

## 휘발성 유기 화합물 가스 측정을 위한 전도성 고분자 센서의 製造 및 感應 特性

백지흠\*, 황하룡\*, 노진규\*, 허증수\*, 이덕동\*\*, 임정옥\*\*\*, 변형기\*\*\*\*

### The fabrication and sensing characteristics of conducting polymer sensors for Measurement of VOCs (Volatile organic compounds) gas

J. H. Paik\*, H. R. Hwang\*, J. G. Roh\*, J. S. Huh\*,

D. D. Lee\*\*, J. O. Lim\*\*\*, H. G. Byun\*\*\*\*

#### 요 약

전도성 고분자 센서 (Conducting polymer sensors)는 상온에서 휘발성 유기 화합물 가스 (Volatile organic compounds gases)에 대해 감도를 가지고 있다. 화학 중합으로 제조된 전도성 고분자인 polypyrrole과 polyaniline로 이루어진 8개의 센서 어레이를 이용하여 VOCs 가스에 대한 감응 특성을 살펴보았다. 화학 중합으로 합성된 각 센서들은 증류된 pyrrole, aniline과 dopant로 dodecylbenzene sulfonic acid (DBSA)와 산화제로 ammonium persulfate (APS) 그리고 증류수를 이용하여 제조되었으며, 각 센서들의 특성 부여를 위해 redoping과 dedoping은 전기화합법을 이용하여 제조하였다. Dedoping 법은 전압을 반대로 걸어주어 처음 첨가된 dopant를 전해질 속으로 빼냈으며, redoping법은 1-octanesulfonic acid sodium salt를 화학중합으로 형성된 막에 다시 첨가 시켰다. 감도와 가역성은 doping, dedoping, redoping 그리고 두께에 따라 영향을 받는다는 것을 알 수 있었다. 이들 전도성 고분자의 구조와 감도와와의 관계를 scanning electron microscope (SEM), scanning probe microscope (SPM) 그리고  $\alpha$ -step을 사용하여 조사하였다.

#### Abstract

Conducting polymer sensors show high sensitivity when exposed to volatile organic compounds gases at room temperature. The 8 sensor array using by polypyrrole and polyaniline has been fabricated by chemical polymerization for measuring sensing characteristics of VOCs gases. Conducting polymer was polymerized by using distilled pyrrole, aniline as a monomer and ammonium persulfate (APS) as an oxidant and dodecylbenzene sulfonic acid (DBSA) as a dopant. Dedoped film was synthesized by reverse voltage and redoped film was synthesized by using 1-octanesulfonic acid sodium salt as another dopant in electrochemical cell. The sensitivity and reversibility were influenced by doping, dedoping, redoping and thickness for the polypyrrole and polyaniline. We investigated the relation between the structure of conducting polymer and sensitivity of these sensors through the analysis of scanning electron microscope (SEM), scanning probe microscope (SPM) and  $\alpha$ -step.

## I. 서 론

최근 가스센서는 인간의 오감 중에 후각 기능을 대신하는 것으로 의약용, 산업용의 응용범위가 확대되고 있다<sup>[6]</sup>. 특히 많은 가스 중에서 VOCs (Volatile organic compounds) 가스

는 주로 실험실에서 사용하는 유기용제 (에탄올, 메탄올, 아세톤 등) 뿐 아니라 석유 화학산업 중에 발생하는 탄화 수소계 ( $C_xH_y$ ) 화합물로 대기 환경 공해물질로 규제와 민원의 대상이 되고 있

으며 앞으로 국제적인 규제가 예상되고 있는 실정이다. 이들 가스를 감지하는 물질로는 산화물 반도체나, 전도성 고분자 재료를 들 수 있다. 그러나 산화물 반도체 경우는 고온(약 200 °C 이상)에서만 가스와 흡·탈착을 통해 센서로서 역할을 할 수 있다. 그러나 전도성 고분자인 polypyrrole이나 polyaniline을 이용하면 상온에서도 VOCs 가스를 감지할 수 있어 산화물 반도체에 비해 응용 범위가 넓다.

가스 센서로서 사용되는 전도성 고분자 polypyrrole과 polyaniline은 일반적으로 전기중합으로 합성되는 방법들은 많이 알려져 있으나 다음과 같은 한계를 지닌다. 센서로서 적용하기 위해서는 전극 간극이 수  $\mu\text{m}$  이하인 전극이 필요하다. 전극 간극이 넓으면 합성되는 전도성 고분자 막의 두께가 두꺼워져서 가스에 대한 감도가 잘 나타나지 않고, 한번 합성이 이루어진 용액에 다시 합성 시키게 되면 용액 내에 조건이 바뀌어 버리기 때문에 대량으로 합성이 불가능하다. 그리고 화학중합으로 합성된 전도성 고분자는 내부 분자간의 상호 반응(intermolecular interaction)과 교차 결합(crosslinkings) 때문에 유기 용매에 녹지 않아서 균일한 막으로 만들기 가 불가능했다<sup>[7]</sup>. 그러나 최근에 이들 두 물질을 용해시키는 합성법이 개발되면서 화학중합법으로 합성된 전도성 고분자 powder를 이용하여 균일하고 얇은 막을 형성 할 수 있게 되었다<sup>[2]</sup>. 이 합성법을 이용한 가스 센서는 특성이 다른 전도성 고분자(polypyrrole or polyaniline)나 dopant에 따른 센서 소자를 총괄한 패턴 형태를 지니게 됨으로써 VOCs 가스들에 대해 정확하게 전도도 변화를 인식하여 각 가스들을 구분

해 나갈 수 있다<sup>[1],[8]</sup>. 본 실험에서는 화학 중합으로 형성된 polypyrrole을 기본으로 하여 센서 패턴을 꾸몄으며, 전기중합법을 이용하여 dopant 변화에 따른 영향과 소자의 두께, 표면 조도에 따른 물리적 특성을 평가하였다. Polyaniline은 가스 선택성(selectivity) 평가를 위해 패턴에 같이 제작하였으며 감지를 위한 VOCs 가스로는 99% 이상의 ethanol, toluene, benzene을 사용하였다.

## II. 실험 방법

### 1. 화학 중합 (Chemical polymerization)

먼저 전도성 고분자 film을 제조하기 위해서 soluble polymer powder를 제조하였다<sup>[2]</sup>. 삼각 플라스크에 Dodecylbenzene sulfonic acid (DBSA) 0.15 mol을 distilled water (300 ml)에 넣고 magnetic stirrer를 이용하여 상온에서 30분 이상 충분히 녹였다. 이 용액을 항온조 (JEIO TECH. RBC-10)로 옮겨서 0 °C를 유지한 채 계속 저어준다. 그런 후 0.3 mol pyrrole을 천천히 삼각플라스크 안으로 첨가시켜준다. Polyaniline powder 합성의 경우는 단량체인 aniline 0.3 mol을 넣고 같은 공정 과정을 거쳤다. 다른 비이커를 이용하여 0.3 mol ammonium persulfate (APS)를 distilled water (100 ml)에 넣고 상온에서 10분 이상 완전히 용해시킨다. APS를 녹인 용액을 0 °C를 유지하고 있는 pyrrole 합성용 용액에 천천히 첨가시켰다. 합성 과정은 12시간 이상 계속 저어주면서 실시하였다. 12시간 후 합성된 polymer 수용액 : 메탄올 = 1 : 2 비율로 섞은 후 magnetic stirrer를 이용하여 상온에서 다시 녹였다. 세라믹 filter를 통해서 메탄올에 다시 녹인 용액을 진공 펌프를 이용한 suction 방법으로 추출하였다. 수분을 날려보내기 위해 아세톤을 filter 위에 걸러진 polymer powder 위에 뿌려주면서 마지막으로 걸러주었다. 이렇게 완성된 polypyrrole과 polyaniline powder는 진공 데시케이터 (desiccator)에서 1시간 이상 진공을 뽑아주어 수분과 기타 유기용매들을 뽑아냈다. 완성된 전도성 고분자 powder를 막으로 형성하기 위해 막대 사발로 grinding 한

\* 경북대학교 공과대학 금속공학 (Department of Metallurgical Engineering, Kyungpook National University)

\*\* 경북대학교 공과대학 전자·전기공학부 (School of Electronic and Electrical Engineering, Kyungpook National University)

\*\*\* 경북대병원 의학연구소 (Medical Research Institute, Kyungpook National University)

\*\*\*\* 삼척대학교 정보통신공학과 (Department of Information and Communication Engineering, Samchok National University)

<접수일자 : 2000년 12월 14일>

후 soluble polymer powder : DBSA = 0.1g : 0.2g 무게 비로 혼합하여 chloroform 5 ml를 넣어 잘 흔들어준다. 그런 후 ultrasonication으로 완전히 용해시켰다. 5분 정도 ultrasonication을 실시하면 대부분의 polymer powder가 완전히 녹는 것을 관찰할 수 있었다. 막을 올리는 방법 중에 일반적으로 spincoating 방법을 많이 사용하지만 전도성 고분자를 녹인 용매로 사용된 chloroform이 실험실 공기 분위기에서 spincoating을 실시할 때 기화가 빨리 이루어지기 때문에 일정한 막 형태를 올릴 수가 없었다. 그래서 본 실험에서는 chloroform이 기화되는 시간 보다 빨리 막으로 형성하기 위해 dipping법을 이용하였으며, alumina 기판 위에 제작된 백금 (Pt), 팔라듐 (Pd) 합금 전극 위에 여러 센서들을 동시에 막을 올렸다. Dipping 직전에 형성된 막은 반투명한 일정 두께의 막이 전극 위에 형성되었다. 두께 조절은 1차 dipping 후 70 °C 산소 분위기에서 1시간 이상 aging한 후에 다시 2차 dipping을 실시하였다. 그런 후에 70 °C 산소 분위기에서 aging을 시켜주었다.

**2. 전기 중합 (Electrochemical polymerization)**

전기중합법은 화학중합법으로 제조된 DBSA가 초기 dopant로 첨가된 전도성 고분자 전극을 anode 전극으로 사용하여 실시하였다.

Pt-Pd 합금 전극을 cathode 전극으로, reference 전극으로는 Ag/AgCl 전극을 사용하여 전도성 고분자에 dopant의 변화를 주었다. 그림 1은 화학중합법으로 제조된 polypyrrole막을 redoping 할 때 나타나는 cyclic voltamogram이다<sup>[3]</sup>. 여기서 polypyrrole이 산화되는 시점을 나타내는 peak가 약 0.8 V로 나타났다. 따라서 이 전압을 기본으로 dedoping과 redoping을 각각 1분씩 실시하였다. Dedoping 과정은 화학중합으로 만들어진 막을 증류수에서 전압을 반대로 걸어주어 기존에 화학중합으로 형성된 전도성 고분자 막의 dopant를 전해질 내부로 다시 뽑아 냈으며, redoping 과정은 DBSA가 포함된 화학 중합 막에 다른 dopant인 1-octanesulfonic acid 0.05 mol을 증류수에 녹인 후 doping을 실시하여 센서 어레이에 포함시켰다. 완성된 센서를 2시간 이상 진공 분위기에서 보관하여 안정화시킨 후 VOCs

가스와의 반응을 관찰하였다. 표 1은 화학중합법과 전기중합법을 이용하여 완성된 센서들의 조건을 나타낸 것으로 8개의 센서가 한 어레이에 포함되어서 각각의 VOCs 가스에 대해 반응성을 살펴보았다<sup>[5]</sup>.

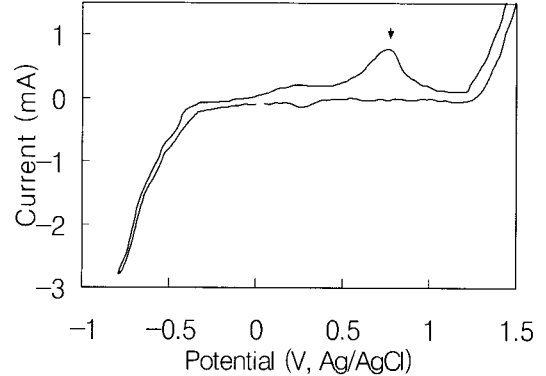


그림 1. 화학중합된 soluble polypyrrole의 cyclic voltamogram.

Fig. 1. Cyclic voltamogram of chemically polymerized soluble polypyrrole.

표 1. 복합어레이 센서의 조건

Table 1. Condition of multi-array sensors

Sensor No.	Condition of dopant	Deposition time
1	DBSA (PPy)	1
2	Dedoping (PPy)	1
3	Redoping (PPy)	1
4	DBSA (PANi)	1
5	DBSA (PPy)	2
6	Dedoping (PPy)	2
7	Redoping (PPy)	2
8	DBSA (PANi)	2

**3. 측 정**

VOCs 가스의 농도에 따른 C<sub>x</sub>H<sub>y</sub> 화합물의 감도를 측정하기 위하여, 지름 25 cm인 진공 데시케이터 (desiccator)를 사용하여 측정 박스를 제작하였다 (그림 2). 가스 주입 전과 주입 후의 전압 변화치를 읽고, 이를 전압분배 법칙에 의해 아래와 같이 저항치로 나타냈다<sup>[4]</sup> (식 1).

$$R_s = R_L \times \left( \frac{V_0}{V_i - V_0} \right) \quad (1)$$

여기서  $R_s$ 는 센서저항치,  $R_L$ 은 부하저항치,  $V_0$ 는 동작 정전(靜電)전압, 그리고  $V_s$ 는 출력 전압이다.  $R_s$ 를 다시 분류하면, 질소 중의 저항치를  $R_{N_2}$ 로 가스주입 후의 저항을  $R_{gas}$ 로 나눌 수 있다. 따라서 감도(S)는 다음과 같이 계산했다(식 2).

$$Sensitivity = \frac{R_{N_2}}{R_{N_2} - R_0} \times 100 \% \quad (2)$$

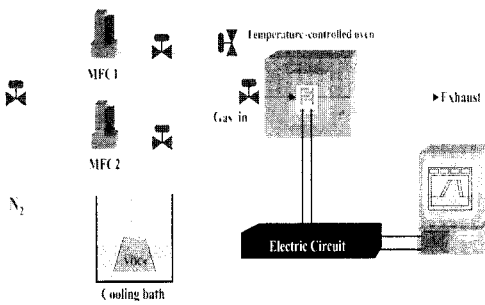


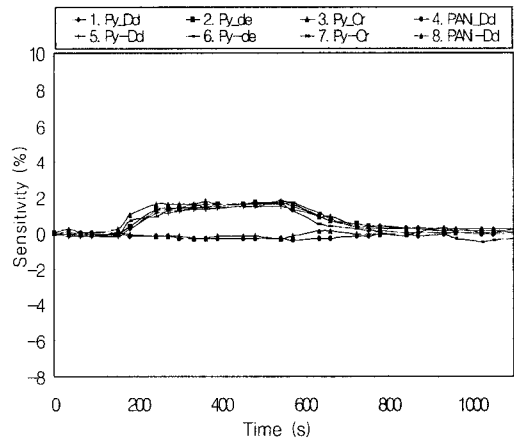
그림 2. 가스 측정장치의 개략도.  
Fig. 2. Schematic diagram of the measuring system.

### III. 실험 결과 및 토의

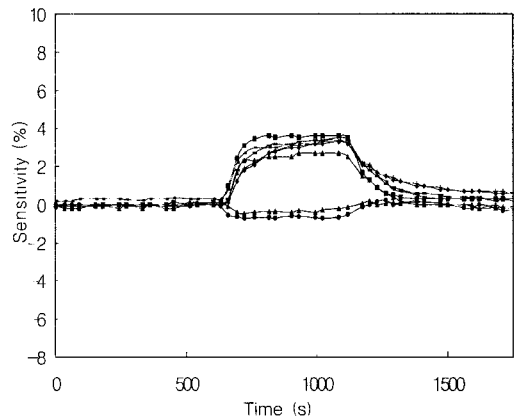
#### 1. VOCs 가스에 대한 전도성 고분자들의 특성

그림 3 (a)는 질소 분위기에서 안정화시킨 후 벤젠 3,000 ppm에 나타난 센서들의 감도를 나타낸 그림이다. 센서들의 특성은 표 1에 자세히 나타냈다. 여기서 polypyrrole의 경우는 약 2%의 감도를 나타내고 있으며 polyaniline의 경우는 감도 변화가 없었다. 벤젠 ( $C_6H_6$ )은 6개의 탄소 원자가 정육각형의 구조를 이루고 있고, 각각의 탄소 원자에 수소 원자 1개가 결합된 구조의 분자이다. 환형 고리 내에 3개의 이중 결합은 특정원자 사이에 고정되어 있지 않고 6개의 탄소 사이에 균일하게 퍼져 있다. 따라서 벤젠은 다른 두 가스에 비해 비극성 물질이므로 전도성 고분자에 전도도 변화에 영향이 작을 것이고 따라서 감도가 낮은 것으로 사료된다. 그림 3 (b)는 톨루엔 ( $C_6H_5CH_3$ ) 3,000 ppm에 나타난 센서들의 감도를 나타낸 그림이다. 여기서 polypyrrole

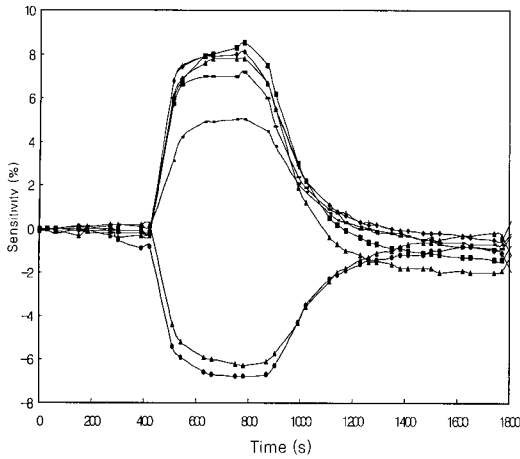
의 경우는 최고 감도가 약 4% 정도로 벤젠에 비해 높게 나타났으며, polyaniline의 경우도 약하지만 음의 감도(-sensitivity)를 나타내고 있다. 톨루엔은 벤젠에 메틸기 하나가 치환된 물질로서 벤젠에 비해 극성을 지니고 있기 때문에 감도가 높게 나타났다. 그림 3 (c)는 에탄올 ( $C_2H_5OH$ ) 3,000 ppm에 나타난 센서들의 감도를 나타낸 그림이다. 여기서 polypyrrole의 경우는 최고 감도 약 8% 정도로 다른 두 가스에 비해 높게 나타났으며 polyaniline의 경우도 최고 약 -7% 정도의 감도를 나타냈다. 톨루엔과 벤젠에 비해 에탄올은 극성이 큰 물질이므로 감도가 높게 나타난 것으로 판단되며, polyaniline 소자가 에탄올에 대해 큰 음의 감도를 나타냈다.



(a) benzene ( $C_6H_6$ )



(b) toluene ( $C_6H_5CH_3$ )



(c) ethanol (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH)

그림 3. VOCs 가스 분위기에서 8개 어레이 센서의 연속 감도특성 (3,000 ppm).

Fig. 3. Continuous sensitivity of 8 array devices in VOCs gas (3,000 ppm).

그림 4는 앞에 그래프들의 감도를 종합하여 막대 그래프로 나타낸 그림이다. 8개의 각 개별 센서들이 특성에 따라 같은 농도에서 다른 감도를 보여준다. 그러므로 VOCs 가스에 대해 전도성 고분자가 선택성을 지님을 알 수 있다. 특히 에탄올에 경우는 polyaniline이 높은 음의 감도를 나타내고 있으며 다른 두 가스에 대해서는 크게 변화지 않았다.

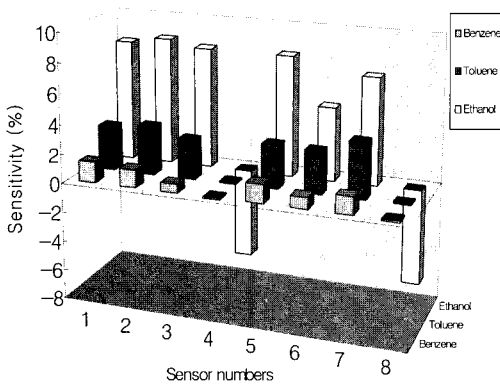


그림 4. VOCs 가스 분위기에서 8 어레이 센서의 감도.

Fig. 4. Sensitivity of 8 array devices in VOCs (3,000 ppm).

## 2. 가스 농도에 따른 전도성 고분자의 직선성 (Linearity).

전도성 고분자는 각 VOCs 가스의 종류에 따라서 다른 감도를 지닐 뿐만 아니라 농도에 따라서도 다른 감도를 보여준다. 그림 5는 에탄올 농도에 따른 소자들의 감도를 나타낸 것으로 농도가 높을수록 높은 감도를 나타냈다. 측정된 가스 농도 (1,000~3,000 ppm)에 대해 직선성 (linearity)을 나타냈다. 따라서 전도성 고분자 센서가 각 가스의 농도에 대한 구별이 가능하다는 것을 알 수 있다.

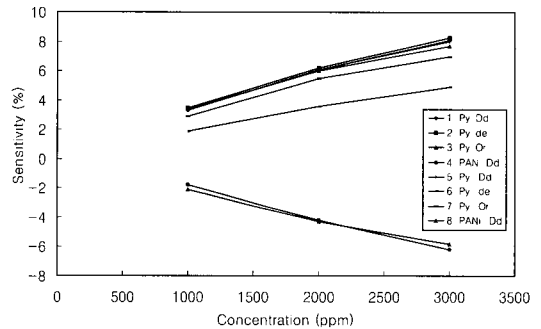


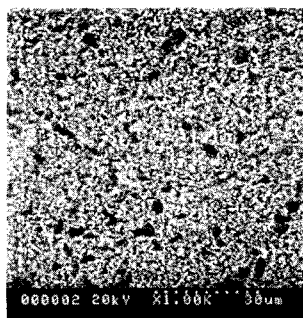
그림 5. VOCs 가스 농도에 따른 전도성 고분자의 직선성.

Fig. 5. Linearity of conductive polymer depended on VOCs gas concentration.

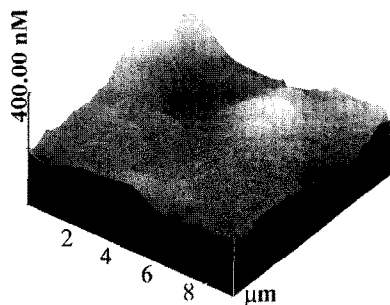
## 3. 전도성 고분자의 표면 상태와 감도변화.

전기 중합과 화학 중합의 표면 상태는 SPM (Scanning Probe Microscope, Nanoscope IIIa)과 SEM(Scanning Electron Microscopy, Hitachi S-2500C)를 통해 관찰하였다(그림 6). 화학중합 (a), (b)의 경우는 중합된 polypyrrole이나 polyaniline의 고분자 사슬이 옆으로 누워있는 형태다. 그러나 화학중합 후에 전기 중합한 경우인 (c), (d)는 중합 중에 처음 생성되는 cluster를 기점으로 반대 전극 방향으로 고분자 사슬이 성장하기 때문에 기둥 (column) 형태를 이루고 있다. 이들 표면 상태에 따른 영향에 의해 가스와의 반응성도 다르게 나타난다. 중합된 polymer의 화학중합은 substrate와 평행한 방향으로 적층되기 때문에 분자 사슬 전체에 가스 분자들이 흡착될 수 있으며 감도에 영향을 미치는 영역이 넓어지는 반면, 전기 중합은 분자사슬이 substrate와 수직한 방

향으로 성장하기 때문에 분자사슬의 상층부에 국한되어 가스 분자들이 흡착될 수 있으며, 따라서 표면과 반응할 수 있는 부분이 좁아져서 감도에 영향을 미침을 알 수 있다. 그러나 표면 상태가 기둥 형태를 이루는 화학 중합과 전기 중합을 병행한 소자는 화학중합법으로만 제조된 소자에 비해 가역성 (reversibility)이 좋은 것을 알 수 있다 (그림 7).



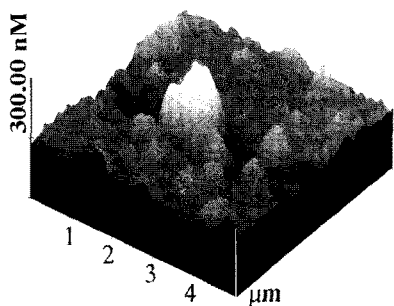
(d)



(a)



(b)



(c)

그림 6. 화학중합 (a), (b)와 복합중합 전도성 고분자 (c), (d)의 표면 비교.

Fig. 6. Comparison of chemical polymerization (a), (b) and mixed polymerization (c), (d)

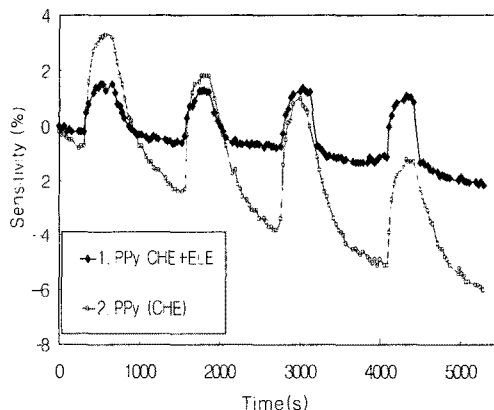


그림 7. 화학중합과 복합 중합된 전도성고분자 센서의 가역성 비교 (톨루엔 3,000 ppm).

Fig. 7. Reversibility of chemical polymerization and mixed polymerization (Toluene 3,000 ppm).

#### 4. 전도성 고분자의 dopant와 두께의 영향

전도성 고분자 특성에 가장 크게 영향을 미치는 dopant와 두께에 따른 특성을 살펴보았다. 두께는 dipping법을 통해 1회와 2회 dipping으로 조절하였으며  $\alpha$ -step ( $\alpha$ -step 250, Ten-cor instruments)을 통해 막 두께를 측정하였다. 두께 측정용 sample은 전극용 alumina와 같은 polishing된 alumina 기판에 센서 제조와 같은 방법으로 동시에 dipping을 실시하여 제작되었으며, 중간 부분 막에서 모서리까지를 10회씩 scanning하여 평균값을 표시하였다. 그림 8은 dopant 조건에 따른 영향을 나타낸 그

림이다. Redopant인 1-octanesulfonic acid 를 redoping한 경우는 감도에 영향을 미치지 못했지만 dedoping의 경우는 초기 DBSA dopant와 redopant인 1-octanesulfonic acid 를 사용한 센서에 비해 감도가 좋아지는 상승효과가 나타났으며 실험에 사용된 VOCs 가스에 대해 모두 우수한 감도를 보였다. Dedoping을 실시한 소자를 막 두께에 따라 에탄올 3,000 ppm에서 감도를 측정한 결과 막 두께가 1  $\mu\text{m}$ 인 소자는 약 9 % 정도의 감도를 지니고 2  $\mu\text{m}$  소자는 약 4.5 %의 감도를 보여 2배정도 감도차를 보였다 (그림 9).

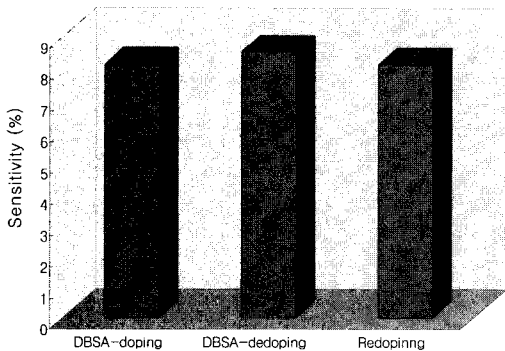


그림 8. Polypyrrole dopant들의 영향.  
Fig. 8. The effect of polypyrrole dopants.

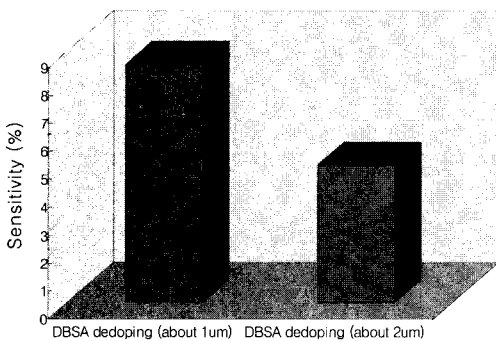


그림 9. 전도성 고분자의 두께 특성.  
Fig. 9. The thickness effect of conducting polymer.

이는 가스의 흡착이 표피부에서 주로 일어나기 때문에 감지막이 두꺼운 경우는 전도도의 변화를 나타내는 표피부에 비해 전도도 변화가 없는 내부 층이 두꺼워지고, 따라서 전체적인 전도도 변화는 작아지게 된다. 이를 통해 전도성 고분

자가 가스와의 반응이 표면에서 이루어지는 것을 알 수 있다. 따라서 전도성 고분자의 막 두께 조절을 통해 더 높은 감도를 지니는 센서 제작이 가능하다는 것을 보여준다.

#### IV. 결 론

전도성 고분자인 polypyrrole과 polyaniline에 dopant 첨가에 따른 특성 변화와 화학 중합 소자와 화학 중합 및 전기 중합을 병행한 소자의 표면 상태에 따른 VOCs 가스와의 감응 특성 및 두께에 따른 특성을 조사하였다. 그리고 성질이 다른 고분자를 통해 VOCs 농도를 계측할 수 있는 시스템 구현 가능성과 가스에 대한 선택성이 부여되는 센서 소자를 제조하였다. 이들 실험 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. Baseline 가스가 질소일 경우 VOCs 가스 (3,000 ppm)에 대해 polypyrrole의 경우는 벤젠에 최고 2 %, 톨루엔은 4 % 그리고 에탄올에 대해서는 약 8 % 감도를 보였다. polyaniline의 경우는 에탄올에 대해서 약 7 % 정도의 감도 보이지만 다른 두 가스에 대해서는 감도 변화가 크지 않거나 없었다. 따라서 polyaniline은 VOCs 가스 중에서도 특히 에탄올에 대해서 큰 선택성 (sensitivity)을 지녔다.

2. 개별 소자들은 VOCs 가스 1,000 ~ 3,000 ppm 농도에 따라서 직선성을 보였다.

3. 화학중합으로만 제조된 소자는 화학중합과 전기화학중합을 병행한 소자의 표면 상태와 다르게 나타났다. 전도성 고분자의 표면 상태에 따라 가스와의 감도 차이를 보였다. Roughness가 낮은 화학중합의 경우는 감도는 높았으나 가역성이 떨어졌으며, 기둥 형태 (column)를 보이며 자라난 전기화학 중합을 병행한 소자는 감도는 낮으나 가역성이 상대적으로 높았다.

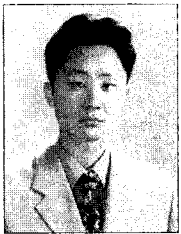
4. 각 VOCs 가스에 대해 dedoping한 소자의 감도가 가장 높았으며, polypyrrole film 두께가 약 1  $\mu\text{m}$ 인 dedoping소자가 약 2  $\mu\text{m}$ 인 dedoping소자에 비해 약 2배정도 더 좋은 감도를 나타냈다.

5. 개발 센서는 다른 가스에 대해서 선택성이 우수하기 때문에, 농도변화에 따른 감도의 변화가 선형적으로 나타남으로 농도계에 응용 가능성이 있음을 알 수 있다.

## V. 참고 문헌

- [1] Garder, J. W. and Bartlett, P. N., Pattern recognition in gas sensing, In Techniques and mechanisms in gas sensing, Adam-Hilger, Bristol, pp. 324~346, 1991.
- [2] Lee, J. Y., Kim, D. Y. and Kim, C. Y., "Synthesis of soluble polypyrrole of the doped state in organic solvents", Synthetic Metals, vol. 74, 103~106, 1995.
- [3] Fatma Selampinar and Levent Toppare, "A conducting composite of polypyrrole II. As a gas sensor", Synthetic Metals, vol. 68, pp. 109~116, 1995.
- [4] D. S. Lee, "The fabrication and sensing characteristics of WO<sub>3</sub> thick film sensor to detect the gas of NO<sub>x</sub>", J. The Korea Sensor Society, vol. 5, no. 5, pp. 1~8, 1996.
- [5] Hyung Gi Byun, Krishna C. Persaud and Soad Mohialdin, "Application of unsupervised clustering methods to the assessment of malodour in agriculture using an array of conducting polymer odour sensors", Computers and Electronic in Agriculture, vol. 17, pp. 233~247, 1997.
- [6] Robert Dobay, Gabor Harsanyi and Csaba Visy, "Conducting Polymer Based electrochemical Sensor on Thick Film Substrate", Electroanalysis, vol. 11, no. 10~11, pp. 804~808, 1999.
- [7] N. T. Kemp, A. B. Kaiser and C.J. Liu, "Thermoelectric Power and Conductivity of Different Types of Polypyrrole", J. Polymer Sci. B, vol. 37, 953~960, 1999.
- [8] J. E. G de Souza, B. B. Neto and F. L. dos Santos, "Polypyrrole Based Aroma Sensor", Synthetic Metals, vol. 102, 1296~1299, 1999.

## 著 者 紹 介



## 白智欽

1973년 2월 23일생  
1998년 2월 창원대학교 재료공학과 졸업 (공학사).  
2001년 2월 경북대학교 대학원 금속공학과 졸업(공학석사).  
주관심분야 : 반도체 재료, 산

화물 박막재료, 전도성 고분자



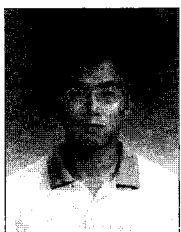
## 황하룡

1967년 6월 10일생  
1993년 단국대학교 재료공학과 졸업(공학사)  
1995년 단국대학교 대학원 재료공학과 졸업(공학석사)  
1995년 3월 ~ 현재 (주)와이

즈콘트롤 가스사업부 과장

1998년 3월 ~ 현재 경북대학교 대학원 금속공학과 박사과정

주관심분야 : environmental gas monitoring sense device, ECD, VOC sensor, CH series sensor, 자동화기기, Computer programming



## 노진규

1973년 12월 16일생  
2000년 경북대학교 금속공학과 졸업(공학사)  
2000년 9월 ~ 현재 경북대학교 대학원 금속공학과 석사과정



**허 중 수**

1960년 6월 10일생,  
 1983년 2월 서울대학교 (이 학 사 - 금속공학)  
 1985년 2월 서울대학교 (공학석사 - 금속공학)  
 1993년 2월 M.I.T. (공학박사 - 전자재료)  
 1994 - 1995 인천대학교 재료공학과 전임강사  
 1994 - 1995 KIST 정보전자부 위촉연구원  
 1995 - 현재 경북대학교 조교수  
 2000 - 현재 NRL(국가지정연구실) 연구실장  
 주관심분야 : 가스센서, 반도체공정, 디스플레이 이, 전도성고분자

**임 정 옥**

1959년 2월 21일생  
 1981년 2월 계명대학교 (이학사 - 섬유)  
 1988년 8월 Cornell University (이학석사 - biopolymer)  
 1993년 8월 University of Massachusetts (이학박사 - polymer chemistry)  
 1993년 9월 - 1994년 8월 M.I.T. Postdoc  
 1993년 9월 - 1994년 8월 Harvard Medical School Postdoc  
 1995년 9월 - 1996년 6월 경북대학교 센서기술연구소 선임연구원  
 1996년 7월 - 현재 경북대학교 의과대학 의학과 부교수  
 주관심분야 : biopolymer, 약물전달시스템, 전도성고분자, 생체분해성고분자

**이 덕 동**

1966년 2월 경북대학교 (이학사 - 물리학)  
 1974년 2월 경북대학교 (공학석사 - 전자공학)  
 1984년 2월 연세대학교 (공학박사 - 전자공학)  
 1971 - 1974 숭전대학교 물리학과 조교  
 1974 - 현재 경북대학교 공과대학 교수  
 1979 - 1980 Stanford Univ. 교환교수  
 1981 - 1982 Cornell Univ. 교환교수  
 1989 - 1990 University of Florida 교환교수  
 2000.3.24 - 현재 공과대학학장 겸 산업대학원장  
 주관심분야 : 가스센서, 반도체공정, 전자후각 시스템

**변 형 기**



1961년 8월 1일생  
 1984년 2월 명지대학교 전기공학과 (공학사)  
 1990년 12월 영국 UMIST (공학석사)  
 1995년 12월 영국 UMIST

PhD.  
 1996 - 현재 삼척대학교 정보통신공학과 조교수  
 관심분야 : 센서시스템, 패턴인식