

# Thick Film Resistor의 經時變化特性

李重輝, 韓光胤  
生産技術研究院 信賴性試驗室

## I. 概要

최근 산업용 hybrid 저항소체의 주류를 이루고 있는 Ruthenium Oxide(RuO<sub>2</sub>)계의 paste로 제작된 thick film resistor (R-network)의 壽命特性和 環境條件과의 관계를 분석 관찰하여 thick film resistor의 信賴性에 대한 기초 자료를 導出하여 보았다. 이를 위하여 여러 환경조건에 의한 加速壽命試驗을 실시한 후, 厚膜抵抗의 전기적 특성을 다음과 같이 고찰하였다.

- (1) Resistor pattern, 시험온도, paste의 종류, 제조소재별 경시변화 특성 분석
- (2) Third harmonic index (THI)와 저항의 degradation과의 상관관계
- (3) 加速壽命試驗 前後의 溫度特性 비교
- (4) Conductor 재질의 차이, overglaze에 대한 영향 관찰
- (5) 加速性的 성립 여부, 加速性이 성립하는 경우에 加速係數, 活性化 에너지 산출

## II. 試驗

### 1. 試驗試料製作

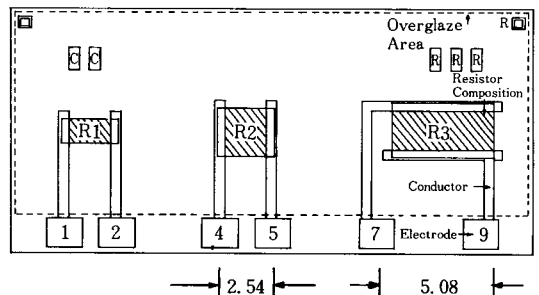
본 연구에 사용한 시료는 연구목적에 적합하도록 설계 제작한 것으로 개략적인 제작 도면은 그림1과 같다.

저항소체 (resistor paste)는 surge 전압, 전력손실이 palladium계에 비해 상대적으로 안정되고, 주위사용 환경의 영향을 적게 받아 최근 산업용 hybrid 재

료의 주류를 이루고 있는 Ruthenium Oxide(RuO<sub>2</sub>) 계열의 Dupont 6800 series paste를 선정하였고, 전체 저항범위를 대표할 수 있도록 低抵抗(100Ω/□)에 6820, 中抵抗에 (10KΩ/□) 6840, 高抵抗(1MΩ/□)에 6859 paste로 3종의 시료를 제작하였다.

저항 pattern의 크기는 그림1과 같이 20×20mm의 R<sub>2</sub>를 기준으로 설계 이론적으로 면적비가 R<sub>1</sub>:R<sub>2</sub>:R<sub>3</sub>=0.5:1:2의 비율이 되도록 설계하여 가로, 세로, 두께가 1, 0.5, 0.635mm의 96% Alumina substrate에 screening 인쇄하였다.

厚膜 抵抗體 시편은 paste 제조회사(Dupont)에서 권장하는 標準工程대로 국내의 대표적인 hybrid 제조업체 A, B 2사의 협조를 얻어 제작하였고, 주위사용 환경으로 부터 제품을 보호하기 위해 일반적으로



NO	WIDTH (mm)	LENGTH (mm)	L/W (squares)	W×L (mm <sup>2</sup> )	VALUE (ohm)		
					100ohm/sq	10Kohm/sq	1Mohm/sq
R1	1.25	2.0	1.6	2.5	200	20K	2M
R2	2.5	2.0	0.8	5.0	100	10K	1M
R3	5.0	2.0	0.4	10.0	50	5K	500K

그림 1. 시험시료제작 도면 (schematic view)

많이 사용하고 있는 glass encapsulation의 영향도 함께 관찰하기 위하여, 전체 시료의 절반은 Dupant 9137로 overglaze 처리를 하였고, 나머지 절반의 시료는 bare상태로 시험하였다.

2. 試驗 條件

RuO<sub>2</sub>-유리계 厚膜抵抗 network의 經時變化特性을 限定된 時間內에 보다 효율적으로 관찰하기 위해서, bias전압을 연속 인가하는 조건으로 溫度加速壽命試驗을 실시하였고, overglaze와 耐濕性과의 관계를 알아보기 위하여 耐濕試驗도 실시하였다.

세부적인 시험 그룹 구분은 표1과 같다. 시험그룹 1의 시험은 溫度加速에 따른 온도와 전기적 특성의 상관관계를 알아보기 위하여 총 4,000시간의 시험을 실시하였는데, 이 중에서 시험온도 130℃에서 시험한 그룹 1의 YR 시료는 시험시간 2,000h 經過時 conductor의 熱的劣化로 인하여 대부분의 시료에 lead pin이 substrate에서 離脫되는 현상이 발생함으로써 부득이 시험을 중단하고, 이 시점에서 70-100-130℃ data의 經時變化傾向을 분석한 후, 새로운 시료로 그룹2의 시험조건에 의한 재시험을 2000h 동안 진행하였다.

표 1. Thick film resistor 加速壽命試驗그룹과 條件

시험 그룹	Data File Code	加速壽命試驗의 條件						
		Stress	Condition	Bias 조건	수량	시험시간		
1	R	High Temperature	70 ℃	Dupant 6820: 180mW/mm <sup>2</sup>	40개	4000h		
	XR		100 ℃				40개	4000h
	YR		130 ℃				10개	2000h중단
2	*A	High Temperature	70 ℃	6840: 150mW/mm <sup>2</sup>	40개	2000h		
	*B		70 ℃				10개	2000h
	W		90 ℃				10개	2000h
	Z		110 ℃				10개	2000h
3	B	Temperature Cycle MIL-STD-883C Method 1010.5	-65℃ 10min	-	10개	10cycle		
			25℃ 5min					
4	K	내습시험	40℃, 95%RH	-	10개	2000h		
5	S	Ref. 시료, 상온상습에서 무부하로 방치			10개			

그룹 2의 A와 B의 차이점은 A는 stress를 가하지 않은 시료로, B는 그룹 3의 온도 cycle 조건으로 stress를 가한 후 동일한 시료로 각각 70℃에서의 재시험을 하였고 그룹 2의 W, Z는 group의 YR이

시험도중 중단되었기 때문에 온도 stress를 20℃ 낮추어 재시험 하였다.

각각의 環境條件에서 전기적 parameter의 經時變化特性을 관찰하기 위하여 10-50-100-200-500-1000-2000-3000-4000h마다 중간측정을 실시하였다.

이때마다, reference로 상온 상습조건에서 보관중인 그룹 5의 시료도 같이 측정하여, 온도 및 전압 stress를 받지 않은 시료의 전기적 특성변화도 함께 관찰하였다.

본 시험에는 conductor 재질(3종), paste 종류(3종), 1package당 저항소자(3종)으로 총 27종×180개=4860개 저항소자가 사용되었다.

Ⅲ. 溫度加速에 따른 抵抗變化率  $\Delta R/R_0$ 의 經時變化特性

加速壽命試驗에 나타나는 저항변화율  $\Delta R/R_0$ (R<sub>0</sub>: 초기저항치,  $\Delta R$ : 초기 저항치로부터의 저항변화량)과 시험시간에 대한 상관관계를 컴퓨터를 이용해 plotting 하였다.

그림2, 3, 4는 Y축을  $\ln \Delta R/R_0$ , X축을  $\sqrt{t}$  (t는 시험시간) scale로 각 paste별 저항소자 R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub>의 經時變化特性을 plotting한 것이다.

일반적인 경향은 시험시간에 따라  $\Delta R/R_0$ 가 점차적으로 증가됨을 나타내고 있으며, 시험초기의 과도 변화기를 지나 1000시간 이후 부터는 대체적인 저항의 經時變化特性이 시간의 제곱근( $\sqrt{t}$ )에 거의 線形的으로 변화됨을 알 수 있다.

Resistivity 10K $\Omega$ /□ paste의 경우는 100시간 이내의 시험초기에  $\Delta R/R_0$ 가 0.01% 정도로 급격히 변한 다음 그 이후로는 아주 微細한 抵抗變化特性을 나타내고 있다. 시험온도 조건에 따른  $\Delta R/R_0$ 의 加速性を 알아보기 위하여 각각의 paste 저항소자별로 經時變化 graph상의 주된 경향에서 벗어나 전체적인 대표값에 편차를 줄 수 있는 data를 filtering program routine으로 제거한 후 각각의 그룹에 대한 평균치의 궤적을 구하여 시험온도 조건별로 비교해 본 결과를 그림5와 6에 나타내었다.

각 paste별로 관찰해 보면 온도에 따른  $\Delta R/R_0$ 의 변화는 resistivity에 따라 서로 다른 paste 고유의 특성을 나타내고 있다.

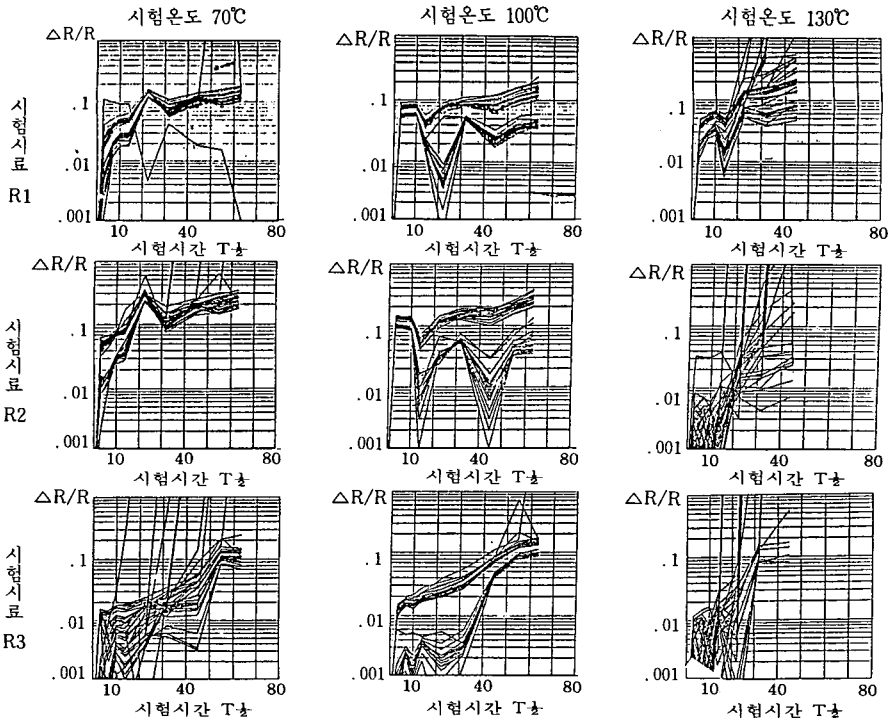


그림 2. Resistivity 100Ω/□ paste에 대한 가속시험온도별 경시변화특성  
Scale In  $\Delta R/R_0:\sqrt{t}$  Plot (t:시험시간)

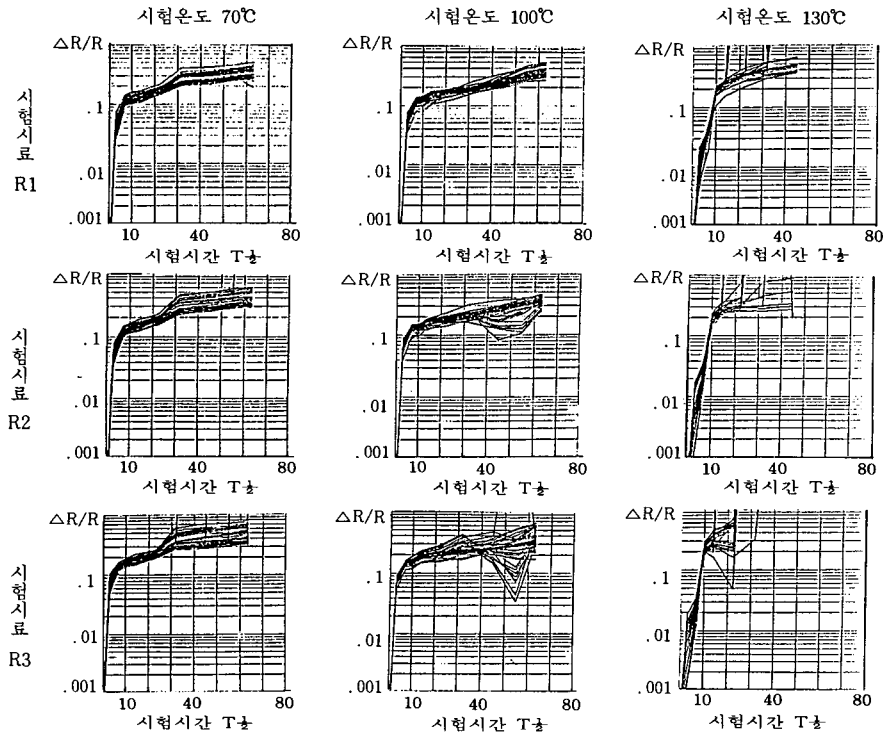


그림 3. Resistivity 10KΩ/□ paste에 대한 가속시험온도별 경시변화특성  
Scale In  $\Delta R/R_0:\sqrt{t}$  Plot (t:시험시간)

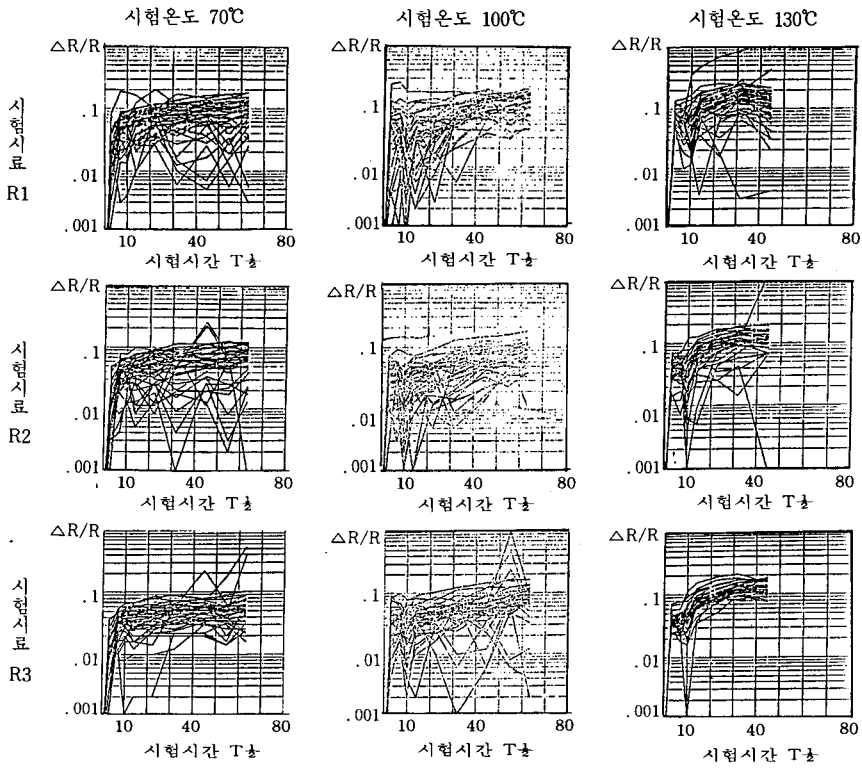


그림 4. Resistivity  $1M\Omega/\square$  paste에 대한 가속시험온도별 경시변화특성  
Scale In  $\Delta R/R_0: \sqrt{t}$  Plot (t: 시험시간)

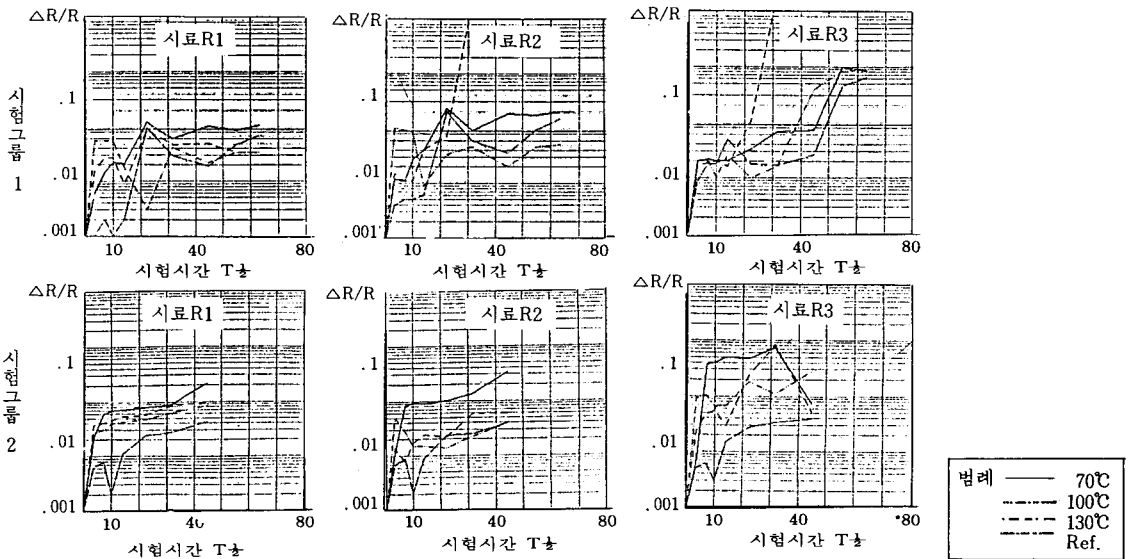


그림 5. Resistivity  $100\Omega/\square$  paste의 시험온도에 따른  $\Delta R/R_0$  평균치 경시변화 plot  
Scale In  $\Delta R/R_0: \sqrt{t}$  plot (t: 시험시간)

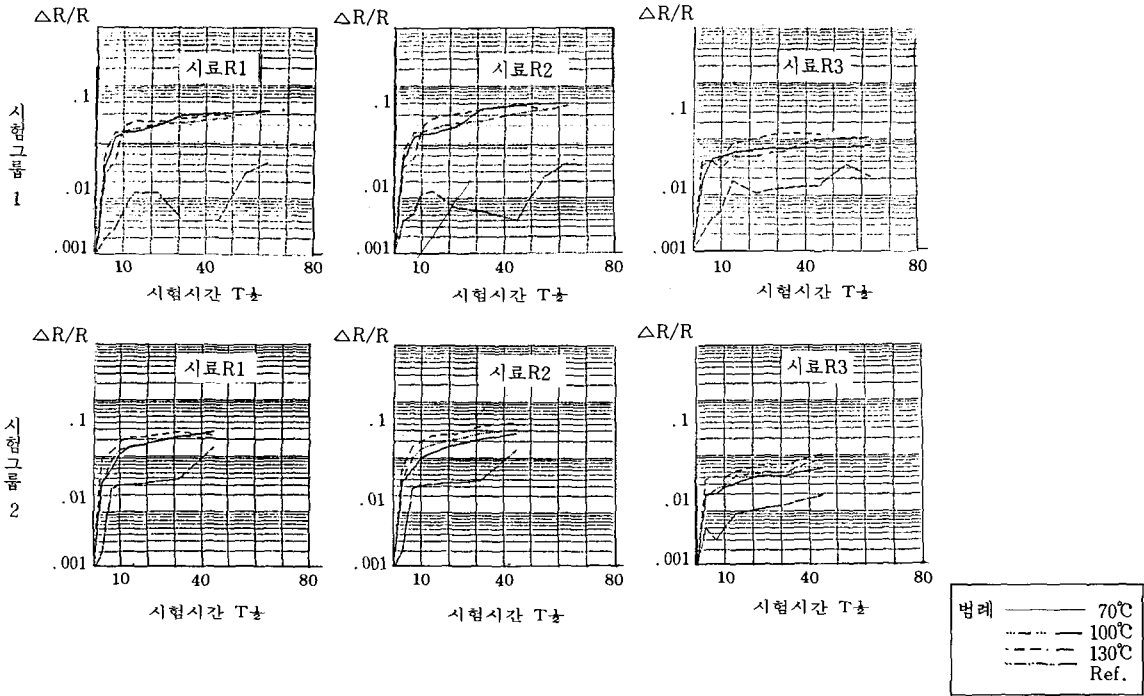


그림 6. Resistivity  $1M\Omega/\square$  paste의 시험온도에 따른  $\Delta R/R_0$  평균치 경시변화 plot  
Scale  $\ln \Delta R/R_0 : \sqrt{t}$  plot (t:시험시간)

Resistivity  $100\Omega/\square$ 의 경우 변화가 제일 不安定하고, 저항체 pattern의 면적비에 따른 소자( $R_1, R_2, R_3$ ) 간의 차이도 제일크며, 초기저항변화도 제일 심하게 나타나고 있다.

이러한 초기저항 변화는 그룹1과 그룹2를 비교 plot한 經時變化 궤적인 그림5와 6에서 보면 그룹1에서 나타나는  $\Delta R/R_0$ 의 初期에 불안정한 상태가 2000시간 동안 상온 상승상태에서 보관한 후 새로 가속 시험을 시작한 그룹2의 궤적에서는 상당히 完化되어 있는 것을 알 수 있다.

시험온도 상승에 따른  $\Delta R/R_0$ 의 변화도  $100\Omega/\square$ 의 경우는 시험온도  $100^\circ\text{C}$  및  $130^\circ\text{C}$ 에서의 변화가  $70^\circ\text{C}$ 와 비교할 때 상대적으로 減少된 반면, resistivity가 높은 paste에서는 변화가 적었다.

한편, 溫度 加速試驗中 발생된 고장시료의 분포를 보면(표2, 3, 4 참조)  $100^\circ\text{C}$ 보다  $70^\circ\text{C}$ 에서 더 많은 시료가 고장을 일으켰으며,  $70^\circ\text{C}$ 에서 발생된 고장은 대부분이 overglaze된 시료 (No. 1-20)에서 발생된 반면,  $100^\circ\text{C}, 120^\circ\text{C}$ 에서는 그러한 경향을 찾아볼 수 없

었다. (여기서 적용한 고장 판정 기준은  $\Delta R/R_0 > 1.5\%$ 임.)  $130^\circ\text{C}$ 에서 발생한 고장 형태는 저항 소체의 온도 상승이 conductor의 熱的인 劣化를 급격히 유발시켜 일어났고, 온도상승이 적은  $1M\Omega/\square$  paste를 제외하고는 대부분이 500내지 1000시간 사이에서 lead pin이 substrate에서 分離 離脱되었다.  $70^\circ\text{C}$ 에서의 고장 발생은 overglaze에 의해 主故障要因인 conductor의 劣化가 促進되었고, 이것은 주로  $70^\circ\text{C}$ 에서 급격히 일어났다.

이제까지의 結果들을 分析하여 볼 때, thick film resistor (DP 6800)의 抵抗變化率  $\Delta R/R_0$ 의 經時變化特性은 trimming 부위의 안정화에 따라 나타나는 것으로 보이는 初期 過渡變化와 더불어, 시험시간이 경과됨에 따라, conductor paste의 Ag, Pd와 같이 移動(migration) 性質이 강한 導電性 입자 이온들이 저항 paste내로 擴散되므로서 발생하는  $\Delta R/R_0$ 의 증가가 각기 서로 다른 時間의 依存性과 溫度 依存性을 가지고 복합적으로 나타나 온도에 따른  $\Delta R/R_0$ 의 加速性은 성립되지 않았다.

표 2. 70°C 온도가속시험중 시험시간별 고장발생시료수

Paste Resistivity	제조 업체	시료구분 Overglaze Unglaze	시험시간별 고장발생시료수 (T=70°C)									고장시료 총 계
			10h	50h	100h	200h	500h	1000h	2000h	3000h	4000h	
1000Ω/□	UY	No. 1-20 21-40						1	5	6	4	16
	DA	No. 1-20 21-40						7	7	1	1	16
	DB	No. 1-20 21-40						4	9	3		16
10K/□	UY	No. 1-20 21-40							1	4		5
	DA	No. 1-20 21-40						1		7	3	12
	DB	No. 1-20 21-40	1							9	4	14
1MΩ/□	UY	No. 1-20 21-40										0
	DA	No. 1-20 21-40	2				1		1			8
	DB	No. 1-20 21-40	1	1			1	1			3	7

표 3. 100°C 온도가속시험중 시험시간별 고장발생시료수

Paste Resistivity	제조 업체	시료구분 Overglaze Unglaze	시험시간별 고장발생시료수 (T=100°C)									고장시료 총 계
			10h	50h	100h	200h	500h	1000h	2000h	3000h	4000h	
100Ω/□	UY	No. 1-20 21-40						1		5		6
	DA	No. 1-20 21-40										0
	DB	No. 1-20 21-40										0
10KΩ/□	UY	No. 1-20 21-40								1		1
	BA	No. 1-20 21-40	2			1						3
	DB	No. 1-20 21-40			1							1
1MΩ/□	UY	No. 1-20 21-40										0
	DA	No. 1-20 21-40	5	1				1	1	1		11
	DB	No. 1-20 21-40	3				1					9

표 4. 130°C 온도가속시험중 시험시간별 고장발생시료수 4000시간 후 시험중단

Paste Resistivity	제조 업체	시료구분 Overglaze Unglaze	시험시간별 고장발생시료수 (T=130°C)								고장시료 총 계	
			10h	50h	100h	200h	500h	1000h	2000h	3000h		4000h
100Ω/□	UY	No. 1-20				1	19					40
		21-40				2	13	5				
	DA	No. 1-20					7	12	1			39
	21-40					2	16	1				
	DB	No. 1-20					4	14	2			40
		21-40					2	12	6			
10KΩ/□	UY	No. 1-20		1			18	1				40
		21-40			2	2	8	8				
	DA	No. 1-20						19	1			40
	21-40						17	3				
	DB	No. 1-20				1	9	10				39
		21-40						2	17			
1MΩ/□	UY	No. 1-20							2			4
		21-40							2			
	DA	No. 1-20	1	1		2	1		1			10
	21-40	1	1				1	2				
	DB	No. 1-20		1				1	1			10
		21-40	3	1	1		1	1				

IV. Third Harmonic Index (THI)와  $\Delta R/R_0$ (%)의 關係

迅速하고, 簡便하게 thick film resistor의 信賴性을 豫測할 수 있는 비 파괴적 측정방법으로서 third harmonic index (THI)와 多樣한 加速環境 條件에서  $\Delta R/R_0$  經時變化特性 및 thick film resistor의 信賴性과의 相關關係를 考察하여 보았다.

그림7은 70°C에서 4000시간 동안 溫度加速試驗을 한 후 저항변화율  $\Delta R/R_0$ 와 시험 初期에 측정된 third harmonic index와의 相關關係를 나타낸 것이며, 그림8은 동일한 시료의 저항변화율  $\Delta R/R_0$ 에 대한 經時變化特性을 나타낸 것이다.

이 두 그래프에서 보면, 分布의 주된 傾向에서 벗어나서 相對적으로 큰 THI 값을 나타내는 試料들은 저항변화율  $\Delta R/R_0$ 에 대한 經時變化特性 graph상에서도 역시 random한 形態의 經時變化 軌적을 나타내고 있다.

THI와 經時變化特性과의 이러한 연관성은 Gauss 分布로 THI data를 plot해 보면 보다 간명하게 나타

난다. 그림9에 이를 나타내었다.

그림9는 THI의 初期測定 data(index "0")와 70°C에서 4000시간 동안 시험한 후의 THI data(index "+")를 동시에 plot한 것으로, 累積分布 75%(-85dB) 이

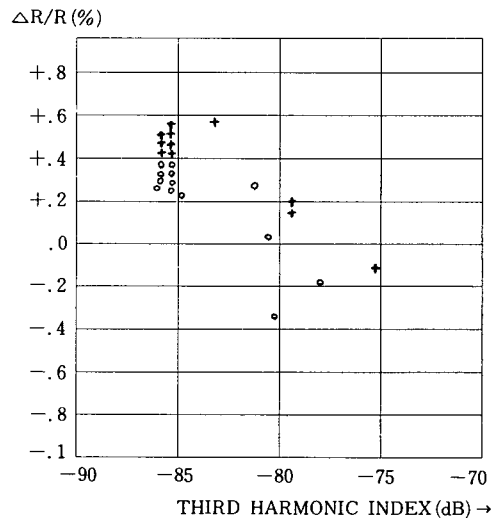


그림 7.  $\Delta R/R_0$ 과 THI와의 상관관계

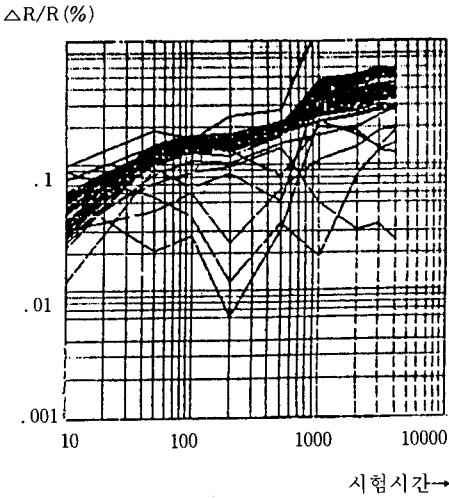


그림 8. 抵抗變化率  $\Delta R/R_0$ 의 經時變化特性

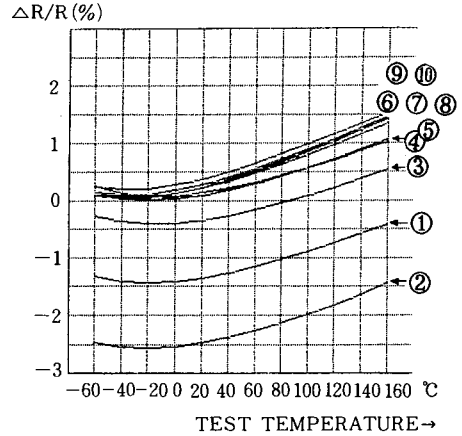


그림 10. 정상 group (6-10) 과 주된 분포에서 벗어난 group의 온도특성비교 (1-5)

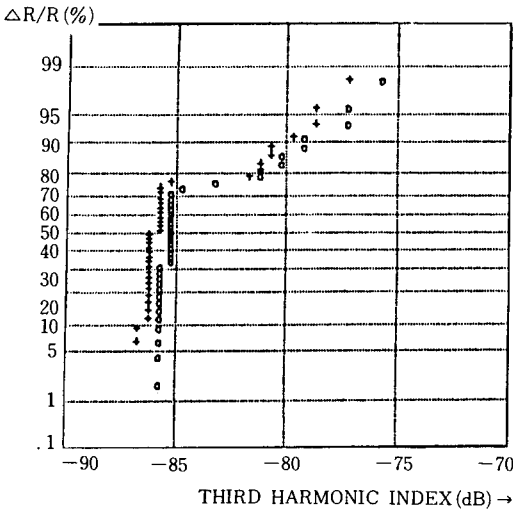


그림 9. THI의 Gauss distribution plot

상의 data는 Gauss 分布에서 벗어나 다른분포 특성을 나타내었고, 이 試料들은 그림8에서 random한 經時變化特性을 나타내는 試料group과 같은 試料였다.

그림10은 주된 分布에서 벗어난 試料 (No. ①-⑤) 와 正常分布의 試料 (No. ⑥-⑩)의 溫度特性 curve와 溫度係數를  $R_1$ 에 대해서 比較測定한 結果를 plot한 것이다. 여기에서도 溫度特性의 分明한 差異를 發見할 수 있다.

따라서 thick film resistor의 信賴性 제고를 위한 簡便하고 迅速한 screening test 方法은 THI라고 結論을 얻을 수 있다.

### V. 溫度依存성과 Degradation

Thick film resistor의 溫度 依存성은 抵抗溫度係數 (TCR)로서 表現될 수 있으며 TCR (temperature coefficient)의 정의는 다음과 같다.

$$TCR = \frac{R_T - R_{T_0}}{R_{T_0}} \cdot \frac{1}{T - T_0} \cdot 10^6 \text{ (PPm / } ^\circ\text{C)}$$

$R_T$ : 溫度 T에서의 저항치

$R_{T_0}$ : 基準溫度  $T_0$  (一般的으로 25%)에서의 저항치

그림11에 전형적인 thick film resistor의 抵抗 對 溫度의 profile을 나타내었다. 100°C 간격으로 A-E까지의 5점의 저항치가 그림11과 같다고 假定 할 때, 만일 점 B가 25°C일 때의 위치라면 ( $R_{75} - R_{25}$ )의 -온도쪽 TCR은 커질 것이고 반대로 D점이 25°C일 때의 위치라면 ( $R_{125} - R_{25}$ )의 +온도쪽 TCR이 커질 것이다. 이상적인 것은 25°C일 때의 저항치가 C점인 境遇, 正·負의 溫度係數 모두가 최소화 될 것이다. 이러한 이유로 대부분의 精密抵抗을 製造할 때는 抵抗 R 對 溫度 T의 特性曲線을 抵抗이 最小인 C점(앞으로는  $T_{min}$ 점으로 標示)이 가능한 한  $R_{25}$ 에 접근하



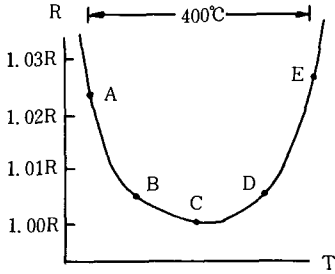


그림 11. Thick film resistor에서의 저항: 온도 특성 curve

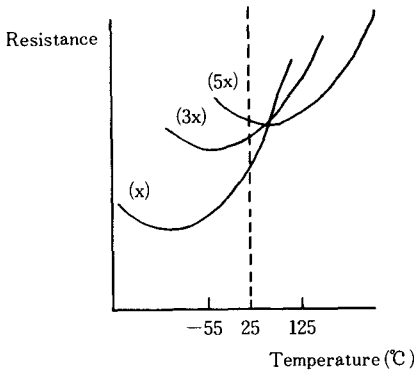


그림 12. TCR 변화인자 밀도에 따른 특성 curve의 Tmin 변화

도록 微細調整할 必要가 있다. 실제로는 TCR modifier로 불리는 화학적 因子를 適切히 混合·使用함으로써 이를 調整한다.

그림 12는 이러한 TCR 變化因子의 양에 따른, 溫度特性 curve상에서 Tmin점의 위치가 變하는 것을 나타낸 것으로 여기서 전체적인 特性 curve의 形態는 큰 變化없이 단지 抵抗 對 溫度의 상대 위치만이 變하는 것을 관찰할 수 있다.

이러한 變化는 根本적으로 化學的인 要因에 의한 것이며, 製造工程中에 parameter 管理形態에 따라서 敏感하게 變할 수 있다. 그 예를 그림 13에 나타내었다. 이것은 建國大學校 工業化學科 이준教授의 RuO<sub>2</sub> - 유리계 厚膜抵抗의 電氣抵抗에 관한 特性 研究에서 發見한 것으로 thick film resistor의 製造工程中에 firing profile 最高溫度인 850°C에서 속성한 유지 시간의 變化에 따른 溫度特性變化를 圖示한 것이다.

또, substrate의 熱膨脹係數와 TCR 特性과의 關係를 研究한 結果(B. E. Taler, J. J. Larry 및 J. J. Felten이 Progress in and technology of low cost silver containing thick film conductors에 發表한 研究結果)에 따르면 무시할 수 없는 gauge factor에 의한 Piezoresistive effect에 의해 thick film의 전기적 特性이 (resistivity 및 TCR)이 決定된다고 發表하였으며, 이 意味는 thick film resistor의 溫度特性이 thick film과 Alumina substrate의 熱膨脹係數간의 不조화에서 오는 影響을 받는다는 것을 意味한다.

그림 14는 熱膨脹係數가 서로 다른 substrate 재질에 따라 溫度特性 curve의 Tmin 점의 變하는 것을 나타낸 것이다. 여기서 substrate의 熱膨脹係數가 클수록 Tmin점은 낮은 溫度쪽으로 移動됨을 알 수 있다.

Thick film resistor의 이러한 溫度特性은 매우 濃度가 높은 유리 매질속에서 적은 도전 입자가 擴散되는 境遇, silica network과 導電性 oxide간의 π結合에 의해 生成되는 매우 좁은 傳導帶와 이때 얻어지는 매우 낮은 活性化 에너지에 의한 것이라고 Hill이 1979년 European Hybrid Microelectronics Conference에서 發表한 electrical transport in thick film resistor에서 입증하였다. 즉, 溫度特性 curve의 Tmin

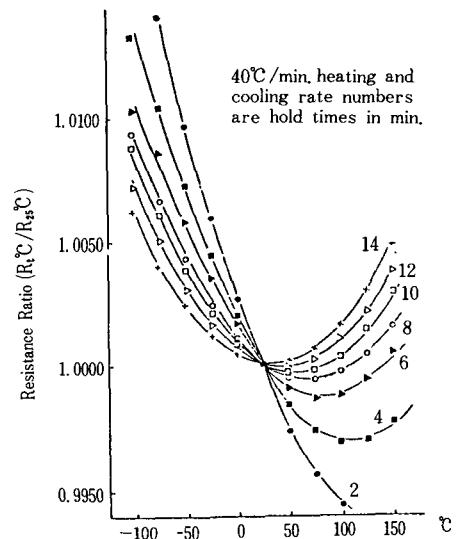


그림 13. Temperature dependence of relative sheet resistance for hold times from 2 to 14 min. at 850°C

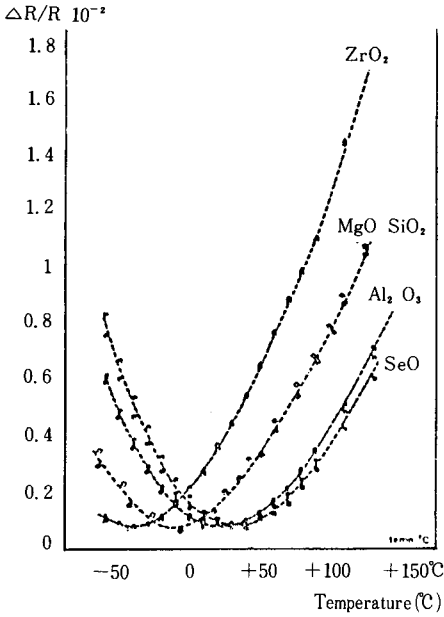


그림 14. Normalized resistance versus temperature for Dupont 1400 resistor screen and fired on different types of substrate.

점의 位置變化는 저항체 내의 導電(conductivity) 입자의 擴散등에 의한 導電性質의 變化에 基因한 것이다.

그림 15는 대표적으로 1MΩ/□ (6859) paste에 대한 加速試驗전에 측정된 溫度特性和 70°C에서 加速試驗을 4000h 동안 실시한 후의 溫度特性 curve를 비교한 graph이다. 이 溫度特性 curve 비교로는 溫度加速에 따른 Tmin점의 위치변화는 눈에 띄지 않았다. 또, 100°C, 130°C 加速試驗의 特性 curve와도 비교해 보았으나 역시 큰 變化는 없었다. 溫度係數 測定結果를 표 5에 明示하였다.

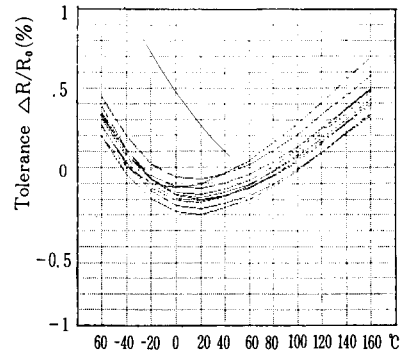
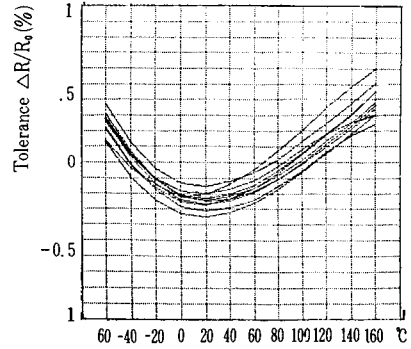


그림 15. 1MΩ/□ (6859) paste에 대한 加速시험 전, 후의 온도특성

이제까지 thick film resistor의 溫度加速에 따른 溫度特性變化를 관찰해 본 結果 bias 인가상태에서 周圍溫度 26°C에서 저항소자의 最大 溫度상승을 적외선 열방사 측정기로 측정된 結果 (그림 18 참조) max, 140°C 까지 상승되었으며, 이 溫度까지 thick film resistor paste의 溫度特性은 매우 安定되어 있었다.

표 5. 초기 측정치와 4000h 가속시험후의 TCR (ppm/°C).

저항 paste의 resistivity	제조회사	Initial 측정						4000h후 측정					
		20/-60°C			20/160°C			20/-60°C			20/160°C		
		R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>
100Ω/□ (6820)	UY	-26	-28	-33	83	85	91	-28	-32	-49	80	85	102
	DA	32	28.8	18	30	34	44	31	28.5	7.1	32	35	56
10KΩ/□ (6840)	UY	-27	-26	-24	96	95	94	-27	-25	-22	90	87	88
	DA	-10	-9.3	-5.3	78	81	82	8.8	10.1	-8.8	80	82	78
1 MΩ/□ (6859)	UY	61	60	60	36	38	44	63	62	61	43	44	45
	DA	139	130	129	3.6	2.6	4.0	140	141	133	9.6	6.1	2.3

### VI. Resistor Pattern, Conductor, Overglaze 와 $\Delta R/R_0$

#### 1. Resistor Pattern

Resistor의 소자  $R_1, R_2, R_3$ 에 대해서 (面積比:1/2:1 :2) 抵抗變化率의 經時變化特性 差異를 그림16에 나타내었다. Resistor pattern의 差異에 따른  $\Delta R/R_0$ 의 經時變化特性은 paste의 resistivity에 따라 달라서,  $100\Omega/\square$ 의 境遇  $R_1, R_2$ 와  $R_3$ 는 확연히 區別되나  $10K\Omega/\square, 1M\Omega/\square$ 의 境遇는 거의 類似함을 보인다.

$1M\Omega/\square$ 의 境遇는  $\Delta R/R_0$ 의 크기가  $R_1 > R_2 > R_3$ 로서  $100\Omega/\square, 100K\Omega/\square$  境遇의  $R_3 > R_2 > R_1$ 과 완전히 逆 관계인 점 이 특이하다. 각 소자 pattern 별 로 이러한 差異와 bias인가에 따른 抵抗소자와 表面 溫度 상승과의 關係를 알아보기 위하여,  $R_1, R_2, R_3$  각각의 表面溫度 상승 구배를 觀察하였다.

溫度加速試驗시 인가했던 bias 조건하에서 적외선 detecting sensor HgCdTd를 사용한 적외선 열방사 image scanner (Hughes, TVS 7300 system)로 試料의 表面溫度 分布를 測定한 結果를 그림17, 18에 나타내었다.

그림18에 標示한 점선은 그림17의 상측에 나타난 溫度分布의 斷面을 좀더 細分하여 나타낸 것으로, 右 測에는 抵抗소자  $R_1, R_2, R_3$  각각의 溫度를 標示하고, 左測은 소자간의 溫度구배 差異를 명시하였다.

溫度分布를 보면, 각 소자의 pattern 크기와 비례하여 중앙부를 중심으로 二次曲線形으로 낮아지는 形態로 각 소자의 온도차는  $15\sim 20^\circ C$  정도로 나타나고 있고, 이는  $Al_2O_3$  substrate의 낮은 熱傳導率에 基因되는 것으로 判斷된다.

$1M\Omega/\square$ 의 境遇는 周邊溫度와의 차이가  $2 - 3^\circ C$  정도로 發熱이 거의 없어 소자간의 溫度구배는  $1^\circ C$  未滿이었다.

溫度分布의 測定에 있어서, 考慮되어야 할 事項은 thermocouple에 의한 접촉식 測定方式과 적외선 感知에 의한 비 접촉방식으로 측정한 온도의 차이는  $2\sim 30^\circ C$ 나 前者의 境遇가 낮게 測定되었다는 점이다. 또 적외선 感知에 의한 측정도 적용하는 피 측정체의 放射率(emmissivity) 設定에 따라 다소 誤差가 생길 수 있다는 점이다.

이제까지의 測定 結果를 回路소자의 壽命과 劣化라는 觀點에서 觀察하여 보면 후막 저항소자의 주요 機能이 變化하거나 망실되거나 하는 사실은 후막저

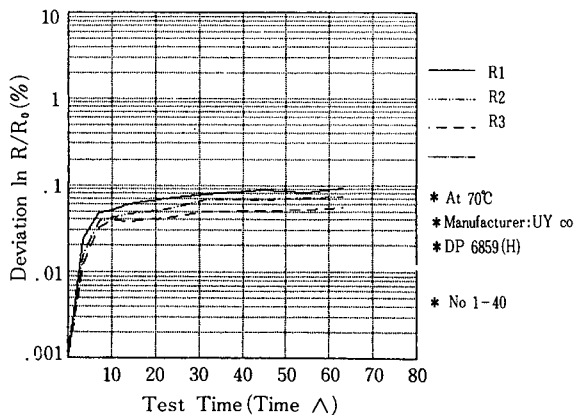
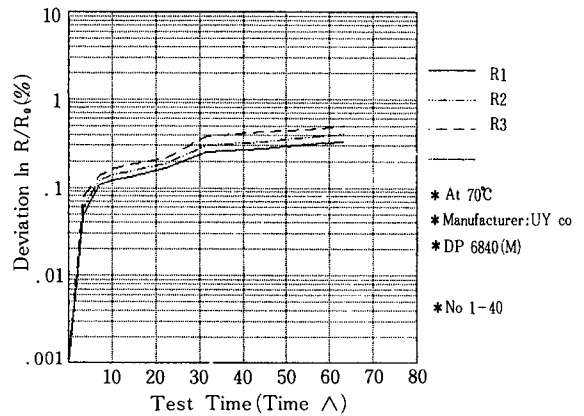
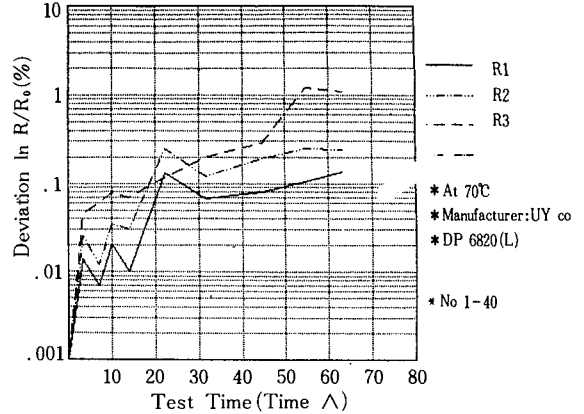


그림16. 저항소자 pattern 별  $\Delta R/R_0$ 의 經時변화

항소자를 구성하고 있는 微細組織이 可逆的 變化나, 不可逆的 變化때문에 基因하는데, 이러한 變化에 가장 큰 影響을 미치는 因子가 溫度임을 알 수 있었고,

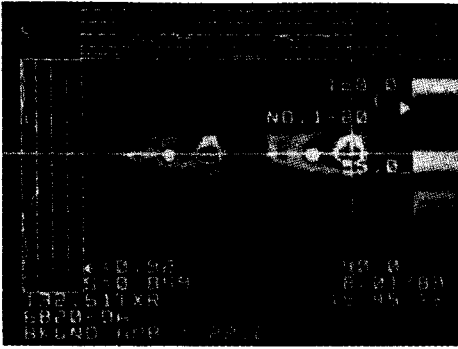


그림 17. 적외선 감지 IMAGE System으로 측정 한 thick film resistor의 열분포(100Ω/□)

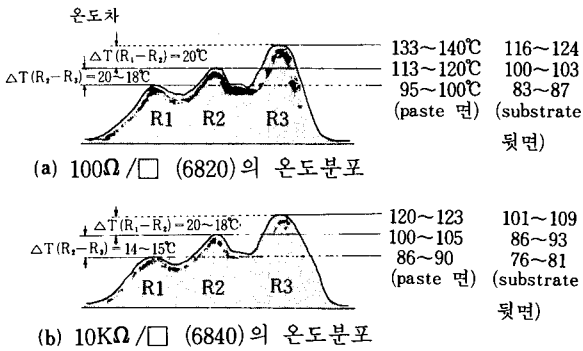


그림 18. 적외선 열방사측정기로 측정 한 각 소자의 온도상승 구배(주위온도 25°C)

후막 저항소자의 溫度特性 分布形態는 抵抗體의 pattern 및 構成材料의 熱的 性質에 따라 많은 영향을 받고 있다는 것을 알 수 있었다.

2. Conductor에 따른 차이

서로 다른 conductor paste를 사용하여 제작된 3종 (UY:6503, DA:9061, DB:6502)의 resistor에 대한  $\Delta R/R_0$  經時變化特性을 비교해 본 결과를 그림19에 나타내었다.

우선 동일한 조건하 (동일한 製造會社)에서 제작된 DA와 DB의 溫度特性을 비교해 보면  $R_{DA} < R_{DB}$ 로 Conductor 9061이 조금 나은 편이나 큰 차이는 없었다. UY와 DB간의 차이는 Conductor 6502와 6503의 차이이기 보다는 제조업체간의 process 차이에 基因하는 것으로 判斷되어 진다.

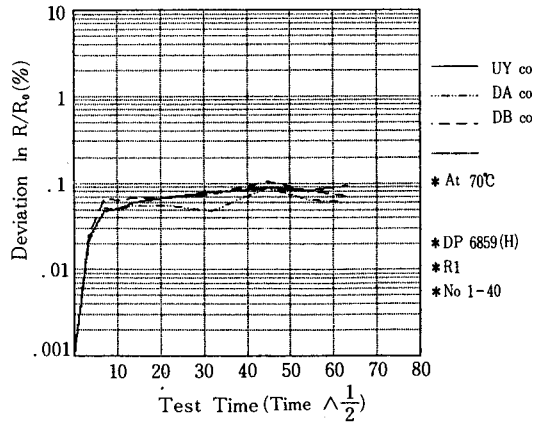
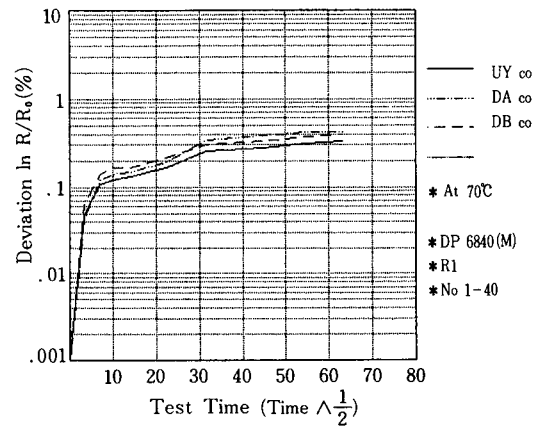
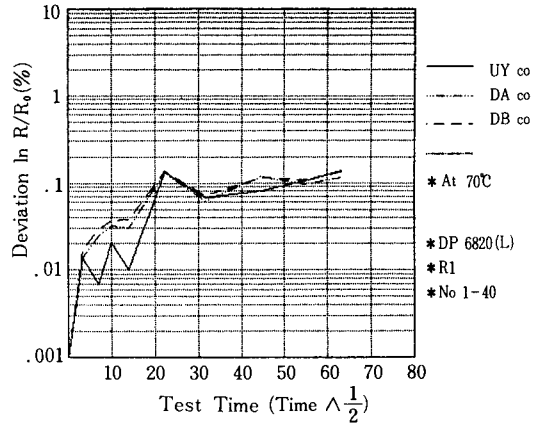


그림 19. Conductor paste 차이에 의한  $\Delta R/R_0$  경시변화 특성

3. Overglaze의 影響

Overglaze가  $\Delta R/R_0$ 의 변화에 미치는 영향을 알아보기 위하여 DP 9061로 overglaze된 試料 group(No.

1-20)과 overglaze 하지 않는 試料 group(No. 21-40)의 저항 변화율  $\Delta R/R_0$ 의 평균치를 시험시간에 대해 비교 plot한 결과를 그림20에 나타내었다.

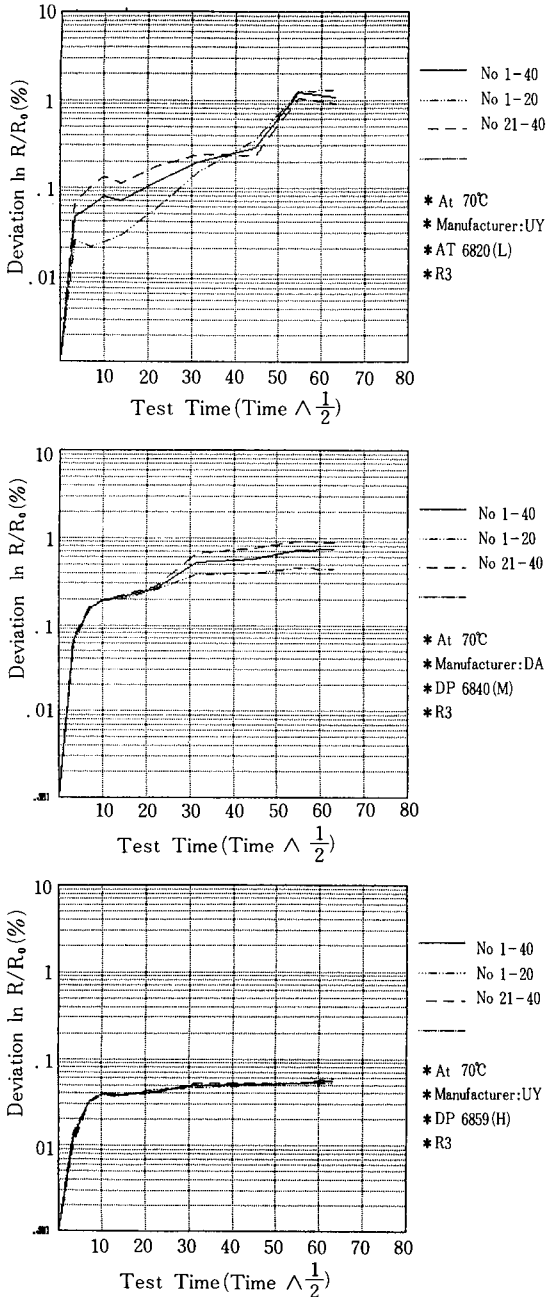


그림20. Overglaze (No. 1~20)된 시료와 unglaze (No. 21~40)된 시료와의 경시변화 특성비교

溫度加速試驗의境遇, overglaze 된, 試料 group은 overglaze안된 試料 group에 비해 相對的으로 더 안정된 것으로 나타나고 있고, glass 성분이 많은 paste, 즉 resistivity가 큰  $1M\Omega/\square$  paste의 경우는 거의 별 차이가 없었다.

그림21, 22는 overglaze 된 試料와 unglaze 試料의 저항체 뒷면의 溫度分布를 적외선 感知 image 측정기로 측정한 결과를 나타낸 것이다.

여기서 cursor(+ )부분의 溫度差를 보면 overglaze된 試料가  $6^{\circ}C$  낮은 것을 알 수 있고 온도구배의 分布도 unglaze 試料에 비해 넓게 전달된 것을 볼 수 있다. 이것으로서 overglaze는 저항 소자에서

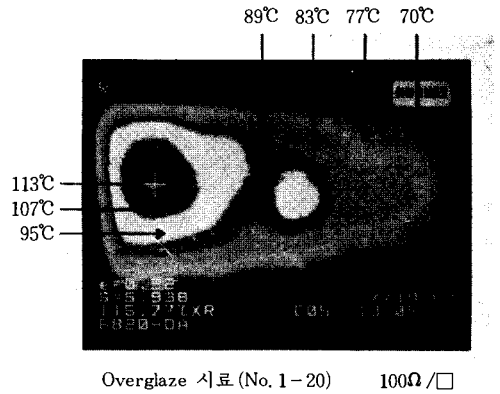


그림21. Overglaze된 thick film resistor의 열분포 image( $100\Omega/\square$ )

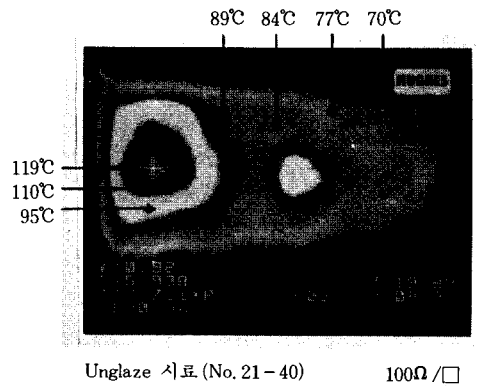


그림22. Unglaze된 thick film resistor의 열분포 image( $100\Omega/\square$ )

發生되는 열을 substrate 전체로 전달시켜 放熱效果를 높이는 역할을 함으로써, 相對的으로 unglaze 試料보다  $\Delta R/R_0$ 의 變化가 적다는 것을 알 수 있다.

耐濕試驗의 境遇도 그림23에 나타난 바와 같이 overglaze된 group은, 거의 變化가 없으나, unglaze 試料는 時間의 經過에 따라 抵抗이 減小되는 傾向을 나타내며, 이러한 現象은 resistivity가 큰 paste일 수록  $\Delta R/R_0$ 의 變化는 크게 나타났다.

Overglaze는 결과적으로 다음과 같은 두가지 效果가 있는 것으로 나타났다.

첫째 : 저항소자의 表面을 외부의 濕氣나, 酸素와 接觸에 따른 擴散으로 부터 保護하고, (이것은 高溫 aging시 매우 중요)

둘째 : 저항소자 자체의 stress relief에 基因하는

抵抗變化를 막는 效果로서 이것은 overglaze의 熱膨脹係數가 저항소체 자체보다는 substrate의 熱膨脹과 더 잘 matching 되기 때문인 것으로 推定된다.

반면 70°C 溫度加速試驗結果 發生된 破局故障 ( $\Delta R/R_0$ , 10%)의 分布를 보면 표2에 나타난 것과 같이 破局故障은 대부분 overglaze된 試料 group에서 發生되었다. 이것은 overglaze의 逆效果로서, overglaze의 glass 成分이 그림24와 표6(破局故障을 일으킨 試料에 대한 SEM과 EDAX에 의한 觀察 結果)에 나타났듯이 conductor line에 깊게 침식되어 conductor 내부의 導電通路가 부분적으로 또는 거의 다 遮斷되어 結局은 conductor의 抵抗이 급격히 증가하는 破局故障을 일으켰기 때문이다.

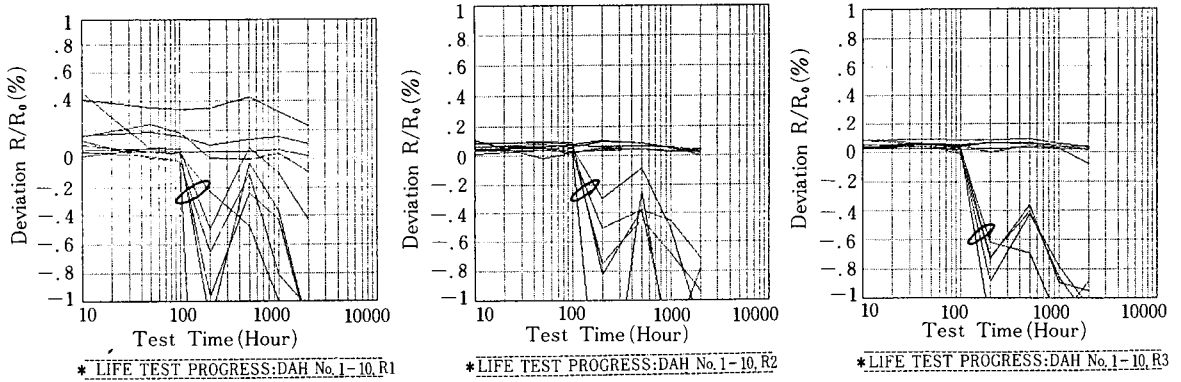
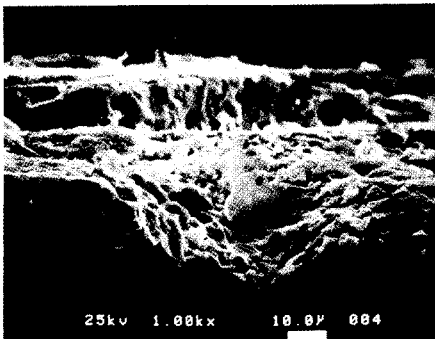
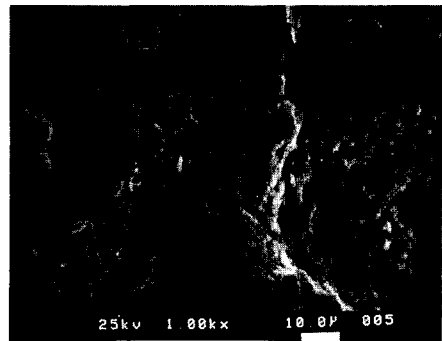


그림23. 내습시험결과 비교 No. 1~20은 overglaze된 thick film resistor  
No. 21~40'(O로 표시된 부분) unglaze된 thick film resistor



(a) Overglaze를 etching 시킨 후 conductor line 절단면



70°C 3000h RUM-7-R<sub>3</sub>  
(b) Glass 成分이 conductor 내부로 침투되어  
과여진 골의 형상 etching

그림24. Conductor line 부위의 SEM 사진  
(70°C에서 3000시간동안 가속수명 시험 후 overglaze의 glass  
성분이 conductor 내부로 침투된 형상)

표 6. EDAX로 화학성분의 이동을 분석한 결과

Elements Layer	Mg	Al	Si	Pb	Ag	Cr	Bi	
over glaze	-	-	16.40	79.87	tr	3.75	-	층 중앙
conductor	0.31	1.45	5.96	34.72	57.56	-	-	층 중앙
substrate	0.27	72.29	4.27	2.73	3.94	-	16.49	계면으로 부터 10 $\mu$ m 지점

녹색안료성분 (Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)

- substrate로 부터 확산
- overglaze로 부터 glass상이 이행
- conductor로 부터 이행  
Bi의 mobility > Ag

筆者紹介



李重輝  
1949年 2月 22日生  
1972年 2月 한양대학교  
전자공학과 졸업

1976年 6月~현재 생산기술연구원 신뢰성시험실  
실장



韓光胤  
1960年 1月 25日生  
1986年 2月 성균관대학교  
전자공학과 졸업

1986年 12月~현재 생산기술연구원 신뢰성시험실