

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

แบ่งได้ตามหัวข้อดังต่อไปนี้

#### 4.1 ศึกษาถึงวัสดุต่าง ๆ ที่ใช้เป็นแพคเบต

เนื่องจากแพคเบตเป็นส่วนสำคัญของเครื่องหมักในการที่จะให้เชื้อเกาะและเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างอากาศ น้ำหมัก และจุลินทรีย์ เพื่อให้การหมักน้ำตาลละลายเกิดกรดอะซิติกได้เร็วขึ้น จึงได้ทำการศึกษาถึงวัสดุต่าง ๆ ที่ใช้เป็นแพคเบต โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 แบบคือในขวดเขย่า และในเครื่องหมักแบบหนึ่งชั้น

##### 4.1.1 ศึกษาในขวดเขย่า ที่ 240 รอบต่อนาที

จากผลการทดลองพบว่า เมื่อใช้ไม้มะค่า ไม้ตะเคียน ไม้สัก ไม้แดง ไม้ไผ่ และพลาสติก เป็นวัสดุที่ใช้ในการทำแพคเบต อัตราการเกิดกรดอะซิติก ร้อยละ (กรัม/มิลลิลิตร-ชั่วโมง) มีค่าเท่ากับ 0.0337, 0.0334, 0.0301, 0.0286, 0.031 และ 0.0252 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่

ง .1 ทั้งหกค่านี้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 5 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงการคำนวณในภาคผนวก ก และตารางที่ ก.1 และจากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความแตกต่างของอัตราการเกิดกรดอะซิติกโดยวิธี least significant difference ซึ่งแสดงการคำนวณไว้ในภาคผนวก ข พบว่าที่ระดับ 5 เปอร์เซ็นต์ ไม้มะค่า ไม้ตะเคียน ไม้สัก ไม้ไผ่ ไม้แดง ไม่มีความแตกต่างกัน ไม้มะค่าและไม้ตะเคียนแตกต่างจากไม้แดง ส่วนไม้สัก ไม้ไผ่ และพลาสติกไม่

แตกต่างจากไม้แดง พลาสต์ิกแตกต่างจากไม้ไผ่และไม้สัก โดยที่ไม้มะค่าให้อัตราการเกิดกรดอะซิติกสูงสุด ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับกราฟรูปที่ 15 ตารางที่ ค.1 เพื่อเน้นการยืนยันผลการทดลองนี้ จึงได้ทำการศึกษาถึงวัสดุต่าง ๆ ที่ใช้เป็นแพคเบตในเครื่องหมักแบบหนึ่งชั้น

4.1.2 ศึกษาในเครื่องหมักแบบหนึ่งชั้น โดยบรรจุแพคเบตในเครื่องหมักจำนวน 360 ลูก เมื่อเริ่มต้นด้วยอัตราส่วนร้อยละโดยปริมาตรของเอทานอลต่อร้อยละโดยน้ำหนักต่อปริมาตรของกรดอะซิติก 7 : 1 อัตราการไหลของน้ำหมัก 2.7 ลิตรต่อนาที อัตราการให้อากาศ 0.02 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที จากผลการทดลองพบว่าเมื่อใช้ไม้มะค่า ไม้ตะเคียน ไม้สัก ไม้แดง และไม้ไผ่ เป็นวัสดุที่ใช้ในการทำแพคเบต อัตราการเกิดกรดอะซิติก ร้อยละ (กรัม/มิลลิลิตร-ชั่วโมง) มีค่าเท่ากับ 0.0403, 0.0384, 0.028, 0.0292 และ 0.0382 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ ข.2 ทั้งห้าค่านี้ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 5 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงการคำนวณในภาคผนวก น และตารางที่ น.2 และจากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความแตกต่างของอัตราการเกิดกรดอะซิติก โดยวิธี least significant difference ซึ่งแสดงการคำนวณไว้ในภาคผนวก พบว่าที่ระดับ 5 เปอร์เซ็นต์ ไม้มะค่าแตกต่างจากไม้ทุกชนิด ส่วนไม้ตะเคียนกับไม้ไผ่แตกต่างกัน ไม้แดงกับไม้สักไม่แตกต่างกัน โดยที่ไม้มะค่าให้อัตราการเกิดกรดอะซิติกสูงสุด ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับกราฟรูปที่ 16 ตารางที่ ค.2-ค.6 ฉะนั้นในการศึกษาครั้งต่อไปจะเลือกใช้ไม้มะค่าเป็นแพคเบตตลอด นอกจากนี้ยังเปรียบเทียบปริมาณเอทานอลที่ลดลงในเวลาต่าง ๆ กัน ดังผลที่แสดงในรูปที่ 17

#### 4.2 ศึกษาถึงอัตราส่วนของเอทานอลและกรดอะซิติกเริ่มต้นที่เหมาะสม

เนื่องจากค่าอัตราส่วนของเอทานอล และกรดอะซิติกเริ่มต้นมีอิทธิพลต่อการหมักดังกล่าวมาแล้วข้างต้น และจากงานก่อน (6) ได้หาค่าอัตราส่วนร้อยละของเอทานอล ปริมาตร/ปริมาตร) ต่อร้อยละของกรดอะซิติก (น้ำหนัก/ปริมาตร) ที่เหมาะสมเป็น 7 : 1 เพื่อให้เกิดความมั่นใจ จึงทำการทดลองซ้ำ โดยใช้อัตราส่วน 7 : 1, 8 : 1, 7 : 2 และ 6 : 2 โดยศึกษาในเครื่องหมักแบบหนึ่งชั้นใช้ไม้มะค่าเป็นแพคเบต

บรรจุในคอสมันจำนวน 360 ลูก อัตราการไหลของน้ำหมัก 2.7 ลิตรต่อนาที อัตราการให้อากาศ 0.02 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที จากผลการทดลองพบว่า เมื่อให้อัตราส่วนของเอทานอลและกรดอะซิติกเริ่มต้นเป็น 7 : 1, 8 : 1, 6 : 2, 7 : 2 อัตราการเกิดกรดอะซิติก ร้อยละ (กรัม/มิลลิลิตร-ชั่วโมง) มีค่าเท่ากับ 0.0403, 0.0323, 0.0317 และ 0.01935 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ จ.3 ทั้ง 4 ค่านี้ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 5 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงการคำนวณในภาคผนวก ฌ และตารางที่ ฌ.3 และจากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความแตกต่างของอัตราการเกิดอะซิติกโดยวิธี least significant difference ซึ่งแสดงการคำนวณไว้ในภาคผนวก ฌ พบว่าที่ระดับ 5 เปอร์เซ็นต์ อัตราส่วน 7 : 1 แตกต่างจากอัตราส่วนอื่น ๆ ส่วนอัตราส่วน 8 : 1 กับ 6 : 2 ไม่แตกต่างกัน โดยที่ 7 : 1 ให้อัตราการเกิดกรดอะซิติกสูงสุด ให้ผลเช่นเดียวกับกราฟรูปที่ 18 และใน ตารางที่ ค.6- ค.9 ซึ่งสอดคล้องกับงานก่อน ฉะนั้นในการศึกษาครั้งต่อไปจะเลือกใช้อัตราส่วนของเอทานอลและกรดอะซิติก 7 : 1 ตลอด นอกจากนี้ยังเปรียบเทียบปริมาณเอทานอลที่ลดลง ในเวลาต่าง ๆ กัน ดังผลที่แสดงในรูปที่ 19

ต่อมาได้ศึกษาเครื่องหมักแบบหลายชั้น เพื่อให้ประสิทธิภาพในการผลิตน้ำส้มสายชูเร็วขึ้น เพราะว่าโอภาสที่เชื้อจะได้รับอาหาร และอากาศในแต่ละชั้นได้สม่ำเสมอเท่ากัน ย่อมมีมากกว่า ชั้นเดียว เนื่องจากน้ำหมัก และอากาศ สามารถกระจายได้ทั่วถึงทุกจุดในคอสมันได้ง่ายกว่า เครื่องหมักชั้นเดียว โดยศึกษาตามลำดับขั้นตอนดังนี้

#### 4.3 การศึกษาเครื่องหมักอนุกรมสี่ชั้นแบบแยกคอสมัน

โดยใช้ไม้มะค่าเป็นแพคเบตขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร บรรจุในคอสมัน ๗ ๗ ละ 90 ลูก เริ่มต้นด้วยอัตราส่วน ร้อยละของเอทานอล (ปริมาตร/ปริมาตร) ต่อร้อยละของกรดอะซิติก (น้ำหมัก/ปริมาตร) 7 : 1 อัตราการไหลของน้ำหมัก 2.85 ลิตรต่อนาที อัตราการให้อากาศ 0.03 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที ใช้ระบบกาสักน้ำ เป็นระบบการไหลของน้ำหมักพบว่า

เมื่อใช้ระบบนี้จะทำให้เกิดการท่วมล้นของน้ำหมัก เป็นผลให้เกิดกรดอะซิติกไม่เร็วเท่าที่คาดเอาไว้ ดังนั้นเพื่อแก้ไขปัญหานี้ จึงใช้ระบบท่อน้ำล้น ซึ่งใช้ล้นภาวะการหมักตั้งข้างต้น ปรากฏว่าระบบนี้ให้ผลดีกว่าระบบภาสก์น้ำ

ตั้งผลที่แสดงไว้ในรูปที่ 20 ในตารางที่ ค.10-ค.11 เมื่อใช้ระบบภาสก์น้ำและระบบท่อน้ำล้น อัตราการเกิดกรดอะซิติกมีค่าเท่ากับ 0.0253 และ 0.03105 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ ง.4 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 5 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงการคำนวณในภาคผนวก ข และตารางที่ ข.4 โดยที่ระบบท่อน้ำล้นให้อัตราการเกิดกรดอะซิติกสูงกว่า นอกจากนี้ยังเปรียบเทียบปริมาณเอทานอลที่ลดลงในเวลาต่าง ๆ กัน ตั้งผลที่แสดงในรูปที่ 21

อย่างไรก็ตามจากการสังเกตอัตราส่วนของปริมาตรแพคเบตต่อปริมาตรช่องว่างเหนือแพคเบต พบว่ายังไม่เหมาะสม จึงได้ทำการเพิ่มปริมาตรของช่องว่างเหนือแพคเบต โดยเปลี่ยนจาก 1:0.95 ไปเป็น 1 : 1.85 ใช้ไม้มะค่าเป็นแพคเบตบรรจุในคอส์มันน์ ๆ ละ 90 ลูก ใช้ระบบภาสก์น้ำ เมื่อเริ่มต้น ร้อยละ ๖ เอทานอล(ปริมาตร/ปริมาตร) ต่อร้อยละของกรดอะซิติก(น้ำหมัก/ปริมาตร) 7 : 1 อัตราการไหลของน้ำหมัก 2.85 ลิตรต่อนาที อัตราการให้อากาศ 0.08 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมัก ต่อนาที

ตั้งผลที่แสดงไว้ในรูปที่ 22 และตารางที่ ค.12-ค.13 เมื่อใช้อัตราส่วนของปริมาตรแพคเบต ต่อปริมาตรช่องว่างเหนือแพคเบต 1 : 0.95 และ 1 : 1.85 อัตราการเกิดกรดอะซิติก มีค่าเท่ากัน 0.0259 และ 0.0273 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ ง.5 ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 5 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงการคำนวณในภาคผนวก ข และตารางที่ ข.5 แต่จากการสังเกตสังหระการไหลของน้ำหมักพบว่าดีขึ้นกว่าเดิมมาก จึงได้ตัดแปลง เครื่องหมักจากอนุกรมสี่ชั้นแบบแยกคอส์มันน์ไปเป็นอนุกรมสองชั้นแบบแยกคอส์มันน์ นอกจากนี้ยังเปรียบเทียบปริมาณเอทานอลที่ลดลงในเวลาต่าง ๆ กัน ตั้งผลที่แสดงในรูปที่ 23

#### 4.4 ศึกษา เครื่องหมักอนุกรมสองชั้นแบบแยกคอสมัน

เนื่องจากเครื่องหมักอนุกรมสองชั้นแบบแยกคอสมัน มีลักษณะไม่เหมือนกับ เครื่องหมักแบบหนึ่งชั้น ซึ่งจากงานก่อน (6) ได้ทดลองหาอัตราการให้อากาศของเครื่องหมักแบบหนึ่งชั้นพบว่า อัตราการให้อากาศที่เหมาะสมคือ 0.02 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที ซึ่งได้ทดลอง อัตราการให้อากาศที่เหมาะสมในเครื่องหมักอนุกรมสองชั้นแบบแยกคอสมันนี้ ศึกษาที่ 0.00, 0.02, 0.04 และ 0.21 โดยปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที ใช้ไม้มะค่าเป็นแพคเบต ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร ใช้ระบบท่อน้ำล้นบรรจุในคอสมัน ๆ ละ 180 ลูก เมื่อเริ่มต้นร้อยละโดยปริมาตรของเอทานอลต่อร้อยละโดยน้ำหมักต่อปริมาตรของกรดอะซิติก 7 : 1 อัตราการไหลของน้ำหมัก 2.85 ลิตรต่อนาที และตั้งผลที่แสดงไว้ในรูปที่ 24 และ ตารางที่ ค.14-ค.17 เมื่อใช้อัตราการให้อากาศ 0.00, 0.02, 0.04, 0.21 ปริมาตร อากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที (VVM) อัตราการเกิดกรดอะซิติก ร้อยละ (กรัม/มิลลิลิตร-ชั่วโมง) มีค่าเท่ากับ 0.0211, 0.0286, 0.0305 และ 0.0306 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ ง 6 ทั้ง 4 ค่านี้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 5 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงการคำนวณในภาคผนวก ฅ และตารางที่ ฅ.6 และจากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความแตกต่างของอัตราการเกิดกรดอะซิติก โดยวิธี least significant difference ซึ่งแสดงการคำนวณไว้ในภาคผนวก ช พบว่าที่ระดับ 5 เปอร์เซ็นต์ อัตราการให้อากาศ 0.04 และ 0.021 VVM ไม่แตกต่างกัน แต่ทั้งสองนี้แตกต่างจากอัตราการให้อากาศ 0.00 และ 0.02 VVM ส่วนอัตราการให้อากาศ 0.00 กับ 0.02 VVM แตกต่างกันโดยที่อัตราการให้อากาศ 0.04 VVMให้อัตราการเกิดกรดอะซิติกที่ต่ำ

ได้แสดงเปรียบเทียบปริมาณเอทานอลที่ลดลงในเวลาต่าง ๆ กัน ตั้งผลแสดงไว้ในรูปที่ 25

หมายเหตุ อัตราการให้อากาศ  $\approx 0$  หมายถึง กรณีที่ไม่ป้อนอากาศเข้าทางหัวกระจายอากาศ

นอกจากนี้ยังได้ศึกษาถึงระบบการไหลของน้ำหมัก เนื่องจากใน เครื่องหมักแบบหนึ่งชั้น เมื่อใช้ระบบภาสก์น้ำจะให้การไหลของน้ำหมักเป็นสัจหระ ซึ่งได้ทดลองว่าใน เครื่องหมักอนุกรม

สองชั้นแบบแยกคอสมัน จะให้ผลเช่นเดียวกับเครื่องหมักอนุกรมสี่ชั้นแบบแยกคอสมันหรือไม่ โดยใช้ไม้มะค่าเป็นแพคเบต ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร บรรจุในคอสมัน ๆ ละ 180 ลูก เริ่มต้นด้วยอัตราส่วนร้อยละของเอทานอล (ปริมาตร/ปริมาตร) ต่อร้อยละของกรดอะซิติก (น้ำหนัก/ปริมาตร) 7 : 1 อัตราการไหลของน้ำหมัก 2.85 ลิตรต่อนาที อัตราการให้อากาศ 0.04 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที

ดังผลที่แสดงไว้ในรูปที่ 26 และตารางที่ ค.17-ค.18

เมื่อใช้ระบบกาลักน้ำ และระบบท่อน้ำล้น อัตราการเกิดกรดอะซิติกมีค่าเท่ากับ 0.0354 และ 0.0305 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ ง.7 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 5 เปอร์เซนต์ ดังแสดงการคำนวณในภาคผนวก ฅ และตารางที่ ฅ.7 โดยที่ระบบกาลักน้ำให้อัตราการเกิดกรดอะซิติกสูงกว่า ซึ่งต่างจากเครื่องหมักอนุกรมสี่ชั้นแบบแยกคอสมัน นอกจากนี้ยังพบว่า การไหลของน้ำหมักเป็นสัณหะ เช่นเดียวกับเครื่องหมักแบบหนึ่งชั้น และได้แสดงเปรียบเทียบปริมาณเอทานอลที่ลดลงในเวลาต่าง ๆ กัน ดังผลแสดงไว้ในรูปที่ 27

เนื่องจากการเกิดกรดอะซิติกยังอยู่ในอัตราที่ค่อนข้างช้า ทั้งนี้เป็นเพราะว่าการเตรียมเชื้อหมักเริ่มต้นในคอสมันเพียงร้อยละ 50 เท่านั้น ส่วนที่เหลือเตรียมในขวดเขย่า ดังนั้นจึงเปลี่ยนการเตรียมเชื้อหมักเริ่มต้นเป็นในคอสมันทั้งหมดโดยใช้สภาวะการหมักดังข้างต้น และใช้ระบบกาลักน้ำ ดังผลที่แสดงในรูปที่ 28 และตารางที่ ค.18-ค.19

เมื่อเตรียมเชื้อหมักเริ่มต้นในคอสมันร้อยละ 50 และ 100 อัตราการเกิดกรดอะซิติกมีค่าเท่ากับ 0.0354 และ 0.0416 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ ง.8 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 5 เปอร์เซนต์ ดังแสดงการคำนวณในภาคผนวก ฅ และตารางที่ ฅ.8 โดยที่เตรียมเชื้อหมักเริ่มต้นในคอสมันร้อยละ 100 ให้อัตราการเกิดกรดอะซิติกสูงกว่า

ได้แสดงเปรียบเทียบปริมาณเอทานอลที่ลดลงในเวลาต่าง ๆ กัน ดังผลแสดงไว้ในรูปที่ 29



#### 4.5 การศึกษาเปรียบเทียบชนิดของเครื่องหมัก

เนื่องจากได้ศึกษาเครื่องหมักแบบหลายชั้นมา 2 ชนิด คือ เครื่องหมักอนุกรมสี่ชั้นแบบแยกคอสัมน์ กับ เครื่องหมักอนุกรมสองชั้นแบบแยกคอสัมน์ จึงได้ทำการเปรียบเทียบ โดยใช้ไม้มะค่าเป็นแพคเบต ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร ระบบท่อน้ำล้นเมื่อเริ่มต้นด้วยอัตราส่วนร้อยละเอทานอล (ปริมาตร/ปริมาตร) ต่อร้อยละของกรดอะซิติก (น้ำหนัก/ปริมาตร) 7 : 1 อัตราการไหลของน้ำหมัก 2.85 ลิตรต่อนาที อัตราการให้อากาศ 0.21 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที

ดังผลที่แสดงไว้ในรูปที่ 30 และตารางที่ ๑.20-๑.21

ได้แสดงเปรียบเทียบปริมาณเอทานอลที่ลดลงในเวลาต่าง ๆ กัน ดังผลที่แสดงไว้ในรูปที่ 31 พบว่า เครื่องหมักอนุกรมสองชั้นแบบแยกคอสัมน์ให้ผลดีกว่า เครื่องหมักอนุกรมสี่ชั้นแบบแยกคอสัมน์ นอกจากนี้ยังได้ทำการเปรียบเทียบเครื่องหมักแบบหลายชั้นทั้งสองชนิดนี้กับ เครื่องหมักแบบแพคเบตหนึ่งชั้น โดยใช้ไม้มะค่าเป็นแพคเบต ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร บรรจุในคอสัมน์ทั้งหมด 360 ลูก เริ่มต้นด้วยอัตราส่วน ร้อยละของเอทานอล(ปริมาตร/ปริมาตร) ต่อร้อยละของกรดอะซิติก (น้ำหนัก/ปริมาตร) 7:1 อัตราการไหลของน้ำหมัก 2.85 ลิตรต่อนาที อัตราการให้อากาศ ขึ้นละ 0.02 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที

ดังผลที่แสดงไว้ในรูปที่ 32 และได้แสดงเปรียบเทียบปริมาณเอทานอลที่ลดลงในเวลาต่าง ๆ กัน ดังผลที่แสดงไว้ในรูปที่ 33 พบว่า เครื่องหมักแบบอนุกรมสองชั้นแบบแยกคอสัมน์ให้ผลดีที่สุด รองลงมาคือ เครื่องหมักแบบหนึ่งชั้น ดังนั้นถ้าหากมีการปรับปรุง เครื่องหมักอนุกรมสี่ชั้นแบบแยกคอสัมน์ให้เหมาะสม ก็อาจทำให้การหมักน้ำส้มสายชูดีขึ้นกว่า เครื่องหมักอนุกรมสองชั้นแบบแยกคอสัมน์

#### 4.6 การศึกษาเครื่องหมักสีคอสมันแบบขนาน

ได้ทำการศึกษาเครื่องหมักสีคอสมันแบบขนาน โดยใช้สภาวะการหมักแบบข้างต้นดังผลที่แสดงไว้ในรูปที่ 34 และตารางที่ ก.22 ซึ่งเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่แสดงไว้ในรูปที่ 32 พบว่า เครื่องหมักสีชั้นแบบขนานจะให้ผลดีกว่าเครื่องหมักแบบอื่นดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 35 และได้แสดงเปรียบเทียบปริมาณเอทานอลที่ลดลงในเวลาต่าง ๆ กันดังผลที่แสดงไว้ในรูปที่ 36

#### 4.7 การศึกษาเครื่องหมักอนุกรมสีชั้นแบบรวมคอสมัน

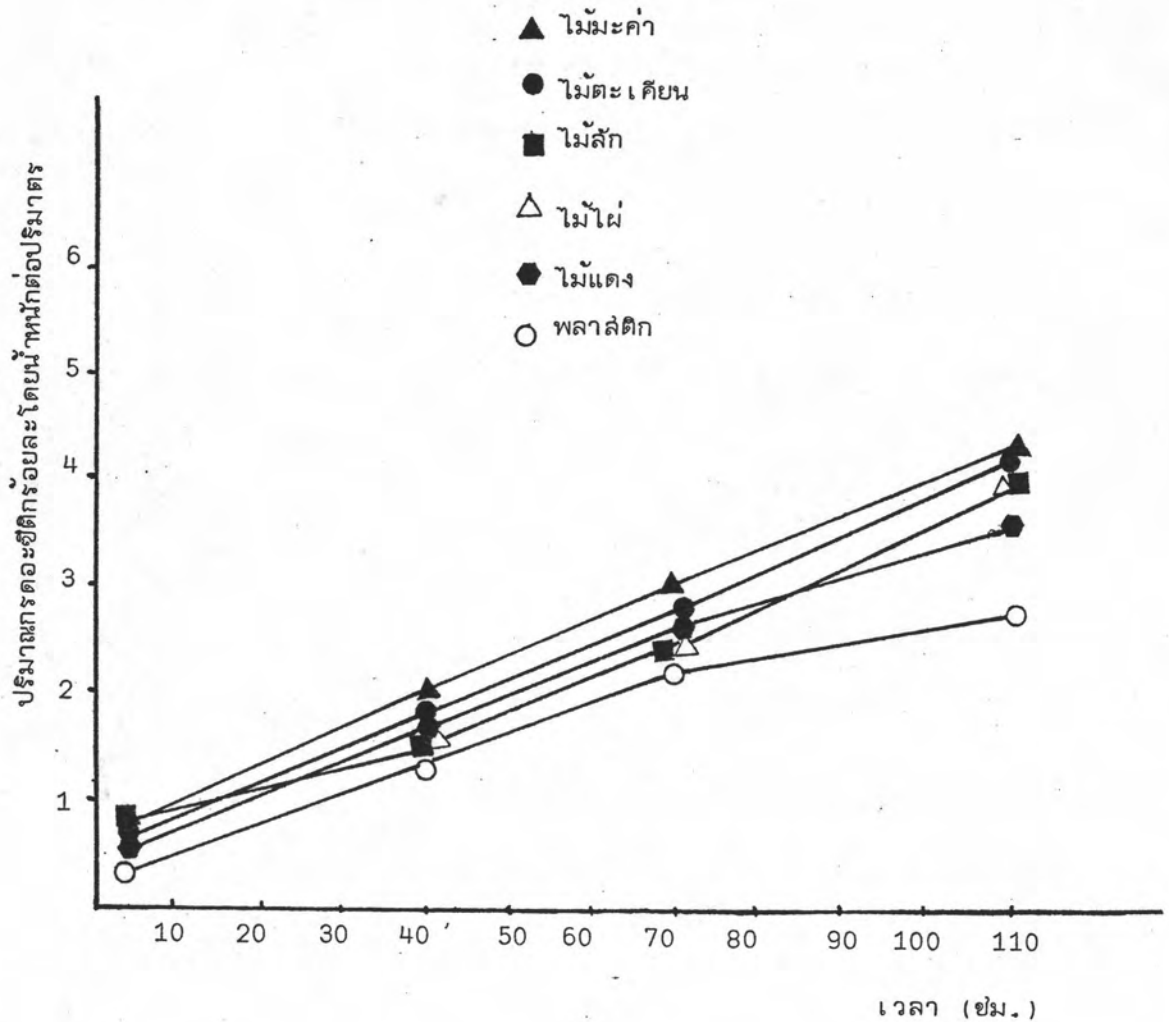
แต่อย่างไรก็ตามเป้าหมายทางการศึกษายังไม่สิ้นสุด เนื่องจากเครื่องหมักแบบหลายชั้นนี้ยังไม่เป็นเครื่องหมักแบบหลายชั้นที่แท้จริง จึงได้ทำการทดลองในเครื่องหมักอนุกรมสีชั้นแบบรวมคอสมัน โดยใช้สภาวะการหมักเหมือนข้างต้น อัตราการให้อากาศ 0.02 ดังผลที่แสดงไว้ในรูปที่ 37 และตารางที่ ค.23

เมื่อใช้เครื่องหมักแบบหนึ่งชั้น อนุกรมสีชั้นแบบแยกคอสมัน อนุกรมสองชั้นแบบแยกคอสมัน สีชั้นแบบขนาน และอนุกรมสีชั้นแบบรวมคอสมัน อัตราการเกิดกรดอะซิติกมีค่าเท่ากับ 0.0403, 0.0272, 0.0416, 0.0450 และ 0.0471 ตามลำดับ ดังแสดงไว้ในตารางที่ ง. 9 ทั้ง 5 ค่านี้มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 5 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงการคำนวณในภาคผนวก ข และตารางที่ น. 9 และจากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความแตกต่างของอัตราการเกิดกรดอะซิติกโดยวิธี least significant difference ซึ่งแสดงการคำนวณไว้ในภาคผนวก ช พบว่าที่ระดับ 5 เปอร์เซ็นต์ เครื่องหมักแบบหนึ่งชั้นและอนุกรมสองชั้นแบบแยกคอสมันไม่แตกต่างกัน แต่ทั้งสองแบบนี้แตกต่างจากเครื่องหมักอนุกรมสีชั้นแบบแยกคอสมัน สีชั้นแบบขนานและอนุกรมสีชั้นแบบรวมคอสมัน ซึ่งแต่ละแบบแตกต่างกันโดยที่เครื่องหมักอนุกรมสีชั้นแบบรวมคอสมันให้อัตราการเกิดกรดอะซิติกสูงสุด ซึ่งเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่แสดงไว้ในรูปที่ 35 พบว่าเครื่องหมักอนุกรมสีชั้นแบบรวมคอสมันจะให้ผลดีที่สุด รองลงมาคือสีชั้นแบบขนานอนุกรมสองชั้นแบบแยกคอสมัน แบบหนึ่งชั้นอนุกรมสีชั้นแบบแยกคอสมันตามลำดับดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 38 และได้แสดงเปรียบเทียบปริมาณเอทานอลที่ลดลงในเวลาต่าง ๆ กันดังผลที่แสดงไว้ในรูปที่ 39



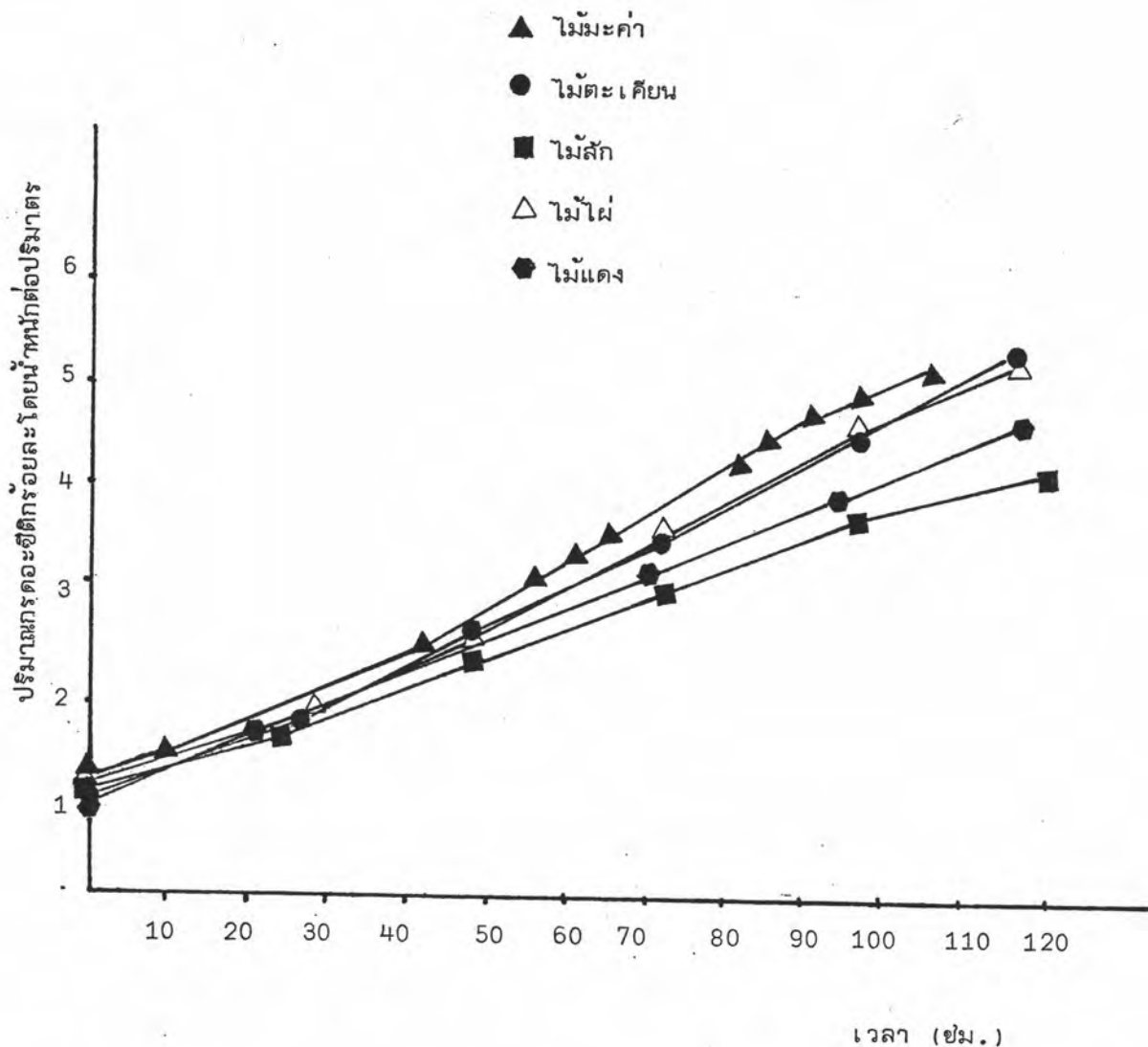
4.8 ศึกษาการหมักแบบกึ่งต่อเฟืองในเครื่องหมักอนุกรมสี่ชั้นแบบรวมคอสมัน

โดยใช้ภาวะการหมักเหมือนข้างต้น ดังผลที่แสดงในรูปกราฟที่ 40-42

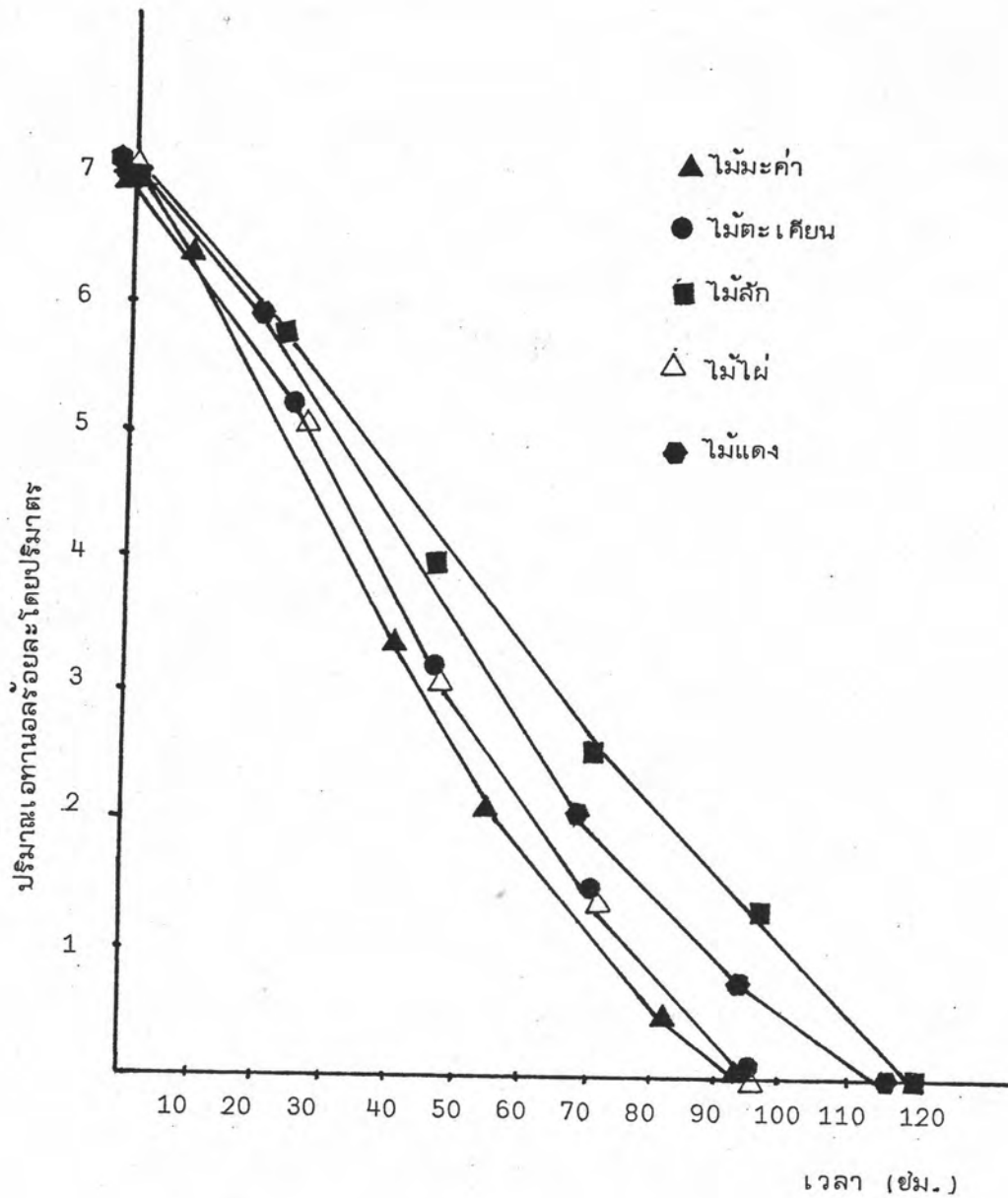


รูปที่ 15

แสดงการเปรียบเทียบปริมาณกรดอะซิติกในการผลิตน้ำส้มสายชูจากไวน์สับปะรด  
เมื่อใช้แพคเบตซึ่งทำจากวัสดุชนิดต่าง ๆ กันคือ ไม้มะค่า ไม้ไผ่ ไม้สัก ไม้ตะเคียน  
ไม้แดง และพลาล์ดิก ลักษณะเป็นทรงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร  
ใช้เชื้อ A. aceti เมื่อมีเอทานอลเริ่มต้นร้อยละ 6 โดยปริมาตร ทำการทดลอง  
ในขวดเขย่า ที่ 240 รอบต่อนาที

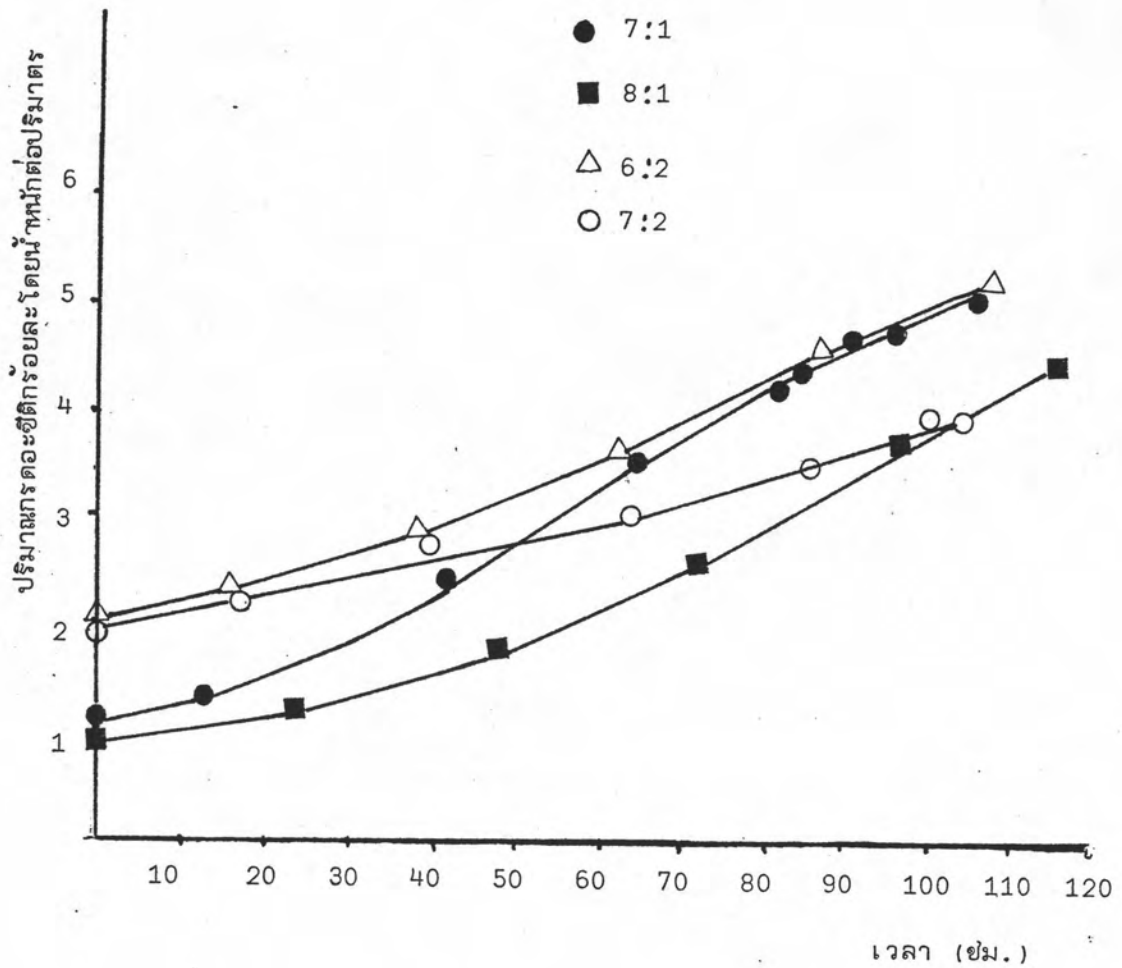


รูปที่ 16 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณกรดอะซิติกในการผลิตน้ำส้มสายชูจากไวน์สับปะรด เมื่อใช้แพคเบตซึ่งทำจากวัสดุชนิดต่าง ๆ กันคือ ไม้มะค่า ไม้ไผ่ ไม้สัก ไม้แดง และไม้ตะเคียน ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตรบรรจุในคอสมันจำนวน 360 ลูก โดยศึกษาในเครื่องหมักแบบหนึ่งชั้น ใช้เชื้อ *A. aceti* เมื่อเริ่มต้นด้วยอัตราส่วน ร้อยละของเอทานอล (ปริมาตร/ปริมาตร) ต่อร้อยละของกรดอะซิติก (น้ำหนัก/ปริมาตร) 7:1 อัตราการไหลของน้ำหมัก 2.7 ลิตรต่อนาที อัตราการให้อากาศ 0.02 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที

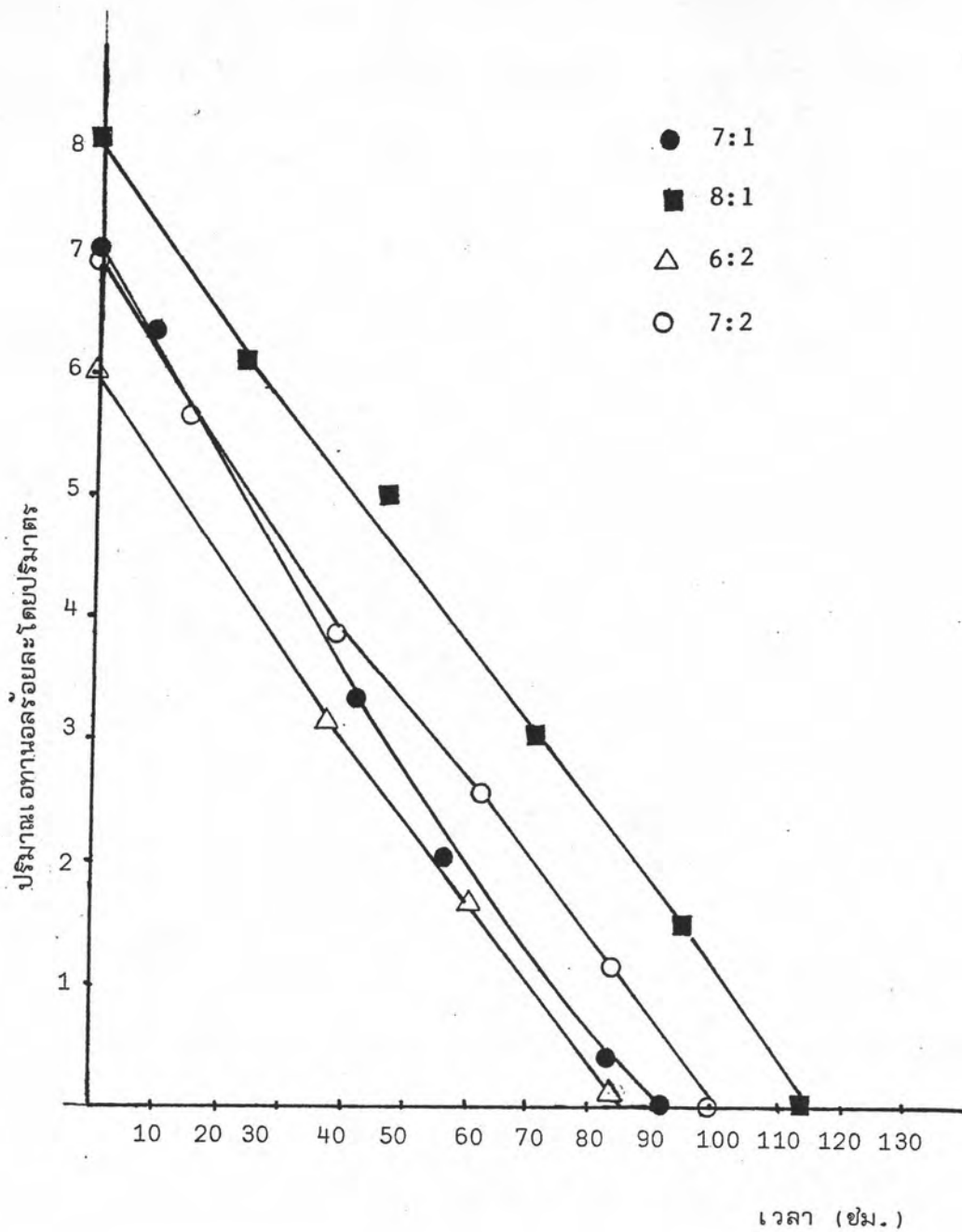


รูปที่ 17

เปรียบเทียบปริมาณการลดลงของเอทานอลในเวลาต่าง ๆ กัน เมื่อใช้แพคเบตซึ่งทำจากวัสดุชนิดต่าง ๆ กันคือ ไม้มะค่า ไม้ไผ่ ไม้สัก ไม้แดง และไม้ตะเคียน แบบหนึ่งชั้น อัตราการไหลของน้ำหมัก 2.7 ลิตรต่อนาที อัตราการให้อากาศ 0.02 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที

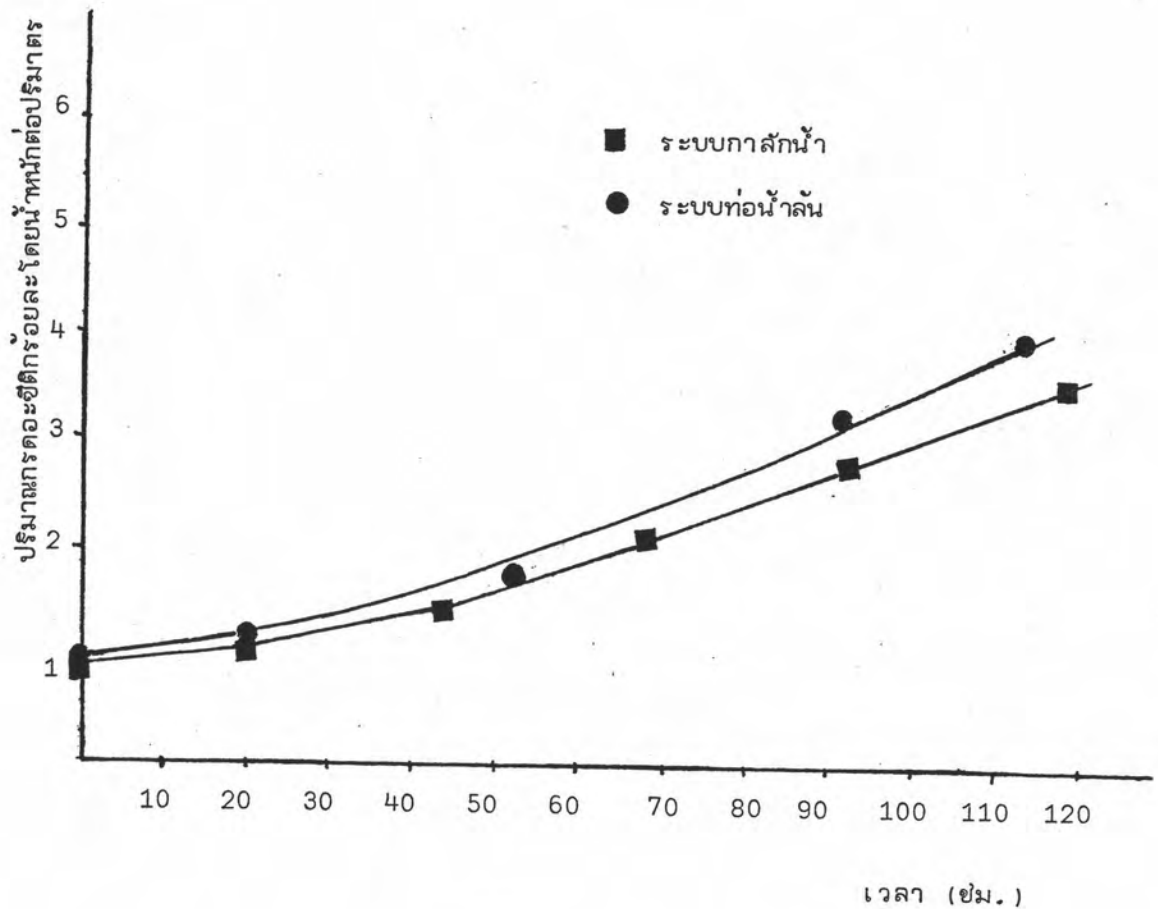


รูปที่ 18 แสดงเปรียบเทียบปริมาณกรดอะซิติกในการผลิตน้ำส้มสายชูจากไวน์สับปะรด เมื่อเริ่มต้นด้วยอัตราส่วน ร้อยละของเอทานอล (ปริมาตร/ปริมาตร) ต่อร้อยละของกรดอะซิติก (น้ำหนัก/ปริมาตร) 7:1, 8:1, 6:2, 7:2 โดยศึกษาในเครื่องหมักแบบหนึ่ง ใช้เชื้อ *A. aceti* ไม้มะค่าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร เป็นแพคเบตบรรจุในคอสมันจำนวน 360 ลูก อัตราการไหลของน้ำหมัก 2.7 ลิตรต่อนาที อัตราการให้อากาศ 0.02 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที

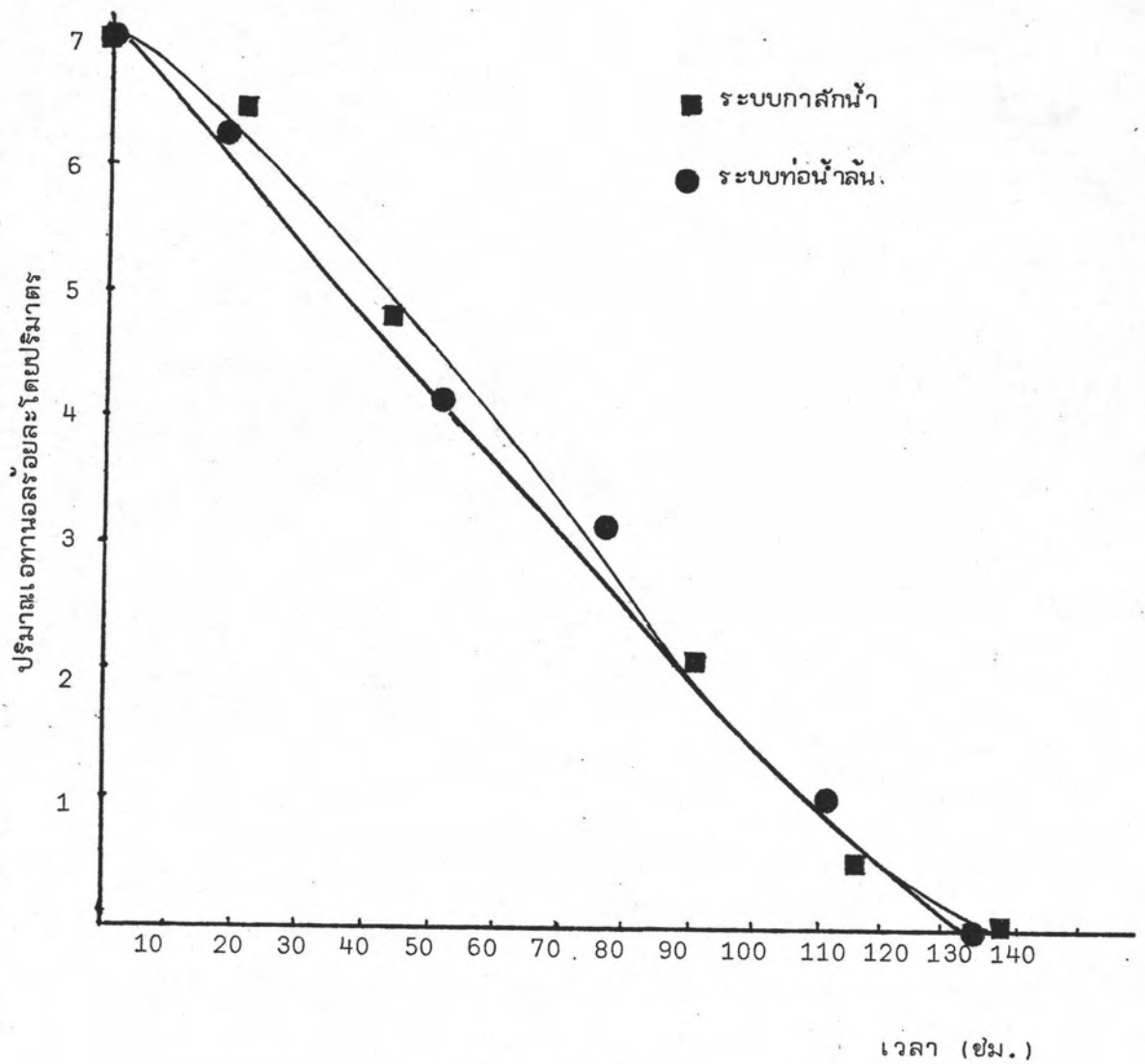


รูปที่ 19 เปรียบเทียบปริมาณการลดลงของเอทานอลในเวลาต่าง ๆ กัน เมื่อเริ่มต้นด้วย อัตราส่วน ร้อยละของเอทานอล (ปริมาตร/ปริมาตร) ต่อร้อยละของกรดอะซิติก (น้ำหนัก/ปริมาตร) 7:1, 8:1, 6:2, 7:2 โดยศึกษาในเครื่องหมักแบบหนึ่งชั้น อัตราการไหลของน้ำหมัก 2.7 ลิตรต่อนาที อัตราการให้อากาศ 0.02 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที

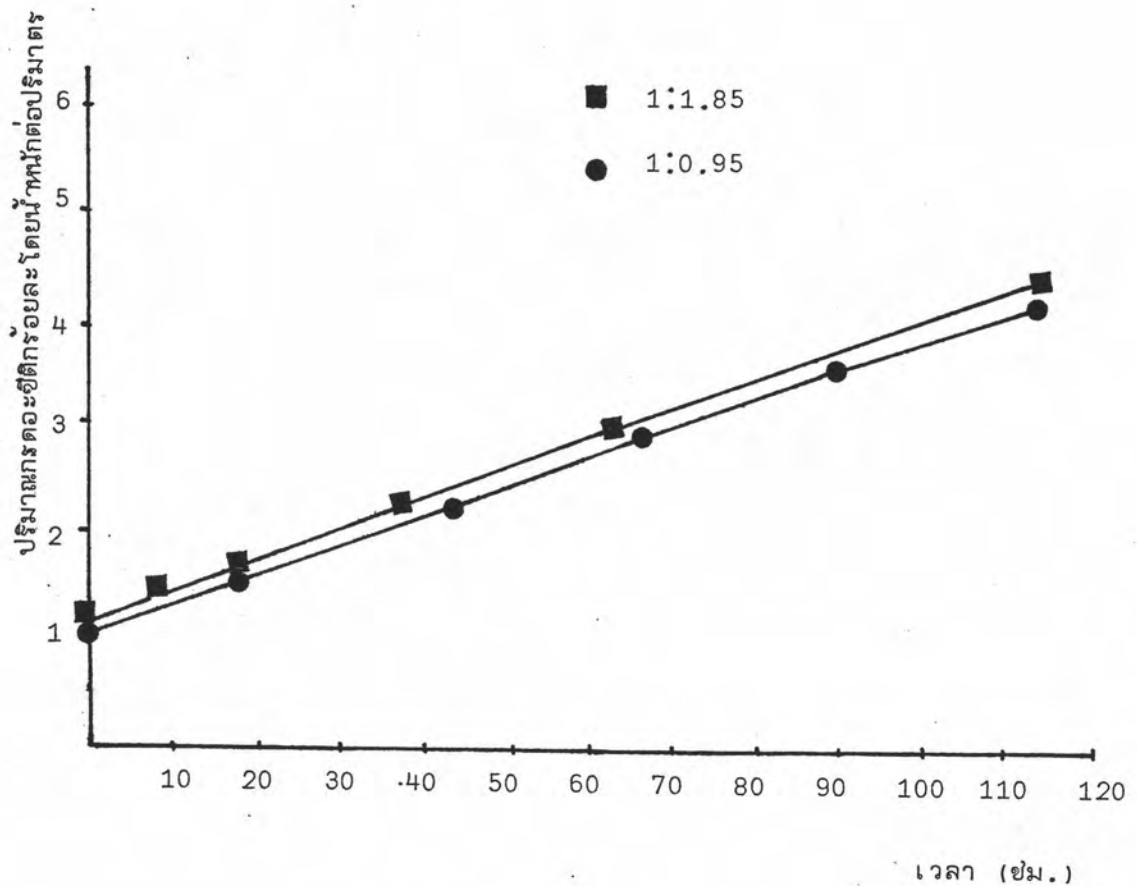




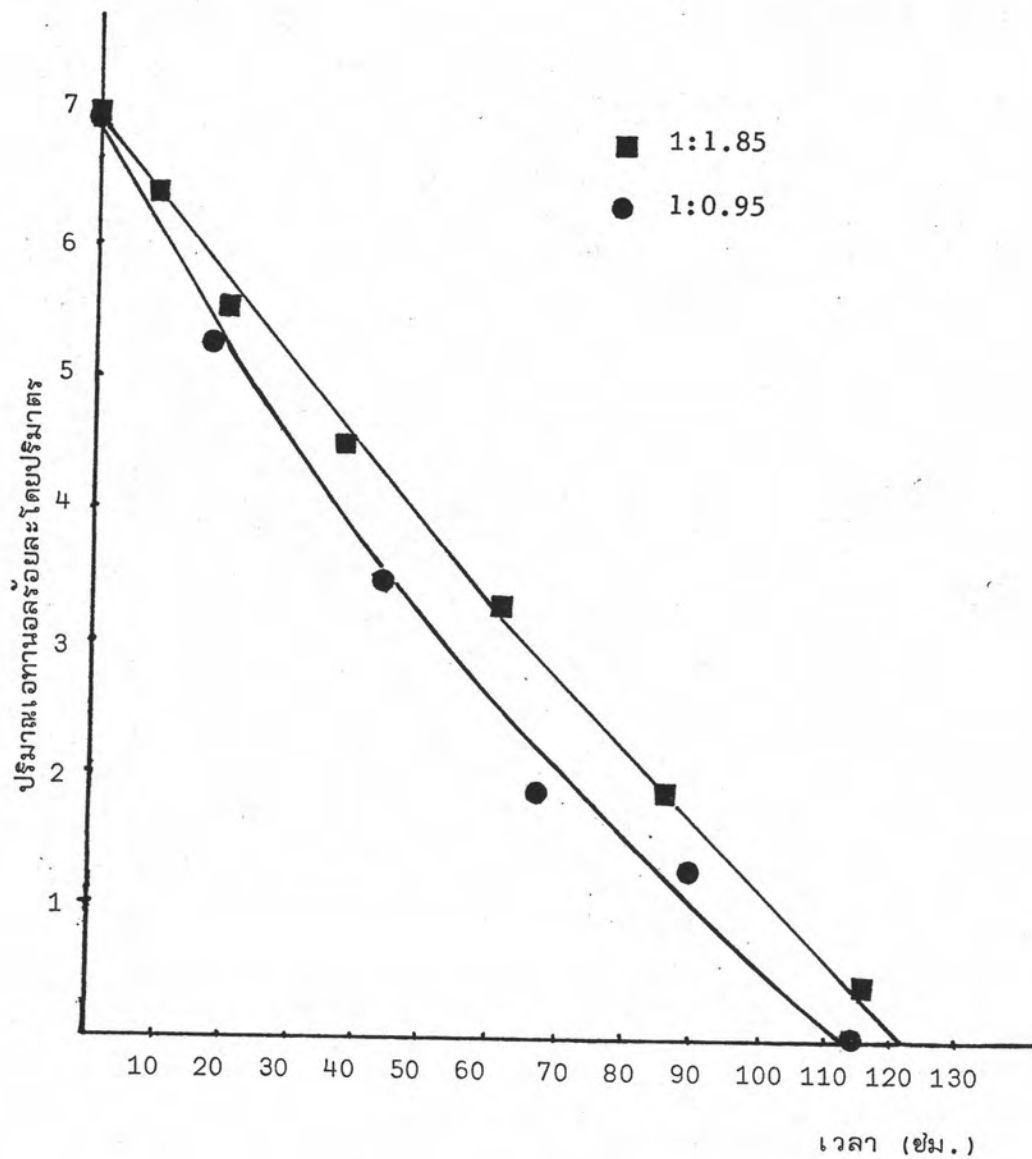
รูปที่ 20 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณกรดอะซิติคในการผลิตน้ำส้มสายชูจากไวน์สับปะรด เมื่อใช้ระบบกาสักน้ำ และระบบท่อน้ำล้นเป็นระบบการไหลของน้ำหมักโดยศึกษาในเครื่องหมักอนุกรมสี่ชั้นแบบแยกคอส้มนี้ ไ้ม้ค่าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร เป็นแพคเกจบรรจุคอส้มนี้ละ 90 ลูก เมื่อเริ่มต้นด้วยอัตราส่วน ร้อยละของเอทานอล (ปริมาตร/ปริมาตร) ต่อร้อยละของกรดอะซิติค (น้ำหมัก/ปริมาตร) 7:1 อัตราการไหลของน้ำหมัก 2.85 ลิตรต่อนาที อัตราการให้อากาศ 0.03 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที



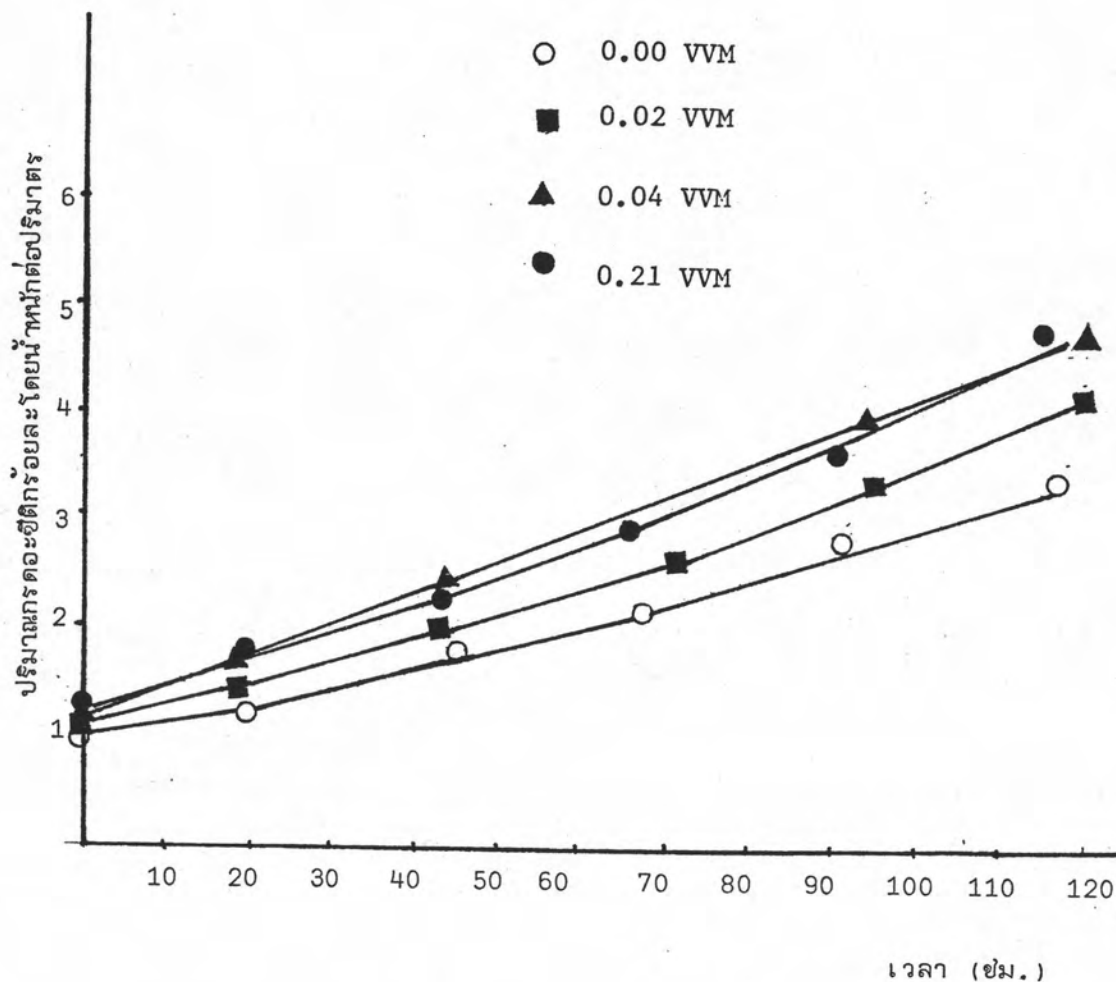
รูปที่ 21 เปรียบเทียบปริมาณการลดลงของเอทานอลในเวลาต่าง ๆ กัน เมื่อใช้ระบบกาสักน้ำ กับระบบท่อน้ำล้นเป็นระบบการไหลของน้ำหมัก โดยศึกษาในเครื่องหมักอนุกรมสี่ชั้นแบบ แยกคอลัมน์ อัตราการไหลของน้ำหมัก 2.85 ลิตรต่อนาที อัตราการให้อากาศ 0.03 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที



- รูปที่ 22 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณกรดอะซิติกในการผลิตน้ำส้มสายชูจากไวน์สับปะรด เมื่ออัตราส่วนของปริมาตรแพคเบตต่อปริมาตรช่องว่างเหนือแพคเบต เป็น 1:0.95 และ 1:1.85 โดยศึกษาในเครื่องหมักอนุกรมสี่ชั้นแบบแยกคอสมันน์ โดยใช้เชื้อ A. aceti ไม้หมักค่าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร เป็นแพคเบตบรรจุในคอสมันน์ละ 90 ลูก ใช้ระบบกาสักน้ำเมื่อเริ่มต้นด้วยอัตราส่วน ร้อยละของเอทานอล (ปริมาตร/ปริมาตร) ต่อ ร้อยละของกรดอะซิติก (น้ำหนัก/ปริมาตร) 7:1 อัตราการไหลของน้ำหมัก 2.85 ลิตรต่อนาที อัตราการให้อากาศ 0.08 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที

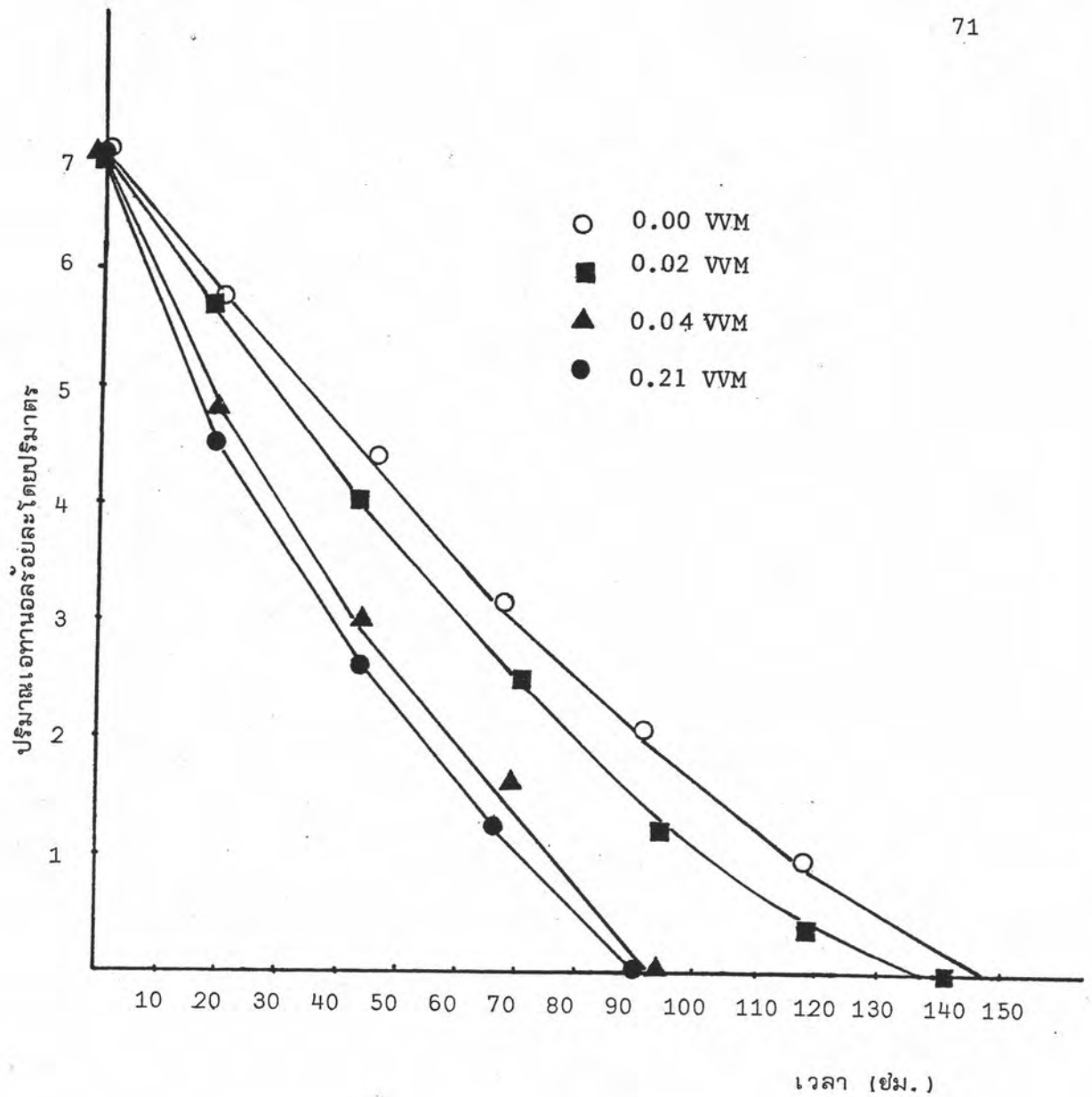


รูปที่ 23 เปรียบเทียบปริมาณการลดลงของเอทานอลในเวลาต่าง ๆ กัน เมื่ออัตราส่วนของ ปริมาตรแพคเบตต่อปริมาตรช่องว่างเหนือแพคเบตเป็น 1:0.95 และ 1:1.85 โดยศึกษาในเครื่องหมักอนุกรมสี่ขั้นแบบแยกคอสัมผัสใช้ระบบกาสกัน้ำ อัตราการไหล ของน้ำหมัก 2.85 ลิตรต่อนาที อัตราการให้อากาศ 0.08 ปริมาตรอากาศต่อ ปริมาตรน้ำหมักต่อนาที



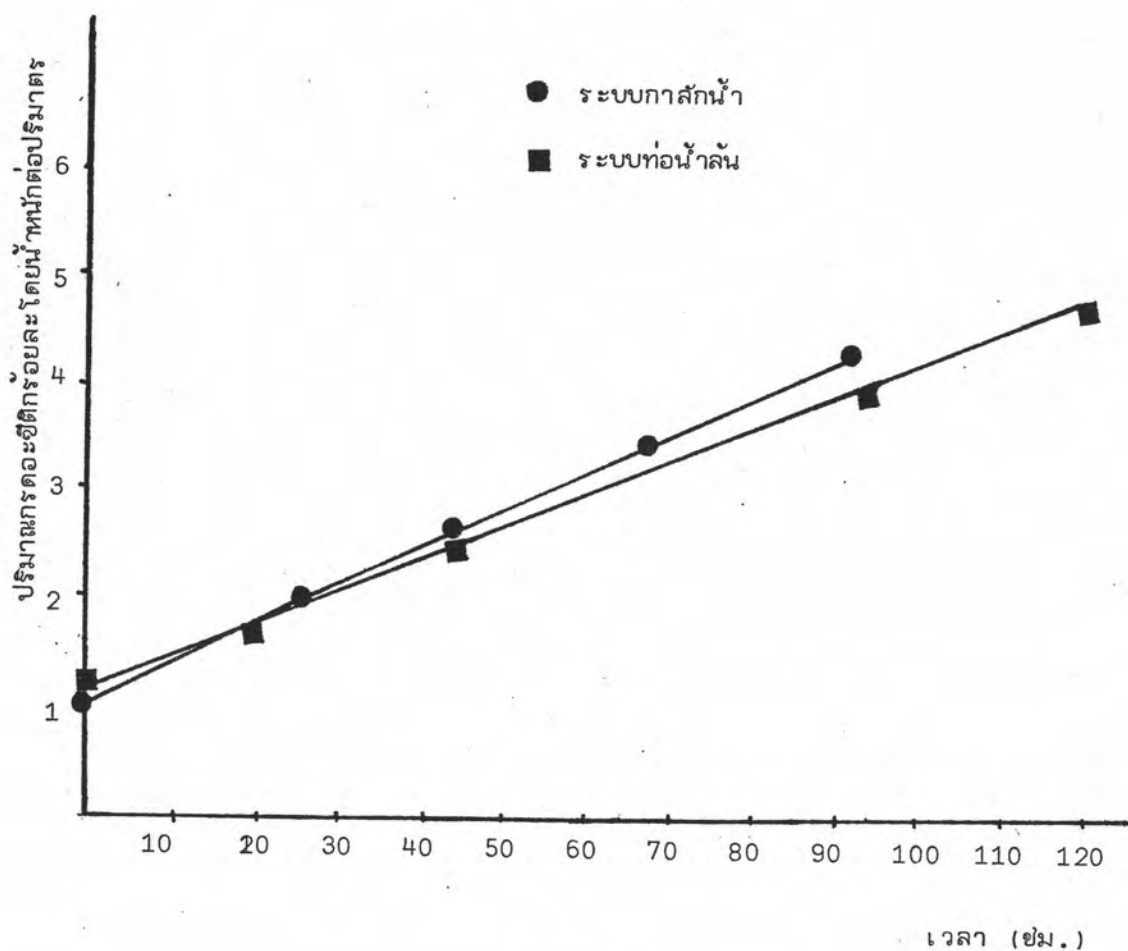
รูปที่ 24

แสดงการเปรียบเทียบปริมาณกรดอะซิติกในการผลิตน้ำส้มสายชูจากไวน์สับปะรด เมื่ออัตราการให้อากาศ 0, 0.02, 0.04 และ 0.21 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตร น้ำหมักต่อนาที โดยศึกษาในเครื่องหมักอนุกรมล่องชั้นแบบแยกคอสัมน์ ใช้เชื้อ A. aceti ไม้มีค่าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตรเป็นแพคเบต บรรจุในคอสัมน์ละ 180 ลูก ใช้ระบบท่อน้ำล้น เริ่มต้นด้วยอัตราส่วน ร้อยละของเอทานอล (ปริมาตร/ปริมาตร) ต่อร้อยละของกรดอะซิติก (น้ำหนัก/ปริมาตร) 7:1 อัตรา การไหลของน้ำหมัก 2.85 ลิตรต่อนาที



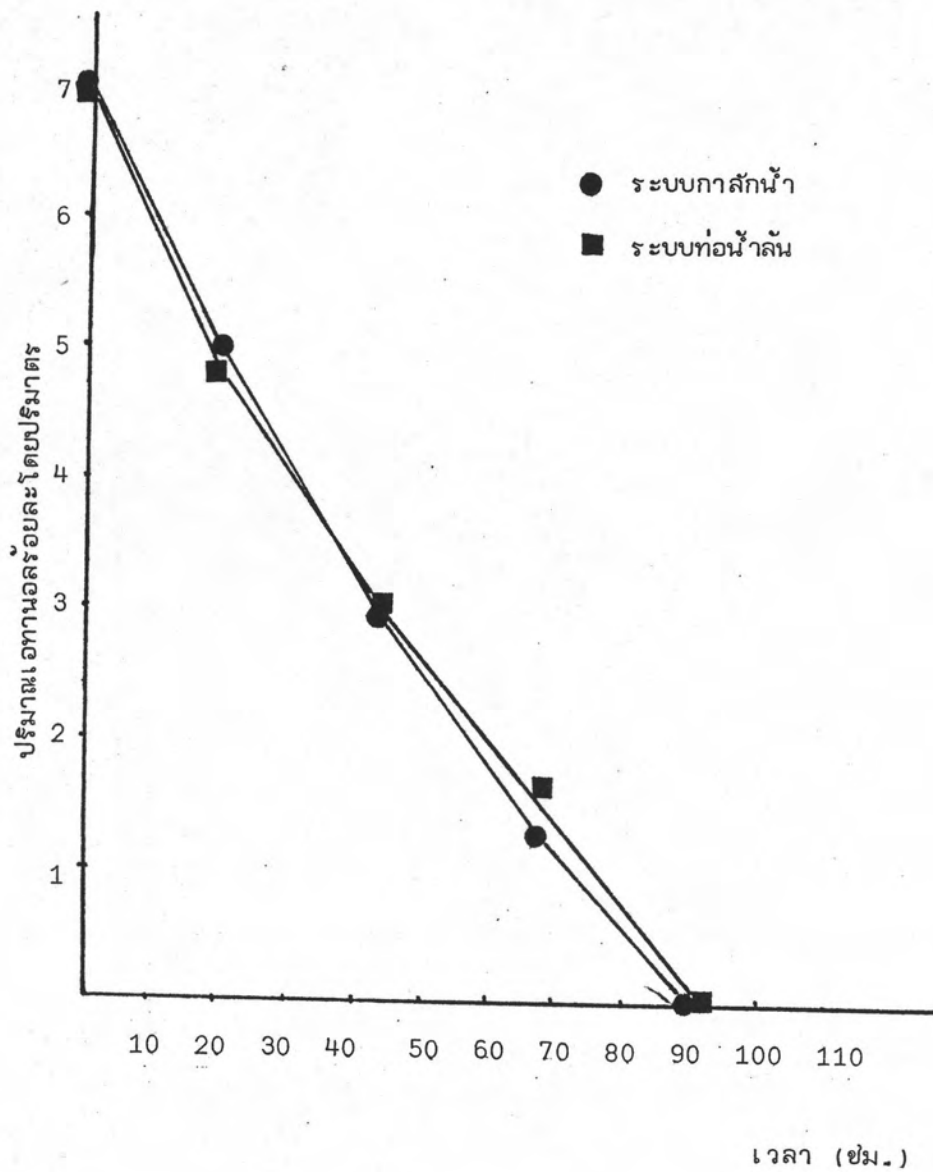
รูปที่ 25 เปรียบเทียบปริมาณการลดลงของเอทานอลในเวลาที่ต่าง ๆ กัน เมื่ออัตราการให้อากาศ 0, 0.02, 0.04 และ 0.21 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที โดยศึกษาในเครื่องหมักอนุกรมสองชั้นแบบแยกคอสัมผัสใช้ระบบท่อน้ำล้น อัตราการไหลของน้ำหมัก 2.85 ลิตรต่อนาที





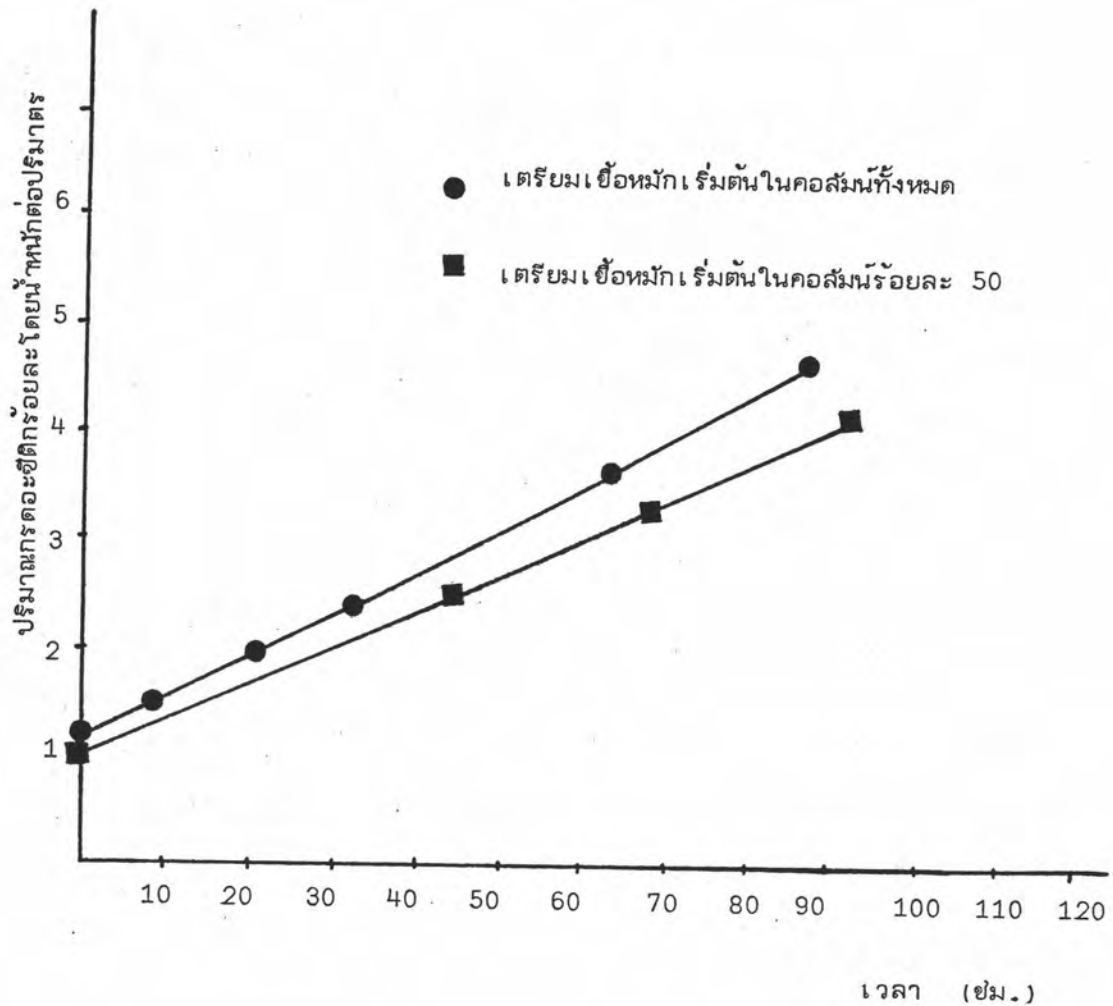
รูปที่ 26

แสดงการเปรียบเทียบปริมาณกรดอะซิติกในการผลิตน้ำส้มสายชูจากไวน์สับปะรดเพื่อใช้ระบบกาสน้ำกับระบบท่อน้ำล้น เป็นระบบการไหลของน้ำหมัก โดยศึกษาในเครื่องหมักอนุกรมสองชั้นแบบแยกคอสัมพันธ์ ใช้เชื้อ *A. aceti* ไม้มะค่าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร เป็นแพคเบตบรรจุในคอสัมพันธ์ละ 180 ลูก เริ่มต้นด้วยอัตราส่วนร้อยละของเอทานอล (ปริมาตร/ปริมาตร) ต่อร้อยละของกรดอะซิติก (น้ำหนัก/ปริมาตร) 7:1 อัตราการไหลของน้ำหมัก 2.85 ลิตรต่อนาที อัตราการให้อากาศ 0.04 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที

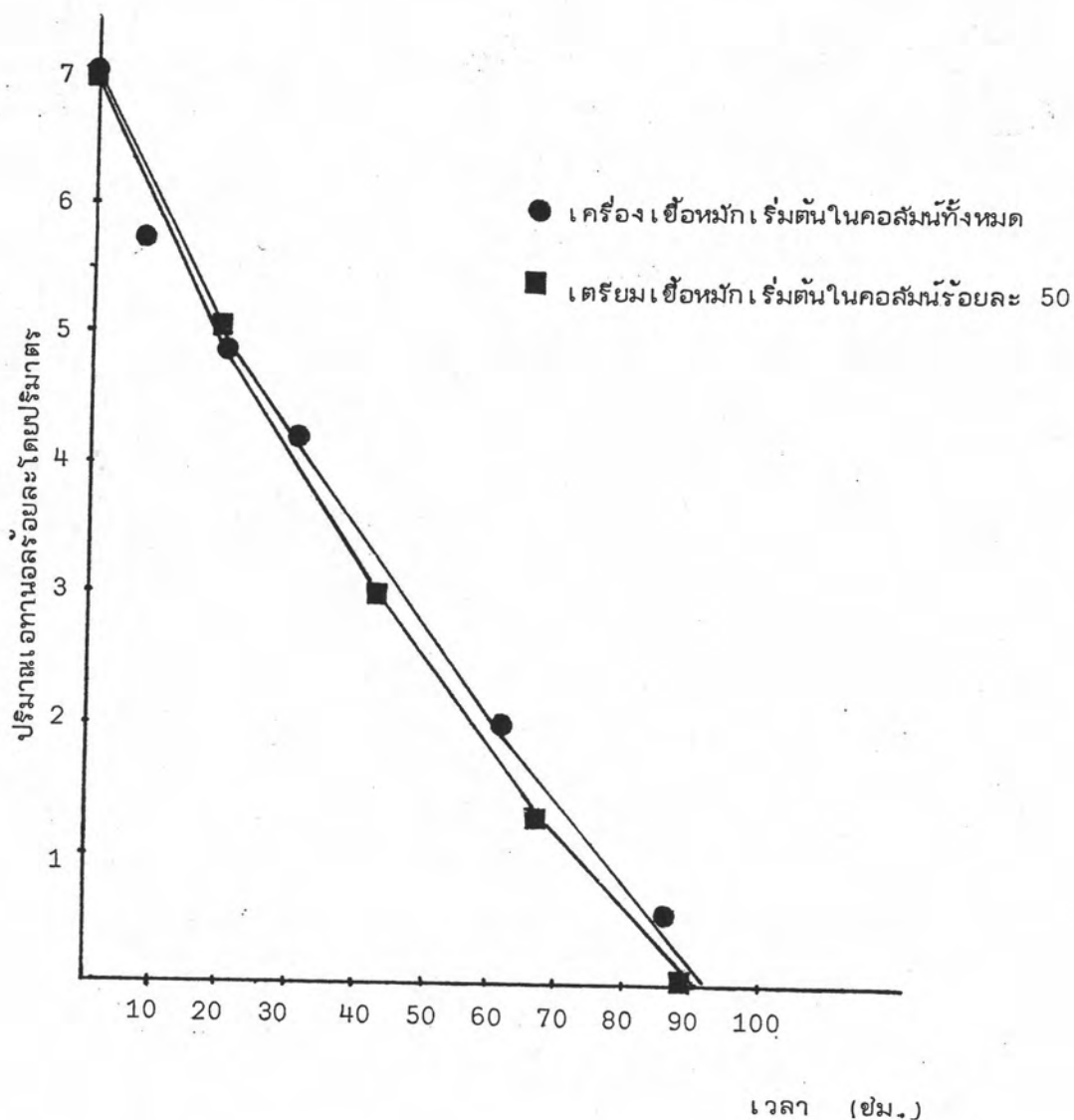


รูปที่ 27

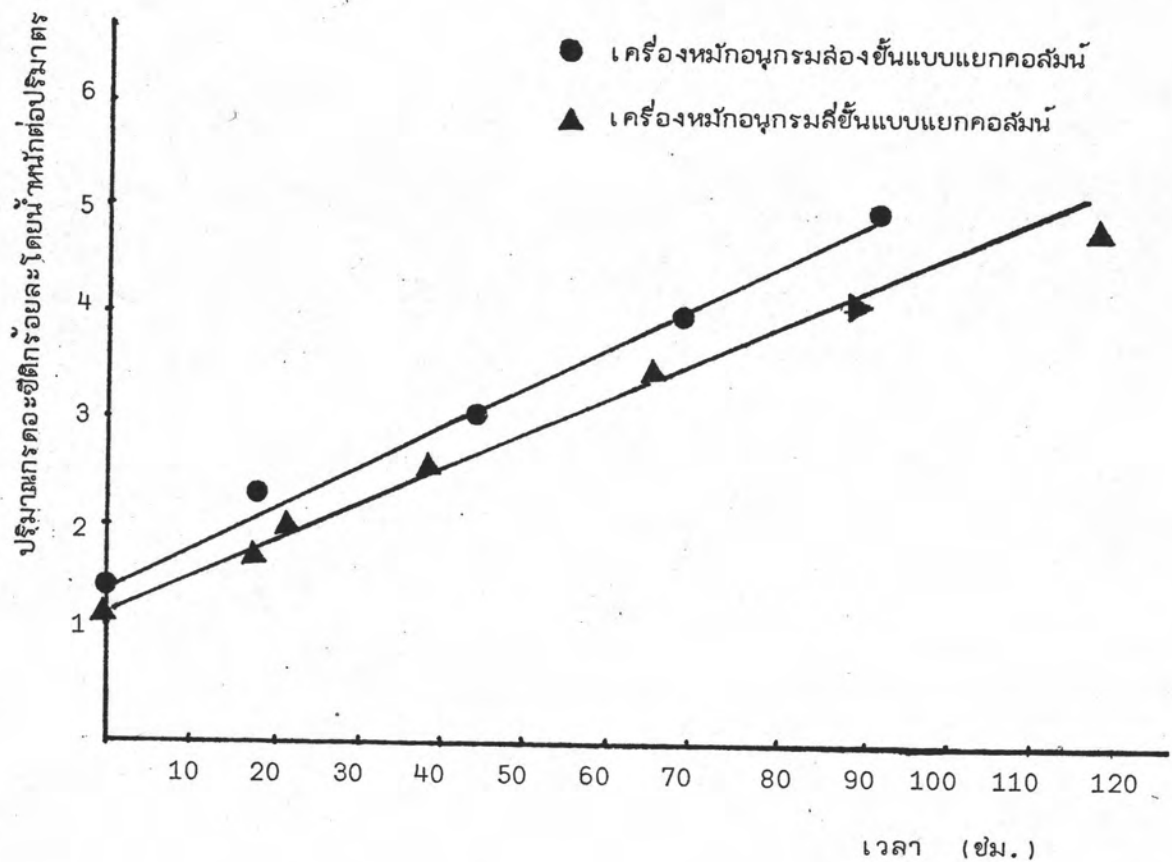
เปรียบเทียบปริมาณการลดลงของเอทานอลในเวลาต่าง ๆ กัน เมื่อใช้ระบบกาสน้ำ กับระบบท่อน้ำล้นเป็นระบบการไหลของ น้ำหมัก โดยศึกษาในเครื่องหมักอนุกรมสองชั้น แบบแยกคอสมัน อัตราการไหลของน้ำหมัก 2.85 ลิตรต่อนาที อัตราการให้อากาศ 0.04 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที



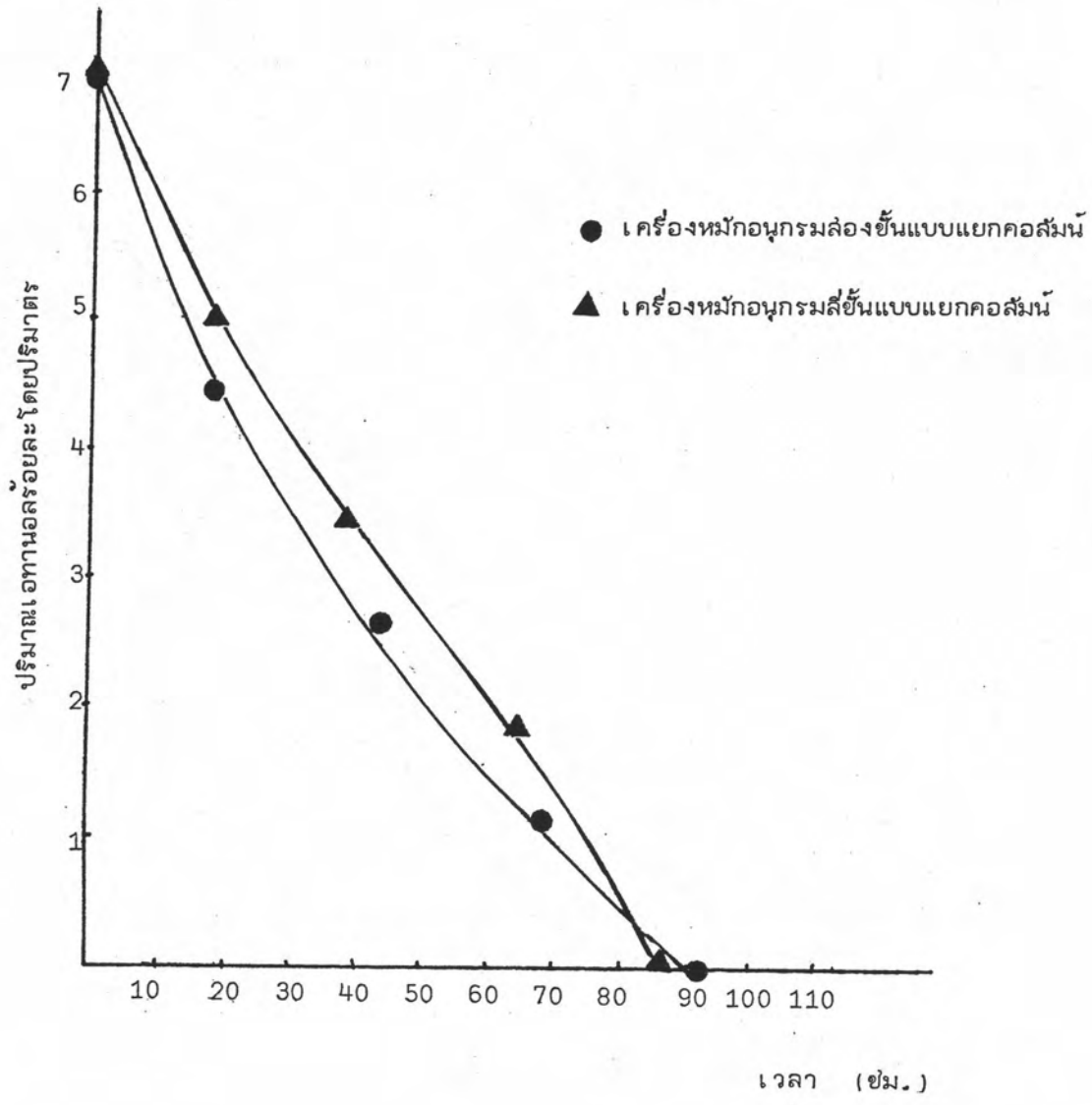
- รูปที่ 28 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณกรดอะซิติกในการผลิตน้ำส้มสายชูจากไวน์สับปะรด เมื่อเตรียมเชื้อหมักเริ่มต้นในคอสม์ทั้งหมด กับเตรียมเชื้อหมักเริ่มต้นในคอสม์ร้อยละ 50 โดยศึกษาในเครื่องหมักอนุกรมสองชั้นแบบแยกคอสม์ ใช้เชื้อ A. aceti ไม้หมักขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร เป็นแพดเบตบรรจุในคอสม์ละ 180 ลูก ใช้ระบบกาสักน้ำ เมื่อเริ่มต้นด้วยอัตราส่วน ร้อยละของเอทานอล (ปริมาตร/ปริมาตร) ต่อร้อยละของกรดอะซิติก (น้ำหนัก/ปริมาตร) 7 : 1 อัตราการไหลของน้ำหมัก 2.85 ลิตรต่อนาที อัตราการให้อากาศ 0.04 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที



รูปที่ 29 เปรียบเทียบปริมาณการลดลงของเอทานอลในเวลาต่าง ๆ กัน เมื่อเตรียมเชื้อหมัก เริ่มต้นในคอสม์ทั้งหมดกับเตรียมเชื้อหมักเริ่มต้นในคอสม์ร้อยละ 50 โดยศึกษา ในเครื่องหมักอนุกรมสองชั้นแบบแยกคอสม์นี้ ใช้ระบบภาสก์น้ำ อัตราการไหล ของน้ำหมัก 2.85 ลิตรต่อนาที อัตราการให้อากาศ 0.04 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตร น้ำหมักต่อนาที

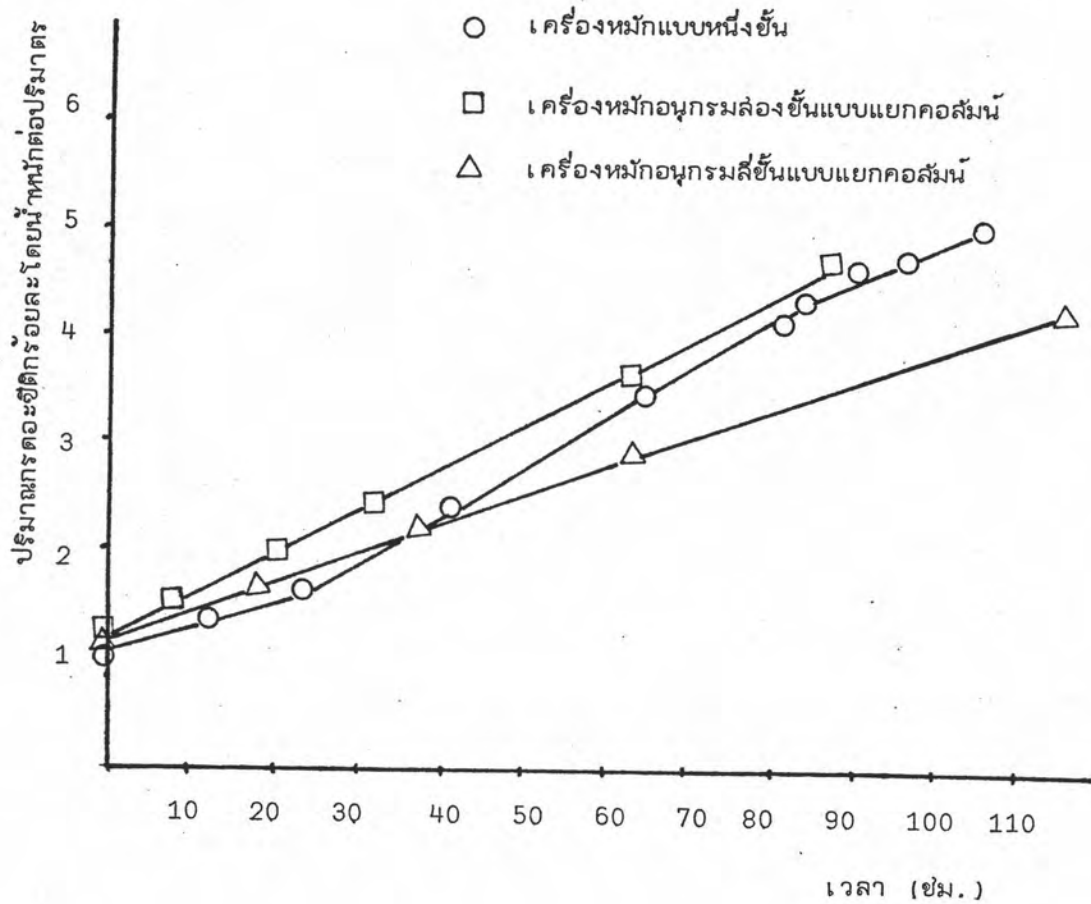


รูปที่ 30 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณกรดอะซิติกในการผลิตน้ำส้มสายชูจากไวน์สัปะรด ระหว่างเครื่องหมักอนุกรมสองชั้นแบบแยกคอสัมน์ กับเครื่องหมักอนุกรมสี่ชั้นแบบแยกคอสัมน์ โดยเชื้อ *A. aceti* ไม้มะค่าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร เป็นแพคเบตบรรจุ ในคอสัมน์ 360 ลูก ใช้ระบบท่อน้ำล้นเมื่อเริ่มต้นด้วยอัตราส่วนร้อยละของเอทานอล (ปริมาตร/ปริมาตร) ต่อร้อยละของกรดอะซิติก (น้ำหนัก/ปริมาตร) 7 : 1 อัตราการไหลของน้ำหมัก 2.85 ลิตรต่อนาที อัตราการให้อากาศ 0.21 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที

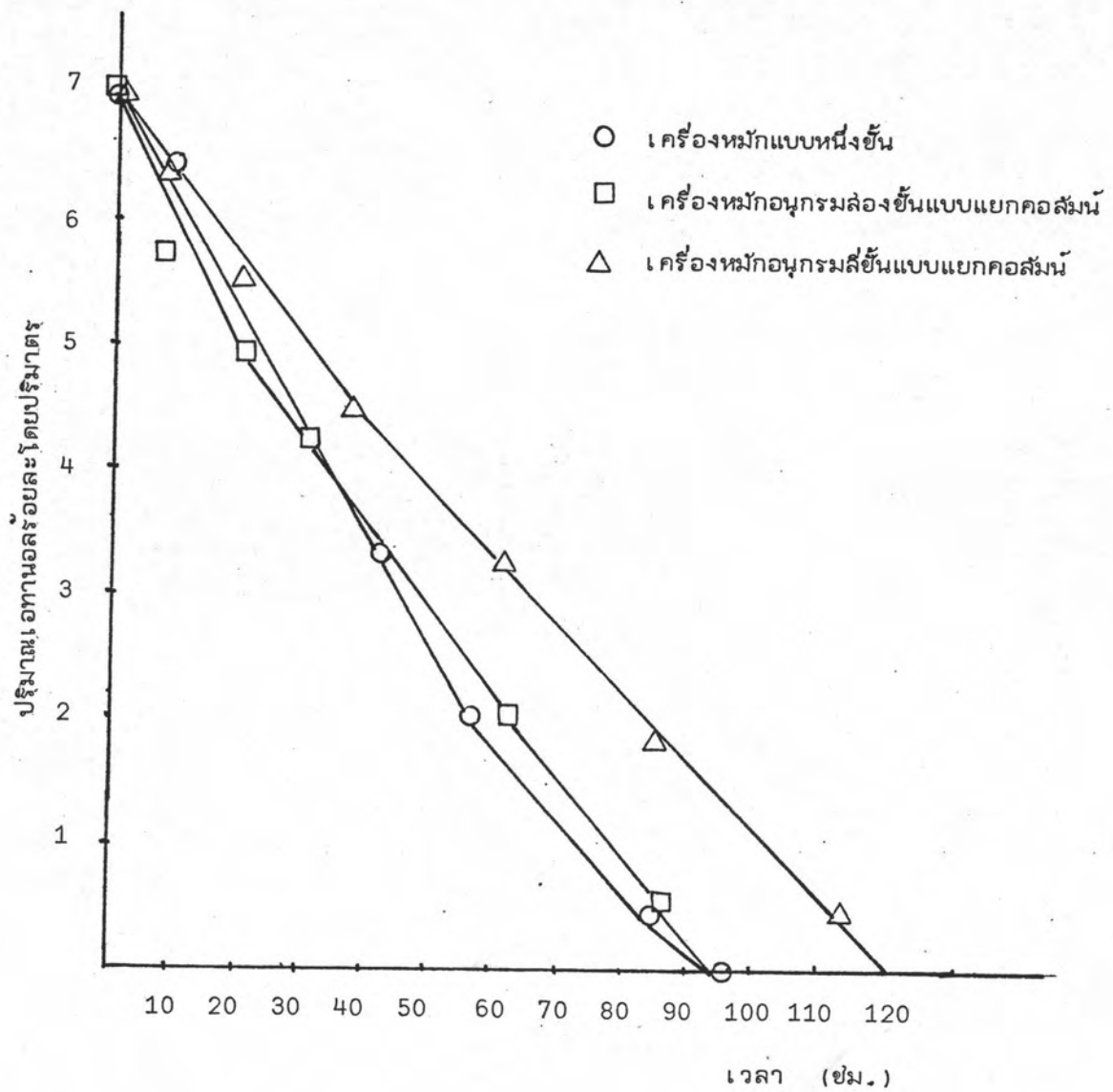


รูปที่ 31 เปรียบเทียบการลดลงของเอทานอลในเวลาต่าง ๆ กัน ระหว่างเครื่องหมักอนุกรมสองชั้นแบบแยกคอส้มกับเครื่องหมักอนุกรมสี่ชั้นแบบแยกคอส้ม โดยใช้ระบบท่อน้ำล้น อัตราการไหลของน้ำหมัก 2.85 ลิตรต่อนาที อัตราการให้อากาศ 0.21 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที

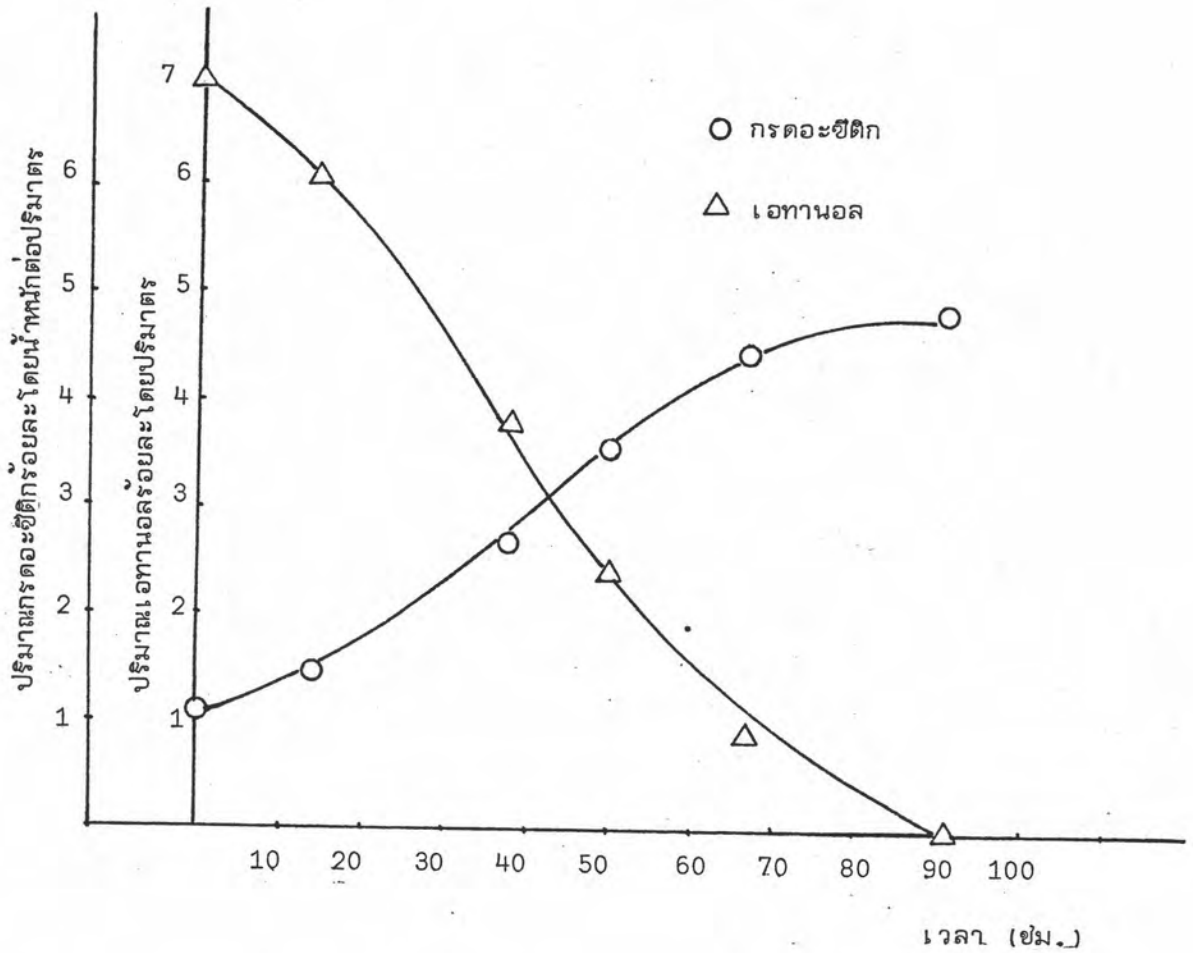




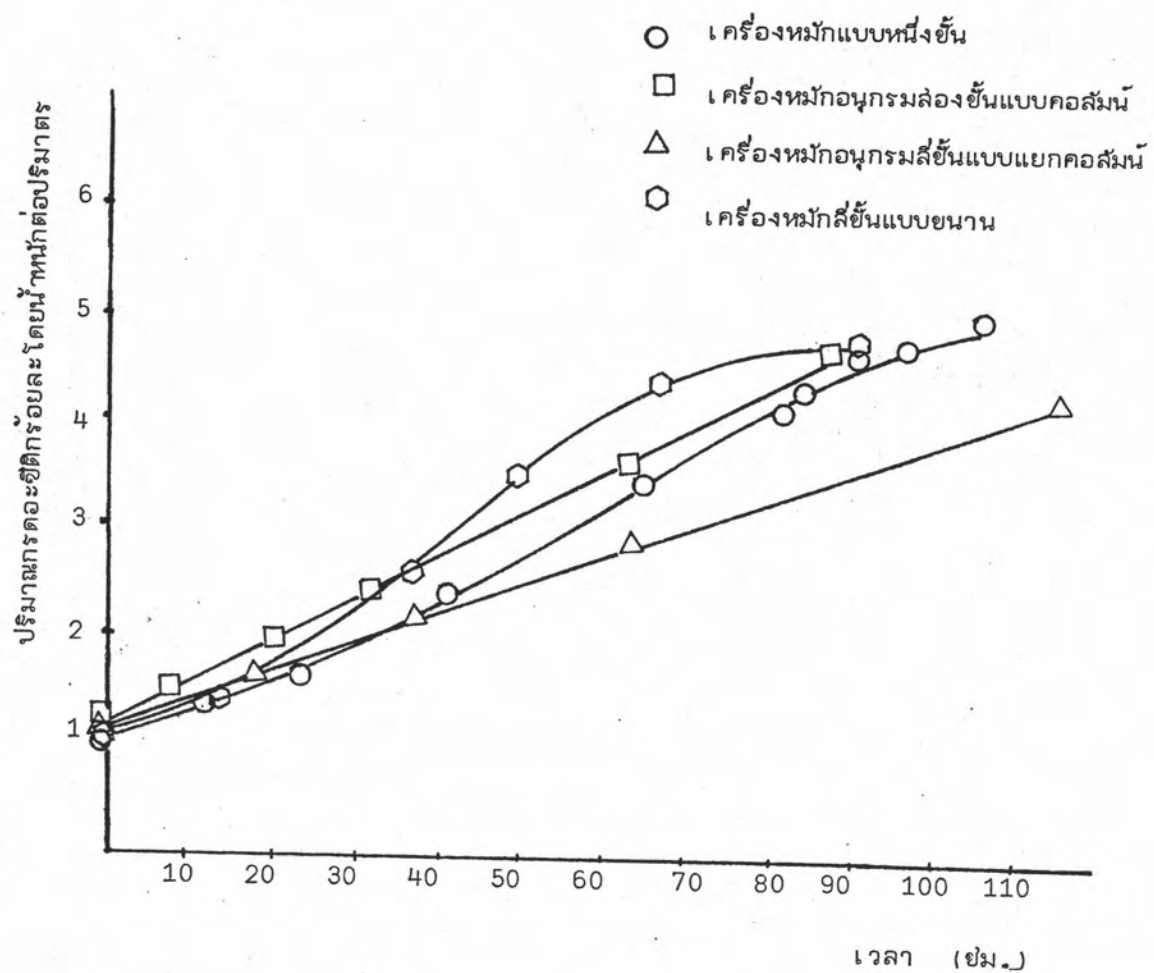
รูปที่ 32 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณกรดอะซิติกในการผลิตน้ำส้มสายชูจากไวน์สับปะรด ระหว่างเครื่องหมักแบบหนึ่งขั้น อนุกรมสองขั้นแบบแยกคอสมัน และอนุกรมสี่ขั้นแบบแยกคอสมัน โดยใช้เชื้อ *A. aceti* ไม้มะค่าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร เป็นแพคเบตบรรจุในคอสมัน 360 ลูก ระบบกาลักน้ำ เริ่มต้นด้วย อัตราส่วน ร้อยละของเอทานอล (ปริมาตร/ปริมาตร) ต่อร้อยละของกรดอะซิติก (น้ำหนัก/ปริมาตร) 17 : 1 อัตราการไหลของน้ำหมัก 2.85 ลิตรต่อนาที อัตราการให้อากาศขึ้นละ 0.02 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที



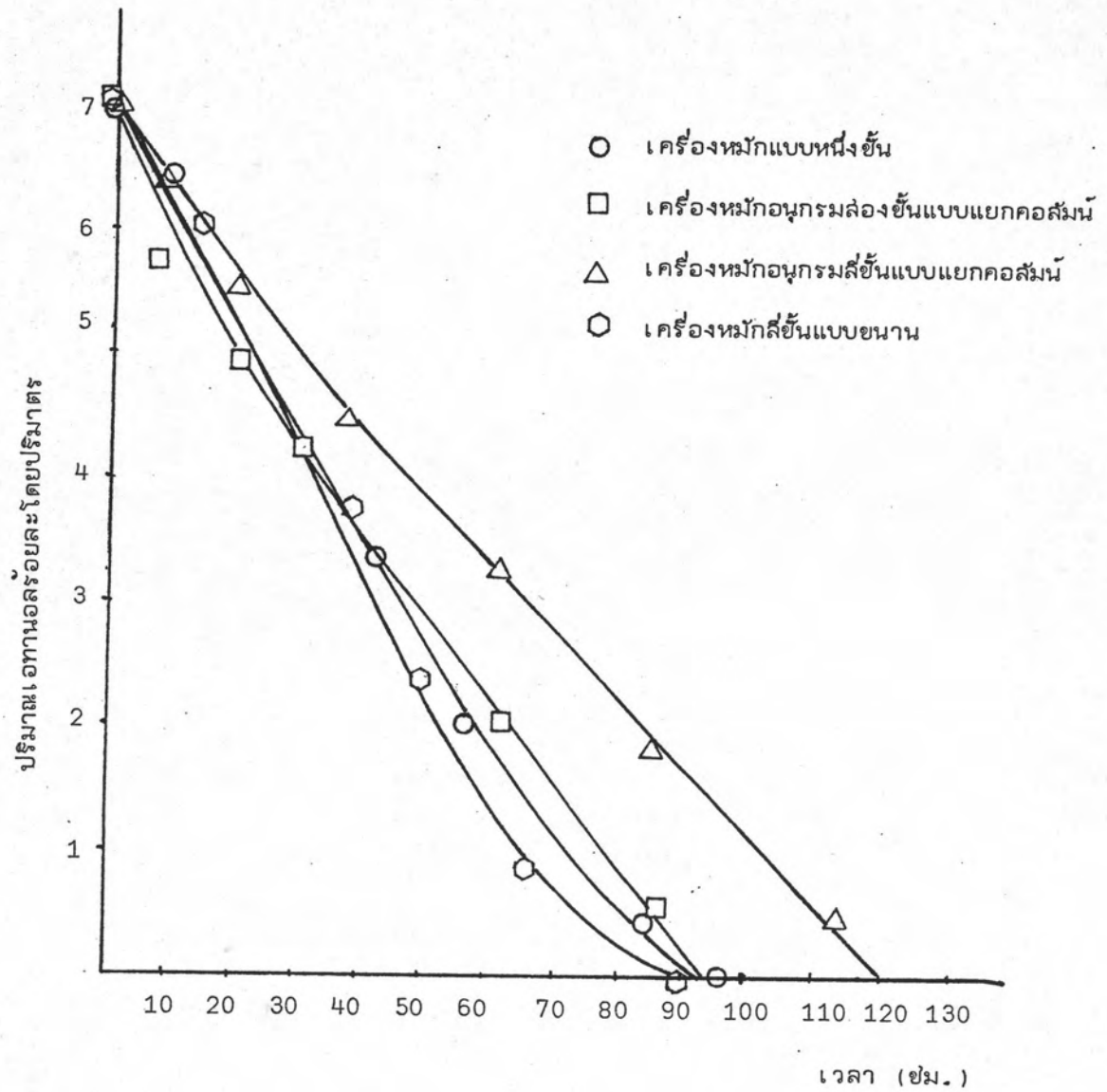
รูปที่ 33 เปรียบเทียบปริมาณการลดลงของเอทานอลในเวลาต่าง ๆ กัน ระหว่างเครื่องหมักแบบหนึ่งขั้น อนุกรมสองขั้นแบบแยกคอสัมน์ และอนุกรมสี่ขั้นแบบแยกคอสัมน์ โดยใช้ระบบกลั่นน้ำ อัตราการไหลของน้ำหมัก 2.85 ลิตรต่อนาที อัตราการให้อากาศขึ้นละ 0.02 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที



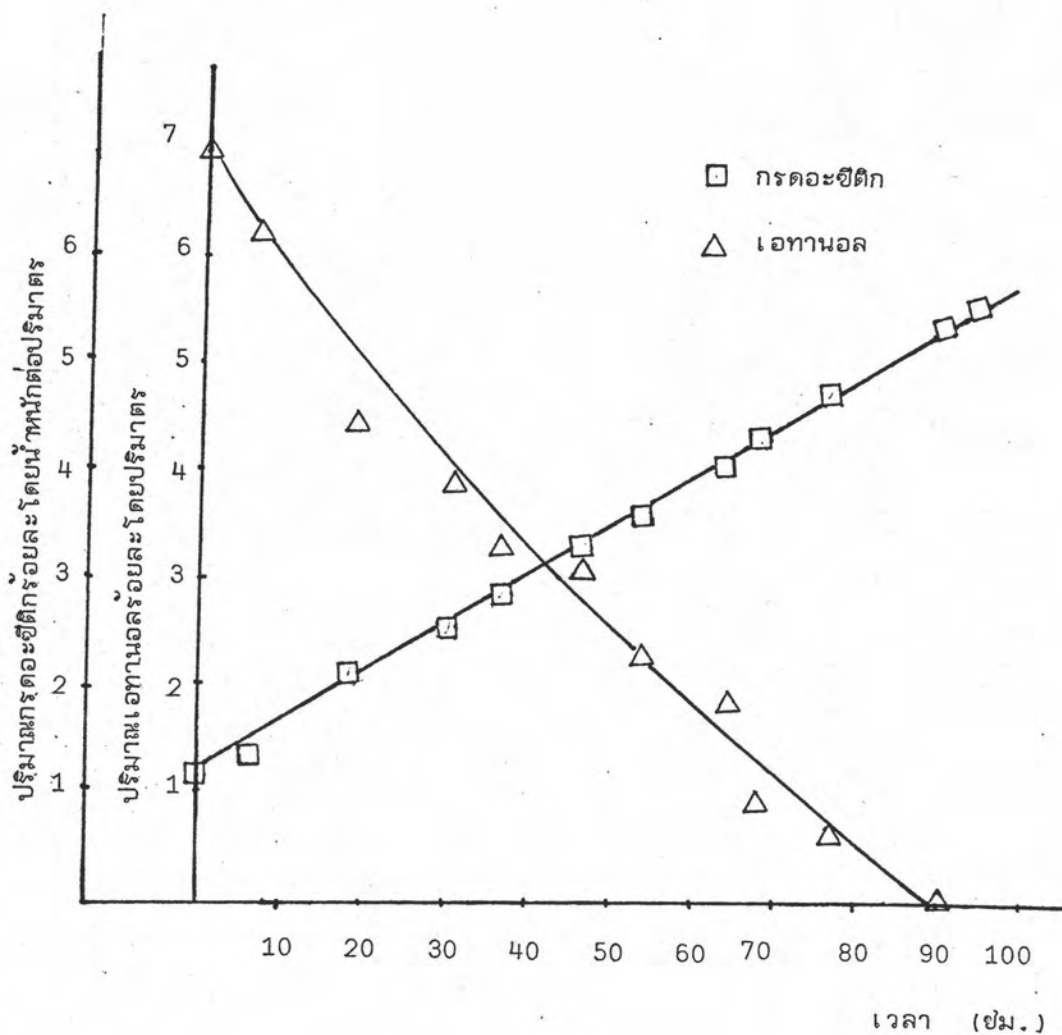
รูปที่ 34 แสดงปริมาณการเพิ่มของกรดอะซิติกและการลดลงของเอทานอลในเวลาต่าง ๆ กัน โดยศึกษาเครื่องหมักสี่ชั้นแบบขนาน ใช้เชื้อ *A. aceti* ไม้มะค่าขนาด เส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตรเป็นแพคเบต บรรจุในคอสมันละ 90 ลูก ระบบ กาลักน้ำ เริ่มต้นด้วยอัตราส่วนร้อยละของเอทานอล (ปริมาตร/ปริมาตร) ต่อร้อยละของ กรดอะซิติก (น้ำหนัก/ปริมาตร) 7 : 1 อัตราการไหลของน้ำหมัก 2.85 ลิตรต่อนาที อัตราการให้อากาศ 0.08 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที



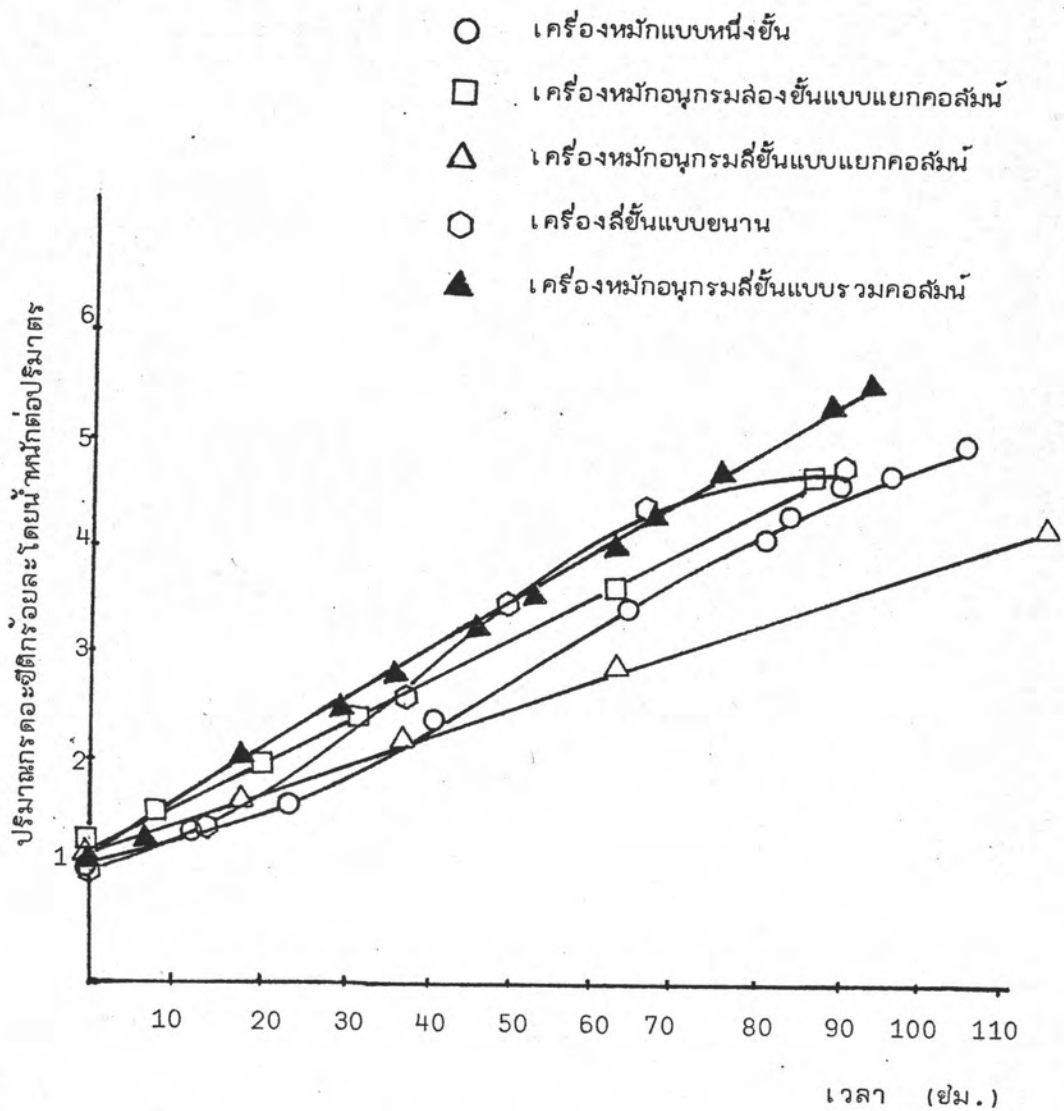
รูปที่ 35 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณกรดอะซิติกในการผลิตน้ำส้มสายชูจากไวน์สับปะรดระหว่างเครื่องหมัก แบบหนึ่งชั้น อนุกรมสองชั้นแบบแยกคอสมันน์ อนุกรมสี่ชั้นแบบแยกคอสมันน์ และสี่ชั้นแบบขนาน



รูปที่ 36 เปรียบเทียบปริมาณการลดลงของเอทานอลในเวลาต่าง ๆ กัน ระหว่างเครื่องหมักแบบหนึ่งชั้น, อนุกรมสองชั้นแบบแยกคอสัมน์, อนุกรมสี่ชั้นแบบแยกคอสัมน์ และสี่ชั้นแบบขนาน



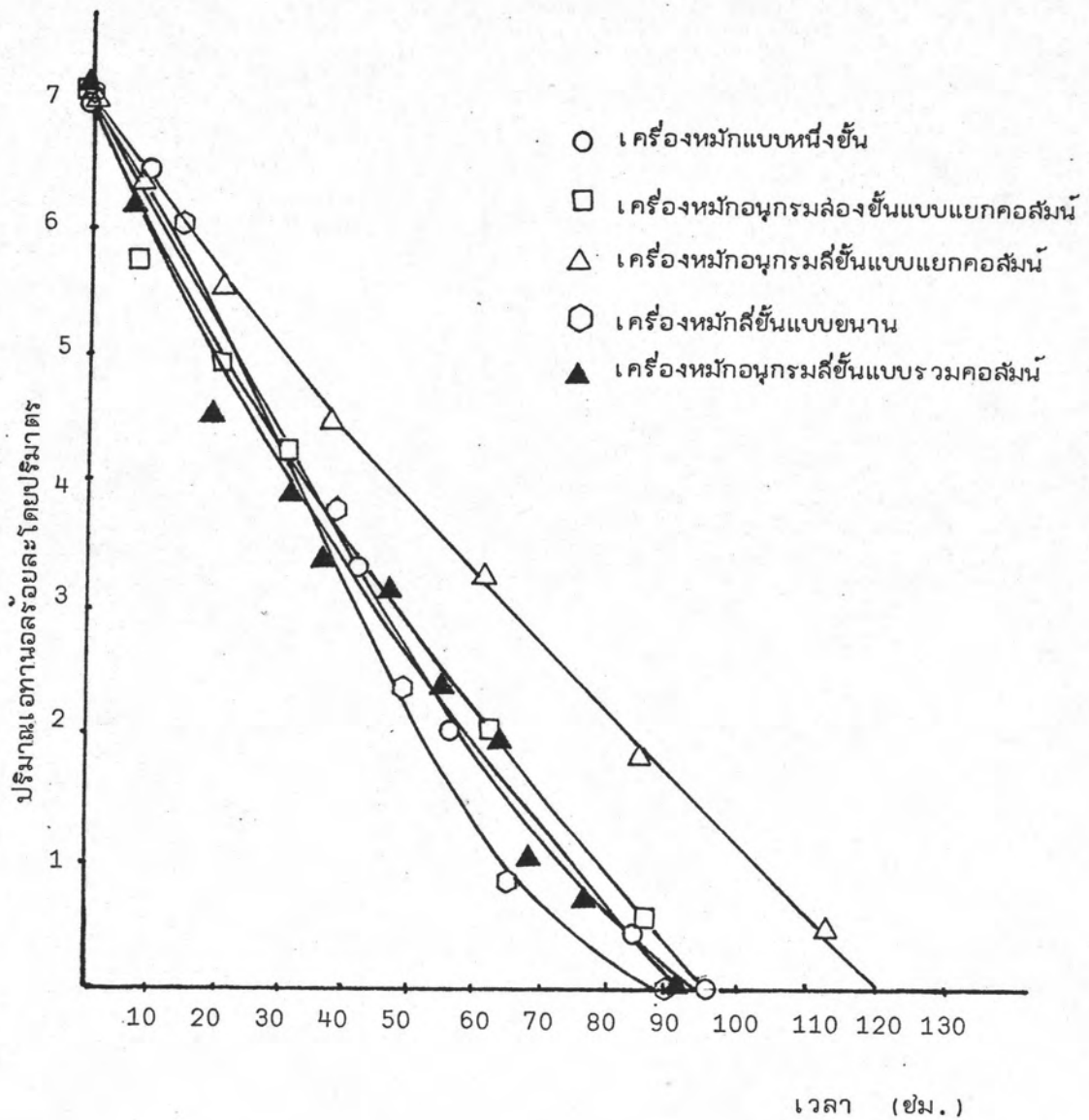
รูปที่ 37 แสดงปริมาณการเพิ่มขึ้นของกรดอะซิติกและการลดลงของเอทานอลในเวลาต่าง ๆ กัน โดยศึกษาเครื่องหมักอนุกรมสี่ชั้นแบบรวมคอสมันน์ ดังรูปที่ 13 ใช้เชื้อ *A. aceti* ไม้มะค่าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร เป็นแพคเบต บรรจุในแต่ละชั้นของคอสมันน์ชั้นละ 90 ลูก ระบบกาสักน้ำเริ่มต้นด้วยอัตราส่วน ร้อยละของเอทานอล (ปริมาตร/ปริมาตร) ต่อร้อยละของกรดอะซิติก (น้ำหนัก/ปริมาตร) 7 : 1 อัตราการไหลของน้ำหมัก 2.85 ลิตรต่อนาที อัตราการให้อากาศ 0.02 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที



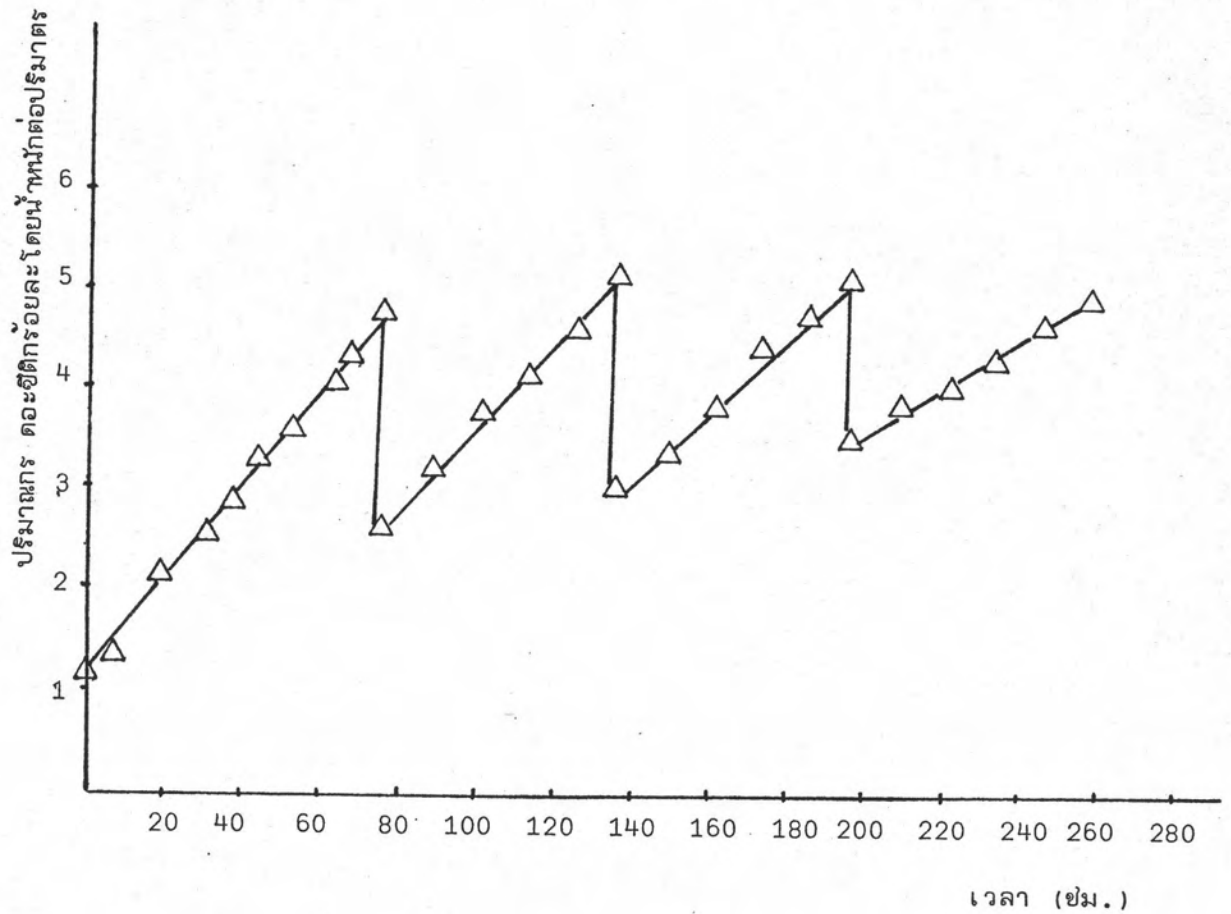
รูปที่ 38

แสดงการเปรียบเทียบปริมาณกรดอะซิติกในการผลิตน้ำส้มสายชูจากไวน์สับปะรดระหว่างเครื่องหมักแบบหนึ่งชั้น, อนุกรมสองชั้นแบบแยกคอสัมน์, อนุกรมสี่ชั้นแบบแยกคอสัมน์ สี่ชั้นแบบขนาน และอนุกรมสี่ชั้นแบบรวมคอสัมน์

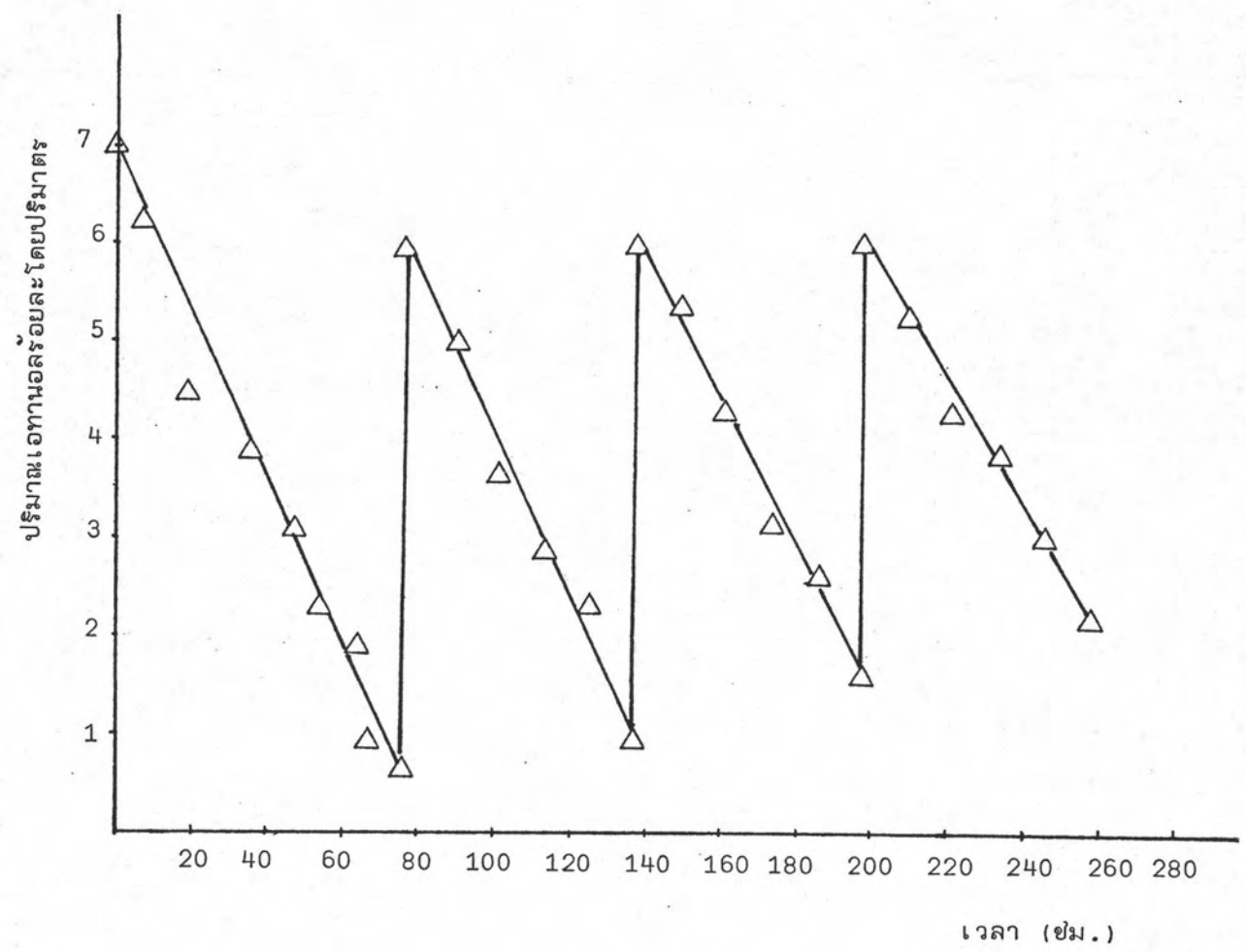




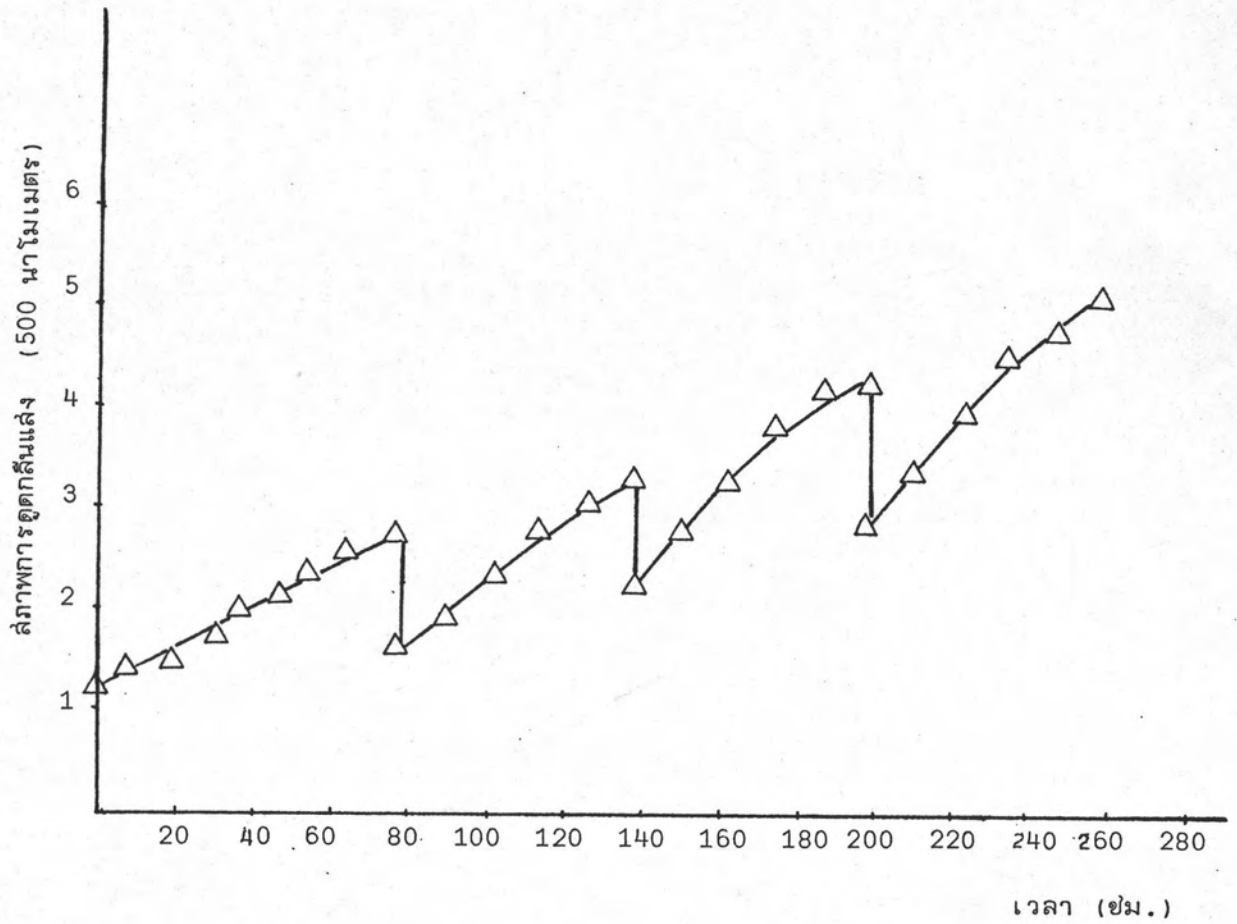
รูปที่ 39 เปรียบเทียบปริมาณการลดลงของเอทานอลในเวลาต่าง ๆ กัน ระหว่างเครื่องหมักแบบหนึ่งชั้น, อนุกรมสองชั้นแบบแยกคอลัมน์, อนุกรมสี่ชั้นแบบแยกคอลัมน์, สี่ชั้นแบบขนาน และอนุกรมสี่ชั้นแบบรวมคอลัมน์



รูปที่ 40 แสดงปริมาณกรดอะซิติกในการผลิตน้ำส้มสายชูจากไวน์สับปะรด โดยศึกษาแบบชนิด กิ่งต่อเนื่องในเครื่องหมักอนุกรมสี่ชั้นแบบรวมคอสมัน ซึ่งทำการดึงน้ำหมักออกร้อยละ 50 ของปริมาตรทั้งหมดทุก ๆ 60 ชั่วโมง



รูปที่ 41 แสดงปริมาณเอทานอล โดยศึกษาแบบกึ่งต่อเนื่อง ในเครื่องหมักอนุกรม  
สี่ชั้นแบบรวมคอสัมน์ ซึ่งทำการดึงน้ำหมักออกร้อยละ 50 ของปริมาตรทั้งหมด  
ทุก ๆ 60 ชั่วโมง โดยกำหนดให้ปริมาณเอทานอลรวมเท่ากับร้อยละ 6  
โดยปริมาตร



รูปที่ 42 แสดงค่าสภาพการดูดกลืนแสง โดยศึกษาแบบชนิดกึ่งต่อเนื่อง เมื่อทำการ  
ตั้งน้ำหนักออกร้อยละ 50 ของปริมาตรทั้งหมดทุก ๆ 60 ชั่วโมง