

ผลการทดลอง

วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแป้งมันสำปะหลัง

วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลองนี้คือ แป้งมันสำปะหลังตรา Rose จากบริษัท ไทยวา จำกัด (มหาชน) มีองค์ประกอบทางเคมีดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7: องค์ประกอบทางเคมีของแป้งมันสำปะหลังที่ใช้ในการทดลอง

องค์ประกอบ	ปริมาณโดยเฉลี่ย (ร้อยละ)
ความชื้น	13.6
โปรตีน	0.17
ไขมัน	0.11
เส้นใย	0.15
เถ้า	0.12
คาร์โบไฮเดรต	85.85

ศึกษาการผลิตมอลโตเดกซ์ทรินโดยการเติมเอนไซม์แอลฟา-อะมิเลสครั้งเดียวในกระบวนการผลิตแบบกะ

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการผลิตที่เลือกศึกษา คือ ความเข้มข้นของเอนไซม์แอลฟา-อะมิเลส อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการผลิต แปรความเข้มข้นของเอนไซม์ออกเป็น 3 ระดับ คือ ร้อยละ

0.01 0.05 และ 0.10 แปรอุณหภูมิเป็น 80 85 และ 90 องศาเซลเซียส และแปรเวลาในการผลิตเป็น 40 80 และ 120 นาที โดยการศึกษาจะแบ่งออกเป็น 2 ตอน ดังนี้

1. ศึกษาผลของความเข้มข้นของเอนไซม์ อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการผลิตในกระบวนการผลิตแบบกะต่อปริมาณลิเคอไฟสตาร์ชและค่า D.E. ของมอลโตเดกซ์ทริน

ทำการทดลองตามแผนการทดลอง Symmetric Factorial Design ขนาด $3 \times 3 \times 3$ จำนวนสภาวะในการทดลองเท่ากับ 27 สภาวะ ทำการทดลอง 2 ข้ำ วิเคราะห์ปริมาณลิเคอไฟสตาร์ช และ D.E. ของผลิตภัณฑ์ทั้งหมด ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 8

1.1 ผลของความเข้มข้นของเอนไซม์ อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการผลิตต่อปริมาณลิเคอไฟสตาร์ช

เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนในตารางที่ 9 พบว่า ความเข้มข้นของเอนไซม์ อุณหภูมิ เวลาในการผลิต และอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสาม มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณลิเคอไฟสตาร์ช ดังนั้นจึงใช้ Duncan's New Multiple Range Test ในการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปริมาณลิเคอไฟสตาร์ช โดยค่าเฉลี่ยของปริมาณลิเคอไฟสตาร์ชที่ความเข้มข้นของเอนไซม์ อุณหภูมิ และเวลาในการผลิตต่างๆ แสดงไว้ในตารางที่ 10 ตารางที่ 11 และตารางที่ 12 ตามลำดับ ส่วนอิทธิพลร่วมของความเข้มข้นของเอนไซม์กับอุณหภูมิ ความเข้มข้นของเอนไซม์กับเวลา และอุณหภูมิกับเวลา ที่มีผลต่อปริมาณลิเคอไฟสตาร์ช ได้แสดงไว้ในภาพที่ 4 ภาพที่ 5 และ ภาพที่ 6 ตามลำดับ

ตารางที่ 10 แสดงให้เห็นว่า ค่าเฉลี่ยของปริมาณลิเคอไฟสตาร์ชเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเอนไซม์ ในตารางที่ 11 เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในกระบวนการผลิต ค่าเฉลี่ยของปริมาณลิเคอไฟสตาร์ชจะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนตารางที่ 12 นั้น เมื่อเพิ่มเวลาในการผลิตค่าเฉลี่ยของปริมาณลิเคอไฟสตาร์ชจะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ สำหรับผลของอิทธิพลร่วมในภาพที่ 4 เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเอนไซม์ควบคู่ไปกับการเพิ่มอุณหภูมิในกระบวนการผลิต ค่าเฉลี่ยของปริมาณลิเคอไฟสตาร์ชจะเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับในภาพที่ 5 และ 6 เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเอนไซม์ควบคู่ไปกับการเพิ่มเวลาในการผลิต และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในกระบวนการผลิตควบคู่ไปกับการเพิ่มเวลาในการผลิต ค่าเฉลี่ยของปริมาณลิเคอไฟสตาร์ชจะเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 8: ปริมาณลิเคอไฟสตา์ชและค่า D.E. ของผลิตภัณฑ์จากกระบวนการผลิตแบบกะ
ในการทดลองแบบ Symmetric Factorial Design

ลำดับที่	ปริมาณเอนไซม์(%)	อุณหภูมิ(°C)	เวลา(นาที)	ลิเคอไฟสตา์ช(%)	D.E.
1	0.01	80	40	65.22 ± 2.22	5.98 ± 0.21
2	0.05	80	40	83.40 ± 1.82	9.88 ± 0.08
3	0.10	80	40	92.69 ± 1.03	15.80 ± 0.08
4	0.01	85	40	71.98 ± 0.83	7.13 ± 0.83
5	0.05	85	40	91.36 ± 2.41	12.61 ± 0.20
6	0.10	85	40	95.69 ± 0.13	19.26 ± 0.36
7	0.01	90	40	82.91 ± 4.62	7.27 ± 0.20
8	0.05	90	40	92.41 ± 0.74	16.31 ± 0.13
9	0.10	90	40	92.22 ± 0.00	23.20 ± 0.08
10	0.01	80	80	70.60 ± 1.46	8.44 ± 0.51
11	0.05	80	80	94.97 ± 0.18	17.82 ± 0.25
12	0.10	80	80	96.18 ± 1.03	24.84 ± 0.04
13	0.01	85	80	84.12 ± 1.03	6.94 ± 0.09
14	0.05	85	80	91.42 ± 2.10	22.25 ± 0.13
15	0.10	85	80	98.06 ± 0.33	24.57 ± 0.25
16	0.01	90	80	88.82 ± 0.56	9.14 ± 0.84
17	0.05	90	80	96.89 ± 0.76	23.57 ± 0.18
18	0.10	90	80	98.16 ± 0.13	26.34 ± 0.39
19	0.01	80	120	84.86 ± 0.47	8.26 ± 0.41
20	0.05	80	120	87.17 ± 1.23	22.32 ± 0.31
21	0.10	80	120	97.54 ± 0.59	26.14 ± 1.02
22	0.01	85	120	91.08 ± 0.49	10.92 ± 0.38
23	0.05	85	120	91.88 ± 0.44	22.94 ± 0.70
24	0.10	85	120	97.71 ± 0.65	26.68 ± 0.68
25	0.01	90	120	76.30 ± 5.14	9.94 ± 0.02
26	0.05	90	120	97.44 ± 0.02	26.38 ± 0.13
27	0.10	90	120	98.12 ± 0.05	30.75 ± 0.83

ตารางที่ 9: การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณโคไฟสตาร์ชเนื่องจากความเข้มข้นของ
เอโนไซม์(A) อุณหภูมิ(B) และเวลาที่ใช้ในการผลิต(C) ในกระบวนการผลิตแบบกะ

SOV	SS	d.f.	MS	F-ratio	Sig.level
MAIN EFFECTS					
A	2706.8854	2	1353.4427	475.677	0.0000
B	319.5267	2	159.7633	56.150	0.0000
C	413.6590	2	206.8290	72.692	0.0000
INTERACTIONS					
AB	162.09621	4	40.524052	14.242	0.0000
AC	109.04612	4	27.261530	9.581	0.0001
BC	128.05913	4	32.014782	11.252	0.0000
ABC	540.05071	8	67.506339	23.726	0.0000
RESIDUAL	76.823050	27	2.8452981		
TOTAL	4456.1453	53			

ตารางที่ 10: ค่าเฉลี่ยของปริมาณโคไฟสตาร์ชที่ความเข้มข้นของเอนไซม์ต่างๆที่ใช้ในกระบวนการผลิตแบบกะ

ความเข้มข้นของเอนไซม์ (ร้อยละ)	ค่าเฉลี่ยของปริมาณโคไฟสตาร์ช* (ร้อยละ)
0.01	79.54 ^c
0.05	91.88 ^b
0.10	96.26 ^a

* ตัวอักษรที่ต่างกัน แสดงให้เห็นว่า ค่านี้มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ 11: ค่าเฉลี่ยของปริมาณโคไฟสตาร์ชที่ระดับอุณหภูมิต่างๆที่ใช้ในกระบวนการผลิตแบบกะ

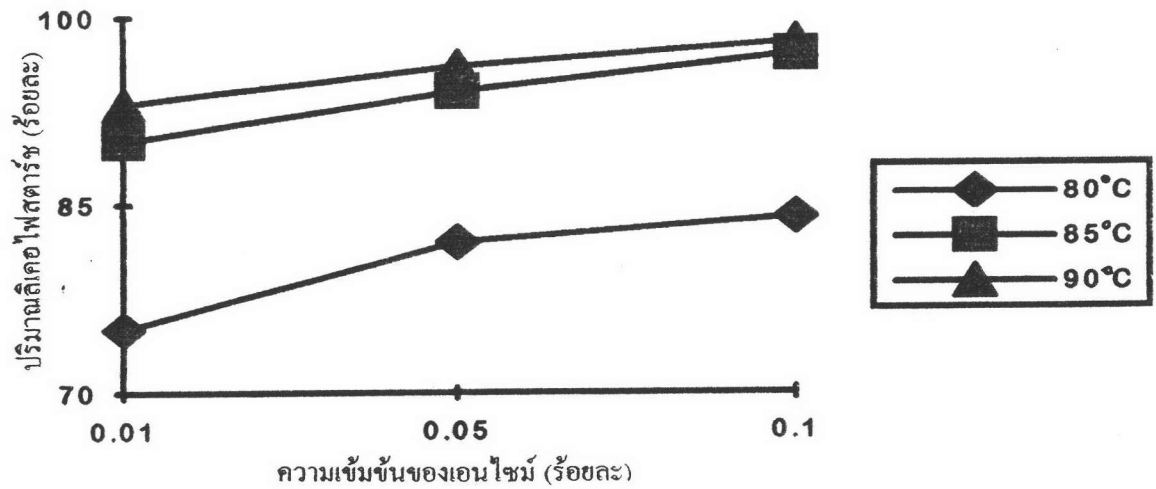
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ค่าเฉลี่ยของปริมาณโคไฟสตาร์ช* (ร้อยละ)
80	85.85 ^b
85	90.37 ^a
90	91.47 ^a

* ตัวอักษรที่ต่างกัน แสดงให้เห็นว่า ค่านี้มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

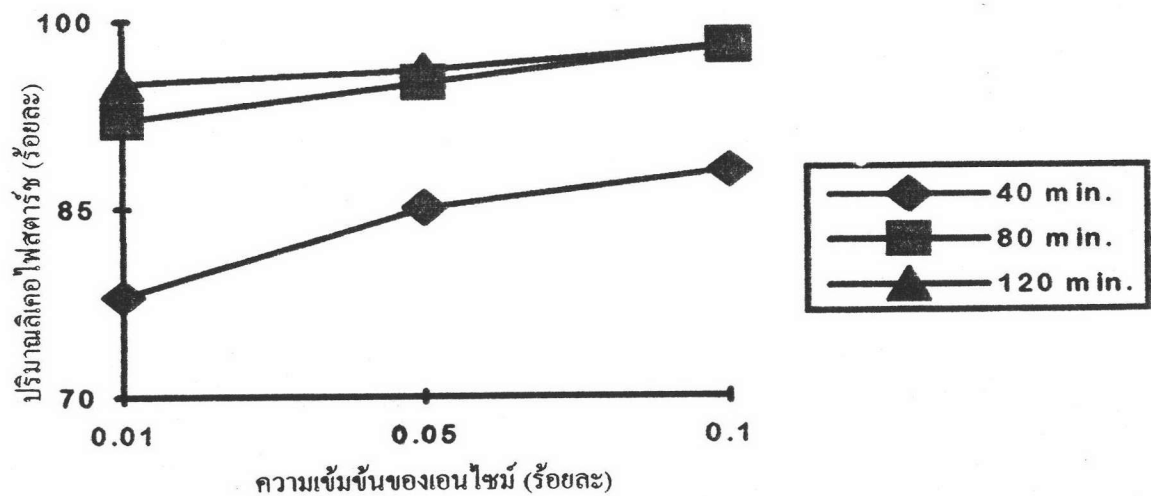
ตารางที่ 12: ค่าเฉลี่ยของปริมาณโคไฟสตาร์ชที่เวลาต่างๆที่ใช้ในกระบวนการผลิต
แบบกะ

เวลา (นาที)	ค่าเฉลี่ยของปริมาณโคไฟสตาร์ช* (ร้อยละ)
40	85.32 ^b
80	91.03 ^a
120	91.34 ^a

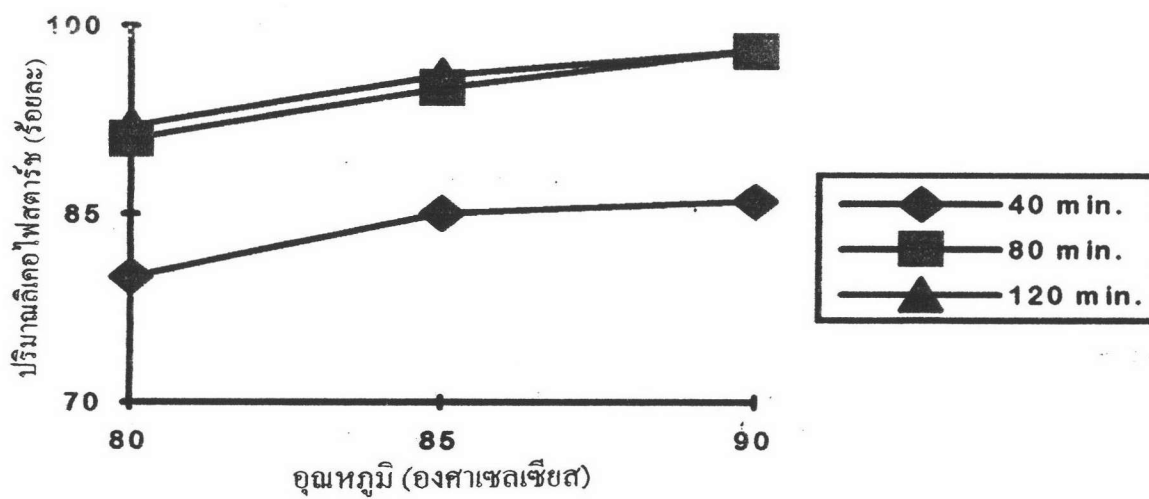
* ตัวอักษรที่ต่างกััน แสดงให้เห็นว่า ค่านี้มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ
ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



ภาพที่ 4 : ผลของอิทธิพลร่วมระหว่างความเข้มข้นของเอนไซม์กับอุณหภูมิที่ใช้ในการผลิตต่อปริมาณลิเคอไฟสตา์ซของมอลโตเดกซ์ทรินจากกระบวนการผลิตแบบกะ



ภาพที่ 5 : ผลของอิทธิพลร่วมระหว่างความเข้มข้นของเอนไซม์กับเวลาที่ใช้ในการผลิตต่อปริมาณลิเคอไฟสตา์ซของมอลโตเดกซ์ทรินจากกระบวนการผลิตแบบกะ



ภาพที่ 6 : ผลของอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิกับเวลาที่ใช้ในการผลิตต่อปริมาณลิโคไฟสตาร์ชของ
มอลโตเดกซ์ทรินจากกระบวนการผลิตแบบกะ

1.2 ผลของความเข้มข้นของเอนไซม์ อุลทงุมิ และเวลาที่ใช้ในการผลิตต่อค่า D.E. ของผลิตภัณฑ์

เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนในตารางที่ 13 พบว่า ความเข้มข้นของเอนไซม์ อุลทงุมิ เวลาในการผลิต และอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสามมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า D.E. ดังนั้น จึงใช้ Duncan's New Multiple Range Test ในการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่า D.E. โดยค่าเฉลี่ยของค่า D.E. ที่ความเข้มข้นของเอนไซม์ อุลทงุมิ และเวลาในการผลิตต่างๆ แสดงไว้ในตารางที่ 14 ตารางที่ 15 และตารางที่ 16 ตามลำดับ ส่วนอิทธิพลร่วมของความเข้มข้นของเอนไซม์กับอุลทงุมิ ความเข้มข้นของเอนไซม์กับเวลา และอุลทงุมิกับเวลาที่มีผลต่อค่า D.E. ของผลิตภัณฑ์ ได้แสดงไว้ในภาพที่ 7 ภาพที่ 8 และ ภาพที่ 9 ตามลำดับ

ตารางที่ 14 แสดงให้เห็นว่า ค่าเฉลี่ยของ D.E. เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเอนไซม์ ในตารางที่ 15 เมื่อเพิ่มอุลทงุมิในกระบวนการผลิต ค่าเฉลี่ยของ D.E. จะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนตารางที่ 16 นั้น เมื่อเพิ่มเวลาในการผลิต ค่าเฉลี่ยของ D.E. จะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเช่นกัน สำหรับผลของอิทธิพลร่วมในภาพที่ 7 เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเอนไซม์ควบคู่ไปกับการเพิ่มอุลทงุมิในกระบวนการผลิต ค่าเฉลี่ยของ D.E. จะเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับในภาพที่ 8 และ 9 เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเอนไซม์ควบคู่ไปกับการเพิ่มเวลาในการผลิต และเมื่อเพิ่มอุลทงุมิในกระบวนการผลิตควบคู่ไปกับการเพิ่มเวลาในการผลิต ค่าเฉลี่ยของ D.E. จะเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 13: การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า D.E. ของผลิตภัณฑ์เนื่องจากความเข้มข้นของ
 เอนไซม์(A) อุณหภูมิ(B) และเวลาที่ใช้ในการผลิต(C) ในกระบวนการผลิตแบบกะ

SOV	SS	d.f.	MS	F-ratio	Sig.level
MAIN EFFECTS					
A	2408.1600	2	1204.0800	5969.219	0.0000
B	125.3719	2	62.6860	310.765	0.0000
C	522.1068	2	261.0534	1294.171	0.0000
INTERACTIONS					
AB	32.15494	4	8.038736	39.852	0.0000
AC	118.21944	4	29.554861	146.518	0.0000
BC	9.26084	4	2.315211	11.478	0.0000
ABC	28.68647	8	3.585808	17.777	0.0000
RESIDUAL	5.44630	27	0.2017148		
TOTAL					
	3249.4068	53			

ตารางที่ 14: ค่าเฉลี่ยของ D.E. ของผลิตภัณฑ์ที่ความเข้มข้นของเอนไซม์ต่างๆที่ใช้ในกระบวนการผลิตแบบกะ

ความเข้มข้นของเอนไซม์ (ร้อยละ)	ค่าเฉลี่ยของ D.E.*
0.01	8.22 ^c
0.05	19.34 ^b
0.10	24.18 ^a

* ตัวอักษรที่ต่างกัน แสดงให้เห็นว่า ค่านี้มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ 15: ค่าเฉลี่ยของ D.E. ของผลิตภัณฑ์ที่ระดับอุณหภูมิต่างๆที่ใช้ในกระบวนการผลิตแบบกะ

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ค่าเฉลี่ยของ D.E.*
80	15.50 ^c
85	17.03 ^b
90	19.21 ^a

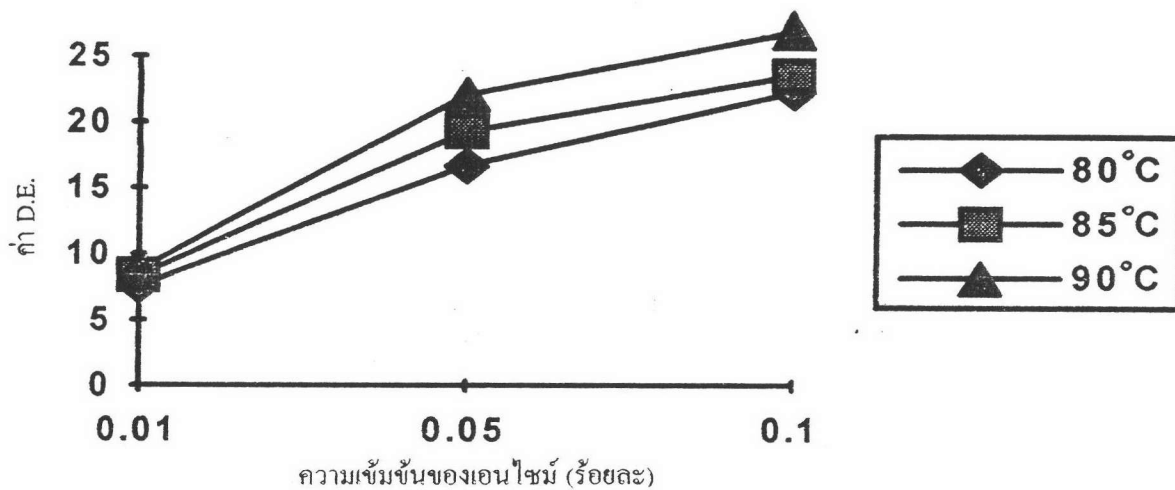
* ตัวอักษรที่ต่างกัน แสดงให้เห็นว่า ค่านี้มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



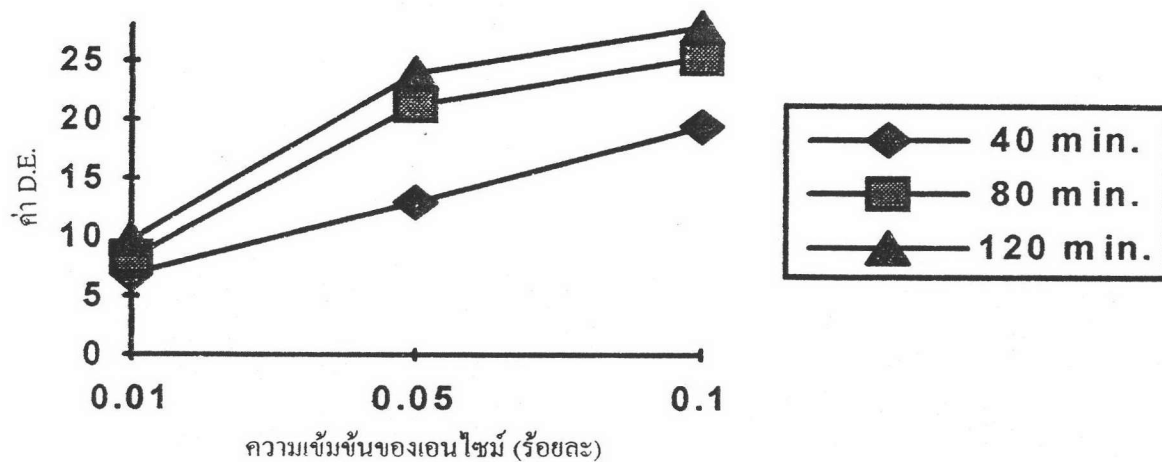
ตารางที่ 16: ค่าเฉลี่ยของ D.E. ของผลิตภัณฑ์ที่เวลาต่างๆที่ใช้ในกระบวนการผลิตแบบกะ

เวลา (นาที)	ค่าเฉลี่ยของ D.E. *
40	13.05 ^c
80	18.21 ^b
120	20.48 ^a

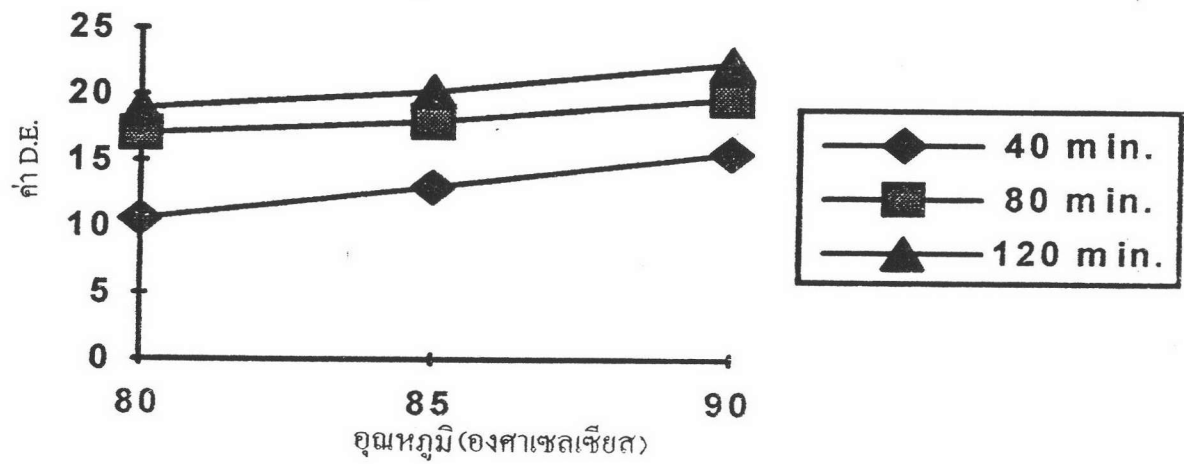
* ตัวอักษรที่แตกต่างกัน แสดงให้เห็นว่า ค่านี้มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ
ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



ภาพที่ 7 : ผลของอิทธิพลร่วมระหว่างความเข้มข้นของเอนไซม์กับอุณหภูมิที่ใช้ในการผลิตต่อค่า D.E. ของมอลโตเดกซ์ทรินจากกระบวนการผลิตแบบกะ



ภาพที่ 8 : ผลของอิทธิพลร่วมระหว่างความเข้มข้นของเอนไซม์กับเวลาที่ใช้ในการผลิตต่อค่า D.E. ของมอลโตเดกซ์ทรินจากกระบวนการผลิตแบบกะ



ภาพที่ 9 : ผลของอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิกับเวลาที่ใช้ในการผลิตต่อค่า D.E. ของมอดโตเดกซ์ทริน จากกระบวนการผลิตแบบกะ

1.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า D.E. และปริมาณลิเคอไฟสตาร์ชของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการผลิตแบบกะ

จากการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า D.E. และปริมาณลิเคอไฟสตาร์ชของผลิตภัณฑ์ที่แสดงในตารางที่ 8 โดย Multivariate method พบว่า มีค่า Correlation coefficient เท่ากับ 0.7991 เมื่อนำค่า D.E. และปริมาณลิเคอไฟสตาร์ชดังกล่าว มาหาความสัมพันธ์กันโดยใช้ Simple Regression Analysis สามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ 1 และภาพที่ 10

$$Y = 73.057 + 0.937684 X \quad \text{-----} 1$$

$$R\text{-Squared} = 0.6514$$

เมื่อ Y คือ ปริมาณลิเคอไฟสตาร์ช (ร้อยละ)
X คือ ค่า D.E. ของผลิตภัณฑ์

แต่จะเห็นได้ว่าค่า R-Squared ของสมการที่ 1 มีค่าต่ำเพียง 0.6514 จึงได้ทดลองใช้ Simple Regression Analysis ในการวิเคราะห์ข้อมูลอีกครั้ง เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่าง D.E. และปริมาณลิเคอไฟสตาร์ชในรูปแบบอื่นๆ ซึ่งอาจจะให้ค่า R-Squared ที่สูงกว่า พบว่า เมื่อกำหนดให้ความสัมพันธ์ระหว่างค่า D.E. และปริมาณลิเคอไฟสตาร์ชของผลิตภัณฑ์เป็นแบบ Power law จะได้ค่า R-Squared สูงที่สุด สำหรับสมการและกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า D.E. และปริมาณลิเคอไฟสตาร์ชของผลิตภัณฑ์แบบ Power law แสดงได้ดังสมการที่ 2

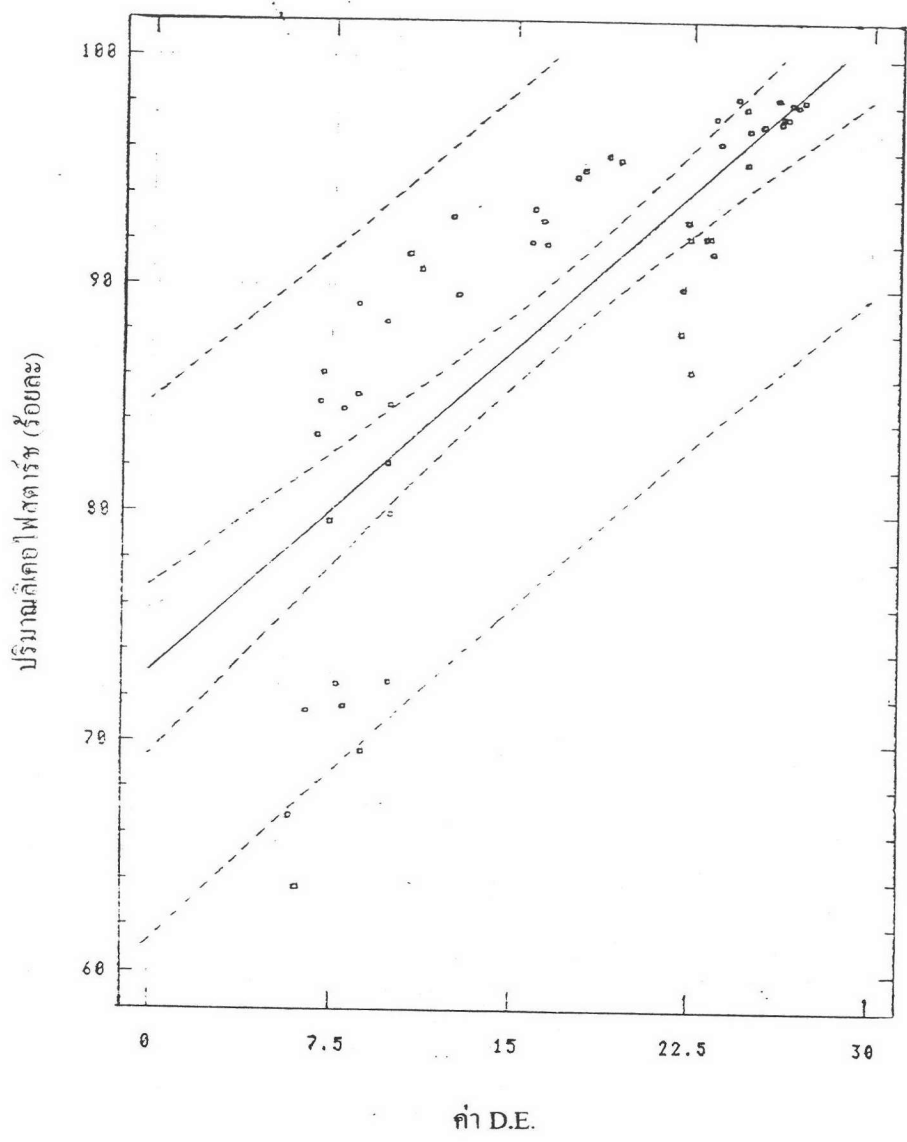
$$Y = 1.741783 X^{0.174233} \quad \text{-----} 2$$

$$R\text{-Squared} = 0.6874$$

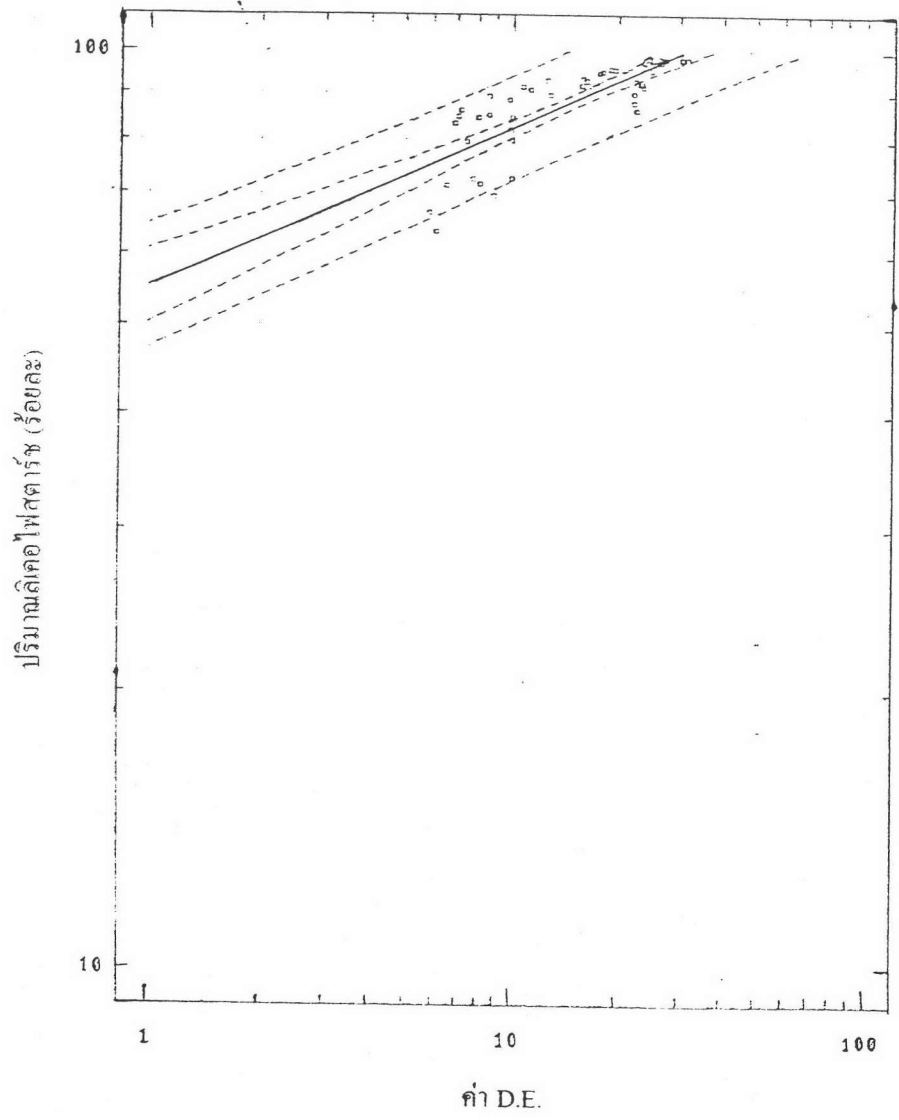
สามารถแปลงสมการที่ 2 ให้อยู่ในรูปของ logarithms ได้ดังสมการที่ 3

$$\log Y = 1.741783 + 0.174233 \log X \quad \text{-----} 3$$

ความสัมพันธ์ระหว่าง X และ Y ในแบบ logarithms ดังสมการที่ 3 สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 11



ภาพที่ 10 : กราฟความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างปริมาณฟอสฟอรัสและค่า D.E. ของมอลโตเดคซ์ทริน จากกระบวนการผลิตแบบกะ



ภาพที่ 11 : กราฟความสัมพันธ์แบบลอการิทึมระหว่างปริมาณลิแกนด์ฟอสฟอรัสและค่า D.E. ของมอลโตเดกซ์ทริน จากกระบวนการผลิตแบบกะ

2. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตมอลโตเดกซ์ทริน โดยการเติมเอนไซม์เพียงครั้งเดียวในกระบวนการผลิตแบบกะ

จากผลการศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อกระบวนการผลิตโดยใช้การทดลองแบบ Symmetric factorial design ดังแสดงในผลการทดลองหัวข้อที่ 1 พบว่า ปัจจัยทั้งสาม คือ ความเข้มข้นของเอนไซม์ในช่วงร้อยละ 0.01 ถึง 0.10 อุณหภูมิในการผลิต 80 ถึง 90 องศาเซลเซียส และเวลาที่ใช้ในการผลิต 40 ถึง 120 นาที มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า D.E. ของผลิตภัณฑ์ในช่วงที่ต้องการอย่างมีนัยสำคัญ จึงได้ใช้ RSM ในการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตมอลโตเดกซ์ทริน โดยใช้แผนการทดลอง Box-Behnken Design แบบ 3 ตัวแปร จำนวนสภาวะในการทดลองเท่ากับ 15 สภาวะ ทำการทดลอง 2 ครั้ง ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 17

ตารางที่ 17: ปริมาณลิเคอไฟสตา์ชและค่า D.E. ของผลิตภัณฑ์จากกระบวนการผลิตแบบกะ ในการทดลองแบบ Box-Behnken Design

ลำดับที่	ปริมาณเอนไซม์(%)	อุณหภูมิ(°C)	เวลา(นาที)	ลิเคอไฟสตา์ช(%)	D.E.
1	0.05	80	40	83.40 ± 1.82	9.88 ± 0.08
2	0.05	90	40	92.41 ± 0.74	16.31 ± 0.13
3	0.05	80	120	87.17 ± 1.23	22.32 ± 0.31
4	0.05	90	120	97.44 ± 0.02	26.38 ± 0.13
5	0.01	85	40	71.98 ± 0.83	7.13 ± 0.86
6	0.10	85	40	95.69 ± 0.13	19.26 ± 0.36
7	0.01	85	120	91.08 ± 0.49	10.92 ± 0.38
8	0.10	85	120	97.71 ± 0.65	26.68 ± 0.68
9	0.01	80	80	70.60 ± 1.46	8.44 ± 0.51
10	0.10	80	80	96.18 ± 1.03	24.84 ± 0.04
11	0.01	90	80	88.82 ± 0.56	9.14 ± 0.84
12	0.10	90	80	98.16 ± 0.13	26.34 ± 0.39
13	0.05	85	80	91.42 ± 2.10	22.25 ± 0.13
14	0.05	85	80	90.14 ± 2.02	21.31 ± 0.30
15	0.05	85	80	90.23 ± 1.41	21.71 ± 0.21

นำผลการทดลองในตารางที่ 17 มาหาความสัมพันธ์ระหว่าง D.E. ของผลิตภัณฑ์ ความเข้มข้นของเอนไซม์ ออมทงูมิ และเวลาในการผลิต ด้วยวิธี Multiple Regression จะได้ความสัมพันธ์ดังสมการที่ 4

$$Y = - 320.457334 + 354.176361 X_1 + 6.800291 X_2 + 0.547252 X_3 \\ - 2248.854167 X_1^2 - 0.03685 X_2^2 - 0.00132 X_3^2 \\ + 0.363497 X_1 X_2 + 0.41365 X_1 X_3 - 0.002969 X_2 X_3 \quad \text{-----} \quad 4$$

$$R\text{-Squared} = 0.9372$$

เมื่อ Y คือ D.E. ของผลิตภัณฑ์
 X_1 คือ ความเข้มข้นของเอนไซม์ (ร้อยละ)
 X_2 คือ ออมทงูมิที่ใช้ในการผลิต (องศาเซลเซียส)
 X_3 คือ เวลาที่ใช้ในการผลิต (นาที)

อย่างไรก็ตาม เมื่อทดลองสร้างสมการแสดงความสัมพันธ์ดังกล่าวโดยการตัดเทอมที่มีความมียุทธศาสตร์ต่อค่า D.E. ต่ำออก เพื่อให้ได้สมการที่มีค่า R-Squared สูงที่สุดจะได้สมการแสดงความสัมพันธ์ใหม่ ดังในสมการที่ 5

$$Y = - 301.89194 + 385.0736 X_1 + 6.581875 X_2 + 0.294908 X_3 \\ - 2248.854167 X_1^2 - 0.03685 X_2^2 - 0.00132 X_3^2 \\ + 0.41365 X_1 X_3 \quad \text{-----} \quad 5$$

$$R\text{-Squared} = 0.9403$$

จะเห็นว่าสมการที่ 5 นี้มีค่า R-Squared สูงกว่าสมการที่ 4 แสดงว่า ความถูกต้องแม่นยำในการใช้สมการที่ 5 ในการทำนายค่า D.E. ของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตในสภาวะต่างๆ จึงมากกว่า ดังนั้น จึงเลือกใช้สมการที่ 5 ในการทำนายสภาวะที่ต้องใช้ในการผลิตมอลโตเดกซ์ทริน ให้มีค่า D.E. ตามที่ต้องการ โดยในการทำนายสภาวะดังกล่าวนี้ สามารถทำได้ 2 วิธี ดังนี้ ในกรณีที่ต้องการหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีค่า D.E. สูงที่สุด จะใช้วิธี Partial

differentiation โดย Differentiate ค่า Y (สมการที่ 5) เทียบกับ X_1 , X_2 และ X_3 ตามลำดับ แสดงผลการ Differentiate ได้ดังต่อไปนี้

$$dY/dX_1 = 385.0736 - 4497.708334 X_1 + 0.41365 X_3$$

$$dY/dX_2 = 6.581875 - 0.0737 X_2$$

$$dY/dX_3 = 0.294908 - 0.00264 X_3 + 0.41365 X_1$$

จากนั้น กำหนดให้ dY/dX_1 , dY/dX_2 และ dY/dX_3 มีค่าเท่ากับศูนย์ แล้วจึงแก้สมการ จะได้ว่า สภาวะการผลิตที่ทำให้ผลิตภณฑ์มีค่า D.E. สูงที่สุด คือ ความเข้มข้นของเอนไซม์ (X_1) ร้อยละ 0.0973 (ปริมาตรต่อน้ำหนัก) อุณหภูมิ (X_2) 89.306 องศาเซลเซียส และเวลา (X_3) 126.9 นาที ผลิตภณฑ์จะมีค่า D.E. เท่ากับ 29.5 ซึ่งเป็นค่า D.E. ที่ได้จากการคำนวณโดยใช้สมการที่ 5 แต่ในการทดลองนี้ มีจุดประสงค์เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภณฑ์ที่มีค่า D.E. ไม่เกิน 20 จึงจะทำการหาสภาวะในการผลิตโดยอาศัยกราฟ 3 มิติแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า D.E. กับปัจจัย 2 ปัจจัย หรือใช้กราฟ Contour plot ของกราฟ 3 มิติดังกล่าว โดยกำหนดให้ปัจจัยใดปัจจัยหนึ่งคงที่ ในที่นี้ จะเลือกให้อุณหภูมิในการผลิตคงที่ เนื่องจาก เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของค่า D.E. เมื่อมีการแปรค่าปัจจัยแต่ละปัจจัย ดังแสดงในตารางที่ 14 15 และ 16 แล้ว พบว่า อุณหภูมิในการผลิตมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า D.E. น้อยที่สุด เมื่อกำหนดให้อุณหภูมิในการผลิตคงที่ที่ 80 85 และ 90 องศาเซลเซียส จะได้สมการแสดงความสัมพันธ์ดังสมการที่ 6 7 และ 8 ตามลำดับ

เมื่ออุณหภูมิเท่ากับ 80 องศาเซลเซียส

$$Y = - 11.18194 + 385.0736 X_1 + 0.294908 X_3 - 2248.854167 X_1^2 - 0.00132 X_3^2 + 0.41365 X_1 X_3 \quad \text{----- 6}$$

เมื่ออุณหภูมิเท่ากับ 85 องศาเซลเซียส

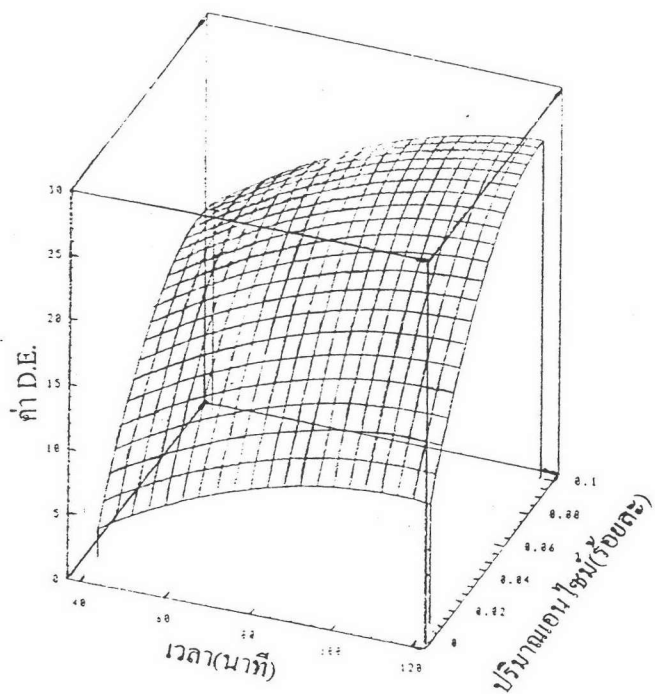
$$Y = - 8.673815 + 385.0736 X_1 + 0.294908 X_3 - 2248.854167 X_1^2 - 0.00132 X_3^2 + 0.41365 X_1 X_3 \quad \text{----- 7}$$

เมื่ออุณหภูมิเท่ากับ 90 องศาเซลเซียส

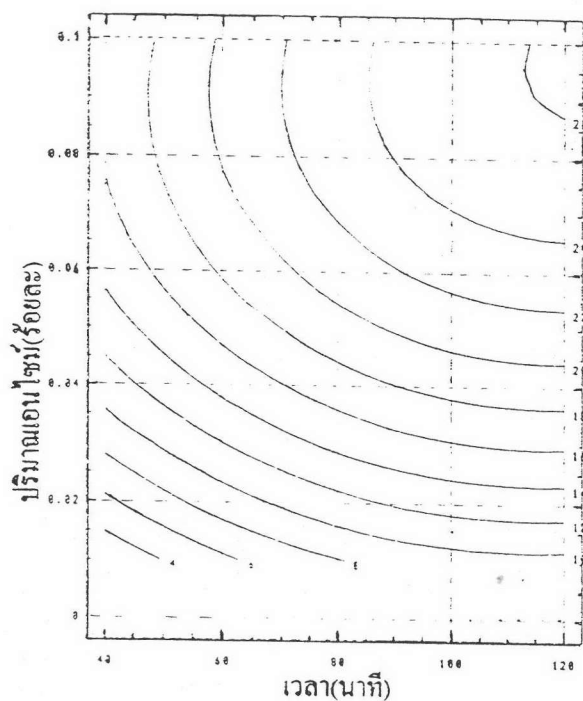
$$Y = - 8.00819 + 385.0736 X_1 + 0.294908 X_3 - 2248.854167 X_1^2 - 0.00132 X_3^2 + 0.41365 X_1 X_3 \quad \text{----- 8}$$

เมื่อนำสมการที่ได้ไปสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า D.E. ของผลิตภัณฑ์ ความเข้มข้นของเอนไซม์ และเวลาที่ใช้ในกระบวนการผลิต ที่ระดับอุณหภูมิต่างๆ พบว่า ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จะได้กราฟ 3 มิติดังภาพที่ 12 และกราฟ Contour plot ดังภาพที่ 13 ที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส จะได้กราฟ 3 มิติดังภาพที่ 14 และกราฟ Contour plot ดังภาพที่ 15 ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส จะได้กราฟ 3 มิติดังภาพที่ 16 และกราฟ Contour plot ดังภาพที่ 17

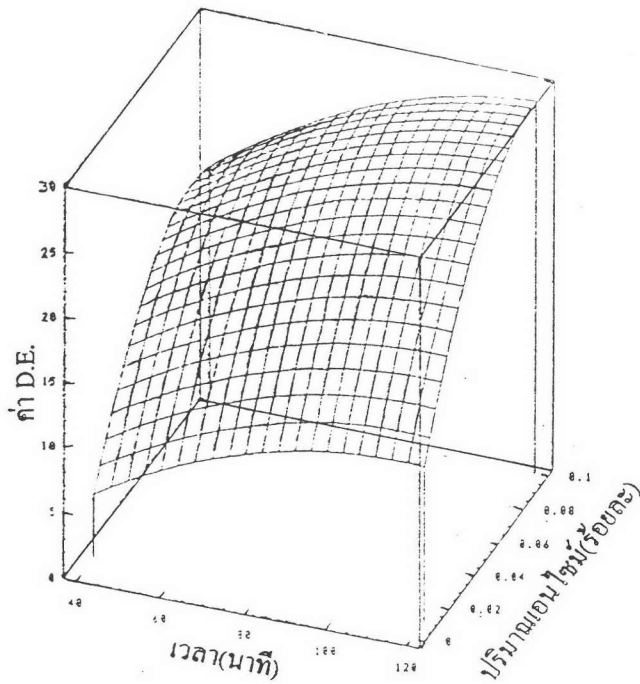
จากกราฟ 3 มิติภาพที่ 12 14 และ 16 จะเห็นว่า เมื่อเพิ่มเวลาในการผลิต และ/หรือเพิ่มความเข้มข้นของเอนไซม์ที่ใช้ในกระบวนการผลิต ค่า D.E. ของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น โดยการเพิ่มเวลาจะมีผลให้ค่า D.E. เพิ่มขึ้นในอัตราที่ต่ำกว่าการเพิ่มความเข้มข้นของเอนไซม์ และสังเกตได้ว่า ในทุกๆ อุณหภูมิที่ทำการทดลองนั้น ค่า D.E. จะเพิ่มขึ้นเป็นลำดับ เมื่อเพิ่มเวลาในการผลิตจาก 40 เป็น 80 นาที และค่า D.E. จะเพิ่มขึ้นน้อยลงจนกระทั่งแทบจะคงที่เมื่อเพิ่มเวลาในการผลิตให้อยู่ในช่วง 80 ถึง 120 นาที ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเอนไซม์ และค่า D.E. จะเป็นในลักษณะเดียวกันนี้ คือ ในการเพิ่มความเข้มข้นของเอนไซม์ในช่วงค่าต่างๆ ค่า D.E. จะเพิ่มขึ้นมากกว่าการเพิ่มความเข้มข้นของเอนไซม์ในช่วงค่าที่สูง ความสัมพันธ์นี้ จะสังเกตเห็นได้ชัดเจนใน Contour plot ภาพที่ 13 15 และ 17 การเปลี่ยนแปลงความชันของเส้นเท่าของค่า D.E. เมื่อมีการแปรค่าเวลา และความเข้มข้นของเอนไซม์ที่ใช้ในกระบวนการผลิต ซึ่งให้เห็นถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่า D.E. เมื่อมีการแปรค่าปัจจัยทั้งสองในช่วงต่างๆ ซึ่งจะเห็นว่า ที่ความเข้มข้นของเอนไซม์คงที่ การเพิ่มเวลาในการผลิตจาก 40 เป็น 80 นาที ค่า D.E. จะเพิ่มขึ้นรวดเร็ว และอัตราการเพิ่มของค่า D.E. ค่อยๆ ลดลงเมื่อแปรเวลาในการผลิตเป็น 80 ถึง 100 นาที จนกระทั่งค่า D.E. เกือบจะคงที่เมื่อมีการแปรค่าเวลาในการผลิตในช่วง 100 ถึง 120 นาที และเมื่อพิจารณาที่เวลาคงที่ใดๆ จะเห็นว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเอนไซม์ในช่วงร้อยละ 0.01 ถึง 0.08 ค่า D.E. ของผลิตภัณฑ์จะเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเอนไซม์ในช่วงร้อยละ 0.08 ถึง 0.10 ค่า D.E. ของผลิตภัณฑ์แทบจะไม่มี การเปลี่ยนแปลงอีกเลย จากการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของค่า D.E. ในช่วงค่าของปัจจัยที่ทำการทดลอง จะได้ว่า เวลาที่เหมาะสมในการผลิตมอลโตเดกซ์ทรินนั้น มีค่าอยู่ในช่วง 40 ถึง 80 นาที และความเข้มข้นของเอนไซม์มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 0.01 ถึง 0.08



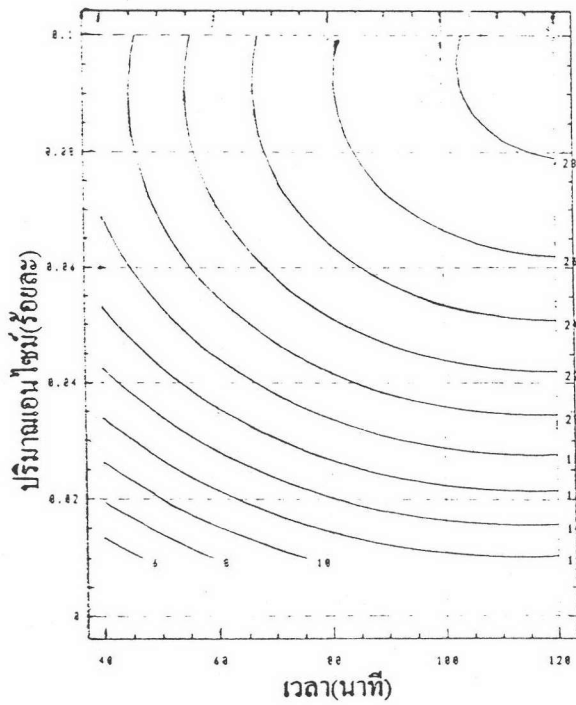
ภาพที่ 12 : กราฟ 3 มิติแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า D.E. ของมอลโตเดกซ์ทริน ความเข้มข้นของเอนไซม์ และเวลา ในกระบวนการผลิตแบบกะ ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส



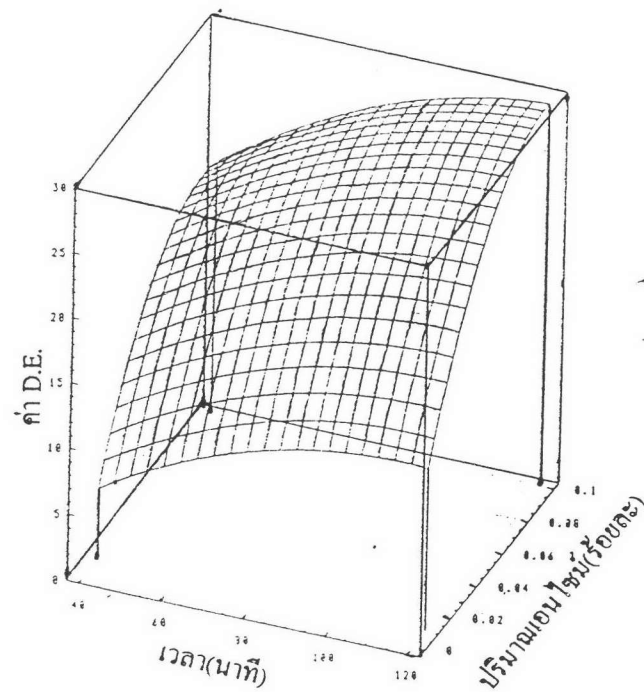
ภาพที่ 13 : Contour plot แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า D.E. ของมอลโตเดกซ์ทริน ความเข้มข้นของเอนไซม์ และเวลา ในกระบวนการผลิตแบบกะ ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส



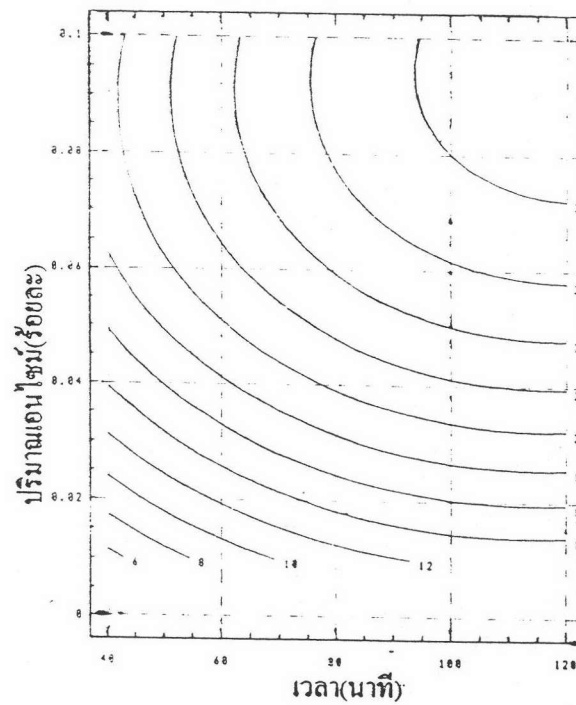
ภาพที่ 14 : กราฟ 3 มิติแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า D.E. ของมอลโตเดกซ์ทริน ความเข้มข้นของเอนไซม์ และเวลา ในกระบวนการผลิตแบบกะ ที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 15 : Contour plot แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า D.E. ของมอลโตเดกซ์ทริน ความเข้มข้นของเอนไซม์ และเวลา ในกระบวนการผลิตแบบกะ ที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 16 : กราฟ 3 มิติแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า D.E. ของมอลโตเดกซ์ทริน ความเข้มข้นของเอนไซม์ และเวลา ในกระบวนการผลิตแบบกะ ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 17 : Contour plot แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า D.E. ของมอลโตเดกซ์ทริน ความเข้มข้นของเอนไซม์ และเวลา ในกระบวนการผลิตแบบกะ ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส

ศึกษาการผลิตมอลโตเดกซ์ทรินโดยการเติมเอนไซม์แอลฟา-อะมิเลสครั้งเดียวในกระบวนการ
เอกซ์ทรูชันแบบสกรูคู่

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการผลิตที่เลือกศึกษา คือ ความชื้นของส่วนผสมวัตถุดิบ ความเข้มข้นของเอนไซม์แอลฟา-อะมิเลส และอุณหภูมิของโด้ แปรความชื้นของส่วนผสมวัตถุดิบเป็นร้อยละ 30 35 และ 40 แปรความเข้มข้นของเอนไซม์เป็นร้อยละ 0.01 0.05 และ 0.10 แปรอุณหภูมิของโด้เป็น 120 125 และ 130 องศาเซลเซียส โด้ยการศึกษาจะแบ่งออกเป็น 2 ตอน ดังนี้

1. ศึกษาผลของความชื้นของส่วนผสมวัตถุดิบ ความเข้มข้นของเอนไซม์ และอุณหภูมิของโด้ ในกระบวนการเอกซ์ทรูชันแบบสกรูคู่ต่อปริมาณลิเคอไฟสตา์รซ์และค่า D.E. ของมอลโตเดกซ์ทริน

ทำการทดลองตามแผนการทดลอง Symmetric Factorial Design ขนาด $3 \times 3 \times 3$ จำนวนสภาวะในการทดลองเท่ากับ 27 สภาวะ ทำการทดลอง 2 ซ้ำ วิเคราะห์ปริมาณลิเคอไฟสตา์รซ์ และ D.E. ของผลิตภัณฑ์ทั้งหมด ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 18

1.1 ผลของความชื้นของส่วนผสมวัตถุดิบ ความเข้มข้นของเอนไซม์ และอุณหภูมิของโด้ ต่อปริมาณลิเคอไฟสตา์รซ์

เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนในตารางที่ 19 พบว่า ปัจจัยหลักที่มีผลต่อปริมาณลิเคอไฟสตา์รซ์ คือ ความเข้มข้นของเอนไซม์ เพียงปัจจัยเดียวเท่านั้น ตารางที่ 20 แสดงให้เห็นว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเอนไซม์จากร้อยละ 0.01 เป็นร้อยละ 0.05 ค่าเฉลี่ยของปริมาณลิเคอไฟสตา์รซ์จะไม่แตกต่างจากเดิมอย่างมีนัยสำคัญ แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเอนไซม์จากร้อยละ 0.01 เป็นร้อยละ 0.10 หรือจากร้อยละ 0.05 เป็นร้อยละ 0.10 ค่าเฉลี่ยของปริมาณลิเคอไฟสตา์รซ์จะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

ส่วนอิทธิพลร่วมที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณลิเคอไฟสตา์รซ์ คือ อิทธิพลร่วมระหว่างความชื้นของส่วนผสมวัตถุดิบกับอุณหภูมิของโด้ แสดงผลของอิทธิพลร่วมดังกล่าวไว้ในภาพที่ 18 จะเห็นว่า ที่อุณหภูมิต่ำ คือ ที่ 120 และ 125 องศาเซลเซียส ค่าเฉลี่ยของปริมาณลิเคอไฟสตา์รซ์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความชื้นของส่วนผสมวัตถุดิบ แต่เมื่อทำการทดลองที่อุณหภูมิสูงถึง 130 องศาเซลเซียส การเพิ่มความชื้นของส่วนผสมวัตถุดิบกลับมีผลให้ค่าเฉลี่ยของปริมาณลิเคอไฟสตา์รซ์ลดลง

ตารางที่ 18: ปริมาณลิเคอไฟสตาร์ชและค่า D.E. ของผลิตภัณฑ์จากกระบวนการเอ็กซ์ทรักชัน
แบบสกรูคู่ ในการทดลองแบบ Symmetric Factorial Design

ลำดับที่	ความชื้น(%)	ปริมาณเอนไซม์(%)	อุณหภูมิ(°C)	ลิเคอไฟสตาร์ช(%)	D.E.
1	30	0.10	120	61.00 ± 9.06	12.16 ± 4.21
2	30	0.05	120	54.46 ± 6.99	4.61 ± 0.11
3	30	0.01	120	40.79 ± 1.68	1.06 ± 0.04
4	35	0.10	120	55.59 ± 14.01	14.78 ± 0.35
5	35	0.05	120	45.37 ± 3.20	7.43 ± 0.26
6	35	0.01	120	65.17 ± 6.22	3.13 ± 0.46
7	40	0.10	120	59.38 ± 3.87	16.80 ± 2.47
8	40	0.05	120	48.56 ± 3.81	13.98 ± 1.79
9	40	0.01	120	51.86 ± 3.53	4.44 ± 1.86
10	30	0.10	125	58.57 ± 14.28	15.20 ± 1.07
11	30	0.05	125	52.24 ± 8.53	13.10 ± 0.28
12	30	0.01	125	50.81 ± 1.71	4.86 ± 0.33
13	35	0.10	125	54.39 ± 13.89	14.27 ± 0.82
14	35	0.05	125	52.93 ± 5.69	10.04 ± 2.10
15	35	0.01	125	47.41 ± 1.41	2.96 ± 0.77
16	40	0.10	125	64.48 ± 7.23	14.61 ± 3.72
17	40	0.05	125	59.30 ± 4.29	9.47 ± 0.22
18	40	0.01	125	52.03 ± 14.32	2.78 ± 0.45
19	30	0.10	130	65.80 ± 3.34	13.00 ± 1.52
20	30	0.05	130	61.36 ± 1.70	10.70 ± 1.61
21	30	0.01	130	54.69 ± 0.24	4.35 ± 1.93
22	35	0.10	130	64.16 ± 3.75	12.55 ± 0.27
23	35	0.05	130	54.23 ± 0.11	10.12 ± 0.76
24	35	0.01	130	32.97 ± 7.25	3.11 ± 0.64
25	40	0.10	130	61.86 ± 0.84	13.57 ± 2.21
26	40	0.05	130	45.63 ± 4.41	9.72 ± 1.34
27	40	0.01	130	38.71 ± 0.54	3.18 ± 1.65

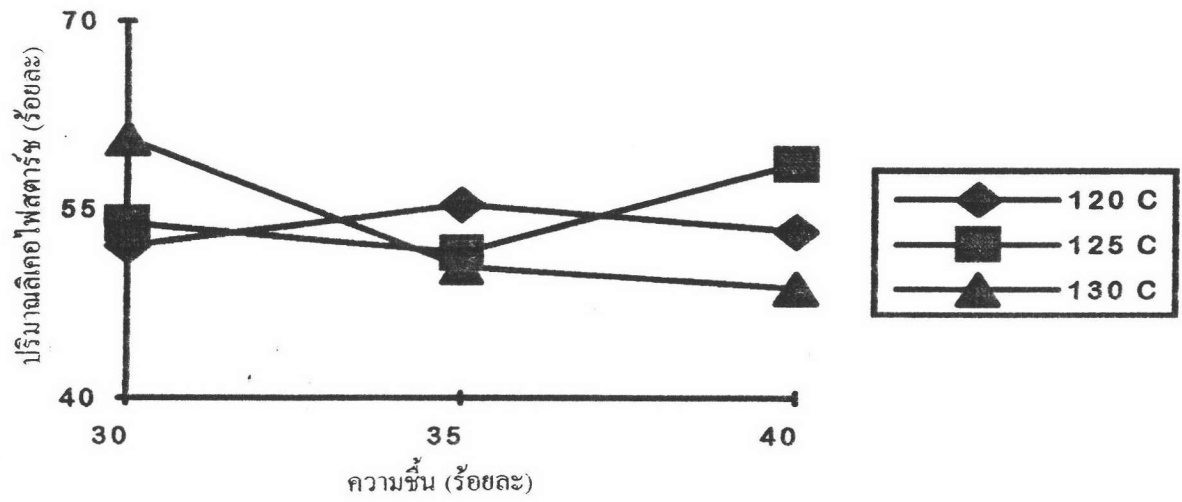
ตารางที่ 19: การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณลิโคไฟสตาร์ชเนื่องจากความชื้นของ
ส่วนผสมวัตถุดิบ(A) ความเข้มข้นของเอนไซม์(B) และอุณหภูมิของโค(C) ใน
กระบวนการเอ็กซ์ทรูชันแบบสกรูคู่

SOV	SS	d.f.	MS	F-ratio	Sig.level
MAIN EFFECTS					
A	86.6190	2	43.30952	0.896	0.4198
B	1400.2173	2	700.10865	14.491	0.0001
C	20.0154	2	10.00769	0.207	0.8142
INTERACTIONS					
AB	77.35275	4	19.33819	0.400	0.8067
AC	595.72943	4	148.93236	3.083	0.0326
BC	537.62825	4	134.40706	2.782	0.0568
ABC	909.38764	8	113.673459	2.353	0.0560
RESIDUAL	1304.4872	27	48.314341		
TOTAL	4931.4370	53			

ตารางที่ 20: ค่าเฉลี่ยของปริมาณโคไฟสตาร์ชที่ความเข้มข้นของเอนไซม์ต่างๆที่ใช้ใน
กระบวนการเอ็กซ์ทรักชันแบบสกรู

ความเข้มข้นของเอนไซม์ (ร้อยละ)	ค่าเฉลี่ยของปริมาณโคไฟสตาร์ช* (ร้อยละ)
0.01	48.27 ^b
0.05	52.67 ^b
0.10	60.57 ^a

* ตัวอักษรที่ต่างกััน แสดงให้เห็นว่า ค่านี้มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ
ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



ภาพที่ 18 : ผลของอิทธิพลร่วมระหว่างความชื้นของส่วนผสมวัตถุดิบกับอุณหภูมิของโคคต่อปริมาณเถ้าไฟสคาร์ชของมอลโตเดกซ์ทรินจากกระบวนการเอ็กซ์ทรักชันแบบสกรู

1.2 ผลของความชื้นของส่วนผสมวัตถุดิบ ความเข้มข้นของเอนไซม์ และอุณหภูมิของโค ต่อดำ D.E. ของผลิตภัณฑ์

เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนในตารางที่ 21 พบว่า ปัจจัยหลักที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า D.E. ของผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญ คือ ความเข้มข้นของเอนไซม์ เพียงปัจจัยเดียว ตารางที่ 22 แสดงให้เห็นว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเอนไซม์ ค่าเฉลี่ยของ D.E. ของผลิตภัณฑ์จะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

ส่วนอิทธิพลร่วมที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า D.E. อย่างมีนัยสำคัญ คือ อิทธิพลร่วมระหว่างความชื้นของส่วนผสมวัตถุดิบกับอุณหภูมิของโค ภาพที่ 19 แสดงอิทธิพลร่วมระหว่างความชื้นของส่วนผสมวัตถุดิบกับอุณหภูมิของโค พบว่า ที่ 120 องศาเซลเซียส การเพิ่มความชื้นของส่วนผสมวัตถุดิบทำให้ค่าเฉลี่ยของ D.E. เพิ่มขึ้น ส่วนที่อุณหภูมิของโคเท่ากับ 125 และ 130 องศาเซลเซียส การเพิ่มความชื้นของส่วนผสมวัตถุดิบจะทำให้ค่าเฉลี่ยของ D.E. ลดลง

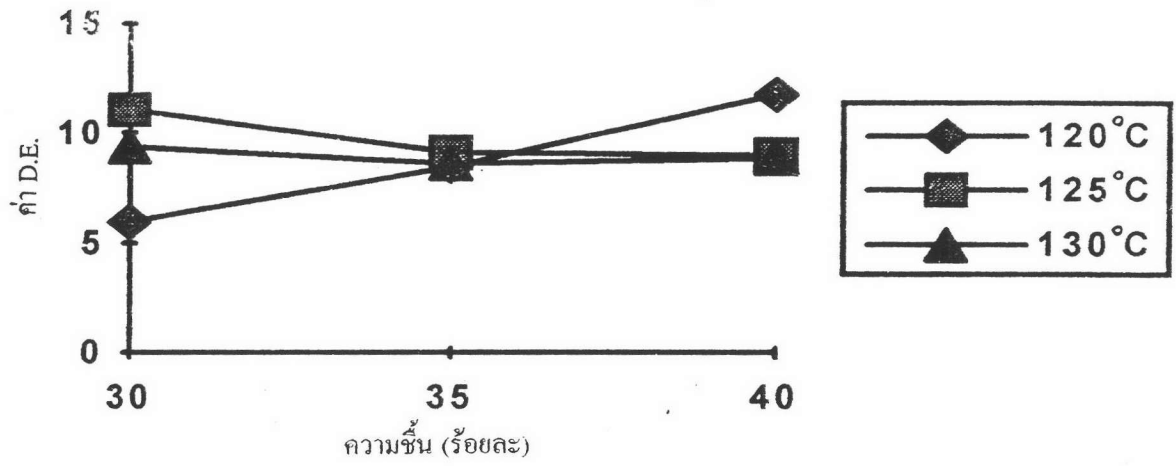
ตารางที่ 21 : การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า D.E. ของผลิตภัณฑ์เนื่องจากความชื้นของ
 ส่วนผสมวัตถุดิบ(A) ความเข้มข้นของเอนไซม์(B) และอุณหภูมิของโค(C)
 ในกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันแบบสกรูคู่

SOV	SS	d.f.	MS	F-ratio	Sig.level
MAIN EFFECTS					
A	14.4791	2	7.23954	2.754	0.0816
B	1064.0424	2	532.02121	202.388	0.0000
C	9.7307	2	4.86537	1.851	0.1765
INTERACTIONS					
AB	5.86268	4	1.465669	0.558	0.6953
AC	105.26298	4	26.315744	10.011	0.0000
BC	17.48371	4	4.370928	1.663	0.1877
ABC	25.44463	8	3.180579	1.210	0.3304
RESIDUAL	70.97530	27	2.6287148		
TOTAL	1313.2815	53			

ตารางที่ 22 : ค่าเฉลี่ยของ D.E. ของผลิตภัณฑ์ที่ความเข้มข้นของเอโนไซม์ต่างๆที่ใส่ในกระบวนการเอกซ์ทรูชันแบบสกรูคู่

ความเข้มข้นของเอโนไซม์ (ร้อยละ)	ค่าเฉลี่ยของ D.E. *
0.01	3.32 ^c
0.05	9.90 ^b
0.10	14.10 ^a

* ตัวอักษรที่ต่างกััน แสดงให้เห็นว่า ค่านี้มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



ภาพที่ 19 : ผลของอิทธิพลร่วมระหว่างความชื้นของส่วนผสมวัตถุดิบกับอุณหภูมิของโคต้อค่า D.E. ของมอลโตเดกซ์ทรินจากกระบวนการเอกซ์ทรูชันแบบสกรูคู่

1.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า D.E. และปริมาณลิเคอไฟสตาร์ชของผลิตภัณฑ์ที่ได้ จากกระบวนการเอกซ์ทรูชันแบบสกรูคู่

จากการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า D.E. และปริมาณลิเคอไฟสตาร์ชของ ผลิตภัณฑ์ที่แสดงในตารางที่ 18 โดย Multivariate method (STATGRAPHICS Version 5.0) พบว่า มีค่า Correlation coefficient เท่ากับ 0.4907 จึงอาจกล่าวได้ว่า ค่า D.E. และปริมาณลิเคอไฟสตาร์ชของผลิตภัณฑ์จากกระบวนการเอกซ์ทรูชันแบบสกรูคู่ ไม่มีความสัมพันธ์กัน

2. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตมอลโตเดกซ์ทรินโดยการเติมเอนไซม์เพียงครั้ง เดียวในกระบวนการเอกซ์ทรูชันแบบสกรูคู่

จากผลการศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อกระบวนการผลิตโดยใช้การทดลองแบบ Symmetric factorial design ดังแสดงในผลการทดลองหัวข้อที่ 1 พบว่า ความเข้มข้น ของเอนไซม์ในช่วงร้อยละ 0.01 ถึง 0.10 และอิทธิพลร่วมระหว่างความชื้นของส่วนผสมวัตถุดิบ กับอุณหภูมิของโถ มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า D.E. ของผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญ จึงได้ ใช้ RSM ในการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตมอลโตเดกซ์ทริน โดยปัจจัยที่ศึกษา คือ ความเข้มข้นของเอนไซม์ ความชื้นของส่วนผสมวัตถุดิบ และอุณหภูมิของโถ ใช้แผนการทดลอง Box- Behnken Design แบบ 3 ตัวแปร จำนวนสภาวะในการทดลองเท่ากับ 15 สภาวะ ทำการทดลอง 2 ซ้ำ ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 23

ตารางที่ 23 : ปริมาณลิเคอไฟสตาบิลและค่า D.E. ของผลิตภัณฑ์จากกระบวนการกระบวนการ
การเอ็กซ์ทรูชันแบบสกรูคู่ ในการทดลองแบบ Box-Behnken Design

ลำดับที่	ความชื้น(%)	ปริมาณเอนไซม์(%)	อุณหภูมิ(°C)	ลิเคอไฟสตาบิล(%)	D.E.
1	30	0.05	120	54.46 ± 6.99	4.61 ± 0.11
2	40	0.05	120	48.56 ± 3.81	13.98 ± 1.79
3	30	0.05	130	61.36 ± 1.70	10.70 ± 1.61
4	40	0.05	130	45.63 ± 4.41	9.72 ± 1.34
5	35	0.01	120	65.17 ± 6.22	3.13 ± 0.46
6	35	0.10	120	55.59 ± 14.01	14.78 ± 0.35
7	35	0.01	130	32.97 ± 7.25	3.11 ± 0.64
8	35	0.10	130	64.16 ± 3.75	12.55 ± 0.27
9	30	0.01	125	50.81 ± 1.71	4.86 ± 0.33
10	30	0.10	125	58.57 ± 14.28	15.20 ± 1.07
11	40	0.01	125	52.03 ± 14.32	2.78 ± 0.45
12	40	0.10	125	64.48 ± 7.23	14.61 ± 3.72
13	35	0.05	125	52.93 ± 5.69	10.04 ± 2.10
14	35	0.05	125	48.83 ± 2.07	10.12 ± 0.62
15	35	0.05	125	51.16 ± 1.43	11.04 ± 0.11

นำผลการทดลองในตารางที่ 23 มาหาความสัมพันธ์ระหว่าง D.E. ของผลิตภัณฑ์ ความชื้นของส่วนผสมวัตถุดิบ ความเข้มข้นของเอนไซม์ และอุณหภูมิของโต ด้วยวิธี Multiple Regression จะได้ความสัมพันธ์ดังสมการที่ 9

$$Y = - 843.455356 + 13.272714 X_1 + 761.618437 X_2 + 9.500751 X_3 \\ - 0.003558 X_1^2 - 760.520833 X_2^2 - 0.022358 X_3^2 \\ + 0.966564 X_1X_2 - 0.10345 X_1X_3 - 4.776994 X_2X_3 \quad \text{-----} \quad 9$$

$$R\text{-Squared} = 0.8273$$

เมื่อ Y คือ D.E. ของผลิตภัณฑ์
 X_1 คือ ความชื้นของส่วนผสมวัตถุดิบ (ร้อยละ)
 X_2 คือ ความเข้มข้นของเอนไซม์ (ร้อยละ)
 X_3 คือ อุณหภูมิของโต (องศาเซลเซียส)

แต่เนื่องจากปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า D.E. อย่างมีนัยสำคัญ คือ ความเข้มข้นของเอนไซม์ (X_2) และอิทธิพลร่วมระหว่างความชื้นของส่วนผสมวัตถุดิบกับอุณหภูมิของโต (X_1X_3) เท่านั้น ดังผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนในตารางที่ 21 ดังนั้น จึงสร้างสมการแสดงความสัมพันธ์ขึ้นใหม่ โดยตัดเทอมที่ไม่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า D.E. อย่างมีนัยสำคัญออก จะได้สมการแสดงความสัมพันธ์ใหม่ ดังสมการที่ 10

$$Y = - 2.58512 + 195.778571 X_2 - 737.380952 X_2^2 + 0.001067 X_1X_3 \quad \text{-----} \quad 10$$

$$R\text{-Squared} = 0.7378$$

แต่สมการที่ 10 นี้ มีค่า R-Squared ต่ำ จึงได้สร้างสมการแสดงความสัมพันธ์ใหม่ เพื่อให้ได้สมการที่มีค่า R-Squared สูงที่สุด จะได้สมการแสดงความสัมพันธ์ใหม่ ดังในสมการที่ 11

$$Y = -491.82432 + 13.074375 X_1 + 792.902805 X_2 + 3.911167 X_3 \\ - 737.380952 X_2^2 - 0.10345 X_1 X_3 - 4.776994 X_2 X_3 \quad \text{----- 11}$$

$$R\text{-Squared} = 0.8439$$

จะเห็นว่าสมการที่ 11 นี้มีค่า R-Squared สูงกว่าสมการที่ 10 แสดงว่า ความถูกต้องแม่นยำในการใช้สมการที่ 11 ในการทำนายค่า D.E. ของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตในสภาวะต่างๆจึงมากกว่า ดังนั้นจึงเลือกใช้สมการที่ 11 ในการทำนายสภาวะที่ต้องใช้ในการผลิตมอลโตเดกซ์ทริน ให้มีค่า D.E. ตามที่ต้องการ โดยในการทำนายสภาวะดังกล่าวนี้ สามารถทำได้ 2 วิธี ดังนี้ ในกรณีที่ต้องการหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีค่า D.E. สูงที่สุด จะใช้วิธี Partial differentiation โดย Differentiate ค่า Y (สมการที่ 11) เทียบกับ X_1 , X_2 และ X_3 ตามลำดับ แสดงผลการ Differentiate ได้ดังต่อไปนี้

$$dY/dX_1 = 13.074375 - 0.10345 X_3$$

$$dY/dX_2 = 792.902805 - 1474.761904 X_2 - 4.776994 X_3$$

$$dY/dX_3 = 3.911167 - 0.10345 X_1 - 4.776994 X_2$$

จากนั้น กำหนดให้ dY/dX_1 , dY/dX_2 และ dY/dX_3 มีค่าเท่ากับศูนย์ แล้วจึงแก้สมการ จะได้ว่า สภาวะการผลิตที่ทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่า D.E. สูงที่สุด คือ ความชื้นของส่วนผสมวัตถุดิบ (X_1) ร้อยละ 34.9 (ปริมาตรต่อน้ำหนัก) ความเข้มข้นของเอนไซม์ (X_2) ร้อยละ 0.13 (ปริมาตรต่อน้ำหนัก) และอุณหภูมิของโค (X_3) 126.4 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์จะมีค่า D.E. เท่ากับ 14.6 ซึ่งเป็นค่า D.E. ที่ได้จากการคำนวณโดยใช้สมการที่ 11

แต่ในการทดลองนี้ มีจุดประสงค์เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีค่า D.E. ไม่เกิน 20 ดังได้กล่าวไว้ในหัวข้อการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตมอลโตเดกซ์ทรินโดยกระบวนการผลิตแบบกะ (หน้าที่ 62-63) จึงจะทำนายสภาวะในการผลิตโดยอาศัยกราฟ 3 มิติแสดงความสัมพันธ์ ในการทำนายสภาวะในการผลิตนี้ จะสร้างกราฟความสัมพันธ์แบบ 3 มิติ และ Contour plot ของสมการความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า D.E. กับปัจจัย 2 ปัจจัย ดังนั้นจึงต้องกำหนดให้ปัจจัยใดปัจจัยหนึ่งคงที่ และจากตารางที่ 21 จะเห็นได้ว่าความชื้นของส่วนผสมวัตถุดิบ และอุณหภูมิของโค ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่า D.E. ของผลิตภัณฑ์ จึงอาจกำหนดให้ปัจจัยใดปัจจัยหนึ่งใน 2 ปัจจัยนี้คงที่ไว้ ในการทดลองนี้ จะกำหนดให้อุณหภูมิของโคคงที่ที่ 120, 125 และ 130 องศาเซลเซียส จะได้สมการแสดงความสัมพันธ์ดังสมการที่ 12, 13 และ 14 ตามลำดับ

เมื่ออุณหภูมิของโตะเท่ากับ 120 องศาเซลเซียส

$$Y = - 22.48428 + 0.660377 X_1 + 219.663525 X_2 - 737.380952 X_2^2$$

----- 12

เมื่ออุณหภูมิของโตะเท่ากับ 125 องศาเซลเซียส

$$Y = - 2.928445 + 0.143125 X_1 + 195.778555 X_2 - 737.380952 X_2^2$$

----- 13

เมื่ออุณหภูมิของโตะเท่ากับ 130 องศาเซลเซียส

$$Y = 16.62739 - 0.374125 X_1 + 171.893585 X_2 - 737.380952 X_2^2$$

----- 14

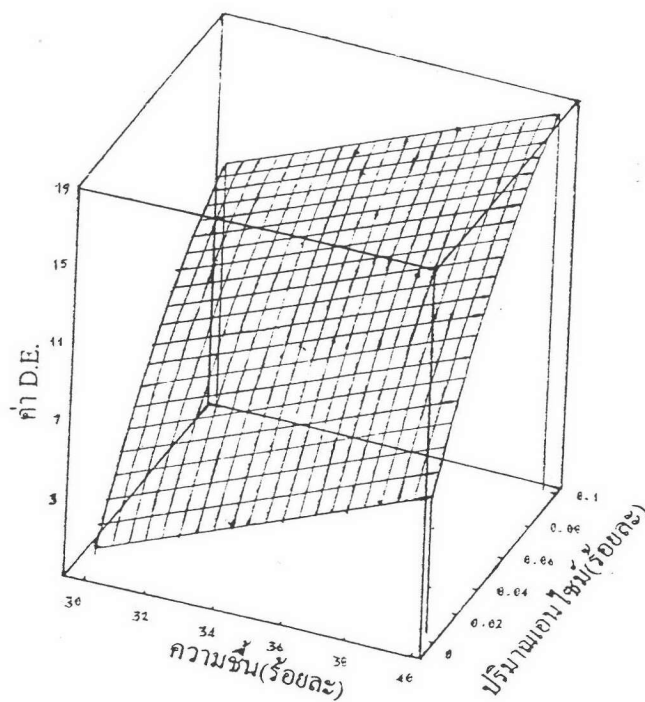
เมื่อนำสมการที่ได้ไปสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า D.E. ของผลิตภัณฑ์ ความชื้นของส่วนผสมวัตถุดิบ กับความเข้มข้นของเอนไซม์ ที่ระดับอุณหภูมิต่างๆ พบว่า ที่อุณหภูมิของโตะเป็น 120 องศาเซลเซียส จะได้กราฟ 3 มิติดังภาพที่ 20 และกราฟ Contour plot ดังภาพที่ 21 ที่อุณหภูมิ 125 องศาเซลเซียส จะได้กราฟ 3 มิติดังภาพที่ 22 และกราฟ Contour plot ดังภาพที่ 23 ที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส จะได้กราฟ 3 มิติดังภาพที่ 24 และกราฟ Contour plot ดังภาพที่ 25

จากกราฟ 3 มิติ ภาพที่ 20 22 และ 24 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า D.E. ของผลิตภัณฑ์ ความชื้นของส่วนผสมวัตถุดิบ และความเข้มข้นของเอนไซม์ ที่ระดับอุณหภูมิของโตะต่างกัน พบว่า เมื่ออุณหภูมิของโตะเท่ากับ 120 และ 125 องศาเซลเซียส การเพิ่มความชื้นของส่วนผสมวัตถุดิบและ/หรือการเพิ่มความเข้มข้นของเอนไซม์ มีผลให้ค่า D.E. ของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิของโตะเท่ากับ 130 องศาเซลเซียส การเพิ่มความชื้นของส่วนผสมวัตถุดิบกลับทำให้ค่า D.E. ของผลิตภัณฑ์ลดลง ในขณะที่การเพิ่มความเข้มข้นของเอนไซม์ยังคงมีผลให้ค่า D.E. ของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นเช่นเดิม ความสัมพันธ์นี้จะเห็นได้ชัดเจนยิ่งขึ้น เมื่อพิจารณา Contour plot ที่อุณหภูมิโตะเท่ากับ 120 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 21) ที่ความชื้นของส่วนผสมวัตถุดิบคงที่ การแปรค่าความเข้มข้นของเอนไซม์จะทำให้ค่า D.E. ของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นเป็นลำดับ และเมื่อพิจารณาที่ความเข้มข้นของเอนไซม์ใดๆ พบว่า การเพิ่มความชื้นของส่วนผสมวัตถุดิบจะมีผลให้ค่า D.E. เพิ่มขึ้นเป็นลำดับเช่นกัน เมื่ออุณหภูมิโตะเท่ากับ 125 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 23) การเพิ่มขึ้นของค่า D.E. ของผลิตภัณฑ์อื่นเนื่องมาจากการเพิ่มความเข้มข้นของเอนไซม์ยังคงเป็น

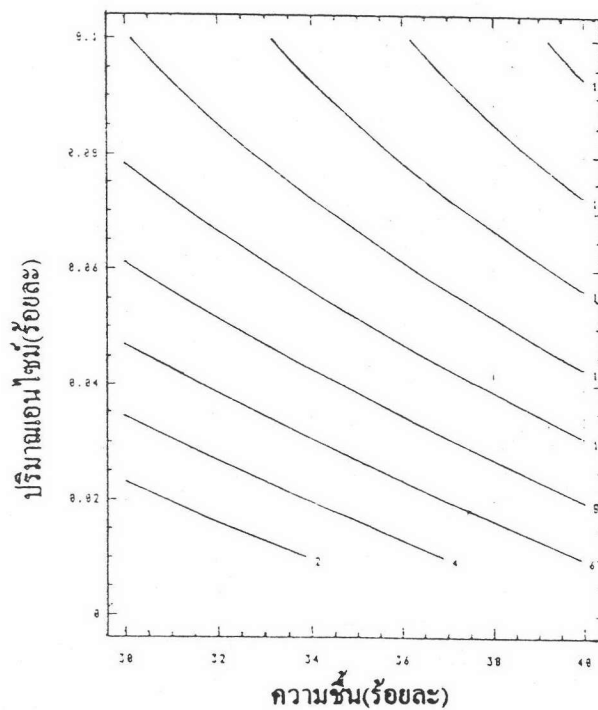
เช่นเดิม แต่อัตราการเพิ่มของค่า D.E. เนื่องมาจากการเพิ่มความชื้นของส่วนผสมวัตถุดิบมีค่าต่ำลง สืบเนื่องจากความชื้นของเส้นเท้าของค่า D.E. ในภาพที่ 23 การเพิ่มความชื้นของส่วนผสมวัตถุดิบในช่วงร้อยละ 30 ถึง 40 มีผลให้เกิดการเพิ่มขึ้นของค่า D.E. เพียงเล็กน้อยเท่านั้น สำหรับที่อุณหภูมิโตเท่ากับ 130 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 25) การเพิ่มความชื้นของเอนไซม์ที่ความชื้นของส่วนผสมวัตถุดิบใดๆยังคงมีผลให้ค่า D.E. ของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นเช่นเดิม แต่การเพิ่มความชื้นของส่วนผสมวัตถุดิบกลับทำให้ค่า D.E. ของผลิตภัณฑ์ลดลง

แม้จะกล่าวไว้ข้างต้นว่า ในการทดลองนี้ไม่มีจุดประสงค์เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีค่า D.E. สูงที่สุดโดยวิธี Partial differentiation ก็ตาม แต่ผลจากการ Differentiate ค่า Y ในสมการที่ 11 แสดงให้เห็นว่า สำหรับการผลิตโดยกระบวนการเอกซ์ทรูชันแบบสกรูคู่ โดยมีการแปรค่าความชื้นของส่วนผสมวัตถุดิบในช่วงร้อยละ 30 ถึง 40 ความเข้มข้นของเอนไซม์ในช่วงร้อยละ 0.01 ถึง 0.10 และอุณหภูมิของโต 120 ถึง 130 องศาเซลเซียสนี้ การเพิ่มค่าความชื้นของส่วนผสมวัตถุดิบหรืออุณหภูมิของโต ไม่มีผลให้ค่า D.E. เพิ่มขึ้นโดยลำดับเสมอไป สามารถระบุค่าสูงสุด (Upper limit) ของปัจจัยทั้งสองได้จากผลการ Differentiate ดังแสดงไว้ข้างต้น ดังนี้คือ ความชื้นของส่วนผสมวัตถุดิบ (X_1) ร้อยละ 34.9 (ปริมาตรต่อน้ำหนัก) และอุณหภูมิของโต (X_3) 126.4 องศาเซลเซียส

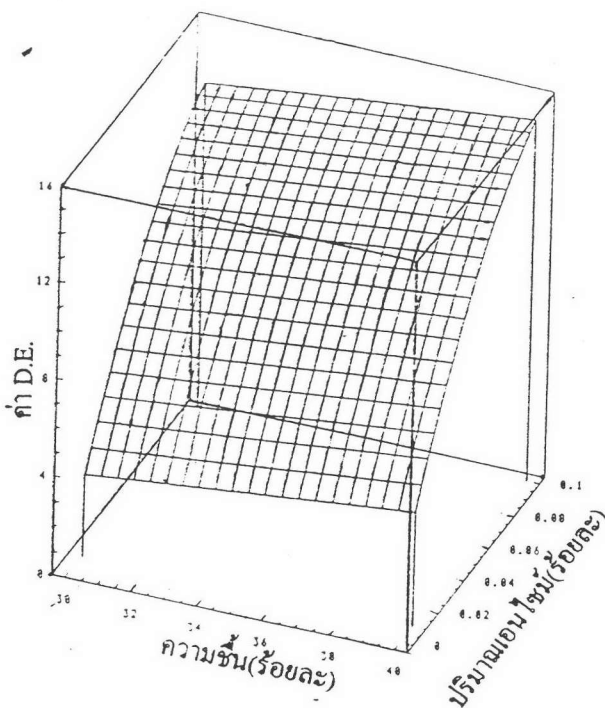
ดังนั้น จากการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของค่า D.E. ในช่วงค่าของปัจจัยที่ทำการทดลอง โดยอาศัยกราฟ 3 มิติ และ Contour plot ประกอบกับผลจากการ Partial differentiate ค่า Y ในสมการที่ 11 จะได้ว่าอุณหภูมิของโตที่เหมาะสมในการผลิตมอลโตเดกซ์ทรินไม่เกิน 126.4 องศาเซลเซียส ความชื้นของส่วนผสมวัตถุดิบไม่เกินร้อยละ 34.9 และความเข้มข้นของเอนไซม์ในช่วงร้อยละ 0.01 ถึง 0.10



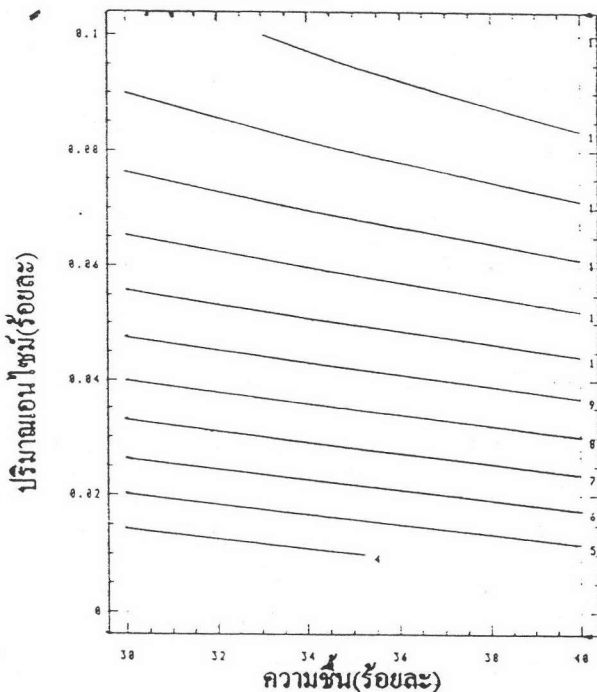
ภาพที่ 20 : กราฟ 3 มิติแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า D.E. ของมอลโตเดกซ์ทริน ความชื้นของส่วนผสมวัตถุดิบ และความเข้มข้นของเอนไซม์ ในกระบวนการเอ็กซ์ทรักชันแบบสกรูคู่ ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส



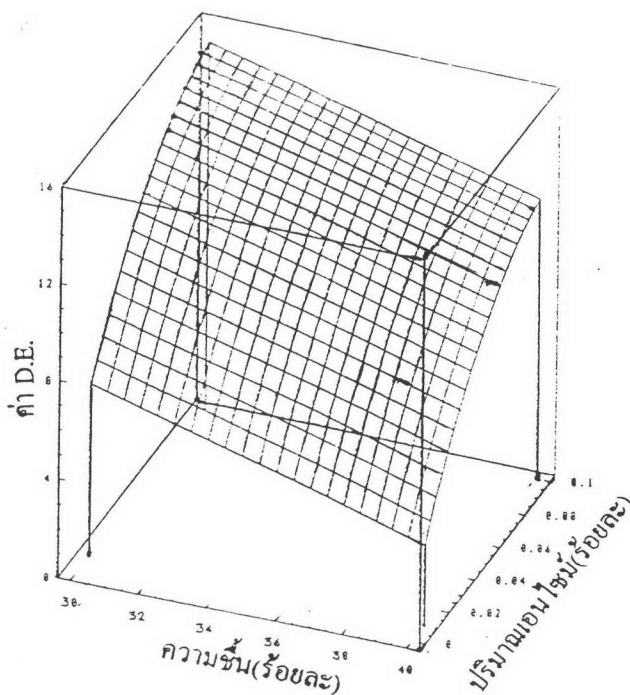
ภาพที่ 21 : Contour plot แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า D.E. ของมอลโตเดกซ์ทริน ความชื้นของส่วนผสมวัตถุดิบ และความเข้มข้นของเอนไซม์ ในกระบวนการเอ็กซ์ทรักชันแบบสกรูคู่ ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส



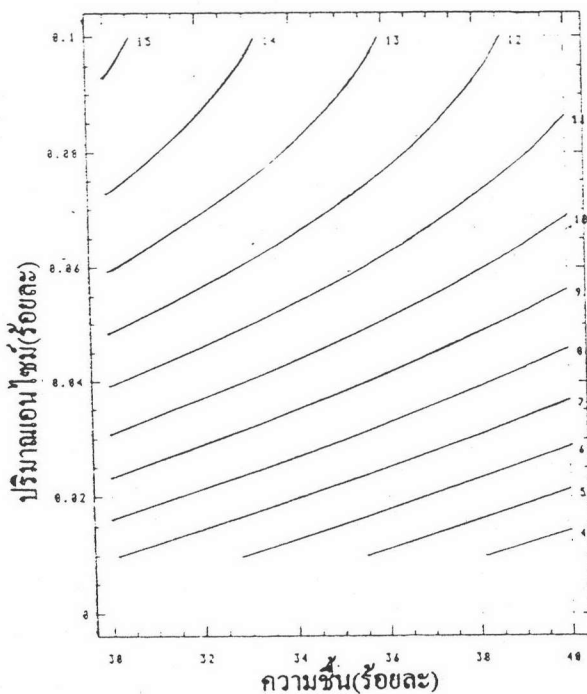
ภาพที่ 22 : กราฟ 3 มิติแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า D.E. ของมอลโตเดกซ์ทริน ความชื้นของส่วนผสมวัตถุดิบ และความเข้มข้นของเอนไซม์ ในกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันแบบสกรูคู่ ที่อุณหภูมิ 125 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 23 : Contour plot แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า D.E. ของมอลโตเดกซ์ทริน ความชื้นของส่วนผสมวัตถุดิบ และความเข้มข้นของเอนไซม์ ในกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันแบบสกรูคู่ ที่อุณหภูมิ 125 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 24 : กราฟ 3 มิติแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า D.E. ของมอลโตเดกซ์ทริน ความชื้นของส่วนผสมวัตถุดิบ และความเข้มข้นของเอนไซม์ ในกระบวนการเอกซ์ทรูชันแบบสกรูคู่ ที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 25 : Contour plot แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า D.E. ของมอลโตเดกซ์ทริน ความชื้นของส่วนผสมวัตถุดิบ และความเข้มข้นของเอนไซม์ ในกระบวนการเอกซ์ทรูชันแบบสกรูคู่ ที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส

ศึกษาสมบัติทางเคมีและสมบัติทางกายภาพของมอลโตเดกซ์ทรินที่ผลิตได้

จากผลการทดลองข้างต้น ทำให้สามารถเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตมอลโตเดกซ์ทรินได้ ในการทดลองนี้ มอลโตเดกซ์ทรินที่ต้องการผลิตและนำมาศึกษาสมบัติต่างๆ คือ มอลโตเดกซ์ทรินที่มีค่า D.E. อยู่ในช่วง 10 ถึง 14 ซึ่งเป็นมอลโตเดกซ์ทรินชนิดที่นำมาใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารชนิดเหลว จุดประสงค์เพื่อใช้ทดแทนน้ำมันในสูตรอาหารและเพื่อทำให้เกิดลักษณะเนื้อสัมผัส (Mouthfeel) ที่ดี

1. การผลิตมอลโตเดกซ์ทรินตามสภาวะจากการทำนายโดยใช้ Contour plot

ในการผลิตมอลโตเดกซ์ทรินที่มีค่า D.E. 10 และ 14 โดยวิธีการผลิตแบบเติมเอนไซม์เพียงครั้งเดียวในกระบวนการผลิตแบบกะ ทำนายสภาวะในการผลิตโดยอาศัย Contour plot ภาพที่ 13 15 และ 17 ในการเลือกสภาวะการผลิตนี้ พยายามเลือกสภาวะการผลิตที่ให้ผลิตภัณฑ์ที่มีค่า D.E. ตามต้องการ โดยที่ไม่ใช้ความเข้มข้นของเอนไซม์สูงเกินไปนัก เพราะอาจทำให้เกิดกลิ่นที่ไม่ดีในผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ การเพิ่มความเข้มข้นของเอนไซม์จนถึงร้อยละ 0.08 ไม่มีผลให้ค่า D.E. ของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น และในขณะเดียวกันไม่ควรแปรเวลาในการผลิตให้มากกว่า 80 นาที เพราะที่เวลาในการผลิตมากกว่า 80 นาที ค่า D.E. จะเพิ่มขึ้นในอัตราที่ต่ำมาก ส่วนอุณหภูมิในการผลิตนั้น อ้างถึงผลการทดลองในตารางที่ 11 ควรจะเลือกทำการผลิตที่อุณหภูมิไม่เกิน 85 องศาเซลเซียส เนื่องจากเป็นอุณหภูมิที่ให้ปริมาณลิเคอไฟสตาไรซ์ไม่แตกต่างจากที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส อย่างมีนัยสำคัญ สภาวะการผลิตที่ได้จากการทำนายโดย Contour plot ภาพที่ 15 สำหรับการผลิตมอลโตเดกซ์ทรินที่มีค่า D.E. ประมาณ 10 คือ ความเข้มข้นของเอนไซม์ร้อยละ 0.015 อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส และเวลาในการผลิต 60 นาที ซึ่งเป็นหนึ่งในสภาวะที่เหมาะสม สำหรับการผลิตมอลโตเดกซ์ทรินที่มีค่า D.E. ประมาณ 10 ที่เลือกได้จากจุดบนเส้นเท่าของค่า D.E. 10 ค่า D.E. ที่คำนวณได้จากการแทนค่าต่างๆ ลงในสมการที่ 5 คือ 9.91 ส่วนในการผลิตมอลโตเดกซ์ทรินที่มีค่า D.E. ประมาณ 14 นั้น สภาวะที่ได้จากการทำนายโดย Contour plot ภาพที่ 13 คือ ความเข้มข้นของเอนไซม์ร้อยละ 0.05 อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส และเวลาในการผลิต 45 นาที ซึ่งเป็นหนึ่งในสภาวะที่เหมาะสมที่เส้นเท่าของค่า D.E. 14 ลากผ่านใน Contour plot ค่า D.E. ที่คำนวณโดยใช้สมการที่ 5 คือ 13.98 ดำเนินการผลิตตามรายละเอียดในรูปที่ 2 หลังจากทำการผลิตตามสภาวะดังกล่าวแล้ว วิเคราะห์ค่า D.E. ของผลิตภัณฑ์ที่ได้เปรียบเทียบกับค่า D.E. ที่ได้จากการคำนวณตามสมการที่ 5 ได้ผลดังตารางที่ 24

ตารางที่ 24: ค่า D.E. ของมอลโตเดกซ์ทรินที่คำนวณจากสมการและค่าที่วัดได้จริง ในการผลิตมอลโตเดกซ์ทรินโดยวิธีการเติมเอนไซม์เพียงครั้งเดียวในกระบวนการผลิตแบบกะ

ความเข้มข้นของเอนไซม์ (ร้อยละ)	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	D.E. จาก การคำนวณ	D.E. ที่วัดได้	ความแตกต่าง (ร้อยละ)
0.015	85	60	9.91	10.06	1.51
0.050	80	45	13.98	14.11	0.93

จากตารางที่ 24 พบว่า ในสภาวะการผลิตที่มีความเข้มข้นของเอนไซม์ร้อยละ 0.015 อุณหภูมิในกระบวนการผลิต 85 องศาเซลเซียส และเวลาในการผลิต 60 นาที จะได้มอลโตเดกซ์ทรินที่มีค่า D.E. วัดได้จริงเท่ากับ 10.06 ซึ่งแตกต่างจากค่าที่คำนวณได้คิดเป็นร้อยละ 1.51 ส่วนสภาวะการผลิตที่มีความเข้มข้นของเอนไซม์ร้อยละ 0.05 อุณหภูมิในกระบวนการผลิต 80 องศาเซลเซียส และเวลาในการผลิต 45 นาที จะได้มอลโตเดกซ์ทรินที่มีค่า D.E. วัดได้จริงเท่ากับ 14.11 ซึ่งแตกต่างจากค่าที่คำนวณได้คิดเป็นร้อยละ 0.93

สำหรับการผลิตมอลโตเดกซ์ทรินที่มีค่า D.E. เท่ากับ 10 และ 14 โดยวิธีการผลิตแบบเติมเอนไซม์เพียงครั้งเดียวในกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันแบบสกรูคู่ ทำนายสภาวะในการผลิตโดยอาศัย Contour plot ภาพที่ 21 23 และ 25 ในการเลือกสภาวะการผลิตสำหรับกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันแบบสกรูคู่นี้ เลือกสภาวะการผลิตโดยพิจารณาที่อุณหภูมิไม่เกิน 126.4 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่สูงที่สุดที่ยังคงมีผลให้ผลิตภัณฑ์มีค่า D.E. เพิ่มขึ้น ในการทดลองนี้จะเลือกทำการผลิตที่ 120 และ 125 องศาเซลเซียส และเลือกสภาวะการผลิตที่มีความชื้นของส่วนผสมวัตถุดิบไม่เกินร้อยละ 35 เพราะถ้าความชื้นของส่วนผสมวัตถุดิบสูงกว่านี้ จะทำให้ค่า D.E. ของผลิตภัณฑ์ลดลง เนื่องจาก เมื่อความชื้นสูง แรงเฉือนในโคจะเกิดขึ้นน้อย ปริมาณแป้งเจลาตินไนซ์จะลดต่ำลง ค่า D.E. จึงลดลง แต่ถ้าความชื้นของส่วนผสมวัตถุดิบต่ำเกินไป เอนไซม์จะทำงานได้ไม่เต็มที่ ปริมาณความชื้นของส่วนผสมวัตถุดิบที่คาดว่าเหมาะสมในการทดลองนี้ คือ ร้อยละ 35 สภาวะที่เลือกได้จากการทำนายโดย Contour plot ภาพที่ 23 สำหรับการผลิตมอลโตเดกซ์ทรินที่มีค่า D.E. ประมาณ 10 จะพิจารณาเลือกหนึ่งในสภาวะที่เหมาะสมบนเส้นเท่าของค่า D.E.

10 มาหนึ่งสภาวะ คือ ความชื้นของส่วนผสมวัตถุดิบร้อยละ 35 ความเข้มข้นของเอนไซม์ร้อยละ 0.05 และอุณหภูมิของโต 125 องศาเซลเซียส ค่า D.E. ของมอลโตเดกซ์ทรินที่คำนวณได้จากสมการที่ 11 เท่ากับ 10.03 ส่วนสภาวะที่เลือกได้จากการทำนายโดย Contour plot ภาพที่ 21 สำหรับการผลิตมอลโตเดกซ์ทรินที่มีค่า D.E. ประมาณ 14 จะพิจารณาเลือกจุดบนเส้นเท่าของค่า D.E. 14 ใน Contour plot สภาวะการผลิตที่เลือกได้ คือ ความชื้นของส่วนผสมวัตถุดิบร้อยละ 35 ความเข้มข้นของเอนไซม์ร้อยละ 0.085 และอุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ค่า D.E. ของมอลโตเดกซ์ทรินที่คำนวณจากสมการที่ 11 เท่ากับ 13.97 ดำเนินการผลิตตามรายละเอียดในภาพที่ 3 หลังจากดำเนินการผลิตดังกล่าวแล้ว วิเคราะห์ค่า D.E. ของผลิตภัณฑ์ที่ได้เปรียบเทียบกับค่า D.E. ที่ได้จากการคำนวณตามสมการที่ 11 ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 25

ตารางที่ 25: ค่า D.E. ของมอลโตเดกซ์ทรินที่คำนวณจากสมการและค่าที่วัดได้จริง ในการผลิตมอลโตเดกซ์ทรินโดยวิธีการเติมเอนไซม์เพียงครั้งเดียวในกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันแบบสกรูคู่

ความชื้นของวัตถุดิบ (ร้อยละ)	ความเข้มข้นของ เอนไซม์ (ร้อยละ)	อุณหภูมิ (°C)	D.E. จาก การคำนวณ	D.E. ที่วัดได้	ความแตกต่าง (ร้อยละ)
35	0.050	125	10.03	10.68	6.48
35	0.085	120	13.97	12.81	8.38

จากตารางที่ 25 พบว่า ในสภาวะการผลิตที่มีความชื้นของส่วนผสมวัตถุดิบเท่ากับร้อยละ 35 ความเข้มข้นของเอนไซม์ร้อยละ 0.05 และอุณหภูมิของโต 125 องศาเซลเซียส จะได้มอลโตเดกซ์ทรินที่มีค่า D.E. วัดได้จริงเท่ากับ 10.68 ซึ่งแตกต่างจากค่าที่คำนวณได้ คิดเป็นร้อยละ 6.48 ส่วนสภาวะการผลิตที่มีความชื้นของส่วนผสมวัตถุดิบเท่ากับร้อยละ 35 ความเข้มข้นของเอนไซม์ร้อยละ 0.085 และอุณหภูมิของโต 120 องศาเซลเซียส จะได้มอลโตเดกซ์ทรินที่มีค่า D.E. วัดได้จริงเท่ากับ 12.81 ซึ่งแตกต่างจากค่าที่คำนวณได้คิดเป็นร้อยละ 8.38

2. สมบัติทางเคมีของมอลโตเดกซ์ทริน

2.1 การวิเคราะห์ Residual Enzyme Activity

ในกระบวนการผลิตแบบกะ หลังจากการผลิตมอลโตเดกซ์ทรินเสร็จสิ้นลง จะต้องมีการวัด Residual enzyme activity ก่อนเสมอ เพื่อตรวจสอบว่าเอนไซม์นั้นถูกยับยั้งอย่างสมบูรณ์หรือไม่ การยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไม่สมบูรณ์จะมีผลให้สมบัติในด้านต่างๆ ของมอลโตเดกซ์ทรินเปลี่ยนแปลงไปในระหว่างการเก็บ เนื่องจากเอนไซม์จะทำการย่อยสลายแป้งต่อไป ในการทดลองนี้ ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ Termamyl 120L^R ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ทนความร้อนได้สูง จะทำโดยการปรับค่าความเป็นกรด-ด่างให้เป็น 3.5 ควบคู่ไปกับการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที หลังจากผ่านการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ในสภาวะเช่นนี้ ค่า Residual Enzyme Activity จะเท่ากับ 0

สำหรับกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันแบบสกรูคู่ นั้น ไม่สามารถทำการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ได้ทันทีหลังจากผ่านกระบวนการเอ็กซ์ทรูด เนื่องจากมีความยากลำบากในการเตรียมอุปกรณ์ที่ใช้ในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ วิธีที่ใช้ในการยับยั้งมี 2 วิธี วิธีแรกคือ นำเอ็กซ์ทรูเดมาบดเป็นผง ละลายน้ำ และปรับ pH ให้เท่ากับ 3.5 ควบคู่ไปกับการให้ความร้อนที่ 100 องศาเซลเซียส ซึ่งไม่อาจกระทำได้ทันที เนื่องจาก เอ็กซ์ทรูเดที่มีลักษณะที่เหนียว ต้องนำไปอบแห้งที่ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมงก่อน เอ็กซ์ทรูเดจึงจะมีลักษณะที่กรอบแข็ง และสามารถนำไปบดละเอียดได้ วิธีที่สองคือ นำเอ็กซ์ทรูเดไปแช่แข็งในไนโตรเจนเหลวทันทีที่ออกจากรูหน้าแปลน (Die) ซึ่งไม่มีอุปกรณ์ที่ใช้ในการนี้ ในการทดลองนี้ได้ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ตามวิธีแรก จึงอาจเกิดความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของค่า D.E. ในระหว่างขั้นตอนการเตรียมเอ็กซ์ทรูเดให้เป็นผงแห้ง

2.2 การวิเคราะห์ปริมาณลิเคอไฟสตา์ชและค่า D.E. ของมอลโตเดกซ์ทริน

ผลจากการวิเคราะห์ปริมาณลิเคอไฟสตา์ชและค่า D.E. ของมอลโตเดกซ์ทรินแสดงไว้ในตารางที่ 26

ตารางที่ 26: ปริมาณลิเคอไฟสตาร์ชและค่า D.E. ของมอลโตเดกซ์ทรินที่ผลิตได้จากกระบวนการผลิตแบบกะ และกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันแบบสกรูคู่ ในสภาวะที่เลือกได้จากการทดลอง

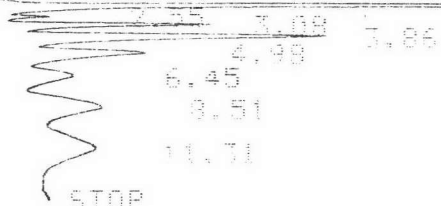
รูปแบบของกระบวนการผลิต	D.E.	ปริมาณลิเคอไฟสตาร์ช (ร้อยละ)
กระบวนการผลิตแบบกะ	10.06	85.27
กระบวนการผลิตแบบกะ	14.11	88.79
กระบวนการเอ็กซ์ทรูชันแบบสกรูคู่	10.68	53.94
กระบวนการเอ็กซ์ทรูชันแบบสกรูคู่	12.81	56.16

จากตารางที่ 26 พบว่า ในกระบวนการผลิตแบบกะ จะได้ผลผลิตของมอลโตเดกซ์ทรินที่มีค่า D.E. 10.06 (BMD 10.06) และ 14.11 (BMD 14.11) คิดเป็นร้อยละ 85.27 และ 88.79 ตามลำดับ สำหรับกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันแบบสกรูคู่ จะได้ผลผลิตของมอลโตเดกซ์ทรินที่มีค่า D.E. 10.68 (TMD 10.68) และ 12.81 (TMD 12.81) คิดเป็นร้อยละ 53.94 และ 56.16 ตามลำดับ

2.3 การวิเคราะห์สัดส่วนของคาร์โบไฮเดรตชนิดต่างๆในมอลโตเดกซ์ทริน

การวิเคราะห์สัดส่วนของคาร์โบไฮเดรตที่มีค่า D.P. ตั้งแต่ 1 ถึง 6 ในมอลโตเดกซ์ทรินที่ผลิตได้ ด้วยวิธี High Performance Liquid Chromatography แสดง Chromatogram ไว้ในภาพที่ 26 ถึง 29 และแสดงผลการคำนวณสัดส่วนคาร์โบไฮเดรตที่มีค่า D.P. 1 ถึง 6 ไว้ในตารางที่ 27

CHROMATOGRAM

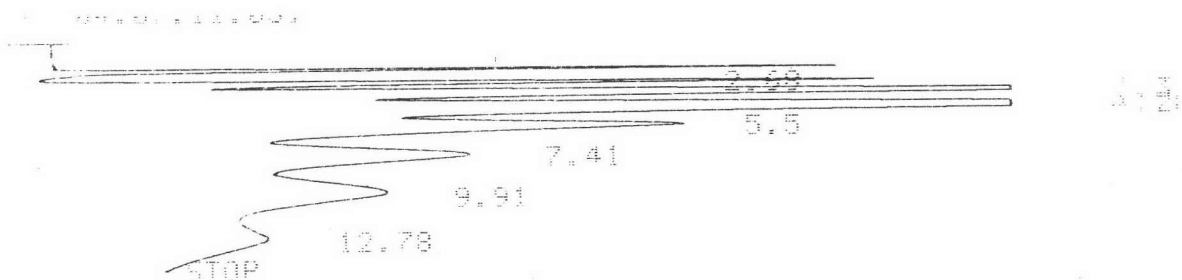


C-R1A
 SMPL # 00
 FILE # 2
 REPT # 1090
 METHOD 41

#	NAME	TIME	CONC	MK	AREA
0	DP 1	2.55	1.212		6470
0	DP 2	3.08	10.4742		55919
0	DP 3	3.86	24.7114	V	131929
0	DP 4	4.98	15.7598	V	94138
0	DP 5	6.45	9.0514	V	323
0	DP 6	8.51	19.3743	V	796
0		11.31	20.4163	V	99
	TOTAL		100		532678

ภาพที่ 26: Chromatogram แสดงปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่มีค่า D.P. 1 ถึง 6

ใน BMD 10.06



412
 412 # 80
 412 # 2
 412 # 1891
 412 # 41

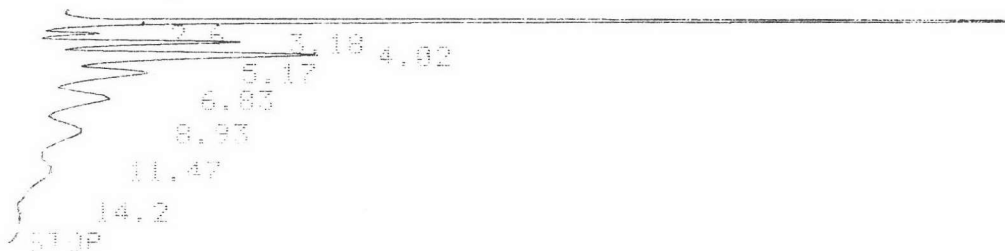
#	NAME	TIME	CONC	MK	AREA
8	DP1	2.69	5.8349		222847
8	DP2	3.31	16.0719	V	613819
8	DP3	4.28	25.7698	V	984200
8	DP4	5.5	15.9667	V	609902
8	DP5	7.41	14.8012	V	565298
8	DP6	9.91	15.3486	V	586195
8		12.78	5.2066	V	27144
	TOTAL		99.9999		3819199

ภาพที่ 27: Chromatogram แสดงปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่มีค่า D.P. 1 ถึง 6

ใน BMD 14.11

TO 10.68

TO 10.68
 TO 10.68
 TO 10.68

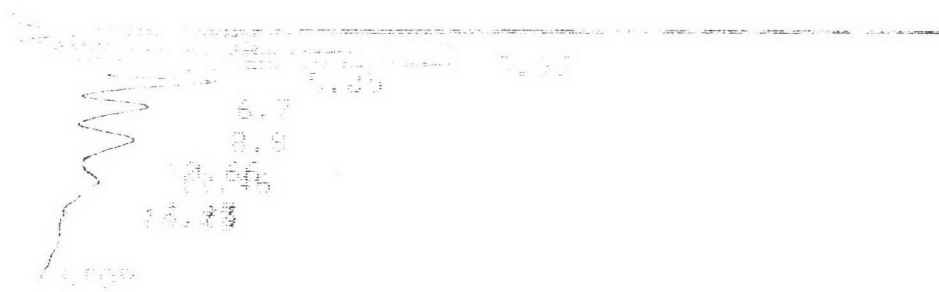


DP1
 DP2
 DP3
 DP4
 DP5
 DP6

#	NAME	TIME	CONC	MK	AREA
1	DP1	2.6	2.0162		11214
2	DP2	3.18	12.1737		67709
3	DP3	4.02	26.9819	V	150071
4	DP4	5.17	15.747	V	93145
5	DP5	6.85	15.0182	V	89047
6	DP6	8.93	14.0221	V	84114
		11.47	11.4485	V	75889
	TOTAL:		88.3759		487193

ภาพที่ 28: Chromatogram แสดงปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่มีค่า D.P. 1 ถึง 6
 ใน TMD 10.68

TMD 12.81



32
 3
 1893
 41

NAME	TIME	CONC	PK	AREA
DP1	2.55	2.2886		21514
DP2	3.13	12.4777	V	117328
DP3	3.90	24.3668	V	229114
DP4	5.85	16.5871	V	105465
DP5	6.7	15.1717	V	142135
DP6	8.8	17.4587	V	164111
	10.66	1.5769		14409
	11.4	9.5267		89571
	12.47	3.1711		14711
	13.71	1.1711		2311
	14.83	3.1711		13811

ภาพที่ 29: Chromatogram แสดงปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่มีค่า D.P. 1 ถึง 6 ใน TMD 12.81

ตารางที่ 27: ปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่างๆในมอลโตเดกซ์ทรินที่ผลิตได้จากกระบวนการผลิตแบบกะและกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันแบบสกรูคู่ ในสภาวะที่เลือกได้จากการทดลอง

ชนิดของคาร์โบไฮเดรต (D.P.)	ปริมาณคาร์โบไฮเดรตชนิดต่างๆในมอลโตเดกซ์ทริน (ร้อยละ)			
	มอลโตเดกซ์ทรินจากกระบวนการผลิตแบบกะ		มอลโตเดกซ์ทรินจากกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันแบบสกรูคู่	
	D.E. 10.06	D.E. 14.11	D.E. 10.68	D.E. 12.81
กลูโคส (1)	0.10	1.54	0.17	0.31
มอลโตส (2)	0.75	3.76	0.89	1.51
มอลโตไตรโอส (3)	2.10	7.23	2.37	3.54
มอลโตเตตระโอส (4)	1.40	4.54	1.49	2.44
มอลโตเพนตะโอส (5)	1.30	4.23	1.43	2.24
มอลโตเฮกซะโอส (6)	1.52	5.56	1.82	3.28
D.P. มากกว่า 6	92.83	73.14	91.83	86.68

จากตารางที่ 27 เปรียบเทียบมอลโตเดกซ์ทรินจากกระบวนการผลิตเดี่ยวกันที่มีค่า D.E. ต่างกัน พบว่า เมื่อค่า D.E. ของผลิตภัณฑ์สูงขึ้น สัดส่วนของคาร์โบไฮเดรตที่มี D.P. ต่ำๆ จะสูงขึ้น และจากการเปรียบเทียบมอลโตเดกซ์ทรินจากทั้งสองกระบวนการผลิตที่มีค่า D.E. ใกล้เคียงกัน พบว่า มอลโตเดกซ์ทรินจากกระบวนการผลิตแบบกะที่มีค่า D.E. 10.06 (BMD 10.06) และมอลโตเดกซ์ทรินจากกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันแบบสกรูคู่ที่มีค่า D.E. 10.68 (TMD 10.68) มีสัดส่วนของคาร์โบไฮเดรต D.P. 1 ถึง D.P. 6 ใกล้เคียงกันมาก

3. สมบัติทางกายภาพของมอลโตเดกซ์ทริน

มีการนำมอลโตเดกซ์ทรินที่ผลิตจากแป้งชนิดอื่นๆ ไปใช้ในภาวทดแทนน้ำมันในผลิตภัณฑ์อาหารหลายประเภท โดยพยายามปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของมอลโตเดกซ์ทรินนี้ให้ใกล้เคียงกับน้ำมัน (AVEBE, 1989; Yackel and Cox, 1992) ซึ่งการใช้มอลโตเดกซ์ทรินในการทดแทนน้ำมันบางส่วนนี้มีข้อดี คือ ช่วยลดแคลอรีในอาหาร ดังนั้น การศึกษาสมบัติทางกายภาพของมอลโตเดกซ์ทรินในการทดลองนี้ จึงมุ่งเน้นไปทางการศึกษาถึงสมบัติทางการไหลของมอลโตเดกซ์ทริน เพื่อประโยชน์ในการนำไปใช้ทดแทนน้ำมันในผลิตภัณฑ์อาหาร โดยจะแบ่งการศึกษาเป็น 2 ขั้นตอน คือ ขั้นแรกศึกษาสมบัติในด้านความหนืดของมอลโตเดกซ์ทรินที่ผลิตได้โดยใช้เครื่อง Brookfield viscometer ทั้งก่อนและหลังการผ่านกระบวนการทำให้เข้มข้นโดยใช้เครื่อง Rotary vacuum evaporator ขั้นตอนนี้ ทำเพื่อปรับค่าความหนืดของมอลโตเดกซ์ทรินให้ใกล้เคียงกับน้ำมันพืช ขั้นตอนที่ต่อไป นำมอลโตเดกซ์ทรินที่มีความหนืดใกล้เคียงกับน้ำมันพืชไปวัดสมบัติทางการไหลโดยใช้เครื่อง Haake เปรียบเทียบกับน้ำมันพืชตัวอย่าง ผลการทดลองจาก 2 ขั้นตอนนี้ แสดงในหัวข้อที่ 3.1 และ 3.2

3.1 การวิเคราะห์ปริมาณของแข็งทั้งหมดและความหนืดของมอลโตเดกซ์ทริน

วัดความหนืดของตัวอย่างที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส โดยใช้เครื่อง Brookfield viscometer น้ำมันพืชที่เลือกมาเป็นต้นแบบ เป็นน้ำมันพืชชนิดที่ใช้ในการผลิตน้ำสลัดชนิดข้น มีความหนืดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เท่ากับ 82.8 mPas ส่วนผลการวัดค่าความหนืดของมอลโตเดกซ์ทรินที่ผลิตได้ ทั้งก่อนและหลังการทำให้เข้มข้น แสดงไว้ในตารางที่ 28

ตารางที่ 28: ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแข็งทั้งหมดและค่าความหนืดของมอลโตเดกซ์ทริน ก่อนและหลังการทำให้เข้มข้น

	ลักษณะทางกายภาพ	มอลโตเดกซ์ทรินจาก กระบวนการผลิตแบบกะ		มอลโตเดกซ์ทรินจาก กระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน**	
		D.E. 10.06	D.E. 14.11	D.E. 10.68	D.E. 12.81
ก่อนการ ทำให้เข้มข้น	ปริมาณของแข็งทั้งหมด (%)	25.82	26.32	-	-
	ความหนืด (mPas) *	55.6	32.0	-	-
หลังการ ทำให้เข้มข้น	ปริมาณของแข็งทั้งหมด (%)	32.16	47.43	31.96	46.65
	ความหนืด (mPas) *	89.6	87.6	84.87	88.34

* 1 mPas มีค่าเท่ากับ 1 centipoise

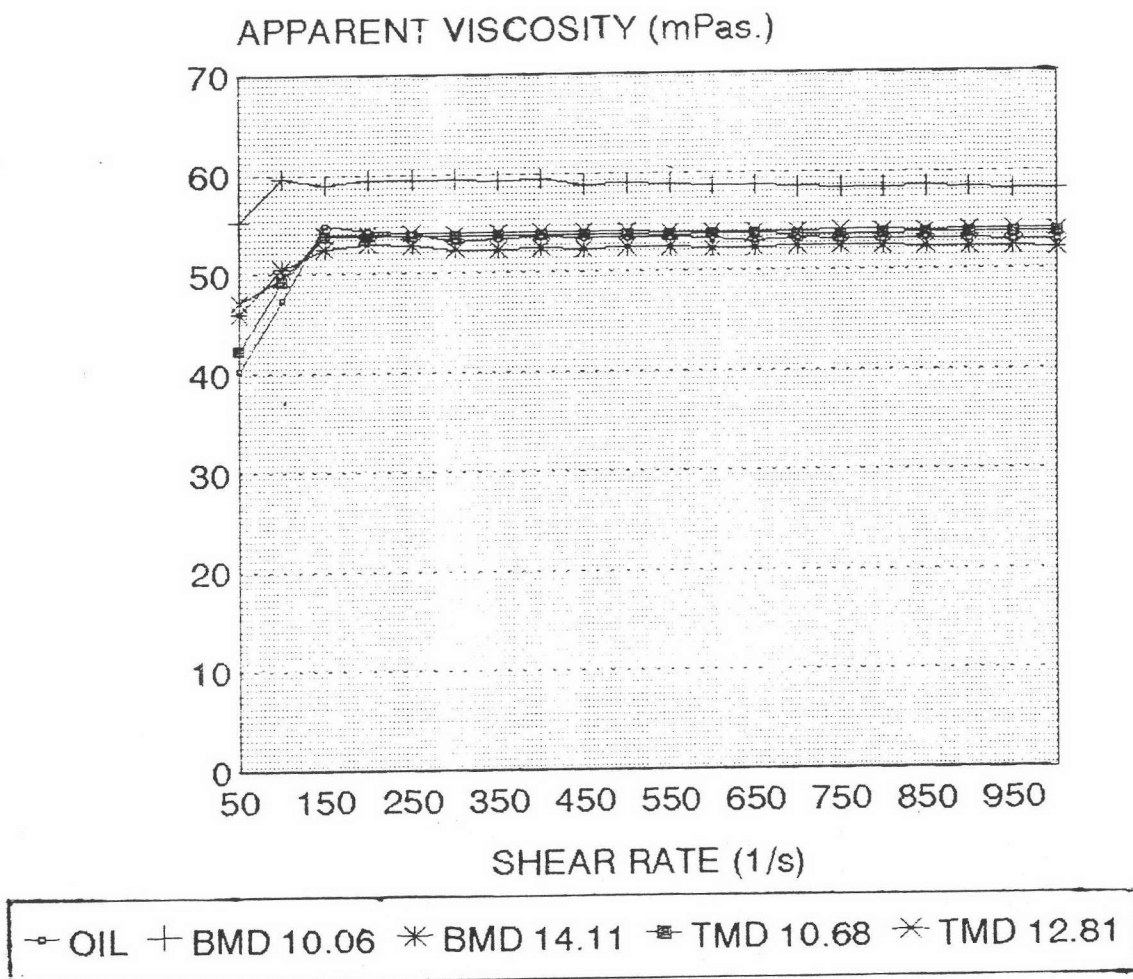
** เนื่องจากมอลโตเดกซ์ทรินจากกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันแบบสกรูคู่มีลักษณะเป็นผง สามารถนำมาละลายน้ำและปรับความเข้มข้นให้ได้ตามที่ต้องการ โดยไม่ต้องผ่านกระบวนการทำให้เข้มข้นโดยการระเหยน้ำออกเช่นเดียวกับมอลโตเดกซ์ทรินชนิดเหลวที่ได้จากกระบวนการผลิตแบบกะ ดังนั้น จึงไม่มีข้อมูลของปริมาณของแข็งทั้งหมดและข้อมูลทางด้านความหนืดในช่วงก่อนการทำให้เข้มข้น

3.2 การวิเคราะห์สมบัติทางการไหลของมอลโตเดกซ์ทริน

นำน้ำมันพืชและมอลโตเดกซ์ทรินทั้ง 4 ตัวอย่างที่ผ่านการปรับความเข้มข้นจนมีความหนืดใกล้เคียงกับน้ำมันพืชไปวัดสมบัติทางการไหลโดยใช้เครื่อง Haake เพื่อเปรียบเทียบลักษณะทางการไหล ในการวัดลักษณะทางการไหลโดยใช้เครื่อง Haake นี้ ผลที่ได้จากการวัดจะเป็น ค่า Shear rate ($\dot{\gamma}$) Shear stress (τ) และ Apparent viscosity (μ) ที่เวลาต่างๆ นำค่า Shear rate และ Apparent viscosity ของตัวอย่างมอลโตเดกซ์ทรินทั้งสี่ และน้ำมันพืชมาสร้างกราฟ จะได้กราฟแสดงความสัมพันธ์ดังภาพที่ 30 จากนั้น คำนวณค่า Consistency index และ Flow-behavior index ด้วยวิธีการคำนวณในภาคผนวก ค ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 29 พบว่า มอลโตเดกซ์ทรินทั้ง 4 ตัวอย่าง มีลักษณะการไหลเป็นแบบเดียวกับน้ำมันพืชตัวอย่าง สังเกตจากภาพที่ 30 ลักษณะเส้นกราฟของมอลโตเดกซ์ทรินเป็นแบบเดียวกับน้ำมันพืชตัวอย่าง และจากตารางที่ 29 พบว่า ค่า Consistency index และ Flow-behavior index ของมอลโตเดกซ์ทรินทั้ง 4 ตัวอย่างมีค่าใกล้เคียงกับของน้ำมันพืชตัวอย่างมาก

ตารางที่ 29: ค่า Consistency Index และ Flow-behavior Index ของน้ำมันพืช และผลิตภัณฑ์มอลโตเดกซ์ทริน

ผลิตภัณฑ์		Consistency Index (K) (mPas)	Flow-behavior Index (n)
น้ำมันพืช		0.037	1.057
มอลโตเดกซ์ทรินจาก กระบวนการผลิตแบบกะ	D.E.10.06	0.056	1.006
	D.E.14.11	0.045	1.025
มอลโตเดกซ์ทรินจากกระบวนการ การแยกชั้นแบบสกรูคู่	D.E.10.68	0.039	1.050
	D.E.12.81	0.044	1.033



ภาพที่ 30 : ความสัมพันธ์ระหว่าง Shear rate และ Apparent viscosity ของน้ำมันพืช (Oil) ผลิตภัณ์ที่มอลโตเดคซ์ทรินจากกระบวนการผลิตแบบกะ (BMD) ที่มีค่า D.E. 10.06 และ 14.11 และผลิตภัณ์ที่มอลโตเดคซ์ทรินจากกระบวนการเอกซ์ทรูชันแบบสกรูคู่ (TMD) ที่มีค่า D.E. 10.68 และ 12.81 ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

การนำมอลโตเดกซ์ทรินไปใช้ทดแทนน้ำมันพืชในน้ำสลัดชนิดข้น

ทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของน้ำสลัดชนิดข้นทั้ง 8 สูตร ที่มีการทดแทนน้ำมันพืชด้วยมอลโตเดกซ์ทรินชนิดต่างๆ ในปริมาณที่ต่างกัน รายละเอียดของปริมาณน้ำมันพืชต่อปริมาณมอลโตเดกซ์ทรินที่ใช้ในน้ำสลัดชนิดข้นในสูตรต่างๆแสดงไว้ในตารางที่ 6 การทดสอบทางประสาทสัมผัสใช้วิธี Multiple Comparison Test โดยซีมเปรียบเทียบกับสูตรมาตรฐานที่ไม่มีการใช้มอลโตเดกซ์ทรินทดแทนน้ำมันพืช ใช้ผู้ทดสอบซีมที่ผ่านการฝึกฝนแล้วจำนวน 15 คน ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของน้ำสลัดชนิดข้นทั้ง 8 สูตร แสดงในตารางที่ 30

พบว่า ผลผลิตภณฑ์น้ำสลัดชนิดข้นที่มีการใช้มอลโตเดกซ์ทริน D.E. ต่างๆทดแทนน้ำมันพืชในสัดส่วนต่างๆ ทั้ง 8 ตัวอย่าง ผลผลิตภณฑ์น้ำสลัดชนิดข้นที่ใช้ น้ำมันพืชเต็มสูตร ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในด้านความข้นหนืดและรสชาติ ส่วนในด้านกลิ่นของน้ำสลัดนั้น พบว่า ผลผลิตภณฑ์น้ำสลัดชนิดข้นที่ใช้มอลโตเดกซ์ทรินจากกระบวนการผลิตแบบกะที่มีค่า D.E. 14.11 (BMD 14.11) และมอลโตเดกซ์ทรินจากกระบวนการเอ็กซ์ทรักชันแบบสกรูคู่ที่มีค่า D.E. 12.81 (TMD 12.81) ในปริมาณร้อยละ 50 ของน้ำมันพืช จะมีคะแนนทางด้านกลิ่นต่างจากคะแนนทางด้านกลิ่นของผลิตภณฑ์น้ำสลัดชนิดข้นสูตรมาตรฐานอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ผู้ทดสอบส่วนใหญ่ให้ความเห็นว่า ผลผลิตภณฑ์น้ำสลัดตัวอย่างทั้งสองสูตรดังกล่าว มีกลิ่นที่อ่อนกว่ากลิ่นของน้ำสลัดสูตรมาตรฐาน

สำหรับผลการคำนวณค่าพลังงานในน้ำสลัดชนิดข้นทั้ง 8 สูตร รวมทั้งสูตรมาตรฐานแสดงไว้ในตารางที่ 31 น้ำสลัดชนิดข้นสูตรที่ใช้มอลโตเดกซ์ทรินทดแทนน้ำมันพืชในปริมาณร้อยละ 25 และ 50 จะมีค่าพลังงานลดลงร้อยละ 14 ± 0.67 และ 28 ± 1.24 ตามลำดับ

ตารางที่ 30: ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสผลิตภัณฑ์น้ำสัลดชนิดชั้นที่มีการใช้มอลโตเดกซ์ทรีน
ที่ได้จากกระบวนการผลิตแบบกะ (BMD) และกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันแบบสกรูคู่
(TMD) ทดแทนน้ำมันพืชในปริมาณ 25 ใน 100 และ 50 ใน 100

ส่วนผสมที่ใช้ทดแทนน้ำมันพืช	ปริมาณที่ใช้ทดแทน (ร้อยละ) ของน้ำมัน	ค่าเฉลี่ย *		
		ความข้นหนืด ns	กลิ่น	รสชาติ ns
น้ำมันพืช 100 %	0	3.0	3.0 ^b	3.0
BMD 10.06	25	3.15±0.66	2.62 ^{ab} ±0.51	2.85±0.99
BMD 10.06	50	3.35±0.85	2.54 ^{ab} ±0.52	2.69±0.63
BMD 14.11	25	2.88±0.96	2.69 ^{ab} ±0.85	2.81±0.80
BMD 14.11	50	3.38±1.71	2.46 ^a ±0.52	2.69±0.75
TMD 10.68	25	2.92±0.86	2.62 ^{ab} ±0.51	3.15±0.80
TMD 10.68	50	3.33±0.66	2.54 ^{ab} ±0.66	2.85±0.90
TMD 12.81	25	3.31±0.95	2.62 ^{ab} ±0.65	2.92±0.86
TMD 12.81	50	3.38±0.95	2.46 ^a ±0.66	2.85±0.99

* ตัวอักษรที่แตกต่างกัน แสดงว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
ns คือ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 31: ค่าพลังงานในน้ำสกัดชนิดชั้นสูตรต่างๆ

ส่วนผสม	สูตรมาตรฐาน		สูตรที่ 1		สูตรที่ 2	
	น้ำหนัก (กรัม)	พลังงาน (คาลอรี)	น้ำหนัก (กรัม)	พลังงาน (คาลอรี)	น้ำหนัก (กรัม)	พลังงาน (คาลอรี)
มีสตาร์ด	12	24	12	24	12	24
ไข่แดง	102	390	102	390	102	390
น้ำมะนาว	100	26.4	100	26.4	100	26.4
เกลือป่น	4	0	4	0	4	0
พริกไทยป่น	2	5	2	5	2	5
นมข้นหวาน	612	1960	612	1960	612	1960
นมสดชนิดจืด	488	300	488	300	488	300
น้ำมันพืช	654	5775	490.5	4331	327	2887.4
BMD 10.06 เข้มข้นร้อยละ 32.16	-	-	163.5	210.3	327	420.5
BMD 14.11 เข้มข้นร้อยละ 47.43	-	-	-	-	-	-
TMD 10.68 เข้มข้นร้อยละ 31.96	-	-	-	-	-	-
TMD 12.81 เข้มข้นร้อยละ 46.65	-	-	-	-	-	-
รวม	1974	8480.4	1974	7246.7	1974	6013.3
ค่าพลังงานต่อ 100 กรัม (คาลอรี)		429.6		367.1		304.6
ค่าพลังงานที่ลดลงจากสูตรมาตรฐาน (ร้อยละ)		0		14.5		29.1

ตารางที่ 31: ค่าพลังงานในน้ำสลัดชนิดข้นสูตรต่างๆ (ต่อ)

ส่วนผสม	สูตรที่ 3		สูตรที่ 4		สูตรที่ 5	
	น้ำหนัก (กรัม)	พลังงาน (คาลอรี)	น้ำหนัก (กรัม)	พลังงาน (คาลอรี)	น้ำหนัก (กรัม)	พลังงาน (คาลอรี)
มีสตาร์ด	12	24	12	24	12	24
ไข่แดง	102	390	102	390	102	390
น้ำมะนาว	100	26.4	100	26.4	100	26.4
เกลือป่น	4	0	4	0	4	0
พริกไทยป่น	2	5	2	5	2	5
นมข้นหวาน	612	1960	612	1960	612	1960
นมสดชนิดจืด	488	300	488	300	488	300
น้ำมันพืช	490.5	4331	327	2887.4	490.5	4331
BMD 10.06 เข้มข้นร้อยละ 32.16	-	-	-	-	-	-
BMD 14.11 เข้มข้นร้อยละ 47.43	163.5	310.2	327	620.3	-	-
TMD 10.68 เข้มข้นร้อยละ 31.96	-	-	-	-	163.5	209
TMD 12.81 เข้มข้นร้อยละ 46.65	-	-	-	-	-	-
รวม	1974	7346.6	1974	6189.1	1974	7245.4
ค่าพลังงานต่อ 100 กรัม (คาลอรี)		372.2		313.5		367
ค่าพลังงานที่ลดลงจากสูตรมาตรฐาน (ร้อยละ)		13.4		27.0		14.6

ตารางที่ 31: ค่าพลังงานในน้ำสกัดชนิดชั้นสูตรต่างๆ (ต่อ)

ส่วนผสม	สูตรที่ 6		สูตรที่ 7		สูตรที่ 8	
	น้ำหนัก (กรัม)	พลังงาน (คาลอรี)	น้ำหนัก (กรัม)	พลังงาน (คาลอรี)	น้ำหนัก (กรัม)	พลังงาน (คาลอรี)
มีสตาร์ท	12	24	12	24	12	24
ไข่แดง	102	390	102	390	102	390
น้ำมะนาว	100	26.4	100	26.4	100	26.4
เกลือป่น	4	0	4	0	4	0
พริกไทยป่น	2	5	2	5	2	5
นมข้นหวาน	612	1960	612	1960	612	1960
นมสดชนิดจืด	488	300	488	300	488	300
น้ำมันพืช	327	2887.4	490.5	4331	327	2887.4
BMD 10.06 เข้มข้นร้อยละ 32.16	-	-	-	-	-	-
BMD 14.11 เข้มข้นร้อยละ 47.43	-	-	-	-	-	-
TMD 10.68 เข้มข้นร้อยละ 31.96	327	418	-	-	-	-
TMD 12.81 เข้มข้นร้อยละ 46.65	-	-	163.5	305.1	327	610.2
รวม	1974	6010.8	1974	7341.5	1974	6203.0
ค่าพลังงานต่อ 100 กรัม (คาลอรี)		304.5		372.0		314.2
ค่าพลังงานที่ลดลงจากสูตรมาตรฐาน (ร้อยละ)		29.1		13.4		26.9