

クロロプレングムの高温、高速加硫 (第1報)

末 永 忠 行
岸 昭 雄
原 田 幸 彦

A Rapid Vulcanization of Chloroprene Rubber at High Curing Temperature. Part I

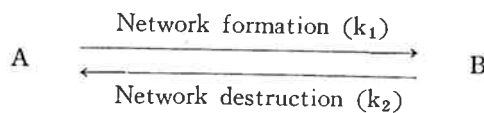
Tadamichi Suwenaga
Akio Kishi
Yukihiko Harada

At ordinary curing temperatures of ca. 120° to 160°C, the degree of vulcanization determined with ASTM 2 mm sheet is proportional to curing time. Above ca. 180°C, however, vulcanization proceeds so rapidly in unsteady state that curing time no longer can be used as a measure to know the extent of vulcanization, and it should be replaced by cure intensity defined by the equation below:

$$I_0 = \int_0^{\theta} e^{-E/RT} d\theta$$

where, I_0 denotes cure intensity; θ , time; E , activation energy; R , gas constant; and T , temperature(°K).

For a rapid vulcanization of chloroprene rubber at high curing temperature, it is convenient to assume that with increasing temperature equilibrium between the network formation (k_1) and the network destruction processes (k_2) is shifted in favor of the latter, rendering effective cross-linking density to decrease.



The vulcanizates obtained at high cure temperature and high cure intensity showed comparatively low values for hardness (Hs), tensile strength (TB), and 300% modulus (M 300), while their elongation (EB) and oil swelling (ΔV) remained to be high in accord with low effective cross-linking density. Those cured at higher temperatures exhibited more remarkable change in physical properties during heat-aging test at 120°C, suggesting the resumption of the network formation ($k_1 > k_2$).

For molding purpose, the high-temperature vulcanizates are less sticky and easily removable from the mold, although their products tend to be somewhat fragile.

1. はじめに

ゴム工業において加硫時間を短縮し、作業能率をあげようとする努力がなされている。

このばあい、超促進剤を使用し、標準 (150 °C) に近

い温度で短時間加硫するか、標準的な促進剤 (たとえばエチレンチオユリア) を使用して 180° または 200°C をこえる高温で短時間加硫するか二通りの方法がある。超促進剤を使用するばあい、加工安全性の面で当然制約をうける。さらに促進剤、超促進剤は加硫時間を単

に促進, または超促進するだけにとどまらず, それぞれの性質および特異性を加硫物に付与するのが普通であるから, 数値的明確さをもって加硫物相互の等価性は論じ難い。

一方, 温度を異にして加硫をおこなうときは10° 則をもって加硫度を概算するように, 根底において等価加硫の概念がある。

本稿の第一の目的は高温, 高速加硫したとき, 加硫の等価性がどこまで成立し, またどのように偏寄するかをつまびらかにせんとするものである。もっともそのようなところははかつてなされており, 本稿もまたそれに負うところ大である^{1), 2), 3), 4), 5)}。同時に, (本稿がそうであるように) ことなる時期に, 別の条件下で, ことなる観点から, 補完され, 一層完全なものに進歩発展さすべきものであるとかんがえる。

2. 実験法

[1] 原料ゴム

SKYPRENE B-30

[2] 配合

SKYPRENE B-30	100
MgO	4
老防D	2
ステアリン酸	1
カーボンSRF	29
ZnO	5
促進剤 22	0.5

[3] 加硫条件

(1) 加熱

- 1) 120°C (蒸気加熱), 1時間20分, 2時間40分
4時間00分, 5時間20分
6時間40分, 8時間00分
- 2) 150°C (蒸気加熱), 10分, 20分, 30分, 40分,
50分, 60分
- 3) 180°C (電熱加熱), 30秒, 45秒, 60秒, 70秒,
150秒, 225秒, 300秒, 375
秒, 450秒
- 4) 210°C (電熱加熱), 15秒, 20秒, 25秒, 30秒,
40秒, 50秒, 60秒, 120秒,
180秒, 300秒
- 5) 240°C (電熱加熱), 10秒, 15秒, 20秒, 30秒,
40秒, 50秒, 60秒, 180秒,
300秒
- 270°C (電熱加熱), 5秒, 10秒, 20秒, 40秒,
50秒, 60秒, 180秒, 300秒

(2) 冷却

とくにことわらぬかぎり加硫後ただちに水冷する。

[4] 物性テスト (JISK 6301)

(1) 引張試験

恒温: 23±1°C, 恒湿: 55±5%に16~32
時間たもつてのち同条件でテスト。

(2) 老化試験

テストチューブ式, 120°C, 72時間。

(3) 耐油試験

ASTM 3号油, 100°C, 70時間。

3. 結果と考察

[1] 練りゴムの基礎的性質

練りゴムML=58 (生ゴムML=45),
t₅=7'30"。

[2] 伝熱計算

(1) 伝熱方程式と伝熱線図

定常または非定常の熱伝導はフーリエの方程式(1)をとくことによってえられる。

$$\frac{1}{\rho C_p} \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(k_x \cdot \frac{\partial t}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_y \cdot \frac{\partial t}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k_z \cdot \frac{\partial t}{\partial z} \right) \right] = \frac{\partial t}{\partial \theta} \dots\dots\dots(1)$$

しかし, 実際目的のためにはすでにもとめられている線図を利用するのがよい。ここでは ASTM 2mm 板 (150×150×2mm) に限定し, 側面からの熱伝導は無視できるとして, シート中心面の温度を問題にするので Hottel⁶⁾ の線図を利用する。

(2) 伝熱計算にしようする記号

- c_p: 比熱 [cal/g, C°]
- h: 熱伝達係数 [cal/cm², sec. C°]
- k: 熱伝導度 [cal/cm², sec. C°/cm]
- k_x, k_y, k_z: 直角座標 x, y, z 方向の熱伝導度
- r: 中心からの距離 [cm]
- r_m: 平板中心部からの垂直距離 [cm]
- t: 物体内部の温度 [C°]
- t_a: 周囲の温度 [C°]
- t_b: 初期の温度 [C°]
- θ: 加熱または冷却の時間 [C°]
- ρ: 比重 [g/cm³]

$$X = \frac{K\theta}{\rho c_p r_m^2} \dots\dots\dots(2)$$

$$Y = \frac{t_a - t}{t_a - t_b} \dots\dots\dots(3)$$

$$m = \frac{k}{h \cdot r_m} \dots\dots\dots(4)$$

$$n = \frac{r}{r_m} \dots\dots\dots(5)$$

(3) 加熱計算にひつような物性値

$c_p = 0.45$ (加硫または未加硫ゴム) とする。

h : つぎのあたいを採用する。*

1) ゴム/金型: ∞

2) ゴム/冷却水: 0.0407

3) ゴム/静止空気: 0.000833

$k (=k_x = k_y = k_z) = 3.8 \times 10^{-4}$ とする。

$r_m = 0.1$

t_a : 加熱時は金型温度となる。冷却時は空冷, 水冷とも 25°C とする。

t_b : 未加硫ゴムについては 25°C , そのほかのばあいは加硫物を金型からとりだすときの温度になる。

θ : 加熱および冷却時間となりかならずしも一定していない。

$\rho = 1.4$ とする。

* h について報告されている値を単位換算してしめすとつぎのとおりである。

静止空気 ¹⁾	$0.8334 \times 10^{-4} \sim 8.334 \times 10^{-4}$	$\left(\frac{\text{cal}}{\text{cm}^2 \text{sec } ^\circ\text{C}}\right)$
運動している空気 ¹⁾	$2.778 \times 10^{-4} \sim 1.389 \times 10^{-2}$	//
空気 ⁶⁾	$0.2712 \times 10^{-4} \sim 1.0848 \times 10^3$	//
水 ⁶⁾	$0.678 \times 10^{-2} \sim 0.4068$	//

(4) 2mmシートの温度計算

以上, 2), 3) によって Hottel 線図 (参考までに Fig. 1 にこれをしめす) を利用するための準備がとった。金型内の未加硫ゴムが加熱され温度上昇するときの様子, さらに加硫物を取り出し, ただちに水冷するとき, 空冷したときの様子を計算してみよう。

1) 金型による加熱のばあい

$$m \left(= \frac{k}{h \cdot r_m} \right) = \frac{3.8 \times 10^{-4}}{\infty \times 0.1} = 0$$

$$X \left(= \frac{K\theta}{\rho c_p r_m^2} \right) = \frac{3.8 \times 10^{-4} \times \theta}{1.4 \times 0.45 \times 0.1^2} = 6.03 \times 10^2 \times \theta \dots \dots \dots (6)$$

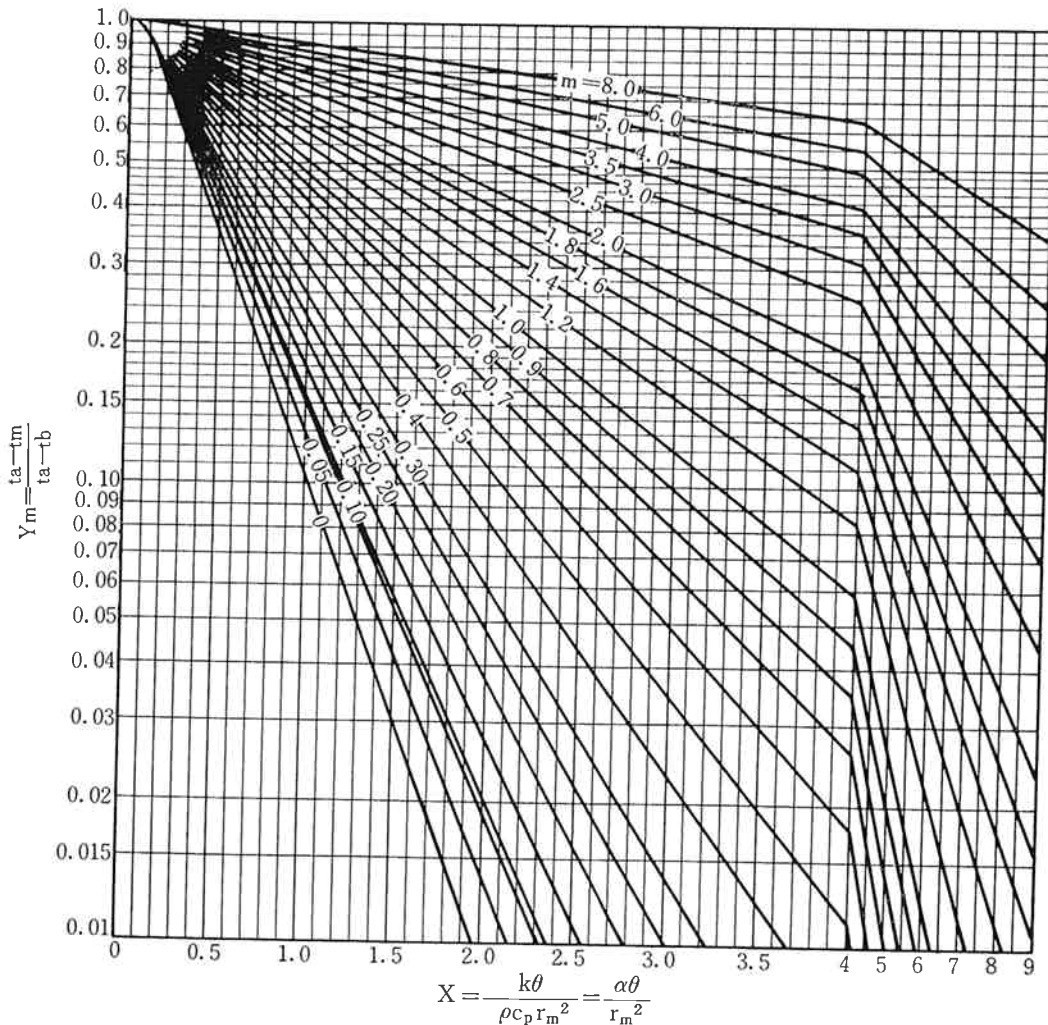


Fig. 1 Hottel Chart for Large Slab, for Evaluation of Midplane Temperature t_m .

θ に個々の値を代入してXをもとめ、 $m=0$ とのかんけいにおいて Hottel 線図からYをもとめ、さらに温度をもとめたものを Table 1 にしめす。

2) 冷却 (その1, 水冷)

$$m = \frac{3.8 \times 10^{-4}}{0.1 \times 0.0407} \doteq 0.09$$

Xについては(6)式がそのままあてはまるとしているので、 $m \doteq 0.09 \doteq 0.1$ とのかんけいにおいて線図からそれぞれの温度がもとまる。それを Table 2 にしめす。

なお、加熱、冷却のかていをあわせてグラフでしめすと Fig. 2 のようになる。さだめられた加硫温度にたつまでの時間はすべておなじであることがわかる。

Table 1 Calculated Midplane Temperature of Sheet 150 by 150 by 2 mm versus Elapsed Time as Heated by Mould.

θ (sec)	X	Y	t (120°C)	t (150°C)	t (180°C)	t (210°C)	t (210°C)	t (270°C)
0	0	1.000	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0
5	3.02×10^{-1}	0.600	63.0	75.0	87.0	99.0	111.0	123.0
10	6.03×10^{-1}	0.280	93.4	115.0	136.6	158.2	179.8	201.4
15	9.04×10^{-1}	0.135	107.2	133.0	159.1	185.0	211.0	236.9
20	1.21	0.065	113.8	142.0	169.9	198.0	226.0	254.1
25	1.51	0.030	117.2	146.3	175.4	204.4	232.8	262.6
30	1.81	0.015	118.6	148.2	177.7	207.2	236.8	266.3
35	2.11	$\doteq 0$	120.0	150.0	180.0	210.0	240.0	270.0

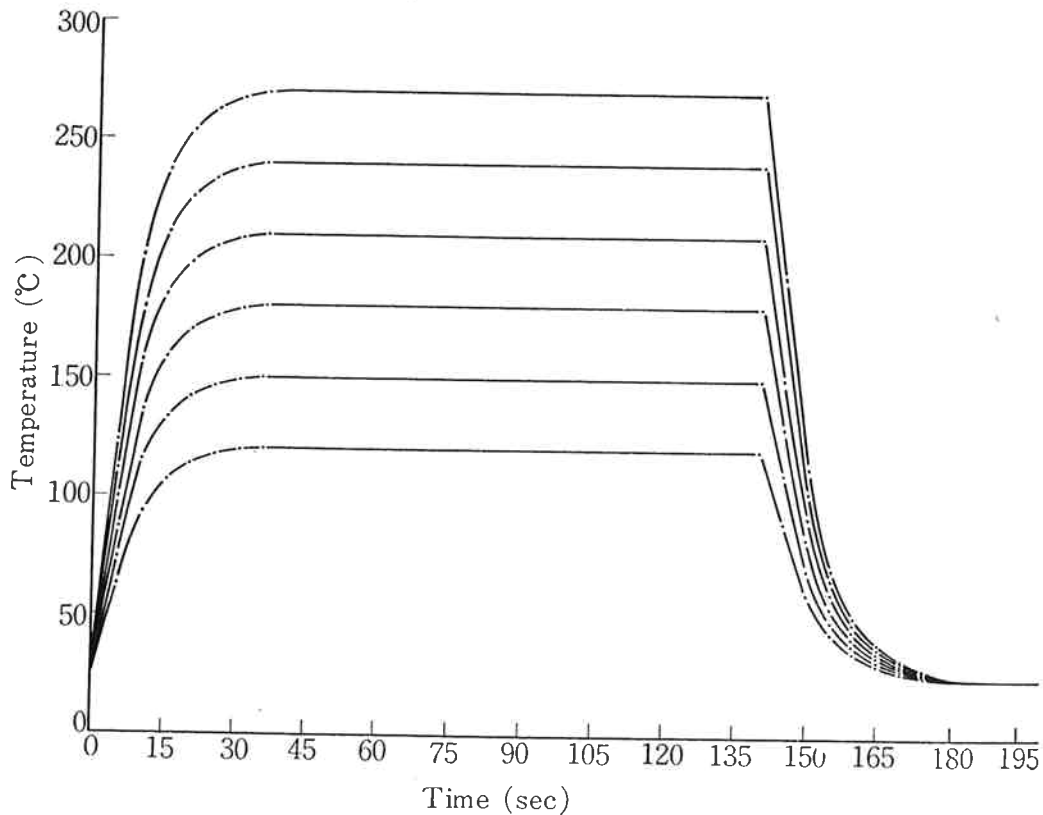


Fig. 2 Diagram of Midplane Temperatures of Rubber Sheet 150 by 150 by 2 mm versus Time as Mould Cured at Various Temp. and Water Cooled.

Table 2 Calculated Midplane Temperature of Sheet 150 by 150 by 2mm versus Time as Cooled in Water or Static Air.

Temp. °C	Time (sec)																				
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	
Water Cooling	(X)	0	0.302	0.603	0.904	1.21	1.51	1.81	2.11	2.14											
	(Y)	1.0	0.680	0.360	0.194	0.105	0.056	0.030	0.016	0.000											
	>25"		89.6	59.2	43.4	35.0	30.3	27.8	26.5	25.0											
	>25"		110.0	70.0	49.2	38.1	32.0	28.8	27.0	25.0											
	>25"		130.4	80.8	55.1	41.3	33.7	29.6	27.5	25.0											
	15"	204.4	146.7	89.4	59.7	43.8	35.0	30.4	27.9	25.0											
	20"	207.2	148.8	91.5	60.3	44.1	35.2	30.5	27.9	25.0											
	>25"	210.0	150.8	91.6	60.9	44.4	35.4	30.6	28.0	25.0											
	10"	226.0	161.7	99.4	64.0	46.1	36.3	31.0	28.2	25.0											
	15"	232.8	166.4	99.9	65.4	46.8	36.6	31.2	28.3	25.0											
20"	236.8	169.1	101.3	66.1	47.3	36.9	31.4	28.4	25.0												
>25"	240.0	171.2	102.4	66.7	47.6	37.0	31.4	28.4	25.0												
5"	236.9	169.1	101.3	66.1	47.3	36.9	31.4	28.4	25.0												
10"	254.1	180.7	107.4	69.4	49.0	37.8	31.9	28.6	25.0												
20"	266.3	188.9	111.8	71.8	50.3	38.5	32.2	28.9	25.0												
>25"	270.0	191.6	113.2	72.5	50.7	38.7	32.4	28.9	25.0												
Air Cooling	(X)	0.00	0.03	0.60	0.91	1.21	1.51	1.81	2.11	2.41	3.62	5.43	7.24	9.47	10.86	12.67	14.48	16.29	18.10	19.90	21.71
	(Y)	1.000	0.98	0.92	0.86	0.82	0.77	0.73	0.69	0.645	0.500	0.337	0.233	0.147	0.110	0.077	0.052	0.036	0.0245	0.017	0.0117
	>25"		118.1	112.4	106.7	102.9	98.2	94.4	90.6	86.3	72.5	57.0	47.1	39.0	35.5	32.3	29.9	28.4	27.3	26.6	26.1
	>25"		147.5	140.0	132.5	127.5	121.3	116.3	111.3	105.6	87.5	67.1	54.1	43.4	38.8	34.6	31.5	29.5	28.8	27.6	26.8
	>25"		176.9	167.6	158.3	152.1	144.4	138.2	132.0	125.0	102.5	77.2	61.1	47.8	42.1	36.9	33.1	30.6	28.8	27.6	26.8
	15"	204.0	190.4	189.7	178.9	171.8	162.8	155.7	148.5	140.5	114.5	85.3	66.7	51.3	44.7	38.8	34.3	31.4	29.4	28.0	27.1
	20"	207.0	203.4	192.4	181.5	174.2	165.1	157.9	150.6	142.4	116.0	86.3	67.4	51.8	45.0	39.0	34.5	31.6	29.5	28.1	27.1
	>25"	210.0	206.3	195.2	184.1	176.7	167.4	160.1	152.7	144.3	117.5	87.3	68.1	52.2	45.4	38.0	34.6	31.7	29.5	28.1	27.2
	10"	226.0	222.0	209.9	197.9	189.8	179.8	171.7	163.7	154.6	125.5	92.7	71.8	54.5	47.1	40.5	35.5	32.2	29.9	28.4	27.4
	15"	233.0	228.8	216.4	203.9	195.6	185.2	176.8	168.5	159.2	129.0	95.1	73.5	55.6	47.9	41.0	35.8	32.5	30.1	28.5	27.4
20"	236.8	234.7	219.9	207.1	198.7	188.1	179.6	171.1	161.6	130.9	96.4	74.3	56.1	48.3	41.3	36.0	32.6	30.2	28.6	27.5	
>25"	240.0	235.7	222.8	209.9	201.3	190.6	182.0	173.4	163.7	132.5	97.5	75.1	56.6	48.7	41.6	36.2	32.7	30.3	28.7	27.5	
5"	237.0	232.8	220.0	207.3	198.8	188.2	179.8	171.3	161.7	131.0	96.4	74.4	56.2	48.3	41.3	36.0	32.6	30.2	28.8	27.5	
10"	254.0	249.4	235.7	221.9	212.8	201.3	192.2	183.0	172.7	139.5	102.2	78.4	58.7	50.2	42.6	37.1	33.2	30.6	28.9	27.7	
20"	266.0	261.0	246.7	232.3	222.6	210.6	200.9	191.3	180.4	145.5	106.2	81.2	60.4	51.5	43.6	37.5	33.7	30.8	29.1	27.8	
>25"	270.0	265.0	250.4	235.7	225.9	213.7	203.9	194.1	183.0	147.5	107.6	82.1	61.0	52.0	43.9	37.7	33.8	31.1	29.2	27.9	

3) 冷却 (その2, 空冷)

$$m = \frac{3.8 \times 10^{-4}}{0.1 \times 0.0008333} = 4.56$$

またXについては(6)式がそのまま適用できる。

Hottel 線図においてXとmのかんけいからYをもとめ、さらにそれぞれの温度をもとめたものを Table 2 にしめす。空冷のばあい、水冷にくらべて常温にたつまでの時間が約10倍ながくなる。これが加硫度にどのように影響するかについてはあとでみる。

(5) 冷却過程にともなう加硫

プレス加硫のばあい、所定の圧力を型にかけたときをもって加硫時間の始点とし、反対にこの圧力をとりさったときをもって加硫の終点としている。もっともこれは便宜上のことで実際はもすこしこみいっている。いま、それを Fig 3 の模式図を参考にしながらせつめいしてゆきたい。

金型が所定の圧力をうける (θ_1) までに、(θ_0) で金型に入れたゴム生地は金型により予熱されている。ほんたいに、所定金型圧にたつても所定加硫温度にはたつていず、しばらくまってはほぼ所定の温度にたつする(θ_2)。いっぽう加硫が終了したとして金型圧をとり

さった (θ_3) とも自己の保有している熱によって加硫反応はずいつている。金型から加硫物を取りだし水中に投入して (θ_4) 冷却をはやくするものであるが、冷却の過程においてなお加硫はすすむ。しかし、さいごには常温にたつし (θ_5)、もはや加硫反応はもんだいではなくなる。

ふつりの加硫温度、時間においてはいじょうのようなことはほとんどもんだいにならないが、高温高速加硫になると昇温、冷却過程の加硫反応がむしできなくなるばかりか、非定常的な昇温、冷却 ($\theta_4 < \theta_2$ のばあい) のみをもって加硫反応をおえることがおおくなる。

いま、加硫温度 180°C いじょう、したがって電熱プレスによるときの、 $\theta_1 - \theta_0$ (ゴム生地を金型にいれ、金型をプレスにかけて所定圧にたつするまでの時間) と、 $\theta_4 - \theta_3$ (プレス圧をさり、金型をプレスからとりだし、さらに金型から加硫ゴムを取りだし水中に投入するまでの時間) の実測例を Table 3 にかかげる。このデータを参考にしながら、つぎの計算基準をおく。

< i > ($\theta_1 - \theta_0$) での予熱はむしする。

< ii > ($\theta_4 - \theta_3$) での加熱は加硫温度のままで温度ていかはなかつたものとする。

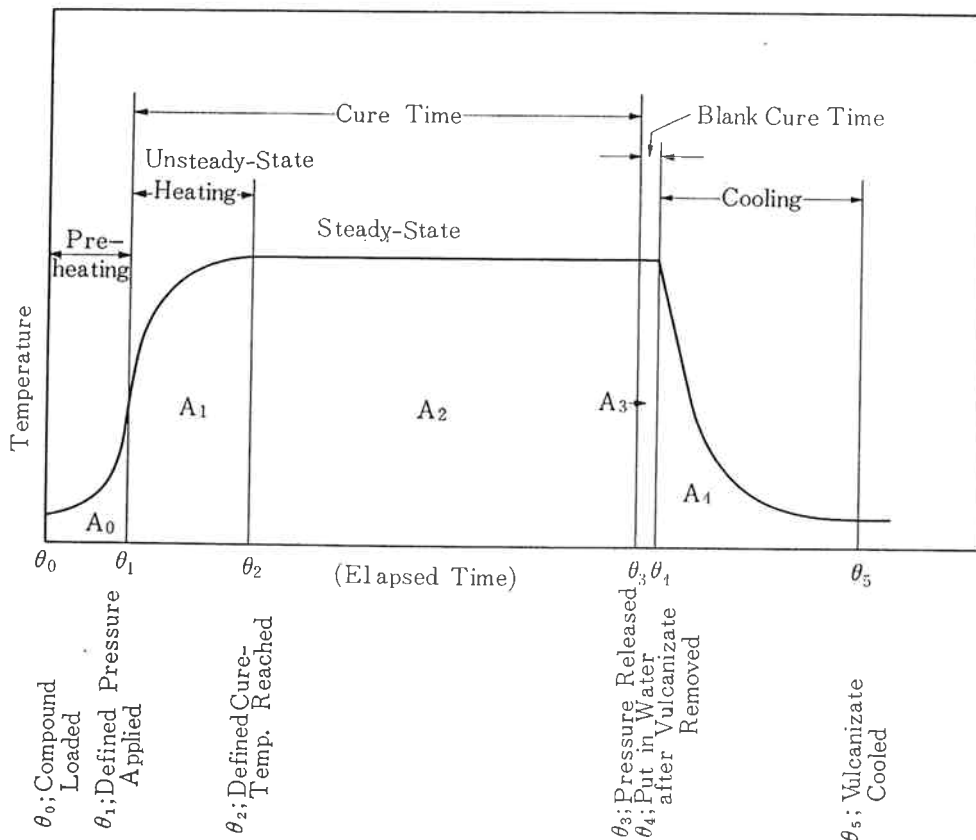


Fig. 3 Schematic Diagram of the Midplane Temp. versus Elapsed Time in Rubber Sheet on a Cure Cycle.

Table 3 Elapsed Time ($\theta_1-\theta_0$) from the Moment as Compound Loaded to the Defined Pressure Applied, and the One ($\theta_4-\theta_3$) from the Pressure Released to the Moment as Vulcanizate Put in Water on Press Cure Operation.

No.	Curing Temperature							
	180°C		210°C		240°C		270°C	
	$\theta_1-\theta_0$	$\theta_4-\theta_3$	$\theta_1-\theta_0$	$\theta_4-\theta_3$	$\theta_1-\theta_0$	$\theta_4-\theta_3$	$\theta_1-\theta_0$	$\theta_4-\theta_3$
	sec.	sec.	sec.	sec.	sec.	sec.	sec.	sec.
1	12	15	10	9	10	8	11	7
2	12	8	9	9	8	7	12	10
3	9	9	10	10	9	7	12	9
4	10	9	10	10	10	7	12	8
5	8	9	10	10	11	8	11	8
6	9	9	11	10	14	9	13	8
7	10	10	10	9	10	8	11	8
8	10	15	11	9	10	8	11	8
9	8	8	10	10	11	10	11	9
10	—	—	10	10	—	—	—	—
Ave.	10	10	10	10	10	8	11	8

<iii> $\theta_4-\theta_3=10$ 秒とする。そのためふつういわれている加硫時間より10秒かんながくなる。たとえば25秒加硫したものは実質上35秒加硫したものととりあつかう。ただし“加硫時間”(Cure Time)という用語は従来の慣習にしたがう。

<iv> シート内部が加硫温度にたつするまえに金型からとりだすと、シート表面はあきらかに金型温度にたつしているの、シート断面の温度分布は表面でたかく、内部でひくい凹形をなしている。そのため冷却をはじめたとき、一部の熱は内部にむかってながれ、ほかは表面にむかってながれる。そのため、内部温度はすこしたかくなるはずだがこれはむしろ。

[3] 加硫度

(1) 加硫度の定義

加硫速度は次式(7)であらわされるものとする³⁾。

$$\frac{dv}{d\theta} = k(\nu_{\infty} - \nu) \dots\dots\dots(7)$$

ν_{∞} : 極限の網目数 [mol/g]

ν : 時間 θ 後の網目数 [mol/g]

k : 速度恒数 [1/sec]

また、 k についてはよく知られている Arrhenius の式がある。

$$k = Ae^{-E/RT} \dots\dots\dots(8)$$

A : 恒数

E : 活性化エネルギー (=22600 cal/mol)⁷⁾

R : ガス恒数 (=1.987 cal/mol·deg)

T : 絶対温度 (°K)

(7), (8)式のかんげから、温度 T 、時間 θ のあいだに起こされる加硫反応のもっとも一般的な表示はつぎのごとくなる。

$$I = \int_0^{\nu} \frac{d\nu}{\nu_{\infty} - \nu} = A \int_0^{\theta} e^{-E/RT} \cdot d\theta \dots\dots\dots(9)$$

$$I_0 = I/A \dots\dots\dots(10)$$

ここでは、(10)式をもって加硫度と定義する。温度 T について前節でもとめたように、昇温、冷却の過程では非定常的、いかえれば時間(θ)の推移とともに変化する関数 $T=f(\theta)$ となる。縦軸に $e^{-E/RT(\theta)}$ 、横軸に θ をとると、 θ にたいし $e^{-E/RT(\theta)}$ のえがく曲線の面積がもとめる加硫度である。

(2) 加硫度の数値計算

(9)式は純解析的には積分できないので、近似計算でもとめることになる。グラフにえがいてプランメーターでもとめる方法、あるいはこれに準ずる方法は、たとえば、50°Cで $e^{-E/RT} \approx 5 \times 10^{-16}$ であるにたいし、150°Cでは約 2×10^{-12} と 10^4 倍もおおきくなるので適用できない。そのため、Simpsonの第1および第2公式をもちい、さらに電算機をく使して数値計算した。いま、シートを金型からとりだしてのち、水冷したときと空冷するときの加硫度 (Fig. 3の A_4 に相当する部分)をもとめ Table 4 にかかげる。150°C、10分加硫の加硫度があとのべるように 124.4×10^{11} であるにたいし、同温度加

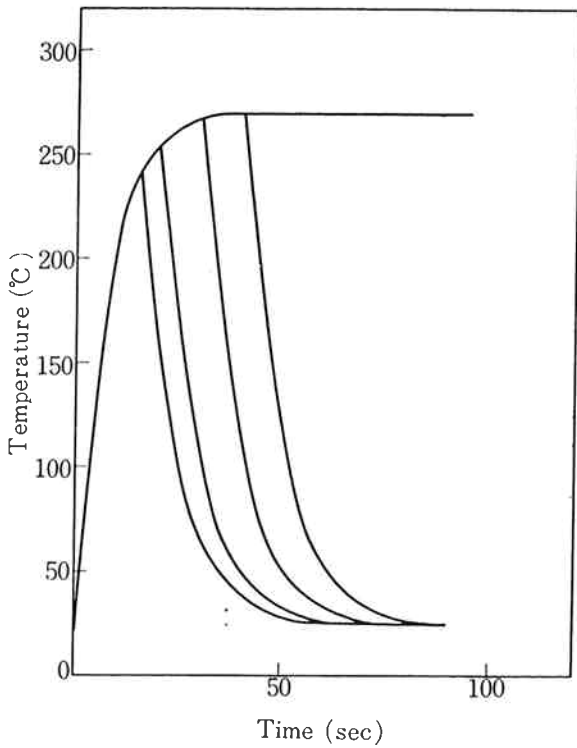


Fig. 4 Example of Unsteady-State Cure.

硫物の空冷, 水冷による加硫度の差は約 3.2×10^{11} で, 3%未満の相対誤差となり, かならずしも問題にしなくてよいが180°C以上ではむしできないものとなる。

Table 4 Cure Intensity $\times 10^{-11}$ (versus Temp.) Brought Forth on the Way of Cooling Process of Rubber Sheet (15 \times 15 \times 2mm) by Static Water and/or Air

Temp.	Cooling	
	Water	Air
120°C	0.06074	0.36454
150° "	0.4056	3.15945
180° "	5.7424	14.76737
210° "	10.6127	67.15019
240° "	43.1239	305.72214
270° "	134.75597	860.19399

(3) 加硫時間と加硫度

温度約 150°Cまでは加硫時間をもって加硫度の目安としてさしつかえないが, 温度がたかくなるとかならずしも加硫度の目安にならなくなる。Fig 3 の模式図でさだめた加硫温度にたつするまでの加硫度を A_1 , 加硫時間の終点までを A_2 さらに金型からシートをとりだすまでを A_3 , 冷却過程のそれを A_4 として

$$I_0 = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 \dots\dots\dots (12)$$

$$\Delta I_0 / I_0 = (A_1 + A_4) / I_0 \dots\dots\dots (13)$$

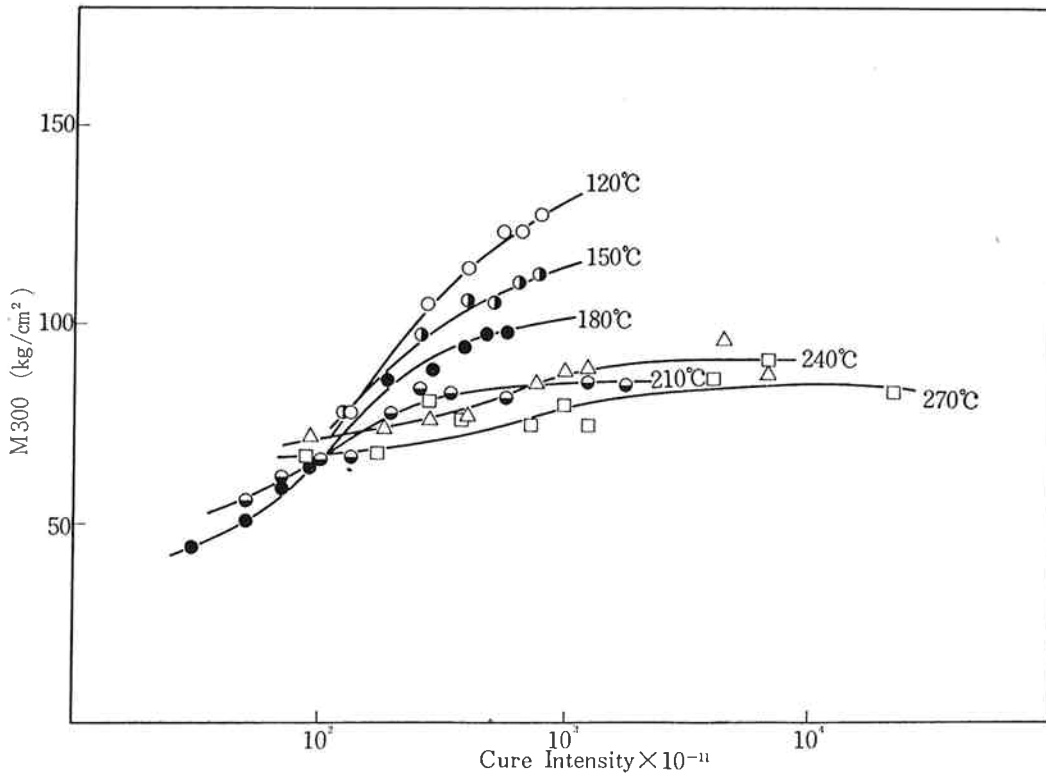


Fig. 5 300 % Modulus of CR Vulcanizate versus Cure Intensity and Temperature.

Table 5 Cure Intensity Ratio $(A_1+A_4)/I_0 \times 100$ versus Curing Temperature and Time.

Cure Temp. (°C)	Cure Time	$I_0 \times 10^{-11}$	$(A_1+A_4) \times 10^{-11}$	$(A_1+A_4)/I_0 \times 100\%$
120	1hr.20'	129.44175	0.51144	0.40
	2hr.40'	259.046015	"	0.20
	4hr.00'	388.650815	"	0.13
	5hr.20'	518.255615	"	0.10
	6hr.40'	647.860415	"	0.08
	8hr.00'	777.465215	"	0.06
150	10'	124.393961	3.753211	3.0
	20'	250.279961	"	1.5
	30'	376.165961	"	0.99
	40'	502.051961	"	0.74
	50'	627.937961	"	0.59
	60'	753.823961	"	0.49
180	30"	31.05134	24.83074	80.0
	45"	48.7198	"	51.0
	1'00"	68.37494	"	36.3
	1'15"	87.03674	"	28.5
	2'30"	180.34574	"	13.8
	3'45"	273.65474	"	9.1
	5'00"	366.96374	"	6.8
	6'15"	460.2774	"	5.4
210	7'30"	553.58174	"	4.5
	15"	45.2374	99.63273	220.0
	20"	70.96404	"	140.0
	25"	99.63273	"	100.0
	30"	129.23563	"	77.1
	40"	188.44143	"	52.9
	50"	247.64723	"	40.2
	1'00"	306.85303	"	32.5
	2'00"	662.08783	"	15.0
	3'00"	1017.32263	"	9.8
240	5'00"	1727.79223	"	5.8
	10"	89.20863	390.6699	438.0
	15"	172.48987	"	226.0
	20"	270.908354	"	144.0
	30"	390.66099	"	100.0
	40"	743.6754	"	52.5
	50"	979.0124	"	39.9
	1'00"	1214.349	"	32.2
270	3'00"	4038.3934	"	9.7
	5'00"	6862.4374	"	5.7
	5"	95.320981	1309.37393	1370.0
	10"	294.20643	"	445.0
	20"	937.67036	"	140.0
	30"	1692.31193	"	77.4
	40"	2458.18793	"	53.3
	50"	3224.06393	"	40.6
1'00"	3989.93993	"	32.8	
3'00"	13180.45193	"	9.9	
5'00"	22370.96393	"	5.8	

をもとめ Table 5 に表示する。 $\Delta I_0/I_0$ は加硫時間を加硫度の目安としたとき、実質的にどのくらい食違をしょうずるかの目安である。たとえば 150°C, 10分加硫で $\Delta I_0/I_0=3.0\%$ であるからまずまず許容できるとしても、180°C 以上では数10%, あるいは100%をこえるものとなり、加硫時間で加硫度をしめすことの不合理性を

しめす。

〔4〕加硫度と物性値

高温、高速加硫をおこなうと加硫時間をもって加硫度にかえることができなくなるので、加硫度を計算してもとめることになる (Table 5)。おのおのの時間と温度、さらに加硫度のかんけいを Table 6 にしめす。120°~