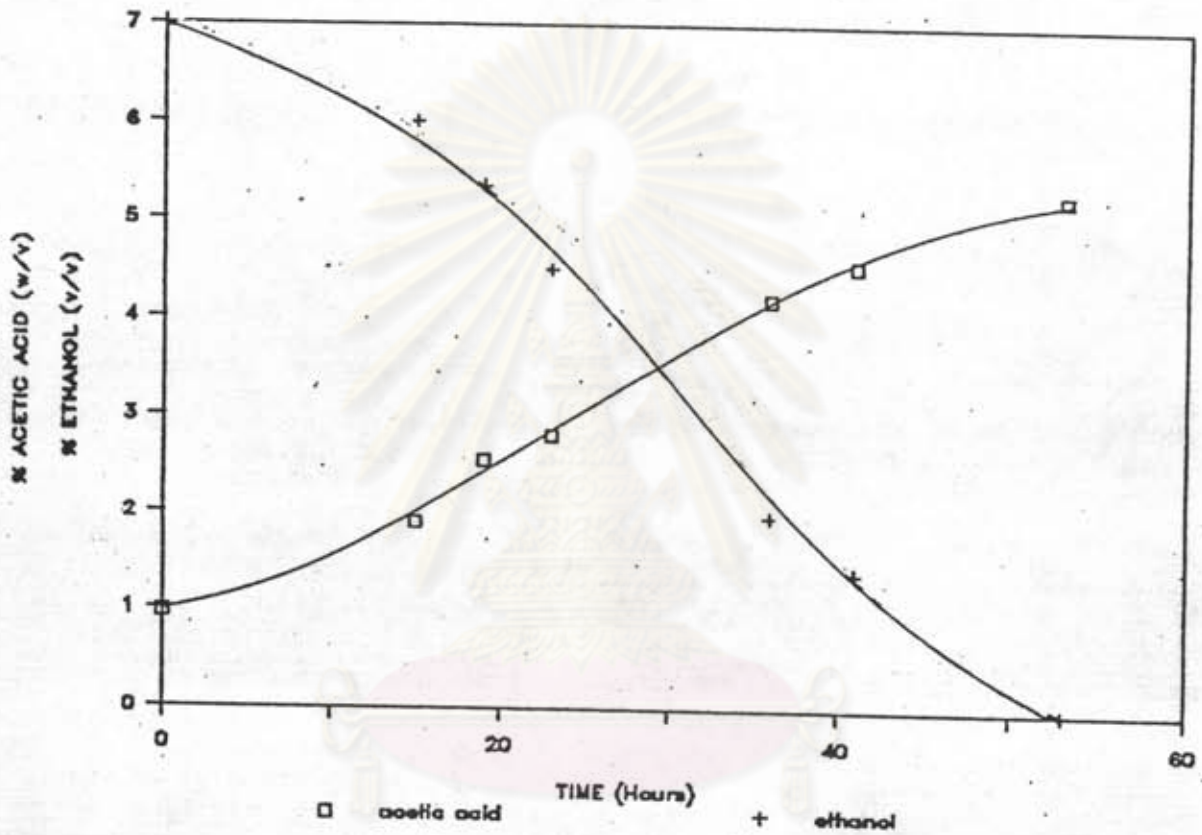


ผลการทดลอง

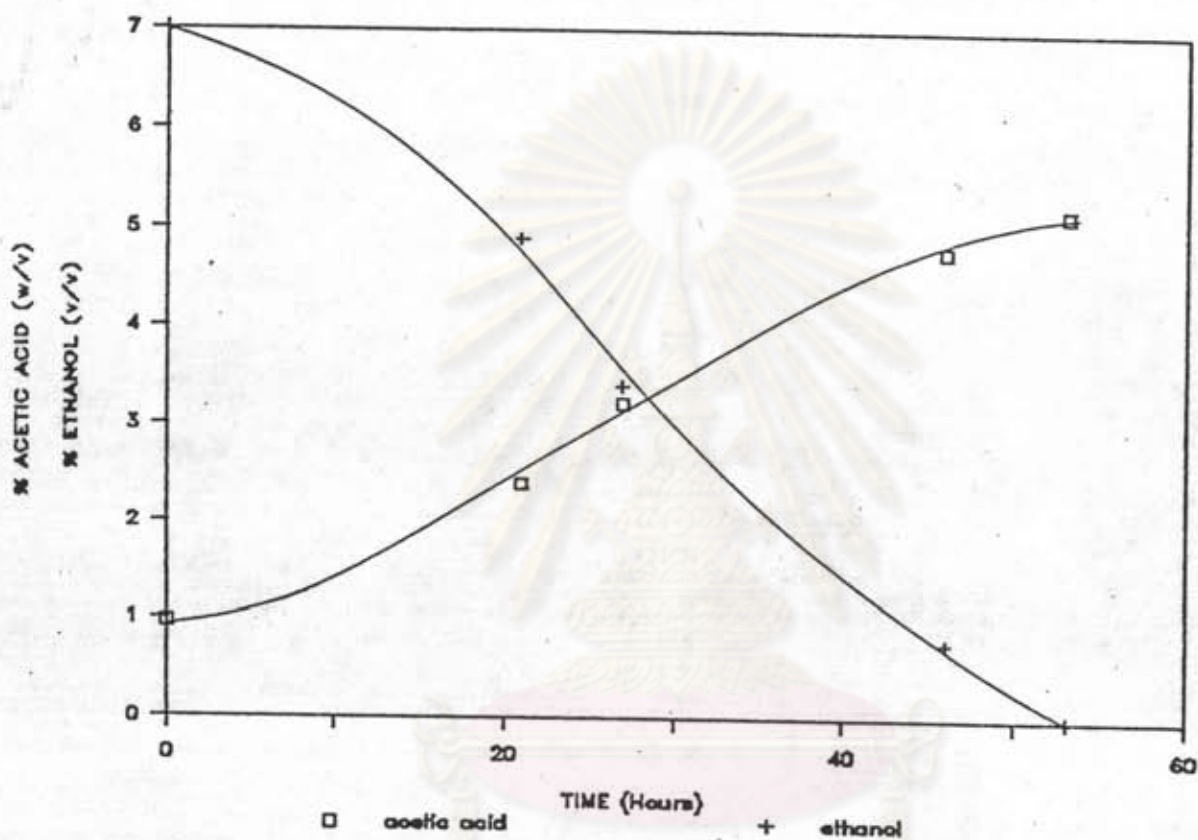
4.1 ศึกษาถึงส่วนผสมของไวน์ผลไม้

ได้ทำการทดลองหมักกรดอะซิติกด้วยการแปรค่าส่วนผสมของไวน์ผลไม้ที่ใช้เป็นวัตถุดิบ ดังนี้คือ ใช้ไวน์สับปะรดทั้งหมด ไวน์สับปะรดร้อยละ 25 โดยปริมาตร ผสมกับสารละลายเอทานอลเจือจางร้อยละ 75 โดยปริมาตร ไวน์อ้อยร้อยละ 25 โดยปริมาตร ผสมกับสารละลายเอทานอลเจือจางร้อยละ 75 โดยปริมาตร ได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 และ 4.5 ซึ่งได้อัตราการเกิดกรดอะซิติกเท่ากับ ๑.๐๘1, ๑.๐78 และ ๑.๐78 กรัม ต่อ 10๐ มิลลิลิตร-ชั่วโมง ตามลำดับ จะเห็นว่าให้ผลไม้แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 5 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นในการทดลองต่อ ๆ ไปจึงเลือกใช้วัตถุดิบที่เป็นไวน์สับปะรดร้อยละ 25 โดยปริมาตร ผสมกับสารละลายเอทานอลเจือจางร้อยละ 75 โดยปริมาตรเป็นหลัก ในกรณีที่ขาดแคลนไวน์สับปะรด จะใช้ไวน์อ้อยแทน

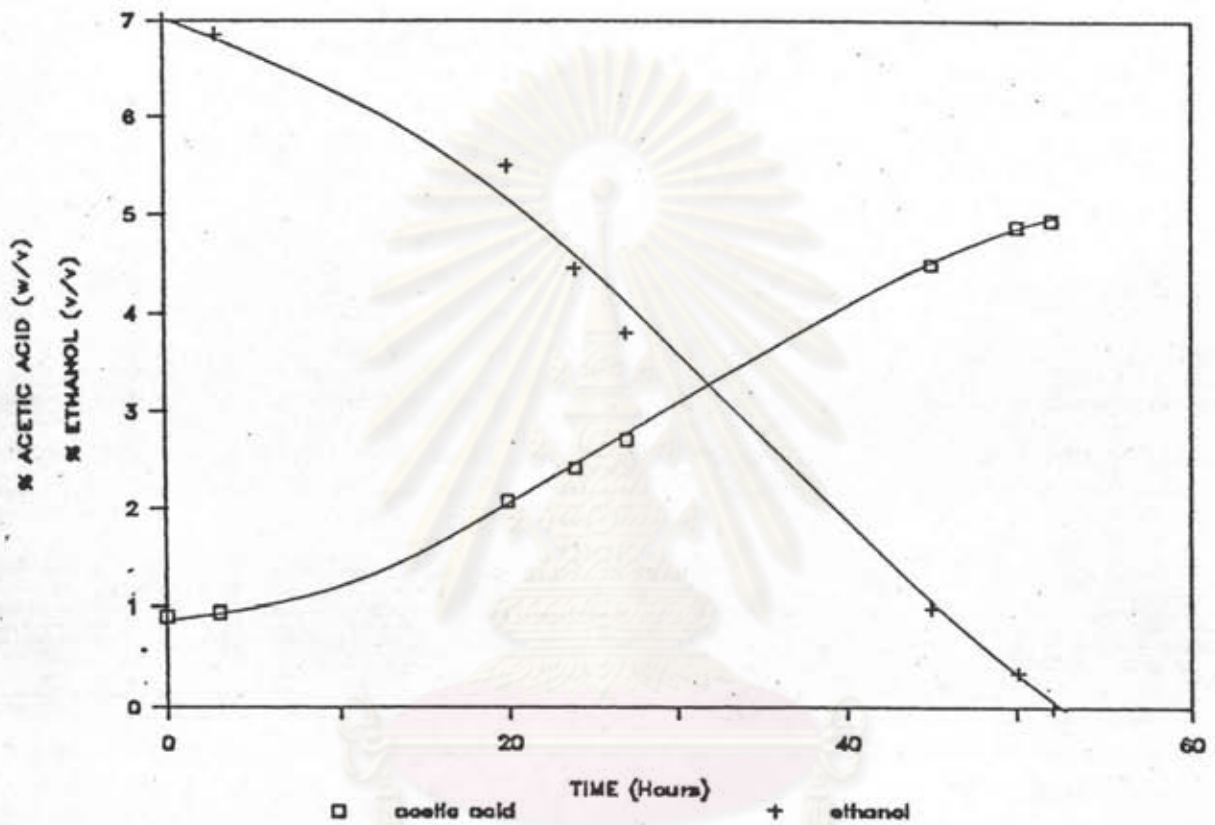
ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



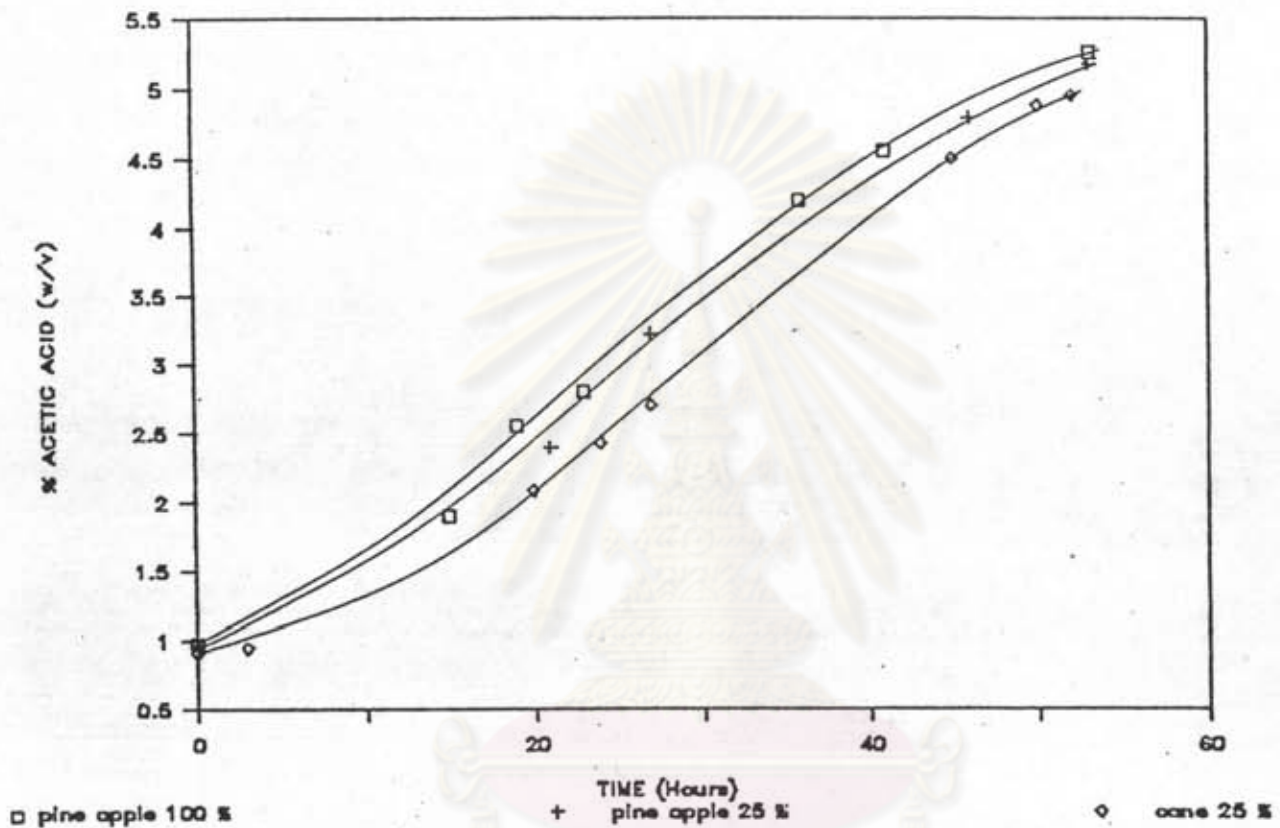
รูปที่ 4.1 ปริมาณการเพิ่มของกรดอะซิติกและการลดลงของเอทานอลในเวลาต่าง ๆ กัน เมื่อใช้ไวนิลอะครีเลตทั้งหมดเป็นวัตถุดิบในการหมัก ใช้อัตราการไหลเข้าของน้ำหมัก 72 ลิตรต่อนาที อัตราการให้อากาศโดยหัวกระจายอากาศในคอลัมน์ที่ 1 เท่ากับ 1.6 ลิตรต่อนาที และเปิดช่องทางออกของอากาศทั้งสองข้าง



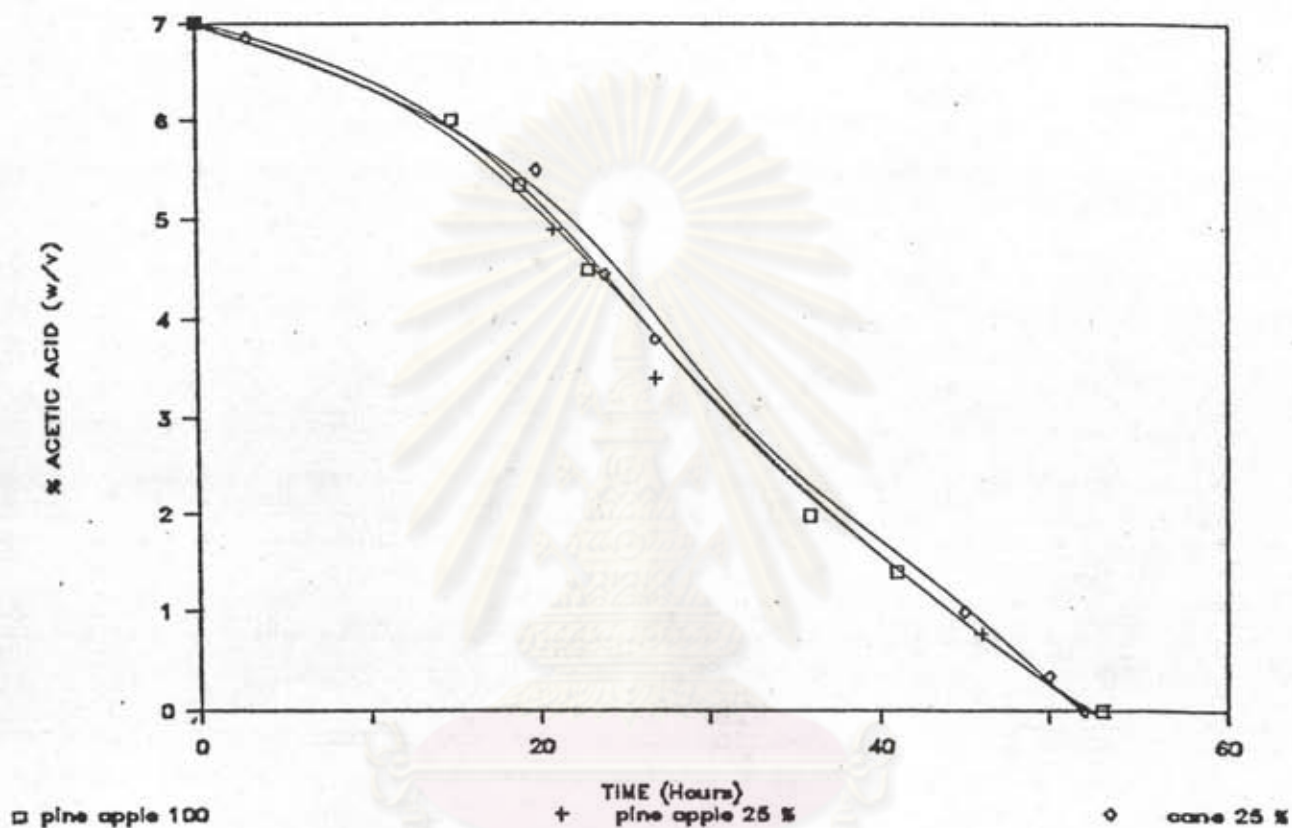
รูปที่ 4.2 ปริมาณการเพิ่มของกรดอะซิติกและการลดลงของเอทานอลในเวลาต่าง ๆ กัน เมื่อใช้ไวนิลอะครีเลตร้อยละ 25 โดยปริมาตร ผสมกับสารละลายเอทานอลเจือจางร้อยละ 75 โดยปริมาตรเป็นวัตถุดิบในการหมัก ใช้อัตราการไหลเข้าของน้ำหมัก 72 ลิตรต่อ นาที อัตราการให้อากาศโดยหัวกระจายอากาศในคอลัมน์ที่ 1 เท่ากับ 1.6 ลิตรต่อ นาที และเปิดท่อทางออกของอากาศทั้งสองข้าง



รูปที่ 4.3 ปริมาณการเพิ่มของกรดอะซิติกและการลดลงของเอทานอลในเวลาต่าง ๆ กัน เมื่อใช้ไวน้ำอ้อยร้อยละ 25 โดยปริมาตร ผสมกับสารละลายเอทานอลเจือจางร้อยละ 75 โดยปริมาตร เป็นวัตถุดิบในการหมัก ใช้อัตราการไหลเข้าของน้ำหมัก 72 ลิตรต่อนาที อัตราการให้อากาศโดยหัวกระจายอากาศในคอลัมน์ที่ 1 เท่ากับ 1.6 ลิตรต่อนาที และเปิดช่องทางออกของอากาศทิ้งสี่ทาง



รูปที่ 4.4 การเปรียบเทียบปริมาณกรดอะซิติกในการผลิตน้ำส้มสายชูระหว่างการใช้น้ำหมักเป็น  
 ไวน์สับปะรดทั้งหมด ไวน์สับปะรดร้อยละ 25 โดยปริมาตร ผสมกับสารละลาย  
 เอทานอลเจือจางร้อยละ 75 โดยปริมาตร และไวน์อ้อยร้อยละ 25 โดยปริมาตร  
 ผสมกับสารละลายเอทานอลเจือจางร้อยละ 75 โดยปริมาตร อัตราการไหลเข้า  
 ของน้ำหมัก 72 ลิตรต่อนาที อัตราการให้อากาศ 1.6 ลิตรต่อนาที และเปิดท่อ  
 ทางออกของอากาศทั้งสองข้าง



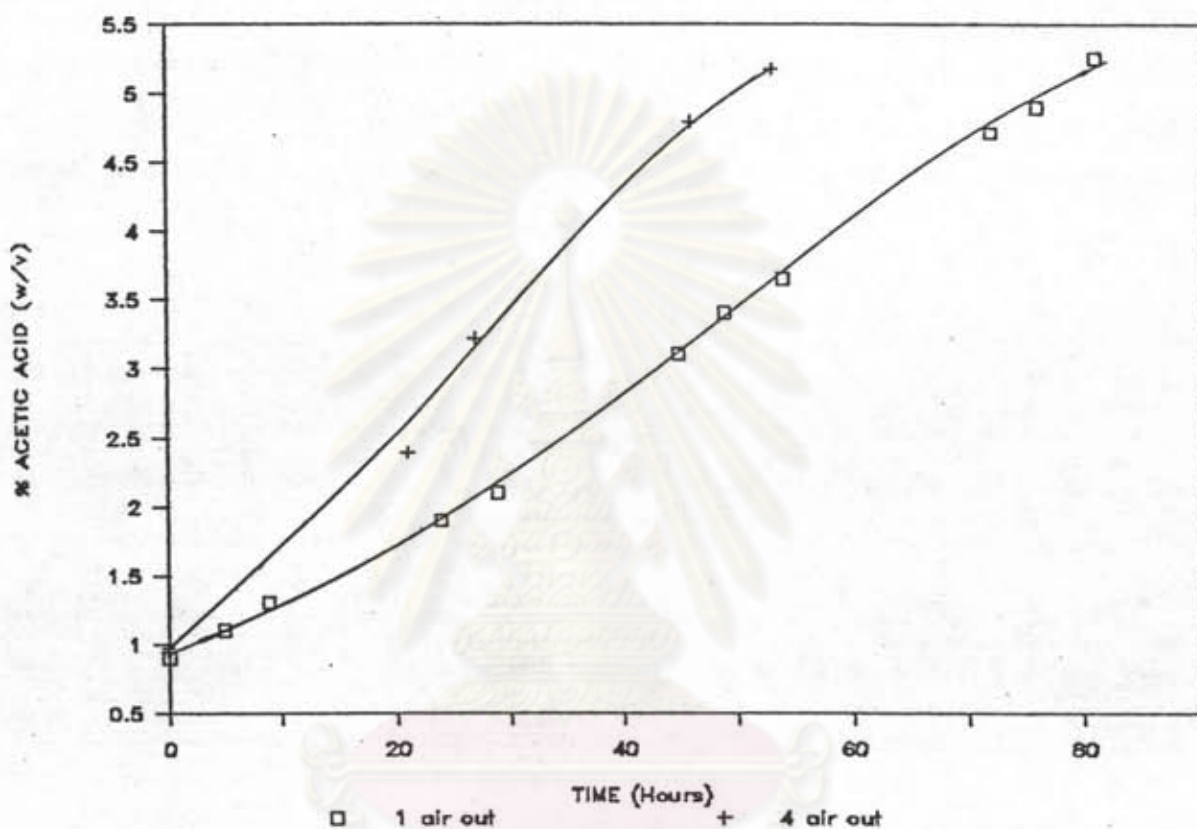
รูปที่ 4.5 การเปรียบเทียบการลดลงของเอทานอลในเวลาต่าง ๆ กัน ระหว่างการใช้น้ำหมักเป็นไวน์สับปะรดทั้งหมด ไวน์สับปะรดร้อยละ 25 โดยปริมาตร ผสมกับสารละลายเอทานอลเจือจางร้อยละ 75 โดยปริมาตร และไวน์อ้อยร้อยละ 25 โดยปริมาตร ผสมกับสารละลายเอทานอลเจือจางร้อยละ 75 โดยปริมาตร อัตราการไหลเข้าของน้ำหมัก 72 ลิตรต่อนาที อัตราการให้อากาศ 1.6 ลิตรต่อนาที และเปิดท่อทางออกของอากาศทั้งสองข้าง

#### 4.2 ศึกษาผลของท่อทางออกของอากาศ

ได้ทำการทดลองโดยใช้ท่อทางออกของอากาศอันบนสุดเพียงอันเดียวเปรียบเทียบกับเมื่อใช้ท่อทางออกของอากาศทั้งสองข้าง ที่อัตราการไหลเข้าของน้ำหนัก 72 ลิตรต่อนาที และแปรค่าอัตราการให้อากาศดังแสดงในตารางที่ 3.2 จะได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.6, 4.7 และ 4.8 และตารางที่ ค2, ค4-ค8 พบว่า เมื่อใช้อัตราการไหลเข้าของน้ำหมักและอัตราการให้อากาศเท่ากัน การเดินเครื่องหมักโดยใช้ท่อทางออกของอากาศทั้งสองข้างจะให้ผลดีกว่า ดังนั้นระบบทางออกของอากาศในการทดลองต่อ ๆ ไปจะใช้ท่อทางออกของอากาศทั้งสองข้าง

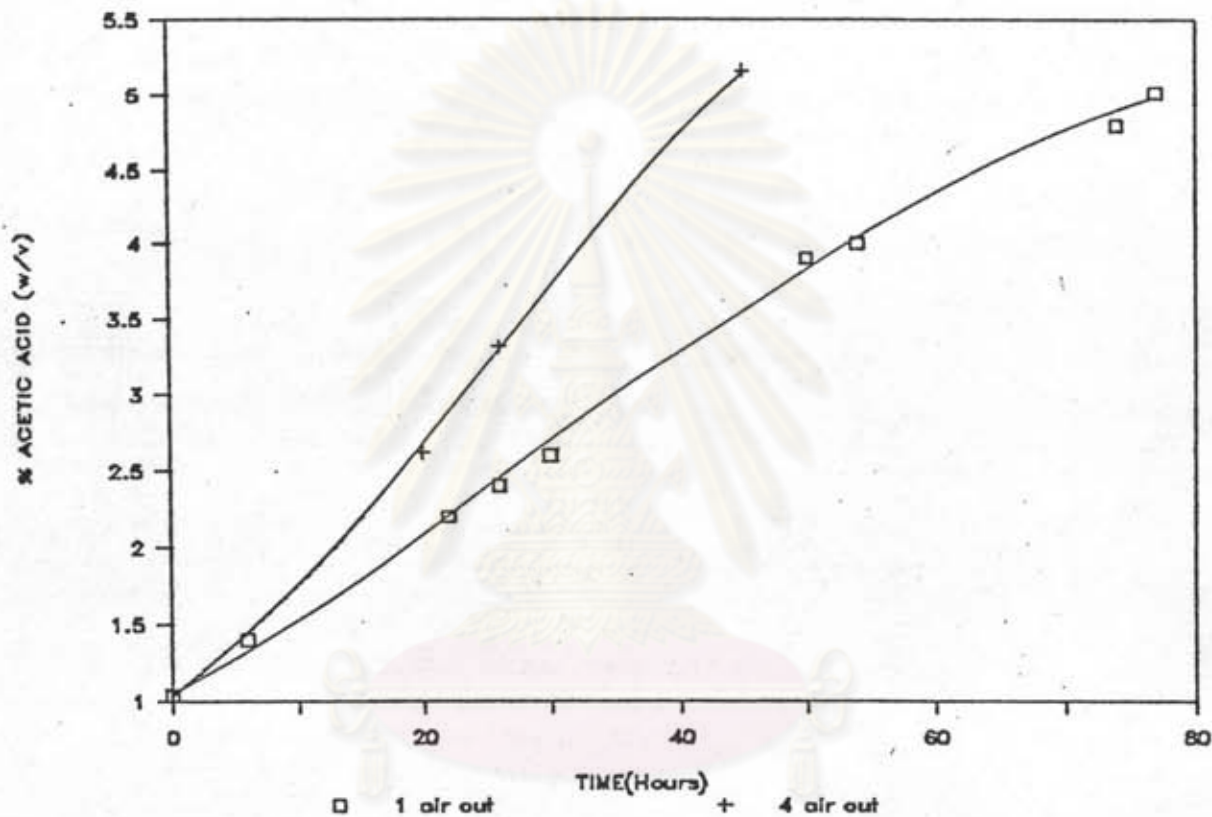


ศูนย์วิทยพัชรากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

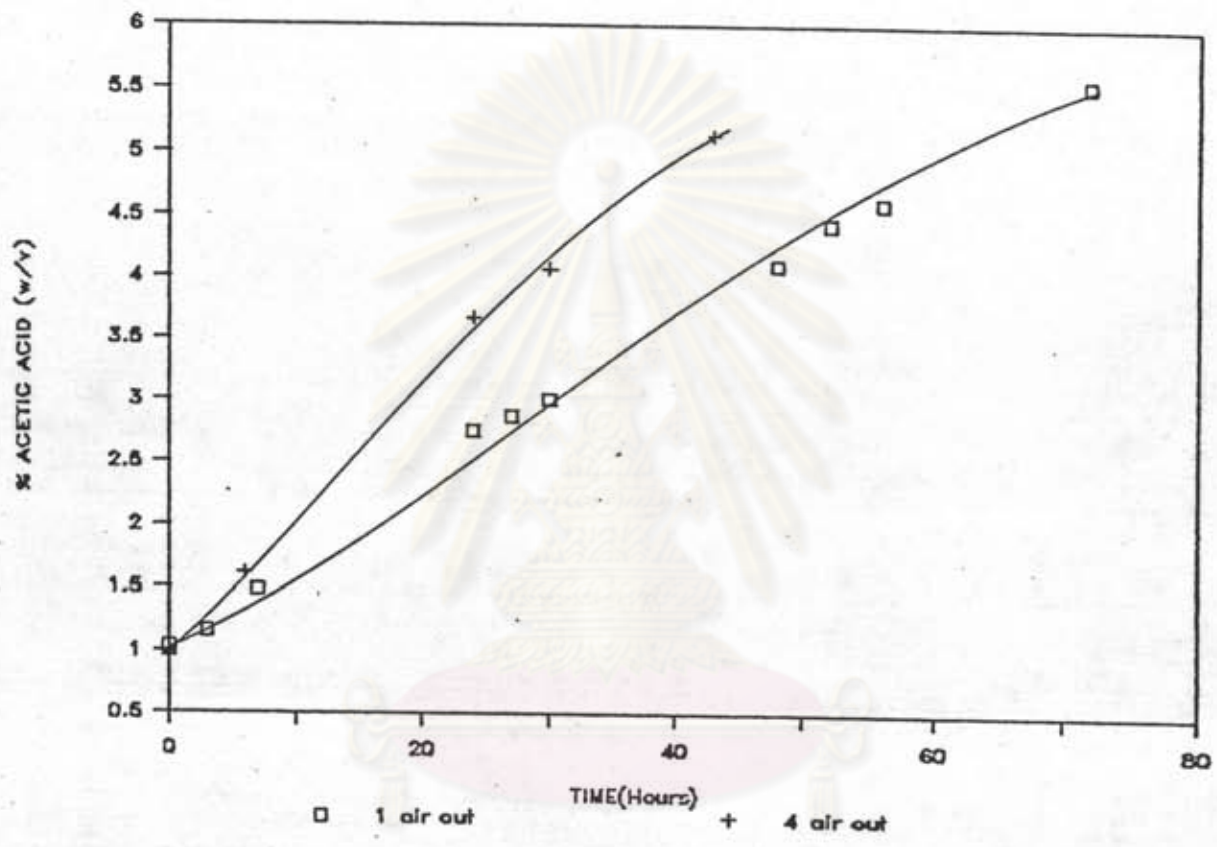


รูปที่ 4.6 การเปรียบเทียบปริมาณกรดอะซิติกในการผลิตน้ำส้มสายชู เมื่อใช้ท่อทางออกของอากาศทั้งสี่ทาง และเมื่อใช้ท่อทางออกของอากาศอันบนสุดเพียงทางเดียว โดยศึกษาที่อัตราการไหลเข้าของน้ำหมัก 72 ลิตรต่อนาที อัตราการให้อากาศโดยใช้หัวกระจายอากาศในคอลัมน์ที่ 1 เท่ากับ 1.6 ลิตรต่อนาที





รูปที่ 4.7 การเปรียบเทียบปริมาณกรดอะซิติกในการผลิตน้ำส้มสายชู เมื่อใช้ท่อทางออกของอากาศทั้งสี่ทาง และใช้ท่อทางออกของอากาศอันบนสุดเพียงทางเดียว โดยศึกษาที่อัตราการไหลเข้าของน้ำหมัก 72 ลิตรต่อนาที อัตราการให้อากาศโดยใช้หัวกระจายอากาศในคอลัมน์ที่ 1 และ 3 เท่ากับ 1.6 และ 1.6 ลิตรต่อนาที



ศูนย์วิทยทรัพยากร

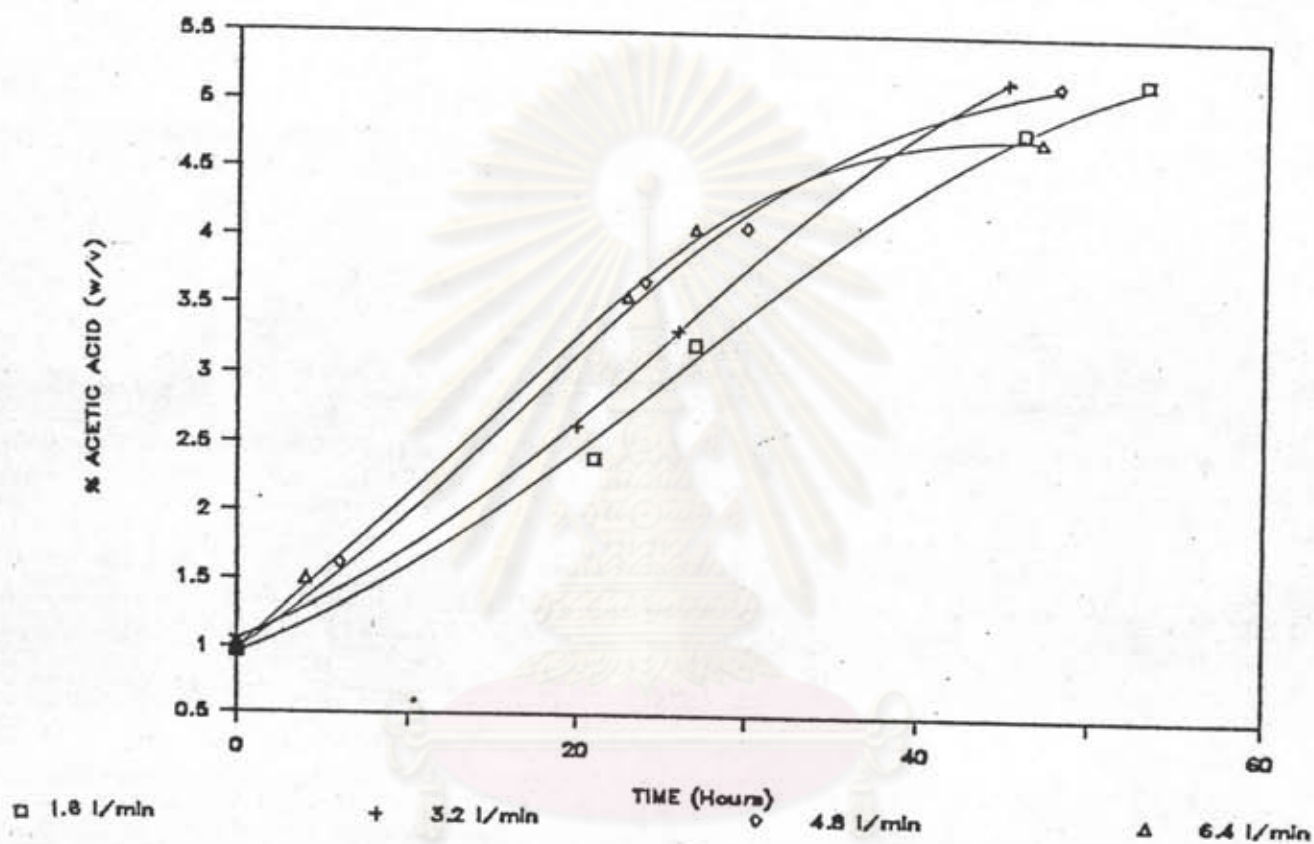
รูปที่ 4.8 การเปรียบเทียบปริมาณกรดอะซิติกในการผลิตน้ำส้มสายชู เมื่อใช้ท่อทางออกของอากาศทั้งสี่ทาง และใช้ท่อทางออกของอากาศอันบนสุดเพียงทางเดียว โดยศึกษาที่อัตราการไหลเข้าของน้ำหมัก 72 ลิตรต่อนาที อัตราการให้อากาศโดยใช้หัวกระจายอากาศในคอลัมน์ที่ 1.3 และ 4 เท่ากับ 1.6, 1.6 และ 1.6 ลิตรต่อนาที

#### 4.3 ศึกษาผลของอัตราการไหลเข้าของน้ำหมักและอัตราการให้อากาศ

##### 4.3.1 ศึกษาผลของการให้อากาศ

ได้ทดลองเพิ่มอัตราการให้อากาศดังแสดงในตารางที่ 3.2 ที่อัตราการไหลเข้าของน้ำหมัก 72 ลิตรต่อนาที จะได้อัตราการเกิดกรดอะซิติกดังแสดงในรูปที่ 4.9 และตารางที่ ค2, ค5, ค7, ค9 ในภาคผนวก ค จากรูปจะเห็นว่า เมื่อใช้อัตราการให้อากาศมากขึ้น อัตราการเกิดกรดอะซิติกจะมากขึ้นด้วย แต่การหมักกรดอะซิติกด้วยเครื่องหมักแบบแพคคอลัมน์นั้น ถ้าใช้อัตราการให้อากาศมากเกินไปจะทำให้การไหลของน้ำหมักและอากาศผ่านแพคเบดเป็นไปด้วยความลำบาก ทำให้อากาศและน้ำหมักสัมผัสกันอย่างไม่ทั่วถึง อัตราเร็วของการเกิดกรดอะซิติกก็จะน้อยลง ดังนั้น ในการให้อากาศจะมีค่าอัตราการให้อากาศสูงสุดที่เหมาะสมอยู่ค่าหนึ่ง เมื่อให้อากาศมากกว่านี้แล้วจะทำให้อัตราการเกิดกรดอะซิติกลดลง และเพื่อให้ได้สภาวะของการให้อากาศที่เหมาะสม จะต้องทำการทดลองเกี่ยวกับสภาวะของการให้อากาศต่อไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.9 การเปรียบเทียบปริมาณกรดอะซิติกในการผลิตน้ำส้มสายชู เมื่อใช้อัตราการให้อากาศ 1.6, 3.2, 4.8 และ 6.4 ลิตรต่อนาที อัตราการไหลเข้าของน้ำหมัก 72 ลิตรต่อนาที และเปิดใช้ท่อทางออกของอากาศทั้งสองทิศทาง

#### 4.3.2 ศึกษาผลของอัตราการไหลเข้าของน้ำหมัก

ได้ทำการทดลองโดยใช้อัตราการให้อากาศเช่นเดียวกับหัวข้อ 4.3.1 โดยแปรค่าอัตราการไหลเข้าของน้ำหมักเท่ากับ 50, 60 และ 72 ลิตรต่อนาที จะได้ผลการทดลอง ดังนี้คือ

เมื่อให้อากาศในอัตรา 1.6 ลิตรต่อนาทีโดยใช้หัวกระจายอากาศในคอลัมน์ที่ 1 จะได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.10 และตารางที่ ค2, ค10-ค11

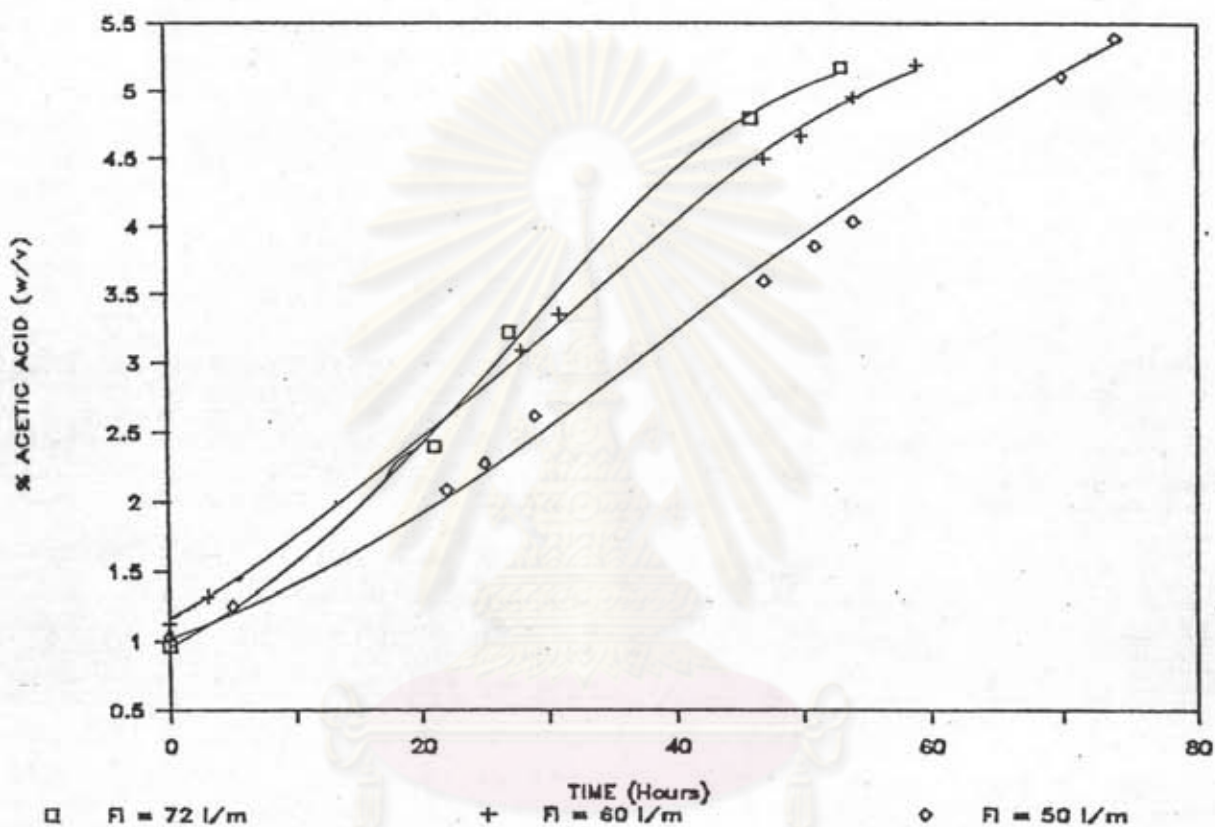
เมื่อให้อากาศในอัตรา 1.6 และ 1.6 ลิตรต่อนาทีโดยใช้หัวกระจายอากาศในเครื่องหมักคอลัมน์ที่ 1 และ 3 จะได้อัตราการเกิดกรดอะซิติกดังแสดงในรูปที่ 4.11 และตารางที่ ค5, ค12-ค13

เมื่อให้อากาศในอัตรา 1.6, 1.6 และ 1.6 ลิตรต่อนาทีโดยใช้หัวกระจายอากาศในเครื่องหมักคอลัมน์ที่ 1, 3 และ 4 จะได้อัตราการเกิดกรดอะซิติกดังแสดงในรูปที่ 4.12 และตารางที่ ค7, ค14-ค15

เมื่อให้อากาศในอัตราการ 1.6, 1.6, 1.6 และ 1.6 ลิตรต่อนาทีโดยใช้หัวกระจายอากาศในเครื่องหมักคอลัมน์ที่ 1, 3, 4 และ 5 จะได้อัตราการเกิดกรดอะซิติกดังแสดงในรูปที่ 4.13 และตารางที่ ค9, ค16-ค17

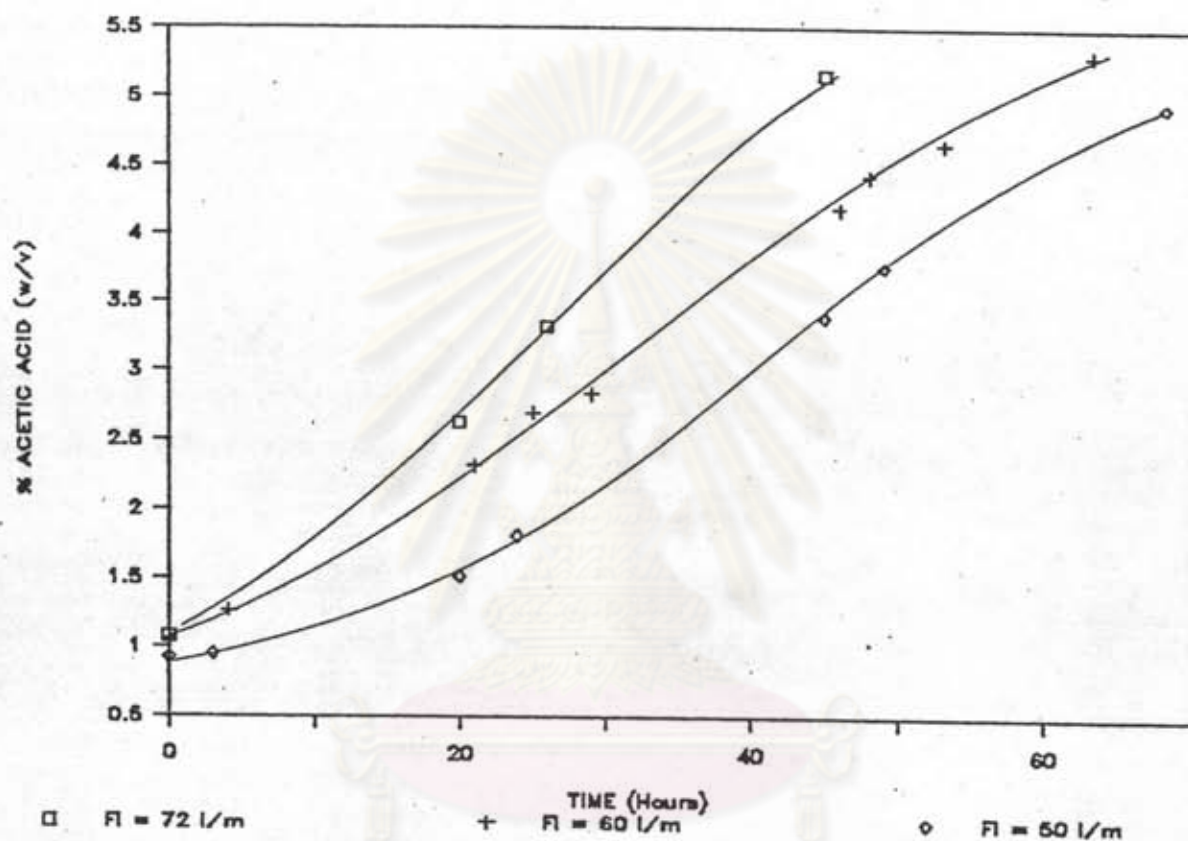
จากผลการทดลองในรูปที่ 4.10, 4.11, 4.12 และ 4.13 จะเห็นว่าเมื่อให้อากาศในอัตราเท่ากัน การใช้อัตราการไหลเข้าของน้ำหมัก 72 ลิตรต่อนาที จะให้อัตราการเกิดกรดอะซิติกสูงกว่าเมื่อใช้อัตราการไหลเข้าของน้ำหมัก 60 และ 50 ลิตรต่อนาที ดังนั้นในการทดลองต่อ ๆ ไป จะใช้อัตราการไหลเข้าของน้ำหมักคงที่เท่ากับ 72 ลิตรต่อนาที

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



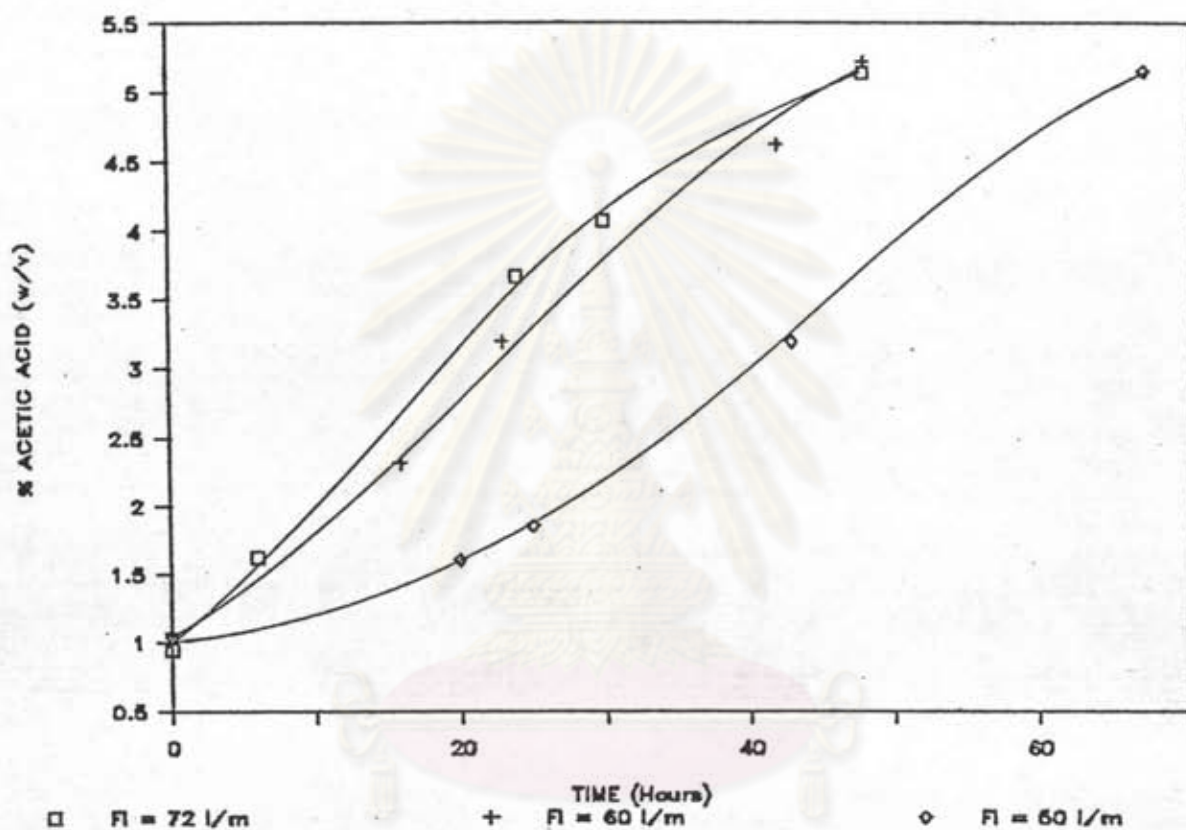
ศูนย์วิทยทรัพยากร

รูปที่ 4.10 การเปรียบเทียบปริมาณกรดอะซิติกในการผลิตน้ำส้มสายชู เมื่อใช้อัตราการไหลเข้าของน้ำหมัก 50, 60 และ 72 ลิตรต่อนาที อัตราการให้อากาศโดยใช้หัวกระจายอากาศในคอลัมน์ที่ 1 เท่ากับ 1.6 ลิตรต่อนาที และเปิดท่อทางออกของอากาศทิ้งสี่ทาง



ศูนย์วิทยทรัพยากร

รูปที่ 4.11 การเปรียบเทียบปริมาณกรดอะซิติกในการผลิตน้ำส้มสายชู เมื่อใช้อัตราการไหลเข้าของน้ำหมัก 50, 60 และ 72 ลิตรต่อนาที อัตราการให้อากาศโดยใช้หัวกระจายอากาศในคอลัมน์ที่ 1 และ 3 เท่ากับ 1.6 และ 1.6 ลิตรต่อนาที และเปิดช่องทางออกของอากาศทั้งสองทิศทาง

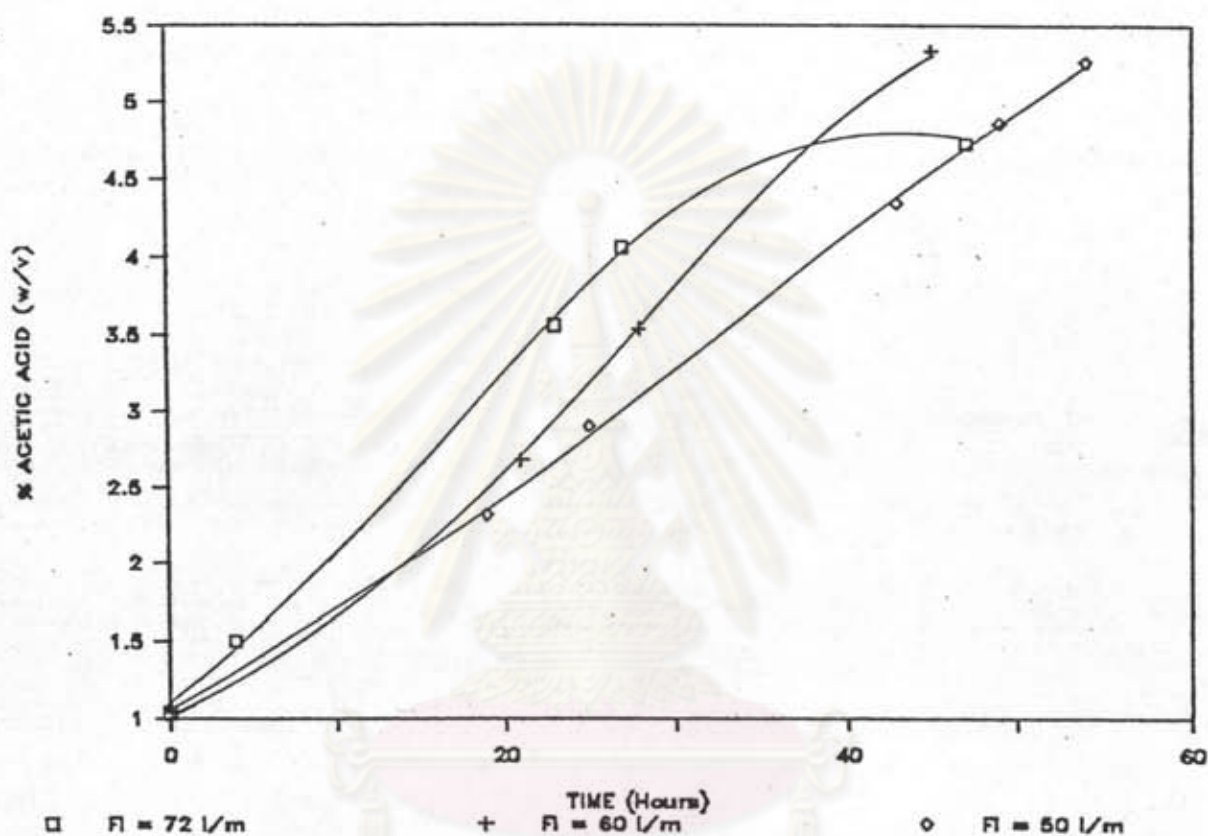


□ FI = 72 l/m      + FI = 60 l/m      ◇ FI = 60 l/m

ศูนย์วิทยทรัพยากร

รูปที่ 4.12 การเปรียบเทียบปริมาณกรดอะซิติกในการผลิตน้ำส้มสายชู เมื่อใช้อัตราการไหลเข้าของน้ำหมัก 50, 60 และ 72 ลิตรต่อนาที อัตราการให้อากาศโดยใช้หัวกระจาย หัวกระจายอากาศในคอลัมน์ที่ 1, 3 และ 4 เท่ากับ 1.6, 1.6 และ 1.6 ลิตรต่อนาที และเปิดท่อทางออกของอากาศทั้งสองข้าง





รูปที่ 4.13 การเปรียบเทียบปริมาณกรดอะซิติกในการผลิตน้ำส้มสายชู เมื่อใช้อัตราการไหลเข้าของน้ำหมัก 50, 60 และ 72 ลิตรต่อนาที อัตราการให้อากาศโดยใช้หัวกระจายอากาศในคอลัมน์ที่ 1, 3, 4 และ 5 เท่ากับ 1.6, 1.6, 1.6 และ 1.6 ลิตรต่อนาที และเปิดท่อทางออกของอากาศทั้งสองทิศทาง

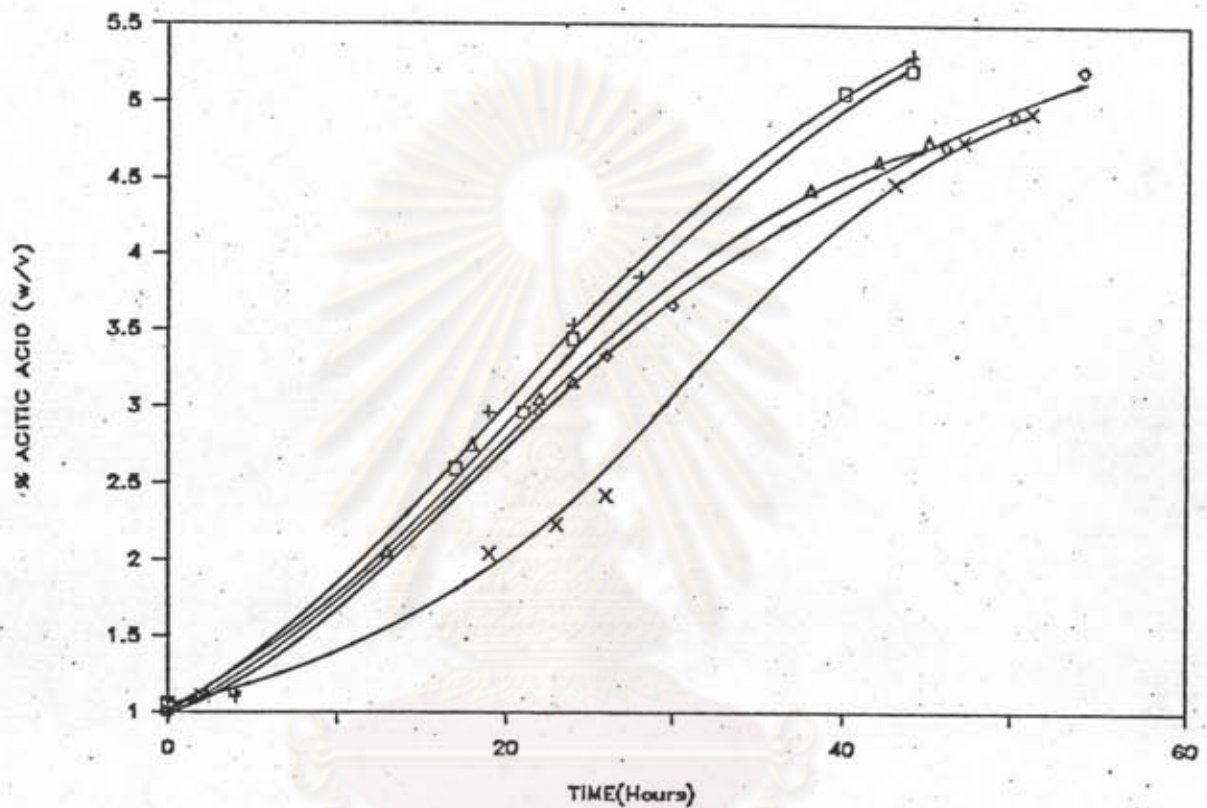
4.3.3 การศึกษาอัตราการให้อากาศที่เหมาะสม ที่อัตราการไหลเข้าของ  
น้ำหมัก 72 ลิตรต่อนาที

4.3.3.1 ศึกษาการเพิ่มอัตราการให้อากาศต่อจากหัวข้อ 4.3.1

ในการทดลองที่ผ่านมา เมื่อทำการทดลองโดยใช้อัตราการไหล  
เข้าของน้ำหมัก 72 ลิตรต่อนาที และเพิ่มอัตราการให้อากาศขึ้นครั้งละ 1.6 ลิตรต่อนาที ตาม  
ตารางที่ 3.3 พบว่า เมื่อเพิ่มอัตราการให้อากาศจนถึง 6.4 ลิตรต่อนาที อัตราการเกิดกรด  
อะซิติกยังคงเพิ่มตามอัตราการให้อากาศ แสดงว่า สภาวะของการให้อากาศที่ใช้แล้วยังไม่ใช่สภาวะ  
ที่ดีที่สุด ดังนั้นจึงได้ทำการศึกษการเพิ่มอัตราการให้อากาศต่อไปอีก

ในการทดลองได้แปรค่าอัตราการให้อากาศโดยใช้หัวกระจายอากาศ ดังแสดงในตาราง  
ที่ 3.4 จะได้อัตราการเกิดกรดอะซิติกดังแสดงในตารางที่ ค18-ค22 และรูปที่ 4.14 จากรูป  
พบว่า เมื่อใช้อัตราการให้อากาศรวมเท่ากับ 8.0 ลิตรต่อนาที โดยแบ่งให้หัวกระจายอากาศ  
ในคอลัมน์ที่ 1,3,4 และ 5 เท่ากับ 3.2,1.6,1.6 และ 1.6 ลิตรต่อนาที จะให้อัตราการ  
เกิดกรดอะซิติกเร็วที่สุด

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



+ 3.2,1.6,1.6,1.6

◇ 3.2,3.2,1.6,1.6

△ 3.2,1.6,3.2,1.6

X 3.2,1.6,1.6,3.2

□ 4.8,1.6,1.6,1.6

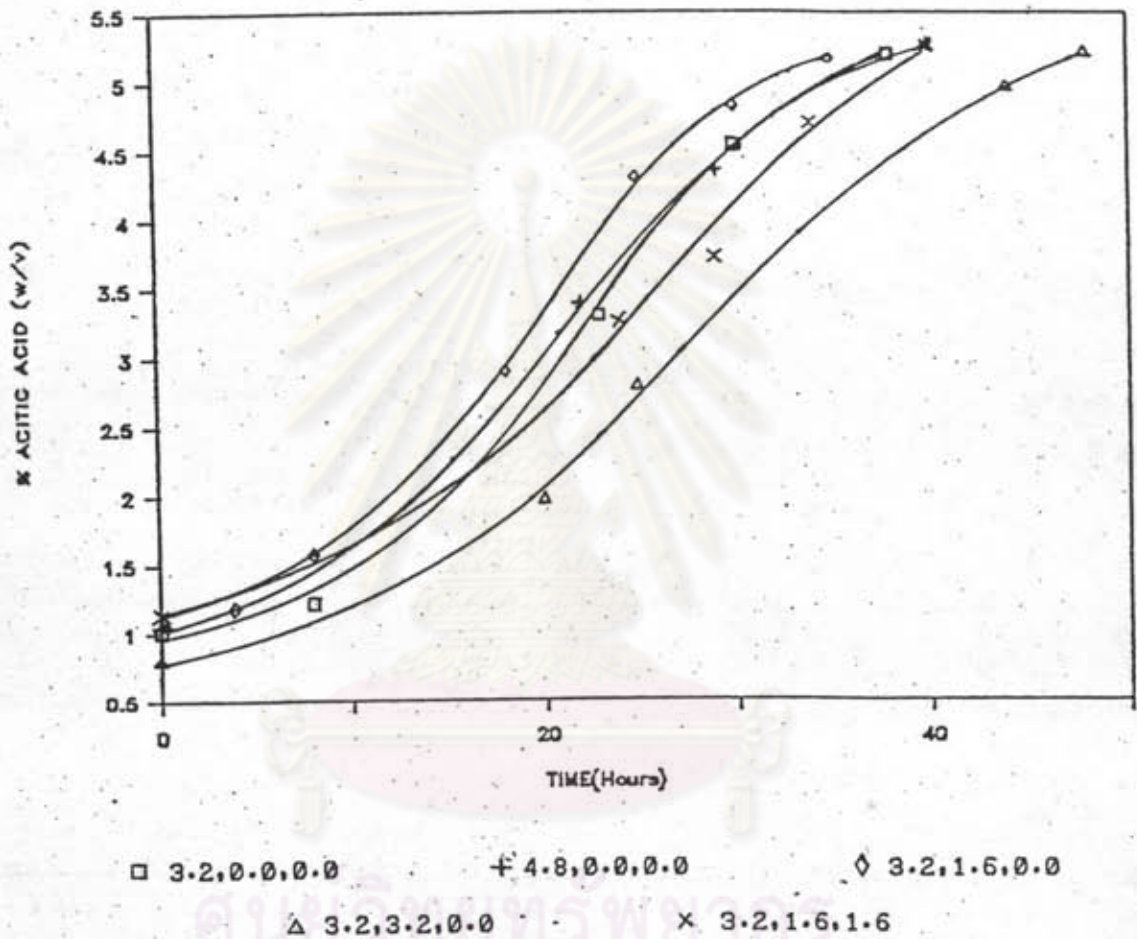
รูปที่ 4.14 การเปรียบเทียบปริมาณกรดอะซิติกในการผลิตน้ำส้มสายชู เมื่อใช้อัตราการให้อากาศโดยหัวกระจายอากาศในเครื่องหมักคอลัมน์ที่ 1,3,4 และ 5 เท่ากับ 3.2,1.6,1.6 และ 1.6 3.2,3.2,1.6 และ 1.6 3.2,1.6 3.2 และ 1.6 3.2,1.6,1.6 และ 3.2 4.8,1.6,1.6 และ 1.6 ลิตรต่อนาที ตามลำดับ ที่อัตราการไหลเข้าของน้ำหมัก 72 ลิตรต่อนาที และเปิดท่อทางออกของอากาศทั้งสองทิศทาง

4.3.3.2 ศึกษาการเพิ่มอัตราการให้อากาศจากชั้นล่างขึ้นไปชั้นบน ๆ ของ เครื่องหมัก

จากผลการทดลองในรูปที่ 4.14 จะเห็นว่า เมื่อเพิ่มอัตราการให้อากาศรวมจาก 8.0 ลิตรต่อนาที ไปเป็น 9.6 ลิตรต่อนาที ไม่ว่าจะเพิ่มโดยใช้หัวกระจายอากาศในคอลัมน์ใด จะทำให้อัตราการเกิดกรดอะซิติกลดลง แต่การเพิ่มอัตราการให้อากาศโดยใช้หัวกระจายอากาศในคอลัมน์ที่ 1 จะทำให้อัตราการเกิดกรดอะซิติกลดลงน้อยกว่าเมื่อใช้หัวกระจายอากาศในคอลัมน์อื่น ๆ ดังนั้นเพื่อให้ได้สภาวะการให้อากาศที่เหมาะสมจึงได้ทำการทดลองเพิ่มอัตราการให้อากาศครั้งละ 1.6 ลิตรต่อนาที โดยเพิ่มจากหัวกระจายอากาศในเครื่องหมักคอลัมน์ที่ 1 ก่อนจนอัตราการเกิดกรดไม่เพิ่มแล้วจึงทำการเพิ่มอัตราการให้อากาศโดยหัวกระจายอากาศที่อยู่ในเครื่องหมักคอลัมน์บน ๆ ต่อไป ดังแสดงในตารางที่ 4.4 จะได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.15 และตารางที่ ค23-ค27 ในภาคผนวก ค พบว่า เมื่อเพิ่มอัตราการให้อากาศรวมเป็น 3.2 และ 4.8 ลิตรต่อนาที อัตราการเกิดกรดอะซิติกจะเพิ่มขึ้นตามอัตราการให้อากาศ แต่เมื่อเพิ่มอัตราการให้อากาศรวมเป็น 6.4 ลิตรต่อนาที อัตราการเกิดกรดอะซิติกจะลดลง

ดังนั้น สภาวะของการให้อากาศที่เหมาะสมคือ 4.8 ลิตรต่อนาที โดยแบ่งให้ในเครื่องหมักคอลัมน์ที่ 1 และ 3 เท่ากับ 3.2 และ 1.6 ลิตรต่อนาทีตามลำดับ

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



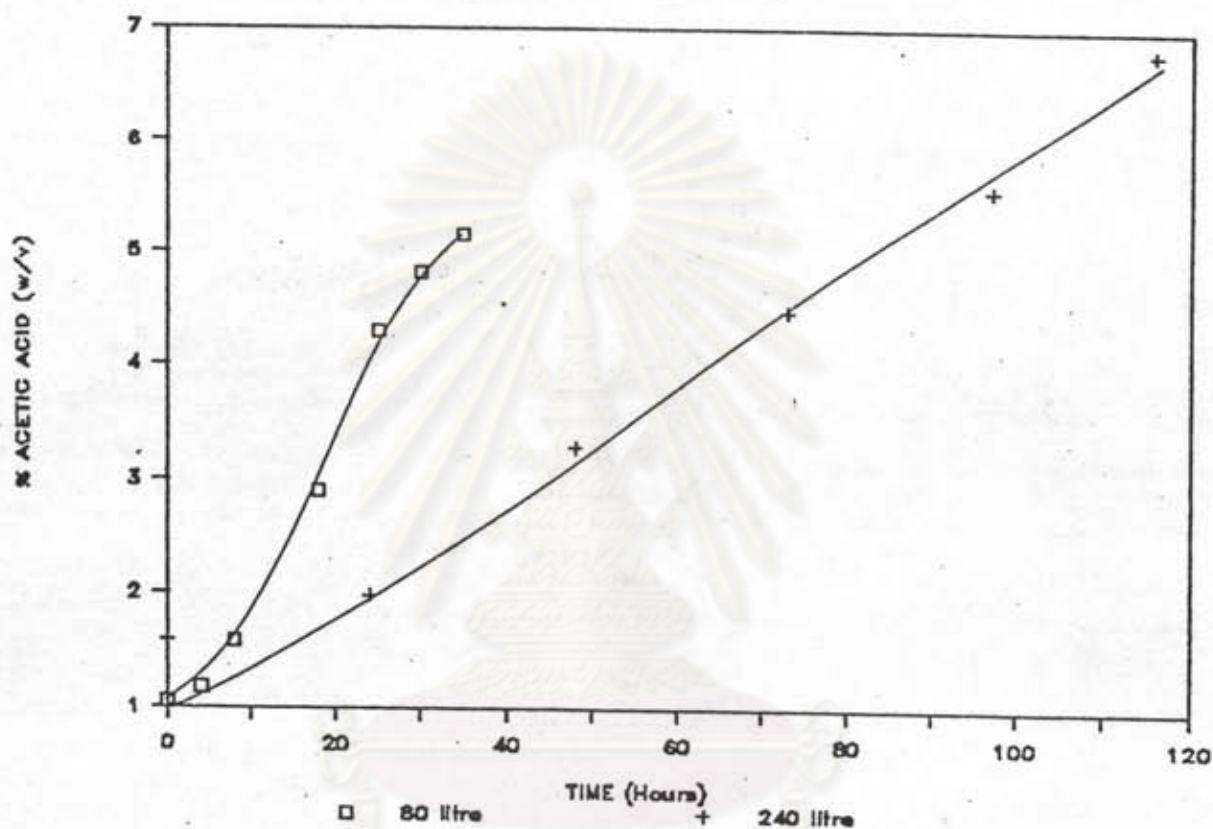
รูปที่ 4.15 การเปรียบเทียบปริมาณกรดอะซิติกในการผลิตน้ำส้มสายชู เมื่อใช้อัตราการให้อากาศโดยหัวกระจายอากาศในเครื่องหมักคอลัมน์ที่ 1, 3 และ 4 เท่ากับ 3.2, 0.0 และ 0.0 4.8, 0.0 และ 0.0 3.2, 1.6 และ 0.0 3.2, 3.2 และ 0.0 3.2, 1.6, 1.6 ลิตรต่อนาทีตามลำดับ อัตราการไหลเข้าของน้ำหมัก 72 ลิตรต่อนาที และเปิดท่อทางออกของอากาศทั้งสองข้าง

#### 4.4 ศึกษาการเพิ่มปริมาตรในการหมัก

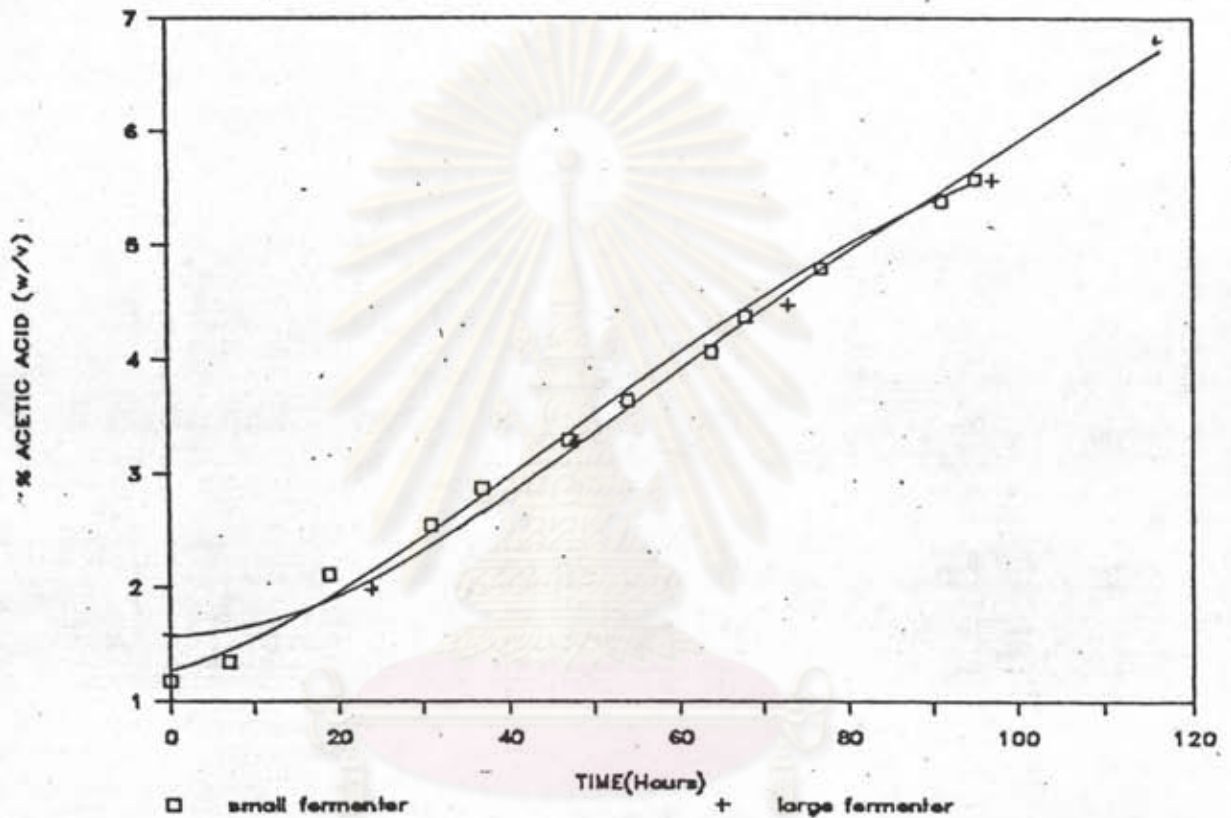
การทดลองที่ผ่านมาเป็นการหมักในปริมาตร 80 ลิตร ในที่นี้ได้ทำการเพิ่มปริมาตรในการหมักเป็น 240 ลิตร โดยใช้อัตราการไหลเข้าของน้ำหมัก 72 ลิตรต่อนาที และอัตราการให้อากาศเท่ากับ 3.2 และ 1.6 ลิตรต่อนาที โดยใช้หัวกระจายอากาศในเครื่องหมักคอลัมน์ที่ 1 และ 3 ตามลำดับ จะได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.16 และตารางที่ ค28 พบว่า เวลาที่ใช้ในการหมักจะเพิ่มจาก 32 ชั่วโมง ไปเป็น 92 ชั่วโมง



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

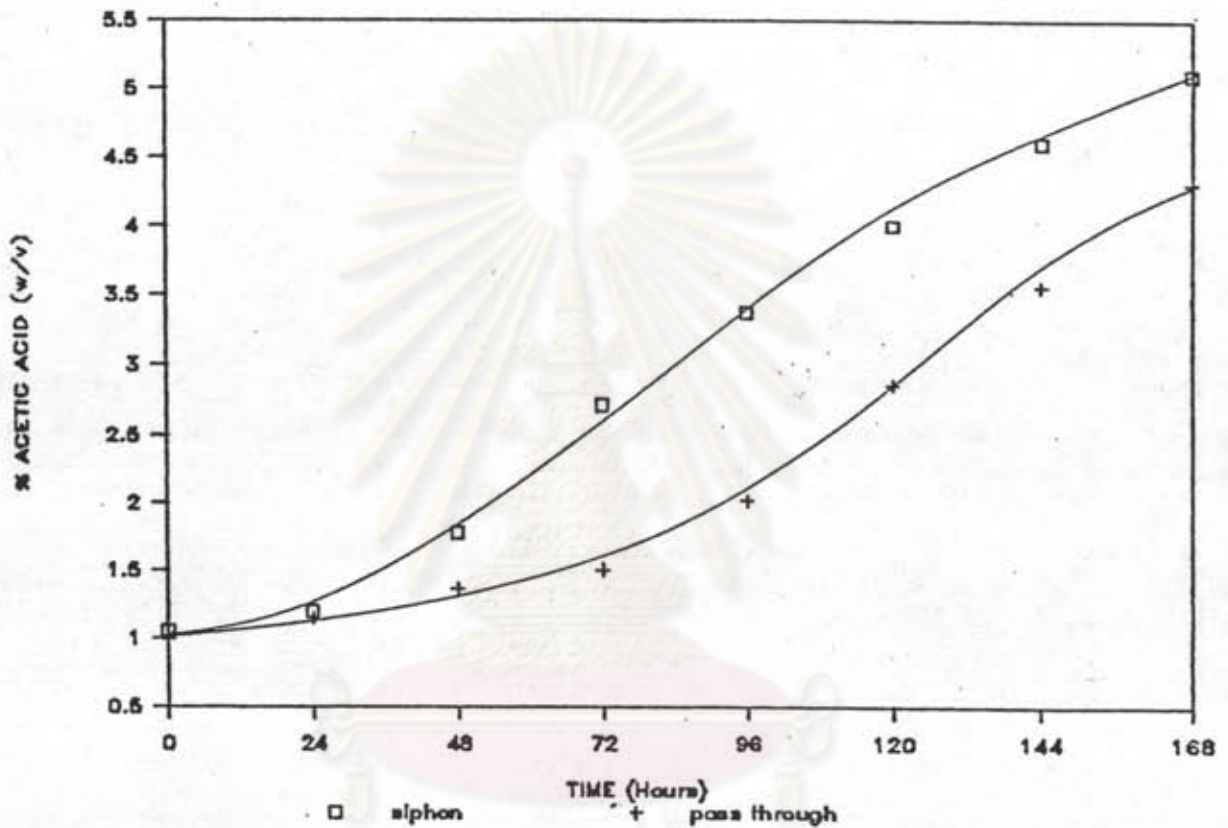


รูปที่ 4.16 การเปรียบเทียบปริมาณกรดอะซิติกในการผลิตน้ำส้มสายชู เมื่อใช้ปริมาตรในการหมัก 80 และ 240 ลิตร อัตราการไหลเข้าของน้ำหมัก 72 ลิตรต่อนาที อัตราการให้อากาศโดยใช้หัวกระจายอากาศในคอลัมน์ที่ 1 และ 3 เท่ากับ 3.2 และ 1.6 ลิตรต่อนาทีตามลำดับ และเปิดช่องทางออกของอากาศทั้งสองข้าง



รูปที่ 4.17 การเปรียบเทียบปริมาณกรดอะซิติกในการผลิตน้ำส้มสายชูของเครื่องหมักขนาดใหญ่ ปริมาตรในการหมัก 240 ลิตร อัตราการไหลเข้าของน้ำหมัก 72 ลิตรต่อนาที อัตราการให้อากาศ 4.8 ลิตรต่อนาที และของเครื่องหมักขนาดเล็ก ปริมาตรในการหมัก 15 ลิตร อัตราการไหลเข้าของน้ำหมัก 2.85 ลิตรต่อนาที อัตราการให้อากาศ 0.3 ลิตรต่อนาที





รูปที่ 4.18 การเปรียบเทียบปริมาณกรดอะซิติกในการผลิตน้ำส้มสายชู เมื่อใช้ท่อทางออกของน้ำหมักระบบกาลักน้ำและระบบไหลลงสู่ถังเก็บโดยตรง โดยศึกษาในเครื่องหมักขนาด 15 ลิตร ใช้อัตราการไหลเข้าของน้ำหมัก 2.8 ลิตรต่อนาที อัตราการให้อากาศ 0.04 ลิตรต่อนาที (20).