

บทที่ 3

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

1. ผลของการใช้สารเคมีชนิดต่าง ๆ เพียงชนิดเดียวต่อสมบัติของยาง

ทำการทดลองดังหัวข้อที่ 1 ได้ผลดังตารางที่ 15

ตารางที่ 15 ผลสารเคมีเพียงชนิดเดียวต่อสมบัติกายภาพของยาง

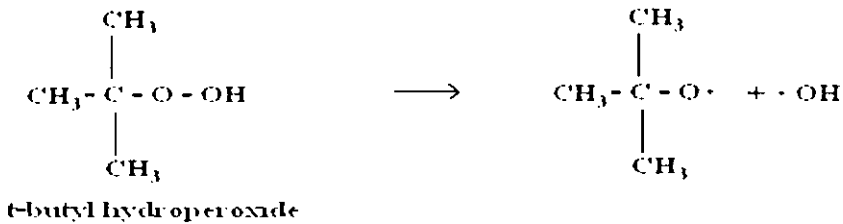
ส่วนผสม (phr)	สูตรที่				
	1	2	3	4	5
น้ำยาง	100	100	100	100	100
t-BHPO	1.0	-	-	-	-
n-BA	-	3.0	-	-	-
น้ำตาลฟรุกโตส	-	-	1.0	-	-
น้ำตาลกลูโคส	-	-	-	1.0	-
น้ำตาลซูโครส	-	-	-	-	2.0
สมบัติของยางวัลคาไนซ์					
ที่อุณหภูมิ 80°C					
ความต้านทานต่อแรงดึง (MPa)	1.10	-	-	-	-
ความยืดขยายขนาด(%)	-	-	-	-	-
โมดูลัส (N/mm ²)	-	-	-	-	-
อัตราการบวม	67	-	-	-	-
ที่อุณหภูมิ 90°C					
ความต้านทานต่อแรงดึง(MPa)	1.34	-	-	-	-
ความยืดขยายขนาด(%)	-	-	-	-	-
โมดูลัส (N/mm ²)	-	-	-	-	-
อัตราการบวม	56	-	-	-	-
ความต้านทานต่อแรงดึง(MPa)	-	-	-	-	-

ตารางที่ 15 (ต่อ)

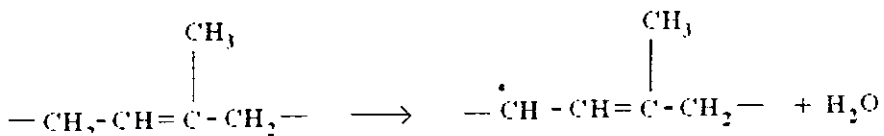
ส่วนผสม (phr)	สูตรที่				
	1	2	3	4	5
ลักษณะยางวัลคาไนซ์					
ลักษณะแผ่นยางแห้ง	ขาวใส ขาดง่าย	ขาวใส ขาดง่าย	ขาวใส นิ่ม ขาด ง่าย	ขาวใส นิ่ม ขาด ง่าย	สีคล้ำ นิ่ม ขาด ง่าย
ลักษณะแผ่นยางแห้ง เมื่อทิ้งไว้ 15 วัน	เหลืองใส มากขึ้น	ขาวใส ขาดง่าย	เหลือง ใสมาก ขึ้น	เหลือง ใสมาก ขึ้น	เหลือง ดำคล้ำ ขึ้น

ผลของการสารเคมีแต่ละชนิด

จากตารางที่ 15 พบว่าการใช้สารเคมีเพียงชนิดเดียวไม่มีผลต่อการวัลคาไนซ์น้ำยาง ไม่
 ว่าจะเป็นการใช้ ฟรคโตส กลูโคส ซูโครส และ n-BA ส่วนการใช้ t-BHPO จะทำให้ยางเกิดการ
 คลอสีได้ต่ำมาก โดยยางที่ได้จะแห้งช้า ขาดง่าย และเมื่อนำไปหาอัตราการบวมจะบวมมาก และ
 มีลักษณะเป็นเจล ดังนั้นในการวัลคาไนซ์น้ำยางจึงต้องมีการใช้สารเคมีร่วมกัน โดยสารเคมีแต่ละ
 ตัวมีหน้าที่แตกต่างกันออกไป ในการทดลองนี้จะเห็นว่า t-BHPO ซึ่งปกติทำหน้าที่เป็นตัววัลคา
 ไนซ์ตัวหนึ่งแต่ในการทดลองนี้ไม่ได้ทำหน้าที่ดังกล่าว แต่ทำหน้าที่เสมือนเป็นตัวเริ่มต้นปฏิกิริยา
 โดยการแตกตัวดังนี้



หลังจากนั้นอนุมูลของเปอร์ออกไซด์จะไปดึงอะตอมไฮโดรเจนของพอลิไอโซพรีนทำให้เกิดอนุมูล
 อิสระขึ้นดังนี้



อนุมูลอิสระของพอลิโอไซพรีนที่เกิดขึ้นจะไปจับกับสารเคมีตัวอื่นเช่น น้ำตาล หรือ อะไมโครเลต ทำให้เกิดการครอสลิงค์เกิดขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้ น้ำตาล หรือ อะไมโครเลตเพียงชนิดเดียว ไม่ได้ทำให้เกิดการครอสลิงค์เช่นเดียวกัน แสดงว่าในการวัลคาไนซ์ต้องใช้สารเคมีทั้งสามชนิดร่วมกัน

2. ชนิดของน้ำตาและอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างน้ำหนักกับ n-BA

2.1. ผลของอัตราส่วนระหว่างน้ำตาฟรุกโตส ร่วมกับ n-BA/t-BHPO

2.1.1 ทำการทดลองดังหัวข้อที่ 2.4 ของบทที่ 2 ได้ผลดังตารางที่ 16

ตารางที่ 16 ผลของอัตราส่วนระหว่างน้ำตาฟรุกโตส กับ n-BA ในการเตรียมน้ำยางสำหรับการทำรีดคาร์บอนซ์

ส่วนผสม	สูตรที่												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
(phr)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
น้ำยาง	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
t-BHPO	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
n-BA	1.3	2.7	1.3	2.7	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
ฟรุกโตส	1.3	1.3	2.7	2.7	1.0	3.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
สมบัติของยางวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 80°C													
ความต้านทานต่อแรงดึง(MPa)	14.11	13.65	10.20	9.81	17.16	10.01	12.04	13.00	12.12	12.35	12.11	12.31	12.10
ความยืดหยุ่นจางขนาด(%)	998	982	976	868	1002	876	988	980	976	978	966	979	967
โมดูลัส (N/mm ²)	1.38	1.20	0.85	0.78	1.22	0.80	0.97	1.08	0.98	1.00	0.98	0.99	0.96
อัตราการบวม	8.60	8.70	9.00	9.56	7.80	9.45	8.84	8.80	8.80	8.79	8.82	8.77	8.83
สมบัติของยางวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 90°C													
ความต้านทานต่อแรงดึง(MPa)	16.06	15.30	12.20	7.92	18.08	11.23	14.04	14.89	14.12	14.27	14.14	14.39	14.11
ความยืดหยุ่นจางขนาด(%)	1022	1012	1000	962	1041	976	1100	1017	1001	1007	1004	1009	1002
โมดูลัส (N/mm ²)	1.536	1.508	1.333	1.032	1.544	1.405	1.515	1.518	1.514	1.521	1.523	1.510	1.522
อัตราการบวม	8.02	8.07	8.88	9.09	7.46	9.02	8.21	8.10	8.33	8.22	8.30	8.20	8.34

2.1.2 จากผลการทดลองในหัวข้อ 2.1 และวิธีการทดลองในหัวข้อ 2.5 พบว่าที่อุณหภูมิ 90 °C คุณสมบัติทางกายภาพของยางพริ้วเวลาไนซ์จะดีกว่าที่อุณหภูมิ 80 °C (ยกเว้นสูตรที่ 4) ดังนั้นจึงนำผลการทดลองที่อุณหภูมิ 90 °C มาทำการคำนวณ ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปร S, D, \bar{X} และ S.E ตามวิธีการในหัวข้อ 2.5 ได้ผลดังตารางที่ 17

ตารางที่ 17 แสดงสัมประสิทธิ์ของตัวแปร S, D, \bar{X} และ S.E ของสมการที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางกายภาพกับปริมาณของน้ำตาลฟรุคโตสและ n-BA ทำการวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 90 °C

สัมประสิทธิ์	ค่าของสัมประสิทธิ์ตัวแปรของสมบัติทางกายภาพ			
	ความต้านทานต่อแรงดึง	ความยืดหยุ่น	โมดูลัส	อัตราการบวม
b_0	14.21	1004	1.52	8.28
b_1	-2.62	-20.49	-0.11	0.51
b_2	-0.78	8.67	-0.04	0.04
b_{11}	-0.20	-6.87	-0.06	0.06
b_{22}	-0.30	18.12	-0.04	0.01
b_{12}	-0.88	-7.00	-0.07	0.04
\bar{X}^*	14.21 (MPa)	1004 (%)	1.52 (N/mm ²)	8.28
S.D.*	0.121	3.36	0.0057	0.06
S.E _(bi)	0.042	1.188	0.002	0.021
S.E _(ii)	0.046	1.274	0.002	0.023
S.E _(ij)	0.0605	1.680	0.003	0.030

* ค่า \bar{X} และ S. D เป็นค่าสำหรับข้อมูลในสูตรที่ 9 – 13 เท่านั้น

2.1.3 จากผลการคำนวณในวิธีการทดลองหัวข้อ 2.2 – 2.6 ได้ผล ดังหัวข้อ 2.1.3.1 ถึงหัวข้อที่ 2.1.3.4

2.1.3.1 สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานต่อแรงดึงกับปริมาณของน้ำตาล ฟรุคโตสและ n-BA ในรูปของรหัส ๕

$$\text{Tensile (Mpa)} = 14.21 - 2.62(\text{Fructose Code}) - 0.78(\text{n-BA Code}) - 0.20(\text{Fructose Code})^2 - 0.30(\text{n-BA Code})^2 - 0.88(\text{Fructose Code})(\text{n-BA Code})$$

2.1.3.2 สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยืดหยุ่นของน้ำตาลฟรุคโตสและ n-BA ในรูปของรหัส

$$\text{Elongation at break (\%)} = 1004 - 20.49(\text{Fructose Code}) + 8.67(\text{n-BA Code}) - 6.87(\text{Fructose Code})^2 + 18.12(\text{n-BA Code})^2 - 7.00(\text{Fructose Code})(\text{n-BA Code})$$

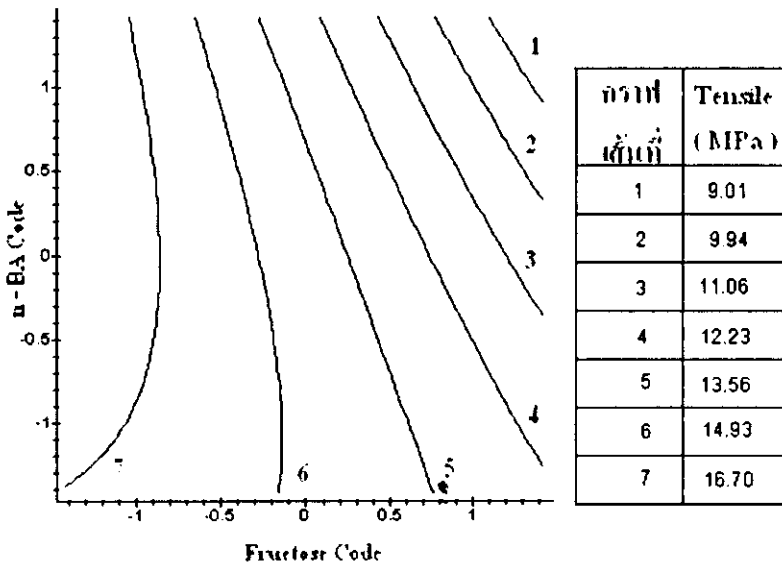
2.1.3.3 สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมดูลัส กับปริมาณของน้ำตาล ฟรุคโตสและ n-BA ในรูปของรหัส

$$\text{Modulus (N/mm}^2\text{)} = 1.52 - 0.11(\text{Fructose Code}) - 0.04(\text{n-BA Code}) - 0.06(\text{Fructose Code})^2 - 0.04(\text{n-BA Code})^2 - 0.07(\text{Fructose Code})(\text{n-BA Code})$$

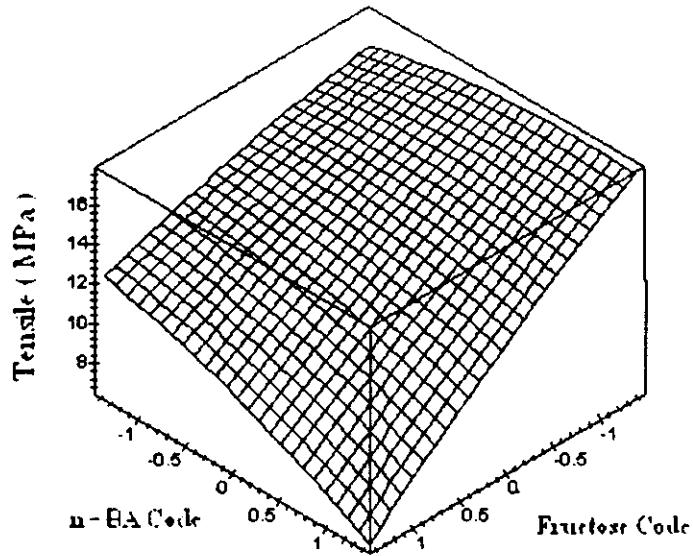
2.1.3.4 สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการบวม กับปริมาณของ น้ำตาล ฟรุคโตสและ n-BA ในรูปของรหัส

$$\text{Swelling} = 8.28 + 0.51(\text{Fructose Code}) + 0.04(\text{n-BA Code}) + 0.06(\text{Fructose Code})^2 + 0.01(\text{n-BA Code})^2 + 0.04(\text{Fructose Code})(\text{n-BA Code})$$

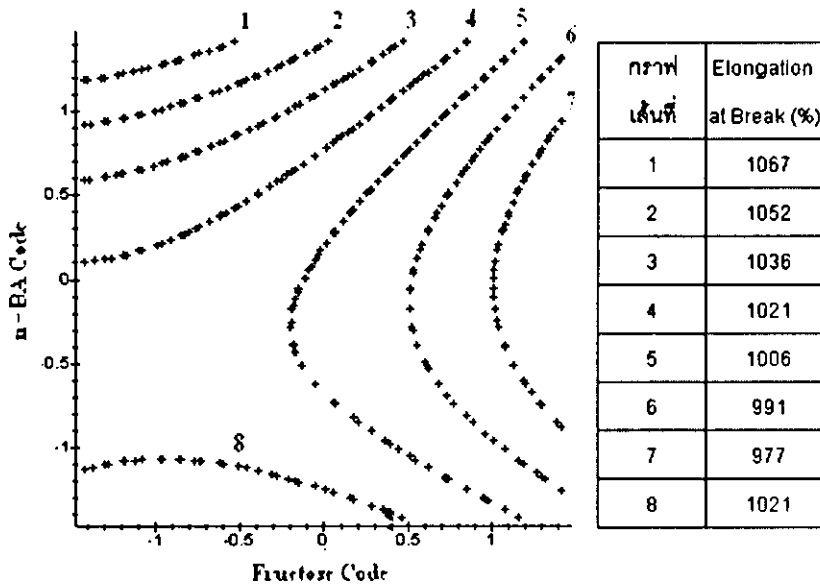
2.1.4 จากผลการสร้างสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง สมบัติทางกายภาพของยางพรีวัลคาไนซ์ กับปริมาณของน้ำตาลฟรุคโตสและ n-BA และวิธีการในหัวข้อ 2.7 ได้ผลดังภาพประกอบ 4 ถึง ภาพประกอบ 13



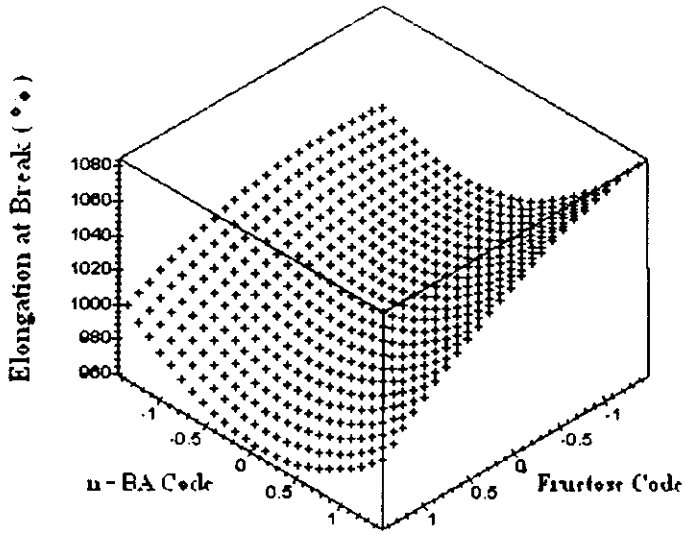
ภาพประกอบ 4 กราฟคอนทราสต์แสดงอิทธิพลของปริมาณ น้ำตาลฟรุคโตส และ ปริมาณ n-BA ที่มีต่อความต้านทานต่อแรงดึงของยางพรีวัลคาไนซ์



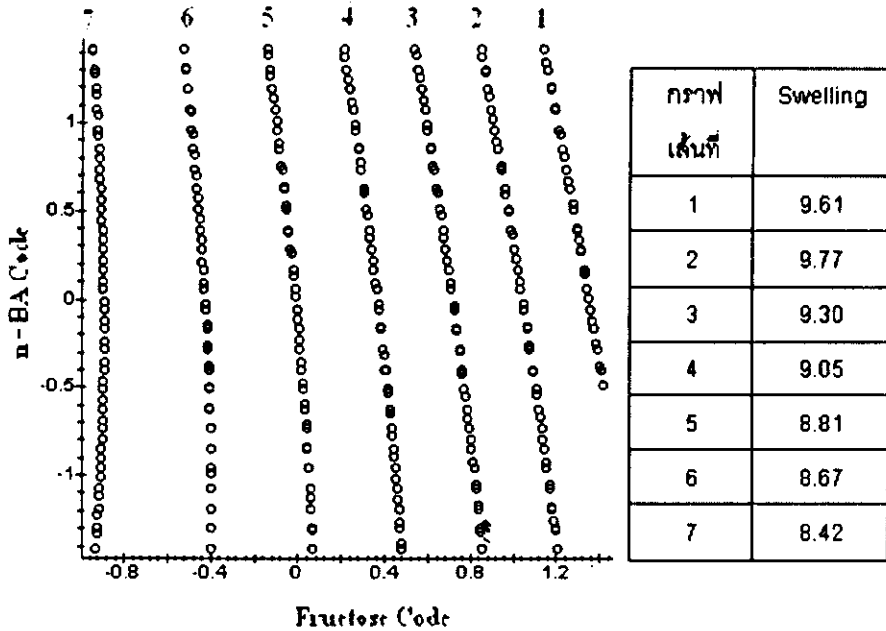
ภาพประกอบ 5 กราฟคอนทัวร์แบบสามแกนแสดงอิทธิพลของปริมาณ น้ำตาลฟรุคโตส และ ปริมาณ n-BA ที่มีต่อ ความต้านทานต่อแรงดึงของยางพรีวัลคาไนซ์



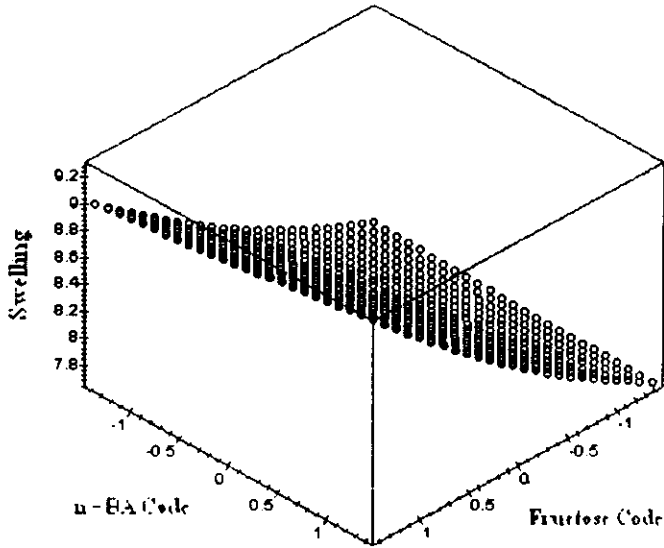
ภาพประกอบ 6 กราฟคอนทัวร์แสดงอิทธิพลของปริมาณ น้ำตาลฟรุคโตส และ ปริมาณ n-BA ที่มีต่อความยืดหยุ่นขนาด ของยางพรีวัลคาไนซ์



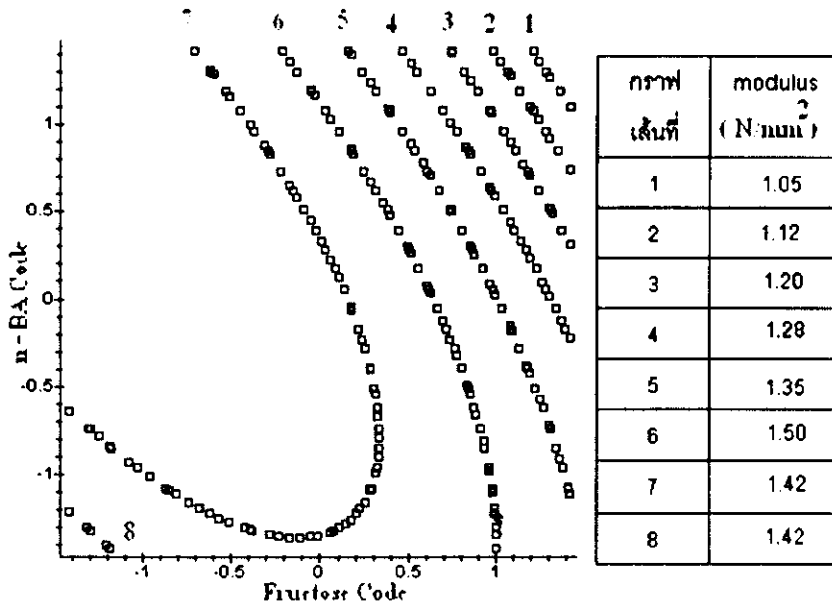
ภาพประกอบ 7 กราฟคอนทัวสต์ แบบสามแกนแสดงอิทธิพลของปริมาณ น้ำตาลฟรุคโตส และ ปริมาณ n-BA ที่มีต่อความยืดหยุ่นของยางพรีวัลคาไนซ์



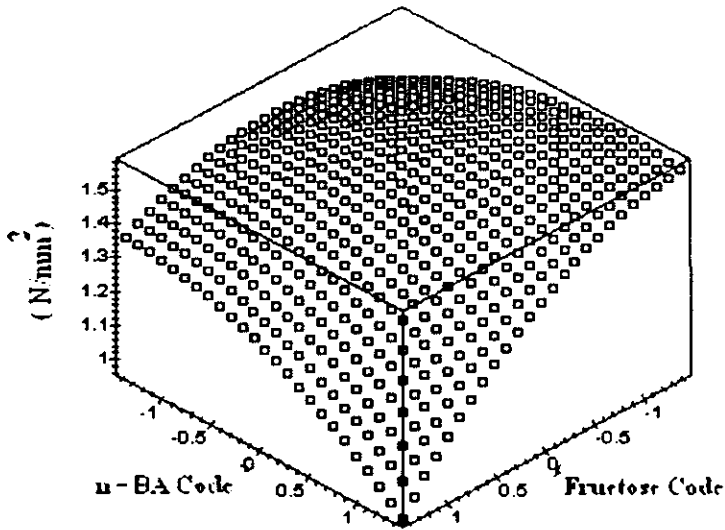
ภาพประกอบ 8 กราฟคอนทัวสต์แสดงอิทธิพลของปริมาณ น้ำตาลฟรุคโตส และ ปริมาณ n-BA ที่มีต่อ อัตราการบวม ของยางพรีวัลคาไนซ์



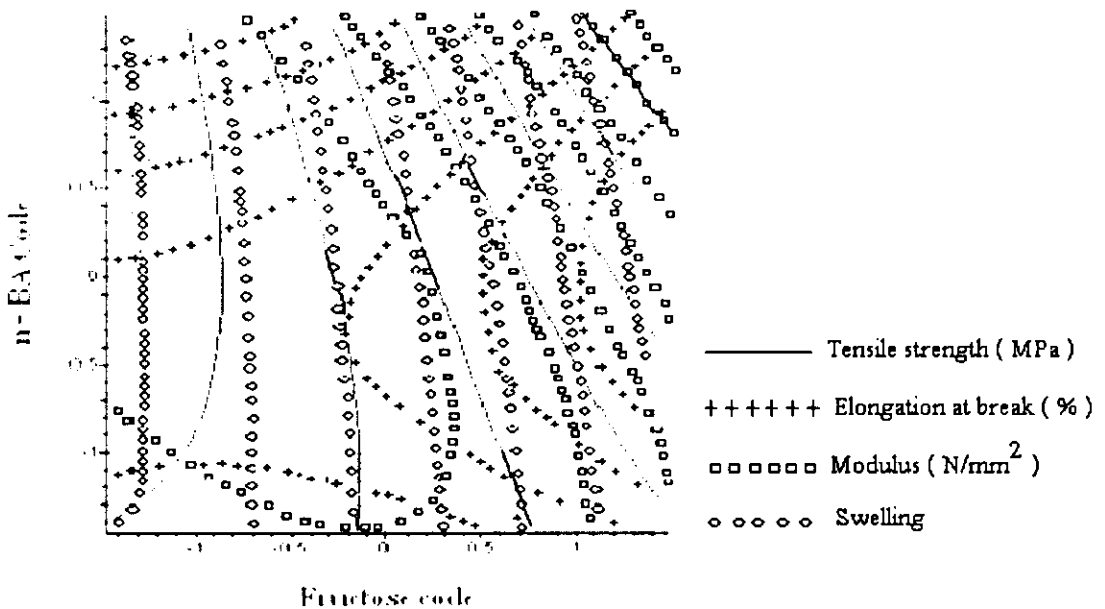
ภาพประกอบ 9 กราฟคอนทัวส์แบบสามแกนแสดงอิทธิพลของปริมาณ น้ำตาลฟรุคโตส และ ปริมาณ n-BA ที่มีต่อ อัตราการบวม ของยางพรีวัลคาไนซ์



ภาพประกอบ 10 กราฟคอนทัวส์แสดงอิทธิพลของปริมาณ น้ำตาลฟรุคโตส และ ปริมาณ n-BA ที่มีต่อ โมดูลัส ของยางพรีวัลคาไนซ์

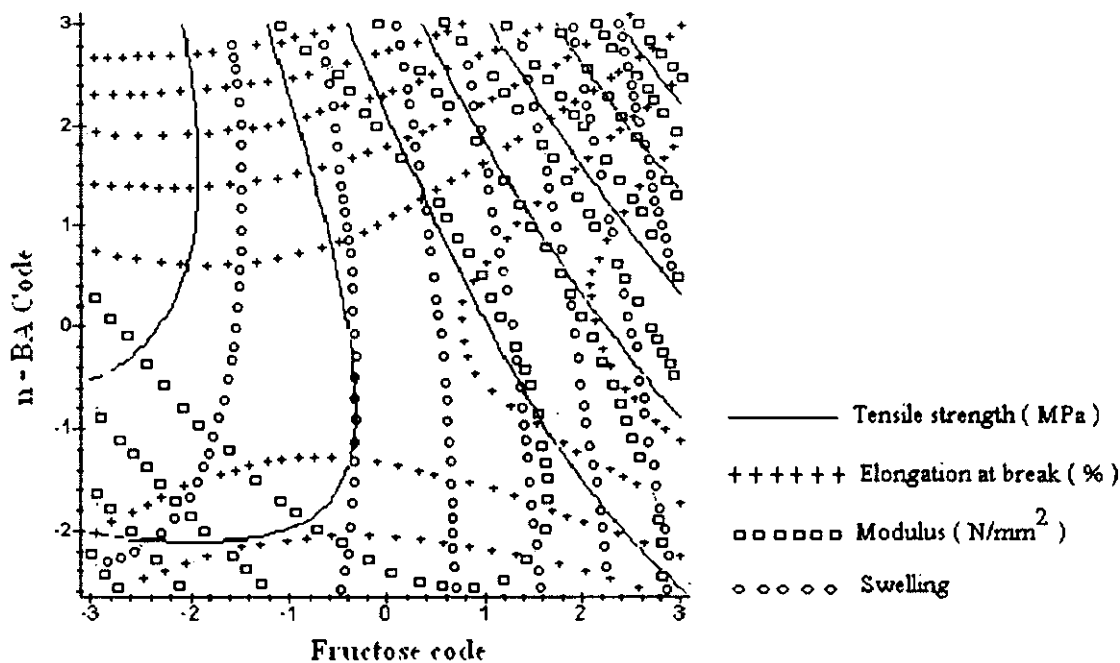


ภาพประกอบ 11 กราฟคอนทัวสต์แบบสามแกนแสดงอิทธิพลของปริมาณ น้ำตาลฟรุกโตส และ n-BA ที่มีต่อโมดูลัสของยางพริ้วคานินซ์



ภาพประกอบ 12 แสดงพื้นที่ของกราฟคอนทัวสต์ (ส่วนที่แรงง) ที่แสดงอิทธิพลของปริมาณน้ำตาล ฟรุกโตส และปริมาณ n-BA ที่คิดว่าจะมี

ความต้านทานต่อแรงดึง	ไม่น้อยกว่า	16.70	MPa
ความยืดหยุ่น	ไม่น้อยกว่า	1021	%
โมดูลัส	ไม่น้อยกว่า	1.4	N/mm ²
อัตราการบวม	น้อยกว่า	8.42	



ภาพประกอบ 13 กราฟคอนทราสต์ที่แสดงอิทธิพลของปริมาณ น้ำตาลฟรุคโตส และปริมาณ n-BA
 ที่มีการขยายเสกกลเพิ่มขึ้นเพื่อยืนยันผล

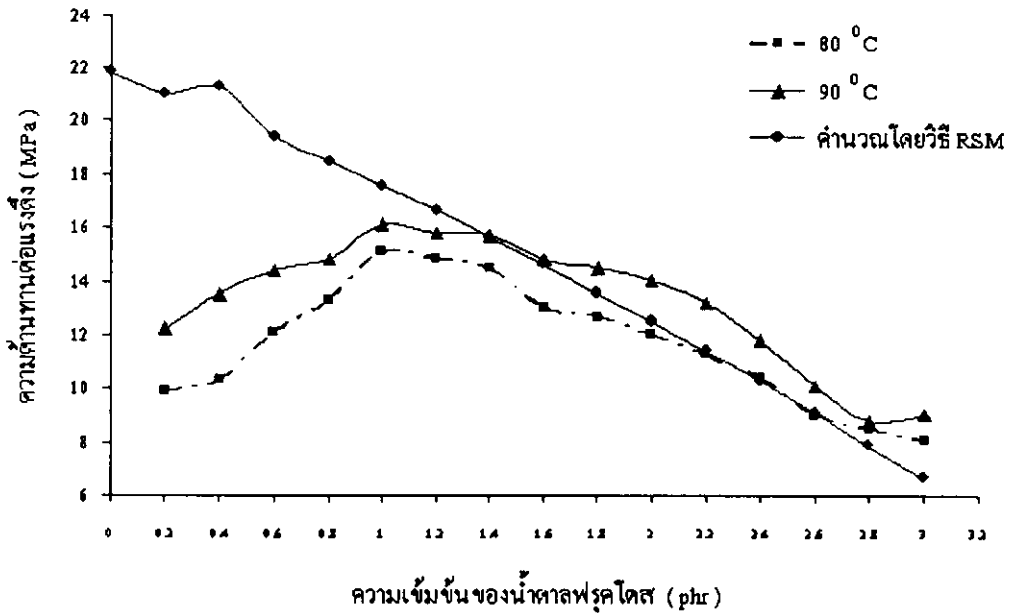
2. ชนิดของน้ำตลและอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างน้ำตลกับ n-BA

2.1.5 จากผลการสร้างกราฟ คอนทาส์ ในหัวข้อ 2.1.4 และจากวิธีการทดลองในหัวข้อ 2.8 ได้ผลดังตาราง 18 และ ภาพประกอบ 14 -17

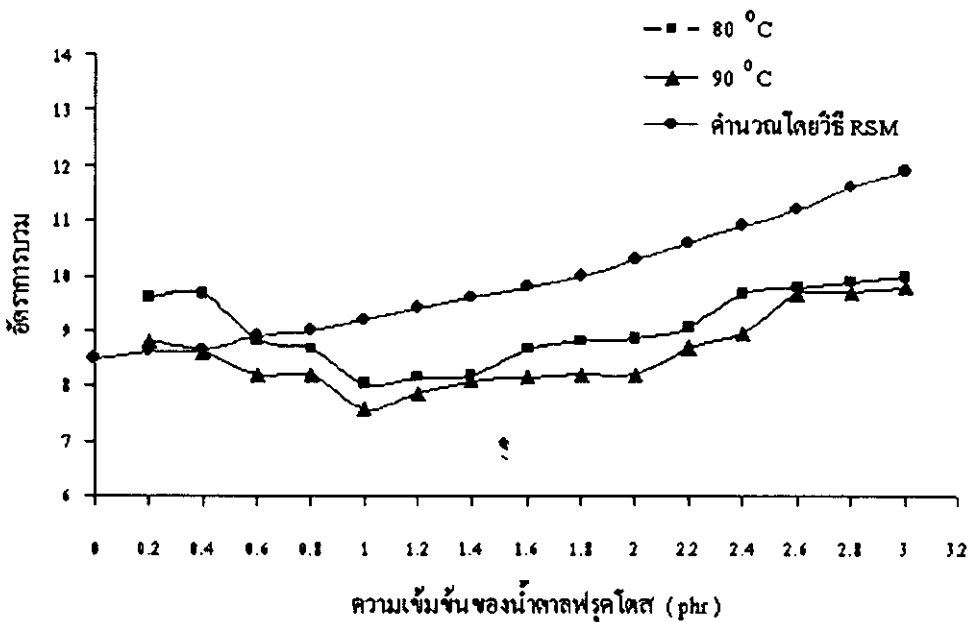
ตารางที่ 18 ผลของปริมาณที่เหมาะสมของน้ำตลฟรุคโตสร่วมกับ n-BA/t-BHPO

ส่วนผสม	สูตรที่															
(phr)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
น้ำยาง	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
t-BHPO	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
n-BA	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
ฟรุคโตส	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0
สมบัติของยางวัดค่าโมฆาคัดการคำนวณโดยวิธี RSM																
ความต้านทานต่อแรงดึง(MPa)	23.0	22.2	22.5	20.6	19.7	18.8	17.8	16.8	15.8	14.8	13.7	12.6	11.5	10.2	9.1	7.8
ความยืดขยายงานขาด(%)	1084	1085	1085	1086	1084	1082	1078	1073	1068	1061	1053	1043	1033	1022	1009	996
โมดูลัส(N/mm ²)	1.49	1.53	1.52	1.56	1.57	1.56	1.54	1.52	1.48	1.44	1.38	1.32	1.25	1.16	1.07	0.97
อัตราการบวม	8.5	8.6	8.6	8.9	9.0	9.2	9.4	9.6	9.8	10.0	10.3	10.6	10.9	11.2	11.6	11.9

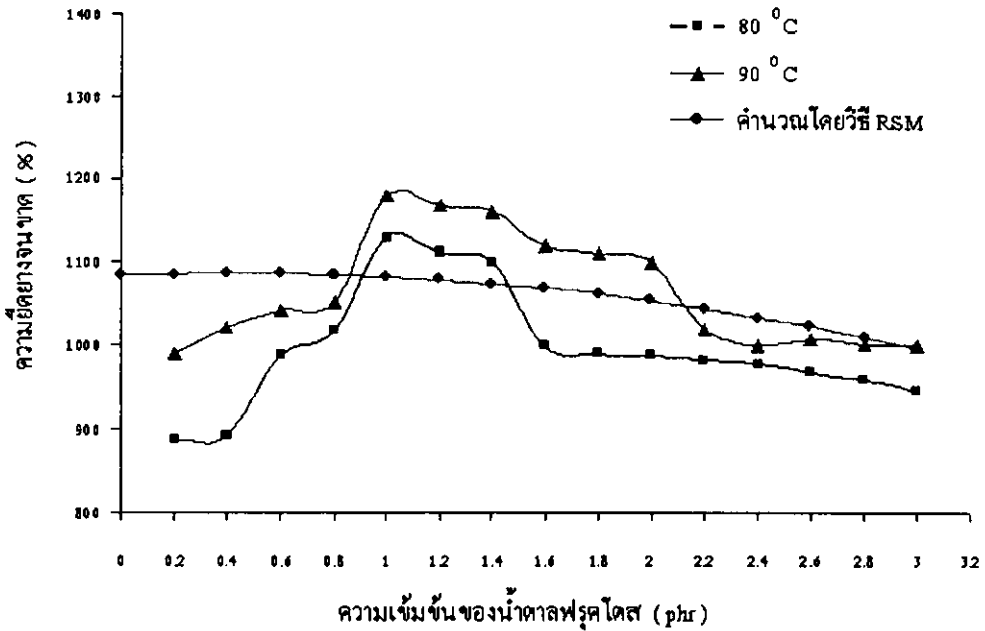
	สูตรที่															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
สมบัติของยางวัลคาไนซ์จากการทดลองที่อุณหภูมิ 80°C																
ความต้านทานต่อแรงดึง(MPa)	-	9.88	10.3	12.1	13.3	15.1	14.8	14.5	13.0	12.7	12.0	11.3	10.4	9.0	8.5	8.08
ความยืดขยายขนาด(%)	-	886	890	988	1018	1129	1111	1100	998	989	988	982	978	968	958	945
โมดูลัส (N/mm ²)	-	1.00	1.08	1.10	1.11	1.07	1.14	1.11	1.12	1.10	0.97	0.88	0.81	0.80	0.98	1.08
อัตราการบวม	-	9.61	9.67	8.82	8.67	8.02	8.16	8.18	8.66	8.80	8.84	9.07	9.68	9.80	9.88	9.98
สมบัติของยางวัลคาไนซ์จากการทดลองที่อุณหภูมิ 90°C																
ความต้านทานต่อแรงดึง(MPa)	-	12.2	13.5	14.4	14.8	16.1	15.8	15.7	14.8	14.5	14.0	13.2	11.8	10.1	8.8	9.00
ความยืดขยายขนาด(%)	-	989	1021	1041	1052	1179	1168	1160	1118	1110	1100	1020	1000	1008	1002	1000
โมดูลัส (N/mm ²)	-	1.22	1.43	1.50	1.50	1.61	1.66	1.67	1.58	1.50	1.52	1.48	1.40	1.42	1.44	1.43
อัตราการบวม	-	8.81	8.60	8.21	8.20	7.58	7.87	8.07	8.14	8.20	8.21	8.68	8.96	9.68	9.70	9.79



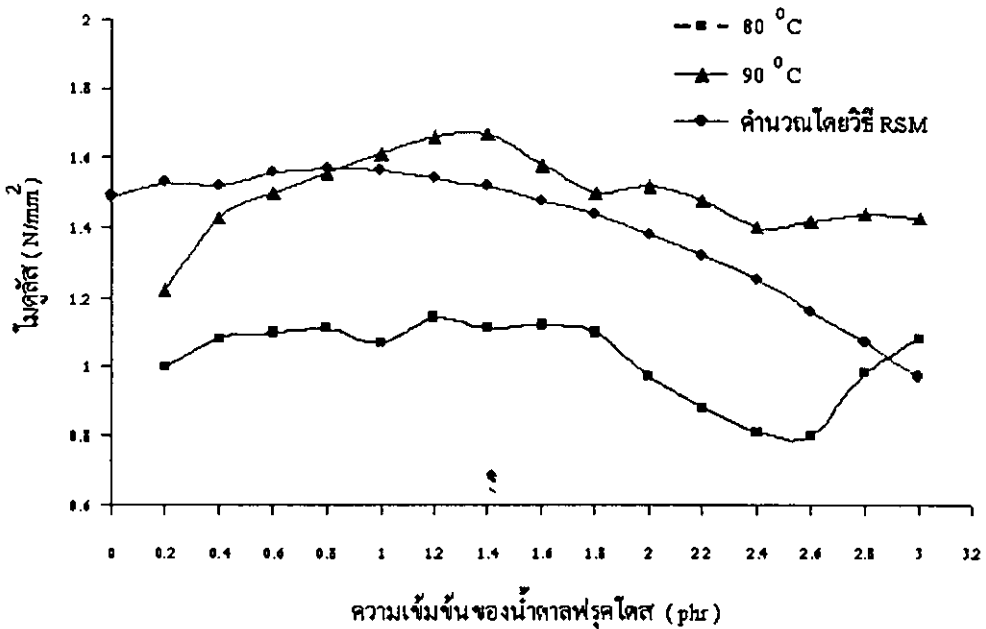
ภาพประกอบ 14 แสดงผลความเข้มข้นของน้ำตาลฟรุคโตสต่อความต้านทานต่อแรงดึง



ภาพประกอบ 15 แสดงผลความเข้มข้นของน้ำตาลฟรุคโตสต่ออัตรากาบรวม



ภาพประกอบ 16 แสดงผลความสัมพันธ์ของน้ำตาลฟรุคโตสต่อความยืดขยายขนาด



ภาพประกอบ 17 แสดงผลความสัมพันธ์ของน้ำตาลฟรุคโตสต่อค่าโมดูลัส

2. ชนิดของน้ำตาและอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างน้ำตาลกับ n-BA

2.2. ผลของอัตราส่วนระหว่างน้ำตาลกลูโคส ร่วมกับ n-BA/t-BHPO

2.2.1 ทำการทดลองครึ่งข้อที่ 2.4 ของบทที่ 2 ได้ผลดังตารางที่ 19

ตารางที่ 19 ผลของอัตราส่วนระหว่างน้ำตาลกลูโคส กับ n-BA ในการเตรียมน้ำยางสำหรับการทำปฏิกิริยาวัลคาไรไนซ์

ส่วนผสม	สูตรที่												
(phr)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
น้ำยาง	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
t-BHPO	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
n-BA	1.3	2.7	1.3	2.7	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
กลูโคส	1.3	1.3	2.7	2.7	1.0	3.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
สมบัติของยางวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 80°C													
ความต้านทานต่อแรงดึง (MPa)	12.34	12.00	8.80	6.42	15.11	7.59	11.00	12.12	9.90	10.92	11.14	11.11	9.86
ความยืดหยุ่น (%)	949	928	889	804	962	809	912	932	909	910	918	915	906
โมดูลัส (N/mm ²)	1.37	1.49	1.30	1.02	1.49	1.40	1.48	1.50	1.48	1.52	1.60	1.50	1.48
อัตราการบวม	9.03	9.17	9.68	10.56	8.06	10.00	9.27	9.12	9.45	9.35	9.29	9.30	9.48
สมบัติของยางวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 90°C													
ความต้านทานต่อแรงดึง (MPa)	15.96	15.20	11.90	8.02	17.98	10.39	14.00	14.86	13.97	14.22	14.24	14.26	13.96
ความยืดหยุ่น (%)	1012	1009	978	951	1021	966	1100	1010	1000	1009	1010	1011	1008
โมดูลัส (N/mm ²)	1.37	1.49	1.30	1.02	1.49	1.40	1.48	1.50	1.48	1.52	1.60	1.50	1.48
อัตราการบวม	8.33	8.10	8.90	9.98	7.76	9.08	8.20	8.17	8.40	8.32	8.37	8.29	8.36

2.2.2 จากผลการทดลองในหัวข้อ 2.1 และวิธีการทดลองในหัวข้อ 2.5 พบว่าที่อุณหภูมิ 90 °C คุณสมบัติทางกายภาพของยางพริ้วคาลาไนซ์จะดีกว่าที่อุณหภูมิ 80 °C ดังนั้นจึงนำผลการทดลองที่อุณหภูมิ 90 °C มาทำการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปร S, D, \bar{X} และ S.E ตามวิธีการในหัวข้อ 2.5 ได้ผลดังตารางที่ 20

ตารางที่ 20 แสดงสัมประสิทธิ์ของตัวแปร \bar{X} , S, D และ S.E ของสมการที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางกายภาพกับปริมาณของน้ำตาลกลูโคสและ n-BA ทำการวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 90 °C

สัมประสิทธิ์	ค่าของสัมประสิทธิ์ตัวแปรของสมบัติทางกายภาพ			
	ความต้านทานต่อแรงดึง	ความยืดหยุ่นขาด	โมดูลัส	อัตราการบวม
b_0	14.16	1007	1.52	8.35
b_1	-2.65	-21.22	-0.08	0.54
b_2	-0.73	12.16	-0.02	0.11
b_{11}	-0.26	-16.43	-0.08	0.17
b_{22}	-0.27	14.31	-0.06	0.05
b_{12}	-0.78	-6.00	-0.10	0.33
\bar{X}^*	14.16 (MPa)	1007 (%)	1.52(N/mm ²)	8.35
S.D*	0.151	4.39	0.051	0.043
S.E _(bi)	0.053	1.550	0.018	0.015
S.E _(ii)	0.057	1.660	0.018	0.016
S.E _(ij)	0.076	2.200	0.025	0.022

* ค่า \bar{X} และ S.D เป็นค่าสำหรับข้อมูลในสูตรที่ 9-13 เท่านั้น

2. 2.3 จากผลการคำนวณในวิธีการทดลองหัวข้อ 2. 2 – 2.6 ได้ผล ดังหัวข้อ 2. 2.3.1 ถึงหัวข้อที่ 2.2.3.4

2. 2.3.1 สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานต่อแรงดึงกับปริมาณของน้ำตาลกลูโคสและ n-BA ในรูปของรหัส

$$\text{Tensile (Mpa)} = 14.16 - 2.65 (\text{Glucose Code}) - 0.73 (\text{n-BA Code}) - 0.26 (\text{Glucose Code})^2 - 0.27 (\text{n-BA Code})^2 - 0.78 (\text{Glucose Code}) (\text{n-BA Code})$$

2.2.3.2 สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความยืดหยุ่นของน้ำตาลกลูโคสและ n-BA ในรูปของรหัส

$$\text{Elongation at break (\%)} = 1007 - 21.22 (\text{Glucose Code}) + 12.16 (\text{n-BA Code}) - 16.43 (\text{Glucose Code})^2 + 14.31 (\text{n-BA Code})^2 - 6.00 (\text{Glucose Code}) (\text{n-BA Code})$$

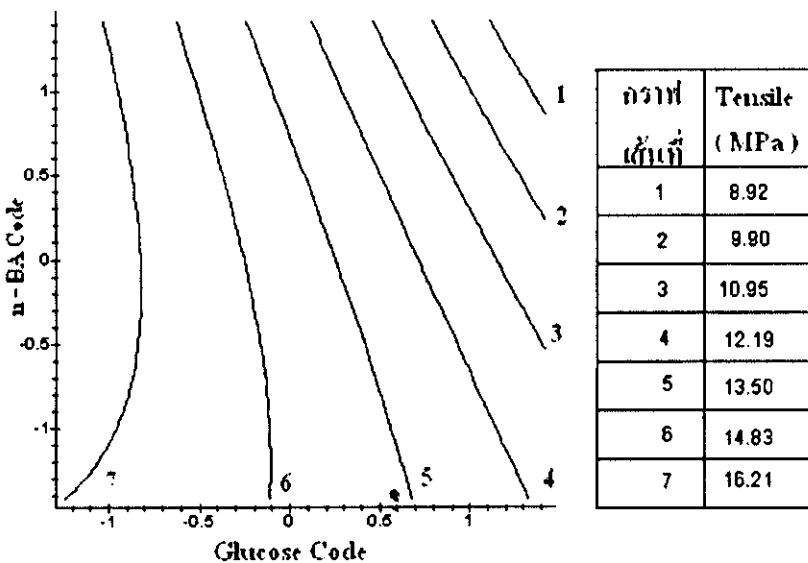
2.2.3.3 สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมดูลัส กับปริมาณของน้ำตาลกลูโคสและ n-BA ในรูปของรหัส

$$\text{Modulus (N/mm}^2 \text{)} = 1.52 - 0.08 (\text{Glucose Code}) - 0.02 (\text{n-BA Code}) - 0.08 (\text{Glucose Code})^2 - 0.06 (\text{n-BA Code})^2 - 0.10 (\text{Glucose Code}) (\text{n-BA Code})$$

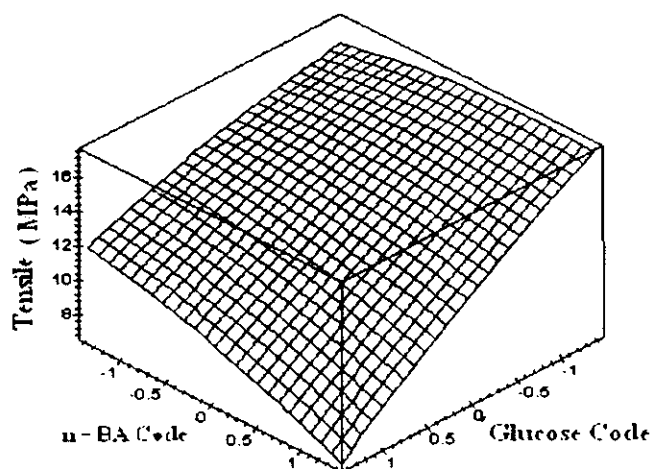
2.2.3.4 สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการบวม กับปริมาณของ น้ำตาลกลูโคสและ n-BA ในรูปของรหัส

$$\text{Swelling} = 8.35 + 0.54 (\text{Glucose Code}) + 0.11 (\text{n-BA Code}) + 0.17 (\text{Glucose Code})^2 + 0.05 (\text{n-BA Code})^2 + 0.33 (\text{Glucose Code}) (\text{n-BA Code})$$

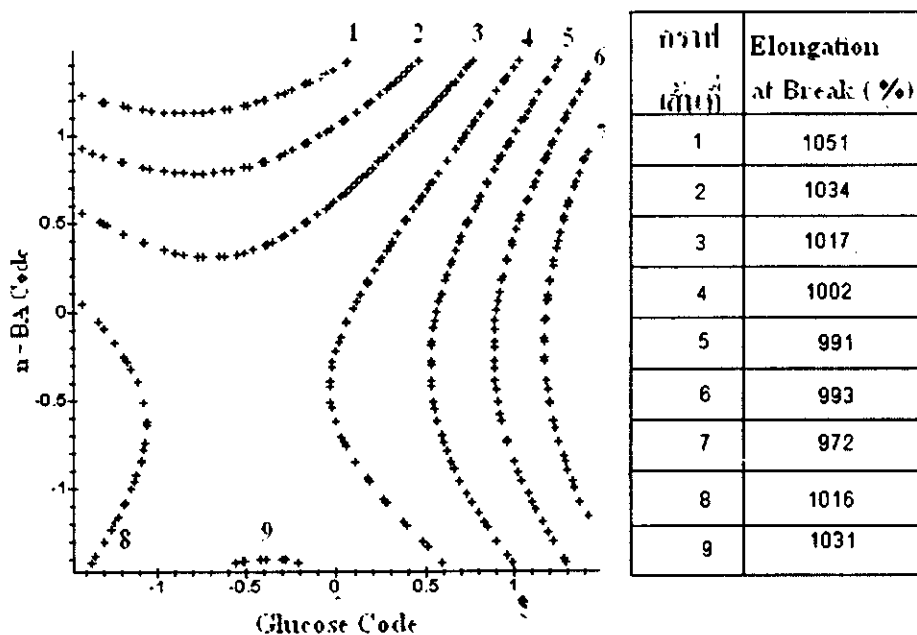
2.2.4 จากผลการสร้างสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง สมบัติทางกายภาพของยางพรีวัลคาไนซ์ กับปริมาณของ น้ำตาลกลูโคส และ n-BA และวิธีการในหัวข้อ 2.7 ได้ผลดังภาพประกอบ 18 ถึงภาพประกอบ 27



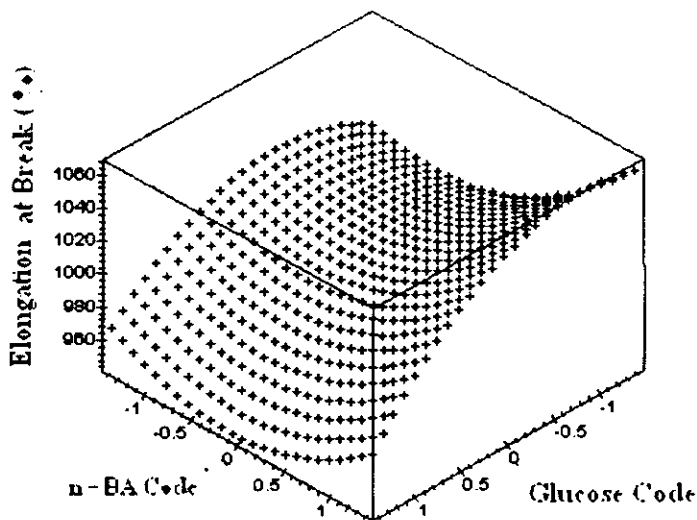
ภาพประกอบ 18 กราฟคอนทราสต์แสดงอิทธิพลของปริมาณน้ำตาลกลูโคส และ ปริมาณ n-BA ที่มีต่อ ความต้านทานต่อแรงดึงของยางพรีวัลคาไนซ์



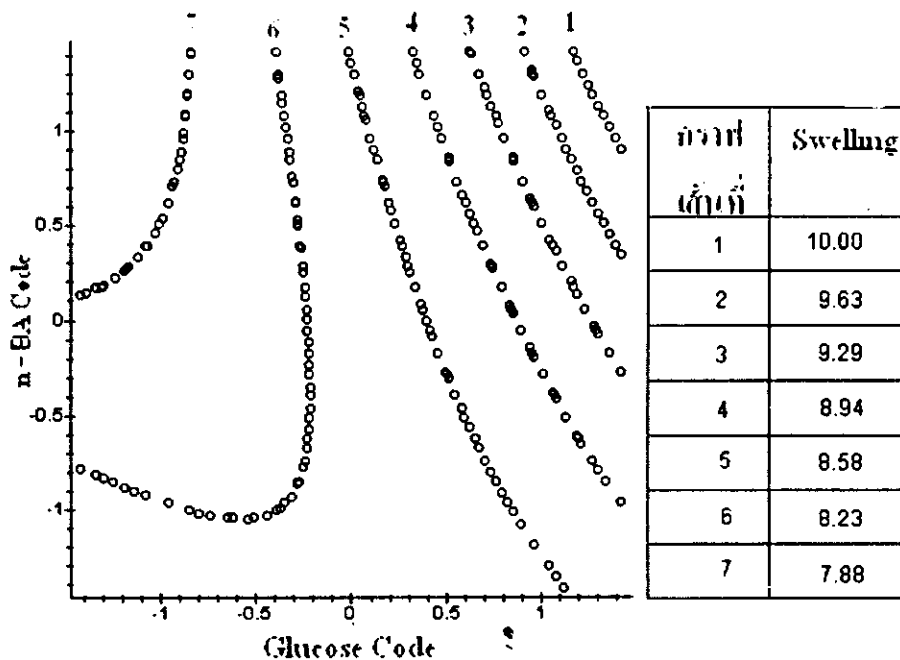
ภาพประกอบ 19 กราฟคอนทัวส์ แบบสามแกนแสดงอิทธิพลของปริมาณ น้ำตาลกลูโคส และ ปริมาณ n-BA ที่มีต่อ ความต้านทานต่อแรงดึงของยางพรีวัลคาไนซ์



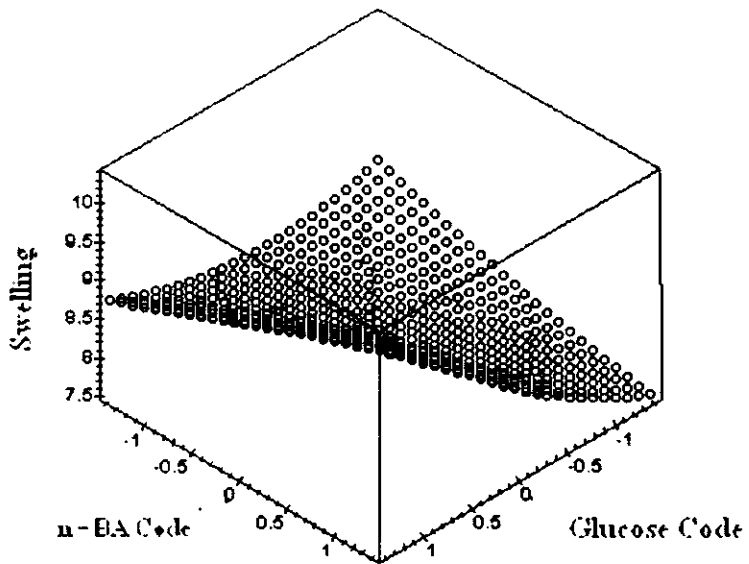
ภาพประกอบ 20 กราฟคอนทัวส์แสดงอิทธิพลของปริมาณ น้ำตาลกลูโคส และ ปริมาณ n-BA ที่มีต่อ ความยืดหยุ่นขนาด ของยางพรีวัลคาไนซ์



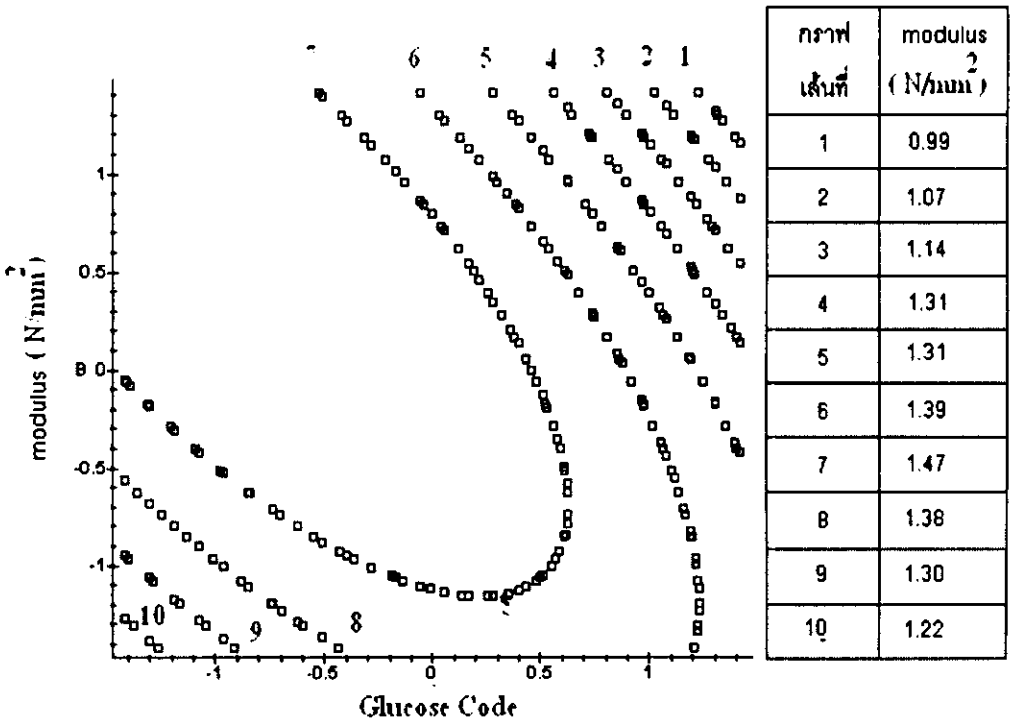
ภาพประกอบ 21 กราฟคอนทัวส์ แบบสามแกนแสดงอิทธิพลของปริมาณ น้ำตาลกลูโคส และ ปริมาณ n-BA ที่มีต่อความยืดหยุ่นของยางพรีวัลคาไนซ์



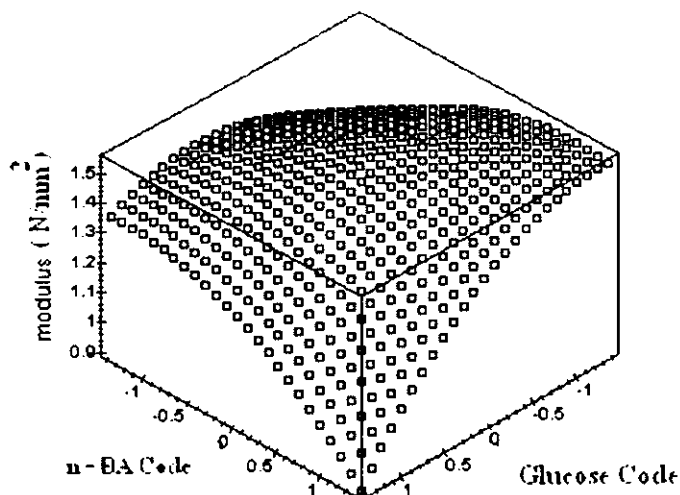
ภาพประกอบ 22 กราฟคอนทัวส์แสดงอิทธิพลของปริมาณ น้ำตาลกลูโคส และ ปริมาณ n-BA ที่มีต่อ อัตรการบวม ของยางพรีวัลคาไนซ์



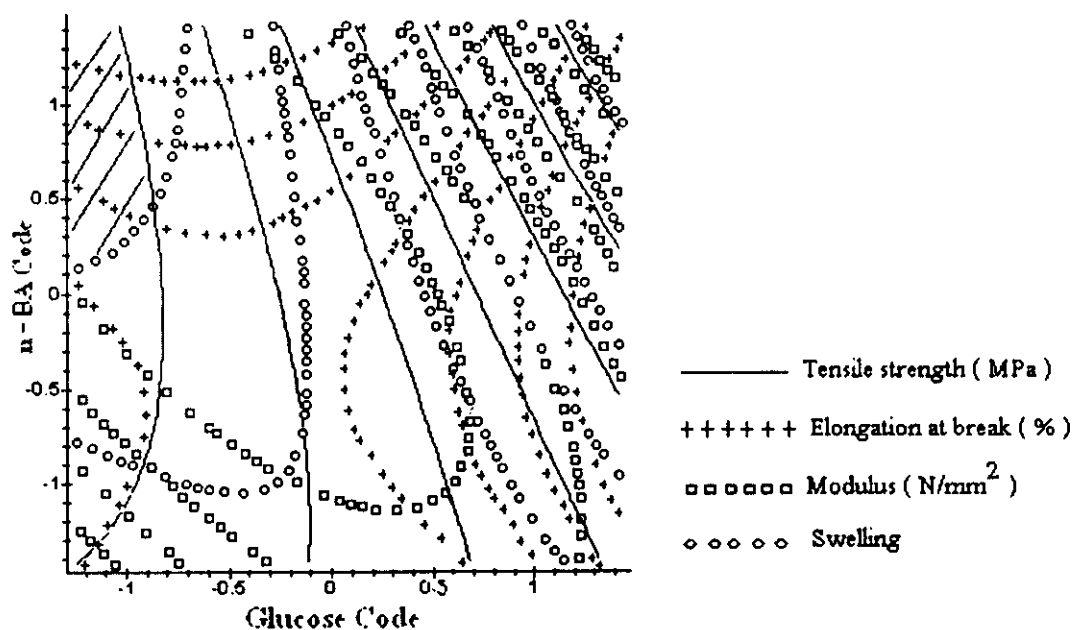
ภาพประกอบ 23 กราฟคอนทัวส์แบบสามแกนแสดงอิทธิพลของปริมาณ น้ำตาลกลูโคส และ ปริมาณ n-BA ที่มีต่อ อัตราการบวม ของยางพริ้วคานินซ์



ภาพประกอบ 24 กราฟคอนทัวส์แสดงอิทธิพลของปริมาณ น้ำตาลฟรุคโตส และ ปริมาณ n-BA ที่มีต่อ โมดูลัส ของยางพริ้วคานินซ์

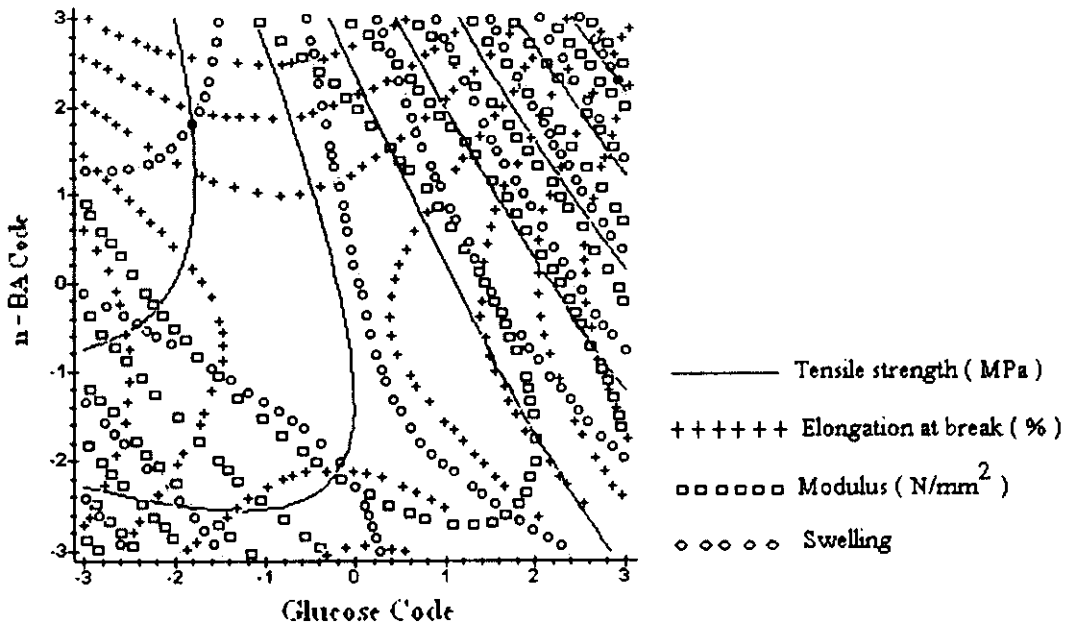


ภาพประกอบ 25 กราฟคอนทัวส์แบบสามแกนแสดงอิทธิพลของปริมาณ น้ำตาลกลูโคส และ ปริมาณ n-BA ที่มีต่อโมดูลัส ของยางพรีวัลคานไนซ์



ภาพประกอบ 26 แสดงพื้นที่ของกราฟคอนทัวส์ (ส่วนที่แรงงา) ที่แสดงอิทธิพลของปริมาณ น้ำตาลกลูโคส และ ปริมาณ n-BA ที่คาดว่าจะมี

ความต้านทานต่อแรงดึง	ไม่น้อยกว่า	16.21	MPa
ความยืดขยายจนขาด	ไม่น้อยกว่า	1017	%
โมดูลัส	ไม่น้อยกว่า	1.4	N / mm ²
อัตราการบวม	น้อยกว่า	7.88	



ภาพประกอบ 27 กราฟคอนทราสต์ที่แสดงอิทธิพลของปริมาณน้ำตาลกลูโคส และปริมาณ n-BA ที่มีกรขยายเสกกลเพิ่มขึ้นเพื่อยืนยันผล

2. ชนิดของน้ำตาตและอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างน้ำตาตกับ n-BA

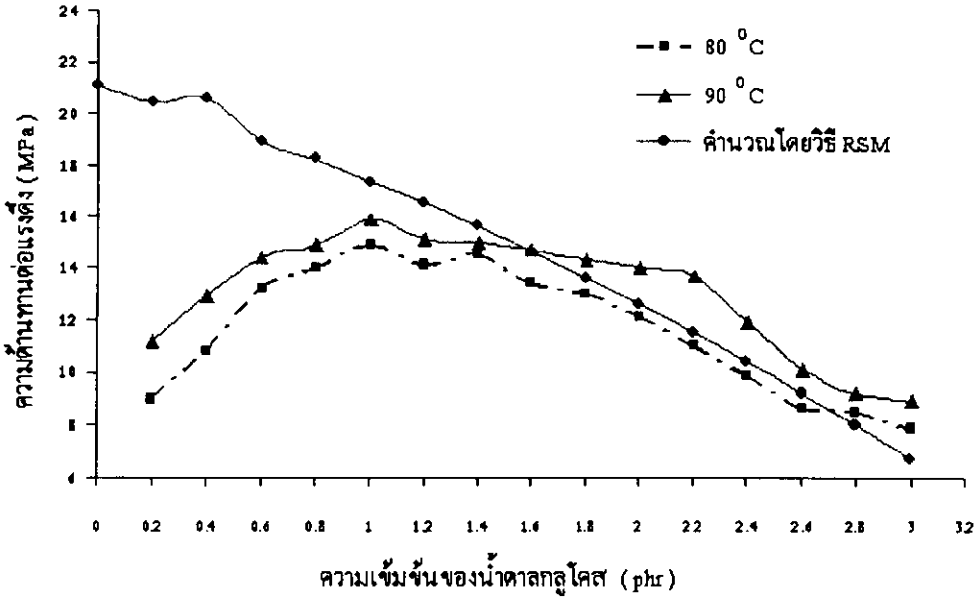
2.2.5 จากผลการสร้างกราฟคอนทาส์ ในหัวข้อ 2.2.4 และจากวิธีการทดลองในหัวข้อ 2.8 ได้ผลดังตาราง 21 และภาพประกอบ 28 ถึง ภาพประกอบ 31

ตารางที่ 21 ผลของปริมาณที่เหมาะสมของน้ำตาตดูโคสร่วมกับ n-BA/t-BHP

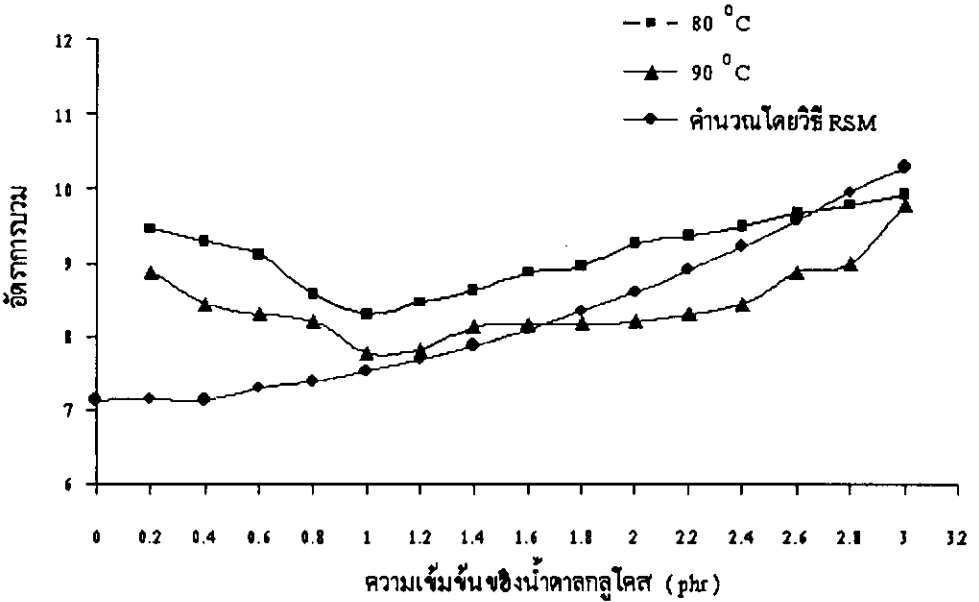
ส่วนผสม	สูตรที่																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
(phr)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
น้ำยาง	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
t-BHPO	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
n-BA	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
กดูโคส	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0	3.0
(สมบัติของยางวัลคาไนซ์จากการคำนวณโดยวิธี RSM																	
ความดันทานต่อแรงดึง(MPa)	21.1	20.4	20.6	18.9	18.2	17.3	16.5	15.6	14.6	13.6	12.6	11.5	10.4	9.2	8.0	6.7	6.7
ความยืดขยายขนาด (%)	1005	1022	1017	1047	1056	1062	1065	1066	1064	1060	1053	1043	1031	1016	998	978	978
โมดูลัส (N/mm ²)	1.36	1.42	1.40	1.50	1.52	1.52	1.52	1.50	1.47	1.43	1.37	1.30	1.22	1.13	1.02	0.90	0.90
อัตราการบวม	7.12	7.14	7.13	7.28	7.38	7.52	7.68	7.87	8.09	8.33	8.60	8.90	9.23	9.58	9.96	10.3	10.3

ตารางที่ 21 (ต่อ)

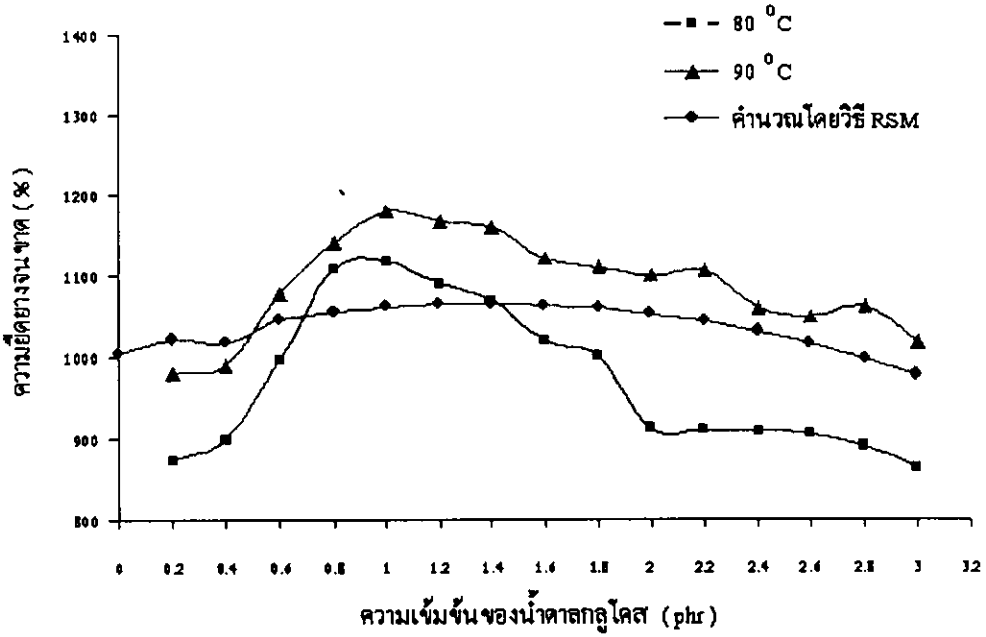
ส่วนผสม (phr)	สูตรที่															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
สมบัติของยางวัลคาไนซ์จากการทดลองที่อุณหภูมิ 80°C																
ความต้านทานต่อแรงดึง(MPa)	-	8.98	10.8	13.2	14.0	14.9	14.1	13.4	13.0	12.1	11.0	9.89	8.61	8.46	8.10	7.86
ความยืดหยุ่นขนาด (%)	-	873	900	998	1109	1119	1091	1070	1020	1000	912	910	908	906	890	863
โมดูลัส (N/mm ²)	-	0.92	0.97	1.08	1.10	1.08	1.12	1.21	1.20	1.31	1.48	1.66	1.90	1.79	1.98	1.92
อัตราการบวม	-	9.46	9.30	9.12	8.57	8.30	8.46	8.62	8.86	8.95	9.27	9.37	9.50	9.68	9.78	9.93
สมบัติของยางวัลคาไนซ์จากการทดลองที่อุณหภูมิ 90°C																
ความต้านทานต่อแรงดึง(MPa)	-	11.2	12.9	14.4	14.9	15.9	15.1	15.0	14.7	14.3	14.0	13.7	11.9	10.1	9.2	8.90
ความยืดหยุ่นขนาด (%)	-	980	990	1078	1142	1180	1168	1160	1122	1111	1100	1106	1060	1050	1062	1017
โมดูลัส (N/mm ²)	-	1.18	1.41	1.53	1.55	1.61	1.65	1.67	1.50	1.52	1.48	1.44	1.40	1.41	1.43	1.41
อัตราส่วนการบวม	-	8.88	8.44	8.31	8.20	7.78	7.82	8.12	8.16	8.18	8.20	8.30	8.45	8.88	9.00	9.78



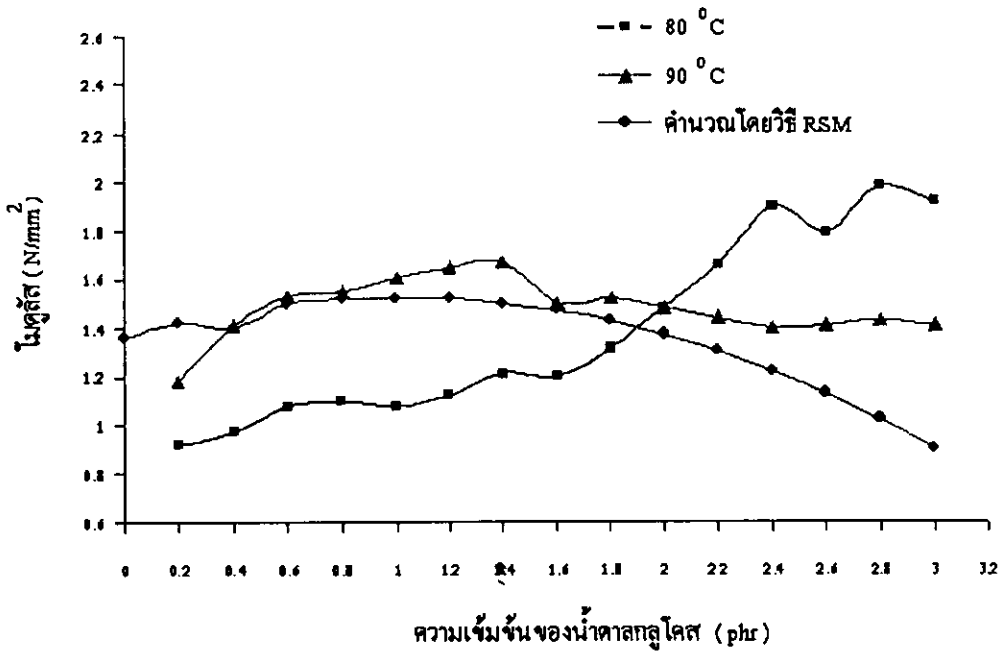
ภาพประกอบ 28 แสดงผลความเข้มข้นของน้ำตาลกลูโคสต่อความต้านทานต่อแรงดึง



ภาพประกอบ 29 แสดงผลความเข้มข้นของน้ำตาลกลูโคสต่ออัตราส่วนการบวม



ภาพประกอบ 30 แสดงผลความเข้มข้นของน้ำตาสกลูโคสต่อความยืดหยุ่นงานขาด



ภาพประกอบ 31 แสดงผลความเข้มข้นของน้ำตาสกลูโคสต่อค่าโมดูลัส

ผลของปริมาณและชนิดของน้ำตาล

จากตารางที่ 17 ถึงตารางที่ 18 และภาพประกอบ 14 ถึงภาพประกอบ 17 การใช้ น้ำตาลฟรุกโตส ร่วมกับ n-BA และ t-BHPO โดยทำการแปรปริมาณ ตั้งแต่ 0.0 – 3.0 phr และใช้ n-BA 3.0 phr. โดยเพิ่มปริมาณ ครั้งละ 0.2 phr พบว่าค่าความต้านทานต่อแรงดึงสูงสุดจากการ คำนวณโดยวิธี RSM ซึ่งเป็นค่าทางทฤษฎี ที่ 0 phr เท่ากับ 23.0 MPa อัตราการบวมเท่ากับ 8.5

และจากสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานต่อแรงดึงกับปริมาณของ น้ำตาลฟรุกโตส และ n-BA โดยดูจากค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรทั้งสองที่บ่งค่าในทางทฤษฎี ถึงผลของปริมาณของสารเคมีทั้งสองดังกล่าว จะทำให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึงลดลงโดยการ เพิ่มปริมาณของฟรุกโตส ซึ่งดูจากสัมประสิทธิ์ของตัวแปรน้ำตาลฟรุกโตสที่มีค่าเท่ากับ -2.62 ทำให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึงลดลงประมาณ 3.4 เท่าของการเพิ่มปริมาณ n-BA ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์ ของตัวแปรเท่ากับ -0.78 แต่โดยรวมแล้วการเพิ่มปริมาณของสารทั้งสองก็มีอิทธิพลทำให้ค่าความ ต้านทานต่อแรงดึงลดลงไม่มาก เมื่อเทียบกับค่ากลาง คือ 14.21 MPa

สำหรับอัตราการบวมเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำตาลฟรุกโตส และ n-BA จะทำให้อัตราการ บวมมีค่าเพิ่มขึ้น โดยค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรน้ำตาลฟรุกโตส มีค่าเท่ากับ +0.51 n-BA เท่ากับ +0.04 แสดงว่า การเพิ่มปริมาณของน้ำตาลฟรุกโตสจะทำให้อัตราส่วนการบวมเพิ่มขึ้นประมาณ 12 เท่าของการเพิ่มปริมาณของ n-BA แต่โดยรวมแล้ว การเพิ่มปริมาณของสารทั้งสองก็มีอิทธิพล ทำให้อัตราส่วนการบวมเพิ่มขึ้นไม่มากเมื่อเทียบกับค่ากลางคือ 8.82 และสำหรับค่าความต้านทาน ต่อแรงดึงสูงสุดจากการทดลองจริงที่อุณหภูมิ 80 ° C พบว่าเมื่อใช้ปริมาณ น้ำตาลฟรุกโตส ที่ 1.0 phr เท่ากับ 15.08 MPa และอัตราการบวมลดลงเท่ากับ 8.02 โดยมีค่าความต้านทานต่อ แรงดึงต่ำสุดที่ 3.0 phr เท่ากับ 8.08 MPa และ อัตราการบวมเพิ่มขึ้นเป็น 9.98 และที่อุณหภูมิ 90 ° C พบว่าค่าความต้านทานต่อแรงดึงสูงสุดที่ 1.0 phr เท่ากับ 16.11 MPa และอัตราการบวม ลดลงเท่ากับ 7.58 ค่าความต้านทานต่อแรงดึงต่ำสุดที่ 3.0 phr เท่ากับ 9.00 MPa อัตราการบวม เพิ่มขึ้นเป็น 9.79

ส่วนค่าความยืดหยุ่นของวัสดุมีค่าสูงขึ้นเมื่อค่าความต้านทานต่อแรงดึงสูงขึ้นแสดงว่า แผ่นฟิล์มยางที่มีความต้านทานต่อแรงดึงสูง สามารถยืดออกได้มาก

จากตารางที่ 20 ถึงตารางที่ 21 และ ภาพประกอบ 28 ถึงภาพประกอบ 31 การ ใช้ น้ำตาลกลูโคส ร่วมกับ n-BA และ t-BHPO โดยทำการแปรปริมาณ ตั้งแต่ 0.0 – 3.0 phr โดยเพิ่ม ครั้งละ 0.2 phr พบว่าค่าความต้านทานต่อแรงดึงสูงสุด จากการคำนวณโดยวิธี RSM ซึ่งเป็นค่า ทางทฤษฎี ที่ 0 phr เท่ากับ 21.10 MPa อัตราการบวมเท่ากับ 7.12

และจากสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานต่อแรงดึงกับปริมาณของ น้ำตาลกลูโคสและ n-BA โดยดูจากค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรทั้งสอง ที่บังคับค่าในทางทฤษฎีถึงผล ของปริมาณของสารเคมีทั้งสองดังกล่าวจะทำให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึงลดลงโดยการเพิ่ม ปริมาณของกลูโคส ซึ่งดูได้จากสัมประสิทธิ์ของตัวแปรน้ำตาลกลูโคสที่มีค่าเท่ากับ -2.65 โดยทำให้ ค่าความต้านทานต่อแรงดึงลดลงประมาณ 3.6 เท่าของการเพิ่มปริมาณ n-BA ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์ ของตัวแปรเท่ากับ -0.73 แต่โดยรวมแล้วการเพิ่มปริมาณของสารทั้งสองก็มีอิทธิพลทำให้ค่าความ ต้านทานต่อแรงดึงลดลง ไม่มาก เมื่อเทียบกับค่ากลางคือ 14.16 MPa

สำหรับอัตราการบวมเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำตาลกลูโคสและ n-BA จะทำให้ อัตราการ บวม มีค่าเพิ่มขึ้นโดยค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรน้ำตาลกลูโคสมีค่าเท่ากับ +0.54 n-BA เท่ากับ + 0.11 แสดงว่า การเพิ่มปริมาณของน้ำตาลกลูโคสจะทำให้อัตราการบวมเพิ่มขึ้นประมาณ 5 เท่า ของการเพิ่มปริมาณของ n-BA แต่โดยรวมแล้วการเพิ่มปริมาณของสารทั้งสองก็มีอิทธิพลทำให้ อัตราการบวมเพิ่มขึ้นไม่มากเมื่อเทียบกับค่ากลางคือ 8.35 ส่วนค่าความต้านทานต่อแรงดึงสูงสุดจาก การทดลองจริงที่อุณหภูมิ 80 ° C พบว่าเมื่อใช้ปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่ 1.0 phr มีค่าเท่ากับ 14.90 MPa และ อัตราการบวมลดลงเท่ากับ 8.46 ค่าความต้านทานต่อแรงดึงต่ำสุดที่ 3.0 phr เท่ากับ 7.86 MPa อัตราการบวมเพิ่มขึ้นเป็น 9.93 และที่อุณหภูมิ 90 °C พบว่าค่าความต้านทานต่อแรงดึง สูงสุดที่ 1.0 phr เท่ากับ 15.97 MPa อัตราการบวมลดลงเท่ากับ 7.78 และค่าความต้านทานต่อ แรงดึงต่ำสุดที่ 3.0 phr เท่ากับ 8.90 MPa อัตราการบวมเพิ่มขึ้นเป็น 9.78

ส่วนค่าความยืดหยุ่นจางขาคามีค่าสูงขึ้นเมื่อค่าความทนต่อแรงดึงสูงขึ้นแสดงว่า แผ่นฟิล์มยางที่มีความทนต่อแรงดึงสูงสามารถยืดออกได้มาก

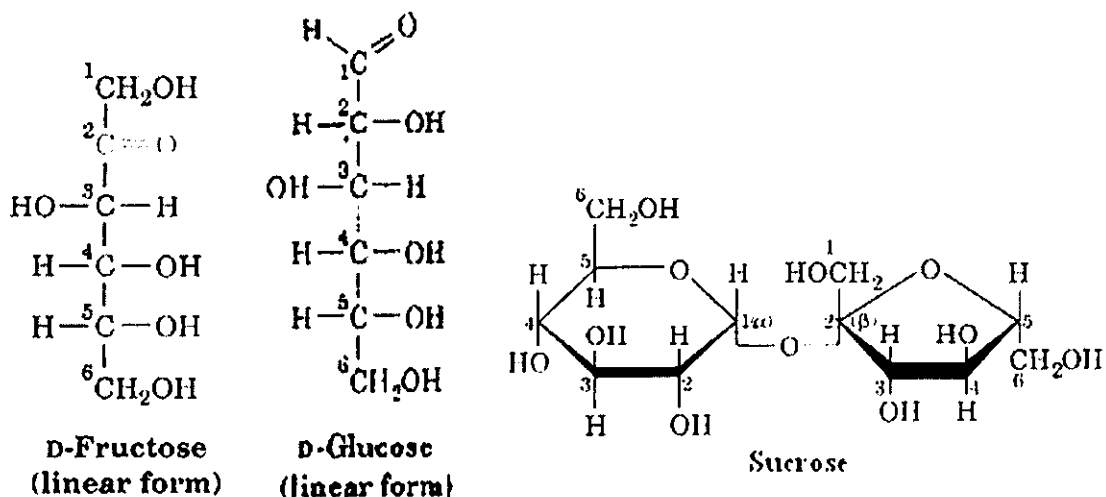
สำหรับความความน่าเชื่อถือของสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติทาง กายภาพกับ ค่าสัมประสิทธิ์ต่างๆ จะเห็นว่าค่า S.E. จะมีค่าต่ำ แสดงถึงความเชื่อมั่นทางสถิติได้ แต่ จะมีสัมประสิทธิ์บางตัวที่มีค่า S.E. สูงนั้นก็คือเทอมที่แสดงถึงผลกระทบซึ่งกันและกัน (interaction , S.E < b > ;) โดยเฉพาะเทอมที่แสดงถึงผลกระทบซึ่งกันและกันระหว่างน้ำตาล ฟรุคโตส หรือ น้ำตาลกลูโคส กับ n-BA ทั้งนี้อาจเป็นเพราะความละเอียดในการวัดยังไม่เพียงพอ

จากตารางที่ 22 การใช้น้ำตาลซูโครส ร่วมกับ n-BA / t-BHPO โดยทำการทดลองหา อัตราส่วนระหว่างน้ำตาลซูโครส กับ n-BA ในการเตรียมน้ำยางสำหรับการทำพรีวัลคาร์ไนซ์ ที่อุณหภูมิ 80 ° C และที่อุณหภูมิ 90 ° C พบว่าไม่สามารถวัดค่าความต้านทานต่อแรงดึงและอัตรา การบวมได้ เนื่องจากยางมีลักษณะเป็นเจลเมื่อแช่ในโทลูอิน และขาดง่าย ลักษณะของแผ่นยางแห้ง มีสีคล้ำมาก ไม่ใส และจะออกเป็นสีเกือบดำเมื่อทิ้งไว้เป็นเวลานาน

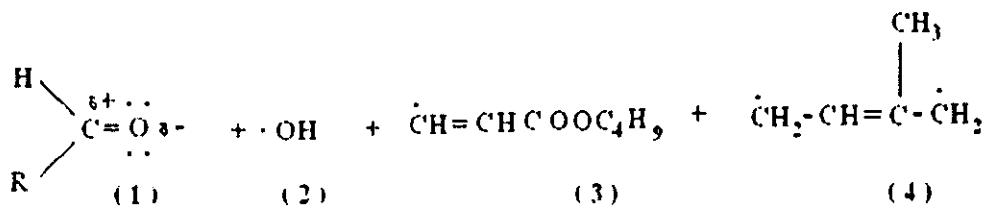
จากการทดลองที่ 2 ซึ่งเป็นการศึกษาเปรียบเทียบ ชนิด และ ปริมาณที่เหมาะสมของ น้ำตาล กับ ปริมาณที่เหมาะสมของ n-BA ต่อการวัลคาไนซ์น้ำยางที่อุณหภูมิต่างๆ จะเห็นได้ว่าการ ใช้ n-BA ร่วมกับ t-BHPO เพียงสองตัวไม่สามารถทำให้เกิดการครอสลิงค์โมเลกุลของยางได้ แสดงว่าน้ำตาลฟรุกโตส และ น้ำตาลกลูโคส มีผลต่อการวัลคาไนซ์น้ำยางมาก ถ้าไม่ใส่สาร ดังกล่าวค่าความทนต่อแรงดึงจะต่ำมากจนวัดไม่ได้ทำให้ยางขาดง่าย เมื่อนำไปแช่ในโทลูอินจะ บวมพองมากจนมีลักษณะคล้ายเจล และปริมาณที่เหมาะสมที่ทำให้ได้ค่าความต้านทานต่อแรงดึง สูงสุด และอัตราการบวมต่ำสุด คือ 1.0 phr. เท่ากัน แต่เมื่อเพิ่มปริมาณขึ้นกลับทำให้ค่าความ ต้านทานต่อแรงดึงลดลง และอัตราการบวมเพิ่มขึ้น แสดงว่าการใช้ปริมาณ น้ำตาลฟรุกโตส และ น้ำตาลกลูโคส เพิ่มขึ้นไม่ได้ทำให้การวัลคาไนซ์น้ำยางเพิ่มขึ้น เนื่องจากการใส่สารดังกล่าวมาก เกินไป จะทำให้สารเหล่านี้เหลือค้างอยู่ในแผ่นฟิล์มยาง และอาจจะเป็นตัวแทรก (inclusion) ในเนื้อยางและขัดขวางการครอสลิงค์ เนื่องจากโมเลกุลของสารที่มากเกินไปถูกยึดตรึงอยู่ระหว่าง โมเลกุลที่เกิดการครอสลิงค์ ทำให้อนุภาคของยางรวมกันได้ยากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะยางที่วัลคาไนซ์ ด้วยเปอร์ออกไซด์ผลของสารตัวเติมอื่นๆ หรือ สารตัวเร่ง และ ตัวกระตุ้นจะมีผลต่อเปอร์ออกไซด์ โดยเฉพาะเปอร์ออกไซด์ที่มีหมู่ $(R)_2 - COO -$ ทำให้การเกิดครอสลิงค์โดยเปอร์ออกไซด์ มีประสิทธิภาพลดลง ค่าความต้านทานต่อแรงดึง จึงลดลงและ อัตราการบวมเพิ่มขึ้น (พรพรรณ, 2528)

ส่วนการใช้น้ำตาล ซูโครส กับ n-BA ร่วมกับ t-BHPO ไม่สามารถทำให้เกิด การครอสลิงค์ในโมเลกุลของยางได้ จากผลดังกล่าวอธิบายได้ว่า น่าจะเกิดจากสูตร โครงสร้างของ น้ำตาลซูโครส เพราะเป็นน้ำตาลประเภท ไดแซคคาไรด์ (disaccharide) ที่มีขนาดของโมเลกุลที่ ใหญ่กว่าและไม่มีส่วนที่จะเกิดปฏิกิริยาเข้าร่วมในปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ โดยเฉพาะซูโครส เป็น น้ำตาลที่เกิดจากน้ำตาลฟรุกโตส และ น้ำตาลกลูโคส มาจับกันด้วยพันธะไกลโคซิดิก (glycosidic bond) ซึ่งไม่สามารถเกิดการเปิดวงแหวนได้ จึงไม่มีส่วนที่เกิดปฏิกิริยาได้ง่าย เหมือนกับน้ำตาล กลูโคสที่เป็นน้ำตาลประเภทอัลโดส (aldose) ซึ่งในธรรมชาติจะพบในรูปของวงแหวนหกเหลี่ยม และจัดเป็นน้ำตาลรีดิวซ์ (reducing sugar) ที่เมื่อละลายน้ำแล้วสามารถเปิดวงแหวนทำให้มีส่วนที่ เป็นหมู่อัลดีไฮด์ (aldehyde) ซึ่งสามารถเกิดปฏิกิริยาได้ ส่วนน้ำตาลฟรุกโตสจะเป็นน้ำตาลพวก คีโตส (ketose) ซึ่งในธรรมชาติจะพบในรูปของวงแหวนห้าเหลี่ยมที่ไม่จัดเป็นน้ำตาลรีดิวซ์ จึงไม่สามารถเกิดการเปิดวงแหวนได้ แต่ถ้าอยู่ในสารละลายที่เป็นค่าง คีโตส จะถูกเปลี่ยนเป็น อัลโดส กลายเป็นน้ำตาลที่มีคุณสมบัติเป็นน้ำตาลรีดิวซ์ ที่สามารถเปิดวงแหวนได้ทำให้มีส่วน ที่จะเกิดปฏิกิริยาได้เช่นกัน (Donald Vote and Judith G. Vote., 1995.) เนื่องด้วยในน้ำยางที่ใช้ใน ปฏิกิริยาพรีวัลคาไนซ์เป็นสารละลายที่มีความเป็นค่างสูงจึงส่งผลให้น้ำตาลฟรุกโตสสามารถเข้าทำ

ปฏิกิริยาได้เช่นกัน ดังพิจารณาจากสูตรโครงสร้างของน้ำตาลทั้งสามชนิดจะมีส่วนที่จะเกิดปฏิกิริยาได้ดังนี้



จะเห็นว่า น้ำตาลฟรุกโตส และน้ำตาลกลูโคส จะมีส่วนที่สามารถเกิดปฏิกิริยาได้ง่ายกว่า ที่บริเวณอะตอมคาร์บอนตำแหน่งที่ 2 และอะตอมคาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ตามลำดับ เพราะที่บริเวณพันธะ C = O เป็นพันธะมีขั้ว เนื่องจากอะตอมออกซิเจนมีค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตีสูงกว่า อะตอมคาร์บอนจึงแสดงค่าโมเมนต์ขั้วคู่ (dipole moment)



อะตอมคาร์บอนจึงแสดงประจุบวกเล็กน้อย (1) (วัชรินทร์, 2541) ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาของหมู่ OH^o ที่แตกตัวมาจาก ε-BHPO (2) ถ้ามีการใช้ในปริมาณที่มากเกินไป จะทำให้ไปขัดขวาง การเกิดการครอสลิงค์โดยเปอร์ออกไซด์ (อัตราการบวมเพิ่มขึ้น) (Werner, 1967) ส่วนอะตอมออกซิเจนที่แสดงประจุลบเล็กน้อย จะเกิดปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระของ n- BA (3) (Chayagrit et al . 1990) โดยเกิดเป็นสารที่มีโครงสร้างซับซ้อน (intermediate complex) ทำให้เกิดการว่องไวต่อปฏิกิริยาการครอสลิงค์ หรือ เกิดปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระของพอลิไอโซพรีน (4) ก็ได้ (พรพรรณ, 2528 .)

ดังนั้นน้ำตาลที่เป็นประเภทโมโนแซคคาไรด์ (monosaccharide) คือฟรุคโตส และ กลูโคสเมื่อใช้ในปริมาณที่เหมาะสม สามารถเป็นตัวกระตุ้นการแตกตัวของตัวริเริ่มคือ t-BHPO และมีส่วนในการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ในซ์ได้ไม่แตกต่างกันเพราะต่างก็เป็นไอโซเมอร์กันและดีกว่าซูโครสซึ่งเป็นน้ำตาลประเภทไดแซคคาไรด์ แต่ถ้าใช้ในปริมาณที่มากเกินไปจะส่งผลถึงประสิทธิภาพในการทำให้เกิดการครอสลิงค์โดยเปอร์ออกไซด์ได้

ผลของอุณหภูมิในการพรีวัลคาไนซ์น้ำยาง

จากตารางที่ 18 และ 21 ภาพประกอบ 18 ถึง 21 และ ภาพประกอบที่ 14 ถึง 17 เมื่อเปรียบเทียบการพรีวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 80 ° C และ 90 ° C พบว่าเมื่อทำการวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิสูงกว่าคือที่ 90°C จะทำให้ความต้านต่อแรงดึงสูง และ อัตราการบวมต่ำกว่าที่อุณหภูมิ 80°C แสดงว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น การวัลคาไนซ์น้ำยางเกิดได้ดีขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น จะเกิดการเหนียวน้ำทำให้เกิดเป็นเอ็กซ์ตราครอสลิงค์ หรือ เกิดการจัดเรียงตัวใหม่ (Robert, 1988) นอกจากนี้ปริมาณน้ำที่อยู่ในน้ำยางมีอัตราการระเหยสูงทำให้ปริมาณน้ำในน้ำยางลดลงเป็นผลทำให้เกิดการหนืดได้ง่ายยิ่งขึ้น ดังนั้นจึงเหมาะกับการทดลองในห้องทดลองขนาดเล็กแต่ไม่เหมาะสำหรับการทำเป็นอุตสาหกรรมขนาดใหญ่เพราะน้ำยางอาจจับตัวเป็นก้อนได้

สำหรับน้ำตาลซูโครส จากผลการทดลองในหน้า 57 และวิธีการทดลองในหัวข้อ 2.5 พบว่าทั้งที่อุณหภูมิ 80°C และ 90°C สมบัติทางกายภาพของยางวัลคาไนซ์ไม่สามารถจะวัดได้ ดังนั้นจึงต้องนำมาทำการทดลองต่อไปตามวิธีการทดลองในหัวข้อที่ 3 ต่อไป

3. ศึกษาสภาวะและปริมาณที่เหมาะสมของน้ำตาคลูโครสต่อการวัลคาไนซ์น้ำยางที่อุณหภูมิต่างๆ

3.1. ผลของอัตราส่วนระหว่างน้ำตาคลูโครส ร่วมกับ n-BA/t-BHPO

3.1.1 ทำการทดลองดังหัวข้อที่ 3 ได้ผลดังตารางที่ 23

ตารางที่ 23 ผลของอัตราส่วนระหว่างน้ำตาคลูโครส กับ n-BA ในการเตรียมน้ำยางสำหรับการทำพรีวัลคาไรไนซ์

ส่วนผสม	สูตรที่												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
(phr)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
น้ำยาง	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
t-BHPO	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
n-BA	2.3	3.7	2.3	3.7	3.0	3.0	4.0	2.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
ซูโครส	2.3	2.3	3.7	3.7	2.0	4.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
สมบัติของยางวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 80°C													
ความต้านทานต่อแรงดึง (MPa)	11.01	7.02	8.37	5.88	15.27	9.01	6.24	9.63	9.08	9.07	9.08	9.00	9.02
ความยืดหยุ่นจางขนาด (%)	867	768	737	784	976	998	722	921	901	904	900	902	903
โมดูลัส (N/mm ²)	1.02	1.50	1.47	1.40	1.61	1.23	0.80	1.42	1.34	1.26	1.22	1.30	1.33
อัตราการบวม	8.62	8.77	8.66	8.98	7.69	9.53	8.76	9.00	9.19	9.22	9.20	9.25	9.24
สมบัติของยางวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 90°C													
ความต้านทานต่อแรงดึง (MPa)	15.11	9.07	10.11	6.78	18.47	11.00	8.46	12.32	12.01	12.05	11.98	12.00	12.03
ความยืดหยุ่นจางขนาด (%)	900	888	870	864	1048	1087	824	1015	1000	1003	998	1001	1002
โมดูลัส (N/mm ²)	1.42	1.60	1.55	1.51	1.70	1.36	0.98	1.61	1.54	1.44	1.39	1.41	1.43
อัตราการบวม	8.01	8.46	8.57	8.68	7.08	9.31	8.66	8.92	8.9	8.89	8.99	8.93	8.90

3.1.2 จากผลการทดลองในหัวข้อ 3 และวิธีการทดลองในหัวข้อ 3 พบว่าที่อุณหภูมิ 90 °C คุณสมบัติทางกายภาพของยางพรีวัลคาไนซ์จะดีกว่าที่อุณหภูมิ 80 °C ดังนั้นจึงนำผลการทดลองที่อุณหภูมิ 90 °C มาทำการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปร S.D \bar{X} และ S.E ตามวิธีการในหัวข้อ 2.5 ได้ผลดังตารางที่ 24

ตารางที่ 24 แสดงสัมประสิทธิ์ของตัวแปร \bar{X} S.D และ S.E ของสมการที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางกายภาพกับปริมาณของน้ำตาลซูโครสและ n-BA ทำการวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 90 °C

สัมประสิทธิ์	ค่าของสัมประสิทธิ์ตัวแปรของสมบัติทางกายภาพ			
	ความต้านทาน ต่อแรงดึง	ความยืดหยุ่น ขาด	โมดูลัส	อัตราการบวม
b_0	12.02	1001	1.44	8.92
b_1	-2.23	0.14	-0.06	0.43
b_2	-1.85	-36.01	-0.09	-0.11
b_{11}	0.78	4.89	0.07	-0.38
b_{22}	-1.39	-69.08	-0.05	-0.17
b_{12}	0.68	1.50	-0.06	-0.11
\bar{X}^*	12.02	1001	1.44	8.92
S.D*	0.027	1.924	0.058	0.041
S.E _(bi)	0.009	0.680	0.021	0.015
S.E _(ii)	0.010	0.729	0.022	0.016
S.E _(ij)	0.014	0.962	0.029	0.021

* ค่า \bar{X} และ S.D เป็นค่าสำหรับข้อมูลในสูตรที่ 9 – 13 เท่านั้น

3.1.3 จากผลการคำนวณในหัวข้อ 2.2 และวิธีการในหัวข้อ 2.2 – 2.6 ได้ผล ดังหัวข้อ 3.1.3.1 ถึงหัวข้อที่ 3.1.3.4

3.1.3.1 สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานต่อแรงดึงกับปริมาณของน้ำตาล ซูโครสและ n-BA ในรูปของรหัส

$$\text{Tensile (Mpa)} = 12.02 - 2.23 (\text{Sucrose Code}) - 1.85 (\text{n-BA Code}) + 0.78 (\text{Sucrose Code})^2 - 1.39 (\text{n-BA Code})^2 + 0.68 (\text{Sucrose Code}) (\text{n-BA Code})$$

3.1.3.2 สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความยืดหยุ่นขนาดกับความยาวของ น้ำตาลซูโครสและ n-BA ในรูปของรหัส

$$\text{Elongation at break (\%)} = 1001 + 0.14(\text{Sucrose Code}) - 36.01(\text{n-BA Code}) + 4.89(\text{Sucrose Code})^2 - 69.08(\text{n-BA Code})^2 + 1.50(\text{Sucrose Code})(\text{n-BA Code})$$

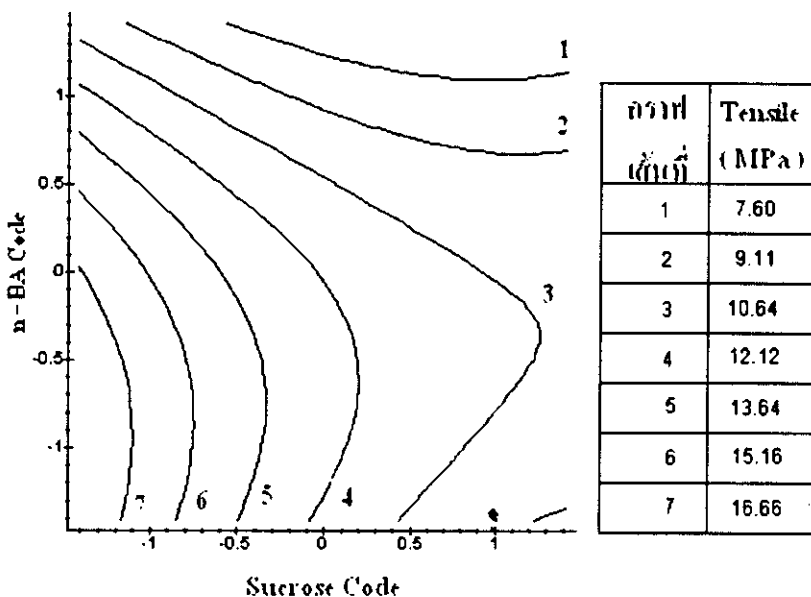
3.1.3.3 สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง โมดูลัสกับความยาวของ น้ำตาลซูโครสและ n-BA ในรูปของรหัส

$$\text{Modulus (N/mm}^2\text{)} = 1.44 - 0.06(\text{Sucrose Code}) - 0.09(\text{n-BA Code}) + 0.07(\text{Sucrose Code})^2 - 0.05(\text{n-BA Code})^2 - 0.06(\text{Sucrose Code})(\text{n-BA Code})$$

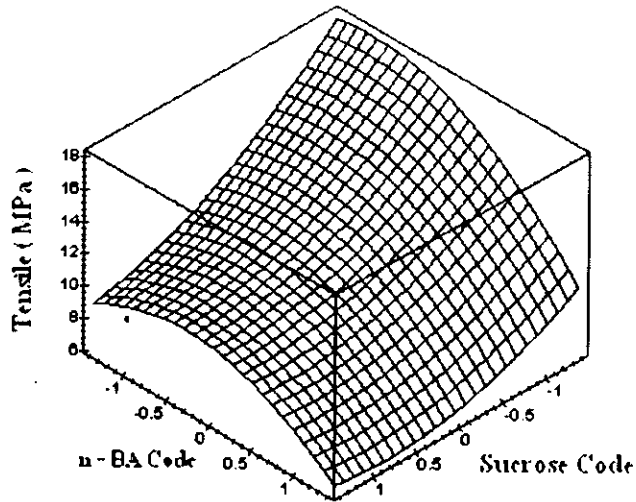
3.1.3.4 สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราการบวม กับความยาวของ น้ำตาลซูโครส และ n-BA ในรูปของรหัส

$$\text{Swelling} = 8.92 + 0.43(\text{Sucrose Code}) - 0.11(\text{n-BA Code}) - 0.38(\text{Sucrose Code})^2 - 0.17(\text{n-BA Code})^2 - 0.11(\text{Sucrose Code})(\text{n-BA Code})$$

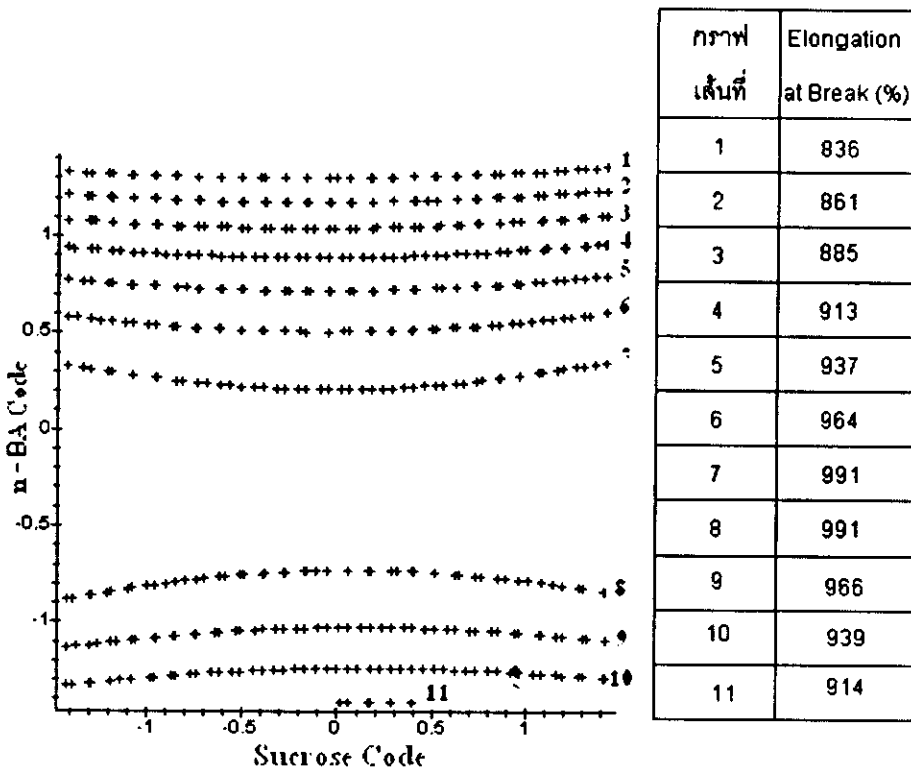
3.1.4 จากผลการสร้างสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง สมบัติทางกายภาพของยาง พรีวัลคาไนซ์ กับความยาวของ น้ำตาลซูโครสและ n-BA และวิธีการในหัวข้อ 2.7 ได้ผล ดังภาพประกอบ 32 ถึงภาพประกอบ 41



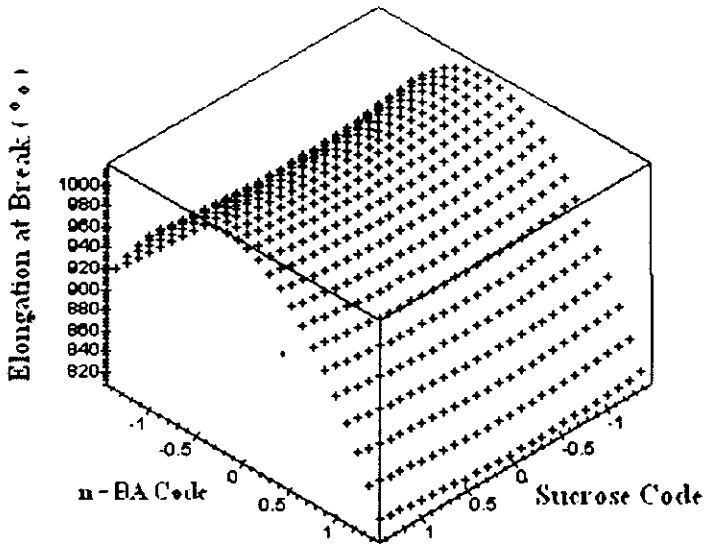
ภาพประกอบ 32 กราฟคอนทิวสต์แสดงอิทธิพลของปริมาณ น้ำตาลซูโครส และปริมาณ n-BA ที่มี ต่อความต้านทานต่อแรงดึง ของยางพรีวัลคาไนซ์



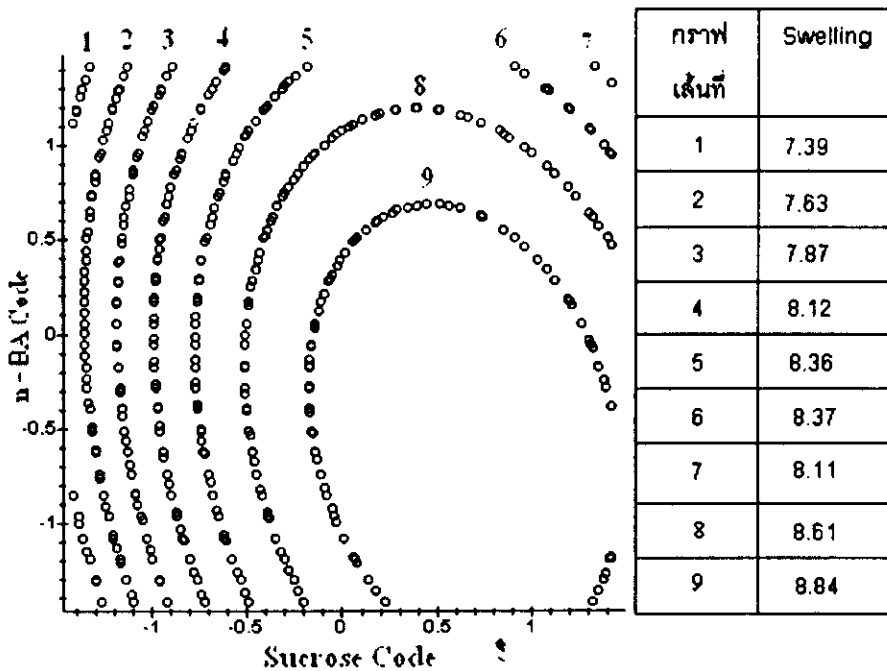
ภาพที่ 33 กราฟคอนทัวร์แบบสามแกนแสดงอิทธิพลของปริมาณน้ำตาลซูโครสและปริมาณ n-BA ที่มีต่อความต้านทานต่อแรงดึงของยางพรีวัลคาไนซ์



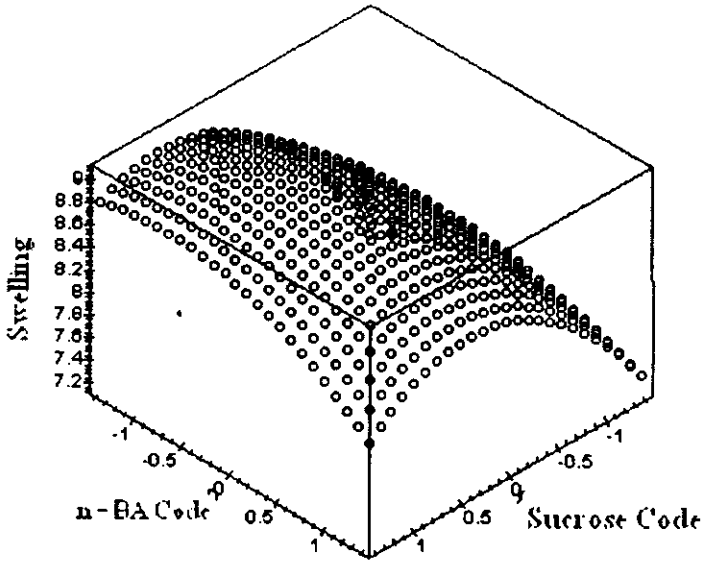
ภาพประกอบ 34 กราฟคอนทัวร์แสดงอิทธิพลของปริมาณ น้ำตาลซูโครส และปริมาณ n-BA ที่มีต่อความยืดจนขาด ของยางพรีวัลคาไนซ์



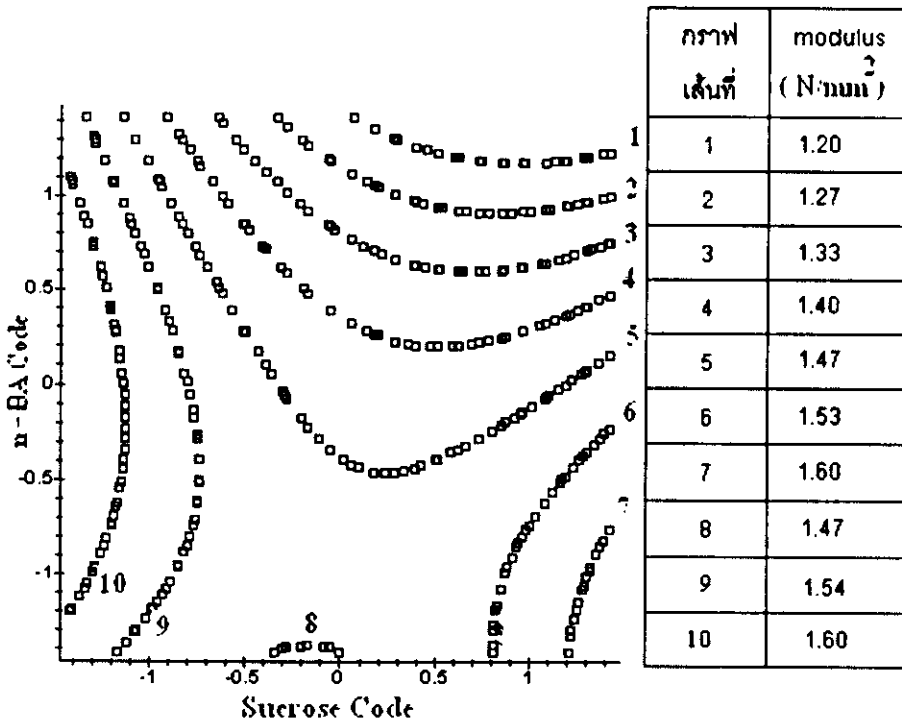
ภาพที่ 35 กราฟคอนทัวส์แบบสามแกนแสดงอิทธิพลของปริมาณ น้ำตาลซูโครส และ ปริมาณ n-BA ที่มีต่อ ความยืดหยุ่นของยางพรีวัลคาไนซ์



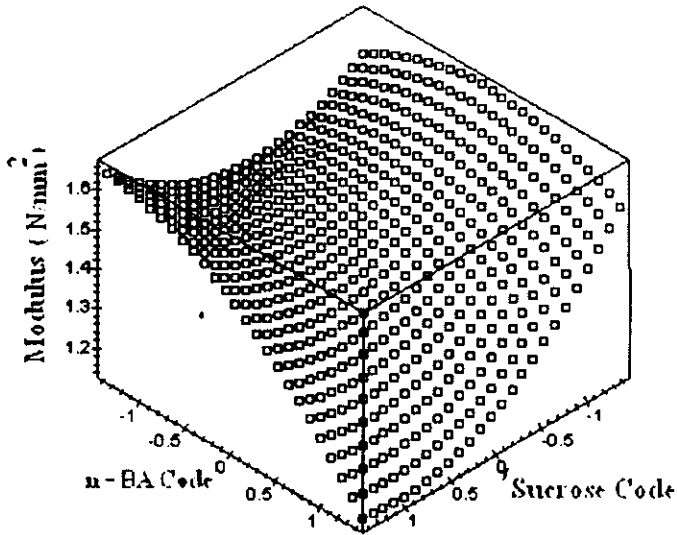
ภาพที่ 36 กราฟคอนทัวส์แสดงอิทธิพลของปริมาณน้ำตาลซูโครส และ ปริมาณ n-BA ที่มีต่ออัตราส่วนการบวมของยางพรีวัลคาไนซ์



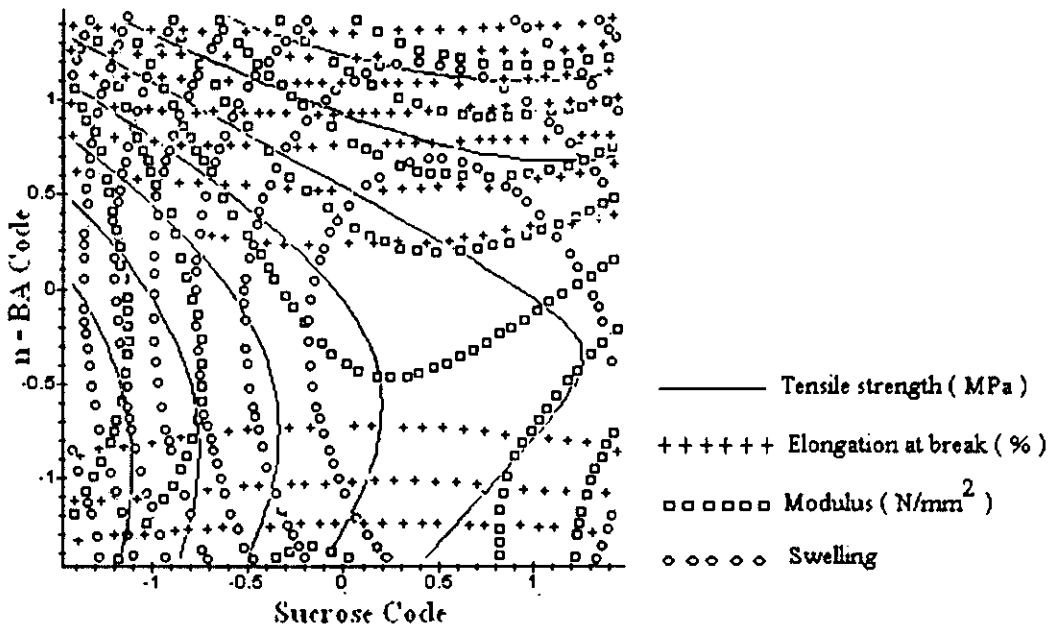
ภาพประกอบ 37 กราฟคอนทัวส์แบบสามแกนแสดงอิทธิพลของปริมาณน้ำตาลซูโครสและปริมาณ n-BA ที่มีต่ออัตราส่วนการบวม ของยางพรีวัลคาไนซ์



ภาพประกอบ 38 กราฟคอนทัวส์แสดงอิทธิพลของปริมาณน้ำตาลซูโครสและปริมาณ n-BA ที่มีต่อโมดูลัส ของยางพรีวัลคาไนซ์

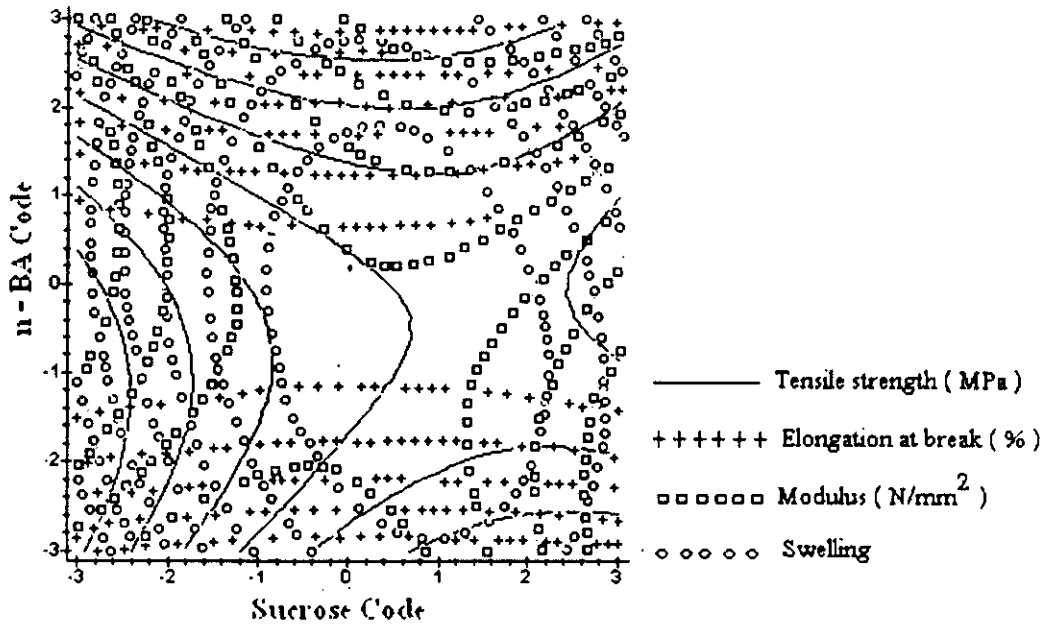


ภาพประกอบ 39 กราฟคอนทัวสต์แบบสามแกนแสดงอิทธิพลของปริมาณน้ำตาลซูโครส และ ปริมาณ n-BA ที่มีต่อ โมดูลัส ของยางพริ้วคานินซ์



ภาพประกอบ 40 แสดงพื้นที่ ของกราฟคอนทัวสต์ (ส่วนที่แรงงา) ที่แสดงอิทธิพลของปริมาณ น้ำตาลซูโครสและ ปริมาณ n-BA ที่คาดว่าจะมี

ความต้านทานต่อแรงดึง	ไม่น้อยกว่า	16.70	MPa
ความยืดหยุ่นขนาด	ไม่น้อยกว่า	939	%
โมดูลัส	ไม่น้อยกว่า	1.54	N/mm ²
อัตราการบวม	น้อยกว่า	7.80	



ภาพประกอบ 41 กราฟคอนทัวร์ที่แสดงอิทธิพลของปริมาณ น้ำตาลซูโครส และปริมาณ n-BA ที่มีกรขยายเสกสเพิ่มขึ้นเพื่อยืนยันผล

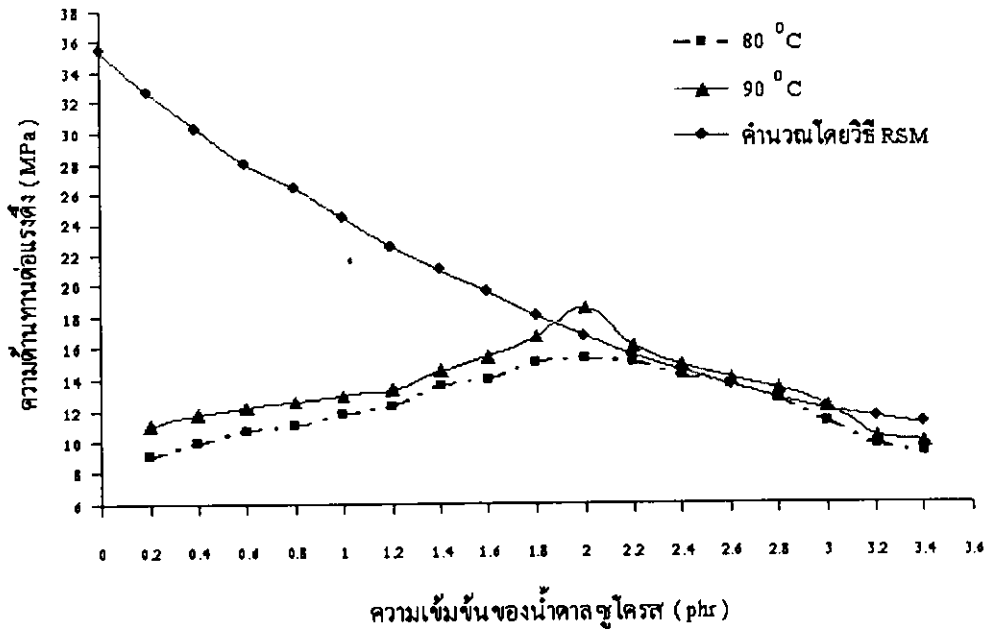
3.1.5 จากผลการสร้างกราฟคอนทาสต์ในหัวข้อ 3.1.4 และจากวิธีการทดลองในหัวข้อ 2.8 ได้ผลดังตาราง 25 และภาพประกอบ 42 ถึง 45

ตารางที่ 25 ผลของปริมาณที่เหมาะสมของน้ำตาเลอซูโครสร่วมกับ n-BA/t-BHPO

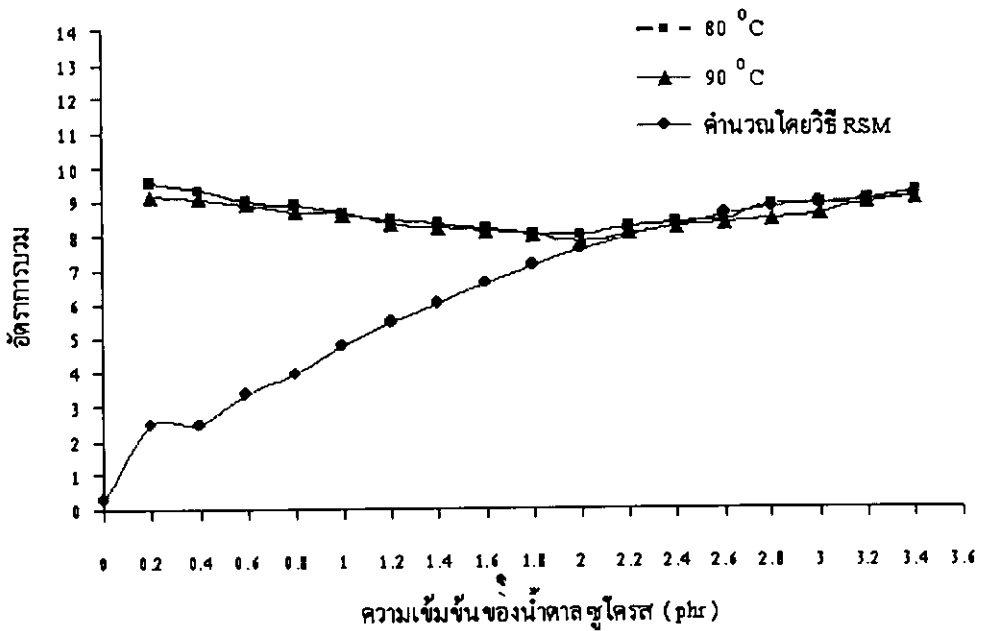
ส่วนผสม	สูตรที่																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
(phr)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
น้ำยา	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
t-BHPO	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
n-BA	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
ซูโครส	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0	3.2	3.4
สมบัติของยางวัลคาไนซ์จากการคำนวณโดยวิธี RSM																		
ความต้านทานต่อแรงดึง(MPa)	35.4	32.6	30.2	27.9	26.4	24.4	22.5	21.0	19.5	18.0	16.7	15.5	14.5	13.5	12.7	12.0	11.4	11.0
ความยืดหยุ่นขนาด (%)	1088	1075	1064	1054	1048	1039	1031	1026	1020	1015	1011	1007	1004	1002	1001	1001	1001	1003
โมดูลัส (N/mm ²)	2.95	2.74	2.56	2.40	2.30	2.16	2.03	1.93	1.83	1.74	1.66	1.60	1.54	1.50	1.46	1.44	1.43	1.43
อัตราการบวม	0.27	2.46	2.45	3.36	3.94	4.74	5.47	6.01	6.58	7.11	7.55	7.95	8.28	8.56	8.77	8.92	9.01	9.04

ตารางที่ 25 (ต่อ)

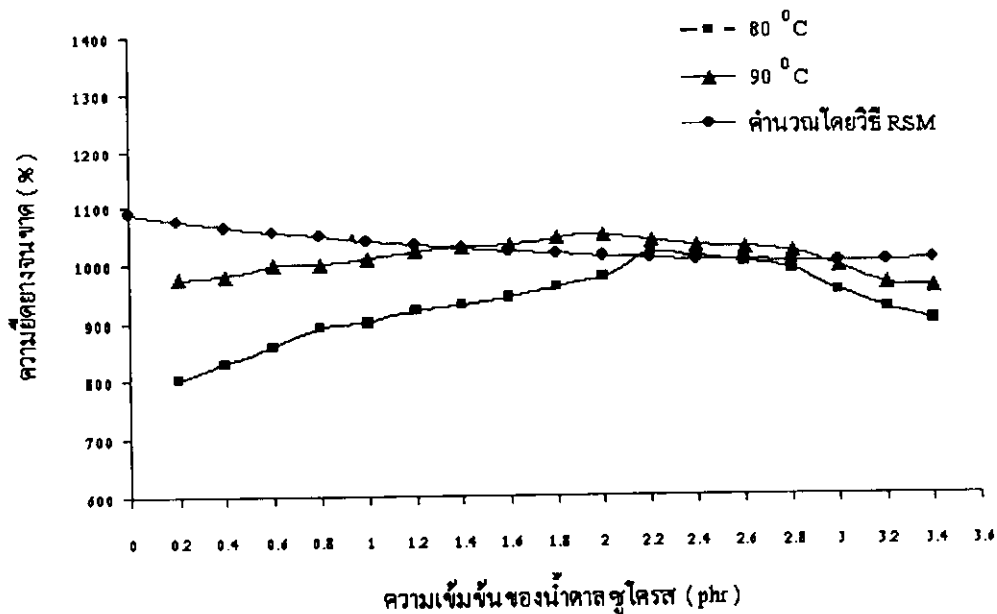
ส่วนผสม (phr)	สูตรที่																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
สมบัติของยางวัลคาไนซ์จากการทดลองที่อุณหภูมิ 80°C																		
ความต้านทานต่อแรงดึง (MPa)	-	9.01	9.87	10.7	11.0	11.7	12.2	13.6	14.0	15.2	15.5	15.0	14.1	13.6	12.6	11.2	9.7	9.20
ความยืดหยุ่น (%)	-	802	830	860	890	901	920	932	940	960	976	1015	1010	1000	986	950	920	900
โมดูลัส (N/mm ²)	-	1.12	1.21	1.33	1.35	1.41	1.45	1.47	1.50	1.52	1.61	1.40	1.41	1.32	1.35	1.41	1.30	1.29
อัตราการบวม	-	9.56	9.32	9.02	8.90	8.67	8.45	8.34	8.20	8.02	7.69	8.22	8.34	8.41	8.87	8.89	9.02	9.23
สมบัติของยางวัลคาไนซ์จากการทดลองที่อุณหภูมิ 90°C																		
ความต้านทานต่อแรงดึง (MPa)	-	11.0	11.7	12.2	12.5	12.9	13.3	14.5	15.4	16.7	18.5	16.0	14.8	14.0	13.3	12.2	10.2	9.90
ความยืดหยุ่น (%)	-	976	980	997	1001	1010	1020	1029	1032	1045	1048	1036	1030	1025	1018	990	962	956
โมดูลัส (N/mm ²)	-	1.21	1.25	1.36	1.51	1.55	1.58	1.60	1.62	1.68	1.70	1.62	1.61	1.52	1.45	1.40	1.41	1.39
อัตราการบวม	-	9.15	9.08	8.92	8.71	8.60	8.35	8.24	8.10	8.00	7.08	8.02	8.23	8.34	8.47	8.58	8.92	9.03



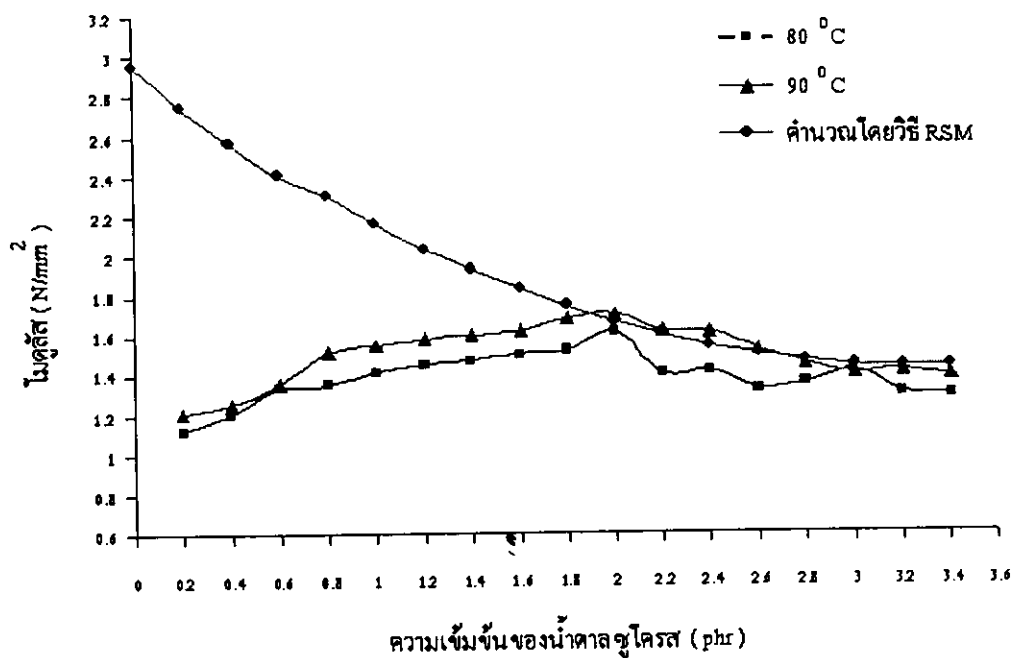
ภาพประกอบ 42 แสดงผลความสัมพันธ์ของน้ำตาจุโครสต่อความต้านทานต่อแรงดึง



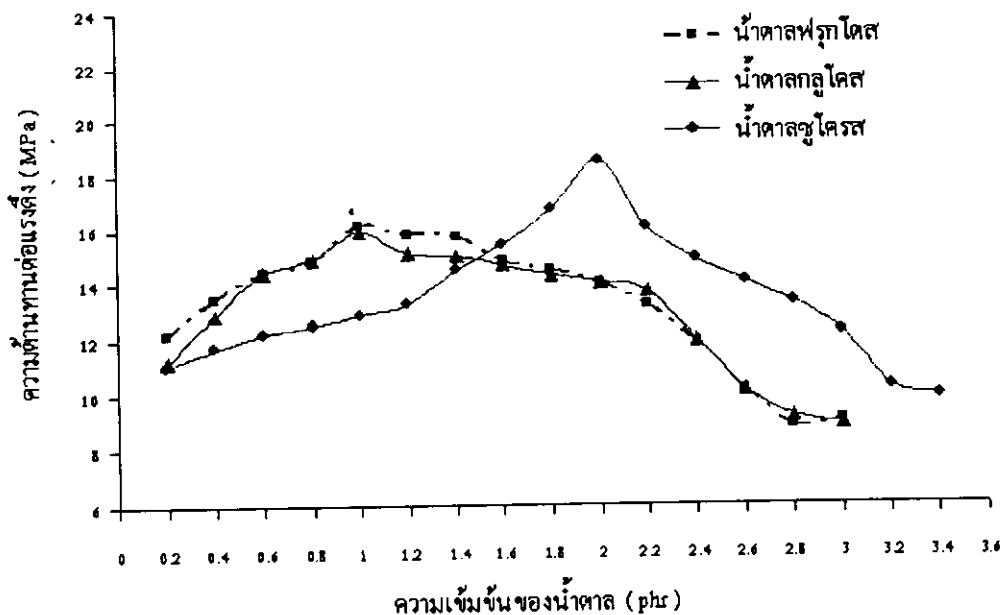
ภาพประกอบ 43 แสดงผลความสัมพันธ์ของน้ำตาจุโครสต่ออัตราการวม



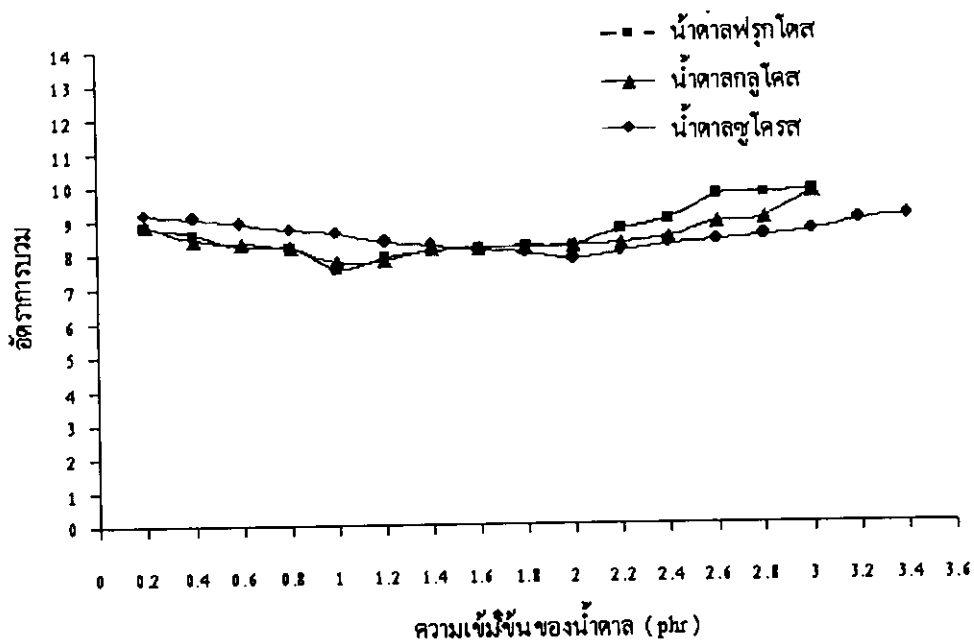
ภาพประกอบ 44 แสดงผลความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครสต่อความบวมของน้ำตาลซูโครส



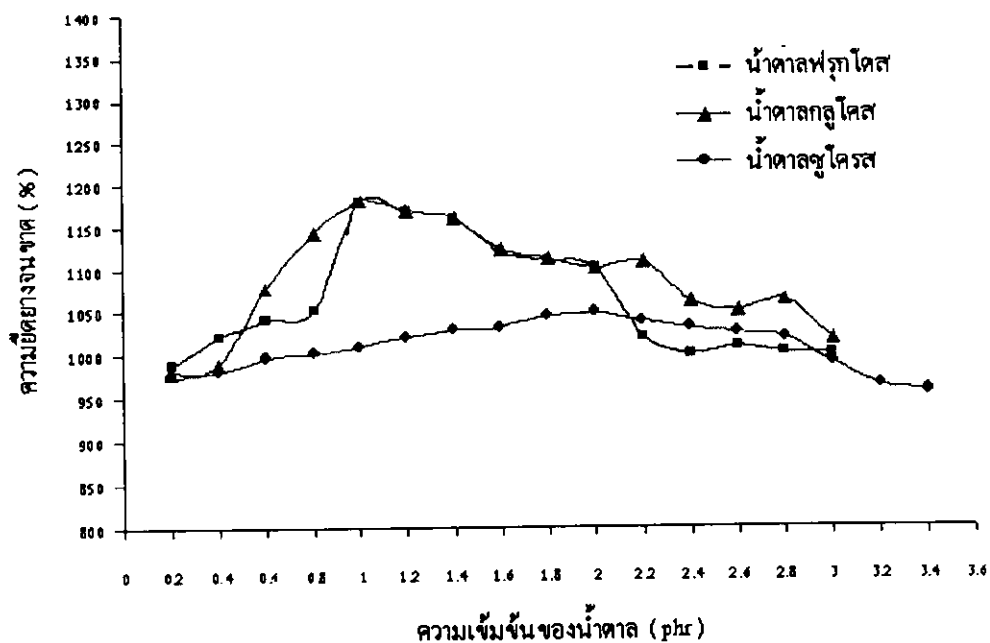
ภาพประกอบ 45 แสดงผลความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครสต่อค่าโมดูลัส



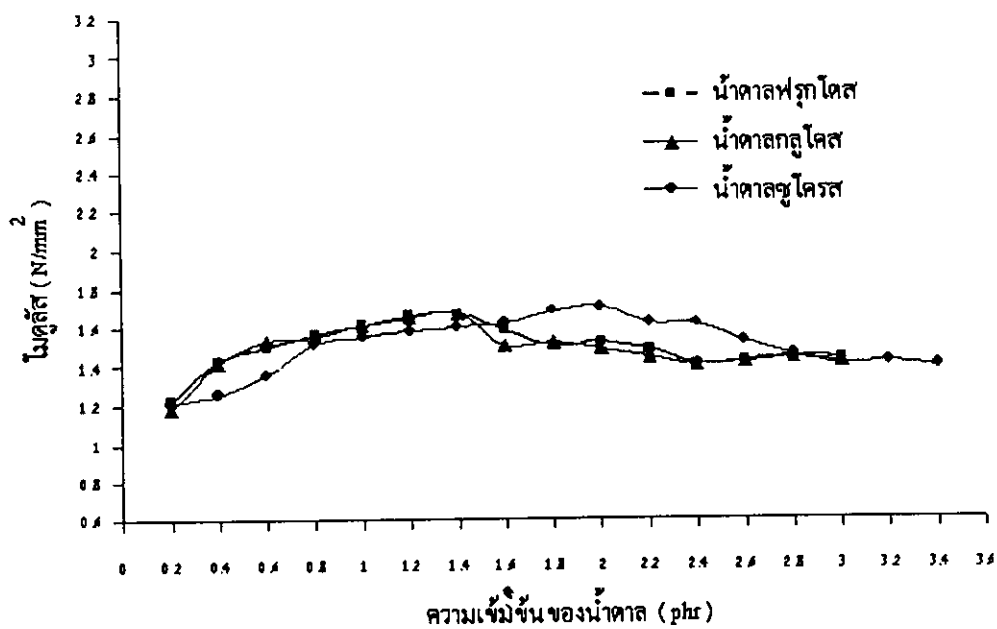
ภาพประกอบ 46 แสดงผลความเข้มข้นของน้ำตลชนิดต่าง ๆ ต่อค่าความต้านทานต่อแรงดึง



ภาพประกอบ 47 แสดงผลความเข้มข้นของน้ำตลชนิดต่าง ๆ ต่ออัตราการบวม



ภาพประกอบ 48 แสดงผลความเข้มข้นของน้ำตลชนิดต่าง ๆ ต่อความยืดหยุ่นของยาง



ภาพประกอบ 49 แสดงผลความเข้มข้นของน้ำตลชนิดต่าง ๆ ต่อค่าโมดูลัส

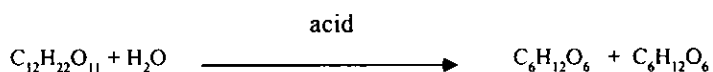
ภาวะและปริมาณที่เหมาะสมของน้ำตาลซูโครสต่อการพรีวัลคาไนซ์น้ำยาง

จากตารางที่ 25 และภาพประกอบ 46 ถึง ภาพประกอบ 49 การใช้ น้ำตาลซูโครส ร่วมกับ n-BA และ t-BHPO ทำการแปรปริมาณ น้ำตาลซูโครส ตั้งแต่ 0.0 – 3.4 phr โดยเพิ่มครั้งละ 0.2 phr พบว่าค่าความทนต่อแรงดึงสูงสุดจากการคำนวณโดยวิธี RSM ซึ่งเป็นค่าทางทฤษฎี ที่ 0 phr เท่ากับ 35.4 MPa อัตราการบวมเท่ากับ 0.27 และจากสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความต้านทานต่อแรงดึงกับปริมาณของ น้ำตาลซูโครส และ n-BA โดยดูจากค่าสัมประสิทธิ์ของตัว แปรทั้งสองที่บ่งค่าในทางทฤษฎีถึงผลของปริมาณของสารเคมีทั้งสอง ดังกล่าว จะทำให้ค่าความ ต้านทานต่อแรงดึงลดลง โดยการเพิ่มปริมาณของซูโครส ซึ่ง ดูจากสัมประสิทธิ์ของตัวแปร น้ำตาล ซูโครสที่มีค่าเท่ากับ -2.23 โดย ทำให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึงลดลงประมาณ 1.2 เท่าของการเพิ่ม ปริมาณ n-BA ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรเท่ากับ -1.85 แต่โดยรวมแล้วการเพิ่มปริมาณของ สารทั้งสองก็มีอิทธิพลทำให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึงลดลงไม่มาก เมื่อเทียบกับค่ากลางคือ 12.02 MPa สำหรับอัตราส่วนการบวมเมื่อเพิ่มปริมาณ น้ำตาลซูโครสจะทำให้อัตราส่วนการบวมมีค่า เพิ่มขึ้น โดยค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปร น้ำตาลซูโครส มีค่าเท่ากับ +0.51 แต่การเพิ่มปริมาณ n-BA จะทำให้อัตราส่วนการบวมลดลงโดยค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปร n-BA เท่ากับ -0.11 แสดงว่า การเพิ่มปริมาณของ น้ำตาลซูโครสจะทำให้อัตราส่วนการบวมเพิ่มขึ้น แต่ การเพิ่มปริมาณของ n-BA ทำให้อัตราส่วนการบวมลดลง แต่โดยรวมแล้ว การเพิ่มปริมาณของสารทั้งสองก็มีอิทธิพล ทำให้อัตราส่วนการบวมเพิ่มขึ้น หรือ ลดลง ไม่มากเมื่อเทียบกับค่ากลางคือ 8.92 ส่วนค่าความทนต่อ แรงดึงสูงสุดจากการทดลองจริงที่อุณหภูมิ 80 °C พบว่า ค่าความทนต่อแรงดึงสูงสุดที่ปริมาณ น้ำตาลซูโครส 2.0 phr เท่ากับ 15.27 MPa และ อัตราการบวมลดลงเท่ากับ 7.69 ค่าความทนต่อ แรงดึงต่ำสุดที่ 3.4 phr เท่ากับ 9.20 MPa อัตราการบวมเพิ่มขึ้นเป็น 9.23 และที่อุณหภูมิ 90 °C พบว่า ค่าความทนต่อแรงดึงสูงสุดที่ปริมาณ น้ำตาลซูโครส 2.0 phr เท่ากับ 18.47 MPa อัตราการ บวมลดลงเท่ากับ 7.08 ค่าความทนต่อแรงดึงต่ำสุดที่ 3.4 phr เท่ากับ 9.90 MPa และอัตราการ บวมเพิ่มขึ้นเป็น 9.03

สำหรับความความน่าเชื่อถือของสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติทาง กายภาพกับ ค่าสัมประสิทธิ์ต่างๆ จะเห็นว่าค่า S.E. จะมีค่าต่ำ แสดงถึงความเชื่อมั่นทางสถิติได้ แต่ จะมีสัมประสิทธิ์บางตัวที่มีค่า S.E. สูง นั่นก็คือเทอมที่แสดงถึงผลกระทบซึ่งกันและกัน โดยเฉพาะเทอมที่แสดงถึงผลกระทบซึ่งกันและกันระหว่าง น้ำตาลซูโครสกับ n-BA ทั้งนี้อาจเป็น เพราะความละเอียดในการวัดยังไม่เพียงพอ

จากภาพประกอบ 46 ถึง 49 จะสังเกตเห็นว่าปริมาณของ น้ำตาลซูโครส ที่ใช้เพื่อที่จะ ได้ค่าความทนต่อแรงดึงสูงสุดและอัตราส่วนการบวมต่ำสุดคือ 2.0 phr ซึ่งจะเท่ากับ ปริมาณของ

น้ำตาลฟรุคโตสรวมกับปริมาณน้ำตาล กลูโคส ที่มีค่าเท่ากันคือ 1.0 phr เพื่อที่จะได้ค่าความทนต่อแรงดึงสูงสุดและอัตราส่วนการบวมต่ำสุด ดังนั้นแสดงว่าการใช้น้ำตาลซูโครส กับ n-BA ร่วมกับ t-BHPO ในการทำพรีวัลคาไนซ์น้ำยางจำเป็นจะต้องนำมาทำการไฮโดรไลซิสเพื่อให้เปลี่ยนจากน้ำตาลประเภทไดแซคคาไรด์ เป็น น้ำตาลประเภทโมโนแซคคาไรด์เสียก่อน ดังปฏิกิริยา (ประดิษฐ์ มีสุข, 1995:32)



4. ศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของ n-BA ต่อการวัลคาไนซ์น้ำยางที่อุณหภูมิ 90° C

4.1 จากผลการทดลอง ในหัวข้อที่ 4 ศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของ n-BA ต่อการวัลคาไนซ์น้ำยางที่อุณหภูมิ 90° C ได้ผลดัง ตารางที่ 26 และ

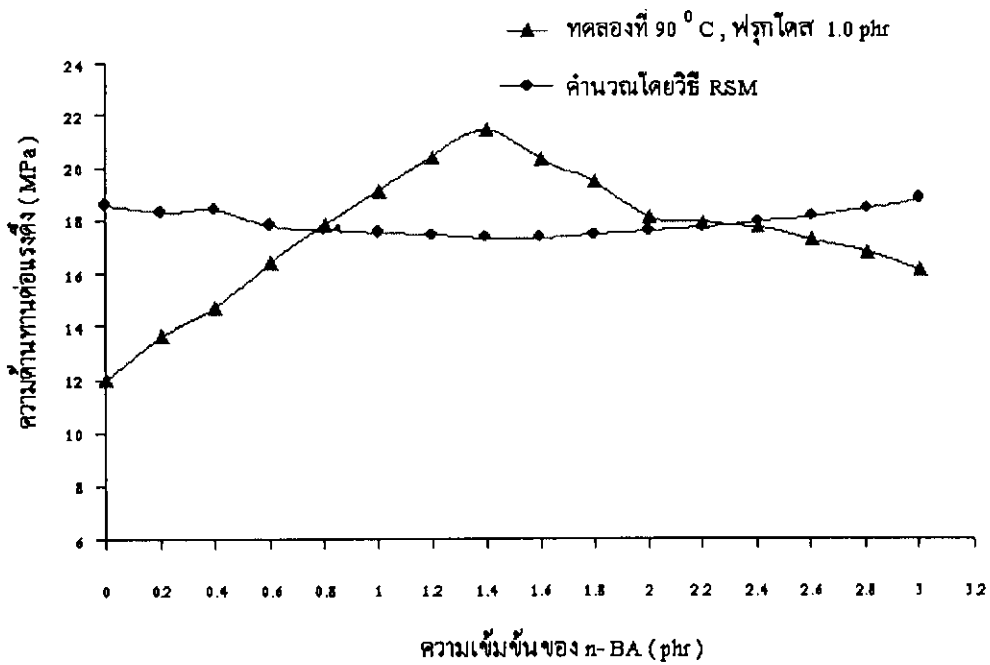
ภาพประกอบ 50 ถึงภาพประกอบ 53

ตารางที่ 26 ผลของปริมาณที่เหมาะสมของ n-BA ต่างกันร่วมกับ Fructose/t-BHPO ในการเตรียมน้ำยางสำหรับการทำวัลคาไนซ์เพื่อขึ้นชั้นผล

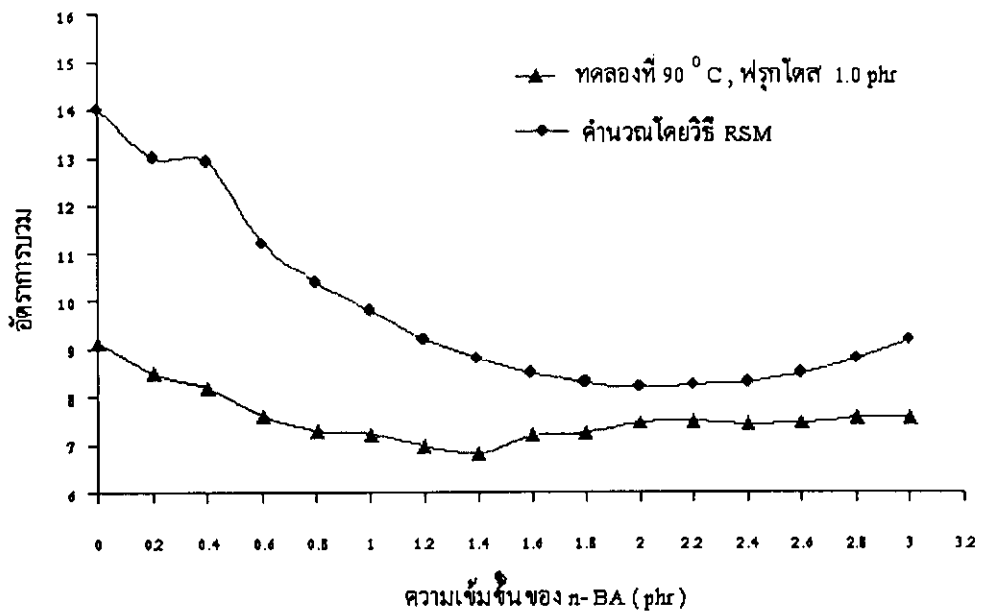
ส่วนผสม	สูตรที่															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
น้ำยาง	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	140	100	100	100	100
t-BHPO	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
n-BA	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0
กัญไคส	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
สมบัติของยางวัลคาไนซ์จากการคำนวณโดยวิธี RSM																
ความต้านทานต่อแรงดึง (MPa)	18.6	18.3	18.4	17.8	17.6	17.5	17.4	17.3	17.4	17.4	17.5	17.7	17.9	18.1	18.4	18.8
ความยืดหยุ่นจางขาด (%)	1112	1089	1096	1054	1040	1029	1021	1017	1015	1016	1019	1026	1036	1048	1063	1082
โมดูลัส (N/mm ²)	1.07	1.15	1.12	1.28	1.34	1.39	1.44	1.48	1.51	1.54	1.56	1.57	1.58	1.58	1.57	1.56
อัตราการรวม	14.0	13.0	12.9	11.2	10.4	9.80	9.20	8.80	8.50	8.30	8.20	8.24	8.30	8.50	8.80	9.20

ตารางที่ 26 (ต่อ)

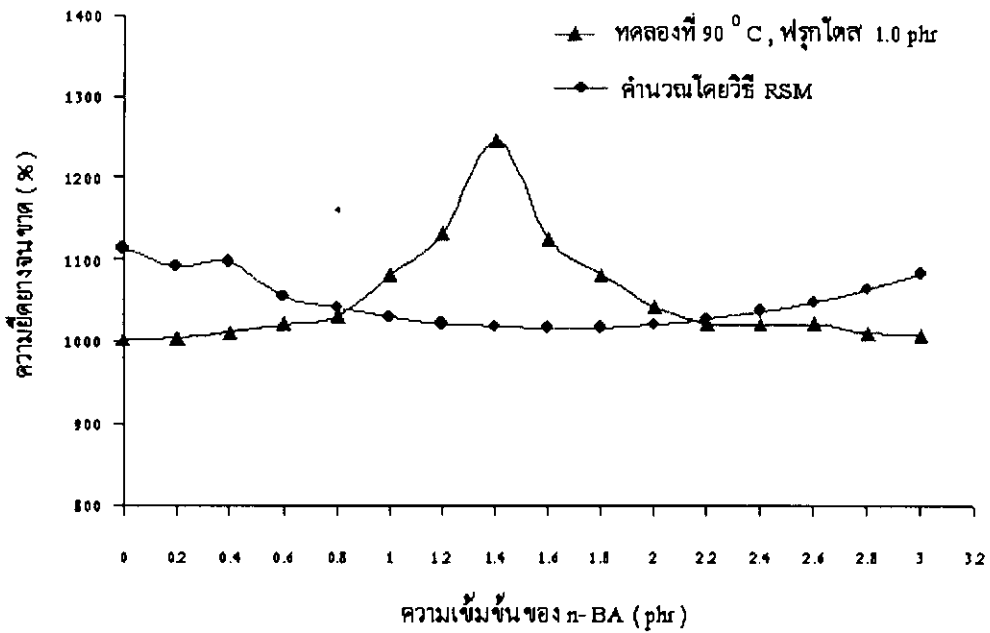
ส่วนผสม (phr)	สูตรที่															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
สมบัติของยางวัลคาไนซ์จากการทดลองที่อุณหภูมิ 90°C																
ความต้านทานต่อแรงดึง (MPa)	12.0	13.6	14.7	16.4	17.8	19.1	20.4	21.4	20.3	19.4	18.8	17.9	17.7	17.2	16.8	16.1
ความยืดหยุ่นจางขนาด (%)	1001	1003	1010	1020	1030	1081	1130	1245	1124	1080	1041	1021	1020	1022	1010	1000
โมดูลัส (N/mm ²)	0.87	0.97	1.02	1.18	1.23	1.44	1.40	1.46	1.51	1.60	1.54	1.78	1.88	1.80	1.77	1.61
อัตราการบวม	9.11	8.50	8.20	7.60	7.31	7.21	6.98	6.82	7.20	7.26	7.46	7.50	7.44	7.46	7.56	7.58



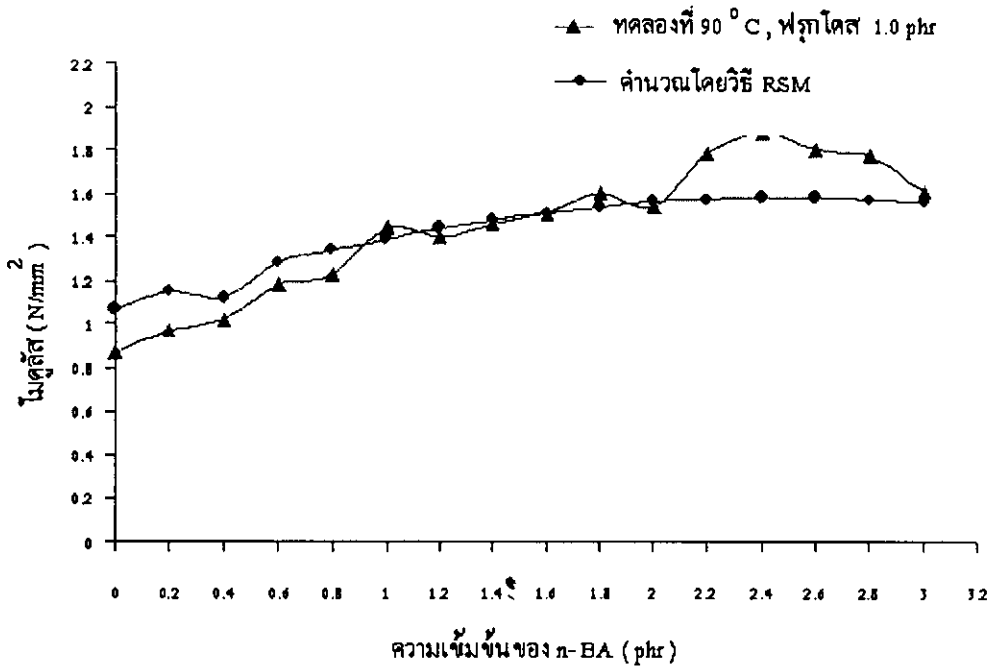
ภาพประกอบ 50 แสดงผลความเข้มข้นของ n-BA ต่อความต้านทานต่อแรงดึง (สำหรับน้ำตาลฟรุคโตส)



ภาพประกอบ 51 แสดงผลความเข้มข้นของ n-BA ต่ออัตรากาบรวม (สำหรับน้ำตาลฟรุคโตส)



ภาพประกอบ 52 แสดงผลความเข้มข้นของ n-BA ต่อความยืดหยุ่นขนาด (สำหรับน้ำตาลฟรุคโตส)



ภาพประกอบ 53 แสดงผลความเข้มข้นของ n-BA ต่อค่าโมดูลัส (สำหรับน้ำตาลฟรุคโตส)

4.2 จากผลการทดลอง ในหัวข้อที่ 4 ศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของ m-BA ต่อการวัลคาไนซ์น้ำยางที่อุณหภูมิ

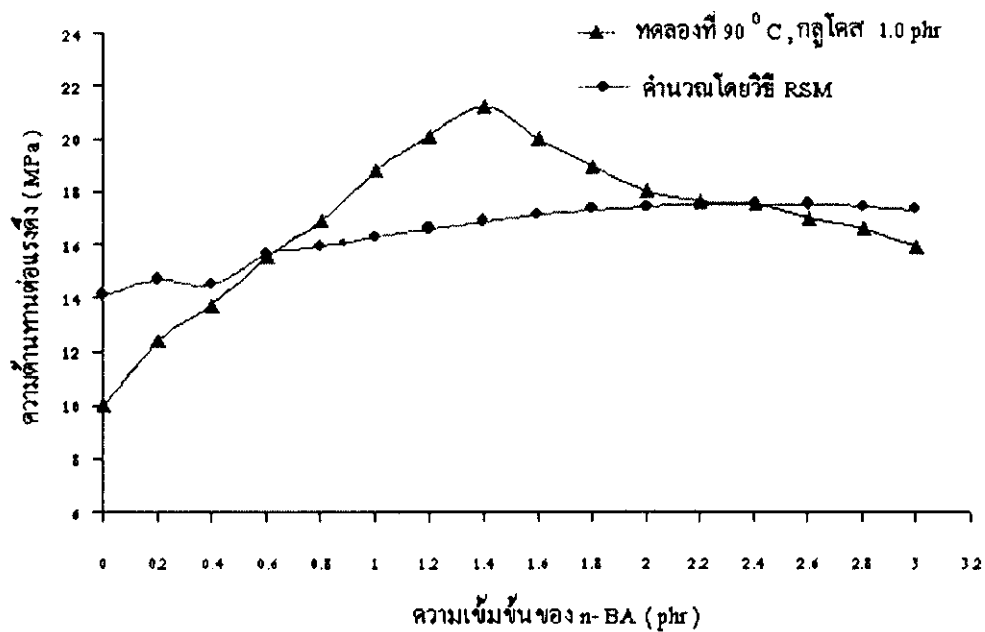
90°C ได้ผลดังตารางที่ 27 และ ภาพประกอบ 54 ถึงภาพประกอบ 57

ตารางที่ 27 ผลของปริมาณที่เหมาะสมของ m-BA ต่างกันร่วมกับ Glucose/t-BHPO ในการเตรียมน้ำยางสำหรับการทำพรีวัลคาไนซ์เพื่อขึ้นชั้นผล

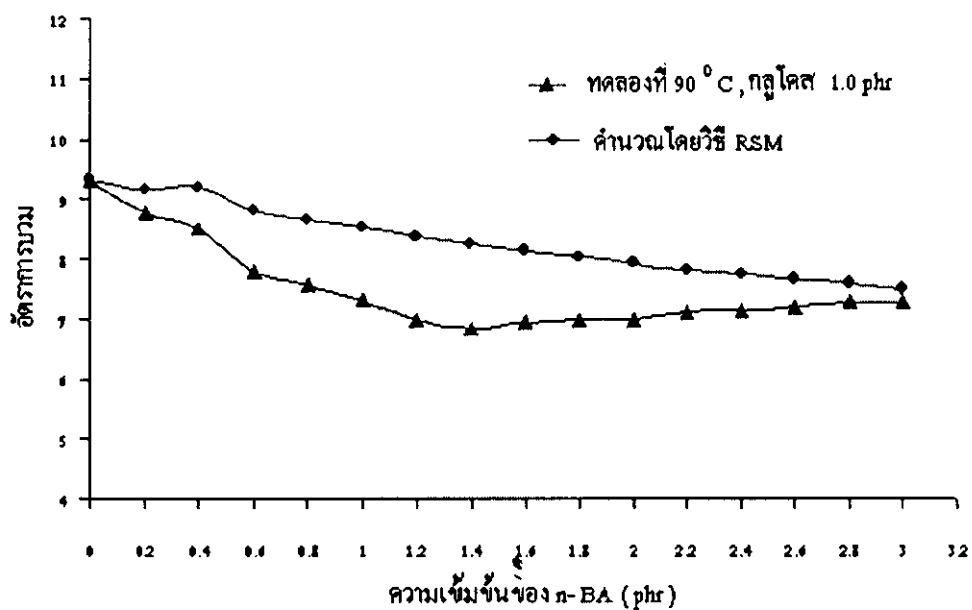
ส่วนผสม	สูตรที่																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
(phr)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
น้ำยาง	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
t-BHPO	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0	3.0
m-BA	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
กลูโคส																	
สมบัติของยางวัลคาไนซ์จากการคำนวณโดยวิธี RSM																	
ความต้านทานต่อแรงดึง (MPa)	14.1	14.7	14.5	15.6	15.9	16.3	16.6	16.9	17.1	17.3	17.4	17.5	17.5	17.5	17.4	17.3	17.3
ความยืดหยุ่นจางขนาด (%)	1060	1044	1049	1019	1010	1004	999	997	997	999	1004	1011	1020	1032	1046	1062	1062
โมดูลัส (N/mm ²)	0.65	0.78	0.74	1.00	1.09	1.18	1.26	1.33	1.39	1.43	1.47	1.50	1.52	1.53	1.53	1.52	1.52
อัตราการบวม	9.33	9.15	9.21	8.82	8.67	8.53	8.39	8.26	8.14	8.03	7.92	7.82	7.74	7.66	7.59	7.52	7.52

ตารางที่ 27 (ต่อ)

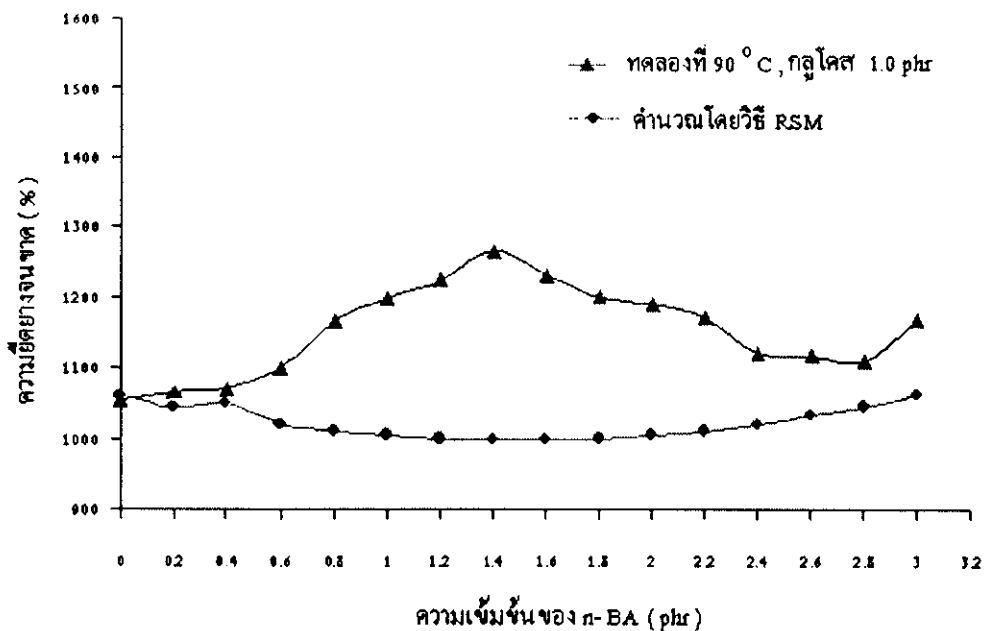
ส่วนผสม	สูตรที่																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
สมบัติของยางวัลคาไนซ์จากการทดลองที่อุณหภูมิ 90°C																	
ความต้านทานต่อแรงดึง (MPa)	10.0	12.4	13.7	15.5	16.9	18.8	20.1	21.2	20.0	19.0	17.98	17.60	17.5	17.0	16.6	15.9	
ความยืดหยุ่นขนาด (%)	1055	1065	1071	1100	1167	1198	1223	1265	1230	1200	1021	1020	1010	1007	998	1173	
โมดูลัส (N/mm ²)	0.82	0.91	1.20	1.23	1.30	1.38	1.40	1.48	1.46	1.47	1.59	2.00	1.99	1.98	1.79	1.61	
อัตราการบวม	9.32	8.80	8.50	7.80	7.58	7.31	6.99	6.84	6.96	7.00	7.06	7.12	7.14	7.13	7.14	7.16	



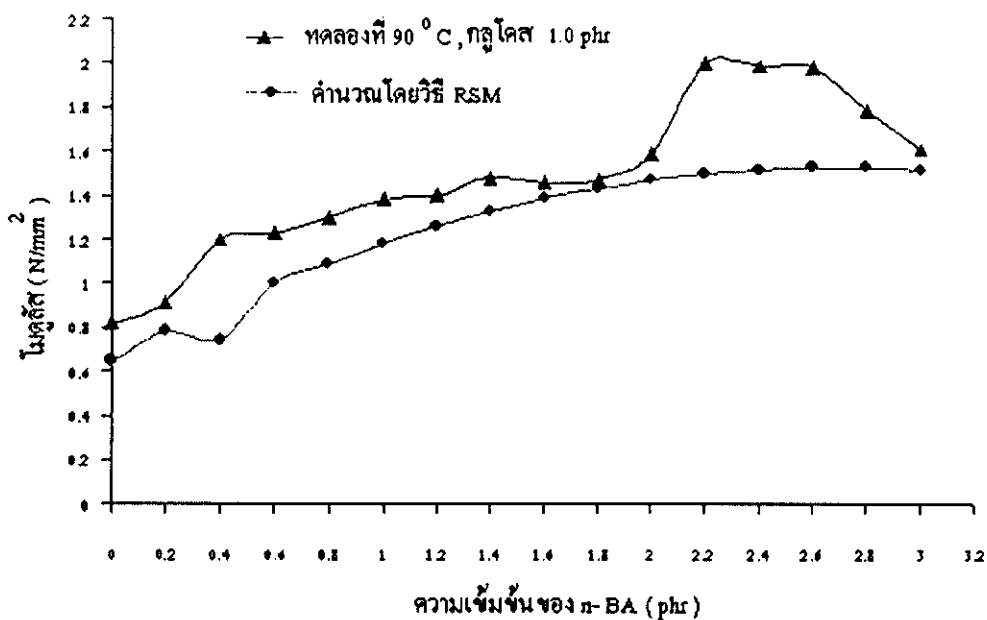
ภาพประกอบ 54 แสดงผลความสัมพันธ์ของ n-BA ต่อความต้านทานต่อแรงดึง (สำหรับน้ำตาลกลูโคส)



ภาพประกอบ 55 แสดงผลความสัมพันธ์ของ n-BA ต่ออัตรารวม (สำหรับน้ำตาลกลูโคส)



ภาพประกอบ 56 แสดงผลความสัมพันธ์ของ n-BA ต่อความยืดหยุ่นงานขาด (สำหรับน้ำตาลกลูโคส)



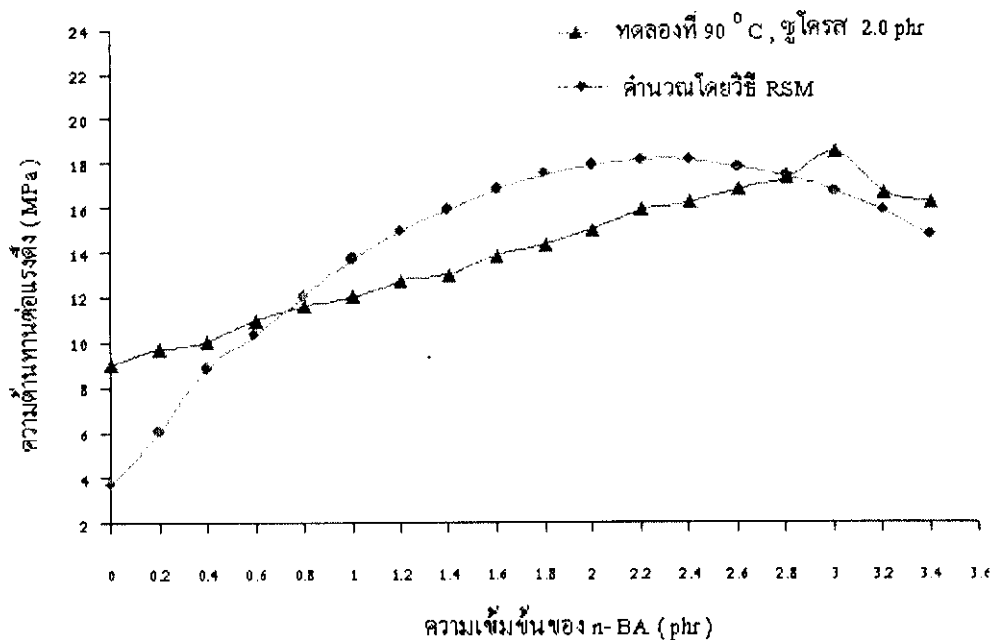
ภาพประกอบ 57 แสดงผลความสัมพันธ์ของ n-BA ต่อค่าโมดูลัส (สำหรับน้ำตาลกลูโคส)

4.3 จากผลการทดลอง ในหัวข้อที่ 4 ศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของ n - BA ต่อการวัดคาบในชั้นนำยางที่อุณหภูมิ 90° C ได้ผลดังตารางที่ 28 และภาพประกอบ 58 ถึงภาพประกอบ 61

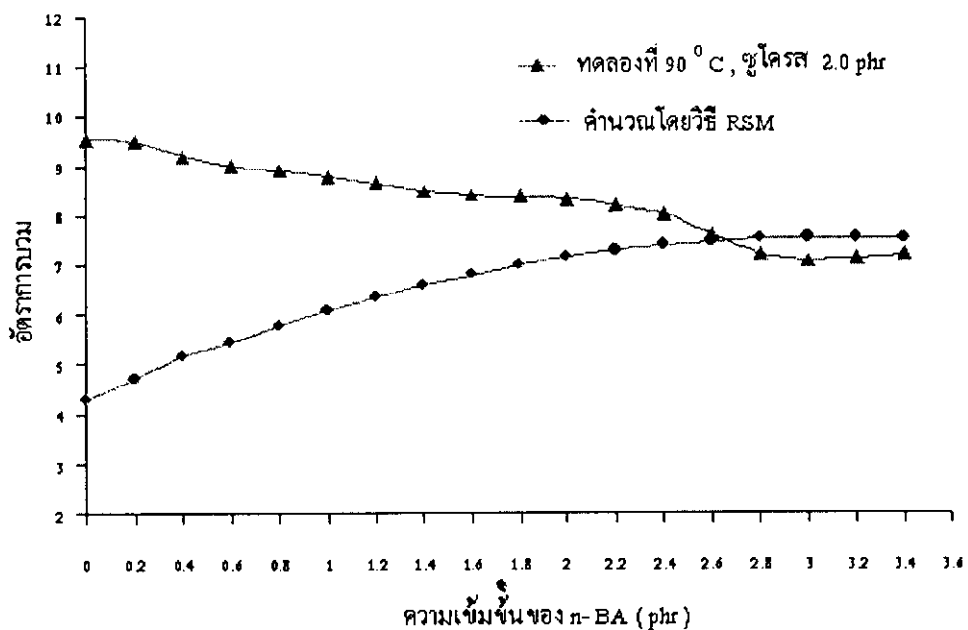
ตารางที่ 28 ผลของปริมาณที่เหมาะสมของ n - BA ต่างกันร่วมกับ Sucrose/t-BHPO ในการเตรียมตัวอย่างสำหรับการทำรีดคาบในซีเพื่อขึ้นชั้นผล

ส่วนผสม	สูตรที่																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18		
(phr)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
น้ำยาง	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
t-BHPO	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0	3.2	3.4		
n-BA	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
สมบัติของยางรีดคาบในซีจากการคำนวณโดยวิธี RSM																				
ความต้านทานต่อแรงดึง(MPa)	3.68	6.02	8.84	10.3	12.0	13.7	14.9	15.9	16.8	17.5	17.9	18.1	18.1	17.8	17.4	16.7	15.8	14.7		
ความยืดหยุ่นขนาด (%)	0	78	253	346	461	576	662	744	815	878	926	965	994	1010	1016	1011	994	968		
โมดูลัส (N/mm ²)	0.79	0.90	1.04	1.11	1.20	1.29	1.36	1.42	1.48	1.53	1.57	1.61	1.63	1.65	1.66	1.66	1.66	1.65		
อัตราการรวม	4.30	4.71	5.18	5.44	5.77	6.09	6.34	6.58	6.79	6.99	7.15	7.28	7.39	7.47	7.53	7.55	7.55	7.52		

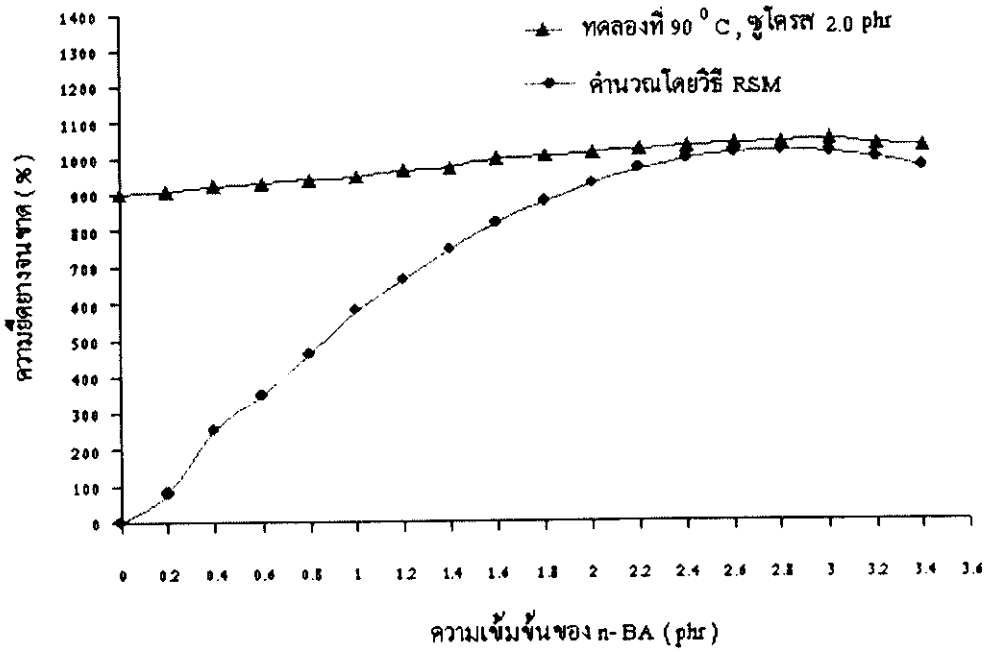
ส่วนผสม	สูตรที่																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
สมบัติของยางวัลคาไนซ์จากการทดลองที่อุณหภูมิ 90 °C																		
ความต้านทานต่อแรงดึง (MPa)	9.0	9.7	10	11.0	11.6	12.0	12.7	13.0	13.8	14.3	15.0	15.9	16.2	16.8	17.3	18.4	16.7	16.2
ความยืดขวางขนาด (%)	900	910	921	930	940	948	965	971	999	1006	1011	1021	1030	1036	1040	1048	1033	1028
โมดูลัส (N/mm ²)	0.78	0.8	0.9	1.00	1.10	1.21	1.26	1.30	1.32	1.35	1.37	1.38	1.48	1.60	1.67	1.70	2.00	2.17
อัตราการบวม	9.54	9.5	9.2	9.0	8.91	8.78	8.66	8.50	8.41	8.39	8.33	8.21	8.02	7.59	7.21	7.08	7.18	7.38



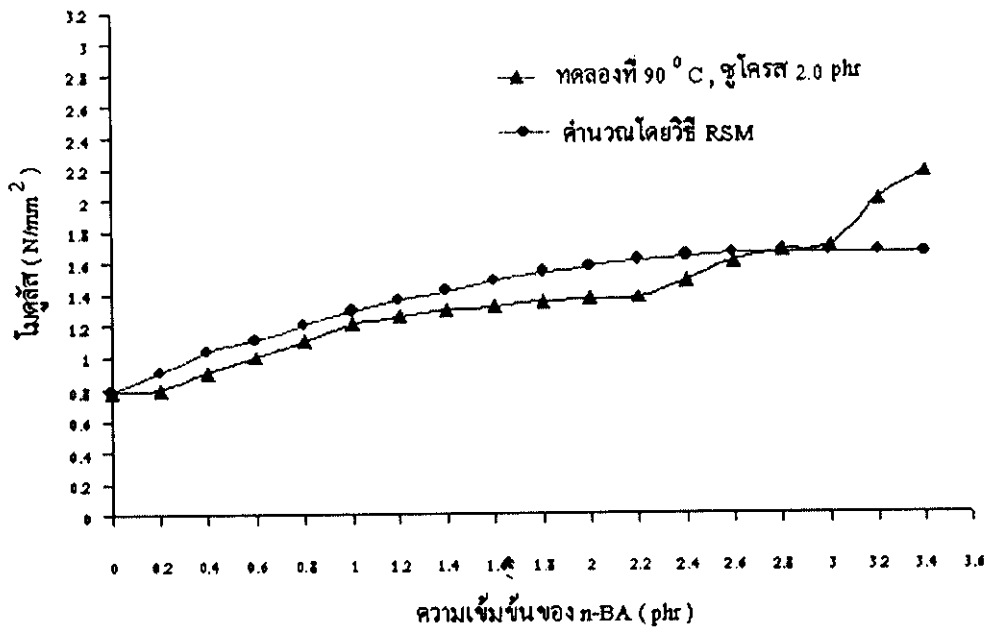
ภาพประกอบ 58 แสดงผลความเข้มข้นของ n-BA ต่อความต้านทานต่อแรงดึง (สำหรับน้ำตาลชูโครส)



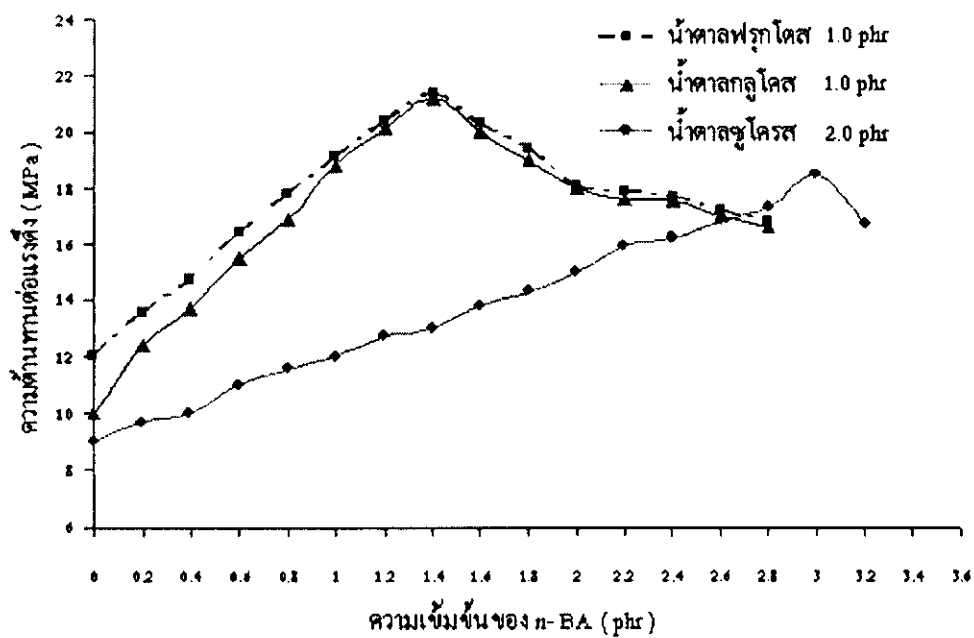
ภาพประกอบ 59 แสดงผลความเข้มข้นของ n-BA ต่ออัตราการบวม (สำหรับน้ำตาลชูโครส)



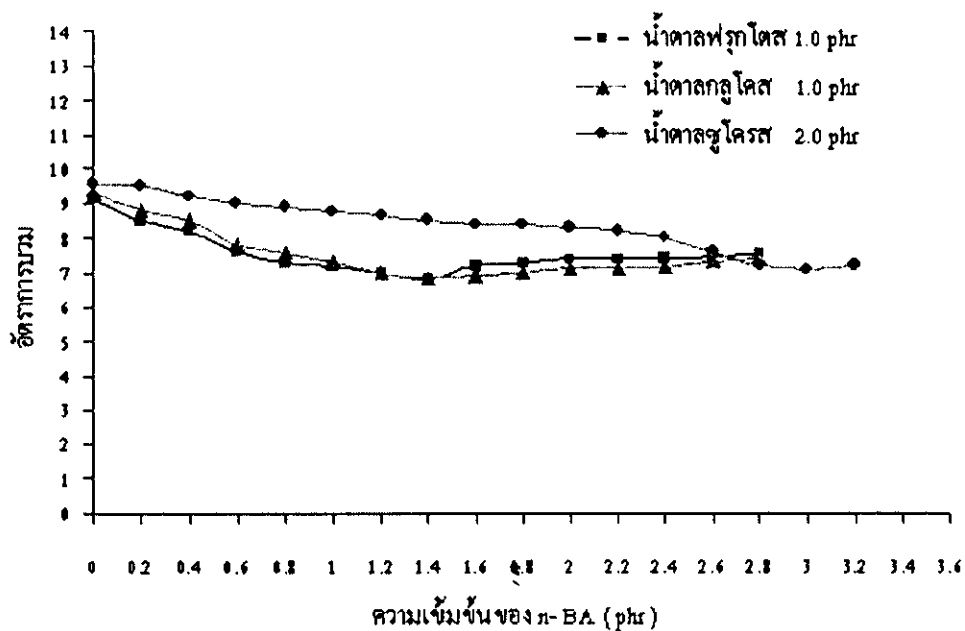
ภาพประกอบ 60 แสดงผลความเข้มข้นของ n-BA ต่อความยืดหยุ่น (สำหรับน้ำตาลชูโครส)



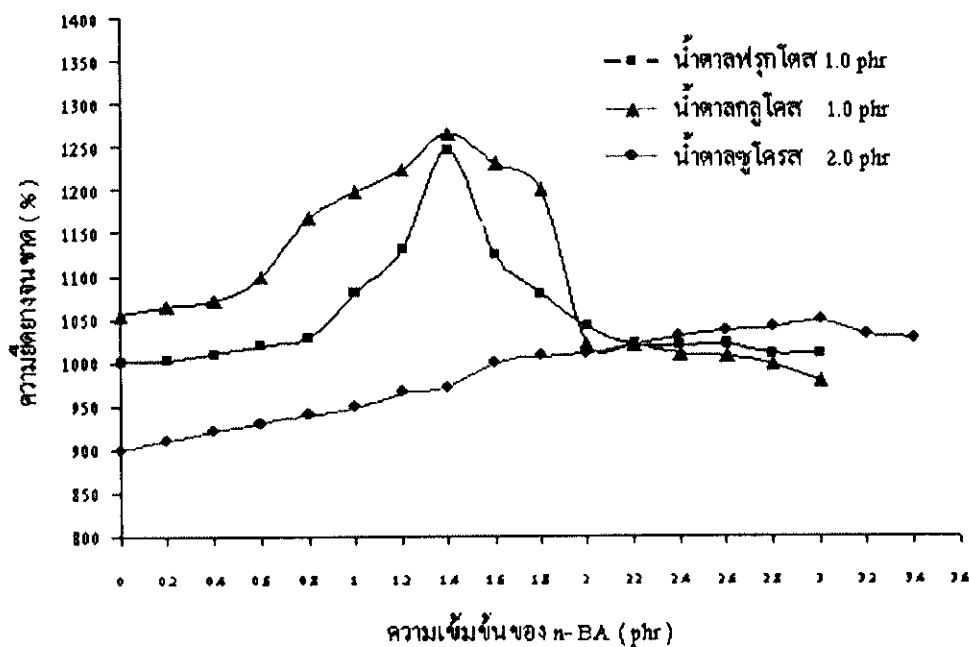
ภาพประกอบ 61 แสดงผลความเข้มข้นของ n-BA ต่อค่าโมดูลัส (สำหรับน้ำตาลชูโครส)



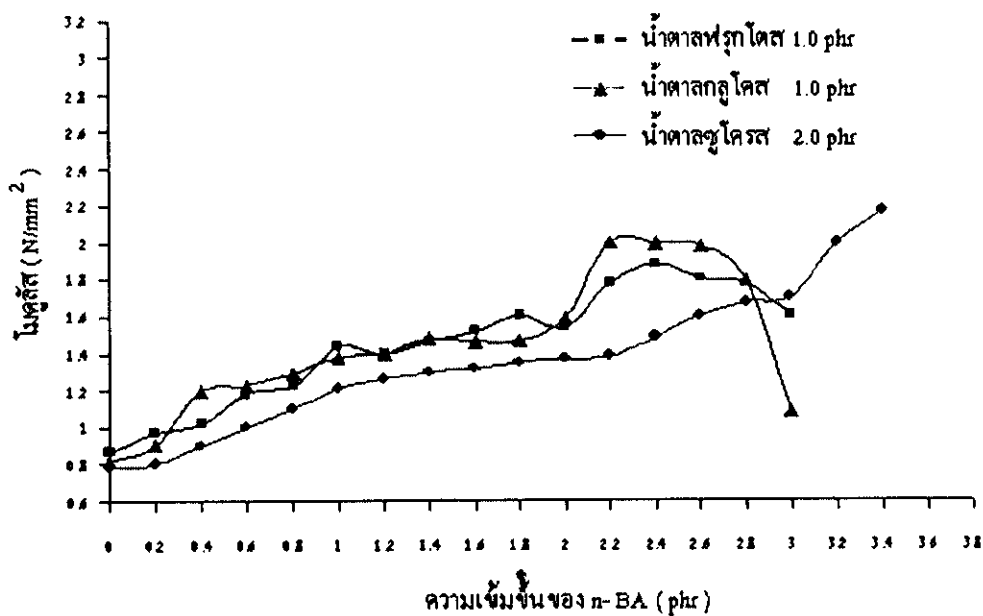
ภาพประกอบ 62 แสดงผลความเข้มข้น n-BA ของน้ำตาสชนิดต่าง ๆ ต่อความต้านทานต่อแรงดึง



ภาพประกอบ 63 แสดงผลความเข้มข้น n-BA ของน้ำตาสชนิดต่าง ๆ ต่ออัตราการบวม



ภาพประกอบ 64 แสดงผลความเข้มข้น n-BA ของน้ำตาลชนิดต่างๆ ต่อความยืดหยุ่นจนขาด



ภาพประกอบ 65 แสดงผลความเข้มข้น n-BA ของน้ำตาลชนิดต่างๆ ต่อค่าโมดูลัส

จากตารางที่ 26 ถึงตารางที่ 27 และภาพประกอบ 50 ถึงภาพประกอบ 57 การใช้ n-BA ร่วมกับ น้ำตาลฟรุกโตส หรือ น้ำตาลกลูโคส และ t-BHPO โดยทำการแปรปริมาณ n-BA ตั้งแต่ 0.0 – 3.0 phr โดยเพิ่มครั้งละ 0.2 phr พบว่าค่าความต้านทานต่อแรงดึงสูงสุดสำหรับน้ำตาล

ฟรุคโตส จากการคำนวณโดยวิธี RSM ซึ่งเป็นค่าทางทฤษฎี ที่ 3.0 phr เท่ากับ 18.8 MPa อัตราการบวมเท่ากับ 9.20 ค่าความต้านทานต่อแรงดึงต่ำสุดที่ 1.40 phr เท่ากับ 17.30 MPa อัตราการบวมเพิ่มขึ้นเป็น 8.80 และสำหรับน้ำตาลกลูโคส ที่ 2.2 – 2.6 phr เท่ากับ 17.5 MPa อัตราการบวมเท่ากับ 7.82-7.66 ค่าความต้านทานต่อแรงดึงต่ำสุดที่ 0 phr เท่ากับ 14.10 MPa อัตราการบวมเพิ่มขึ้นเป็น 9.33

ส่วนค่าความต้านทานต่อแรงดึงสูงสุดจากการทดลองจริงที่อุณหภูมิ 90°C พบว่าค่าความต้านทานต่อแรงดึงสูงสุดสำหรับน้ำตาล ฟรุคโตส ที่ปริมาณ n-BA 1.4 phr เท่ากับ 21.40 MPa อัตราการบวมลดลงเท่ากับ 6.82 ค่าความต้านทานต่อแรงดึงต่ำสุดที่ 0 phr เท่ากับ 12.00 MPa อัตราการบวมเพิ่มขึ้นเป็น 9.11 และสำหรับ น้ำตาลกลูโคส เท่ากับ 21.20 MPa อัตราการบวมลดลงเท่ากับ 6.84 ค่าความต้านทานต่อแรงดึงต่ำสุดที่ 0 phr เท่ากับ 10.00 MPa อัตราการบวมเพิ่มขึ้นเป็น 9.32 ตามลำดับ

จากตารางที่ 28 และภาพประกอบ 58 ถึงภาพประกอบ 61 การใช้ n-BA ร่วมกับ น้ำตาลซูโครสและ t-BHPO โดยทำการแปรปริมาณ n-BA ตั้งแต่ 0.0 – 3.4 phr โดยเพิ่มครั้งละ 0.2 phr พบว่าค่าความต้านทานต่อแรงดึงสูงสุดสำหรับน้ำตาลซูโครส จากการคำนวณโดยวิธี RSM ซึ่งเป็นค่าทางทฤษฎี ที่ 2.2 -2.4 phr เท่ากับ 18.10 MPa อัตราการบวมเท่ากับ 7.28 ค่าความต้านทานต่อแรงดึงต่ำสุดที่ 0 phr เท่ากับ 3.68 MPa อัตราการบวม 4.30

จากการทดลองจริงที่อุณหภูมิ 90°C พบว่าค่าความต้านทานต่อแรงดึง คือที่ 3.0 phr เท่ากับ 18.47 MPa และ อัตราการบวมลดลงเท่ากับ 7.08 ค่าความต้านทานต่อแรงดึงต่ำสุดที่ 0 phr เท่ากับ 9.00 MPa อัตราการบวมเพิ่มขึ้นเป็น 9.54 โดยที่ 3.4 phr นี้ยางจะหนืดและยางจะแตกแห้งเป็นริ้วและเปราะ

จากการทดลองจะเห็นว่าถ้าใช้ t-BHPO ร่วมกับ น้ำตาลฟรุคโตส หรือ น้ำตาลกลูโคส เพียงสองตัว การวัลคาไนซ์เกิดได้น้อยแสดงว่า n-BA มีผลต่อการวัลคาไนซ์นี้ยาง โดยถ้าไม่ใช้ จะทำให้ยางมีความต้านทานต่อแรงดึงต่ำ และค่าอัตราการบวมจะสูง เมื่อทำการเพิ่มปริมาณ n-BA ค่าความต้านทานต่อแรงดึงจะเพิ่มขึ้น และอัตราส่วนการบวมลดลงอย่างเห็นได้ชัด จนถึงค่าหนึ่งคือ 1.4 phr และ 3.0 phr สำหรับน้ำตาลซูโครส หลังจากนั้นค่าความต้านทานต่อแรงดึงจะลดลง และอัตราการบวมเพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยยางจะมีลักษณะที่เปราะ แข็ง เมื่อเพิ่มปริมาณของ n-BA

จากภาพประกอบ 62 ถึงภาพประกอบ 65 จะเห็นว่าการใช้ n-BA จะมีผลต่อการวัลคาไนซ์นี้ยางโดยจะต้องใช้ในปริมาณที่เหมาะสม เมื่อใช้ร่วมกับ น้ำตาลฟรุคโตส หรือ น้ำตาลกลูโคส หรือ น้ำตาลซูโครสและ t-BHPO คือ 1.4 phr 1.4 phr และ 3.0 phr ตามลำดับ ซึ่งเมื่อ

เทียบกับปริมาณของ น้ำตาลฟรุกโตส น้ำตาลกลูโคส และ น้ำตาลซูโครส คือ 1.0 phr 1.0 phr และ 2.0 phr ตามลำดับ ดังนั้นในระบบนี้จึงจัด n-BA เป็นสารตัวเร่ง ที่ช่วยในการวัลคาไนซ์ได้ดีขึ้น และเกิดปฏิกิริยาร่วมกับน้ำตาลซึ่งจัดเป็นตัวกระตุ้นซึ่งใช้ในปริมาณน้อยกว่า โดยเชื่อกันว่าสารพวกนี้จะเกิดปฏิกิริยาเพื่อการจัดรูปสารที่มีโครงสร้างซับซ้อน กับตัวกระตุ้น เพื่อให้เกิดความว่องไวต่อปฏิกิริยาการกลอสลิงก์ (Morton, 1987) ผลที่ได้คือ เร่งอัตราการวัลคาไนซ์ให้เร็วขึ้น

5. ปริมาณที่เหมาะสมของ t-BHPO ร่วมกับน้ำตาลและ n-BA

5.1 ปริมาณที่เหมาะสมของ t-BHPO ร่วมกับน้ำตาลฟรุกโตสและ n-BA ทำการทดลองดังหัวข้อที่ 5 ได้ผลดังตารางที่ 29 และภาพประกอบ 66 ถึงภาพประกอบ 69

ตารางที่ 29 ผลของปริมาณที่เหมาะสมของ t-BHPO ร่วมกับน้ำตาลฟรุกโตสและ n-BA

ส่วนผสม (phr)	สูตรที่						
	1	2	3	4	5	6	7
น้ำยาง	100	100	100	100	100	100	100
t-BHPO	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
n-BA	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
น้ำตาลฟรุกโตส	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
สมบัติของยางวัลคาไนซ์							
ก่อนทำการบ่มเร่ง							
ความต้านทานต่อแรงดึง (MPa)	3.62	15.33	21.40	21.32	12.14	11.20	9.88
ความยืดขยายจนขาด (%)	1432	1261	1345	1335	1254	1226	1217
โมดูลัส (N/mm ²)	0.947	1.214	1.76	1.698	1.477	1.445	1.343
อัตราการบวม	13.25	7.66	6.80	6.82	8.98	9.64	10.10
หลังทำการบ่มเร่ง							
ความต้านทานต่อแรงดึง (MPa)	1.22	10.23	17.45	17.00	8.54	6.010	6.03
ความยืดขยายจนขาด (%)	1264	1103	1178	1118	1089	1090	1107
ความเปลี่ยนแปลงความต้านทานต่อแรงดึง (MPa)	-2.4	-5.1	-3.95	-4.32	-3.6	-5.19	-3.85
ความเปลี่ยนแปลงความยืดขยายจนขาด (%)	-168	-158	-167	-217	-165	-136	-110

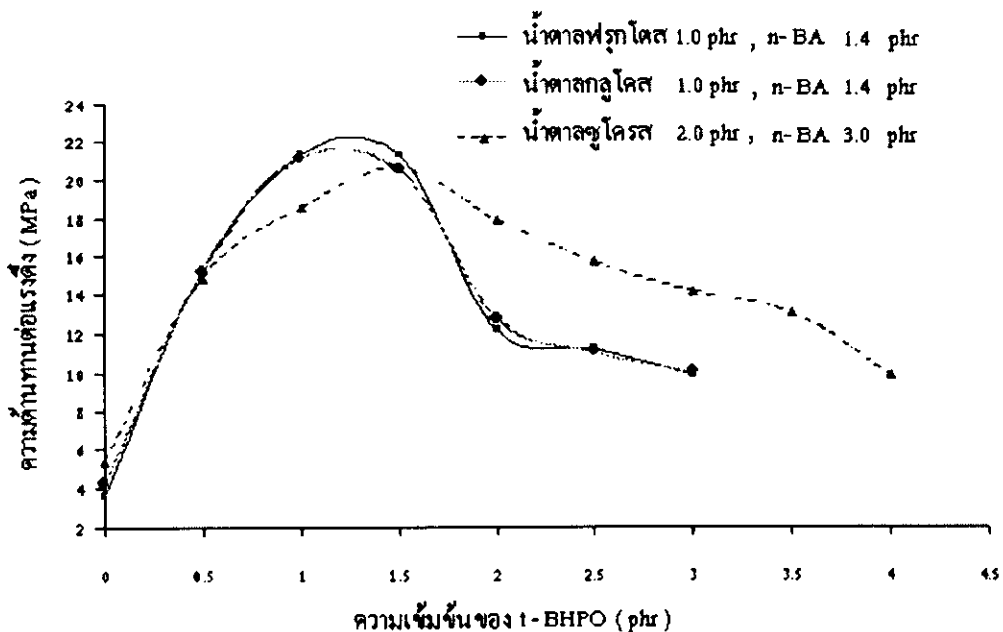
5.2 ปริมาณที่เหมาะสมของ t-BHPO ร่วมกับน้ำตาตกลูโคสและ n-BA ทำการทดลองดังหัวข้อ
ที่ 5 ได้ผลดังตารางที่ 30 และ ภาพประกอบ 66 ถึง ภาพประกอบ 69
ตารางที่ 30 ผลของปริมาณที่เหมาะสมของ t-BHPO ร่วมกับน้ำตาตกลูโคสและ n-BA

ส่วนผสม (phr)	สูตรที่						
	1	2	3	4	5	6	7
น้ำยาง	100	100	100	100	100	100	100
t-BHPO	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
n-BA	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
น้ำตาตกลูโคส	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
สมบัติของยางวัลคาไนซ์							
ก่อนทำการบ่มเร่ง							
ความต้านทานต่อแรงดึง (MPa)	4.31	15.23	21.20	20.57	12.80	11.11	10.03
ความยืดยางจนขาด(%)	1421	1268	1265	1324	1263	1208	1207
โมดูลัส (N/mm ²)	0.989	1.324	1.48	1.643	1.454	1.440	1.333
อัตราการบวม	13.72	7.76	6.84	8.32	8.90	9.54	10.07
หลังทำการบ่มเร่ง							
ความต้านทานต่อแรงดึง (MPa)	1.18	10.00	16.63	15.58	8.21	6.77	6.34
ความยืดยางจนขาด(%)	1278	1132	1077	1114	1052	1083	1128
ความเปลี่ยนแปลงความต้านทาน							
ต่อแรงดึง (MPa)	-3.13	-5.23	-4.57	-4.93	-4.59	-4.34	-3.69
ความเปลี่ยนแปลงความยืดยาง							
จนขาด (%)	-143	-136	-188	-210	-211	-125	-79

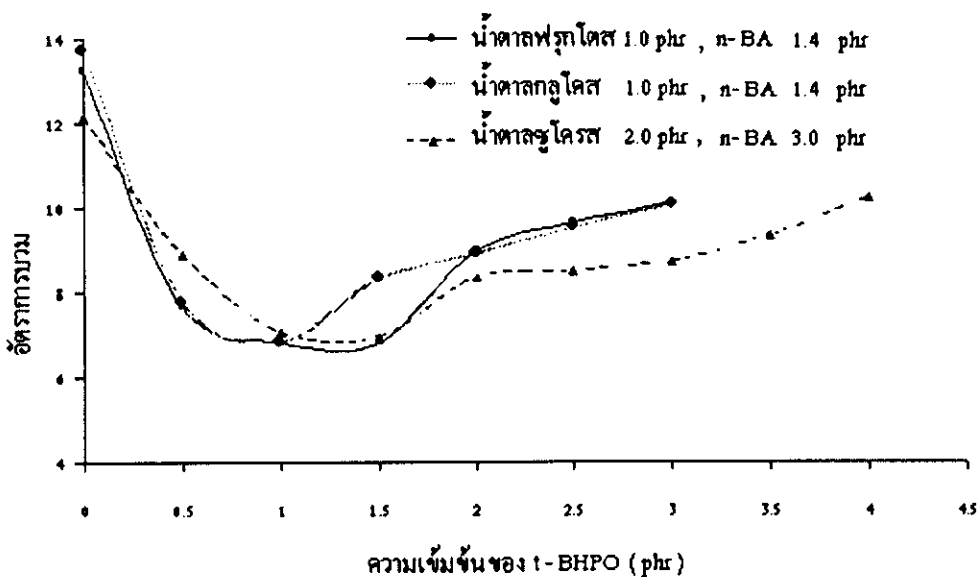
5.3 ปริมาณที่เหมาะสมของ t-BHPO ร่วมกับน้ำตาชชูโครสและ n-BA ทำการทดลองตั้งหัวข้อที่ 5 ได้ผลดังตารางที่ 31 และภาพประกอบ 66 ถึงภาพประกอบ 69

ตารางที่ 31 ผลของปริมาณที่เหมาะสมของ t-BHPO ร่วมกับน้ำตาชชูโครสและ n-BA

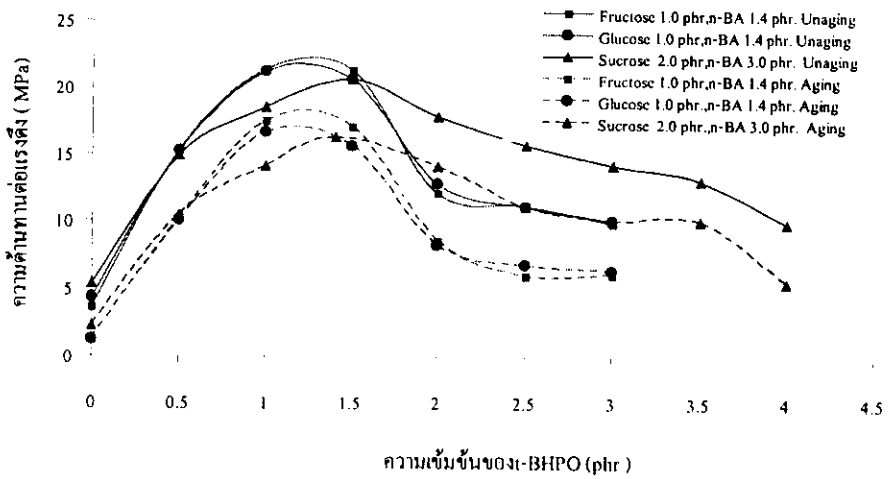
ส่วนผสม (phr)	สูตรที่								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
น้ำยาง	100	100	100	100	100	100	100	100	100
t-BHPO	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
n-BA	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
น้ำตาชชูโครส	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
สมบัติของยางวัลคาไนซ์									
ก่อนทำการบ่มเร่ง									
ความต้านทาน	5.36	14.88	18.47	20.59	17.83	15.66	14.17	13.08	9.88
ต่อแรงดึง (Mpa)									
ความยืดยงขนาด (%)	890	1030	1048	1070	1048	1035	1025	1010	998
โมดูลัส (N/mm ²)	0.876	1.212	1.700	1.442	1.301	1.280	1.222	1.287	1.011
อัตราการบวม	12.12	8.87	7.08	6.92	8.33	8.46	8.72	9.33	10.24
หลังทำการบ่มเร่ง									
ความต้านทาน	2.29	10.48	14.14	16.27	14.13	11.04	10.17	10.00	5.42
ต่อแรงดึง (Mpa)									
ความยืดยงขนาด (%)	760	910	912	920	911	912	902	900	802
ความเปลี่ยนแปลงความ									
ต้านทานต่อแรงดึง									
(MPa)	-3.07	-4.4	-4.33	-4.32	-3.7	-4.62	-4.0	-3.08	-4.46
ความเปลี่ยนแปลงความ									
ยืดยงขนาด (%)									
	-130	-120	-136	-150	-169	-123	-123	-110	-196



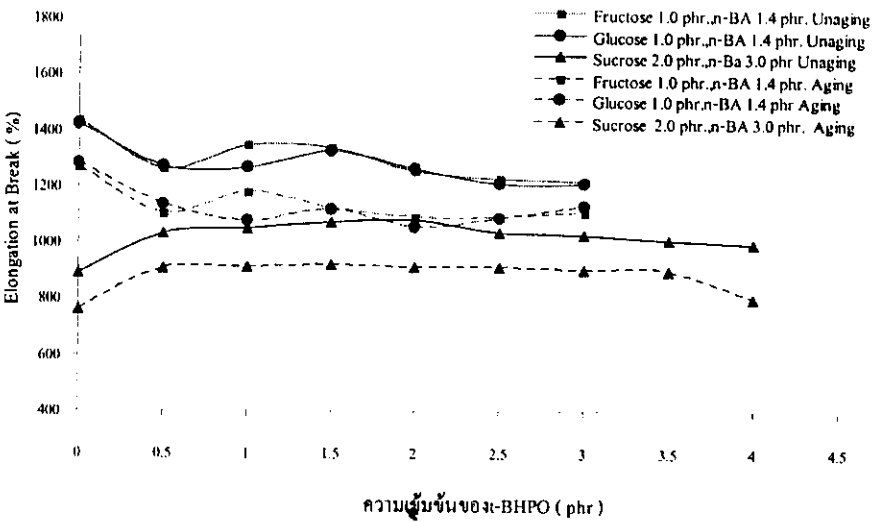
ภาพประกอบ 66 แสดงผลของความเข้มข้นของ t-BHPO ต่อความต้านทานต่อแรงดึงก่อนการบ่มเร่ง



ภาพประกอบ 67 แสดงผลความเข้มข้นของ t-BHPO ต่ออัตราการบวมก่อนการบ่มเร่ง



ภาพประกอบ 68 แสดงผลของความเข้มข้นของ t-BHPO ต่อความต้านทานต่อแรงดึงเปรียบเทียบก่อนและหลังการบ่มเร่ง



ภาพประกอบ 69 แสดงผลของความเข้มข้นของ t-BHPO ต่อความยืดหยุ่นขนาดเปรียบเทียบก่อนและหลังการบ่มเร่ง

ผลของปริมาณ t-BHPO

จากตารางที่ 29 และตารางที่ 30 และจากภาพประกอบ 66 ถึงภาพประกอบ 67 การใช้ t-BHPO ร่วมกับน้ำตาฟรุกโตส หรือ น้ำตาลกลูโคสและ n-BA โดยทำการแปรปริมาณ t-BHPO ตั้งแต่ 0.0 – 3.0 phr ที่อุณหภูมิ 90 ° C โดยเพิ่มครั้งละ 0.5 phr พบว่า ค่าความต้านทานต่อแรงดึงสูงสุดที่ 1.0 phr เท่ากับ 21.40 MPa และ 21.20 MPa อัตราการบวมลดลงเท่ากับ 6.80 และ 6.84 ค่าความต้านทานต่อแรงดึงต่ำสุดที่ 3.0 phr เท่ากับ 9.88 MPa และ 10.03 MPa อัตราการบวมเพิ่มขึ้นเป็น 10.10 และ 10.07 ตามลำดับ

จากตารางที่ 31 และภาพประกอบ 66 ถึงภาพประกอบ 67 การใช้ t-BHPO ร่วมกับน้ำตาลซูโครสและ n-BA โดยทำการแปรปริมาณ n-BA ตั้งแต่ 0.0 – 4.0 phr ที่อุณหภูมิ 90 ° C โดยเพิ่มครั้งละ 0.5 phr พบว่าค่าความต้านทานต่อแรงดึงสูงสุด คือที่ 1.5 phr เท่ากับ 20.59 MPa และ อัตราการบวมลดลงเท่ากับ 6.92 ค่าความต้านทานต่อแรงดึงต่ำสุดที่ 4.0 phr เท่ากับ 9.88 MPa อัตราการบวมเพิ่มขึ้นเป็น 10.24

จากการทดลองจะเห็นว่าปริมาณที่เหมาะสมของ t-BHPO ร่วมกับน้ำตาลฟรุกโตส หรือ น้ำตาลกลูโคสและ n-BA จะมีค่าความต้านทานต่อแรงดึงสูงสุดเท่ากับ 1.0 phr ส่วนน้ำตาลซูโครส เท่ากับ 1.5 phr และ เมื่อทำการเพิ่ม t-BHPO ขึ้นไปเรื่อยๆ จะพบว่ายางจะมีลักษณะที่เหนียวแข็งติดกันซึ่งเป็นลักษณะของสารเคมีที่เหลือใช้หลุดออกมาที่ผิวของยางอันเนื่องมาจากการใช้ t-BHPO มากเกินไป เนื่องจากออกซิเจนจะเข้าไปทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระของยางเกิดเป็นไฮโดรเปอร์ออกไซด์ทำให้เกิดยางเหนียวเกาะติดที่ผิว (พรพรรณ, 2528:34)

ผลของการบ่มเร่ง

จากตารางที่ 29 ถึงตารางที่ 31 และภาพประกอบ 68 ถึงภาพประกอบ 69 ทำการบ่มเร่งในตู้อบที่อุณหภูมิ 70° C เป็นเวลา 7 วัน พบว่าค่าความต้านทานต่อแรงดึงลดลงโดยการใช้ t-BHPO 1.0 phr ร่วมกับ น้ำตาลฟรุกโตส และ n-BA จาก 21.40 MPa เป็น 17.45 MPa และ ความยืดหยุ่นยางลดลง จาก 1345 % เป็น 1178 % การใช้ t-BHPO 1.0 phr ร่วมกับน้ำตาลกลูโคส และ n-BA จาก 21.20 MPa เป็น 16.63 MPa และ ความยืดหยุ่นยางลดลงจาก 1265 % เป็น 1077 % และ การใช้ t-BHPO 1.5 phr ร่วมกับ น้ำตาลซูโครสและ n-BA จาก 20.59 MPa เป็น 16.27 MPa และความยืดหยุ่นยางลดลงจาก 1070% เป็น 920 %

แสดงว่าการสูญเสียสมบัติทางกายภาพของยางจะเกิดขึ้นเมื่อยางอยู่ภายใต้กระบวนการที่ทำให้เสื่อมสภาพ ซึ่งโดยปกติเกิดเนื่องมาจาก การขาดของสายโมเลกุลยาง หรือเกิด

การฟอร์มสารบางอย่าง สารที่ก่อให้เกิดการเสื่อมสภาพเหล่านั้นได้แก่ ออกซิเจน โอโซน ความร้อน แสง อากาศ เป็นต้น (Morton, 1987)