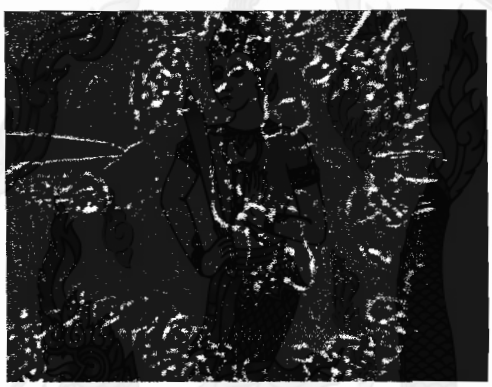
4. ผลการวิจัย (Results)

4.1 ลักษณะทางกายภาพของซังข้าวโพด

4.1.1 ลักษณะของผงซังข้าวโพด

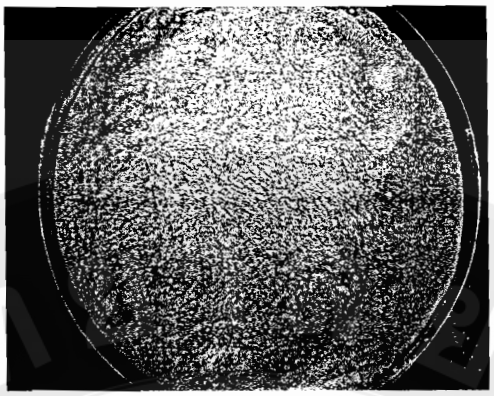
จากการศึกษาลักษณะของผงซังข้าวโพดด้วยกล้องจุลทรรศน์ พบว่าผงซังข้าวโพดมีลักษณะโปร่งแสง ขนาดแตกต่างกันไป แสดงผลดังภาพที่ 4.1



ภาพที่ 9 ลักษณะรูปของผงซังข้าวโพดเมื่อส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ (กำลังขยาย 100 เท่า)

4.1.2 ลักษณะทางกายภาพของผงซังข้าวโพด

การศึกษาลักษณะทางกายภาพของผงซังข้าวโพดโดยวิธีการสังเกตลักษณะสีและความละเอียดของซังข้าวโพด พบว่ามีลักษณะเป็นสีน้ำตาลอ่อน เป็นผงละเอียด แสดงผลดังภาพที่ 4.2



ภาพที่ 10 ลักษณะของซังข้าวโพดบดโดยใช้เครื่องบดสมุนไพร โดยผ่านตะแกรงร่อนขนาด 20 เมช

4.2 การย่อยซังข้าวโพดให้เป็นน้ำตาลรีดิวซ์โดยเชื้อรา *Trichoderma reesei*

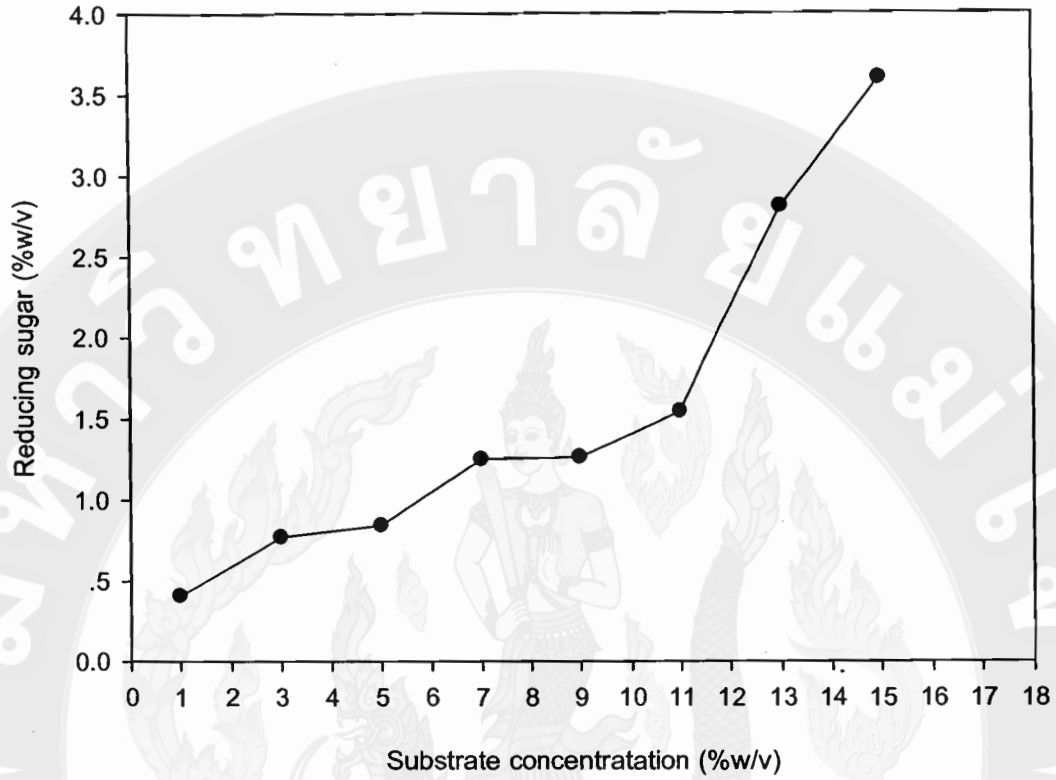
ผลจากการทดลองเมื่อเลี้ยงเชื้อรา *T. reesei* ในอาหารหมักที่ประกอบด้วยซังข้าวโพดที่ความเข้มข้น 1 3 5 7 9 11 13 15 17 19 และ 21 เปอร์เซ็นต์ พบว่าที่ความเข้มข้นของ ซังข้าวโพด 15 เปอร์เซ็นต์ เชื้อดังกล่าวสามารถย่อยซังข้าวโพดได้ตาลรีดิวซ์สูงสุด 3.59 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร รองลงมาคือ ความเข้มข้นของซังข้าวโพดที่ 13 เปอร์เซ็นต์ ได้น้ำตาลรีดิวซ์ 2.81 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร แสดงผลดังตารางที่ 4.1 และภาพที่ 4.3

ตารางที่ 7 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จากการย่อยซังข้าวโพดที่ความเข้มข้นต่างๆ โดยใช้เชื้อรา *T. reesei*

ความเข้มข้นของซังข้าวโพด (%w/v)	ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (%w/v)
1	0.407±0.001
3	0.772±0.001
5	0.843±0.001
7	1.250±0.001
9	1.264±0.006
11	1.545±0.513
13	2.809±0.005
15	3.596±0.003
17	ns
19	ns
21	ns

หมายเหตุ

ns คือ ในตัวอย่างมีความหนืดสูง

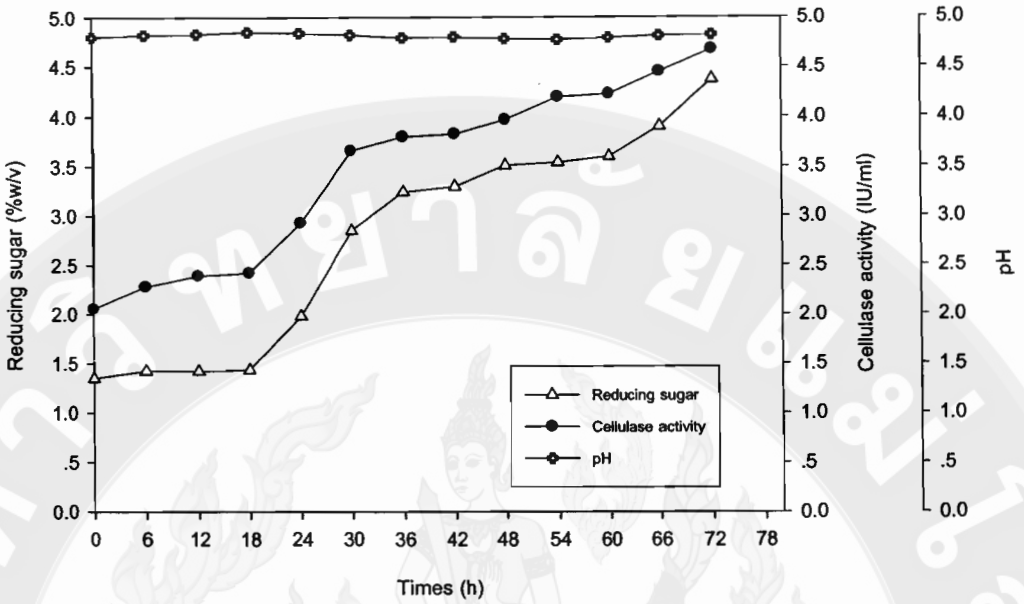


ภาพที่ 11 ประสิทธิภาพการย่อยซังข้าวโพดที่ความเข้มข้นต่างๆ ให้เป็นน้ำตาลรีดิวซ์โดยเชื้อรา *T. reesei*

นอกจากนั้นได้ศึกษาประสิทธิภาพการย่อยโดยเอนไซม์เซลลูเลสที่สร้างโดยเชื้อรา *T. reesei* โดยศึกษาระดับความเข้มข้นของซังข้าวโพดที่ความเข้มข้นของซังข้าวโพด 15 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 72 ชั่วโมง และควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่างที่ 4.8 เชื้อราสามารถสร้างเอนไซม์เซลลูเลสเพื่อย่อยซังข้าวโพดโดยได้ผลผลิตน้ำตาลรีดิวซ์ได้สูงสุด คือ 4.37 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และให้กิจกรรมของเอนไซม์สูงสุด 4.67 หน่วย แสดงผลดังตารางที่ 4.2และภาพที่ 4.4

ตารางที่ 8 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และกิจกรรมของเอนไซม์เซลลูเลสที่ได้จากการย่อย
ซังข้าวโพดที่ความเข้มข้น 15 เปอร์เซ็นต์ ควบคุมความเป็นกรด-ด่าง
ที่ 4.8 เป็น เวลา 72 ชั่วโมง

เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (%w/v)	กิจกรรมของเอนไซม์เซลลูเลส(หน่วย)	pH
0	1.348±0.001	2.054±0.002	4.80
6	1.420±0.004	2.280±0.004	4.82
12	1.420±0.003	2.392±0.011	4.83
18	1.433±0.013	2.420±0.000	4.85
24	1.980±0.003	2.927±0.005	4.84
30	2.851±0.008	3.658±0.004	4.82
36	3.244±0.001	3.799±0.002	4.79
42	3.300±0.008	3.827±0.003	4.80
48	3.511±0.010	3.968±0.002	4.78
54	3.540±0.007	4.193±0.003	4.77
60	3.600±0.001	4.221±0.001	4.79
66	3.900±0.010	4.446±0.006	4.81
72	4.368±0.037	4.672±0.010	4.82

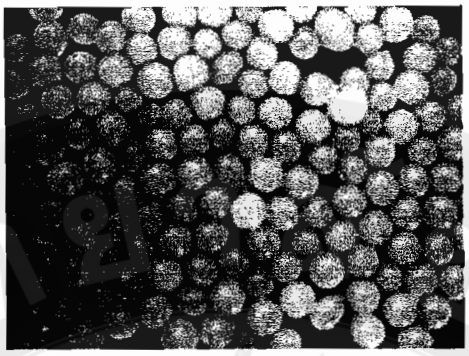


ภาพที่ 12 กิจกรรมเอนไซม์เซลลูเลสและปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการย่อยสลายโดยใช้ซังข้าวโพดที่ความเข้มข้น 15 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 72 ชั่วโมง

4.3 ผลการตรึงเซลล์แบคทีเรีย *Zymomonas mobilis*

4.3.1 ลักษณะทางกายภาพของเม็ดเจลแคลเซียมอัลจิเนท

จากการศึกษาการตรึงเซลล์แบคทีเรีย *Z. mobilis* โดยใช้แคลเซียมอัลจิเนท ที่ความเข้มข้น 3.5 เปอร์เซ็นต์ ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ พบว่าเม็ดเจลที่ได้มีลักษณะเป็นทรงกลม มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วงประมาณ 3.5-5.0 มิลลิเมตร ลักษณะผิวภายนอกของเม็ดเจลจะเรียบแข็งและมีความคงรูป ส่วนภายในของเม็ดเจลจะมีลักษณะนุ่ม แสดงผล ดังภาพที่ 4.5



ภาพที่ 13 ลักษณะของเม็ดเจลที่ได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่างแคลเซียมอัลจิเนท 3.5 เปอร์เซ็นต์ และสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์

4.3.2 ลักษณะของเชื้อแบคทีเรีย *Z. mobilis* ภายในเม็ดเจลแคลเซียมอัลจิเนทก่อนการหมัก

จากการศึกษาการตรึงเซลล์ของเชื้อแบคทีเรีย *Z. mobilis* โดยใช้แคลเซียมอัลจิเนทที่ความเข้ม 3.5 เปอร์เซ็นต์ และสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ ก่อนนำไปหมักพบว่า เซลล์ของเชื้อ *Z. mobilis* จะกระจายอยู่ทั่วภายในเม็ดเจลความหนาแน่นของเซลล์มีอยู่ปริมาณน้อย ดังภาพที่ 4.6

ภาพที่ 14 ลักษณะการกระจายตัวของเซลล์เชื้อแบคทีเรีย *Z. mobilis* ที่ถูกตรึงภายในเม็ดเจลแคลเซียมอัลจิเนทสังเกตภายใต้กล้องจุลทรรศน์ (กำลังขยาย 100 เท่า)

4.3.3 ลักษณะของเชื้อแบคทีเรีย *Z. mobilis* ภายในเม็ดเจลแคลเซียมอัลจิเนทหลังการหมักเป็นระยะเวลา 96 ชั่วโมง

หลังเสร็จสิ้นกระบวนการหมักเป็นระยะเวลา 96 ชั่วโมง พบว่าเชื้อ *Z. mobilis* ที่ถูกตรึงในแคลเซียมอัลจิเนทมีการเจริญเติบโตเพิ่มจำนวนมากขึ้น เซลล์มีการกระจายอย่างหนาแน่นภายในเม็ดเจล ดังภาพที่ 4.7

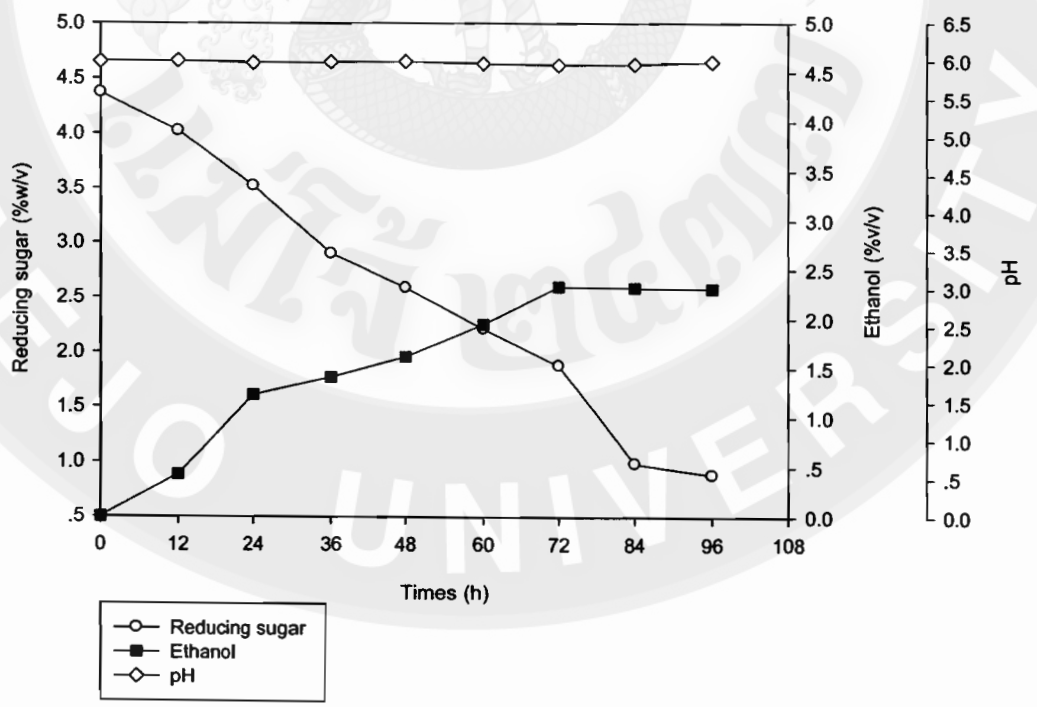
ภาพที่ 15 ลักษณะของเชื้อ *Z. mobilis* ที่ถูกตรึงภายในแคลเซียมอัลจิเนทภายใต้กล้องจุลทรรศน์หลังหมักเป็นระยะเวลา 96 ชั่วโมง (กำลังขยาย 100 เท่า)

4.4 ผลการผลิตเอทานอลโดยใช้เซลล์ตรึงของเชื้อแบคทีเรีย *Z. mobilis* จากสารละลายที่ได้จากการย่อยซังข้าวโพดโดยเชื้อรา *T. reesei*

จากการทดลองพบว่าในกระบวนการหมักเอทานอลโดยใช้เซลล์ตรึงของแบคทีเรีย *Z. mobilis* ในเม็ดเจลแคลเซียมอัลจิเนทแบบไม่แยกเอาเซลล์ของเชื้อรา *T. reesei* ออกจากสารละลายสำหรับหมักเอทานอล กระบวนการหมักเอทานอลจะใช้น้ำหมักที่ได้จากการย่อยซังข้าวโพดโดยใช้เชื้อรา *T. reesei* มาผลิตเป็นเอทานอลโดยใช้เซลล์ตรึงของแคทีเรีย *Z. mobilis* พบว่าแบคทีเรียดังกล่าวสามารถผลิตเอทานอลได้สูงสุด 2.33 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรต่อปริมาตร หลังจากหมักเป็นระยะเวลา 72 ชั่วโมง โดยที่ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เริ่มต้นลดลงจาก 4.37 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร จนเหลือ 0.88 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร หลังจากการหมักผ่านไปเป็นระยะเวลา 96 ชั่วโมง แสดงผลดังตารางที่ 4.3 และภาพที่ 4.8

ตารางที่ 9 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ เอทานอล ของน้ำหมักที่ความเข้มข้นของขังข้าวโพด 15 เปอร์เซ็นต์ที่เวลาต่างๆ ในถังหมัก โดยใช้เชื้อ *Z. mobilis*

ระยะเวลาในการหมัก (ชั่วโมง)	ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (%w/v)	แอลกอฮอล์(%v/v)	pH
0	4.368±0.002	0.000	6.00
12	4.000±0.001	0.431	6.01
24	3.521±0.001	1.230	5.98
36	2.898±0.001	1.410	5.99
48	2.589±0.001	1.620	6.00
60	2.213±0.001	1.950	5.97
72	0.987±0.001	2.331	5.95
84	1.878±0.001	2.320	5.96
96	0.884±0.001	2.329	5.99



ภาพที่ 16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเอทานอลที่เกิดขึ้นและปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ลดลงในน้ำหมักที่ทำการหมักในระยะเวลาต่างๆ