

เอกสารอ้างอิง

- ALLIGER, G. Vulcanization of elastomer. NEW YORK: REINHOLD PUBLISHING CORP., 1964.
- BLOW, C.M. Rubber technology and manufacture. LONDON: BUTTERWORTH SCIENTIFIC, 1982
- GRIGORII, B. Organic accelerator in the vulcanization of rubber. JERUSALEM, 1968
- HILL, D.A. Heat transfer and vulcanization of rubber. AMSTERDAM: ELSEVIER PUBLISHING, 1971
- HOFF, W. Vulcanization and vulcanizing agent. NEW YORK: PALMATON PUBLISHING, 1964
- SWEE, L.M. Introduction to cure equivalence. SINGAPORE: POLYSAR ASIA PACIFIC PTE LTD ASEAN TYRE & TUBE SEMINAR, 1989

תוצאות

ภาคผนวก ก.

ข้อมูลการทดลอง

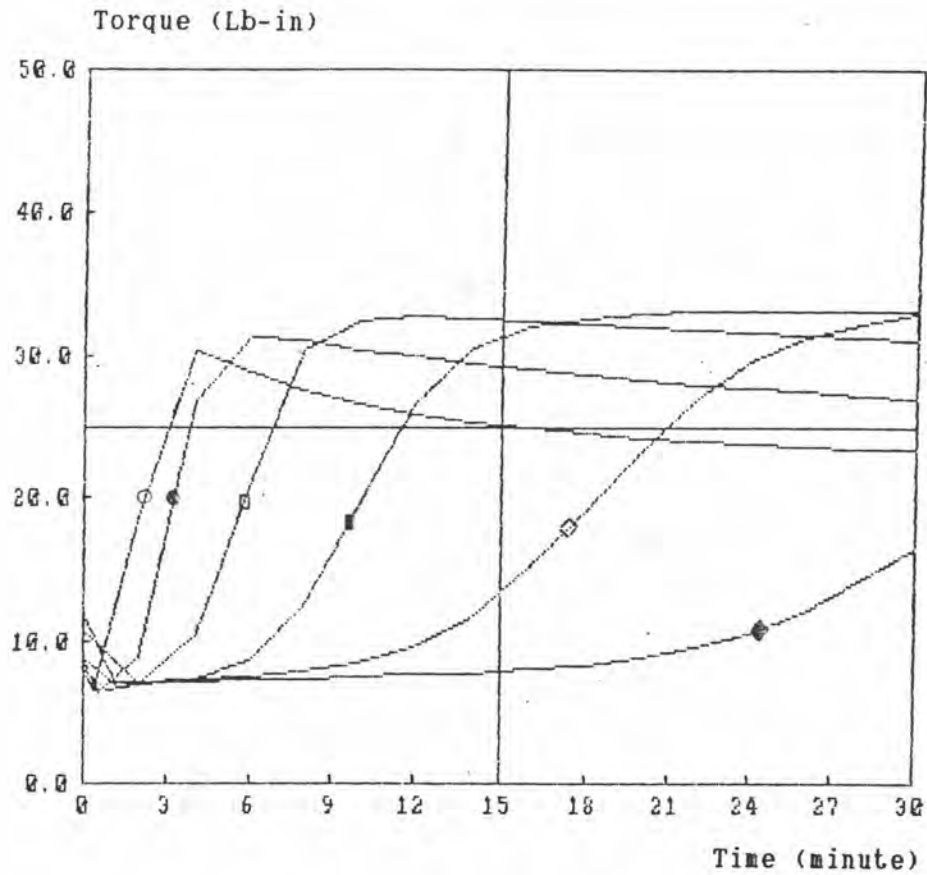
ข้อมูลการทดลองยางผสมสูตร T458

ตารางที่ ก.1 ผลการทดสอบยางผสมสูตร T458 โดยเครื่องวัดสมบัติการไหลของยางแบบจานสั้นที่อุณหภูมิต่างๆ

T458

TEMPERATURE (C)	ML (lb-in)	MH (lb-in)	Ts2 (minute)	T50 (minute)	T90 (minute)	CURE
130	7.08	-	20.97	-	-	0.90
140	7.07	32.92	11.37	18.40	24.70	1.95
150	6.83	33.21	6.12	10.13	14.03	4.05
160	6.50	32.69	3.30	5.78	7.90	6.60
170	6.29	31.36	1.90	3.20	4.35	9.90
180	6.47	30.47	1.25	2.00	2.63	16.95

รูปที่ ก.1 กราฟผลการทดสอบยางผสมสูตร T458 ที่อุณหภูมิต่างๆ



130 ° C ---◆--- 140 ° C ---◇--- 150 ° C ---■---
 160 ° C ---□--- 170 ° C ---●--- 180 ° C ---○---

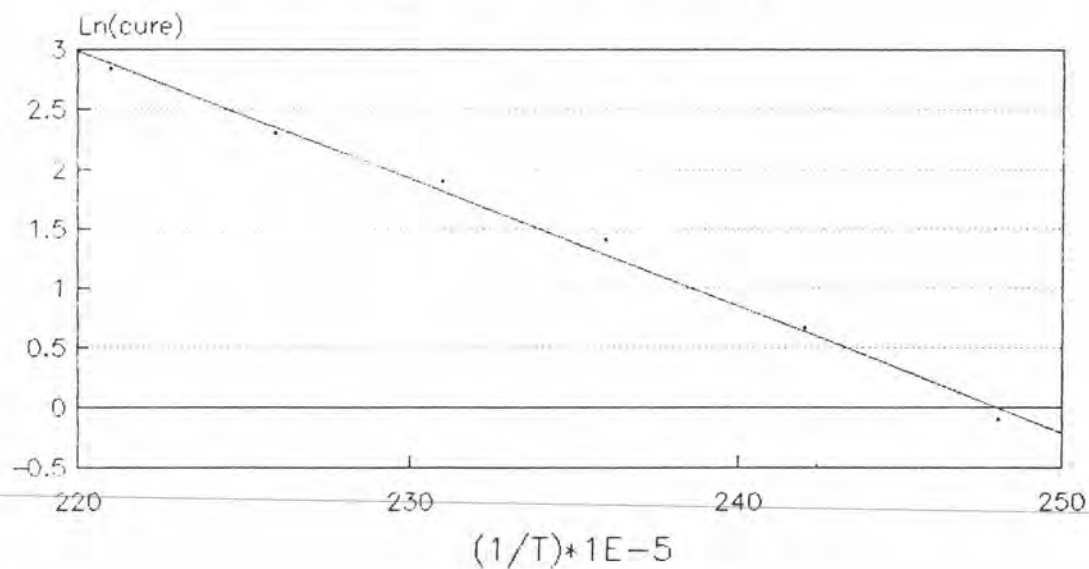
ตารางที่ ก.2 ค่า $1/T$ และ $\ln(\text{cure})$ ของสูตร T458

T458

TEMPERATURE (C)	CURE	TEMPERATURE (K)	1/T	Ln(cure)
130	0.90	403.16	0.00248	-0.10536
140	1.95	413.16	0.00242	0.66783
150	4.05	423.16	0.00236	1.39872
160	6.60	433.16	0.00231	1.88707
170	9.90	443.16	0.00226	2.29253
180	16.95	453.16	0.00221	2.83027

รูปที่ ก.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $1/T$ กับ $\ln(\text{cure})$ ของสูตร T458

$1/T$ vs $\ln(\text{cure})$



T458

$$R \text{ squared} = 0.991119$$

$$\text{ค่าความชัน} = -E/R = -10496.3$$

$$R = 1.987 \text{ cal/mol.K}$$

$$\text{ค่า } E = 20856.33 \text{ cal/mol}$$

ตารางที่ ก.3 ค่า relative rate และค่าเวลาจากการคำนวณ เทียบกับค่า t90
จากการวัดโดยใช้อุณหภูมิอ้างอิง 150 ° C

T458

TEMPERATURE (C)	RELATIVE RATE	TIME(CALCULATE) (MINUTE)	T90 (MINUTE)	% error
130	0.29	48.02	-	-
140	0.55	25.57	24.70	3.42
150	1.00	14.03	14.03	0.00
160	1.77	7.91	7.90	0.17
170	3.06	4.58	4.35	5.03
180	5.17	2.72	2.63	3.16

ตารางที่ ก.4 ค่า relative rate และค่าเวลาจากการคำนวณ เทียบกับค่า t90
จากการวัดโดยใช้อุณหภูมิอ้างอิง 160 ° C

T458

TEMPERATURE (C)	RELATIVE RATE	TIME(CALCULATE) (MINUTE)	T90 (MINUTE)	% error
130	0.16	85.15	-	
140	0.31	25.53	24.70	3.25
150	0.56	14.01	14.03	-0.17
160	1.00	7.90	7.90	0.00
170	1.73	4.57	4.35	4.87
180	2.91	2.71	2.63	2.99

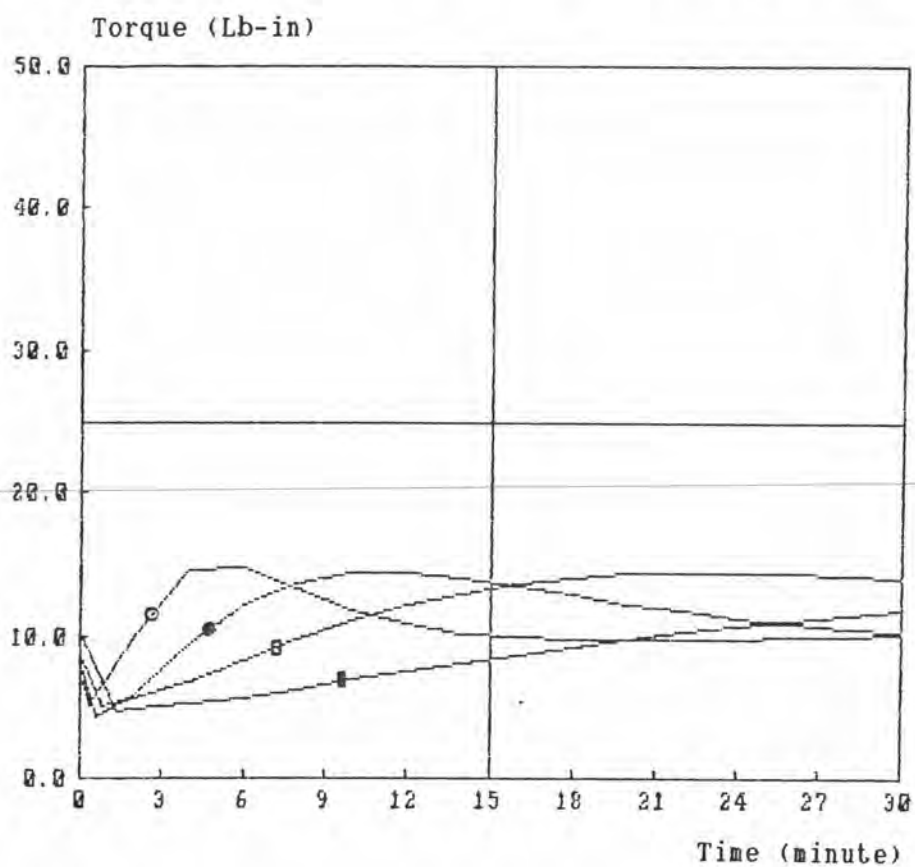
ข้อมูลการทดลองยางผสมสูตร T458-2

ตารางที่ ก.5 ผลการทดสอบยางผสมสูตร T458-2 โดยเครื่องวัดสมบัติการไหลของ
ยางแบบงานสั้นที่อุณหภูมิต่างๆ

T458-2

TEMPERATURE (C)	ML (lb-in)	MH (lb-in)	Ts2 (minute)	T50 (minute)	T90 (minute)	CURE
150	4.77	11.80	9.65	14.63	25.97	0.30
160	5.11	14.51	4.55	8.03	15.68	0.60
170	4.40	14.43	2.37	4.00	7.47	1.65
180	5.14	15.04	1.35	2.03	3.45	4.05

รูปที่ ก.3 กราฟผลการทดสอบยางผสมสูตร T458-2 ที่อุณหภูมิต่างๆ



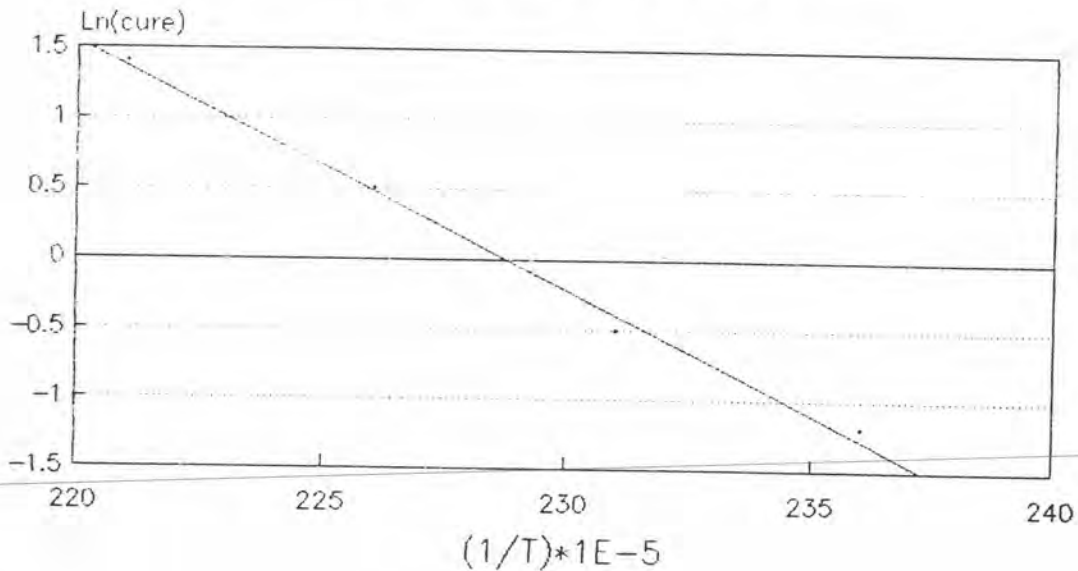
ตารางที่ ก.6 ค่า $1/T$ และ $\ln(\text{cure})$ ของสูตร T458-2

T458-2

TEMPERATURE (C)	CURE	TEMPERATURE (K)	1/T	Ln(cure)
150	0.30	423.16	0.00236	-1.20397
160	0.60	433.16	0.00231	-0.51083
170	1.65	443.16	0.00226	0.50078
180	4.05	453.16	0.00221	1.39872

รูปที่ ก.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $1/T$ กับ $\ln(\text{cure})$ ของสูตร T458-2

$1/T$ vs $\ln(\text{cure})$



T458-2

$$R \text{ squared} = 0.992376$$

$$\text{ค่าความชัน} = -E/R = -16889.0$$

$$R = 1.987 \text{ cal/mol.K}$$

$$\text{ค่า } E = 33558.55 \text{ cal/mol}$$

ตารางที่ ก.7 ค่า relative rate และค่าเวลาจากการคำนวณ เทียบกับค่า t₉₀
จากการวัดโดยใช้อุณหภูมิอ้างอิง 150 ° C

T458-2

TEMPERATURE (C)	RELATIVE RATE	TIME(CALCULATE) (MINUTE)	T ₉₀ (MINUTE)	% error
150	1.00	25.97	25.97	0.00
160	2.51	10.33	15.68	-51.72
170	6.06	4.29	7.47	-74.23
180	14.04	1.85	3.45	-86.57

ตารางที่ ก.8 ค่า relative rate และค่าเวลาจากการคำนวณ เทียบกับค่า t₉₀
จากการวัดโดยใช้อุณหภูมิอ้างอิง 160 ° C

T458-2

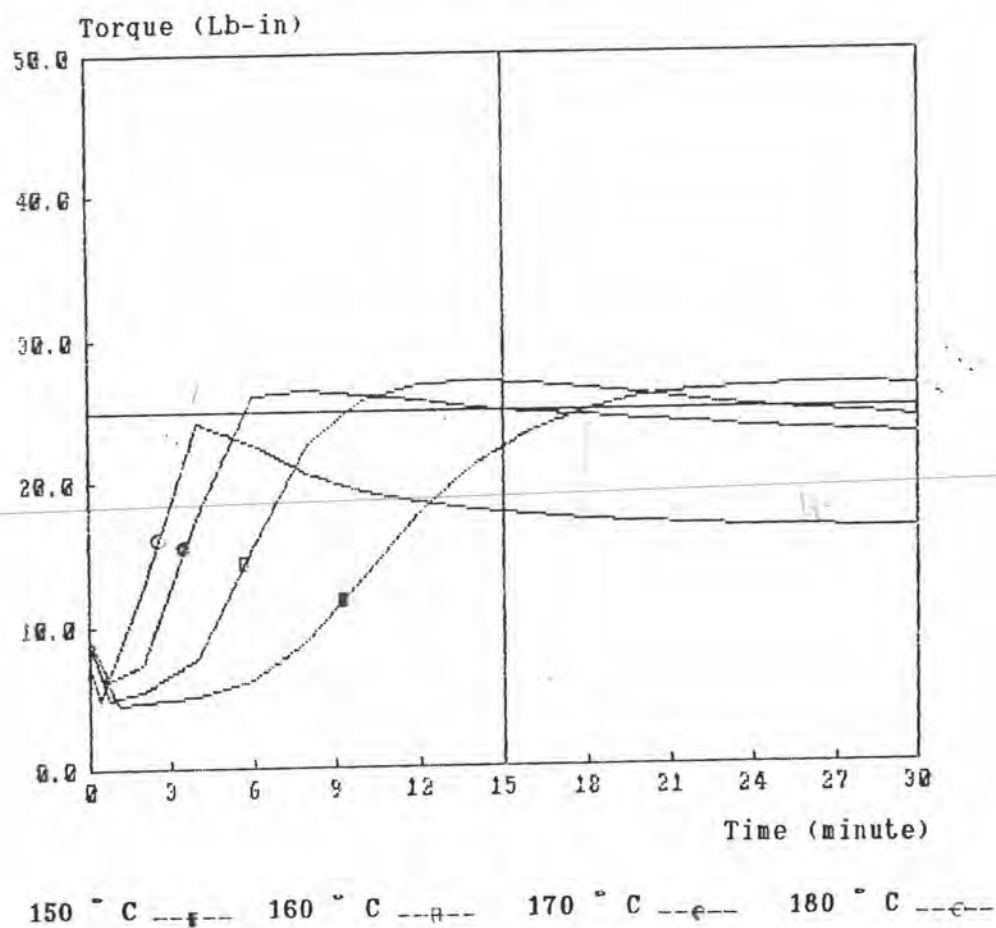
TEMPERATURE (C)	RELATIVE RATE	TIME(CALCULATE) (MINUTE)	T ₉₀ (MINUTE)	% error
150	0.40	39.40	25.97	34.09
160	1.00	15.68	15.68	0.00
170	2.41	6.50	7.47	-14.84
180	5.59	2.81	3.45	-22.97

ข้อมูลการทดลองยางผสมสูตร T458-3

ตารางที่ ก.9 ผลการทดสอบยางผสมสูตร T458-3 โดยเครื่องวัดสมบัติการไหลของ
ยางแบบจวนสั้นที่อุณหภูมิต่างๆ

T458-3						
TEMPERATURE (C)	ML (lb-in)	MH (lb-in)	Ts2 (minute)	T50 (minute)	T90 (minute)	CURE
150	4.56	26.57	6.48	10.98	17.15	2.40
160	4.96	27.05	3.65	6.10	9.25	4.35
170	4.24	25.87	2.20	3.60	5.28	8.25
180	4.94	24.17	1.33	2.17	3.10	12.30

รูปที่ ก.5 กราฟผลการทดสอบยางผสมสูตร T458-3 ที่อุณหภูมิต่างๆ

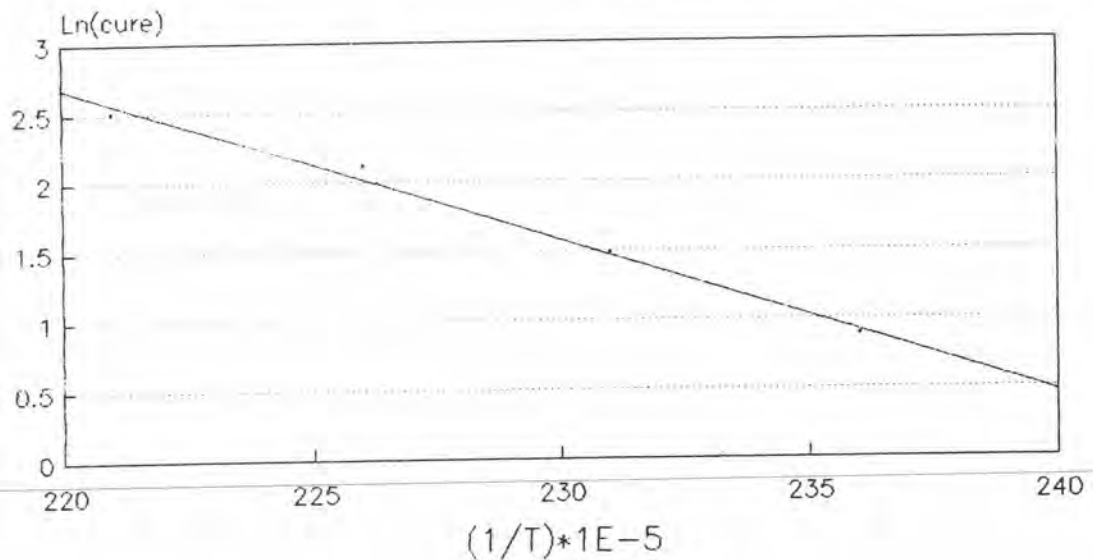


ตารางที่ ก.10 ค่า $1/T$ และ $\ln(\text{cure})$ ของสูตร T458-3

T458-3		TEMPERATURE (C)	CURE	TEMPERATURE (K)	1/T	Ln(cure)
		150	2.40	423.16	0.00236	0.87547
		160	4.35	433.16	0.00231	1.47018
		170	8.25	443.16	0.00226	2.11021
		180	12.30	453.16	0.00221	2.50960

รูปที่ ก.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $1/T$ กับ $\ln(\text{cure})$ ของสูตร T458-3

$1/T$ vs $\ln(\text{cure})$



T458-3

$$R \text{ squared} = 0.993951$$

$$\text{ค่าความชัน} = -E/R = -10641.7$$

$$R = 1.987 \text{ cal/mol.K}$$

$$\text{ค่า } E = 21145.09 \text{ cal/mol}$$

ตารางที่ ก.11 ค่า relative rate และค่าเวลาจากการคำนวณเทียบกับค่า t_{90}
จากการวัดโดยใช้อุณหภูมิอ้างอิง 150 ° C

T458-3

TEMPERATURE (C)	RELATIVE RATE	TIME(CALCULATE) (MINUTE)	T90 (MINUTE)	% error
150	1.00	17.15	17.15	0.00
160	1.79	9.60	9.25	3.61
170	3.11	5.51	5.28	4.22
180	5.28	3.25	3.10	4.47

ตารางที่ ก.12 ค่า relative rate และค่าเวลาจากการคำนวณเทียบกับค่า t_{90}
จากการวัดโดยใช้อุณหภูมิอ้างอิง 160 ° C

T458-3

TEMPERATURE (C)	RELATIVE RATE	TIME(CALCULATE) (MINUTE)	T90 (MINUTE)	% error
150	0.56	16.53	17.15	-3.75
160	1.00	9.25	9.25	0.00
170	1.74	5.31	5.28	0.63
180	2.96	3.13	3.10	0.89

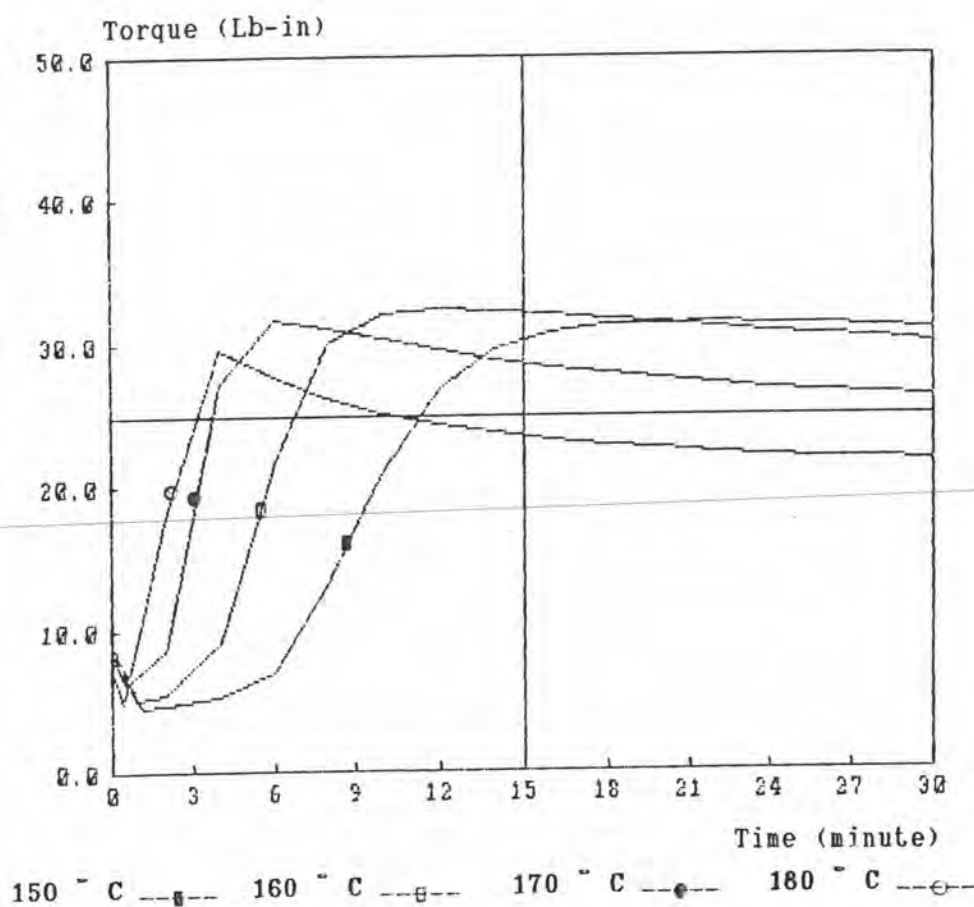
ข้อมูลการทดลองยางผสมสูตร T458-4

ตารางที่ ก.13 ผลการทดสอบยางผสมสูตร T458-4 โดยเครื่องวัดสมบัติการไหลของยางแบบจวนสั้นที่อุณหภูมิต่างๆ

T458-4

TEMPERATURE (C)	ML (lb-in)	MH (lb-in)	Ts2 (minute)	T50 (minute)	T90 (minute)	CURE
150	4.52	31.39	5.68	9.22	13.22	3.90
160	5.00	32.44	3.32	5.57	7.87	7.65
170	6.21	31.65	1.93	3.17	4.38	11.10
180	4.95	29.83	1.23	1.98	2.65	21.60

รูปที่ ก.7 กราฟผลการทดสอบยางผสมสูตร T458-4 ที่อุณหภูมิต่างๆ



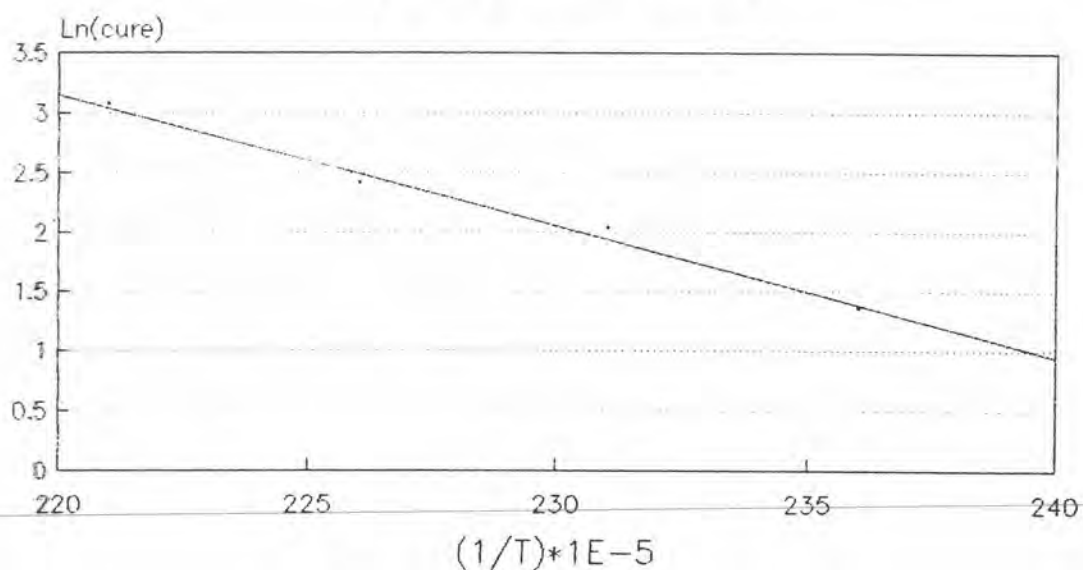
ตารางที่ ก.14 ค่า $1/T$ และ $\ln(\text{cure})$ ของสูตร T458-4

T458-4

TEMPERATURE (C)	CURE	TEMPERATURE (K)	1/T	Ln(cure)
150	3.90	423.16	0.00236	1.36098
160	7.65	433.16	0.00231	2.03471
170	11.10	443.16	0.00226	2.40695
180	21.60	453.16	0.00221	3.07269

รูปที่ ก.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $1/T$ กับ $\ln(\text{cure})$ ของสูตร T458-4

$1/T$ vs $\ln(\text{cure})$



T458-4

$$R \text{ squared} = 0.988238$$

$$\text{ค่าความชัน} = -E/R = -10558.6$$

$$R = 1.987 \text{ cal/mol.K}$$

$$\text{ค่า } E = 20980.09 \text{ cal/mol}$$

ตารางที่ ก.15 ค่า relative rate และค่าเวลาจากการคำนวณเทียบกับค่า t90
จากการวัดโดยใช้อุณหภูมิอ้างอิง 150 ° C

T458-4

TEMPERATURE (C)	RELATIVE RATE	TIME(CALCULATE) (MINUTE)	T90 (MINUTE)	% error
150	1.00	13.22	13.22	0.00
160	1.78	7.43	7.87	-5.91
170	3.08	4.29	4.38	-2.16
180	5.22	2.53	2.65	-4.57

ตารางที่ ก.16 ค่า relative rate และค่าเวลาจากการคำนวณเทียบกับค่า t90
จากการวัดโดยใช้อุณหภูมิอ้างอิง 160 ° C

T458-4

TEMPERATURE (C)	RELATIVE RATE	TIME(CALCULATE) (MINUTE)	T90 (MINUTE)	% error
150	0.56	14.00	13.22	5.58
160	1.00	7.87	7.87	0.00
170	1.73	4.54	4.38	3.53
180	2.93	2.68	2.65	1.26

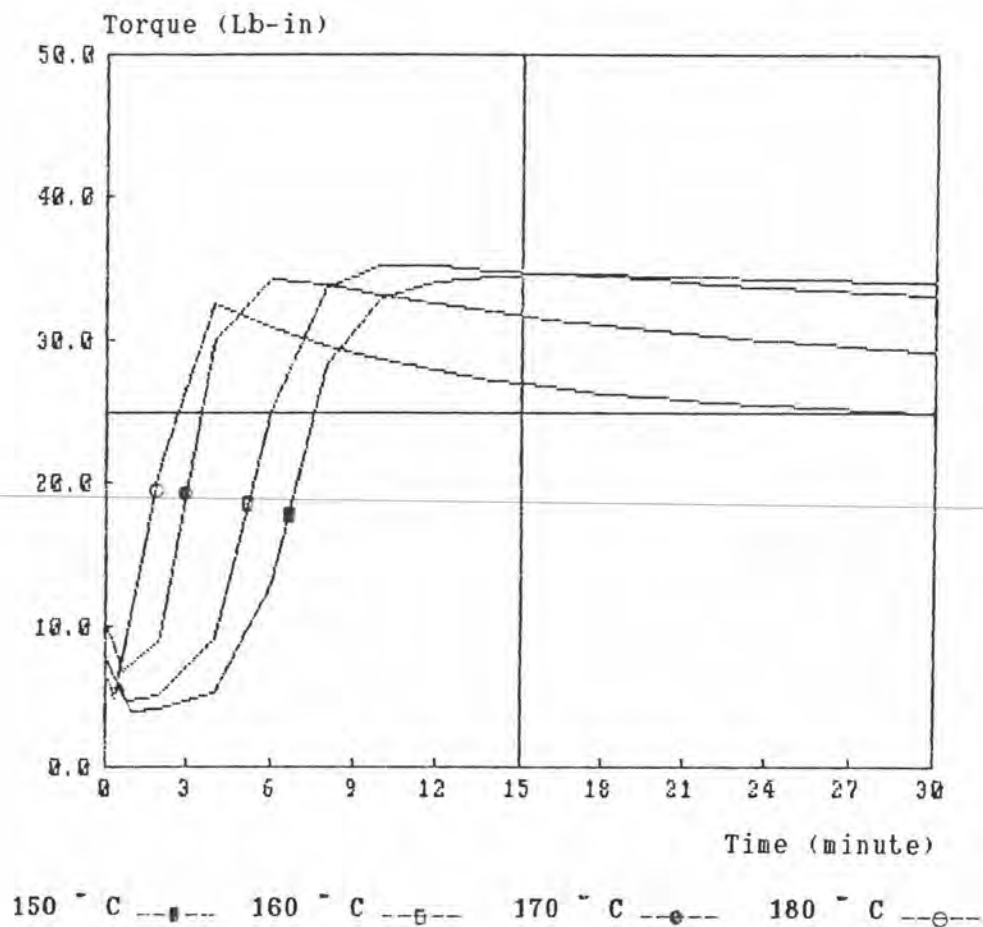
ข้อมูลการทดลองยางผสมสูตร T458-5

ตารางที่ ก.17 ผลการทดสอบยางผสมสูตร T458-5 โดยเครื่องวัดสมบัติการไหลของ
ยางแบบจวนสั้นที่อุณหภูมิต่างๆ

T458-5

TEMPERATURE (C)	ML (lb-in)	MH (lb-in)	Ts2 (minute)	T50 (minute)	T90 (minute)	CURE
150	3.98	34.61	4.55	6.68	9.07	8.40
160	4.63	35.27	3.23	5.43	7.30	10.05
170	4.31	34.09	1.98	3.15	4.07	17.25
180	4.91	32.83	1.20	1.93	2.48	27.30

รูปที่ ก.9 กราฟผลการทดสอบยางผสมสูตร T458-5 ที่อุณหภูมิต่างๆ



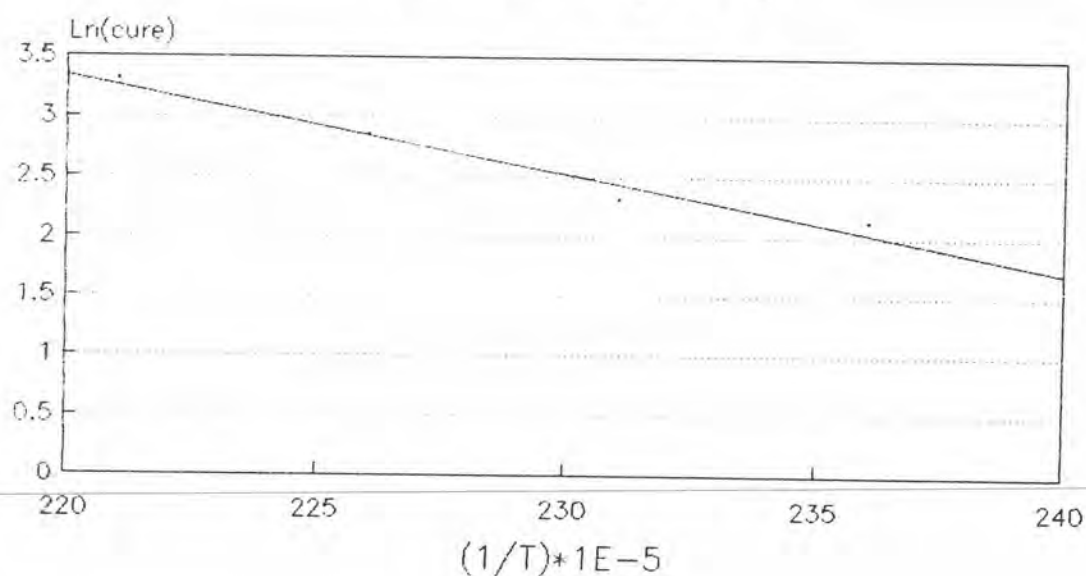
ตารางที่ ก.18 ค่า $1/T$ และ $\ln(\text{cure})$ ของสูตร T458-5

T458-5

TEMPERATURE (C)	CURE	TEMPERATURE (K)	1/T	Ln(cure)
150	8.40	423.16	0.00236	2.12823
160	10.05	433.16	0.00231	2.30757
170	17.25	443.16	0.00226	2.84781
180	27.30	453.16	0.00221	3.30689

รูปที่ ก.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $1/T$ กับ $\ln(\text{cure})$ ของสูตร T458-5

$1/T$ vs $\ln(\text{cure})$



T458-5

$$R \text{ squared} = 0.959386$$

$$\text{ค่าความชัน} = -E/R = -7789.30$$

$$R = 1.987 \text{ cal/mol.K}$$

$$\text{ค่า } E = 15477.34 \text{ cal/mol}$$

ตารางที่ ก.19 ค่า relative rate และค่าเวลาจากการคำนวณเทียบกับค่า t₉₀
จากการวัดโดยใช้อุณหภูมิอ้างอิง 150 ° C

T458-5

TEMPERATURE (C)	RELATIVE RATE	TIME(CALCULATE) (MINUTE)	T90 (MINUTE)	% error
150	1.00	9.07	9.07	0.00
160	1.53	5.93	7.30	-23.10
170	2.30	3.95	4.07	-2.98
180	3.38	2.68	2.48	7.51

ตารางที่ ก.20 ค่า relative rate และค่าเวลาจากการคำนวณเทียบกับค่า t₉₀
จากการวัดโดยใช้อุณหภูมิอ้างอิง 160 ° C

T458-5

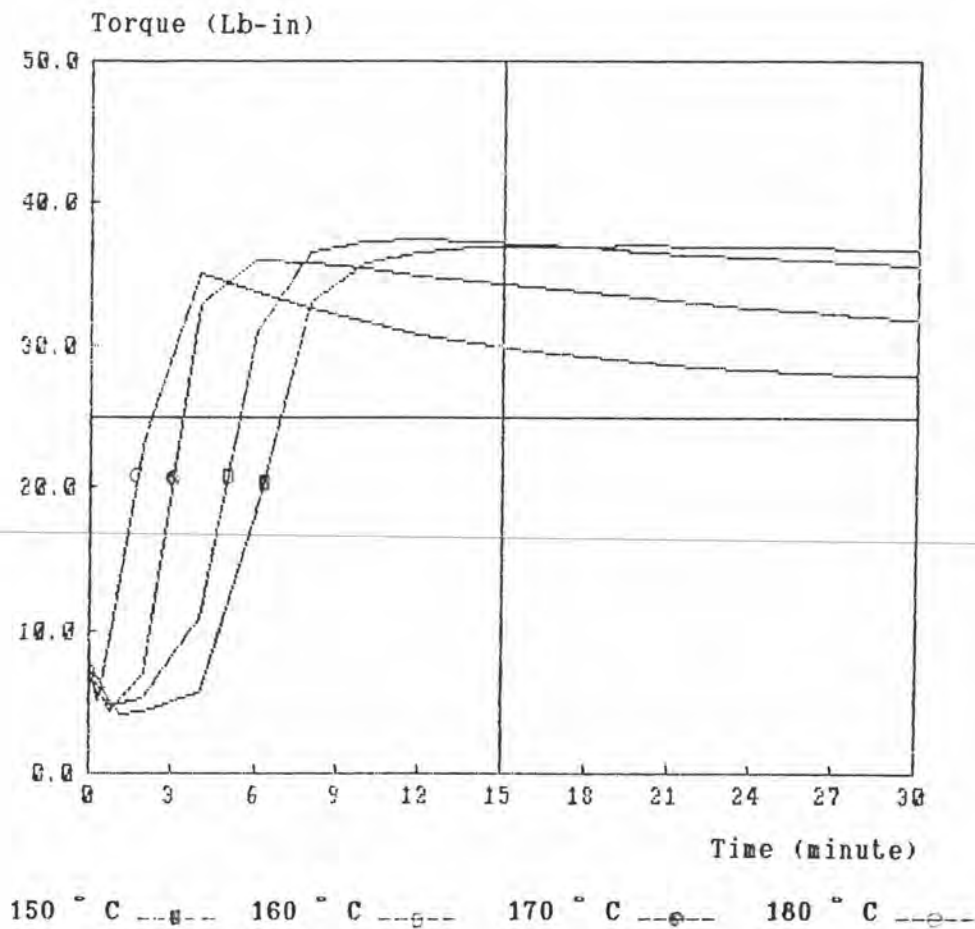
TEMPERATURE (C)	RELATIVE RATE	TIME(CALCULATE) (MINUTE)	T90 (MINUTE)	% error
150	0.65	11.17	9.07	18.77
160	1.00	7.30	7.30	0.00
170	1.50	4.87	4.07	16.34
180	2.21	3.30	2.48	24.87

ข้อมูลการทดลองยางผสมสูตร T458-6

ตารางที่ ก.21 ผลการทดสอบยางผสมสูตร T458-6 โดยเครื่องวัดสมบัติการไหลของ
ยางแบบจวนสั้นที่อุณหภูมิต่างๆ

T458-6						
TEMPERATURE (C)	ML (lb-in)	MH (lb-in)	Ts2 (minute)	T50 (minute)	T90 (minute)	CURE
150	4.14	37.03	4.22	6.18	8.30	10.95
160	4.70	37.41	3.03	5.00	6.63	12.00
170	4.28	36.03	1.87	3.12	4.02	17.55
180	5.00	35.25	1.13	1.88	2.38	27.75

รูปที่ ก.11 กราฟผลการทดสอบยางผสมสูตร T458-6 ที่อุณหภูมิต่างๆ



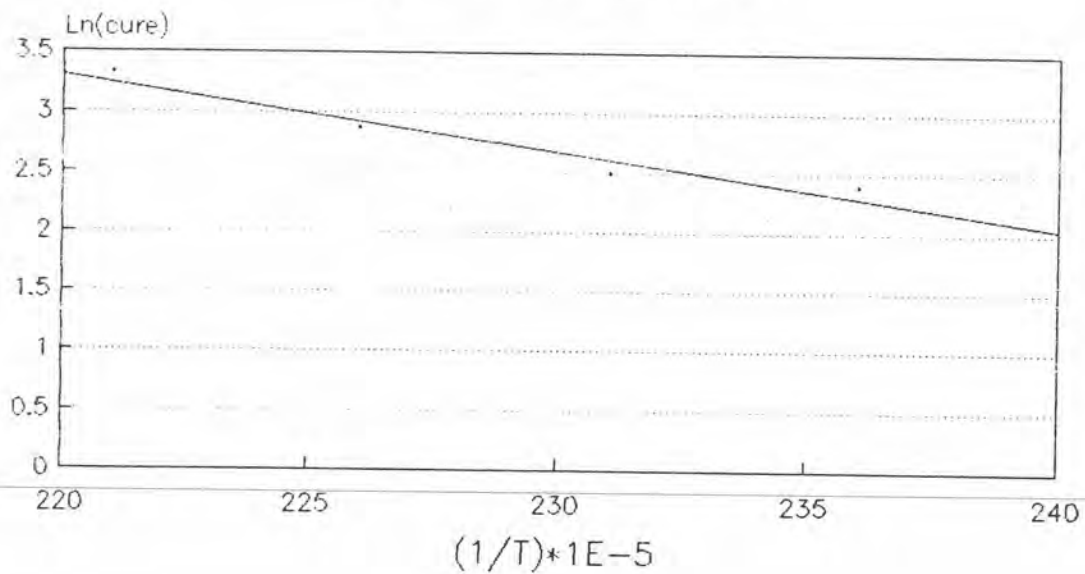
ตารางที่ ก.22 ค่า $1/T$ และ $\ln(\text{cure})$ ของสูตร T458-6

T458-6

TEMPERATURE (C)	CURE	TEMPERATURE (K)	1/T	Ln(cure)
150	10.95	423.16	0.00236	2.39334
160	12.00	433.16	0.00231	2.48491
170	17.55	443.16	0.00226	2.86505
180	27.75	453.16	0.00221	3.32324

รูปที่ ก.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $1/T$ กับ $\ln(\text{cure})$ ของสูตร T458-6

$1/T$ vs $\ln(\text{cure})$



T458-6

$$R \text{ squared} = 0.923194$$

$$\text{ค่าความชัน} = -E/R = -6044.33$$

$$R = 1.987 \text{ cal/mol.K}$$

$$\text{ค่า } E = 12010.10 \text{ cal/mol}$$

ตารางที่ ก.23 ค่า relative rate และค่าเวลาจากการคำนวณเทียบกับค่า t₉₀
จากการวัดโดยใช้อุณหภูมิอ้างอิง 150 °C

T458-6

TEMPERATURE (C)	RELATIVE RATE	TIME(CALCULATE) (MINUTE)	T ₉₀ (MINUTE)	% error
150	1.00	8.30	8.30	0.00
160	1.39	5.97	6.63	-11.08
170	1.91	4.36	4.02	7.72
180	2.57	3.22	2.38	26.18

ตารางที่ ก.24 ค่า relative rate และค่าเวลาจากการคำนวณเทียบกับค่า t₉₀
จากการวัดโดยใช้อุณหภูมิอ้างอิง 160 °C

T458-6

TEMPERATURE (C)	RELATIVE RATE	TIME(CALCULATE) (MINUTE)	T ₉₀ (MINUTE)	% error
150	0.72	9.22	8.30	9.98
160	1.00	6.63	6.63	0.00
170	1.37	4.84	4.02	16.93
180	1.85	3.58	2.38	33.55

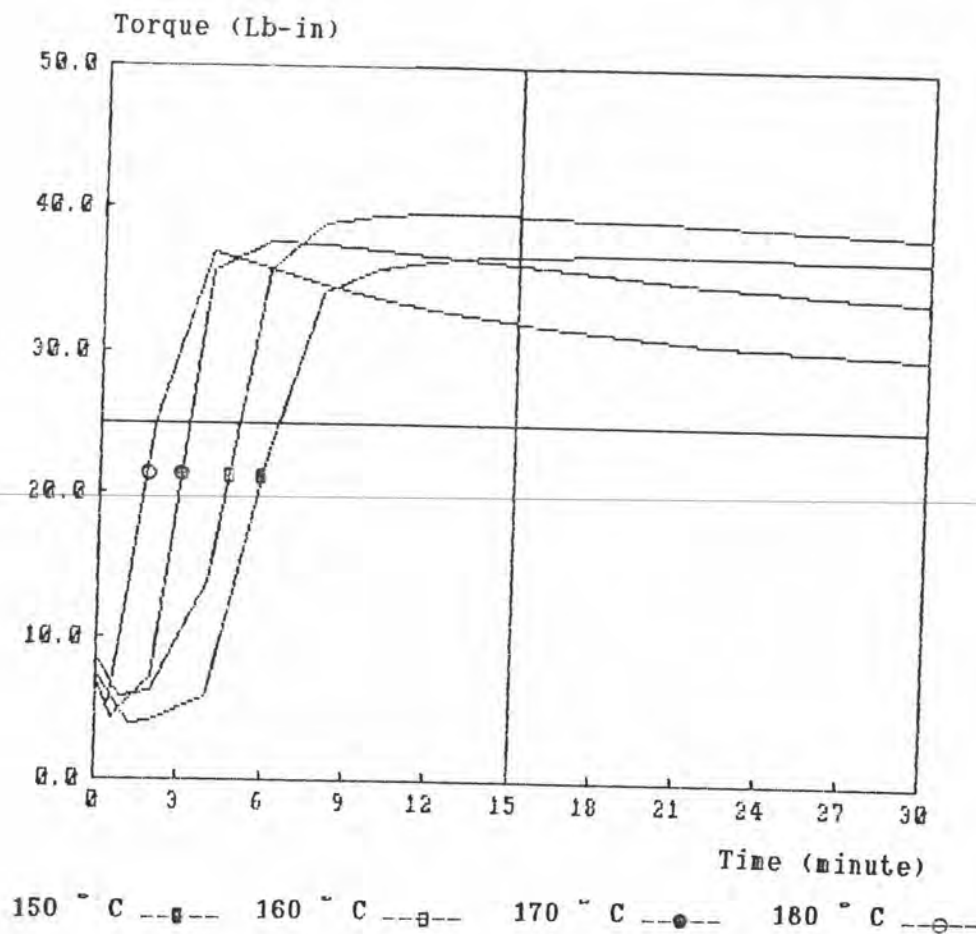
ข้อมูลการทดลองยางผสมสูตร T458-7

ตารางที่ ก.25 ผลการทดสอบยางผสมสูตร T458-7 โดยเครื่องวัดสมบัติการไหลของยางแบบจวนสั้นที่อุณหภูมิต่างๆ

T458-7

TEMPERATURE (C)	ML (lb-in)	MH (lb-in)	Ts2 (minute)	T50 (minute)	T90 (minute)	CURE
150	3.92	36.89	4.07	5.87	7.73	14.25
160	5.72	39.67	2.92	4.70	6.18	14.55
170	4.22	37.61	1.82	2.98	3.77	21.00
180	5.10	37.00	1.15	1.88	2.33	32.40

รูปที่ ก.13 กราฟผลการทดสอบยางผสมสูตร T458-7 ที่อุณหภูมิต่างๆ



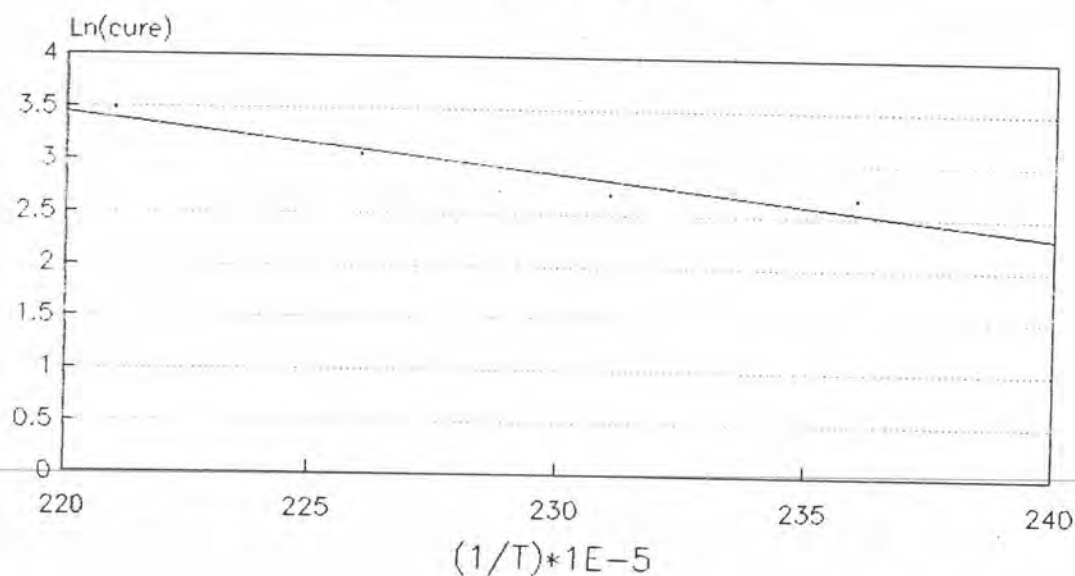
ตารางที่ ก.26 ค่า $1/T$ และ $\ln(\text{cure})$ ของสูตร T458-7

T458-7

TEMPERATURE (C)	CURE	TEMPERATURE (K)	1/T	Ln(cure)
150	14.25	423.16	0.00236	2.65676
160	14.55	433.16	0.00231	2.67759
170	21.00	443.16	0.00226	3.04452
180	32.40	453.16	0.00221	3.47816

รูปที่ ก.14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $1/T$ กับ $\ln(\text{cure})$ ของสูตร T458-7

$1/T$ vs $\ln(\text{cure})$



T458-7

$$R \text{ squared} = 0.883712$$

$$\text{ค่าความชัน} = -E/R = -5390.96$$

$$R = 1.987 \text{ cal/mol.K}$$

$$\text{ค่า } E = 10711.85 \text{ cal/mol}$$

ตารางที่ ก.27 ค่า relative rate และค่าเวลาจากการคำนวณเทียบกับค่า t90
จากการวัดโดยใช้อุณหภูมิอ้างอิง 150 ° C

T458-7

TEMPERATURE (C)	RELATIVE RATE	TIME(CALCULATE) (MINUTE)	T90 (MINUTE)	% error
150	1.00	7.73	7.73	0.00
160	1.34	5.76	6.18	-7.29
170	1.78	4.35	3.77	13.33
180	2.32	3.33	2.33	29.94

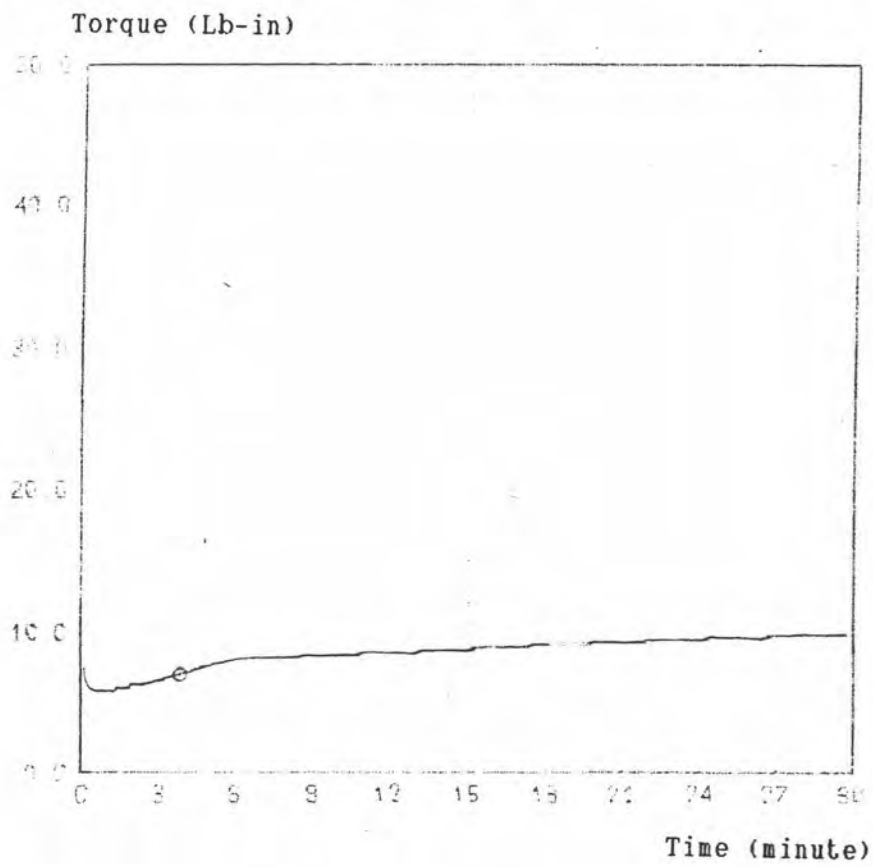
ตารางที่ ก.28 ค่า relative rate และค่าเวลาจากการคำนวณเทียบกับค่า t90
จากการวัดโดยใช้อุณหภูมิอ้างอิง 160 ° C

T458-7

TEMPERATURE (C)	RELATIVE RATE	TIME(CALCULATE) (MINUTE)	T90 (MINUTE)	% error
150	0.75	8.29	7.73	6.79
160	1.00	6.18	6.18	0.00
170	1.32	4.67	3.77	19.22
180	1.73	3.57	2.33	34.70

ข้อมูลการทดลองยางผสมสูตร T458-S1

รูปที่ ก.15 กราฟผลการทดสอบยางผสมสูตร T458-S1 ที่อุณหภูมิต่างๆ



150 ° C ---●--- 160 ° C ---●--- 170 ° C ---●--- 180 ° C ---●---

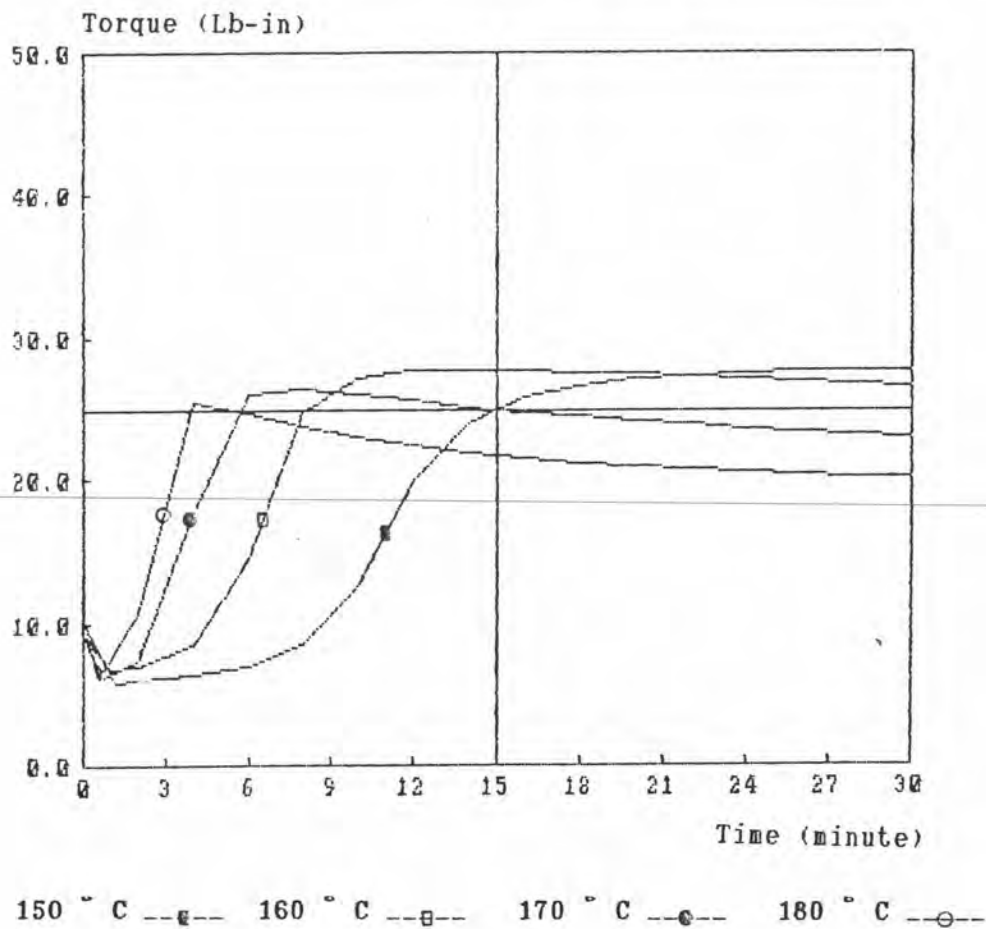
ข้อมูลการทดลองยางผสมสูตร T458-S2

ตารางที่ ก.29 ผลการทดสอบยางผสมสูตร T458-S2 โดยเครื่องวัดสมบัติการไหล
ของยางแบบจานสั้นที่อุณหภูมิต่างๆ

T458-S2

TEMPERATURE (C)	ML (lb-in)	MH (lb-in)	Ts2 (minute)	T50 (minute)	T90 (minute)	CURE
150	5.79	27.70	7.38	11.08	15.47	3.90
160	6.65	27.81	4.13	6.40	8.52	6.90
170	6.24	26.39	2.48	3.85	5.02	8.85
180	6.16	25.47	1.62	2.45	3.15	12.90

รูปที่ ก.16 กราฟผลการทดสอบยางผสมสูตร T458-S2 ที่อุณหภูมิต่างๆ



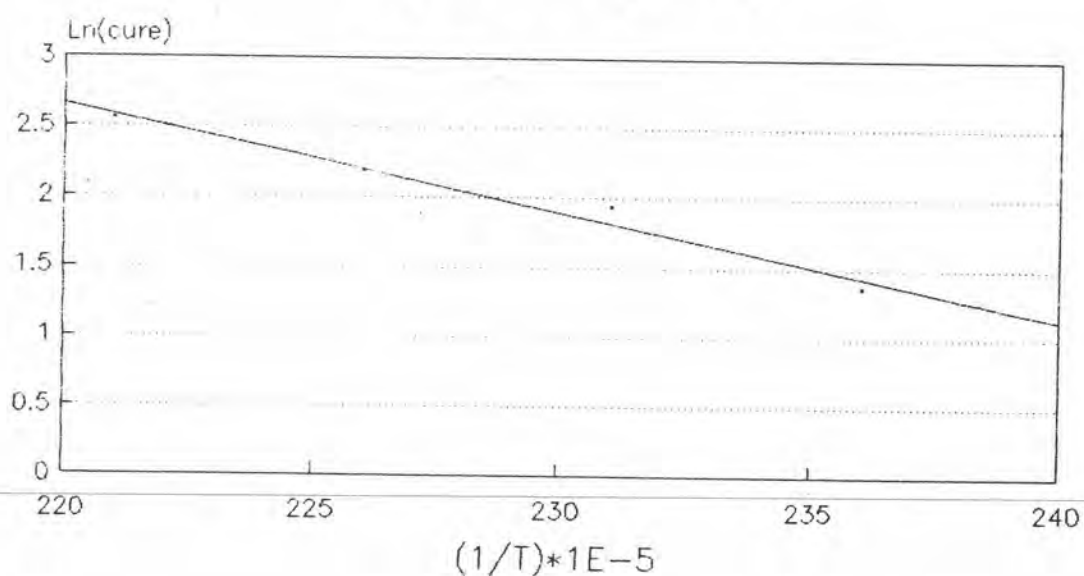
ตารางที่ ก.30 ค่า $1/T$ และ $\ln(\text{cure})$ ของสูตร T458-S2

T458-S2

TEMPERATURE (C)	CURE	TEMPERATURE (K)	1/T	Ln(cure)
150	3.90	423.16	0.00236	1.36098
160	6.90	433.16	0.00231	1.93152
170	8.85	443.16	0.00226	2.18042
180	12.90	453.16	0.00221	2.55723

รูปที่ ก.17 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $1/T$ กับ $\ln(\text{cure})$ ของสูตร T458-S2

$1/T$ vs $\ln(\text{cure})$



T458-S2

R squared = 0.978376

ค่าความชัน = $-E/R$ = -7373.96

R = 1.987 cal/mol.K

ค่า E = 14652.07 cal/mol

ตารางที่ ก.31 ค่า relative rate และค่าเวลาจากการคำนวณเทียบกับค่า t90
จากการวัดโดยใช้อุณหภูมิอ้างอิง 150 ° C

T458-S2

TEMPERATURE (C)	RELATIVE RATE	TIME(CALCULATE) (MINUTE)	T90 (MINUTE)	% error
150	1.00	15.47	15.47	0.00
160	1.50	10.35	8.52	17.65
170	2.20	7.05	5.02	28.75
180	3.17	4.88	3.15	35.46

ตารางที่ ก.32 ค่า relative rate และค่าเวลาจากการคำนวณเทียบกับค่า t90
จากการวัดโดยใช้อุณหภูมิอ้างอิง 160 ° C

T458-S2

TEMPERATURE (C)	RELATIVE RATE	TIME(CALCULATE) (MINUTE)	T90 (MINUTE)	% error
150	0.67	12.74	15.47	-21.43
160	1.00	8.52	8.52	0.00
170	1.47	5.80	5.02	13.48
180	2.12	4.02	3.15	21.63

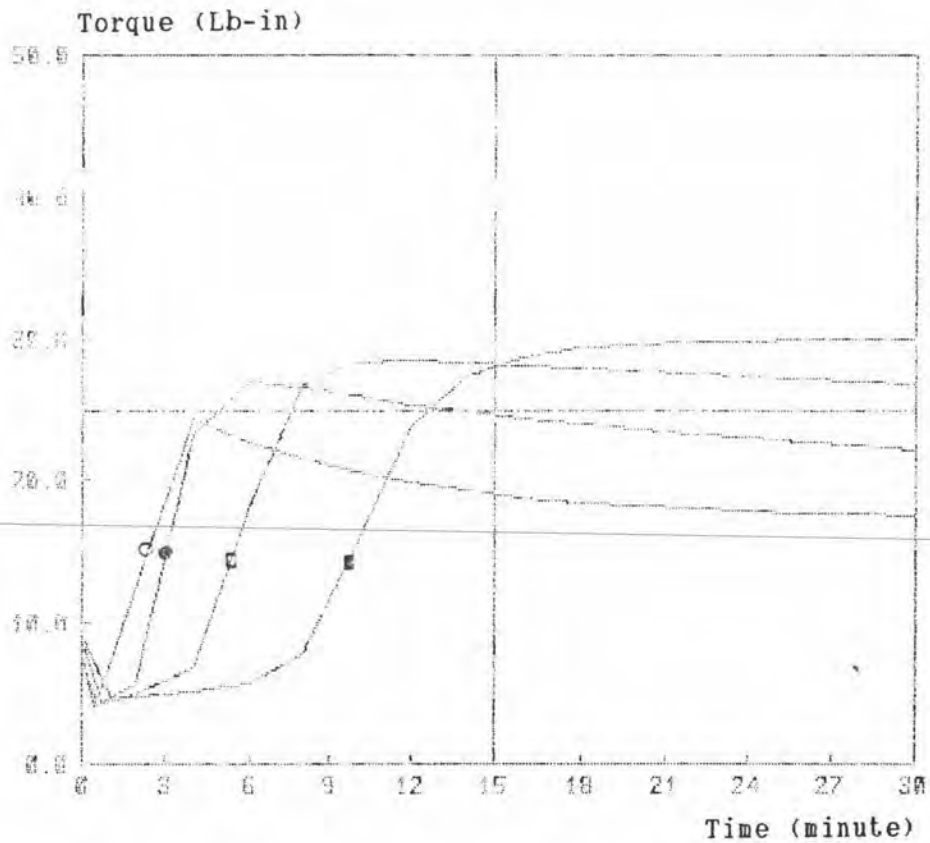
ข้อมูลการทดลองยางผสมสูตร T458-S21

ตารางที่ ก.33 ผลการทดสอบยางผสมสูตร T458-S21 โดยเครื่องวัดสมบัติการไหล
ของยางแบบงานสั้นที่อุณหภูมิต่างๆ

T458-S21

TEMPERATURE (C)	ML (lb-in)	MH (lb-in)	Ts2 (minute)	T50 (minute)	T90 (minute)	CURE
150	4.44	29.94	7.08	10.33	14.07	5.10
160	4.22	28.44	3.73	5.80	7.58	9.60
170	4.08	27.03	2.13	3.33	4.27	12.45
180	3.85	24.76	1.40	2.10	2.62	21.60

รูปที่ ก.18 กราฟผลการทดสอบยางผสมสูตร T458-S21 ที่อุณหภูมิต่างๆ



150 °C ---□--- 160 °C ---■--- 170 °C ---◇--- 180 °C ---○---

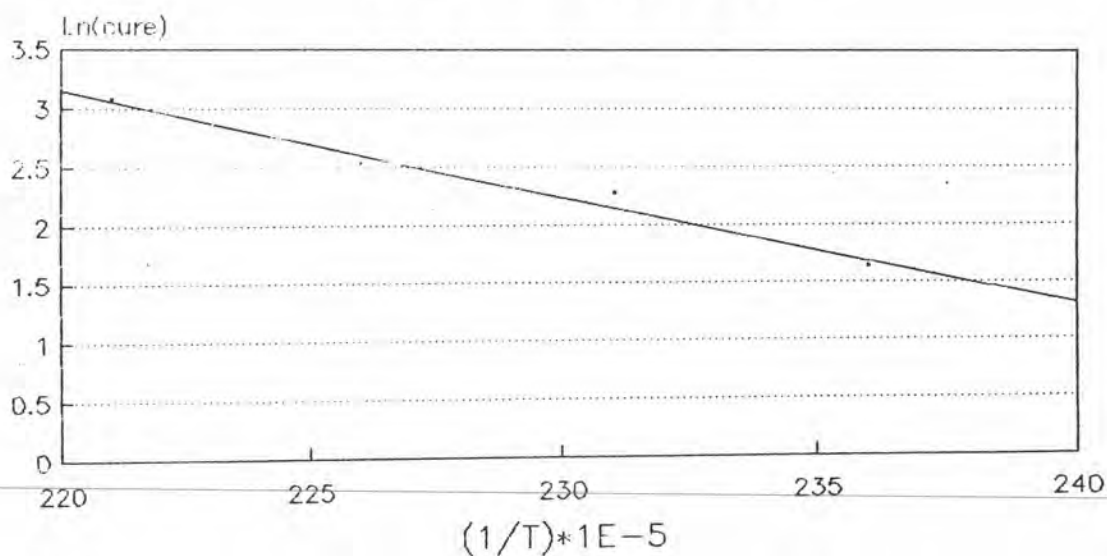
ตารางที่ ก.34 ค่า $1/T$ และ $\ln(\text{cure})$ ของสูตร T458-S21

T458-S21

TEMPERATURE (C)	CURE	TEMPERATURE (K)	1/T	Ln(cure)
150	5.10	423.16	0.00236	1.62924
160	9.60	433.16	0.00231	2.26176
170	12.45	443.16	0.00226	2.52172
180	21.60	453.16	0.00221	3.07269

รูปที่ ก.19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $1/T$ กับ $\ln(\text{cure})$ ของสูตร T458-S21

$1/T$ vs $\ln(\text{cure})$



T458-S21

$$R \text{ squared} = 0.979285$$

$$\text{ค่าความชัน} = -E/R = -8807.13$$

$$R = 1.987 \text{ cal/mol.K}$$

$$\text{ค่า } E = 17499.77 \text{ cal/mol}$$

ตารางที่ ก.35 ค่า relative rate และค่าเวลาจากการคำนวณเทียบกับค่า t90
จากการวัดโดยใช้อุณหภูมิอ้างอิง 150 ° C

T458-S21

TEMPERATURE (C)	RELATIVE RATE	TIME(CALCULATE) (MINUTE)	T90 (MINUTE)	% error
150	1.00	14.07	14.07	0.00
160	1.62	8.70	7.58	12.89
170	2.56	5.50	4.27	22.36
180	3.97	3.55	2.62	26.14

ตารางที่ ก.36 ค่า relative rate และค่าเวลาจากการคำนวณเทียบกับค่า t90
จากการวัดโดยใช้อุณหภูมิอ้างอิง 160 ° C

T458-S21

TEMPERATURE (C)	RELATIVE RATE	TIME(CALCULATE) (MINUTE)	T90 (MINUTE)	% error
150	0.62	12.26	14.07	-14.80
160	1.00	7.58	7.58	0.00
170	1.58	4.79	4.27	10.87
180	2.45	3.09	2.62	15.21

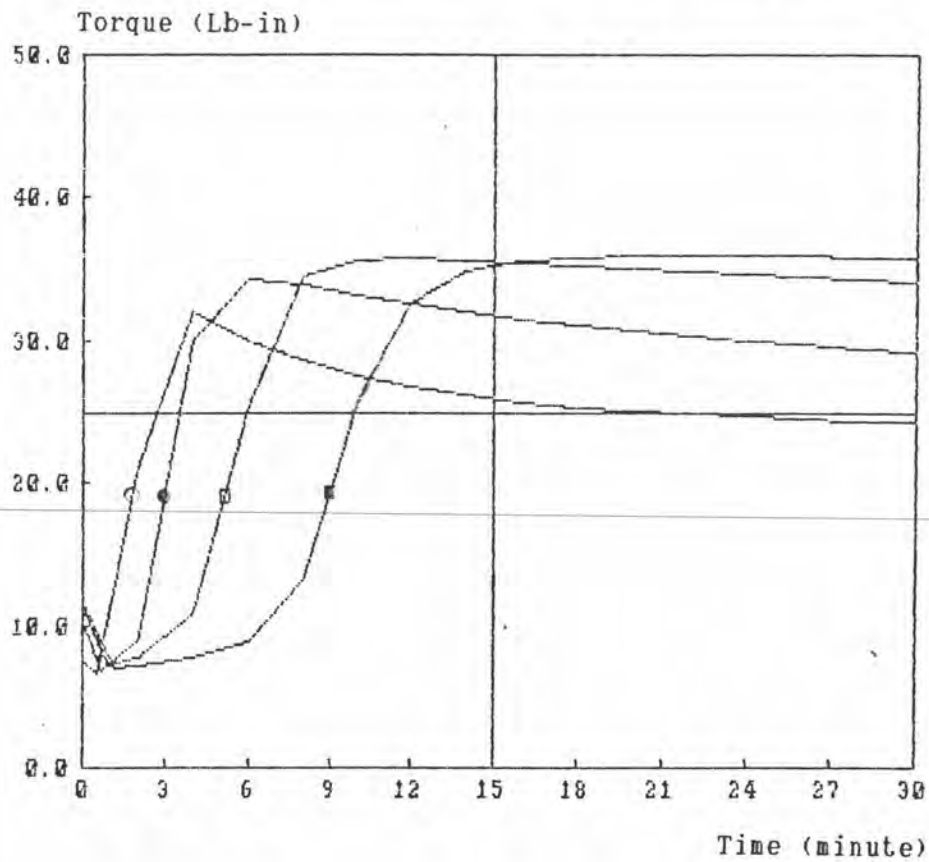
ข้อมูลการทดลองยางผสมสูตร T458-S3

ตารางที่ ก.37 ผลการทดสอบยางผสมสูตร T458-S3 โดยเครื่องวัดสมบัติการไหล
ของยางแบบจวนสั้นที่อุณหภูมิต่างๆ

T458-S3

TEMPERATURE (C)	ML (lb-in)	MH (lb-in)	Ts2 (minute)	T50 (minute)	T90 (minute)	CURE
150	6.94	35.97	6.22	9.35	12.25	6.45
160	7.10	35.73	3.37	5.60	7.25	9.00
170	6.75	34.37	1.98	3.28	4.23	16.80
180	6.47	32.50	1.18	1.93	2.48	25.50

รูปที่ ก.20 กราฟผลการทดสอบยางผสมสูตร T458-S3 ที่อุณหภูมิต่างๆ



150 ° C ---■--- 160 ° C ---●--- 170 ° C ---▲--- 180 ° C ---◆---

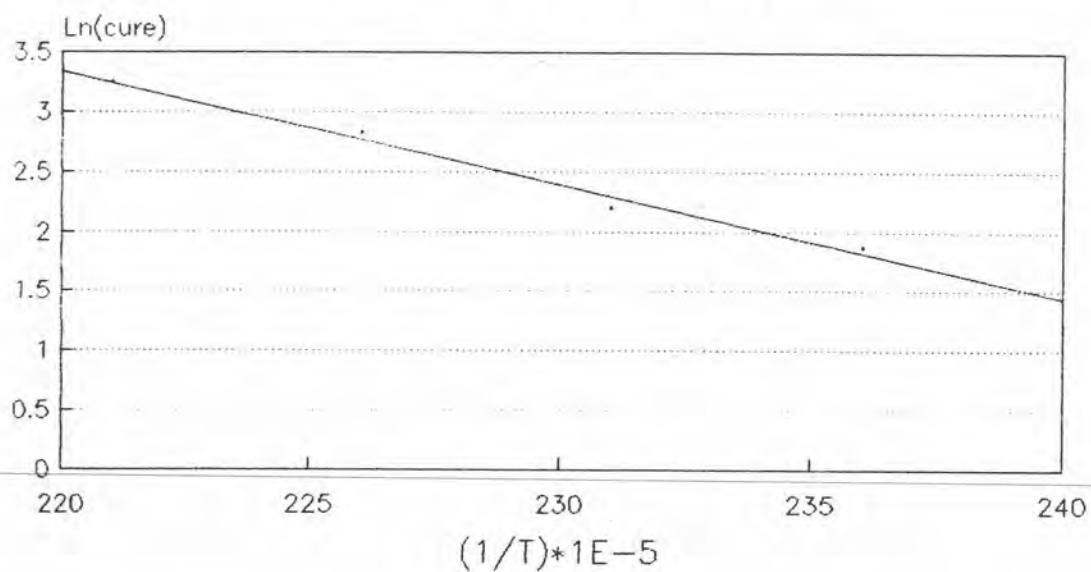
ตารางที่ ก. 38 ค่า $1/T$ และ $\ln(\text{cure})$ ของสูตร T458-S3

T458-S3

TEMPERATURE (C)	CURE	TEMPERATURE (K)	1/T	Ln(cure)
150	6.45	423.16	0.00236	1.86408
160	9.00	433.16	0.00231	2.19722
170	16.30	443.16	0.00226	2.82138
180	25.50	453.16	0.00221	3.23868

รูปที่ ก.21 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $1/T$ กับ $\ln(\text{cure})$ ของสูตร T458-S3

$1/T$ vs $\ln(\text{cure})$



T458-S3

$$R \text{ squared} = 0.985516$$

$$\text{ค่าความชัน} = -E/R = -9094.11$$

$$R = 1.987 \text{ cal/mol.K}$$

$$\text{ค่า } E = 18070.01 \text{ cal/mol}$$

ตารางที่ ก. 39 ค่า relative rate และค่าเวลาจากการคำนวณเทียบกับค่า t_{90}
จากการวัดโดยใช้อุณหภูมิอ้างอิง 150°C

T458-S3

TEMPERATURE ($^{\circ}\text{C}$)	RELATIVE RATE	TIME(CALCULATE) (MINUTE)	T_{90} (MINUTE)	% error
150	1.00	12.25	12.25	0.00
160	1.64	7.46	7.25	2.80
170	2.64	4.64	4.23	8.92
180	4.15	2.95	2.48	16.01

ตารางที่ ก.40 ค่า relative rate และค่าเวลาจากการคำนวณเทียบกับค่า t_{90}
จากการวัดโดยใช้อุณหภูมิอ้างอิง 160°C

T458-S3

TEMPERATURE ($^{\circ}\text{C}$)	RELATIVE RATE	TIME(CALCULATE) (MINUTE)	T_{90} (MINUTE)	% error
150	0.61	11.91	12.25	-2.88
160	1.00	7.25	7.25	0.00
170	1.61	4.51	4.23	6.30
180	2.53	2.87	2.48	13.60

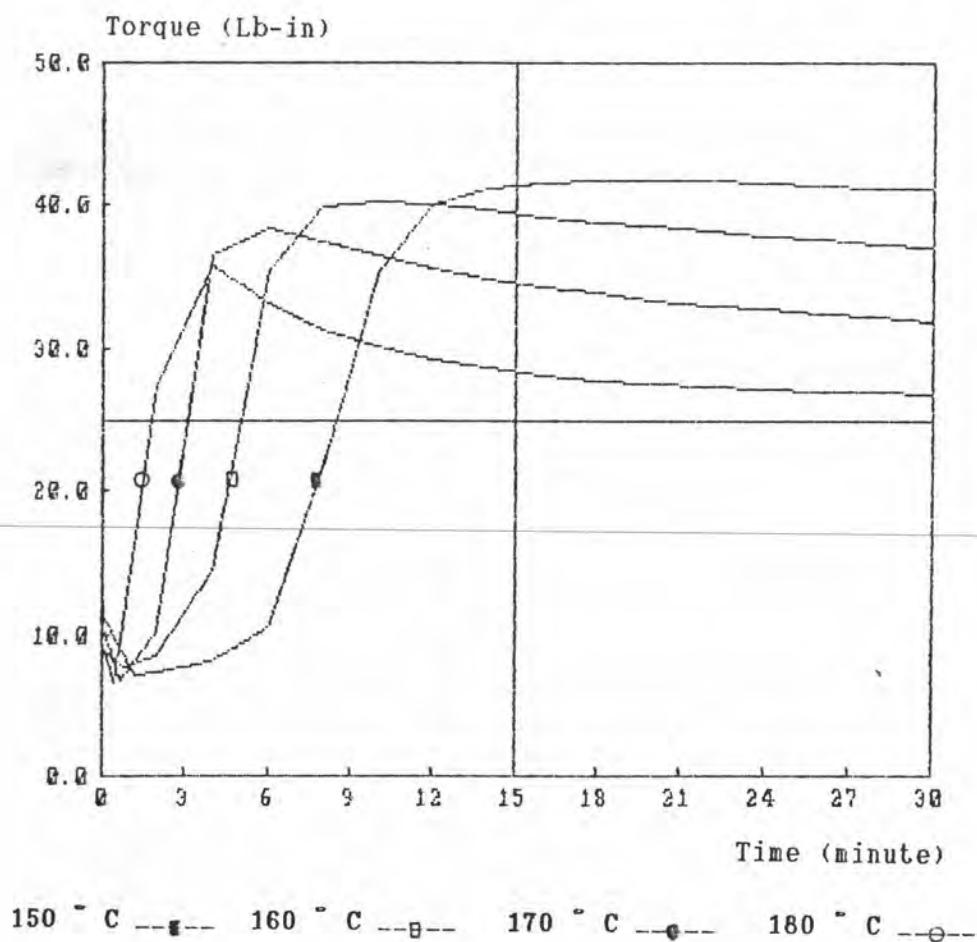
ข้อมูลการทดลองยางผสมสูตร T458-S4

ตารางที่ ก.41 ผลการทดสอบยางผสมสูตร T458-S4 โดยเครื่องวัดสมบัติการไหล
ของยางแบบงานสั้นที่อุณหภูมิต่างๆ

T458-S4

TEMPERATURE (C)	ML (lb-in)	MH (lb-in)	Ts2 (minute)	T50 (minute)	T90 (minute)	CURE
150	7.06	41.76	5.17	8.32	11.00	7.95
160	7.65	40.27	2.87	4.85	6.35	12.00
170	6.76	38.58	1.73	2.92	3.82	20.70
180	6.58	36.84	1.07	1.80	2.32	26.55

รูปที่ ก.22 กราฟผลการทดสอบยางผสมสูตร T458-S4 ที่อุณหภูมิต่างๆ



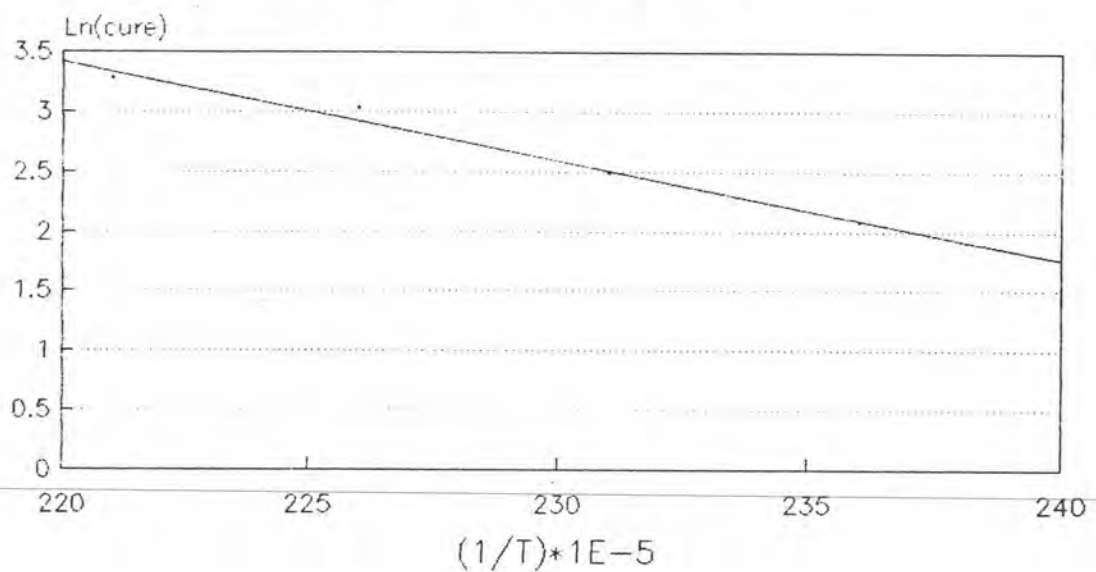
ตารางที่ ก.42 ค่า $1/T$ และ $\ln(\text{cure})$ ของสูตร T458-S4

T458-S4

TEMPERATURE (C)	CURE	TEMPERATURE (K)	1/T	Ln(cure)
150	7.95	423.16	0.00236	2.07317
160	12.00	433.16	0.00231	2.48491
170	20.70	443.16	0.00226	3.03013
180	26.55	453.16	0.00221	3.27903

รูปที่ ก.23 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $1/T$ กับ $\ln(\text{cure})$ ของสูตร T458-S4

$1/T$ vs $\ln(\text{cure})$



T458-S4

R squared = 0.985053

ค่าความชัน = $-E/R = -10496.3$

R = 1.987 cal/mol.K

ค่า E = 15884.17 cal/mol

ตารางที่ ก.43 ค่า relative rate และค่าเวลาจากการคำนวณเทียบกับค่า t_{90}
จากการวัดโดยใช้อุณหภูมิอ้างอิง 150°C

T458-S4

TEMPERATURE (C)	RELATIVE RATE	TIME(CALCULATE) (MINUTE)	T90 (MINUTE)	% error
150	1.00	11.00	11.00	0.00
160	1.55	7.11	6.35	10.71
170	2.35	4.69	3.82	18.54
180	3.49	3.15	2.32	26.34

ตารางที่ ก.44 ค่า relative rate และค่าเวลาจากการคำนวณเทียบกับค่า t_{90}
จากการวัดโดยใช้อุณหภูมิอ้างอิง 160°C

T458-S4

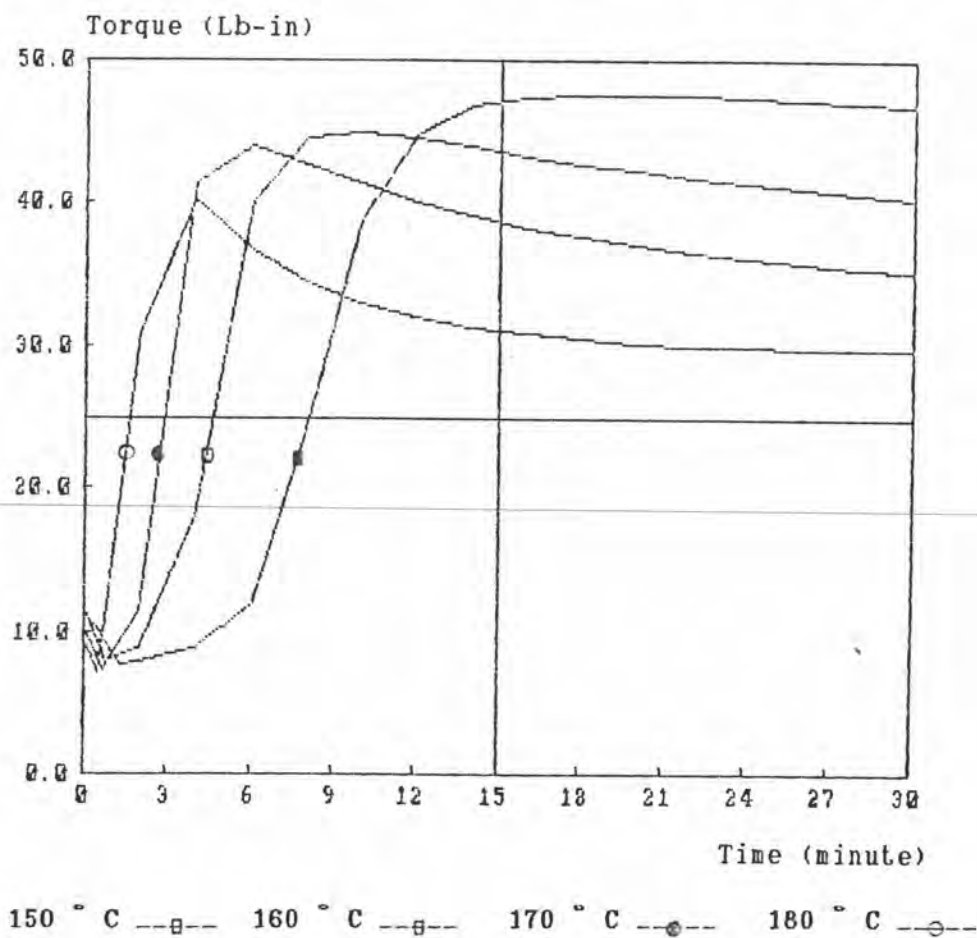
TEMPERATURE (C)	RELATIVE RATE	TIME(CALCULATE) (MINUTE)	T90 (MINUTE)	% error
150	0.65	9.82	11.00	-12.00
160	1.00	6.35	6.35	0.00
170	1.52	4.19	3.82	8.77
180	2.26	2.81	2.32	17.50

ข้อมูลการทดลองยางผสมสูตร T458-S5

ตารางที่ ก.45 ผลการทดสอบยางผสมสูตร T458-S5 โดยเครื่องวัดสมบัติการไหล
ของยางแบบจวนสั้นที่อุณหภูมิต่างๆ

T458-S5						
TEMPERATURE (C)	ML (lb-in)	MH (lb-in)	Ts2 (minute)	T50 (minute)	T90 (minute)	CURE
150	7.60	47.70	4.83	8.38	11.47	9.60
160	7.78	44.99	2.57	4.63	6.23	15.00
170	7.30	44.23	1.65	2.90	3.87	20.40
180	7.06	41.50	1.05	1.80	2.33	30.60

รูปที่ ก.24 กราฟผลการทดสอบยางผสมสูตร T458-S5 ที่อุณหภูมิต่างๆ



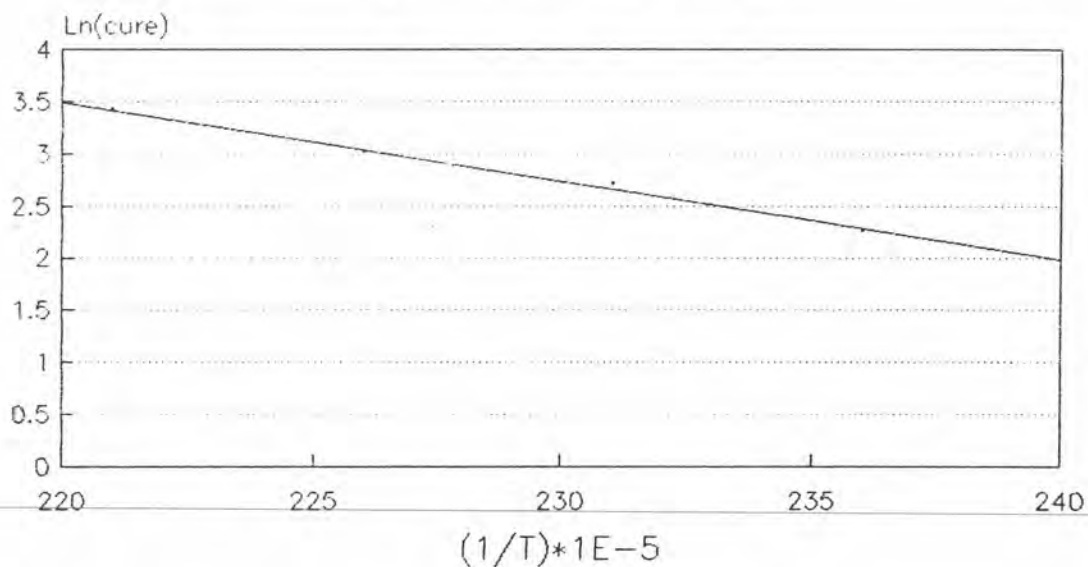
ตารางที่ ก.46 ค่า $1/T$ และ $\ln(\text{cure})$ ของสูตร T458-S5

T458-S5

TEMPERATURE (C)	CURE	TEMPERATURE (K)	1/T	Ln(cure)
150	9.60	423.16	0.00236	2.26176
160	15.00	433.16	0.00231	2.70805
170	20.40	443.16	0.00226	3.01553
180	30.60	453.16	0.00221	3.42100

รูปที่ ก.25 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $1/T$ กับ $\ln(\text{cure})$ ของสูตร T458-S5

$1/T$ vs $\ln(\text{cure})$



T458-S5

$$R \text{ squared} = 0.996129$$

$$\text{ค่าความชัน} = -E/R = -7259.90$$

$$R = 1.987 \text{ cal/mol.K}$$

$$\text{ค่า } E = 14425.43 \text{ cal/mol}$$

ตารางที่ ก.47 ค่า relative rate และค่าเวลาจากการคำนวณเทียบกับค่า t90
จากการวัดโดยใช้อุณหภูมิอ้างอิง 150 °C

T458-S5

TEMPERATURE (C)	RELATIVE RATE	TIME(CALCULATE) (MINUTE)	T90 (MINUTE)	% error
150	1.00	11.47	11.47	0.00
160	1.49	7.72	6.23	19.29
170	2.17	5.29	3.87	26.82
180	3.11	3.68	2.33	36.75

ตารางที่ ก.48 ค่า relative rate และค่าเวลาจากการคำนวณเทียบกับค่า t90
จากการวัดโดยใช้อุณหภูมิอ้างอิง 160 °C

T458-S5

TEMPERATURE (C)	RELATIVE RATE	TIME(CALCULATE) (MINUTE)	T90 (MINUTE)	% error
150	0.67	9.26	11.47	-23.90
160	1.00	6.23	6.23	0.00
170	1.46	4.27	3.87	9.33
180	2.10	2.97	2.33	21.64

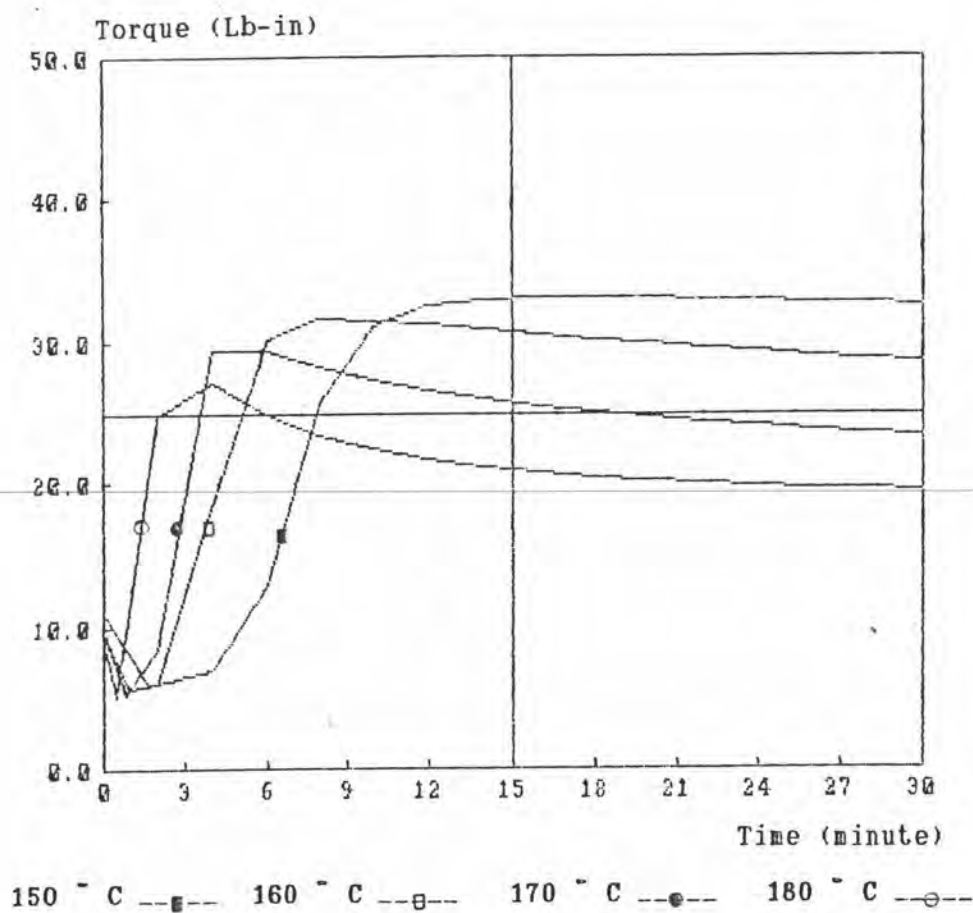
ข้อมูลการทดลองยางผสมสูตร T458-R1

ตารางที่ ก. 49 ผลการทดสอบยางผสมสูตร T458-R1 โดยเครื่องวัดสมบัติการไหล
ของยางแบบจานสั้นที่อุณหภูมิต่างๆ

T458-R1

TEMPERATURE (C)	ML (lb-in)	MH (lb-in)	Ts2 (minute)	T50 (minute)	T90 (minute)	CURE
150	6.06	33.18	4.83	6.95	9.65	7.50
160	5.57	31.63	2.77	4.02	5.50	12.45
170	5.25	29.81	1.85	2.58	3.35	20.55
180	5.10	28.42	1.17	1.67	2.10	26.55

รูปที่ ก.26 กราฟผลการทดสอบยางผสมสูตร T458-R1 ที่อุณหภูมิต่างๆ



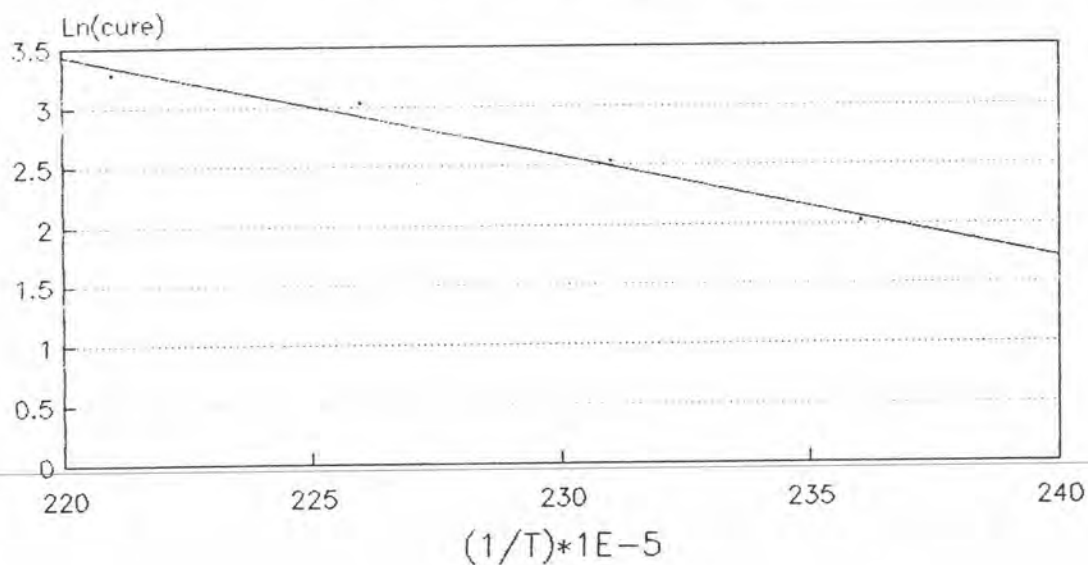
ตารางที่ ก.50 ค่า $1/T$ และ $\ln(\text{cure})$ ของสูตร T458-R1

T458-R1

TEMPERATURE (C)	CURE	TEMPERATURE (K)	1/T	Ln(cure)
150	7.50	423.16	0.00236	2.01490
160	12.45	433.16	0.00231	2.52172
170	20.55	443.16	0.00226	3.02286
180	26.55	453.16	0.00221	3.27903

รูปที่ ก.27 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $1/T$ กับ $\ln(\text{cure})$ ของสูตร T458-R1

$1/T$ vs $\ln(\text{cure})$



T458-R1

$$R \text{ squared} = 0.985038$$

$$\text{ค่าความชัน} = -E/R = -8252.43$$

$$R = 1.987 \text{ cal/mol.K}$$

$$\text{ค่า } E = 16397.59 \text{ cal/mol}$$

ตารางที่ ก.51 ค่า relative rate และค่าเวลาจากการคำนวณเทียบกับค่า t₉₀
จากการวัดโดยใช้อุณหภูมิอ้างอิง 150 ° C

T458-R1

TEMPERATURE (C)	RELATIVE RATE	TIME(CALCULATE) (MINUTE)	T90 (MINUTE)	% error
150	1.00	9.65	9.65	0.00
160	1.57	6.15	5.50	10.59
170	2.41	4.00	3.35	16.29
180	3.64	2.65	2.10	20.86

ตารางที่ ก.52 ค่า relative rate และค่าเวลาจากการคำนวณเทียบกับค่า t₉₀
จากการวัดโดยใช้อุณหภูมิอ้างอิง 160 ° C

T458-R1

TEMPERATURE (C)	RELATIVE RATE	TIME(CALCULATE) (MINUTE)	T90 (MINUTE)	% error
150	0.64	8.63	9.65	-11.85
160	1.00	5.50	5.50	0.00
170	1.54	3.58	3.35	6.38
180	2.32	2.37	2.10	11.48

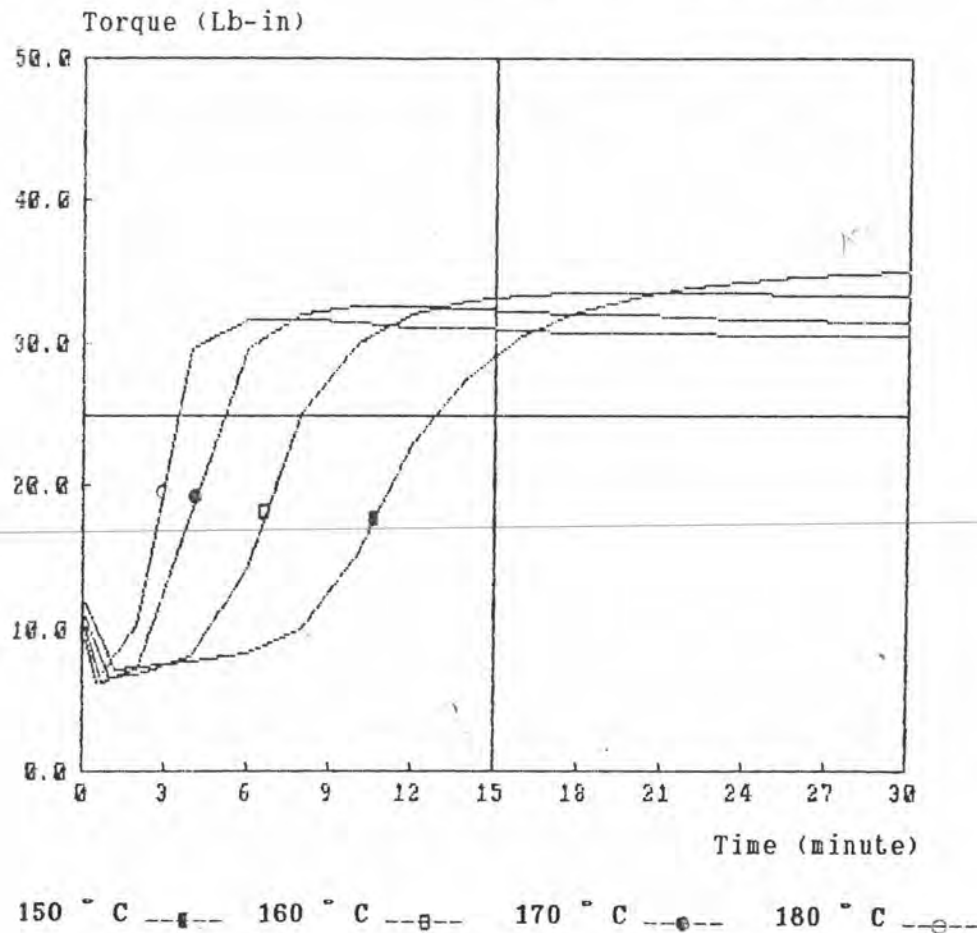
ข้อมูลการทดลองยางผสมสูตร T458-R3

ตารางที่ ก.53 ผลการทดสอบยางผสมสูตร T458-R3 โดยเครื่องวัดสมบัติการไหล
ของยางแบบจวนสั้นที่อุณหภูมิต่างๆ

T458-R3

TEMPERATURE (C)	ML (lb-in)	MH (lb-in)	Ts2 (minute)	T50 (minute)	T90 (minute)	CURE
150	7.17	35.04	7.33	11.50	18.13	3.45
160	6.47	33.50	4.30	6.93	10.62	6.75
170	6.15	32.60	2.55	4.13	6.13	9.30
180	6.21	31.77	1.67	2.67	3.88	13.65

รูปที่ ก.28 กราฟผลการทดสอบยางผสมสูตร T458-R3 ที่อุณหภูมิต่างๆ



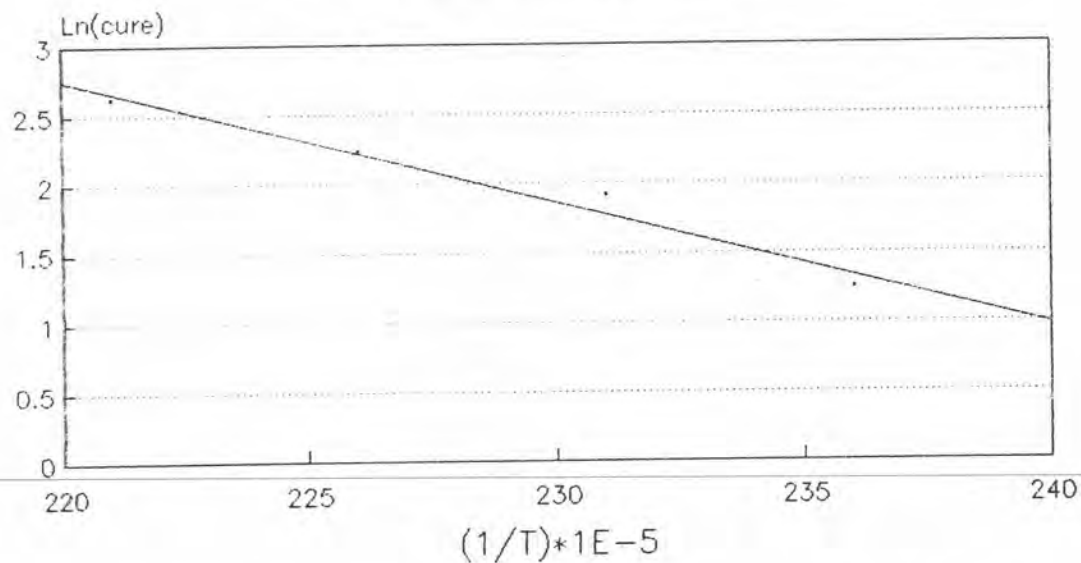
ตารางที่ ก.54 ค่า $1/T$ และ $\ln(\text{cure})$ ของสูตร T458-R3

T458-R3

TEMPERATURE (C)	CURE	TEMPERATURE (K)	1/T	Ln(cure)
150	3.45	423.16	0.00236	1.23837
160	6.75	433.16	0.00231	1.90954
170	9.30	443.16	0.00226	2.23001
180	13.65	453.16	0.00221	2.61374

รูปที่ ก.29 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $1/T$ กับ $\ln(\text{cure})$ ของสูตร T458-R3

$1/T$ vs $\ln(\text{cure})$



T458-R3

$$R \text{ squared} = 0.976679$$

$$\text{ค่าความชัน} = -E/R = -8549.44$$

$$R = 1.987 \text{ cal/mol.K}$$

$$\text{ค่า } E = 16987.74 \text{ cal/mol}$$

ตารางที่ ก.55 ค่า relative rate และค่าเวลาจากการคำนวณเทียบกับค่า t₉₀
จากการวัดโดยใช้อุณหภูมิอ้างอิง 150 ° C

T458-R3

TEMPERATURE (C)	RELATIVE RATE	TIME(CALCULATE) (MINUTE)	T90 (MINUTE)	% error
150	1.00	18.13	18.13	0.00
160	1.59	11.37	10.62	6.61
170	2.49	7.28	6.13	15.85
180	3.81	4.76	3.88	18.47

ตารางที่ ก.56 ค่า relative rate และค่าเวลาจากการคำนวณเทียบกับค่า t₉₀
จากการวัดโดยใช้อุณหภูมิอ้างอิง 160 ° C

T458-R3

TEMPERATURE (C)	RELATIVE RATE	TIME(CALCULATE) (MINUTE)	T90 (MINUTE)	% error
150	0.63	16.93	18.13	-7.08
160	1.00	10.62	10.62	0.00
170	1.56	6.80	6.13	9.89
180	2.39	4.44	3.88	12.70

ภาคผนวก ข.

คำศัพท์

ACCELERATOR	สารเร่งปฏิกิริยา
ACTIVATION ENERGY	พลังงานกระตุ้น
ANTIDEGRADANT	สารต้านการเสื่อมสภาพ
COMPOUND	ยางผสมสูตร
CROSSLINK	เชื่อมโอง
CROSSLINKING AGENT	สารเชื่อมโอง
CURE	การบ่ม
CURE EQUIVALENCE	ค่าสมมูลของการบ่ม
CURING AGENT	สารบ่ม
CURING PROCESS	กระบวนการบ่มยาง
CURE RATE	อัตราการบ่ม
FORMULA	สูตรการผสม
NATURAL RUBBER	ยางธรรมชาติ
OSCILLATING DISK RHEOMETER	เครื่องวัดสมบัติการไหลของยางแบบ จานสั้น
PROCESSING AID	สารช่วยการผลิต
REVERSION	การเสื่อมสภาพ
SYNTHETIC RUBBER	ยางสังเคราะห์

ประวัติผู้เขียน

นาย วิชัย ตระกูลนุช เกิดวันที่ 15 พฤษภาคม พ.ศ. 2511 ที่อำเภอเมือง จังหวัดนนทบุรี สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2531 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2533

