

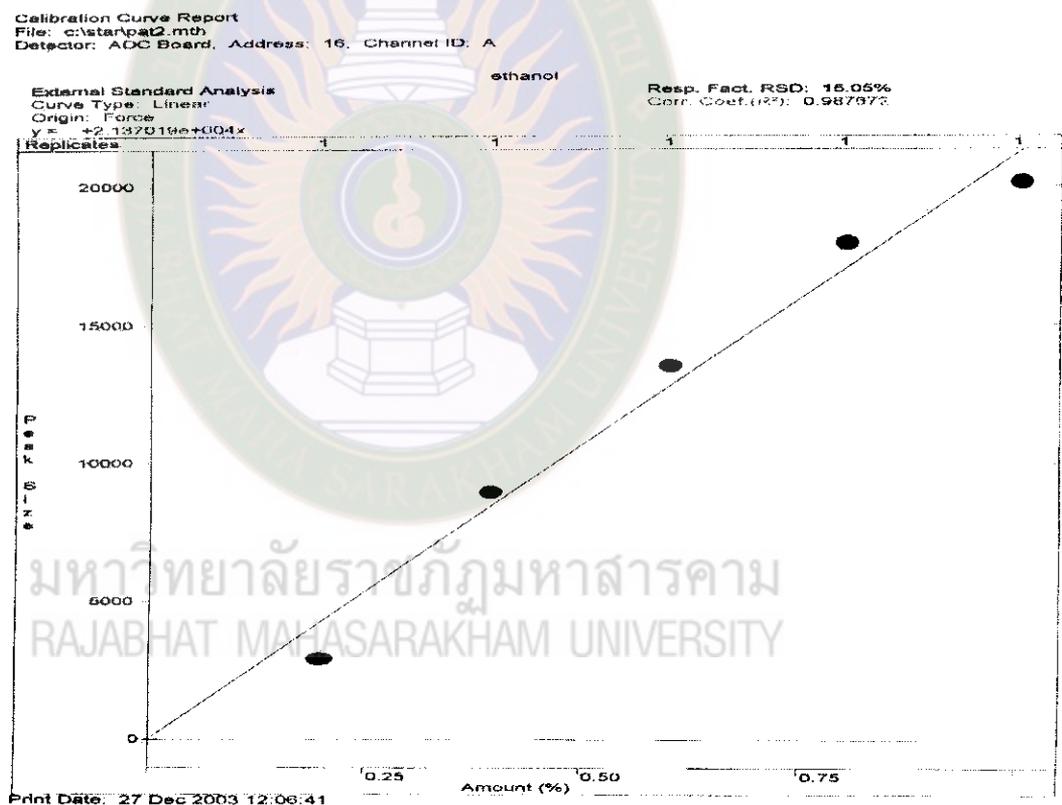
บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

จากการทดลองนำชานอ้อยและผักตบชวามาหมักด้วยยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* เป็นเวลา 1, 2, 3, 4, 5, 6 และ 7 วัน ได้ผลการทดลองดังนี้

4.1 กราฟมาตรฐานเอทานอล

กราฟนี้ได้จากการเตรียมสารละลายมาตรฐานเอทานอล ที่มีความเข้มข้น 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1 % จากเอ็บโซลูทเอทานอล 99.8 % (A.R. Grade)



ภาพที่ 4.1 กราฟมาตรฐานระหว่างพื้นที่ได้กราฟกับความเข้มข้น

เมื่อนำสารละลายมาตรฐานเอทานอล มาวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี จากนั้นนำผลที่ได้ มาพล็อตกราฟระหว่างพื้นที่ได้กราฟกับความเข้มข้น จะได้กราฟเส้นตรง โดยมีสมการเป็น $y = +2.137019+004x$, $R^2 = 0.9876$ ดังแสดงในภาพที่ 1

4.2 ผลที่ได้จากการหมักขานอ้อย

เมื่อนำปริมาณเอธานอลที่ได้ในวันที่ 1, 2, 3, 4, 5, 6 และ 7 วัน จากการหมักขานอ้อย ไปวัดด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี ได้ผลดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงปริมาณของเอธานอลที่วัดได้ในแต่ละวันที่ทำการหมักขานอ้อย

ครั้งที่	ตัวอย่าง	Ret.time (min)	Area (Counts)	Result (%)	ปริมาณ เอธานอล (g/l)	ปริมาณ เอธานอล/ ขานอ้อย (g/kg)
1	ขานอ้อยหมัก 1 วัน	1.694	10,277	0.430	3.412	51.182
2	ขานอ้อยหมัก 1 วัน	1.723	8,427	0.394	3.130	46.943
3	ขานอ้อยหมัก 1 วัน	1.745	6,738	0.315	2.503	37.538
\bar{X}		1.721	8,481	0.380	3.015	45.221
S.D.				0.059	0.466	6.983
1	ขานอ้อยหมัก 2 วัน	1.697	9,042	0.423	3.022	45.324
2	ขานอ้อยหมัก 2 วัน	1.722	13,322	0.623	4.453	66.797
3	ขานอ้อยหมัก 2 วัน	1.694	10,687	0.500	3.574	53.607
\bar{X}		1.704	11,017	0.516	3.683	55.243
S.D.		0.015		0.101	0.722	10.829
1	ขานอ้อยหมัก 3 วัน	1.711	13,795	0.646	4.099	61.480
2	ขานอ้อยหมัก 3 วัน	1.728	10,510	0.492	3.123	46.841
3	ขานอ้อยหมัก 3 วัน	1.697	10,048	0.470	2.986	44.784
\bar{X}		1.712	11,451	0.536	3.402	51.035
S.D.				0.096	0.607	9.104
1	ขานอ้อยหมัก 4 วัน	1.700	20,715	0.969	5.386	80.788
2	ขานอ้อยหมัก 4 วัน	1.700	20,327	0.951	5.285	79.272
3	ขานอ้อยหมัก 4 วัน	1.714	20,884	0.977	5.429	81.438
\bar{X}		1.705	20,642	0.966	5.367	80.499
S.D.				0.013	0.074	1.112

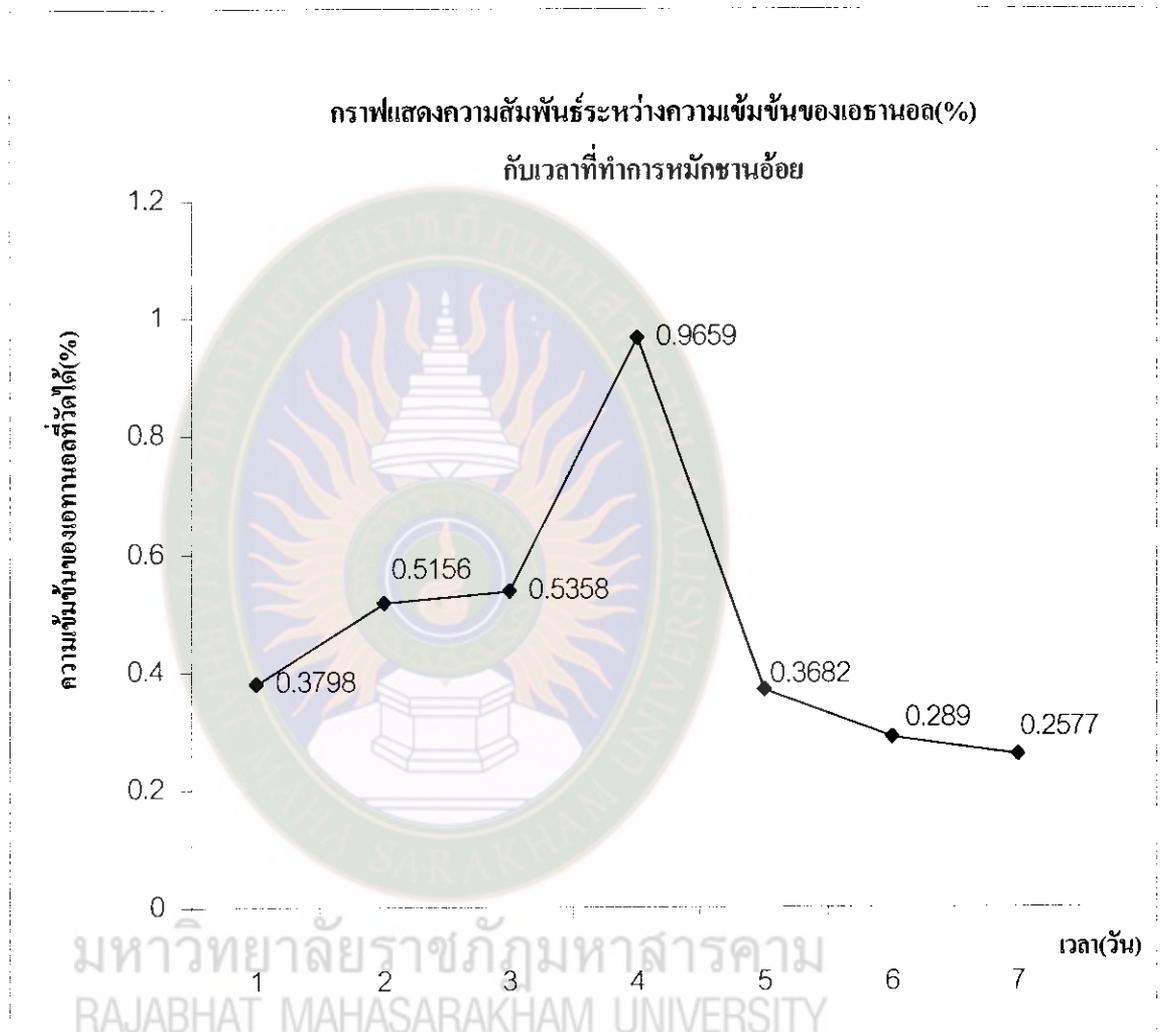
ตารางที่ 4.1 แสดงปริมาณของเอธานอลที่วัดได้ในแต่ละวันที่ทำการหมัก (ต่อ)

ครั้งที่	ตัวอย่าง	Ret.time (min)	Area (Counts)	Result (%)	ปริมาณ เอธานอล (g/l)	ปริมาณ เอธานอล/ ชานอ้อย (g/kg)
1	ชานอ้อยหมัก 5 วัน	1.705	8,649	0.405	1.928	28.923
2	ชานอ้อยหมัก 5 วัน	1.689	7,611	0.356	1.696	25.444
3	ชานอ้อยหมัก 5 วัน	1.723	7,341	0.344	1.636	24.537
\bar{X}		1.706	7,867	0.368	1.753	26.302
S.D.				0.032	0.154	2.315
1	ชานอ้อยหมัก 6 วัน	1.673	5,312	0.249	0.987	14.799
2	ชานอ้อยหมัก 6 วัน	1.687	6,779	0.317	1.259	18.882
3	ชานอ้อยหมัก 6 วัน	1.708	6,433	0.301	1.195	17.924
\bar{X}		1.689	6,175	0.289	1.147	17.201
S.D.				0.036	0.142	2.135
1	ชานอ้อยหมัก 7 วัน	1.723	5,842	0.273	0.868	13.020
2	ชานอ้อยหมัก 7 วัน	1.721	5,157	0.241	0.766	11.491
3	ชานอ้อยหมัก 7 วัน	1.719	5,522	0.258	0.820	12.306
\bar{X}		1.721	5,507	0.258	0.818	12.272
S.D.				0.016	0.051	0.765

จากตารางที่ 4.1 จะเห็นว่าความเข้มข้นของเอธานอล ที่ได้จากการหมักชานอ้อยในแต่ละวันจะเพิ่มสูงขึ้น เมื่อถึงวันที่ 4 จะมีความเข้มข้นของเอธานอล และให้ปริมาณเอธานอล/ชานอ้อย สูงที่สุด หลังจากวันที่ 4 ความเข้มข้นของเอธานอลจะลดลง เนื่องจากเอธานอลที่เกิดขึ้นจะกลับมายับยั้งการเจริญเติบโตของยีสต์ ดังนั้น เมื่อเอธานอลที่ได้มีความเข้มข้นสูง อัตราการเจริญของยีสต์ จะลดลง ทั้งนี้เพราะเอธานอลมีผลต่อเอนไซม์และสรีรวิทยาของเซลล์ ผลคือทำให้การทำงานของเอนไซม์แอลกอฮอล์ดีไฮโดรจีเนส และเฮกโซโคเนสลดลง ยังมีผลต่อเมมเบรนและเซลล์ยีสต์ด้วย

4.3 กราฟที่ได้จากการหมักชานอ้อย

แสดงกราฟที่ได้จากการนำตัวอย่างชานอ้อย 20 กรัม มาหมักด้วยยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* ที่อุณหภูมิห้อง โดยหมักตัวอย่างชานอ้อยแปรตามเวลา 1, 2, 3, 4, 5, 6 และ 7 วัน ตามลำดับ



เมื่อนำตัวอย่างชานอ้อยที่ผ่านการหมัก แล้วนำน้ำหมักที่ได้ไปกลั่น มาวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี จากนั้นนำผลที่ได้ มาเทียบกับกราฟมาตรฐานเอทานอล (ภาพที่ 4.1) จะทำให้ทราบความเข้มข้นของเอทานอลที่เกิดขึ้น หลังจากนั้นนำผลที่ได้มาพล็อตกราฟระหว่างความเข้มข้นกับเวลาที่ทำการหมัก ดังแสดงในภาพที่ 4.2 จากนั้นนำความเข้มข้นที่ได้จากกราฟ มาคำนวณปริมาณของเอทานอล ดังแสดงในตารางที่ 4.1 เมื่อนำผลการทดลองที่ได้ไปคำนวณหาความแปรปรวนของปริมาณเอทานอลที่ได้ในแต่ละวันที่ทำการหมักชานอ้อย ซึ่งวิธีที่นิยมใช้ในการคำนวณคือ วิธี F - test ได้ผลดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณเอธานอลที่ได้ในแต่ละวันที่ทำการหมัก
ชานอ้อย

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1.039	6	.173	45.640	.000
Within Groups	5.311E-02	14	3.794E-03		
Total	1.092	20			

จากตารางที่ 4.2 จะเห็นว่าค่าความแปรปรวนของปริมาณเอธานอลที่ได้ในแต่ละวันที่ทำการหมักชานอ้อย จะแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ .01 และสามารถนำไปทดสอบหาความแตกต่างโดยวิธี Student –Newman – Keuls ได้ผลดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงการทดสอบความแตกต่างโดยวิธี Student –Newman – Keuls ของชานอ้อย

	จำนวนวัน	N	Subset for alpha = .01		
			1	2	3
Student-Newman-Keuls	7	3	.257333		
	6	3	.289000		
	5	3	.368333	.368333	
	1	3	.379667	.379667	
	2	3		.515333	
	3	3		.515333	
	4	3			.965667
	Sig.			.116	.049

จากตารางที่ 4.3 เป็นการแสดงปริมาณเอธานอล ที่ได้จากการหมักในแต่ละวันของชานอ้อยที่ไม่แตกต่างและแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ .01 โดยเอธานอลที่มีปริมาณไม่แตกต่างกันจะอยู่ในคอลัมน์เดียวกัน ส่วนที่มีปริมาณแตกต่างกันจะอยู่คนละคอลัมน์ โดยมีค่าความน่าจะเป็นในการยอมรับสมมติฐานคือค่า Sig

4.4 ผลที่ได้จากการหมักผักตบชวา

เมื่อนำปริมาณเอธานอลที่ได้ในวันที่ 1, 2, 3, 4, 5, 6 และ 7 วัน จากการหมักผักตบชวา ไปวัดด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟีได้ผลดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงปริมาณของเอธานอลที่วัดได้ในแต่ละวันที่ทำการหมักผักตบชวา

ครั้งที่	ตัวอย่าง	Ret.time (min)	Area (Counts)	Result (%)	ปริมาณเอธา นอล(g/l)	ปริมาณเอธา นอล/ ผักตบชวา (g/kg)
1	ผักตบชวามัก 1 วัน	1.718	2,648	0.124	0.983	14.751
2	ผักตบชวามัก 1 วัน	1.707	2,704	0.127	1.004	15.060
3	ผักตบชวามัก 1 วัน	1.728	2,742	0.128	1.018	15.275
\bar{X}		1.718	2,698	0.126	1.002	15.029
S.D.				0.002	0.018	0.263
1	ผักตบชวามัก 2 วัน	1.713	6,347	0.297	2.122	31.823
2	ผักตบชวามัก 2 วัน	1.721	5,861	0.274	1.959	29.391
3	ผักตบชวามัก 2 วัน	1.720	5,025	0.235	1.679	25.191
\bar{X}		1.718	5,744	0.269	1.920	28.802
S.D.				0.031	0.224	3.355
1	ผักตบชวามัก 3 วัน	1.712	10,057	0.471	2.988	44.822
2	ผักตบชวามัก 3 วัน	1.729	9,317	0.436	2.768	41.526
3	ผักตบชวามัก 3 วัน	1.702	8,094	0.379	2.404	36.059
\bar{X}		1.714	9,156	0.428	2.720	40.803
S.D.				0.046	0.295	4.426
1	ผักตบชวามัก 4 วัน	1.723	8,209	0.384	2.135	32.019
2	ผักตบชวามัก 4 วัน	1.721	8,455	0.396	2.198	32.977
3	ผักตบชวามัก 4 วัน	1.719	8,382	0.392	2.179	32.685
\bar{X}		1.721	8,349	0.391	2.171	32.560
S.D.				0.006	0.033	0.491

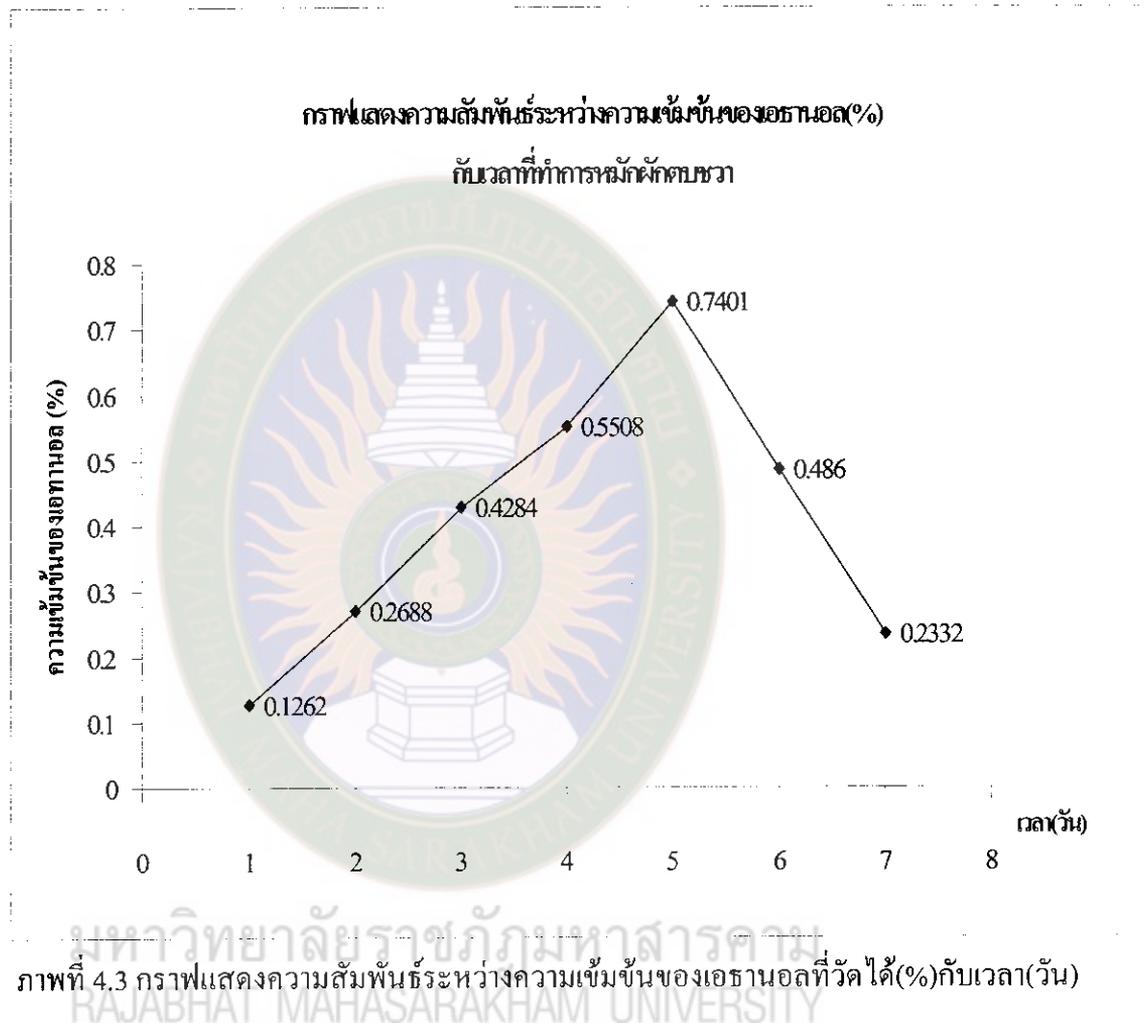
ตารางที่ 4.4 แสดงปริมาณของเอธานอลที่วัดได้ในแต่ละวันที่ทำการหมักผักตบชวา (ต่อ)

ครั้งที่	ตัวอย่าง	Ret.time (min)	Area (Counts)	Result (%)	ปริมาณเอธานอล(g/l)	ปริมาณเอธานอล/ ผักตบชวา (g/kg)
1	ผักตบชวาหมัก 5 วัน	1.679	5,329	0.249	1.188	17.815
2	ผักตบชวาหมัก 5 วัน	1.715	4,904	0.230	1.093	16.394
3	ผักตบชวาหมัก 5 วัน	1.715	4,953	0.232	1.104	16.558
\bar{X}		1.703	5,062	0.237	1.128	16.922
S.D.				0.011	0.052	0.778
1	ผักตบชวาหมัก 6 วัน	1.728	4,514	0.211	0.838	12.572
2	ผักตบชวาหมัก 6 วัน	1.715	4,478	0.210	0.831	12.471
3	ผักตบชวาหมัก 6 วัน	1.715	4,527	0.212	0.841	12.608
\bar{X}		1.719	4,506	0.211	0.837	12.550
S.D.				0.001	0.005	0.071
1	ผักตบชวาหมัก 7 วัน	1.721	2,554	0.120	0.379	5.691
2	ผักตบชวาหมัก 7 วัน	1.717	2,546	0.119	0.378	5.672
3	ผักตบชวาหมัก 7 วัน	1.717	3,285	0.154	0.488	7.320
\bar{X}		1.718	2,795	0.131	0.415	6.227
S.D.				0.020	0.063	0.946

จากตารางที่ 4.4 จะเห็นว่าความเข้มข้นของเอธานอล ที่ได้จากการหมักผักตบชวาในแต่ละวันจะเพิ่มสูงขึ้น เมื่อถึงวันที่ 3 จะมีความเข้มข้นของเอธานอล และให้ปริมาณเอธานอล/ผักตบชวา สูงที่สุด หลังจากวันที่ 3 ของการหมักความเข้มข้นของเอธานอลจะลดลง เนื่องจากเอธานอลที่เกิดขึ้น จะกลับมายับยั้งการเจริญเติบโตของยีสต์ ดังนั้นเมื่อเอธานอลที่ได้มีความเข้มข้นสูง อัตราการเจริญของยีสต์จะลดลง ทั้งนี้เพราะว่าเอธานอลมีผลต่อเอนไซม์และ สรีรวิทยาของเซลล์ โดยมีผลต่อการทำงานของเอนไซม์แอลกอฮอล์ดีไฮโดรจีเนสและเฮกโซโคเนส มีผลต่อเมมเบรนและเซลล์ยีสต์ด้วย

4.5 กราฟที่ได้จากการหมักผักตบชวา

แสดงกราฟที่ได้จากการนำตัวอย่างผักตบชวาปริมาณ 20 กรัม มาหมักด้วยยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* ที่อุณหภูมิห้อง โดยหมักตัวอย่างผักตบชวาแปรตามเวลา 1, 2, 3, 4, 5, 6 และ 7 วัน ตามลำดับ



ภาพที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเอทานอลที่วัดได้(%)กับเวลา(วัน)

เมื่อนำตัวอย่างผักตบชวาที่ผ่านการหมัก แล้วนำน้ำหมักที่ได้ไปกลั่น มาวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี จากนั้นนำผลที่ได้ มาเทียบกับกราฟมาตรฐานเอทานอล (ภาพที่ 4.1) จะทำให้ทราบความเข้มข้นของเอทานอลที่เกิดขึ้น หลังจากนั้นนำผลที่ได้มาพล็อตกราฟระหว่างความเข้มข้นกับเวลาที่ทำการหมัก ดังแสดงในภาพที่ 4.3 จากนั้นนำความเข้มข้นที่ได้จากกราฟ มาคำนวณปริมาณของเอทานอล ดังแสดงในตารางที่ 4.4 เมื่อนำผลการทดลองที่ได้ไปคำนวณหาความแปรปรวนของปริมาณเอทานอลที่ได้ในแต่ละวันที่ทำการหมักผักตบชวา ซึ่งวิธีที่นิยมใช้ในการคำนวณคือ วิธี F - test ได้ผลดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณเอธานอลที่ได้ในแต่ละวันที่ทำการหมัก
ผักตบชวา

	Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.249	6	4.147E-02	78.720	.000
Within Groups	7.375E-03	14	5.268E-04		
Total	.256	20			

จากตารางที่ 4.5 จะเห็นว่าค่าความแปรปรวนของปริมาณเอธานอลที่ได้ในแต่ละวันที่ทำการหมักผักตบชวาจะแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ .01 และสามารถนำไปทดสอบหาความแตกต่างโดยวิธี Student –Newman – Keuls ได้ผลดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 แสดงการทดสอบความแตกต่างโดยวิธี Student –Newman – Keuls ของผักตบชวา

	จำนวนวัน	N	Subset for alpha = .01		
			1	2	3
Student-Newman-Keuls	1	3	.126333		
	7	3	.131000		
	6	3		.211000	
	5	3		.237000	
	2	3		.268667	
	4	3			.390667
	3	3			.428667
	Sig.			.807	.021

จากตารางที่ 4.6 เป็นการแสดงปริมาณเอธานอล ที่ได้จากการหมักในแต่ละวันของผักตบชวาที่ไม่แตกต่างและแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ .01 โดยดูได้จากเอธานอลที่มีปริมาณไม่แตกต่างกันจะอยู่ในคอลัมน์เดียวกัน ส่วนที่มีปริมาณแตกต่างกันจะอยู่คนละคอลัมน์ โดยมีความน่าจะเป็นในการยอมรับสมมติฐานคือค่า Sig

เมื่อนำปริมาณเอทานอลที่ได้จากการหมักขานอ้อยและผักตบชวา มาทดสอบหาค่าเฉลี่ยของ 2 ตัวอย่าง แบบพารามตริก กรณี 2 กลุ่มเป็นอิสระต่อกัน (t-test) ได้ผลดังตาราง

ตารางที่ 4.7 แสดงการทดสอบค่าเฉลี่ยของ 2 ตัวอย่างระหว่างขานอ้อยและผักตบชวา

	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
	F	Sig.	t	Df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	99% Confidence Interval of the Difference	
								Lower	Upper
Equal variances assumed	5.503	.024	3.821	40	.000	.216857	5.67549E-02	6.33657E-02	.370349
Equal variances not assumed			3.821	28.860	.001	.216857	5.67549E-02	6.03657E-02	.373349

จากตารางที่ 4.7 จะเห็นว่าปริมาณเอทานอลที่ได้จากขานอ้อยและผักตบชวาแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ .01 เนื่องจากค่าความน่าจะเป็นในการยอมรับสมมติฐาน (Sig (2 – tailed)) มีค่าเท่ากับ .000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า α ที่กำหนดไว้คือ .01

4.6 วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองนำขานอ้อยและผักตบชวามาย่อยเฮมิเซลลูโลสและเซลลูโลส เพื่อให้ได้น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว การย่อยตัวอย่างอาจเพิ่มความเข้มข้นของกรดที่ใช้ย่อย หรืออาจใช้เอนไซม์ย่อยแทนก็ได้ และควรควบคุมอุณหภูมิที่ใช้ในการย่อยเพราะถ้าอุณหภูมิสูงหรือต่ำเกินไป จะทำให้ได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวน้อยเกินไป หรืออาจได้สารตัวอื่น แล้วทำการหมักด้วยยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* ซึ่งปริมาณเอทานอลที่ได้จากทั้ง 2 ตัวอย่าง จะให้ปริมาณเอทานอลที่แตกต่างกัน โดยขานอ้อยจะให้ปริมาณเอทานอลที่สูงกว่าผักตบชวา แต่ปริมาณเอทานอลที่ได้จากทั้ง 2 ตัวอย่างยังถือว่าเป็นปริมาณที่น้อยอยู่