บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 การหมักเพื่อผลิตเซลลูโลสในภาวะนิ่ง

4.1.1 ศึกษาผลของค่าความเป็นกรด-ด่าง และ น้ำตาลทราย (%w/v) ที่เหมาะสม ต่อปริมาณเซลลูโลส

ในการทดลองนี้ ได้ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการผลิตวุ้นน้ำมะพร้าวโดยเลือก ค่าความเป็นกรด-ด่าง และ น้ำตาลทราย (%w/v) ทำโดยเลี้ยงเชื้อ *Acetobacter* sp.TISTR975 ในอาหารน้ำมะพร้าวที่แปรผันค่าความเป็นกรด-ด่าง และ น้ำตาลทราย (%w/v) ซึ่งเก็บแผ่นวุ้นน้ำมะพร้าวในวันที่ 8 มาวิเคราะห์ปริมาณเซลลูโลส (ภาคผนวก ข) ออกแบบการทดลองโดย Central Composite Design แบบ 2 ตัวแปร ดังตารางที่ 1 เมื่อนำค่าเฉลี่ยเซลลูโลสที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ผลทางสถิติเพื่อใช้เลือกภาวะของตัวแปรที่เหมาะสมโดยการนำค่าที่ศึกษา คือ ค่าความเป็นกรด-ด่าง และ น้ำตาลทราย (%w/v) ด้วยวิธี Multiple Regression Analysis ได้ผลดังตาราง ค.1 (ภาคผนวก ค) โดยเลือกเฉพาะค่าที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากนั้นเลือกภาวะที่เหมาะสมโดย Response Surface Methodology (RSM) จะได้ความสัมพันธ์ในรูปสมการ ดังนี้

$$Y = -9.796387 + 5.087447 X_1 + 1.345664 X_2 - 0.478352 X_1^2 - 0.074875 X_2^2 - 0.125 X_1 X_2 \quad \text{----------(1)}$$

$$R-sq = 0.7027$$

Y คือ เซลลูโลส (กรัม/ลิตร)

X_1 คือ ค่าความเป็นกรด-ด่าง

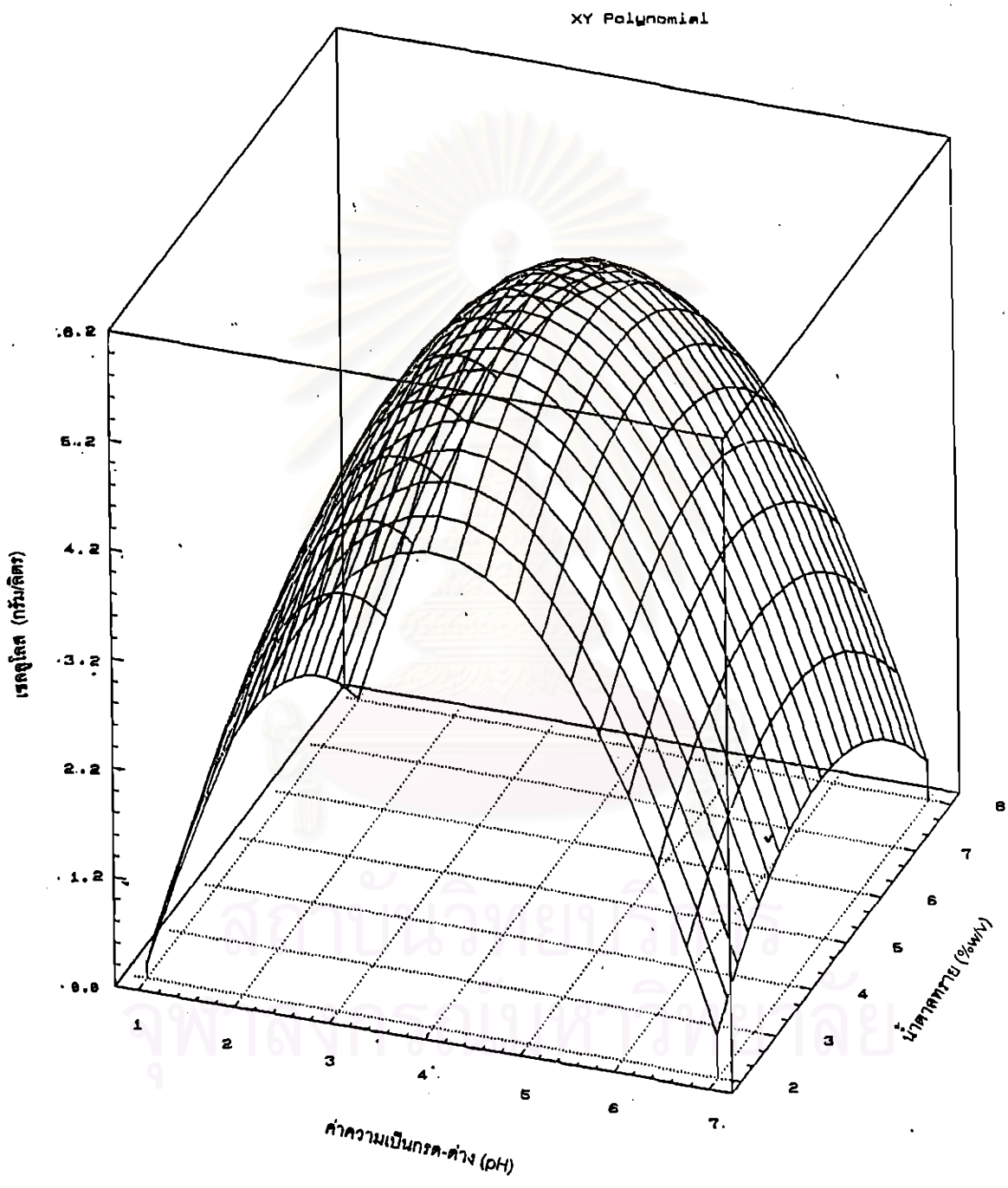
X_2 คือ น้ำตาลทราย (%w/v)

ตารางที่ 1 ปริมาณเซลลูโลสที่ได้จากการเลี้ยง *Acetobacter* sp. TISTR975 ที่แปรผันค่าความเป็นกรด-ด่าง และน้ำตาลทราย (%w/v) หลังการหมักนาน 8 วัน ที่อุณหภูมิห้อง ในการทดลองแบบ Central Composite Design

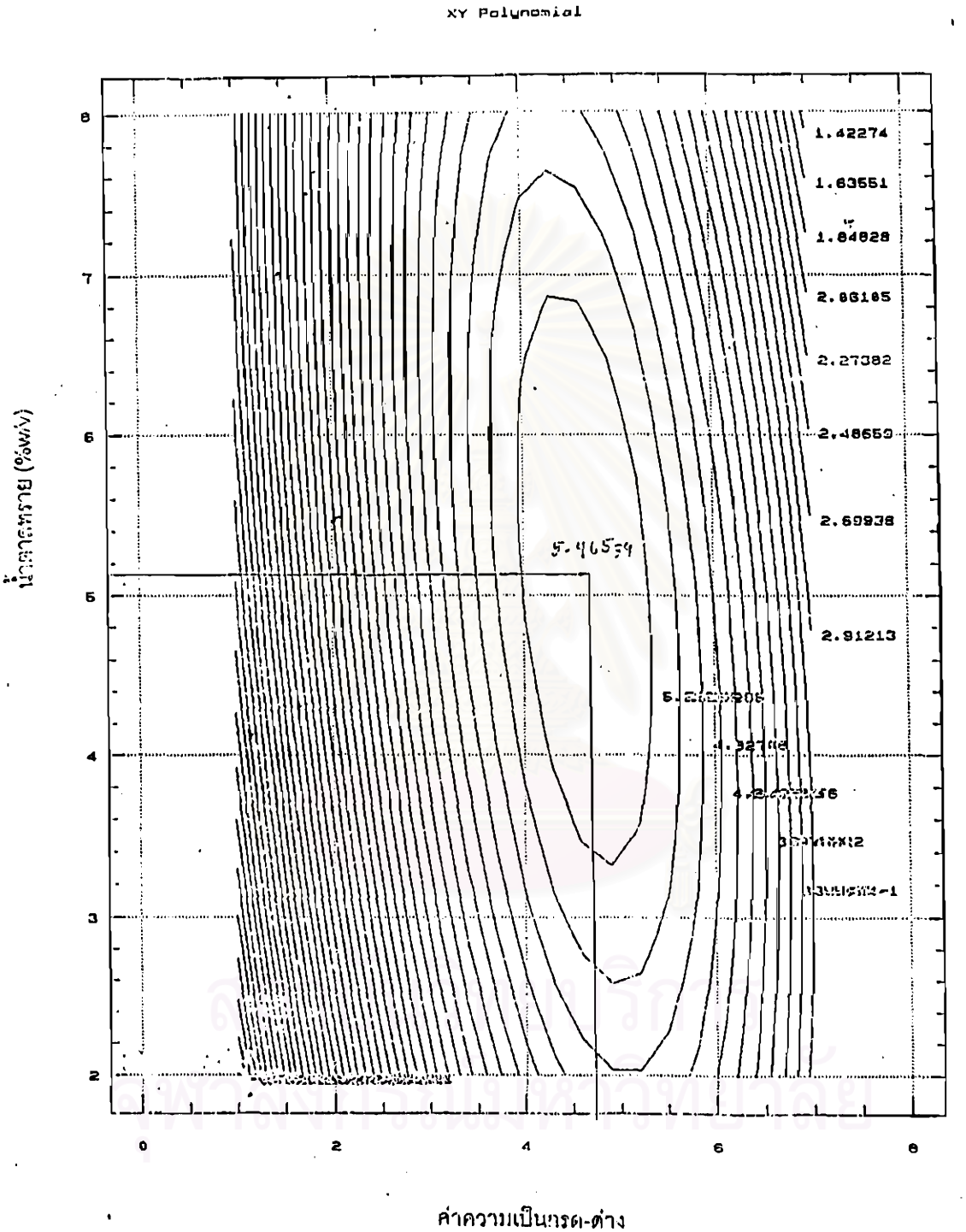
การทดลองที่	ค่าความเป็นกรด-ด่าง	น้ำตาลทราย (%w/v)	ปริมาณเซลลูโลสที่สร้างได้ (กรัม/ลิตร) ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
1	4	3	4.80±0.51
2	4	7	4.51±0.34
3	6	3	4.72±0.12
4	6	7	5.16±0.35
5	1.172	5	0
6	6.828	5	2.20±0.39
7	5	2.171	4.28±0.16
8	5	7.828	4.87±0.92
9	5	5	6.10±0.35
10	5	5	6.00±0.67
11	5	5	5.60±0.28
12	5	5	5.60±0.34
13	5	5	5.40±0.36

n = 39

จากนั้นเมื่อนำสมการที่ (1)ไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าความเป็นกรด-ด่าง และน้ำตาลทราย (%w/v) พบว่า ภาวะที่เหมาะสมคือจุดที่อยู่ลึกที่สุด ซึ่งในการผลิตให้เซลลูโลสสูงสุดระยะเวลานาน 8 วัน คือ นำน้ำมะพร้าวมาปรับ ค่าความเป็นกรด-ด่าง = 4.75 และ น้ำตาลทราย = 5.1%w/v ซึ่งให้เซลลูโลส 5.46539 กรัม/ลิตร ดังรูปที่ 8 และ 9 นอกจากนั้นจะเห็นว่า เมื่อเพิ่ม หรือลดค่าความเป็นกรด-ด่าง และน้ำตาลทรายให้น้อย หรือมากกว่าจุดที่เหมาะสม จะให้เซลลูโลสน้อยลง ดังนั้นจึงนำน้ำมะพร้าวมาปรับค่าความเป็นกรด-ด่างที่ 4.75 และเติมน้ำตาลทราย 5.1 %w/v สำหรับใช้ในการทดลองต่อไป



รูปที่ 8 กราฟสามมิติ(surface plot) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่าง และน้ำตาลทราย (%w/v) ต่อปริมาณเซลลูโลสที่สร้างได้ที่ภาวะนิ่ง ระยะเวลา 8 วัน



รูปที่ 9 กราฟสองมิติ (contour plot) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่าง และน้ำตาลทราย (%w/v) ต่อปริมาณเซลลูโลสที่สร้างได้ที่ภาวะนิ่ง ระยะเวลา 8 วัน

4.1.2 ศึกษาผลของความสูงของน้ำหมักจากก้นภาชนะบรรจุ และพื้นที่ผิวหน้าของภาชนะบรรจุ ที่เหมาะสม ต่อปริมาณเซลลูโลส

ทำการเลี้ยง *Acetobacter* sp. TISTR 975 ในอาหารน้ำมะพร้าวที่ปรับค่าความเป็นกรดด่างเริ่มต้น เท่ากับ 4.75 และเติมน้ำตาลทราย 5.1 %w/v โดยแปรผันความสูงของน้ำหมักจากก้นภาชนะ และ พื้นที่ผิวหน้าภาชนะบรรจุ เก็บแผ่นวุ้นน้ำมะพร้าวในวันที่ 8 มาวิเคราะห์ปริมาณเซลลูโลส (ภาคผนวก ข) ออกแบบการทดลองโดย Central Composite Design แบบ 2 ตัวแปร ผลการทดลองดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ปริมาณเซลลูโลสที่ได้จากการเลี้ยง *Acetobacter* sp. TISTR975 ที่แปรผันความสูงของน้ำหมักจากก้นภาชนะบรรจุ และพื้นที่ผิวหน้าภาชนะบรรจุหลังการหมัก 8 วัน ที่อุณหภูมิห้องในการทดลอง แบบ Central Composite Design

การทดลอง	ความสูงของน้ำหมักจากก้นภาชนะ (ซ.ม)	พื้นที่ผิวหน้าของภาชนะบรรจุ (ซ.ม)	ปริมาณเซลลูโลสที่สร้างได้ (กรัม/ลิตร) ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
1	1.5	114.66	2.25±0.93
2	1.5	216.0	5.56±0.39
3	3.5	114.66	3.80±0.89
4	3.5	216.0	5.39±0.33
5	1.086	165.33	3.40±0.28
6	3.914	165.33	3.75±0.14
7	2.5	93.7	2.12±0.33
8	2.5	237	6.06±0.12
9	2.5	165.33	5.67±0.35
10	2.5	165.33	5.76±0.59
11	2.5	165.33	6.1±0.15
12	2.5	165.33	6.01±0.11
13	2.5	165.33	5.58±0.93

เมื่อนำค่าเฉลี่ยเซลลูโลสที่ได้จากการทดลองในตารางที่ 2 มาวิเคราะห์ผลทางสถิติเพื่อใช้เลือกภาวะของตัวแปรที่เหมาะสมโดยการนำค่าที่ศึกษา คือ ความสูงของน้ำหมักจากก้นภาชนะและพื้นที่ผิวหน้าภาชนะบรรจุ ด้วยวิธี Multiple Regression Analysis ได้ผลดังตารางที่ ค.2 (ภาคผนวก ค) เลือกเฉพาะค่าที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากนั้นเลือกภาวะที่เหมาะสมโดย Response Surface Methodology จะได้ความสัมพันธ์ในรูปสมการ ดังนี้

$$Y = -11.731233 + 3.830596 X_1 + 0.10496 X_2 - 0.75879 X_1^2 - 0.000207 X_2^2 + 0.00296 X_1 X_2 \quad \text{----------(2)}$$

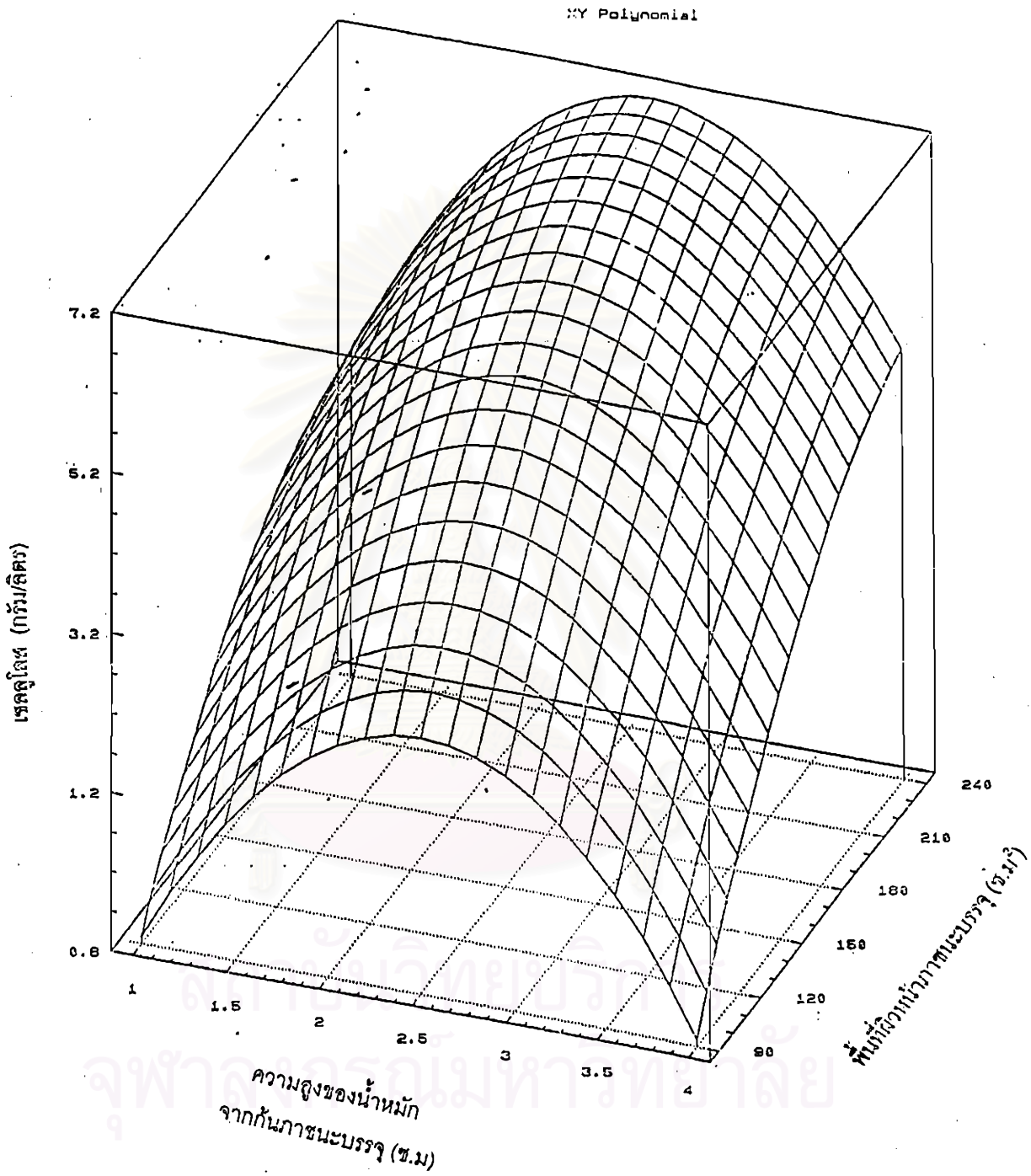
$$R-sq = 0.7214$$

Y คือ เซลลูโลส (กรัม/ลิตร)

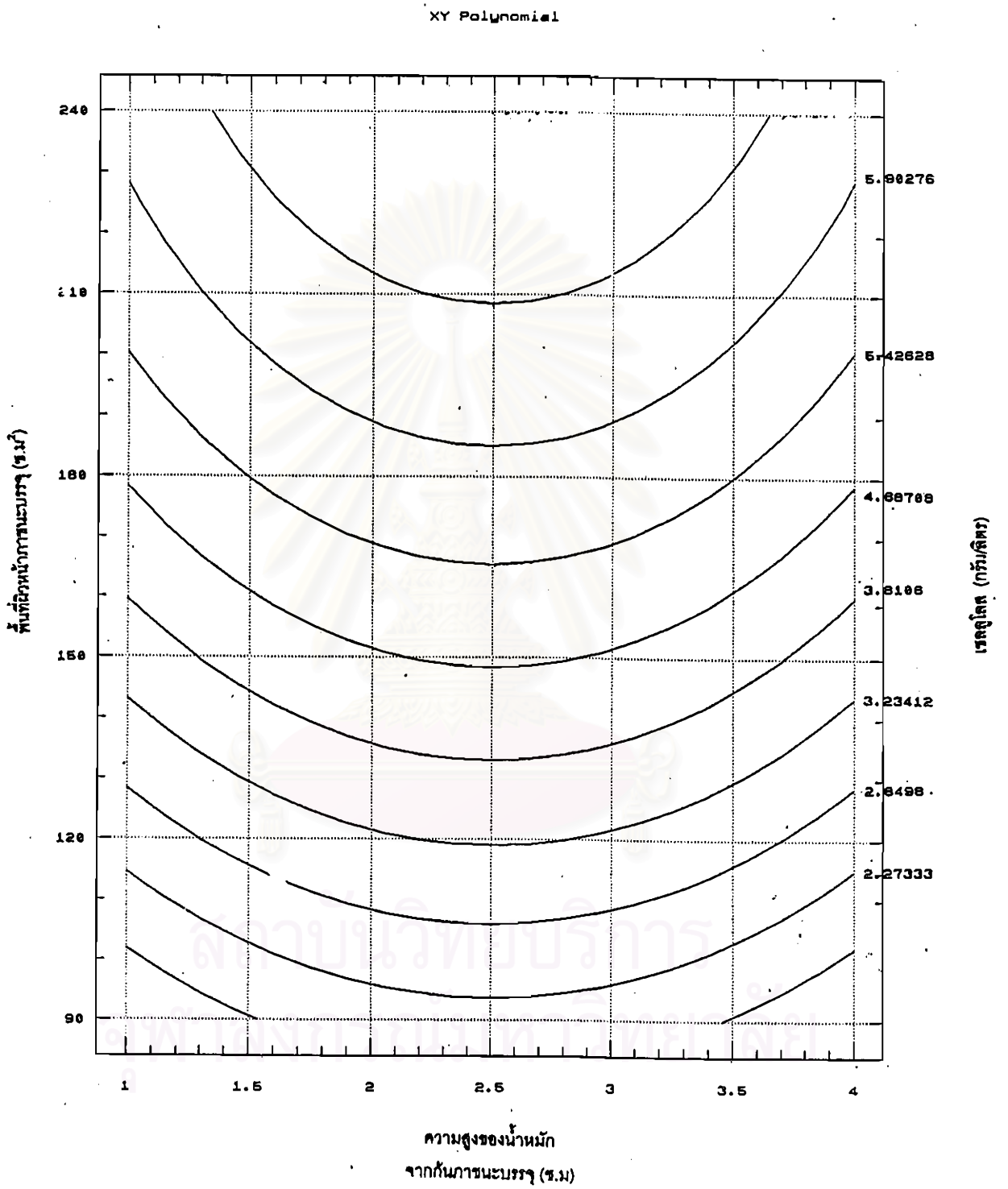
X_1 คือ ความสูงของน้ำหมักจากก้นภาชนะ

X_2 คือ พื้นที่ผิวหน้าภาชนะบรรจุ

จากนั้นเมื่อนำสมการที่ได้ไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ความสูงของน้ำหมักจากก้นภาชนะ และ พื้นที่ผิวหน้าภาชนะบรรจุ พบว่าเมื่อให้ค่าความสูงของน้ำหมักคงที่ แล้วเพิ่มพื้นที่ผิวหน้าภาชนะหมักให้มากขึ้นจะมีผลทำให้ปริมาณเซลลูโลสที่สร้างเพิ่มขึ้นตาม ขณะที่หากให้พื้นที่ผิวหน้าภาชนะคงที่ พบว่าถ้าเพิ่ม หรือลดความสูงของน้ำหมักให้มากกว่า 2.5 เซนติเมตร จะมีผลทำให้ปริมาณเซลลูโลสที่สร้างได้ลดลงตามไปด้วย (รูปที่ 10 และ 11) ดังนั้นภาวะที่เหมาะสมในการผลิตที่ให้เซลลูโลสสูงสุดระยะเวลานาน 8 วัน คือ นำน้ำมะพร้าวมาปรับ ค่าความเป็นกรด-ด่าง = 4.75 และ น้ำตาลทราย = 5.1%w/v (จากการทดลอง 3.1.1) โดยใส่น้ำมะพร้าวให้สูงจากก้นภาชนะ เท่ากับ 2.5 เซนติเมตร จากผลการทดลองถ้าคำนึงถึงจุดคุ้มทุน คือไม่เหลือน้ำหมักทิ้ง และความหนาที่จะนำไปใช้เป็นของหวาน จึงเลือกใช้ที่ความสูงของปริมาตรน้ำหมักจากก้นภาชนะ ที่ 2.5 เซนติเมตร ทำการทดลองต่อไป



รูปที่ 10 กราฟสามมิติ (surface plot) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของน้ำหมักจากก้นภาชนะบรรจุและพื้นที่ผิวหน้าภาชนะบรรจุ ต่อปริมาณเซลลูโลสที่สร้างได้ที่ภาวะนิ่ง ระยะเวลา 8 วัน



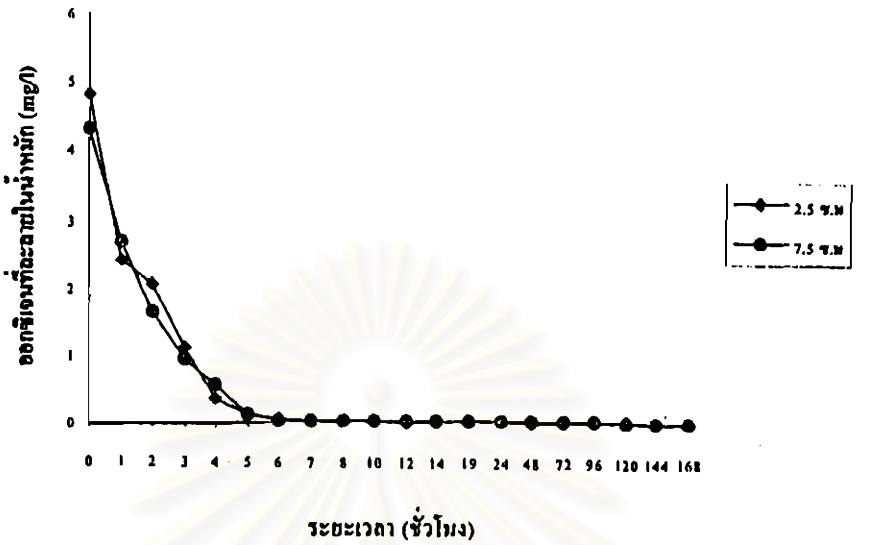
รูปที่ 11 กราฟสองมิติ (contour plot) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของน้ำหมักจากก้นภาชนะบรรจุและพื้นที่ผิวหน้าภาชนะบรรจุ ต่อปริมาณเซลลูโลสที่สร้างได้ที่ภาวะนิ่ง ระยะเวลา 8 วัน

4.1.3 ศึกษาผลของออกซิเจนที่ละลายในอาหารน้ำมะพร้าวในภาวะนิ่ง

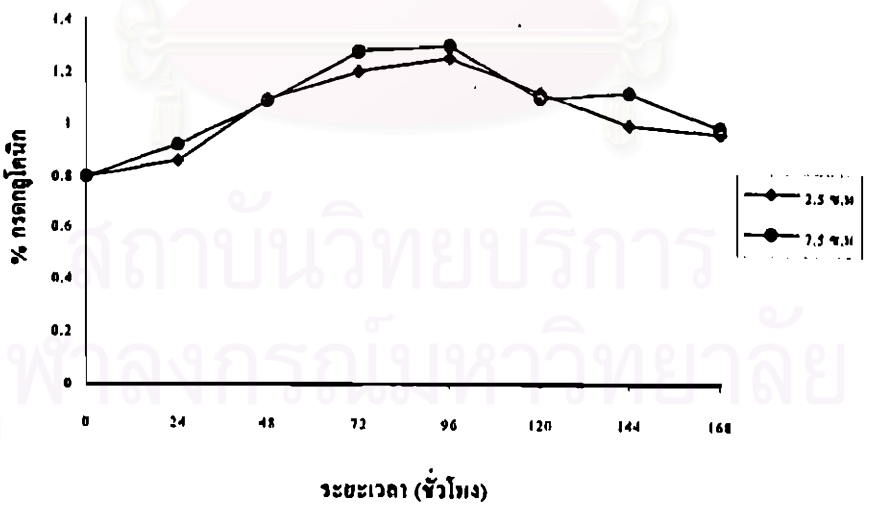
4.1.3.1 แปรผันปริมาตรอาหารน้ำมะพร้าวโดยให้พื้นที่ผิวหน้าภาชนะคงที่

เมื่อเลี้ยง *Acetobacter* sp. TISTR 975 ในอาหารน้ำมะพร้าวโดยใช้สูตรที่เหมาะสมจากข้อ 4.1.1 ใส่หัวเชื้อตั้งต้น 10 % v/v เลี้ยงในภาชนะพลาสติกที่มีพื้นที่ผิวหน้าภาชนะ 165.33 ตารางเซนติเมตร โดยใส่อาหารน้ำมะพร้าวสูงจากก้นภาชนะ 2.5 และ 7.5 เซนติเมตร ตรวจผลปริมาณเซลลูโลส , ออกซิเจนที่ละลายในอาหารน้ำมะพร้าว , กรดกลูโคนิก , ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่เหลือ และจำนวนเซลล์ที่มีชีวิตทั้งหมดในน้ำหมัก (ภาคผนวก ข) พบว่า เมื่อระยะเวลาผ่านไป 6 ชั่วโมง ปริมาณออกซิเจนที่ละลายลดลงจนเกือบถึงศูนย์ และคงที่ตลอดระยะเวลาการหมัก (รูปที่ 12ก) พร้อมกับจะสังเกตเห็นแผ่นวุ้นบางใสปิดที่ผิวหน้าอาหารเหลวของความสูงทั้งสอง นอกจากนี้พบว่ามีการเพิ่มของกรดกลูโคนิกในปริมาณใกล้เคียงกันคือ เพิ่มสูงสุดในชั่วโมงที่ 96 จากนั้นจะลดลงเหลือ 0.97 % (รูปที่ 12ข) ปริมาณเซลล์ที่มีชีวิตในน้ำหมักจะเพิ่มอย่างรวดเร็วในระยะ 2 วันแรกของการหมักคือ เพิ่มจาก 10^5 เป็น 10^6 เซลล์/มล. และเริ่มลดลงโดยที่ความสูงของน้ำหมักจากก้นภาชนะ 7.5 เซนติเมตร ในวันสุดท้ายจะมีปริมาณเซลล์มากกว่า คือ 42.8×10^5 เซลล์/มล. เนื่องจากในวันสุดท้ายจะเหลือน้ำหมักในภาชนะ ส่วนน้ำตาลรีดิวซ์ที่เหลือในอาหารหมักซึ่งจะลดลงอย่างสม่ำเสมอและใกล้เคียงกันซึ่งสอดคล้องกับการเจริญ (รูปที่ 12ค) ส่วนปริมาณเซลลูโลสที่สร้างได้จะเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอจนกระทั่งวันที่ 8 จะมีปริมาณเซลลูโลสที่ความสูงของน้ำหมักจากก้นภาชนะ 2.5 และ 7.5 เซนติเมตร เท่ากับ 5.82 และ 2.32 กรัม/ลิตร (รูปที่ 12ง) อย่างไรก็ตามความหนาของแผ่นวุ้นที่เพิ่มขึ้นเมื่อนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบทางสถิติพบว่าความหนาของแผ่นวุ้นที่ได้จากภาชนะทั้งสองไม่มีความแตกต่างกันในแต่ละวัน (รูปที่ 12จ)

เมื่อพิจารณาดูถึงปริมาณออกซิเจนที่ละลาย พบว่าปริมาตรอาหารน้ำมะพร้าวที่ต่างกันมีผลต่อปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักในตอนเริ่มต้น โดยเมื่อใส่อาหารน้ำมะพร้าวสูงจากก้นภาชนะ 2.5 และ 7.5 เซนติเมตรจะมีปริมาณออกซิเจนที่ละลาย เท่ากับ 4.81 และ 4.3 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ แต่เมื่อพิจารณาปริมาณเซลลูโลสที่สร้างในวันที่ 8 เท่ากับ 2.41 และ 2.80 กรัม (ตารางที่ 3) ซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์ผลทางสถิติ พบว่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ส่วนปริมาณเซลลูโลส (กรัม/ลิตร) พบว่าที่ความสูงของน้ำหมักจากก้นภาชนะ 2.5 เซนติเมตรให้ผลดีกว่าที่ความสูงของน้ำหมักจากก้นภาชนะ 7.5 เซนติเมตร ซึ่งเกิดจากที่ความสูงของน้ำหมักจากก้นภาชนะมีน้ำหมักเหลือ ดังนั้นการทดลองต่อไปจึงศึกษาพื้นที่ผิวหน้าภาชนะบรรจุที่มีผลต่อปริมาณออกซิเจนเริ่มต้น

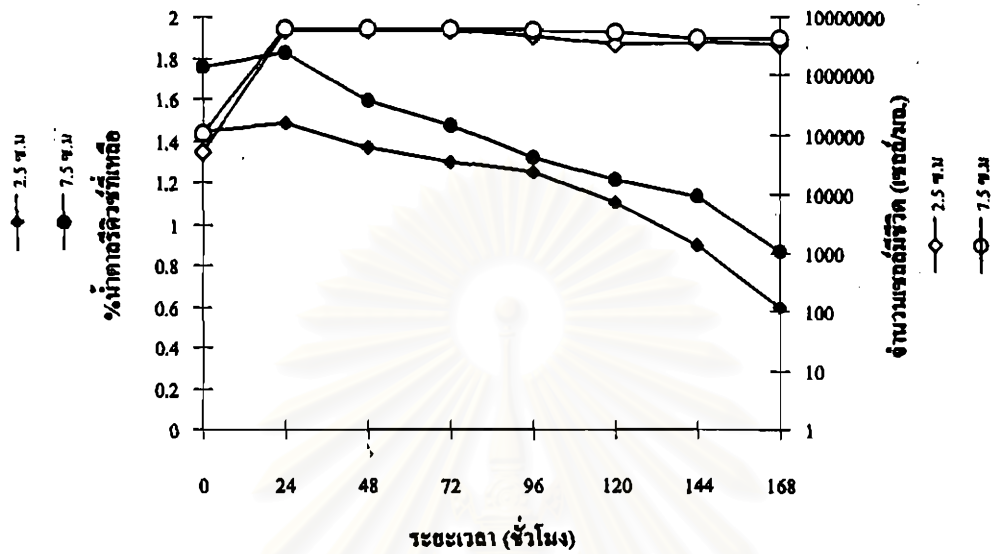


รูปที่ 12ก ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในการเลี้ยง *Acetobacter* sp. TISTR975 ที่แปรความสูงของอาหารน้ำมะพร้าวจากก้นภาชนะ โดยมีพื้นที่ผิวหน้าภาชนะ 165.33 ซ.ม^2 ที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลา 7 วัน

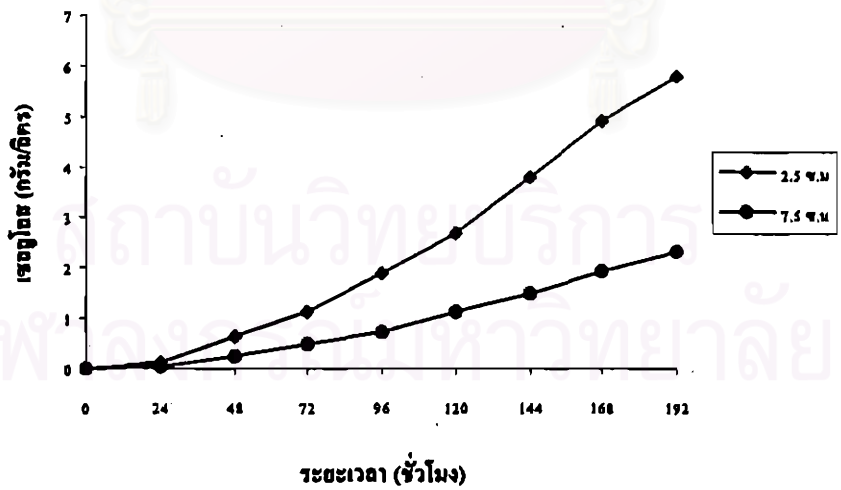


รูปที่ 12ข ปริมาณกรดกลูโคนิกในการเลี้ยง *Acetobacter* sp. TISTR975 ที่แปรความสูงของอาหารน้ำมะพร้าวจากก้นภาชนะ โดยมีพื้นที่ผิวหน้าภาชนะ 165.33 ซ.ม^2 ที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลา 7 วัน

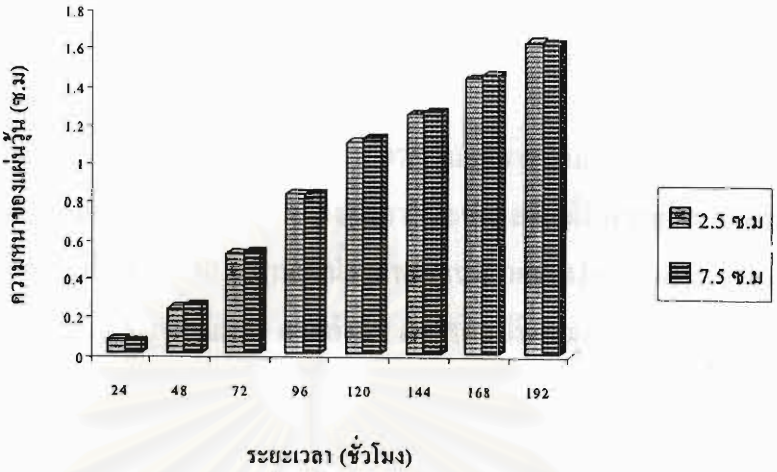
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 12ค ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่เหลือและจำนวนเซลล์ที่มีชีวิตในน้ำหมักในการเลี้ยง *Acetobacter* sp. TISTR975 ที่ แปรความสูงของอาหารน้ำมะพร้าวจากก้นภาชนะ โดยมีพื้นที่ผิวหน้าภาชนะ 165.33 ซ.ม^2 ที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลา 7 วัน



รูปที่ 12ง ปริมาณเซลลูโลสในการเลี้ยง *Acetobacter* sp. TISTR975 ที่ แปรความสูงของอาหารน้ำมะพร้าวจากก้นภาชนะ โดยมีพื้นที่ผิวหน้าภาชนะ 165.33 ซ.ม^2 ที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลา 7 วัน



รูปที่ 12จ ความหนาของแผ่นวุ้นในการเลี้ยง *Acetobacter* sp. TISTR975 ที่ แปรความสูงของอาหารน้ำมะพร้าวจากก้นภาชนะ โดยมีพื้นที่ผิวหน้าภาชนะ 165.33 ซ.ม^2 ที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลา 8 วัน

ตารางที่ 3 ผลของออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักต่อปริมาณเซลลูโลสที่ได้หลังการหมักเป็นเวลา 8 วัน ที่อุณหภูมิห้อง

ปริมาณออกซิเจนที่ละลาย (mg/l)	ปริมาณเซลลูโลสที่สร้างได้ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
	กรัม	กรัม/ลิตร
4.81^a(1)	2.41^a±0.1	5.82^a±0.24
4.30^b(2)	2.87^a±0.12	2.32^b±0.09

a, b,.... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันจากแถวตั้งเดียวกัน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)
n = 6

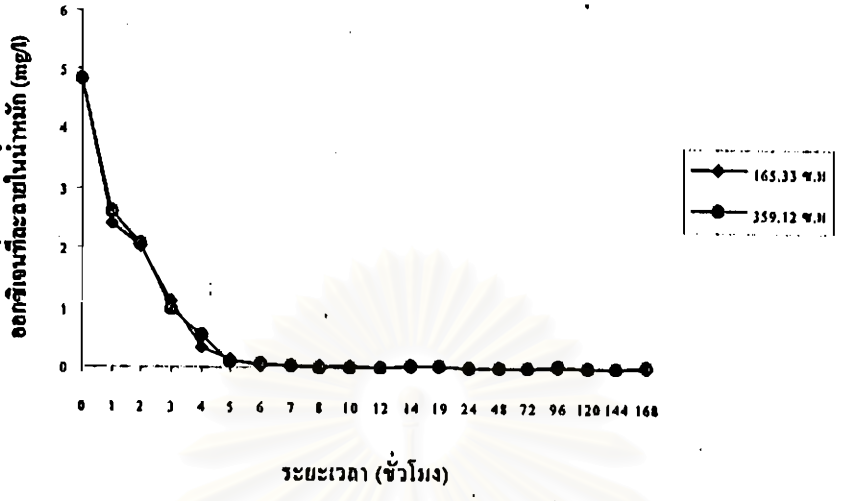
(1) พื้นที่ผิวหน้าภาชนะบรรจุขนาด 165.33 ซ.ม^2 ปริมาตร 413.33 มิลลิลิตร ความสูงของน้ำหมักจากก้นภาชนะ 2.5 เซนติเมตร

(2) พื้นที่ผิวหน้าภาชนะบรรจุขนาด 165.33 ซ.ม^2 ปริมาตร 1240 มิลลิลิตร ความสูงของน้ำหมักจากก้นภาชนะ 7.5 เซนติเมตร

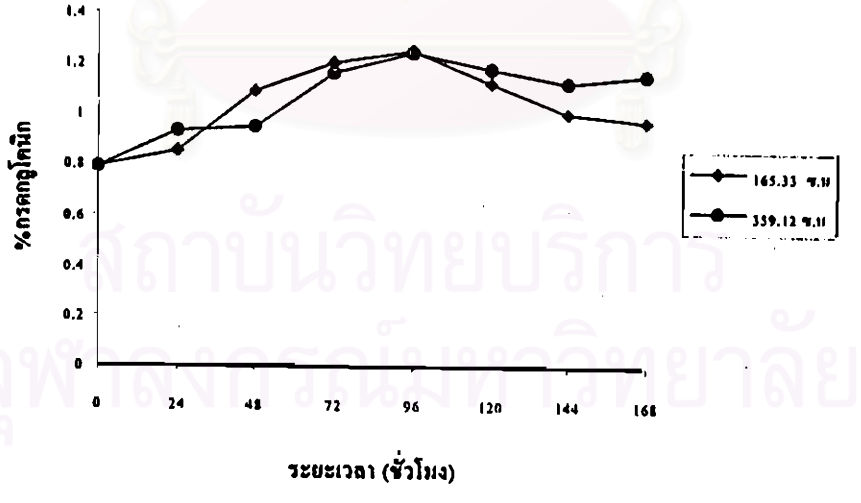
4.1.3.3 แปรผันพื้นที่ผิวหน้าภาชนะบรรจุ โดยให้ความสูงของอาหารน้ำมะพร้าวจากก้นภาชนะ คงที่

เมื่อเลี้ยง *Acetobacter* sp. TISTR 975 ในอาหารน้ำมะพร้าวโดยใช้สูตรที่เหมาะสมจากข้อ 4.1.1 ใส่หัวเชื้อตั้งต้น 10 % v/v เลี้ยงในภาชนะพลาสติกที่มีพื้นที่ผิวหน้าภาชนะ 165.33 และ 359.12 ตารางเซนติเมตร โดยใส่อาหารน้ำมะพร้าวปริมาตร 413.33 และ 900 มิลลิลิตร ซึ่งสูงจากก้นภาชนะเท่ากับ 2.5 เซนติเมตร ตามลำดับ ตรวจผลปริมาณเซลลูโลส, ออกซิเจนที่ละลายในอาหารน้ำมะพร้าว, กรดกลูโคนิก, น้ำตาลรีดิวซ์ที่เหลือ และจำนวนเซลล์ที่มีชีวิตทั้งหมดในน้ำหมัก (ภาคผนวก ข) พบว่า รูปแบบการเจริญคล้ายกับการแปรผันปริมาตรและความสูงของอาหารน้ำมะพร้าว กล่าวคือ เมื่อระยะเวลาผ่านไป 6 ชั่วโมง ปริมาณออกซิเจนที่ละลายลดลงจนเกือบถึงศูนย์ และคงที่ตลอดระยะเวลาการหมัก (รูปที่ 13ก) และมีการเพิ่มของกรดกลูโคนิกในปริมาณใกล้เคียงกัน คือ เพิ่มสูงสุดในชั่วโมงที่ 96 เป็น 1.25% จากนั้นจะลดลง (รูปที่ 13ข) ปริมาณเซลล์ที่มีชีวิตในน้ำหมักจะเพิ่มอย่างรวดเร็วในระยะ ชั่วโมงที่ 48 ของการหมักคือ เพิ่มจาก 10^5 เป็น 10^6 เซลล์/มิลลิลิตร ส่วนน้ำตาลรีดิวซ์ที่เหลือในอาหารหมักจะลดลงอย่างสม่ำเสมอและใกล้เคียงกัน ซึ่งสอดคล้องกับการเจริญ (รูปที่ 13ค) ปริมาณเซลลูโลสที่สร้างได้ จะเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอตลอดระยะการหมักจนกระทั่งวันที่ 8 (รูปที่ 13ง) ส่วนความหนาของแผ่นวุ้นจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ แต่เมื่อนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบทางสถิติ พบว่าความหนาของแผ่นวุ้นที่ได้จากภาชนะทั้งสองขนาดไม่มีความแตกต่างกันในแต่ละวัน (รูปที่ 13จ)

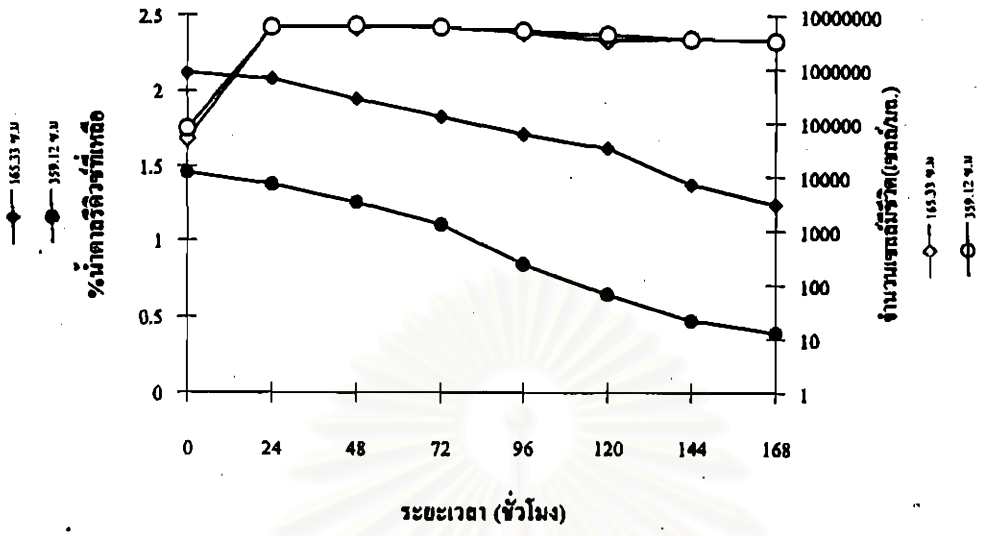
เมื่อพิจารณาถึงปริมาณออกซิเจนที่ละลายพบว่าภาชนะที่มีพื้นที่ผิวหน้า 359.12 และ 165.33 ตารางเซนติมตร มีปริมาณออกซิเจนที่ละลายเริ่มต้นเท่ากัน แต่อย่างไรก็ตามเพื่อตัดอิทธิพลของพื้นที่หน้าตัดที่แตกต่างกันออกไป พบว่าปริมาณเซลลูโลสของภาชนะที่มีพื้นที่ผิวหน้า 359.12 และ 165.33 ตารางเซนติเมตร มีค่าเท่ากับ 0.014 และ 0.018 กรัม/ตารางเซนติเมตร แต่เมื่อพิจารณาปริมาณเซลลูโลส (กรัม/ลิตร) พบว่ามีค่าเท่ากับ 5.82 และ 7.34 กรัม/ลิตร(ตารางที่ 5) เมื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ผิวหน้ากับปริมาณเซลลูโลส (กรัม) พบว่าปริมาณเซลลูโลสแปรผันโดยตรงกับพื้นที่หน้าตัด (รูปที่ 13ฉ) ดังนั้นการทดลองต่อไปจึงศึกษาถึงลักษณะการสร้างเซลลูโลสของแผ่นวุ้น



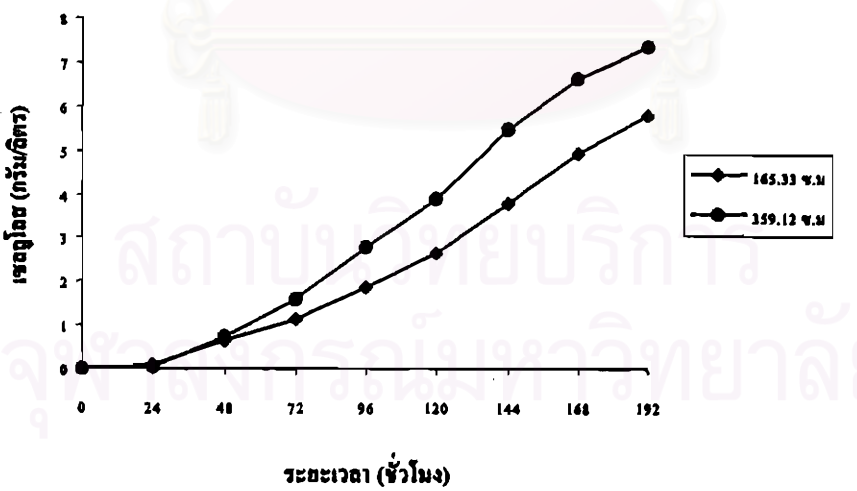
รูปที่ 13ก ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในการเลี้ยง *Acetobacter* sp. TISTR975 เมื่อแปรพื้นที่ผิวหน้าภาชนะบรรจุ ซึ่งมีอาหารน้ำมะพร้าวสูงจากก้นภาชนะ 2.5 ซ.ม ในภาวะนิ่ง ที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลา 7 วัน



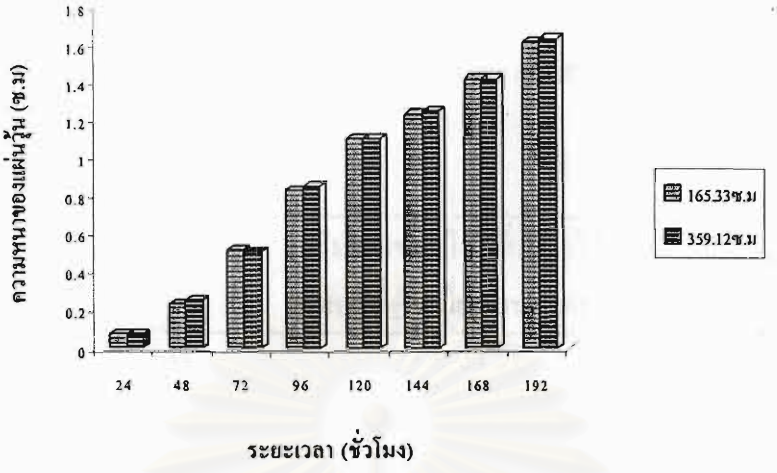
รูปที่ 13ข ปริมาณกรดกลูโคนิกในการเลี้ยง *Acetobacter* sp. TISTR975 เมื่อแปรพื้นที่ผิวหน้าภาชนะบรรจุ ซึ่งมีอาหารน้ำมะพร้าวสูงจากก้นภาชนะ 2.5 ซ.ม ในภาวะนิ่ง ที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลา 7 วัน



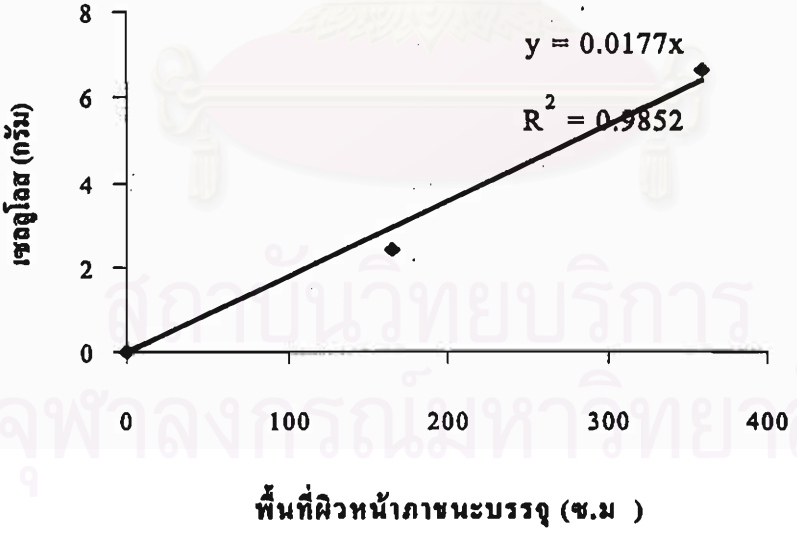
รูปที่ 13ค ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่เหลือและจำนวนเซลล์ที่มีชีวิตในน้ำหมัก ในการเลี้ยง *Acetobacter* sp. TISTR975 เมื่อแปรพื้นที่ผิวหน้าภาชนะบรรจุ ซึ่งมีอาหารน้ำมะพร้าวสูงจากก้นภาชนะ 2.5 ซ.ม ในภาวะนิ่ง ที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลา 7 วัน



รูปที่ 13ง ปริมาณเซลลูโลสในการเลี้ยง *Acetobacter* sp. TISTR975 เมื่อแปรพื้นที่ผิวหน้าภาชนะบรรจุ ซึ่งมีอาหารน้ำมะพร้าวสูงจากก้นภาชนะ 2.5 ซ.ม ในภาวะนิ่ง ที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลา 7 วัน



รูปที่ 13จ ความหนาของแผ่นวุ้นที่ได้ในการเลี้ยง *Acetobacter* sp. TISTR975 เมื่อแปรพื้นที่ผิวหน้าภาชนะบรรจุ ซึ่งมีอาหารน้ำมะพร้าวสูงจากก้นภาชนะ 2.5 ซ.ม ในภาวะนิ่ง ที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลา 7 วัน



รูปที่ 13ฉ แสดงการสร้างเซลลูโลสต่อพื้นที่ผิวหน้าภาชนะในการเลี้ยง *Acetobacter* sp. TISTR975 ภาวะนิ่ง ที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลา 8 วัน

ตารางที่ 5 ผลของออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักต่อปริมาณเซลลูโลสที่ได้หลังการหมักเป็นเวลา 8 วัน ที่อุณหภูมิห้อง

ปริมาณออกซิเจนที่ละลาย (mg/l)	ปริมาณเซลลูโลสที่สร้างได้ ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
	กรัม	กรัม/ซ.ม^2	กรัม/ลิตร
4.80 ^{a} (1)	2.41^b±0.1	0.014^a±0.07	5.82^b±0.24
4.81 ^{a} (2)	6.61^a±0.36	0.018^a±0.001	7.34^a±0.4

a , b,... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันจากแถวตั้งเดียวกัน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

n = 6

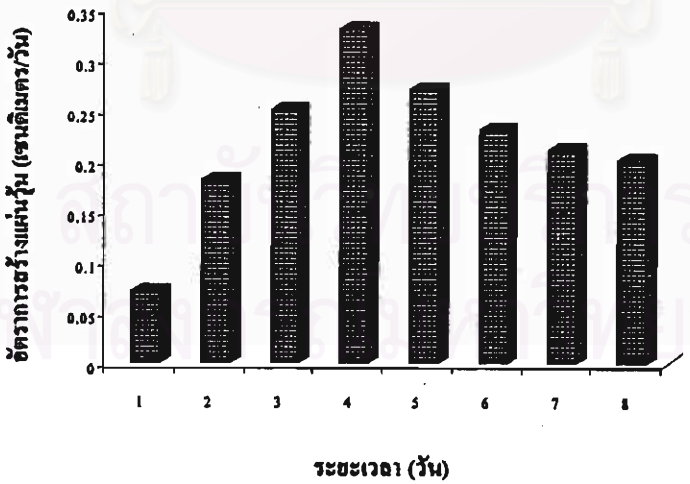
(1) พื้นที่ผิวหน้าภาชนะบรรจุขนาด 165.33 ซ.ม^2 ปริมาตร 413.33 มิลลิลิตร ความสูงของน้ำหมักจากก้นภาชนะ 2.5 เซนติเมตร

(2) พื้นที่ผิวหน้าภาชนะบรรจุขนาด 359.12 ซ.ม^2 ปริมาตร 900 มิลลิลิตร ความสูงของน้ำหมักจากก้นภาชนะ 2.5 เซนติเมตร

4.1.4 ศึกษาลักษณะการสร้างแผ่นวุ้นน้ำมะพร้าวในภาวะนิ่ง

จากผลการทดลองข้อ 4.1.3.1 และ 4.1.3.2 ทำให้ทราบว่าพื้นที่ผิวหน้าภาชนะบรรจุที่อาหารน้ำมะพร้าวสัมผัสกับอากาศมีผลต่อการสร้างเซลลูโลสของ *Acetobacter* sp. TISTR 975 จึงทำการศึกษาลักษณะการสร้างโดยเลี้ยง *Acetobacter* sp. TISTR 975 ในอาหารน้ำมะพร้าวตามสูตรที่เหมาะสม ข้อ 4.1.1 ใส่หัวเชื้อตั้งต้น 10%v/v ในบีกเกอร์ไลขนาด 500 มิลลิลิตร เพื่อให้มองเห็นแผ่นพลาสติก พบว่า เมื่อใส่แผ่นพลาสติกสีชมพูในวันแรกแล้ว หลังจากนั้นจะสร้างแผ่นฟิล์มสีขาวขุ่นที่ผิวหน้าอาหาร จากนั้นใส่แผ่นพลาสติกสีฟ้า ม่วง และแดง ที่ผิวหน้าแผ่นวุ้นในวันที่ 3, 5, 7 และ 8 ดังภาพ 14 จะเห็นว่า เซลลูโลสจะสร้างทับแผ่นพลาสติก โดยแผ่นสีชมพูจะอยู่ล่างสุด ตามด้วยสีฟ้า สีม่วง และ สีแดง ซึ่งระยะทางของแผ่นพลาสติกสีฟ้ากับอาหารหมักมีระยะทางเท่าเดิมจากอาหารน้ำมะพร้าว หรืออยู่ตำแหน่งเดิมแม้จะมีความหนาเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าแผ่นวุ้นน้ำมะพร้าวจะสร้างจากล่างขึ้นบน เมื่อดูอัตราการสร้างแผ่นวุ้นพบว่าอัตราการเพิ่มของความหนาต่อวันจะสูงสุดในวันที่ 4 แล้วหลังจากวันที่ 4 จะลดลง (รูปที่ 15)

รูปที่ 14 ภาพแสดงลักษณะการสร้างแผ่นวุ้นน้ำมะพร้าวที่หมักในภาวะนิ่ง



รูปที่ 15 อัตราการสร้างแผ่นวุ้นในการเลี้ยง *Acetobacter* sp. TISTR975 ที่เลี้ยงในอาหารน้ำมะพร้าวที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลา 8 วัน

4.2 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในภาวะที่มีการเขย่า

4.2.1 ศึกษาผลของค่าความเป็นกรด-ด่าง, ปริมาณน้ำตาลทราย (%w/v) และความเร็วรอบในการเขย่า ที่เหมาะสมต่อปริมาณเซลลูโลส

ในการทดลองนี้ ได้ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเซลลูโลสในภาวะเขย่า ทำโดยเลี้ยงเชื้อ *Acetobacter* sp. TISTR975 ในอาหารน้ำมะพร้าวที่แปรผันค่าความเป็นกรด ,น้ำตาลทราย (%w/v) และความเร็วรอบในการเขย่า ซึ่งเก็บวุ้นน้ำมะพร้าวในวันที่ 6 มาวิเคราะห์ปริมาณเซลลูโลส (ภาคผนวก ข) ออกแบบการทดลองโดย Box-Behnken Design แบบ 3 ตัวแปร ผลการทดลอง ดังตารางที่ 6

นำผลการทดลองจากตารางที่ 6 มาหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด, น้ำตาลทราย (%w/v) และ ความเร็วรอบในการเขย่า ต่อ เซลลูโลส โดยใช้การวิเคราะห์ข้อมูลโดย Multiple Regression Analysis ให้ผลดังตาราง ค.3 (ภาคผนวก ค) เลือกเฉพาะค่าที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จากนั้นเลือกภาวะที่เหมาะสมโดย Response Surface Methodology จะได้ความสัมพันธ์ดังสมการ

$$Y = -14.770287 + 7.832375 X_1 + 0.190175 X_2 + 0.028506 X_3 - 0.805583 X_1^2 - 0.0518 X_1 X_2 - 0.002543 X_1 X_3 - 0.0190715 X_2^2 + 0.000593 X_2 X_3 - 0.000136 X_3^2 \quad \text{----------(3)}$$

$R - square = 0.8932$

Y คือ ปริมาณเซลลูโลสที่สร้างได้ (กรัม/ลิตร)

X_1 คือ ค่าความเป็นกรด-ด่าง

X_2 คือ น้ำตาลทราย (%w/v)

X_3 คือ ความเร็วรอบในการเขย่า (รอบ/นาที)

ตารางที่ 6 ปริมาณเซลลูโลสที่ได้จากการเลี้ยง *Acetobacter* sp. TISTR975 หลังการหมักนาน 6 วัน ที่อุณหภูมิห้อง ในการทดลอง แบบ Box-Behnken Design จำนวน 15 การทดลอง

การทดลอง	ค่าความเป็นกรด -ด่าง	น้ำตาลทราย (%w/v)	ความเร็วรอบการเขย่า(รอบ/นาที)	ปริมาณเซลลูโลสที่สร้างได้ (กรัม/ลิตร) ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
1	6	0	125	2.313±0.33
2	6	10	125	4.658±0.24
3	4	0	125	3.861±0.36
4	4	10	125	5.170±0.24
5	6	5	50	5.422±0.47
6	6	5	200	2.854±0.2
7	4	5	50	5.14±0.62
8	4	5	200	3.335±0.5
9	5	0	50	4.96±0.97
10	5	0	200	2.11±0.12
11	5	10	50	5.525±0.4
12	5	10	200	3.564±0.54
13	5	5	125	5.685±0.15
14	5	5	125	6.021±0.33
15	5	5	125	5.5730±0.2

n = 45

ในการทำนายภาวะที่เหมาะสมจะใช้วิธี Partial Differentiation โดย Differentiation ค่า Y เทียบกับ X_1, X_2 และ X_3 ตามลำดับ จากนั้นกำหนดให้ dY/dX_1, dY/dX_2 และ dY/dX_3 มีค่าเท่ากับศูนย์ แล้วจึงแก้สมการ จะได้ภาวะการผลิตที่มีค่าเซลลูโลสสูงสุด โดยกำหนดให้ปัจจัยใดปัจจัยหนึ่งมีค่าคงที่ในที่นี้เลือกน้ำตาลทรายที่เติมในอาหารน้ำมะพร้าว เนื่องจากผลจากตารางที่

ค.3 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นกรด-ด่าง (X_1) และ ความเร็วรอบในการเขย่า (X_3) เท่านั้นที่พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่นร้อยละ95 จากการ Differentiate ค่า Y เทียบกับ X_1, X_2 และ X_3 จะได้ $X_2 = 4.98$ แล้วนำ $X_2 = 4.98$ แทนค่าในสมการที่ (3) โดยเลือกเฉพาะปัจจัยที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เท่านั้น จะได้สมการทำนายผลผลิตเซลลูโลสดังนี้

$$Y = -14.770287 + 7.832375 X_1 + 0.028506 X_3 - 0.805583 X_1^2 - 0.000136 X_3^2 \quad \text{----------(4)}$$

Y คือ เซลลูโลสที่สร้างได้ (กรัม/ลิตร)

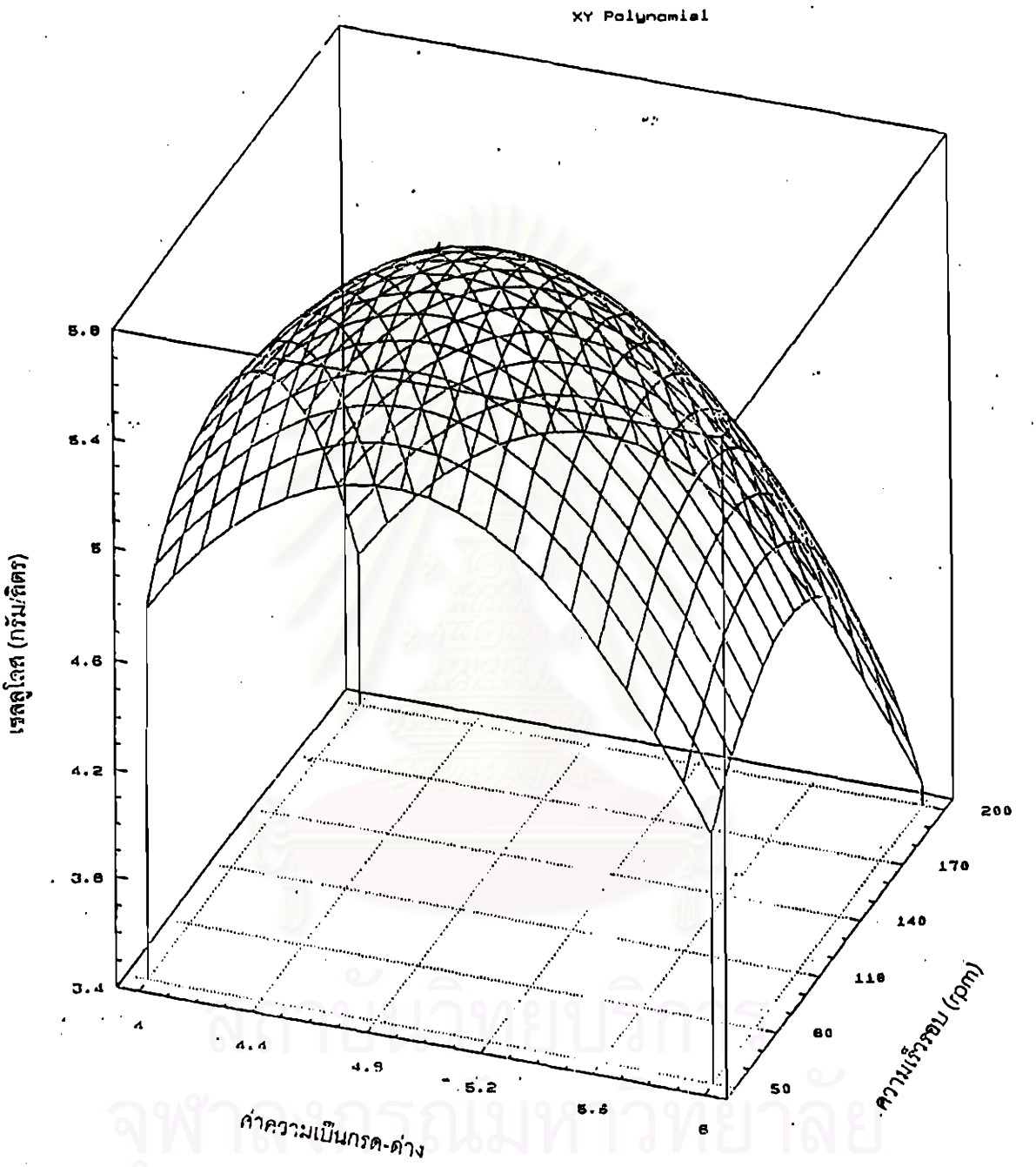
X_1 คือ ค่าความเป็นกรด-ด่าง

X_3 คือ ความเร็วรอบในการเขย่า

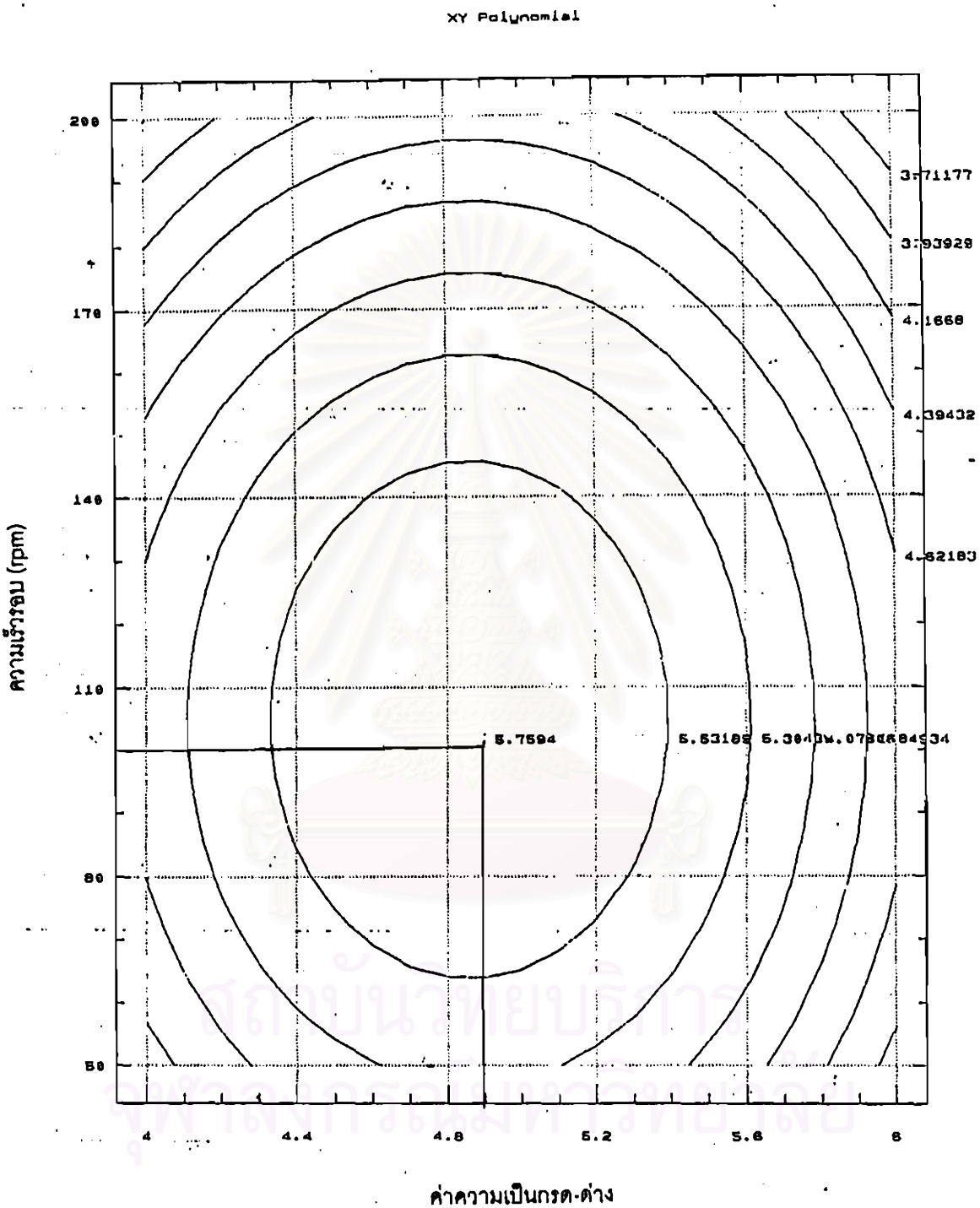
เมื่อนำสมการที่ 4 ไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าความเป็นกรด, ความเร็วรอบในการเขย่า และ เซลลูโลส จะได้กราฟสามมิติ (surface plot) พบว่า ภาวะที่เหมาะสมในการผลิตที่ให้เซลลูโลสสูงสุดเป็นจุดที่อยู่ลึกที่สุด คือค่าความเป็นกรด 4.9 ปริมาณน้ำตาลทราย 4.98 (%w/v) และความเร็วรอบในการเขย่า 100 รอบต่อนาที ซึ่งจะให้เซลลูโลส 5.7594 กรัม/ลิตร ดังรูปที่ 17 และ 18 นอกจากนั้นจะเห็นว่า เมื่อเพิ่มหรือลดกรดแอซีติก และ ความเร็วรอบการเขย่าให้น้อย หรือมากไปกว่าภาวะที่เหมาะสมจะทำให้ผลผลิตน้อยลง

ดังนั้นในการทดลองต่อไปจึงเลือกค่าความเป็นกรด 4.9 และปริมาณน้ำตาลทราย 4.98 (%w/v) แต่แปรความเร็วรอบในการเขย่าเพื่อดูถึงปริมาณออกซิเจนที่ละลายต่อการสร้างเซลลูโลสของเชื้อ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 16 กราฟสามมิติ (surface plot) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่าง และความเร็วรอบในการเขย่า ต่อปริมาณเซลลูโลสที่สร้างได้ ในการเลี้ยง *Acetobacter* sp. TISTR975 ที่ภาวะเขย่า ระยะเวลา 6 วัน



รูปที่ 17 กราฟสองมิติ (contour plot) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่าง และความเร็วรอบในการเขย่า ต่อปริมาณเซลลูโลสที่สร้างได้ ในการเลี้ยง *Acetobacter* sp. TISTR975 ที่ภาวะเขย่า ระยะเวลา 6 วัน

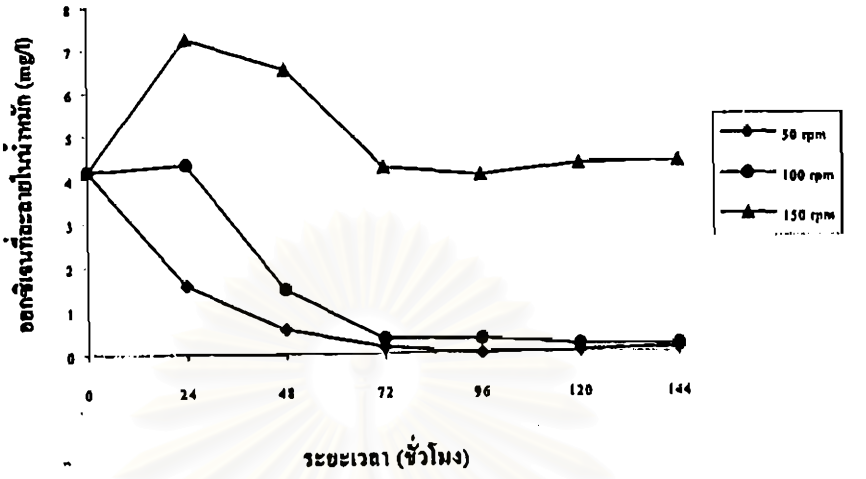
4.2.2 ศึกษาผลของออกซิเจนที่ละลายในอาหารน้ำมะพร้าวในภาวะเขย่า

4.2.2.1 แปรผันความเร็วรอบในการเขย่า

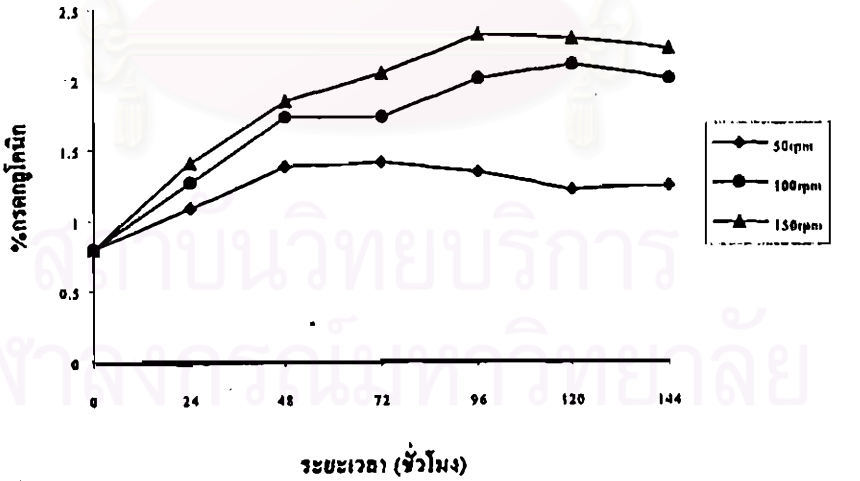
จากผลการทดลองข้อ 4.2.1 พบว่า ภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเซลลูโลสที่มีการเขย่า คือ ค่าความเป็นกรด-ด่าง 4. 9 , น้ำตาลทราย 4.98% w/v และความเร็วรอบในการเขย่า 100 รอบต่อนาที ดังนั้นจึงนำภาวะที่เหมาะสมดังกล่าวมาแปรผันความเร็วรอบในการเขย่าเป็น 50 , 100 และ 150 รอบต่อนาที เลี้ยงบน rotary shaker ที่อุณหภูมิห้อง ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ที่มีอาหารน้ำมะพร้าวอยู่ 70 มิลลิลิตร ตรวจผลปริมาณเซลลูโลส, ออกซิเจนที่ละลายในอาหารน้ำมะพร้าว, กรดกลูโคนิก ,น้ำตาลรีดิวซ์ที่เหลือ และจำนวนเซลล์ที่มีชีวิตทั้งหมดในน้ำหมัก (ภาคผนวก ข) พบว่า ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักที่ความเร็วรอบ 150 รอบ/นาทีจะสูงสุดในชั่วโมงที่ 24 เพิ่มจาก 4.34 เป็น 7.21 มิลลิกรัม/ลิตร และค่อยลดลงจนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง ส่วนที่ความเร็วรอบ 50 รอบต่อนาที เป็นการเขย่าเบาๆ ปริมาณออกซิเจนจะลดลงตั้งแต่วันแรกที่เริ่มหมัก (รูปที่ 19ก) ปริมาณกรดกลูโคนิกจะเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอโดยที่ความเร็วรอบ 150 รอบ/นาที จะให้กรดกลูโคนิกสูงสุด 2.32 % ในชั่วโมงที่ 96 (รูปที่ 19ข) สำหรับปริมาณเซลล์ที่มีชีวิตในน้ำหมัก จะสูงในชั่วโมงที่ 48 ที่ความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที เป็น ..10^7 เซลล์/มิลลิลิตร จะสัมพันธ์กับปริมาณการใช้น้ำตาลรีดิวซ์ที่เหลือ (รูปที่ 19ค) นอกจากนั้นยังให้ปริมาณเซลลูโลสสูงที่สุดคือ 6.07 กรัมต่อลิตร (รูปที่ 19ง)

การทดลองต่อไปจึงเลือกที่ความเร็วรอบในการเขย่าที่ 100 รอบ/นาที ซึ่งเหมาะสมสำหรับการผลิตเซลลูโลสสูงสุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

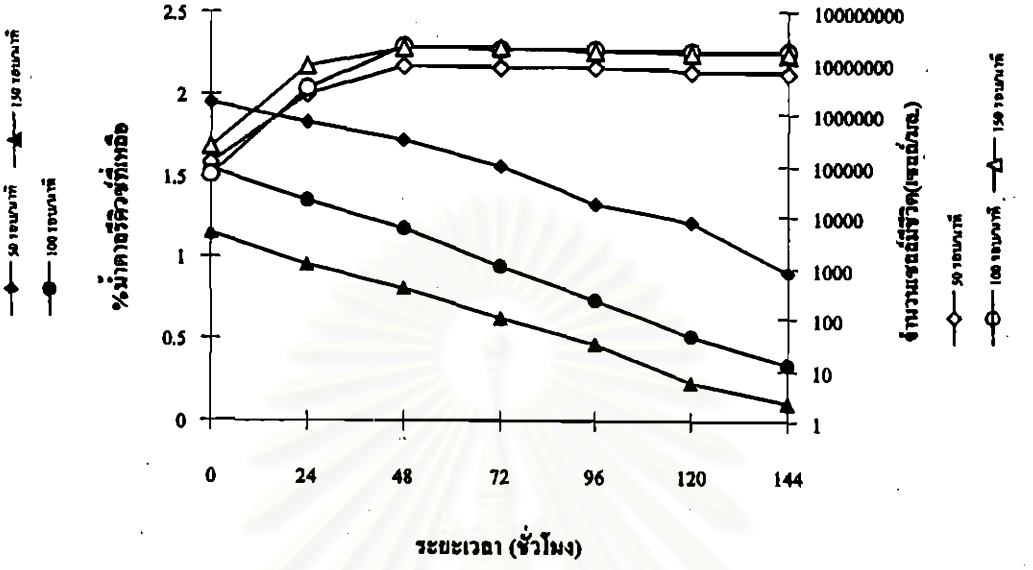


รูปที่ 18ก ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในการเลี้ยง *Acetobacter* sp. TISTR975 เมื่อแปรความเร็วรอบในการเขย่า ที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลา 6 วัน

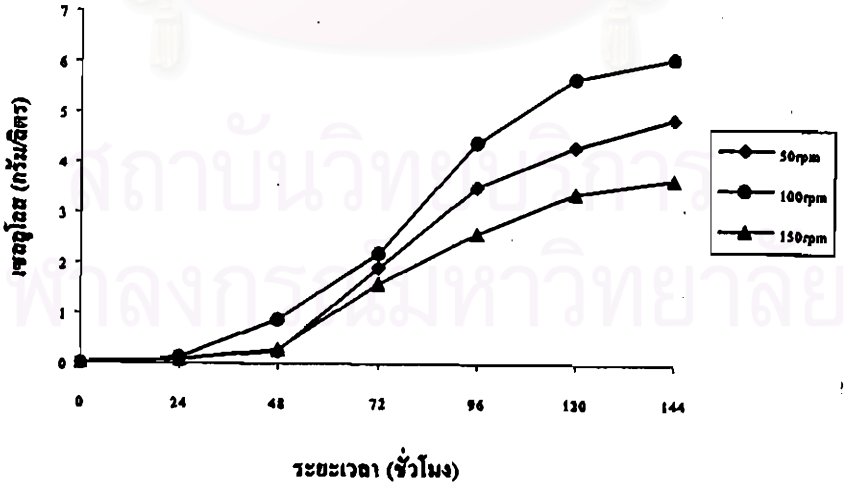


รูปที่ 18ข ปริมาณกรดกลูโคนิกในการเลี้ยง *Acetobacter* sp. TISTR975 เมื่อแปรความเร็วรอบในการเขย่า ที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลา 6 วัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 18ค ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่เหลือและจำนวนเซลล์มีชีวิตในน้ำหมักในการเลี้ยง *Acetobacter* sp. TISTR975 เมื่อแปรความเร็วรอบในการเขย่า ที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลา 7 วัน



รูปที่ 18ง ปริมาณเซลลูโลสที่สร้างได้ในการเลี้ยง *Acetobacter* sp. TISTR975 เมื่อแปรความเร็วรอบในการเขย่า ที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลา 6 วัน

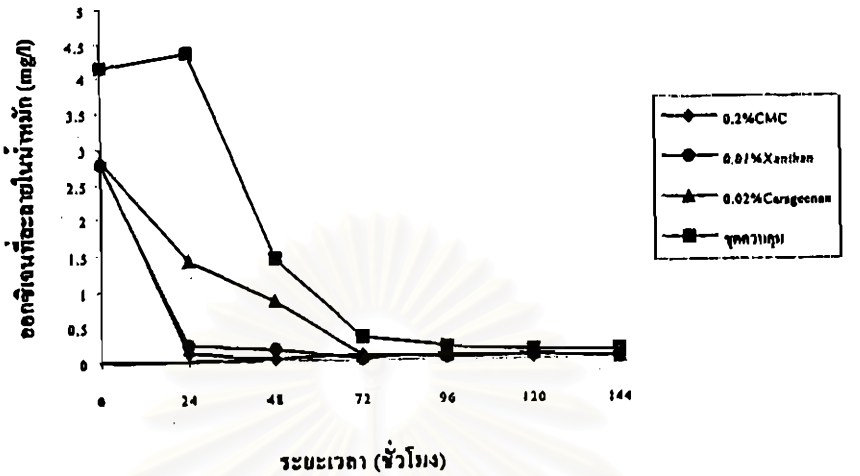
4.2.2.2 ศึกษาชนิดและปริมาณของสารให้ความหนืด

เลี้ยงเชื้อ *Acetobacter* sp. TISTR 975 ในอาหารน้ำมะพร้าวตามสูตร 4.2.1 ที่แปรชนิดสารให้ความหนืด คือ แซนแทนกัม 0.01% , คาราจีแนน 0.02 % และ คาร์บอกซิเมธิลเซลลูโลส (CMC)0.2 % ซึ่งมีความหนืดเท่ากันคือ 1.82 mPa.s เทียบกับอาหารน้ำมะพร้าวที่ไม่มีการเติมสารให้ความหนืด (ชุดควบคุม) เขย่าที่ความเร็วรอบ 100 รอบ/นาที บน rotary shaker เป็นระยะเวลา 6 วัน ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตรที่มีอาหารน้ำมะพร้าวปริมาตร 70 มิลลิลิตร ตรวจผลปริมาณเซลลูโลส, ออกซิเจนที่ละลายในอาหารน้ำมะพร้าว, ค่าความหนืด, น้ำตาลรีดิวซ์ที่เหลือ และจำนวนเซลล์ที่มีชีวิตทั้งหมดในน้ำหมัก (ภาคผนวก ข)

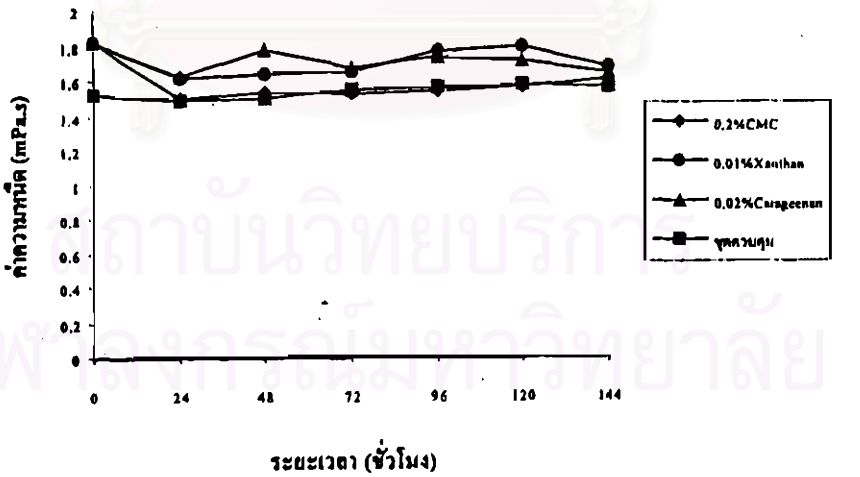
พบว่า การใส่สารให้ความหนืดที่ปริมาณต่างๆ จะทำให้ค่าความหนืดและปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักเท่ากันในตอนต้น คือ 1.82 mPa.s และ 2.8 มิลลิกรัมต่อลิตร (รูปที่ 19ก และ 19ข) เมื่อระยะเวลาผ่านไปปริมาณออกซิเจนที่ละลายจะลดลงจนเกือบถึงศูนย์ และค่าความหนืดจะลดลงมากในชั่วโมงที่ 24 อย่างไรก็ตามเมื่อสิ้นสุดการทดลองค่าความหนืดของสารให้ความหนืดทุกชนิดจะมีค่าไม่ต่างจากตอนเริ่มต้นเท่าไรนัก ส่วนปริมาณเซลล์ที่มีชีวิตในอาหารหมัก พบว่า ชุดควบคุมสามารถเจริญได้ดีกว่าประมาณ 7 เท่า ซึ่งสัมพันธ์กับปริมาณการใช้น้ำตาลรีดิวซ์ (รูปที่ 19ค) เมื่อพิจารณาถึงปริมาณเซลลูโลส พบว่าในช่วง 3 วันแรก อาหารที่มี CMC 0.2% เท่านั้น ที่มีเซลลูโลสมากกว่าชุดควบคุมโดยมีค่าเท่ากับ 3.15 กรัมต่อลิตร แต่เมื่อเลี้ยงต่อจนสิ้นสุดกระบวนการหมักชุดควบคุมกลับให้เซลลูโลสในปริมาณที่มากกว่า คือ 6.07 กรัม/ลิตร (รูปที่ 19ง) เมื่อพิจารณาถึงปริมาณเซลลูโลส พบว่า CMC น่าจะสามารถเพิ่มปริมาณเซลลูโลสที่เชื้อสร้างได้ จึงได้ศึกษาหาปริมาณ CMC ที่เหมาะสมในการผลิต โดยการทดลองแปรผันปริมาณ (เปอร์เซ็นต์) CMC 0.1 , 0.2 และ 0.3 ที่เติมในอาหารน้ำมะพร้าว เทียบกับอาหารน้ำมะพร้าวที่ไม่มีการเติม CMC (ชุดควบคุม) จากการทดลอง พบว่า ปริมาณ CMC และการละลายของออกซิเจนในน้ำหมักมีความแปรผันในทิศทางตรงข้าม (รูปที่ 20ก) และค่าความหนืดเริ่มต้นที่ต่างกัน เป็น 1.58, 1.82, และ 2.06 mPa.s โดยจะลดลงต่ำสุดชั่วโมงที่ 24 เมื่อสิ้นสุดการทดลองค่าความหนืดทุกระดับจะมีค่าไม่ต่างจากค่าความหนืดเริ่มต้นมากนัก (รูปที่ 20ข) ในการหมักของชุดควบคุมการเจริญของเซลล์ดีกว่าการหมักเมื่อใส่ CMC ในน้ำหมักถึง 4 เท่า สัมพันธ์กับปริมาณการใช้น้ำตาลรีดิวซ์ที่เหลือในน้ำหมัก (รูปที่ 20ค) เมื่อพิจารณาปริมาณเซลลูโลสพบว่า CMC ที่ 0.1 และ 0.2 % ให้เซลลูโลสสูงกว่าชุดควบคุม ในช่วง 3 วันแรกของการหมักเท่านั้น แต่เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักชุดควบคุม ก็ให้ปริมาณเซลลูโลสที่สูงกว่า (รูปที่ 20ง) ถึงแม้ว่า การใส่สารให้ความหนืดไม่สามารถเพิ่มปริมาณเซลลูโลสได้ แต่ก็มีผลทำให้ลักษณะก้อนเซลลูโลส (pellet) ต่างไปจาก ชุด

ควบคุม (ภาพ 21) คือ ในอาหารน้ำมะพร้าวที่ไม่เติมสารให้ความหนืดเซลลูโลสจะเป็นก้อนกลม ขนาดประมาณ 10 มิลลิเมตร (รูปที่ 21A), อาหารน้ำมะพร้าวที่เติมคาราจีแนนจะเป็นก้อนกลม ขนาดประมาณ 2-5 มิลลิเมตร ติดกันเป็นไข่ (รูปที่ 21B), อาหารที่เติมแซนแทนกัมเป็นก้อนกลมรีขนาดเล็กกว่า 2 มิลลิเมตร (รูปที่ 21C) ส่วนในอาหารที่เติม CMC จะมีลักษณะเป็นสายของเส้นใยแตกแขนงออกมาด้านข้างมากมาย (รูปที่ 21D)

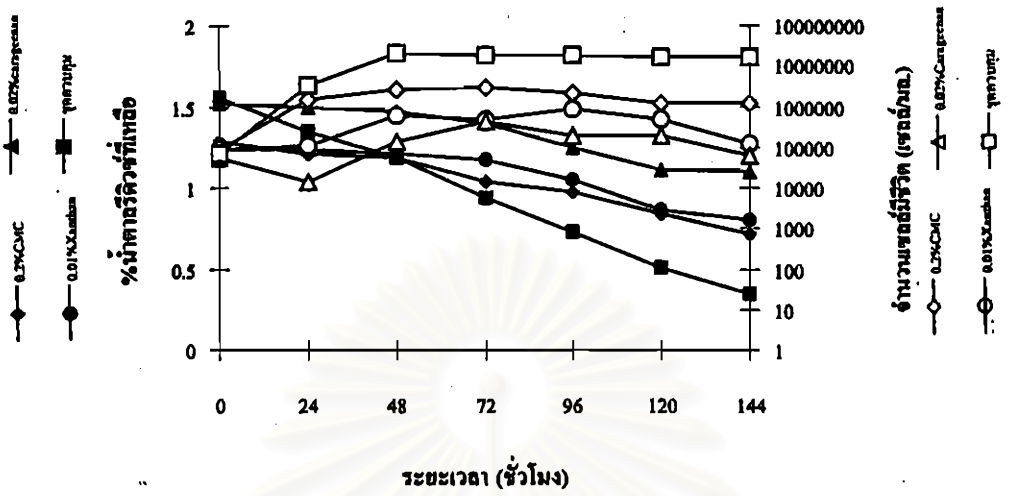
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



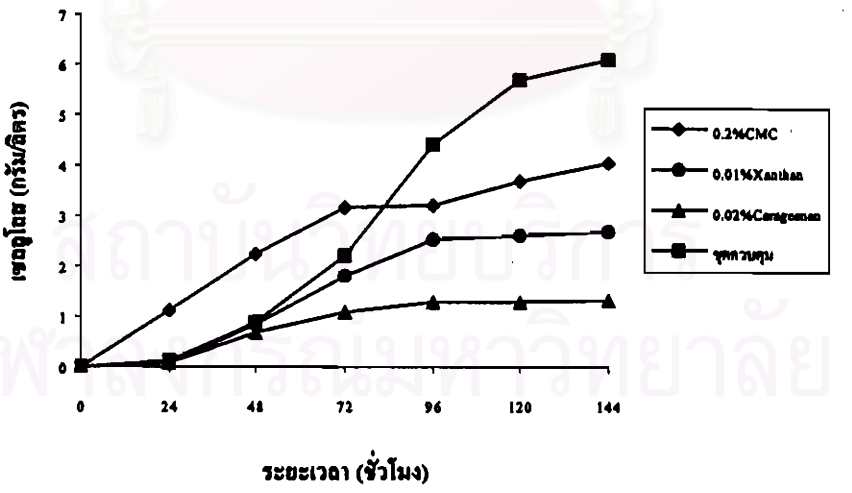
รูปที่ 19ก ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในการเลี้ยง *Acetobacter* sp. TISTR975 เมื่อแปรชนิดสารให้ความหนืด ที่ 1.82 mPa.s ที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลา 6 วัน



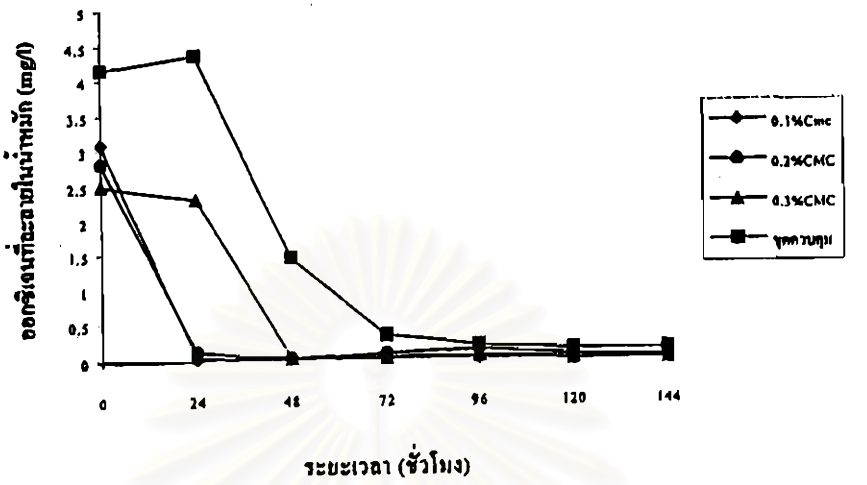
รูปที่ 19ข ค่าความหนืดที่ได้จากการเลี้ยง *Acetobacter* sp. TISTR975 เมื่อแปรชนิดสารให้ความหนืด ที่ 1.82 mPa.s ที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลา 6 วัน



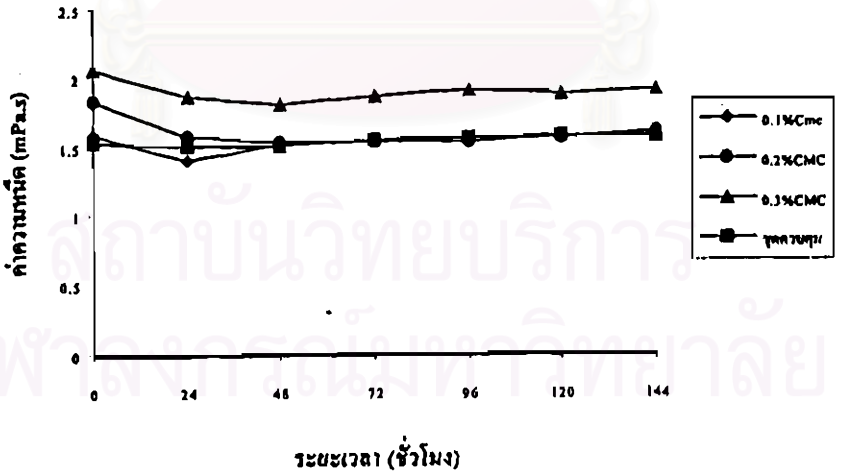
รูปที่ 19ค ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่เหลือและจำนวนเซลล์มีชีวิตในน้ำหมัก ในการเลี้ยง *Acetobacter* sp. TISTR975 เมื่อแปรชนิดสารให้ความหนืดที่ 1.82 mPa.s ที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลา 6 วัน



รูปที่ 19ง ปริมาณเซลลูโลสในการเลี้ยง *Acetobacter* sp. TISTR975 เมื่อแปรชนิดสารให้ความหนืด ที่ 1.82 mPa.s ที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลา 6 วัน

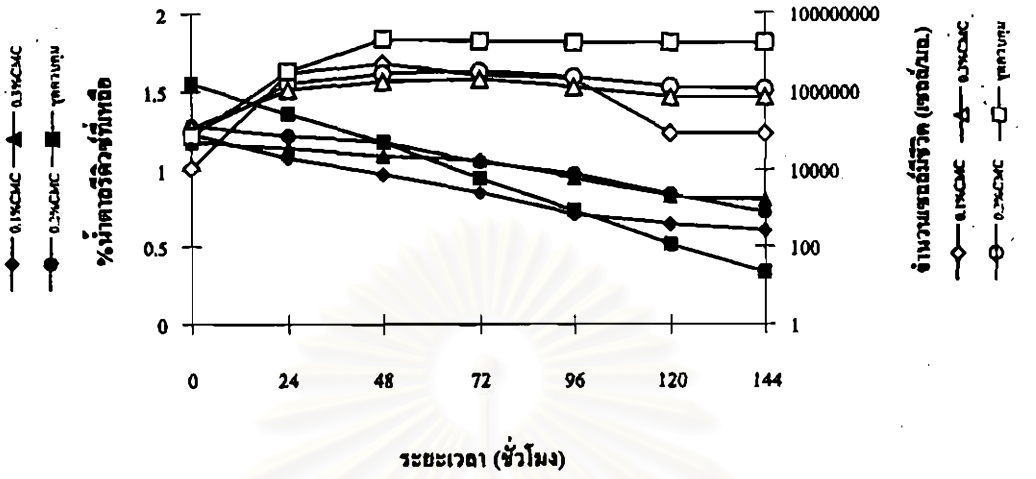


รูปที่ 20ก ปริมาณออกซิเจนที่ละลาย ในการลี้ยง *Acetobacter* sp. TISTR975 เมื่อแปรปริมาณ CMC เขย่าความเร็วรอบ 100 รอบ/นาที ที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลา 6 วัน

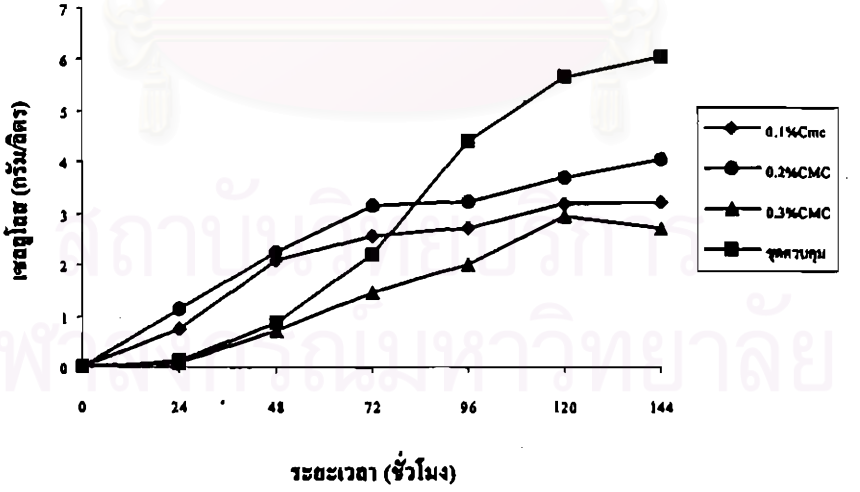


รูปที่ 20ข ค่าความหนืดของน้ำหมักในการลี้ยง *Acetobacter* sp. TISTR975 เมื่อแปรปริมาณ CMC เขย่าความเร็วรอบ 100 รอบ/นาที ที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลา 6 วัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 20ค ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่เหลือและจำนวนเซลล์มีชีวิตในน้ำหมัก ในการเลี้ยง *Acetobacter* sp. TISTR975 เมื่อแปรปริมาณ CMC ในการเขย่าที่ความเร็วรอบ 100 รอบ/นาที ที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลา 6 วัน



รูปที่ 20ง ปริมาณเซลลูโลสที่สร้างได้ ในการลี้ยง *Acetobacter* sp. TISTR975 เมื่อแปรปริมาณ CMC เขย่าความเร็วรอบ 100 รอบ/นาที ที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลา 6 วัน

รูปที่ 21 ตัวอย่างลักษณะเซลลูโลสในอาหารน้ำมะพร้าวในการเขย่าที่ความเร็วรอบ 100 รอบ/นาที ที่อุณหภูมิห้อง

A : ลักษณะเซลลูโลสที่ไม่ได้เติมสารให้ความหนืด (ชุดควบคุม)

B : ลักษณะเซลลูโลสที่เติมคาราจีแนน ร้อยละ 0.02

C : ลักษณะเซลลูโลสที่เติมแซนแทนกัมร้อยละ 0.01

D : ลักษณะของเซลลูโลสที่เติมคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส ร้อยละ 0.2

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย