# บทที่ 6

## วิจารณ์ผลการทดลอง

### 6.1 อิทธิพลของระยะเวลาในการหมักและปริมาณของแข็งทั้งหมดต่อการเกิดก๊าซชีวภาพ

#### 6.1.1 ถังหมักแบบกวน

จากผลการวิจัยนี้ แสดงว่าฝุ่นข้าวสามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบ ในการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน (anaerobic digestion) และให้ก๊าซชีวภาพได้ ในการหมักแบบเติมครั้งเดียวเพื่อหาสภาวะของภาระสารอินทรีย์ (total solid) ที่เหมาะสมต่อการหมัก โดยทดลองเพิ่มภาระสารอินทรีย์จากร้อยละ 10, 15, 20 และ 25 ของของแข็งทั้งหมดพบว่า ที่ภาระสารอินทรีย์ร้อยละ 25 ค่า specific growth rate ซึ่งหาได้จากค่า slope ของกราฟเส้นตรงระหว่างค่าของ ln ก๊าซสะสมและระยะเวลา (รูปที่ 5.1ข) ในการหมักมีค่าลดลง ทั้งนี้เนื่องจากของหมักที่สภาวะนี้มีความหนืดมาก ค่า pH ค่อนข้างต่ำ เมื่อแบคทีเรียที่ผลิตกรดใช้สารอาหารเหล่านี้ จะให้กรดอินทรีย์ระเหยง่ายออกมา มีผลให้ pH ของระบบหมักลดลงไปอีก สภาวะเช่นนี้ทำให้ แบคทีเรียที่สร้างก๊าซมีเธนไม่สามารถเจริญเติบโตได้

เมื่อทดลองหมักแบบกึ่งต่อเนื่อง (semi-continuous) เพื่อเปรียบเทียบหาระยะเวลากำจัดที่เหมาะสม โดยคงค่าภาระสารอินทรีย์ให้เท่ากับร้อยละ 10, 15 และ 20 ปรากฏว่าที่ภาระสารอินทรีย์ร้อยละ 15 และ 20 เมื่อทดลองไปได้ชั่วระยะเวลาหนึ่ง ปริมาณก๊าซจะลดลงเรื่อย ๆ เกิดตะกอนในถังหมักเพิ่มมากขึ้น จนไม่สามารถดึงตะกอนออกจากถังหมักได้ และในที่สุดไม่เกิดก๊าซ สำหรับที่ภาระสารอินทรีย์ร้อยละ 10 ได้ทดลองลดระยะเวลากำจัดลงจาก 21.4, 15, 10 และ 7.5 วัน ปรากฏว่าที่ระยะเวลากำจัด 10 วันเกิดก๊าซมากที่สุด เมื่อลดระยะเวลากำจัดลงไปถึง 7.5 วัน อัตราการเกิดก๊าซจะลดลง (รูปที่ 6.1) แสดงให้เห็นว่า อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพจะเพิ่มขึ้นตามอัตราการเติม จนถึงจุดสูงสุดจากนั้นจะลดต่ำลง ถึงแม้ว่าจะเพิ่มอัตราการเติมให้มากกว่านี้ ดังนั้นในการออกแบบถังหมักเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพให้มีประสิทธิภาพสูงสุด จึงควรเลือกอัตราการเติมที่ 1.5 ลิตร/วัน ซึ่งตรงกับอัตราการเติมสารอินทรีย์ 1.14 กก.ของของแข็งทั้งหมด/ลบ.ม.-วัน ระยะเวลากำจัด 10 วัน

6.1.2 ถังหมักแบบปลั๊กโฟล

การหมักโดยป้อนสารอาหาร แบบกึ่งต่อเนื่อง และผสมตะกอนแบคทีเรีย (recycle) ลงไปในสารอาหารจะให้ปริมาณก๊าซสูงกว่า ในกรณีที่ไม่เติมตะกอนแบคทีเรีย (non-recycle) ทั้งนี้เนื่องจากในช่วงตอนต้นของถังหมัก จะมีแบคทีเรียที่ผลิตกรดเท่านั้นที่สามารถเจริญเติบโตได้ ส่วนแบคทีเรียที่ผลิตก๊าซมีเธนต้องใช้ระยะเวลาเพื่อให้สภาวะแวดล้อมเหมาะสมจึงจะเจริญเติบโต ซึ่งดูเสมือนว่ามันจะเริ่มเจริญเติบโตได้ในช่วงตอนกลางของถังหมัก และเพิ่มปริมาณมากขึ้นในตอนท้ายของถังหมัก ดังนั้นเมื่อสารอาหารถูกเติมลงสู่ถังหมัก จะมีแบคทีเรียที่สร้างก๊าซมีเธนบางส่วนไหลออกจากถังหมัก จึงทำให้ปริมาณแบคทีเรียพวกนี้ลดลง การผสมตะกอนแบคทีเรียที่ไหลออกจากถังหมักไปในสารอาหารที่จะเติมลงสู่ถังหมักจึงเป็นการช่วยเพิ่มปริมาณแบคทีเรียชนิดนี้ และยังช่วยเลื่อนระยะเวลาในการเจริญเติบโตให้เร็วขึ้น ทำให้แบคทีเรียอยู่ในถังหมักได้นานขึ้น อัตราการผลิตก๊าซจึงสูงกว่า

การลดระยะเวลากำจัดโดยคงค่าภาระสารอินทรีย์ให้คงที่ ร้อยละ 10 ของปริมาณของแข็งทั้งหมด พบว่าที่ระยะเวลากำจัดเท่ากับ 25.7 วัน จะให้อัตราผลิตก๊าซสูงสุด และเมื่อเพิ่มภาระสารอินทรีย์ขึ้นไปอีกเป็นร้อยละ 15, 20, 25 และ 30 ของปริมาณของของแข็งทั้งหมด ปรากฏว่าจะให้อัตราการผลิตก๊าซสูงสุดที่ระยะเวลากำจัด 25.7 วัน เช่นเดียวกัน (รูปที่ 6.2) จึงดูเสมือนว่าแบคทีเรียที่สามารถย่อยสลายฝุ่นข้าวในสภาวะไร้ออกซิเจน ในระบบหมักแบบปลั๊กโฟลต้องใช้ระยะเวลา 25.7 วัน จึงจะเจริญเติบโตเต็มที่ ดังนั้นในการออกแบบถังหมักแบบปลั๊กโฟล เพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงสุด จึงควรเลือกอัตราการเติมให้มีระยะเวลากำจัด 25.7 วัน ประสิทธิภาพสูงสุดของการผลิตก๊าซที่อัตราการเติมสารอินทรีย์ต่าง ๆ เมื่อภาระสารอินทรีย์เปลี่ยนไป แสดงไว้ในรูปที่ 6.3 ก, ข, ค, ง และ จ

การเพิ่มภาระสารอินทรีย์ได้สูงสุดถึงร้อยละ 30 ของปริมาณของของแข็งทั้งหมดเป็นค่าสูงสุดที่ระบบหมักที่ได้ออกแบบไว้สำหรับการทดลองนี้สามารถรับได้ ระบบอาจจะสามารถรับภาระสารอินทรีย์ได้สูงกว่านี้ ซึ่งต้องมีการทดลองและแก้ไขระบบหมักเพิ่มเติมเพื่อให้ได้ข้อมูลที่แน่นอน

6.2 ผลการศึกษาทางจลน์ศาสตร์

ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารอาหารที่ออกจากถังหมัก และระยะเวลากำจัด แสดงในรูปที่ 5.7 จะเห็นได้ว่า ถึงแม้จะเพิ่มความเข้มข้นของสารอาหารที่ป้อนเข้าเท่าใดก็ตาม ระยะเวลากำจัดสูงสุดจะมีค่าเท่ากับ 25.7 วัน และไม่ว่าจะเพิ่มระยะเวลากำจัดมากกว่านี้ ค่าความเข้มข้นของสารอาหารที่ออกจากถังหมักแทบจะไม่แตกต่างกันเลย เมื่อนำข้อมูลความเข้มข้นของสารอาหารที่ออกจากถังหมัก และระยะเวลากำจัดมาทำ polynomial regression ได้สมการ

$$S = A + B/\theta + C/\theta_z$$

จากกราฟรูปที่ 5.7 และ สมการที่ 23 สามารถนำมาหาค่า kinetic coefficient ของการหมักในสภาวะที่ไร้ออกซิเจนในระบบหมักแบบปลั๊กโฟล จากตารางที่ 5i ค่า kinetic coefficient ที่ภาระสารอินทรีย์ในระดับต่าง ๆ จะมีค่าไม่แตกต่างกัน ทั้งนี้อาจเนื่องจาก

1. ปฏิกริยาการเกิดก๊าซมีเธนเป็น rate limiting step ของปฏิกริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้ออกซิเจน

2. แบคทีเรียที่ผลิตก๊าซมีเธน ใช้กรด acetic เพียงอย่างเดียวเป็น substrate ในการสร้างก๊าซมีเธน

สำหรับที่ภาระสารอินทรีย์ร้อยละ 25 และ 30 เนื่องจากการทดลองที่ระยะเวลากำจัด 8 วัน ล้มเหลว จึงมีข้อมูลเพียง 3 ค่า คือที่ 12.8, 25.7 และ 51.4 วัน จึงไม่เพียงพอที่จะทำ polynomial regression

6.3 เปรียบเทียบระบบหมักแบบปลั๊กโฟล แบบโดม และฝาลอย

6.3.1 ประสิทธิภาพการเกิดก๊าซ

ระบบหมักแบบปลั๊กโฟลให้อัตราการผลิตก๊าซมากกว่าแบบโดม และฝาลอย ประมาณ 20 เท่า

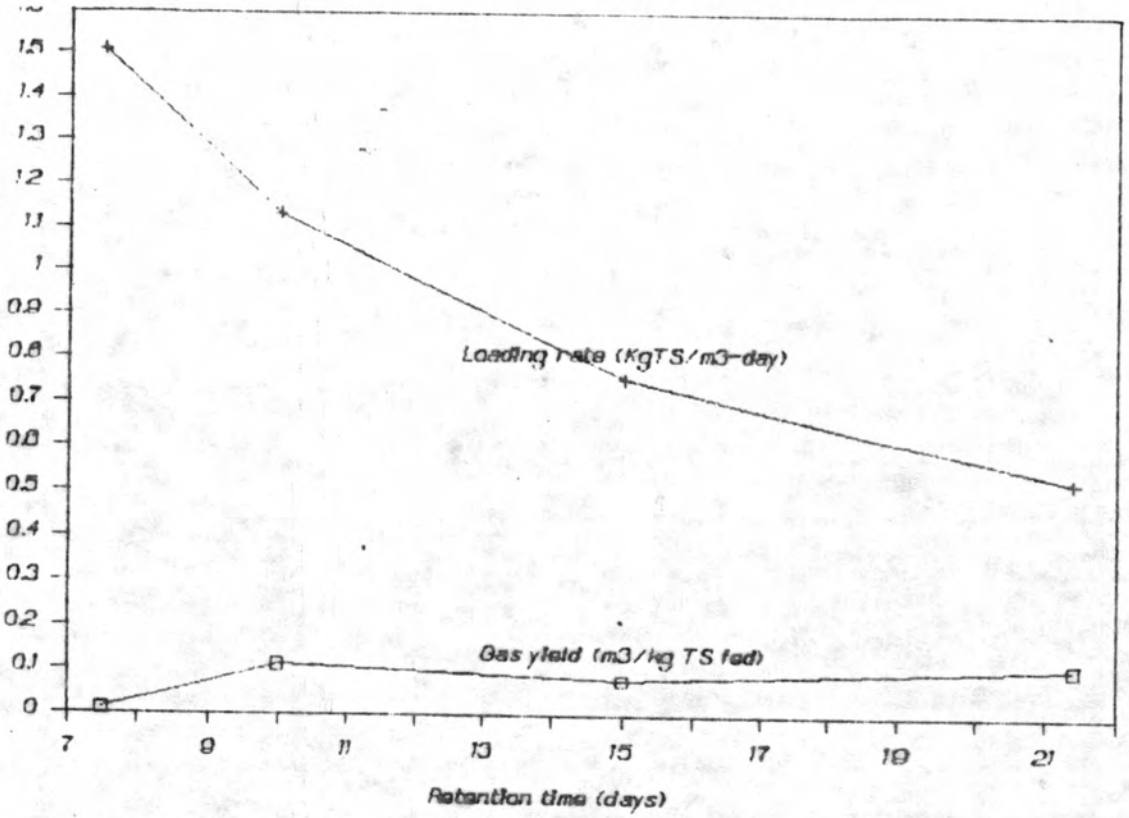
ระยะเวลากำจัดของระบบแบบปลั๊กโฟลเท่ากับ 25.7 วัน ที่ภาระสารอินทรีย์ร้อยละ 30 สำหรับระบบแบบโดม และฝาลอย ระยะเวลากำจัดเท่ากับ 10 วัน ที่ภาระสารอินทรีย์ร้อยละ 10

6.3.2 ผลการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์

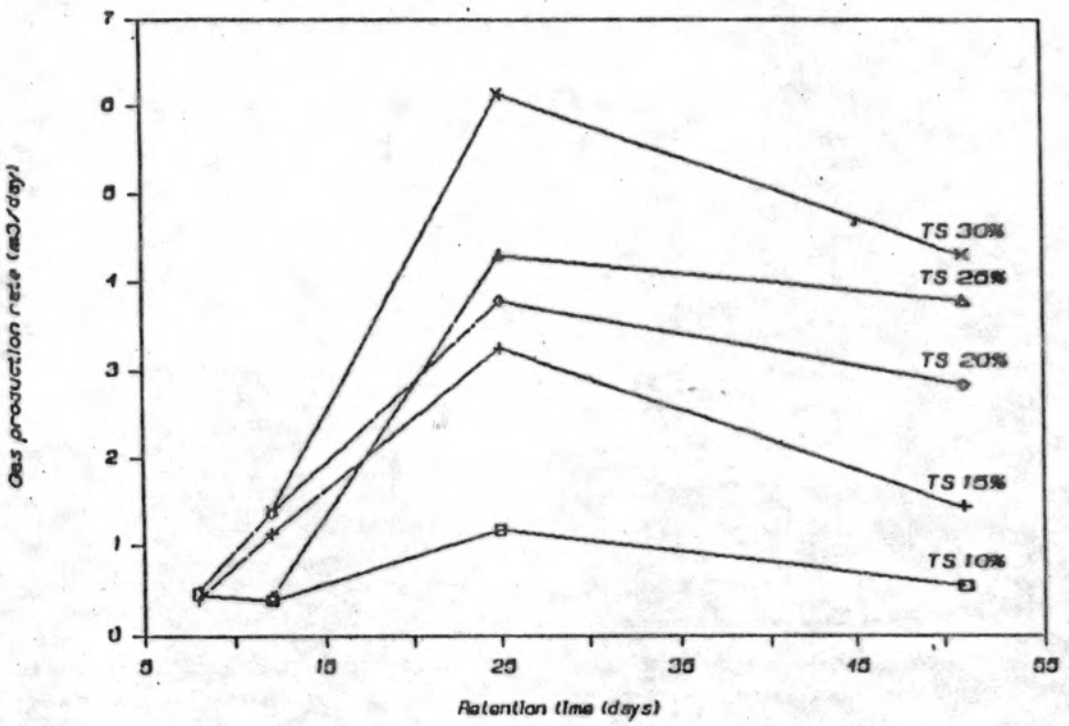
ผลการประเมินราคาค่าใช้จ่ายเบื้องต้นของการสร้างปรากฏว่า ราคาค่าก่อสร้างของระบบหมักแบบปลั๊กโฟลสูงกว่าประมาณร้อยละ 30 แต่เมื่อคิดค่าใช้จ่ายในการผลิตก๊าซต่อเดือนต่อครอบครัว จะเสียค่าใช้จ่ายเดือนละ 70 บาท ในขณะที่ระบบหมักแบบฝาลอยและแบบโดม เสียค่าใช้จ่ายเดือนละ 414 และ 90 บาท ตามลำดับ ดังนั้นระบบหมักแบบปลั๊กโฟล จึงมีความเหมาะสมที่จะก่อสร้างเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพมาใช้เป็นเชื้อเพลิงหุงต้มสำหรับชุมชนขนาด 10-15 ครอบครัว

การนำก๊าซชีวภาพไปใช้ทดแทนเชื้อเพลิงชนิดอื่น เช่น ไม้ฟืน ถ่านไม้ และ LPG เมื่อคิดค่าใช้จ่ายแล้วจะเห็นว่า การใช้ก๊าซชีวภาพจะเสียค่าใช้จ่ายถูกกว่าการใช้ถ่านไม้ และ LPG สำหรับไม้ฟืนนั้นปัจจุบันยังหาง่ายและมีราคาถูก การทดแทนด้วยก๊าซชีวภาพจึงยังไม่คุ้ม

อย่างไรก็ตาม เพื่อที่จะลดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างระบบหมักแบบปลั๊กโฟลอาจทำได้โดยหาวัสดุอื่นที่มีราคาถูกมาใช้แทน เช่น ผ้าใบ เป็นต้น

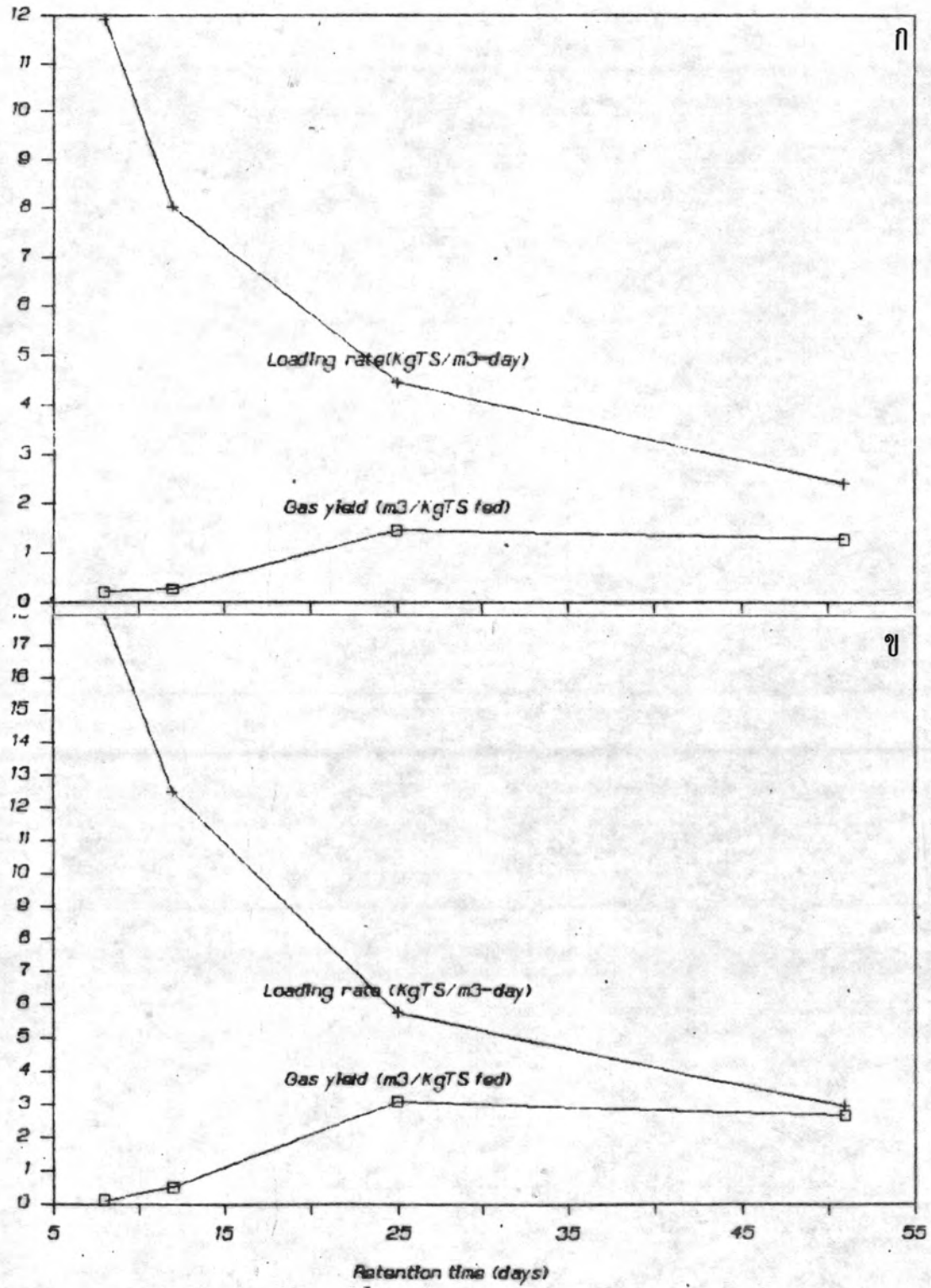



รูปที่ 6.1 แสดงประสิทธิภาพการผลิตก๊าซที่ระยะเวลากำจัดต่าง ๆ ในถังหมักแบบถังกวน




รูปที่ 6.2 แสดงประสิทธิภาพการผลิตก๊าซที่ระยะเวลากำจัดต่าง ๆ เมื่อภาระสารอินทรีย์เปลี่ยนไปในระบบหมักแบบปลั๊กโฟล

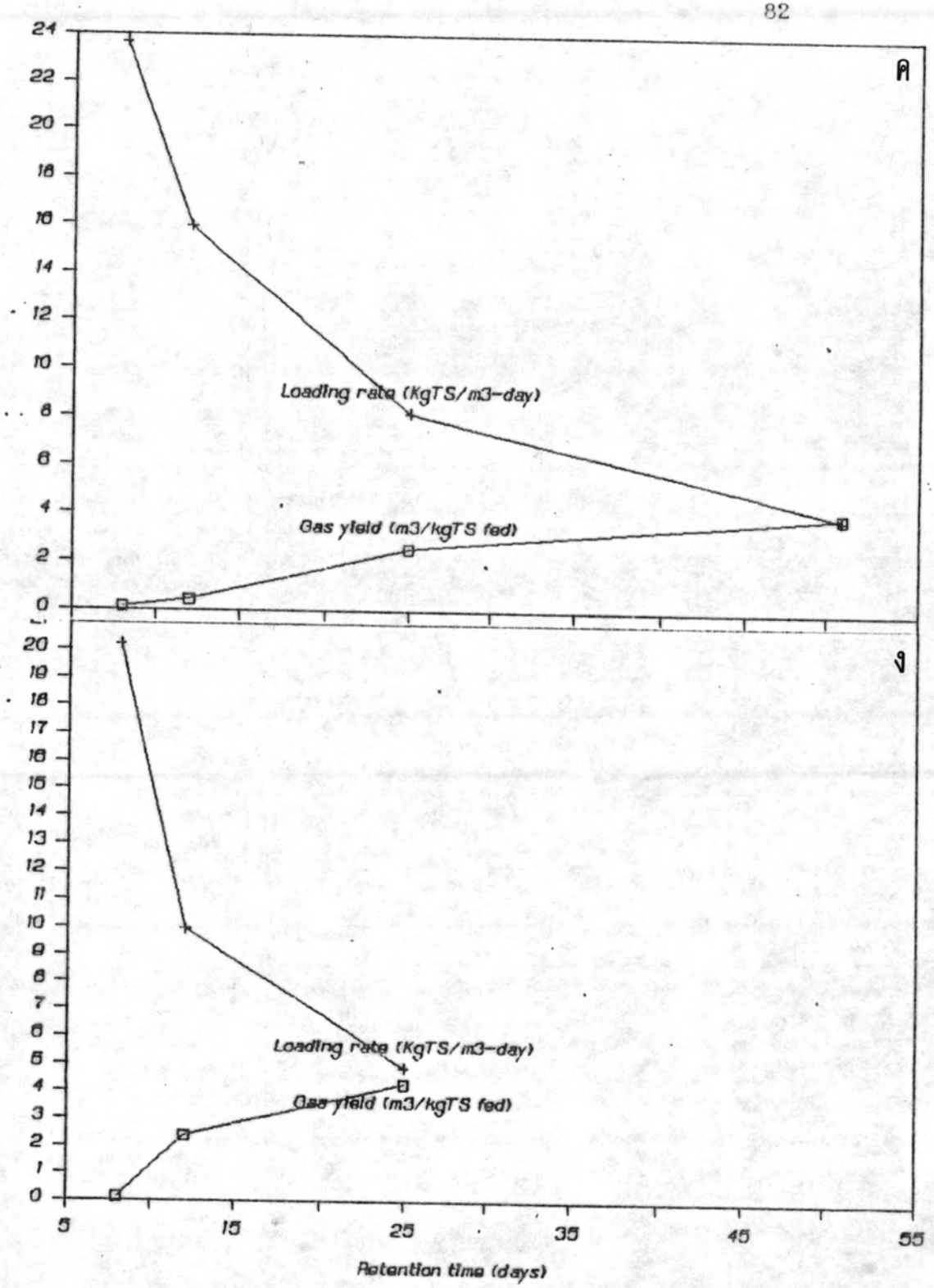
รูปที่ 6.3 แสดงประสิทธิภาพการผลิตก๊าซที่ระยะเวลากำจัดต่าง ๆ ในถังหมักแบบปลั๊กโฟล ที่ภาระสารอินทรีย์ ร้อยละ 10, 15, 20, 25 และ 30




รูปที่ 6.3 แสดงประสิทธิภาพการผลิตก๊าซที่ระยะเวลากำจัดต่าง ๆ ในถังหมักแบบปลักโฟล

ก. ที่ภาระสารอินทรีย์ ร้อยละ 10

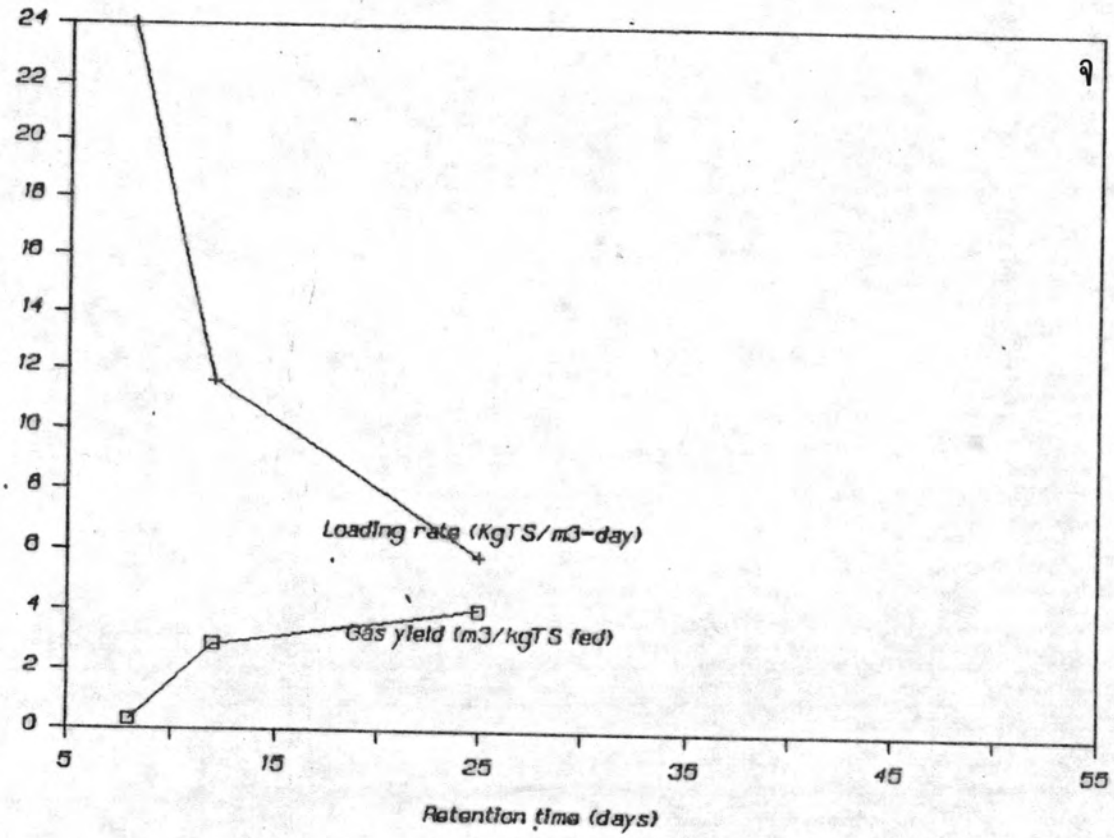
ข. ที่ภาระสารอินทรีย์ ร้อยละ 15




รูปที่ 6.3

ค. ที่การะสารอินทรีย์ ร้อยละ 20

ง. ที่การะสารอินทรีย์ ร้อยละ 25




รูปที่ 6.3

จ. ที่การะสารอินทรีย์ ร้อยละ 30