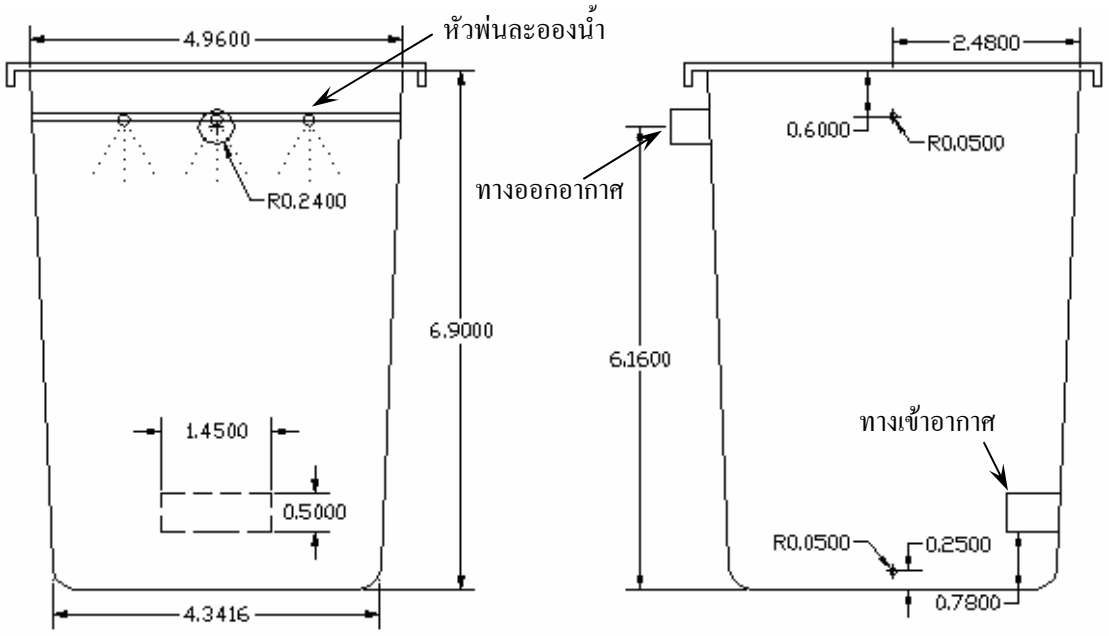
ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

1. การพัฒนาและการทดสอบเครื่องเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์

ในงานวิจัยนี้พัฒนาเครื่องเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศเพื่อใช้ในการหมักแบบแห้งในถังหมักแบบแพคเบด เพื่อลดการสูญเสียความชื้นของวัสดุหมักเนื่องจากระบบการให้อากาศ เพราะอากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำจะพาความชื้นออกจากวัสดุหมักไปพร้อมกับการระบายความร้อน และทำให้วัสดุหมักแห้งซึ่งไม่เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์ จากการทดสอบเครื่องเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้พัฒนาขึ้นโดยใช้อากาศที่ไม่มีการควบคุมปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศขาเข้าเครื่องเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ ที่อัตราการไหลอากาศ 34.62 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมงหรือความเร็วอากาศ 0.1 เมตรต่อวินาที โดยมีหัวพ่นละอองน้ำด้วยอัตราการไหล 72 ลิตรต่อชั่วโมง วัดความชื้นสัมพัทธ์ทั้งก่อนและหลังผ่านเครื่องเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ และเก็บข้อมูลทุก 30 นาที ทำการทดสอบนาน 84 ชั่วโมง ซึ่งในแต่ละการทดลองให้ผลดังนี้

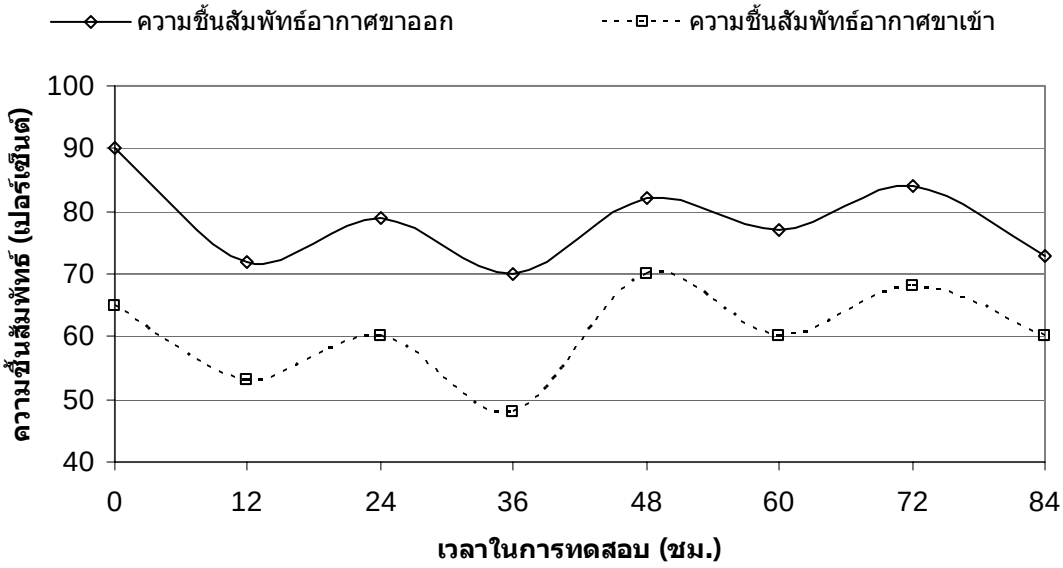
1.1 เครื่องเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศแบบที่ 1 ติดตั้งหัวพ่นละอองน้ำไว้ด้านบนของเครื่องเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์จำนวน 5 หัว โดยหัวพ่นละอองน้ำพ่นละอองน้ำจากด้านบนลงสู่ด้านล่าง ทางด้านล่างของเครื่องเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์มีท่อระบายน้ำทำหน้าที่ระบายน้ำที่เหลือจากการเพิ่มความชื้นในอากาศให้ไหลกลับลงสู่เครื่องสูบน้ำที่อยู่ทางด้านล่างเครื่องเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ อากาศจะไหลเข้าเครื่องเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ทางด้านล่างและไหลออกทางด้านบนของเครื่อง ดังภาพที่ 32

ผลการทดสอบเครื่องเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์แบบที่ 1 พบว่าสามารถเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศจาก 60 เปอร์เซ็นต์ ให้เป็น 76 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในภาพที่ 33 อากาศจะอยู่ในเครื่องเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์แบบที่ 1 ประมาณ 9 วินาที ทิศทางการไหลอากาศกับทิศทางการพ่นละอองน้ำภายในเครื่องเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์เป็นการไหลแบบทิศทางตรงกันข้ามกับ (counter-current) ทำให้การถ่ายเทมวลน้ำจากละอองน้ำไปสู่อากาศได้ดี (Yanniotis and Xerodemans, 2003) ความชื้นสัมพัทธ์ที่ออกจากเครื่องเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์แบบที่ 1 มีค่าความชื้นสัมพัทธ์ไม่คงที่ตลอดการทดลอง เนื่องจากอากาศที่เข้าเครื่องเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์มีความชื้นสัมพัทธ์ไม่คงที่ ซึ่งเป็นผลมาจากปรากฏการณ์ธรรมชาติ คือ ในเวลากลางวันมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิอากาศสูงขึ้นปริมาณน้ำที่มีได้ ณ. อุณหภูมินั้นจะมีมากขึ้นแต่ปริมาณน้ำในอากาศนั้นมีปริมาณเท่าเดิม จึงทำให้ให้ความชื้นสัมพัทธ์ลดต่ำลง (Mahmoud *et al*., 2004)



อัตราส่วน 1 หน่วย :10 เซนติเมตร

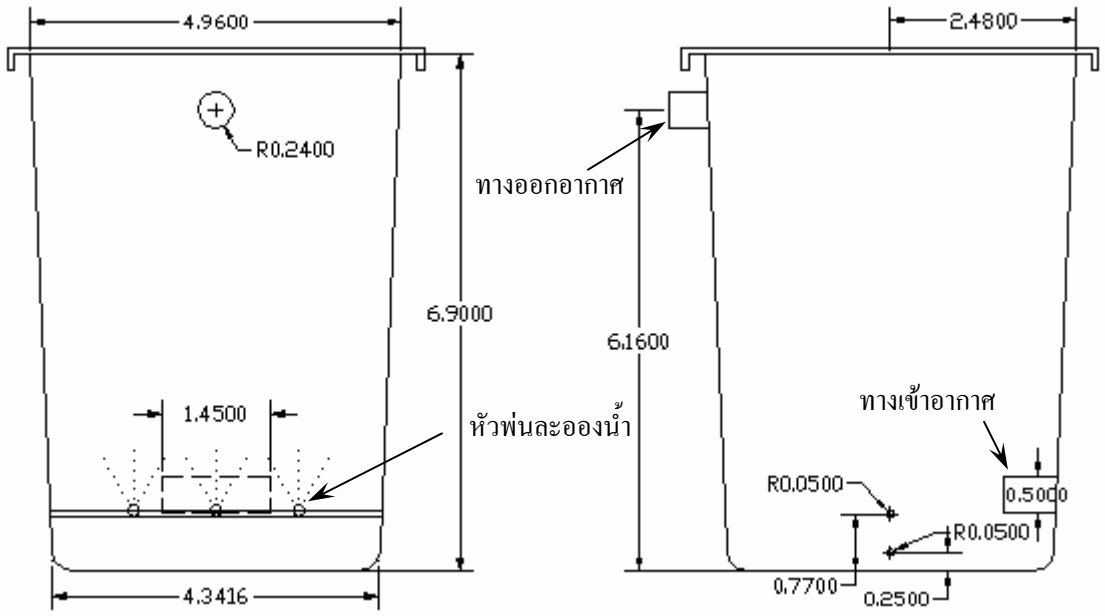
ภาพที่ 32 เครื่องเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์แบบที่ 1



ภาพที่ 33 ผลการทดสอบเครื่องเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์แบบที่ 1

จากผลการทดสอบเครื่องเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์แบบที่ 1 พบว่าเครื่องเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์แบบที่ 1 ไม่สามารถทำให้อากาศมีความชื้นสัมพัทธ์มากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าคงที่ตลอดการทดลอง จึงได้มีการปรับปรุงเครื่องเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์เป็นแบบที่ 2

1.2 เครื่องเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศแบบที่ 2 มีการปรับปรุงการติดตั้งหัวพ่นละอองน้ำจากด้านบนมาเป็นด้านล่างของเครื่องเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ ยังคงมีจำนวนหัวพ่นละอองน้ำจำนวน 5 หัว หัวพ่นละอองน้ำจะพ่นละอองน้ำจากด้านล่างขึ้นสู่ด้านบน ทางด้านล่างเครื่องเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์มีท่อระบายน้ำเพื่อระบายน้ำที่เหลือจากการเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ ให้ไหลกลับลงสู่เครื่องสูบน้ำ อากาศไหลเข้าเครื่องเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ทางด้านล่างและไหลออกทางด้านบนของเครื่องเพิ่มเช่นเดียวกับเครื่องเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์แบบที่ 1 ดังภาพที่ 34

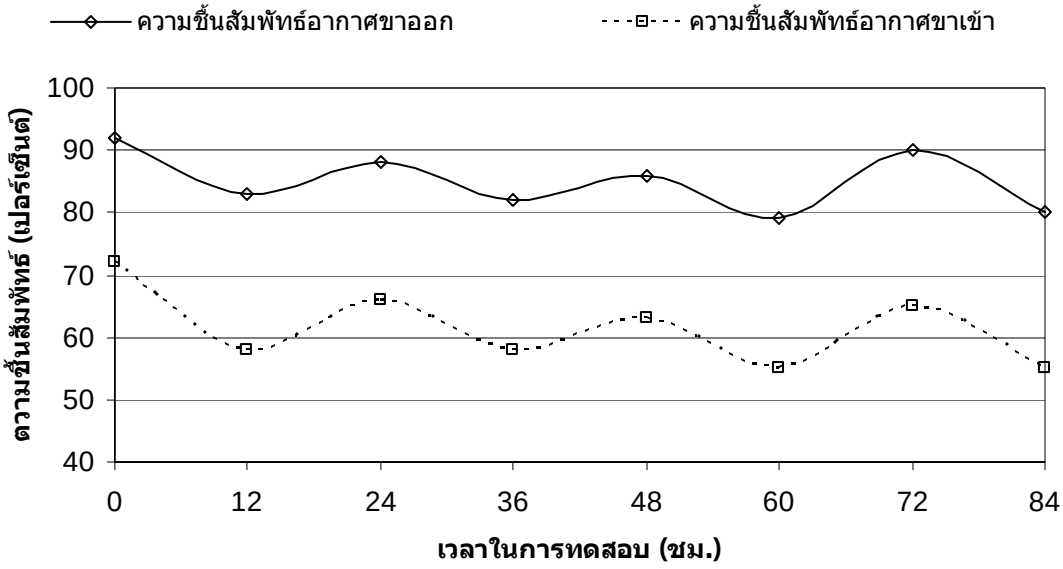


อัตราส่วน 1 หน่วย :10 เซนติเมตร

ภาพที่ 34 เครื่องเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์แบบที่ 2

ผลการทดสอบเครื่องเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์แบบที่ 2 พบว่าเครื่องนี้สามารถเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์อากาศจาก 62 เปอร์เซ็นต์ เป็น 85 เปอร์เซ็นต์ ดังภาพที่ 35 อากาศอยู่ในเครื่องเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์แบบที่ 2 ประมาณ 9 วินาที การไหลอากาศกับทิศทางการพ่นละอองน้ำภายในเครื่องเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์มีทั้งการไหลแบบทิศทางเดียวกัน (cocurrent flow) ขณะละอองน้ำถูกพ่นขึ้นสูงด้านบนของเครื่องเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ และการไหลทิศทางตรงกันข้าม (countercurrent flow) ขณะ

ละอองน้ำตกกลับลงสูงด้านล่างเครื่องเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ ผลจากการติดตั้งให้หัวพ่นละอองน้ำอยู่ด้านล่างและพ่นละอองน้ำขึ้นสู่ด้านบน ช่วยเพิ่มระยะเวลาที่ละอองน้ำอยู่ในอากาศให้นานขึ้นเพราะละอองน้ำจะถูกพ่นขึ้นด้านบนและตกกลับสู่ด้านล่าง ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลน้ำได้มากขึ้น ส่งผลให้อากาศที่ออกจากเครื่องเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์แบบที่ 2 มีความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่าเครื่องเพิ่มความชื้นแบบที่ 1 แต่ยังคงมีค่าความชื้นสัมพัทธ์ไม่เกิน 90 เปอร์เซ็นต์ และมีความชื้นสัมพัทธ์ไม่คงที่ตลอดการทดลองเหมือนกับเครื่องเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์แบบที่ 1

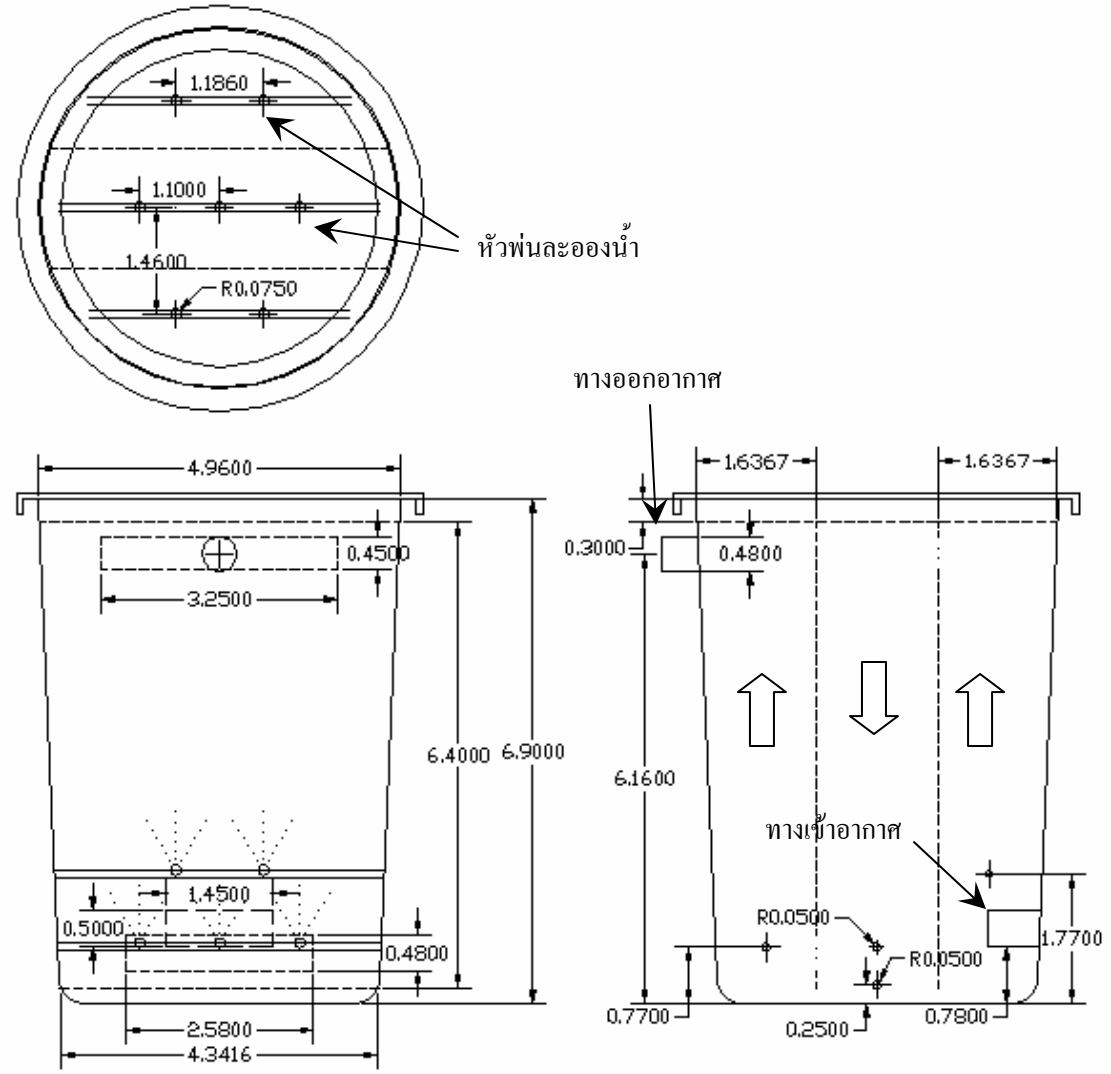


ภาพที่ 35 ผลการทดสอบเครื่องเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์แบบที่ 2

จากผลการทดสอบเครื่องเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์แบบที่ 2 พบว่าสามารถเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ได้มากกว่าเครื่องเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์แบบที่ 1 แต่มีความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศไม่เกิน 90 เปอร์เซ็นต์ และยังมีความไม่คงที่ของความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ จึงได้มีการปรับปรุงเครื่องเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์เป็นแบบที่ 3

1.3 เครื่องเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศแบบที่ 3 เพิ่มหัวพ่นละอองน้ำเป็น 7 หัว แบ่งออกเป็น 3 ชุด หัวพ่นละอองน้ำแต่ละชุดมีจำนวนหัวพ่นละอองน้ำ 2, 3 และ 2 หัว ตามลำดับ โดยที่ทุกหัวพ่นละอองน้ำมีทิศทางการพ่นละอองน้ำจากด้านล่างขึ้นสู่ด้านบนทั้งหมด เหมือนเครื่องเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์แบบที่ 2 แต่ภายในเครื่องเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์แบบที่ 3 ถูกแบ่งออกเป็น 3 ส่วนด้วยแผ่นกั้นควบคุมทิศทางการไหลของอากาศ เพื่อเพิ่มระยะเวลาที่อากาศอยู่ภายในเครื่องเพิ่ม

ความชื้นสัมพัทธ์แบบที่ 3 ให้นานขึ้น การไหลของอากาศภายในเครื่องเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์มีการไหลสลับขึ้นและลง ดังภาพที่ 36 ทางด้านล่างเครื่องเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์มีท่อระบายน้ำ ระบายน้ำที่เหลือจากการเพิ่มความชื้นในอากาศให้ไหลกลับลงสู่เครื่องสูบน้ำ อากาศไหลเข้าเครื่องเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ทางด้านล่างและไหลออกทางด้านบนของเครื่อง

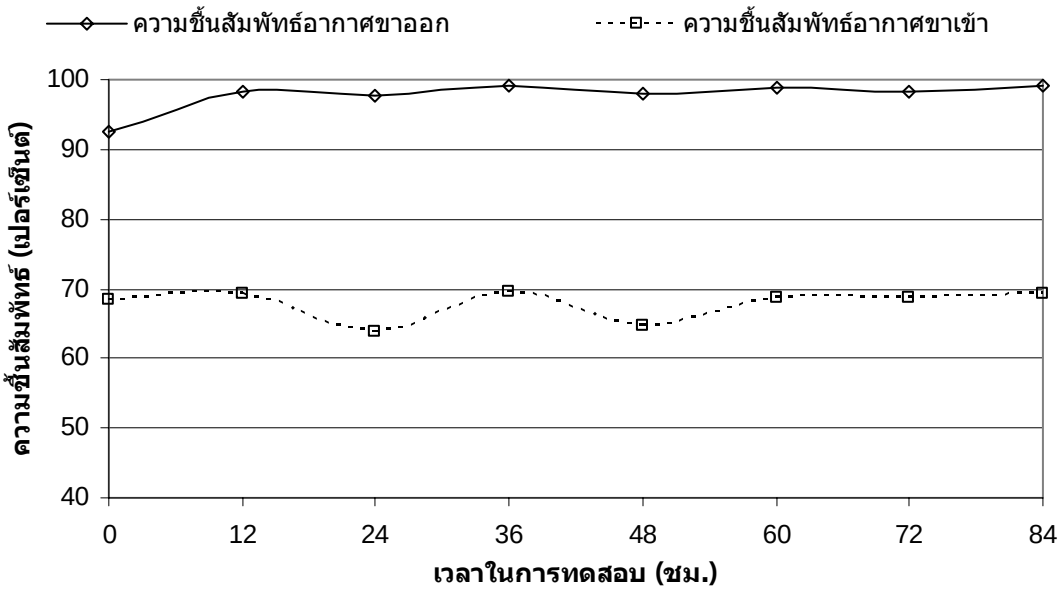


อัตราส่วน 1 หน่วย :10 เซนติเมตร

ภาพที่ 36 เครื่องเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์แบบที่ 3

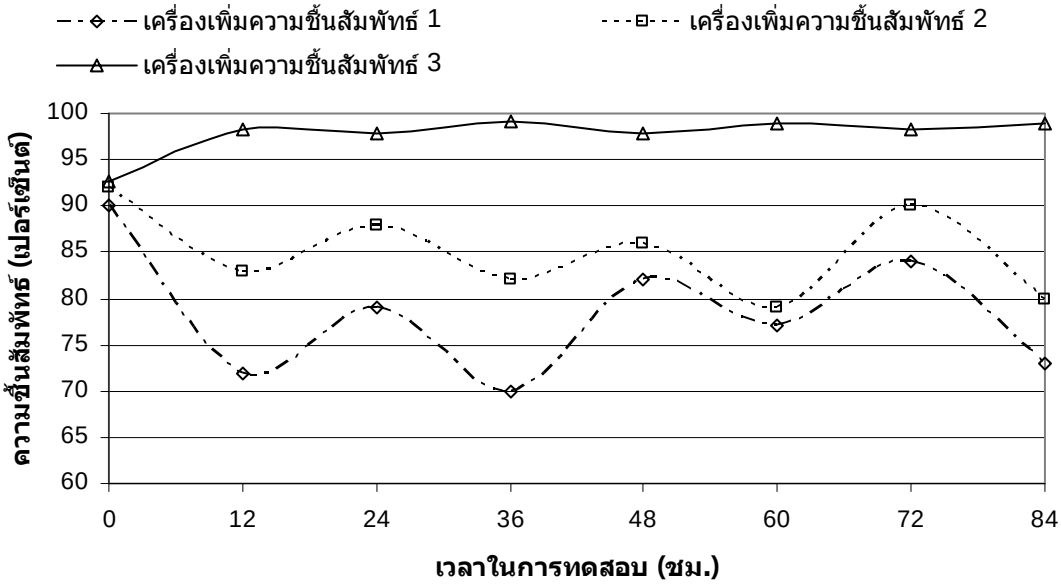
ผลจากการทดสอบเครื่องเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์แบบที่ 3 ในภาพที่ 37 พบว่าสามารถเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศจาก 69.6 เปอร์เซ็นต์ เป็น 98.1 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าเกือบคงที่ตลอดการทดลองโดยความชื้นสัมพัทธ์จะลดลงเล็กน้อยช่วงเวลา 12-15 นาฬิกา หรือในการทดลองทดสอบ

การหมักในชั่วโมงที่ 24, 48 และ 72 โดยที่ความชื้นสัมพัทธ์ตลอดการทดลองมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งถือว่าอากาศอิ่มตัวด้วยไอน้ำ ดังแสดงภาพที่ 37 ระยะเวลาที่อากาศอยู่ภายในเครื่องเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ 9.25 วินาที ซึ่งนานกว่าเครื่องเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์แบบที่ 1 และ 2 ทำให้สามารถเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ได้มากกว่า



ภาพที่ 37 ผลการทดสอบเครื่องเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์แบบที่ 3

เมื่อนำผลการเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศโดยเครื่องเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ทั้งแบบที่ 1, 2 และ3 มาเปรียบเทียบกันดังภาพที่ 38 พบว่าเครื่องเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์แบบที่ 3 สามารถเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ได้มากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์อีก 2 แบบ คือ เท่ากับ 98.1 เปอร์เซ็นต์ และมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ ตลอดการทดลอง 84 ชั่วโมง โดยที่เครื่องเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์แบบที่ 1 สามารถเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ได้เท่ากับ 79 เปอร์เซ็นต์ และเครื่องเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์แบบที่ 2 สามารถเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ได้เท่ากับ 85 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากเครื่องเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์แบบที่ 3 มีการใส่แผ่นกั้นอากาศเพื่อเพิ่มระยะเวลาที่อากาศอยู่ภายในเครื่องเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ให้นานขึ้นและแบ่งหัวพ่นละอองน้ำออกเป็นชุดๆ เพื่อช่วยให้การกระจายละอองน้ำดีขึ้น จึงนำเครื่องเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์แบบที่ 3 ไปทำการทดลองในการหมักแบบแห้งด้วยการหมักรา *R. oligosporus* และรา *A. oryzae* ในการทดลองส่วนที่ 2 และ 3 ต่อไป



ภาพที่ 38 การเปรียบเทียบการเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์แบบที่ 1 2 และ 3

2. การหมักรา *R. oligosporus* ในถังหมักแพคเบดแบบสองชั้น ที่ความเร็วอากาศในถังหมัก 0.1 เมตรต่อวินาที

การทดลองนี้เป็นการเลี้ยงรา *R. oligosporus* ในถังแพคเบดสองชั้น เพื่อศึกษาผลการใช้เครื่องเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ที่พัฒนา โดยการหมักรา *R. oligosporus* บนวัสดุหมักผสมระหว่างกากมันสำปะหลังกับรำข้าวเจ้า ด้วยสัดส่วน 70 ต่อ 30 โดยน้ำหนัก ปรับความชื้นวัสดุหมักให้ได้ 55 เปอร์เซ็นต์ ใส่ต้นเชื้อรา *A. oryzae* 5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักวัสดุหมักหลังจากปรับความชื้น บรรจุลงในตะแกรงกลมที่ถูกแบ่งออกเป็น 8 ส่วนด้วยแผ่นกั้นพลาสติก ดังภาพที่ 39 ใส่วัสดุหมักในตะแกรงสูง 10 เซนติเมตร นำอากาศที่ผ่านเครื่องเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์แบบที่ 1, 2 และ 3 มาระบายความร้อนในวัสดุหมักด้วยความเร็วอากาศในถังหมักแพคเบด 0.1 เมตรต่อวินาที ตั้งแต่ชั่วโมงที่ 12 หลังจากการหมักจนสิ้นสุดระยะเวลาหมัก

การเจริญของรา *R. oligosporus* บนวัสดุหมักผสมระหว่างกากมันสำปะหลังกับรำข้าวเจ้า พบว่าเมื่อทำการเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 1 วัน ราจะสร้างเส้นใยสีขาวและมีกลิ่นหอมอ่อนๆคล้ายกล้วยสุข เส้นใยแผ่ไปบนวัสดุหมัก และเห็นเส้นใยสีขาวฟูประมาณ 4-5 มิลลิเมตร ชัดเจนในวันที่ 2 และในวันที่ 3 ราจะเริ่มสร้างสปอร์ สปอร์ของรา *R. oligosporus* มีสีเทา และจะเข้มขึ้นเรื่อยๆตามปริมาณสปอร์ที่เพิ่มขึ้น เมื่อเสร็จสิ้นการหมักในชั่วโมงที่ 96 วัสดุหมักจะมีลักษณะดังภาพที่ 40

เบดบน

เบดล่าง

ภาพที่ 39 รูปวัสดุหมักเบดบนและล่าง ชั่วโมงที่ 0

เบดบน

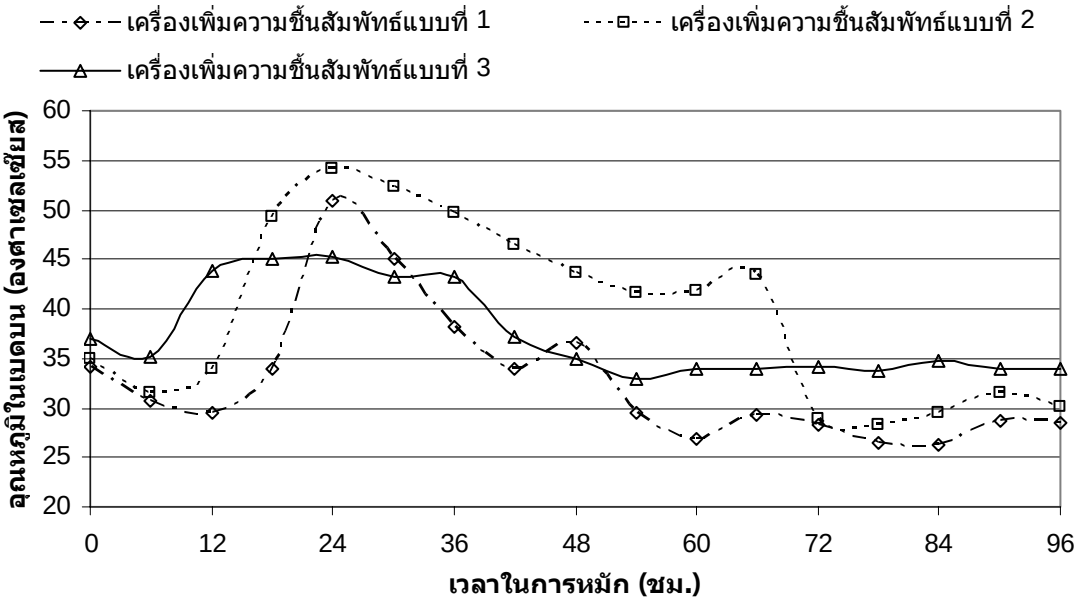
เบดล่าง

ภาพที่ 40 รูปวัสดุหมักด้านข้างในเบดบน และเบดล่าง ชั่วโมงที่ 96

จากภาพที่ 41 และ42 แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเบดบนและเบดล่างตลอดระยะเวลาการหมัก 96 ชั่วโมง อุณหภูมิในวัสดุหมักแสดงถึงการเจริญของรา *R. oligosporus* เนื่องจากเมื่อรา *R. oligosporus* เจริญจะเกิดความร้อนจากกระบวนการหายใจ ฉะนั้นเมื่อราเจริญได้ดีอุณหภูมิในเบดจึงสูงขึ้น แต่หากอุณหภูมิของเบดสูงเกิน 50 องศาเซลเซียส จะมีผลทำให้รา *R. oligosporus* หยุดชะงักการเจริญหรือตายได้ ในภาพที่ 41 อุณหภูมิในวัสดุหมักในช่วงแรกของเบดจะลดลงเนื่องจากวัสดุหมักที่ผ่านการฆ่าเชื้อยังอุ่นอยู่ จึงเกิดการถ่ายเทความร้อนจากวัสดุหมักออกสู่สิ่งแวดล้อมจนอุณหภูมิวัสดุหมักมีค่าใกล้เคียงกับสิ่งแวดล้อม หลังจากนั้นอุณหภูมิในเบดเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆเนื่องจากรา *R. oligosporus* เริ่มเจริญจนถึงชั่วโมงที่ 12 ซึ่งเป็นเวลาให้อากาศแก่ระบบด้วยความเร็วอากาศในถังหมัก 0.1 เมตรต่อวินาที อากาศช่วยถ่ายเทความร้อนออกจากเบดและควบคุมให้อุณหภูมิในเบดอยู่ในช่วง 30-42 องศาเซลเซียส (Wang et al., 1975; Hesseltine, 1979; Nout and Rombouts, 1990) ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมกับการเจริญของรา *R.. oligosporus*

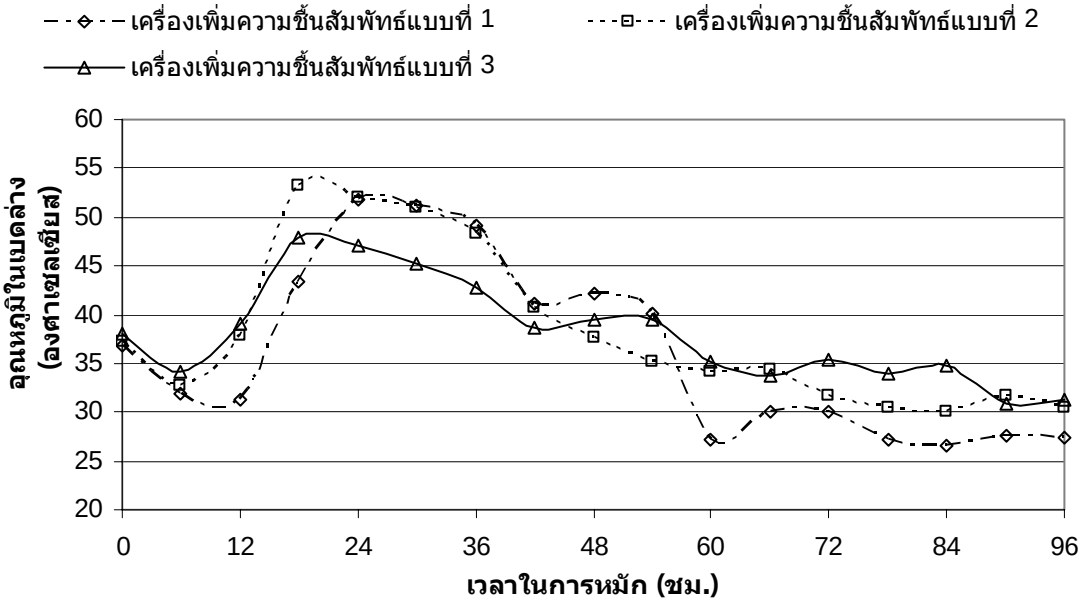
เพราะถ้าอุณหภูมิในเบดสูงมากกว่า 42 องศาเซลเซียส อาจทำให้ราชะงักการเจริญ การถ่ายเทความร้อนในกระบวนการหมักแบบแห้งจะถูกจำกัดด้วยความสามารถในการถ่ายเทความร้อนของวัสดุหมัก (Raimbault, 1998) นอกจากนั้นอากาศช่วยระบายความร้อนออกจากเบดแล้วอากาศยังช่วยพาออกซิเจนเข้าสู่ชั้นเบดและระบายปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากชั้นเบด หลังจากการให้อากาศอุณหภูมิวัสดุหมักจะลดลงเล็กน้อยและเพิ่มขึ้นในเวลาต่อมา ในช่วงหลังของการหมักอุณหภูมิในวัสดุหมักลดต่ำลงเนื่องจากราเจริญได้น้อยลงคาดว่ามาจากสภาวะไม่เหมาะสม เช่น มีความชื้นในวัสดุหมักน้อยหรืออาหารที่ใช้ในการเจริญเริ่มขาดแคลน

การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในเบดบนแสดงในภาพที่ 41 พบว่าเครื่องเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์แบบที่ 3 สามารถช่วยให้อุณหภูมิในเบดบนไม่สูงเกิน 45 องศาเซลเซียส ซึ่งจะช่วยให้รา *R. oligosporus* เจริญได้ดีเมื่อเปรียบเทียบกับการทดลองที่ใช้อากาศจากเครื่องเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์แบบที่ 1 และ 2 ที่มีอุณหภูมิในวัสดุหมักสูงกว่า 50 องศาเซลเซียส ทำให้รา *R. oligosporus* บางส่วนตายไปเนื่องจากอุณหภูมิในวัสดุหมักสูง สังเกตได้จากในช่วงหลังการทดลองที่ใช้อากาศจากเครื่องเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์แบบที่ 1 และ 2 มีอุณหภูมิในวัสดุหมักต่ำกว่าการทดลองที่ใช้อากาศจากเครื่องเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์แบบที่ 3



ภาพที่ 41 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเบดบน ในการหมักรา *R. oligosporus* ใช้อากาศที่ผ่านเครื่องเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์แบบที่ 1, 2 และ 3 ด้วยความเร็วอากาศ 0.1 เมตรต่อวินาที

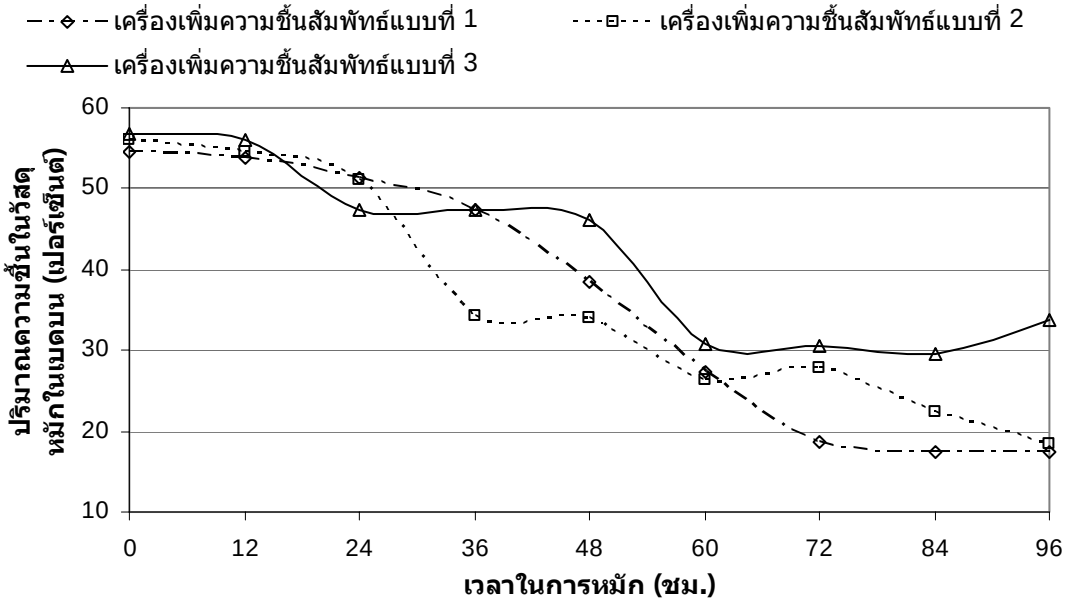
การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในเบดล่างแสดงในภาพที่ 42 มีแนวโน้มเหมือนกับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในเบดบน พบว่าเครื่องเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์แบบที่ 3 สามารถช่วยให้อุณหภูมิในเบดล่างไม่สูงเกิน 50 องศาเซลเซียส และในช่วงหลังการทดลองมีอุณหภูมิในวัสดุหมักสูงกว่าอีก 2 การทดลอง ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ผ่านเครื่องเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์แบบที่ 3 มีค่ามากกว่าแบบที่ 1 และ 2 จึงช่วยลดอุณหภูมิภายในเบดให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมกับการเจริญของรา *R. oligosporus*



ภาพที่ 42 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเบดล่าง ในการหมักรา *R. oligosporus* ใช้อากาศที่ผ่านเครื่องเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์แบบที่ 1, 2 และ 3 ด้วยความเร็วอากาศ 0.1 เมตรต่อวินาที

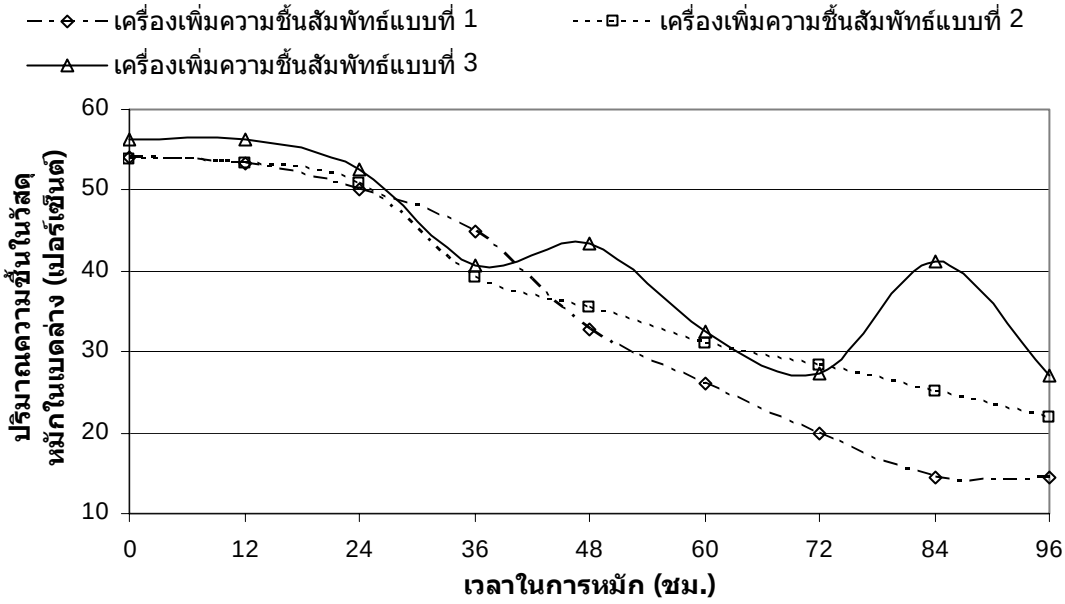
การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นในวัสดุหมักในการหมักรา *R. oligosporus* ที่ความชื้นวัสดุหมักเริ่มต้นเท่ากับ 55 เปอร์เซ็นต์ และมีการให้อากาศที่ผ่านเครื่องเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์แบบที่ 1, 2 และ 3 ด้วยความเร็วอากาศ 0.1 เมตรต่อวินาที ดังภาพที่ 43 แสดงความชื้นในวัสดุหมักในเบดบน และภาพที่ 44 แสดงความชื้นในวัสดุหมักในเบดล่าง ปริมาณความชื้นในวัสดุหมักจะลดลงอย่างต่อเนื่องตลอดการทดลอง การลดลงของความชื้นในวัสดุหมักเกิดจากการเจริญของรา *R. oligosporus* ทำให้มีอุณหภูมิในเบดสูง จึงทำให้เกิดการการระเหยของน้ำออกจากวัสดุหมัก นอกจากนั้นการสูญเสียความชื้นของวัสดุหมักยังเกิดจากอากาศพาความชื้นออกไป ทั้งที่อากาศที่ใช้ระบายความร้อนมีความชื้นสัมพัทธ์สูง แต่เนื่องจากเบดมีอุณหภูมิสูงทำให้อากาศบริเวณรอบๆเบดมีอุณหภูมิสูง ส่งผลให้ความชื้นสัมพัทธ์รอบเบดลดต่ำลงการระเหยของน้ำจึงเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว

ทำให้ความชื้นในเบดลดลง ดังแสดงในภาพที่ 43 และ 44 ในชั่วโมงที่ 12-60 หลังจากชั่วโมงที่ 60 อุณหภูมิเบดมีค่าใกล้เคียงกับอากาศที่ใช้ระบายความร้อนในวัสดุหมัก ในการทดลองที่ใช้เครื่องเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์แบบที่ 1 และ 2 มีอัตราการลดลงของความชื้นในวัสดุหมักมากกว่าในการทดลองที่ใช้อากาศจากเครื่องเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์แบบที่ 3 ดังภาพที่ 43-44 เนื่องจากอากาศที่ออกจากเครื่องเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์แบบที่ 3 มีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยตลอดการทดลองมากกว่าอากาศที่ออกจากเครื่องเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์แบบที่ 1 และ 2 คือ 98.1, 79 และ 85 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ



ภาพที่ 43 การเปลี่ยนแปลงความชื้นในวัสดุหมักเบดบน ในการหมักรา *R. oligosporus* ใช้อากาศที่ผ่านเครื่องเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์แบบที่ 1, 2 และ 3 ด้วยความเร็วอากาศ 0.1 เมตรต่อวินาที

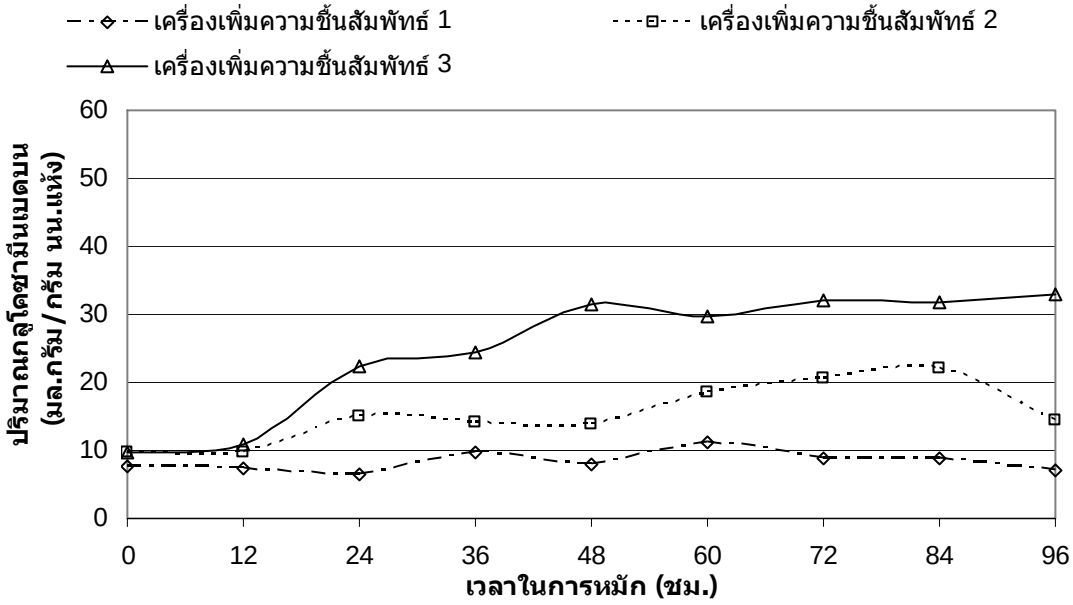
การทดลองที่ใช้อากาศจากเครื่องเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์แบบที่ 3 มีความชื้นในวัสดุหมักในชั่วโมงที่ 96 สูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับการทดลองที่ใช้อากาศจากเครื่องเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์แบบที่ 1 และ 2 คือ มีความชื้นในวัสดุหมักในเบดบน 33.82 เปอร์เซ็นต์ และในเบดล่างมีปริมาณความชื้น 27.18 เปอร์เซ็นต์ และมีความชื้นในวัสดุหมักสุดท้ายในการทดลองที่ใช้อากาศจากเครื่องเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์แบบที่ 1 และ2 เท่ากับ 17.36 และ 18.44 เปอร์เซ็นต์ ในเบดบน และ 14.44 และ 21.97 เปอร์เซ็นต์ ในเบดล่าง



ภาพที่ 44 การเปลี่ยนแปลงความชื้นในวัสดุหมักเบดล่าง ในการหมักรา *R. oligosporus* ใช้อากาศที่ผ่านเครื่องเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์แบบที่ 1, 2 และ 3 ด้วยความเร็วอากาศ 0.1 เมตรต่อวินาที

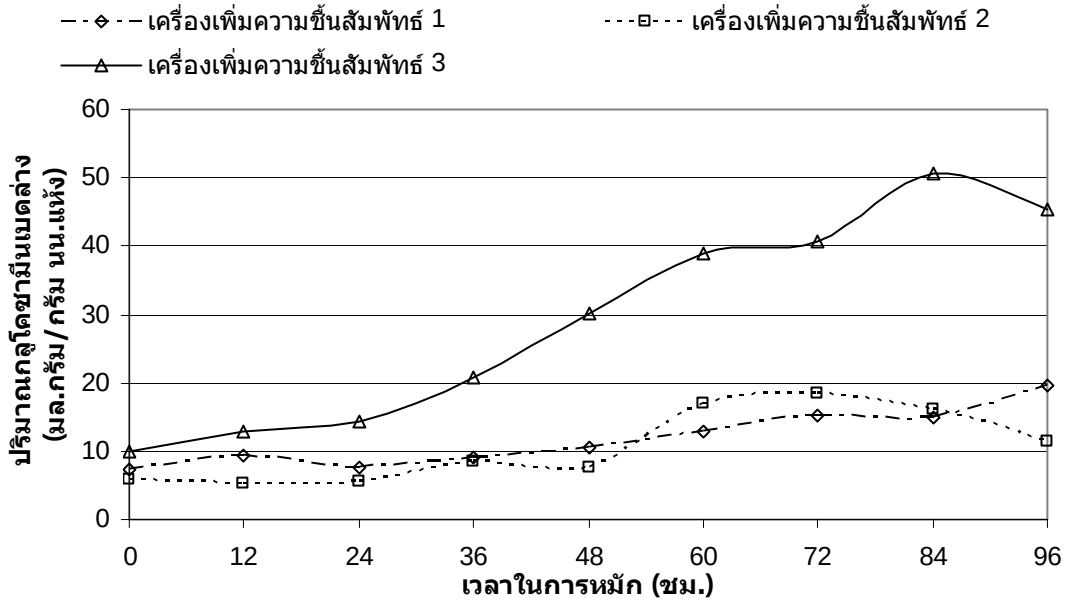
ปริมาณกลูโคซามีนเป็นตัวบ่งชี้การเจริญของรา *R. oligosporus* เนื่องจากกลูโคซามีนเป็นโมโนเมอร์ของไคตินซึ่งเป็นสารประกอบที่พบบริเวณผนังเซลล์ของรา ดังนั้นปริมาณกลูโคซามีนที่สกัดได้จากตัวอย่างจะทำให้ทราบความสามารถในการเจริญของรา *R. oligosporus* ไม่ว่าจะเป็นการขยายขนาดของเซลล์ หรือการเพิ่มจำนวนไมซีเลียม จากทดลองพบว่าในช่วงแรกของการหมักรา *R. oligosporus* จะเจริญอย่างรวดเร็วทำให้มีปริมาณกลูโคซามีนเพิ่มอย่างรวดเร็วจนกระทั่งชั่วโมงที่ 48 เมื่ออาหารเริ่มจำกัดรา *R. oligosporus* ชะลอการเจริญมีผลให้ปริมาณกลูโคซามีนมีค่าเปลี่ยนแปลงไม่มากนักในช่วงหลังของการทดลอง ในการทดลองที่ใช้อากาศจากเครื่องเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์แบบที่ 3 ช่วยให้รา *R. oligosporus* เจริญได้ดี พบว่ามีปริมาณกลูโคซามีนสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับอีกสองการทดลอง คือ มีปริมาณกลูโคซามีนในเบดบนสูงสุดในชั่วโมงที่ 96 เท่ากับ 33.05 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ดังภาพที่ 45 และในเบดล่างมีปริมาณกลูโคซามีนเท่ากับ 50.64 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ในชั่วโมงที่ 84 ดังภาพที่ 46 ในการทดลองที่ใช้อากาศจากเครื่องเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์แบบที่ 1 และ 2 มีปริมาณกลูโคซามีนสูงสุดในเบดบนเท่ากับ 11.26 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งในชั่วโมงที่ 60 และ 22.02 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งในชั่วโมงที่ 84 และมีปริมาณกลูโคซามีนสูงสุดในเบดล่างเท่ากับ 19.52 มิลลิกรัมมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ในชั่วโมงที่ 96 และ18.54 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ในชั่วโมงที่ 72 จากการทดลองพบว่าเครื่องเพิ่มความชื้น

สัมพัทธ์แบบที่ 3 สามารถช่วยให้รา *R. oligosporus* เจริญได้ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับการทดลองที่ใช้เครื่องเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์แบบที่ 1 และ 2 โดยพิจารณาจากปริมาณกลูโคซามีนที่มีปริมาณสูง



ภาพที่ 45 ปริมาณกลูโคซามีนเบดบน ในการหมักรา *R. oligosporus* ใช้อากาศที่ผ่านเครื่องเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์แบบที่ 1, 2 และ 3 ด้วยความเร็วอากาศ 0.1 เมตรต่อวินาที

จากการทดลองในตอนที่ 2 พบว่าเครื่องเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์แบบที่ 3 ช่วยให้รา *R. oligosporus* เจริญได้ดีกว่า การใช้อากาศจากเครื่องเพิ่มความชื้นแบบที่ 1 และ 2 เนื่องจากมีปริมาณกลูโคซามีนสูงที่สุดทั้งในเบดบนและเบดล่าง จึงจะนำเครื่องเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์แบบที่ 3 ไปทดลองเพิ่มความเร็วอากาศในการหมักรา *R. oligosporus* จาก 0.1 เป็น 0.15 เมตรต่อวินาที เนื่องจากที่ความเร็วอากาศ 0.1 เมตรต่อวินาที มีบางช่วงของการทดลองมีอุณหภูมิเกิน 42 องศาเซลเซียส การเพิ่มความเร็วอากาศคาดว่าจะถ่ายเทความร้อนออกจากเบดได้ดีขึ้น นอกจากนั้นยังช่วยพาออกซิเจนเข้าสู่วัสดุหมักได้มากขึ้นซึ่งคาดว่าจะช่วยให้รา *R. oligosporus* เจริญได้ดีขึ้น



ภาพที่ 46 ปริมาณกลูโคซามีนเบดล่าง ในการหมักรา *R. oligosporus* ใช้อากาศที่ผ่านเครื่องเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์แบบที่ 1, 2 และ 3 ด้วยความเร็วอากาศ 0.1 เมตรต่อวินาที

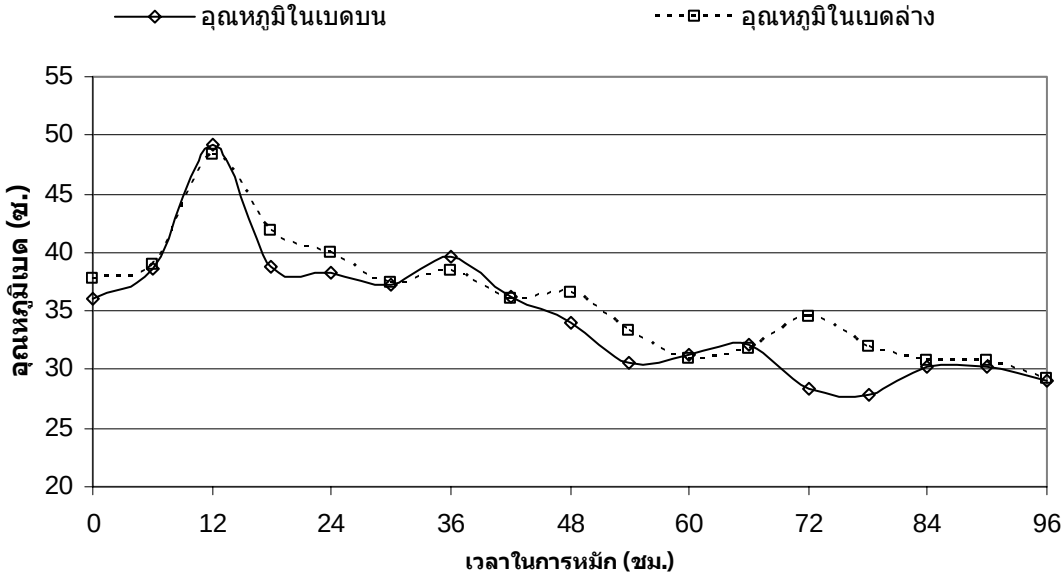
3. การหมักรา *R. oligosporus* ในถังหมักแพคเบดแบบสองชั้น ที่ความเร็วอากาศในถังหมัก 0.15 เมตรต่อวินาที

การทดลองในตอนที่ 3 นี้จะเป็นการทดสอบเครื่องเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์แบบที่ 3 โดยจะทำการหมักรา *R. oligosporus* ในสภาวะเดียวกับการทดลองที่ 2 แต่เพิ่มความเร็วอากาศในถังหมักแพคเบดจาก 0.1 เป็น 0.15 เมตรต่อวินาที

ทำการหมักรา *R. oligosporus* บนวัสดุหมักผสมระหว่างกากมันสำปะหลังกับรำข้าวเจ้าด้วยสัดส่วน 70 ต่อ 30 โดยน้ำหนัก ปรับความชื้นวัสดุหมักให้ได้ 55 เปอร์เซ็นต์ ใส่ต้นเชื้อรา *R. oligosporus* 5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักวัสดุหมักหลังจากปรับความชื้น บรรจุลงในตะแกรงกลมที่ถูกแบ่งออกเป็น 8 ส่วนด้วยแผ่นกั้นพลาสติก ใส่วัสดุหมักในตะแกรงสูง 10 เซนติเมตร ให้อากาศที่ผ่านเครื่องเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์แบบที่ 3 มาระบายความร้อนในวัสดุหมักด้วยความเร็วอากาศในถังหมักแพคเบด 0.15 เมตรต่อวินาที ตั้งแต่ชั่วโมงที่ 12 หลังจากการหมักจนสิ้นสุดระยะเวลาหมัก

การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในวัสดุหมักแสดงในภาพที่ 47 พบว่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในวัสดุหมักคล้ายกับการทดลองในตอนที่ 2 คือในช่วงแรกอุณหภูมิในวัสดุหมักจะลดลงและเพิ่มขึ้น

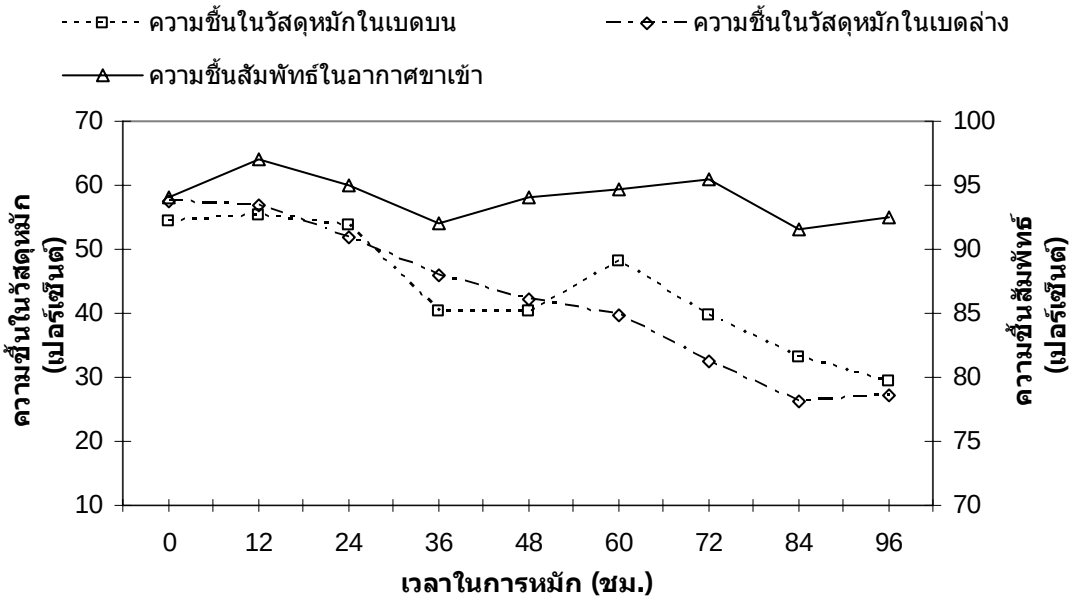
จนถึงในชั่วโมงที่ 12 มีอุณหภูมิภายในวัสดุหมักเบดบนและเบดล่างเท่ากับ 49.15 และ 48.33 องศาเซลเซียส ให้อากาศเพื่อระบายความร้อนในวัสดุหมักที่ความเร็วอากาศ 0.15 เมตรต่อวินาที หลังจากที่ให้อากาศในชั่วโมงที่ 12 แล้วอุณหภูมิในวัสดุหมักลดลงและอยู่ในช่วง 30-42 องศาเซลเซียส ซึ่งเหมาะกับการเจริญของรา *R. oligosporus*



ภาพที่ 47 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในเบดบนและล่าง ในการหมักรา *R. oligosporus* ใช้อากาศที่ผ่านเครื่องเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์แบบที่ 3 ด้วยความเร็วอากาศ 0.15 เมตรต่อวินาที

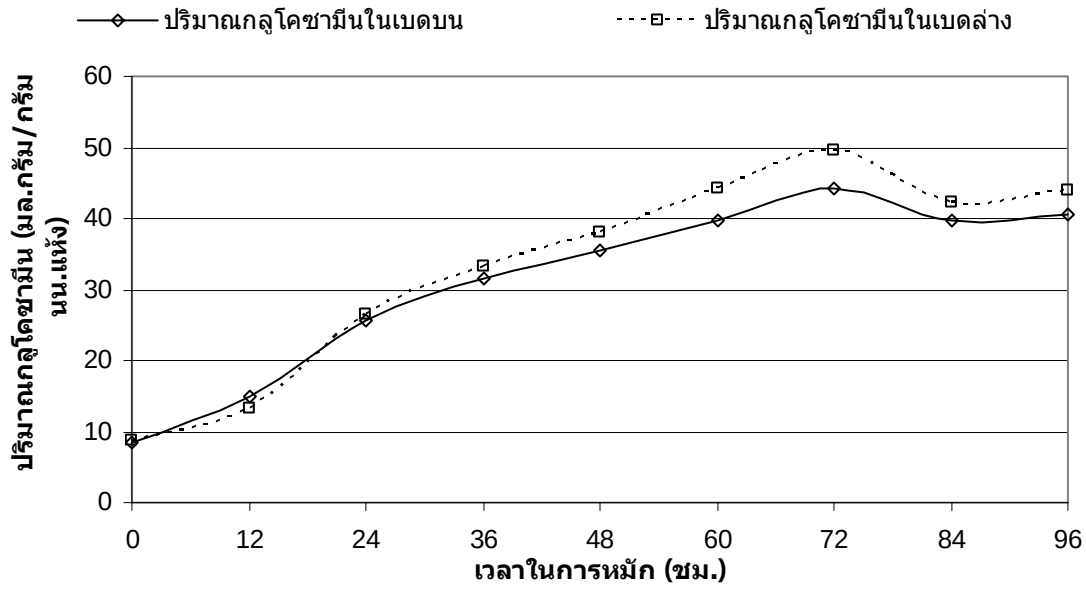
ภาพที่ 48 แสดงปริมาณความชื้นในวัสดุหมักที่เปลี่ยนแปลงในระหว่างการหมัก ปริมาณความชื้นในวัสดุหมักจะลดลงตลอดการทดลอง โดยที่ปริมาณความชื้นในวัสดุหมักในเบดบนและเบดล่างมีปริมาณใกล้เคียงกับการทดลองที่ใช้เครื่องเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์แบบที่ 3 ที่ความเร็วอากาศ 0.1 เมตรต่อวินาที ที่ความเร็วอากาศ 0.15 เมตรต่อวินาที มีปริมาณความชื้นในชั่วโมงที่ 96 เท่ากับ 29.35 และ 27.14 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าการเพิ่มความเร็วอากาศจาก 0.1 เป็น 0.15 เมตรต่อวินาที ไม่มีผลต่อการลดลงของความชื้นในวัสดุหมัก ทั้งที่เมื่อความเร็วอากาศสูงอากาศจะพาความชื้นออกจากวัสดุหมักได้มากกว่า (Mahmoud *et al*., 2003; Dai and Zhang, 2000) จากการทดลองพบว่าทั้งสองการทดลองมีอุณหภูมิในเบดใกล้เคียงกันแต่มีความเร็วอากาศต่างกัน มีการลดลงของความชื้นในวัสดุหมักใกล้เคียงกันด้วย แสดงว่าการลดลงของความชื้นในวัสดุหมักที่เกิดจากอากาศพาความชื้นออกจากวัสดุหมัก ไม่ส่งผลต่อการลดลงของความชื้นในวัสดุหมัก แต่การลดลงของความชื้นในวัสดุหมักเกิดจากอุณหภูมิในเบดสูง ส่งผลให้อุณหภูมิรอบๆเบดสูงจึงทำให้

ความชื้นสัมพัทธ์รอบๆเบดลดต่ำลงความชื้นในวัสดุหมักจึงระเหยได้ง่าย ทั้งที่ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศขาเข้าถังหมักมีค่ามากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ตลอดการทดลอง



ภาพที่ 48 การเปลี่ยนแปลงความชื้นในวัสดุหมักในเบดบนและล่าง และความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศขาเข้าถังหมักแพคเบด ในการหมักรา *R. oligosporus* ใช้อากาศที่ผ่านเครื่องเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์แบบที่ 3 ด้วยความเร็วอากาศ 0.15 เมตรต่อวินาที

ภาพที่ 49 แสดงปริมาณกลูโคซามีนในระหว่างการหมัก พบว่าในชั่วโมงที่ 0-12 ปริมาณกลูโคซามีนยังมีปริมาณไม่มากนัก แต่หลังจากชั่วโมงที่ 12 ปริมาณกลูโคซามีนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงชั่วโมงที่ 72 ปริมาณกลูโคซามีนมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนักอาจเนื่องมาจากอาหารในวัสดุหมักเริ่มขาดแคลน โดยที่มีปริมาณกลูโคซามีนสูงสุดในเบดบนและเบดล่างเท่ากับ 44.31 และ 49.46 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง เมื่อเปรียบเทียบปริมาณกลูโคซามีน พบว่าการทดลองที่ความเร็วอากาศ 0.15 เมตรต่อวินาที มีปริมาณกลูโคซามีนในชั่วโมงที่ 72 สูงกว่าการทดลองที่ความเร็วอากาศ 0.1 เมตรต่อวินาที แสดงว่าการให้อากาศที่ความเร็วในถังหมักแพคเบดเท่ากับ 0.15 เมตรต่อวินาที ช่วยให้รา *R. oligosporus* เจริญได้ดีกว่าที่ความเร็วอากาศในถังหมักแพคเบดเท่ากับ 0.1 เมตรต่อวินาที และการให้อากาศจะช่วยคุมอุณหภูมิในวัสดุหมักให้อยู่ในช่วง 30 – 42 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงที่รา *R. oligosporus* เจริญได้ดี และการเพิ่มความเร็วอากาศช่วยพาออกซิเจนเข้าสู่วัสดุหมักได้มากกว่าจึงช่วยให้รา *R. oligosporus* เจริญได้ดีเพราะรา *R. oligosporus* ใช้ออกซิเจนในการเจริญ



ภาพที่ 49 ปริมาณกลูโคซามีนในเบดบนและล่าง ในการหมักรา *R. oligosporus* ใช้อากาศที่ผ่านเครื่องเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์แบบที่ 3 ด้วยความเร็วอากาศ 0.15 เมตรต่อวินาที

จากการทดสอบเครื่องเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์แบบที่ 3 ที่ความเร็วอากาศ 0.15 เมตรต่อวินาที พบว่า สามารถเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ได้มากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ ตลอดการทดลอง นอกจากนั้นช่วยให้รา *R. oligosporus* เจริญได้ดีกว่าการทดลองที่ให้อากาศระบายความร้อนเท่ากับ 0.1 เมตรต่อวินาที หลังจากนั้นทดสอบเครื่องเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์แบบที่ 3 ในการหมักชนิดอื่น เช่น รา *A .oryzae* ว่าสามารถช่วยให้รา *A .oryzae* เจริญได้ดีหรือไม่ เนื่องจากราทั้งสองชนิดเจริญได้ในช่วงอุณหภูมิเดียวกัน

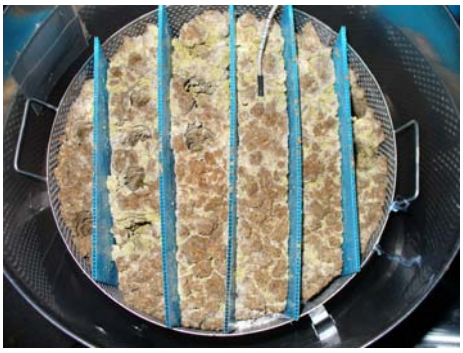
4. การหมักรา *A . oryzae* ในถังหมักแพคเบดแบบชั้นเดียว ที่ความเร็วอากาศในถังหมัก 0.15 เมตรต่อวินาที

การทดลองนี้เป็นการทดสอบการใช้เครื่องเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์แบบที่ 3 ในการหมักรา *A. oryzae* บนวัสดุหมักผสมระหว่างรำข้าวสาลีกับรำข้าวเจ้าด้วยสัดส่วน 75 ต่อ 25 โดยน้ำหนัก ปรับความชื้นวัสดุหมักให้ได้ 50 เปอร์เซ็นต์ ใส่ต้นเชื้อรา *A. oryzae* 0.3 เปอร์เซ็นต์และแป้งจำนวน 10 เปอร์เซ็นต์ บรรจุลงในตะแกรงกลมที่ถูกแบ่งออกเป็น 6 ส่วนด้วยแผ่นกั้นพลาสติก ใส่วัสดุหมักในตะแกรงสูง 10 เซนติเมตร ให้อากาศในชั่วโมงที่ 12 ด้วยความเร็วอากาศ 0.15 เมตรต่อวินาที

การเจริญของรา *A. oryzae* บนวัสดุหมักผสมระหว่างกากมันสำปะหลังกับรำข้าวเจ้า ดังภาพที่ 50 พบว่าเมื่อทำการเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ราจะสร้างเส้นใยสปอร์สีขาว ที่เรียกว่า ไมซีเลียม ปกคลุมวัสดุหมัก และในชั่วโมงที่ 60 ราจะเริ่มสร้างสปอร์ โดยสปอร์ของรา *A. oryzae* มีสีเหลืองแกมเขียว และจะเข้มขึ้นเรื่อยๆตามปริมาณสปอร์ที่เพิ่มขึ้น

ชั่วโมงที่ 0

ชั่วโมงที่ 24



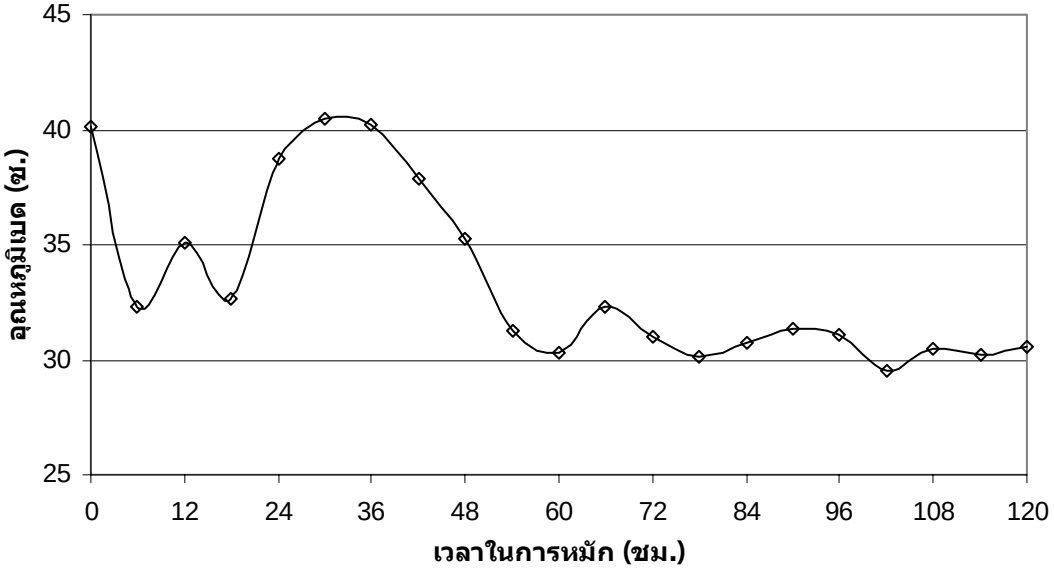
ชั่วโมงที่ 60

ชั่วโมงที่ 120

ภาพที่ 50 รูปวัสดุหมักที่ชั่วโมงที่ 0, 24, 60 และ120

จากภาพที่ 51 แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเบดตลอดระยะเวลาการหมัก 120 ชั่วโมง การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเบดมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเหมือนกับการทดลองที่ผ่านมา คือ ในช่วงแรกอุณหภูมิวัสดุหมักจะลดลงแล้วเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆจนอุณหภูมิในเบดเท่ากับ 35.07 องศาเซลเซียส ในชั่วโมงที่ 12 จึงมีการเปิดลมที่ผ่านเครื่องเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์แบบที่ 3 ด้วยความเร็วลม 0.15 เมตรต่อวินาที มาระบายความร้อนในเบด ให้อุณหภูมิในเบดอยู่ในช่วงที่เหมาะกับการเจริญของรา *A. oryzae* หลังจากเปิดลมแล้วอุณหภูมิในวัสดุหมักจะลดลง เนื่องจากรา *A. oryzae*

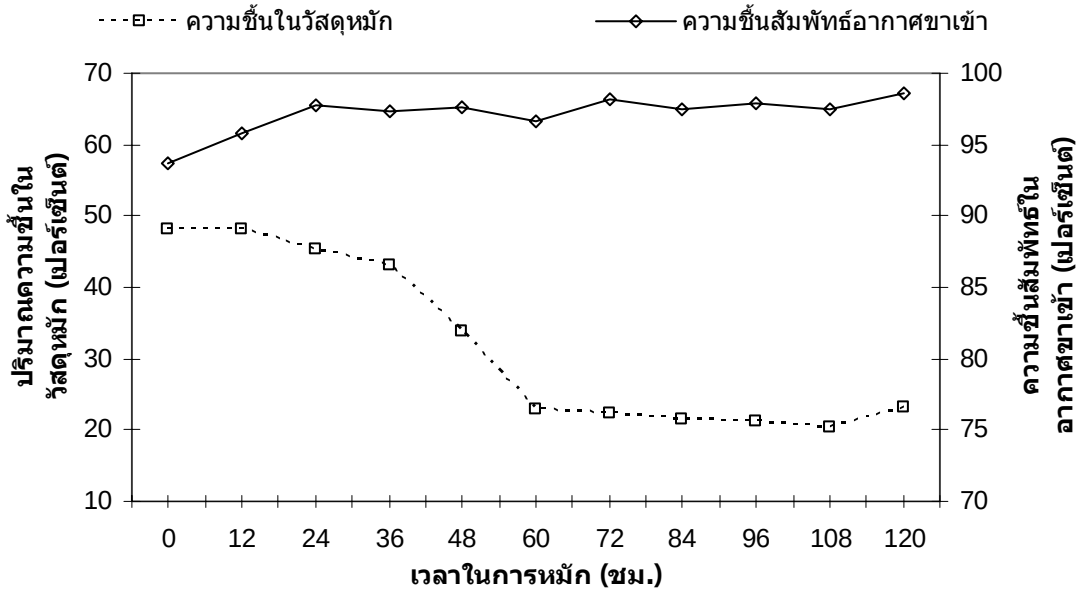
จะปรับตัวกับสภาวะใหม่ ระยะปรับตัวของรา *A. oryzae* อยู่ระหว่างชั่วโมงที่ 12-18 ดังภาพที่ 51 และรา *A. oryzae* เริ่มเจริญอีกครั้งจนถึงชั่วโมงที่ 60 อุณหภูมิในเบดลดต่ำลงแสดงว่าราเริ่มชะลอการเจริญคาดว่าเนื่องจากอาหารเริ่มขาดแคลน สังเกตได้จากภาพที่ 50 พบว่าวัสดุหมักในชั่วโมงที่ 60 แล ชั่วโมงที่ 120 มีลักษณะคล้ายกัน



ภาพที่ 51 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในเบด ในการเลี้ยงรา *A. oryzae* ใช้อากาศที่ผ่านเครื่องเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์แบบที่ 3 ด้วยความเร็วอากาศ 0.15 เมตรต่อวินาที

จากภาพที่ 52 แสดงปริมาณความชื้นในวัสดุหมักที่เปลี่ยนแปลงในระหว่างการหมักรา *A. oryzae* ปริมาณความชื้นในวัสดุหมักจะลดลงตลอดการทดลอง โดยที่มีความชื้นในวัสดุหมักเริ่มต้นเท่ากับ 50 เปอร์เซ็นต์ และมีการให้อากาศที่ผ่านเครื่องเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์แบบที่ 3 ด้วยความเร็ว 0.15 เมตรต่อวินาที ซึ่งเครื่องเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์แบบที่ 3 สามารถเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ได้เฉลี่ย 97.38 เปอร์เซ็นต์ และมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ ตลอดการทดลอง ดังภาพที่ 52 ซึ่งถือว่ามีค่าใกล้เคียงกับที่อัตราเร็วลม 0.1 เมตรต่อวินาที เมื่ออัตราเร็วอากาศสูงขึ้นทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ลดต่ำลง (Mahmoud, 2004; Iyuke, 2001) ปริมาณความชื้นในวัสดุหมักลดลงอย่างรวดเร็วในชั่วโมงที่ 24-60 เนื่องจากรา *A. oryzae* มีการเจริญอย่างรวดเร็ว มีผลให้อุณหภูมิในเบดสูง จึงทำให้น้ำระเหยออกจากวัสดุหมักอย่างรวดเร็ว ดังภาพที่ 52 และหลังจากชั่วโมงที่ 60 ปริมาณความชื้นในวัสดุหมักเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก เนื่องจากอุณหภูมิวัสดุหมักและอุณหภูมิอากาศขาเข้าถังหมักมีค่าใกล้เคียง

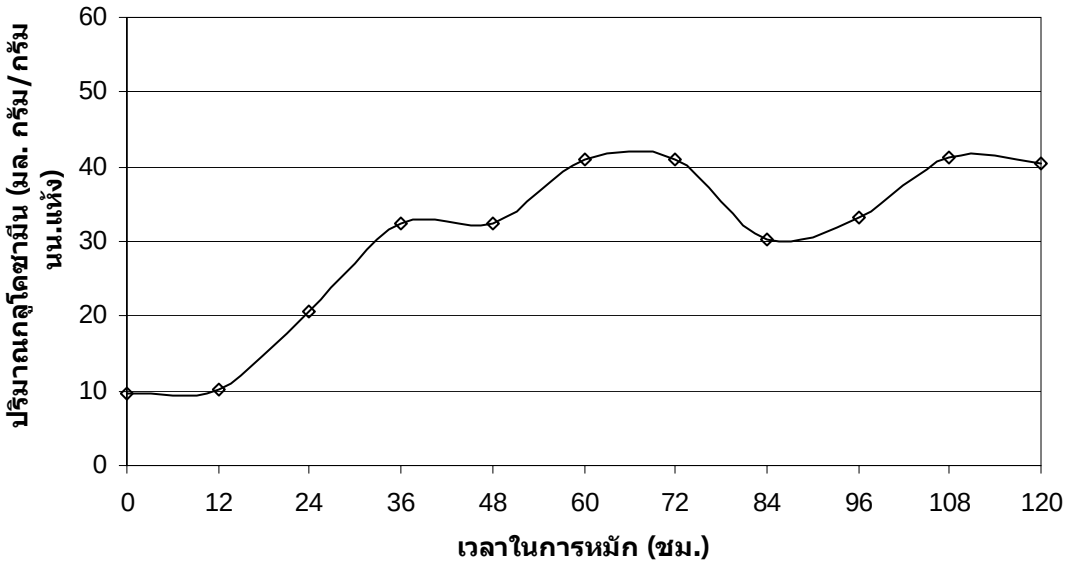
กัน ทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศไม่ลดลงเนื่องจากอุณหภูมิบริเวณเบดสูงทำให้เกิดการระเหยของน้ำในวัสดุหมักน้อย และในชั่วโมงที่ 120 วัสดุหมักมีปริมาณความชื้น 23.06 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 52 การเปลี่ยนแปลงความชื้นในวัสดุหมักและความชื้นสัมพัทธ์ ในการเลี้ยงรา *A. oryzae* ใช้อากาศที่ผ่านเครื่องเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์แบบที่ 3 ด้วยความเร็วอากาศ 0.15 เมตรต่อวินาที

จากภาพที่ 53 แสดงปริมาณกลูโคซามีนในระหว่างการหมัก พบว่าปริมาณกลูโคซามีนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงชั่วโมงที่ 12-60 แสดงว่ารา *A. oryzae* เจริญได้ดี และหลังจากชั่วโมงที่ 60 ปริมาณกลูโคซามีนมีค่าคงที่ ซึ่งสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในวัสดุหมัก มีปริมาณกลูโคซามีนสูงสุดในชั่วโมงที่ 108 เท่ากับ 41.20 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง มีปริมาณกลูโคซามีนมีค่าใกล้เคียงกับปริมาณกลูโคซามีนที่ได้จากหมักรา *R. oligosporus* คือ มีปริมาณกลูโคซามีนสูงสุดในเบดบนและเบดล่างเท่ากับ 44.31 และ 49.46 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง

จากการทดลองสรุปได้ว่า เครื่องเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์แบบที่ 3 สามารถช่วยให้รา *A. oryzae* และรา *R. oligosporus* เจริญได้ดีโดยดูได้จากปริมาณกลูโคซามีนที่เพิ่มขึ้นอย่างมากในการทดลองตอนที่ 2 และ 3



ภาพที่ 53 ปริมาณกลูโคซามีน ในการเลี้ยงรา *A. oryzae* ใช้อากาศที่ผ่านเครื่องเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์แบบที่ 3 ด้วยความเร็วอากาศ 0.15 เมตรต่อวินาที