

論文

초저주파를 검출하는 변환기의 개발에 대한 연구

正會員 李 成 栢\*                      正會員 金 在 煥\*\*  
 準會員 康 永 昌\*\*\*                    正會員 李 準 雄\*\*\*\*

A study on the Development of Transducer Detecting Infrasonic

Sung Paik LEE\* and Jae Hwan KIM\*\*, Regular Members

Young Chang GANG\*\*\*, Associate Member

Joon Ung LEE\*\*\*\*, Regular Member

**요 약** 초저주파 변환기를 Polytetrafluoroethylene(PTFE) Film인 고체 유전체재료로 만들었다. 그 실험 결과 응답은 0.1Hz에서 7,000Hz까지  $\pm 1.5$ dB이내이고 감도는  $-60$ dB로 거의 일정하다.  $-3$  dB점은 0.1Hz가 되어 (상대측정) 매우 우수한 저주파 특성을 얻을 수 있었다. 상온에서 이 소자의 시정수는 60년 이상이고 활성화 에너지는  $343^{\circ}\text{K}$ 에서  $1.1\text{eV}$ 를 얻었다. 이 소자는 고감도 음향 통신계통이나, 지진탐사등에 이용 될 수 있음이 예상된다.

**ABSTRACT** Infrasonic transducer made with dielectric materials, such as polytetrafluoroethylene(PTFE)film. The experimental result obtained that the response is within  $\pm 1.5$ dB from 0.1Hz to 7 KHz, and that sensitivities of typical transducer are fixed  $-60$ dB. The time constant of the transducer at room temperature is over 60years, and the activation energy of the value of  $1.1\text{eV}$  at  $343^{\circ}\text{K}$  acquired. This transducer can have application to high-quality communication system, seismological observation etc.

1. 서 론

최근 plastic 성형가공 기술의 발달로 합성 고분자 재료를 다량생산하여 일상 가정용 필수품을 비롯, 전기, 전자 기계와 그 부품에 대단히 많이 이용하고 있다. 특히 고분자 재료의 전기적 물성과 역학적, 열적물성을 이용하여 전기분야에서는 고전

압 기계나 초고압 케이블의 절연 물질로, 전자 분야에서는 전자제산기, 통신의 기록매체, 반도체 및 생체공학 분야등 그 이용은 날로 증대 일로에 있다. 본 연구에서는 내열성과 전기적 성질이 우수한 polytetrafluoroethylene(PTFE) Film을 선정하여 가청주파수(16Hz~20KHz)이하의 초저주파수인 0.1Hz 부터 가청주파수인 14KHz까지를 검출할 수 있는 소자를 개발하여 그 실험결과를 소개한다.

2. 관계 이론

2-1. 활성화 에너지  $\Delta E$ 와 전하의 수명  
 먼저 사용재료의 물리적 정수인 활성화에너지  $\Delta E$ 를 구한다. 지금 재료의 양면에 금속전극을 붙여 항온조에 배치하여 양전극에 직류 고전압을 인가하면 재료 양면에는 분극이 형성 되는데 이 분극된 전기

\* 光云工科大学 応用電子工学科  
 Dept. of Applied Electronic Engineering, Kwang woon University, Seoul, 132 Korea.

\*\* , \*\*\*\* 光云工科大学 電気工学科  
 Dept. of Electrical Engineering, Kwang woon University, Seoul, 132 Korea.

\*\*\* 光云工科大学 電子通信工学科  
 Dept. of Electronic Communication Engineering, Kwang woon University, Seoul, 132 Korea.

論文番号 81-6 (接受 1981. 11. 6)

량  $Q(c)$  완화시간을  $\tau(T)$ 라 하면 가열하여 분극에서 이탈하는 과정에서는,

$$\frac{dQ}{dt} = -\frac{Q}{\tau} \quad (1)$$

이 성립 하는데 식(1)을 적분하면,

$$Q = Q_0 e^{-\int_0^t \frac{dt}{\tau}} \quad (2)$$

가 된다. 여기서  $Q_0$ 는 초기 분극이며  $\tau$ 는 온도의 함수이다. [식(9)참조]

다음에 이 분극된 전기량을 측정하기 위하여 그림 1과 같이 외부회로에 전류계를 연결하고 일정한 승온 속도로 가열 하면 분극이 이탈되면서 전류계에는 전류가 흐르는데 그 크기  $I$ 를,

$$I = -\frac{dQ}{dt} = \frac{Q_0}{\tau} e^{-\int_0^t \frac{dt}{\tau}} \quad (3)$$

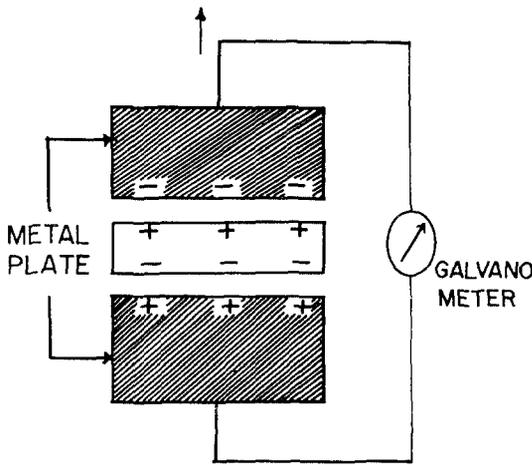


그림1 열자극 전류의 측정  
Measuring process of polarized current.

이 된다. 위의 전류를 온도의 함수로 표시 한것을 열자극 전류(Thermally stimulated current ; TSC)라 한다. 그런데 일반적으로 승온 속도  $a$ 를 일정하게 하고 승온 시작온도를  $T_0$ 라 하면 온도  $T$ 와 시간  $t$  사이에는,

$$T = T_0 + at \text{ 또는 } dT = a dt \quad (4)$$

관계가 성립 하므로 식(4)를 식(3)에 대입하면,

$$I = \frac{Q_0}{\tau} e^{-\frac{1}{a} \int_{T_0}^T \frac{dT}{\tau}} \quad (5)$$

가 된다. 만일 식(5)에 쌍극자 완화시간  $\tau = \tau_0 e^{\frac{E}{kT}}$

(이 식을 식(9)를 참조)를 대입하면,

$$I = \frac{Q_0}{\tau_0} \exp\left[-\frac{\Delta E}{kT} - \frac{1}{a\tau_0} \int_{T_0}^T \exp\left(-\frac{\Delta E}{kT}\right) dT\right] \quad (6)$$

로 되며 온도가 낮은 부분에서는 식(6)의 2 항을 무시 할 수 있으므로

$$I(T) = \frac{Q_0}{\tau_0} \exp\left(-\frac{\Delta E}{kT}\right) \quad (7)$$

된다. 식(7)의 양변에 대수를 취하면

$$\ln I = \ln \frac{Q_0}{\tau_0} - \frac{\Delta E}{kT} \quad (8)$$

가 되는데 이로부터  $\ln I$ 와  $\frac{1}{T}$ 의 관계를 plot하면 그 기울기로 부터 쌍극자의 활성화 에너지  $\Delta E$ 를 구할 수 있다. 다음에 사용시료에 충전된 전하의 수명  $\tau$ 는 상온에서 시료의 저항과 정전용량을 측정 하고 또 유기물체의 전도도,  $\sigma = \sigma_0 \exp\left(-\frac{\Delta E}{kT}\right)$ 을 고려하면'

$$\tau = RC = \frac{\epsilon}{4\pi\sigma} = \tau_0 \exp\left(\frac{\Delta E}{kT}\right) \quad (9)$$

여기서  $\tau_0 = \frac{\epsilon}{4\pi\sigma_0}$

$\sigma_0$ 는 초기 전도도,  $\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_s$ 로  $\epsilon_s$ 는 사용 시료의 비 유전율 이다. 또 사용 시료의 초기 전하량은 다음식으로 구할 수 있다.<sup>3</sup>

$$\frac{\text{측정할 전하량(C)}}{\text{전극면적(cm}^2\text{)}} \quad (11)$$

## 2-2. 초자의 해석<sup>3)</sup>

그림 2에서 음성파가 Foil에 부딪히면 Foil이 진동한다. 이로 인하여 Foil과 다른 전극 사이에 연결된 저항 앞면에는 진동폭에 비례하는 전압이 발생한다.

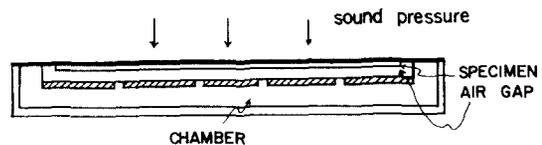


그림2 제작된 변환기  
Fabricated transducer.

다. 또 이 系에서 대기압력에 대한 Foil의 기계적共振周波數는,

$$\omega_r = \frac{P_0}{SM} \quad (12)$$

로 된다. 여기서  $P_0$ 는 대기압,  $M$ 는 Foil의 무게로  $cm^2$ 당의 무게,  $S$ 는 Foil뒤의 Air Gap의 두께이다.

이식으로 미루어 보아 공진점 부근은 진폭의 변화가 크므로 이 공진점 이하의 주파수에 대해서 실제 사

용량이 바람직하다. 식(12)에 제작한 소자의 정수  $S=10^{-1} \text{ cm}$ ,  $M=3 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^2$ 를 대입하면  $f_r=9 \text{ KHz}$ 를 얻는다. 일반적으로 흔히 쓰이는 Condenser Microphone은 공진주파수가 25~30KHz가 되므로 상한 주파수는 15~20KHz가 될수있음이 예견되나 여기서 제작한 소자의 공진주파수는 9 KHz가 되었다.

### 3. 實驗裝置와 測定方法

#### 3-1. 사용시료와 실험방법

##### 3-1-1. 사용시료

본 실험에 사용된 試料는 고분자 재료중 유전율, 유전체손이 비교적 적고 고유저항이 크며 260°C의 고융점을 갖는 Polyethylene Terephthalate(PET)이며 무극성이고 내열성과 전기 전열성이 매우 우수한 두께 0.1mm인 polytetrafluoroethylene (PTFE, 또는 TEFLON이라함) Film을 사용하였다.

이들 試料中 PTFE가 PET 보다 분극을 保持 하는 정도 즉 감도 특성이 우수하여 PTFE Film 만으로 소자를 제작하여 실험을 하였다. PTFE의 단량체를 그림 3에 표시 하였다.

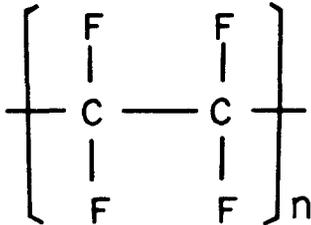


그림 3 PTFE의 단량체  
Monomer of PTFE.

##### 3-1-2. 實驗方法<sup>6)</sup>

#### (1) 쌍극자 활성화 에너지 $\Delta E$ 와 전하의 수명 $\tau$

식(9)에 의하여 쌍극자 활성화 에너지를 구할 수 있으나 본 研究에서는 앞서 소개한 열자격전류(TSC) 방법<sup>(1)~(3)</sup>을 이용하여 활성화 에너지를 구하였다. 그림 4는 열자격전류 실험장치 인데 금속 전극 사이에 삽입한 시료를 항온조내에 넣고 상온 이상의 온도에서부터 시료가 분극되기 쉬운 온도까지 승온한후 필요한 분극 전압을 끊은후 5분 동안 시료를 단락하고 전위계 (KEITHLEY 602,美)를 거쳐 기록계에 연결후 온도를 일정한 속도로 승온 시키면서 분극상태가 이탈되는 현상을 측정한다. 이와같이 측정할 전류로부터 식(8)을 이용하여 쌍극자 활성화 에너지

$\Delta E$ 를 구할 수 있으며 전하의 수명  $\tau$ 는 LC측정기로 정전용량 C를 구하고 고저항 측정방법으로 저항 R을 측정하여 식(9)로부터 구하였다.

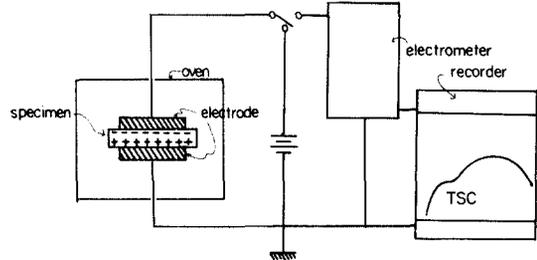


그림 4 실험장치  
Experimental device.

#### (2) 제작 소자의 감도

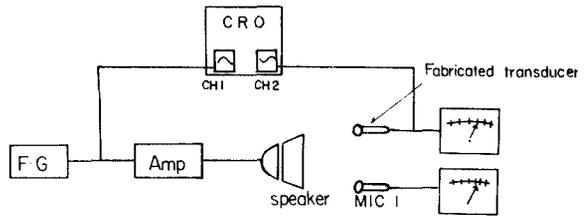


그림 5 실험장치의 블록선도  
Block diagram of experimental set-up.

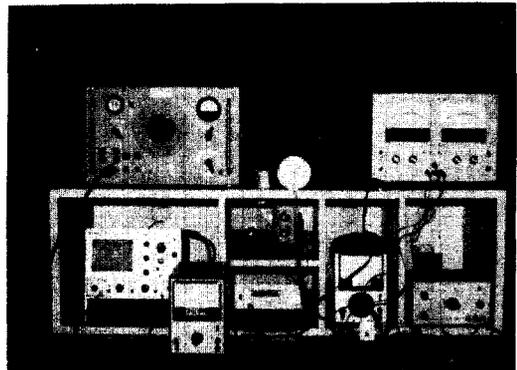


그림 6 실험장치  
Experimental device.

소자의 감도 측정을 위한 Block Diagram은 그림 5와 같고 그림 6은 실험장치이다. 저주파 신호 (0.1Hz~14KHz)를 Oscilloscope channel 1에 넣고 이와 동일한 신호를 Speaker를 통하여 제작한 소자

를 기차 증폭기로 증폭된 신호를 oscilloscope channel 2에 넣어 신호파 폭정을 리프스로 판수 하면서 Level Meter로 식보 비교측정 한다. 또 소자의 감도 측정은 표준 MIC (ECM-220T SONY)로 5cm 거리에 식 Level Meter로 비교 측정 하였다.

4. 實驗 結果

4-1. 분극전류

그림 7은 분극온도 70°C에서 1KV의 전압을 1분 동안 인가하여 얻은 분극전류 이다. 90°C에서 최대치를 갖는 1개의 전류곡선을 얻었다.

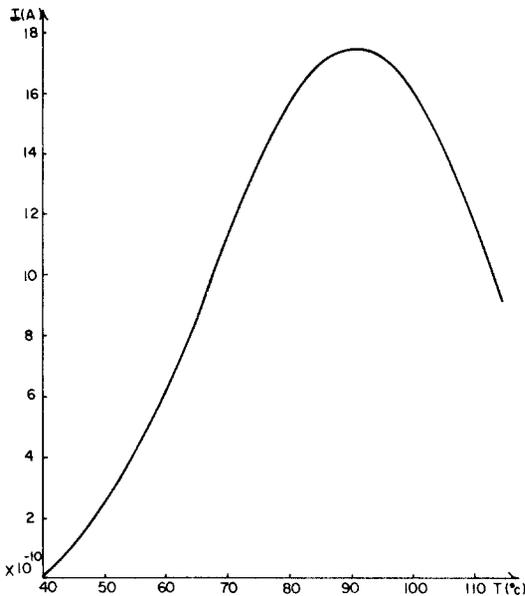


그림7 열자극 전류  
Thermally stimulated discharge current for the specimen. ( $E_p=10MV/m, l_f=1M\Omega$ , electrodes= silver paste, sample dia=40mm,  $\alpha=0.087^\circ C/s$ )

4-2. 감도

주파수 0.1Hz~14KHz사이의 감도를 측정할 목적으로 그림 8 이다. 넓은 주파수 범위에선 60dB의 비교적 평탄한 감도 특성을 얻었다. 14KHz 이상의 주파수 특성은 공진주파수를 넘어서므로 정확하지 않았다. 또한 0.1Hz~50Hz의 저 주파수에 대해서 측정하여 양호한 결과를 얻었으나 초저주파에 대한 표준의 결여로 인하여 측정치일 상대적인 값으로 하였다.

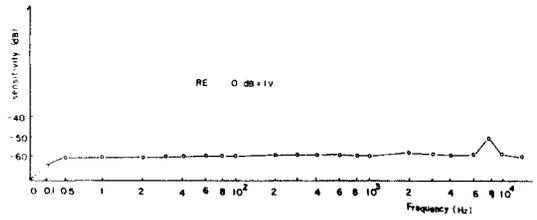


그림8 변환기의 주파수 응답  
Frequency response of the transducer.

그림 9 (a)는 0.5Hz 때의 파형이고 그림 (b)는 1Hz 파형이다. 이 그림들의 위쪽 파형이 시작품의 출력이며 아래쪽 파형은 Speaker 구동 파형이다.

5. 실험 결과의 검토

5-1. 쌍극자 활성화 에너지  $\Delta E$ .



(a) 0.5 Hz  
upper : fabricated transducers output  
lower : function generator  
time : 0.25sec/div, voltage : 2V/div



(b) 1 Hz  
upper : fabricated transducers output  
lower : function generator  
time : 0.25sec/div, voltage : 2 V/div

그림9 측정파형과 주파수  
Measuring waveform and frequency.

쌍극자가 이탈 할 수 있는 활성화 에너지  $\Delta E$  를 구하기 위하여 그림 7 을 이론에서 언급한 식(8)을 이용하여  $\ln I$ 를 온도  $\frac{1}{T}$ 의 함수로 plot하여 얻은것이 그림 10이다. 그림 10의 기울기로 부터 쌍극자 활성화 에너지  $\Delta E=1.1eV$ 를 얻었다. 일반적으로 유기 화합물에서 활성화 에너지는 0.1~1.85eV로 알려져 있다.<sup>11)</sup> 따라서 본 研究에서 實驗을 통하여 구한 활성화 에너지는 수긍 할 수 있는 수치로 사료된다.

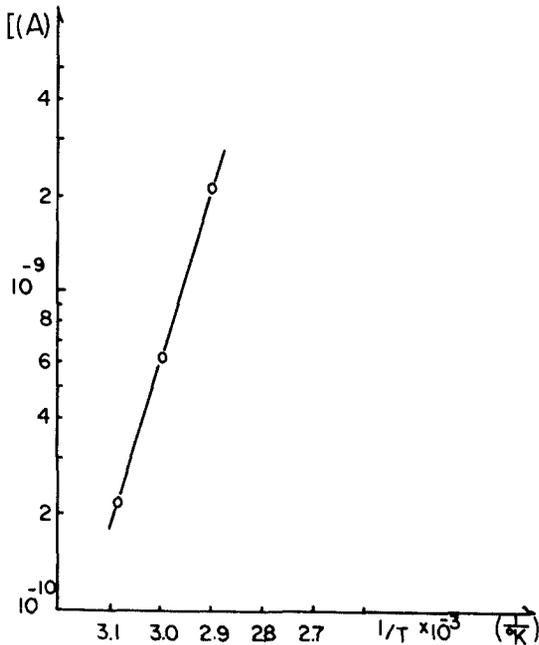


그림 10 초기 상승법에 의한 활성화 에너지 Arrhenius plot obtained from initial rise method. (Ep=10MV/m, T<sub>1</sub>343 °K, t<sub>r</sub>=1 Mn electrodes=silver paste, sample dia=40mm, α=0.269°K/s)

### 5 - 2 . 전하의 수명

충전된 전하의 소멸시간을 구하기 위하여 시료의 양면에 금속전극(silver paste)를 부착하여 저항계로 10 (Ω cm)의 제적저항을 얻었으며 정전용량은200PF를 얻었다. 이들 수치를 식(9)에 넣어 전하의 수명을 구한 결과 2 × 10<sup>9</sup> (S)를 얻었다. 이 시간은 63년 동안 에 사용할 수 있다고 생각된다.

### 5 - 3 . 초기 전하량

그림 7 에서 곡선의 전 면적은 시료내에 충전된 전하량을 나타낸다. 따라서 식(11)을 이용하여 초기 전하량 1.7 × 10<sup>-8</sup> (C/cm<sup>2</sup>)을 얻었다. 이 양은 다른

유기 화합물에서 얻은 수치와 비슷하다.<sup>11)</sup>

### 5 - 4 . 감도

제작된 소자의 주파수에 대한 감도 측정 결과는 그림 8 과 같다.

50Hz에서부터 7 KHz까지 거의 일정한 감도 특성을 얻었고 그 이상에서 감도는 일정하지 않았는데 이는 제작상의 문제로 보며 앞으로 연구해야할 문제로 본다. 그러나 50Hz이하의 주파수 즉 0.1Hz까지 측정할 수 있었으나 표준 MIC가 없어 비교 할 수는 없었으며 상대적인 신호비로서 측정 하였다. 물론 이것은 일반 Level Meter 로서 측정 할 수 없으며 Oscilloscope 만으로 측정이 가능 하였다.

## 6 . 결론

PTFE Film으로 초저주파수를 검출 할 수 있는 소자를 제작 실험한 결과,

1. PTFE Film의 활성화 에너지는 70°C에서 1.1 V를 얻었다.
2. 전하의 수명은 상온에서 2 × 10<sup>9</sup> (S) 즉 63년을 얻었다.
3. 제작소자의 감도는 50Hz에서 부터 7 KHz 까지 - 60dB의 거의 균일한 감도를 얻었다.
4. 0.1Hz~50Hz사이의 감도를 측정한 결과 양호한 특성을 얻었으나 표준의 결여로 이 부분의 특성을 비교 할 수 없었다.

## 7 . 고찰

1. 소자의 감도 특성은 7 KHz이하의 저주파수에서는 -60dB로 거의 일정 하였고 그 이상에서는 기복이 심하였다.
2. 0.1Hz~50Hz사이의 저주파수에서도 양호한 감도 특성을 얻었으나 표준과 비교 할 수 없었다. 예를들면 문을 열었을때의 낮은 압력 변화에도 민감하게 동작하였는데 이를 이용하면 수백km 떨어진 원거리에서 발사된 로켓트 기타 폭발물에서 나온 압력 변화에 의한 저주파수를 수백km 떨어진 원거리에서 검출하여 폭발물의 위치나 종류등을 알 수 있으리라 본다.
3. 특히 초 저주파시 소자의 Reactance가 대단히 크므로 초 고압 입력 Impedance를 갖는 D. C

증폭기를 사용 하였고 이에 따라 비교적 양호한 결과를 얻을 수 있었다.

4. 사용재료로는 PET와 PTFE를 사용하였으나 PTFE가 PET보다 감도 특성이 우수하여 PTFE로 소자를 제작 하였다. 이 PTFE의 여러가지 물리적인 정수는 앞으로 좀더 연구 할 예정이다.

参 考 文 献

(1) J. VAN. Turnout, Thermally stimulated discharge of polymer electrets, Amsterdam Elsevier, 1975, p-6  
 (2) R.A.Creswell and M. M. Perlman, "Thermal current from corona charged Mylar," J. Appl. phys. vol. 41, p. 2365 1970 .

(3) J. Ung, Lee, ph. D Thesis, "Contribution a l'etude des courants thermostimules d'electrets de PE," Montpellier university, France, 1979.  
 (4) C. Bucci, R. Fieshi and G. Guidi, "Ionic thermocurrents in dielectrics," phys. Rev. vol. 148, p- 816 1966.  
 (5) G. M. Sessler and J. E. West, "Foil-Electret microphones," J. Acoust. Soc. Am. vol. 40, p- 1433, 1966.  
 (6) G. M. Sessler, " Electrostatic microphones with electret foil," J. Acoust. Soc. Am. vol. 35, p- 1354, 1963.  
 (7) G. M. Sessler and J. E. West, "Charging of polymer foils with monoenergetic low-energy electron beams," Appl. Phys. Letters. vol. 17, pp. 507-509, 1970.  
 (8) J. Ung, Lee, "Analysis of carrier properties and trap energy depth in the LDPE- Electret," J. K. I. E. E vol 29, p- 511, 1980.



李 成 栢 (Sung Paik LEE) 正會員  
 1940年12月27日生  
 1965年2月：漢陽大學校 工科大学 電氣工学科卒業  
 1980年～現在：漢陽大學校 大學院 電氣工学科 博士課程  
 1968年～現在：光云工科大学 電用電子工学科 副教授



金 在 煥 (Jae Hwan KIM) 正會員  
 1934年9月10日生  
 1958年：서울大學校 工科大学 電氣工学科 卒業  
 1964年：佛蘭西政府招請으로 電氣工學研究  
 1979年～現在：弘益大學校 大學院 電氣工学科 博士課程  
 1959年～1973年：韓國電力株式會社 勤務  
 1973年～1975年：弘益工業專門大學 電氣工学科  
 1975年～現在：光云工科大学 電氣工学科 助教授



康 永 昌 (Young Chang GANG) 準會員  
 1957年10月22日生  
 1980年2月：光云工科大学 電子工学科 卒業  
 1980年3月～現在：光云工科大学 大學院 電子通信工学科 碩士課程 在學中



李 準 雄 (Joon Ung LEE) 正會員  
 1940年10月24日生  
 1964年2月：漢陽大學校 工科大学 電氣工学科 卒業  
 1968年3月～1970年2月：漢陽大學校 大學院 電氣工学科 (工學碩士)  
 1976年6月～1979年10月：佛蘭西政府招請으로 佛蘭西 Montpellier University 留學 (工學博士)  
 1981年～現在：光云工科大学 電氣工学科 教授