

# 수중청음기 응용을 위한 다공질 PZT 세라믹스의 압전특성

論 文  
45~4~14

## Piezoelectric Properties of Porous PZT Ceramics for Hydrophone Applications

朴 鄭 學\* · 李 壽 琥\*\* · 司 空 鍵\*\*\* · 裴 晉 鎬\*\*\*\*  
(Jung-Hak Park · Su-Ho Lee · Geon Sa-Gong · Jin-Ho Bae)

**Abstract** - PZT powders were prepared by the molten salt synthesis method. The porous PZT ceramics were made from a mixture of PZT and polyvinylalcohol(PVA) by BURPS(Burnout Plastic Sphere) technique. The porous PZT bodies were fabricated from the green compacts with various amounts of PVA spheres. The piezoelectric coefficient  $d_{33}$ ( $334\sim 350 \times 10^{-12}$ C/N) of porous PZT specimens remains almost constant as PVA volume fraction increases and was comparable with that of single phase PZT ceramics( $364 \times 10^{-12}$ C/N). The figure of merit( $d_{33}/g_h$ ) of porous PZT specimens evaluating the sensitivity for ultrasonic transducer applications was improved significantly(11~70times) in comparison with that of single phase PZT ceramics( $100 \times 10^{-15}$ m/N). The thickness mode coupling factor  $k_t$ (0.5~0.6) of porous specimens was comparable with that of single phase PZT ceramics( $k_t=0.7$ ). The mechanical quality factor of porous PZT specimens was smaller than 10, and thus these porous PZT ceramics would be believed as a good candidate for broad band hydrophone applications.

**Key Words** : Molten salt synthesis method, Porous PZT ceramics, Ultrasonic transducer

### 1. 서 론

지금까지 PZT계 압전 세라믹스는 압전성 및 전기기계 결합 특성이 우수하여 압전 트랜스듀서 재료로서 광범위하게 사용되고 있다. 그러나 PZT 단일상(single phase)만으로 제작된 초음파 트랜스듀서는 이들 소자의 밀도 및 유전율이 높아 매질이 공기 및 물인 경우에는 음향임피던스 정합(matching)이 어렵고, 감쇠계수가 적어서 좁은 주파수 대역에서 반응할 뿐 아니라 울림(ringing)시간이 길어서 감도를 가늠하는 성능지수가 낮다. 따라서 이를 개선시키기 위한 새로운 소재의 개발이 요구되고 있다[1,2].

이에 부응하기 위하여 각종 복합압전체(ceramics/polymer composite)가 개발되고 있으며, 그 중 다공질 세라믹을 필러(filler)로 사용하는 3-3형 복합압전체를 D.P. Skinner는 lost-wax법[3]으로, T.R. Shrout 등은 BURPS법에 의해 제작하였다[4].

본 연구에서는 PZT압전소자와 주위 매질과의 정합을 개선시키기 위하여 다공질 세라믹을 제작하였으며, 이 때 기공 형성을 위한 플라스틱 구체(sphere)로는 T.R. Shrout의 연구와는 달리 PVA (polyvinylalcohol)를 사용하였다[5]. 아울러 제조된 이들 다공질 압전소자의 압전특성에 대해 연구함으로써 수중청음기로서의 응용 가능성에 대하여 검토하였다.

### 2. 시편제작 및 특성측정

본 실험에서 다공질 세라믹 제조를 위한 분말은 동질이형 상 경계(Morphotropic Phase Boundary:MPB)근처의 조성을 가지는 PZT[Pb(Zr<sub>0.52</sub>Ti<sub>0.48</sub>)O<sub>3</sub>]를 용융염합성법으로 제조하여 사용하였으며[6], 다공질 PZT세라믹스 제조를 위한 기공 형성을 위하여 플라스틱 구체로는 크기가 74~88( $\mu$ m)인 PVA를 사용하였다. 이때 기공율을 제어하기 위해 압전 세라믹PZT에 대한 PVA의 중량비를 5-15 (wt.%)범위에서 변화시켰으며, 이를 위해 적정량의 PZT 및 PVA를 칭량하여 건식 혼합한 다음 20,000(psi)로 성형하였다. 그 후 20( $^{\circ}$ C/hr)의 비율로 승온하여 500( $^{\circ}$ C)에서 2시간 유지하여 세라믹에 분산, 혼합되어 있는 플라스틱 구체를 휘발(burn-out)시킨 다음 1,150( $^{\circ}$ C)에서 1시간 소결하여 다공질의 압전 PZT시편을 제조하였다[5].

제작된 이들 다공질 PZT시편의 양면에 고온 건조용 은전극(Dupont #7095)을 도포하고 600( $^{\circ}$ C)에서 30분 동안 열처리를 행하여 전극을 부착했다. 분극은 120( $^{\circ}$ C)의 실리콘 기름 중에서 35(kV/cm)의 전계를 10분 인가하여 처리하였으며, 24시간 이상 상온에서 aging시킨 후 각종 특성을 측정하였다.

압전정수  $d_{33}$ 는 Berlincourt Piezo  $d_{33}$ -meter(Model CPDT 3300, Channel Products, Inc., OH 44022)로 측정하였고, 압전정수  $g_h$ 는 pseudo dynamic  $g_h$  측정법에 의해 구하였다[7].

### 3. 실험결과 및 토의

그림 1은 분극처리된 다공질 PZT시편에 있어서 PVA 중량비의 변화에 대한 압전정수  $d_{33}$ 값을 나타낸 것으로, PVA의 중량비가 증가함에 따라 다공질 PZT 세라믹스의 압전전하정수  $d_{33}$ 값은 대략  $334\sim 350(\times 10^{-12}$ C/N)으로 자체 제조한 단일상

\* 正 會 員 : 東亞大 工大 電氣工學科 講師 · 工博

\*\* 正 會 員 : 東亞大 大學院 電氣工學科 博士課程 修了

\*\*\* 正 會 員 : 東亞大 工大 電氣工學科 教授 · 工博

\*\*\*\* 正 會 員 : 嶺南大 工大 電氣工學科 教授 · 工博

接受日字 : 1995年 11月 22日

最終完了 : 1996年 3月 5日

PZT의  $d_{33}$ 값( $364 \times 10^{-12} \text{C/N}$ )에 거의 근접한 결과를 얻을 수 있었다. 이는 다공질 PZT소자도 초음파 트랜스듀서로의 응용이 가능함을 시사하고 있다.

그림 2는 PVA 중량비의 변화에 대한 다공질 PZT시편의 압전전압정수  $g_{33}$ 값을 나타낸 것으로, PVA의 중량비가 변화함에 따라 다공질 PZT 세라믹스의  $g_{33}$ 값은 대략  $32 \sim 38 (\times 10^{-17} \text{Vm/N})$ 로 PZT 단일상의 값( $25 \times 10^{-3} \text{Vm/N}$ )보다는 높은 값을 나타내고 있어 수중청음기로 응용시 음파의 수신감도가 개선될 것이다. 그림에서 보듯이 단일상 PZT보다는 높은 값을 나타내고 있는 데, 이는 PVA의 중량비가 증가함에 따라 기공율의 증가로 비유전율이 높은 PZT의 체적감소 때문으로 생각된다.

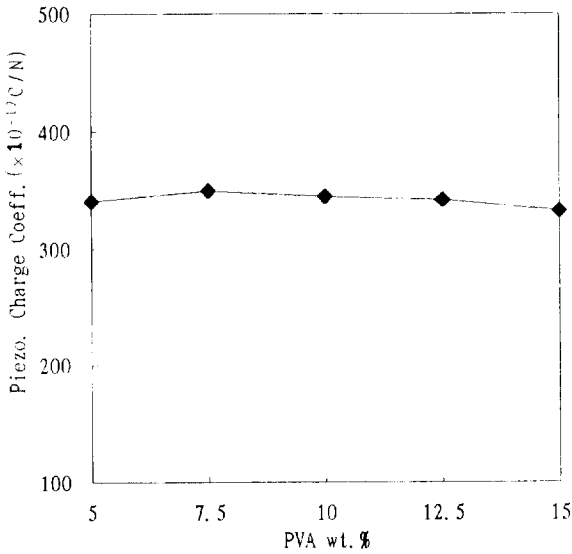


그림 1 다공질 PZT 세라믹스의 압전전하정수  
Fig. 1 Piezoelectric charge coefficient of porous PZT ceramics

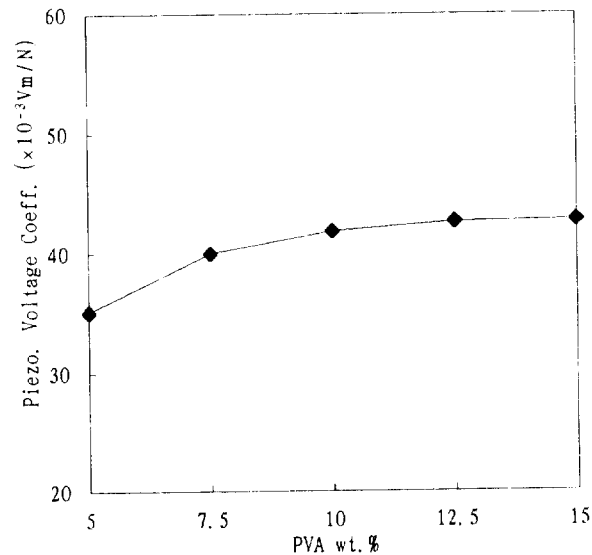


그림 2 다공질 PZT 세라믹스의 압전전압정수  
Fig. 2 Piezoelectric voltage coefficient of porous PZT ceramics

한편 매질이 물 및 기름일 경우 정수압은 시편의 분극방향과 수직방향의 모든 방향으로 동일하게 가해지게 되므로 수중청음기에 사용될 압전소자를 평가하는데는 수중 압전정수  $d_h$  및  $g_h$ 가 중요한 파라미터가 된다. 이들 중 수중 압전전압정수  $g_h$ 는 가해진 정수압(hydrostatic stress)에 의해 변환기 양단에 나타나는 전압에 관련되는 정수로서 플라스틱 구체로 사용된 PVA 중량비의 변화에 대한 결과들을 그림 3에 나타내었다. PVA 중량비가 증가함에 따라  $g_h$ 정수는 증가되고 있으며, 그 값은  $14 \sim 30 (\times 10^{-3} \text{Vm/N})$ 으로 단일상 PZT 세라믹스의 값( $2.7 \times 10^{-3} \text{Vm/N}$ )에 비해 훨씬 높게 나타났다.

또 수중 압전전압정수  $g_h$ 와 더불어 자주 사용되는 수중 압전전하정수  $d_h$ 는 정수압에 의해 생기는 strain 변화에 기인되는 분극을 나타내는 것으로 이 정수는 수중 압전전압정수  $g_h$ 를 측정 한 후 관계식( $d_h = g_h \epsilon_0 K_{33}$ )에 의해 구하며, 여기서  $K_{33}$ 는 시편의 비유전율이고,  $\epsilon_0$ 는 진공의 유전율로서  $\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12} (\text{F/m})$ 이다.

그림4에 PVA의 중량비에 따른 다공질 시편의 수중 압전전하정수  $d_h$ 를 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 PVA중량비의 증가에 따라  $d_h$ 정수는 증가하는 경향을 나타내고 있다. 이러한 현상은 PVA의 중량비가 증가함에 따라 PZT 체적비의 감소로 (-)부호를 가진  $d_{31}$ 의 값은 작아지게 되나 전술한 바와 같이 압전전하정수  $d_{33}$ 는 큰 변화가 없으므로 결과적으로  $d_h (= 2d_{31} + d_{33})$ 정수는 증가되는 특성을 보여주고 있다. 이때  $d_h$ 값은  $136 \sim 234 (\times 10^{-12} \text{C/N})$ 으로 단일상 PZT 세라믹스의 값( $37 \times 10^{-12} \text{C/N}$ )에 비해 훨씬 높게 나타나고 있다.

또한 초음파 트랜스듀서의 성능을 가능하는 성능지수는 수중 압전정수  $d_h$ 와  $g_h$ 의 곱( $d_h g_h$ )으로 정의되는 데, 그림 5에 PVA 중량비에 따른 다공질 시편의 성능지수를 나타내었다. 그림에서 처럼 PVA의 중량비의 증가에 따라 성능지수  $d_h g_h$ 는 직선적으로 증가하는 특성을 보이고 있다. 이는  $d_h$  및  $g_h$  정수의 증가에 기인된 것으로, 다공질 시편의 성능지수  $d_h g_h$ 의 값은  $1,100 \sim 7,000 (\times 10^{-15} \text{m}^2/\text{N})$  정도로 단일상 PZT( $100 \times 10^{-15} \text{m}^2/\text{N}$ )에

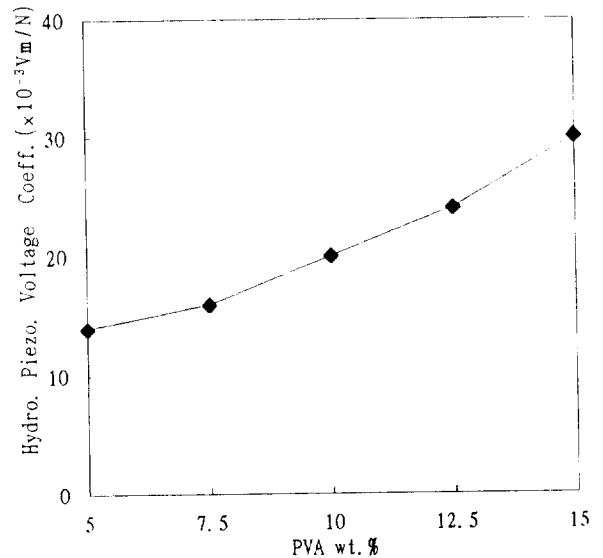


그림 3 다공질 PZT 세라믹스의 수중 압전전압정수  
Fig. 3 Hydrostatic piezoelectric voltage coefficient of porous PZT ceramics

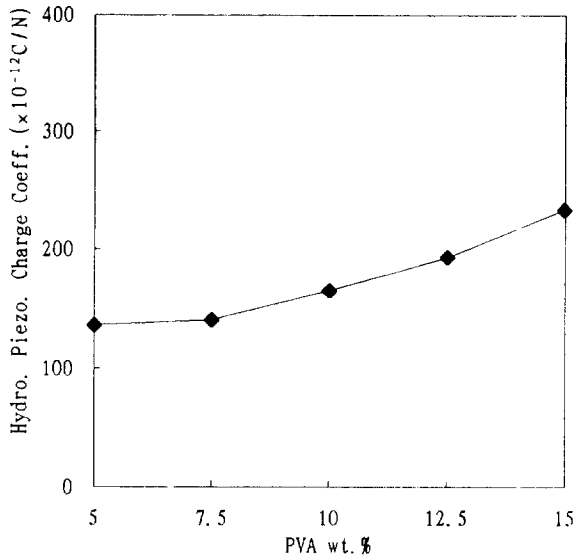


그림 4 다공질 PZT 세라믹스의 수중 압전전하정수  
 Fig. 4 Hydrostatic piezoelectric charge coefficient of porous PZT ceramics

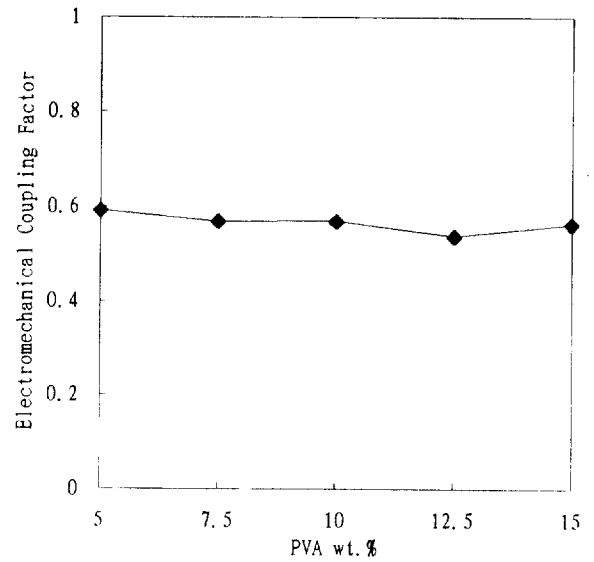


그림 6 다공질 PZT 세라믹스의 전기기계결합계수  
 Fig. 6 Electromechanical coupling factor of porous PZT ceramics

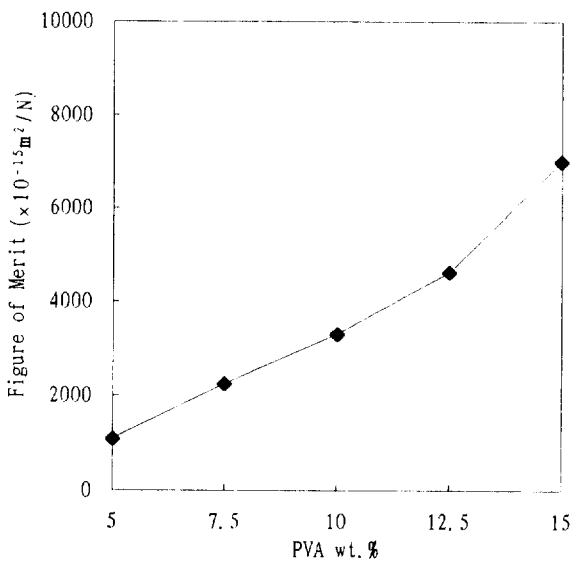


그림 5 다공질 PZT 세라믹스의 성능지수  
 Fig. 5 Figure of merit of porous PZT ceramics

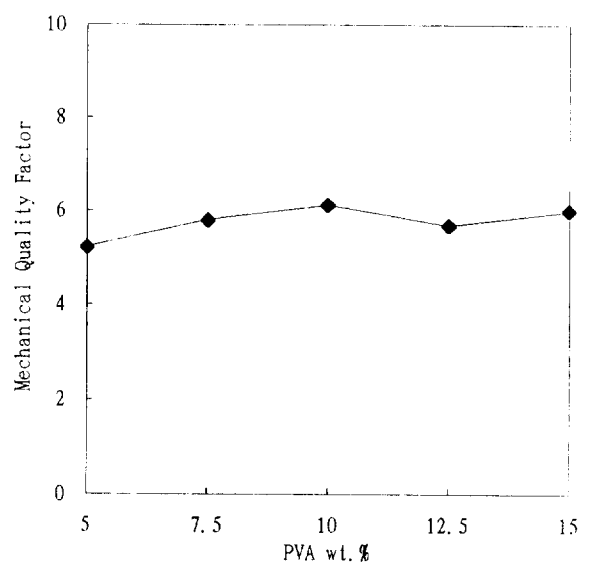


그림 7 다공질 PZT 세라믹스의 기계적 품질계수  
 Fig. 7 Mechanical quality factor of porous PZT ceramics

비해 약 11~70배정도 향상된 결과가 얻어졌다.

그림 6은 압전재료의 전기기계 변환능률을 나타내는 두께방향 전기기계 결합계수( $k_t$ )를 PVA의 중량비의 변화에 대해 나타낸 것으로, PVA의 중량비를 변화시켜도 다공질 PZT시편의  $k_t$ 값은 0.5~0.6으로 단일상( $k_t=0.7$ )에 거의 근접한 값을 얻을 수 있었다. 이는 다공질 PZT소자도 단일상 PZT소자처럼 초음파 트랜스듀서로 응용시 음향 변환능률이 양호할 것으로 생각된다.

전기기계결합에서 중요한 기계적품질계수( $Q_m$ )는 그 값이 작으면 압전소자로 사용될 때 광대역폭을 가지게 되며, 공진주파수 부근의 신호는 쉽게 통과시키게 된다[10]. 그림 7은 다공질 PZT 시편에 있어서의 기계적품질계수를 나타낸 것으로 PVA

의 중량비 변화에 대해  $Q_m$ 값은 대략 5~6정도로 거의 일정한 값을 나타내고 있다. 이는 PZT 단일상의 값(80)에 비하여 상당히 작아진 결과로서 펄스 상승시간이 빠르고 펄스-에코 진폭이 상당히 커져 광대역 트랜스듀서로서의 응용이 기대된다. 그러나 이들 결과에 대한 기구에 대해서는 보다 더 연구가 필요하리라 생각된다.

#### 4. 결 론

수중청음기에 응용될 다공질 PZT 시편을 제작함으로써 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 다공질 PZT시편의 압전전하정수  $d_{33}$ 는 대략 290~340( $\times$

$10^{-12}C/N$ )으로 PZT 단일상의  $d_{33}$  값( $364 \times 10^{-12}C/N$ )에 근접한 결과를 얻을 수 있었다.

(2) 다공질 PZT시편의 압전전압정수  $g_{33}$ 는 대략  $32 \sim 38 (\times 10^{-3}Vm/N)$ 로 PZT 단일상의 값( $25 \times 10^{-3}Vm/N$ )보다는 높은 값을 나타내었다.

(3) 다공질 PZT시편의 성능지수( $d_{hgh}$ )는  $1,100 \sim 7,000 (\times 10^{-15} m^2/N)$ 정도로 단일상 PZT( $100 \times 10^{-15} m^2/N$ )에 비해 약 11~70배 정도 향상되었다.

(4) 다공질 PZT시편의 두께방향 전기기계결합계수( $k_t$ ) 값은 대략 0.5~0.6으로 PZT 단일상의  $k_t$ 값(0.7)에 거의 근접한 결과를 얻을 수 있었다.

(5) 다공질 PZT 시편의 기계적품질계수( $Q_m$ )는 대략 5~6으로 PZT 단일상(80)의 값에 비하여 훨씬 낮은 값을 나타내었다.

위의 결과에 의하면 PVA 구체를 사용하여 제작한 다공질 PZT소자를 수중청음기에 응용할 경우 단일상 PZT로 제작한 경우보다 수신감도가 개선될 것이며, 또한 광대역 음향 변환소자로서의 응용이 가능할 것으로 생각된다.

**참 고 문 헌**

[1] R.E. Newnham, A. Safari, G. Sa-Gong & I. Giniewicz, "Flexible Composites Piezoelectric Sensors", IEEE Proc., Int'l Ultrason. Sympo., p501, 1984.

[2] G. Sa-Gong, A. Safari, S.J. Jang & R.E. Newnham, "Poling Flexible Piezoelectric Composites", Ferroel. Lett., 5(5), p131, 1985.

[3] D.P. Skinner, R.E. Newnham & L.E. Cross, "Flexible Composites Transducer", Mat. Res. Bull., 13, p599, 1978.

[4] T.R. Shrout, W.A. Schulze & J.V. Biggers, "Simplified Fabrication of PZT/Polymer Composites", Mat. Res. Bull., 14, p1553, 1979.

[5] 박 정학, 최 현일, 사공 건, "다공질 PZT 세라믹의 제작 및 전기적 특성", 대한전기학회, Vol.43, No.10, pp.1678-1683, 1994.

[6] 이 수호, 박 준범, 사공 건, "Flux법에 의해 제조된 압전 세라믹(PZT)의 유전 및 압전 특성", 대한전기학회 학술대회 논문집, pp.721-723, 1992.

[7] D.P. Skinner, R.E. Newnham & L.E. Cross, Mat. Res. Bull., 13, p.599, 1978.

[8] K. Rittenmyer, T.R. Shrout, W.A. Schulze & R.E. Newnham, Ferroel., 41, pp.189-195, 1992.

[9] R.E. Newnham, D.P. Skinner & L.E. Cross, "Connectivity and Piezoelectric-Pyroelectric Composite", Mat. Res. Bull., 13, p.525, 1978.

[10] T.R. Gururaja, Piezoelectric Composites Materials for Ultrasonic Transducer Applications, Ph. D Thesis, The Pennsylvania State University, 1984, pp.1519.

**저 자 소 개**



**박 정 학 (朴 鄭 學)**

1966년 8월 15일생. 1988년 동아대 공대 전기공학과 졸업. 1991년 동 대학원 졸업(석사). 1995년 동 대학원 졸업(공학박)



**사공 건 (司空 鍵)**

1968년 영남대 공대 전기공학과 졸업. 1973년 동 대학원 졸업. 1986년 미국 Golden State Univ.(Ph.D.). 1983년~1985년 The Penn. State Univ. (MRL) Visting Scientist. 1993년 일본동경공업대학 객원연구원. 1994년 The State Univ. of New Jersey 객원 연구원. 현재 동아대 공대 전기공학과 교수



**이 수 호 (李 壽 琥)**

1964년 1월 8일생. 1989년 동아대 공대 전기공학과 졸업. 1991년 동 대학원 졸업(석사). 1995년 동 대학원 박사과정 수료



**배 진 호 (裵 晉 鎬)**

1931년 6월 24일생. 1956년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1964년~1966년 부산대 공대 전기공학과 교수. 1985년 당학회 부회장 역임. 현재 영남대 공대 전기공학과 교수(공학박)