หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 การหาอัตราการถ่ายเทของออกซิเจนจากฟองอากาศที่ละลายลงสู่น้ำ

ได้ทดลองหาอัตราการถ่ายเทของออกซิเจนจากฟองอากาศที่ละลายลงสู่น้ำโดยวิธีซัลไฟท์ ออกซิเดชั่น ที่อัตราการให้อากาศ 0.5, 1.0, 1.5 ปริมาตรอากาศ/ปริมาตรน้ำหมัก/นาที ในน้ำที่ปรับพีเอชให้ได้ 4.0 ใช้หัวกระจายอากาศแบบแผ่นแก้วรูพรุน ทรงกลมรูพรุน แผ่นโลหะเจาะรู ตะแกรงโลหะ แผ่นโลหะเจาะรูบรรจุลูกแก้ว และแผ่นตะแกรงโลหะบรรจุลูกแก้ว จะได้ค่าต่าง ๆ ตามตารางที่ 4-0 (อยู่ในภาคผนวก 4)

ปรากฏว่าเมื่อให้อากาศ 1.0 ปริมาตรอากาศ/ปริมาตรน้ำหมัก/นาที หัวกระจายแบบแผ่นแก้วรูพรุนให้ผลดีที่สุด คือให้อัตราการถ่ายเทของออกซิเจนสูงสุด 4.28 กรัม/ลิตร/ชั่วโมง (ผลการทดลองที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลองอย่างน้อย 2 ครั้ง) และพบว่าอัตราการถ่ายเทของออกซิเจนจะแปรผันโดยตรงกับอัตราการให้อากาศที่อัตรา 0.5-1.5 ปริมาตรอากาศ/ปริมาตรน้ำหมัก/นาที โดยเฉพาะเมื่อเพิ่มอัตราการให้อากาศ 0.5 เป็น 1.5 ปริมาตรอากาศ/ปริมาตรน้ำหมัก/นาที จะให้ผลที่แตกต่างกันมากและเมื่อเพิ่มอัตราจาก 1.0 เป็น 1.5 ปริมาตรอากาศ/ปริมาตรน้ำหมัก/นาที จะให้อัตราการถ่ายเทออกซิเจนเพิ่มขึ้นเล็กน้อย สำหรับหัวกระจายแบบทรงกลมรูพรุนจะให้ผลทำนองเดียวกับแบบแผ่นแก้วรูพรุน แต่มีค่าน้อยกว่าคือ ให้อัตราการถ่ายเทของออกซิเจน 2.64 กรัม/ลิตร/ชั่วโมง ที่อัตราการให้อากาศ 1.0 ส่วนหัวกระจายแบบตะแกรงโลหะบรรจุลูกแก้ว แผ่นโลหะเจาะรูบรรจุลูกแก้ว ตะแกรงโลหะ และแบบแผ่นโลหะเจาะรูจะให้ผลที่ต่ำกว่าแบบรูพรุนที่อัตราการให้อากาศ 1.0 ปริมาตรอากาศ/ปริมาตรน้ำหมัก/นาที คือ 0.69, 0.45, 0.44 และ 0.32 กรัม/ลิตร/ชั่วโมง ตามลำดับ

สำหรับการวัดอัตราการไหลหมุนเวียนของน้ำหมักผ่านท่อป้อนย้อนกลับ พบว่า อัตราการไหลหมุนเวียนจะแปรผันโดยตรงกับระยะที่ปลายท่อป้อนย้อนกลับส่วนบนที่ห่างจากฐานคอลัมน์ คือระยะ H_1 (ดูจากรูป 3.1) คือที่ระยะ 68, 56, 44, 32 และ 20 เซนติเมตร ให้อัตราการไหลหมุนเวียน 150.10, 176.14 217.86, 288.86 และ 363.77 ลูกบาศก์เซนติเมตร/วินาที ตามลำดับ

4.2 การผลิตยีสต์

การทดลองผลิตยีสต์ C. utilis โดยใช้เครื่องหมักแบบคอลัมน์ ได้ใช้อัตราการให้อากาศ 1.0 ปริมาตรอากาศ/ปริมาตรน้ำหมัก/นาที กับหัวกระจายอากาศแบบต่าง ๆ ใช้น้ำสับปะรดที่มีน้ำตาลความเข้มข้น 2.0 % เป็นสารอาหาร สารอาหารเสริมที่ใช้ประกอบด้วย โปตัสเซี่ยม ไดไฮโดรเจน ฟอสเฟต และแอมโมเนียม ซัลเฟต อย่างละ 0.5% ใช้ปริมาตรของการหมัก 6 ลิตรและเชื้อหมักเริ่มต้น 20 % โดยปริมาตรของน้ำหมักทั้งหมดพีเอชของการทดลองควบคุมให้ได้ 4.0 อุณหภูมิที่ใช้เป็นอุณหภูมิห้อง 25–34 °C. ได้ทำการวัดหาค่าความเข้มข้นของเซลล์ น้ำหนักเซลล์แห้ง ปริมาณโปรตีน ปริมาณการใช้น้ำตาล และการลดลงของซีโอดี ผลการทดลองได้แสดงไว้ดังนี้

4.2.1 เมื่อใช้หัวกระจายอากาศแบบแผ่นแก้วรูพรุนได้แสดงผลไว้ในรูปที่ 4–1, 4–7 ถึง 4–10 และตารางที่ 4–1 ในภาคผนวก 4

4.2.2 เมื่อใช้หัวกระจายอากาศแบบทรงกลมรูพรุนได้แสดงผลไว้ในรูปที่ 4–2, 4–7 ถึง 4–10 และตารางที่ 4–2 ในภาคผนวก 4

4.2.3 เมื่อใช้หัวกระจายอากาศแบบแผ่นโลหะเจาะรูได้แสดงผลการทดลองไว้ในรูปที่ 4–3, 4–7 ถึง 4–10 และตารางที่ 4–3 ในภาคผนวก 4

4.2.4 เมื่อใช้หัวกระจายอากาศแบบตะแกรงโลหะได้แสดงผลการทดลองไว้ในรูปที่ 4-4, 4-7 ถึง 4-10 และตารางที่ 4-4 ในภาคผนวก 4

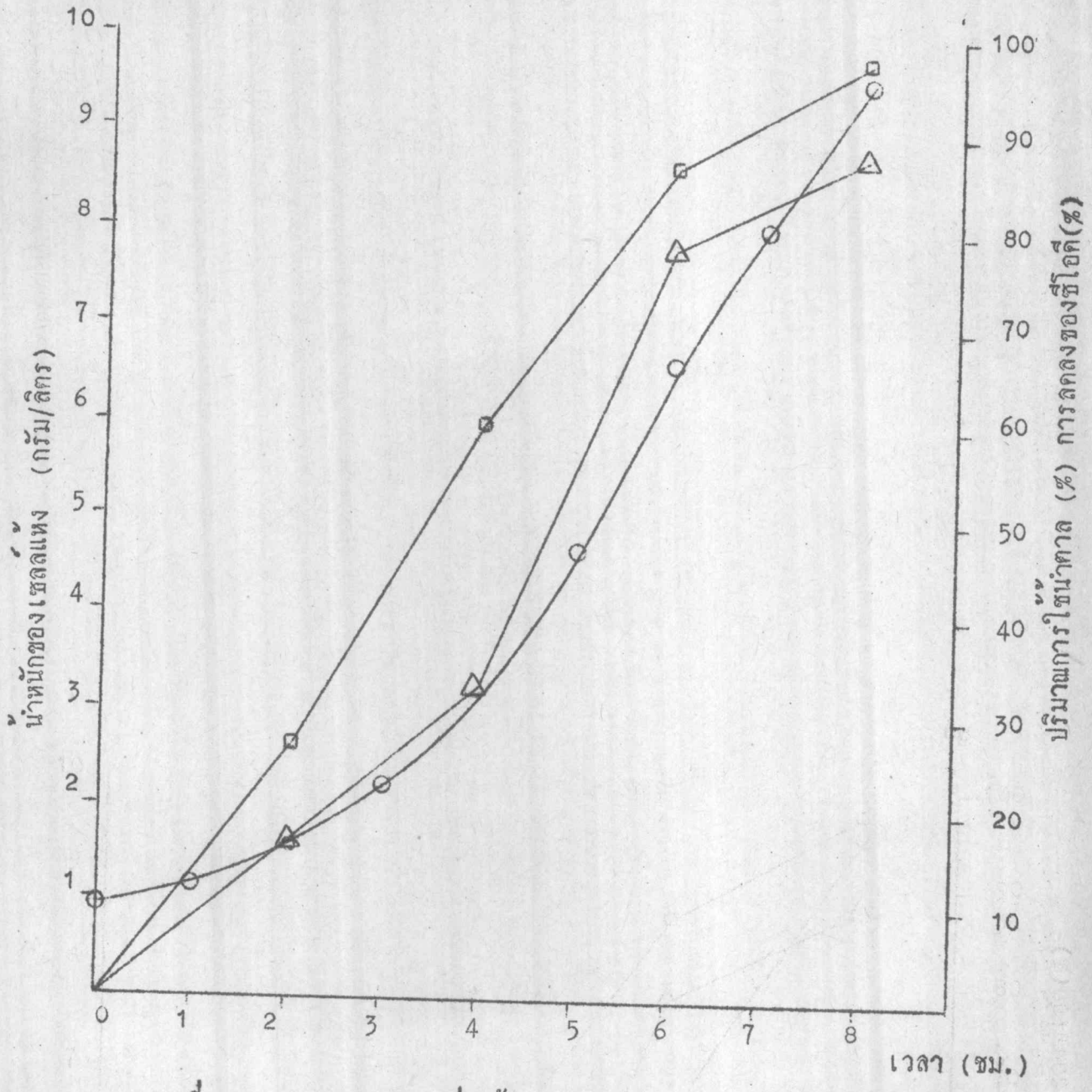
4.2.5 เมื่อใช้หัวกระจายอากาศแบบแผ่นโลหะเจาะรูบรรจุลูกแก้ว ได้แสดงผลการทดลองไว้ในรูปที่ 4-5, 4-7 ถึง 4-10 และตารางที่ 4-5 ในภาคผนวก 4

4.2.6 เมื่อใช้หัวกระจายอากาศแบบตะแกรงโลหะบรรจุลูกแก้วได้แสดงผลการทดลองไว้ในรูปที่ 4-6, 4-7 ถึง 4-10 และตารางที่ 4-6 ในภาคผนวก 4

จากรูปที่ 4-1 ถึง 4-7 เมื่อใช้หัวกระจายแต่ละแบบในการผลิตยีสต์ ค่าที่ได้ของความเข้มข้นเซลล์ น้ำหนักเซลล์แห้ง ปริมาณการใช้น้ำตาลและการลดลงของซีโอดี จะมีการเปลี่ยนแปลงที่แปรผันโดยตรงกัน การเปลี่ยนแปลงค่าต่าง ๆ ดังกล่าวจะเกิดขึ้นน้อยใน 2 ชั่วโมงแรก หลังจากชั่วโมงที่ 2 จนถึง ชั่วโมงที่ 6 การเปลี่ยนแปลงคือ มีอัตราการเพิ่มมาก หลังจากชั่วโมงที่ 6 แล้ว การเปลี่ยนแปลงมีแนวโน้มลดลง

จากรูปที่ 4-8 ถึง 4-10 เป็นการเปรียบเทียบผลเมื่อใช้หัวกระจายแต่ละแบบ หัวกระจายแบบแผ่นแก้วรูพรุนจะให้ผลดีที่สุด คือที่ชั่วโมงที่ 8 ของการผลิตได้ค่าสภาพการดูดกลืนแสง 11.16 น้ำหนักเซลล์แห้ง 9.49 กรัม/ลิตร ปริมาณโปรตีน (จากตารางที่ 4-1 ในภาคผนวก 4) 5.31 กรัม/ลิตร ปริมาณการใช้น้ำตาล 96.47 % และการลดลงของซีโอดี 86.67% ส่วนหัวกระจายแบบทรงกลมรูพรุนจะให้ผลรองลงไปคือ ได้ค่าสภาพการดูดกลืนแสง 8.06 น้ำหนักเซลล์แห้ง 6.98 กรัม/ลิตร ปริมาณโปรตีน 3.82 กรัม/ลิตร ปริมาณการใช้น้ำตาล 86.08% และการลดลงของซีโอดี 80.81 % สำหรับหัวกระจายแบบตะแกรงโลหะ แผ่นโลหะเจาะรูตะแกรงโลหะบรรจุลูกแก้วและแบบแผ่นโลหะเจาะรูบรรจุลูกแก้วจะให้ผลที่ใกล้เคียงกันโดยค่าต่าง ๆ จะต่ำกว่าแบบรูพรุน

ในการวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนของยีสต์ ได้ทำการหาทุก ๆ 2 ชั่วโมง เฉพาะเมื่อใช้หัวกระจายแบบแผ่นแก้วรูพรุนเท่านั้น เพื่อดูว่าปริมาณโปรตีนมีความสัมพันธ์อย่างไรกับค่าอื่น ๆ ที่ทำการวิเคราะห์ ปรากฏว่าการเปลี่ยนของปริมาณโปรตีนจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของเซลล์ น้ำหนักเซลล์แห้ง ปริมาณการใช้น้ำตาลและการลดลงของซีโอดี ในกรณีของหัวกระจายอากาศแบบอื่นได้ทำการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนเฉพาะชั่วโมงสุดท้ายของการผลิต เพราะเครื่องมือในการหาโปรตีนมีน้อย ต้องใช้เวลานานในการวิเคราะห์

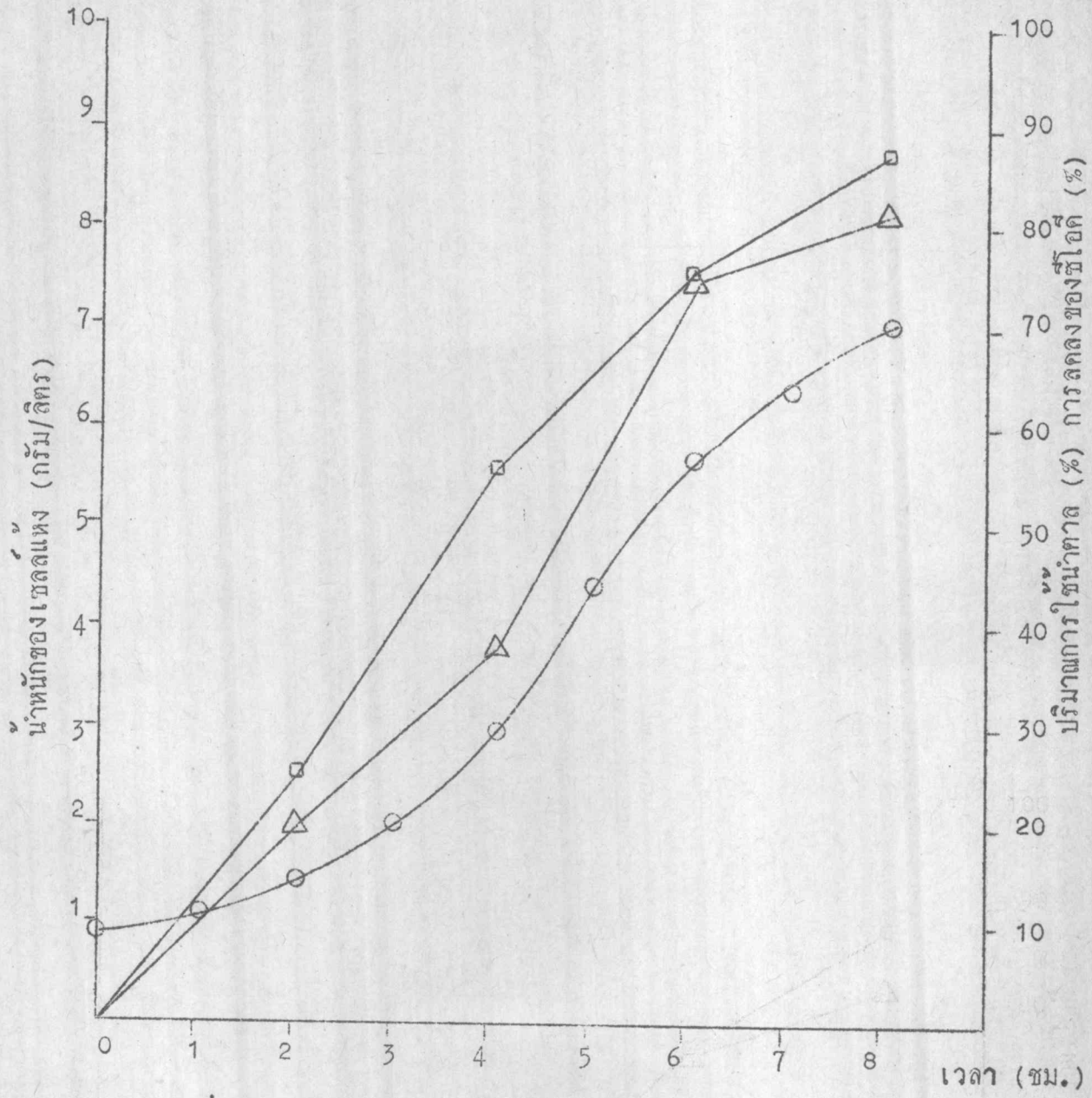


รูปที่ 4-1 ผลการทดลองเมื่อใช้หัวกระจายอากาศแบบแผ่นแก้วรูพรุน ในการผลิตยีสต์ (C. utilis)

○ น้ำหนักของเซลล์แห้ง (กรัม/ลิตร)

□ ปริมาณการใช้น้ำตาล (%)

△ การลดลงของซีโอดี (%)

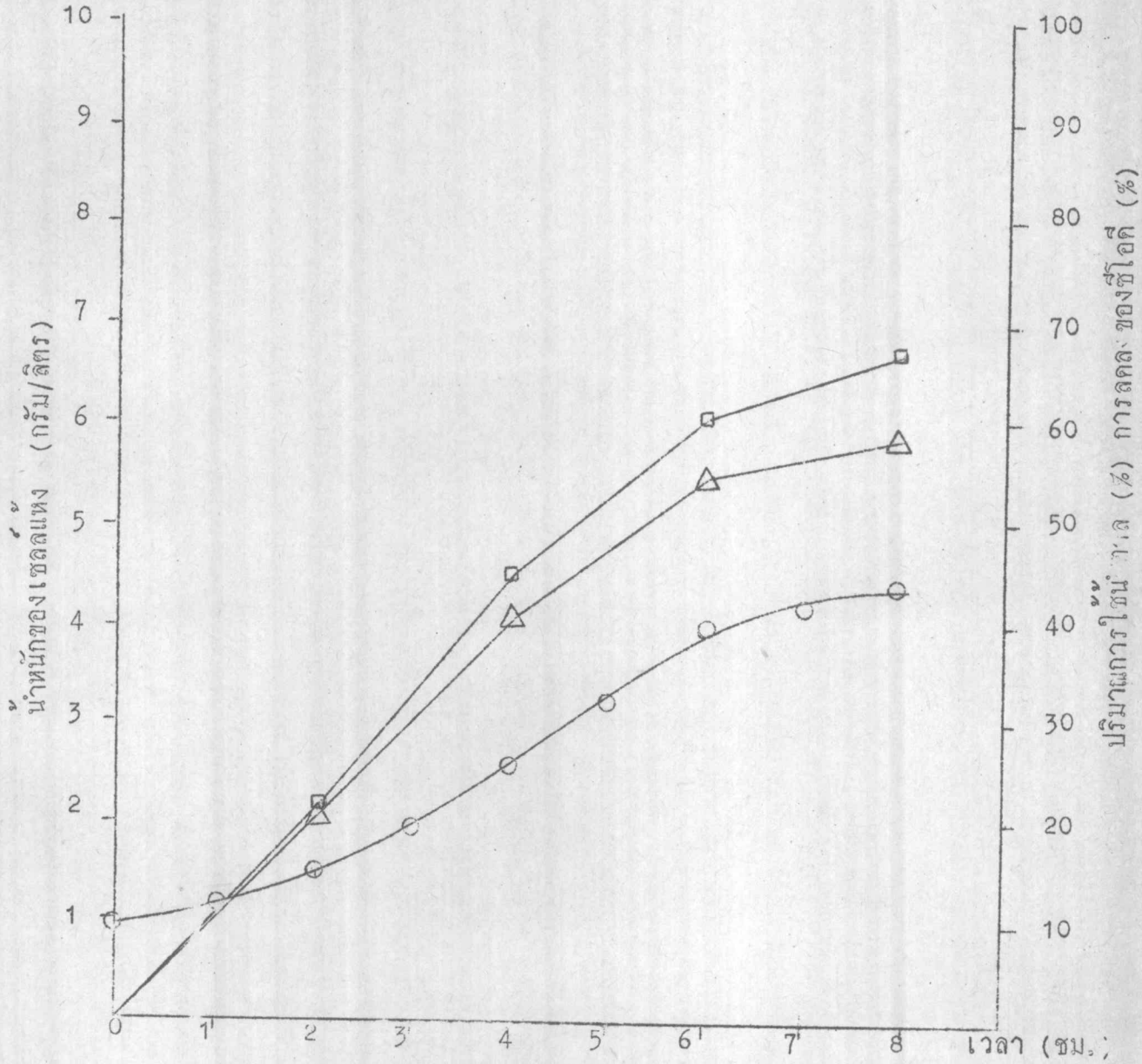


รูปที่ 4-2 ผลการทดลองเมื่อใช้หัวกระจายอากาศแบบทรงกลมรูพรุน ในการผลิตยีสต์ (C. utilis)

○ น้ำหนักของเซลล์แห้ง (กรัม/ลิตร)

□ ปริมาณการใช้น้ำตาล (%)

△ การลดลงของซีโอดี (%)

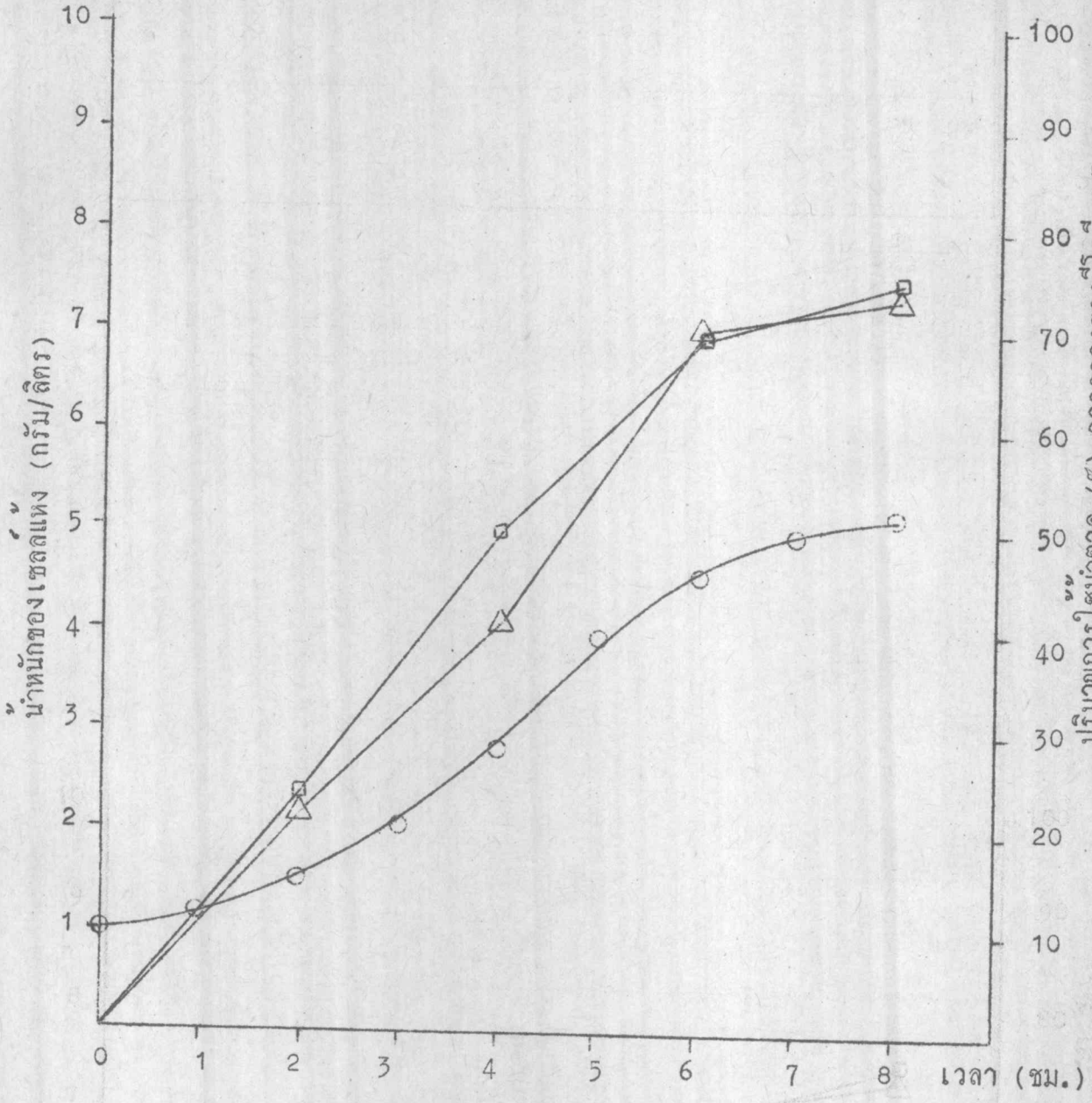


รูปที่ 4-3 ผลการทดลองเมื่อใช้หัวกระจายอากาศแบบแผ่นโลหะเจาะรู ในการผลิตยีสต์ (C. utilis)

○ น้ำหนักของเซลล์แห้ง (กรัม/ลิตร)

□ ปริมาณการใช้น้ำตาล (%)

△ การลดลงของซีโอดี (%)

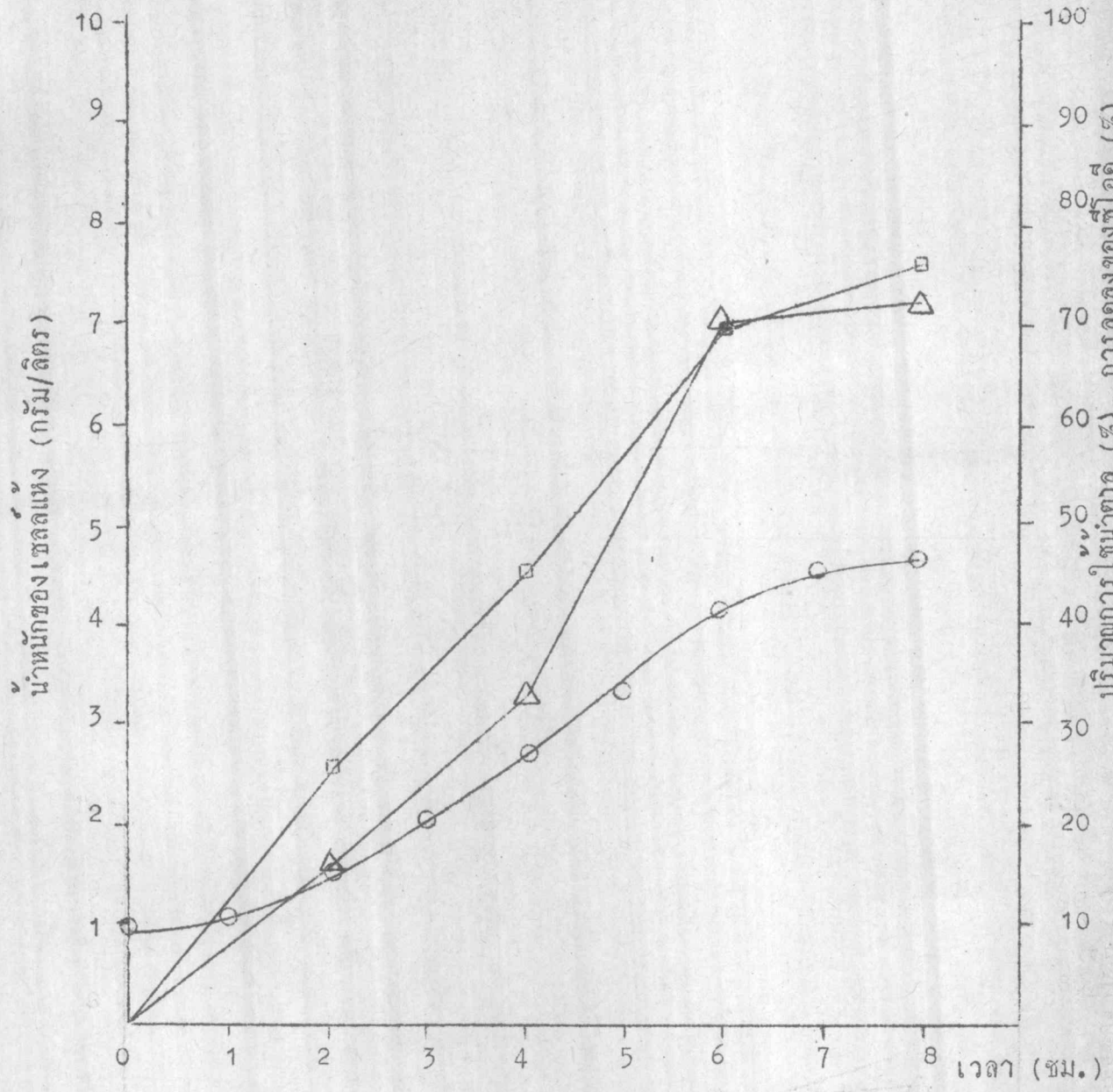


รูปที่ 4-4 ผลการทดลองเมื่อใช้หัวกระจายอากาศแบบตะแกรงโลหะในการผลิตยีสต์ (C. utilis)

○ น้ำหนักของเซลล์แห้ง (กรัม/ลิตร)

□ ปริมาณการใช้น้ำตาล (%)

△ การลดลงของซีโอดี (%)

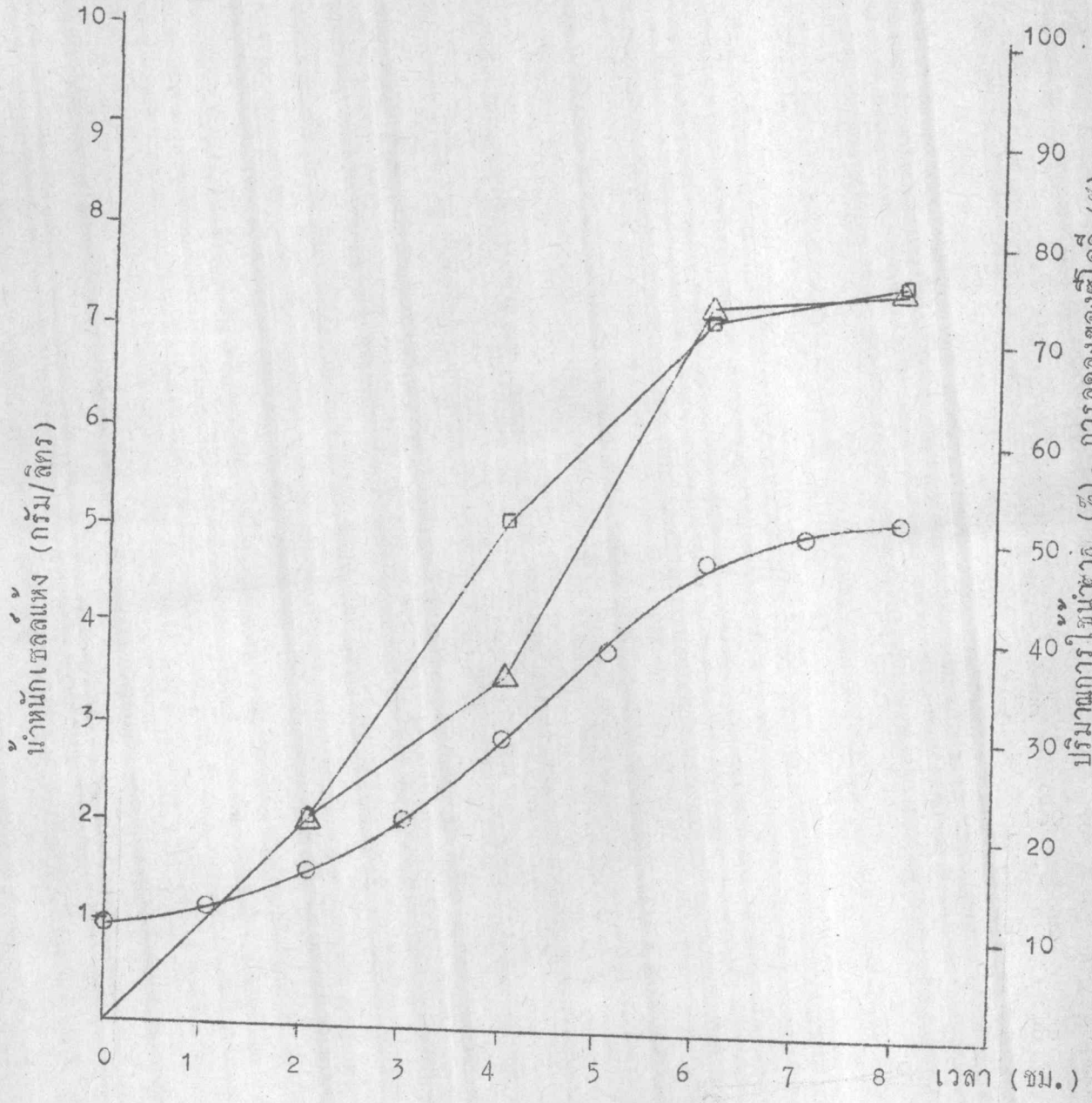


รูปที่ 4-5 ผลการทดลองเมื่อใช้หัวกระจายอากาศแบบแผ่นโลหะเจาะรูบรรจุลูกแก้วในการผลิตยีสต์ (C. utilis)

○ น้ำหนักของเซลล์แห้ง (กรัม/ลิตร)

□ ปริมาณการใช้น้ำตาล (%)

△ การลดลงของซีโอดี (%)

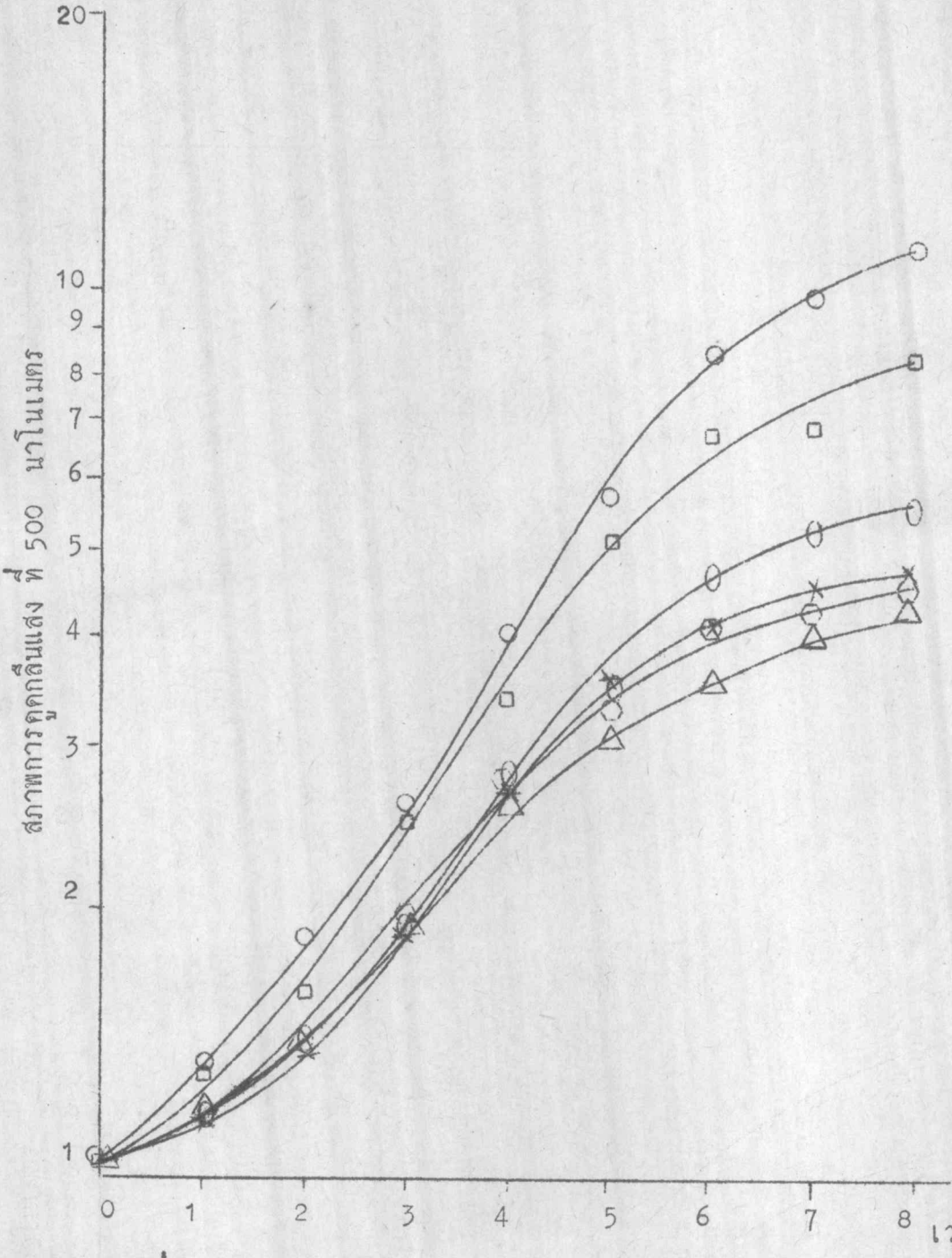


รูปที่ 4-6 ผลการทดลองเมื่อใช้หัวกระจายอากาศแบบตะแกรงโลหะบรรจุลูกแก้ว ในการผลิตยีสต์ (C. utilis)

○ น้ำหนักของเซลล์แห้ง (กรัม/ลิตร)

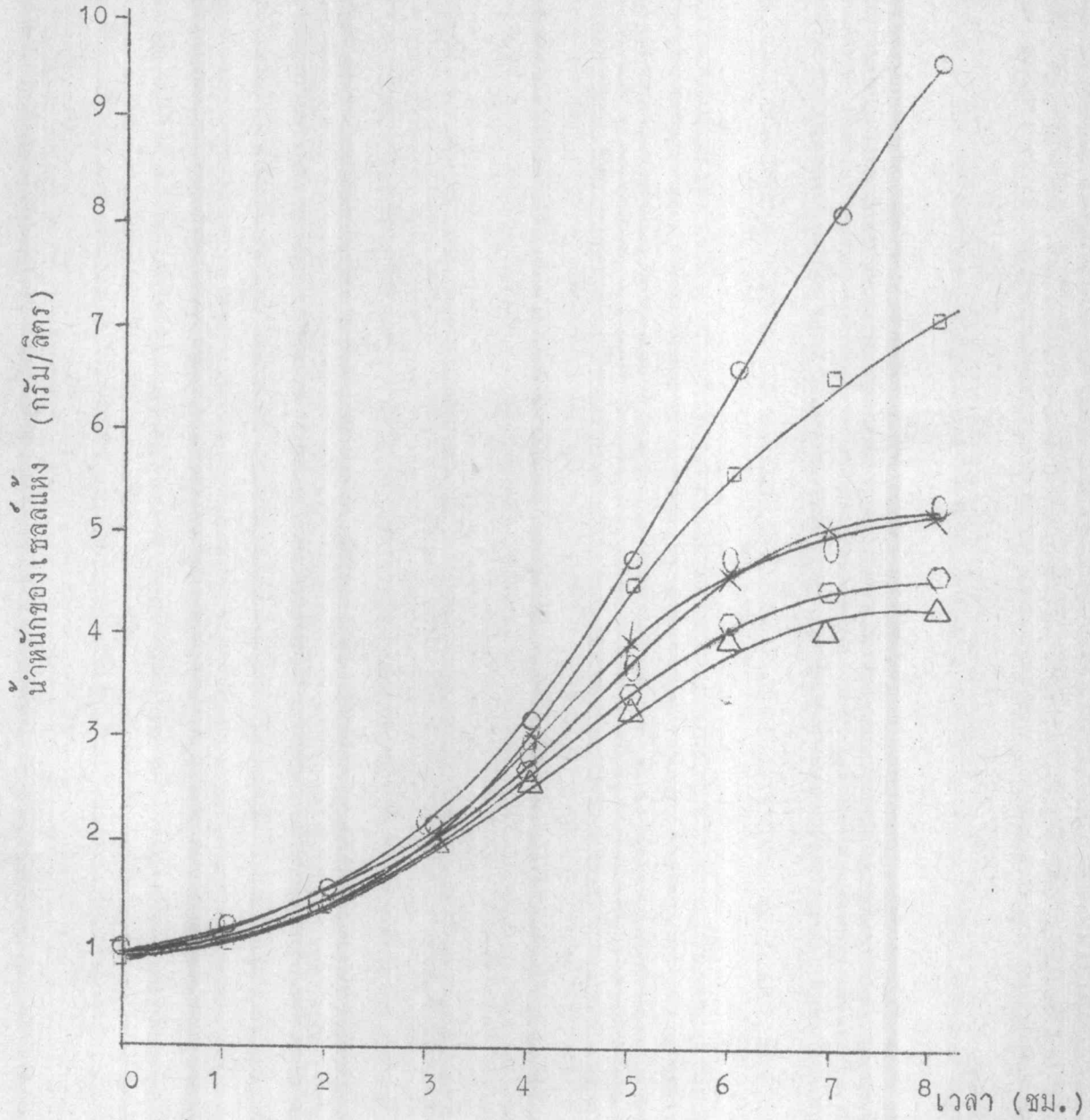
□ ปริมาณการใช้น้ำตาล (%)

△ การลดลงของซีโอดี (%)



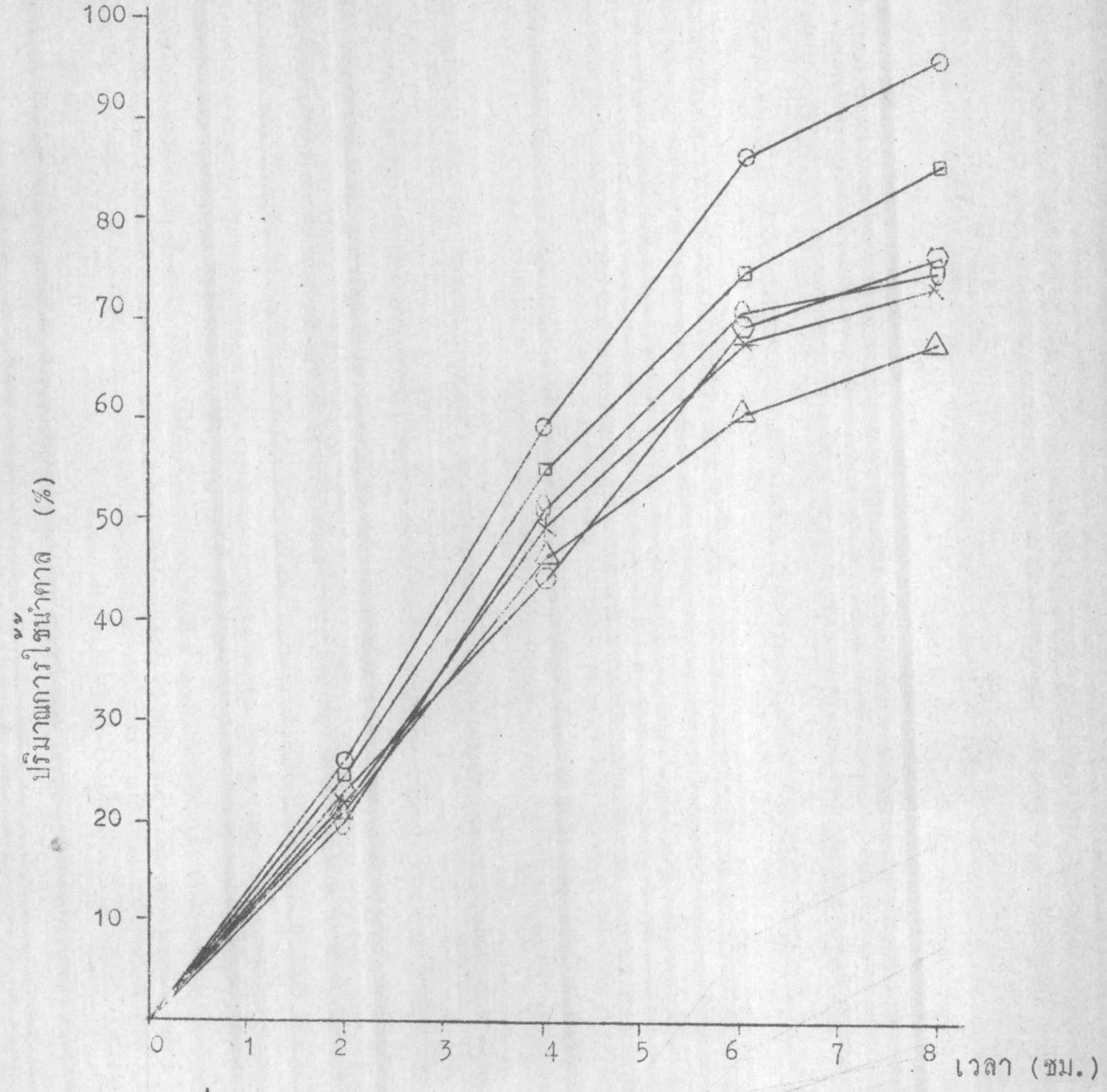
รูปที่ 4-7 ผลการทดลองแสดงสภาพการดูดกลืนแสง ในการผลิตยีสต์ (C. utilis) เมื่อใช้หัวกระจายอากาศแบบต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

○ แบบแผ่นแก้วรูพรุน
□ แบบทรงกลมรูพรุน
△ แบบแผ่นโลหะเจาะรู
× แบบตะแกรงโลหะ
⬡ แบบแผ่นโลหะเจาะรูบรรจุลูกแก้ว
⬯ แบบตะแกรงโลหะบรรจุลูกแก้ว



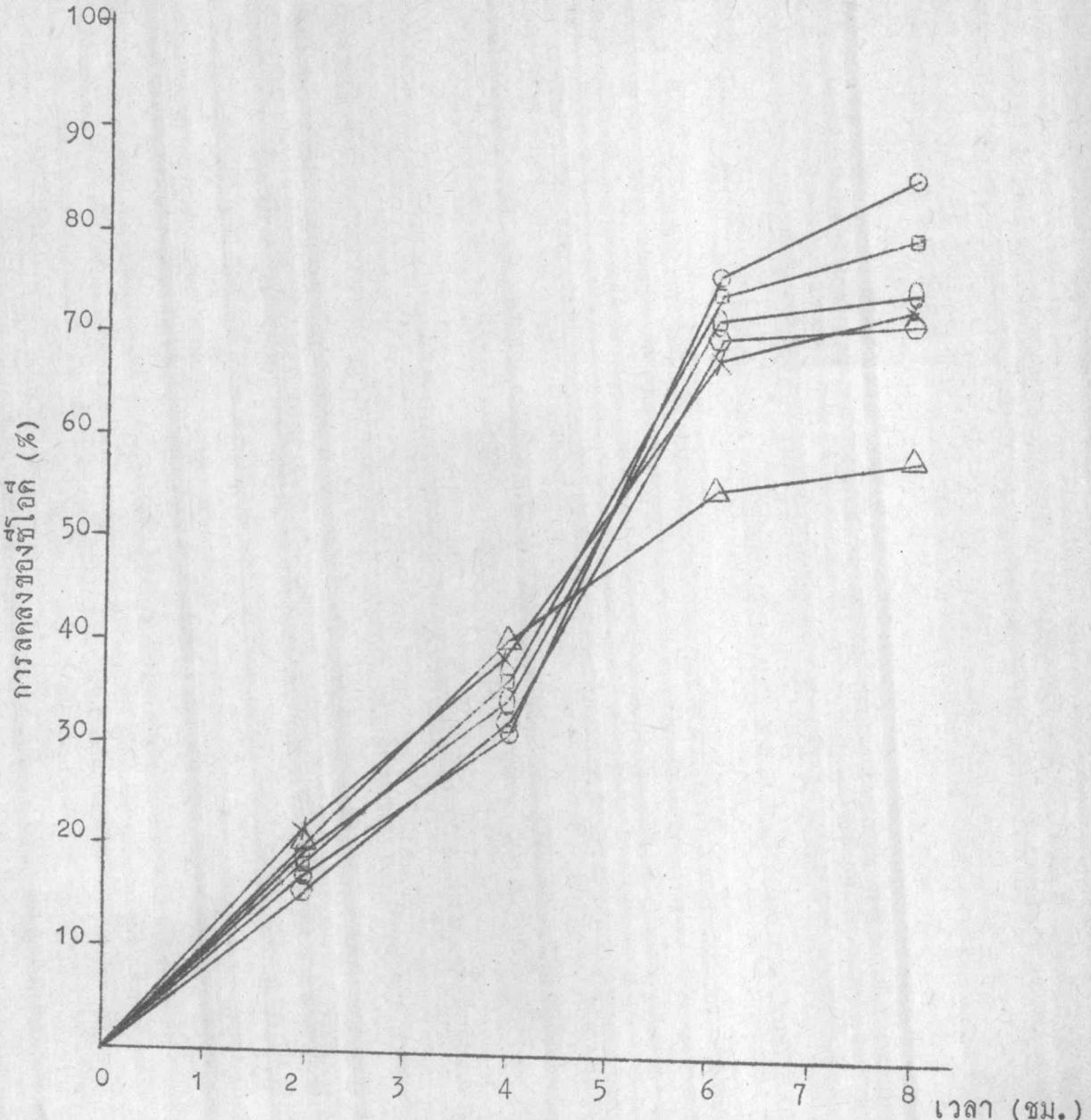
รูปที่ 4-8 ผลการทดลองแสดงเปรียบเทียบน้ำหนักของเซลล์แห้ง (กรัม/ลิตร) ในการผลิตยีสต์ (C. utilis) เมื่อใช้หัวกระจายอากาศแบบต่าง ๆ ดังนี้

- ○ แบบแผ่นแก้วรูพรุน
- × แบบตะแกรงโลหะ
- □ แบบทรงกลมรูพรุน
- ⬡ แบบแผ่นโลหะเจาะรูบรรจุลูกแก้ว
- △ แบบแผ่นโลหะเจาะรู
- ⬯ แบบตะแกรงโลหะบรรจุลูกแก้ว



รูปที่ 4-9 ผลการทดลองแสดงเปรียบเทียบปริมาณการใช้น้ำตาล (%) ในการผลิตยีสต์ (C. utilis) เมื่อใช้หัวกระจายอากาศแบบต่าง ๆ ดังนี้

- ○ แบบแผ่นแก้วรูพรุน
- □ แบบทรงกลมรูพรุน
- △ แบบแผ่นโลหะเจาะรู
- × แบบตะแกรงโลหะ
- ⬡ แบบแผ่นโลหะเจาะรูบรรจุลูกแก้ว
- 0 แบบตะแกรงโลหะบรรจุลูกแก้ว



รูปที่ 4-10 ผลการทดลองแสดงเปรียบเทียบการลดลงของซีโอดี (%) ในการผลิตยีสต์ (C. utilis) เมื่อใช้หัวกระจายอากาศแบบต่าง ๆ ดังนี้

○	แบบแผ่นแก้วรูพรุน	×	แบบตะแกรงโลหะ
□	แบบทรงกลมรูพรุน	⬡	แบบแผ่นโลหะเจาะรูบรรจุลูกแก้ว
△	แบบแผ่นโลหะเจาะรู	⬡	แบบตะแกรงโลหะบรรจุลูกแก้ว

4.3 การผลิตเอทานอล

การทดลองผลิตเอทานอล ได้ใช้เครื่องหมักแบบคอลัมน์ ปริมาตรของการหมักทั้งหมด 6.0 ลิตร เชื้อหมักเริ่มต้น 5% ของปริมาตรน้ำหมักทั้งหมด เชื้อที่ใช้คือ S. ellipsoideus. ควบคุมพีเอชของการทดลองให้ได้ 4.5 อุณหภูมิของการทดลองเป็นอุณหภูมิห้อง 28–30 °ซ. ใช้น้ำสับปะรดผสมน้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์เป็นสารอาหาร สารอาหารเสริมประกอบด้วย ไดโปตัสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต และแอมโมเนียมซัลเฟตอย่างละ 0.5 % ได้ทำการวัดความเข้มข้นของเซลล์ ปริมาณเอทานอลในน้ำหมัก ปริมาณน้ำตาลในน้ำสับปะรดและในน้ำหมัก ผลการทดลองได้แบ่งออกเป็น

4.3.1 การทดลองเพื่อดูอัตราการเจริญเติบโตของเชื้อตามหัวข้อ 3.4.1.1 ใช้น้ำสับปะรดผสมน้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์ โดยใช้น้ำตาลจากน้ำสับปะรด 5 องศาบริคซ์ และจากน้ำตาลทราย 10 องศาบริคซ์ ได้แบ่งการทดลองออกเป็น

4.3.1.1 เมื่อใช้หัวกระจายอากาศแบบแผ่นแก้วรูพรุน ผลการทดลองแบ่งได้เป็น

4.3.1.1.1 ใช้อัตราการให้อากาศ 0.5 ปริมาตรอากาศ/ปริมาตรน้ำหมัก/นาที ได้แสดงผลไว้ในรูปที่ 4–11, 4–12 และตารางที่ 4–7 ในภาคผนวก 4

4.3.1.1.2 ใช้อัตราการให้อากาศ 1.0 ปริมาตรอากาศ/ปริมาตรน้ำหมัก/นาที ได้แสดงผลไว้ในรูปที่ 4–11, 4–12 และตารางที่ 4–8 ในภาคผนวก 4

4.3.1.1.3 ใช้อัตราการให้อากาศ 1.5 ปริมาตรอากาศ/ปริมาตรน้ำหมัก/นาที ได้แสดงผลไว้ในรูปที่ 4–11, 4–12 และตารางที่ 4–9 ในภาคผนวก 4

4.3.1.2 เมื่อใช้หัวกระจายอากาศแบบทรงกลมรูพรุน ผลการทดลองแบ่งได้เป็น

4.3.1.2.1 ใช้อัตราการให้อากาศ 0.5 ปริมาตรอากาศ/ปริมาตรน้ำหมัก/นาที ได้แสดงผลไว้ในรูปที่ 4–13, 4–14 และตารางที่ 4–10 ในภาคผนวก 4.

4.3.1.2.2 ใช้อัตราการให้อากาศ 1.0 ปริมาตรอากาศ/ปริมาตรน้ำหมัก/นาที ได้แสดงผลไว้ในรูปที่ 4–13, 4–14 และตารางที่ 4–11 ในภาคผนวก 4

4.3.1.2.3 ใช้อัตราการให้อากาศ 1.5 ปริมาตรอากาศ/ปริมาตรน้ำหมัก/นาที ได้แสดงผลไว้ในรูปที่ 4–13, 4–14 และตารางที่ 4–12 ในภาคผนวก 4

4.3.1.3 เมื่อใช้หัวกระจายอากาศแบบตะแกรงโลหะ ผลการทดลองได้แบ่งไว้เป็น

4.3.1.3.1 ใช้อัตราการให้อากาศ 0.5 ปริมาตรอากาศ/ปริมาตรน้ำหมัก/นาที ได้แสดงผลไว้ในรูปที่ 4–15, 4–16 และตารางที่ 4–13 ในภาคผนวก 4

4.3.1.3.2 ใช้อัตราการให้อากาศ 1.0 ปริมาตรอากาศ/ปริมาตรน้ำหมัก/นาที ได้แสดงผลไว้ในรูปที่ 4–15, 4–16 และตารางที่ 4–14 ในภาคผนวก 4

4.3.1.3.3 ใช้อัตราการให้อากาศ 1.5 ปริมาตรอากาศ/ปริมาตรน้ำหมัก/นาที ได้แสดงผลไว้ในรูปที่ 4–15, 4–16 และตารางที่ 4–15 ในภาคผนวก 4

จากรูปที่ 4–11 ถึง 4–16 จะเห็นว่าเมื่อใช้หัวกระจายแบบแผ่นแก้วรูพรุน แบบทรงกลมรูพรุน และแบบตะแกรงโลหะ จะให้ผลการทดลองที่ใกล้เคียงกันคือที่อัตราการให้อากาศ 1.0 ปริมาตรอากาศ/ปริมาตรน้ำหมัก/นาที จะให้ค่าความเข้มข้นของเซลล์ และปริมาณการใช้น้ำตาลที่สูงกว่าเมื่อให้อากาศในอัตรา 0.5 ปริมาตรอากาศ/ปริมาตรน้ำหมัก/นาที เล็กน้อย ส่วนที่อัตราการให้อากาศ 1.5 ปริมาตรอากาศ/ปริมาตรน้ำหมัก/นาที จะให้ค่าความเข้มข้นของเซลล์และปริมาณการใช้น้ำตาลที่ต่ำกว่าเมื่อให้อากาศในอัตรา 0.5 ปริมาตรอากาศ/ปริมาตรน้ำหมัก/นาที ดังนั้นในการเพิ่มปริมาณของเซลล์ในการผลิตเอทานอล จึงได้เลือกหัวกระจายแบบตะแกรงโลหะขนาด 40 ตา ให้อากาศในอัตรา 0.5 ปริมาตรอากาศ/ปริมาตรน้ำหมัก/นาที และให้อากาศเป็นเวลา 4 ชั่วโมง เพราะที่ชั่วโมงที่ 4 ปริมาณการใช้น้ำตาล (รูปที่ 4–16) ไม่เกิน 1% ประกอบกับที่ชั่วโมงนี้ความเข้มข้นของเซลล์ (รูปที่ 4–15) มีอัตราการเพิ่มปริมาณเซลล์ที่สูง

4.3.2 การทดลองผลิตเอทานอล ตามหัวข้อ 3.4.1.2 ได้ใช้หัวกระจายอากาศแบบแบบตะแกรงโลหะ อัตราการให้อากาศ 0.5 ปริมาตรอากาศ/ปริมาตรน้ำหมัก/นาที เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ในช่วงแรกของการทดลอง ได้แบ่งการทดลองออกเป็น

4.3.2.1 เมื่อใช้อัตราส่วนน้ำตาลจากน้ำสับปะรดต่อน้ำตาลทราย 2.5 : 17.5 องศาบริกซ์ เป็นสารอาหารได้แสดงผลไว้ในรูปที่ 4-17, 4-21 และ 4-22 และตารางที่ 4-16 ในภาคผนวก 4

4.3.2.2 เมื่อใช้อัตราส่วนน้ำตาลจากน้ำสับปะรดต่อน้ำตาลจากน้ำตาลทราย 5.0 . 15.0 องศาบริกซ์ เป็นสารอาหารได้แสดงผลไว้ในรูปที่ 4-18, 4-21, 4-22 และตารางที่ 4-17 ในภาคผนวก 4

4.3.2.3 เมื่อใช้อัตราส่วนน้ำตาลจากน้ำสับปะรดต่อน้ำตาล จากน้ำตาลทราย 7.5 . 12.5 องศาบริกซ์ เป็นสารอาหารได้แสดงผลไว้ในรูปที่ 4-19, 4-21 และ 4-22 และตารางที่ 4-18 ในภาคผนวก 4

4.3.2.4 เมื่อใช้อัตราส่วนน้ำตาลจากน้ำสับปะรดต่อน้ำตาลจากน้ำตาลทราย 14 . 6 องศาบริกซ์ (ใช้น้ำสับปะรดล้วน ๆ แล้วเติมน้ำตาลทรายลงไป) ได้แสดงผลไว้ในรูปที่ 4-20 ถึง 4-22 และตารางที่ 4-19 ในภาคผนวก 4

จากผลการทดลองรูปที่ 4-17 ถึง 4-20 จะเห็นว่าไม่ว่าจะใช้อัตราส่วนน้ำตาลจากน้ำสับปะรดและจากน้ำตาลทราย ค่าไหนอัตราเร็วของการผลิตเอทานอล และการใช้น้ำตาลจะแปรผันโดยตรงกัน และอัตราส่วนน้ำตาลสับปะรดที่ใช้จะมีผลต่อผลผลิตเอทานอล โดยยิ่งใช้อัตราส่วนน้ำตาลจากน้ำสับปะรดมาก ยิ่งให้ผลผิดดี จากรูปที่ 4-21 และ 4-22 เมื่อใช้น้ำสับปะรดล้วน ๆ (อัตราส่วนน้ำตาลสับปะรด . น้ำตาลทราย 14.0 . 6.0 องศาบริกซ์) จะให้ผลดีที่สุด คือได้ปริมาณเอทานอล 10.65 % โดยปริมาตรและปริมาณการใช้น้ำตาล 97.83 % ในเวลาการผลิต 22 ชั่วโมง เมื่อใช้อัตราส่วนน้ำตาลจากสับปะรด . น้ำตาลทราย 7.5 . 12.5 องศาบริกซ์ จะให้ผลรองลงไปคือ ได้ปริมาณเอทานอล 10.54 % และปริมาณการใช้น้ำตาล 92.95 % ในเวลาเท่ากัน

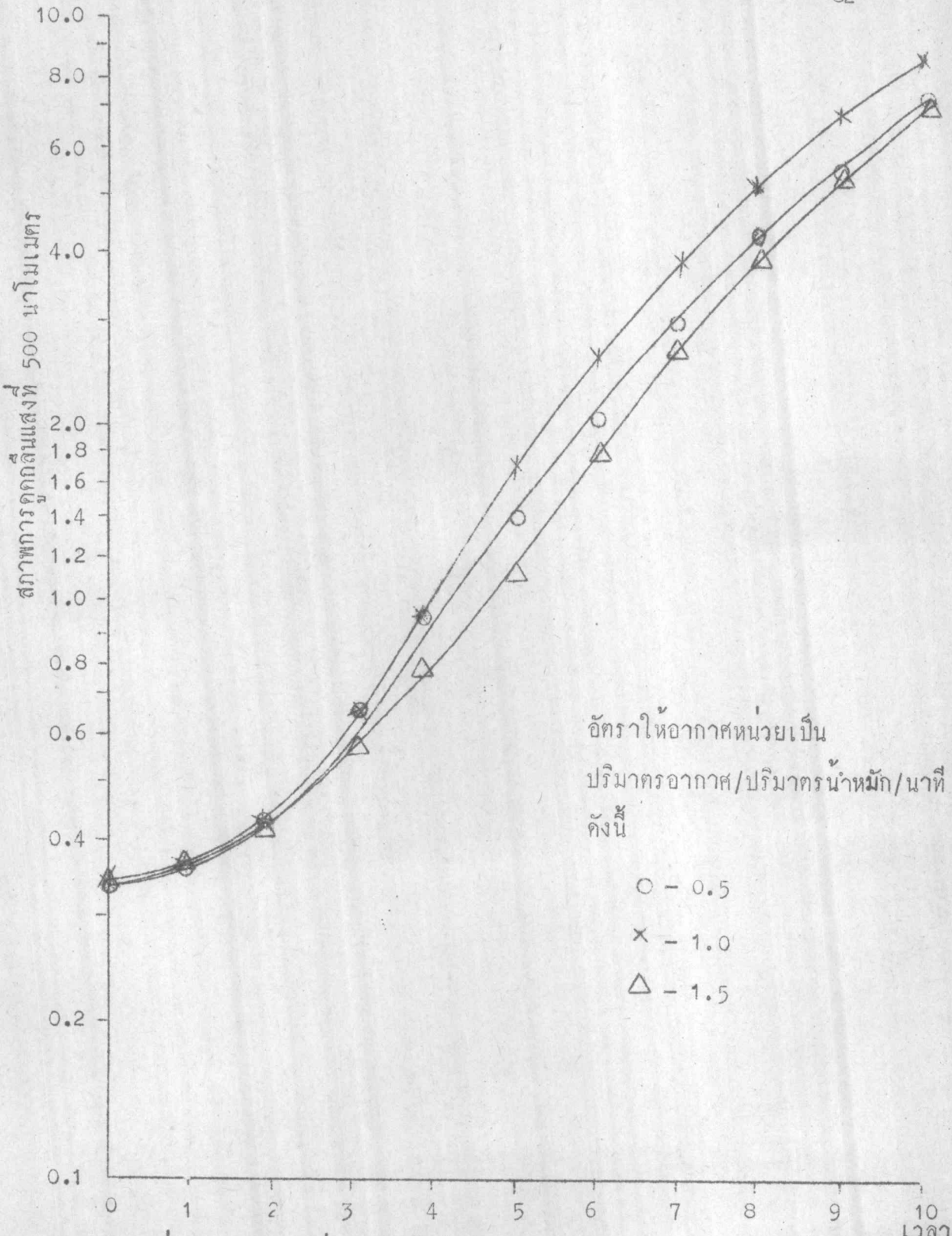
4.3.3 การทดลองผลิตเอทานอล ตามหัวข้อ 3.4.1.3 ซึ่งใช้หัวกระจายอากาศแบบตะแกรงโลหะ ให้อากาศในอัตรา 0.5 ปริมาตรอากาศ/ปริมาตรน้ำหมัก/นาที เป็นเวลา 4 ชั่วโมง เพื่อเพิ่มปริมาณของเซลล์เชื้อหมักในช่วงแรกของการทดลอง สารอาหารที่ใช้เป็นน้ำสับปะรดผสมกับน้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์ ในอัตราส่วนของน้ำตาล 7.5 . 12.5 องศาบริกซ์ ตามลำดับ ผลการทดลองได้แบ่งเป็น

4.3.3.1 เมื่อใช้สารอาหารและสารอาหารเสริมที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนชื้นที่ 121° ซ. เป็นเวลา 5 นาที ได้แสดงผลไว้ในรูปที่ 4-19, 4-25 และ 4-26 และตารางที่ 4-18 ในภาคผนวก 4

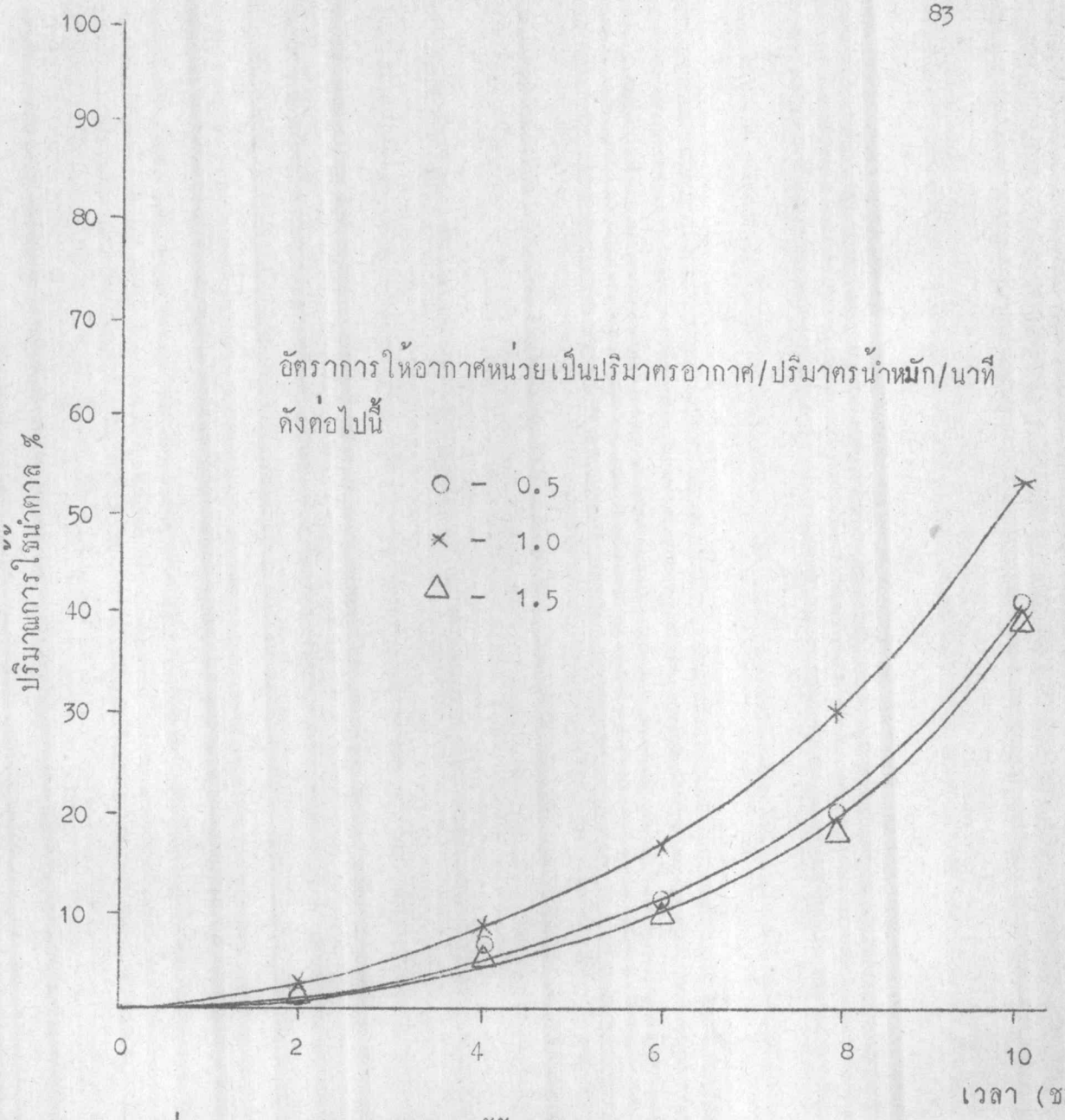
4.3.3.2 เมื่อใช้สารอาหารและสารอาหารเสริมที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยการพาสเจอร์ไรซ์ที่ 70° ซ. นาน 10 นาที ได้แสดงผลไว้ใน รูปที่ 4-23, 4-25, 4-26 และ 4-27 และตารางที่ 4-20 ในภาคผนวก 4

4.3.3.3 เมื่อใช้สารอาหารและสารอาหารเสริมที่ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อใด ๆ ทั้งสิ้น ได้แสดงผลไว้ในรูปที่ 4-24 ถึง 4-26 และตารางที่ 4-21 ในภาคผนวก 4

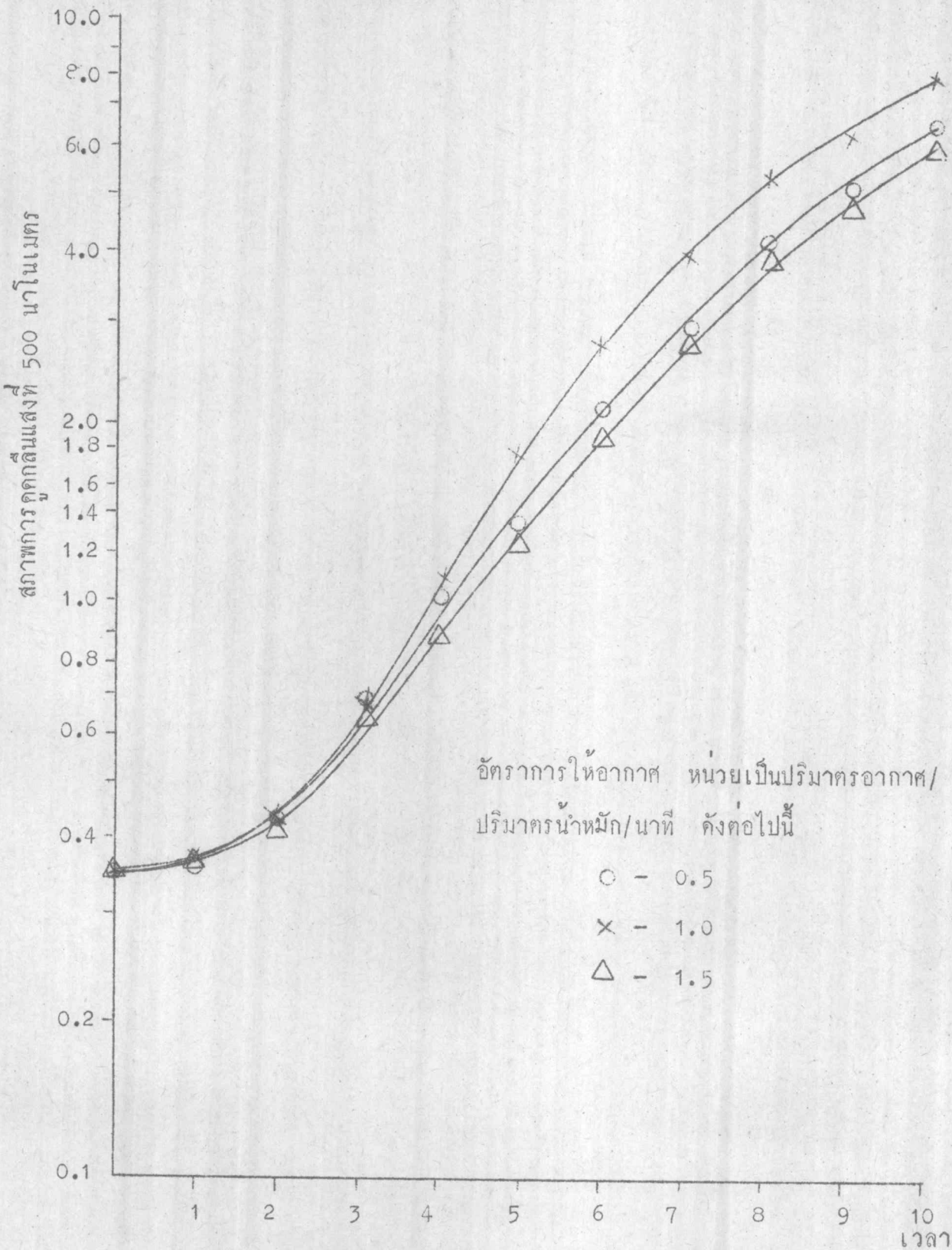
จากรูปที่ 4-19, 4-23 และ 4-24 เมื่อใช้สารอาหารและอาหารเสริมที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนชื้นที่ 121° ซ. นาน 5 นาที ฆ่าเชื้อด้วยการพาสเจอร์ไรซ์ที่ 70° ซ. นาน 10 นาที และไม่ผ่านการฆ่าเชื้อใด ๆ ทั้งสิ้นตามลำดับ จะเห็นว่าการเพิ่มขึ้นของปริมาณเอทานอล และปริมาณการใช้น้ำตาลจะเป็นสัดส่วนตรงกัน โดยจะมีอัตราการเพิ่มขึ้นมากในช่วงชั่วโมงที่ 7-16 จากรูปที่ 4-25 และ 4-26 ได้ว่า ขบวนการที่ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อใดทั้งสิ้นจะให้ผลผลิตเอทานอลดีที่สุด คือได้ปริมาณเอทานอล 11.28 % ปริมาณการใช้น้ำตาล 96.15 % ภายในเวลา 22 ชั่วโมง



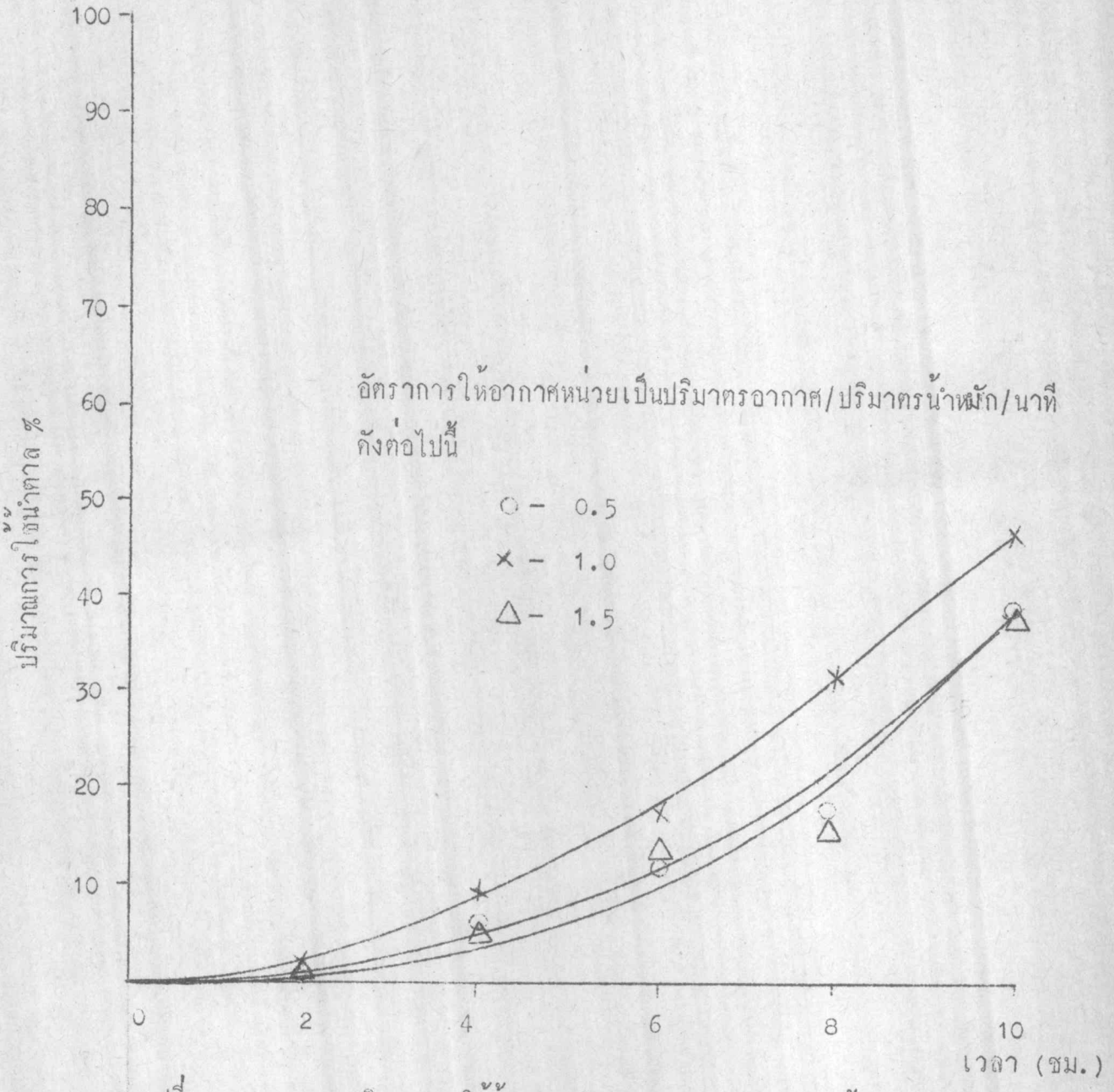
รูปที่ 4-11 แสดงค่าความเข้มข้นของเซลล์ในการเจริญเติบโตของเชื้อ S. ellipsoideus เมื่อใช้หัวกระจายอากาศแบบแผ่นแก้วรูพรุน เมื่อให้อากาศในอัตราต่าง ๆ กัน



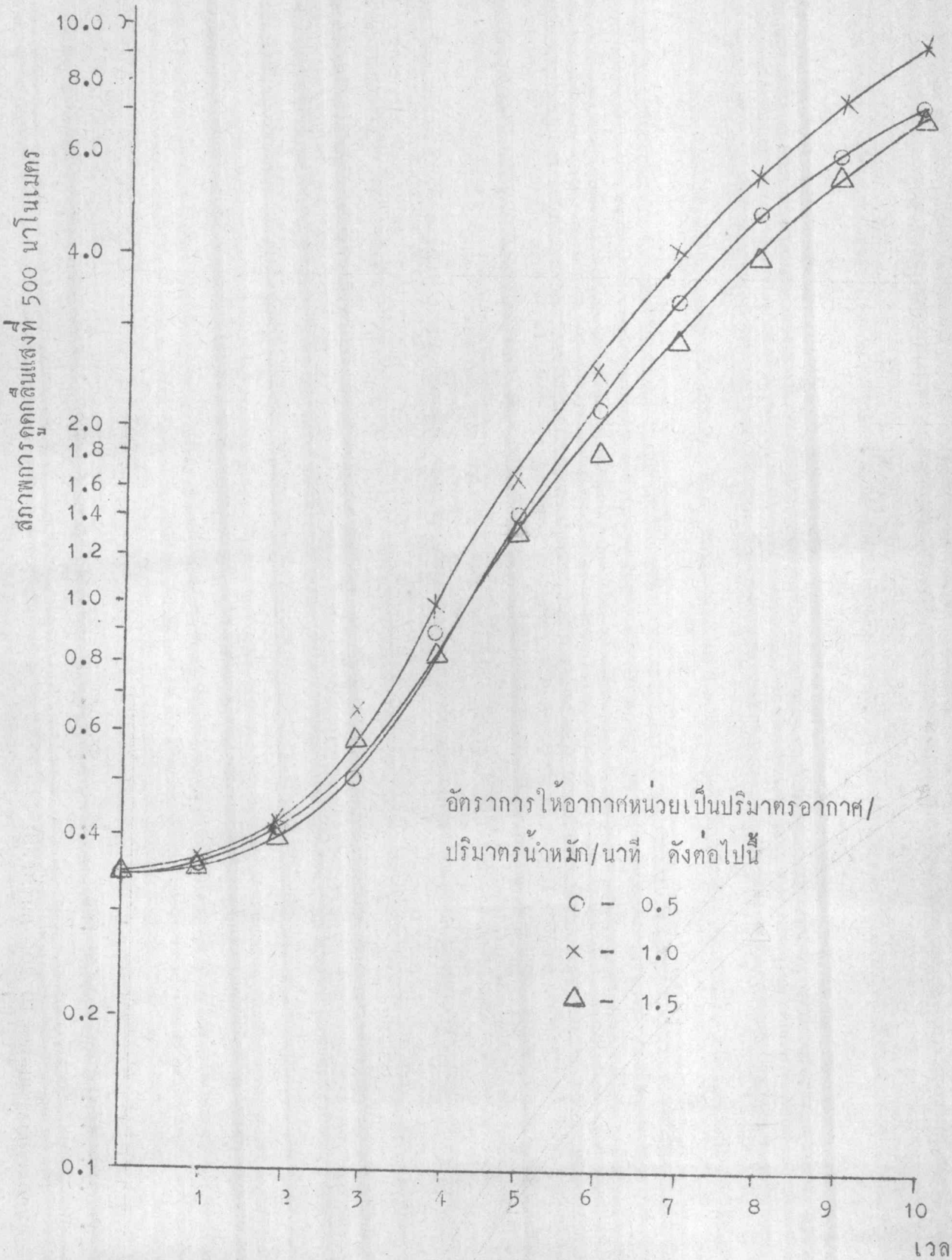
รูปที่ 4-12 แสดงปริมาณการใช้น้ำตาลในการเจริญเติบโตของเชื้อ S. ellipsoideus เมื่อใช้หัวกระจายอากาศแบบแผ่นแก้วรูพรุน อัตราการให้อากาศต่าง ๆ กัน



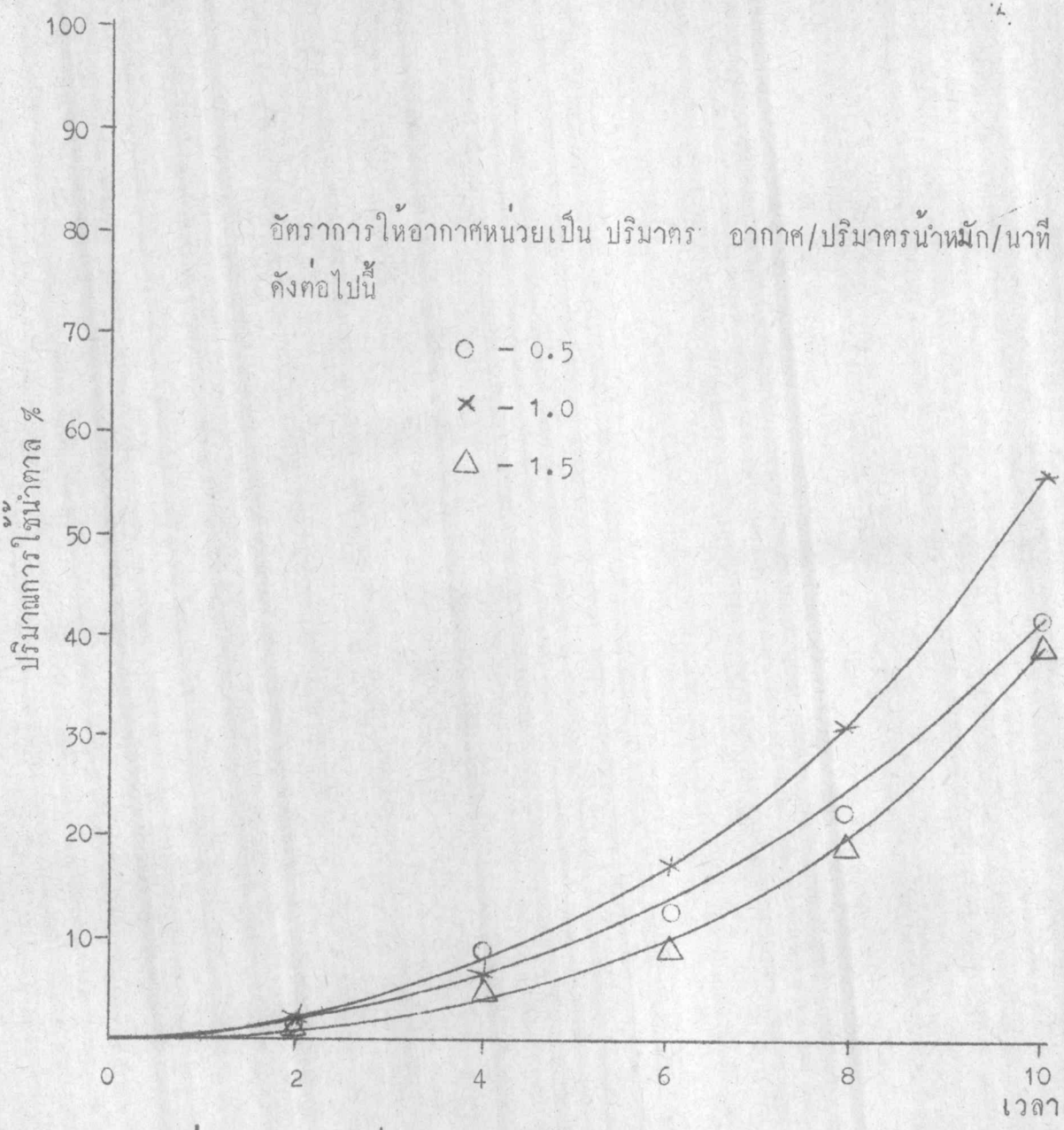
รูปที่ 4-13 แสดงค่าความเข้มข้นของเซลล์ในการเจริญเติบโตของเชื้อ S. ellipsoideus เมื่อใช้หัวกระจายอากาศแบบทรงกลมรูพรุน เมื่อให้อากาศในอัตราต่าง ๆ กัน



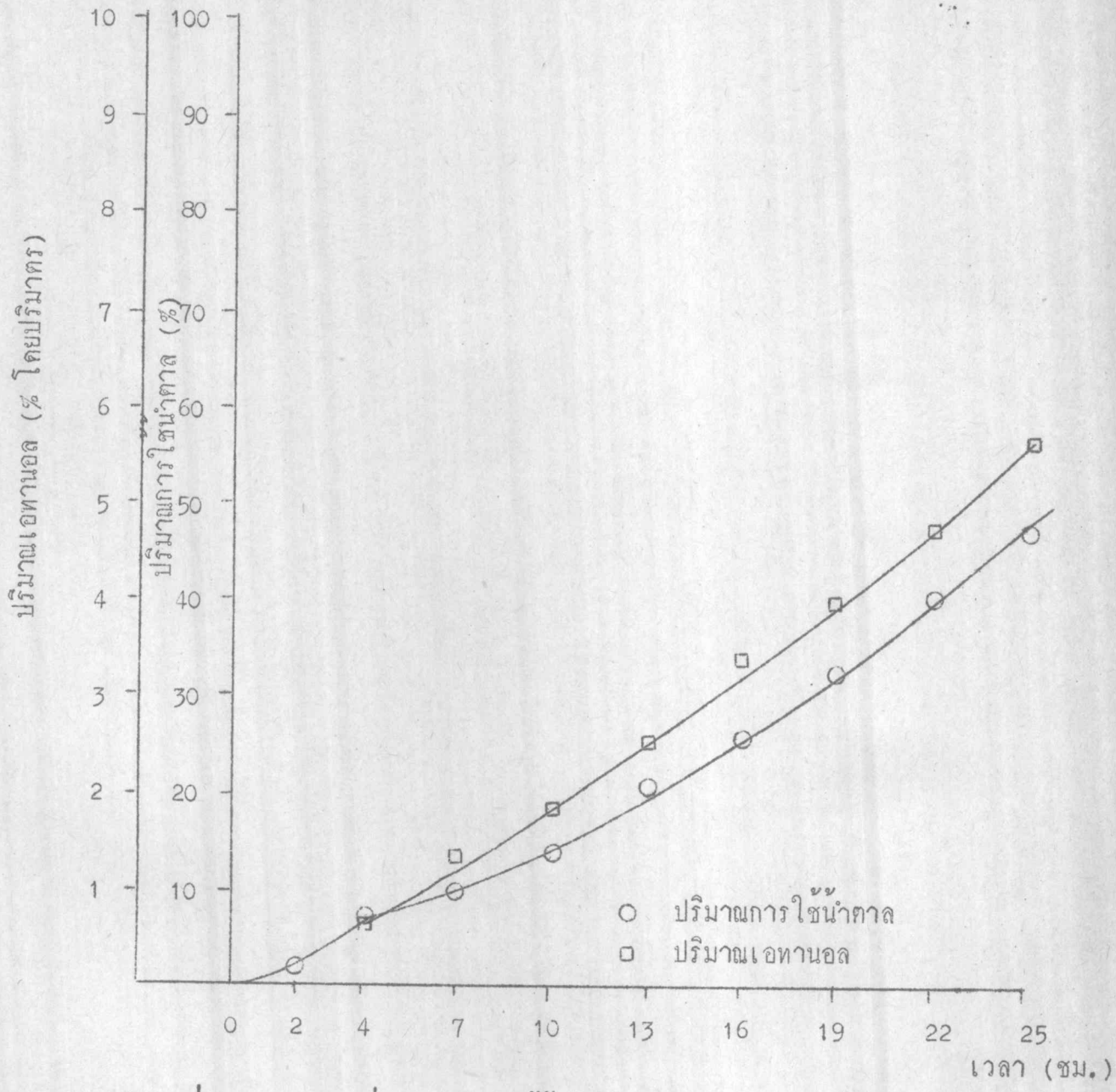
รูปที่ 4-14 แสดงปริมาณการใช้น้ำตาล ในการเจริญเติบโตของเชื้อ S. ellipsoideus เมื่อใช้หัวกระจายอากาศแบบทรงกลมรูพรุน อัตราการให้อากาศต่าง ๆ กัน



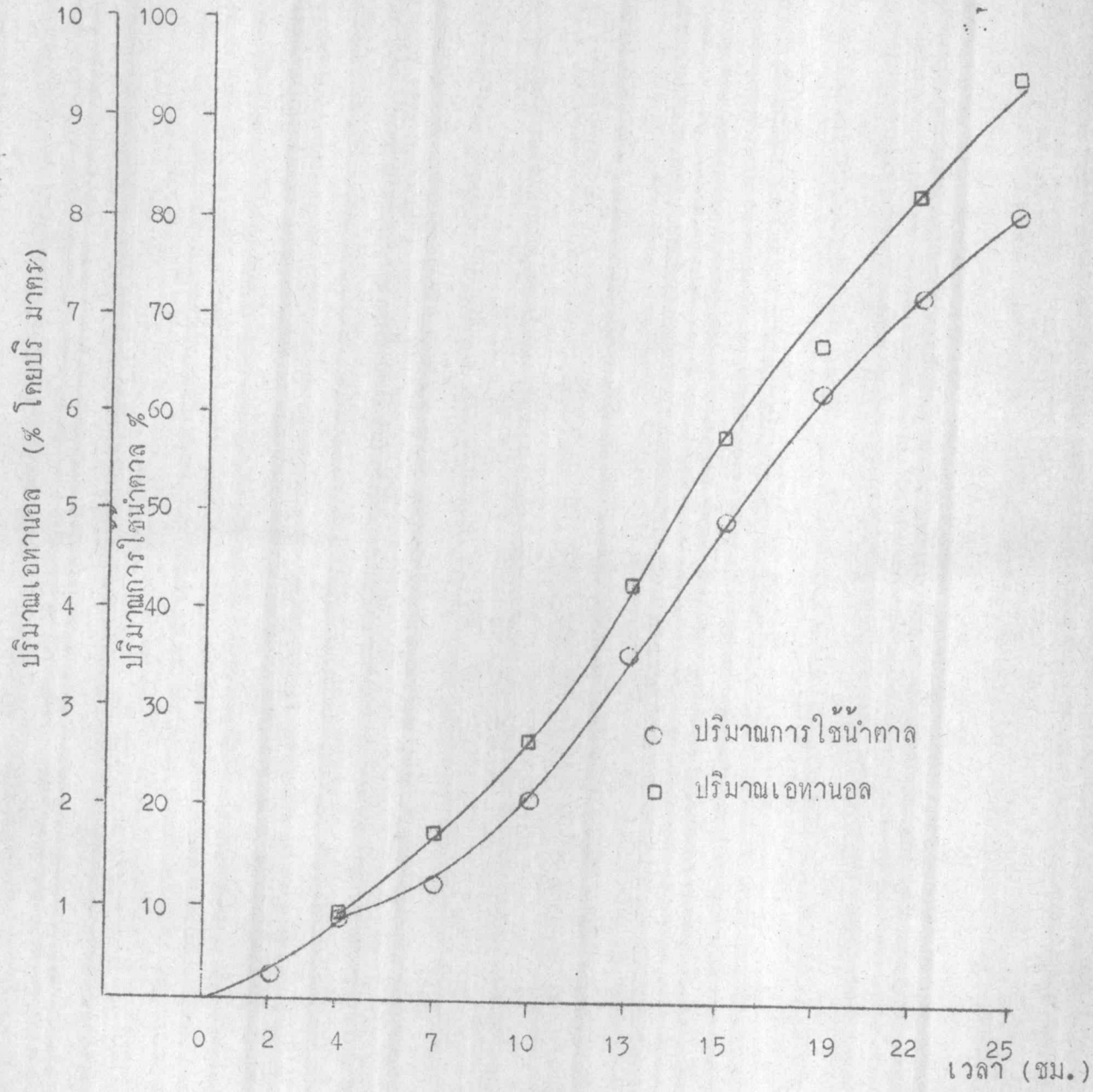
รูปที่ 4-15 แสดงค่าความเข้มข้นของเซลล์ในการเจริญเติบโตของเชื้อ S. ellipsoideus เมื่อใช้หัวกระจายอากาศแบบตะแกรงโลหะ เมื่อให้อากาศในอัตราต่าง ๆ กัน



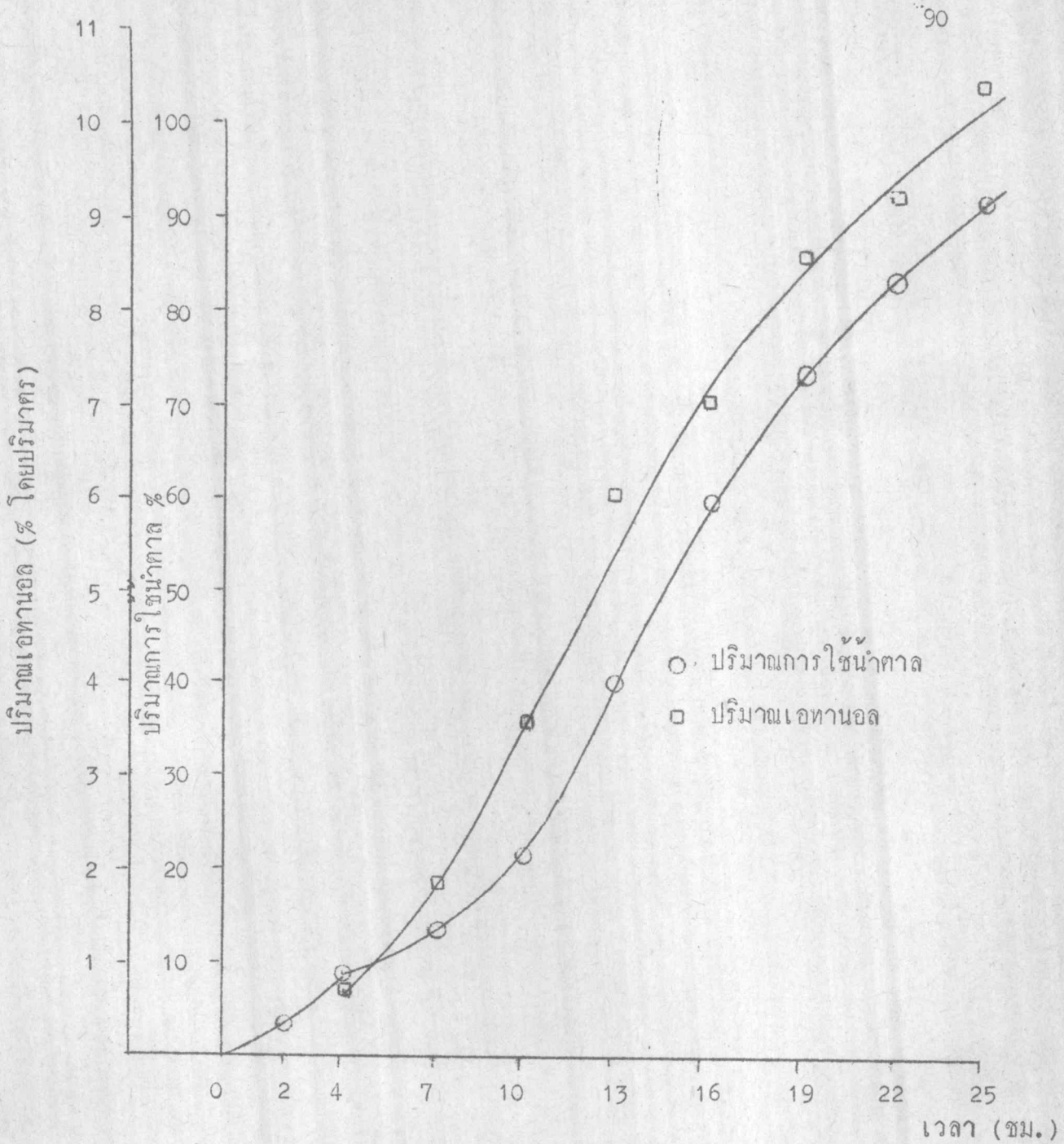
รูปที่ 4-16 แสดงค่าปริมาณการใช้น้ำตาลในการเจริญเติบโตของเชื้อ S. ellipsoideus เมื่อใช้หัวกระจายอากาศแบบตะแกรงโลหะ อัตราการให้อากาศต่าง ๆ กัน



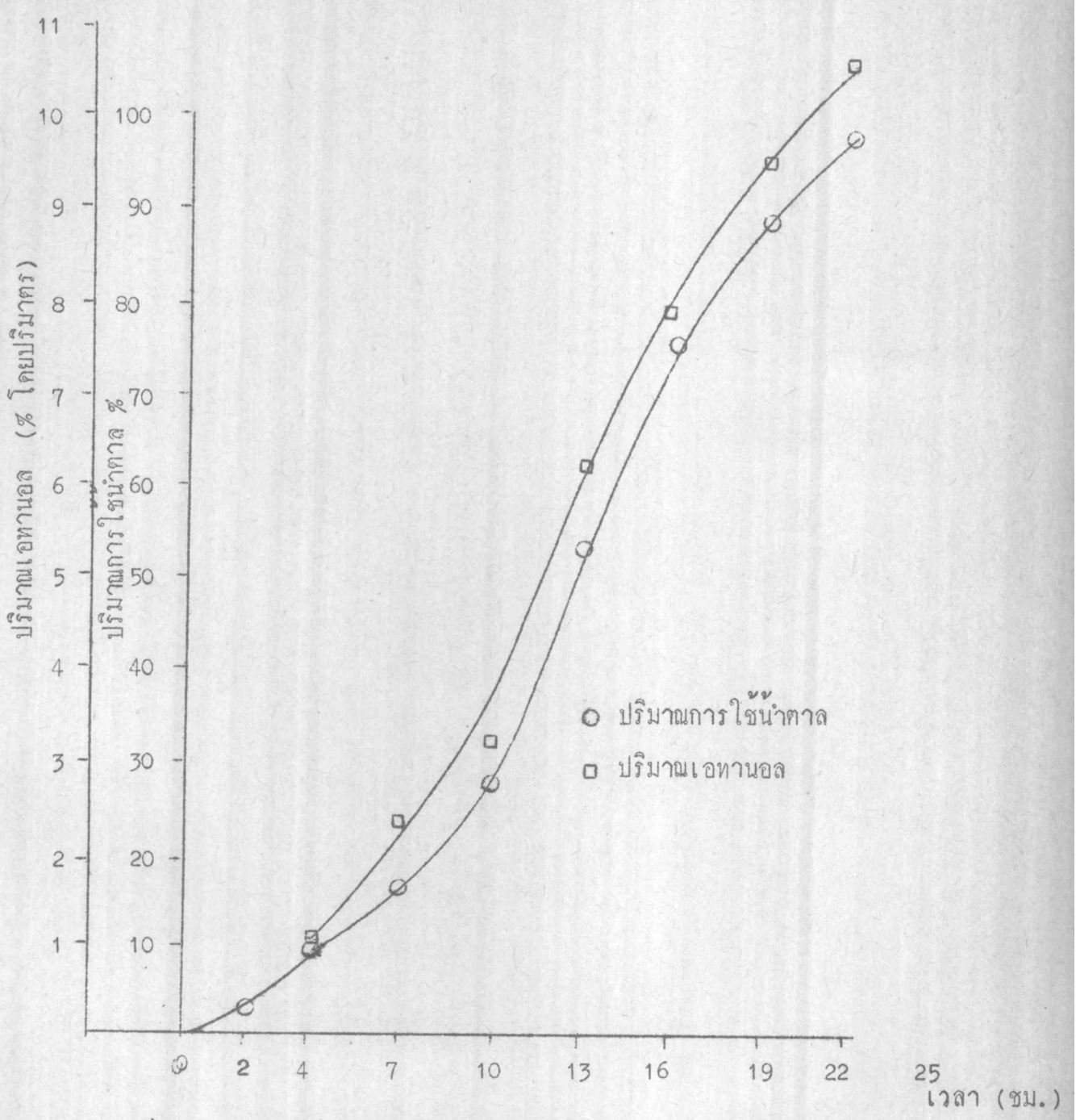
รูปที่ 4-17 แสดงค่าปริมาณการใช้น้ำตาลและปริมาณเอทานอลที่ได้ในการผลิตเอทานอล โดยใช้เชื้อ S. ellipsoideus ใช้น้ำสับปะรดผสมน้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์ให้ได้น้ำตาลความเข้มข้น 20.0 องศาบริคซ์ เป็นสารอาหาร โดยส่วนประกอบของน้ำตาลใช้น้ำตาลจากน้ำสับปะรดและน้ำตาลทราย 2.5 และ 17.5 องศาบริคซ์ ตามลำดับ



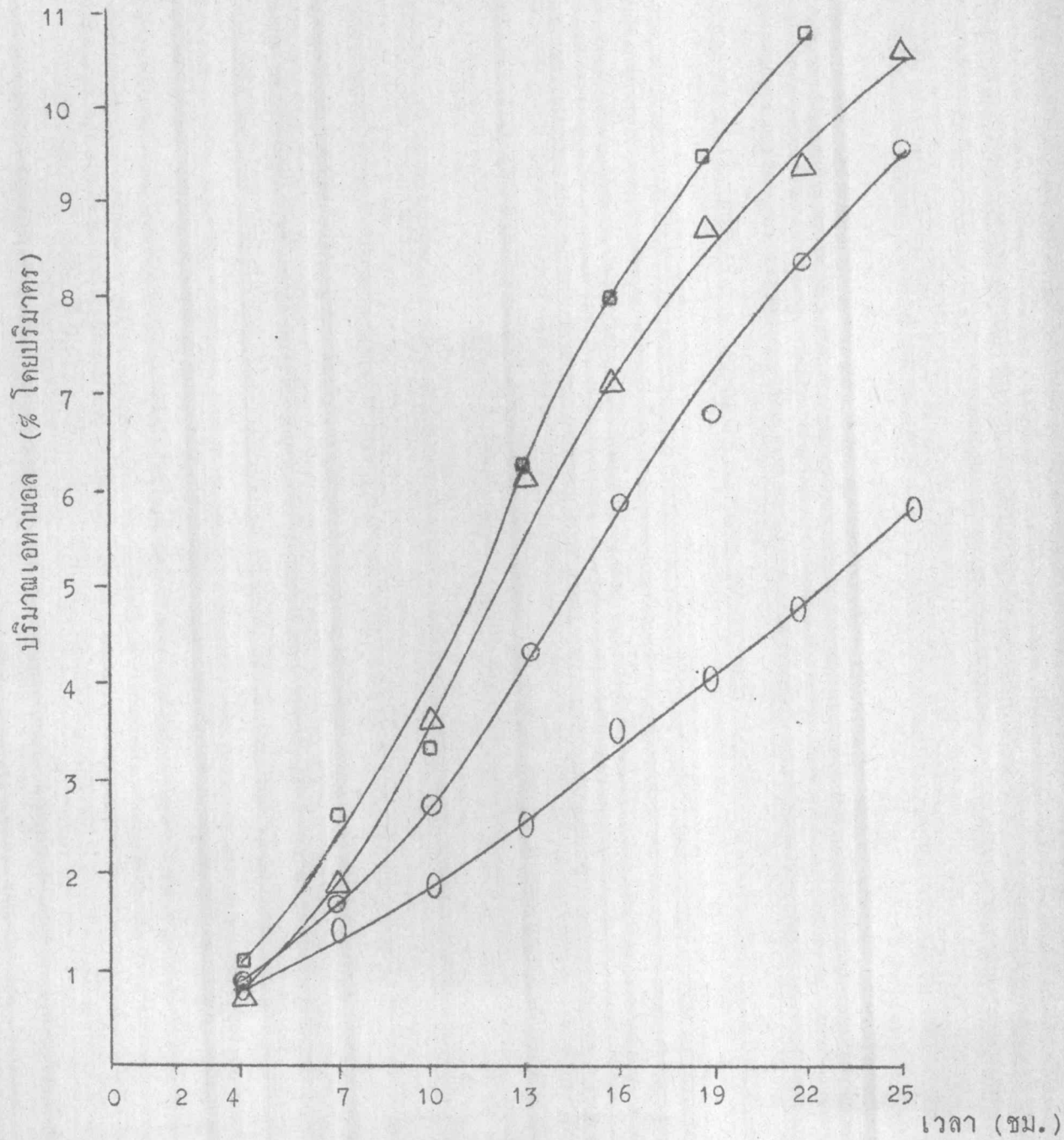
รูปที่ 4-18 แสดงค่าปริมาณการใช้น้ำตาลและปริมาณเอทานอล ในการผลิตเอทานอล โดยใช้เชื้อ S. ellipsoideus ใช้น้ำสับปะรดผสมน้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์ให้ได้น้ำตาลความเข้มข้น 20.0 องศาบริคซ์ เป็นสารอาหาร โดยส่วนประกอบของน้ำตาลใช้น้ำตาลจากน้ำสับปะรด และน้ำตาลทราย 5.0 และ 15.0 องศาบริคซ์ ตามลำดับ



รูปที่ 4-19 แสดงค่าปริมาณการใช้น้ำตาลและปริมาณเอทานอลที่ได้ ในการผลิตเอทานอล โดยใช้เชื้อ S. ellipsoideus ใช้น้ำสับปะรดผสมน้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์ให้ได้น้ำตาลความเข้มข้น 20.0 องศาบริคซ์ เป็นสารอาหาร โดยส่วนประกอบของน้ำตาลใช้น้ำตาลจากน้ำสับปะรดและน้ำตาลทราย 7.5 และ 12.5 องศาบริคซ์ตามลำดับ



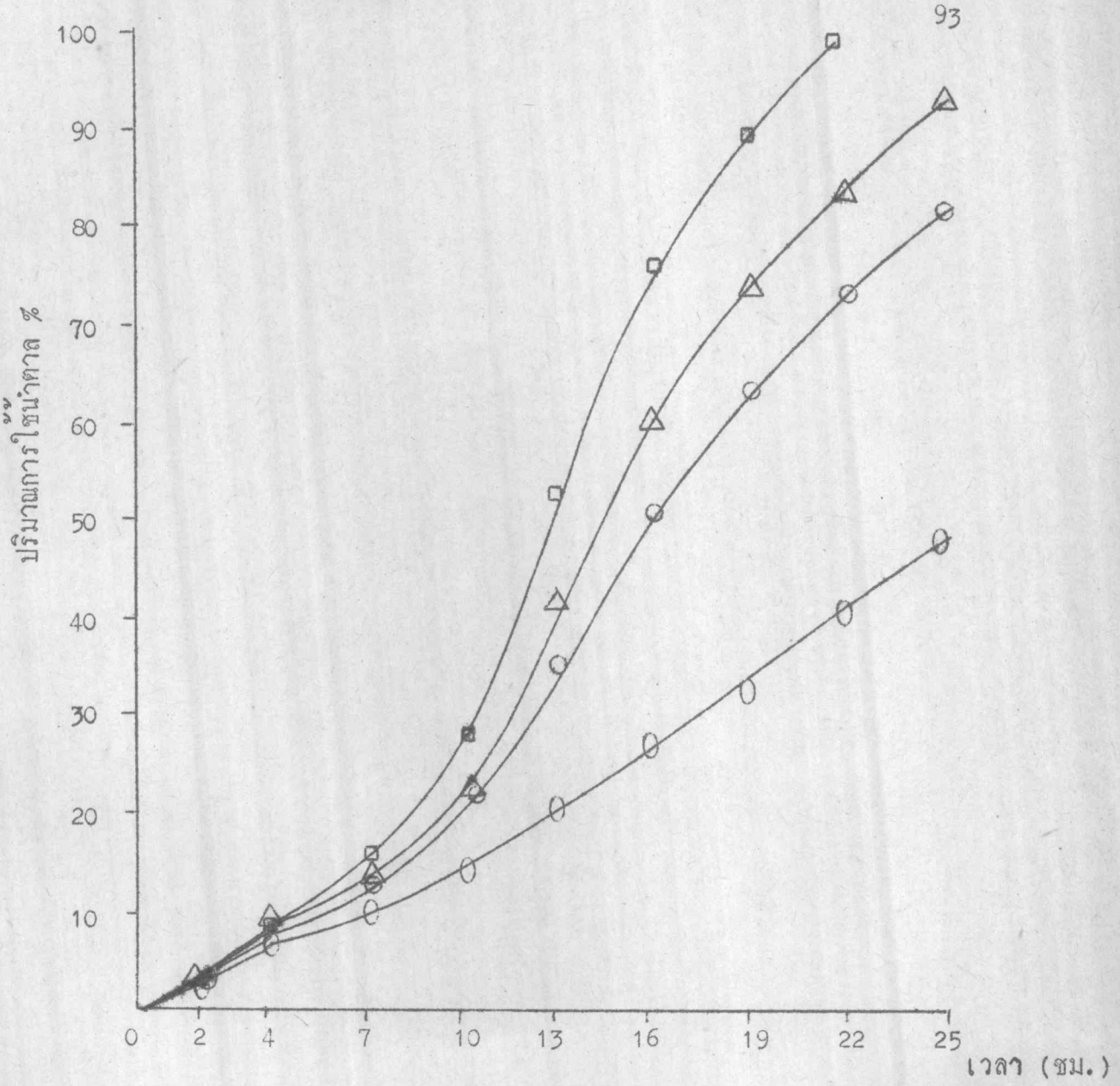
รูปที่ 4-20 แสดงค่าปริมาณการใช้น้ำตาลและปริมาณเอทานอลที่ได้ ในการผลิตเอทานอล โดยใช้เชื้อ S. ellipsoideus ใช้น้ำสับปะรดผสมน้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์ให้ได้น้ำตาลความเข้มข้น 20.0 องศาบริคซ์ เป็นสารอาหาร โดยส่วนประกอบของน้ำตาลจากน้ำสับปะรด และน้ำตาลทราย 14.0 และ 6.0 องศาบริคซ์ ตามลำดับ



รูปที่ 4-21 แสดงเปรียบเทียบปริมาณเอทานอล ในการผลิตเอทานอล โดยใช้เชื้อ S. ellipsoideus เมื่อใช้สารอาหารที่มีอัตราส่วนน้ำตาลจากน้ำสับปะรดต่อน้ำตาลจากน้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์ ดังนี้ (หน่วยเป็นองศาบริคซ์)

O - 2.5 : 17.5 △ - 7.5 : 12.5

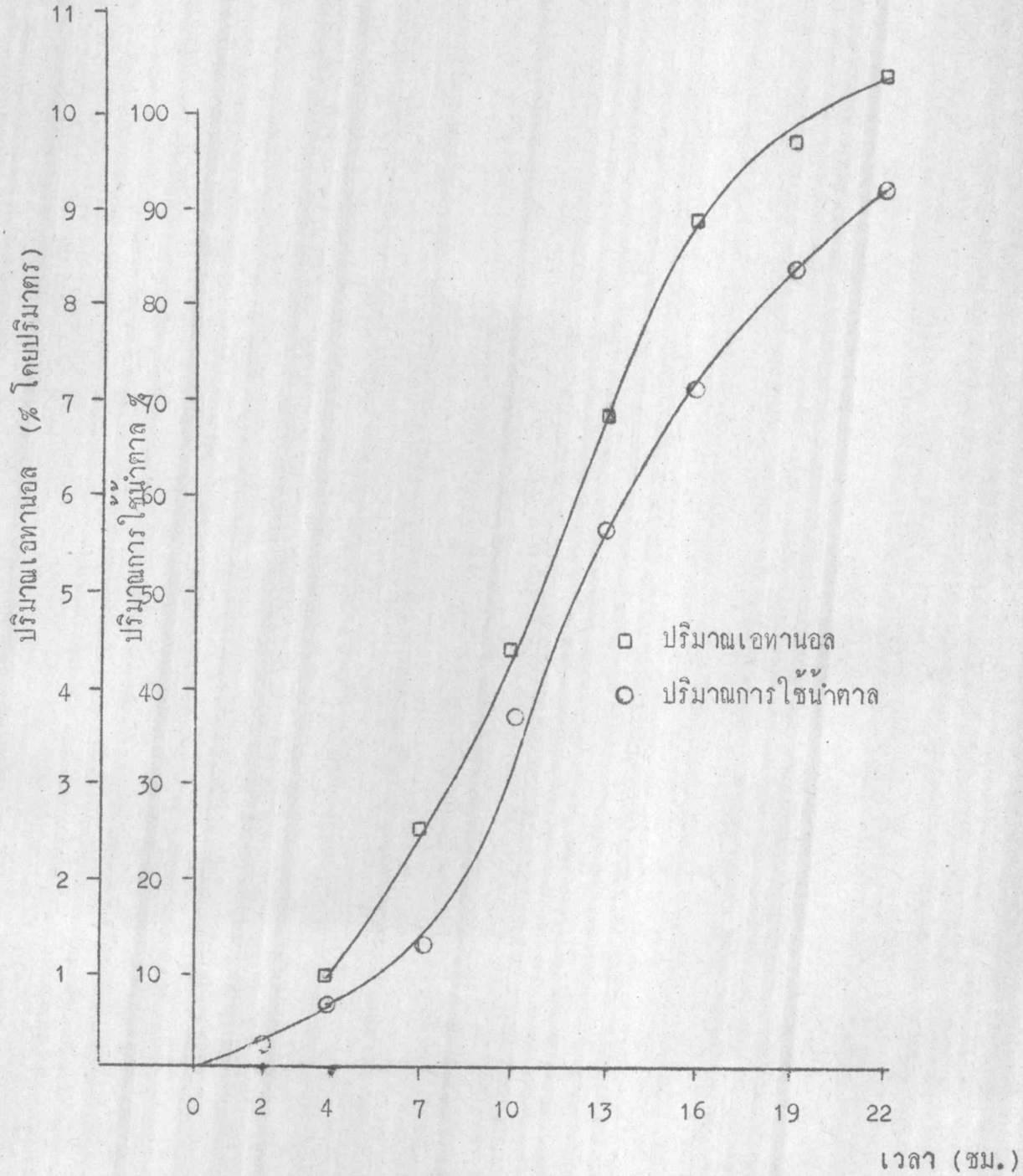
○ - 5.0 : 15.0 □ - 14.0 : 6.0



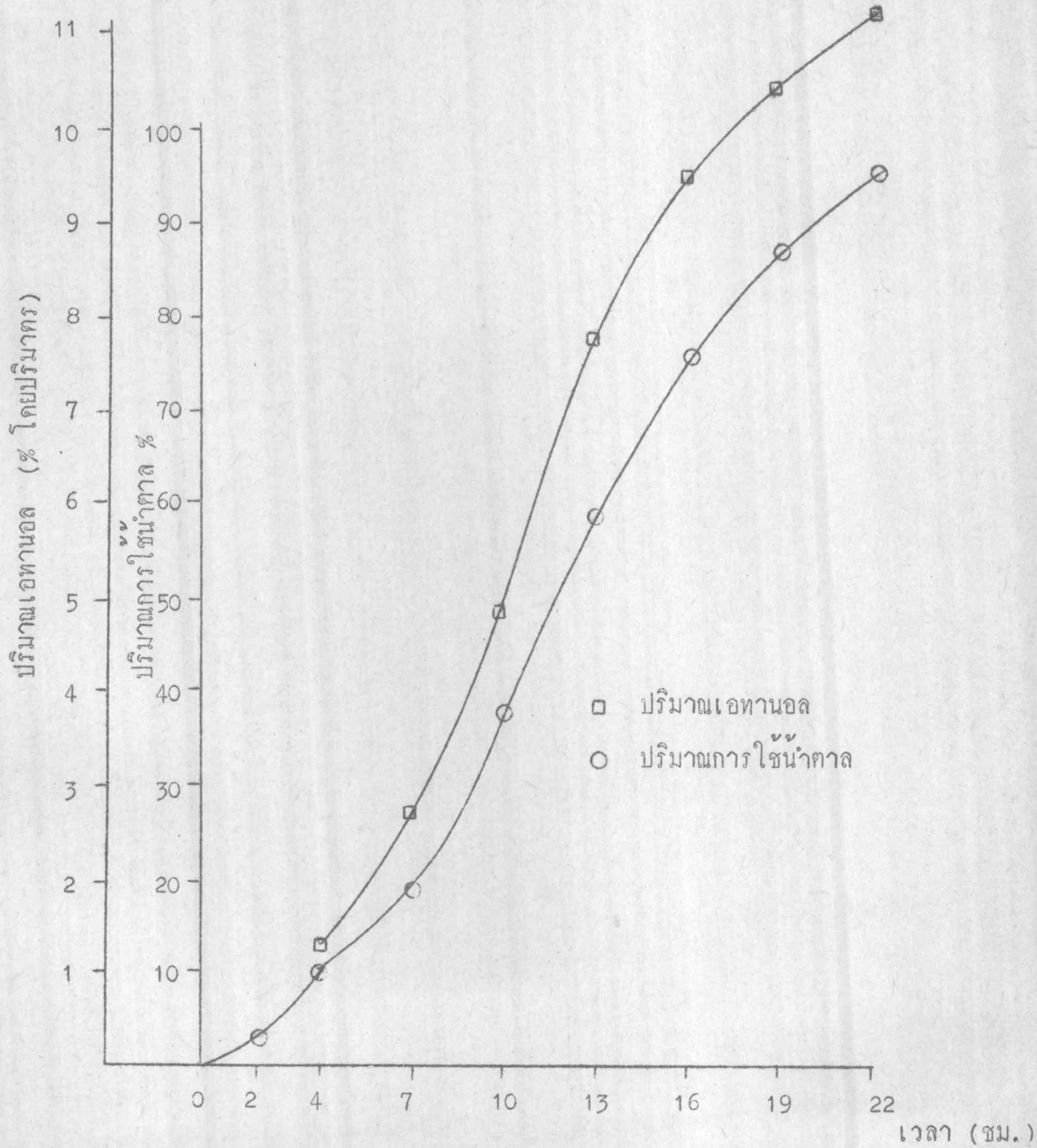
รูปที่ 4-22 แสดงเปรียบเทียบปริมาณการใช้น้ำตาลในการผลิตเอทานอล โดยใช้เชื้อ S. ellipsoideus เมื่อใช้สารอาหารที่มีอัตราส่วนน้ำตาลจากน้ำสับปะรดต่อน้ำตาลจากน้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์ ดังนี้ (หน่วยเป็นองศาบริคซ์)

0 - 2.5 : 17.5 △ - 7.5 : 12.5

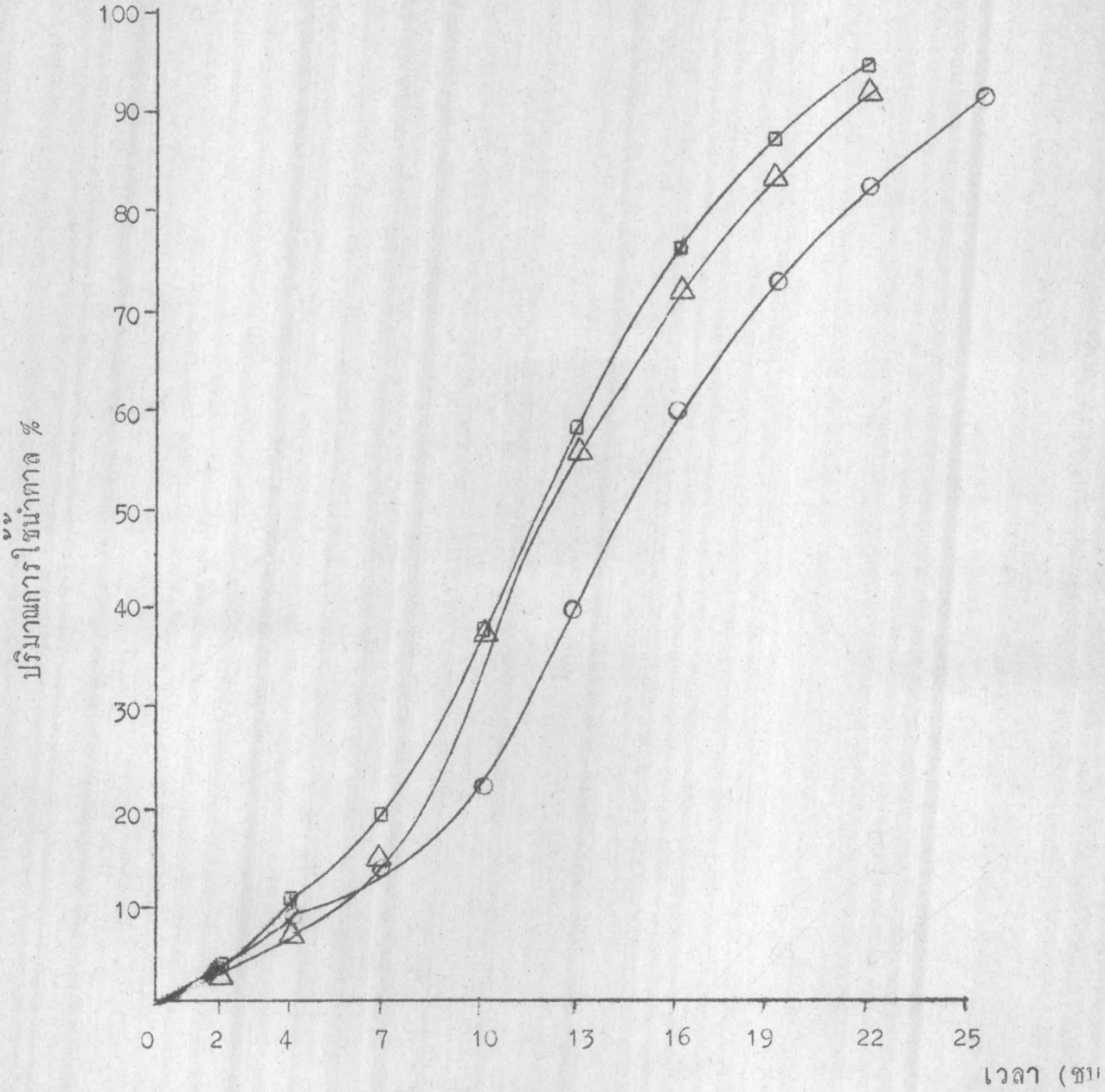
○ - 5.0 : 15.0 □ - 14.0 : 6.0



รูปที่ 4-23 แสดงปริมาณการใช้น้ำตาลและปริมาณเอทานอล ในการผลิตเอทานอล โดยใช้เชื้อ S. ellipsoideus เมื่อสารอาหารและอาหารเสริมผ่านการฆ่าเชื้อด้วยการพาสเจอร์ไรซ์ที่ 70°ซ. เป็นเวลา 10 นาที



รูปที่ 4-24 แสดงปริมาณการใช้น้ำตาล และปริมาณเอทานอล ในการผลิตเอทานอล โดยใช้เชื้อ S. ellipsoideus เมื่อสารอาหารและอาหารเสริมไม่ได้ผ่านการฆ่าเชื้อใด ๆ ทั้งสิ้น

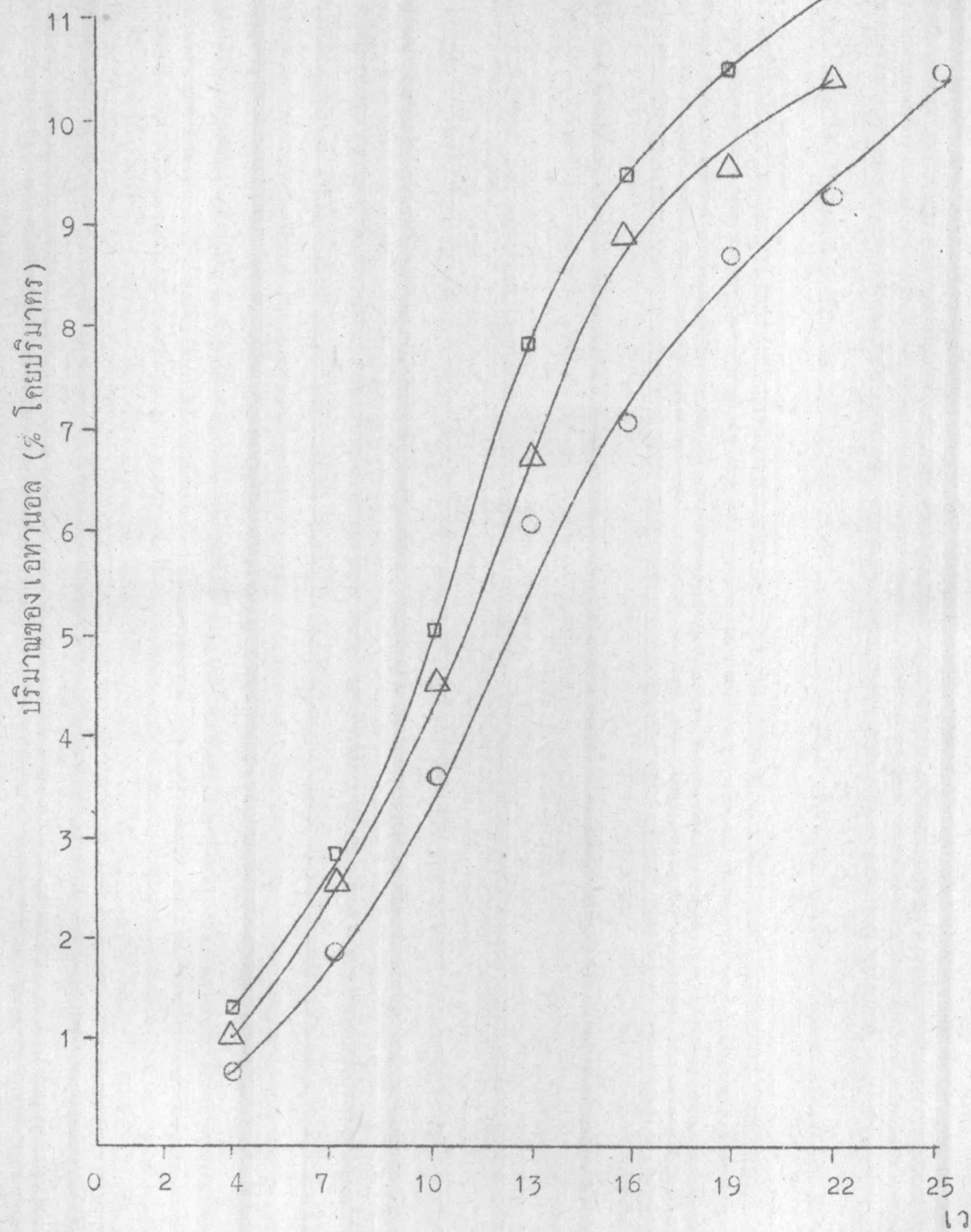


รูปที่ 4-25 แสดงเปรียบเทียบปริมาณการใช้น้ำตาลในการผลิตเอทานอล โดยใช้เชื้อ S. ellipsoideus เมื่อ

○ – สารอาหารและอาหารเสริมผ่านการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนชั้นที่ 121° ซ. นาน 5 นาที

△ – สารอาหารและอาหารเสริมผ่านการฆ่าเชื้อด้วยการพาสเจอร์ไรซ์ ที่ 70° ซ. นาน 10 นาที

□ – สารอาหารและอาหารเสริมไม่ผ่านการฆ่าเชื้อใด ๆ ทั้งสิ้น



รูปที่ 4-26 แสดงเปรียบเทียบปริมาณเอทานอลที่ได้ในการผลิตเอทานอล โดยใช้เชื้อ S. ellipsoideus เมื่อ

○ – สารอาหารและอาหารเสริมผ่านการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนชื้นที่ 121° ซ. นาน 5 นาที

△ – สารอาหารและอาหารเสริมผ่านการฆ่าเชื้อด้วยการพาสเจอร์ไรซ์ที่ 70° ซ. นาน 10 นาที

□ – สารอาหารและอาหารเสริมไม่ผ่านการฆ่าเชื้อใด ๆ ทั้งสิ้น

4.4 การผลิตกรดอะซีติก

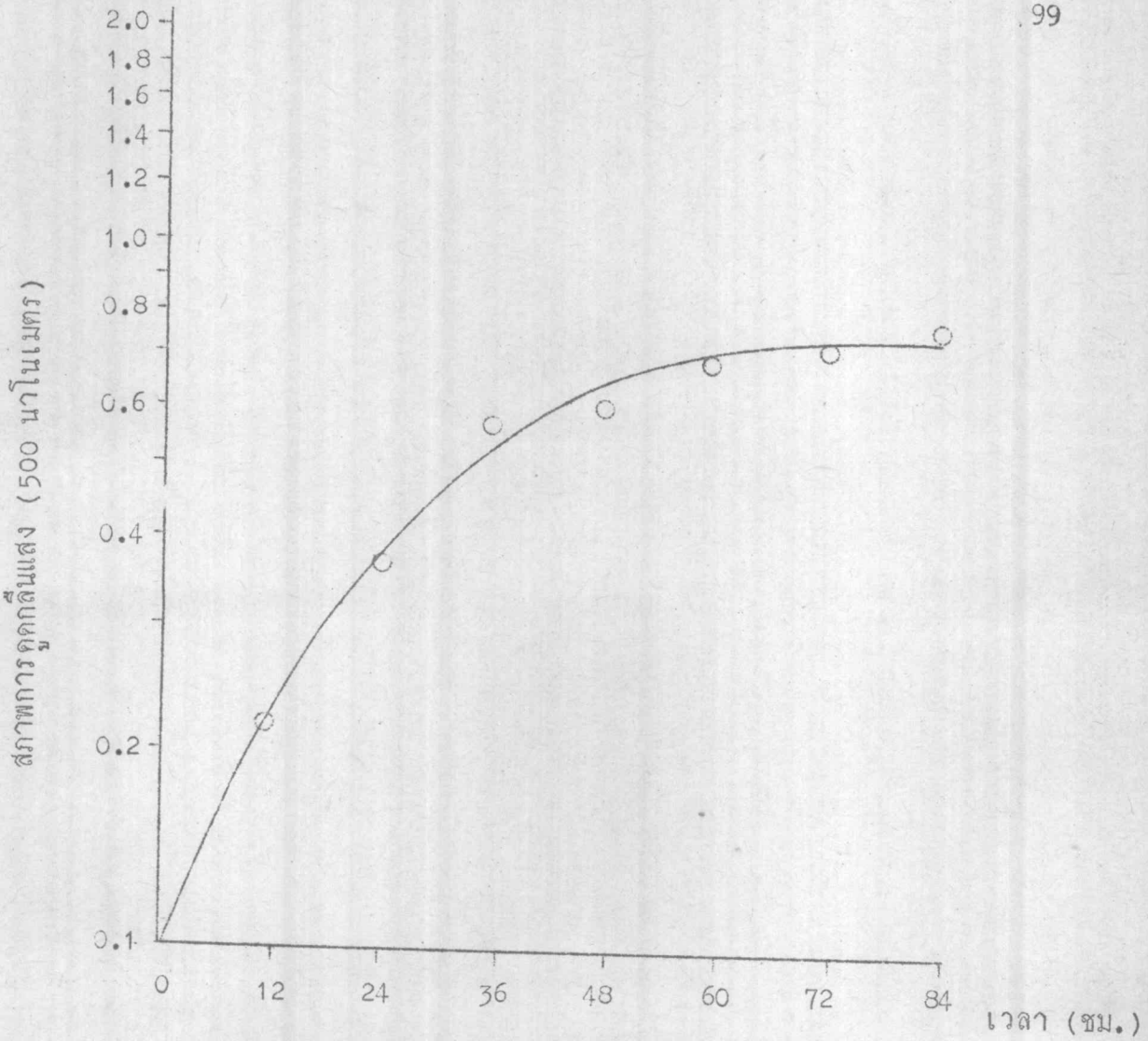
การทดลองผลิตกรดอะซีติก ตามหัวข้อ 3.5 ซึ่งใช้น้ำหนักแอลกอฮอล์จากน้ำสับปะรดที่มีเอทานอล 6% เชื้อที่ใช้เป็น A. aceti เครื่องหมักเป็นแบบคอลัมน์หัวกระจายอากาศเป็นแบบตะแกรงโลหะขนาด 40 ตา ผลการทดลองแบ่งเป็น

4.4.1 เมื่อใช้อากาศในอัตรา 0.2 ปริมาตรอากาศ/ปริมาตรน้ำหมัก/นาที ได้แสดงผลไว้ในรูปที่ 4-27, 4-28, 4-33 ถึง 4-35 และตารางที่ 4-22 ในภาคผนวก 4

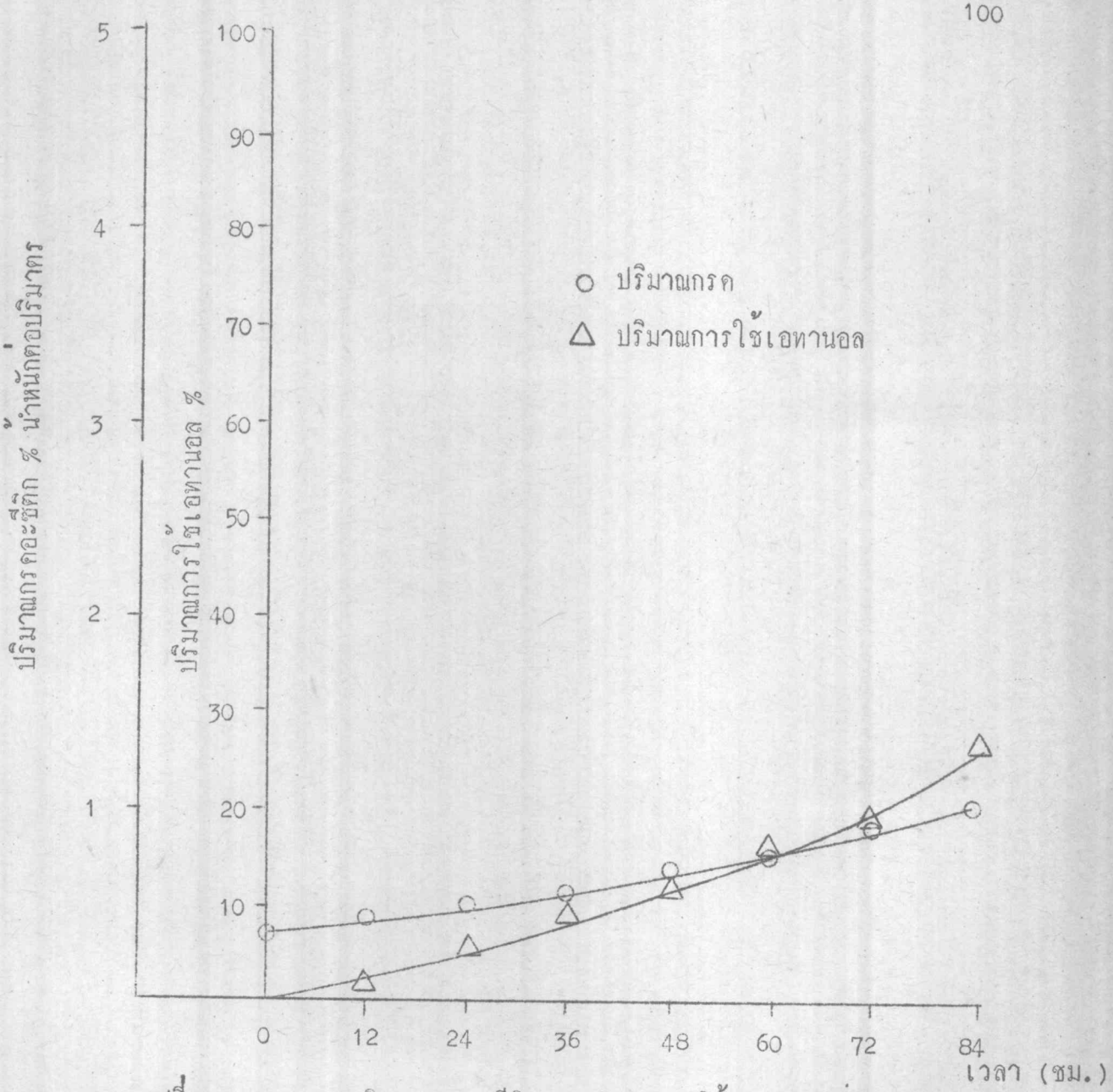
4.4.2 เมื่อใช้อากาศในอัตรา 0.5 ปริมาตรอากาศ/ปริมาตรน้ำหมัก/นาที ได้แสดงผลไว้ในรูปที่ 4-29, 4-30, 4-33 ถึง 4-35 และตารางที่ 4-23 ในภาคผนวก 4

4.4.3 เมื่อใช้อากาศในอัตรา 1.0 ปริมาตรอากาศ/ปริมาตรน้ำหมัก/นาที ได้แสดงผลไว้ในรูปที่ 4-31 ถึง 4-35 และตารางที่ 4-24 ในภาคผนวก 4

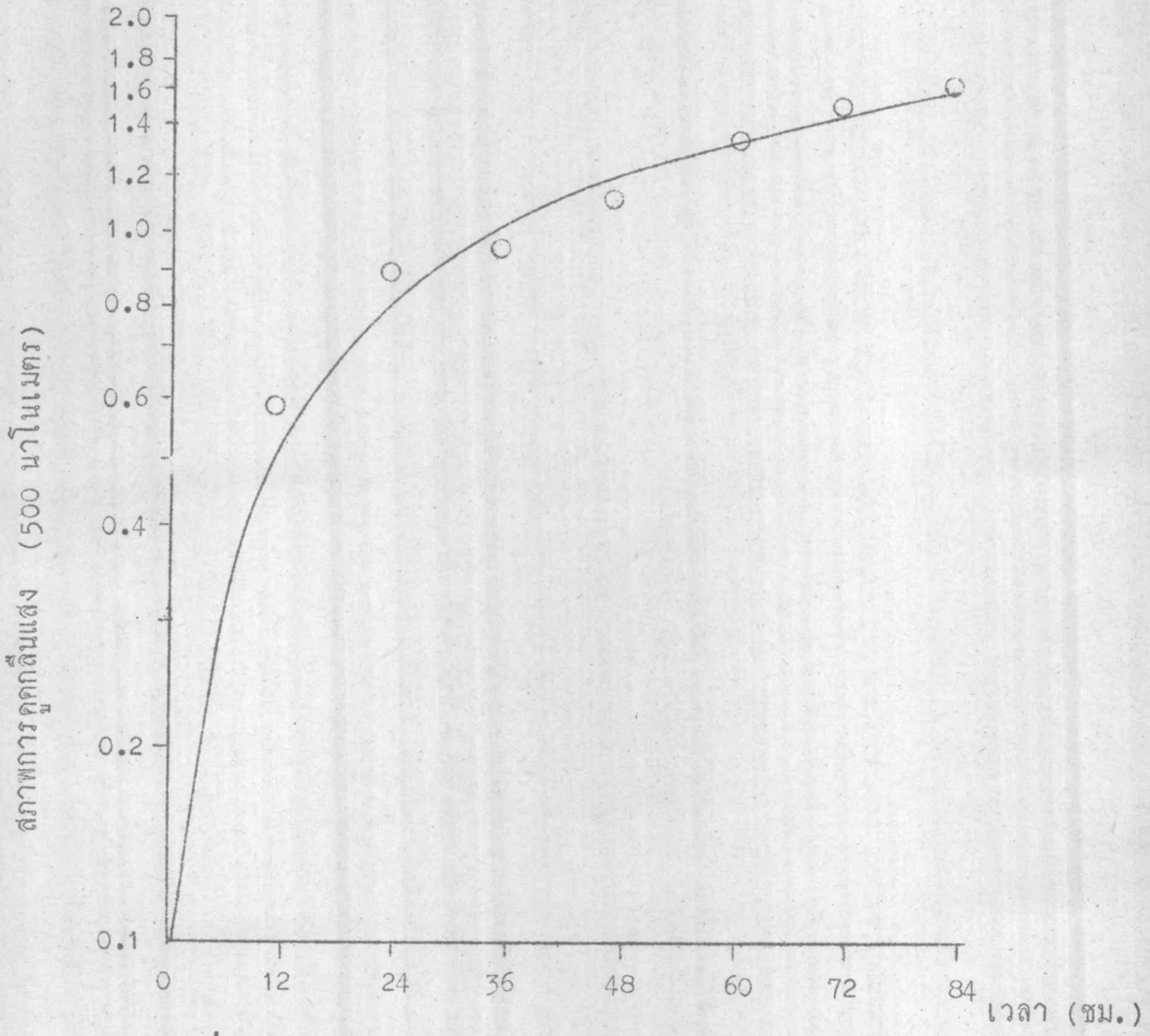
จากรูปที่ 4-27 ถึง 4-32 จะเห็นว่าไม่ว่าให้อากาศในอัตรา 0.2, 0.5 และ 1.0 ปริมาตรอากาศ/ปริมาตรน้ำหมัก/นาที ค่าของความเข้มข้นเซลล์ ปริมาณกรดอะซีติกที่ได้ และปริมาณการใช้เอทานอลจะมีความสัมพันธ์เป็นสัดส่วนตรงกัน จากรูปที่ 4-33 ถึง 4-35 ได้ผลว่าที่อัตราการให้อากาศ 0.5 ปริมาตรอากาศ/ปริมาตรน้ำหมัก/นาที จะให้ผลดีที่สุดคือ ความเข้มข้นของเซลล์จากสภาพการดูดกลืนแสงมีค่า 1.58 ปริมาณกรดอะซีติกได้ 2.88 % น้ำหมักต่อปริมาตรและปริมาณการใช้เอทานอล 91.52% ในเวลา 84 ชั่วโมง ส่วนการให้อากาศที่อัตรา 1.0 ปริมาตรอากาศ/ปริมาตรน้ำหมัก/นาที จะใช้ผลรองลงไปคือ ได้ปริมาณกรดอะซีติก 2.13 % ปริมาณการใช้เอทานอล 86.76% ในเวลาที่เท่า ๆ กัน



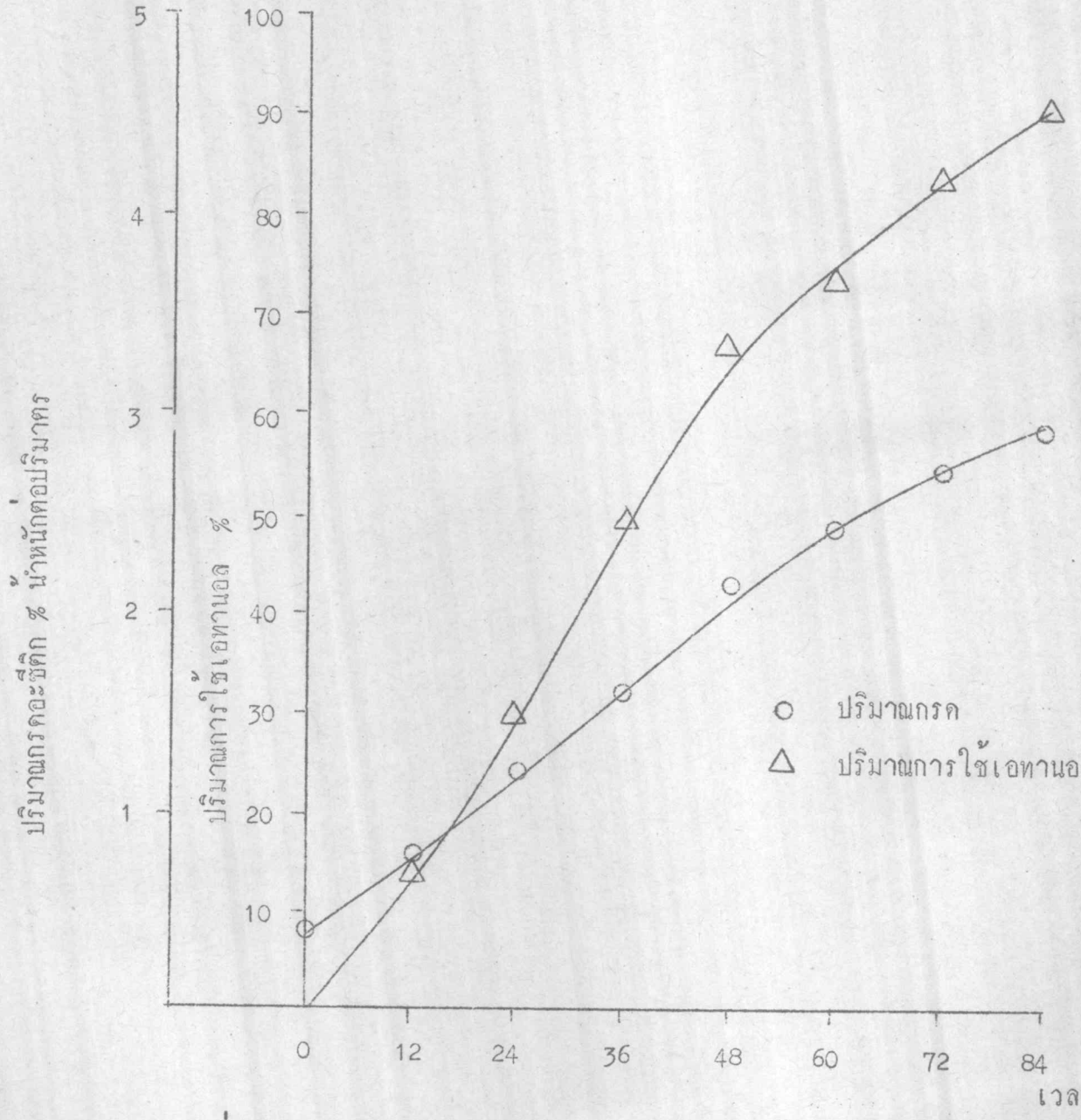
รูปที่ 4-27 แสดงความเข้มข้นของเซลล์วัดจากสภาพการดูดกลืนแสงในการเจริญเติบโตของเชื้อ A. aceti ในการผลิตกรดอะซีติกจากน้ำหมักจากน้ำสับปะรดที่มีเอทานอล 6.0 % เมื่อให้อากาศในอัตรา 0.2 ปริมาตรอากาศ/ปริมาตรน้ำหมัก/นาที ผ่านหัวกระจายอากาศแบบตะแกรงโลหะ



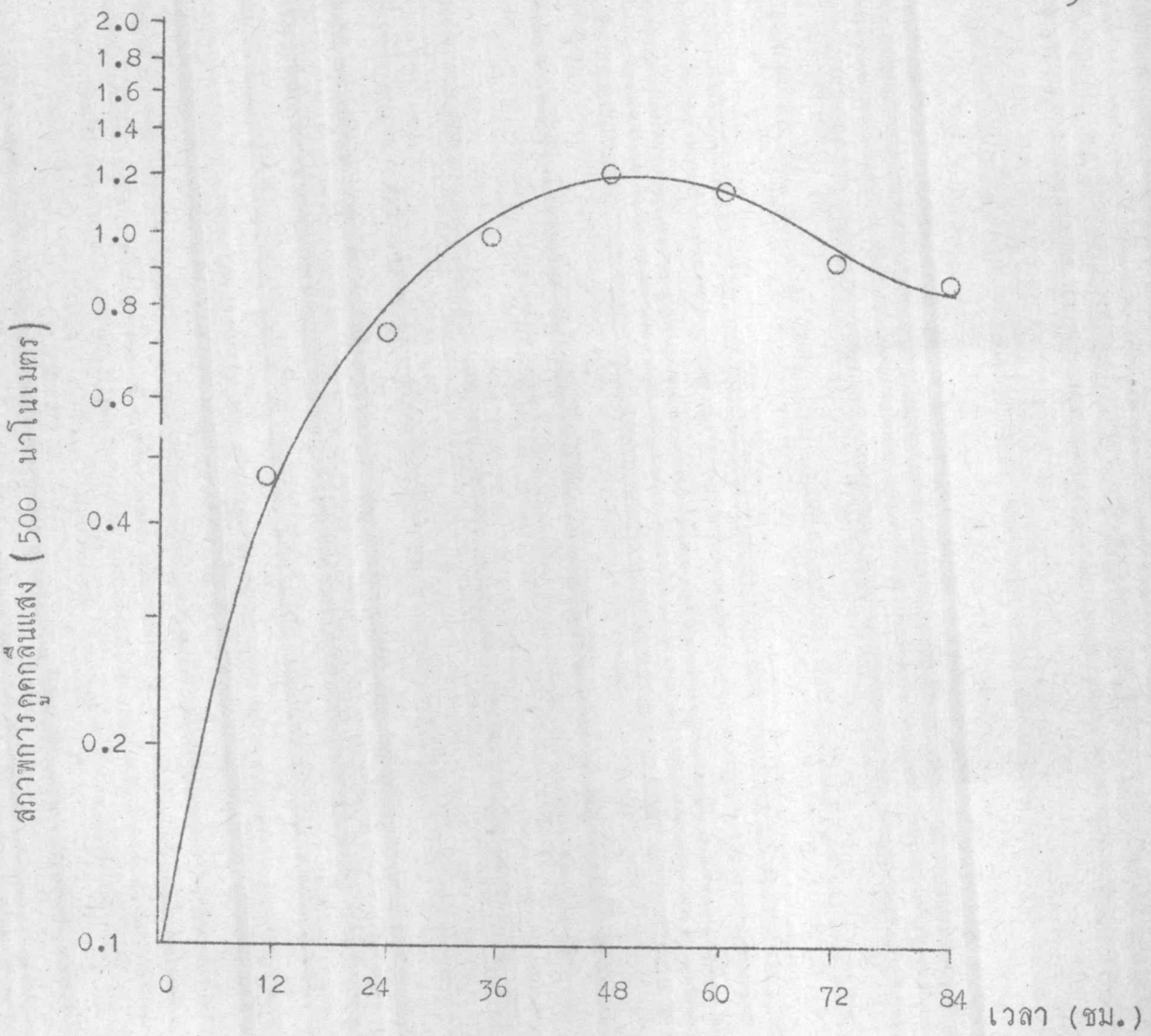
รูปที่ 4-28 แสดงปริมาณกรดอะซีติกและปริมาณการใช้เอทานอล ในการผลิตกรดอะซีติกจากน้ำหมักจากน้ำสับปะรดที่มีเอทานอล 6.0 % โดยใช้เชื้อ A. aceti อัตราการให้อากาศ 0.2 ปริมาตรอากาศ/ปริมาตรน้ำหมัก/นาที ผ่านอากาศเข้าหัวกระจายอากาศแบบตะแกรงโลหะ



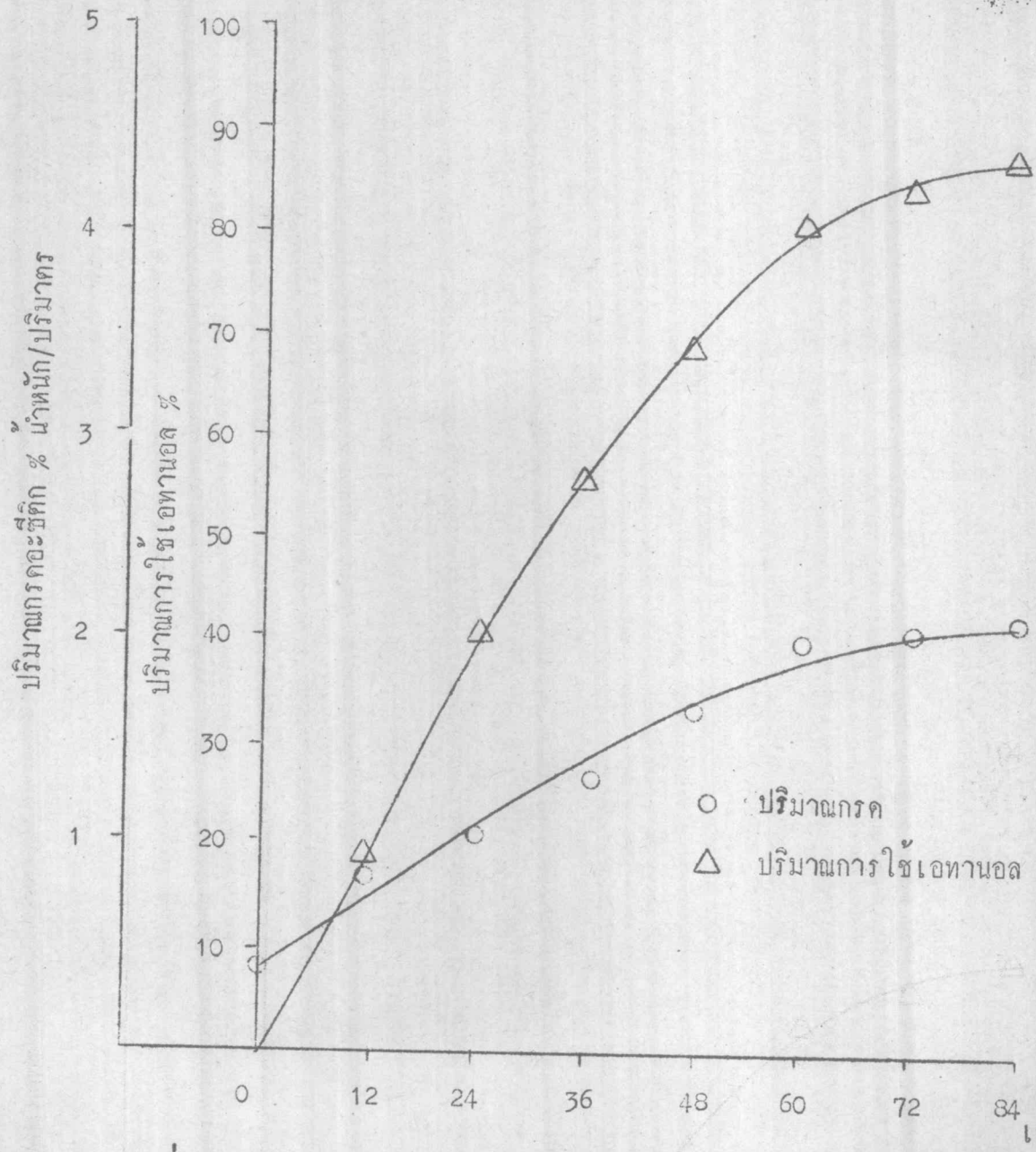
รูปที่ 4-29 แสดงความเข้มข้นของเซลล์วัดจากสภาพการดูดกลืนแสงในการเจริญเติบโตของเชื้อ A. aceti ในการผลิตกรดอะซีติกจากน้ำหมักจากน้ำสับปะรดที่มีเอทานอล 6.0 % เมื่อให้อากาศในอัตรา 0.5 ปริมาตรอากาศ/ปริมาตรน้ำหมัก/นาที ผ่านหัวกระจายอากาศแบบตะแกรงโลหะ



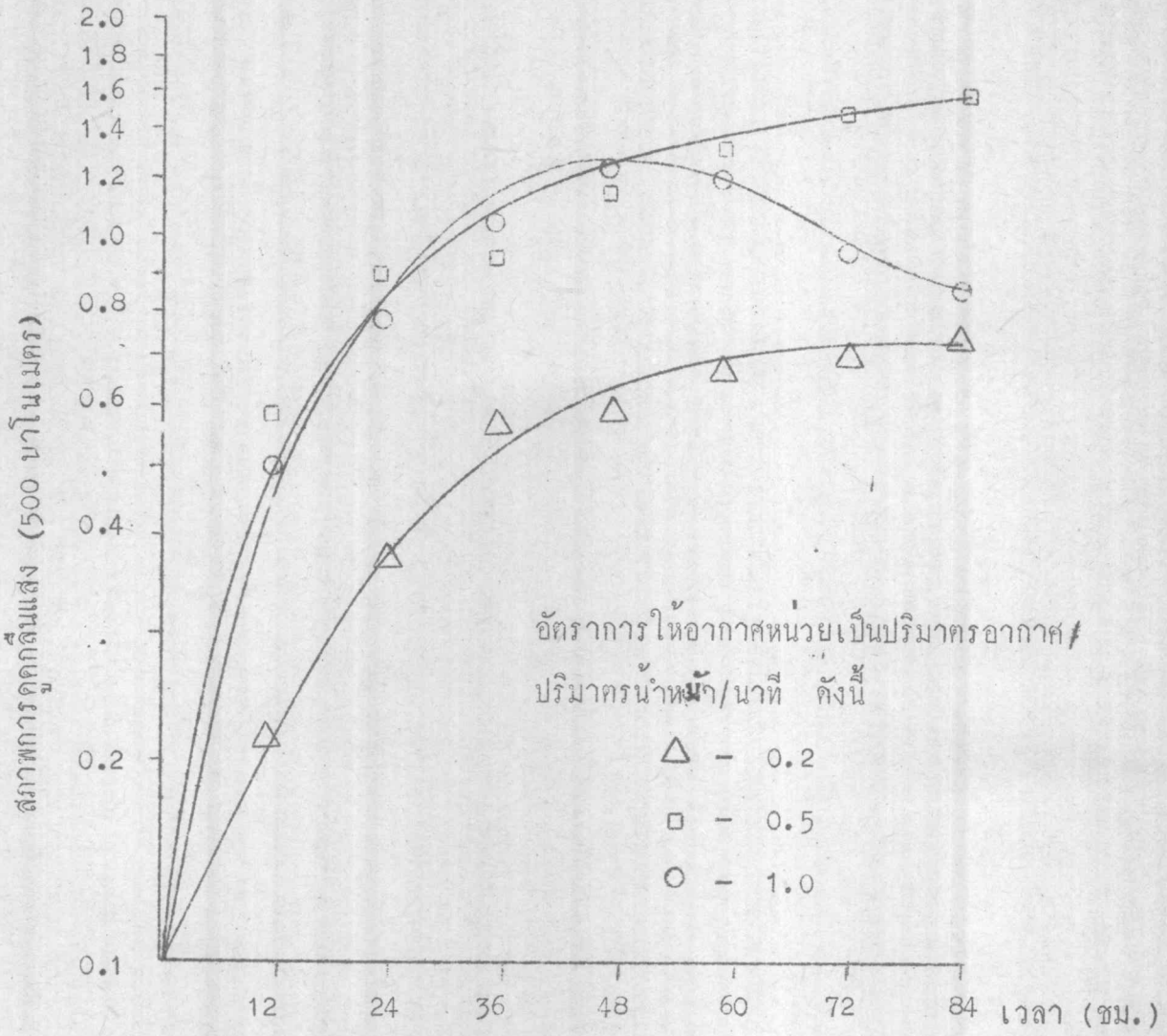
รูปที่ 4-30 แสดงปริมาณกรดอะซีติกและปริมาณการใช้**เอทานอล** ในการผลิตกรดอะซีติกจากน้ำหนักจากน้ำสับปะรดที่มีเอทานอล 6.0 % โดยใช้เชื้อ A. aceti อัตราการให้อากาศ 0.5 ปริมาตรอากาศ/ปริมาณน้ำหมัก/นาที ผ่านอากาศเข้าหัวกระจายแบบตะแกรงโลหะ



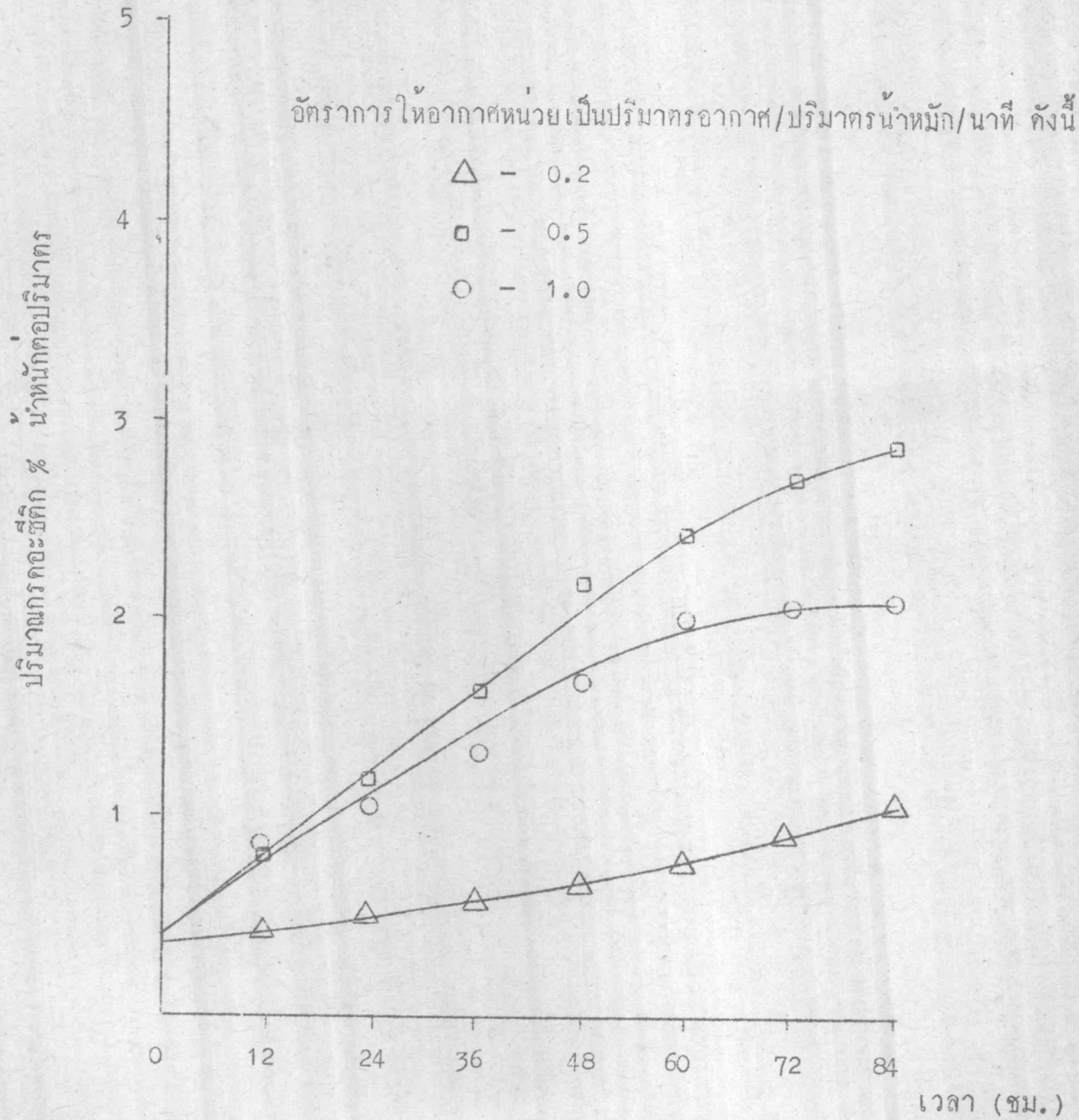
รูปที่ 4-31 แสดงความเข้มข้นของเซลล์วัดจากสภาพการดูดกลืนแสง ในการเจริญเติบโตของเชื้อ A. aceti ในการผลิตกรดอะซีติกจากน้ำหมักจากน้ำสับปะรดที่มีเอทานอล 6.0 % เมื่อให้อากาศในอัตรา 1.0 ปริมาตรอากาศ/ปริมาตรน้ำหมัก/นาที ผ่านหัวกระจายอากาศแบบตะแกรงโลหะ



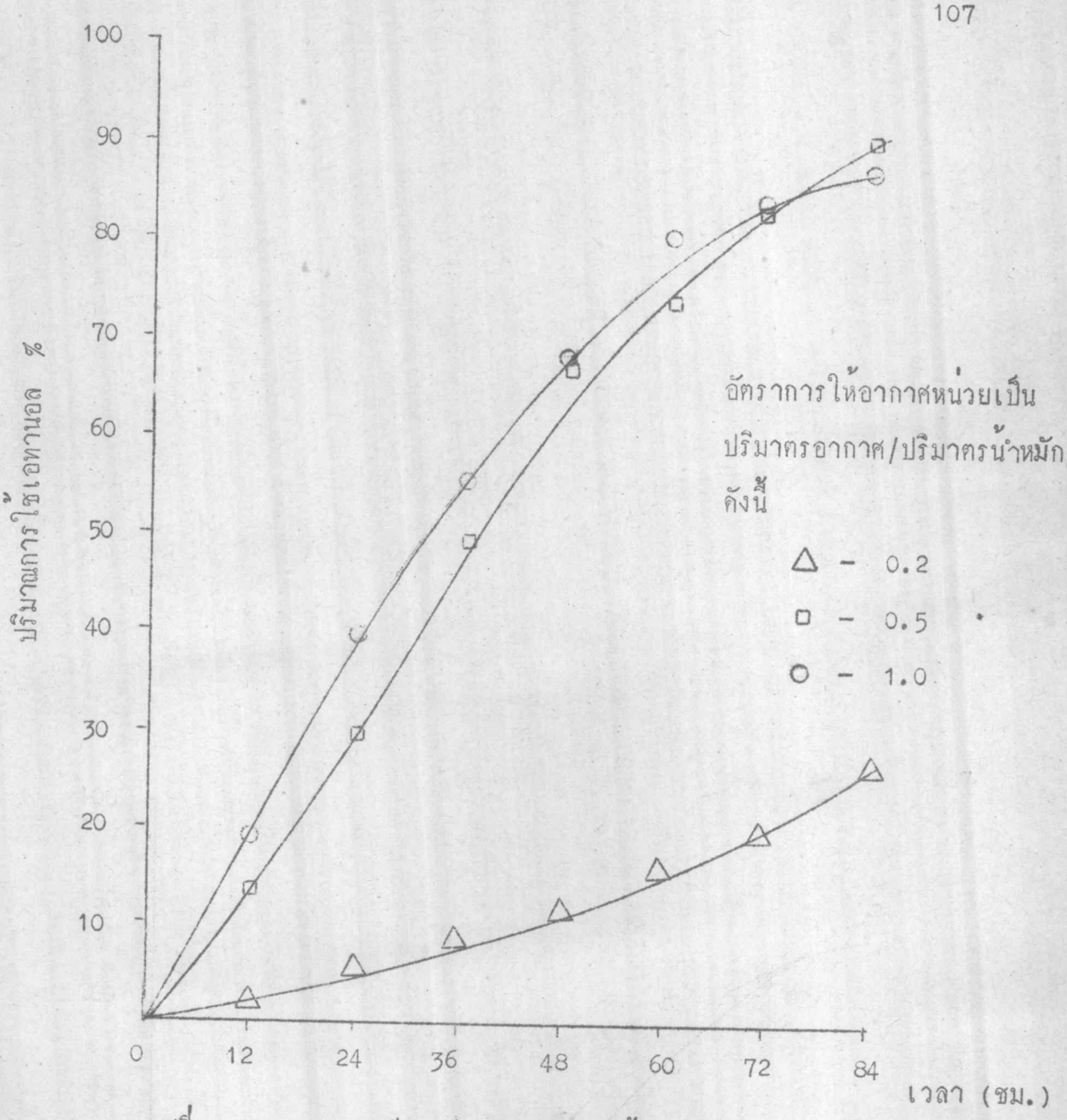
รูปที่ 4-32 แสดงปริมาณกรดอะซีติกและปริมาณการใช้เอทานอล ในการผลิตกรดอะซีติกจากน้ำหมักจากน้ำสับปะรดที่มีเอทานอล 6.0 % โดยใช้เชื้อ A. aceti อัตราการให้อากาศ 1.0 ปริมาตรอากาศ/ปริมาตรน้ำหมัก/นาที ผ่านอากาศเข้าหัวกระจายแบบตะแกรงโลหะ



รูปที่ 4.33 แสดงเปรียบเทียบความเข้มข้นของเซลล์ วัดจากสภาพการดูดกลืนแสง ในการผลิตกรดอะซีติกจากน้ำหมักจากน้ำสับปะรดที่มีเอทานอล 6.0 % โดยใช้เชื้อ A. aceti ได้ให้อากาศผ่านหัวกระจายอากาศแบบตะแกรงโลหะด้วยอัตราต่าง ๆ กัน



รูปที่ 4-34 แสดงเปรียบเทียบปริมาณกรดอะซีติก ในการผลิตกรดอะซีติกจากน้ำหมักจากสับปะรดที่มีเอทานอล 6.0 % โดยใช้เชื้อ A. aceti ได้ให้อากาศผ่านหัวกระจายอากาศแบบตะแกรงโลหะ ด้วยอัตราต่าง ๆ กัน



รูปที่ 4-35 แสดงเปรียบเทียบปริมาณการใช้เอทานอล ในการผลิตกรดอะซีติก จากน้ำหมักจากน้ำสับปะรดที่มีเอทานอล 6.0% โดยใช้เชื้อ A. aceti ได้ให้อากาศผ่านหัวกระจายอากาศแบบตะแกรงโลหะด้วยอัตราต่าง ๆ กัน