

## 실내 공기의 다성분 측정시스템 개발에 관한 연구

김보환 · 이진하\* · 김태진†

### Measurement system of multi-components in indoor air quality

Bo-Whan Kim, Jin-Ha Lee\*, and Tai-Jin Kim†

#### Abstract

Six modules composed of individual sensors and circuit systems for oxygen, temperature, humidity, volatile organic compounds, dust, carbon dioxide, in the indoor air quality control were examined to see their individual performances. Experimental results showed that all the six modules were in good linearity with individual concentration variations

**Key Words :** indoor air quality, sensor, circuit

#### 1. 서 론

인간은 살아가면서 80% 이상을 실내에서 생활하며 따라서 인간의 수명을 80년으로 가정했을 경우 64년 이상을 실내공간에서 보내게 되므로 실내공기의 질은 인체에 중대한 영향을 주게된다<sup>[1]</sup>.

실내공간이라 함은 가정이나 사무실뿐만 아니라 실내작업장, 공공건물, 병원, 지하시설물, 상가, 자동차 등의 내부공간을 통칭한다. 과거에는 이와 같은 다양한 실내공간의 오염에 관한 중요성을 대부분의 사람들이 거의 인지하지 못하고 있었으나 최근에는 실내공간에서의 공기질(Indoor Air Quality-IAQ)에 관한 문제가 국제적으로 새로운 환경문제의 이슈로 대두되고 있다.

이러한 실내의 공기질은 재실자들의 건강은 물론 쾌적한 실내 환경에 중대한 영향을 미치나 실내 공기질은 실외 공기질과는 달리 쉽게 정화되지 않는 특징이 있다. 그 이유는 실외 공기오염물질은 자연적으로 희석되지만, 실내 공간은 오염된 공기가 계속적으로 순환되기 때문이며 그 오염피해도 상대적으로 크다. 더구나 1970년대 이후 에너지 보존을 위하여 개발된 새로운 건축자재에서 의외의 오염물질이 방출되어 실내공기를

오염시키고 있으며 또한 에너지 절감을 위한 실내공간의 밀폐화로 오염도가 더욱 증가하는 추세에 있다<sup>[2]</sup>.

빌딩증후군(Sick Building Syndrome : SBS)이라고 일컬어지는 실내환경문제는 건물 내 거주자들이 일시적 또는 만성적인 피로 등, 건강과 관련된 증상을 호소하면서 비롯되었다. 그 원인물질은 거주자의 실내활동, 실내건축에 사용된 건축자재, 생활용품, 사무용품 등에서 배출되는 것으로 주요 오염물질로는 일산화탄소(CO), 이산화탄소(CO<sub>2</sub>), 이산화질소(NO<sub>2</sub>), 아황산가스(SO<sub>2</sub>), 오존(O<sub>3</sub>), 포름알데히드(HCHO), 휘발성유기화합물(Volatile Organic Compounds : VOCs), 석면(Asbestos), 중금속(Heavy Metal), 미세먼지(PM10), 곰팡이등 각종 미생물성물질(Microbial Substance), 라돈(Rn) 등이 있다.

이러한 오염물질들은 복합적으로 작용하여 인체에 영향을 미치는데 주로 호흡기 질환 및 폐질환, 알레르기성 질환, 구토, 초조감, 현기증을 유발하고 장기간 고농도의 오염물질에 노출되면 암을 유발하기도 한다.

일본에서도 장시간 실내에 생활하는 사람에게 나타나는 썬크하우스(Sick House) 문제가 대두되고 있다. 썬크하우스(Sick House) 문제는 거주자가 기분이 나쁘고 두통을 느끼며 목이 아프거나 피로감을 호소하는 증세로 1996년 5월 중의원에 썬크하우스에 대한 문제가 상정되었고, 1996년 7월 건설성, 후생성, 통산성을 중심으로 건강주택연구회가 조직되어 주택의 화학물질 오염에 대한 지침이 제정되었다. 이처럼 선진국에서는

수원대학교 화공생명공학과 (Department of Biochemical Engineering, The University of Suwon)

\*동남보건대학 환경생명과학과 (Department of Environmental & Life Science, Dongnam Health College)

†Corresponding author: tjkim@suwon.ac.kr

(Received : February 18, 2005, Accepted : March 8, 2005)

1970년대 이후 생활거주공간과 관련된 빌딩증후군(SBS)이나 복합화학민감증(MCS)이 사회적으로 문제시되고 있다<sup>[3]</sup>. 실내에서 대부분의 시간을 보내는 현대인의 인체에 미치는 영향을 보다 효율적으로 관리하기 위해서는 환경오염물질 중 실내 공기오염물질과 실내 공기질이 우선적으로 관리되어야 한다.

따라서 쾌적한 실내환경을 위한 Indoor Air Quality (IAQ) 다성분 동시 청정제어 시스템을 연구하기 위하여 실내공간 대기 조건을 측정하는 센서, 계측 및 제어 시스템을 연구하고, 다양한 실내공간(아파트, 사무실, 지하공간, 자동차, 온실, 저장시설 등)의 대기 환경을 제어하는 지능형 청정제어 시스템의 개발이 요구된다<sup>[4]</sup>.

본 연구에서는 실내공간의 공기 오염 상태를 제어하기 위한 산소, 온도, 습도, VOCs, 분진, CO<sub>2</sub> 측정센서의 모듈을 구성하여 각각의 농도변화에 따른 모듈별 선형성을 분석하였다.

## 2. 실험 방법

### 1. 산소센서 적용 장치

산소센서는 음극으로 금(Au), 양극으로는 납(Pb)을 사용하였으며, 전해액은 KOH 용액, 센서바디는 폴리 에틸렌으로 제작하였다<sup>[6]</sup>. 산소 측정에 있어서 영향을 줄 수 있는 온도와 습도등 외부 환경요소에 영향을 받지 않고 산소농도에 따라 안정적으로 센서 출력전압을 측정하기 위하여 Fig. 1과 같이 회로를 구성하고 산소 농도에 따른 출력 전압을 측정하였다.

### 2. 온도센서 적용장치

온도센서는 동양센서의 DY-4730 PT 100 Ω 센서를 적용하였다. PT-100 Ω 센서는 감지된 저항값을 계측부

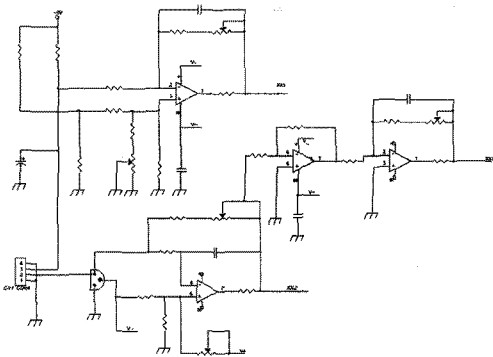


그림 1. 산소측정시스템의 회로 개괄도  
Fig. 1. Schematic Circuit Diagram of Oxygen Measurement.

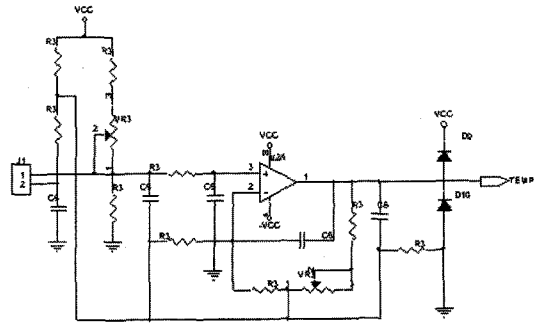


그림 2. 온도측정시스템의 회로 개괄도  
Fig. 2. Schematic Circuit Diagram of Temperature Measurement.

로 전달하는 단자로 구성되고, 센서와 계측부와의 거리에 따른 선로저항을 감지하여 계측부에서 선로의 길이에 관계없이 항상 균일한 온도를 표시하기 위하여 Fig. 2와 같이 회로를 구성하였다.

또한 적용센서의 출력전압과 온도의 상관관계를 측정하기 위하여 항온항습조에 시스템을 설치하였으며 습도를 일정하게 유지한 후 온도를 변화시키면서 센서에서 출력되는 전압값과 온도계측기(HANNA instruments사의 HI92701C)의 측정값과의 상관관계를 구하였다.

### 3. 습도센서 적용장치

습도센서는 정전용량형 습도센서로 삼영전자의 모듈 SY-HS-220을 사용하였으며 습도센서 모듈을 Picoammeter(Keythley)를 이용하여 계측시스템으로 구성하고, 습도센서 모듈의 성능 평가를 위하여 Fig. 3과 같이 5L 용량의 실험상자내에, 비이커에 일정용량의 증류수를 채운 후 에어레이션을 시킬 수 있도록 실험장치를 제작하였으며 이 때 상용제품의 습도계측기에서 지시하

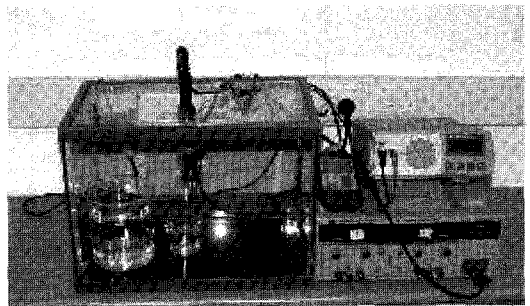


그림 3. 습도센서출력의 측정장치도  
Fig. 3. Measurement Application for Humidity Sensor Output.

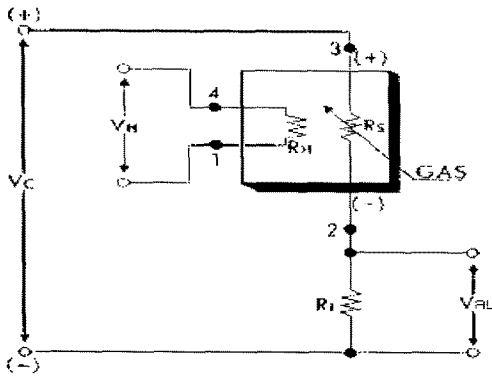


그림 4. VOCs센서의 개발 회로도  
Fig. 4. Schematic Circuit for VOCs Sensor.

는 습도와 적용된 습도센서의 출력 전압값을 Picoameter를 이용하여 측정하여 상관관계를 구하였다.

4. VOCs센서 적용장치

TGS2602 VOCs(Figaro USA Inc.)센서를 사용하였으며 적용센서의 출력전압과 VOCs 농도의 상관관계를 측정하기 위하여 Fig. 4와 같이 측정회로를 구성하고, 출력되는 신호는 Multimeter(MATEX)을 연결하여 출력전압을 측정하였다. 기준 VOCs 농도는 일본 Cosmos사의 XP-339V 모델을 이용하였으며, 실험장치는 100×100×100 mm 크기의 클린룸에 공기청정기(위닉스전자 모델 : WAC 700)를 이용하였다. 클린룸에 공기청정기를 이용하여 오염물질을 제거한 후 가스농도(Ethanol)를 변화시키면서 출력전압값을 측정하였다.

5. 분진센서 적용장치

GP2Y1010AU(Sharp Corp.)분진센서를 사용하였으며 적용센서의 출력전압과 분진농도의 상관관계를 측

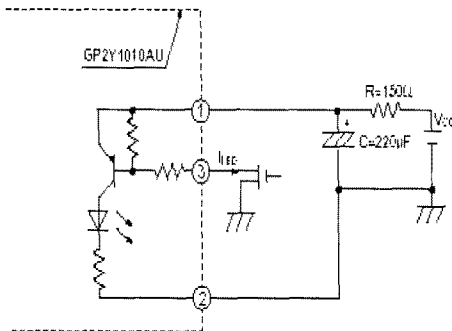


그림 5. 먼지센서의 개발 회로도  
Fig. 5. Schematic Circuit Diagram of Dust Sensor.

정하기 위하여 Fig. 5와 같이 측정회로를 구성하고, 출력되는 신호는 Multimeter(MATEX)를 연결하여 측정하였다. 실험장치는 100×100×100 mm 크기의 클린룸에 공기청정기(위닉스전자 모델 : WAC 700)를 이용하여 오염물질인 분진을 제거 후 평균 0.3 µm 입径의 Stearin산 입자를 사용하여 분진농도를 변화시키면서 일본 SIBATA사의 P-5H형(0~10,000 CPM, 감도 1 CPM) 계측기에서 측정 한 분진농도와 출력전압값의 상관을 구하였다.

6. CO2센서 적용장치

TGS-4620 CO2센서(Figaro USA Inc.)를 사용하여 기본적인 CO2 측정회로를 Fig. 6과 같이 구성하였고 적용센서의 출력전압과 CO2 농도의 상관관계를 측정하기 위하여 Fig. 7과 같이 측정시스템을 구성하였다. CO2센서는 상온으로 유지되는 100 ml 유리 항온조에 설치하고, 실험시 온도는 항온순환조(JEIO TECH RBC-10)를 사용하여 일정온도를 유지하였다. 두 개의 정밀한 유량계(Manostat 751-075)로 일정비의 CO2와 질소의 혼합가스를 주입시켰다. CO2와 질소의 혼합가스가

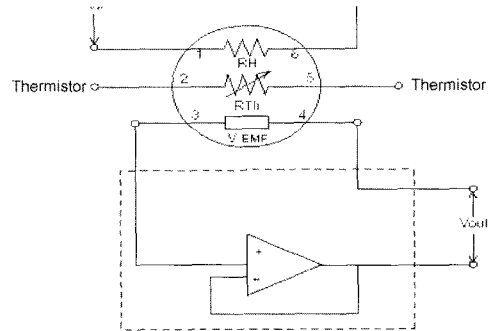


그림 6. 이산화탄소 센서의 개발 회로도  
Fig. 6. Schematic Circuit Diagram of CO2 Sensor.

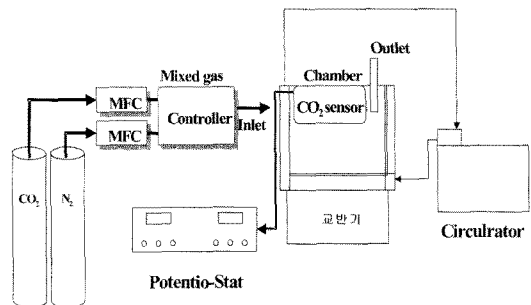


그림 7. 이산화탄소 측정시스템  
Fig. 7. Measurement System of CO2 Sensor.

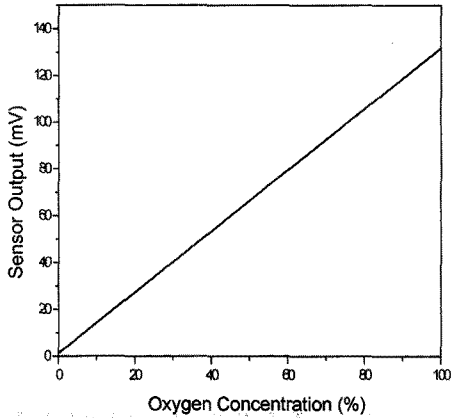


그림 8. 산소농도와 센서출력의 선형성  
Fig. 8. Linearity of Oxygen Concentration with Sensor Output.

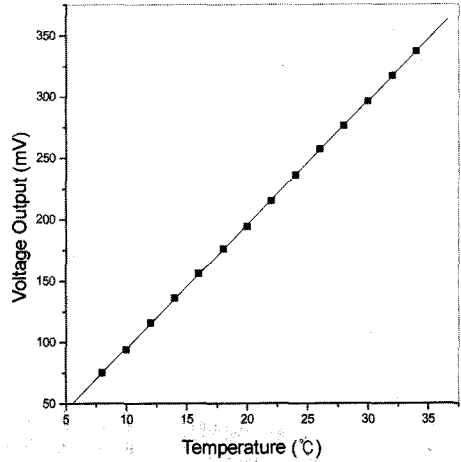


그림 9. 온도와 출력전압의 선형성  
Fig. 9. Linearity of Temperature with Voltage Output.

300 ml/min의 유량으로 일정하게 유리항온조내로 유입 되도록 하였고 교반기(CAT Zipperer M6)를 1000 rpm 으로 회전시켜 가스를 혼합해 주었으며 혼합가스를 5 분간 주입시켜 평형에 도달하도록 한 후에 전위차계 (Potentiostat ; 지상기전 P-100)을 사용하여 정상상태의 전압값을 측정하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 1. 산소농도와 출력전압

적용된 산소센서의 경우 20 °C에서 산소의 분압을 0~100 %로 변화시켜가면서 산소센서에서 출력되는 전류값을 측정한 결과 Fig. 8에서와 같이 0~135 mV 값을 보였으며 산소분압과 출력전압과의 상관은 99 % 이상의 높은 선형성을 유지하였다.

#### 2. 온도와 출력전압

적용센서의 출력전압과 온도의 상관관계를 구하기 위하여 계측시스템을 항온항습조에 설치한 후 습도를 일정하게 유지하며 온도 변화에 따른 센서에서 출력되는 전압값을 측정한 결과 5 °C에서 75 mV, 35 °C에서 337 mV 값을 보였으며 5 °C~35 °C 사이에서 Fig. 9와 같이 99.99 % 이상의 높은 선형성을 보여 온도센서의 안정성을 확인할 수 있었다.

#### 3. 습도와 출력전압

상용제품의 습도계측기에서 지시하는 습도와 적용된 습도센서의 출력 전압값을 Picoameter를 이용하여 측정한 결과 30~90 %의 상대습도에서 1.0~3.0 V의 출력

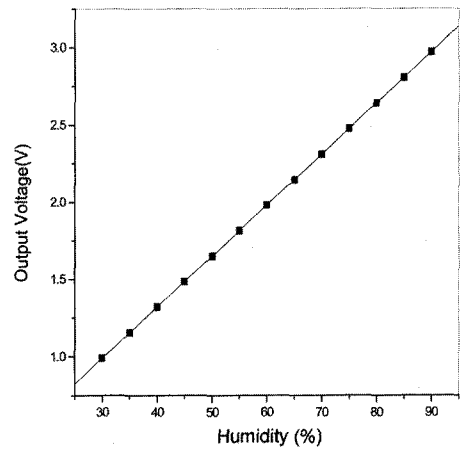


그림 10. 상대습도와 출력전압의 상관관계  
Fig. 10. Relationship of Relative Humidity with Output Voltage.

전압값을 보였으며 그 상관관계를 계산 한 결과 Fig. 10에서와 같이 99.99 % 이상의 높은 선형성을 보였다.

#### 4. VOCs농도와 출력 전압

클린룸에 공기청정기를 이용하여 오염물질을 제거한 후 가스농도(Ethanol)를 1 ppm~30 ppm까지 변화시키면서 출력전압값을 측정한 결과 Fig. 11과 같이 0.6~4.8 V 범위의 값을 보였으며 그 범위 내에서 99 %이상의 선형성을 보였다.

#### 5. 분진농도와 출력전압

클린룸에 공기청정기(위닉스전자 모델 : WAC 700)

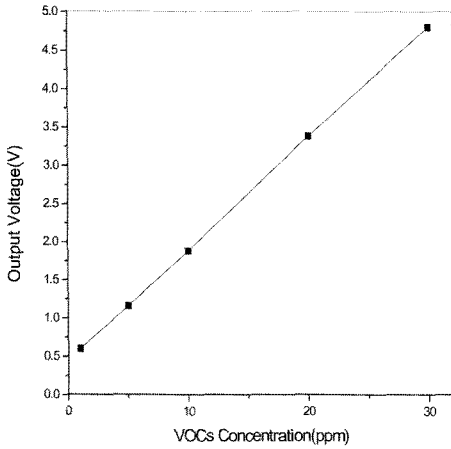


그림 11. VOCs농도와 출력전압의 상관관계  
Fig. 11. Relationship of VOCs Concentration with Output Voltage.

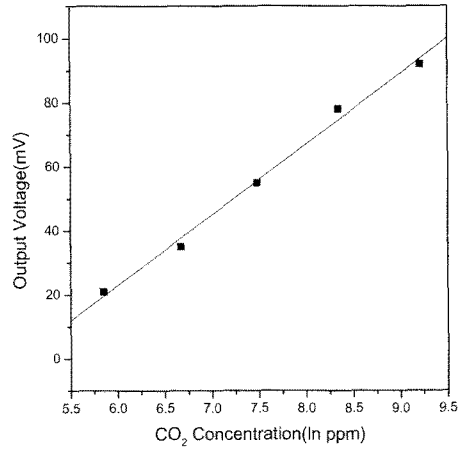


그림 13. 이산화탄소 농도와 출력전압의 상관관계  
Fig. 13. Relationship of CO<sub>2</sub> Concentration with Output Voltage.

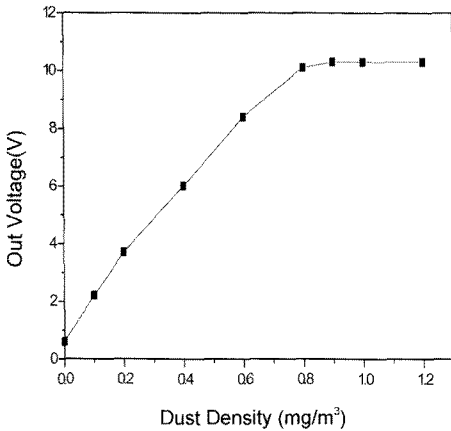


그림 12. 먼지밀도와 출력전압의 상관관계  
Fig. 12. Relationship of Dust Density with Output Voltage.

를 이용하여 측정대상물질인 분진을 제거 후 평균 0.3 μm 입경의 Stearin산 입자의 농도를 0~1.2 mg/m<sup>3</sup>까지 변화시키면서 분진농도에 따른 출력전압값을 측정 한 결과 Fig. 12와 같이 0~0.9 mg/m<sup>3</sup>까지 98% 이상의 선형성을 보이며 증가하였으나, 0.9 mg/m<sup>3</sup> 이상에서는 10.2 V의 일정한 값으로 포화되었다. 본 연구에서 적용한 센서는 900 ppm의 값을 나타낼 수 있으나 특수한 경우를 제외하고 통상적인 대기질의 경우 500 ppm을 넘지 않으므로 IAQ시스템에 적용에 있어 문제가 없음을 확인할 수 있었다.

### 6. CO<sub>2</sub>농도와 출력전압

혼합가스를 5분간 주입시켜 평형에 도달하도록 한 후

에 전위차계(Potentiostat ; 지상기전 P-100)을 사용하여 정상상태의 전압값을 기록하였다. CO<sub>2</sub>농도를 350 ppm ~10,000 ppm까지 변화시키며 측정한 출력전압값은 Fig. 13에서와 같이 20~93 mV 값의 범위를 보였으며 측정 농도 범위 내에서 99.37%의 선형성을 보였다.

## 4. 결 론

산소, 온도, 습도, VOCs, 분진, CO<sub>2</sub>의 측정센서를 선정하고 회로를 구성하여 Indoor Air Quality (IAQ) 다성분 동시 청정제어 시스템에 적용할 수 있는 모듈 별 출력전압을 대상물질의 농도에 따라 측정하고 그 상관성을 분석한 결과 분진을 제외한 대상항목 모두 농도변화에 따른 출력전압값이 99%이상의 선형성을 보였으며 분진은 실내 환경기준의 범위에서 98%의 선형성을 보였다.

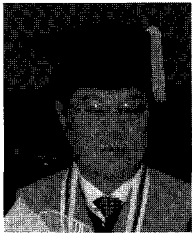
## 감사의 글

본 연구 과제의 수행을 위하여 환경부 차세대 연구 개발사업을 통한 재정지원에 감사드립니다.

## 참고 문헌

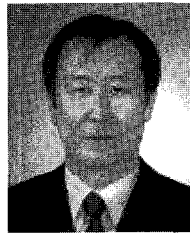
- [1] 박진철, "공동주택의 실내공기 오염 해결 방안", 주택도시 79호, pp. 84-101, 2004.
- [2] 양지연, 호문기, 김호현, 임영욱, 신동천, 홍천수, "일반 주택에서의 VOCs에 의한 거주자의 건강위해성

- 평가”, 제1회 한국실내환경학회 학술대회 논문집, 제1권, pp. 120-122, 2004.
- [3] 김윤덕, 이윤규, 이경희, “다중이용시설의 오염물질 방출량 특성”, 제 1회 한국실내환경학회 학술대회 논문집, 제1권, pp.75-78, 2004.
- [4] 변상훈, 손종렬, 김영환, “서울시 지하 실내공간의 거주자에 대한 설문조사 및 실내오염도 조사”, 제1회 한국실내환경학회 학술대회 논문집, 제1권, pp. 214-217, 2004.
- [5] 김보환, “실내공기의 다성분 청정제어시스템 개발에 관한 연구”, 박사학위 논문, 수원대학교, 2004.
- [6] 이재현, 이덕동, “CaF<sub>2</sub>를 이용한 고체전해질 산소센서의 제조 및 그 특성”, 센서학회지, 제3권, 제2호, pp. 40-49, 1994.
- [7] Jung, T. H., S. I. Hong, and T. J. Kim, “Characteristics of oxygen permeable polypropylene with membrane-covered electrode”, *J. KICChE* vol. 34, no. 4, pp. 489-494, 1996.



김 보 환 (Bo-Whan Kim)

- 2005 수원대학교 대학원 화학공학과 (공학박사)



이 진 하 (Jin-Ha Lee)

- 1978 고려대학교 이공대학 화학공학과 (공학사)
- 1982 연세대학교 보건대학원(보건학석사)
- 2004 수원대학교 대학원 화학공학과 (공학박사)
- 1982 ~ 현재 동남 보건대학 환경생명과학과 교수



김 태 진 (Tai-Jin Kim)

- 1975 고려대학교 화학공학과(공학사)
- 1981 Pennsylvania 주립대학교 화학공학 (공학석사)
- 1986 Syracuse 대학교 화학공학(공학박사)
- 1986 ~ 1989 동양제철화학 중앙연구소 책임연구소
- 1997 ~ 2002 수원대학교 첨단과학기술 연구원 원장
- 1989 ~ 현재 수원대학교 화학공학과 교수
- 1999 ~ 현재 (주)바이오텔 대표이사