

적외선 불꽃감지기 개발연구

The Research & Development of Infra-Red Flame Detector

이복영[†] · 권오승 · 정창기 · 박상태 · 조성수*

Lee, Bok-Young[†] · Kwon Oh-Seung · Jung Chang-Ki · Park, Sang-Tae · Jo, Sung-Soo*

한국화재보험협회 부설 방재시험연구원
*우통전자주식회사

요 약

가연물 연소시 불꽃의 복사에너지 Spectrum분석을 통하여 태양광, 인공광과 Flame의 spectrum특성해석으로 불꽃감지기술을 정립하였다. IR파장대의 복사에너지를 감지하기 위해 초전형 감지소자개발로 PZT 소자를 개발하였으며, Band Pass Filter와 회로안정화기술을 적용한 적외선 불꽃화재감지기를 개발하였다. 시작품의 성능은 신뢰성 있는 적외선 불꽃감지기로 검증이 되었으며, 연구결과를 휘발유, 석유화학제품의 연소시 발생하는 불꽃을 조기에 감지하는 복사에너지 감지기가 개발되었다.

ABSTRACT

The radiant energy from a flaming fire of fuels containing carbonaceous material can be applied to fast growing fire. Raiant energy sensinsing technique applied detectors are ultimately effective when early detecting fire alarm system is required or the smoke and heat detectors can not be applied. This study investigated the characteristics of sun light, artificial light and flame radiation light and the foundation technique of flame detecting is established. Pyroelectric element proper for the charateristics of flame radiant energy developed and circuit stabilizing technique, electromagnetic immunity technique, durable and reliable operating technique to circuits developed.

Keywords : IR flame detector, PZT, Spectrum of Cabornaceous Materials

1. 서 론

화재시 발생하는 연소생성물을 감지하는 화재감지기는 보호대상물의 예상화재성상을 고려하여 설계·시공되어야 화재로부터 인명안전과 재산피해의 최소화를 구현할 수 있는 조기화재감지system이 구축된다.

가연성액체·기체의 화재, 석유류를 저장·취급하는 장소나 도로·터널에서의 차량화재, 창고, 격납고 등 고천정 건물의 화재, 문화재 등의 화재는 연소성상이 급속하게 화염으로 전이되는 특성이 있다. 따라서 이러한 장소에서의 화재를 조기에 감지하기 위해서는 기존에 설치되는 열, 연기감지방식보다는 불꽃에서 방사되는 복사에너지를 감지할 수 있는 감지기를 사용하는 것이 필요하다.

감지기의 부착높이가 20 m이상이 되는 장소, 화학공장, 격납고, 제련소 등에는 불꽃감지기를 설치하여 조

기화재감지System을 구축토록 하고 있으나 불꽃감지기의 경우 고가의 외국제품을 수입하여 설치하고 있는 실정으로 국민경제비용상승 등이 발생되었다.

이 연구는 불꽃의 Spectrum분석을 통한 불꽃감지기술의 기반기술확보, 복사에너지를 감지하기 위한 소자의 개발과 회로안정화기술을 통한 제품의 신뢰성 확보 기술을 수행하였다.

또한 불꽃감지기에 비화재보원과 식별특성을 갖도록 Band Pass Filter를 개발·적용함으로써 화재시 Flame에서 방사되는 복사에너지에 응답하는 IR 불꽃화재감지기의 신뢰성을 향상시켰다.

IR 불꽃화재감지기의 성능검증을 실시한 결과 응답특성, 신뢰성, 내구성 등이 우수하여 실용화가 가능하다.

2. FLAME의 FLICKERING

Flicker현상은 Fire Plume과 새로운 Flame Tip을 만드는 인접 소용돌이 구조의 상층 경계층에서 나타나

[†]E-mail: bogylee@unitel.co.kr

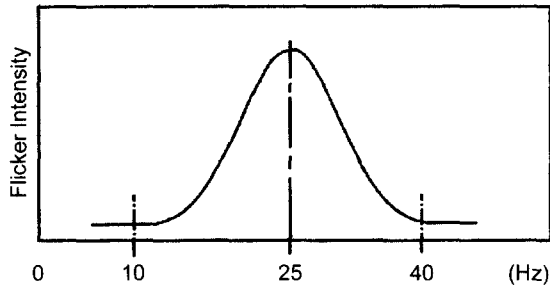


Fig. 1. Flame radiation flicker as observed from combustion of hydrocarbon gases and vapors.

는 연소과정과 일시적인 연소중지현상사이의 상승구조에 의한 결과이다. 따라서 Flame의 Flickering현상은 태양광, 인공광과 구별되는 하나의 특징으로 불꽃과 이들 간섭현상의 Flickering효과를 구별하여 화재감지원으로 사용하고 있다.

자유연소시 발생하는 불꽃은 불규칙적이고 2~20 Hz 영역의 Flicker Frequency를 가지고 있으며,¹⁾ Flicker는 10~40 Hz의 주기로 발생이 되고 최대강도를 나타내는 주파수 대역은 25 Hz 임이 밝혀졌다.

이 현상은 태양광, 형광등, 기타 이와 유사한 적외선 방사원과 Flame을 구별하는 방법으로써 적외선 화재감지기의 연구개발에 적용되는 Flame과 간섭요인사이 식별특성이다. Fig. 1은 탄화수소가스 및 증기의 연소시에 나타나는 주파수와 Flicker의 강도관계를 나타내는 특성곡선이다.²⁾

화원의 크기와 Flicker Frequency와의 관계는 연소면적의 크기와 반비례적인 관계를 가지고 있음이 발표되었으며³⁾ Pool Fire의 Diffusion Flame의 연소특성은 가연성가스와 공기와의 Mixing Structure에 의해 지배적인 특성을 갖는다. 따라서 Flame Base부근에서 Flame의 주기적인 생성과 소멸현상이 Flicker주파수로 나타나며, Flicker주파수는 $F = AD^{-n}$ (A: 상수, 0.85~1.83), (n: 상수, 0.5~0.63), (D: Pool의 직경(m))으로 나타났다.⁴⁾

3. FLAME의 SPECTRUM

종이, 목재 등 탄화수소를 포함한 가연물 연소시 발생하는 불꽃으로부터의 Spectrum특성은 복사에너지가 가시광선 영역뿐만 아니라 적외선, 자외선 영역에서도 나타난다. 또한 물질에 따른 Spectrum특성 중 파장에 따른 상대적인 강도는 Fire Perimeter에 지배적인 관계가 있음이 밝혀졌다.

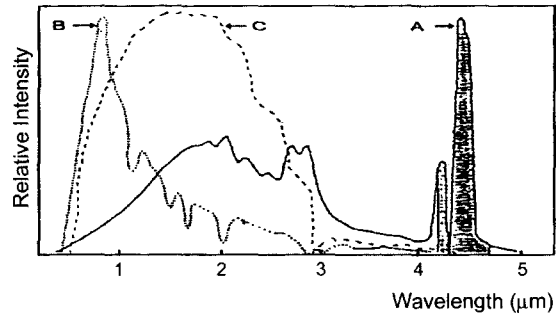


Fig. 2. Spectrums of carbonaceous fire, solar radiation at ground level and tungsten filament lamp.

A: Typical Carbonaceous Fire.

B: Solar Radiation at Ground Level.

C: Tungsten Filament Lamp.

적외선 불꽃감지기의 비화재보를 야기시킬 수 있는 요인은 태양광, 인공광, Hot Body로부터의 열방사, 용접시의 불꽃 등이 있으며 가연물 연소시 불꽃의 spectrum과 간섭요인사이의 Spectrum특성은 Fig. 2와 같다. Fig. 2에서 A곡선은 가연물 연소시 Spectrum특성, B곡선은 태양광의 Spectrum특성이며 C곡선은 텅스텐 필라멘트전구의 Spectrum특성으로 본 연구에서는 가연물 연소시 Spectrum특성을 이용하였다.⁵⁾

화재시 방사되는 Visible, Invisible방사선과 간섭요인사이의 Spectrum특성과 관련하여 Carbon을 포함하는 Spectrum과 간섭요인 사이 Spectrum특성이 다음과 같이 규명되었다.⁶⁾

- 화재시 Spectrum분포는 약 4.1~4.7 μm의 파장사이 적외선 범위에서 최대 방사강도를 나타낸다. 이 대역은 Carbon을 포함하는 물질의 연소시 뜨거운 CO₂에 의해 방사되는 방사선과 일치하였다.

또한, 이 대역에서 태양광은 대기중 CO₂의 영향으로 빛의 흡수가 일어나 감소하는 것으로 나타났다.

- 5 μm 이상의 파장대에서는 Flame 이외의 복사에너지특성이 나타나지 않아 화재감지원으로 이용할 수 있는 복사에너지는 없다.

이 대역에서는 Hot Body에 의한 복사에너지가 방사되어 간섭요인으로 분류가 된다.

불꽃감지기술의 연구개발은 Flame의 분광특성 해석으로부터 출발이 되며, 최근 불꽃감지기의 개발동향은 가시광선대에서 불꽃영상기술과 함께 UV/IR파장대에서 동작하는 Sensor개발이 연구의 대상이 되고 있으나 이러한 파장대에서 존재하는 자연적 또는 인공적인 방사선원은 불꽃감지기의 잠재적인 비화재 발생원이 되어 비화재보 발생을 최소화하기 위한 불꽃감지기의 신

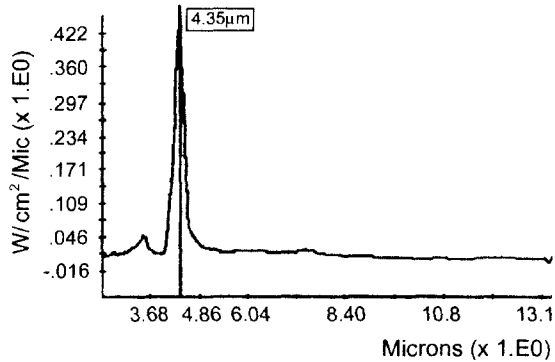


Fig. 3. Experimental spectrums of n-heptane fire.

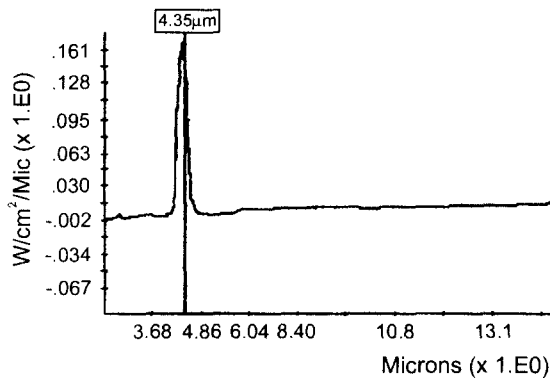


Fig. 4. Experimental spectrums of thinner fire.

뢰성분야에 집중적으로 연구개발이 이루어지고 있다.

비화재보원과의 식별특성을 분석하기 위해 불꽃감지기의 응답특성을 검증하기 위해 표준 연소원으로 사용되고 있는 N-Heptane과 유기용제의 연소시 불꽃의 Spectrum분석에 관한 실험연구결과 Fig. 3, 4와 같이 4.35 μm 의 적외선 파장대에서 최대방사강도를 갖는 것으로 분석되어 기반기술 자료조사 연구내용과 실험결과가 일치하는 특성을 나타내었다.

4.4 μm 의 적외선 파장대에서 태양에너지의 Spectrum 특성은 방사에너지의 강도차이에 의해 즉 태양광의 방사에너지 강도가 낮게 되어 이 파장대에서 최대방사 에너지를 감지하도록 개발된 적외선 감지소자는 태양광을 감지하지 못하여 비화재보 발생을 방지하는 적외선 복사에너지를 감지하는 기반기술을 정립하였다.

4. 적외선 복사에너지 감지

초전소자는 간단한 회로구성과 상대적으로 낮은 주

파수에서 Noise에 대한 영향이 적은 특성이 있다. 이들 특성을 활용하여 인체감지용 Sensor와 같은 다양한 분야에 활용되고 있으며, 주파수 범위는 증폭기의 상수에 의해 결정이 된다. 또한 증폭기의 회로구성을 조정하여 응답특성을 개선시키는 것이 가능한 특성을 가지고 있으며, 초전체 자체는 파장의존성이 없으나 다양한 Window재를 활용하여 다양한 목적으로 활용이 가능한 장점을 가지고 있다.

초전물질은 목표로 하는 온도범위에서 안정된 동작이 확보되어야 하고 일정한 응답특성과 경제성이 확보되도록 PZT의 조성비율을 변화시켜 유전계수 200~400, Curie 온도가 250~450°C까지의 초전물질을 만들 수 있고, 다결정 복합화합물을 사용하고 있기 때문에 급격한 온도변화에 기인한 기계적인 변형에 강한 특성과 온도변화에 대해 높은 안정성을 가지고 있다.⁷⁾ 이 연구에서는 IR 불꽃화재감지기를 개발하는데 적합한 특성 및 개발 이후의 활용측면을 고려하여 PZT를 이용한 적외선불꽃감지기를 연구개발대상으로 선정하였다. 적외선 복사에너지의 감지방법은 정방사방식을 채택하였다.

적외선 파장대의 빛에너지를 선택 수용할 수 있도록 하기 위해서 1차 Band Pass Filter로 4~7 μm 의 파장대를 통과시키는 Sapphire Window를 사용하였으며 2차 Band Pass Filter는 4.35 μm 를 통과시키는 초전체와 하나의 Unit으로 구성된 Band Pass Filter를 사용하였다.

5. 연구결과

5.1 IR Band Pass Filter 개발

적외선 파장대의 특정한 빛에너지를 투과시키는 Band Pass Filter는 석영, Silicon, Sapphire에 대한 투과파장과 투과율을 FTIR장비를 이용·분석하여 Window재로 1~5 μm 의 투과특성 및 80%의 투과율을 보이고 있는 것으로 분석되었으며 가공정도, 경제성 등을 검토한 결과 Sapphire가 다른 Window재에 비하여 우수한 특성을 보이고 있는 것으로 나타나 IR 불꽃화재감지기의 1차 IR Band Pass Filter로 Sapphire를 선정하였다.

1차 IR Band Pass Filter인 Sapphire Window를 통과한 1~5 μm 의 적외선은 가연물의 연소시 Spectrum 특성 연구결과 얻어진 4.35 μm 파장에서의 CO_2 Spike현상에 의한 최대방사에너지를 감지하기 위한 2차 Band Pass Filter는 Silicon기재의 양면에 SiO_2 와 Ge를 Coating하여 Filter를 Fig. 5와 같이 시작하였다.

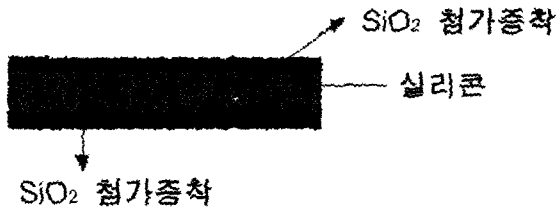


Fig. 5. Diagram of IR band pass filter.

5.2 PZT 초전형 감지소자 개발

PbO, ZrO₂, TiO₂의 기본소재에 첨가제로 MnO₂를 첨가하여 적외선 파장대의 복사에너지가 조사된 경우 온도변화로 생긴 자발분극을 이용한 적외선 파장대의 빛에너지 감지장치를 연구개발기본 소재로 선정하였으며, PZT 세라믹스의 안정도향상, 성능개선 등을 위한 첨가제로 MnO₂를 사용하였다.

연구개발에 이용된 세라믹스재료는 순도 99.9%이상의 시약급 원료를 사용하였으며 조성비는 정도가 10-2g까지 측정 가능한 전자저울로 평량한 후, 평량된 원료의 균일한 혼합을 위해 Jar 속에 Al₂O₃ Ball Mill을 이용하여 혼합하였으며 혼합이 완료된 Slurry의 건조효율을 개선하기 위해 혼합액의 증분리가 일어나지 않도록 탈수를 행하고, 탈수된 Cake상태의 시료는 200°C로 조성된 건조로에서 24시간 동안 건조시킨 후, 800°C의 도가니에서 소결하였다.

소결된 덩어리 상태의 시료를 분쇄용 Jar에 넣고 증류수와 분산제를 혼합하여 Ball Mill로 잘게 부수고 분쇄된 Slurry에 Binder를 첨가한 다음 순간부유 건조함으로써 성형에 적합한 Granule상태로 성형시켰다. Granule상태의 시료에 Binder와 윤활제를 평량, 투입한 후 회전을 가하여 균일한 혼합상태로 만들었다. 이후 Spray Dryer 및 Stirrer를 가진 Granule상태의 시료를 성형을 위한 형틀에 넣고 특정한 형상을 갖도록 압력을 가하여 성형하였다.

성형된 시료는 소결하기 전 성형체에 함유된 Binder를 Burn-Out 시키기 위해 800°C의 전기로에서 24시간 동안 유지시켰으며, 소결은 SiC 전기로에서 1,250°C의 온도로 12시간 유지시켜 PbO의 휘발을 억제시키기 위해 PbZrO₃분위기에서 소결하였다.

소결과정이 완료된 시편 양면을 연마제를 사용하여 시료의 두께를 1.0mm가 되도록 연마한 후 시료를 초음파세척기를 사용하여 세척한 후 전극 Print를 위하여 Silk Screen법으로 은전극을 시편양면에 도포하여 120°C에서 3시간 유지시켜 전극을 Printing하였다. 분극처리는 120°C의 Silicon Oil내에 넣고 30 kV/cm의

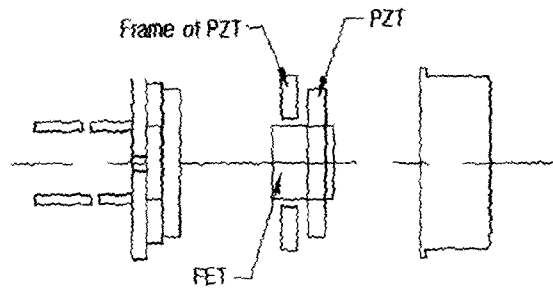


Fig. 6. Diagram of PZT.

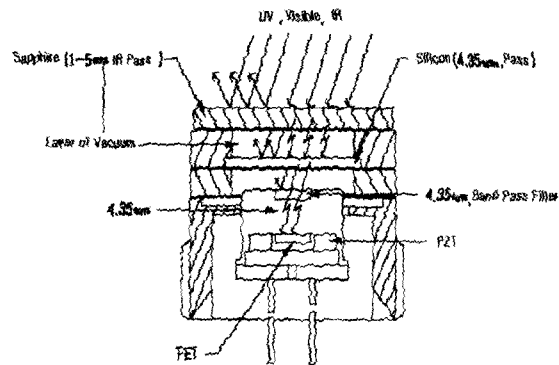


Fig. 7. Schematic diagram of IR sensor.

DC 고전압계의 직류전계를 5분간 가하여 분극화하였다.

이러한 과정을 거친 시료를 원하는 설계조건에 적합하도록 Cutting 및 1.0mm 두께로 연마, 세척하여 급속가공을 하였다.^{8,13)}

5.3 안정회로로 설계

초전체의 분극작용에 의한 미소전압을 FET회로에 의해 경보발생을 위한 On/Off Switching회로를 동작시켜 기 설치된 P형 또는 R형 수신장치와 호환이 가능하도록 설계하였다. 또한 회로의 안정성과 제조과정의 단순·정확성을 기하기 위하여 감지장치에 소요되는 전자부품을 Fig. 6과 같이 Hybrid IC로 개선하여 시차품을 개발하였다.^{14,15)}

5.4 시작품 제작

시작품은 국가 형식승인기준에서 정하는 구조 및 외관에 관한 규정에 적합하도록 Fig. 7과 같이 급형을 설계·제작하였다. 따라서 기존의 Spot형 감지기의 Detector Head를 제거한 후 천장면에 부착된 Base에 배선의 재조정 없이 쉽게 부착·설치할 수 있도록 하였으며 Fig. 8은 적외선 감지소자의 구조이다.

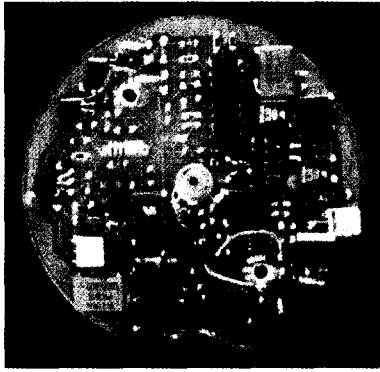


Fig. 8. Diagram of IR flame detector sample's PCB.

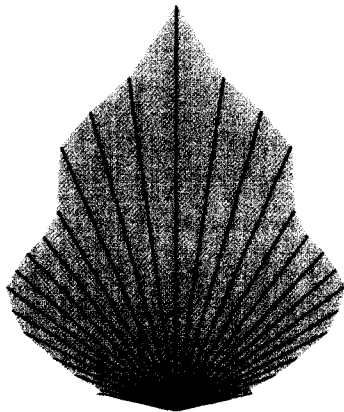


Fig. 9. Diagram of viewing angle and distance.

5.5 시작품의 성능

실용화를 위하여 국가 형식승인기준에서 정하는 방법으로 성능검증을 실시한 결과 비화재보원에 대한 신뢰성이 확보되었으며 불꽃화재에 대한 응답특성이 안정적인 것으로 나타났으며 전자과장해에 대한 신뢰성과 반복·내구성이 있는 것으로 분석되었다. 본 연구는 완제품 생산을 위한 기반기술 확보라는 명제하에 개발된 것으로 성능검증결과는 Fig. 9와 같이 시야거리 30m, 시야각은 140도로 분석되어 성능검증기준에 충분히 부합되고 있는 것으로 검증되었다.

6. 결 론

연소성상이 급속하게 불꽃을 발생할 수 있는 석유화학공장, 격납고, 제련소 등의 화재시 초기화재감지를 위한 불꽃감지기 설치에 고가의 수입품을 사용, 국민경제비용 상승 등으로 국가경쟁력 확보와 화재감지기

개발전이라는 연구개발목적에 의해 연구가 수행되었다.

본 논문에서는 불꽃에서 발생하는 복사에너지 특성을 이용한 적외선 화재감지기를 개발하기 위한 기반기술연구와 센서개발연구를 통하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 가연물 연소시 불꽃의 복사에너지 특성분석에 관한 실험연구를 수행하여 자연광, 인공광과 불꽃에서 방사되는 복사에너지의 식별특성을 분석, 불꽃에서 방사되는 복사에너지를 감지하는 기반기술을 정립하여 적외선 복사에너지 감지소자를 개발하였다.

2. 불꽃감지기를 개발하기 위한 회로안정화 기술연구를 수행, 안정적인 응답특성을 가지며 완제품 생산시 공정의 경제성 확보를 위해 감지소자와 일체화된 적외선 불꽃감지기의 HIC를 개발하였다.

3. 개발된 적외선 불꽃감지기의 전기적 특성, 응답특성, 전자과장해특성, 반복·내구성 등에 관한 성능검증을 수행하여 불꽃감지기의 성능을 정한 국가기준에 적합한 IR 불꽃 화재감지기를 개발하였다. 또한 기준에 설치된 수신기, 감지기와 호환성이 있도록 회로와 구조를 개발하여 설치와 사용이 즉시 가능한 실용화된 적외선 불꽃감지기를 개발하였다.

4. 복사에너지 감지기술은 도난방지분야, 공장 안전설비의 인체감지용 Sensor 및 미소한 Spark에너지 감지로 폭발을 억제시키는 시스템을 개발하기 위한 확장성과 연소기 제어를 위한 불꽃감지Sensor에 이용될 수 있다.

후 기

본 연구는 과학기술부에서 시행하는 특정연구개발사업 중 인위재해방재기술개발사업으로 연구비를 지원받아 수행되었습니다. 과제수행에 많은 도움을 주신 분들께 감사드립니다.

참고문헌

1. Walter M, Haessler, Fire, 80-83, Marcel Dekker, Inc., USA(1989)
2. Yamato Shokaki Co, Ltd., IR Flame Detector Technical Data (1992)
3. 김명배, "Pool Fire의 기본적 특성에 관해", 한국화재·소방학회지, Vol. 11, No. 1, pp. 55-64(1997)
4. Dougal Drysdale, An Introduction to Fire Dynamics, pp. 129-131, John Wiley & Sons, USA (1994)
5. Jeff penny, "The role of Flame Detection in AFD",

- Fire surveyor, Vol. 15, No. 2, pp. 25(1986)
6. Jeff penny, "The role of Flame Detection in AFD", Fire surveyor, Vol. 15, No. 2, pp. 26(1986)
 7. 이승래, 광소자응용기술, pp. 54-176, 연학사(1993)
 8. 백동현 외, "화재감지센서용 PZN-PSS-PZT계 초전재료의 전기적 특성에 미치는 MnO_2 첨가제의 영향", 한국소방학회지, Vol. 9, No. 2, pp. 29-36(1995)
 9. A. G. Chynaweth, "Dynamic Method for Measuring the Pyroelectric Effect with Special Reference to Barium Titanate", Phys., Vol. 27, No. 1(1956)
 10. C. B. Roundy and R. L. Byer, "Sensitive $LiTaO_3$ Pyroelectric Detector", Phys., Vol. 44(1973)
 11. R. Lane, D. Luff, K. R. Brown and H. J. Marshallsay, "The Variation of the pyroelectric Properties with Composition and Phase Structure for Lead Zirconate Titanate Ceramics", Trans. Brits. Ceram., USA (1973)
 12. M. Shimhony and A shallor, "Pyroelectric Voltage Response to step Signals of IR in Triglycine Sulphate and Strontium-Barium Niobate", Phys., Vol. 42(1971)
 13. P. Gordon, Principle of Phase Diagrams in materials systems, Mcgraw Hill, USA(1968)
 14. 이홍무, 프린트 기관제작, pp. 54-60, 도서산업사 (1997)
 15. 福山降晷, 안정화전원회로집, pp. 72-80, 기전연구소 (1992)