชิงลมสูงจากพื้น 1.75, 2.0 และ 2.75 เมตร ในเวลา 14:00 น. ของวันที่ 20 เมษายน

## 5.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลม, ความดันตก และดัชนีความร้อน BGHI ภายในโรงเรียนเลี้ยงไก่พันธุ์เนื้อ

จากข้อมูลผลการคำนวณภายในโรงเรียนรูปแบบต่างๆ ที่ได้ทำการศึกษามานั้น จะพบว่าแต่ละโรงเรียนก็จะมีข้อดี-ข้อเสียในด้านความเร็วลมและความดันตกแตกต่างกันไป อีกทั้งค่าความเร็วลมในโรงเรียนก็ยังส่งผลต่อค่าดัชนีความร้อน BGHI และพื้นที่เลี้ยงไก่ที่เหมาะสม ในหัวข้อนี้จะสรุปข้อมูลที่ได้จากผลการคำนวณในหัวข้อก่อนหน้าเพื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของตัวแปรทั้งสามที่ได้ศึกษาในงานวิจัยนี้ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการออกแบบโรงเรียนที่เหมาะสมต่อไป

### 5.7.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันตกที่ท้ายโรงเรียนและค่าความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับตัวไก่

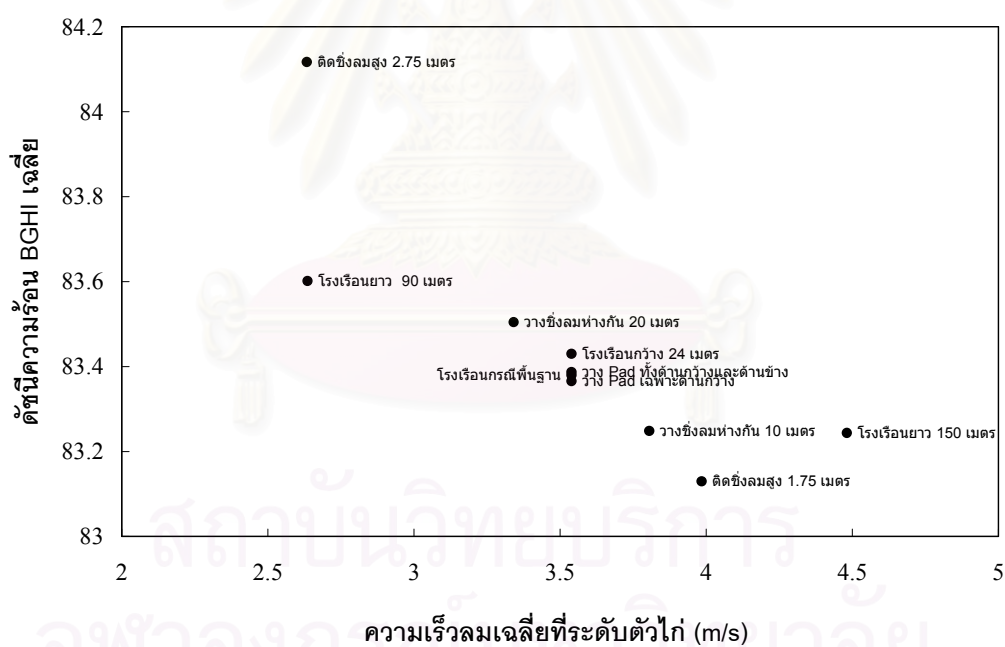
เนื่องจากในโรงเรียนทั้งหมด 10 รูปแบบที่ได้ทำการศึกษา จะมีเพียง 7 รูปแบบ ที่มีค่าความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับตัวไก่แตกต่างกัน ในขณะที่อีก 3 รูปแบบจะมีค่าความเร็วลมเฉลี่ยเท่ากับโรงเรียนกรณีพื้นฐาน คือ โรงเรียนกว้าง 24 เมตร, โรงเรียนที่วางแผงทำความเย็นเฉพาะผนังด้านกว้างและโรงเรียนที่วางแผงทำความเย็นทั้งผนังด้านกว้างและด้านข้าง จากรูปที่ 5.72 ซึ่งเป็นค่าความดันตกที่คำนวณได้จากระนาบคำนวณแนวตั้ง จะพบว่าแนวโน้มของค่าความดันตกที่ท้ายโรงเรียนทั้ง 7 รูปแบบ จะมีค่าสูงขึ้นเมื่อทำการดัดแปลงโรงเรียนให้มีความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับตัวไก่มากขึ้น



รูปที่ 5.72 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันตกที่ท้ายโรงเรียนและค่าความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับตัวไก่ของโรงเรียนรูปแบบต่างๆ

### 5.7.2 ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีความร้อน BGHI เฉลี่ยและค่าความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับตัวไก่

ในที่นี้จะยกตัวอย่างผลการคำนวณของดัชนีความร้อน BGHI เฉลี่ยที่เวลา 14:00 น. ของวันที่ 20 เมษายน จากรูปที่ 5.73 จะเห็นได้ว่าความเร็วลมที่ระดับตัวไก่เป็นตัวแปรสำคัญต่อสภาวะความร้อนของไก่ภายในโรงเรือน กล่าวคือ ถ้าโรงเรือนมีความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับตัวไก่มากขึ้นก็จะทำให้ค่า BGHI เฉลี่ยที่ระดับตัวไก่มีค่าลดลงแม้ว่าจะมีอัตราการระบายน้ำจากอากาศภายในโรงเรือนเท่าๆ กัน นอกจากนี้เมื่อพิจารณาในกรณีที่โรงเรือนมีความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับตัวไก่เท่ากัน นั่นคือในโรงเรือนที่มีความเร็วลมเฉลี่ยประมาณ 3.54 m/s จะมีค่าดัชนีความร้อนเฉลี่ยแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของโรงเรือนเหล่านี้ จะส่งผลเฉพาะในด้านความสัมพันธ์ของความเร็วลมและดัชนีความร้อน ในขณะที่ความร้อนที่เข้าและออกจากโรงเรือนก็จะไม่แตกต่างกันมากนัก

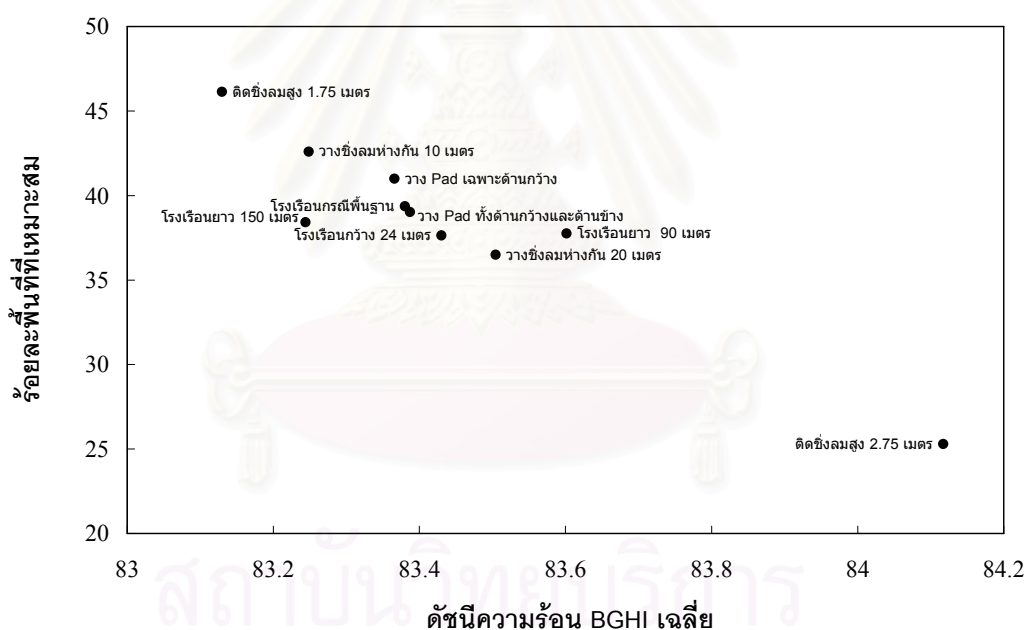


รูปที่ 5.73 ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีความร้อน BGHI เฉลี่ยและค่าความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับตัวไก่ของโรงเรือนรูปแบบต่างๆ ในเวลา 14:00 น. ของวันที่ 20 เมษายน



### 5.7.3 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละพื้นที่เลี้ยงไก่ที่เหมาะสมและดัชนีความร้อน BGHI เฉลี่ยที่ระดับตัวไก่

สำหรับโรงเรือนรูปแบบต่างๆ ที่มีค่าดัชนีความร้อน BGHI เฉลี่ยไม่เท่ากัน จะมีค่าร้อยละของพื้นที่ที่เหมาะสมในการเลี้ยงไก่ ดังรูปที่ 5.74 ซึ่งยกตัวอย่างผลการคำนวณที่เวลา 14:00 น. ของวันที่ 20 เมษายน จากลักษณะแนวโน้มของข้อมูลนั้น โรงเรือนที่มีค่าเฉลี่ยดัชนี BGHI ต่ำก็จะมีร้อยละของพื้นที่ที่เหมาะสมมากกว่าโรงเรือนที่มีค่าเฉลี่ยดัชนี BGHI สูง นอกจากนี้ในบรรดาโรงเรือนทั้ง 4 รูปแบบที่มีความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับตัวไก่เท่ากับในโรงเรือนกรณีพื้นฐาน โรงเรือนที่มีการกระจายลมสม่ำเสมอมากที่สุดคือ โรงเรือนที่วางแผงทำความเย็นเฉพาะผนังด้านกว้าง ก็จะมีร้อยละของพื้นที่เลี้ยงไก่ที่เหมาะสมมากที่สุดเช่นกัน แสดงว่าการกระจายลมที่เหมาะสมก็มีส่วนในการเพิ่มพื้นที่เลี้ยงไก่ในโรงเรือนได้บ้างเล็กน้อย



รูปที่ 5.74 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละของพื้นที่เลี้ยงไก่ที่เหมาะสมและดัชนีความร้อน BGHI เฉลี่ยของโรงเรือนรูปแบบต่างๆ ในเวลา 14:00 น. ของวันที่ 20 เมษายน

## บทที่ 6

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 6.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรโรงเรือนทั้ง 5 ชนิด ที่จะส่งผลต่อการกระจายลม, ความดันตก และดัชนีความร้อน BGHI โดยใช้ผลการคำนวณเชิงตัวเลข สามารถสรุปได้ดังนี้

#### ความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับตัวไก่และการกระจายลม

เนื่องจากในงานวิจัยได้กำหนดอัตราการระบายอากาศภายในโรงเรือนตามค่ามาตรฐานของกรมปศุสัตว์ ทำให้ความเร็วลมเฉลี่ยทั้งโรงเรือนส่วนใหญ่จะมีค่าเท่ากัน ยกเว้นในโรงเรือนที่มีความยาวไม่เท่ากับโรงเรือนกรณีพื้นฐาน จากผลการคำนวณในบทที่ 5 ค่าความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับความสูงจากพื้น 0.3 เมตร และการกระจายลมที่ตำแหน่งต่างๆ จะมีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากอิทธิพลของตัวแปรโรงเรือนดังนี้

1. ความกว้างของโรงเรือน การเพิ่มความกว้างของโรงเรือนในกรณีที่ความเร็วลมเฉลี่ยมีค่าเท่าเดิม จะส่งผลให้ความเร็วลมในหน้าตัดต่างๆ ของโรงเรือนมีความสม่ำเสมอ น้อยลง เนื่องจากบริเวณกึ่งกลางโรงเรือนจะมีความเร็วลมสูงกว่าที่บริเวณผนังด้านข้างมาก ทำให้ในบริเวณผนังด้านข้างเกิดความร้อนสะสม ส่งผลให้มีพื้นที่เลี้ยงไก่ที่ไม่เหมาะสมเพิ่มมากขึ้น
2. ความยาวของโรงเรือน ในกรณีนี้ค่าความเร็วลมเฉลี่ยในโรงเรือนจะแตกต่างกันตามค่าปริมาตรโรงเรือนที่เปลี่ยนแปลงไป สำหรับโรงเรือนยาว 90 และ 150 เมตรจะมีความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับตัวไก่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าในโรงเรือนกรณีพื้นฐานประมาณ -25.5% และ 26.6% ตามลำดับ ในด้านการกระจายลม พบว่าโรงเรือนทุกขนาดจะมีการกระจายลมที่สม่ำเสมอใกล้เคียงกัน
3. ตำแหน่งการวางแผงทำความเย็น เมื่อวางแผงทำความเย็นในรูปแบบที่แตกต่างกัน จะทำให้ลักษณะการกระจายลมแตกต่างกันไปด้วย ในการศึกษาพบว่ารูปแบบที่ให้ค่าความสม่ำเสมอที่สุดคือวางไว้เฉพาะด้านกว้างของโรงเรือน รองลงมาคือ การวางแผงทำความเย็นเฉพาะผนังด้านข้างแบบในโรงเรือนกรณีพื้นฐาน ส่วนรูปแบบที่วางแผงทำความเย็นทั้งผนังด้านกว้างและผนังด้านข้าง กลับมีความแตกต่างของความเร็วลมมากกว่า เนื่องจากในช่วงต้นของโรงเรือนนี้มีความสม่ำเสมอของความเร็วลมน้อยกว่าโรงเรือนรูปแบบอื่น

4. ระยะห่างระหว่างชิงลม ถ้าระยะห่างของการติดตั้งชิงลมน้อยลงจะทำให้ค่าความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับตัวไก่สูงขึ้น จากผลการคำนวณพบว่าเมื่อโรงเรือนวางชิงลมห่างกัน 10 เมตร จะมีความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับตัวไก่เพิ่มขึ้นประมาณ 7.5% ในขณะที่โรงเรือนซึ่งวางชิงลมห่างกัน 20 เมตรจะมีความเร็วลมเฉลี่ยลดลงประมาณ 5.6% ในด้านการกระจายลม จากระนาบคำนวณแนวตั้ง จะพบว่า ถ้าติดตั้งลมใกล้กันมากขึ้นก็จะทำให้มีความสม่ำเสมอของลมที่ระดับตัวไก่มากขึ้นเช่นกัน เนื่องจากมีช่วงการเปลี่ยนแปลงของค่าความเร็วลมแคบกว่า ส่วนการกระจายลมในระนาบคำนวณแนวราบกลับไม่มีความแตกต่างกันมากนัก
5. ความสูงของชิงลมจากพื้น การติดตั้งลมต่ำลงจะทำให้ความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับตัวไก่มีค่าเพิ่มขึ้น จากผลการคำนวณเมื่อลดความสูงของการติดตั้งลมลง 12.5% (1.75 เมตร) จะทำให้ความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับตัวไก่เพิ่มขึ้น 12.6% ในทำนองเดียวกันเมื่อเพิ่มความสูงขึ้น 37.5% (2.75 เมตร) จะทำให้ความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับตัวไก่ลดลง 25.6% สำหรับด้านความสม่ำเสมอของการกระจายลม กรณีที่ติดตั้งลมต่ำลง ช่วงการเปลี่ยนแปลงของค่าความเร็วลมที่ระดับความสูง 0.3 เมตรในระนาบคำนวณแนวตั้งก็จะกว้างมากขึ้น ทำให้มีความสม่ำเสมอลดลง

### ความดันตกท้ายโรงเรือน

เป็นตัวแปรที่ส่งผลกับค่าประสิทธิภาพของพัดลมดูดอากาศ และเปลี่ยนแปลงตามค่าความเร็วลมเฉลี่ยในโรงเรือน ในกรณีที่มีการติดตั้งลมภายในโรงเรือน ค่าความดันตกจะขึ้นอยู่กับความสูงและระยะห่างของการติดตั้งลมด้วย ผลการคำนวณเชิงเลขที่ได้พบว่า ตัวแปรโรงเรือนต่างๆ มีความสัมพันธ์กับค่าความดันตกซึ่งอ้างอิงที่ตำแหน่งผิวด้านในของแผงทำความเย็น ดังนี้

1. ความกว้างของโรงเรือน การขยายความกว้างไม่มีผลต่อค่าความดันตกที่ท้ายโรงเรือน โดยพิจารณาจากผลการคำนวณเชิงเลข ค่าความดันตกที่ท้ายโรงเรือนกว้าง 24 เมตร ทั้งในระนาบคำนวณแนวราบและระนาบคำนวณแนวตั้ง จะมีค่าเท่ากับค่าความดันตกของโรงเรือนกรณีพื้นฐาน (โรงเรือนกว้าง 12 เมตร)
2. ความยาวของโรงเรือน เมื่อโรงเรือนมีความยาวมากขึ้น จะทำให้จำนวนชิงลมและความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับตัวไก่เพิ่มขึ้นตามไปด้วย จากปัจจัยทั้งสองประการทำให้ในโรงเรือนยาว 150 เมตร จะมีค่าความดันตกมากที่สุด คือ ประมาณ 60 Pa (0.24 นิ้วน้ำ) ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้น 107% จากค่าความดันตกในโรงเรือนกรณีพื้นฐาน ในขณะที่

โรงเรือนยาว 90 เมตร จะมีค่าความดันตกประมาณ 11 Pa (0.04 นิ้วน้ำ) โดยมีค่าลดลง 62% จากโรงเรือนกรณีพื้นฐาน

3. ตำแหน่งการวางแผงทำความเย็น แม้ว่าผลการคำนวณเชิงเลขที่ได้จะพบว่า โรงเรือนที่วางแผงทำความเย็นเฉพาะผนังด้านกว้างจะให้ความดันตกน้อยที่สุด แต่เนื่องจากความเร็วลมที่ผ่านแผงทำความเย็นในโรงเรือนนี้กลับมีสูงกว่าโรงเรือนรูปแบบอื่น ซึ่งจะทำให้เกิดความดันตกหลังจากอากาศไหลผ่านแผงทำความเย็นเพิ่มมากขึ้น ทำให้โรงเรือนนี้กลับมีค่าความดันตกมากที่สุด ส่วนโรงเรือนที่วางแผงทำความเย็นทั้งผนังด้านกว้างและด้านข้าง จะมีค่าความดันตกน้อยกว่าโรงเรือนกรณีพื้นฐาน เนื่องจากการเปลี่ยนทิศทางไหลของอากาศที่เข้าสู่โรงเรือนผ่านแผงทำความเย็นที่ติดในตำแหน่งผนังด้านข้างเกิดขึ้นน้อยกว่า
4. ระยะห่างระหว่างชิงลม เมื่อโรงเรือนวางชิงลมห่างกัน 10 เมตร จะมีค่าความดันตกประมาณ 38 Pa (0.15 นิ้วน้ำ) โดยมีค่าเพิ่มขึ้น 31% จากโรงเรือนกรณีพื้นฐาน ในขณะที่การวางชิงลมห่างกัน 20 เมตร จะทำให้ทำยโรงเรือนมีค่าความดันตกประมาณ 23 Pa (0.09 นิ้วน้ำ) โดยลดลง 21% เนื่องจากผลของค่าความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับตัวไก่และจำนวนชิงลมที่ลดลง
5. ความสูงของชิงลมจากพื้น การเปลี่ยนแปลงความสูงของการติดชิงลม จะส่งผลให้ค่าความดันตกทำยโรงเรือนมีการเปลี่ยนแปลงมากกว่าการเปลี่ยนระยะห่างของการติดชิงลม จากผลการคำนวณ ในโรงเรือนที่ติดชิงลมสูงจากพื้น 1.75 เมตร จะมีค่าความดันตกประมาณ 50 Pa (0.2 นิ้วน้ำ) ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้น 72.4% จากโรงเรือนกรณีพื้นฐาน ในขณะที่โรงเรือนที่ติดชิงลมสูงจากพื้น 2.75 เมตร กลับมีค่าความดันตกไม่มากนัก

### ดัชนีความร้อน BGHI และร้อยละของพื้นที่เลี้ยงไก่ที่เหมาะสม

สำหรับดัชนีความร้อน BGHI จะเป็นดัชนีที่ใช้ประเมินสภาวะทางความร้อนของไก่ในตำแหน่งต่างๆ ของโรงเรือน โดยงานวิจัยนี้ได้กำหนดค่าขอบเขต BGHI ที่เหมาะสมจากมาตรฐานการเลี้ยงไก่ของกรมปศุสัตว์ ทำให้สามารถหาร้อยละของพื้นที่การเลี้ยงที่มีสภาวะความร้อนอยู่ในมาตรฐานได้ จากผลการคำนวณเชิงเลขที่ได้ เมื่อปรับเปลี่ยนตัวแปรโรงเรือนต่างๆ จะส่งผลกับค่าดัชนีความร้อน BGHI เฉลี่ยและค่าร้อยละของพื้นที่เลี้ยงไก่ที่เหมาะสม ดังนี้

1. ความกว้างของโรงเรือน โรงเรือนกว้าง 24 เมตร จะมีค่าดัชนีความร้อน BGHI เฉลี่ยมากกว่าในโรงเรือนกรณีพื้นฐานเพียงเล็กน้อย แต่เมื่อพิจารณาในด้านความสม่ำเสมอ โรงเรือนกว้าง 24 เมตรจะมีผลต่างของค่าดัชนีความร้อน BGHI ที่กึ่งกลาง

และด้านข้างโรงเรือนมากกว่า ส่งผลให้ค่าร้อยละของพื้นที่ที่เหมาะสมในการเลี้ยง สำหรับโรงเรือนกว้าง 24 เมตร ในช่วงเวลา 8:00-17:00 น. ของวันที่ 18-22 เมษายน มีค่าน้อยกว่าค่าร้อยละของโรงเรือนกรณีพื้นฐานประมาณ 0-2.5%

2. ความยาวของโรงเรือน โรงเรือนยาว 90 เมตรจะมีค่าดัชนีความร้อน BGHI เฉลี่ย สูงสุดในทุกชั่วโมง ขณะที่โรงเรือนยาว 150 เมตรจะมีค่าดัชนี BGHI เฉลี่ยต่ำสุด เมื่อพิจารณาค่าร้อยละของพื้นที่ที่เหมาะสมภายในโรงเรือนทั้งสองจะพบว่าโรงเรือนยาว 90 เมตร มีค่าร้อยละของพื้นที่ที่เหมาะสมมากกว่าในโรงเรือนกรณีพื้นฐาน 1-4% ในขณะที่โรงเรือนยาว 150 เมตรจะมีค่าร้อยละของพื้นที่ที่เหมาะสมน้อยกว่าโรงเรือนกรณีพื้นฐานประมาณ 1-3% ในด้านความสม่ำเสมอของดัชนีความร้อน จะพบว่าโรงเรือนยาว 90 เมตรจะมีความแตกต่างของดัชนี BGHI ที่กึ่งกลางและบริเวณ ด้านข้างโรงเรือนมากที่สุด ในขณะที่โรงเรือนกรณีพื้นฐานและโรงเรือนยาว 150 เมตร กลับมีการกระจายตัวของดัชนีความร้อนที่ใกล้เคียงกัน
3. ตำแหน่งการวางแผงทำความเย็น จากการวางแผงทำความเย็นทั้งสามรูปแบบที่ได้ ทำการตรวจสอบ พบว่ามีค่าดัชนีความร้อน BGHI เฉลี่ยและค่าร้อยละของพื้นที่ที่เหมาะสมใกล้เคียงกันมาก แต่ในด้านความสม่ำเสมอของค่าดัชนีความร้อนนั้น โรงเรือนที่วางแผงทำความเย็นเฉพาะผนังด้านกว้างจะมีความสม่ำเสมอในหน้าตัด ต่างๆ ของโรงเรือนมากที่สุด รองลงมาคือ การวางแผงทำความเย็นในโรงเรือนกรณี พื้นฐาน ส่วนการวางแผงทำความเย็นทั้งผนังด้านกว้างและด้านข้างจะมีความ สม่ำเสมอที่น้อยที่สุด ซึ่งเป็นไปตามลักษณะการกระจายลมภายในโรงเรือนแต่ละ รูปแบบที่ได้กล่าวถึงก่อนหน้านี้
4. ระยะห่างระหว่างชิงลม โรงเรือนที่วางชิงลมห่างกัน 10 เมตรจะมีค่าดัชนีความร้อน BGHI เฉลี่ยน้อยกว่าโรงเรือนกรณีพื้นฐานเล็กน้อย ส่งผลให้ในช่วงเวลา 11:00-17:00 น. ของวันที่ 18-22 เมษายน โรงเรือนจะมีพื้นที่ที่เหมาะสมในการเลี้ยงเพิ่มขึ้น ประมาณ 3-7% ในทางกลับกันการวางชิงลมห่างกัน 20 เมตรก็ทำให้โรงเรือนมีพื้นที่ที่ เหมาะสมในการเลี้ยงลดลงประมาณ 3-5% เมื่อพิจารณาที่หน้าตัดต่างๆ ของโรงเรือน ในระนาบคำนวณแนวราบ พบว่าโรงเรือนทั้งสามมีลักษณะการกระจายตัวของดัชนี ความร้อน BGHI ใกล้เคียงกันมาก
5. ความสูงของชิงลมจากพื้น การติดตั้งชิงลมสูงจากพื้น 1.75 เมตร จะทำให้ค่าดัชนีความ ร้อน BGHI เฉลี่ยในช่วงเวลา 11:00-17:00 น. ของวันที่ 18-22 เมษายน ลดลงจากค่า ดัชนี BGHI เฉลี่ยในโรงเรือนกรณีพื้นฐานมากพอสมควร ซึ่งทำให้พื้นที่ที่เหมาะสมใน

การเลี้ยงมีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 6-11% ในขณะที่การติดตั้งลมสูงจากพื้น 2.75 เมตร จะทำให้ค่าดัชนี BGHI ลดลงเพิ่มขึ้นอย่างมาก ทำให้พื้นที่ที่เหมาะสมในการเลี้ยงลดลงประมาณ 15-25% จากค่าพื้นที่ที่เหมาะสมในโรงเรือนกรณีพื้นฐาน นอกจากนี้เมื่อพิจารณาในด้านความสม่ำเสมอ โรงเรือนที่ติดตั้งลมสูงจากพื้น 2.75 เมตร จะมีความแตกต่างของดัชนีความร้อนที่กึ่งกลางและบริเวณด้านข้างโรงเรือนมากกว่าในโรงเรือนกรณีพื้นฐานและโรงเรือนที่ติดตั้งลมสูงจากพื้น 1.75 เมตรเล็กน้อย

## 6.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในงานวิจัยนี้ได้พัฒนาโปรแกรมคำนวณการไหลของอากาศในสองมิติ โดยพิจารณาการไหลในสองระนาบคำนวณ ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้เพื่อตรวจสอบแนวโน้มของอิทธิพลของตัวแปรโรงเรือน ทำให้ลดเวลาที่ใช้คำนวณลงได้เนื่องจากโรงเรือนเลี้ยงไก่มีขนาดใหญ่ แต่วิธีนี้ก็ทำให้ผลการคำนวณคลาดเคลื่อนไปบ้าง ดังนั้นในการวิเคราะห์อิทธิพลของโรงเรือนที่ต้องการความถูกต้องมากขึ้น จึงควรทำการวิเคราะห์โดยใช้ผลที่ได้จากโปรแกรมคำนวณการไหลในสามมิติ เพื่อพิจารณาอิทธิพลของซึ่งลม, หลังคา และพื้นโรงเรือน ที่มีต่อระนาบในแนวระดับตัวไก่ได้โดยตรง นอกจากนี้ผลจากโปรแกรมคำนวณการไหลในสามมิติ จะสามารถนำไปเปรียบเทียบกับผลการวัดที่ได้จากในโรงเรือนจริง เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของผลการคำนวณได้อีกด้วย

2. เนื่องจากดัชนีความร้อน BGHI ที่นำมาใช้กำหนดพื้นที่การเลี้ยงไก่ที่เหมาะสม ได้รวมผลของตัวแปรต่างๆ รวมทั้งค่าความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ ซึ่งงานวิจัยนี้ไม่ได้ตรวจสอบการถ่ายเทมวลของอนุภาคไอน้ำในอากาศ ดังนั้นเพื่อให้ค่าดัชนี BGHI ที่ตำแหน่งต่างๆ มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้นจึงควรจะรวมขั้นตอนการคำนวณหาค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ตำแหน่งต่างๆ โดยใช้สมการการถ่ายเทมวล (Mass transfer equation) ในโปรแกรมคำนวณเชิงเลขเพื่อแก้ปัญหาการไหลด้วย

3. ดัชนีความร้อน BGHI ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เป็นดัชนีที่ใช้รวมผลของตัวแปรสภาวะแวดล้อมทั้ง 4 ตัวแปร เพื่อการเปรียบเทียบสภาวะความร้อนในจุดต่างๆ ของโรงเรือน ทั้งนี้ในปัจจุบันดัชนีความร้อนที่มีการนำมาทำนายสภาวะความร้อนภายในโรงเรือนเลี้ยงไก่ในวารสารทางวิชาการในต่างประเทศมีไม่มากนัก ซึ่งในอนาคตถ้ามีการศึกษาหาดัชนีที่น่าเชื่อถือซึ่งใช้ประเมินสภาวะความร้อนของไก่พันธุ์เนื้อได้โดยตรง ก็สามารถที่จะระบุตำแหน่งที่เหมาะสมในการเลี้ยงไก่ได้แม่นยำยิ่งขึ้น

4. เมื่อวางแผนทำความเข้าใจในตำแหน่งต่างๆ ของโรงเรือน รูปแบบความเร็วลม (Velocity profile) ที่ออกจากแผงทำความเย็นก็จะแตกต่างกันไป การกำหนดรูปแบบความเร็วให้สอดคล้องกับสภาวะจริงซึ่งเป็นเงื่อนไขขอบเขตของปัญหาการไหล ก็จะส่งผลกับความถูกต้องของผลการ

คำนวณการกระจายลมในโรงเรือน ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้กำหนดให้อากาศไหลเข้าโรงเรือนแบบสม่ำเสมอ ดังนั้นเพื่อให้การวิเคราะห์เชิงเลขมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น จึงควรใช้แบบจำลองที่เหมาะสมในการทำนายรูปแบบของความเร็วลมที่ออกจากแผงทำความเย็น

5. เนื่องจากในการคำนวณเชิงเลขเพื่อแก้ปัญหาการไหลภายในโรงเรือนเลี้ยงไก่ จะต้องใช้กริดคำนวณจำนวนมาก โดยจะต้องแก้สมการอนุพันธ์โมเมนต์ม, สมการอนุพันธ์พลังงาน และแบบจำลองความปั่นป่วนซึ่งเป็นสมการไม่เชิงเส้น ในโรงเรือนแต่ละรูปแบบจึงต้องทำการคำนวณซ้ำหลายครั้งและใช้เวลาค่อนข้างมาก ดังนั้นการใช้เทคนิคที่ช่วยลดเวลาการคำนวณ เช่น Multigrid method, Parallel computing ฯลฯ ก็สามารถทำให้การแก้ปัญหาการไหลโดยใช้ระเบียบวิธีเชิงเลขมีความรวดเร็วและเหมาะสมสำหรับใช้เป็นเครื่องมือในการออกแบบโรงเรือนเลี้ยงไก่มากยิ่งขึ้น



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

กรมปศุสัตว์. ระเบียบมาตรฐานฟาร์มเลี้ยงไก่เนื้อของประเทศไทย พ.ศ. 2542. ประกาศกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ เรื่องมาตรฐานฟาร์มเลี้ยงสัตว์ของประเทศไทย พ.ศ.2542, หน้า 37-44. กรุงเทพมหานคร: ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย. 2542.

ธีระ สุทธิญา. การออกแบบเปลือกอาคารที่เหมาะสมสำหรับโรงเรือนเลี้ยงไก่พันธุ์เนื้อ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.

ศิวัฒน์ พงษ์พิพัฒน์. ระบบ Evap. : เทคนิคและการจัดการสำหรับการเลี้ยงสัตว์. ใน ประวีร์ วิชชุตา. (บรรณาธิการ), ยี่สิบห้าปีสืบสานสมาคมสัตวบาลแห่งประเทศไทย, หน้า 154-199. กรุงเทพมหานคร: อักษรสยามการพิมพ์. 2544.

สุธรรม ดิษฐ์ศักดิ์. คู่มือการเลี้ยงไก่เนื้อเชิงธุรกิจ. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ฐานเกษตรกรรม.

สุภาพร อิศริโยดม. ระบบอีแวปกับโรงเรือนปิด. ใน ที่ระลึก 60 ปี สมาคมส่งเสริมการเลี้ยงไก่แห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, หน้า 176-193. กรุงเทพมหานคร: สมาคมส่งเสริมการเลี้ยงไก่แห่งประเทศไทย. 2543.

### ภาษาอังกฤษ

Acharya, S., Dutta, S. and Myrum, T. A. Heat Transfer in Turbulent Flow Past a Surface-Mounted Two-Dimensional Rib. Journal of Heat Transfer 120 (1998): 724-734.

Adams, E. W. and Eaton, J. K. An LDA Study of Backward-Facing Step Flow, Including the Effects of Velocity Bias. Transactions of ASME Journal of Fluids Engineering 110 (1988): 275-282.

ASHRAE. 1999 ASHRAE Applications Handbook. Atlanta: The American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, 1999.



- ASHRAE. 2001 ASHRAE Fundamentals Handbook. Atlanta: The American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, 2001.
- Buffington, D. E., Collazo-Arocho, A., Canton, G. H., Pitt, D., Thatcher, W. W., Collier, R. J. Black Globe-Humidity Index (BGHI) as Comfort Equation for Dairy Cows. Transactions of the ASAE 24 (1981): 711-714.
- Durst, F. and Founti, M. Experimental and Computational Investigation of the Two Dimensional Channel Flow Over Two Fences in Tandem. Transactions of ASME Journal of Fluids Engineering 110 (1988): 48-54.
- Fanger, P. O. Thermal Comfort Analysis and Applications in Environmental Engineering. New York: McGraw-Hill, 1970.
- Haghighat, F., Jiang, Z. and Wang, J. C. Y. Air Movement in Buildings Using Computational Fluid Dynamics. Transactions of ASME Journal of Solar Energy Engineering 114 (1992): 84-92.
- Lauder, B. E. and Spalding, D. B. The Numerical Computational of Turbulent Flows. Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering 3 (1974): 269-289.
- Liou, T. M. and Kao, C. F. Symmetric and Asymmetric Turbulent Flows in a Rectangular Duct With a Pair of Ribs. Transactions of ASME Journal of Fluids Engineering 110 (1988): 373-379.
- Mansour, N. N., Kim, J. and Moin, P. Reynolds Stress and Dissipation Rate Budgets in Turbulent Channel Flow. Journal of Fluid Mechanics 194 (1988): 15-44.

- Morais, S. R. P., Tinôco, I. F. F., Baêta, F. C., Yanagi, T. Jr., Vigoderis, R. B., Oliveir, A. L. R. Determination of the Effectiveness (E) of Different Types of Roof Materials on Broiler Buildings Under Summer Conditions in Brazil. Livestock Environment VI: Proceedings of the 6<sup>th</sup> International Symposium : 478-481, 2001.
- Moura, D. J., Nääs, I. A., Welker, J. S., Catelan, F. Thermal Efficiency Evaluation of High Density Poultry Housing in Different Environmental Control Systems. 2001 ASAE Annual Meeting, Paper number 014063. 2001.
- Murakami, S., Kato, S. and Suyama, Y. Three-Dimensional Numerical Simulation of Turbulent Airflow in a Ventilated Room by Means of a Two-Equation Model. ASHRAE Transactions 93 (1987,Pt. 2): 621-641.
- Nielsen, P. V. and Restivo, A. and Whitelaw, J. H. The Velocity Characteristics of Ventilated Rooms. Transactions of ASME Journal of Fluids Engineering 100 (1978): 291-298.
- Patankar, S. V. Numerical Heat Transfer and Fluid Flow. New York: Hemisphere Publishing Corporation, 1980
- Patankar, S. V. and Spalding, D. B. A Calculation Procedure for Heat, Mass and Momentum Transfer in Three-Dimensional Parabolic Flows. International Journal of Heat and Mass Transfer 15 (1972): 1787-1806.
- Putivisitak, S. A Computer Programme for Solving General Engineering Flows. Report No. 165-เครื่องกล-2543. Mech Eng Dept., Chulalongkorn University, 2002
- Reece, F. N., Deaton, J. W. and Bouchillon, C. W. Heat and Moisture Production of Broilers. 1. Summer Conditions. Poultry Science 48 (1969a): 1296-1303.

Reece, F. N. and Lott, B. D. The Effect of Environmental Temperature on Sensible and Latent Heat Production of Broiler Chickens. Poultry Science 61 (1982): 1590-1593.

Spalding, D. B. A Novel Finite-Difference Formulation for Differential Expressions Involving Both First and Second Derivatives. International Journal for Numerical Methods in Engineering 4 (1972): 551.

Versteeg, S. K. and Malalasekera, W. An introduction to Computational Fluid Dynamics: The Finite Volume Method. English: Longman Scientific & Technical, 1995.

Wilcox, C. D. Turbulence Modeling for CFD. California: DCW Industries Inc, 1993.

Yanagi, T. Jr., Damasceno, G. S., Teixeira, V. H., Xin, H. Prediction of Black Globe Humidity Index in Poultry Buildings. Livestock Environment VI: Proceedings of the 6<sup>th</sup> International Symposium : 482-489, 2001.

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ภาคผนวก ก.

### การคำนวณค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย

อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยเป็นพารามิเตอร์สำคัญที่ใช้ในการหาสภาวะทางความร้อนของผู้ที่อาศัยอยู่ภายในสภาวะแวดล้อมหนึ่งๆ โดยมีนิยามคือ อุณหภูมิสมมติที่สมอบของบริเวณปิดสมมติที่ทำให้คนที่อยู่ภายในมีการแลกเปลี่ยนความร้อนเนื่องจากการแผ่รังสีเท่ากับที่เกิดขึ้นในบริเวณปิดจริง สำหรับบริเวณปิดที่มีอุณหภูมิพื้นผิวคงที่ปัจจัยที่มีผลทำให้อุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อนเปลี่ยนแปลงไปได้แก่ ลักษณะท่าทาง, ตำแหน่ง และทิศทางของร่างกาย

การหาค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยสำหรับคนที่อยู่ภายในบริเวณปิดที่มีพื้นผิว  $N$  ด้านจะหาได้โดยใช้สมการต่อไปนี้

$$T_{mrt}^4 = T_1^4 F_{P-1} + T_2^4 F_{P-2} + \dots + T_N^4 F_{P-N} \quad (ก.1)$$

โดยที่	$T_{mrt}$	คือ	อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย (K)
	$T_N$	คือ	อุณหภูมิพื้นผิวที่ $N$ ของโรงเรือน (K)
	$F_{P-N}$	คือ	ตัวประกอบเชิงมุมระหว่างคนและพื้นผิวด้านที่ $N$

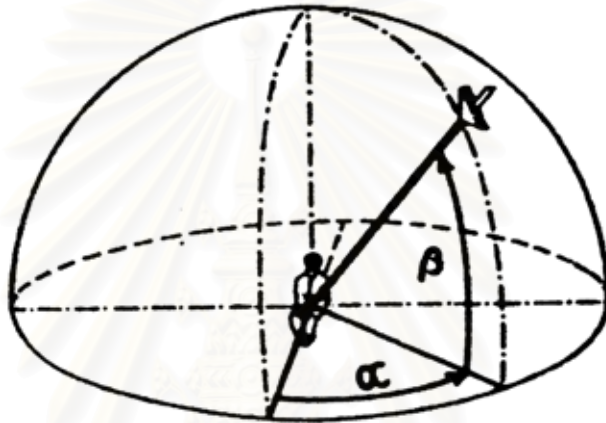
และ ผลรวมของค่าตัวประกอบเชิงมุมทุกด้านจะเท่ากับหนึ่ง,  $\sum_{i=1}^N F_{P-i} = 1$

การคำนวณหาค่าตัวประกอบเชิงมุมที่จะใช้ในสมการ (ก.1) มีความยุ่งยากอย่างมากเนื่องจากความซับซ้อนของโครงสร้างร่างกาย, ทิศทางและตำแหน่งของพื้นผิวโรงเรือนทุกด้าน อีกทั้งข้อมูลจากผลการทดลองก็ไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้งานสำหรับการคำนวณด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงจะทำการคำนวณหาค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยด้วยแนวทางอื่นต่อไป

ASHRAE(2001) ได้กล่าวถึงการประมาณค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยโดยการคำนวณค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีของระนาบ (Plane radiant temperature) ซึ่งเป็นอุณหภูมิสมมติที่สมอบของบริเวณปิดสมมติที่ทำให้ฟลักซ์ความร้อนซึ่งตกกระทบบนด้านหนึ่งของเอलिเมนต์ระนาบเล็กๆ (Small plane element) มีปริมาณเท่ากับเมื่อวางเอलिเมนต์นี้ในสภาวะแวดล้อมจริง เมื่อหาอุณหภูมิการแผ่รังสีของระนาบในหกทิศทาง และถ่วงน้ำหนักด้วยค่าตัวประกอบพื้นที่ภาพฉาย (Projected area factor) ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ภาพฉายของร่างกายบนระนาบตั้งฉากกับทิศทางที่พิจารณาและพื้นที่การแผ่รังสีประสิทธิผลของร่างกายก็จะหาอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยได้จากสมการต่อไปนี้

$$T_{mrt} = \left\{ f_{p(0^\circ, 90^\circ)} [T_{pr}(up) + T_{pr}(down)] + f_{p(90^\circ, 0^\circ)} [T_{pr}(right) + T_{pr}(left)] + f_{p(0^\circ, 0^\circ)} [T_{pr}(front) + T_{pr}(back)] \right\} \div \left[ 2 \left( f_{p(0^\circ, 90^\circ)} + f_{p(90^\circ, 0^\circ)} + f_{p(0^\circ, 0^\circ)} \right) \right] \quad (ก.2)$$

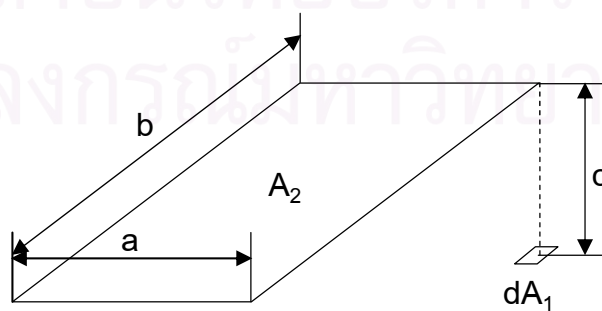
โดยที่  $T_{pr}$  คือ อุณหภูมิการแผ่รังสีของเอลิเมนต์ระนาบเล็กๆ  
 $f_{p(\alpha, \beta)}$  คือ ตัวประกอบพื้นที่ภาพฉายของร่างกายสำหรับทิศทางที่เบี่ยงเบนจากด้านหน้าเป็นมุม  $\alpha$  ในแนวราบและมุม  $\beta$  ในแนวตั้ง ดังในรูปที่ ก.1



รูปที่ ก.1 การระบุทิศทางซึ่งเบี่ยงเบนจากด้านหน้าของร่างกายเป็นมุม  $\alpha$  ในแนวราบและมุม  $\beta$  ในแนวตั้ง

สมการที่ใช้สำหรับหาอุณหภูมิการแผ่รังสีของระนาบจะใช้สมการ (ก.1) เช่นเดียวกัน โดยที่ตัวประกอบเชิงมุมสามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้

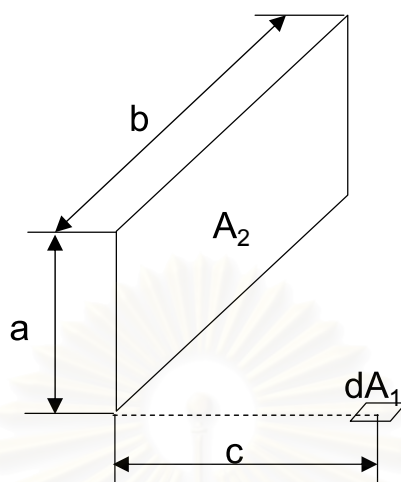
กรณีพื้นผิวขนานกับเอลิเมนต์ระนาบเล็กๆ



$$x = \frac{a}{c}, \quad y = \frac{b}{c}$$

$$F_{d1-2} = \frac{1}{2\pi} \left( \frac{x}{\sqrt{1+x^2}} \tan^{-1} \frac{y}{\sqrt{1+x^2}} + \frac{y}{\sqrt{1+y^2}} \tan^{-1} \frac{x}{\sqrt{1+y^2}} \right) \quad (ก.3)$$

กรณีพื้นผิวตั้งฉากกับเอลิเมนต์ระนาบเล็กๆ



$$x = \frac{a}{b}, y = \frac{c}{b}$$

$$F_{d1-2} = \frac{1}{2\pi} \left( \tan^{-1} \frac{1}{y} - \frac{y}{\sqrt{x^2 + y^2}} \tan^{-1} \frac{1}{\sqrt{x^2 + y^2}} \right) \quad (\text{ก.4})$$

สำหรับค่าตัวประกอบพื้นที่ภาพฉายของร่างกายคนในทิศทาง  $(0^\circ, 90^\circ)$ ,  $(90^\circ, 0^\circ)$  และ  $(0^\circ, 0^\circ)$  สามารถหาได้จาก Fanger(1970) โดยสามารถสรุปได้ตารางที่ ก.1

ตารางที่ ก.1 ตัวประกอบพื้นที่ภาพฉายของร่างกายคนสำหรับท่าทางยืนและนั่งในทิศทางต่างๆ

ทิศทาง		ลักษณะท่าทาง	
$\alpha$	$\beta$	ยืน	นั่ง
$0^\circ$	$0^\circ$	0.35	0.29
$0^\circ$	$90^\circ$	0.08	0.18
$90^\circ$	$0^\circ$	0.23	0.22

เนื่องจากเราต้องการพิจารณาอิทธิพลของการแผ่รังสีระหว่างไก่อัพพื้นที่เนื้อและผนังของโรงเรือนซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้จะสมมติว่าไก่อมีลักษณะรูปร่างเป็นทรงกลม ดังนั้นเมื่อหาค่าตัวประกอบพื้นที่ภาพฉายของรูปร่างของไก่อก็จะพบว่ามีค่าเท่ากันในทุกทิศทาง แทนค่าตัวประกอบพื้นที่ภาพฉายนี้ในสมการ (ก.2) และจัดรูปสมการใหม่ก็จะได้สมการสำหรับหาอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยของไก่อภายในโรงเรือนดังนี้

$$T_{mrt} = \frac{1}{6} \times [T_{pr}(up) + T_{pr}(down) + T_{pr}(right) + T_{pr}(left) + T_{pr}(front) + T_{pr}(back)] \quad (\text{ก.5})$$

จากสมการจะพบว่าค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยของไก่อภายในโรงเรือนคือค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิการแผ่รังสีของเอลิเมนต์ระนาบทั้งหกทิศทางนั่นเอง

## ภาคผนวก ข

### ค่าการผลิตความร้อนของไก่พันธุ์เนื้อ

นอกเหนือไปจากความร้อนที่ผ่านพื้นผิวด้านต่างๆ ของโรงเรือนแล้ว ไก่เนื้อที่เลี้ยงไว้ภายในก็เป็นแหล่งกำเนิดภาวะความร้อนจำนวนมาก ทั้งในรูปของความร้อนสัมผัส (Sensible heat) และความร้อนแฝง (Latent heat) การคำนวณเชิงเลขเพื่อตรวจสอบลักษณะการถ่ายเทความร้อนภายในโรงเรือน จึงควรจะต้องมีเทอมที่เกี่ยวกับค่าการผลิตความร้อนของไก่อยู่ในสมการอนุรักษ์พลังงาน (สมการ (2.19)) ด้วย

ค่าการผลิตความร้อนของไก่ภายในโรงเรือน สามารถประมาณได้โดยใช้สมการใน ASHRAE (2001) ดังนี้

$$ATHG = 2.5 Met_{\text{animal}} \quad (\text{ข.1})$$

โดยที่	ATHG	คือ	ภาวะความร้อนรวมเฉลี่ย (Average Total Heat Gain), W/ตัว
	$Met_{\text{animal}}$	คือ	อัตราการเผาผลาญพลังงานมูลฐานของสัตว์ (Basal metabolic rate of animal) มีค่าเท่ากับ $3.5(m_{\text{animal}})^{0.75}$ , W/ตัว
	$m_{\text{animal}}$	คือ	มวลของสัตว์, kg

ค่าการผลิตความร้อนของไก่ ( $\dot{q}''$ ) ในสมการอนุรักษ์พลังงานไม่ใช่ค่าความร้อนรวมที่ไก่ผลิตขึ้น แต่จะเป็นเพียงในส่วนของค่าความร้อนสัมผัสเท่านั้น เนื่องจากเป็นค่าความร้อนที่ส่งผลต่ออุณหภูมิอากาศภายในโรงเรือน ทั้งนี้อัตราส่วนการผลิตความร้อนสัมผัสต่อการผลิตความร้อนรวมของไก่ จะมีค่าแตกต่างกันไปตามสภาวะอากาศภายในโรงเรือน โดยอัตราส่วนนี้จะลดลงเมื่ออุณหภูมิอากาศมีค่าเพิ่มขึ้นและไก่อมีน้ำหนักมากขึ้น (Reece and Lott, 1982) การประมาณค่าอัตราส่วนความร้อนสัมผัส สามารถทำได้โดยใช้ข้อมูลดังตารางที่ ข.1



ตารางที่ ข.1 ค่าการผลิตความร้อนสัมผัสและความร้อนรวมของไก่อ รวบรวมจากแหล่งข้อมูลต่างๆ

ที่มา	อัตราการผลิต ความร้อนสัมผัส (SHP)	อัตราการผลิต ความร้อนรวม (THP)	อัตราส่วน SHP/THP	หมายเหตุ
ASHRAE (2001)	3.78 (W/ตัว)	10.20 (W/ตัว)	0.37	ไก่อมีน้ำหนัก 1.82 กิโลกรัม ระดับกิจกรรมเบา
Reece et. al. (1969a)	5.0 (Btu/lb)	17 (Btu/lb)	0.29	ไก่ออายุ 46 วัน มีอุณหภูมิ อากาศเฉลี่ย 27.8 – 30.6°C
Reece and Lott (1982)	5.0 (Btu/hr)	14.2 (Btu/hr)	0.35	ไก่อมีน้ำหนัก 2 กิโลกรัมที่ อุณหภูมิ อากาศ 26.7°C

จากตารางจะสรุปได้ว่า ค่าความร้อนสัมผัสมีค่าประมาณ 1 ใน 3 ของค่าความร้อนรวม  
ดังนั้นจากสมการ (ข.1) ไก่อเนื้อที่มีน้ำหนัก 2.5 กิโลกรัม จะผลิตความร้อนรวมได้เท่ากับ 17.4 W  
โดยจะเป็นค่าความร้อนสัมผัสเท่ากับ 5.8 W

ปริมาณความร้อนที่ไก่อแต่ละตัวผลิตออกมา จะนำมาคำนวณหาปริมาณความร้อนเฉลี่ย  
ต่อพื้นที่ของโรงเรือน โดยใช้มาตรฐานการเลี้ยงไก่ (กรมปศุสัตว์, 2542) ที่กำหนดให้พื้นที่การเลี้ยง  
ไก่อเนื้อภายในโรงเรือนระบบปิด จะต้องมีย่านน้ำหนักไก่อเป็นรวมไม่เกิน 34 กิโลกรัมต่อพื้นที่ 1 ตาราง  
เมตร เมื่อสมมติว่าไก่อแต่ละตัวมีน้ำหนัก 2.5 กิโลกรัม ดังนั้นเทอมการผลิตความร้อนของไก่อใน  
สมการอนุรักษ์พลังงานจะหาได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \bar{q}''' &= \left[ \frac{\text{อัตราการผลิตความร้อนสัมผัสของไก่อ}}{\text{น้ำหนักไก่อโดยเฉลี่ย}} \right] \times \text{มาตรฐานน้ำหนักไก่อต่อพื้นที่} \\ &= \left[ \frac{5.8 \text{ W/ตัว}}{2.5 \text{ kg/}} \right] \times 34 \text{ kg/m}^2 \\ &= 78.88 \text{ W/m}^2 \end{aligned}$$

จากค่าการผลิตความร้อนที่คำนวณได้สำหรับสมการอนุรักษ์พลังงาน ทำให้ผลการคำนวณหา  
อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ในระนาบการคำนวณแนวราบมีค่าที่ใกล้เคียงกับสภาวะการเลี้ยงจริง  
มากขึ้น

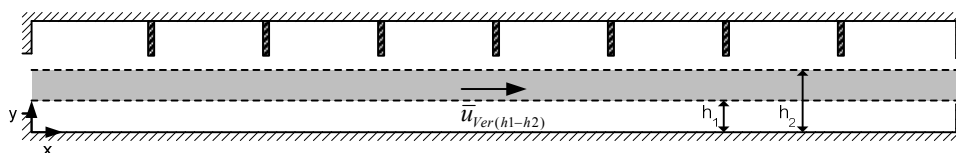
## ภาคผนวก ค.

### การหาความเร็วลมที่พื้นผิวผนังในโรงเรือน

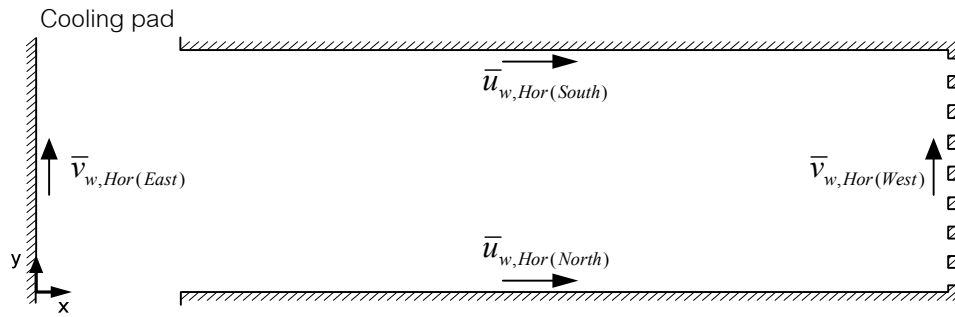
ในการคำนวณหาค่าฟลักซ์ความร้อนที่ผ่านผนังและค่าอุณหภูมิของพื้นผิวต่างๆ ด้านในโรงเรือนโดยใช้ระเบียบวิธีสมดุลความร้อน (Heat balance) เพื่อนำค่าที่ได้ไปใช้เป็นเงื่อนไขขอบเขตทางความร้อนนั้น ความถูกต้องของผลการคำนวณส่วนหนึ่งจะขึ้นกับการกำหนดค่าความเร็วลมที่พื้นผิวของโรงเรือนอย่างเหมาะสม เพื่อให้การประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

เนื่องจากวิทยานิพนธ์นี้ได้คำนวณหาความเร็วลมที่ตำแหน่งต่างๆ ภายในโรงเรือนจากระบบคำนวณสองระบบ ทำให้ไม่สามารถหาค่าความเร็วที่พื้นผิวต่างๆ ได้โดยตรง ดังนั้นจึงต้องทำการประมาณค่าความเร็วลมสำหรับพื้นผิวภายในโรงเรือนจากค่าความเร็วลมที่คำนวณได้ในระบบทั้งสอง โดยขั้นตอนการหาความเร็วลมที่พื้นผิวโดยรอบโรงเรือน จะเริ่มจากการนำค่าความเร็วลมในระบบคำนวณแนวตั้งที่อยู่ในช่วงความสูงของพื้นผิวหนึ่งๆ มาหาค่าเฉลี่ย ( $\bar{u}_{Ver(h_1-h_2)}$ ) โดยสมมติว่าพื้นผิวที่จะหาความเร็วมีความสูงจากพื้นโรงเรือนอยู่ในช่วง  $h_1-h_2$  เมตร ดังรูปที่ ค.1 จากนั้นจะนำเอาค่าความเร็วที่ได้ไปหาค่าตัวคูณความเร็วลม (Velocity factor,  $VF$ ) โดยหารด้วยค่าความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับตัวไก่ ( $\bar{u}_{0.3}$ ) ในส่วนต่อไปจะหาค่าความเร็วลมที่ผนังด้านต่างๆ ของระบบคำนวณแนวราบในทิศทางที่ต้องการ เช่น  $\bar{u}_{w,Hor(North)}$ ,  $\bar{u}_{w,Hor(South)}$ ,  $\bar{v}_{w,Hor(East)}$  และ  $\bar{v}_{w,Hor(West)}$  ดังรูปที่ ค.2 จากนั้นนำความเร็วลมที่ได้ไปคูณกับตัวคูณความเร็วลม ซึ่งจะได้ค่าความเร็วลมที่พื้นผิวของโรงเรือนซึ่งมีระดับความสูงจากพื้นอยู่ในช่วง  $h_1-h_2$  เมตร จากขั้นตอนที่กล่าวมาสามารถสรุปเป็นแผนผังการดำเนินงานได้ดังรูปที่ ค.3

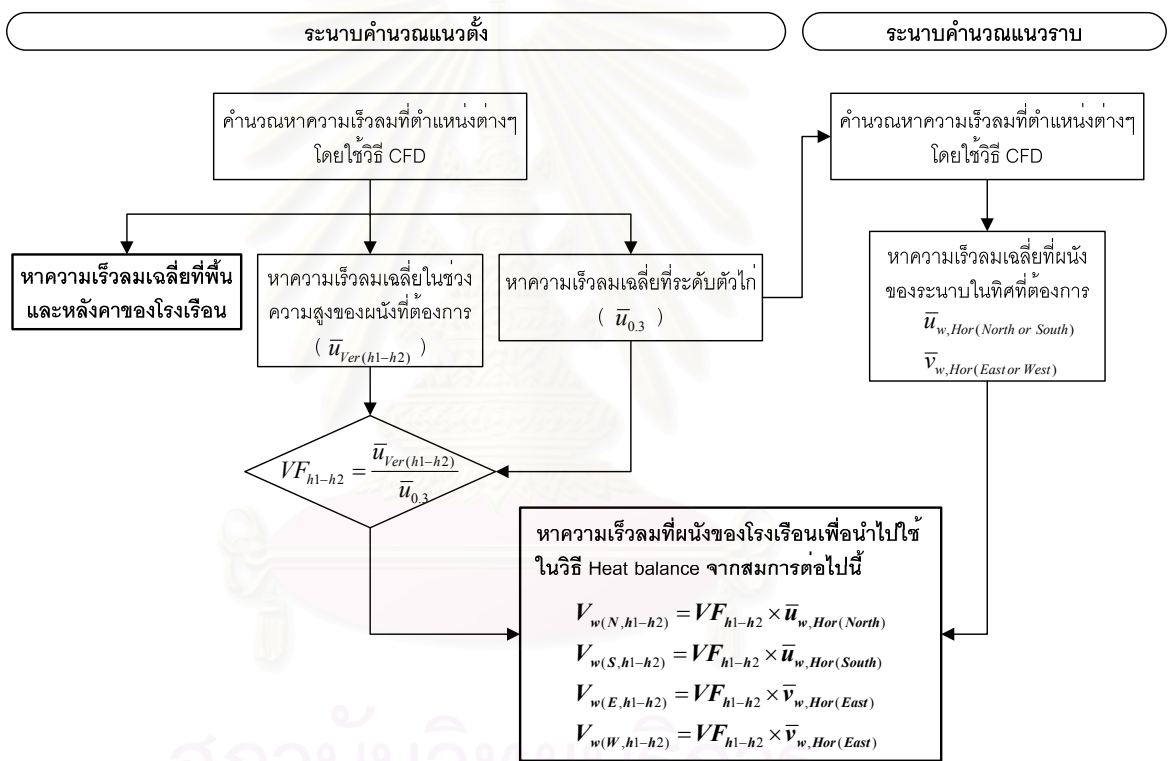
สำหรับค่าความเร็วลมที่พื้นและหลังคาโรงเรือน จะสามารถหาจากรบบคำนวณแนวตั้งได้โดยตรง เนื่องจากในระบบคำนวณแนวราบจะใช้เฉพาะการคำนวณหาความเร็วลมที่ระดับความสูงของตัวไก่ ทำให้ไม่สามารถหาค่าความเร็วลมที่พื้นและหลังคาได้



รูปที่ ค.1 ความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับความสูงระหว่าง  $h_1-h_2$  เมตร ของระบบคำนวณแนวตั้ง



รูปที่ ค.2 ความเร็วลมเฉลี่ยที่พื้นผิวด้านต่างๆ ในระนาบค่านวนแนวราบ



รูปที่ ค.3 ขั้นตอนการประมาณค่าความเร็วลมที่พื้นผิวด้านต่างๆ ในโรงเรือนเลี้ยงไก่

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายวสันต์ เล่าห์กมล เกิดเมื่อวันที่ 5 ตุลาคม พ.ศ. 2522 ที่เขตป้อมปราบฯ กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2543 และได้เข้ารับการศึกษาระดับหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2544



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย