

3D2) Taguchi 실험설계법을 적용한 TMA(trimethylamine) 반도체 가스 센서의 개발

The Development of Semiconductor Gas Sensor for TMA Using Taguchi Experimental Design

김선태 · 최일환 · 김한수¹⁾ · 이철호²⁾

대전대학교 환경공학과, ¹⁾한국배연탈황탈질연구소(주), ²⁾(주)오이코스 기술연구소

1. 서 론

본 연구에서는 가스 센서의 제작시 센서의 성능에 주는 요인을 체계적이고 효율적으로 해석 할 수 있는 Taguchi 실험계획법을 적용하여, 식품이나 어류의 부패시 방출되는 주된 가스로 잘 알려진 TMA(trimethylamine) 가스를 검지하는 반도체 가스 센서를 제작하였다. 또한, Taguchi 법에 의해 제작되어진 센서와 시행착오적(trial and error)인 실험방법으로 제작되는 센서의 비교 평가를 통해 Taguchi 법의 우수성을 확인하고자 하였다.

2. 연구 방법

반도체를 이용한 가스 센서를 제작시 실험설계의 인자에 대한 선정은 국내의 논문과 문헌을 통하여 선정되었으며, Table 1의 왼쪽과 같은 L-8(2⁷)의 직교배열표(orthogonal array)에 따라 오른쪽의 실험계획을 작성하였다. 실험인자는 A~G까지 총 7개의 인자(parameter)에 대해 2개의 수준(level)으로 하였고, 실험인자 A는 주물질(main materials)에 대한 비교로 주물질 SnO₂를 독립적으로 사용했을 때와 2종류의 주물질로 이뤄진 SnO₂+WO₃(1%)의 비교이다. 또한, B와 C 인자는 촉매물질인 HAuCl₄와 H₂PtCl₆·6H₂O를 사용했을 때와 사용하지 않았을 때의 비교로, 이때의 촉매량은 2drops로 고정시켰다. 동일한 방법으로 D~F는 첨가물질 PdCl₂, TiO₂, Al₂O₃, In₂O₃, V₂O₅를 사용했을 때의 비교이다. 마지막 G 인자는 첨가량의 비교로 첨가물질(D~F)을 주물질에 1%와 5%로 양을 각각 다르게 넣었을 때의 센서 성능 비교로 이뤄졌다.

본 연구에서 사용되어진 센서소자 기판은 알루미늄(Al₂O₃) 기판에 전면은 금으로 된 전극과 후면에는 백금으로 된 히터가 각각 인쇄되어 있다. 센서 제작에 사용되는 주물질과 첨가물질은 모두 Aldrich Chem. co., 99.9% 고순도 시약을 사용하여 분말상태로 잘 혼합한 후 paste 형태로 제조하였고, 평가에 사용되어진 TMA 가스는 997.2 ppm 수준의 표준가스를 희석장치등을 거쳐 7.81 ppm 수준의 농도로 chamber에 주입하여 센서의 성능을 평가하였다.

Table 1. Taguchi experimental design searching the optimum parameter condition.

L-8(2 ⁷) orthogonal array							
	A	B	C	D	E	F	G
Trial 1	1	1	1	1	1	1	1
Trial 2	1	1	1	2	2	2	2
Trial 3	1	2	2	1	1	2	2
Trial 4	1	2	2	2	2	1	1
Trial 5	2	1	2	1	2	1	2
Trial 6	2	1	2	2	1	2	1
Trial 7	2	2	1	1	2	2	1
Trial 8	2	2	1	2	1	1	2

Parameter	Level-1	Level-2
A Main materials	SnO ₂	SnO ₂ +WO ₃ (1%)
B Catalysis 1	HAuCl ₄	None
C Catalysis 2	H ₂ PtCl ₆ ·6H ₂ O	None
D Additive 1	PdCl ₂	None
E Additive 2	TiO ₂	Al ₂ O ₃
F Additive 3	In ₂ O ₃	V ₂ O ₅
G Qt. of additives	1%	5%

3. 결과 및 고찰

Table 2는 실험 수행 결과로, 하나의 센서에 대해 동일한 5개의 센서를 제작하여 실험하였고 재현성도 동시에 평가하였다. 실험결과를 평가하는 기준은 평균뿐만 아니라 분산의 특성까지 고려한 S/N(signal-to-noise) ratio = -10log(MSD), [MSD : Mean Standard Deviation]을 이용하였으며, 결

Table 2. Results of sensitivity(out-voltage) and S/N ration for the eight case of sensor with four replication experimenys.

	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	Sample 5	Mean	S/N Ratio
Trial 1	0.21	0.29	0.21	0.37	0.41	0.30	-11.49
Trial 2	0.02	0.02	0.02	0.04	0.01	0.02	-35.59
Trial 3	0.05	0.03	0.03	0.03	0.05	0.04	-29.17
Trial 4	1.66	1.35	0.93	0.66	1.09	1.14	-0.18
Trial 5	0.71	0.46	0.55	0.66	1.15	0.71	-4.17
Trial 6	0.04	0.04	0.06	0.07	0.03	0.05	-27.55
Trial 7	0.02	0.01	0.01	0.03	0.05	0.02	-36.82
Trial 8	0.95	0.73	1.06	0.44	1.57	0.95	-2.76

이러한 평가 방법은 기존의 시행착오적인 실험결과의 해석 일뿐 요인별 상호간의 교호작용을 평가하지는 못한다. 반면, Taguchi 법에서는 Table 2의 결과를 토대로 요인 상호간의 수준을 평가하여 Table 3과 같은 각 요인별 수준의 결과를 구할 수 있다. 그 결과 F 인자인 In_2O_3 의 기여율이 91.9%로 가장 높았으며, 나머지 인자들은 기여율이 F 인자에 비해 기여율이 상당히 낮은 것으로 평가 되었다.

최종적으로 각 요인별로 두개의 수준(level 1, 2) 중에서 S/N ratio가 큰 수준을 최적 실험조건으로 선정하게 된다. 즉, $A_2B_2C_2D_2E_1F_1G_2$ 의 조건으로 SnO_2 와 $WO_3(1\%)$ 로 이뤄진 주물질에 촉매물질(B, C)은 모두 사용하지 않으며, 첨가물질 중에는 $TiO_2(E)$, $In_2O_3(F)$ 를 사용하고 이때의 첨가량은 5%의 첨가량을 사용하여 센서를 제작하는 것이 TMA 가스센서를 제작하는 최적 조건이 되는 것이다. 이에, 마지막 단계로 Table 3에서 S/N ration 값이 가장 높았던 Trial 4번의 센서와 최적조건 센서와의 비교로 Taguchi 실험설계의 효과를 확인하고자 하였다. Fig. 1에서 볼 수 있듯이 감도면에서 약 0.63 V의 차이를 볼수 있었다.

Table 3. 각 인자들의 수준과 인자들의 기여도(%)

	Factors	Level 1	Level 2	Difference	Percent(%)
A	Main materials	-19.11	-17.83	1.28	0.2
B	Catalysis 1	-19.70	-17.23	2.47	0.7
C	Catalysis 2	-21.67	-15.27	6.40	4.9
D	Additive 1	-20.41	-16.52	3.89	1.8
E	Additive 2	-17.74	-19.19	-1.45	0.3
F	Additive 3	-4.65	-32.28	-27.63	91.9
G	Qt. of additives	-19.01	-17.93	1.08	0.1

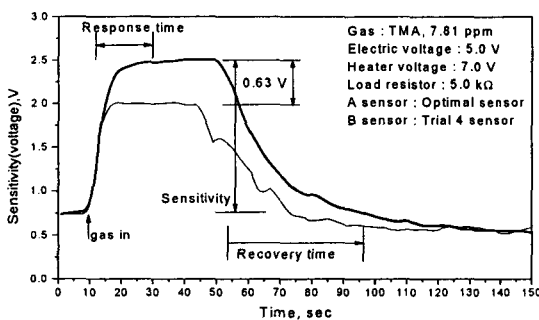


Fig. 1. 최적 조건을 갖는 센서의 비교 평가

기존에 시행착오적인 실험으로 이뤄진 센서의 비교 실험 결과 감도면에서 0.63V 상승되는 효과를 얻어 결국, Taguchi 실험법의 우수성을 확인할 수 있었다.

참고 문헌

김선태, 최일환, 박민수, "악취센서 최적 제작 조건의 평가를 위한 Taguchi 실험계획법의 적용", 대한환경공학회지 25권 10호, 2003.

국 S/N ratio 가 클수록 Noise 는 적고, 감도는 우수한 것이 된다.

Table 2는 8번의 실험과 5개의 sample에 대한 실험 결과를 정리한 것이며, 각각의 실험에 대한 S/N ratio를 나타내었다. 그 결과 S/N ratio가 -0.18로 가장 큰 Trial 4번의 실험 결과가 높은 감도를 보였다. 그러나

4. 결론

Taguchi 법을 활용하여 TMA 가스 센서 제작 실험을 수행한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 첨가물의 요인 실험 결과 TiO_2 , In_2O_3 를 사용하는 것이 우수하며, 반대로 $PdCl_2$, Al_2O_3 , V_2O_5 는 사용하지 않는 쪽이 센서의 성능면에서 뛰어난 것으로 나타났다. In_2O_3 의 경우 인자의 기여율이 91.9%로 가장 높아 TMA 가스 센서 의 첨가물로는 큰 영향력을 보이는 것으로 확인 되었다.

2) Taguchi 법에 의해 제작되어진 센서와 기존에 시행착오적인 실험으로 이뤄진 센서의 비교 실험 결과 감도면에서 0.63V 상승되는 효과를 얻어 결국, Taguchi 실험법의 우수성을 확인할 수 있었다.