가속시험을 이용한 가스 센서 신뢰성
Reliability Analysis of Gas Sensor Based on ALT

김종결*, 채수근**, 강규섭**
성균관대학교 시스템경영공학부*
동양매직**

ABSTRACT

가스기기 안전장치및 조리기구에 중요한 안전장치인 Gas Sensor를 가속시험을 이용하여 신뢰성을 분석하였다.

시험을 실시한 결과 GAS SENSOR의 Heater는 인가전압에 따른 특성 변화가 아레니우스 모델과 어링모델이 잘 일치함을 보여주었다.즉, Heater선의 전압은 발열온도에 비례하고 있음을 알 수 있었다.

이번 실험을 통하여 STRESS에 비례적으로 특성이 변하는 제품은 설계단계에서 수명에 영향을 주는 잠재적 취약부를 단시간에 효과적으로 끌어내어 개선할 수 있는 기술임을 입증하였으나 다양한 STRESS의 복합적인 인자에 의하여 변화되는 특성을 분석하여 실질적으로 현장실무에 활용을 위해서는 많은 기술적 보안이 필요할 것으로 판단된다.

1. 서론

일반적으로 제품의 설계단계에서부터 기술적인 수명예측을 통한 신뢰성을 확보하지 못할경우 시장에서 Warranty Cost 및 PL등과 연관되어 제품의 신뢰성 저하로 기업 이미지에 치명적인 영향을 준다. 따라서 가속수명 시험방법은 설계단계에서 설계기간의 단축, 최적품질의 원가설계 및 초기 신뢰성 확보면에서 중요한 기술이다.

그러나 극히 일부 부품을 제외하고는 산업현장에서 기업이 활용할 수 있는 기술이 전무한 상태이다. 따라서 신뢰성 기술을 적용하기 위한 기초 수준에서 단순기능이며 수명에 영향을 주는 인자가 적은 부품을 선정 시험하게 되었다.

Gas Sensor는 Semiconductor가 GAS를 검출할 수 있게 도와주는 가열 HEATOR에 의해 수명 및 성능이 결정되어진다. 따라서 가열 HEATER에 영향을 주는 환경적 요인과 전기적 요인을 분석 검토하였다.

2. 시험방법

2.1 Sensor의 원리

Gas Sensitive Semiconduction표면에는 Electric Resistance가 큰 분말성분의 물질이 도포되어 있다. 이 분말 성분은 특정 Gas에 노출되어 Gas의 특정분자가 분말에 흡착되어 Electric Resistance가 급격히 감소시켜 Sensitive Semiconductor 양단에 전자(Electrons) 이동을 쉽게 할 수 있게 한다. 이때 흐르는 전자량 즉, 전류를 회로가 감지하여 Gas의 유출을 검출하는 것이다.

SENSOR 구성요소 중 Heater는 Sensor주변의 온도를 높여 감지하고자 하는 매체 Gas의 분자가 Sensitive Semiconductor 표면 흡착이 용이하게 하는 역할을 하며 Sensitive Semiconductor와 함께 Gas Sensor의 수명을 결정하는 핵심 요소이다.

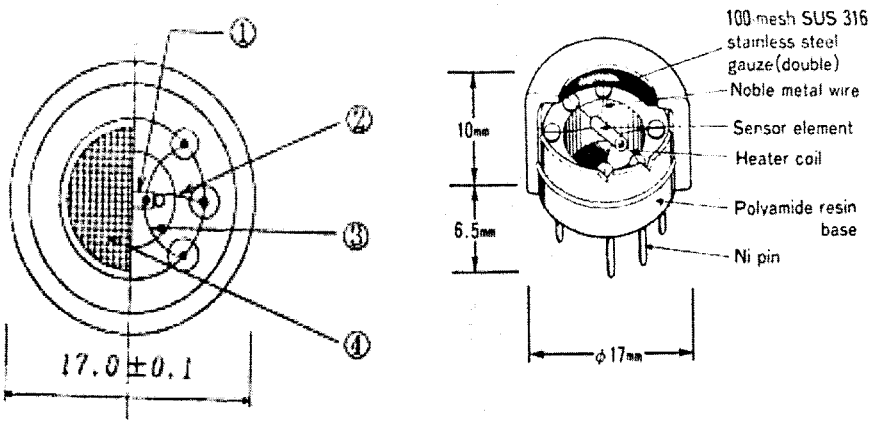

그림 1. GAS SENSOR의 내부구조

2.1 Heater의 물리적 특성

국내 반도체식 가스센서의 Heater선은 표 1에 나타난 것처럼 Fe-Cr 제 1종(FCH1)을 사용하고 있다.

표 1. Heater선의 물리적 특성

기호	고유저항	밀도	결정조직	용융점	열팽창계수	최고사용온도
	[Ω -㎝]	[g/㎤]		[℃]	× 10^{-6}	[℃]
FCH1 (Fe-Cr 제1종)	142± 7	7.2	페라이트	1520	5	1250
	선경	단면적	길이	중량	체적저항(Ω /m)	
	[㎜]	[㎟]	[㎝/g]	[g/㎝]	최대	표준
	0.06	0.002827	4.902	0.204	549	495

Heater선으로 사용하기 위해서는 다음의 특성이 우수할수록 좋다.

① High Melting Point
② High Electrical Resistivity
③ Reproducible Temperature Coefficiemt Of Resistance
④ Good Oxidation Temperature Coefficiemt Of Resistance
⑤ Good Resistance To Thermal Shock
⑥ High Emissivity
⑦ Good Strength And Ductilitty

표2는 국내에서 사용하고 있는 Heater선의 BDV와 저항값을 측정한 것이다. BDV는 사용정격(5V)에 5배정도 된다. 국내에서 사용하는 Heater선은 Φ0.1의 Fe-Cr선으로 인발하여 사용하고 있다. 표2 에서 측정한 값을 이용하여 고유저항값을 식(41)을 이용하여 계산하여 보면 다음과 같다.

$$R = p \times (L/S) \qquad (1)$$

여기서 R : 저항값 (Ω)
L : 길 이(㎝)
ρ : 저항율 (Ω-㎝)
S : 면적 (㎠)

표 2. Heater선의 BDV 및 저항측정

구분	측정값(시료수 : 20개)					평 균
Breakdown Voltage[V]	19	18	20	20	20	20.25[V]
	22	20	22	20	22	
	20	20	19	22	22	
	20	20	19	20	20	
Heater선 저항[Ω]	29.8	30.1	30.2	29.7	29.1	29.86[Ω]
	29.8	30.2	30.6	30.3	28.7	
	30.5	29.7	30.5	30.7	29.1	
	30	27.7	30.4	29.9	30.1	

R은 표 2에서 29.86Ω이고, L은 6.5㎝, S는 $\pi \times 0.0032 = 28.2 \times 10\text{-}2㎠$이다.

이때의 저항을 계산하여 보면 저항율 (ρ은 129.5μΩ-㎝)가 얻어졌다. 표 1에 나타난 저항율의 범위는 135~149.9 (μΩ-㎝)로 되어있다. 실제 측정된 값이 측정시 온도 및 습도등 환경에 의한 오차로 정격치 범위를 다소 벗어나고 있다.

2.3 환경 및 시험조건

상온(25℃±5℃) 및 상습(75%±5%)에서 시료 20개를 선정, 전압에 따른 Break down Voltage 및 Heater저항을 측정하여 이를 근거로 시험인가 전압을 11V, 14V, 15V, 16V, 17V로 가해서 시험을 실시하였다.

2.4 Heater의 수명에 영향을 주는 열화모드

(1) 인발, Winding, Weaving시에 생기는 잔류응력
(2) Heater 선 자체의 금속학적 불안정
(3) 부식(Corrosion)이나 산화(Oxidation)

3. 시험결과

3.1 와이블 해석

1) No Cap Heater

표 3. Heater(NO CAP)선의 수명특성

Test semple : Heater(NO CAP)			
CONDITION	m	η (sec)	MTTF(sec)
11V	1.1	880000	844800
14V	1.1	7800	7488
15V	0.9	1600	1680
16V	0.7	120	156
17V	1	34	34

이 결과를 이용하여 5V에서 산출한 MTTF는 약 L(5V)=1014 (SEC)로 계산되었다.

2) Cap Heater

표 4. Heater(CAP)선의 수명특성

Test semple : Heater(CAP)			
CONDITION	m	η (sec)	MTTF(sec)
14V	1.2	460	432
	4.2	290	264
15V	1.2	200	188
	4.2	165	150
16V	5.3	115	106

3.2 아레니우스 모델

Heater선의 온도는 방폭망을 하지 않은것 (NO CAP)을 대상으로 측정하였다. 방폭망을 한 것은 온도측정이 불가능하였다. 따라서 아레니우스 모델은 NO CAP만 적용하여 신뢰도를 예측하였다. 온도측정은 지정된 온도에서 녹는 펜슬을 이용하여 실시하였으나, 그 결과를 그림 7에서 Heater선의 온도와 전압과의 관계로 나타내었다.

표 5. Heater(NO CAP)선의 온도

전압[V]	온도[℃]	(1/T)× 10^{-3}	MTTF(sec)
5	380.2	1.531	-
11	778.6	0.951	844800
14	911.8	0.779	7488
15	1044.2	0.759	1680
16	1110.6	0.723	156
17	1177	0.69	34

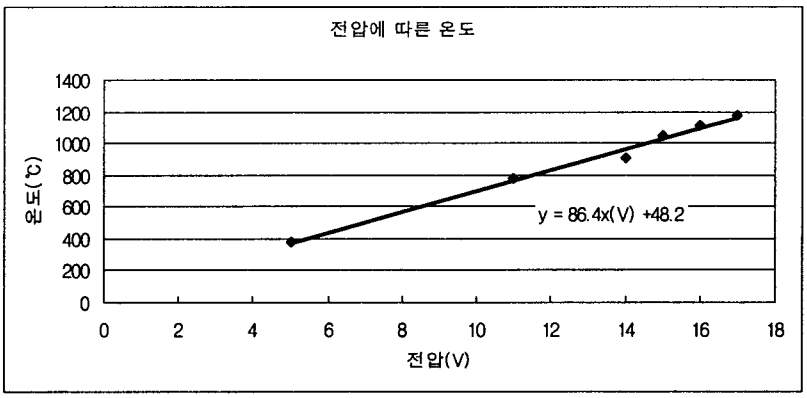

그림 2. Heater선의 온도와 전압관계

그림 3은 식(2)를 이용하여 표 5의 데이터를 그린 것이다.

$$L = Lo \times EXP(\Delta E/RT) \qquad (2)$$

여기서 L : 가속시험에서의 수명
Lo : 5V에서의 수명 T : 절대온도
ΔE : 활성화에너지 R : 기체상수

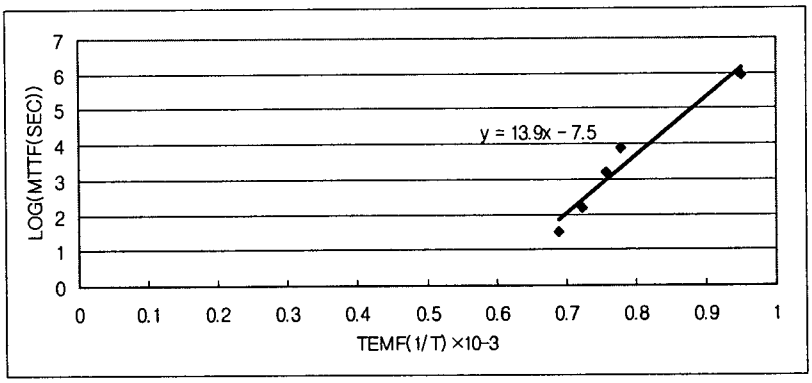

그림 3. 아레니우스 Plot

그림3에서 다음과 같은 결과를 얻었다.

$$\Delta E(\text{활성화에너지}) = 1.2eV,\ 1(5) = 10^{13.9}\ (sec)$$

3.3 어링 모델

어링모델은 방폭망을 하지않고 시험한 데이터를 이용하여 산출하였다.

$$L = Lo \times S^{-n}$$

여기서 L : 가속시험에서의 수명
Lo : 5V에서의 수명
S : 스트레스(전압)
n : 가속지수

표 5에서 나타난 전압과 수명관계를 그림 9에 나타내었다.
이를 통해 다음과 같은 결과를 얻었다.

$$n(\text{가속지수}) = 20.1,\ L(5) = 10^{13.9}\ (sec)$$

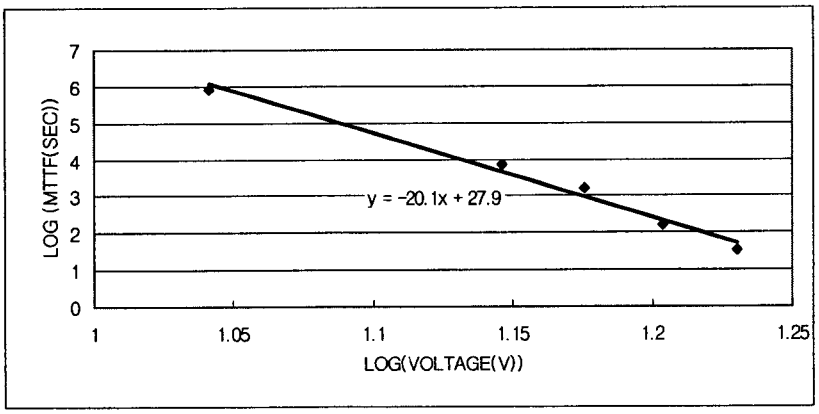

그림 4. Heater선의 전압과 수명관계

4. 결론

1) 예측결과

방폭망을 하지않고 가속시험한 GAS SENSOR의 HEATER선은 아레니우스 모델과 어링 모델이 잘 일치하고 있음을 보여주고 있다. 즉, HEATER선의 전압은 발열온도에 비례하고 있음을 알 수 있다. 그러나 이 시험에서는 최하 11V까지만 시험을 하고 그 이하의 전압으로는 시험시간이 매우 길게되어 시험을 할 수 없었다.

여기서 시험한 것은 그림 10에서 나타난 그림에서 수명이 5V까지 일직선(직선 A)나타낸다는 것을 산정 하여 예측한 것이다. 그러나 실제에서는 직선 B의 형태를 가질 것이다. 직선 B의 형태를 찾아내기는 어렵다. 왜냐하면 시험시간이 수년에 걸쳐 길어지게 되어 문제가 생기게 된다. 따라서 이에 대한 대책으로 고장의 개념을 도입하여 신뢰도 예측을 실시하였다.

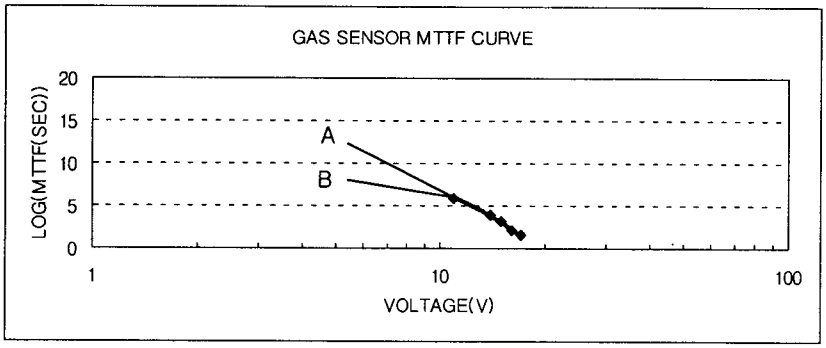

그림 5. Gas Sensor MTTF 곡선

2) 결론 및 향후대책

GAS Sensor의 Heater 시험결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 수명예측에는 아레니우스 모델과 어링 모델이 잘 일치한다.

- 아레니우스 모델 [L= Lo× EXP (⊿E/RT)]
  ⊿E(활성화에너지) = 1.2eV, L(5V) 13.9 = 10(sec)

- 어링 모델 [L = Lo×S -n]
  n(가속지수) = 20.1, L(5V)13.9 = 10(sec)

(2) Gas Sensor의 Heater선 고장율은 매우 낮은것으로 여겨지나 공정(제조)상 인발공정등에서 소재편차 및 제조편차가 미치는 수명분석이 해결과제로 남았다.

(3) 초기 개발 시 분석한 수명이 생산 공정의 현장에서의 품질과 연계성을 해결할 수 있으려면 수명에 영향을 주는 복합적 인자 검출과 인자간의 상호 복합적 영향을 단시간에 검출할 수 있는 기술이 필요함을 알았다.

전압[V]	온도[℃]	$(1/T)\times10^{-3}$	MTTF(sec)	$(1/T)\times10^{-3}$	LOG(VOLTAGE)	LOG(MTTF(sec))
5	380.2	1.531	-			
11	778.6	0.951	844800	0.951	1.041392685	5.926753905
14	911.8	0.779	7488	0.779	1.146128036	3.874365836
15	1044.2	0.759	1680	0.759	1.176091259	3.225309282
16	1110.6	0.723	156	0.723	1.204119983	2.193124598
17	1177	0.69	34	0.69	1.230448921	1.531478917