(뒷면) (옆면) (앞면)

3㎝

09교통체계-지능03

4㎝

이용한 도로교통 시설물 제어시스템 개발 연구보고서

(견고딕 14p)

2012

5㎝ (견고딕13p)

국토해양부

한국건설교통기술평가원

3㎝ (견고딕 17p)

Land Transpot and Maritime R&D Report

(견고딕 25p)

교통체계효율화사업 제3차년도 연차보고서

3㎝

0.5㎝ 09교통체계-지능03

2.5㎝ 9㎝

(견고딕31p) 5㎝

Energy Harvesting을 이용한 도로교통 시설물 제어시스템 개발 연구보고서

(0.1㎝)

2012 . 9 . 28 .

0.15㎝ (견고딕15p)

(별색바탕 : C50, M20, Y59, K0)

주관연구기관 / (주)진우소프트이노베이션

공동연구기관 / (주)센불

공동연구기관 / 한국세라믹기술원

(견고딕 15.5p)

(백색바탕)

국 토 해 양 부

한국건설교통기술평가원

(견고딕 20p)

제 출 문

국토해양부장관(한국건설교통기술평가원장) 귀하

이 보고서를 "교통체계효율화사업에 관한 연구"과제(세부과제 "Energy Harvesting을 이용한 도로교통 시설물 제어시스템 개발에 관한 연구")의 보고서로 제출합니다.

2012. 9. 28.

주관연구기관명 : (주)진우소프트이노베이션
주관연구책임자 : 강 인 석
연 구 원 : 이무용, 오상규, 문창빈
" : 문보나, 이지현, 조정민
" : 강봉균, 이원석, 양성철
" : 이윤숙, 정은석, 한지광
" : 함유진, 이시훈, 고창배
공동연구기관명 : (주)센불
공동연구책임자 : 최 범 진
연 구 원 : 박신서, 서규식, 채승진
" : 장용호, 차명룡
공동연구기관명 : 한국세라믹기술원
공동연구책임자 : 백 종 후
연 구 원 : 조정호, 이영진, 정영훈
" : 김창일, 김경범, 오정민

보 고 서 요 약 서

<table>
<tr><td>과제고유번호</td><td>09교통체계
-지능03</td><td>해 당 단 계
연 구 기 간</td><td colspan="2">2011.9.29 ~
2012.9.28</td><td>단 계 구 분</td><td>(3단계)
/(3단계)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연 구 사 업 명</td><td>중 사 업 명</td><td colspan="5">교통체계효율화사업</td></tr>
<tr><td>세부사업명</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">연 구 과 제 명</td><td>대 과 제 명</td><td colspan="5">Energy Harvesting을 이용한 도로교통시설물 제어시스템 개발</td></tr>
<tr><td>세부과제명</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">연 구 책 임 자</td><td rowspan="2">강인석</td><td>해당단계
참 여
연구원수</td><td>총 : 29 명
내부 : 22 명
외부 : 7 명</td><td>해당단계
연 구 비</td><td colspan="2">정부:963,000천원
기업:321,000천원
계:1,284,000천원</td></tr>
<tr><td>총연구기간
참 여
연구원수</td><td>총 : 99 명
내부 : 77 명
외부 : 22 명</td><td>총연구비</td><td colspan="2">정부:1,763,000천원
기업:588,000천원
계:2,351,000천원</td></tr>
<tr><td>연구기관명 및
소 속 부 서 명</td><td colspan="2">(주)진우소프트이노베이션
/부설연구소</td><td>참여기업명</td><td colspan="2">(주)센불,
한국세라믹기술원</td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td colspan="3">상대국명 :</td><td colspan="3">상대국연구기관명 :</td></tr>
<tr><td>위 탁 연 구</td><td colspan="3">연구기관명 :</td><td colspan="3">연구책임자 :</td></tr>
<tr><td colspan="5">요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)</td><td>보고서면수</td><td></td></tr>
</table>

○ 발전량에 미치는 구조적 인자 도출

- 구조 설계를 위한 시뮬레이션
- 단위모듈 실험 및 평가

○ 압전시트 전극공정 개선 및 전극산화 방지기술 개발

- 압전시트 전극면과 정류회로 간 연결 전선의 결합방법 개선 (장시간 진동환경 노출시 단락가능성 보완)
- 압전시트의 전극 면으로 사용하는 은(Ag)전극은 일정시간 경과 후 산화하며, 이를 방지하기 위한 보호막 도포 및 개선

○ 시제품 제작

- 단층 패드(블럭)형태의 시제품 제작
- 다층 패드형태의 시제품 제작

○ P.P scale 압전 발전 모듈 제조 기술 확보

- 압전 소자 양품수율 : 70% 확보
- 압전 발전 단위모듈 320개/일 capa. 제조 조건 확보

○ 최적화된 충전회로 제작

– 전력 손실 최소화 및 효율 극대화 : 임피던스가 큰 압전체로 인해 발생된 전력손실 보완

○ 단위 충전회로 전류 및 전압제어시스템 제작

– 충전된 전력을 응용(무선스위치)하기 위한 전류 및 전압 제어 시스템 개발

○ 제작 회로 성능 평가

– 기존회로(전년도)와 개선된 회로간의 발전특성 비교를 통한 성능 평가

○ 압전발전 장치 효율 평가

– 외부 압력에 따른 발전특성 평가

○ 압전발전모듈 장치 내구성 평가 (항온항습, 고온, 저온, 열충격, 진동)

○ 저전력 구동 무선통신 송· 수신 모듈개발

– 안정적 전력공급회로 개발 및 제작

– 송·수신 프로토콜 개발

– 무선통신 장치 연계 체계 개발

○ LED 장치 인터페이스 모듈 제작

– RF 수신 및 조명제어 모듈 개발

– 주행환경에 맞는 동작 펌웨어 개발

○ 압전발전모듈 현장설치 및 발전특성 평가

– 설치장소 : 제주도내· 외 도로

– 평가물 : 압전발전모듈(매립형), 압전발전모듈(다층패드형)

– 평가 내용

· 차량하중 변화에 따른 발전특성 평가
(예: 경차, 승용차, 화물차)

· 차량속도 변화에 따른 발전특성 평가
(10 ~ 100 km/h 등속 통과시(10 km/h 간격)

· 도로주변환경에 따른 내구성 평가
(온도, 습도, 강우, 횟수)

○ 압전무선스위치 현장설치 및 테스트

– 속도 변화에 따른 차량 통과 시 LED 가로등 제어(10 ~ 100 km/h 등속 통과시(10 km/h 간격)

– 최소 송수신 시간(20ms 이하)

색 인 어 (각 5개 이상)	한 글	압전, 발전, 에너지 하베스팅, 도로안개유도등, 교통안전
	영 어	Piezoelectric, Power Generation, Energy Harvesting, Reflector studs, Traffic Safety

요 약 문

Ⅰ. 제목

○ Energy Harvesting을 이용한 도로교통 시설물 제어시스템 개발

Ⅱ. 연구개발의 목적 및 필요성



○ 대부분의 전기·전자시스템에 장착되어 있는 **배터리는 화학기반의 에너지 저장장치로서 제품에 비해 큰 부피를 차지하고 장시간 사용함에 따라 효율이 감소하는 문제점**을 지니고 있음

○ 따라서 배터리 교체가 어렵고 장기간 사용되는 시스템에서는 **배터리를 대체할 수 있는 자체 전력원의 개발이 필요**하며, **갑작스런 전원 공급 중단과 같은 외력에 의해 시스템이 오작동 하였을 때 시스템을 안정적으로 유지시켜 줄 수 있는 보조 전력원으로 사용**될 수 있음

○ 이러한 자체 전력원은 직접적인 외부에너지를 저장하여 사용하지 않고 **에너지 하베스팅(Energy Harvesting)시스템의 구동에 의해 발생하는 수반 에너지를 사용한다면 영구적인 작동 수명**을 가질 수 있음

○ 이러한 에너지 중의 하나인 **압력에너지는 일상생활 중에서 가장 흔하게 발생하는 에너지원**임

Ⅲ. 연구개발의 내용 및 범위

(1) Energy Harvesting 기술을 이용한 전력발생 모듈설계 및 제작기술 개발

◇ 발전량에 미치는 구조적 인자 도출

- 구조 설계를 위한 시뮬레이션
- 단위모듈 실험 및 평가

◇ 압전시트 전극공정 개선 및 전극산화 방지기술 개발

◇ 시제품 제작

- 단층 패드(블럭)형태의 시제품 제작
- 다층 패드형태의 시제품 제작

◇ P.P scale 압전 발전 모듈 제조 기술 확보

(2) Energy Harvesting 전원 충전 및 제어장치 개발

◇ 최적화된 충전회로 제작

◇ 단위 충전회로 전류 및 전압제어시스템 제작

- 충전된 전력을 응용(무선스위치)하기 위한 전류 및 전압 제어 시스템 개발

◇ 저전력 구동 무선통신 송· 수신 모듈개발

- 안정적 전력공급회로 개발 및 제작
- 송·수신 프로토콜 개발
- 무선통신 장치 연계 체계 개발

◇ LED 장치 인터페이스 모듈 제작

- RF 수신 및 조명제어 모듈 개발
- 주행환경에 맞는 동작 펌웨어 개발

(3) 압전발전 장치 효율, 내구성 평가

◇ 압전발전 장치 효율 평가

- 외부 압력에 따른 발전특성 평가

◇ 압전발전모듈 장치 내구성 평가 (항온항습, 고온, 저온, 열충격, 진동)

(4) 현장설치 및 발전특성 평가

◇ 압전발전모듈 현장설치 및 발전특성 평가

– 설치장소 : 제주도내· 외 도로

– 평가물 : 압전발전모듈(매립형), 압전발전모듈(다층패드형)

– 평가 내용

· 차량하중 변화에 따른 발전특성 평가(예: 경차, 승용차, 화물차)

· 차량속도 변화에 따른 발전특성 평가(10 ~ 100 km/h 등속 통과시(10 km/h 간격)

· 도로주변환경에 따른 내구성 평가

◇ 압전무선스위치 현장설치 및 테스트

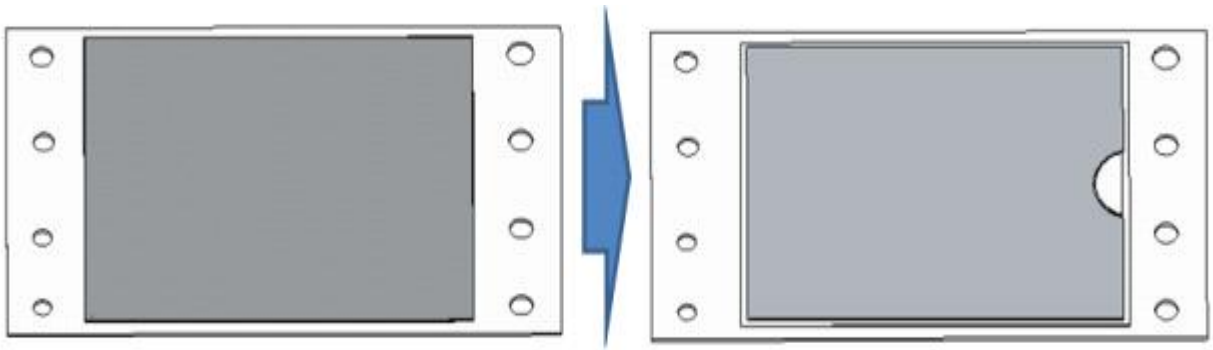
– 속도 변화에 따른 차량 통과 시 LED 가로등 제어(10 ~ 100 km/h 등속 통과시(10 km/h 간격)

– 최소 송수신 시간(20ms 이하)

Ⅳ. 연구개발결과

(1) Energy Harvesting 기술을 이용한 전력발생 모듈설계 및 제작기술 개발

- 시뮬레이션의 모달해석을 통하여 각 공진 영역의 주파수를 확인하였다. 1차 모드에서 5차 모드까지 공주 주파수 대역에서 압전 시트 캔틸레버의 구조가 변형되는 모습을 나타낸다. 그림의 위 아래로 진동시 Z축의 변형은 1차 공진 모드에서 가장 손실이 적었으며 모드가 증가할수록 공진 주파수가 증가하는 것을 확인하였다..
- 도로용 압전 발판을 설계시 압전 소자의 고정조건을 최대한 가까이 주면서 동판은 얇은 것으로 하고 가진시 압전소자의 중심부를 변형시키도록 설계하는 것이 중요하다고 판단된다.
- 캔틸레버가 변형되는 부분에 압전체를 위치시키고 캔틸레버의 끝단 길이를 최적화하면 발전특성 향상이 가능함을 확인하였다.
- 하베스터 제작시 보다 많은 압전체를 사용과 더불어 선형적으로 발전특성이 향상되지 않음을 확인하였다. 따라서 하베스터 설계시 진동원과의 매칭, 회로와의 매칭이 중요하지만 더불어 압전체와의 매칭도 고려되어야만 한다.
- 압전체 개별적인 정류회로 연결방법이 아닌 경우에는 unimorph 형태로 제작하는 것이 바람직하다.
- Fe2O3 가 첨가됨에 따라 대부분의 압전특성 값이 감소하였지만, 품질계수는 점차 증가하는 경향을 나타냈다.
- 전극패턴의 모습을 바꾸어 압전 시트의 한면에서 압전 시트의 앞, 뒷면 모두 배선작업이 가능하도록 변경하여 제작하였다. <그림 3-25>처럼 전극패턴을 변경함으로써 압전시트와 금속판의 접착 면이 고르게 되어 접착안정성이 증가하였고, 공정단순화가 가능하였다.



<그림> 전극패턴 변화

- 코팅 후 발전량이 감소하는 것은 코팅제를 도포하면 압전시트가 단단하게 경화되어

동일한 외부 힘이 가해지더라도 소자의 변형율이 줄어들기 때문인 것으로 판단된다.

- ○ 도로에 매설을 위한 단층패드(블록)형 압전 발전 모듈은 지면과 수평을 이룬 일반적인 캔틸레버형과 차량이 지나갈 때의 힘과 하중이 압전소자에 직접 전달되는 직접가압형 두 가지 형태로 제작하였다.
- ○ 단층 패드의 경우 매설이 용이하고 공간의 제약이 적은 장점이 있지만 발전량이 높지 않아 충전시 각각의 회로에서 손실되는 전력이 많다. 이러한 단점을 보완하고자 다층패드(rack) 시제품을 제작하였고, 차량이 지나갈 때 다층패드에 운동에너지가 전해지도록 기구물을 설계하였다.

(2) Energy Harvesting 전원 충전 및 제어장치 개발

- ○ 제작한 충전 회로는 압전 발전 모듈에서 들어오는 외부 전원을 최대 30 Vdc까지 가능하도록 제작하였다. DC의 입력전압이 비교기를 통하여 일정전압 (7.5 V)이상일 때 1차 충전을 시작하며 이 보다 낮은 전압이 되면 충전을 끝낸다.
- ○ 진동 및 충격에 의하여 압전발전모듈이 전력을 발생하면 압전무선스위치의 송신부에서는 그 것을 감지하여 RF 무선통신을 통해 수신부로 신호를 전송하는 장치를 개발하였다.
- ○ 압전무선스위치와 연동하여 LED 가로등을 제어하기 위하여 LED 장치 인터페이스 모듈을 LED의 밝기, 동작시간 및 딜레이시간을 조절할 수 있는 LED 장치 인터페이스 모듈을 제작하였다.

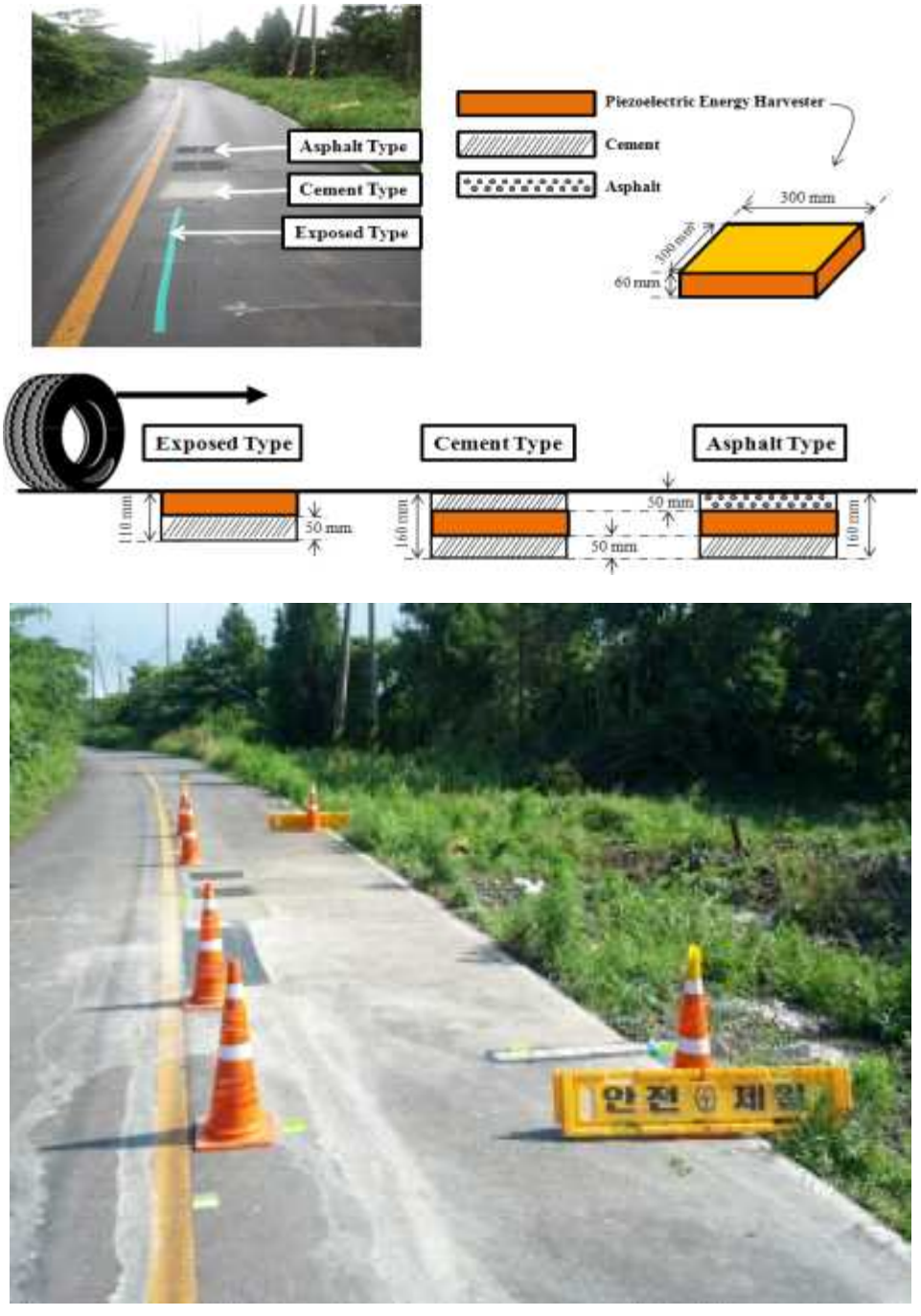
(3) 압전발전 장치 효율, 내구성 평가

- ○ 가속포장시험기의 테스트 결과 하중과 속력이 모두 최대일 경우 No.27 패드 202㎽, No. 29 패드 136㎽, No.46 패드 289㎽로 측정되어, No. 46패드의 발전량이 가장 높게 나타났다.
- ○ 하중시험기의 테스트 결과 하중이 1000kg 일 때 No.27 패드 95㎽, No. 29 패드 41㎽, No.46 패드 51㎽로 측정되어, No. 27패드의 발전량이 가장 높게 나타났다
- ○ 본실험에서 발전패드 발전량에 영향을 미치는 변수로 하중보다 속력이 더 큰 인자임을 확인할 수 있었고, 구조개선을 통해 제조된 패드의 발전량이 더 크게 나타나 구조 개선 효과를 확인할 수 있었다.
- ○ 6개 항목(저온, 고온, 항온항습, 열충격, 염수분무, 진동)에 대한 내구성 시험결과

가혹조건에서도 모두 10% 미만의 발전 효율이 감소하여 내구성이 우수함을 확인할 수 있었다.

(4) 현장설치 및 발전특성 평가

○ 압전발전모듈의 발전특성 테스트를 위하여 남조로의 우회도로 일부구간을 점용하여 테스트베드를 구축하였다.



<그림> 압전패드 매설 개략도 및 사진

- No.46 압전패드와 No.29 압전패드, 2개의 압전패드를 도로에 매설하여 발전효율 평가 테스트를 실시하였다
- 테스트베드의 테스트 결과 차량이 하중은 클수록, 속도는 약 60km/h 정도에서 가장 큰 발전효율을 내는 것을 알 수 있었다. 또한 압전패드에 직접적인 충격이 가해지는 노출형태의 매설이 가장 큰 효율을 보였다.
- 도로환경에 따른 내구성 테스트 결과 압전패드가 43일간 동안 외부환경에 노출되어 있어도 발전효율이 떨어지지 않는다는 것을 알 수 있었다.
- 먼저 실증단지 구축을 위하여 실증단지 구축구간(제주대학교 사거리에서 정문방향)의 나트륨 가로등 13개를 LED 가로등으로 교체 및 압전발전장치를 매설하였다.



<그림> 압전발전모듈 매설 완료 사진

Ⅴ. 연구개발결과의 활용계획

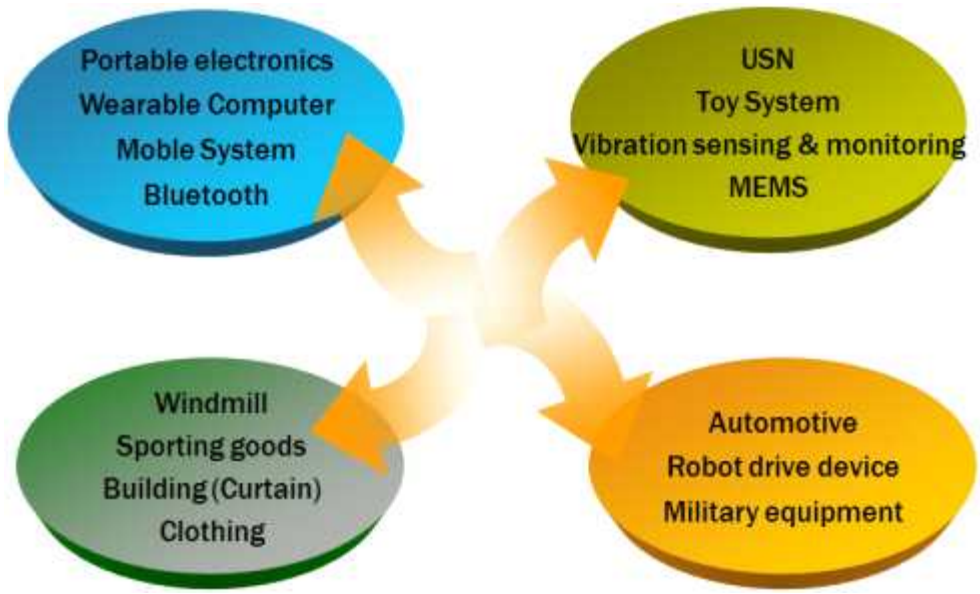
○ 전 산업에 필요한 에너지를 친환경적으로 확보하는 녹색기술로서 탄소 제로화에 의한 그린청정 에너지원 확보와 에너지의 재활용이 가능하여 에너지 효율을 극대화시키고 화석연료의 사용을 절감시킬 수 있는 녹색 신사업으로 기술적 파급 효과는 매우 높음

○ 세계 하베스팅 시장은 유비쿼터스, 무선 모바일 전자기기 소형 보조전원을 중심으로 형성되어 4조원('07) 규모에 불과하나, 향후 , Robotics, 항공우주, 자동차 등의 센서 구동 전원, 의료, 헬스케어, RFID 구동 전원이 고성장을 주도하여 5년후 51.5%의 고도 성장이 예상되어 2019년 76조원의 대규모 시장을 본격 형성할 것으로 예측

○ 유비쿼터스 환경의 핵심 요소기술을 확보함으로써 향후 각종 IT기기, 자동차, 컴퓨터, 의료기기등과 각종 전자장치 등의 국가 청정산업 경쟁력을 제고

○ 압전세라믹을 이용한 자가발전모듈의 개발은 초절전형 전자장치의 임베딩 기술을 통하여 각종 전자장비, 가전기기, 의료 장비, 건물 및 기타 인프라 요소들의 제어를 위한 동력 공급이 가능

○ 군수용 발전장치, 의료용 장치의 보조전원, 자동차의 2차 발전장치, Wearable전자제품, 즉 Wearable 컴퓨터, MP3, GSM, Bluetooth 장치 등에 확대 적용이 가능하여 관련 산업의 파급효과 기대



SUMMARY

Ⅰ. Theme

○ Using Energy Harvesting System for Road Traffic Control Facility

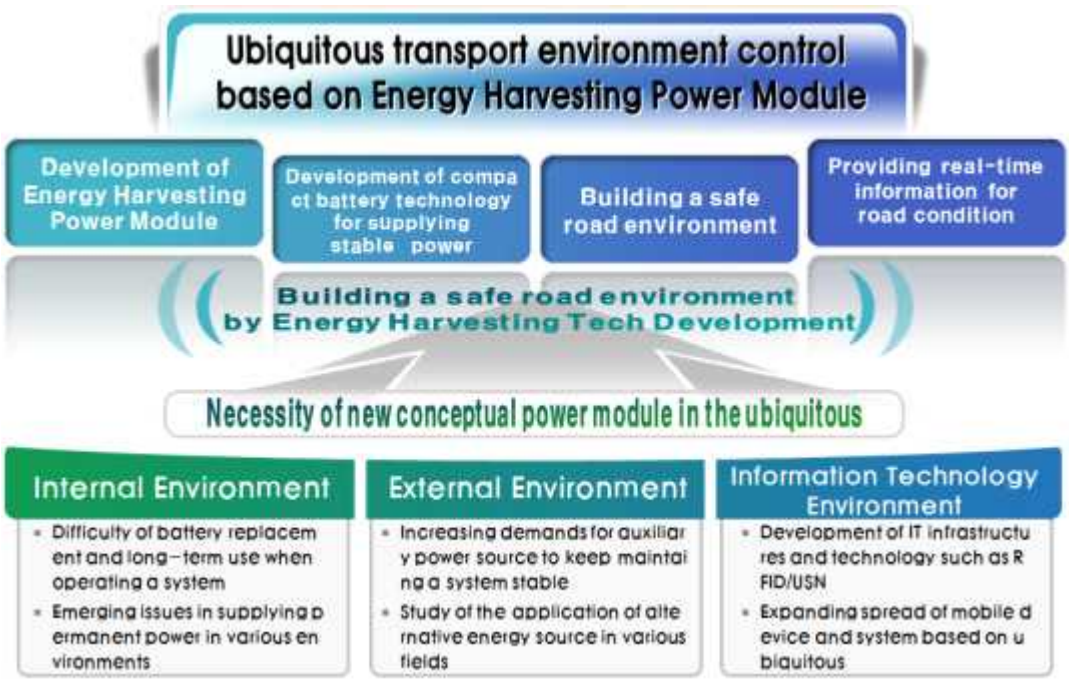
Ⅱ. The purpose and necessity of Research and Development

○ Most of the chemical-based batteries equipped with electrical and electronic systems occupy a large volume, as compared to other energy storage device and have a problem with decreased efficiency as long-term use.

○ Thus, it is necessary to develop a power source that produce electricity itself in the system difficult to replace batteries and long-term use, and the power source is used to maintain a stable system when the system is attacked by an external force.

○ f the power source uses energy produced not by external source, but Energy Harvesting System, it will be able to have a permanent working life.

○ Pressure energy is one of these energy and the most common source of energy.



Ⅲ. Content and scope of research and development

The research of the 1st year is mainly performed in the laboratory, and it is as follows

(1) Power generation module design and manufacturing technology development using Energy Harvesting technology.

- ◦ Development of piezoelectric ceramic composition of high-efficiency
  - - Analysis of MPB changes for the development of 3-phase piezoelectric ceramic composition
  - - Confirmation of the sintering behavior and Improvement of the fine structure.
  - - Temperature dependency evaluation of the electrical properties of 3-phase ceramic
  - - Deriving optimum sintering conditions by properties evaluation
- ◦ Development of piezoelectric ceramic thick film process
  - - Having 3-phase piezoelectric ceramic slurry conditions
  - - Deriving temperature profiles for optimum sintering
  - - Improvement of lamination process for the optimum film thickness
- ◦ Analysis of MPB changes by composition changes of $PbZrTiO_3$-based ceramic
  - ◦ Understanding of the sintering behavior by sintering temperature and whether the second phase formation
- ◦ confirming temperature dependencies of piezoelectric properties of PZT-based ceramic
- ◦ Establishment of optimum sintering conditions by piezoelectric properties evaluation

(2) Development of Energy Harvestring power charging and control devices.

- ◦ Design for AC-DC converting rectifier circuit
- ◦ Design for DC-DC boost converter circuit
- ◦ Design for charging delay circuit

(3) Development of cat`s eye strong on heavy climate and other external force.

◦ Design for road fog light and Making a Mock Up

◦ Design for LED drive and control circuit

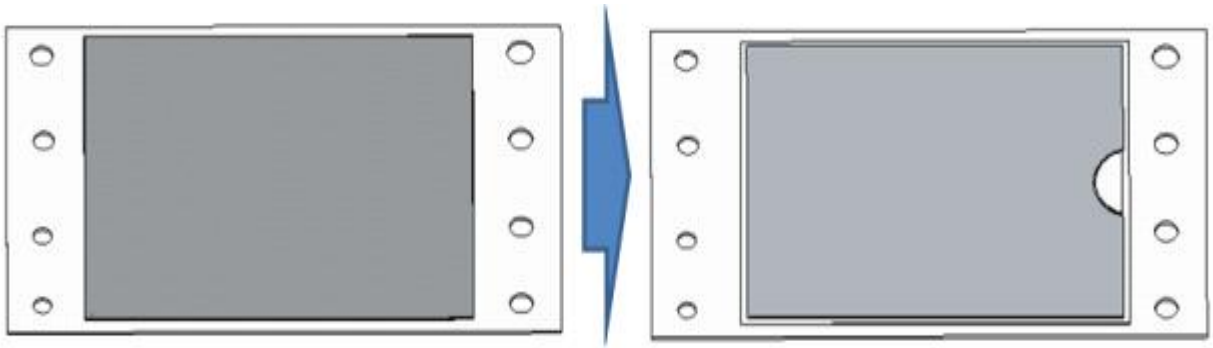
(4) Development of the cable connecting method between lighting device and Energy Harvesting device and underground technology

◦ Analysis and design of connecting between cat`s eye road marker and piezoelectric ceramic and underground construction method.

Ⅳ. Result of Research and Development

(1) Power Generator Module Design & Manufacturing Process Development via Energy Harvesting Technology

◦ Piezoelectric formation test and the result of the characteristic evaluation of the sheet, which is a production of this project, show that the goal of this research has been fully achieved. The result shows that the value of piezoelectric ceramics, which algebraic form is $d_{33} \times g_{33}$ ($10^{-15}m^2/N$), is 12K, kp(%) is 58%, and Curie Temperature (Tc) is 330℃.



(2) Power Charging and Control Device Developing for Energy Harvesting

◦ In order to maximize the charging efficiency, the circuit has been designed for low power device using LC matching circuit.

◦ Designing the booster circuit for the piezoelectric ceramics harvesting; this circuit, which is using LTC3459/TSOT-23 chip set, raises the voltage from 1.5 to 3.3 volts. This circuit is also applied pull-up and pull-down method for the boosting power and the switching type power circuit.

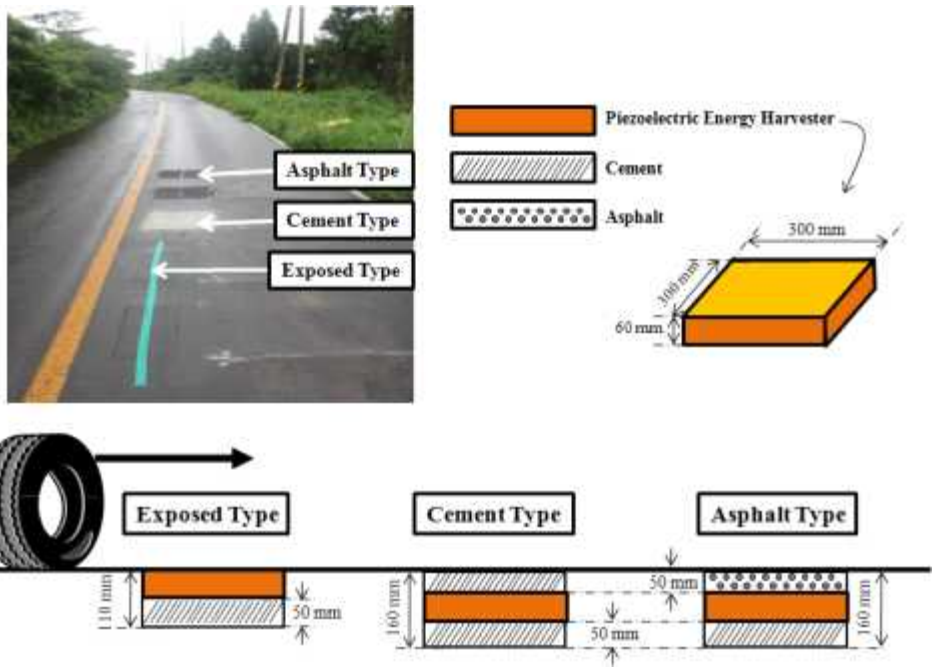
(3) Developing Road-line Guiding Device on Heavy Climate and Other External Forces

◦ Road Fog-guiding Light Specification

◦ Following is the piezoelectric harvesting circuit, which is binding an illuminometer and the LED driving circuit.

(4) Developing the cable connecting method between Road Guiding-Light Device and Energy Harvesting Device and Its Laying Method.

◦ During the first year, the study about the laying method has mainly been doing for the analysis and design of road conditions, and the waterproof test for the Guiding-light device and the connection test for the Energy Harvesting device will be done in the second year.





◦ The 1st Year: Analysis and Design for the Laying Method

◦ The 2nd Year: Applying the Laying Method and Test

◦ The 3rd Year: Finding the Optimum Laying Method and Ideal Maintenance





Ⅴ. Utilization of Research and Development Plan

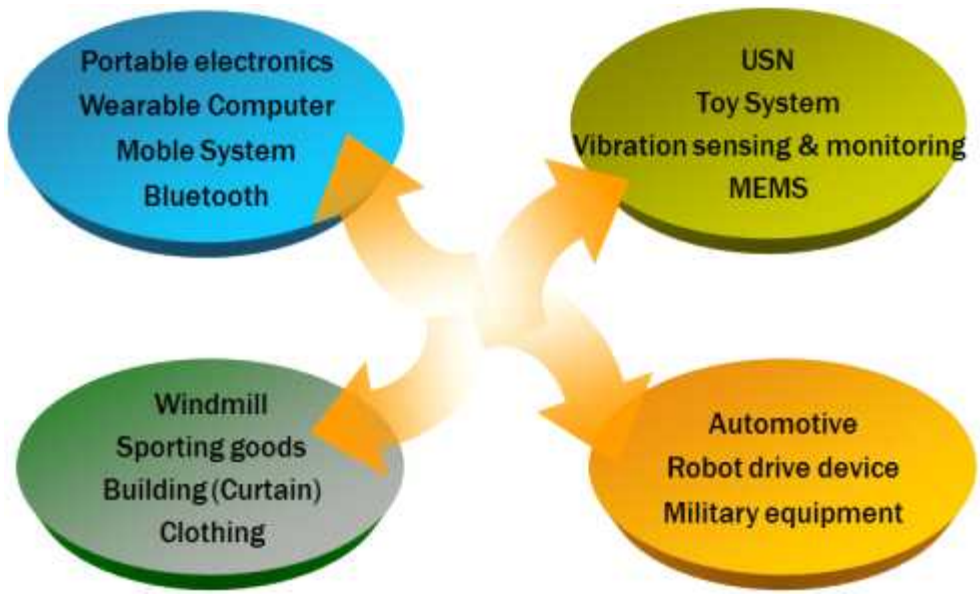
○ For the entire industry to ensure environmentally friendly energy, green technology by carbon zeroing secure and clean energy green energy can be recycled to maximize energy efficiency and use of fossil fuels that can reduce the impact of green technology to new business is very high.

○ Habeseuting the world market, ubiquitous, wireless, mobile electronics mainly formed by a small auxiliary power 4 trillion won ('07) only on the size of a future, Robotics, aerospace, automotive sensors, such as driving power, medical, healthcare, RFID Driving this growth has led to power five years later, at an altitude of 51.5 percent is expected to grow a large market of 76 trillion won in 2019 is expected to form authentic.

○ Ubiquitous technology, a key element of the future by securing various IT equipment, cars, computers, medical equipment, such as various electronic devices, cleaner industrial competitiveness are improving.

○ Using Piezoceramic the development of self-development modules Transcendentalists typical electronic device through the embedding technology various electronic equipment, appliances, medical equipment, buildings and other infrastructure elements to control the power supply is available.

○ Gunsuyong development equipment, medical devices, auxiliary power, the car's two primary power unit, electronic products, ie, Wearable Computer, MP3, GSM, Bluetooth devices, etc. can be applied to larger ripple effects of the related industries is expected.



- CONTENTS -

1. Introduction of R&D Project ····· 1

1.1 Introduction of R&D Project ····· 1
1.2 Necessity of R&D Project ····· 6

2. Domestic and International Status of Technology Development ····· 15

2.1. Industry Trends ····· 15
2.2. Patent Trends ····· 48
2.3. Public Policy ····· 58
2.4. General conclusions ····· 59

3. R&D Details and Results ····· 61

3.1. Theoretical Background ····· 61
3.2. The Goal of Research ····· 63
3.3. Details and Results ····· 72

4. Achievements and contributions ····· 303

4.1. R&D Achievements ····· 303
4.2. Contributions to Related Area ····· 305

5. Plans for Using R&D Results ····· 309

5.1. Using Plans of Achievements ····· 309
5.2. Using Plans of Results in Business ····· 310
5.3. Additional Research ····· 311

6. International Scientific and Technical Information ····· 313

6.1. International Trends of research ····· 313

7. Reference ····· 327

- 목 차 -

제1장 연구개발과제의 개요 ····· 1

제1절 연구개발과제의 개요 ····· 1
제2절 연구개발의 필요성 ····· 6

제2장 국내외 기술개발 현황 ····· 15

제1절 국내외 관련기술 및 산업동향 ····· 15
제2절 국내외 관련 특허 동향 ····· 48
제3절 정부지원정책 현황 ····· 58
제4절 종합결론 ····· 59

제3장 연구개발수행 내용 및 결과 ····· 61

제1절 연구개발의 이론적 배경 ····· 61
제2절 연구개발 목표 ····· 63
제3절 연구내용 및 연구결과 ····· 72

제4장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도 ····· 303

제1절 연구개발 목표 달성도 ····· 303
제2절 관련분야의 기여도 ····· 305

제5장 연구개발결과의 활용계획 ····· 309

제1절 연구성과의 활용 방안 ····· 309
제2절 연구결과의 기업 활용 방안 ····· 310
제3절 추가연구개발의 필요성 ····· 311

제6장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보 ····· 313

제1절 해외 연구 동향 ····· 313

제7장 참고문헌 ····· 327

- 표 목 차 -

<표 1-1> 세계 에너지 가채 매장량 및 가채 년수 ····· 1
<표 1-2> 국내 터널 기준 전력소비 지표 ····· 12
<표 2-1> 압전 발전 일본 국내시장 규모 예측 ····· 18
<표 2-2> Energy Harvesting에 활용될 수 있는 다양한 에너지원 ····· 35
<표 2-3> 국외기술 동향 ····· 37
<표 2-4> 연구수행 기관 ····· 38
<표 2-5> Characteristics of Vibration Power Generators ····· 43
<표 2-6> 주요 특허 리스트 ····· 48
<표 2-7> 각 국가의 년도별 u-Scavenging 관련 기술의 특허출원 추이 ····· 50
<표 2-8> u-Scavenging 관련 특허 목록 ····· 51
<표 2-9> SWOT 분석 ····· 59
<표 3-1> 진동자의 첨가제 분류 ····· 109
<표 3-2> 조성 $Pb(Zr_{0.54}Ti_{0.46})O_3$ + 0.2 wt% Cr_2O_3 + x wt% Nb_2O_5 의 특성값 ·· 117
<표 3-3> 조성 $Pb(Zr_{0.54}Ti_{0.46})O_3$ + x wt% Cr_2O_3 + 1.0 wt% Nb_2O_5의 특성값 ··· 122
<표 3-4> sheet 특성값 ····· 129
<표 3-5> sheet 특성값 ····· 143
<표 3-6> 진동자의 첨가제 분류. ····· 144
<표 3-7> 동테잎 사용 여부에 따른 충격 인가 시험 결과 ····· 158
<표 3-8> 코팅제 코팅 전, 후의 발전량 ····· 162
<표 3-9> 코팅제 코팅 후 내구성 평가(함습, 항온항습, 고온) ····· 162
<표 3-10> 압전 기본 회로 특성 분석비교 ····· 182
<표 3-11> 가속포장시험기 테스트 결과 ····· 195
<표 3-12> 하중시험기 테스트 결과 ····· 198
<표 3-13> 고장분석의 접근방법 및 내용 ····· 204
<표 3-14> 고장분석 절차 및 내용 ····· 205
<표 3-15> 신뢰성 시험의 종류 ····· 207
<표 3-16> 환경 시험 전의 발전특성 평가 결과 ····· 211
<표 3-17> 환경 시험 후의 발전특성 평가 결과 ····· 212
<표 3-18> 저온 시험 전 후 발전특성 값 ····· 215

<표 3-19> 고온 시험 전 후 발전특성 값 ····· 218
<표 3-20> 항온항습 시험 전 후 발전특성 값 ····· 221
<표 3-21> 열충격 시험 전 후 발전특성 값 ····· 224
<표 3-22> 염수분무 시험 전 후 발전특성 값 ····· 227
<표 3-23> 진동 시험 전 후 발전특성 값 ····· 230
<표 3-24> LED 장치 인터페이스 모듈 동작상태 표시 ····· 241
<표 3-25> LED 장치 인터페이스모듈 전기적 특성 ····· 242
<표 3-26> 봉타입 자가발전 모듈의 사람하중에 의한 발전특성 ····· 253
<표 3-27> 블록형 압전 발전 모듈 사람보행하중에 따른 발전량 ····· 258
<표 4-1> 연구성과 목록 ····· 302
<표 4-2> 각 에너지 원천에 대한 cm 단위에서 얻을 수 있는 에너지 하베스팅 양 ·· 303

- 그 림 목 차 -

<그림 1-1> 에너지원별 비중 확대계획 및 성장 목표 ····· 3
<그림 1-2> 그린에너지산업 육성 목표 ····· 4
<그림 1-3> 에너지 수명 비교 ····· 10
<그림 1-4> 세계에너지원 사용 가능 년수 ····· 11
<그림 2-1> 압전 발전 일본 국내시장 규모 예측 ····· 18
<그림 2-2> 코쿠요퍼니쳐 본사의 계단 피난 유도등과 발전량 표시 디스플레이 19
<그림 2-3> 후지사와 시청 발전 게이트와 발전 경로 도식화 ····· 20
<그림 2-4> 신 에노시마 수족관 발전지면 생명의 기념비 ····· 21
<그림 2-5> 케이오 세이세키 사쿠라가오카에 설치된 발전마루 ····· 21
<그림 2-6> 라라포트 신미사토 에코가든 내 발전지면과 풍차 ····· 22
<그림 2-7> 종합 안내 사인과 어린이 놀이시설 ····· 22
<그림 2-8> 수도고속도로사의 오색벚꽃 대교 조명과 진동발전기 ····· 24
<그림 2-9> 시부야역 하치 동상 앞에 인도에 묻혀있는 발전 마루와 특설 발전마루 부스 · 25
<그림 2-10> 도쿄역 발전마루 실증 실험 ····· 28
<그림 2-11> 실증실험을 위해 부설한 발전마루. 차량이 통과하면 좌측에 있는 출차주의 표시가 점등 ····· 29
<그림 2-12> 풋볼클럽 빗셀 고베 경기장 내 설치된 발전마루 ····· 30
<그림 2-13> 발전마루"이 아래에 깔린 인조 잔디에서 풋살을 하며, 발전 데모를하는 학생 · 31
<그림 2-14> 커밍파라다이스 축제 당시 발전 경쟁 게임기 ····· 32
<그림 2-15> 후지사와 쇼난 다이 일루미네이션 점등식 당시 발전 경쟁 게임기 · 32
<그림 2-16> X'maStep TREE와 발전마루 ····· 33
<그림 2-17> 신 에노시마 수족관 생명의 기념비와 크리스마스 기념 장식 ····· 34
<그림 2-18> 진동 에너지 하베스팅 산업분석 ····· 35
<그림 2-19> 압전 풍력이용 BANNER ····· 38
<그림 2-20> Cornell 대학의 Piezo-tree 및 발전 개념 ····· 39
<그림 2-21> 교량 진동을 이용한 압전자가발전 시스템 ····· 39
<그림 2-22> 무인잠수시스템연구소 AUV 장비 ····· 40

<그림 2-23> 압전 WINDMILL 시스템 ····· 40
<그림 2-24> 지하철, 도로, 교량을 활용한 압전발전시스템 ····· 40
<그림 2-25> 배터리가 필요 없는 무선 스위치장치 (EnOcean, Inc.) ····· 41
<그림 2-26> 도로, 철로, 활주로, 스마트웨이용 자가발전시스템 개념(이노와텍,이스라엘) · 42
<그림 2-27> 압전블록 ····· 42
<그림 2-28> 압전도로 ····· 42
<그림 2-29> 태양광 시설현황 ····· 44
<그림 2-30> 특허등록 현황 ····· 49
<그림 2-31> u-Scavenging 기술 관련 국가별 특허출원동향 ····· 51
<그림 2-32> 기술별 출원건수 분포(한국) ····· 56
<그림 2-33> 기술별 출원건수 분포(미국) ····· 57
<그림 2-34> 기술별 출원건수 분포(일본) ····· 57
<그림 3-1> 화학전지, 태양전지와 진동발전의 수명 비교 ····· 60
<그림 3-2> 압전 운동 에너지 수확기 휴대폰 ····· 61
<그림 3-3> 압전 배터리 ····· 61
<그림 3-4> Energy Harvesting 연구개발 개념도 ····· 64
<그림 3-5> 각 모드별 변형 모습(시뮬레이션 결과) ····· 71
<그림 3-6> 압전소자 1기로 구성된 Energy Harvester ····· 72
<그림 3-7> 압전소자 1기로 구성된 Energy Harvester 발전특성 평가모습 ···· 73
<그림 3-8> Power 계산 예시 ····· 74
<그림 3-9> Energy Harvester 1회 진동에 따른 발전량 ····· 74
<그림 3-10> 다량의 압전 소자가 어레이된 형태의 Harvester ····· 75
<그림 3-11> 압전 캔틸레버 모식도 ····· 76
<그림 3-12> 압전 캔틸레버 발전특성 평가방법 ····· 77
<그림 3-13> 무게 추 크기에 따른 시간-전력 그래프 ····· 77
<그림 3-14> 스프링 변화와 무게추 변화에 따른 발전특성 ····· 78
<그림 3-15> 스프링 상수값에 따른 압전 에너지 하베스터 발전특성 설명위한 개념도 ··79
<그림 3-16> 도로용 자가발전 모듈 구조 문제점 및 개선방법 ····· 80
<그림 3-17> 봉 기구물에 의한 압전 에너지 하베스터 타격방식 개념도 ····· 81

<그림 3-18> 발포실리콘을 이용한 봉 타입 기구물 단면도 및 실제작물 모습 ·· 81
<그림 3-19> 파이프관과 스프링을 이용한 봉 타입 기구물 단면도 및 실제작물 모습 ·· 82
<그림 3-20> 봉타입 기구물의 문제점 ····· 83
<그림 3-21> 개선된 봉타입 기구물 개념도 ····· 83
<그림 3-22> 개선된 봉타입 기구물 개념도 ····· 83
<그림 3-23> 봉타입 힘전달 기구물 설계도면 ····· 84
<그림 3-24> 봉타입 힘전달 기구물 실제작모습 ····· 84
<그림 3-25> 봉타입 힘전달 기구물 누름판부분 개선모습 ····· 85
<그림 3-26> 굴곡형 봉타입 힘전달 기구물의 설계도면, 개념도, 실제모습 ····· 86
<그림 3-27> 벤더형태의 압전 하베스터 ····· 87
<그림 3-28> 가진 실험 장치 ····· 88
<그림 3-29> 아크릴판 크기 변화에 따른 전압특성 그래프 ····· 89
<그림 3-30> 아크릴판 크기 및 동판 두께 변화에 따른 전압특성 ····· 90
<그림 3-31> 압전 소자 위치변화에 따른 전압 특성 ····· 90
<그림 3-32> 압전 소자 위치 변화와 동판 두께 변화에 따른 전압 특성 결과 ·· 91
<그림 3-33> 유니몰프 압전 캔틸레버 ····· 92
<그림 3-34> 유니몰프 압전 캔틸레버 끝단 길이변화 모습 ····· 93
<그림 3-35> 캔틸레버 끝단길이 4 cm 일때의 저항 변화에 따른 전압 특성 ··· 94
<그림 3-36> A 형태 캔틸레버 일때의 저항 변화에 따른 전력 특성 ····· 95
<그림 3-37> A 형태 캔틸레버일때의 저항 변화에 따른 발생에너지 ····· 96
<그림 3-38> B 형태 캔틸레버일때의 캔틸레버 끝단 길이변화와 저항 변화에 따른 발생에너지 특성 ····· 96
<그림 3-39> A, B 형태 캔틸레버의 저항 변화에 따른 발생 에너지 ····· 97
<그림 3-40> 압전 소자 폭 길이 변화한 캔틸레버 ····· 98
<그림 3-41> mass 유무 변화, 저항 변화에 따른 전압파형과 전력파형 (압전소자 길이비율 1) ····· 99
<그림 3-42> mass 유무 변화, 저항 변화에 따른 전압파형과 전력파형 (압전소자 길이비율 1/2) ····· 100
<그림 3-43> mass 유무 변화, 저항 변화에 따른 전압파형과 전력파형 (압전소자 길이비율 1/3) ····· 101

<그림 3-44> mass 유무 변화, 저항 변화에 따른 전압파형과 전력파형 (압전소자 길이비율 1/4) ····· 102

<그림 3-45> mass 유무 변화, 저항 변화, 길이 비율에 따른 발생 에너지 특성 ·· 103

<그림 3-46> 압전소자 길이 비율 변화에 따른 발생에너지 특성 ····· 104

<그림 3-47> 압전소자 분극 방향 변화에 따른 압전 캔틸레버 ····· 106

<그림 3-48> 압전 소자 분극 변화와 저항변화에 따른 발전특성 ····· 107

<그림 3-49> 압전 소자 분극 변화와 저항 변화에 따른 발생 에너지 ····· 108

<그림 3-50> 압전 세라믹 조성 실험순서도 ····· 112

<그림 3-51> Piezoelectric constant(d_{33}) of $Pb(Zr_{0.54}Ti_{0.46})O_3$ + x wt% Nb_2O_5 + 0.2 wt% Cr_2O_3 ····· 113

<그림 3-52> Electromechanical Coupling factor(Kp) of $Pb(Zr_{0.54}Ti_{0.46})O_3$ + x wt% Nb_2O_5 + 0.2 wt% Cr_2OL3 ····· 114

<그림 3-53> XRD patterns of the $Pb(Zr_{0.54}Ti_{0.46})O_3$ + x wt% Nb_2O_5 + 0.2 wt% Cr_2O_3 (x=0.0~2.0)specimens sintered at 1100~1300 ℃ for 2h ····· 115

<그림 3-54> Surface SEM images of $Pb(Zr_{0.54}Ti_{0.46})O_3$ + x wt% Nb_2O_5 + 0.2 wt% Cr_2O_3 sintered at 1200℃ for 4h: (a) x=0, (b) x=0.5, (c) x=1.0, (d) x=1.5, and (e) x=2.0 ····· 116

<그림 3-55> Precision Impedance Analyzer (Agilent 4294A 40 Hz ~ 110 MHz) ····· 118

<그림 3-56> Variations of the $\varepsilon_3^T/\varepsilon_0$, kp of $Pb(Zr_{0.54}Ti_{0.46})O_3$ + x wt% Cr_2O_3 + 1.0 wt% Nb_2O_5 with $0 \leq x \leq 0.4$ ····· 119

<그림 3-57> Variations of the D_{33}, g_{33} of $Pb(Zr_{0.54}Ti_{0.46})O_3$ + x wt% Cr_2O_3 + 1.0 wt% Nb_2O_5 with $0 \leq x \leq 0.4$ ····· 119

<그림 3-58> XRD patterns of $PPb(Zr_{0.54}Ti_{0.46})O_3$ + x wt% Cr_2O_3 + 1.0 wt% Nb_2O_5 with $0 \leq x \leq 0.4$ sintered at 1200℃ for 2h: (a) x=0, (b) x=0.05, (c) x=0.1, (d) x=0.2, and (e) x=0.4 ····· 120

<그림 3-59> Surface SEM images of $Pb(Zr_{0.54}Ti_{0.46})O_3$ + x wt% Cr_2O_3 + 1.0 wt% Nb_2O_5 with $0 \leq x \leq 0.4$ sintered at 1200℃ for 2h: (a) x=0, (b) x=0.05, (c) x=0.1, (d) x=0.2, and (e) x=0.4 ····· 121

<그림 3-60> 압전 sheet 제작 과정 ····· 123

<그림 3-61> 탈포 모습 ····· 124

<그림 3-62> Aging 위한 Ball-mill 모습 ····· 124

<그림 3-63> Tape casting 장비 ····· 124
<그림 3-64> 압전 sheet 모습 ····· 124
<그림 3-65> 성형과 소결 후 시편형상 ····· 124
<그림 3-66> 압전 sheet 압착후 성형모습 ····· 124
<그림 3-67> TG-DTA 측정값 ····· 126
<그림 3-68> 바인더 Burn-Out 조건 ····· 126
<그림 3-69> 분극기와 자동전극프린터기 ····· 127
<그림 3-70> sheet의 압전특성값 ····· 128
<그림 3-71> sheet Tc data ····· 129
<그림 3-72> 압전 시트 소결온도 변화에 따른 밀도 값 ····· 130
<그림 3-73> 압전 시트 소결온도 변화에 따른 품질계수 값(Qm) ····· 130
<그림 3-74> 압전 시트 소결온도 변화에 따른 유전율 값 ····· 131
<그림 3-75> 압전 시트 소결온도 변화에 따른 압전 상수 값(d_{33}) ····· 131
<그림 3-76> 압전 시트 소결온도 변화에 따른 압전 상수 d*g 값 ····· 132
<그림 3-77> 압전 시트 소결온도 변화에 따른 기계결합 계수 값(kp) ····· 132
<그림 3-78> 압전 시트의 온도에 대한 유전율 그래프(Tc) ····· 133
<그림 3-79> 압전 시트 제작과정 ····· 134
<그림 3-80> 2차 볼밀을 24시간 했을 시 입도분석 결과 ····· 135
<그림 3-81> 2차 볼밀을 48시간 했을 시 입도분석 결과 ····· 135
<그림 3-82> 2차 볼밀을 72시간 했을 시 입도분석 결과 ····· 135
<그림 3-83> 압전 시트의 히스테리시스 곡선 ····· 136
<그림 3-84> 압전 sheet 제작 과정 ····· 137
<그림 3-85> 탈포 모습 ····· 137
<그림 3-86> Aging 위한 Ball-mill 모습 ····· 138
<그림 3-87> Tape casting 장비 ····· 138
<그림 3-88> 압전 sheet 모습 ····· 138
<그림 3-89> 성형과 소결 후 시편형상 ····· 139
<그림 3-90> 압전 sheet 압착 후 성형모습 ····· 139
<그림 3-91> TG-DTA 측정값 ····· 140

<그림 3-92> 바인더 Burn-Out 조건 ····· 140

<그림 3-93> 분극기와 자동전극프린터기 ····· 141

<그림 3-94> sheet의 압전특성값 ····· 142

<그림 3-95> sheet Tc data ····· 143

<그림 3-96> 압전 세라믹 조성 실험순서도 ····· 145

<그림 3-97> Impedance Analyzer(Agilent 4294A 40 Hz ~ 110 MHz) ·· 146

<그림 3-98> 조성 $Pb(Zr_{0.54}Ti_{0.46})O_3$ + 1.0 wt% Nb_2O_5 + x wt% Fe_2O_3 하소 후 모습 ····· 147

<그림 3-99> 조성 $Pb(Zr_{0.54}Ti_{0.46})O_3$ + 1.0 wt% Nb_2O_5 + x wt% Fe_2O_3 의 성형후와 소결 후 모습 ····· 148

<그림 3-100> Piezoelectric charge constant(d_{33}) of $Pb(Zr_{0.54}Ti_{0.46})O_3$ + 1.0 wt% Nb_2O_5 + x wt% Fe_2O_3 ····· 149

<그림 3-101> Piezoelectric voltage constant(g_{33}) of $Pb(Zr_{0.54}Ti_{0.46})O_3$ + 1.0 wt% Nb_2O_5 + x wt% Fe_2O_3 ····· 150

<그림 3-102> $d_{33} \times g_{33}$ of $Pb(Zr_{0.54}Ti_{0.46})O_3$ + 1.0 wt% Nb_2O_5 + x wt% Fe_2O_3 ····· 150

<그림 3-103> $d_{33} \times g_{33}$ of $Pb(Zr_{0.54}Ti_{0.46})O_3$ + 1.0 wt% Nb_2O_5 + x wt% Fe_2O_3 ····· 151

<그림 3-104> Dielectric constant($\varepsilon/\varepsilon 0$) of $Pb(Zr_{0.54}Ti_{0.46})O_3$ + 1.0 wt% Nb_2O_5 + x wt% Fe_2O_3 ····· 151

<그림 3-105> Mechanical quality factor(Qm) of $Pb(Zr_{0.54}Ti_{0.46})O_3$ + 1.0 wt% Nb_2O_5 + x wt% Fe_2O_3 ····· 152

<그림 3-106> Dielectric dissipation factor($\tan\delta$) of $Pb(Zr_{0.54}Ti_{0.46})O_3$ + 1.0 wt% Nb_2O_5 + x wt% Fe_2O_3 ····· 152

<그림 3-107> 전극패턴 변화 ····· 156

<그림 3-108> 납땜 탈리 고장 및 동테잎을 사용한 개선품 ····· 157

<그림 3-109> 코팅제 코팅 전, 후의 압전소자 ····· 159

<그림 3-110> 3종(아크릴, 실리콘, 우레탄)의 코팅제 코팅 전, 후의 단위 모듈 ··· 160

<그림 3-111> 자동타격기 ····· 160

<그림 3-112> 실리콘 코팅제 사용 여부에 따른 염수분무 시험 후 시험 sample ·· 164

<그림 3-113> 압전소자 제조 공정 ····· 165

<그림 3-114> 발전 패(블록) 제조 공정 ····· 166
<그림 3-115> 발전패드 ····· 167
<그림 3-116> 단층형 발전패드 매설 ····· 168
<그림 3-117> 방수테잎을 사용한 단층 패드 및 내구성 평가 결과 ····· 169
<그림 3-118> 다층패드 기구물 도면 ····· 170
<그림 3-119> 다층패드형 발전장치 및 보호 케이스 ····· 171
<그림 3-120> rack형 발전모듈 발전량 평가 방법 ····· 172
<그림 3-121> rack형 발전모듈 rack 삽입수량 별 발전량 ····· 172
<그림 3-122> tape caster ····· 174
<그림 3-123> 고형분 함량별 압전 sheet 성형체 ····· 174
<그림 3-124> 소자, 부속품 및 기구물 도면 ····· 176
<그림 3-125> 압전 에너지 하베스팅 AC-DC 정류회로 ····· 177
<그림 3-126> 압전소자 어레이시 하베스팅 회로 ····· 177
<그림 3-127> 압전 하베스팅 회로 모습 ····· 178
<그림 3-128> 압전 세라믹 하베스팅 회로 ····· 178
<그림 3-129> 압전 세라믹 하베스팅 승압회로 ····· 179
<그림 3-130> LTC3459/TSOT-23 칩 회로도 ····· 179
<그림 3-131> 정류 평활 회로만을 이용한 운영방법 예시 ····· 181
<그림 3-132> 승압 충전회로를 이용한 운영 방법 예시 ····· 181
<그림 3-133> 압전 에너지 하베스팅 정류회로 ····· 183
<그림 3-134> 압전 세라믹 하베스팅 회로 ····· 183
<그림 3-135> 압전 세라믹 하베스팅 승압회로 ····· 184
<그림 3-136> 정류 및 승압회로를 이용한 운용방법 예시 ····· 184
<그림 3-137> 압전무선스위치 ····· 185
<그림 3-138> 비교기를 통한 충전회로 ····· 186
<그림 3-139> 1차 및 2차 배터리 충전회로 ····· 187
<그림 3-140> EEProm ····· 187
<그림 3-141> 제작한 충전회로 실제 모습 ····· 188
<그림 3-142> 발전모듈 충전시스템 구성도 ····· 189

<그림 3-143> 제작한 압전발전모듈 발전특성 평가기기 ····· 189
<그림 3-144> 충전회로 모니터링 시스템 화면 ····· 190
<그림 3-145> Cell01~04 ····· 191
<그림 3-146> 기존 회로와 개선한 회로 모습 ····· 193
<그림 3-147> 가속포장시험기 ····· 194
<그림 3-148> 가속포장시험기 테스트 결과 그래프 ····· 196
<그림 3-149> NO.46 패드의 가속포장시험기 테스트 측정결과 ····· 196
<그림 3-150> 시간별 발전량 측정결과(N0 46 : 속력, 하중 : Max) ····· 197
<그림 3-151> 하중시험기 ····· 197
<그림 3-152> 하중시험기 테스트 결과 그래프 ····· 198
<그림 3-153> NO.27 패드의 하중시험기 테스트 측정결과 ····· 199
<그림 3-154> 공압 test 장비 ····· 200
<그림 3-155> 단층형 압전 패드의 구조 및 공압 test 장비를 이용하여 측정한 발전량 ····· 201
<그림 3-156> 고장분석의 접근 방법 모식도 ····· 205
<그림 3-157> 스트레스 부과방법 ····· 209
<그림 3-158> 발전특성 평가 장비모습 ····· 210
<그림 3-159> 내구성 평가를 위한 압전 발전 모듈 ····· 213
<그림 3-160> 발전량 평가용 자동 타격기 ····· 214
<그림 3-161> 열충격 시험기 ····· 214
<그림 3-162> 항온항습기 ····· 223
<그림 3-163> 열충격 사이클 모식도 ····· 224
<그림 3-164> 무선스위치 송신기 회로도 ····· 235
<그림 3-165> 무선스위치 수신기 회로도 ····· 236
<그림 3-166> 압전무선스위치 PCB ····· 237
<그림 3-167> 무선스위치 송 · 수신기 모듈 ····· 238
<그림 3-168> 무선스위치 동작과정 ····· 239
<그림 3-169> LED 장치 인터페이스 모듈 회로도 ····· 240
<그림 3-170> LED 장치 인터페이스 모듈 PCB ····· 240

<그림 3-171> LED 장치 인터페이스 모듈 ····· 241
<그림 3-172> LED 장치 인터페이스 모듈 딥스위치 설정 ····· 242
<그림 3-173> 차량하중에 의한 압전 에너지 하베스터 개념도 ····· 243
<그림 3-174> 도로용 압전 에너지 하베스터 제작과정 ····· 244
<그림 3-175> 제작한 차량용 압전 에너지 하베스터 ····· 245
<그림 3-176> 차량용 압전 에너지 하베스터의 차량하중에 따른 발전특성 평가모습 ·· 245
<그림 3-177> 압전 캔틸레버 1기에 대한 발전특성 평가 실험장비 ····· 246
<그림 3-178> 압전 캔틸레버 1기의 발전특성 그래프(100 kΩ) ····· 246
<그림 3-179> 압전 캔틸레버의 mass와 스프링 변화에 따른 발전특성 ····· 247
<그림 3-180> 차량속도 30 km/h 일 때 시간에 대한 전압과 전력 그래프 ···· 248
<그림 3-181> 차량속도에 따른 압전 에너지 하베스터 발전특성 ····· 248
<그림 3-182> 봉타입 힘 전달 기구물 끝단에 연결할 자가발전 모듈 설계도면 ·· 249
<그림 3-183> 압전 에너지 하베스터 진동방향 및 실제모습 ····· 250
<그림 3-184> 봉타입 힘전달 기구물과 자가발전모듈 결합모습 및 내부모습 ·· 251
<그림 3-185> 무봉타입 힘전달 자가발전모듈의 사람하중에 의한 발전특성 평가모습 ·····252
<그림 3-186> 봉타입 자가발전 모듈의 사람하중에 의한 발전특성 ····· 253
<그림 3-187> 직접인가방식 압전 하베스터와 봉타입의 압전 하베스터의 발전특성 비교 ····· 254
<그림 3-188> 봉타입 자가발전 모듈의 차량하중에 의한 발전특성 평가모습 ·· 255
<그림 3-189> 봉타입 자가발전 모듈의 차량하중에 의한 발전특성 평가모습 ·· 255
<그림 3-190> 봉타입 압전 에너지 하베스터의 차량속도에 따른 시간-전력 그래프 ·· 256
<그림 3-191> 차량속도에 따른 봉타입 자가발전 모듈의 발전특성 ····· 257
<그림 3-192> 블록형 압전 발전 모듈의 사람보행하중에 따른 발전특성 평가모습 ·· 258
<그림 3-193> 블록형 압전 발전 모듈 차량하중에 따른 특성평가 실험모습 ··· 259
<그림 3-194> 블록형 압전 발전 모듈 차량속도별 따른 시간에 따른 발전특성 그래프 ····· 260
<그림 3-195> 블록형 압전 발전 모듈 차량속도에 따른 발전특성값 ····· 260
<그림 3-196> 블록형 자가발전모듈 도로매설모습 ····· 261
<그림 3-197> 차량속도와 차종에 따른 도로에 매설한 압전모듈의 발전특성 ·· 262

<그림 3-198> 봉타입 굴곡형 힘 전달 기구와 자가발전모듈 설치모습 ····· 263
<그림 3-199> 차량속도와 차종에 따른 굴곡형 봉타입 사용하여 설치한 압전 모듈의 발전특성 ····· 263
<그림 3-200> 압전패드 매설 준비작업 ····· 266
<그림 3-201> 압전패드 쇠틀 ····· 267
<그림 3-202> 압전패드 매설작업(아스콘) ····· 268
<그림 3-203> 압전패드 매설작업(시멘트) ····· 269
<그림 3-204> 압전패드 매설작업(노출) ····· 270
<그림 3-205> 렉형 압전발전모듈 매설작업 ····· 272
<그림 3-206> 압전패드 매설지역 구성 ····· 273
<그림 3-207> 압전패드 매설 개략도 및 사진 ····· 274
<그림 3-208> 스포티지 현장테스트 ····· 276
<그림 3-209> 속도별 압전패드 발전효율 비교 ····· 276
<그림 3-210> 대형차량 테스트 사진 ····· 278
<그림 3-211> 중형차량 테스트 사진 ····· 279
<그림 3-212> 소형차량 테스트 사진 ····· 280
<그림 3-213> 차량별 발전특성(시멘트 매립) ····· 281
<그림 3-214> 차량별 발전특성(아스콘 매립) ····· 281
<그림 3-215> 차량별 발전특성(노출) ····· 281
<그림 3-216> 매설타입별 소형차량 발전특성(A: 시멘트, B: 아스콘, C: 노출) ··· 282
<그림 3-217> 매설타입별 중형차량 발전특성(A: 시멘트, B: 아스콘, C: 노출) ··· 282
<그림 3-218> 매설타입별 대형차량 발전특성(A: 시멘트, B: 아스콘, C: 노출) ··· 282
<그림 3-219> Rack type 하베스터의 차량 종류/속도별 발전특성 ····· 284
<그림 3-220> 공압을 이용한 압전패드의 발전량 테스트 ····· 287
<그림 3-221> 매설 후 날씨 상황 ····· 287
<그림 3-222> 매설 전후 압전패드 발전량 비교 ····· 288
<그림 3-223> 압전무선스위치 개념도 ····· 290
<그림 3-224> 현장설치(제주대학교) 구축장소 ····· 291
<그림 3-225> 가도등 배치형태 ····· 292

<그림 3-226> 기존 나트륨 가로등에서 LED 가로등으로 교체 ····· 293
<그림 3-227> 압전발전모듈 ····· 294
<그림 3-228> 남조로 연구테스트 도로 시험 매설 사진 ····· 296
<그림 3-229> 남조로 연구테스트 도로에 매설된 압전발전모듈 발전량 ····· 297
<그림 3-230> 현장설치를 위한 매설 시공 ····· 298
<그림 3-231> 압전발전모듈 매설 완료 사진 ····· 299
<그림 3-232> 현장설치(제주대학교)에 매설된 발전모듈에 대한 발전량 ····· 300

제1장 연구개발과제의 개요

제1절 연구개발과제의 개요

1. 연구개발의 목적

□ 기존의 에너지원을 대체할 수 있는 다양한 에너지사업이 제기

○ 최근 환경파과와 지구온난화에 따른 기후 변화가 심각하여 온실가스 배출에 대한 관심이 증대하고 있으며, 화석에너지는 발전과정에서 발생하는 온실가스가 문제가 되어 기존의 에너지원을 대체할 수 있는 다양한 에너지사업이 제기되고 있음

○ 이산화탄소나 메탄 등의 유해 온실가스를 감소시키기 위한 하나의 방안으로 제기된 신·재생에너지의 필요성이 대두됨, 특히 지속적인 유가의 상승으로 기존의 화석에너지의 경제성이 불안정하며, 화석에너지 관련 법규의 규제로 신·재생에너지의 중요성이 부각되고 있는 추세임

○ 현대 인류문명은 지난 200년간 석유, 석탄, 천연가스와 같은 화석연료로부터 번영의 에너지를 얻었으나, 현재 우리를 둘러싼 에너지환경을 살펴 볼 때에 우리는 이제 인류가 화석연료로부터 지속적인 번영 에너지를 얻을 수 있을지에 대한 확신을 얻기 어려운 시대를 살고 있으며, 이에 따른 **세계 각국의 에너지 자원 확보경쟁이 갈수록 심화**되고 있음

○ 따라서 지속적인 사회·경제적 발전을 위한 동력을 제공하고 동시에 잠재적으로 초래될 환경 및 사회·정치적 파급효과에 **대처할 수 있는 에너지를 확보하는 것은 21세기에 세계 사회가 풀어야 할 중대한 과제**임

<표 1-1> 세계 에너지 가채 매장량 및 가채 년수

구 분	석 유	석 탄	천연가스
가채 매장 확인량	12,379억bbl	8,475억톤	177조㎥
연간 생산량	298억bbl	64억톤	3조㎥
가 채 년 수	42년	133년	60년

자료) BP Statistical Review of World Energy(2008.6)

○ 최근 국제유가(두바이油 기준)는 2008년 상반기에만 전년대비 52%의 상승율을 기록하는 등 2003년도부터 신(新)고유가는 지속 상승세에 있는 상황이며, '08년에 들어서는 달러약세에 따른 석유시장으로의 투기자금 유입, 석유수출기구(OPEC) 감산 및 산유국들의 지정학적 불안요인 등에 의해 국제유가는 매일 최고가기록을 경신하면서, '08년 7월에는 사상 최고치인 141달러 수준까지 폭등하였음

○ 이러한 유가 폭등에 따른 제3차 오일쇼크 가능성의 현실화에 대비하고 국내 경제의 심각한 충격을 최소화하기 위하여 정부는 관계부처 합동으로 「고유가 극복 민생종합대책('08.7.6)」을 발표하였으며, 특히 초(超)고유가 상황을 극복하기 위해 홀짝제 시행, 공공시설물의 경관조명 사용금지 등 공공부문의 강력한 에너지절약 조치를 시행하였고, 민간부문 요일제의 자율적 참여와 네온사인 등 옥외광고물의 과도한 전기사용 자제 등 경제활동의 지장을 주지 않는 범위 안에서 적극적인 에너지절약 활동을 장려함

○ 2008년 하반기에는 세계 경기침체 및 투기자금 이탈 등으로 다행히 국제유가는 70달러 수준으로 떨어졌으나 세계 원유시장의 투자확대를 통한 적절한 여유 공급능력을 갖추지 않는 한 언제든지 초(超)고유가 상황이 발생하여 우리 경제를 어렵게 할 가능성이 높음

□ 저탄소 · 청정에너지의 비중 확대

○ 신 · 재생에너지는 에너지안보를 확충하고 기후변화에 대응하는 지속가능한 에너지원으로서 뿐만 아니라 "녹생성장"을 선도하는 차세대 성장동력으로서의 중요성이 부각되고 있음

○ 우리나라는 그간 제한된 국토여건, 부족한 기술 및 낮은 경제성 등으로 보급 확대에는 애로가 있었으나 에너지 공급역량을 확충하여 에너지 안보를 공고히 하고, 기후변화에 대응한 친환경에너지 보급에 기여하기 위하여 신 · 재생에너지 보급 확대가 반드시 필요

○ 따라서 정부는 반도체, 기계 등 관련분야의 경쟁력을 보유한 우리나라의 강점을 살려 태양광, 풍력, 수소 · 연료전지 등의 핵심 분야에 집중 투자를 통해 2030년에는 현재 2.4%수준의 신 · 재생에너지보급률을 2030년까지 11%까지 확대할 계획



<그림 1-1> 에너지원별 비중 확대계획 및 성장 목표

□ 녹색강국 구현을 위한 그린 에너지산업 육성

○ 전 세계적으로 에너지 이용 효율향상과 온실가스 배출을 억제하기 위해 혁신적인 에너지 기술개발을 국가가 주도적으로 추진하고 있으며, 새롭게 열리는 세계시장 선점을 위해 전력투구를 하고 있는 상황

○ 이는 우리나라에게 위기이자 새로운 기회로 해석될 수 있는 중요한 도전이며, 따라서 정부는 2030년까지 세계 최고수준의 에너지기술을 확보하고, 이를 통해 에너지 수입국에서 에너지기술 수출 강국으로 도약할 비전을 제시함

○ 이러한 비전을 달성하기 위하여 중장기 에너지기술개발 로드맵을 통해 체계적이고 종합적인 기술개발을 추진하여 에너지산업의 성장 동력화를 견인하게 될 것이며, 특히 온실가스 저감, 세계시장 선점에 유리한 에너지기술을 중점적으로 개발하여 차세대 그린 에너지산업으로 육성할 계획임

○ 또한 체계적인 기술개발을 위해 선진국간의 기술협력 등의 국제협력을 활성화 해 나가고, 기술개발 및 산업육성에 필요한 전문 인력을 양성할 계획임

○ 그린에너지산업 육성을 위한 주요 추진전략으로, 녹색기술 R&D 예산을 확대하여 핵심기술의 선정, 개발 및 도입을 촉진하고, 연구기관의 에너지기술 지원기능을 대폭 강화 해나갈 것임

○ 아울러 에너지공기업의 “녹색기술” 구매를 확대하고, Green Home 100만호 등 공공사업에 “녹색기술”을 활용해 나아갈 계획임



<그림 1-2> 그린에너지산업 육성 목표

○ 대한연구 진행사항은 현재 국내에 보고 된 바 없으며, 새로운 발전장치의 개발은 신규시장 선점 뿐 만 아니라 부품의 해외의존에 따른 개발지연과 설계의 부품의존성을 극복하기 위한 필요로서도 그 개발이 시급함

○ USN 환경이 대두됨에 따라 환경적인 측면에서 Energy Harvesting & Maintenance Free Power concept의 구현에 관심이 집중되고 있음. 이러한 생활환경의 변화에 대처하고 기술경쟁력을 확보하기 위하여 유해한 배터리 기반의 독립전원 관리의 한계를 극복하고 친환경형 자가발전 개념의 기술을 개발하는 것이 필요함

○ 특히 U-센서네트워크 기술의 보급으로 인하여 자체전원을 스스로 공급할 수 있으며, 또한 유지보수가 필요 없는(maintenance free) 에너지 공급원에 대한 연구가 절실한 실정임

○ 또한 진동에너지를 이용한 자가 발전 에너지 개발은 건전지 폐기물을 줄임일 수 있으며 이에 따른 반영구적 에너지 절감 및 수은, 납, 망간 등에 의한 중금속 오염의 가능성을 제함과 동시에 새로운 개념의 에너지 발전장치의 핵심 요소기술을 확보함으로써 국가 에너지 산업 경쟁력을 증진시킬 수 있음

○ 자체전원을 스스로 공급할 수 있으며, 유지보수가 필요 없는(maintenance free) 에너지 공급원에 대한 연구는 에너지 위기 상황이 글로벌 차원으로 확대되어 가는 현 시점에서 더욱 중요성이 부각되며, 신개념/친환경의 대체 에너지를 개발하고자 하는 현 정부의 정책과 부합

○ 도로용 압전 자가발전은 기존의 소요전력을 획기적으로 줄일 수 있으며 대표적인

사회기반 산업으로 도로개발 산업이 압전 자가발전 시스템과 접목되면 이의 개발을 위해 막대한 신규 일자리 창출은 물론 각종 전자산업, 바이오산업, 항공산업, 자동차 산업으로도 파급효과가 막대하여 새로운 산업 패러다임을 창출이 가능

○ 새로운 개념의 전력공급 장치로서 부피 당 전력밀도가 획기적으로 개선된 배터리나 연료전지를 사용하는 해결책이 있으나 현재의 크기와 성능, 그리고 기술개발 속도로 보아 전원공급 장치에 적용하는 것은 요원

제 2 절 연구개발의 필요성

1. 신·재생에너지 연구개발 배경

□ 현재 인류가 직면한 에너지 부문의 큰 난제(難題)는 화석연료의 한정된 매장량으로 인한 수급 불안과 그 사용에 따른 환경오염임

□ 이러한 에너지 문제의 심각성은 불안한 국제유가 상황에서 여실히 드러나고 있음

○ 중국, 인도 등 BRICs 국가들의 경제성장에 따른 에너지 수요의 급격한 증가와 자원보유국들의 카르텔 강화 등으로 인한 에너지자원의 수급불안은 세계경제를 뒤흔들고 있으며, 앞으로 어려움은 더욱 더 심각해 질 것임

□ 특히 우리나라의 경우 에너지의 97% 이상을 해외에서 수입하고 있는 에너지자원 빈국이며, 세계 에너지소비 11위, 석유소비 7위의 막대한 에너지소비국임

□ 또한, 온실가스 배출을 규제하는 기후변화협약이 더욱 강화되고 있음

□ 인도네시아에서 열린 13차 유엔기후변화협약 당사국 총회에서 '발리로드맵'이 채택됨에 따라 모든 나라가 2013년부터 온실가스 배출 감축이 의무화되는 등 온실가스 감축 의무가 선진국뿐 아니라 신흥경제국으로까지 확대되는 것이 가시화되고 있음

□ 이렇듯, 급변하는 에너지 환경에 대하여 에너지저소비형 사회시스템 마련, 에너지 공급 루트의 다변화와 함께, 대체에너지원의 개발이 절실

□ 현 시점에서 거론되고 있는 대체에너지원은 오일샌드, 가스 하이드레이트 그리고 신·재생에너지 등임

○ 오일샌드는 매장량이 석유매장량의 약 1/3 수준으로 대부분 캐나다와 베네수엘라에 매장되어 있으나 채굴이 어렵고 가공절차가 복잡하여 기술적, 경제적, 환경적 문제가 있을 뿐 아니라, 이마저도 전량 해외 수입에 의존해야하는 어려움이 있음

○ 한편, 심해저 지층에 존재하는 가스하이드레이트는 우리나라의 동해 심해저에 약 6억톤 이상 충분히 매장되어 있는 것으로 추정되나, 현재까지의 기술로는 채집이 매우 어려우며, 이를 위해서는 엄청난 기술 개발비용이 소요될 뿐 아니라, 사용시 다량의 이산화탄소가 배출되는 등 여러 가지 환경문제가 우려되고 있어 용이

치만은 않음

○ 따라서 환경오염을 최소화시키고 한정된 화석연료를 보완, 대체할 새로운 에너지원의 개발이 불가피한 상황이며, 신·재생에너지가 그 유력한 대안이자 희망으로 부상하고 있음

2. 해외 신·재생에너지 연구개발 동향

□ 이미 세계 여러 선진국들은 신·재생에너지 기술개발의 중요성을 인식하고 기술개발 및 상용화를 위하여 중장기적인 개발계획을 수립하고 과감한 정책적, 재정적 지원을 하고 있음

가. 미국

○ 미국은 2006년 대통령 연두교서에서 '신에너지정책'을 통해 신·재생에너지의 개발을 강조

○ 'Twenty in Ten Initiative'(향후 10년내 석유소비 20% 저감)의 일환으로 2017년까지 휘발유 소비의 15%를 신·재생에너지 연료로 대체('07.1월 국정연설)할 것을 선언하여, 석유 수입의존도를 감소시키고 나아가 에너지안보확립 및 기후변화협약에의 적극적 대응을 주창함

○ 이를 기반으로 수소제조·인프라 구축을 위한 "Hydrogen Fuel Initiative"에 12억달러(2003~2007년), FreedomCAR(연료전지차, 2002~2006년)에 5억달러 등 총 17억달러를 지원

○ 또한 호놀룰루(하와이), 사우스필드(미시간), 피닉스(아리조나)에 신·재생에너지 시범단지인 파워파크(Power Park) 건설, 수소스테이션과 연계한 Hydrogen Highway 건설, 수소관련 법규 및 표준화 작업, 경제성 분석 등을 추진함으로써 세계 수소 경제의 주도권 선점을 위해 적극적으로 움직이고 있음

나. 일본

○ 일본은 태양광 분야의 선두를 유지하고 있으며, 2010년까지 1,000MW급 원전 약 5기에 해당하는 4,820MW의 태양광 설비를 보급하여 세계 설비 시장의 50%이상 점유를 목표로 추진하고 있으며, NEDO에서 2030년까지의 태양광발전 R&D 로드맵(2030년 태양광발전단가 7￥/kWh)을 발표하여 장기적인 플랜을 가지고 추진하고 있음

○ 한편, 연료전지 산업화를 역동적으로 추진하여 ’ 02~’ 04년간 76대의 가정용 연료전지 실증사업을 추진하였으며, 2005년을 연료전지 상용화의 원년으로 삼아 대규모 실증체제로 전환하여 ‘08년까지 1,120대를 실증 보급하였음

○ 또한, 수송용 연료전지 실증사업인 JHFC프로젝트를 통해 60여대의 연료전지 자동차 및 10개소의 수소스테이션을 시범 운영 중

○ 일본은 수소연료전지 기반구축을 위해 2010년까지 연료전지 자동차 5만대, 70만 가구(220만kW)의 가정용 연료전지를 보급할 계획을 세우고 있음

다. 기타

○ 캐나다 정부는 수소·연료전지부문에 5년간(2003～2008년) 500억원을 투입하여, 수소 하이웨이, 수소마을 건설 등 「H2EA 프로그램」을 정부와 기업이 함께 적극 추진하였으며, Ballard(연료전지), Dynetek(수소저장용기), Fuel Cell Tech(시험장비) 등 분야별 세계 최고의 기업을 적극 지원, 육성하고 있고, 휘슬러와 밴쿠버, 빅토리아를 연결하는 수소스테이션 7기를 설치할 계획임

○ 아이슬란드는 1999년 ECTOS(Ecological City Transport System) 프로젝트를 시작한 이래, 수소 · 연료전지를 현재 버스에서 승용차, 선박으로까지 확대시켜 2040년까지는 수소경제로의 전환을 완료하여 ‘북부의 쿠웨이트’ 가 되겠다는 야심찬 계획을 세우고 있음

○ 한편 EU는 2010년까지 신 ·재생에너지 이용을 총 에너지소비의 12%, 총 발전량의 22%까지 제고한다는 목표를 설정하고 활발히 추진하고 있음

○ 이밖에 독일은 뮌헨 공항에 수소버스와 승용차를 이용하여 공항 고객 수송을 진행하는 수소 실증 프로젝트를 추진하여 수소 관련 기술 통합 시스템의 평가 및 사업

성 모색, 대국민 홍보 및 수소 기술 체험 유도도 꾀하고 있음

○ 노르웨이는 연안과 섬의 우수한 풍력 에너지원을 활용하여 풍력-수소에너지 생산 시스템을 구축을 추진하고 있음

○ 이렇듯, 세계 선진국들은 신·재생에너지기술의 개발 · 보급에 총력을 기울이고 있으며, 새로운 에너지기술 개발을 통한 에너지 강국의 입지를 확보하기 위하여 중장기적인 정책을 마련하고 다각적인 투자와 육성 정책을 펴고 있음

○ 따라서 우리나라도 급변하는 세계 에너지 환경 속에서 신 ·재생에너지 분야 기술 주도권 선점과, 수소경제(Hydrogen Economy) 체제로의 조기 이행을 위해 체계적이고 적극적인 신 ·재생에너지 기술개발사업 추진이 어느 때보다 중요함

3. 연구개발의 필요성(중요성)

가. 기술적 측면

○ 유비쿼터스 사회는 유비쿼터스 컴퓨팅 및 통신기술 기반위에서 사회적 문제를 해결하며 삶의 질을 향상시켜나가고, 첨단 서비스 및 제품의 부가가치를 획기적으로 증대시키는 등 선진한국의 미래상 구현의 핵심

○ 소전력 이동기기에도 에너지 공급을 위해서 제한된 용량의 화학적 에너지원(배터리) 필요한 실정이며, 이를 위해 전원 용량 극복을 위한 새로운 자가발전(Energy Harvesting) 방식의 기술 연구와 무선 에너지 공급 및 충전 기술 필요

○ 유비쿼터스 컴퓨팅 및 네트워크 통신 시스템기술 구현에 있어서 저전력 컴퓨팅 및 통신기술의 연구개발이 매우 중요한 요소로 간주되고 있고 다양한 관련 기술 등이 연구되고 있음

○ 그러나 유비쿼터스 시스템의 구현과 적용에 있어서 걸림돌이 되는 요소는 다양한 환경에 산재되어 적용되는 다수의 시스템 제어, 전원 및 배터리 등의 유지보수, 관리 및 휴대성에 대한 적절성 확보 및 효율성 제고 등이 부각되고 있으며, 이를 극복하기 위한 요수확술에 대한 연구개발 요구증대

○ 새로운 개념의 전력공급장치로서 부피 당 전력밀도가 획기적으로 개선된 배터리나 연료전지를 사용하는 해결책이 있으나 현재의 크기와 성능, 그리고 기술개발 속도

로 보아 USN에 적용하는 것은 거의 불가능한 것으로 판단됨

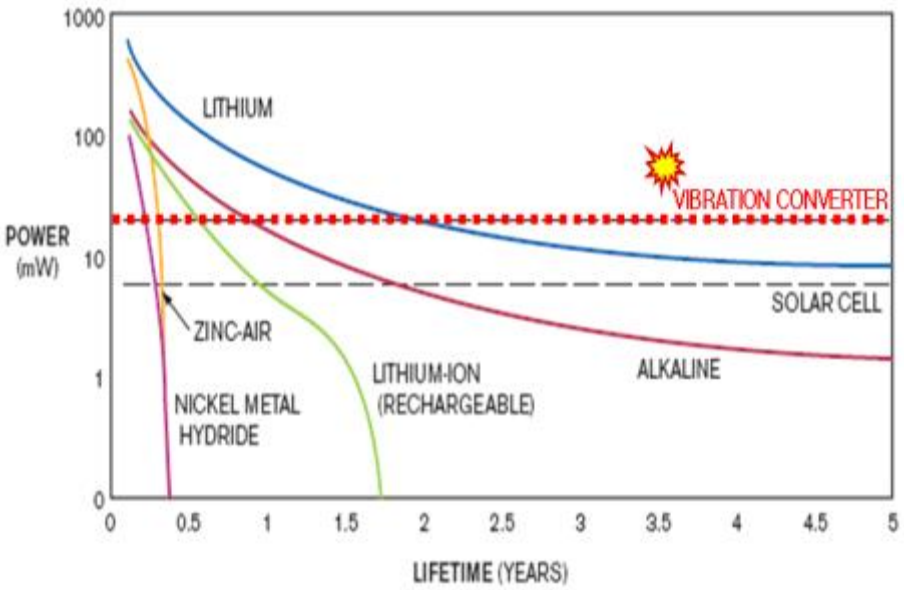
○ 그러므로 사람의 움직임에 의한 진동, 도로, 건물, 교량 등과 같은 구조물의 진동, 자동차나 비행기, 선박 등 운송기의 진동, 가전제품이나 각종 기계장치의 진동, 저온 열원, 체온, 지열, 빛 등 사용되지 않고 버려지는 에너지원로부터 전력을 추출하는 에너지 수확(Energy Harvesting)기술을 개발하는 것이 절실히 요구됨

○ 압전(壓電) 소재는 전기적 에너지를 기계적 에너지로, 또는 그 반대로 외부에서 힘(압력)을 가하면 전기적 에너지로 변환되는 특성을 가지는 재료

○ 무한한 활용가능성을 가지나 현재 전혀 활용되고 있지 않은 에너지 요소로서, 각종 차량의 이동시 도로면에서 발생하는 압력에너지 변화를 압전 소재를 이용하여 전기에너지로 변환하여 활용

○ 압전 소재를 활용하는 친환경/청정/재활용의 자가 발전은 주변의 무제한 활용되지 않은 에너지를 활용하여 전력을 얻을 수 있어서, 기존의 소모되는 전력을 대체 또는 절감할 수 있는 미래형 에너지 자원

○ 무선 모바일시대의 소형 전자기기에 필요한 대체 에너지원으로 청정화, 소형화, 무선화, 고기능화가 필요한 다양한 분야, 즉 Nano-robotics, Security Monitoring, Nano-sensors 등의 나노소자는 물론 Wearable 컴퓨터, MP3, GSM, Bluetooth 등의 정보통신기기, 이 외에도 항공우주, 자동차, 의료, 건축 분야 등의 친환경 Power Generation으로도 검토



<그림 1-3> 에너지 수명 비교

○ 자가발전을 위한 에너지 공급원이 각종 운송수단에 의해 반복적, 지속적으로 공급되기 때문에 별도의 유지보수가 필요 없어(maintenance free) 반영구적으로 사용할 수 가 있으며, 전자노이즈가 발생되지 않아 그 응용가능성은 더욱 확대되리라 예상

○ 다양한 환경에 산재되어 있는 다수 시스템의 제어, 전원 및 배터리의 유지보수, 관리 및 휴대성에 대한 적절성 확보와 효율성 제고로 요소 기술에 대한 연구개발 요구증대

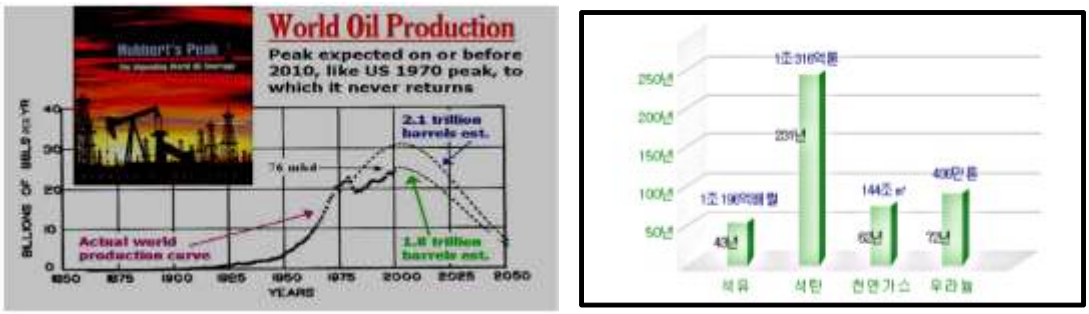
○ 이동기기를 포함하여 배터리 교체가 어려운 장소의 기기에 에너지 공급을 위해서 제한된 용량의 화학적 배터리가 필요하며, 이런 번거로움을 없애기 위한 전원 공급으로 새로운 자가발전과 충전 기술 필요

나. 경제적 측면

○ 국제 유가 상승과 에너지 자원 고갈에 따른 전력 공급에 대한 해결책 마련 시급

- 국제 유가의 지속적 상승(2007.08 – $100까지 급등)

- 세계 석유 생산량 정점 임박(2010 ~ 2020)



<그림 1-4> 세계에너지원 사용 가능 년수

○ 온실 가스 국제적 감시, 관리 및 감축이 본격화됨에 따라 화석 연료를 대체할 청정 에너지 개발 필요성 증대

○ 이에 따른 향후 국가 지속 발전의 근간이 되는 에너지 및 환경 분야의 기술 혁신 필요

○ 하나의 빌딩에서도 수 백, 수천 개의 센서가 운용되는 유비쿼터스 사회에서 각각의 배터리 모두를 정기적으로 교체한다는 것은 유지 및 보수의 비용이 막대하게 소요될 것이므로 비현실적이며 구조물에 내장되어 있는 센서의 경우에는 접근자체가 불가능함

○ 이에 따른 자연환경에서 발생하는 다양한 에너지원으로부터 전력을 생산하는 자가발전 기술 개발을 통한 유비쿼터스 환경에 적합한 전력 생산 및 공급 필요

○ Energy Harvesting기반의 유비쿼터스 컴퓨팅 및 통신기술은 국가 사회 전반에 걸쳐 적용되어 우리나라의 국가경쟁력을 높일 수 있는 핵심적인 연구분야라 할 수 있고, 앞으로 다가올 미래의 유비쿼터스 환경에서의 다양한 요구에 대응, 적응할 수 있는 경쟁력을 갖춘 신산업 도출 및 추진에 기여할 것으로 사료됨

○ 현재 도로용 시설 전력을 공급하기 위하여 압전 효과를 이용한 자가 발전 개념의 친환경/청정에너지 시스템에 대한 연구는 국내에 보고 된 바 없으며, 기술 개발을 통해서 국내 신규시장 창출 뿐 만아니라 기술의 해외 시장 선점을 위해서도 개발이 시급함

○ 국내 터널에 사용되는 전력량은 평방미터당 연간 66.5 kWh에 달하며 터널내 시설물로서 가로등에 소비되는 전력단가는 한국전력 부과기준으로 환산하면 년간 약 360억에 달함

<표 1-2> 국내 터널 기준 전력소비 지표

평균 사용전력 (kWh/m2・년)	총 유효면적 (m2)	총 사용전력 (kWh/년)	가로등용 전력단가 (원/kWh)	총 전력소비 금액 (백만원/년)
66.5	6,842,448	455,022,769	79.66(한국전력)	36,247

○ 특히 압전자가발전은 태양력, 수력 발전 등과 비교하여 대도시가 발달되어 있는 선진국을 중심으로 많은 교통량을 이용한 도심형 자가발전으로 발전효율을 향상시키기에 더욱 유리하며 일본, 영국과 같은 도심 집약형 선진국을 중심으로 활발한 수요가 예상됨

○ USN 환경이 대두됨에 따라 환경적인 측면에서 Energy Harvesting & Maintenance Free Power concept의 구현에 관심이 집중되고 있으며 별도의 통제 인력이 불필요한 스마트 하이웨이와 같은 생활환경의 변화에 대처하고 산업기술

경쟁력을 확보함이 시급함

다. 사회문화적 측면

○ 유비쿼터스가 21세기 정보통신 분야의 최대 화두로 떠오르고 있는 가운데 각종 센서에서 수집한 정보를 무선으로 실시간 관리할 수 있는 USN(Ubiquitous Sensor Network)은 미래 유비쿼터스 사회의 핵심이며 사회•경제적 기본 인프라로 주목받고 있음

○ 유비쿼터스 신기술을 산업에 조기 적용하기 위한 정부와 민간차원의 노력이 한창 진행 중이며, 특히 정부는 국민소득 2만 달러 조기 달성을 목표로 지난 2004년 3월 수립한 IT839 전략 아래 8대 서비스와 9대 신성장동력에 속하는 USN 기술의 적용을 위해 다각도의 노력을 하고 있음

○ 이에 USN 분야의 큰 고민거리로 인식되고 있는 전력문제에 대한 해결방안을 마련함으로써 보다 많은 사업 분야에 적용할 수 있는 핵심요소기술 개발이 필요

○ 또한 전력문제로 인해 적용에 한계를 극복하여 다양한 분야에 USN기술 및 타 기술 분야에 적용하여 유비쿼터스 사회 구축이 기반기술로써의 활용이 기대됨

○ Energy Harvesting에 관한 요소기술의 개발과 산업적 응용에 대한 세계 각국의 경쟁이 치열하게 전개되고 있는 상황에서 우리나라 IT산업 영역확대를 위한 기반기술이 될 수 있는 Energy Harvesting 요소기술의 확보와 산업적 응용의 시도가 요망됨

○ 일상생활에서의 사용되지 않고 버려지는 다음과 같은 에너지원로부터 전력을 추출하는 에너지 수확(Energy Harvesting)기술 개발이 절실히 요구

－사람의 움직임에 의한 압력 및 체온

－도로, 건물, 교량 등과 같은 구조물의 진동

－자동차 및 비행기, 선박 등 운송기의 움직임에 의한 압력

－가전제품이나 각종 기계장치의 열원

－지열 및 태양광 등

○ 현재 진동에너지를 전기에너지로 변환시키는 개념의 친환경/청정에너지 시스템에

대한연구 진행사항은 현재 국내에 보고 된 바 없으며, 새로운 발전장치의 개발은 신규시장 선점 뿐 만 아니라 부품의 해외의존에 따른 개발지연과 설계의 부품의존성을 극복하기 위한 필요로서도 그 개발이 시급함

○ USN 환경이 대두됨에 따라 환경적인 측면에서 Energy Harvesting & Maintenance Free Power concept의 구현에 관심이 집중되고 있음. 이러한 생활환경의 변화에 대처하고 기술경쟁력을 확보하기 위하여 유해한 배터리 기반의 독립전원 관리의 한계를 극복하고 친환경형 자가발전 개념의 기술을 개발하는 것이 필요함

○ 특히 U-센서네트워크 기술의 보급으로 인하여 자체전원을 스스로 공급할 수 있으며, 또한 유지보수가 필요 없는(maintenance free) 에너지 공급원에 대한 연구가 절실한 실정임

○ 또한 진동에너지를 이용한 자가 발전 에너지 개발은 건전지 폐기물을 줄임일 수 있으며 이에 따른 반영구적 에너지 절감 및 수은, 납, 망간 등에 의한 중금속 오염의 가능성을 제함과 동시에 새로운 개념의 에너지 발전장치의 핵심 요소기술을 확보함으로써 국가 에너지 산업 경쟁력을 증진시킬 수 있음

○ 자체전원을 스스로 공급할 수 있으며, 유지보수가 필요 없는(maintenance free) 에너지 공급원에 대한 연구는 에너지 위기 상황이 글로벌 차원으로 확대되어 가는 현 시점에서 더욱 중요성이 부각되며, 신개념/친환경의 대체 에너지를 개발하고자 하는 현 정부의 정책과 부합

○ 도로용 압전 자가발전은 기존의 소요전력을 획기적으로 줄일 수 있으며 대표적인 사회기반 산업으로 도로개발 산업이 압전 자가발전 시스템과 접목되면 이의 개발을 위해 막대한 신규 일자리 창출은 물론 각종 전자산업, 바이오산업, 항공산업, 자동차 산업으로도 파급효과가 막대하여 새로운 산업 패러다임을 창출이 가능

○ 새로운 개념의 전력공급 장치로서 부피 당 전력밀도가 획기적으로 개선된 배터리나 연료전지를 사용하는 해결책이 있으나 현재의 크기와 성능, 그리고 기술개발 속도로 보아 전원공급 장치에 적용하는 것은 요원

제2장 국내외 기술개발 현황

제 1 절 국내·외 관련기술 및 산업동향

□ ‘에너지 하베스팅’은 주위의 환경으로부터 에너지를 수확(Harvest)하여 전력으로 변환하는 기술로, 일본에서는 ‘환경발전(環境発電)’으로도 불리고 있음

- 향후 ‘에너지 하베스팅’ 기술은 스마트 그리드, 물류 관리 분야에서 각종 환경 정보 측정, 에너지 절약 및 제어를 위한 환경 임베디드 센서 네트워크의 전원에 적용이 기대되고 있음

- 또한 자동차의 안전과 연비 향상을 위한 타이어 공기압 센서 (TPMS : Tire Pressure Monitoring System)용 전원, 웨어러블 장치의 전원, 심장 페이스 메이커 등의 인체 내부 장비 및 콘택트 렌즈형 센서의 전원 등에도 적용이 기대

- 서양에서는 다양한 정책적 지원에 힘입어 완성도 높은 에너지 하베스팅 제품을 개발, 판매하는 벤처 기업이 많이 있으며, 기업 간의 연계 및 표준화가 빠르게 진행되고 있고 일본에도 서양 제품의 유입이 시작되고 있음

- 반면 일본에서는 지금까지는 연구 개발에 종사하는 대학이나 기업이 적은 편으로, 현재 프로토[1] 제품이 발표되는 수준임

· 일본에서는 무선 전력 전송 분야의 태양 발전 연구 및 RFID의 개발에 우위가 있으며 진동 발전 분야에도 일렉트릭 발전 기술력, 태양 전지 기술력도 높은 편으로, 개별 기업이 우수한 요소 기술을 보유

· 그럼에도 불구하고 에너지 하베스팅의 상품화 및 실용화를 향한 움직임은 아직 활발하지 않은 상태로, 일부 전문가는 일본이 서양에 비해 10년 이상 뒤쳐져 있다고 평가

1) 논증 목적이나 신기술기구의 검증 및 시제품의 문제점 파악을 위한 시제품

– 따라서 개별 요소 기술의 잠재력을 가지고 있는 일본 기업들이 국제적으로 경쟁력있는 에너지 하베스팅 기업으로 도약하기 위해 관련 기업을 중심으로 정보 공유, 공동 활동 추진, 에너지 하베스팅 기술의 조기 사업화를 추진하는 "에너지 하베스팅 컨소시움"이 설립되는 등, 에너지 하베스팅 시장을 활성화하기 위한 각계의 노력이 이어지고 있음

· 同 컨소시움에는 현재 아다만도(アダマンド) 공업 주식회사, 시티즌(シチズン) 시계 주식회사, 토요타 중앙(豊田中央) 연구소, 파나소닉(PANASONIC) 일렉트로닉 디바이스 주식회사, 후지쯔(富士通) 연구소, 후지(富士) 필름 주식회사, 브라더(ブラザー)공업 주식회사, 무라타(村田) 제작소, 증권회사 야마타케(山武), 루네사스(ルネサス) 전자 주식회사, 롬(ローム) 주식회사, 주식회사 NTT 데이터 경영 연구소(사무국)등이 참가 중

· 이 컨소시움은 활동 범위로써 서양의 최첨단 정보 수집 분석, 컨소시움 구성원 간의 연계에 의한 시범 사업의 창출, 시장 창조를 위한 정부 정책 제언과 정보 발신, 국내외의 우수한 기술을 보유한 기업과 연계, 표준화 검토 등을 상정

– 일본의 유비 쿼터스 네트워크 대상 에너지 변환장치 시장 역시 아직 맹아기로 시장이 자율적으로 발전하는 단계에 와 있지는 않으나, 서양과 마찬가지로 정부 주도의 기술 개발, 제품화가 진행되고 있음

· 일본 정부는 "제 3기 과학 기술 기본 계획"의 정책 목표 중 하나로, 2010년까지 100억 개 이상의 단말기 (전자 태그, 센서, 정보 가전 등)의 협조 제어에 의해, 모두가 안심하고 이용할 수있는 유비 쿼터스 환경을 제공한다고 명시

□ 한편, 현재 일본 내에서는 진동 발전 제품화의 움직임이 활발화하고 있음

– 진동 발전은 치탄산 지르콘산염나 치탄산바륨, 치탄산염 등의 압전 소자를 사용한 압전 발전 방식 외에, 최근에는 전자유도식이나 정전식에 의한 연구도 진행되고 있음
· 전자유도식은 전기자나 영구자석의 상호 운동을 전력으로 변환하는 것으로, 조명등

스위치에 이 발전기를 도입해 배선이 불필요한 제품이 발매되고 있음

· 정전식은 반영구적인 전하를 가지는 절연체를 사용한 것으로, 이것을 붙인 전극 기판과 금속전극 기판이 평행하게 맞닿아 있는 구조체로 만들어지며, 이것에 진동이 더해 기판이 이동하여 기전력이 발생하는 구조임

· 이 정전식의 진동발전은 비교적 최근에 개발된 기술로, 출력 전력은 작지만 내구성이 우수하여 소형화하기 쉬운 특징이 있으며 일본 국내에서는 소형 전원 디바이스로써의 개발이 진행되고 있음

· 현재 이러한 진동 발전은 아직 개발 단계의 기술로써, 일본 내에서도 본격적인 시장은 형성되지 않은 것으로 알려짐

– 전자 유도식, 정전식 외에 압전 소자를 이용한 압전 발전 제품의 상용화도 일본에서 가속화되고 있으며 현재로써는 그 규모가 미미하지만, 제품 상용화가 이어짐에 따라 향후 시장 규모가 급속히 확대할 것으로 예상

· 걸으면 발전되는 발전 마루 등의 사업화가 일부 시작되었으며, 1-2년 후에는 압전 발전 장치를 내장한 배터리 리스 리모콘 단말기가 상용화 될 예정으로, 이를 계기로 압전 발전 관련 시장이 본격적으로 성립될 가능성이 높아지고 있음

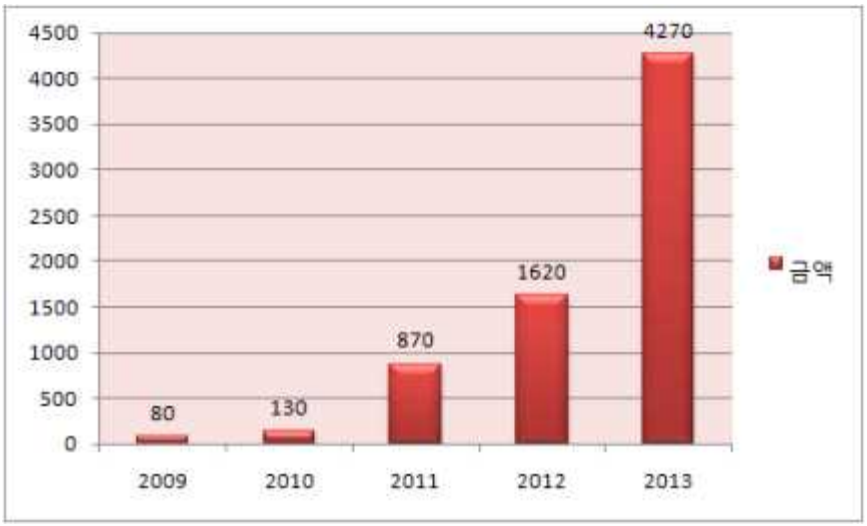
· 현재 압전 발전으로 상용화가 되거나 혹은 상용화가 임박한 것으로는 압서 언급한 발전마루와 리모콘 단말기 외에 발광 부채, 발광 낚시바늘(미끼), 발광 지팡이, 임팩트 밧데리 등이 있지만, 시장 규모 자체는 매우 소규모로 미미한 편임

· 배터리 리스 리모콘과 같이 압전 발전의 특징을 잘 살릴 수 있는 제품은 비용적인 메리트가 있는데다가 친환경적인 특성이 잘 갖추어져 있어 향후 압전 발전의 일본 시장 규모는 급속히 확대할 것으로 예상되고 있음

<표2-1> 압전 발전 일본 국내시장 규모 예측

단위 : 백 만엔

	2009	2010(예측)	2011년(예측)	2012년(예측)	2013년(예측)
금액	80	130	870	1,620	4,270



출처 : 일본 유력 시장 조사 전문업체 '야노경제연구소' 통계

<그림 2-1>압전 발전 일본 국내시장 규모 예측

□ 진동발전, 압전 발전을 이용한 각종 에코 발전 기술 수탁 사업을 진행 중인 일본 기업으로는 **일본 음력발전(音力発電)社**가 대표적

- 이 회사의 대표적인 압전 발전 제품으로는 발전마루(発電床)가 있으며, 내부 친환경 시설용, 도로 및 대중교통 시설용, 친환경 이벤트용 등으로 임대되고 있음

□ 내부 친환경 시설용

- 同사는 2008년 7월 코쿠요퍼니쳐(コクヨファニチャー)社의 수탁 연구로서 가스미가세키 빌딩의 **코쿠요퍼니쳐 본사**에 제자리 걸음을 하면 전기를 발생시키는 발전마루 시스템을 도입

· 발전마루로 출력된 전기로 발광(發光)하는 녹색 다이오드 화살표의 비상 계단 유도

등이 설치되어 있으며 발전량을 표시하는 디스플레이도 설치되있음




<그림 2-2> 코쿠요퍼니쳐 본사의 계단 피난 유도등과 발전량 표시 디스플레이

· 코쿠요퍼니쳐(コクヨファニチャー)社 관계자에 따르면, 음력발전(音力発電)社의 발전마루는 전기를 소비하는 장소에 지나지 않았던 사무실에서 전기를 생산할 수 있다는 점이 큰 매력으로, 타사로부터도 문의 상담 연락을 받고 있으며, 장래 사무실 내에서 전기의 자산자소(自産自消) 가능성도 점치고 있어 기대 중 “이라고 설명

– 또한 2009년 4월 일본 **후지사와시 시청(藤沢市役所)** 청사 출입구에는 "후지사와 발전 게이트"가 설치

·"후지사와 발전 게이트"는 체중 60kg 정도의 사람이 1초에 2보로 0.1– 0.3W 발전, 36개의 LED를 녹색으로 발광키는 것이 가능한 발전마루 32장이 LED 전구 1,800개 및 전자 종이 1장에 연결되어 LED와 전자 종이에 의해 매일 마다의 발전량이 표시됨

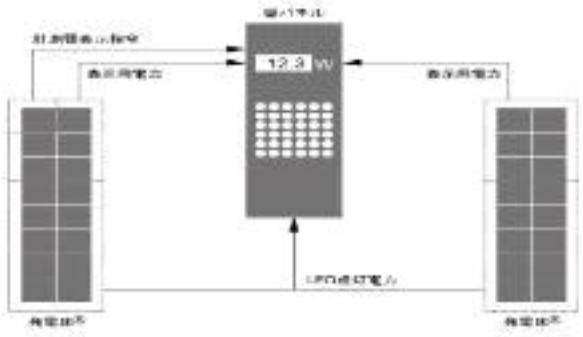
· 쇼난 후지사와시니어 네트워크 관계자의 기사에 따르면, 후지사와시 환경 관리과에서 음력발전(音力発電)社로 발전 게이트 설치를 타진하였고, 음력발전(音力発電)社에서 “지역 활성화 협의회(地域活性化協議会)”에 상담한 결과, “지역 활성화 협의회”에서 LED 및 전자 종이 디스플레이 제작에 유능한 기업과의 협업을 제안하였음

· 이후 지역 활성화 협의회(地域活性化協議会), 음력발전(音力発電)社가 산코전기(賛光

電器)-LED조명 제작-, "활판 인쇄(凸版印刷株式会社)", "시티즌 TCI(シチズンTCI株式会社)"-전자 종이 디스플레이-를 시찰하여 협업관계를 형성하고, "후지사와 발전 게이트 프로젝트"가 발족되면서 후지사와 발전 게이트가 탄생하게 되었음







<그림 2-3> 후지사와 시청 발전 게이트와 발전 경로 도식화

- 한편, 2010년 4월 **"신 에노시마 수족관(新江ノ島水族館)"** 내 "사가미의 바다 영역" 입구에 신설된 "생명의 기념비"에도 발전마루가 도입되었음

· 파란색과 녹색 LED로 새 생명의 탄생을 표현하는 이 기념물은 신 에노시마 수족관(新江ノ島水族館)에 입장하는 고객의 제자리걸음 압력 에너지를 전기로 바꾸어 기념물의 LED가 점등하는 구조임




<그림 2-4> 신 에노시마 수족관 발전지면 생명의 기념비

- 2010년 12월 2일, 케이오(慶應) 전철은 **케이오 세이세키 사쿠라가오카 상점가**의 리뉴얼에 맞추어 타마 지구 최초로 발전마루를 도입

· 이 쇼핑센터는 1986년 개업하였으며, 현재 A 관 ~ C 관까지 케이오 백화점 등 약 140 점포가 출점하고 있음

· 同 쇼핑센터에서는 2006년에 태양광 발전 시스템을, 2007년에는 벽면 녹화(壁面緑化)를 도입하는 등 환경 보전 대책을 적극 추진하고 있음

· 발전마루의 경우 B관 5층 패션 전문 백화점의 리뉴얼에 맞추어 통로의 기둥 부분에 도입

· 컨셉은 "환경에 대해 보고, 만지고, 생각하는 장소"로, 발전마루 위에서 점프를 하면 기둥에 설치된 모니터의 화면이 바뀌는데 화면으로는 게이오 전철의 모습과 지역 상점위원회를 통해 모은 어린이들이 그린 그림이 상영됨




<그림 2-5> 케이오 세이세키 사쿠라가오카에 설치된 발전마루

– 이와 유사한 사래로 일본 신미사토 지역의 복합상업시설인 **라라포트 신미사토(らら ぽーと新三郷)**의 에코 가든에는 태양열 패널이 있는 풍력 발전 시스템과 발전마루, 발전량이 실시간으로 표시되는 패널 등 친환경 시설을 설치




<그림 2-6> 라라포트 신미사토 에코가든 내 발전지면과 풍차

· 또한 라라포트 신미사토몰 내부에도 발전마루를 체험할 수있는 명소를 운영하고 있음. 엔클로즈드몰 내의 종합 안내 패널 바닥의 발전마루를 밟는 것으로 안내판에서 지도를 표시한다던지, 푸드 코트 내에 있는 어린이 놀이터에는 발전마루가 설치된 바닥에 쓰여진 지역 이름을 밟는 것으로 벽 위의 일본 지도를 발광시키는 놀이 시설을 설치하고 있음




<그림 2-7> 종합 안내 사인과 어린이 놀이시설

□ 도로 및 대중교통 시설용

- 2007년 12월 수도 고속도로(首都高速道路)社에서는 달리는 자동차의 진동 에너지를 전기 에너지로 변환하는 압전소자를 **오색벚꽃(五色桜－고시키자쿠라)대교**(아다치구)에 설치하고 현재 교량 조명에 필요한 전력의 일부를 조달하고 있음

· 수도고속도로社는 도쿄 아다치 구로부터 중앙 순환선 오색벚꽃 대교의 조명을 랜드마크로 만들어달라는 요청이 있었고, 처음에는 일본 내 유명 교량인 레인보우 브릿지와 베이 브릿지와 같은 대형 조명을 계획하고 있었음

· 계획 도중 음력발전(音力発電)社에서 수도고속도로社에 발전마루를 직접 제안해 왔음. 그러나 발전마루는 아스팔트의 유지 보수 등 기술적인 문제가 있었기 때문에 토목 회사 쪽에서 포기했으며, 그리하여 발전마루와 유사한 원리를 가진 진동 발전기를 오색벚꽃 대교에서 시험 운용하게 되었음

· 조명기구는 HID 램프 등으로 대표되는 기존의 조명기구에 비해 전력 소모가 작고, 발광 수명이 더 긴 LED를 채용하여 수명주기 비용을 줄임으로써 친환경적이면서 아름다운 조명 디자인을 실현

· 上記의 발전기 사진 중 흰 부분이 압전 소자로 하나의 장비 안에 압전 소자 4개를 늘어놓은 평판 10 개를 장착

· 진동 발전 장치 내부에 설치하는 압전 소자 4개를 늘어놓은 평판 1장으로는 0.01W를 생산할 수 있으며, 장치 1개 내에는 평판 10개를 통해 0.1W를 출력 가능

· 오색벚꽃 대교 전체의 조명을 밝히기 위해서는 1,500W(cf. 레인보우 브릿지는 조명 하나에 1,000W 필요)가 필요하며, 진동 발전으로 조달할 수 있는 전력은 약 0.03%, 99.7%는 일반 전원에서 얻고 있다고 알려짐

· 압전 소자는 모든 소자를 동일한 방향으로 배치하여 진동하기 쉬운 평면 구조로 정렬, 장비 유닛은 교량 내에서도 진동하기 쉬운 장소를 골라 설치했으며, 압전 소자의 종류를 바꾸면서 발전량의 향상을 시도하고 있음

· 그러나 진동이 쉽다는 것에 대해 안전 문제를 염려하는 경우도 있어, 진동발전 홍보 시 교량의 구조적인 "진동"은 아니며 진동을 이용했다고 해도 완만한 작은 진동으로 발전하고 있음을 알리며 주의할 필요가 있었음

· 현재 진동발전만으로는 출력이 부족하기 때문에 발전 능력 향상 방법, 압전 소자의 나열 방법을 궁리하는 등 여러 가지를 시도하는 실험단계

이며, 또한 어느 정도의 교통량으로 발전량이 많아지는 지 등에 대한 조사도 진행시켜 나갈 예정임(오색벚꽃 대교의 교통량은 매일 6만 대 정도이며 수도 고속도로 전체적으로는 100만 대에 이름)

· 현재 다리에는 진동발전기 10개가 설치되었으며 앞으로 수시 추가 도입 예정임(향후 50개를 설치하고 진동 발전기에서 얻은 전력을 100% 이용한 라이트를 실현 시키는 것이 목표





<그림 2-8> 수도고속도로사의 오색벚꽃 대교 조명과 진동발전기

- 한편, 2008년 12월 5일부터 20일간 시부야구의 주최아래 시부야 하치 동상 앞 광장에서는 발전마루를 이용한 청정 에너지 실증 실험이 이루어졌음

· 코쿠요社, 구글社, 일본 어도비 시스템즈社 등의 협력아래 음력발전(音力発電)社가 개발한 발전마루를 시부야역 하치(강아지) 동상 앞 광장 내 인도에 부설하고 발전량 등을 측정하였으며, 발전한 전력은 에코 조명인 LED을 밝히는데 사용하였음

· 인도에 부설한 발전마루는 “종래형 발전마루”로, 행인의 체중이 60 ㎏인 경우 1초에 2보 밟으면 0.1-0.3W 발전이 가능한 제품으며 45.5 × 45.5 ㎝ 크기 4 장를 부설하였음

· 인도 외에 발전량을 약 10 배로 증가시킨(2-3.5W) “신형 발전마루(15 × 20 ㎝)”와 발전량을 표시하는 전광판을 설치한 특설부스도 함께 마련



<그림 2-9> 시부야역 하치 동상 앞에 인도에 묻혀있는 발전 마루와 특설 발전마루 부스

· 한편, 인도에 부설된 발전마루 4장 중 1 장만을 발전량 측정 전용 발전마루로 이용하였음. 발전량 측정 전문 회로로 1000분의 1초 단위로 발전량을 계측하였으며, 현장에 설치된 로컬 서버로 집계, 시간 단위로 분석하였음

· 시부야 하치 동상 앞 광장에는 1일 약 70-90만 명이 통행하기 때문에 인도에 발전마루를 부설할 경우 40W짜리 형광등 400개를 24시간 점등할 수 있는 발전량의 취득이 가능

· 만약 이 실험이 성공하여 교통량 세계 1위인 시부야역 앞 스크램블 교차로에 약 4,000장의 발전마루를 설치하면 일반 가정 40가구의 전기 사용량 분인 450kW의 발전이 가능할 것으로 예측되고 있음

· 다만, 실험 도중 발생한 내구성의 문제는 아직도 발전의 여지를 남겨놓았음. 실험 시작 후 약 3 일 뒤인 12월 7일 빗물 때문에 발전마루에 물이 침식하고 누전을 일

으켰음

· 또한 발전 능력이 현저하게 저하하여 12월 7일 이후 16일간 총 발전량은 시작으로부터 3일 간 정도의 발전량과 거의 동일한 것으로 집계되었으며, 발전 시스템 전체 가동 시간 492 시간(정상 가동 시간 57 시간)을 기록하였음

· 옥외 실험이기 때문에 방수 가공을 실시하고 있었던 발전마루이지만, 도로 공사 시 아스팔트 온도(700도)에 노출되어 코팅이 녹아 버린 것이 빗물 침투 원인이 된 것으로 추측되고 있음

– 최근 몇 년 동안 일본에서는 독립 행정법인 신에너지 산업기술 종합개발(新エネルギー産業技術総合開発)기구 및 JR 동일본 컨설턴트(東日本)社를 중심으로 일본 지하철 역 내에서의 환경 보전 및 에너지 절약화를 위해 발전마루를 이용한 실증 실험을 수행

· 그 일환으로 JR 동일본[2]은 2008년 12월 10일부터 발전마루를 사용한 실증 실험을 **JR 도쿄역**에서 2개월 동안 실시하였음

· 실증 실험은 도쿄역 북쪽 출구 개찰구 및 개찰구 계단(면적 약 25 ㎡)에서 이루어졌음

· 2008년 1-3월에 실시한 실험에서 1명이 개찰구를 통과할 시의 발전량은 약 1W였으며 12월에는 10배인 약 10W초로 인상, 시험 종료 시의 발전량도 개시 당시와 비교해 9% 정도까지 지속시키는 것을 목표로 삼고 실험에 임하였음

· 사용된 압전 소자는 1㎡ 당 600개로 약 90㎡의 면적에 발전마루를 부설하였으며 1일당 500kW 초(100 W의 전구가 약 80분 점등하는 전력량)의 발전량을 보일 것으로 예측

2)일본 JR 그룹의 여객 철도 회사 가운데 하나

· 이 실험에서는 압전소자를 제조, 판매하는 일본 대기업 쿄세라(京セラ)가 음력발전(音力発電)社와 공동으로 발전마루를 위해 특별히 개발한 압전 소자를 사용(출처 : http://innovationse.jp/hokorebito/download/pdf/018.pdf)

· 12월에 행해진 실증 실험에서는 압전 소자의 고밀도화를 도모해, 과거 실험과 비교하여 축전 장치를 점검하고 발전 효율이 향상되었는지를 확인. 또한 압전 소자를 지지하는 내부 구조, 보호재(고무 매트) 등의 내구성 향상에 대한 확인도 실시하였음

· 그 결과, 주말을 제외한 평일의 발전량은 500kW 초를 이상을 달성하고 주말과 같은 인파가 많은 시기에는 766kW 초를 기록한 것으로 나타남

· 이러한 실험 결과를 통해 Suica[3]의 운영 체제 전력(게이트의 개폐 등, 기계 부분의 구동 전력은 제외)정도는 발전마루를 통해 충당할 수 있다는 사실이 입증되었음

· 참고로, 2006년 10월 16일부터 약 2달간 도쿄역 마루노우치 북쪽 출입구에서 이루어진 실증 실험에서는 약 6㎡의 구역에 설치, 1일 최대 약 1만 Ws(100W의 전구가 100초 점등하는 전력량, 1인 통과 당 0.1W 발생)의 발전량을 보였으며 실험 3주째(약 80만 명의 통과)부터 내구성 저하에 수반하는 발전량의 감소를 보였음

3) JR 동일본이 도쿄 근교 구간에 처음으로 도입한, 소니의 비접촉형 IC 카드인 FeliCa의 기술을 이용한 교통 카드



<그림 2-10> 도쿄역 발전마루 실증 실험

- 한편, 2010년 10월 25일 **일본도로(日本道路)社**는 음력발전(音力発電)社과 공동으로 포장 매설 형식 발전마루를 개발하였음. 두께 3.5㎝의 발전 장치를 매설하고 포장 위에 차량이 통과하면 압전 소자가 변형, 발전하는 제품으로 개발된 제품명은 **"레인보우에코플로어"** 임

· 발전 장치는 음력발전(音力発電)社가 개발했으며 일본도로(日本道路)社가 도로 포장을 설치하는 것을 전제로 3년 전에 공동 개발에 착수하였음

· 개발된 제품은 일본 도로 기술 연구소에서 실증 실험을 하여 발전마루의 발전량과 과거 문제점으로 지적되던 발전마루의 내구성 및 내수성을 확인

· 기술 연구소에서 실험적으로 설치한 발전마루는 전선으로 LED 조명(8 개)이 포함된 안전 표지판(차량이 통과하면 좌측에 있는 출차주의 표시가 점등)과 연결되었으며 제작 비용은 1유닛 당 20만 엔이 소요되었던 것으로 알려짐



<그림 2-11> 실증실험을 위해 부설한 발전마루. 차량이 통과하면 좌측에 있는 출차주의 표시가 점등

· 발전량과 관련해서는 차량 무게와 압전 소자의 개수에 따라 발전량이 증감하나, 실증실험에서의 발전량은 대형 차량 기준으로 1초당 4.3W, 소형 차량은 3.8W를 발전할 수 있는 것으로 나타남. 예를 들면 100m 구간에 발전마루를 깔고 그곳에 대형 차량이 통과하면 총 3만 1,000 W/s를 생산하는 셈임

· 한편, 발전 장치는 물에 약하기 때문에 장치 주위에 침투성 수지 포장을 시공, 장비 옆에는 실링재를 사용하여 방수 기능을 높였으며 내구성역시 확보하였음

· 향후 장치 구조 등의 검토를 계속 진행해, 내구성과 내수성 향상을 도모함과 동시에 축전 기술과의 기술 융합을 목표로 하고 있음. 현재는 순간적인 발전에 머무르고 있지만 축전 장치와 함께 사용하면 전력의 안정적 공급도 가능하게 될 것으로 예상되며, 빠르면 1년 후에도 실용화 단계에 들어갈 것으로 예측

· 이 “레인보우에코플로어”는 교통량이 많은 도시와 전기가 흐르지 않는 산 속에 수요를 상정, 해당 지역의 안내 표지판 등 소형 전원 장치 및 센서 등의 전력을 충당할 수 있을 것으로 보고 있음

□ 친환경 이벤트용

- 2010년 3월 3일에는 스포츠 관전 경기장에 발전마루가 처음으로 도입되었음

· J리그 축구팀인 빗셀 고베를 운영하는 크림존 풋볼클럽과 일본 제 1통신판매 사이트 라쿠텐(樂天)社은, **빗셀 고베 홈 경기장** 내에 발전마루 시스템을 이용하여 서포터의 응원을 전기로 바꾸어 경기 중에 사용하는 "라쿠텐 × 빗셀 고베 에코프로젝트"를 시작한다고 발표

· 발전마루 시스템은 JR 동일본 컨설팅(東日本コンサルティング)이 개발한 것으로 알려졌으나, 사실상 도쿄역 실증 당시 제작한 발전마루와 같은 타입인 음력발전(音力発電)社의 제품인 것으로 추측



<그림 2-12> 풋볼클럽 빗셀 고베 경기장 내 설치된 발전마루

· 이 발전 마루의 발전량은 경기장에 있는 패널에 표시하고 있으며 2010년 3월 7일 교토 상가 FC전에서는 8,400 W/s(12석 설치, 경기 종료 후의 발전은 2,320W/s), 2010년 4월 11일 몬테디오 야마가타전에서 5,380 W/s, 2010년 5월 8일 주빌로 이와타전은 전에서 9,680 W/s의 발전량을 보였던 것으로 알려짐 (경기 시간 약 2시간)

- 한편, 2010년 11월 미야기현 시바타시 **센다이대학**에서는 운동을 하면서 전력을 생산하는 실험을 진행

· 발전마루를 인조 잔디 아래에 깔고 출력된 전기를 전광판 및 조명에 사용하는 시험으로, 학교 측에서는 스포츠 예산이 삭감되는 동안 자신의 다리로 전기세를 아껴보겠다는 목표를 세우고 실험을 진행, 대학 축제 10월 당시 학생들이 폭 2m, 길

이 2m의 인조 잔디 위에서 축구 연습을 했음

· 인조 잔디 아래에 발전마루(50cm 정사각형) 2장을 깔고 전선으로 연결, 연결된 전광판에 "SPORTS FOR ALL"이라는 문자가 점등되는 구조로, 사람이 밟는 순간 0.1-0.3W의 발전량이 있음. 이 발전마루 역시 음력발전(音力発電)社가 개발

· 대학 관계자는 예산 삭감으로 인해 스포츠계의 활동이 줄어드는 현상을 우려하면서 "친환경적인 발전으로 전기 요금을 절약하고, 그 만큼을 동아리 원정 비용 등에 충당하도록 하고싶다"고 인터뷰



<그림 2-13> 발전마루"이 아래에 깔린 인조 잔디에서 풋살을 하며, 발전 데모를하는 학생

- 한편, 재미와 환경에 대한 관심을 야기하는 행사의 일환으로, 발전마루를 응용한 게임기인 **'발전 경쟁 게임기'**가 개발되어 각종 축제나 행사 등에 설치되어 방문객들을 끌고 있음

· 2010년 9월 11일-12일 열린 일본의 축제 행사인 커밍파라다이스에서는 이벤트성으로 발전 경쟁 게임기를 전시



<그림 2-14> 커밍파라다이스 축제 당시 발전 경쟁 게임기

· 후지사와시 쇼난 다이에서 열린 일루미네이션 점등식에서도 이 발전경쟁 게임기가 설치되어 30초 동안의 발전량을 겨루는 게임, 일정한 발전량에 도달할 때까지의 시간을 겨루는 게임 등을 체험할 기회를 가질 수 있었음



<그림 2-15> 후지사와 쇼난 다이 일루미네이션 점등식 당시 발전 경쟁 게임기

- 2009년 말 일본 **오다큐 백화점(小田急百貨店)**은 신주쿠 본점 2층에 "라이트는 모두의 힘으로!"를 테마로 음력발전(音力発電)社가 개발한 발전마루를 설치하고, 트리의 전구를 점등을 하는 “X'maStep TREE (크리스마스텝 트리)”를 12월 11일부터 25일까지 설치

· 트리의 크기는 높이 약 2.5m, 폭 약 1.5m로, 주변에는 50cm의 정사각형 형태의 발전마루가 5개 설치되어 있음. 발전마루 1장당 200개의 LED전구가 연결되어 있으며, 5장을 동시에 밟으면, 총 1,000개의 LED 전구가 켜짐

· 오다큐 백화점(小田急百貨店)은 해당 이벤트의 취재 기사를 통해 “이번 조명 이벤트를 통해 크리스마스 분위기를 즐길 수 있도록 하는 동시에, 친환경 의식 향상 고취에 기여하고 싶다” 고 밝힘



<그림 2-16> X'maStep TREE와 발전마루

– 또한 발전지면 기념비를 설치한 **신 에노시마 수족관(新江ノ島水族館)**에서는 한시적인 이벤트로 2010년 크리스마스를 겨냥하여 전기뱀장어와 발전마루를 이용하여 크리스마스 장식을 설치

· 同 수족관에서는 남미에 서식하는 전기 뱀장어와 발전 마루의 발전 능력을 이용한 크리스마스 트리를 설치하였음

· 수족관 관계자에 의하면, 전기뱀장어의 근육 세포가 최대 600 ~ 800 볼트, 1 암페어의 강력한 전기를 발생시켜 이것을 이용하여 트리를 장식하는 백색 발광 다이오드 (LED) 400개에 전력을 공급하며, 발전마루를 통해서도 트리의 파란색 LED 200 개에 전기를 공급하고 있음

· 또한 신장 약 180 센치의 전동 산타클로스 인형 장식물도 등장, 발전마루를 밟으면 경쾌한 춤과 노래를 선보였음




<그림 2-17> 신 에노시마 수족관 생명의 기념비와 크리스마스 기념 장식

○ Energy Harvesting은 주위에 산재해 있는 에너지를 수집해서 사용할 수 있는 전기 에너지로 변환시키는 과정을 말함

○ 최근 무선 기술(wireless technology) 및 MEMS와 같은 저전력 전자기술(low-power electronics)의 발전과 더불어 휴대용 전자기기 및 무선 계측기 등에 대한 수요가 증가하고 있으며, 이러한 장비들은 대부분 휴대할 수 있는 소형 장비로서 자체 전력공급기를 가지고 있음

○ 대부분의 장비들은 전력공급기로서 재래식 전지를 이용하고 있으나 사용수명이 짧다는 것이 문제임

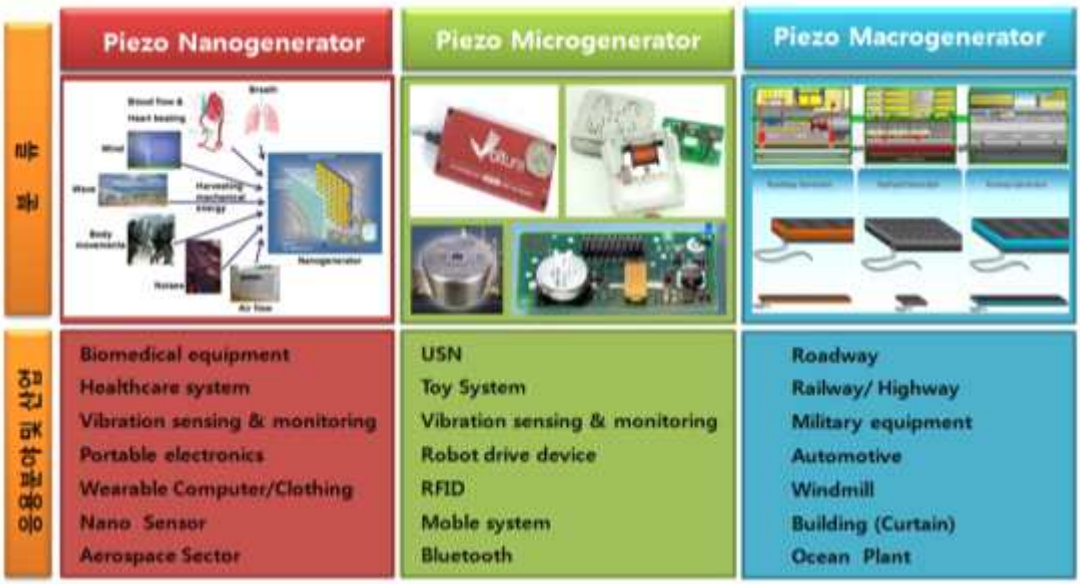
○ 따라서 원하는 기능을 유지하기 위해서는 지속적으로 충전을 하거나 전지를 교체해야 하며, 이러한 작업은 매우 비효율적이며 불가능한 경우도 있음

<표 2-2> Energy Harvesting에 활용될 수 있는 다양한 에너지원

Power source	Power (μ W)/cm³	Energy (Joules)/cm³	Power (μ W)/cm³/yr	Secondary storage needed?	Voltage regulation?	Commercially available?
Primary battery	N/A	2,880	90	No	No	Yes
Secondary battery	N/A	1,080	34	N/A	N/A	Yes
Micro fuel cell	N/A	3,500	110	Maybe	Maybe	No
Ultra capacitor	N/A	50-100	1.6-3.2	No	Yes	Yes
Heat engine	1×106	3,346	106	Yes	Yes	No
Radioactive(⁶³Ni)	0.52	1,640	0.52	Yes	Yes	No
Solar(outside)	15,000*	N/A	N/A	Usually	Maybe	Yes
Solar(inside)	10*	N/A	N/A	Usually	Maybe	Yes
Temperature	40*†	N/A	N/A	Usually	Maybe	Soon
Human power	330	N/A	N/A	Yes	Yes	No
Air flow	380‡	N/A	N/A	Yes	Yes	No
Pressure variation	17*	N/A	N/A	Yes	Yes	No
Vibrations	375	N/A	N/A	Yes	Yes	No

★ Measured in power per square centimeter, rather than power per cubic centimeter.
† Demonstrated from a 5℃ temperature differential.
‡ Assumes an air velocity of 5m/s and 5 percent conversion efficiency.
✣ Based on 1cm³ closed volume of helium undergoing a 10℃ change once a day.

○ 전지를 직접 대체할 수 있는 일종의 물리적 에너지 자가 발전기 및 저장기로서 요구되는 에너지에 따라 매크로, 마이크로, 나노에너지 하베스팅로 구분할 수 있으며, 능동형 RFID센서테그 전원소자, 유비쿼터스 센서노드(USN)용 전원, 스마트 카드용 전원, 휴대폰용 자가베터리, 인체삽입형 전원, 자동차 센서 구동장치, 도로, 철도용 자가 충전시스템, wearable 컴퓨터용 전원소자, 휴먼배터리 등 전 산업에 활용이 가능함



<그림 2-18> 진동 에너지 하베스팅 산업분석

1. 국외 관련기술 및 산업동향

○ 이 분야에서 주도적으로 연구 활동을 하고 있는 팀을 살펴보면 아래와 같음

- Mechanical Engineering, Univ. of California at Berkeley (미국)
  - Roundy 교수(현재 Australian National Univ.)를 중심으로 활발하게 연구를 진행 중
  - 이론적 접근뿐 아니라 실험적인 면에서도 좋은 결과를 발표
- Center for Acoustics & Vibration, Pennsylvania State Univ. (미국)
  - 항공공학과 교수인 Lesieutre, 전기공학과 교수 Ottman과 Hofmann이 한 팀이 되어서 연구를 진행
  - Energy Harvesting 기술과 관련된 회로 측면에서 좋은 결과를 발표
- Center for Intelligent Material Systems and Structures, Virginia Polytechnic Institute and State Univ.(미국)
  - Inman 교수와 Sodano 박사를 중심으로 연구 활동 진행 중
  - 여러 편의 논문들이 발표되고 있으나, Sodano 박사가 Michigan Technical Univ.으로 이동한 후 뚜렷한 성과가 보이지 않음
- Control and Power Research Group, Imperial College London (영국)
  - 전기전자공학과 교수인 Mitcheson을 중심으로 저 주파수 영역에서 사용할 수 있는 MEMS electrostatic micropower generator에 대한 연구 수행
- VIBES (Vibration Energy Scavenging) Project (영국)
  - Univ. of Southampton을 중심으로 총 9개 기관이 컨소시엄 형태로 수행중인 과제로서, piezoelectric 및 electromagnetic Energy Harvesting에 관한 연구 수행 중

<표 2-3> 국외기술 동향

국가명	기술명	개발단계	개발 내용	개발주체
미국	Micro Power Generation(MPG)	개발중	MEMS 기반의 다양한 에너지원을 소형화 개발 추진 중	MIT
미국	바람을 이용한 압전 banner	개발중	바람을 이용한 압전 banner를 개발하였으며, power lighting, various sensors, and other devices., architectural, building elements clothing 등에 이용가능	조지아 공대
일본	진동에너지 LSI 구동 전력	개발중	건물의 미세한 진동을 이용해서 구동전력으로 사용	히타치 제작소
일본	WINDMILL 시스템	Pilot	도로 램프구동을 위헤서 압전 소자를 이용한 WINDMILL 시스템을 개발	NEC-TOKIN
독일	Transmitter Module에 압전 방식의 Power Generator	상용화	배터리가 필요 없이 스위치를 눌렀을 때 발생하는 에너지를 센서구동, RF 무선신호 송수신 및 각종 변환기를 작동시키는데 활용	EnOcean 사

○ 진동에너지를 이용한 자가발전과 관련한 기술현황은 이미 일부 선진국을 중심으로 기업화 초기 단계에 접어들고 있는 시점이지만 아직 본격적으로 상용화 단계에 접어든 기업은 없으나 조만간 출현이 예상되는 시점임

○ 철도, 도로, 활주로, 교량을 이동하는 각종 운송수단 즉, 자동차, 트럭, 항공기, 지하철의 이동이나 도심을 활보하는 수많은 사람들의 이동 시 발생하는 반복적인 진동을 에너지원으로 하여 압전 발전을 하는 도심형 자가발전에 관한 연구가 인구집약형 도시가 발달한 일본, 영국과 같은 도심 집약형 선진국을 중심으로 활발하게 진행

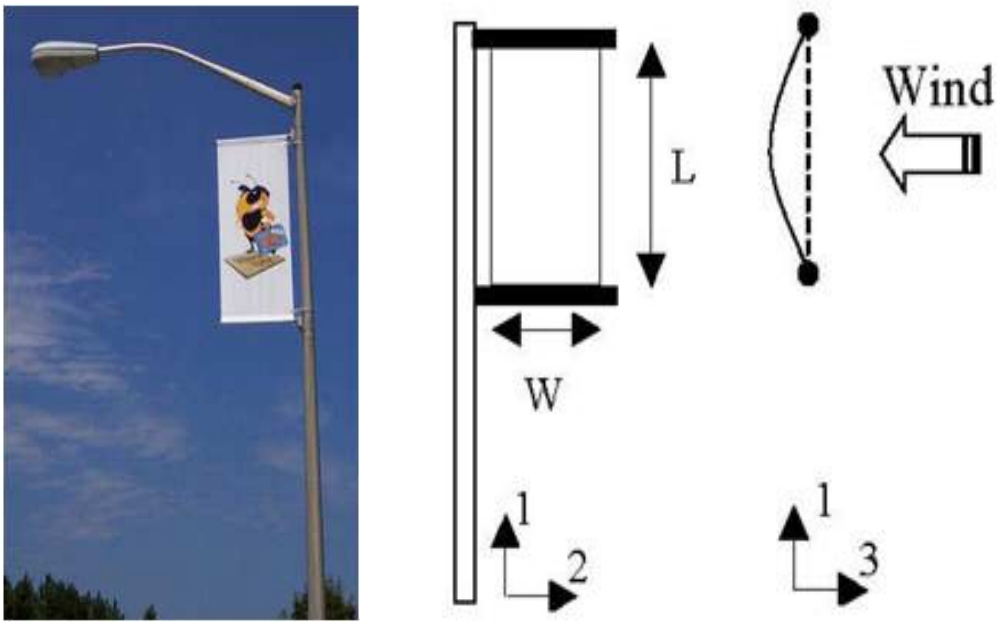
○ 하지만 압전소재 및 발전회로 개발을 포함하는 자가발전모듈에 관한 기술은 비공개로 진행이 되어왔을 뿐 만 아니라 실제 적용된 사례가 없어 이들 발전 시스템을 이용하여 기존의 공급전력을 대체 또는 보완이 가능한 발전효율에 관한 평가는 수학적인 예측에만 의존해 온 실정

○ 국외 연구기관으로는 MIT, Stanord, Bell연구소와 일본의 NEC, Tokin등에서 이러한 시스템에 대해 학술적으로 접근하고 있으며, 이를 바탕으로 진동설계 및 그 소재에 대한 요소기술을 확보해 나아가고 있음

<표 2-4> 연구수행 기관

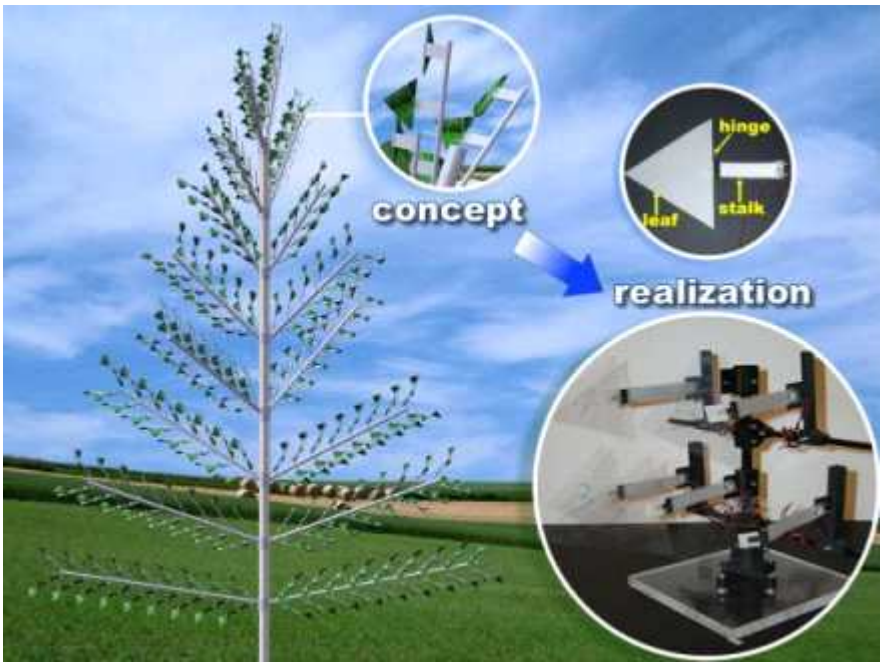
연구수행 기관	연구개발의 내용	연구 개발성과의 활용현황
Berkeley	Energy Scavenging Project	무선 송신부 활용 개발 중
MIT	Self-Powered Wireless Pusbutton Project	신발에 장착하여 에너지원으로 활용하는 방안 개발 중
DARPA	Micro Power Generation(MPG)	MEMS 기반의 다양한 에너지원을 소형화 개발 추진 중

○ 미국 조지아 공대에서 바람을 이용한 압전 banner를 개발하였으며, power lighting, various sensors, and other devices., architectural, building elements (e.g. curtains, roofs, etc.), clothing 등에 이용가능



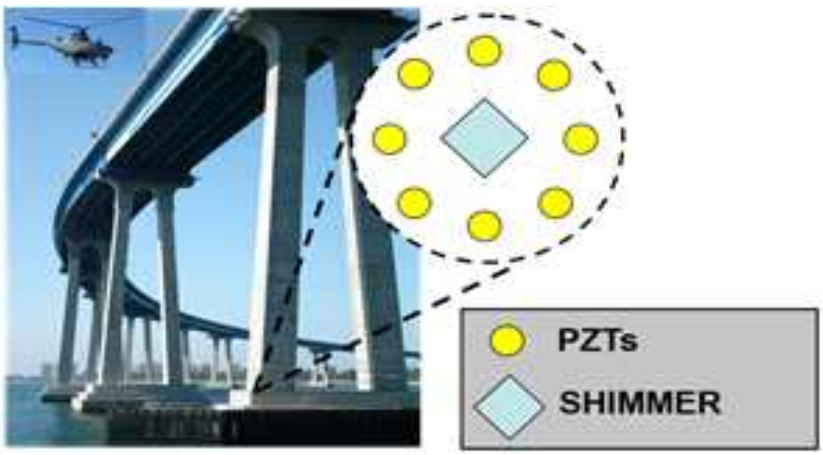
<그림 2-19> 압전 풍력이용 BANNER

○ 미국 코넬 대학에서는 나뭇잎 형태에 PVDF(Polyvinylidene Fluoride)로 만든 압전체를 붙여서 바람에 의한 에너지 수확장치를 제작함



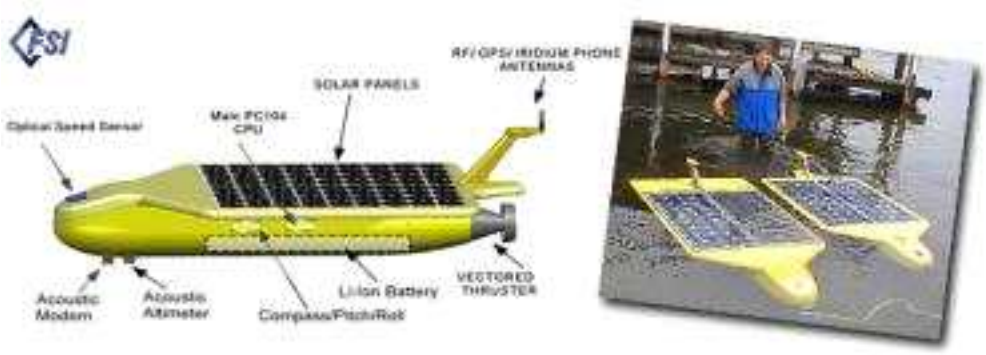
<그림 2-20> Cornell 대학의 Piezo-tree 및 발전 개념

○ 미국의 SHIMMER사는 PZT 압전모듈을 이용하여 교량의 진동으로부터 발생하는 기계적 에너지를 전기에너지로 변환하여 자가발전 시스템을 개발



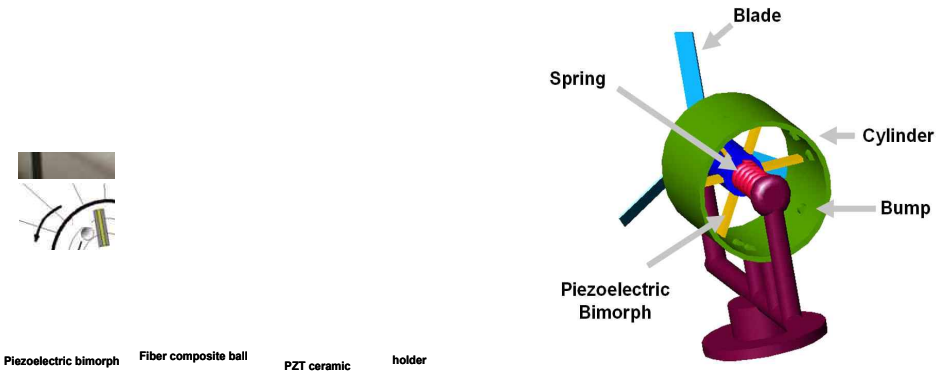
<그림 2-21> 교량 진동을 이용한 압전자가발전 시스템

○ 미국 무인잠수시스템연구소는 수중 로봇을 포함한 자율무인잠수정(AUV)의 기술 시장이 세계적으로 급격히 성장하고 있으며, 상업화 단계를 위해 센서 장착과 자율적 에너지 공급 시스템, 내구성 등의 연구 분야에 개발 진행중



<그림 2-22> 무인잠수시스템연구소 AUV 장비

○ 일본 NEC-TOKIN 은 도로 램프구동을 위해서 압전 소자를 이용한 WINDMILL 시스템을 개발



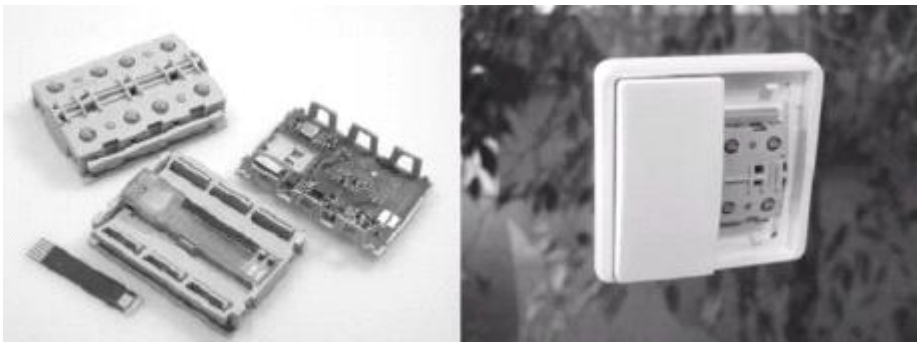
<그림 2-23> 압전 WINDMILL 시스템

○ 일본의 (주)음력발전 사는 압전세라믹을 이용한 자가발전 판을 개발하여 지하철의 개찰구, 보도 블럭, 교량 등에 시범적으로 설치하였으나 발전효율은 미약한 실정



<그림 2-24> 지하철, 도로, 교량을 활용한 압전발전시스템

○ 최근 독일 EnOcean 사는 Transmitter Module에 압전 방식의 Power Generator를 채택하고, 배터리가 필요 없이 스위치를 눌렀을 때 발생하는 에너지를 센서구동, RF 무선신호 송수신, 각종 변환기를 작동시키는데 활용

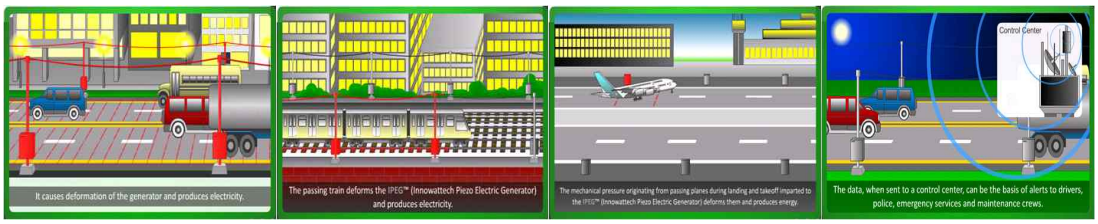


<그림 2-25> 배터리가 필요 없는 무선 스위치장치 (EnOcean, Inc.)

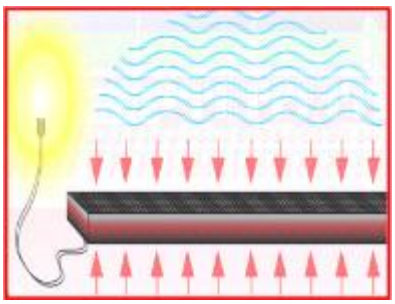
○ 이스라엘의 에너지 하베스팅 업체인 이노와텍(Innowattech)은 도로를 통과하는 차량으로부터 기계적인 에너지를 수확하는 목적으로 일반적인 압전 발전장치로부터 전기를 수집하고 저장할 수 있는 효율적인 에너지 스토리지 시스템을 개발했다고 발표

- 이러한 축적된 전력 에너지를 활용하여 교통신호등이나 거리의 가로등 그리고 앞으로는 그리드로 전달될 수 있도록 전력을 사용할 수 있게 된다고 함
- 이스라엘의 Innowattech. 사는 도로, 철도, 활주로에 압전소자를 설치하여 주변 전기시설의 전력원으로 활용하기 위한 스마트웨이 개발에 관한 연구를 진행 중이며 도로에 하베스터를 매설실험을 진행하였지만 정확한 발전량은 발표되지 않음





<그림 2-26> 도로, 철로, 활주로, 스마트웨이용 자가발전시스템 개념(이노와텍,이스라엘)



<그림 2-27> 압전블록



<그림 2-28> 압전도로

<표 2-5> Characteristics of Vibration Power Generators

Institution	Frequency (Hz)	Displacement (um)	Volumetric Power (CW/cm3)	Operating Voltage (V)
UC. Berkeley (USA)	85	7.9	210	10
Virginia Tech. (USA)	30	-	230	3
MIT (USA)	13,900	0.014	5,000	2.4
University of Tokyo (Japan)	10	990	7.5	200
Hong Kong □University (Hong Kong)	4,100	2.2	5.0	0.4
Waseda University (Japan)	6	0	2.7	2.4
Hitachi (Japan)	45	30	-	-

2. 국내 관련기술 및 산업동향

가. 태양광 기술

○ 태양광 산업의 성장에 따라 핵심기술인 태양전지 산업도 크게 성장하여 2000년대 이후 연평균 40% 이상의 고속 성장세가 지속됨

○ 태양전지는 크게 결정질 실리콘(Crystalline-Si) 태양전지와 박막형(Thin Film) 태양전지고 구분되고 있으며, 안정성과 높은 효율성의 장점을 내세워 결정질 실리콘 태양전지가 전세계 생산량의 90% 이상을 차지함

○ 최근 원재료인 실리콘 공급 부족으로 인해 박막형 태양전지의 수요는 급격히 증가하고 있고, 박막형 태양전지의 생산능력은 2010년 까지 연평균 약 120%의 고성장이 예상됨



(a)삼척 세계동굴박람회장 시설(107kW) (b)조선대 기숙사 시설(53kW)

<그림 2-29> 태양광 시설현황

나. 에너지 수확(Energy Harvesting) 기술

○ 미활용 진동에너지를 이용한 Energy Havester 에 대한 연구는 극히 일부 연구기관에서 이루어지고 있을 뿐이며, 전원장치와 연계되어 초음파 센서, 모터, 스피커, 진동자, 분사노즐, 변압기 등과 같은 부품에 대한 연구 개발이 주로 수행되고 있는 실정임

○ 현재 진동에너지를 전기에너지로 변환시키는 개념의 미활용 신재생 에너지에 대한 연구는 유명 대학 (서울대, KAIST, 고려대 등)과 연구소 (KICET, KIST, KETI 등)를 중심으로 소재개발에 관한 연구를 중심으로 이의 에너지 전력원으로 활용하

기 위한 연구는 현재 초기 단계임

○ KIST를 중심으로 하여 열과 진동 에너지를 수확할 수 있는 수㎟급 초소형 수확(Harvesting) 시스템을 개발하고 있고, 이를 통하여 수십 ㎼정도의 평균 전력을 얻는 연구 성과를 얻었고, 특히 누설전류가 매우 적은 전용회로를 개발하였음. 그러나 PZT의 탄성계수가 매우 크고 재료의 취성이 문제이며 박막전지 개발과 아울러 전체 시스템이 하이브리드화 될 필요성이 제기됨에 따라 박막전지, 박막열전재료, 박막 PZT 등의 재료개발에 대한 연구가 진행되고 있음

○ 서울대학교에서는 MEMS based 마이크로 파워 시스템을 개발 중이며, KAIST에서는 미세내연기관 엔진을 개발 중에 있으나, 주로 전력 측면에서만 기술개발을 진행 중에 있음

○ 한국기계연구원에서는 기관고유과제로 2006. 1부터 고온의 열로부터 열전모듈을 이용한 마이크로 동력발생기술 개발 진행 중

○ Piezoelectric Energy Harvesting은 군수용 발전장치, 의료용 장치의 보조 전원, 자동차의 2차 발전장치, Wearable 전자제품 등에 적용하기 위한 연구가 진행 중에 있으며, USN의 에너지원으로 검토 중

다. 에너지 수확 WBAN(Wireless Body Area Network) 기술

○ 초저전력 컴퓨팅 및 통신기술 등에 대한 국내 관련 연구 및 산업기반은 선진국 대비 취약한 상황이나, 차세대 컴퓨터, 반도체 및 이동통신 등과 같은 기반기술 등을 바탕으로 초저전력 SoC 기술, 초저전력 S/W 및 H/W 구현 기술, 초저전력 컴퓨팅 및 통신 기술, u-전력 수확(Harvesting) 및 축적 기술에 대한 연구 수행이 요구되고 있는 상황

○ 초저전력 컴퓨팅 및 통신기술 등에 대한 국내 관련 연구 및 산업기반은 선진국 대비 취약한 상황이나, 차세대 컴퓨터, 반도체 및 이동통신 등과 같은 기반기술 등을 바탕으로 초저전력 SoC 기술, 초저전력 S/W 및 H/W 구현 기술, 초저전력 컴퓨팅 및 통신 기술, u-전력 수확 및 축적 기술에 대한 연구 수행이 요구되고 있는 상황

○ 에너지 수확 WBAN 기술의 예

- UC Berkeley의 CITRIS 프로그램 연구그룹은 작고 저렴한 센서 기술과 저전력

실시간으로 스트리밍 데이터 처리 및 통신 기술에 대한 연구 수행을 통하여 온-오프라인 환경에서 사람과 사물이 연결되는 새로운 패러다임의 네트워크 기반 구현이 기대

- 미국 마이크로소프트사는 인체에 전류를 흐르게 함으로써 몸에 지니고 있는 휴대 정보기기에 지속적인 전력충전과 공급을 가능하게 하는 기술특허를 취득 (US6754472, 2004)
- MIT Media Lab : 위치추적 및 상태 감시 센서 노드, 신발에 Energy Harvest 모듈 장착, 전하발생 구현

라. 에너지 수확(Energy Harvesting) USN 기술

○ USN은 현재 정보 센싱 기술과 저전력 컴퓨팅 및 통신기술과 접목되어 국방, 외교, 유통·물류, 항공·항만, 의료·보건, 환경·보전, 산업·건설, 농·축산, 건강·복지, 교육·문화, 도로·교통, 방재·재해, 정보가전, 과학기술 분야 등 국가 전반적인 분야로의 적용을 위하여 국외의 다양한 연구기관에서 매우 활발한 연구가 진행 중

○ 그러나 현재까지의 연구동향과 성과는 유비쿼터스 컴퓨팅 및 통신 시스템의 구현과 적용에 있어서 시스템 제어, 전원 및 배터리 등의 유지보수, 관리 및 휴대성에 대한 적절성 확보 및 효율성 제고 측면에서 한계를 가지고 있는 상황

○ 진동 에너지를 이용한 압전 자가발전에 대한 연구는 극히 일부 연구기관에서 이루어지고 있을 뿐이며, 전원장치와 연계되어 초음파 센서, 모터, 스피커, 진동자, 분사노즐, 변압기 등과 같은 부품에 대한 연구 개발이 주로 수행되고 있는 실정임

○ 압전 자가발전에 대한 연구는 MEMS 기술을 이용한 USN용 마이크로와트급 발전소자에 관한 연구가 KIST 등 일부 연구기관에서 이루어지고 있으나, Sub W 급 이상의 발전량을 가지는 압전 자가발전 모듈 개발에 관한 연구 및 실용화에 관한 연구는 거의 전무함

마. 유비쿼터스 환경에서의 에너지 수확(Energy Harvesting)기술

○ 유비쿼터스 환경하에서 요구되는 각종 센서는 배터리 중심의 전원관리가 새로운 문제점 및 중요한 개선의 대상으로 부상

○ 배터리 용량증대 중심의 기존 에너지 개발 방향은 유가 급등 및 배터리 전원이 기하급수적으로 요구되는 USN 환경이 대두됨에 따라 Energy Harvesting 및 관리가 필요없는 자가발전의 구현으로 변환

○ 이와 관련하여 유비쿼터스 환경의 기본적인 단위를 구성할 것으로 예상되는 센서 네트워크에 적용하기 위한 Energy Harvesting 응용에 대한 연구가 진행

○ 미국의 Ferro Solutions Inc.는 Energy Harvester라는 이름의 에너지 발전시스템을 개발하여 각종 무선전자기기, 센서, MEMS 등에 응용

○ 독일 업체인 nano Net사는 Macro Fiber Component(MFC) 블레이드의 진동을 이용하여 발전을 함과 동시에 RF로 신호를 보내는 기술을 보유하고 몇 가지 모델의 제품을 출시하고 있으며, 이때 작동전압은 2.7~3.6V

○ 특히 상대적으로 적은 진동으로도 배터리 없이도 data를 언제든지 보낼 수 있어서, 환경모니터링, 의료, 안전시스템, 진동모니터링, 송수신 시스템 등의 응용 가능

제 2 절 국내·외 관련 특허 동향

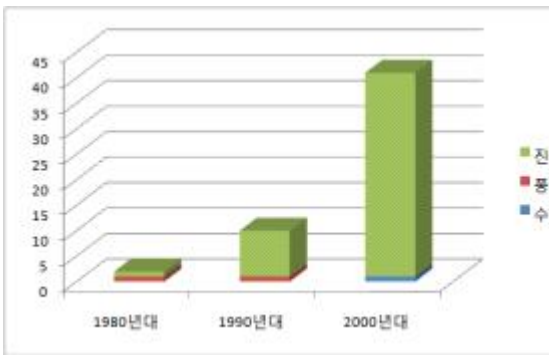
○ 압전 에너지 하베스팅 관련 특허는 80년대 중반 원리적인 내용이 소개되면서 2000년 이후 본격적으로 출원이 이루어지고 있음. 특허의 대부분이 압전 세라믹 또는 폴리머 재료를 이용한 하베스팅에 대한 내용으로, 주로 자동차의 타이어, 시계의 자체전원 등의 권리를 주장하고 있음. 특허의 대부분이 하베스팅 구조나 재료에 대한 언급이 아니라, 회로 또는 시스템적으로 효율성을 높이는 방향으로 특허가 출원, 등록됨

○ 회로 부분에서도 90년대에는 압전 관련 단일 소자에 대한 고효율 회로 구성 특허가 출원되었으나 최근에는 다양한 에너지원 (진동(압전), 열 (열전), 광 (광전), 마이크로파로부터 동시에 전기에너지를 획득할 수 있는 회로에 대한 특허가 나타나고 있음. 위의 여러 기술적 개발 방향은 획득할 수 있는 에너지원의 효율 향상 및 용량 증가를 목표로 하고 있으며, 또한 기술적으로 소형화 및 단순 구조화를 추구하고 있음

<표 2-6> 주요 특허 리스트

순번	출원일	국가	발명자	회사명	명칭
1	2005-05-17	미국	Dan J. Clingman	The Boeing Company	HIGH EFFICIENCY PASSIVE PIEZO ENERGY HARVESTING APPARATUS
2	2002-08-13	미국	William H.McKnight	USA Navy	ENERGY-HARVESTING DEVICE USING ELECTROSTRICTIVE POLYMERS
3	2007-07-03	미국	William F.Ott	par Technologies, LLC	PIEZOELECTRIC GENERATORS AND METHODS OF OPERATING SAME
4	2003-02-05	유럽	Sakai (JP)	USC Co.,Ltd	Self-power generation type transmitter
5	2004-12-16	미국	Yasuhiro Sakai (JP)	WENDEROTH, LIND	POWER SOURCE APPARATUS
6	2002-07-23	미국	Charles B. Carroll	Ocean Power Tech.	ENERGY HARVESTING EEL
7	2002-11-28	미국	Arvind Raman		PIEZOELECTRIC DEVICE WITH FEEDBACK SENSOR

8	2002-05-10	국제	HERMAN, Frederick, J.		NANOSCALE PIEZOELECTRIC GENERATION SYSTEMS BACKGROUND OF THE INVENTION
9	2008-06-18	일본	Ji-Won Choi	Korea Institute of Science & Technology	Composition and Preparing Method of Lithium Tin Manganese Oxide Cathode Thin Film for Lithium Secondary Battery
10	2002-09-16	미국	John B. Bates	Oak Ridge Micro-Engineering	Long life thin film battery and method
11	2003-12-26	미국	Mamoru Baba	Iwate University	Light-detectable solid thin film secondary battery
12	2006-08-11	일본	Kaminura Taku	Sumitomo Electric Ind Ltd.	Thin film lithium cell



	1980년대	1990년대	2000년대
수력	0	0	1
풍력	1	1	0
진동	1	9	40

<그림 2-30> 특허등록 현황

1. 에너지 수확(Energy Harvesting) 기술

가. 주요내용

○ 다양한 통신기기에 적용하기 위한 u-Scavenging IPR 조기 확보를 통한 기술 및 시장 선점

○ u-Scavenging 적용 대상 및 소재, MPG의 구조, Scavening 대상 에너지 등 다양한 분야에 대한 IPR 선점

나. 주요이슈 및 향후 전개방향

○ 한국 19 건, 일본 263건, 미국 404건, 유럽 104 건등이 u-Scavenging 기술과 관련 IPR 확보

○ 2000 년을 기점으로 급격히 u-Scavenging 관련 특허가 증가하고 있음

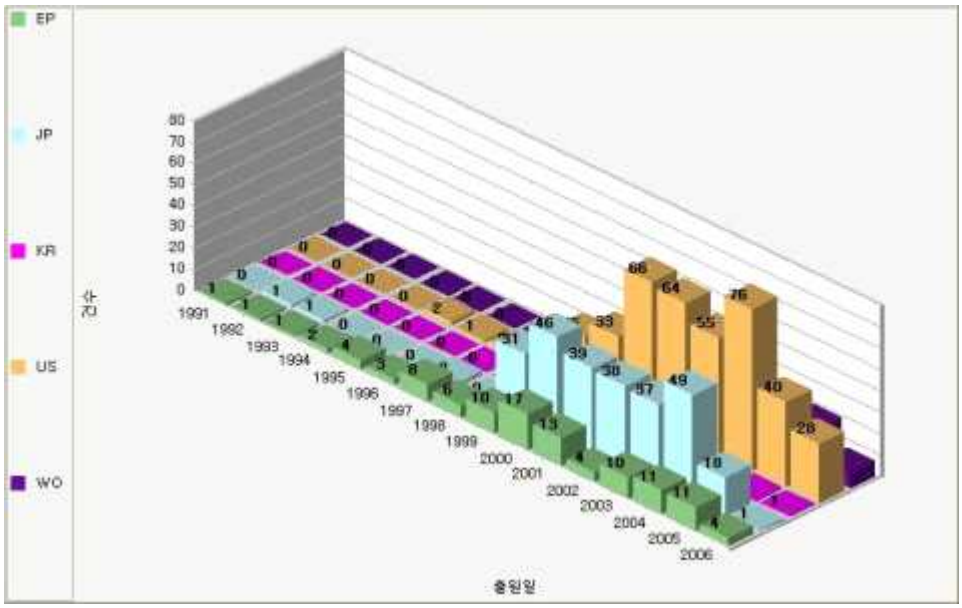
○ 우리나라의 경우 2000 년 들어서도 출원건수가 증가하지 않고 서너건에 불과한 특허가 출원되고 있음

○ 출원인별로는 Murata Manufacturing Co. Seiko Epson Corp, Canon 등 일본회사가 수십 건의 압도적으로 많은 특허를 출원하고 있음

○ 현재까지 한국에 출원된 특허 20여건 중 순수 국내인에 의해 출원된 특허는 8 건이며 나머지 특허는 외국인에 의해 출원된 특허로써 향후 대두될 이 분야의 기술자립을 위해 독자적인 기술을 확보하여야 함

<표 2-7> 각 국가의 년도별 u-Scavenging 관련 기술의 특허출원 추이

	'91	'92	'93	'94	'95	'96	'97	'98	'99	'00	'01	'02	'03	'04	'05	'06	계
한국			1				1			7	3	2		4	1	1	19
미국					2	1	2	9	28	33	66	64	55	76	40	28	404
일본		1	1				2		31	46	39	38	37	49	18	1	263
유럽	1	1		2	4	3	7	6	10	17	13	4	10	11	11	4	104
WO									1	7	17	9	9	14	20	7	84
계	**1**	**2**	**2**	**2**	**6**	**4**	**12**	**15**	**70**	**110**	**138**	**117**	**111**	**154**	**90**	**41**	**874**



<그림 2-31> u-Scavenging 기술 관련 국가별 특허출원동향

다. 대응전략

<표 2-8> u-Scavenging 관련 특허 목록

번호	등록번호	명칭
1	US20060079354A1	Racket with self-powered piezoelectric damping system
2	US6192759B1	Remote self-powered structure monitor
3	EP1143242B1	Remote self-powered structure monitor method
4	US20010040379A1	Vibration based downhole power generator
5	EP1305502A1	VIBRATION BASED POWER GENERATOR
6	US20020096887A1	Vibration based power generator
7	EP1305502B1	VIBRATION BASED POWER GENERATOR
8	JP2001045774A	VIBRATION BODY WITH ELECTROMECHANICAL ENERGY CONVERSION ELEMENT AS VIBRATION SOURCE, VIB
9	JP2003111450A	VIBRATOR HAVING ELECTRO-MECHANICAL ENERGY TRANSDUCER AS VIBRATION SOURCE, VIBRATION WAVE
10	JP2001157473A	VIBRATOR WITH ELECTROMECHANICAL ENERGY CONVERTER AS VIBRATION SOURCE, OSCILLATING WAVE D
11	JP2004260922A	PIEZOELECTRIC GENERATION METHOD AND DEVICE THEREFOR
12	JP2001339964A	PIEZOELECTRIC GENERATOR
13	JP2004146768A	PIEZOELECTRIC GENERATOR AND PIEZOELECTRIC CERAMICS USED THEREIN
14	JP2005086859A	PIEZOELECTRIC GENERATOR AND SENSOR SYSTEM
15	US7138750B2	Piezoelectric generator for sensors inside vehicle tires
16	JP2003339744A	POWER DRIVEN TOOTHBRUSH
17	JP2003189641A	POWER GENERATING EQUIPMENT
18	JP2005002960A	POWER GENERATION DEVICE
19	US20050088059A1	Power generation device and power generation method
20	US20060046907A1	Power generation devices and methods
21	US20070074566A1	Power generation utilizing tire pressure changes
22	EP1549515B1	POWER GENERATOR
23	JP2003180717A	POWER-DRIVEN TOOTHBRUSH
24	US20030228934A1	Self-recording golf ball, golf ball cup, and reading divice system
25	JP2001275370A	PIEZOELECTRIC HYDRAULIC POWER GENERATOR
26	WO2006046937A1	ENERGY HARVESTER WITH ADJUSTABLE RESONANT FREQUENCY
27	US20050105231A1	Energy harvesting for wireless sensor operation and data transmission
28	WO2006059822A1	POWER-FREE/WIRELESS SENSOR BASED ON SURFACE ACOUSTIC WAVE WITH ENERGY COLLECTING TYPI
29	US20060271678A1	Self-powered devices and methods
30	US7183937B2	Self-powered sensing module and tire pressure monitoring system using the same
31	EP1097049A1	SELF-POWERED TIRE REVOLUTION COUNTER
32	EP1614551	Integrated SELF-POWERED TIRE REVOLUTION COUNTER
32	US6438193B1	Self-powered tire revolution counter
34	US20050087019A1	Self-powered vibration monitoring system
35	US6259372B1	Self-powered wireless transducer
36	US20060063522A1	Self-powering automated building control components
37	US20040226788A1	Self-powering shock, vibration and acoustic isolation system
38	EP1275161A1	PIEZOELECTRIC GENERATOR FOR SENSORS INSIDE VEHICLE TYRES
39	US20030146676A1	Piezoelectric generator for sensors inside vehicle tyres
40	EP1275161B1	PIEZOELECTRIC GENERATOR FOR SENSORS INSIDE VEHICLE TYRES
41	JP2005245115A	POWER GENERATING APPARATUS AND REMOTE CONTROLLER WITH POWER GENERATING APPARATUS

○ 집중적인 투자와 기술 개발을 통하여 다양한 IPR 확보 대상 기술 확보

○ 압전소자 자체에 대한 특허보다 압전소자를 이용한 u-Scavenger 구조 및 WBAN/USN 등 적용분야에 대한 IPR 확보에 주력 함

2. ULP 컴퓨팅 및 프로토콜

가. 주요내용

○ ULP 환경에서 적용 가능한 센서 노드 관련 기술

○ ULP 환경에서 적용 가능한 안전성, 고 신뢰성, 저전력화 OS 및 프로토콜 기술

나. 주요이슈 및 향후 전개방향

○ 초소형 저전력 S/W 관련 특허로는 2001년 미국의 IBM사에서 출원된 전력 관리 장치와 2002년 AMD사의 변화에 응답하여 전압을 제어하는 기술과 2004년 미국의 인텔사의 휴대용 통신 장치의 전력 소비 변경방법에 대한 초소형 저전력 RTOS 관련 특허가 출원되었으나 ULP 환경과는 크게 관련이 없음

○ 웨어러블 네트워크 분야는 초단거리 개인무선통신 I/F 분야에 대한 출원으로 IBM(8건), 모토로라, 삼성전자가 각각 6건의 출원으로 보이고 있음

○ MS, NTT DoCoMO, 마쓰시다 등에서 유비쿼터스 컴퓨팅 환경에 대응하여 인체통신 기반 웨어러블 네트워크 핵심 원천기술 확보에 주력하여, MS는 인체에 전류를 흐르게 함으로써 몸에 지니는 휴대형 정보기기에 지속적인 전력공급과 충전을 가능케 하는 기술 특허를 확보하였으며(US6754472, 2004), 1998년 IBM의 PAN 기술특허 출원 이후로 지속적인 증가 추세이며, IBM, 모토로라, 에릭슨 등에서 강세를 보이고 있음

○ 인체통신 분야는 WWRF-WG5에서 WBAN(Wireless Body Area Network) 관련 표준화활동이 추진되고 있으나 구체적인 응용모델 설정이 확정되지 않았음

○ 초소형 저전력 S/W 관련 특허로는 2001년 미국의 IBM사에서 출원된 전력 관리 장치와 2002년 AMD사의 변화에 대응하여 전압을 제어하는 기술과 2004년 미국

의 인텔사의 휴대용 통신 장치의 전력 소비 변경방법에 대한 초소형 저전력 RTOS 관련 특허가 출원되었음

○ 미들웨어 관련 특허에는 한국의 삼성전자에서 출원된 ACPI 하에서 USB 허브를 장착했을 경우 소비전력을 절감하고 열을 감할 수 있는 휴대형 컴퓨터 시스템과 관련된 특허와 2002년 미국의 DoCoMo Communications Laboratories USA의 무선 통신 장치에서 에너지를 절약하기 위한 시스템 관련 특허를 취득하였음

다. 대응전략

○ 자기유지가 가능한 ULP WBAN/USN의 경우 세계적으로 연구 초기 단계 이므로, 집중적인 투자와 기술 개발을 통하여 다양한 IPR 확보 대상 기술 확보

○ 원천 특허 이외에, 기존의 WBAN이나 USN 특허 동향을 파악하고 이를 ULP 환경에 적합하도록 개발하여 IPR 확보

3. WBAN

가. 주요내용

○ WBAN 관련 특허는 크게 Portable SoC 기술, 초소형 배터리, 저장장치 기술, 손목시계와 같은 액세서리형 장치들로 나누어지며, 미국의 IBM에서는 1998년 Portable SoC 기술 관련 무선 핸드 헬드, 팜 탑, 스마트폰 등에 관한 기술을 시작으로 MP3, 미디어플레이어 관련 특허 출원이 이루어지며, 2001년 미국 자이버넷의 펜모양 무선 입력장치를 시작으로 같은 해 일본 소니사의 손목시계 및 팔찌모양 등 다양한 형태의 관련 특허가 출원되고 있음

나. 주요이슈 및 향후 전개방향

○ 초소형 저전력 S/W 관련 특허로는 2001년 미국의 IBM사에서 출원된 전력 관리 장치와 2002년 AMD사의 변화에 대응하여 전압을 제어하는 기술과 2004년 미국의 인텔사의 휴대용 통신 장치의 전력 소비 변경방법에 대한 초소형 저전력 RTOS 관련 특허가 출원되었으나 ULP 환경과는 크게 관련이 없음

○ 삼성전자에서 출원된 ACPI 하에서 USB 허브를 장착했을 경우 소비전력을 절감하고 열을 감할 수 있는 휴대형 컴퓨터 시스템과 관련된 특허와 2002년 미국의 DoCoMo Communications Laboratories USA의 무선 통신 장치에서 에너지를 절약하기 위한 시스템 관련 특허가 출원

○ MS, NTT DoCoMO, 마쓰시다 등에서 유비쿼터스 컴퓨팅 환경에 대응하여 인체통신 기반 웨어러블 네트워크 핵심 원천기술 확보에 주력하여, MS는 인체에 전류를 흐르게 함으로써 몸에 지니는 휴대형 정보기기에 지속적인 전력공급과 충전을 가능케 하는 기술 특허를 확보하였으며(US6754472, 2004), 1998년 IBM의 PAN 기술특허 출원 이후로 지속적인 증가 추세이며, IBM, 모토로라, 에릭슨 등에서 강세를 보이고 있음

○ u-헬스 분야는 무선통신망을 이용한 원격 헬스모니터링, 휴대폰에 생체정보 측정 기능을 부가한 헬스케어폰 등에 국내에서 특허 출원이 집중되고 있으며, 심장박동 속도에 따른 심장박동조절기의 원천 특허는Meditronics사에서 보유하고 있으며, 혈

당센서의 경우는 Shults marks 등에 의해 센서 및 이식형 시스템 장치에 관한 특허를 2004년 확보

○ 인체통신 접속관련 기술 특허로는 의료용 감시 장비와 진찰 및 치료기기 사용자 인증 관련 생체 인증과 개인생활 감시 장비 등이 출원되고 있으며, 의료 장비의 경우 1987년 일본 ASAHI OPTICAL Co.의 내시경 장비를 시작으로 일본의 출원이 주류를 이루다가 1990년대 후반에 한국의 개인 출원인과 삼성전자를 중심으로 한국과 미국의 출원 비중이 커지고 있음

다. 대응전략

○ BAN에 적용할 수 있는 Scavenging IPR 확보를 통해 WBAN/BAN 관련 원천 특허에 대한 Cross licensing 할 수 있는 대안 확보

○ 자기유지가 가능한 ULP WBAN/USN의 경우 세계적으로 연구 초기 단계 이므로, 집중적인 투자와 기술 개발을 통하여 다양한 IPR 확보 대상 기술 확보

4. USN(Ubiquitous Sensor Network)

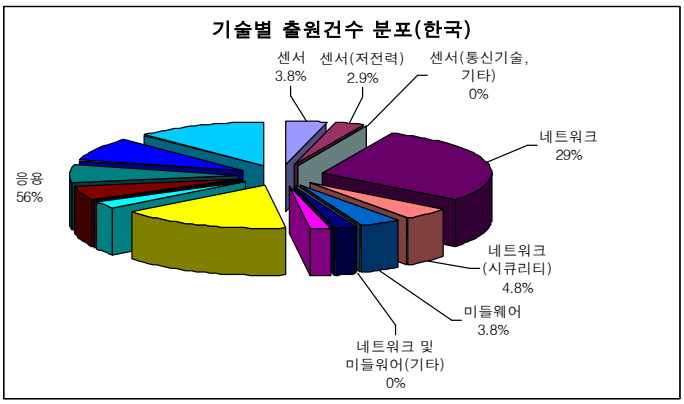
가. 주요내용

○ 응용분야에 치중하여 다수의 IPR 확보에 많은 투자와 연구개발 추진 중

○ 응용분야 중에서도 특히 홈네트워킹이나, 건물과 같은 시설의 제어에 관계된 출원이 가장 많았으며, 그 외에는 이동통신/위치확인 응용기술과 방범, 보안 시스템 분야의 출원 다수임

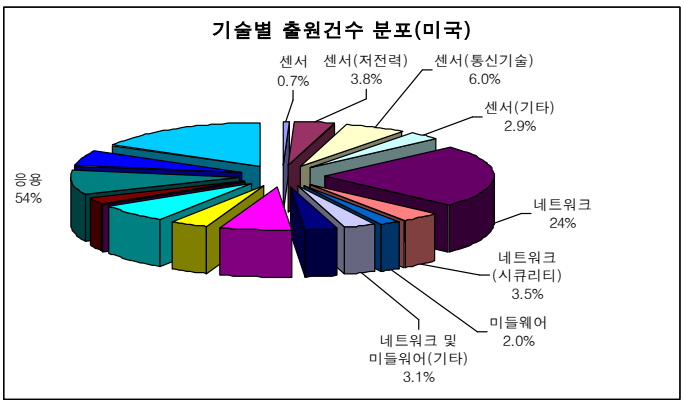
나. 주요이슈 및 향후 전개방향

○ 우리나라의 경우 응용분야 중에서도 특히 홈네트워킹이나, 건물과 같은 시설의 제어에 관계된 출원이 가장 많았으며, 그 외에는 이동통신/위치확인 응용기술과 방범, 보안 시스템 분야의 출원이 많음



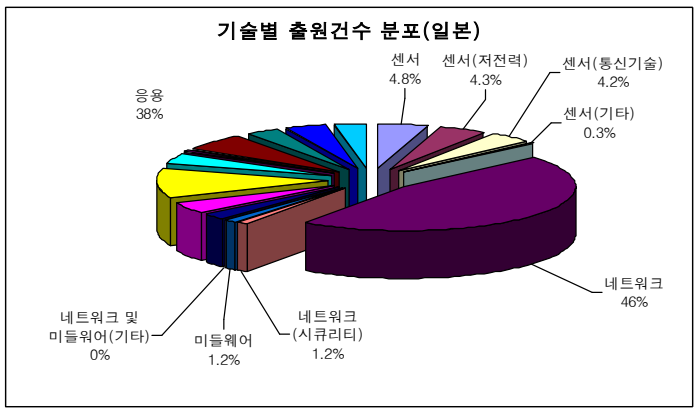
<그림 2-32> 기술별 출원건수 분포(한국)

○ 미국의 응용시스템에 출원이 집중과 센서의 저전력기술이나 센서네트워크에도 비교적 많은 수의 특허가 출원되고 있음



<그림 2-33> 기술별 출원건수 분포(미국)

○ 일본은 센서네트워크 관련 기술이 특별히 많이 출원되었으며, 응용분야에 있어서는 홈네트워크 및 시설제어분야에 많은 특허가 출원되었음



<그림 2-34> 기술별 출원건수 분포(일본)

○ 당분간 응용분야에 집중되며, 가장 먼저 실용화될 수 있는 분야에 대한 집중적인 기술개발과 IPR 확보 노력이 이루어질 것임

다. 대응전략

○ USN에 적용할 수 있는 Scavenging IPR 확보를 통해 Wireless Sensor Network 관련 원천 특허에 대한 Cross licensing 할 수 있는 대안 확보.

○ 자기유지형 ULP WBAN/USN의 경우 세계적으로 연구 초기 단계 이므로, 집중적인 투자와 기술 개발을 통하여 다양한 IPR 확보 대상 기술 확보

제 3 절 정부지원정책 현황

1. 관련법령, 정부 정책 및 담당기관

○ 우리나라는 모든 산업의 기반이 되는 파인 세라믹스 등의 신소재 산업분야 에 대해서 일본, 미국의 기술수준을 100으로 했을 때 60정도의 수준이고, 기간 도 전체적으로 10년 뒤떨어졌다고 학자들은 분석하고 있음

○ 또한 기반 기술이 부족하여 국가의 주요산업의 핵심부품도 대부분 일본 등 선진국에서 수입하고 있어 핵심부품의 수입으로 인해 수출 경쟁력도 반감되고 있으며, 수출이 증가함에 따라 경상 수익이 오히려 악화되는 등 제반 여건이 성숙되지 않아 산업화추진이 부진한 실정임

○ 하지만 정부는 “부품·소재전문기업 등의 육성에 관한 특별조치법”을 시행하여 부품소재 관련 제도 및 지원정책을 유도하고 있고 우리 나라를 세계적인 핵심 부품소재 공급기지로 만들기 위해 2011년까지 연차적으로 부품소재 전문기업 육성과 핵심 부품소재 기술혁신체제 구축, 글로벌소싱에 본격 참여 등을 시행해 나갈 계획임

2. 정부지원 정책사업 종류와 현황

○ 국가에너지기술의 선진국 진입과 전략핵심기술을 확보하기 위해 중·장기적으로 추진하는 사업을 추진함

- 에너지절약 및 효율개선 효과가 큰 중·대형시스템 기술로써 실용화 및 경제성 확보가 가능한 과제
- 세부 기술과제의 조합을 통해 시너지 효과를 낼 수 있고, 이를 통해 에너지분야 국가기술 경쟁력을 확보할 수 있는 사업
- 핵심 요소기술들을 일괄 개발할 수 있는 사업
- 주요 에너지 기술분야의 현안과제를 해결할 수 있고, 미래지향적인 기술을 개발할 수 있는 과제 복수의 산업체와 연구소를 컨소시엄 형태로 기술개발 지원
- 기술보급을 위한 인프라 구축사업 지원이 가능하도록 보급방안 연구 등을 패키지화하여 추진체계를 구성

제 4 절 종합 결론

○ 자가발전을 통한 구동방식의 엑츄에이터용 압전 세라믹에 대한 연구가 일부 수행되고 있으나 세라믹의 단점인 취성 때문에 크기나 용량, 효율, 형상 등에서 상당한 문제점을 드러내고 있는 실정임

○ 향후 홈 네트워크 및 유비쿼더스 환경에서 USN 중심의 구동부 및 센서부의 전원관리의 문제점을 해결하기 위한 기술적 기반이 매우 미약한 실정이며, 현재의 건전지 중심의 전원관리는 전체 시스템을 마비시킬 수 있는 취약성을 항상 내포하고 있는 기술임

○ 비상 전원 공급장치를 제거할 수 없는 시스템적인 한계를 지니며 이러한 한계를 극복하기 위한 기술적인 대안을 USN의 특성상 상시 존재하는 기계적인 에너지를 활용하기 위한 압전기반의 복합소재기술, 에너지 저장기술 및 모듈제작 생산기술이 요구되는 시점임

<표 2-9> SWOT 분석

Strength (강점)	Weakness (약점)
○ 복합소재 기술개발 전문기관으로 유리 ○ 풍부한 연구·평가 장비 인프라 보유 ○ 전자소재, 부품 전공 전문 인력 보유	○ 평가관련 시스템의 부족 ○ 본 연구내용 관련 자료의 부족
Opportunity (기회)	**Threat (위협)**
○ 경쟁이 치열한 분야 ○ 일부 선진국이 연구개발 독주 (기술력이 앞섬)	○ 전자소재 필요성에 대한 인식 확대 ○ 에너지 산업의 핵심소재 ○ 신재생에너지 개발 시급

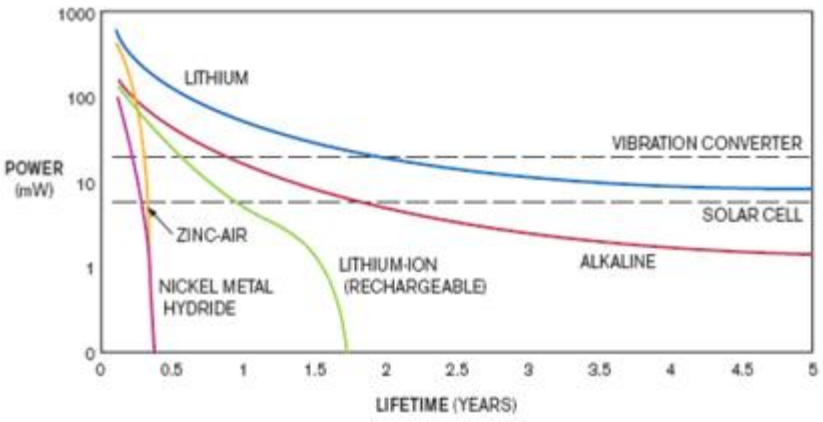
제3장 연구개발수행 내용 및 결과

제1절 연구개발의 이론적 배경

○ 에너지 자원 문제가 전 세계적으로 이슈가 되고 있는 가운데 대체 에너지원으로써 주변의 미활용 에너지를 수확하는 개념의 에너지 하베스팅 기술은 많은 관심을 받고 있음

○ 에너지 하베스팅(Energy Harvesting) 기술은 빛 에너지, 풍력 에너지, 열전 에너지, 진동 에너지와 같은 활용 에너지를 전기 에너지로 전환시키는 기술로써 특히, 기계적 진동을 전기 에너지로 전환할 수 있는 압전 재료를 활용하는 압전 에너지 하베스팅(Piezoelectric Energy Harvesting)의 경우 기존의 태양전지, 풍력, 연료전지 등과 같은 친환경 에너지와 달리 주변에 존재하는 미세진동이나 인체활동 중 발생하는 미세한 움직임으로부터 발생하는 소모성의기계적 에너지를 전기 에너지로 무한히 추출할 수 있는 새로운 에너지 개념으로 이러한 에너지 변환방식은 변환 효율이 크고 소형·경량화가 가능하다는 장점을 가짐

○ 이 기술은 주변의 활용되고 있지 않은 수많은 진동원(Vibration Source)으로부터 필요한 전력을 얻을 수 있을 뿐만 아니라 전자노이즈가 발생되지 않아 <그림 3-1>과 같이 반영구적으로 사용할 수 있는 장점이 있기 때문에 20세기 이후 인류의 생존을 위협하는 환경오염문제, 화석연료의 고갈문제 등을 극복할 수 있는 차세대 친환경 청정에너지 자원 개발 차원으로서 적극적인 개발이 필요한 분야라 할 수 있음



<그림 3-1> 화학전지, 태양전지와 진동발전의 수명 비교



<그림 3-2> 압전 운동 에너지 수확기 휴대폰



<그림 3-3> 압전 배터리

○ 주변의 각종 소음이나 인체활동 에너지인 혈류에너지, 심장박동 에너지, 호흡 에너지 등 매우 미세한 진동 에너지를 전기 에너지로 변환 활용하기 위한 압전 나노발전 기술은 헬스 모니터링을 위한 각종 센서에 응용 가능<그림 3-2>

○ 예를 들면, 음파가 들어오면 압전 나노선이 변형되어 발생하는 전기신호를 증폭하여 청신경에 전달하는 초소형 보청기나, 혈당, 혈압 변화 감지용 인체 삽입형 센서와 같은 나노소자의 전원, 압전 나노센서를 관절에 삽입하여 무릎 관절 손상 등 뼈 손실 시 발생하는 큰 힘에 의해 전달되는 전기신호를 감지하여 위험신호를 보내주는 관절 손상 모니터링 센서 등을 들 수 있음

○ 뿐만 아니라 나노발전기는 섬유에 삽입하여 의류로 활용하면 스마트폰과 같은 각종 모바일 장치의 충전에도 활용 가능

○ 이러한 압전 나노선을 이용한 전력발전 소자 기술은 유명한 미래기술 예측 및 평가 기관인 MIT 테크놀로지 리뷰지(MIT Technology Review)의 2009년도 10대 유망 기술들 중 하나로 선정되면서 단기간에 상업화가 가능한 유력한 후보기술로 언급되며 최근에는 관련 기술이 급격히 향상되고 있음

○ 하지만 압전 나노선을 기반으로 하는 나노발전기 기술에 관한 국내 현황은 기술선진국과는 달리 상용화를 위한 응용기술의 개발이 부진하고 고변환 효율의 나노선 기반 원천소재 기술의 부재 등 관련 분야의 세계시장을 선점하기 위한 제반 여건이 매우 열악한 상황이기 때문에 향후 정부 차원의 집중적인 투자와 관련 분야 전문가들의 적극적인 개발의지가 요구됨

제2절 연구개발 목표

1. 연구개발 목표 및 내용

가. 연구개발의 최종목표

1) 최종목표

○ **압전기술을 이용한 전력발생(압전 하베스터) 제작**

■ 발전량에 미치는 구조적 인자 도출

– 압전시트의 압전특성값(d33, kp 등), 압전시트의 크기, 압전캔틸레버의 금속판의 크기, 압전캔틸레버의 무게추의 질량 및 형태, 압전체 타격방식 등의 변수 변화에 따른 발전특성 비교를 통하여 발전량에 미치는 구조적 인자 도출

■ 압전시트전극공정 개선 및 전극산화 방지기술 개발

– 압전시트 전극면과 정류회로 간 연결 전선의 결합방법 개선

– 압전시트의 전극면으로 사용하는 Ag Paste는 일정시간 경과 후 산화하며, 이를 방지하기 위한 보호막 도포 혹은 개선책 모색

■ 구조 설계를 위한 시뮬레이션(시뮬레이션 프로그램 : ANSYS)

– 방식 : 유한요소해석(FEA : Finite Element Analysis)을 적용하여 구조물을 무한개의 작은공간으로 나누어 변위, 응력, 변형률 등을 계산함.

– 시뮬레이션 내용 : 압전캔틸레버의 인자값(압전체 크기, 위치, 무게추의 질량, 금속판의 크기 등)변화에 따른 발전량을 전산모사하여 발전량이 최대로 나오는 인자값을 도출함.

■ 시제품 제작

– 단층 패드(블럭)형태의 모듈 제작

최적 구조 설계를 적용한 패드 형태의 압전발전 모듈 제작 (압전시트, 압전캔틸레버, 무게추, 지지대, 정류회로, 케이스 등의 조립)

– 다층 패드형태 압전모듈 제작

최적 구조 설계를 적용하여 제작한 패드형태의 압전모듈을 여러층으로 결합한 형태의 발전모듈 제작

■ 양산화를 위한 기반 기술 개발(압전모듈제작 양산성 검토)

- 양산화에 용이한 압전시트의 형태, 압전시트의 크기(가로,세로,두께) 결정
- 유지보수가 용이한 압전모듈 구조물 설계 구상

○ 압전 에너지 하베스팅(Energy Harvesting) 충전 및 발전모듈 평가

■ 최적 충전회로 설계

- 전력 손실 최소화 및 효율의 극대화 : 임피던스가 큰 압전체로 인해 발생된 전력이 손실되는 것을 방지하기 위함

■ 단위 충전회로 전류 및 전압제어시스템 개발

- 충전된 전력을 응용(표지병, 무선스위치 등)하기 위한 전류 및 전압 제어 시스템 개발

■ 제작 회로 성능 평가

- 기존 회로와 개선된 회로간의 발전특성 비교를 통한 성능 평가

■ 압전발전 모듈 장치 효율 평가

- 외부 인가 힘에 따른 발전특성 평가
  : 힘 인가 방식, 힘 인가시 가속도 등에 따른 발전량 평가

■ 압전발전모듈 장치 내구성 평가 (고온, 저온, 내습, 열충격 안정성, 진동)

- 고온시험 : 고온 환경(챔버내 고온 유지)에 노출 후 압전발전모듈 장치의 작동여부 확인에 의한 신뢰성 평가
- 저온시험 : 저온 환경(챔버내 저온 유지)에 노출 후 압전발전모듈 장치의 작동여부 확인에 의한 신뢰성 평가
- 염수분무시험 : 염수를 압전발전모듈 장치에 분무하여 염수에 노출된 환경에서 일정시간 뒤 압전발전모듈 장치의 작동여부 확인에 의한 신뢰성 평가
- 열충격 시험 : 고온환경(고온유지 챔버)과 저온환경(저온유지 챔버)을 주기적으로 이동하면서 압전발전모듈 장치에 열충격을 수차례 가한뒤 작동여부 확인에 의한 신뢰성 평가
- 진동시험 : 압전발전모듈 장치에 진동을 지속적으로 가한 뒤 일정시간뒤에 장치의 작동여부 확인을 통한 신뢰성 평가

○ 에너지 하베스팅 기술을 활용한 압전무선스위치 제작

■ 저전력 구동 무선통신 송·수신 모듈개발

– 안정적 전력공급회로 개발 및 제작

– 송·수신 프로토콜 개발

– 무선통신 장치 연계 체계 개발

■ LED 장치 인터페이스 모듈 제작

– RF 수신 및 조명제어 모듈제작

– 주행환경에 맞는 동작 펌웨어 개발

○ 매설형태에 따른 현장 설치 및 테스트

■ 시제품 현장 설치 및 테스트 (압전발전모듈 및 압전무선스위치)

– 설치장소 : 제주도내·외 도로

– 테스트 내용

① 차량 하중에 의한 발전특성 평가

② 차량 하중에 의한 전력발생 후 무선스위치에 의한 가로등 점등

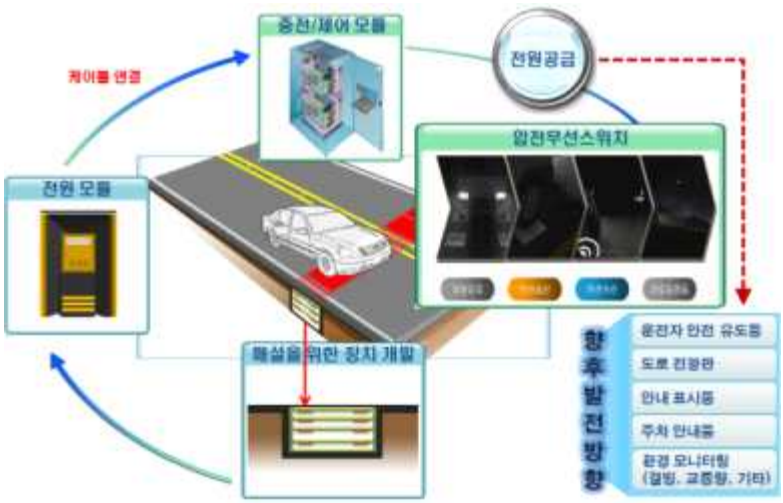
■ 매설형태에 따른 특성평가

– 차량하중 변화에 따른 발전특성 평가

– 차량속도 변화에 따른 발전특성 평가 (예: 10 km/h 등속 통과시, ~ 100 km/h)

– 도로환경에 따른 내구성 평가 (설치직후 평가, 일정시간 경과 후 평가)

– 도로하단 매설 및 간접타격방식(힘전달 기구물에 의한 압전모듈 타격방식)에 따른 발전특성 평가



<그림 3-4> Energy Harvesting 연구개발 개념도

2) 최종목표의 성격 및 설정 근거

○ 압전무선스위치를 제작하여 상시 점등되어 있는 LED 가로등을 제어함으로써, 가로등에 소비되는 전력량을 절감할 수 있는 도로교통 시설물이 필요

○ 제어에 필요한 전원을 공급하기 위한 압전세라믹의 하우징 기법 및 후막 압공 개발에 필요한 압전세라믹 소성조건 등 전원장치를 위한 압전소자의 배열 및 크기 등 전력발생 모듈의 조건 요구

○ 최대의 동작효율을 위하여 시간 및 조도에 따른 점등 시간을 조절함으로써 저장된 전력의 최소의 전력소비량 요구

○ 압전세라믹 소자의 최적배열을 유지하고 내구성을 높이는 하우징 기술 및 차로에 매설하는 기술을 개발하여 최대의 전력을 발생하고 최소의 전력을 소비하는 하베스팅 회로 설계

○ 자가발전용 압전 세라믹 복합소재 개발에 대한 연구는 이론적으로 우수한 압전 특성을 가지는 소재를 개발하여 발전효율을 극대화시키기 위한 원천기술에 속함

○ 압전체를 이용한 후막 공정 개발은 최근에 각종 압전 센서, 진동자 연구개발과 더불어 다양한 연구가 시도되고 있으나, 자가발전 모듈에 적용하기 위한 최적구조와 발전효율과의 상관관계 및 최적 조성개발과 맞물려 미세구조 제어와 계면연구를 통한 고난이도 공정제어기술이 요구

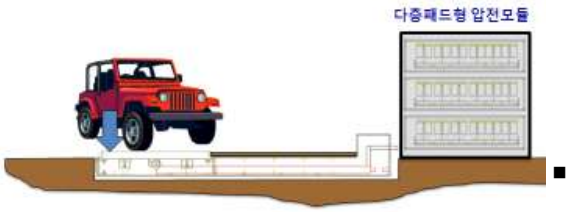
○ 도로용 자가발전 회로 설계 및 시스템 특성 평가 기술은 Sub W 급 이상의 발전량을 가지는 압전 자가발전 모듈 개발에 관한 연구 및 실용화에 관한 연구로서 독창적이며 향후 적용예상시 파급효과를 고려해 공격적인 목표로 설정함.

3) 정량적 성과목표

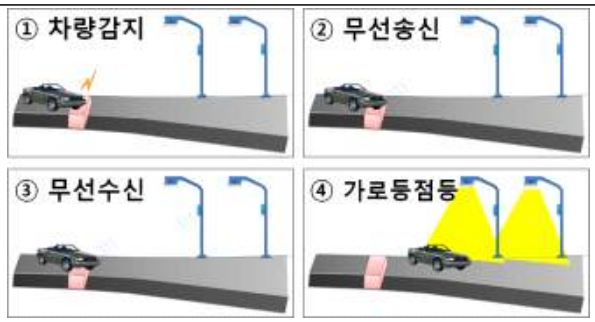
연차 (단계)	연차별 성과목표	성과지표	측정방법	목표치	가중치
1차 (1단계)	압전 특성 평가	d33 × g33	Impedance Analyzer	11K	5%
		Kp	Impedance Analyzer	55%	10%
		Tc(℃)	εr-T	270	5%
	압전발전 모듈 설계	학술지 논문게제	국내학회지	1건	15%
		학술회의 발표	국내외	1건	15%
		power(W)	Oscilloscope	0.2	30%
		특허출원	국내외출원	1건	20%
	소 계				100%
2차 (2단계)	압전 특성평가	d33 × g33	Impedance Analyzer	13K	5%
		Kp	Impedance Analyzer	60%	10%
		Tc(℃)	εr-T	290	5%
	압전전력 발생 모듈 개발 및 제작	학술지 논문게제	국내학회지	1건	10%
		학술회의 발표	국내외	1건	5%
		power(W)	Oscilloscope	0.25	15%
		시제품	건수	3건	20%
		실용신안	출원건수	1건	10%
		홍보	홍보물 제작	1건	5%
		특허출원	특허출원	3건	15%
	소 계				100%
3차 (2단계)	압전 하베스터 효율 평가	Kp	Impedance Analyzer	60%	5%
		power(W)	Oscilloscope	0.3W	10%
	압전전력 발생 모듈 개발 및 제작	시제품 제작	제작건수	3건	15%
		특허출원	특허출원	5건	25%
		학술지 논문게제	국내·외 학회지	2건	10%
	압전무선 스위치	송·수신 거리	송·수신 사이 간격	30m	5%
		시제품 제작	제작건수	2건	10%
		특허출원	특허출원	1건	5%
	테스트	테스트베드 구축	테스트베드 구축	1건	15%
	소 계				100%

나. 연차별 연구목표 및 내용

연 차	연구목표	주요 연구내용
3 차 년 도	압전 기술을 이용한 전력발생 모듈 제작	■ 발전량에 미치는 구조적 인자 도출 – 구조 설계를 위한 시뮬레이션 · 시뮬레이션 도구 : ANSYS (유한요소해석방식) · 시뮬레이션 내용 : 압전캔틸레버(단위모듈)의 인자값(압전체 위치, 무게 추의 질량, 금속판의 크기 등)변화에 따른 발전량을 시뮬레이션(전산모사)하여 발전량이 최대로 나오는 인자 값 적용 – 단위모듈 실험 및 평가 · 압전시트의 압전특성값(kp:60%) 최적화된 인자 값을 적용한 단위모듈 제작 후 발전량 확인 (1회 진동에 의한 발전특성 측정) ■ 압전시트 전극공정 개선 및 전극산화 방지기술 개발 – 압전시트 전극면과 정류회로 간 연결 전선의 결합방법 개선 (장시간 진동환경 노출시 단락가능성 보완) – 압전시트의 전극 면으로 사용하는 은(Ag)전극은 일정시간 경과 후 산화하며, 이를 방지하기 위한 보호막 도포 및 개선 ■ 시제품 제작 – 단층 패드(블럭)형태의 시제품 제작 · 최적 구조 설계를 적용한 패드 형태의 압전하베스터 제작(단위구성품 : 압전시트, 압전캔틸레버, 무게추, 지지대, 정류회로, 케이스) – 다층 패드형태의 시제품 제작 에너지 효율을 높일 수 있는 다층(5층 이하) 형태의 압전하베스터 제작(층별에 대한 발전량 평가)

		 P.P scale 압전 발전 모듈 제조 기술 확보 – 압전 소자 양품수율 : 70% 확보 – 압전 발전 단위모듈 320개/일 capa. 제조 조건 확보
	압전 충전회로제작 및 압전발전모듈 평가	■ 최적화된 충전회로 제작 – 전력 손실 최소화 및 효율 극대화 : 임피던스가 큰 압전체로 인해 발생된 전력손실 보완 ■ 단위 충전회로 전류 및 전압제어시스템 제작 – 충전된 전력을 응용(무선스위치)하기 위한 전류 및 전압 제어 시스템 개발 ■ 제작 회로 성능 평가 – 기존회로(전년도)와 개선된 회로간의 발전특성 비교를 통한 성능 평가 ■ 압전발전 장치 효율 평가 – 외부 압력에 따른 발전특성 평가 : 힘 인가 방식, 힘 인가시 가속도 등에 따른 발전량 평가 ■ 압전발전모듈 장치 내구성 평가 (항온항습, 고온, 저온, 열충격, 진동) – 항온항습 : 고온 다습환경(온도 → 85℃, 습도 →85%, 240시간 방치)에 노출 후 압전발전모듈장치의 작동여부 확인에 의한 신뢰성 평가 – 고온시험 : 고온 환경(챔버내 100℃고온 유지, 24시간× 10 cycle)에 노출 후 압전발전모듈 장치의 작동여부 확인에 의한 신뢰성 평가 – 저온시험 : 저온 환경(챔버내 –20℃저온 유지, 24시간× 10 cycle)에 노출 후 압

		전발전모듈 장치의 작동여부 확인에 의한 신뢰성 평가 – 열충격 시험 : 1회 주기(총 2시간, 30분마다, 상온환경 : 25℃)를 고온→상온→저온→상온, 환경(100℃ 고온유지 챔버)과 저온환경(−20℃ 저온유지 챔버)을 주기적으로 이동하면서 압전발전모듈 장치에 열충격을 수차례 가한뒤 작동여부 확인에 의한 신뢰성 평가 – 염수분무시험(방식: KS D 9502) : 염수를 압전발전모듈 장치에 분무하여 염수에 노출된 환경(10시간)에서 일정시간 뒤 압전발전모듈 장치의 작동여부 확인에 의한 신뢰성 평가 – 진동시험(방식 : KSC 0240) : 압전발전모듈 장치에 진동을 지속적으로 가한 뒤 일정시간뒤에 장치의 작동여부 확인을 통한 신뢰성 평가
	압전무선스위치 제작	■ 저전력 구동 무선통신 송· 수신 모듈개발 – 안정적 전력공급회로 개발 및 제작 – 송·수신 프로토콜 개발 – 무선통신 장치 연계 체계 개발  ■ LED 장치 인터페이스 모듈 제작 – RF 수신 및 조명제어 모듈 개발 – 주행환경에 맞는 동작 펌웨어 개발

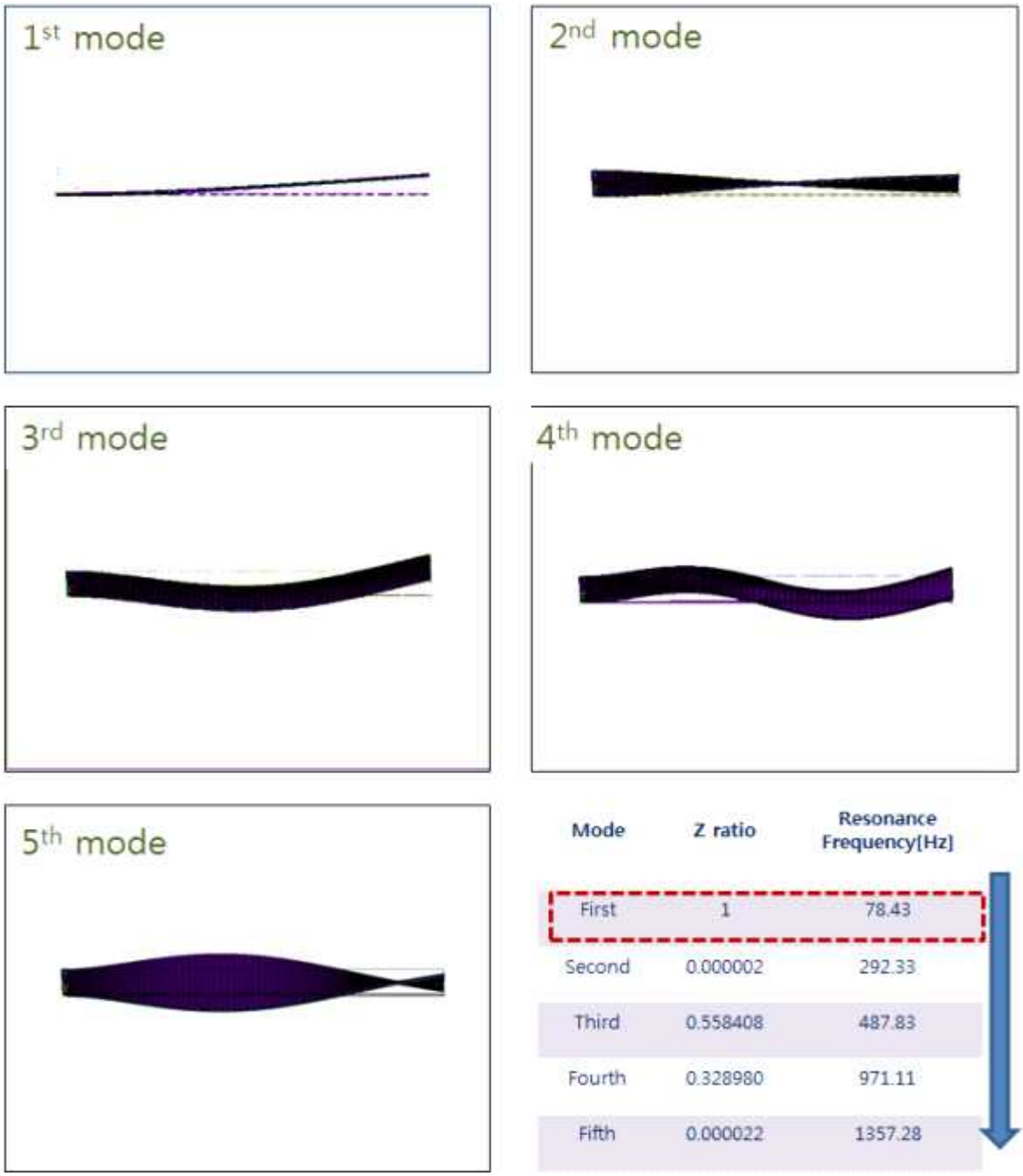
		
	현장설치 및 테스트	■ 압전발전모듈 현장설치 및 발전특성 평가 – 설치장소 : 제주도내· 외 도로 – 평가물 : 압전발전모듈(매립형), 압전발전모듈(다층패드형) – 평가 내용 · 차량하중 변화에 따른 발전특성 평가 (분류 : 경차, 승용차, 화물차) · 차량속도 변화에 따른 발전특성 평가 (10 ~ 100 km/h 등속 통과시(10 km/h 간격) · 도로주변환경에 따른 내구성 평가 (온도, 습도, 강우, 횟수) – 매뉴얼화 및 관련 법규 검토 ■ 압전무선스위치 현장설치 및 테스트 – 속도 변화에 따른 차량 통과 시 LED 가로등 제어(10 ~ 100 km/h 등속 통과시 (10 km/h 간격) – 최소 송수신 시간(20ms 이하)

제 3 절 연구내용 및 연구결과

1. 압전 기술을 이용한 전력발생 모듈 제작

1-1. 발전량에 미치는 구조적 인자 도출

가. 구조 설계를 위한 시뮬레이션

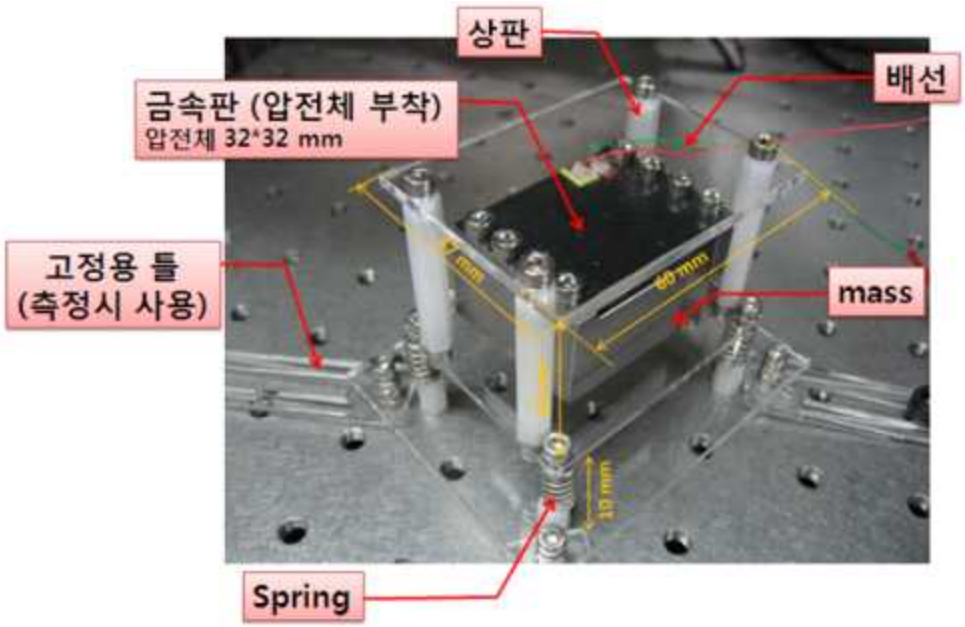


<그림 3-5> 각 모드별 변형 모습(시뮬레이션 결과)

시뮬레이션의 모달해석을 통하여 각 공진 영역의 주파수를 확인하였다. 1차 모드에서 5차 모드까지 공주 주파수 대역에서 압전 시트 캔틸레버의 구조가 변형되는 모습을 나타낸다. 그림의 위 아래로 진동시 Z축의 변형은 1차 공진 모드에서 가장 손실이 적었으며 모드가 증가할수록 공진 주파수가 증가하는 것을 확인하였다.

1) 압전 소자를 이용한 에너지 하베스터(Energy Harvester)

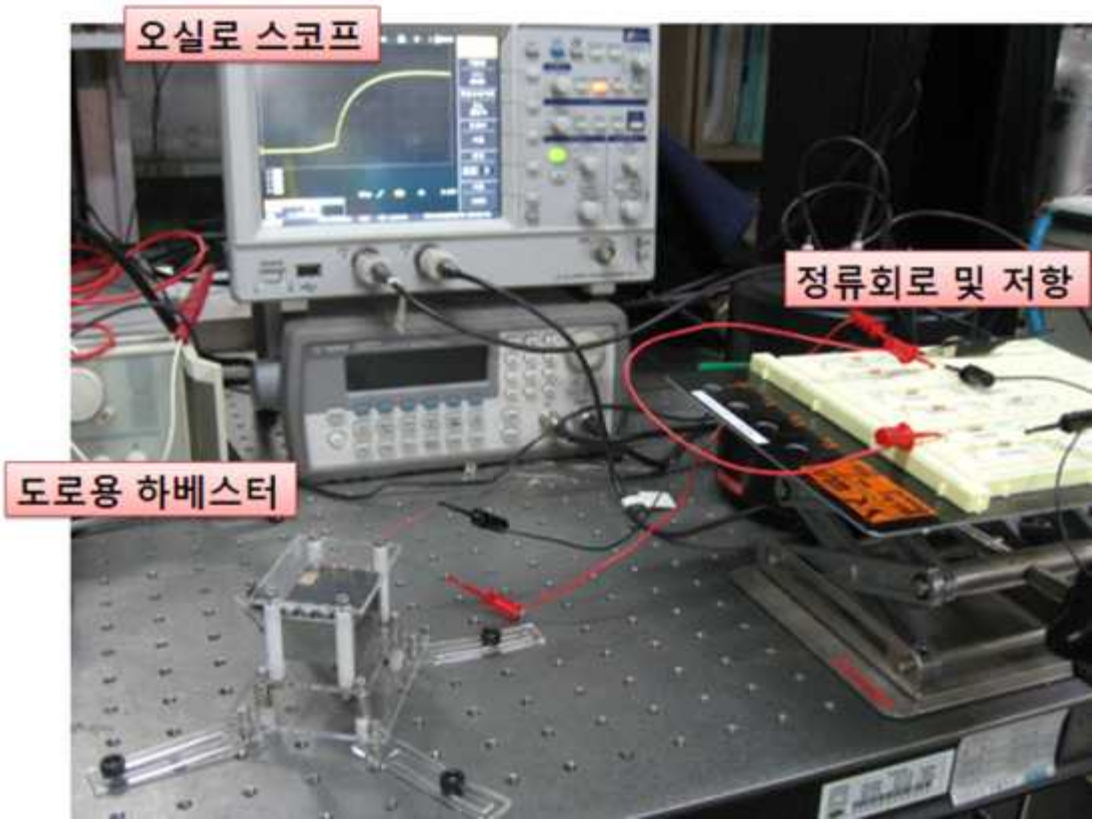
그림 3-6은 도로교통 시설물 제어시스템용 압전소자 1기를 이용한 에너지 하베스터(Energy Harvester)의 발전특성을 평가하기 위해 제작한 구조물이다. 차량의 하중에 의해 압전체가 변형되도록 Energy Harvester를 스프링구조를 이용하여 설계하였다. 금속판에 압전 sheet를 부착하고 한쪽이 고정되어있는 캔틸레버형태로 반대쪽에는 공진주파수를 낮추기 위해 무게추(mass)를 결합하였다. 맨 위 상판이 아랫방향으로 눌려지면 일정높이로 내려갔다가 스프링의 복원력에 의해 상판과 중판이 빠르게 올라가서 최대점에 이르러 이동이 멈춤에 따라 관성에 의해 캔틸레버가 진동을 하게되는 구조이다. 이 압전소자 1기에 대한 평가를 통해 필요로하는 전자기기의 전압을 예측 및 설계가 가능하다.



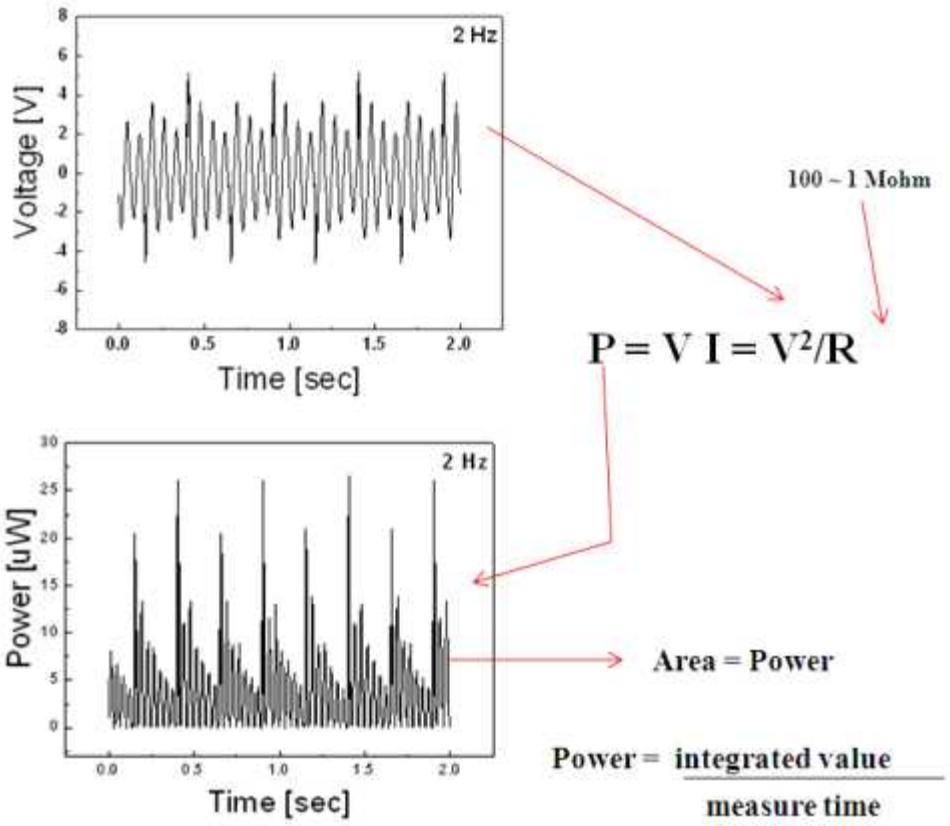
<그림 3-6> 압전소자 1기로 구성된 Energy Harvester

2) 발전특성 평가방법 및 측정결과

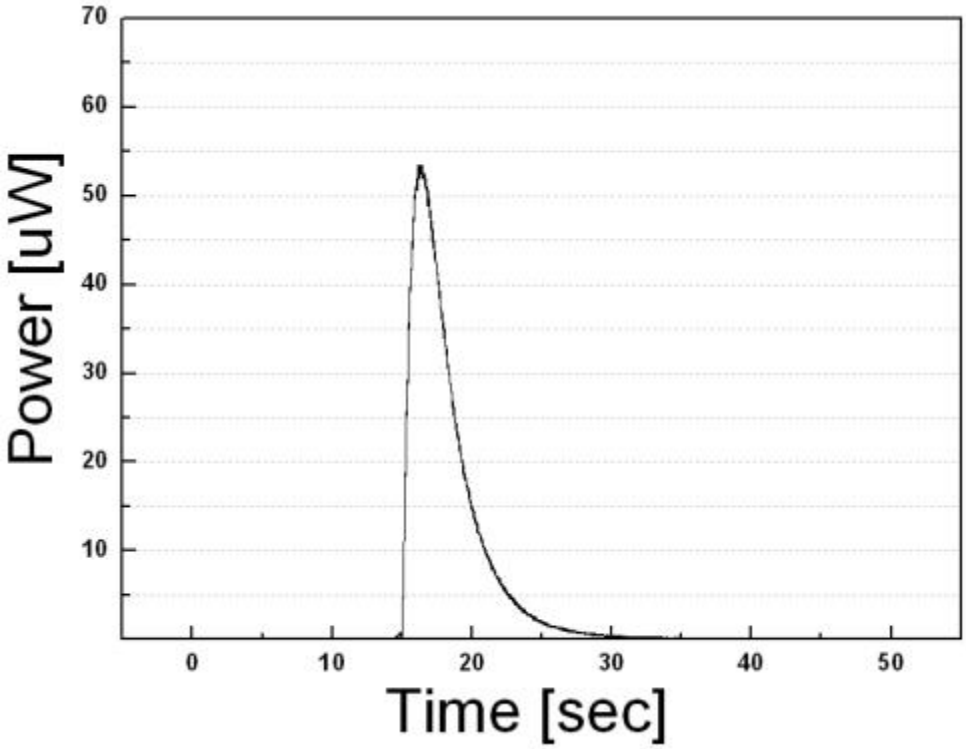
그림 3-7의 압전소자 1기로 구성된 Energy Harvester를 상부에서 힘을 가하여 발생된 발전특성을 평가하기 위해서 정류회로와 캐페시터를 연결하고 병렬로 특정 저항을 연결한다. 그리고 캐패시터 양단간에 걸리는 전압을 오실로스코프로 측정한다. 옴의 법칙 $P=V^2/R$ 식을 이용하여 시간에 따른 Power 그래프를 얻은 뒤 적분하여 면적을 계산하여 Power를 계산하였다.(그림 3-8 참조)



<그림 3-7> 압전소자 1기로 구성된 Energy Harvester 발전특성 평가모습



<그림 3-8> Power 계산 예시



<그림 3-9> Energy Harvester 1회 진동에 따른 발전량

압전소자 1기가 적용된 Energy Harvester를 1회 진동 시 약 0.055 mW가 발생되며, 이는 1시간 가동 시 0.21 W로 약 0.2 W가 발생되는 효과가 있다. (분당 60회 × 60분 진동시) 다량의 압전 소자를 어레이하여 제작 시 좀 더 큰 발전량을 생산하는 Energy Harvester 제작이 가

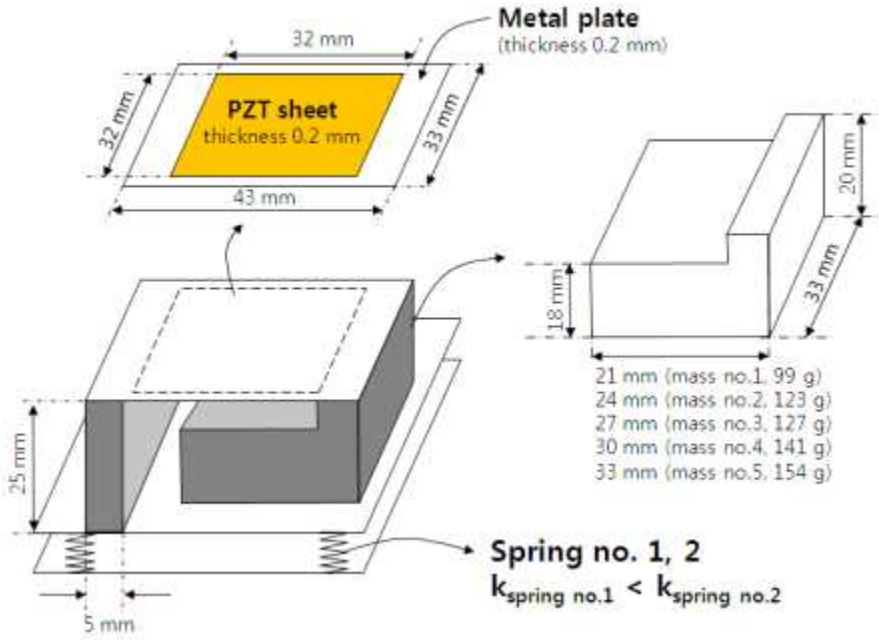


<그림 3-10> 다량의 압전 소자가 어레이된 형태의 Harvester

- (Electrical Power)
  $P=V^2/R$ 식을 이용하여 시간에 따른 Power 그래프를 얻은 뒤 적분하여 면적을 계산하여 Power를 계산함(p285)
- 계산방식참조 (하단주소 혹은 일반물리책에서 Electrical Power 참조)
- 출처 : http://en.wikipedia.org/wiki/Power_(physics)

3) 발전량에 미치는 구조적 인자 : 스프링의 영향

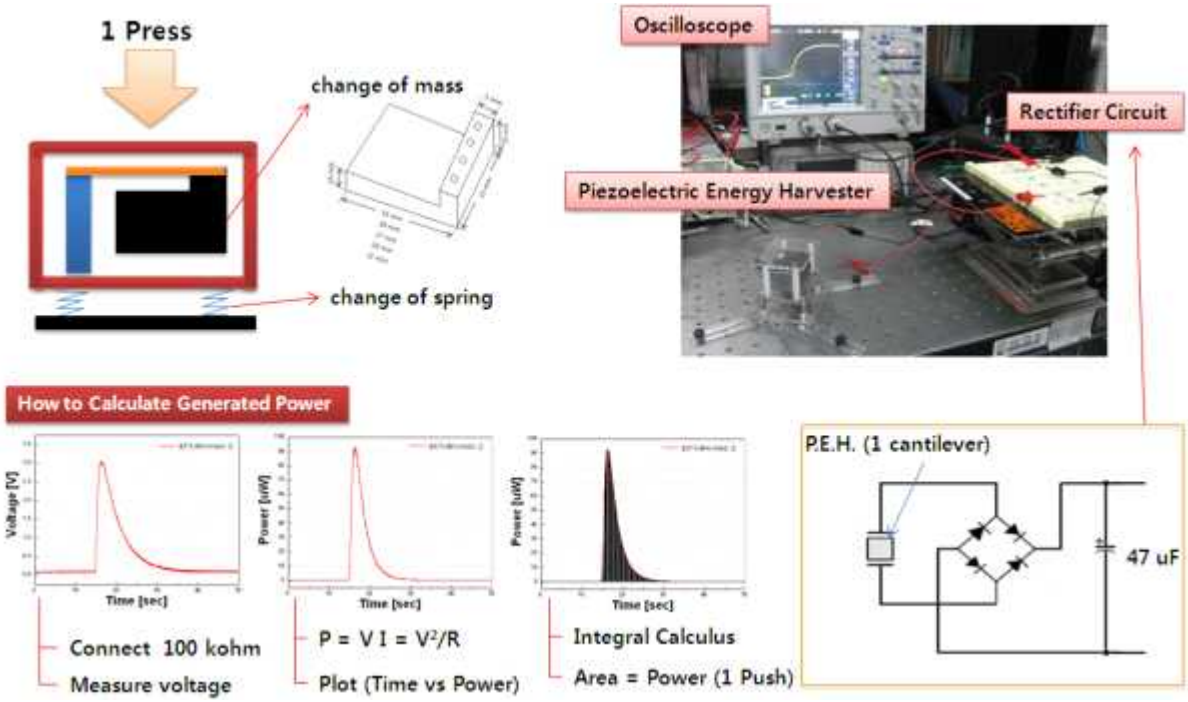
발전량에 미치는 구조적 인자를 도출하기 위해 유니몰프(금속판 한면에만 압전체 부착) 캔틸레버 1기의 형태를 제작하여 평가하고자 하였다. 43 mm × 33 mm × 0.5 mm(T)로 절단된 스프링강판에 32 mm × 32 mm × 0.185 mm(T)크기로 제작한 압전 시트를 에폭시 접착제를 사용하여 부착하였다. 진동에 의해서 캔틸레버가 휘어질 때 큰 변형이 있는 곳에서 압전 시트가 파손되는 문제를 보완하고자 그림과 같이 압전 시트의 크기로 조절하였다. 스프링강판 한쪽 끝에 mass를 달고 반대 면에는 지지대를 연결하였다. 최적의 mass를 찾기 위해서 그림과 같이 mass 밑변의 길이를 3 mm씩 변화하여 5종류로 준비하였다. 지지대를 아크릴케이스와 결합한 뒤 아랫면 4군데에 스프링을 결합하였다. 압전 켄틸레버 1기의 에너지 하베스터를 제진테이블에 고정하였으며, 압전 캔틸레버의 상하 진동에 의한 교류전압을 정류하여 직류전압을 얻기 위해 압전체에 도선을 빼내어 정류회로를 연결하였다.



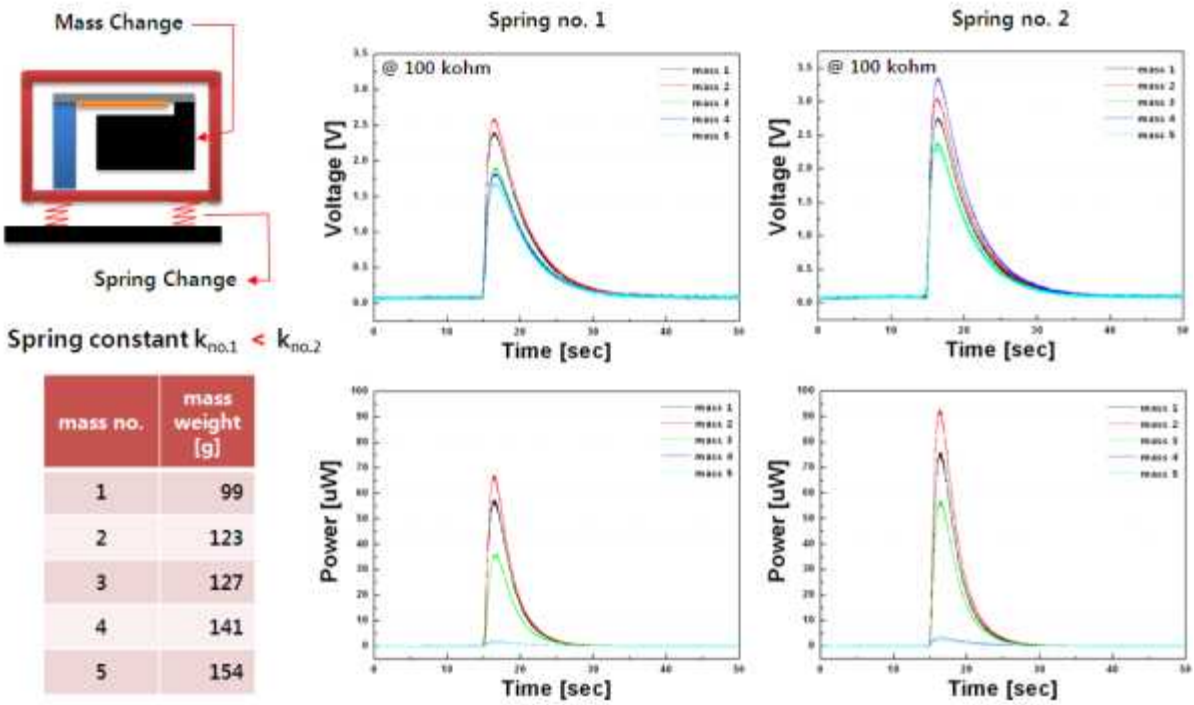
<그림 3-11> 압전 캔틸레버 모식도

발전특성을 평가하기 위하여 정류회로에서 나오는 출력부분에 병렬로 저항을 연결하였다. 하베스터 상판이 1회 눌려졌을 때 발생한 전압을 오실로스코프 (WaveJet 322, LeCroy, United State)로 측정하였다. 스프링과 발전량, mass와 발전량의 관계를 알고자 스프링 상수 값이 다른 2종류의 스프링을 사용하고 질량이 다른 5종류의 mass를 사용하여 평가하였다. $P= V^2/R$식을 사용하여 시간에 대한 power 그래프를 그린 뒤 적분

하여 1회 진동인가에 따른 발전특성을 평가하여 최적의 스프링과 mass를 결정하였다.



<그림 3-12> 압전 캔틸레버 발전특성 평가방법



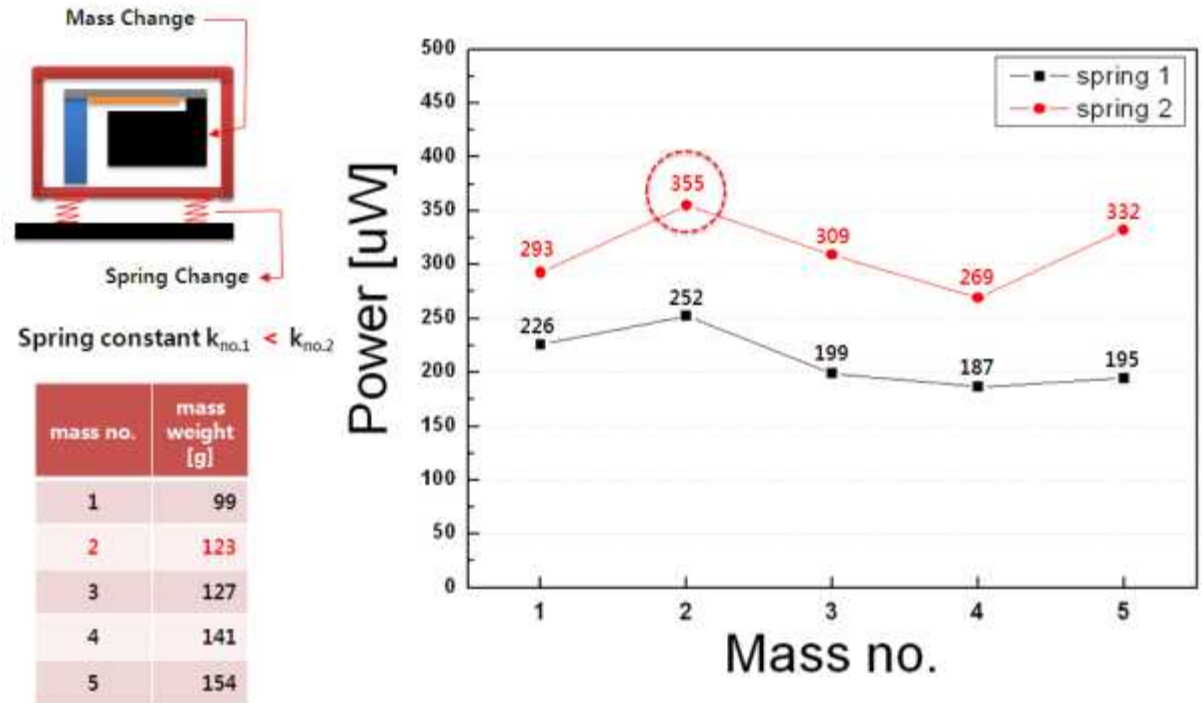
mass no.	mass weight [g]
1	99
2	123
3	127
4	141
5	154

<그림 3-13> 무게 추 크기에 따른 시간-전력 그래프

압전 캔틸레버에 대한 최적의 스프링과 캔틸레버 1기에 대한 최적의 mass를 결정하

기 위해 스프링 상수 값이 다른 스프링 2종류와 질량이 다른 5종류의 mass를 사용하여 발전특성을 비교하였다. 스프링이 완전히 압축될 때까지 중력방향으로 힘을 가한 뒤 제거했을 때 스프링복원력에 의해 스프링이 최대로 팽창하게 된다. 이때 관성에 의해서 압전 캔틸레버가 흔들리게 되어 발생한 발전량을 측정하였다. 그림은 시간에 대한 스프링과 mass변화에 따른 발전량을 나타내며, 이의 최종 값을 그림에 나타내었다.

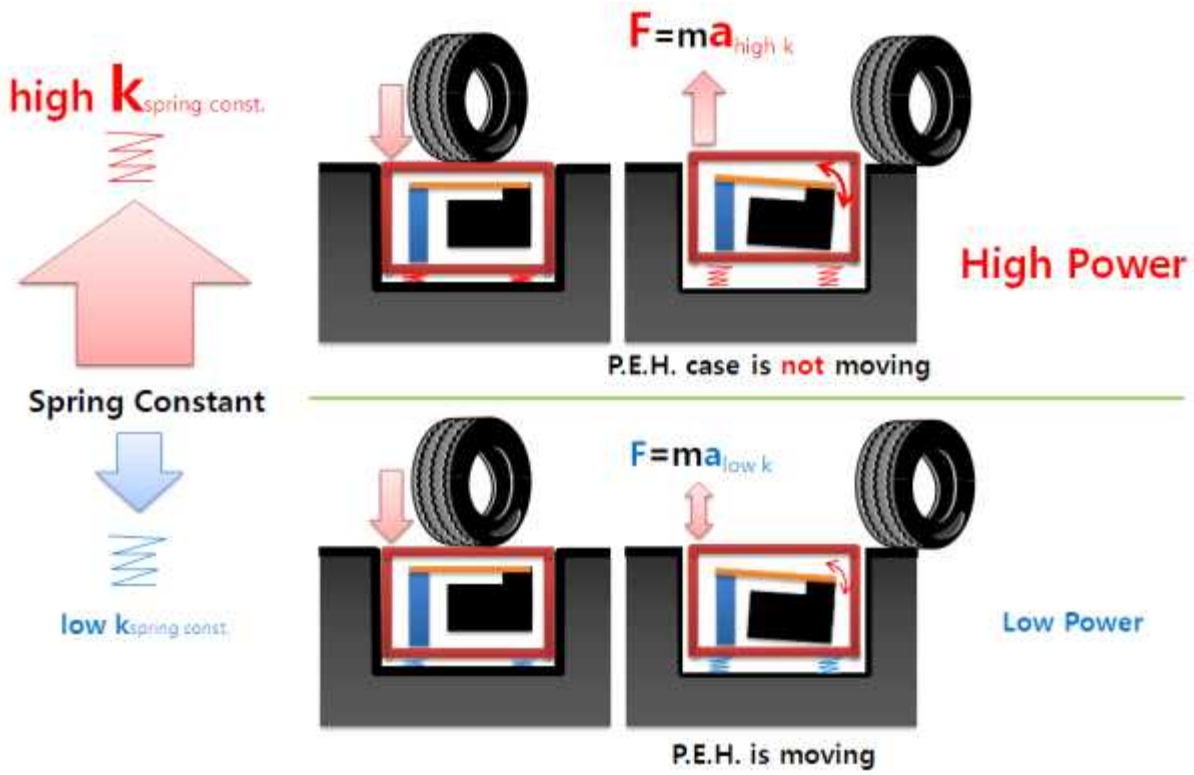
스프링상수가 스프링 1번(k1= 0.04 kgf/mm)보다 큰 스프링 2번(k2= 0.14 kgf/mm)이 전체적으로 더 높은 발전량을 나타내었다. 스프링 1과 2의 발전 특성 값이 차이가 나는 이유는 낮은 스프링상수일 경우에 스프링이 압축된 뒤 스프링 복원력에 의해 하베스터가 상승한 뒤 고정되지 않고 다시 스프링이 압축되면서 캔틸레버와 함께 진동하게 된다. 따라서 감쇄진동이 되어 진동이 오래가지 못하게 된다. 상대적으로 스프링상수가 큰 경우에는 스프링이 압축 후 팽창했을 때 복원력이 크게 되어 가속도도 클 것이며, 팽창 후 압축의 변화가 적기에 스프링 최대 팽창시의 충격에 의해 캔틸레버가 계속적인 진동을 하게 된다. 따라서 스프링상수가 더 클 때 더 큰 발전량을 얻을 수 있다. Mass 의 질량에 따라서도 발전량의 변화가 있었으며 특히 2번 mass(123 g) 일 때 최대의 발전량이 측정되었다.



mass no.	mass weight [g]
1	99
2	123
3	127
4	141
5	154

<그림 3-14> 스프링 변화와 무게추 변화에 따른 발전특성

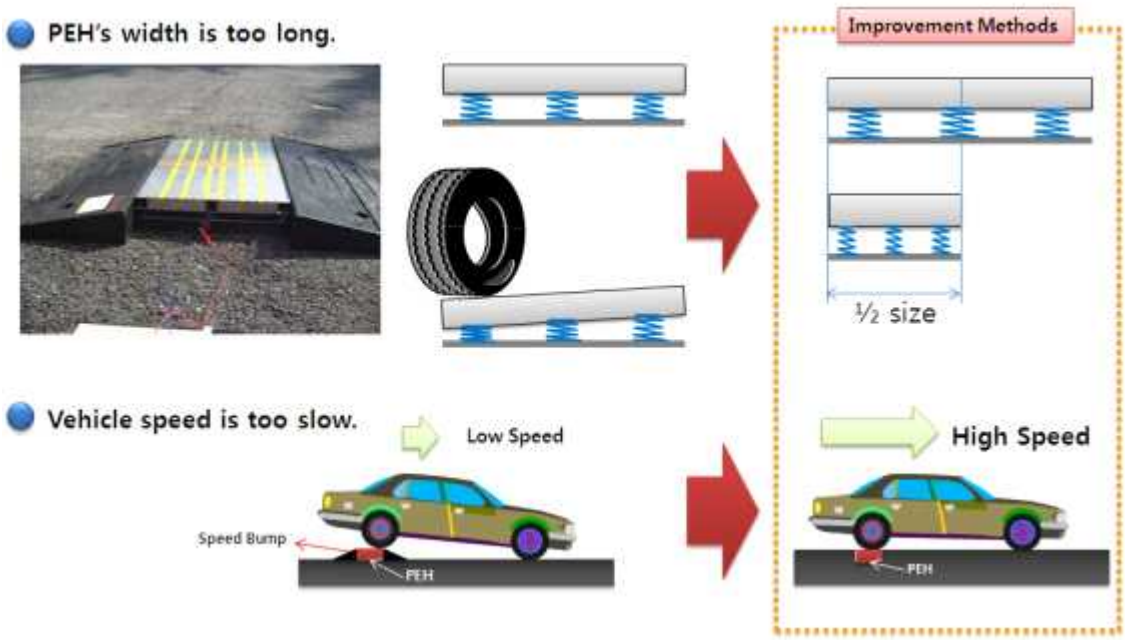
스프링 1과 2의 발전 특성값이 차이가 나는 이유는 낮은 스프링 상수 일 경우에 차량 하중이 없어진 뒤 하베스터가 스프링복원력에 의해 상승한 뒤 다시 스프링의 압축이 되어 캔틸레버와 함께 진동하게 된다. 따라서 감쇄진동이 되어 진동이 오래가지 못하게 된다. 스프링상수가 클 경우에는 스프링이 압축 후 팽창했을 때 더 이상의 압축이 없기에 그때의 충격에 의해 캔틸레버가 계속적인 진동을 하게된다. 따라서 더 큰 발전량을 얻을 수 있다. 이를 다음의 그림에 나타내었다. 외부의 하중에 스프링이 압축되면서 가장 큰 스프링 상수값을 가지는 스프링을 선택하여 제작하여야 높은 발전량을 얻을 수 있음을 확인하였다.



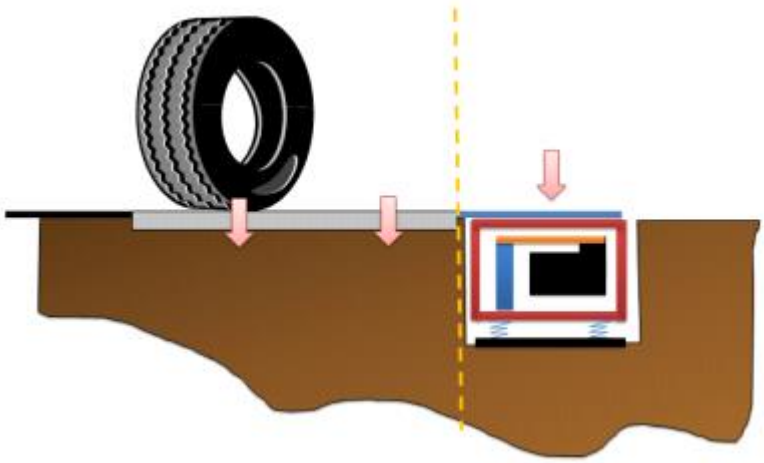
<그림 3-15> 스프링 상수값에 따른 압전 에너지 하베스터 발전특성 설명위한 개념도

3) 발전량에 미치는 구조적 인자 : 자가발전 모듈의 크기

두 번째로 차량하중에 의한 도로용 자가발전 모듈의 발전특성 평가실험을 통해서 차량의 하중에 의해 자가발전 모듈의 상판 전체가 내려가지 않고, 차량바퀴가 닿는부분의 스프링만 압축되는 것을 확인하였다. 또한 과속방지턱 형태이기에 차량의 속도를 고속으로 통과하지 못함에 따른 자가발전 모듈의 발전특성값이 기댓값에 미치지 못하였다. 개선방법으로 차량진행방향의 자가발전 모듈의 크기를 줄여서 자가발전 모듈 전체가 진동하게 하거나, 도로면에 자가발전 모듈을 매설 혹은 삽입하여 고속으로 차량이 통과함에 따라 과속방지턱을 통과할 때 보다 큰 힘을 자가발전 모듈에 전달하여 발전량을 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다.

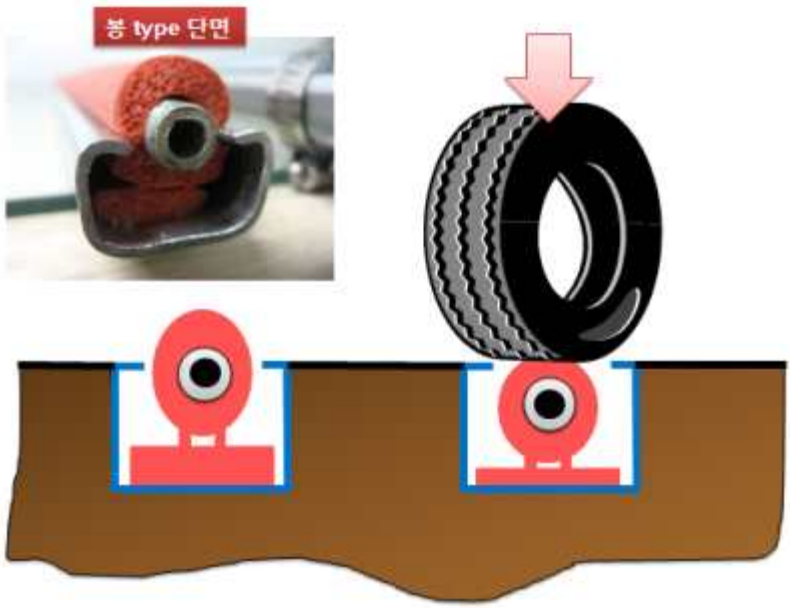


<그림 3-16> 도로용 자가발전 모듈 구조 문제점 및 개선방법

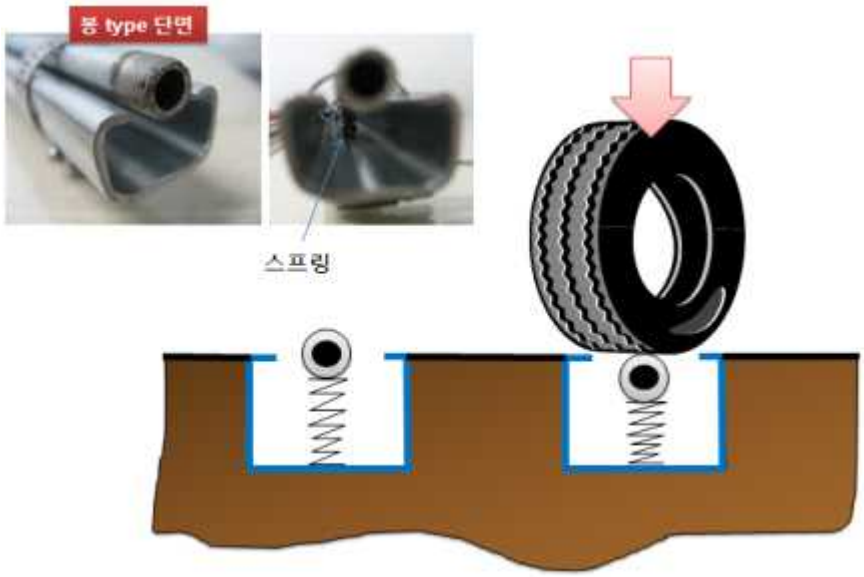


<그림 3-17> 봉 기구물에 의한 압전 에너지 하베스터 타격방식 개념도

또 다른 방식으로 그림과 같이 자가발전 모듈은 도로의 길가에 위치시키고, 차량의 하중을 봉 기구물에 의해 자가발전 모듈에 전달하는 방식을 고안하였다. 이러한 구조가 효과적이면, 봉 기구물에 의한 자가발전 모듈 타격방식은 차량의 고속 진행을 가능하게 하고, 차량의 도로 통행시에도 자가발전 모듈의 유지보수가 용이하며, 자가발전 모듈의 수량을 증가시키기 용이한 장점이 있다. 또한 도로면에 자가발전 모듈을 직접 삽입 혹은 매설하는 방법보다 상대적으로 부피가 작은 힘 전달 기구물을 삽입, 매설하는 방법이 수월하다.

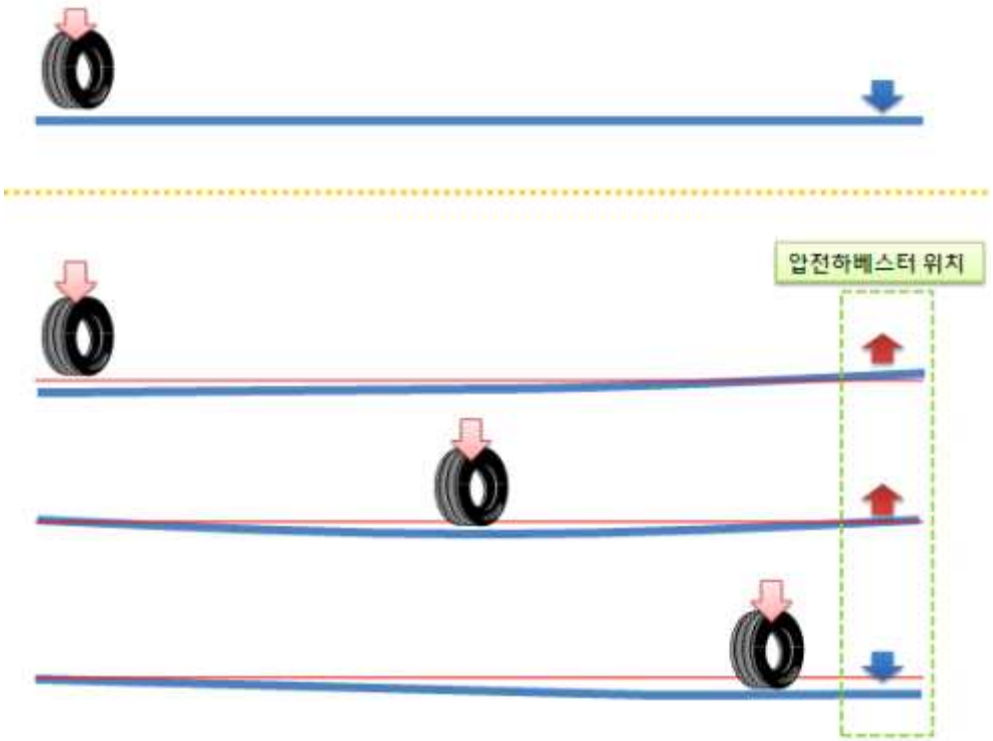


<그림 3-18> 발포실리콘을 이용한 봉 타입 기구물 단면도 및 실제작물 모습



<그림 3-19> 파이프관과 스프링을 이용한 봉 타입 기구물 단면도 및 실제작물 모습

가능성 여부를 판단하기 위해 2종류의 간단한 기구물을 제작하여 작동여부를 확인하였다. 첫 번째로 ㄷ자형태의 금속틀에 파이프관을 삽입한 발포실리콘을 삽입하였다. 발포실리콘을 사용하여 차량하중에 의해 압축되고 다시 팽창하도록 하였다. 두 번째는 동일하게 ㄷ자형태의 금속틀에 파이프관을 삽입하고 아래부분에 스프링으로 지지하는 형태로 제작하여 차량하중에 의해 압축되고 다시 팽창하도록 하였다.

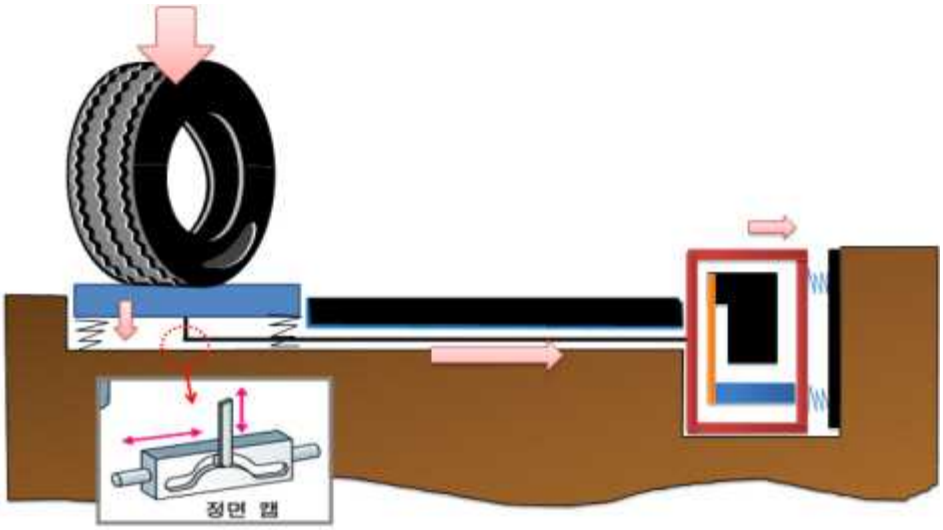


<그림 3-20> 봉타입 기구물의 문제점

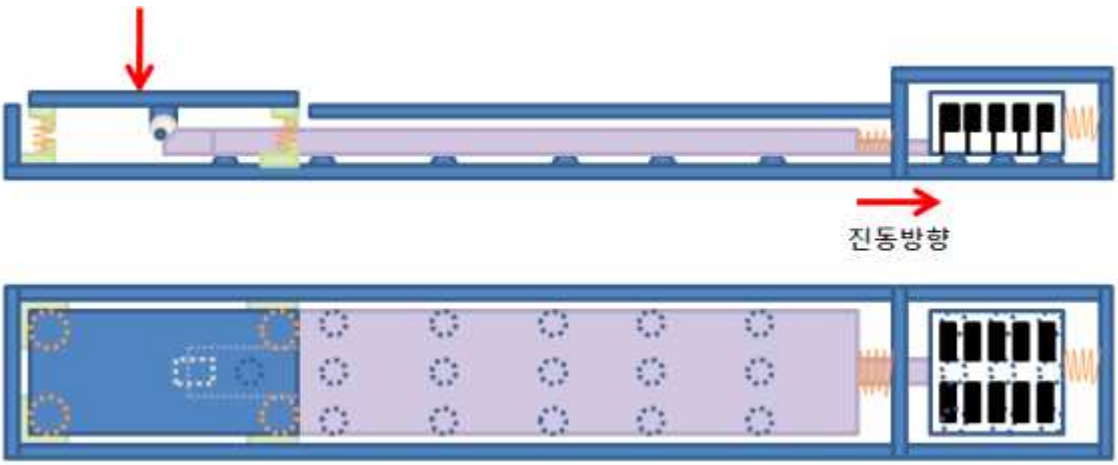
그림과 같이 봉타입 기구물에 위치별로 하중이 가해질 때 자가발전 모듈이 설치될 봉타입 반대쪽 끝단의 움직임을 살펴보았다. 차량하중에 의해 봉타입 끝단에도 동일하게 지면방향으로 내려갈것이라 판단했지만 자가발전 모듈과 가까운곳에 하중을 줄때를 제외하고 오히려 금속봉이 휘게되어 지면의 반대방향으로 올라가는 것을 확인하였다.

4) 발전량에 미치는 구조적 인자 : 타격방식의 개선(기구물)

이를 개선하고자 캠과 같은 구조를 이용하여 힘의 방향을 변화시켜 자가발전 모듈에 타격을 가해주는 주도록 구상하였다. 차량의 바퀴가 상대적으로 많이 지나가는 위치에 발판을 설치하고 그 발판을 차량이 밟았을 때 수직방향의 힘을 캠이 90도로 방향을 틀어주고, 지면과 수평한 방향의 힘으로 자가발전 모듈을 타격하여 자가발전 모듈내에 있는 압전 캔틸레버를 진동시키는 방식이다.

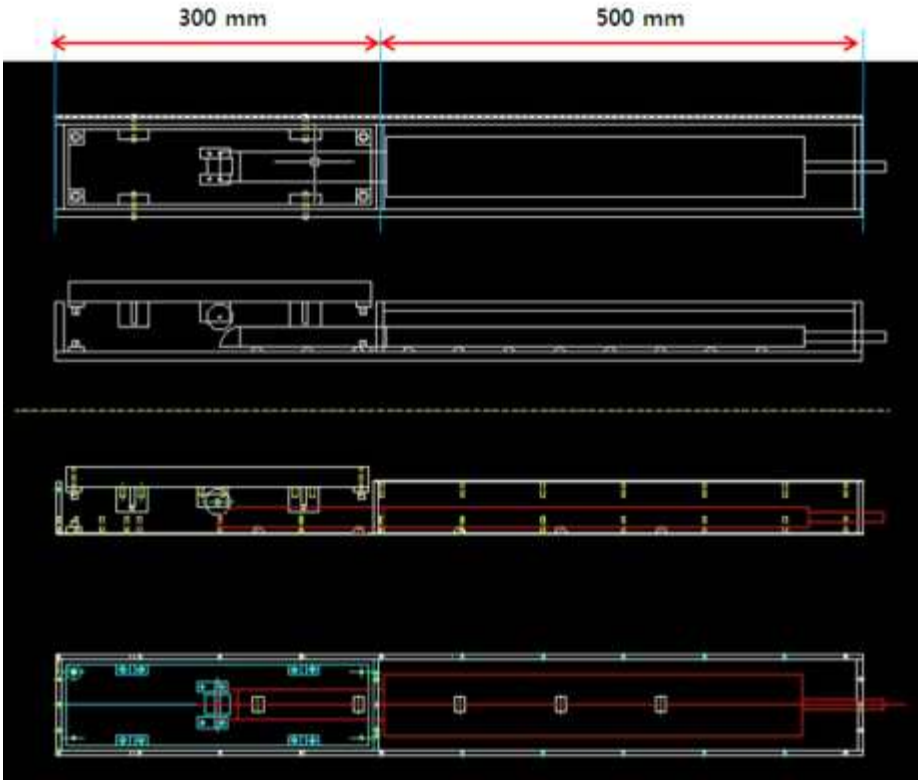


<그림 3-21> 개선된 봉타입 기구물 개념도



<그림 3-22> 개선된 봉타입 기구물 개념도

차량이 밟게되는 발판하부에 스프링을 위치시키고 자가발전 모듈을 타격하는 부분과 자가발전 모듈의 맨 끝부분에도 스프링을 결합하여 차량하중에 의해 발판이 내려가고 자가발전 모듈에 힘을 전달한뒤 다시 원위치 되도록 고안하였다. 그림은 개념도와 설계도면이다.

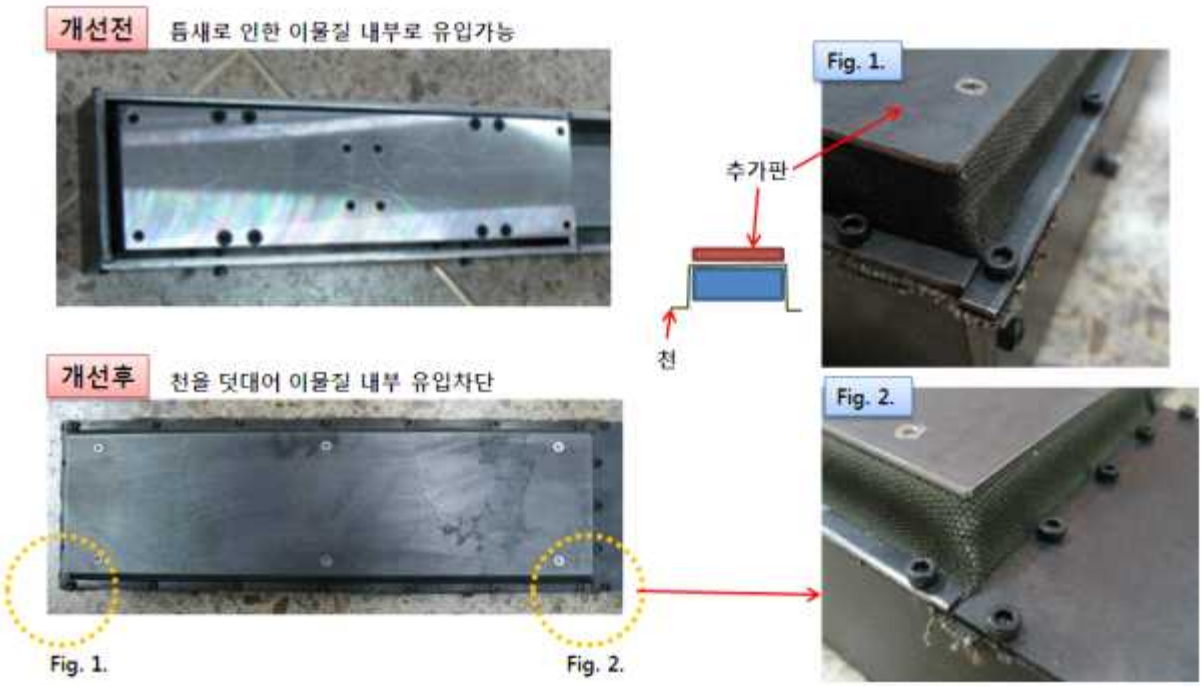


<그림 3-23> 봉타입 힘전달 기구물 설계도면



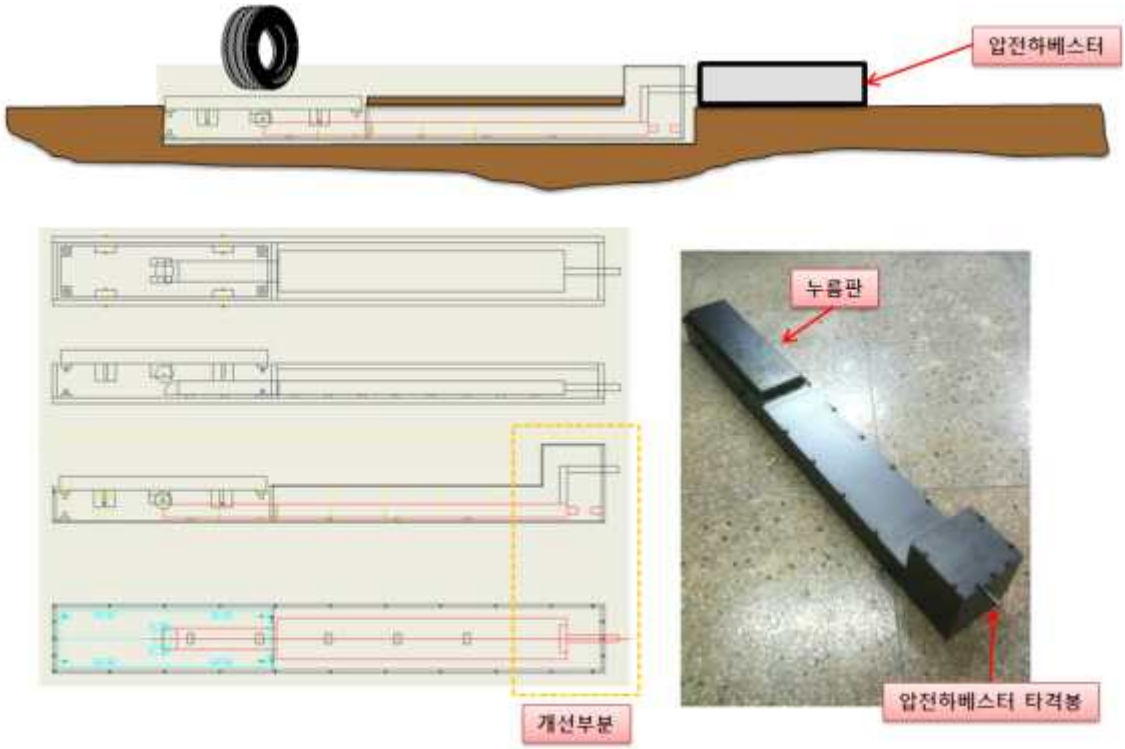
<그림 3-24> 봉타입 힘전달 기구물 실제작모습

그림은 봉타입 힘전달 기구물을 제작한 실물모습이다. 차량의 하중에 의해 발판이 내려가서 다시 원위치 될 정도의 스프링 상수값을 가지는 스프링을 사용하여 조립하였으며, 차량 하중에 의해 파손되지 않도록 금속(철)으로 가공하여 제작 조립하였다.



<그림 3-25> 봉타입 힘전달 기구물 누름판부분 개선모습

봉타입 힘전달 기구물을 제작후 차량이 밟게되는 발판부분과 봉타입 기구물 전체틀과의 유격이 있어 그 사이로 이물질등이 유입되어 발판의 움직임을 방해하게되는 문제점이 발견되었다. 이에 방수천을 덧대어 발판의 움직임은 가능하면서 이물질이 틈으로 들어가지 못하게 하였다.



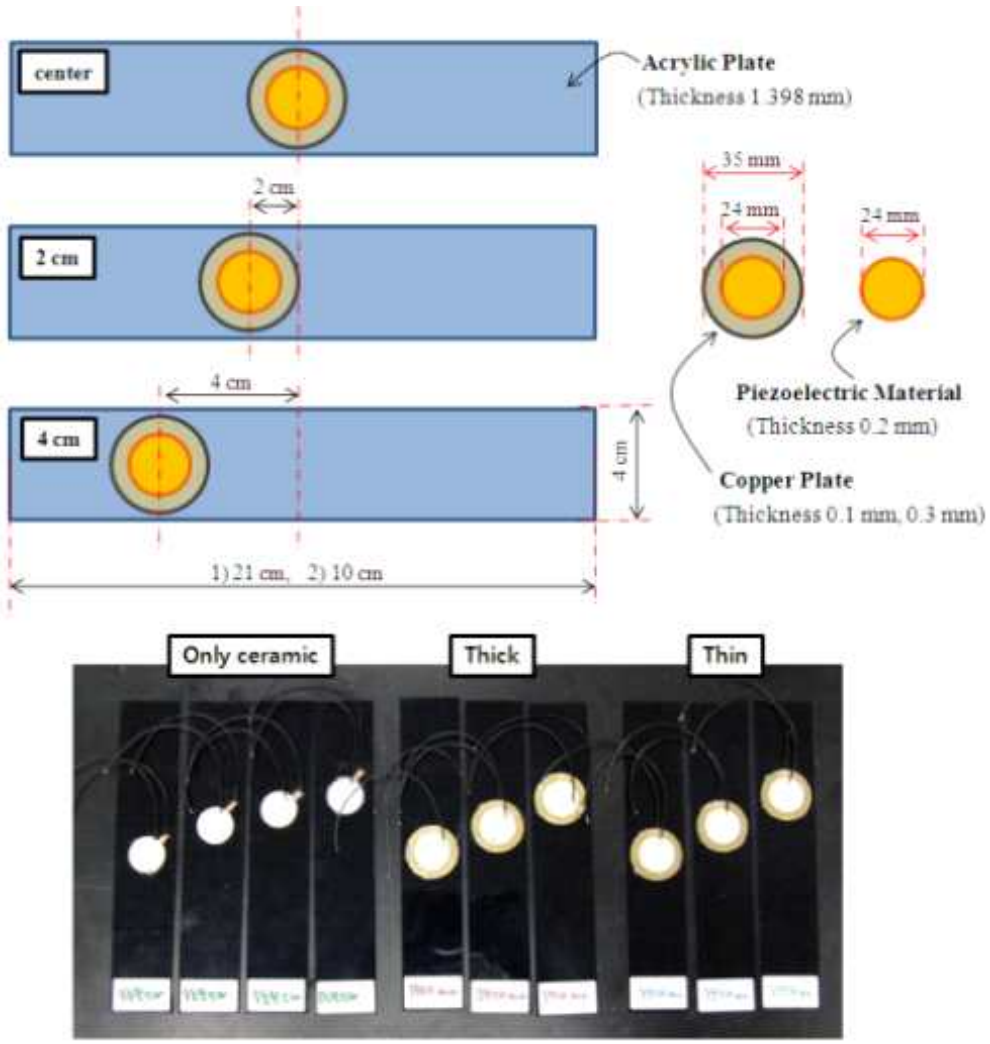
<그림 3-26> 굴곡형 봉타입 힘전달 기구물의 설계도면, 개념도, 실제모습

봉타입 힘 전달 기구물의 윗면이 도로면 높이와 같으므로 길가에 설치될 자가발전 모듈도 매설혹은 지면에 삽입되게 된다. 도로 가장자리에 설치시 지면아래에 설치하지 않아도 되기에 이를 타격부를 굴곡을 주어 지면으로 올라온 형태의 굴곡형 봉타입 힘전달 기구물을 제작하였다.

나. 소자 위치별 발전특성 평가

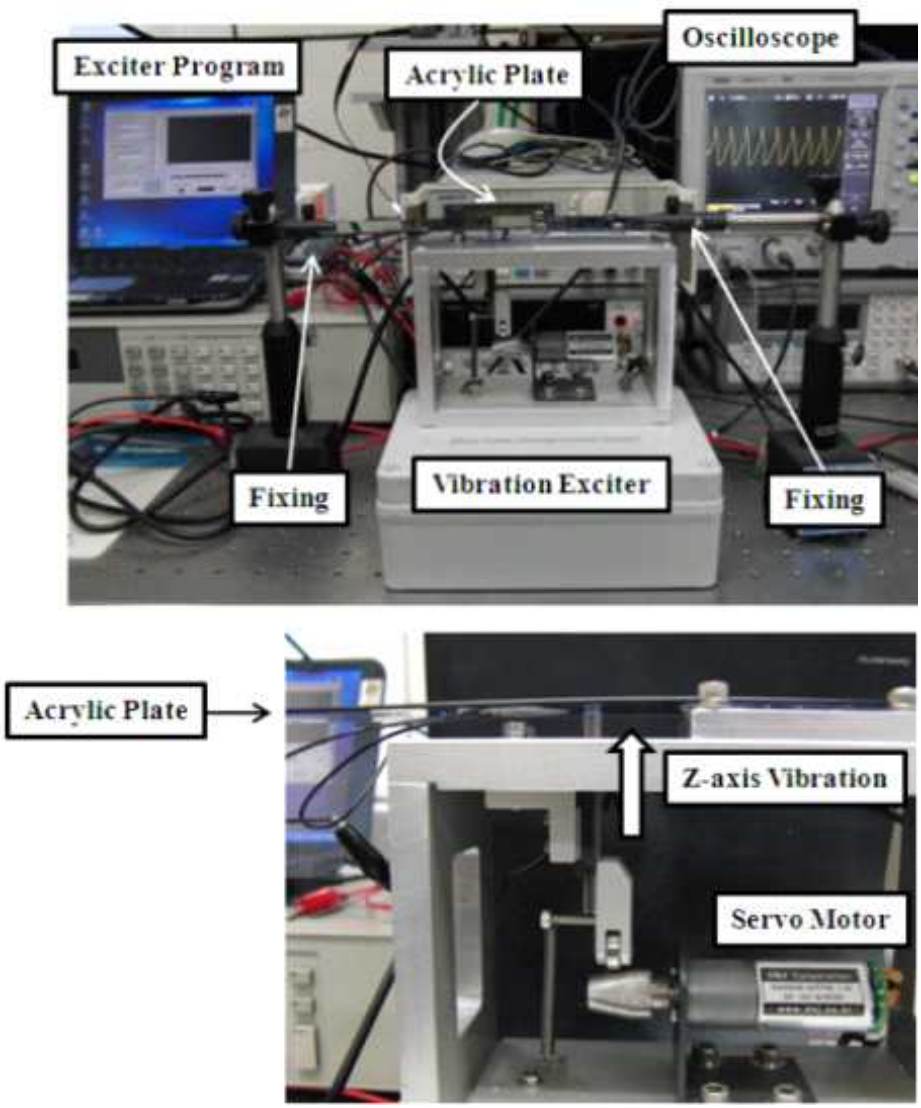
bender형태의 하베스터를 제작시 압전 소자의 위치와 bender 길이에 따른 발전량을 알아보고자 하였다. 또한 동판의 두께 변화와 발전특성간의 관계를 알아보고자 다음의 실험을 하였다.

압전 소자의 제작 용이성 및 모듈 제작의 용이성을 위해 소자는 원형의 소자를 사용하였다. 압전 소자의 크기는 직경 24 mm의 원형이며 직경 35 mm의 동판의 한쪽면에 부착 되어있다. 원형의 압전 세라믹만 있는 형태와, 원형의 세라믹을 원형 동판에 붙인 형태로 동판두께(0.1 mm, 0.3 mm)를 달리한 형태로 총 3종류의 압전소자를 사용하였다.



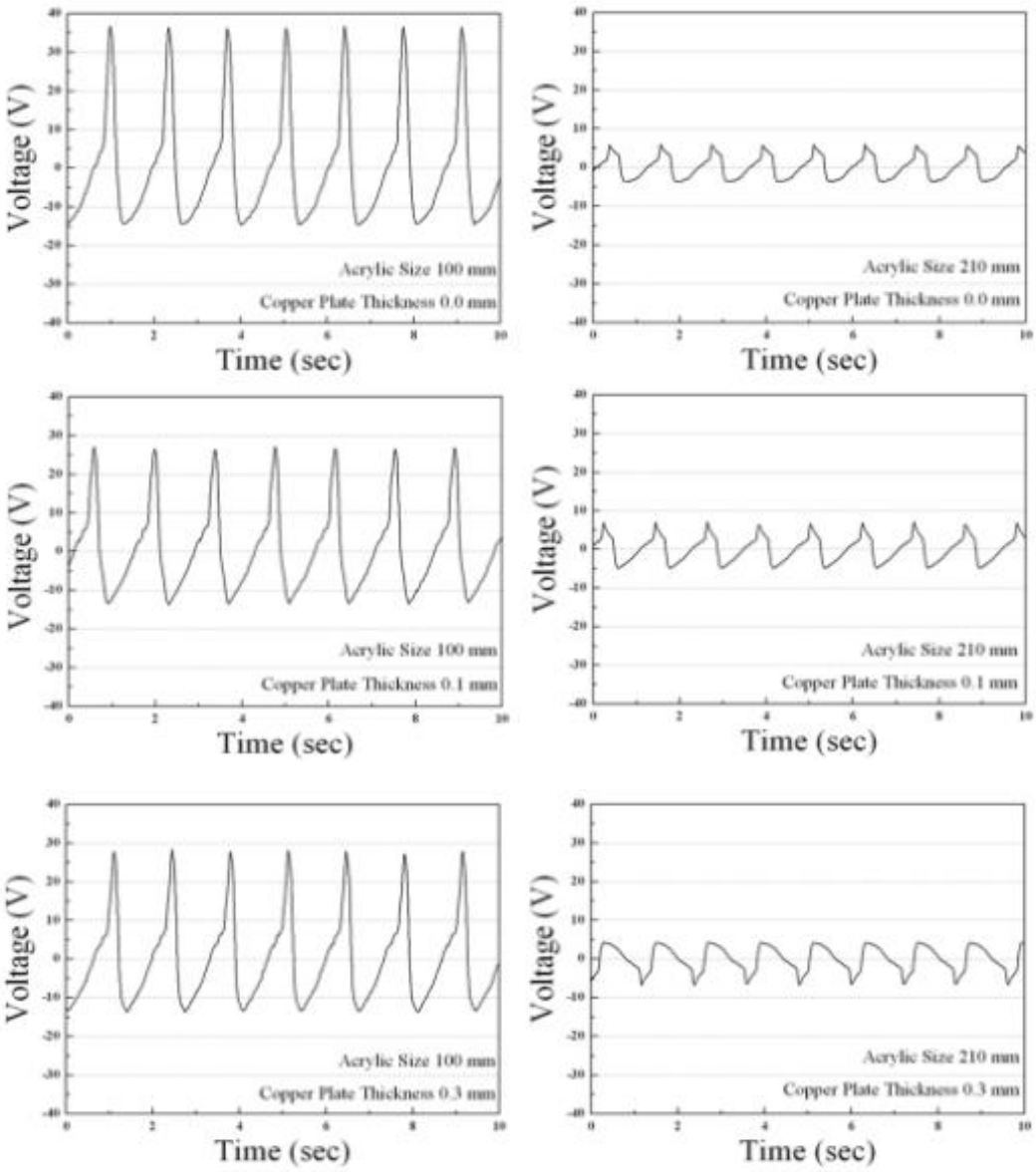
<그림 3-27> 벤더형태의 압전 하베스터

압전소자의 형태와 변형 위치(진동부분과의 거리)에 따른 발전특성을 알아보기 위해 <그림 3-27>과 같이 가로 210 mm, 세로 40 mm, 두께 1.398 mm의 아크릴 판에 3종류의 압전 소자를 에폭시 접착제로 부착하였으며, 중심 위치를 기준으로 0, 2, 4 cm 떨어뜨려 부착하였다. <그림 3-28>은 z축방향으로 진동함에 따른 발전특성을 측정하기 위한 실험 장치이다. 가진기(Vibration Exciter)를 z축방향으로 일정하게 가진시켜서 아크릴판의 정 중앙을 일정 주파수와 일정 변위로 힘을 인가한다. 아크릴판의 양끝을 고정하였으며, 이때 압전소자가 변형되어 발생한 전압을 오실로스코프를 통하여 측정 기록하였다. 아크릴 판의 길이변화에 따른 발전특성은 10 cm간격과 21 cm 간격으로 각각 고정하여 발전특성을 비교하였다.

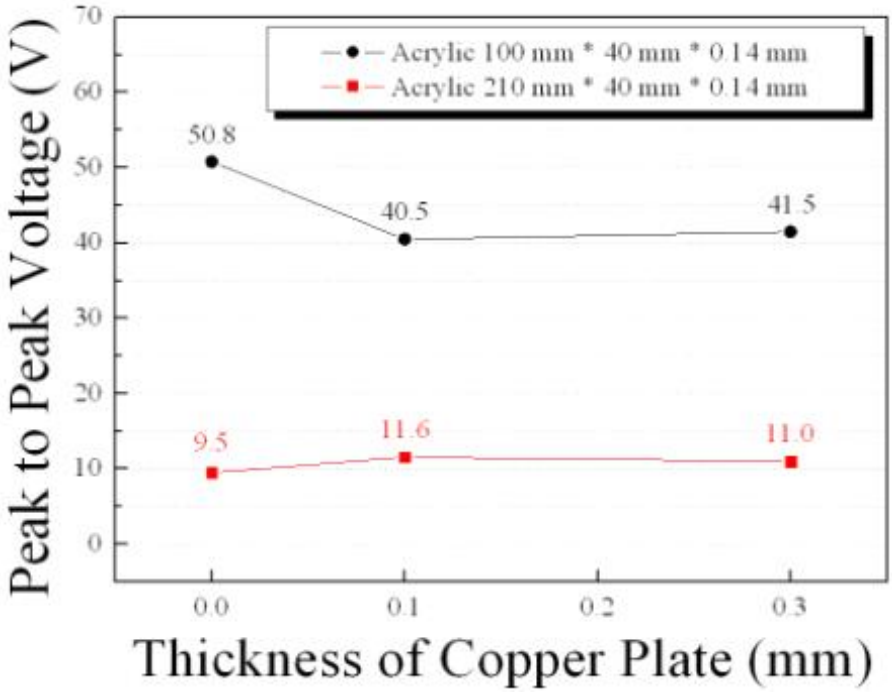


<그림 3-28> 가진 실험 장치

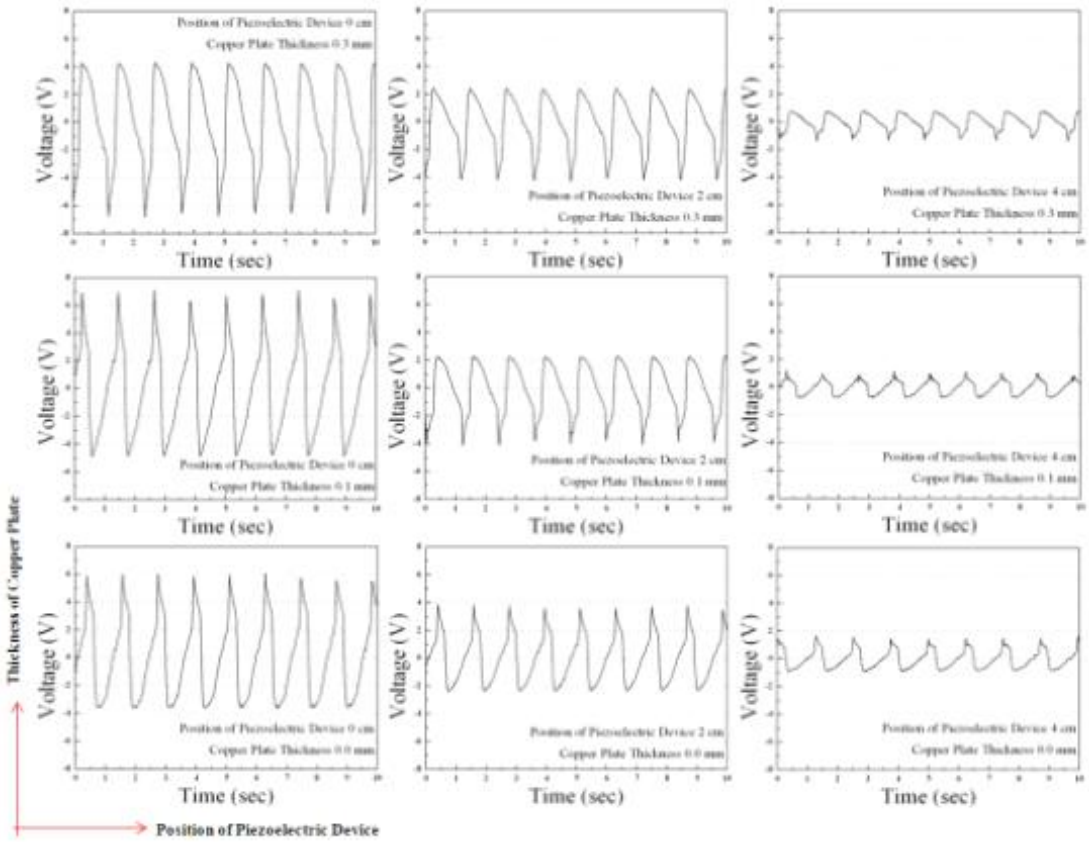
<그림 3-29>은 아크릴판의 고정길이에 따른 전압파형을 나타내며 peak to peak 전압을 측정하여 <그림 3-30>에 나타내었다. 아크릴판의 길이를 짧게 고정 할수록 발전특성이 크게 나타남을 알 수 있었다. 이에 따라 압전 소자가 부착된 bender를 가깝게 고정하고 힘을 인가하는 형태로 제작하는 것이 유리하다. <그림 3-31>는 압전 소자의 위치와 동판 두께에 따른 전압파형을 나타낸다. 이 전압파형을 통해peak to peak 전압을 측정하여 <그림 3-32>에 나타내었다. 압전소자의 위치가 가진 위치에 가까울수록 큰 전압을 나타내었다. 또한 동판의 두께가 얇은 조건에서 발전특성이 높게 나타남을 알 수 있었다. 따라서 도로용 압전 발판을 설계시 압전 소자의 고정조건을 최대한 가까이 주면서 동판은 얇은 것으로 하고 가진시 압전소자의 중심부를 변형시키도록 설계하는 것이 중요하다고 판단된다.



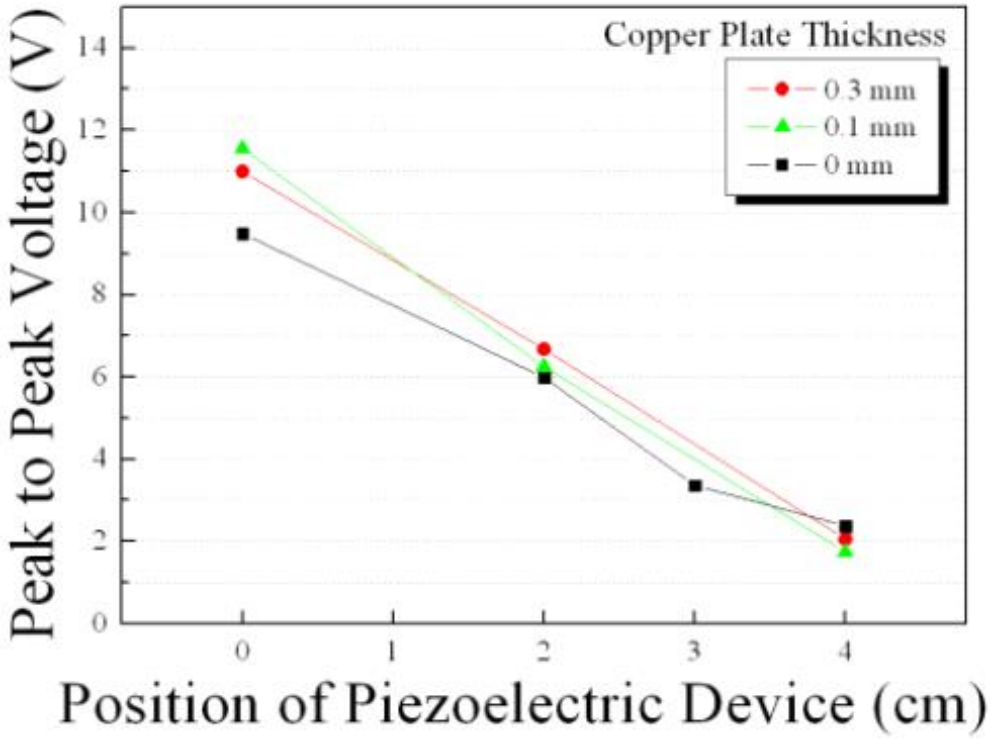
<그림 3-29> 아크릴판 크기 변화에 따른 전압특성 그래프



<그림 3-30> 아크릴판 크기 및 동판 두께 변화에 따른 전압특성



<그림 3-31> 압전 소자 위치변화에 따른 전압 특성

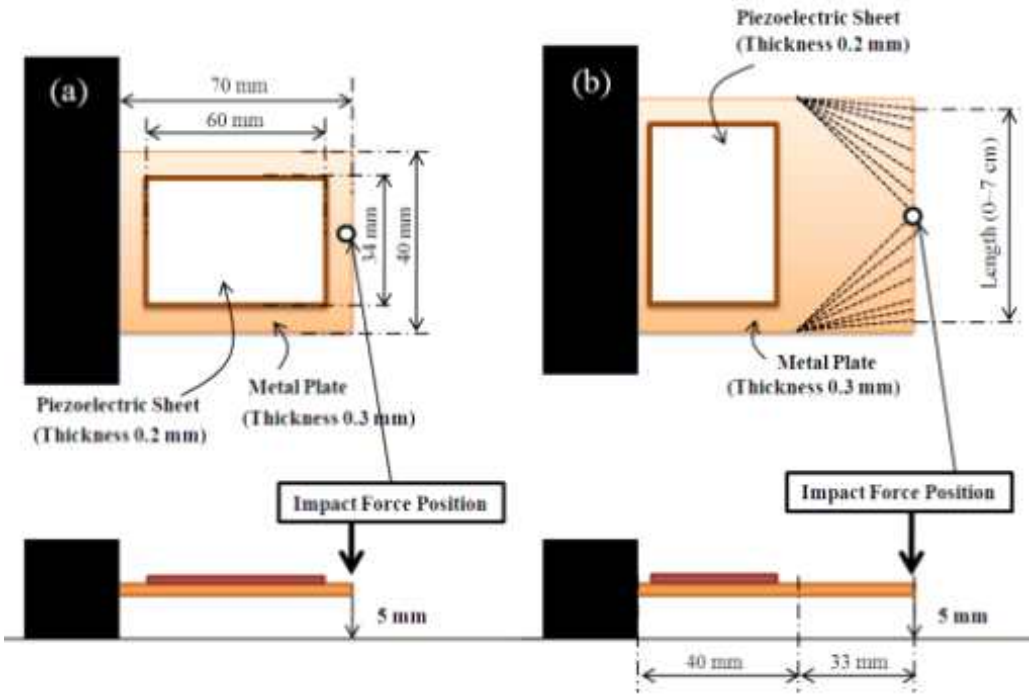


<그림 3-32> 압전 소자 위치 변화와 동판 두께 변화에 따른 전압 특성 결과

다. 압전 캔틸레버 끝단 짧아짐에 따른 발전특성 평가

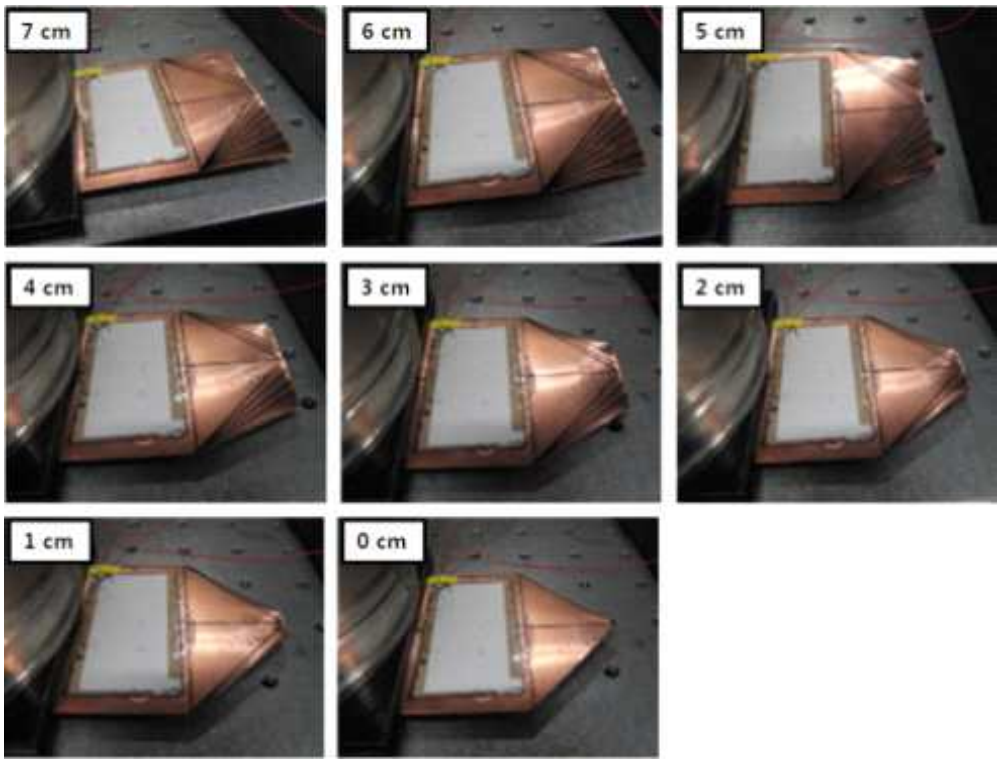
동일한 압전소자를 사용하더라고 부착위치나 캔틸레버 형태에 따라 발전특성이 달라질 것이다. 이를 확인하기위해 압전소자의 부착방향과 캔틸레버의 끝단 짧아짐에 따른 발전량을 알아보고자 하였다.

34 mm × 60 mm × 0.2 mm 크기의 압전 소자를 40 mm × 70 mm × 0.3 mm 크기의 동판과 40 mm × 77 mm × 0.3 mm 크기의 동판에 에폭시 접착제로 부착하였다. 캔틸레버의 한쪽면을 고정하고 반대쪽 면의 중앙 부분을 수직으로 5 mm 가량 변형시켰을 때 발전량을 측정하였다. 또한 캔틸레버 끝단의 동판을 절단하여 길이를 줄여나갔으며 동일한 방법으로 힘을 인가하여 발전량을 비교하였다.



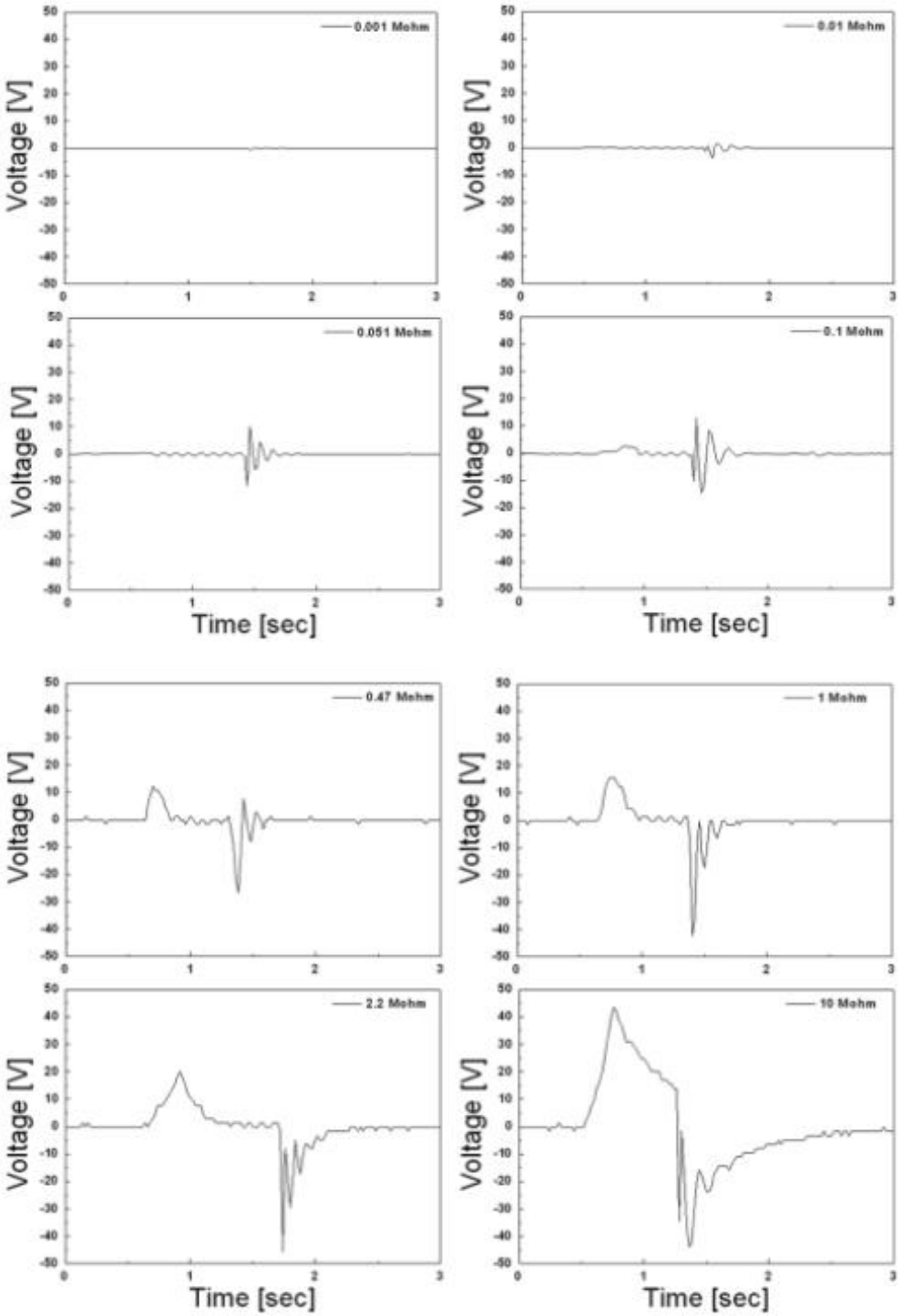
(a) A 형태 고정부분 40 mm, (b) B 형태 고정부분 70 mm

<그림 3-33> 유니몰프 압전 캔틸레버

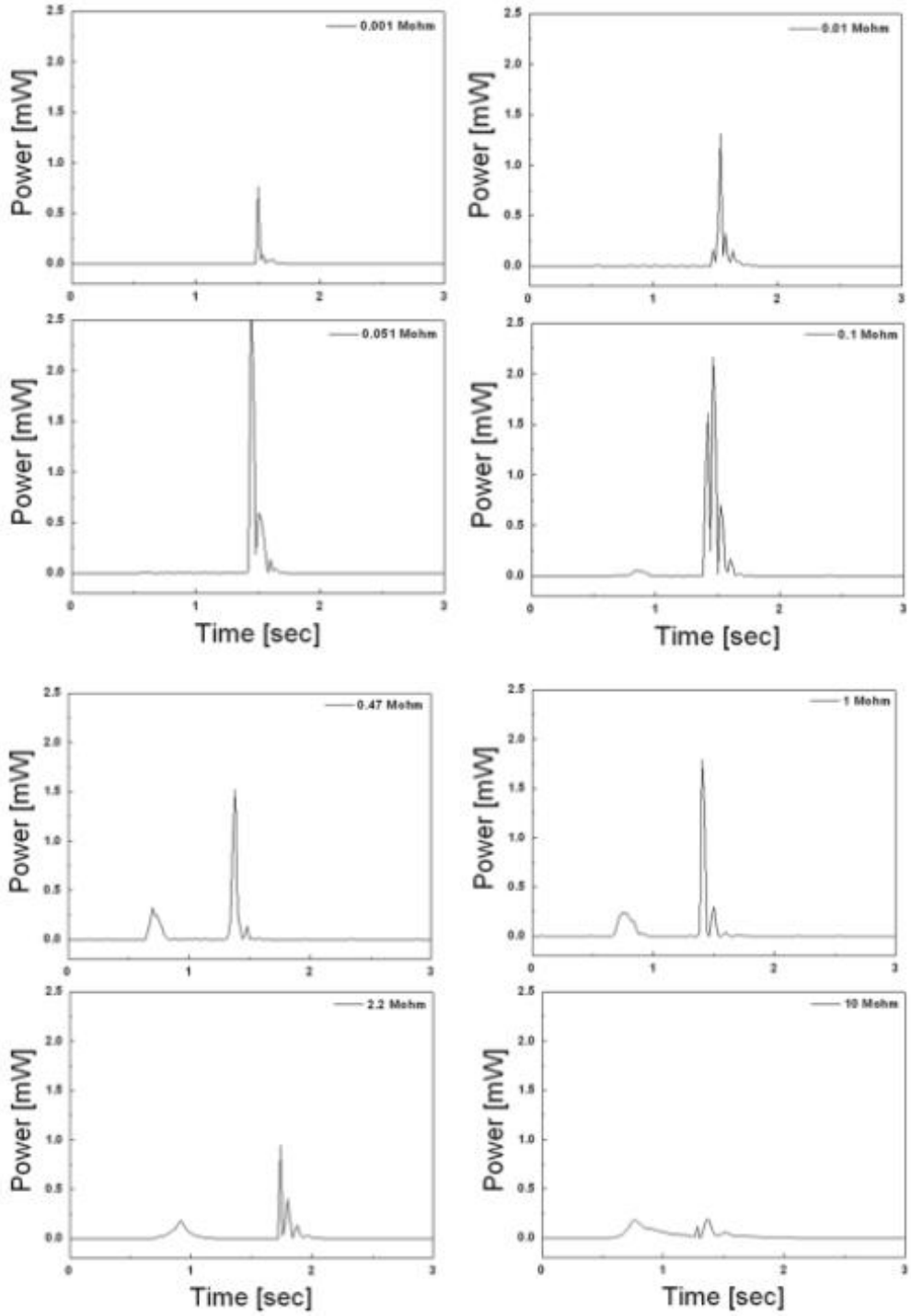


<그림 3-34> 유니몰프 압전 캔틸레버 끝단 길이변화 모습

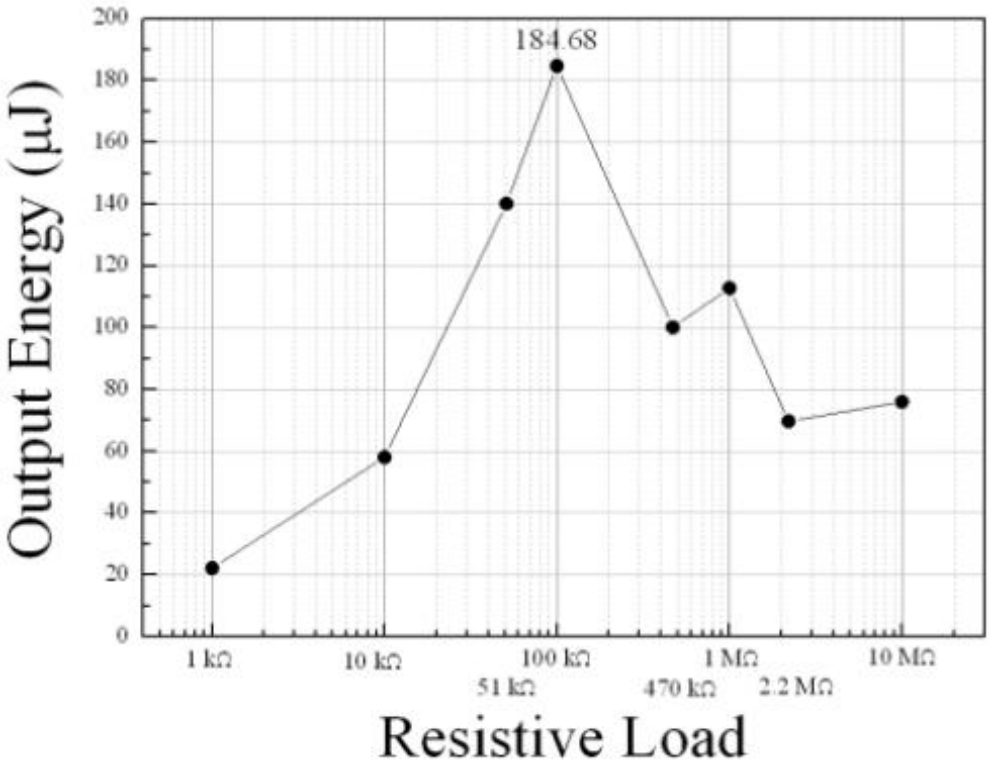
<그림 3-35>는 저항 변화에 따른 전압파형을 나타내며, <그림 3-36>는 전력파형을 나타낸다. 이를 적분하여 저항변화에 따른 발생에너지를 계산하여 <그림 3-37>에 나타내었다. 100 kohm일 때 184 uJ의 에너지를 얻었다. 캔틸레버 끝단 길이 40 mm를 고정한 경우도 동일한 방법으로 저항과 끝단 길이를 줄여감에 따라 발전특성을 평가하여 <그림 3-38>에 나타내었다. 대체적으로 끝단길이가 6 cm 일때 각 저항에서 큰 발생에너지를 얻을 수 있었다. <그림 3-39>은 캔틸레버의 고정부분을 변화시켰을 때 저항 변화에 따른 발생에너지를 나타낸다. 고정부분인 70 mm 일때의 발생에너지가 40 mm 고정했을 때보다 모든 저항에서 크게 나타났다. 캔틸레버의 굴곡면에 압전 소자의 면적이 넓을수록 변형되는 부분이 넓게되고 결과적으로 발전량이 크게 나타나기 때문이다. 캔틸레버 끝단의 길이를 적절히 조절하면 동일한 인가 힘에도 더 큰 발전량을 얻을 수 있음을 확인하였다. 이로써 캔틸레버가 변형되는 부분에 압전체를 위치시키고 캔틸레버의 끝단 길이를 최적화하면 발전특성 향상이 가능함을 확인하였다.



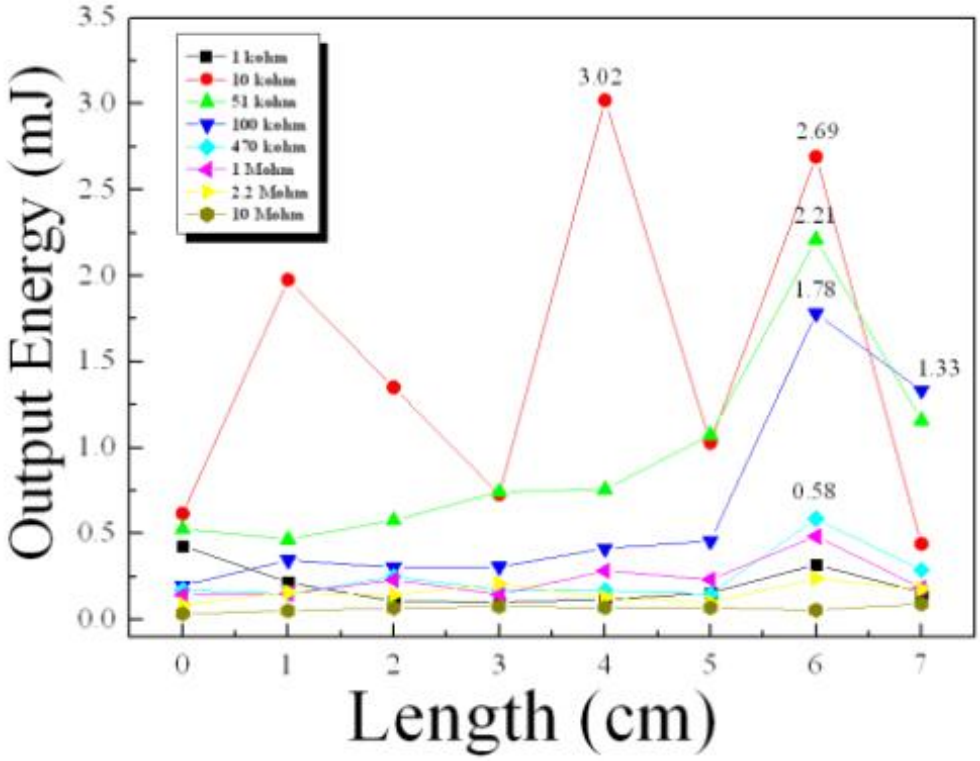
<그림 3-35> 캔틸레버 끝단길이 4 cm 일때의 저항 변화에 따른 전압 특성



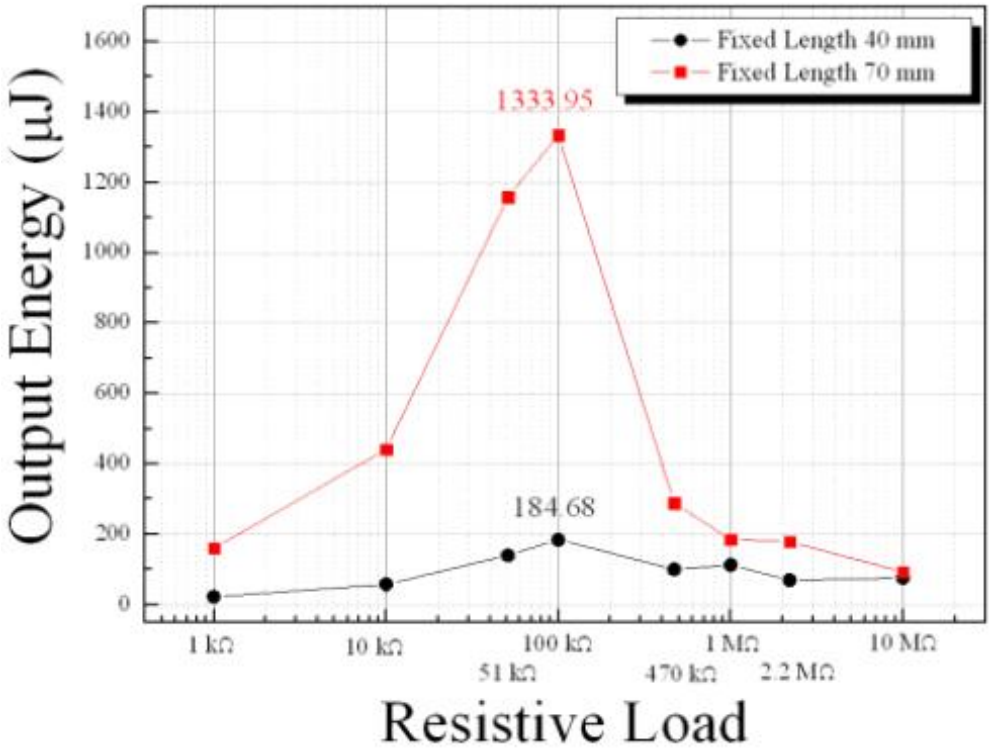
<그림 3-36> A 형태 캔틸레버 일때의 저항 변화에 따른 전력 특성



<그림 3-37> A 형태 캔틸레버일때의 저항 변화에 따른 발생에너지



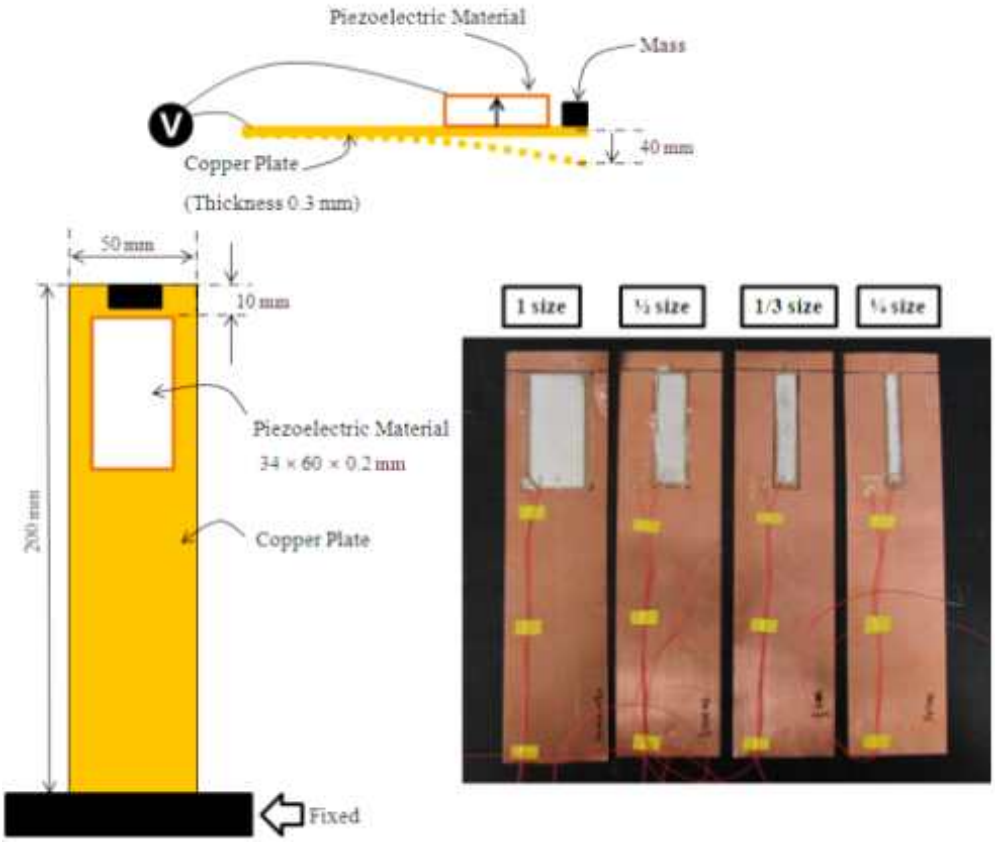
<그림 3-38> B 형태 캔틸레버일때의 캔틸레버 끝단 길이변화와 저항 변화에 따른 발생 에너지 특성



<그림 3-39> A, B 형태 캔틸레버의 저항 변화에 따른 발생 에너지

라. 압전 사각 시트 크기변화에 따른 발전특성 비교 평가

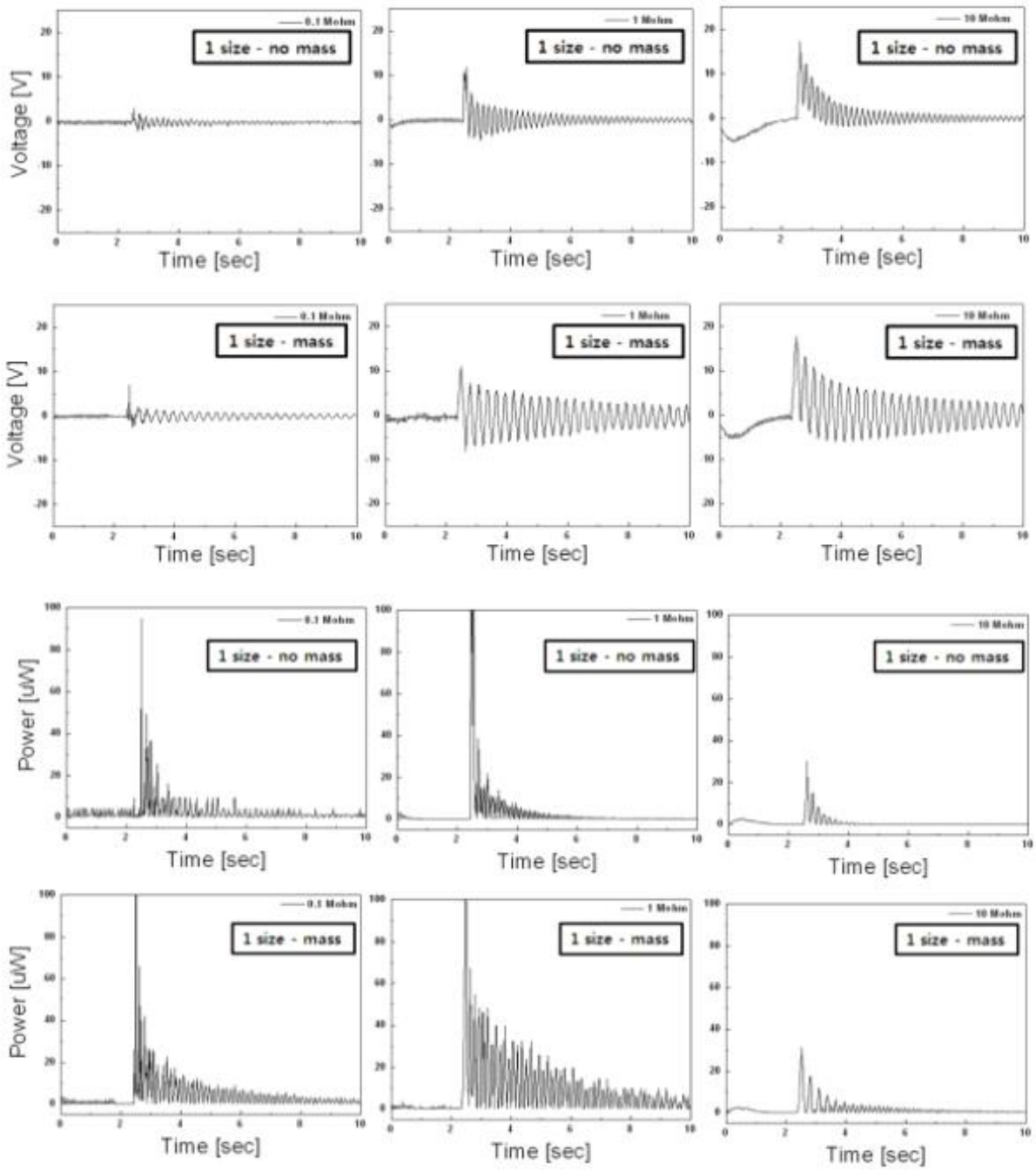
압전체를 이용한 에너지 하베스팅에 관한 연구가 활발히 진행 되고있다. 무선센서노드의 전원이나 무선 스위치 등에 응용되기 위해서 하베스터의 크기가 소형화 되고 최적의 크기의 압전소자가 사용되어야 한다. 이런 무선센서노드와 같이 크기가 작은 기기에 압전소자를 적용함에 있어서 최적의 사이즈를 결정하는 것이 관건이다. 이에 압전소자의 한쪽 길이를 변화 시킴에 따라 발전특성의 변화를 알아보고자 하였다.



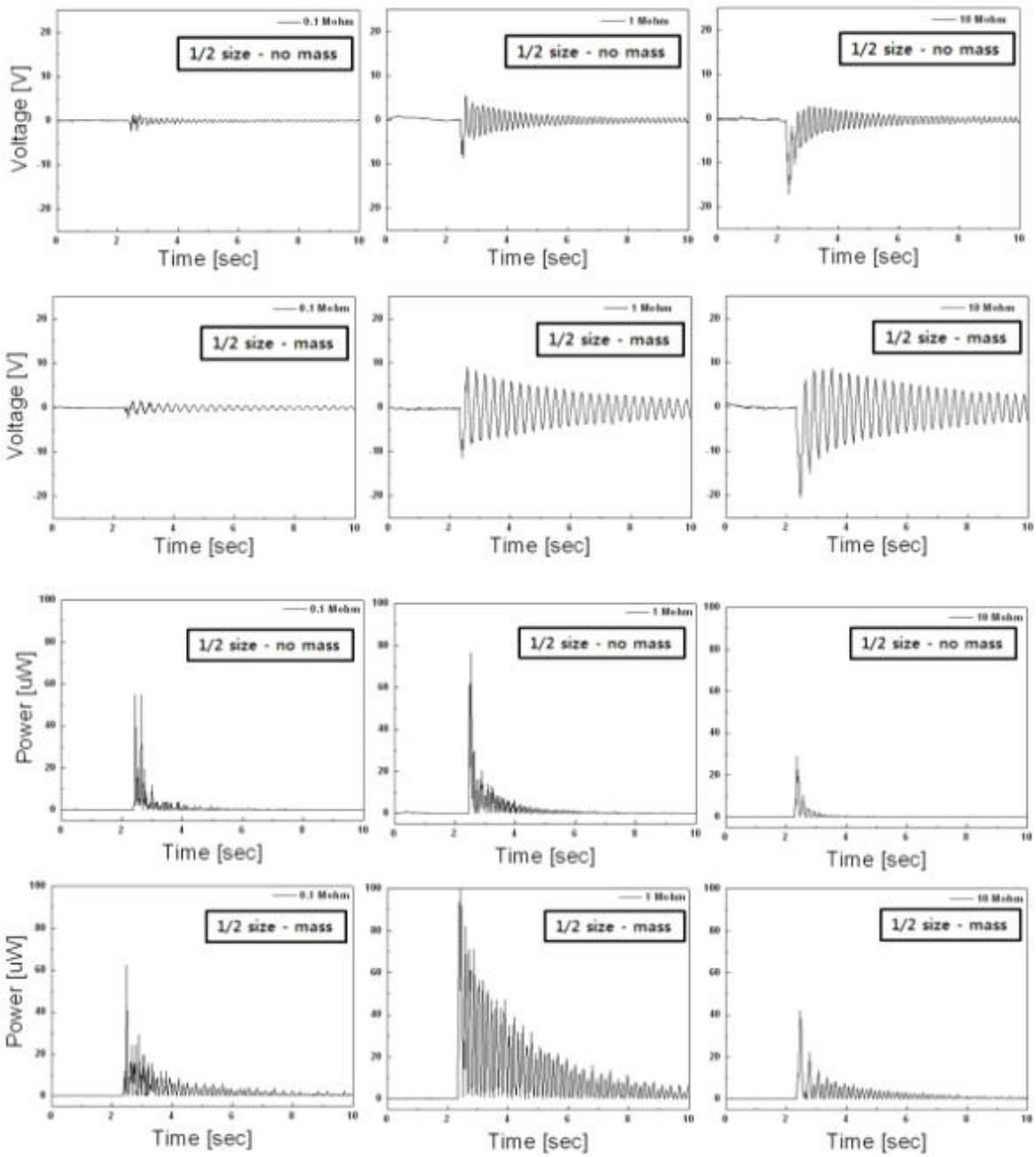
<그림 3-40> 압전 소자 폭 길이 변화한 캔틸레버

<그림 3-40>과 같이 200 mm × 50 mm × 0.3 mm 인 동판에 유니몰프 형태로 34 mm × 60 mm × 0.2 mm크기의 사각압전소자를 에폭시 접착제를 이용하여 접착하였다. 캔틸레버의 한쪽을 고정하고 반대쪽 끝단에는 압전소자와 mass를 부착하여 진동의 여진이 오래가도록 하였다. 압전소자는 짧은 길이 34 mm를 기준으로 하여 1/2, 1/3, 1/4 크기로 제작하여 동판에 접착하였다. 캔틸레버 끝단을 z축방향으로 4 cm변위를 인가한후 복원력에 의한 캔틸레버의 진동에 의해 압전체가 변형되며 그때 발생한 전

압을 측정하였다. 측정된 전압을 시간에 대해 적분하여 전력값을 도출하여 압전소자의 길이변화에 따른 발전특성을 비교하였다.

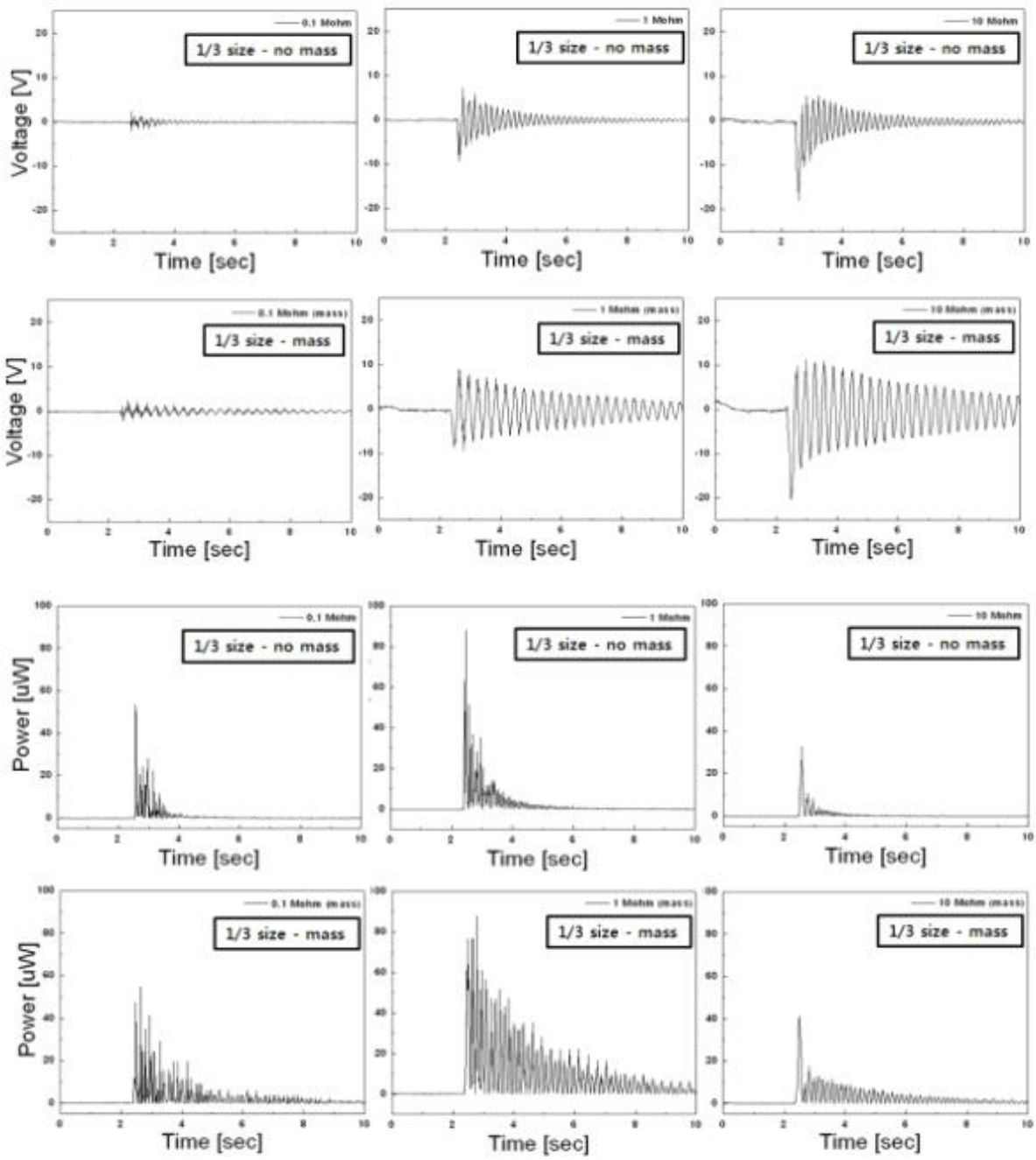


<그림 3-41> mass 유무 변화, 저항 변화에 따른 전압파형과 전력파형
(압전소자 길이비율 1)



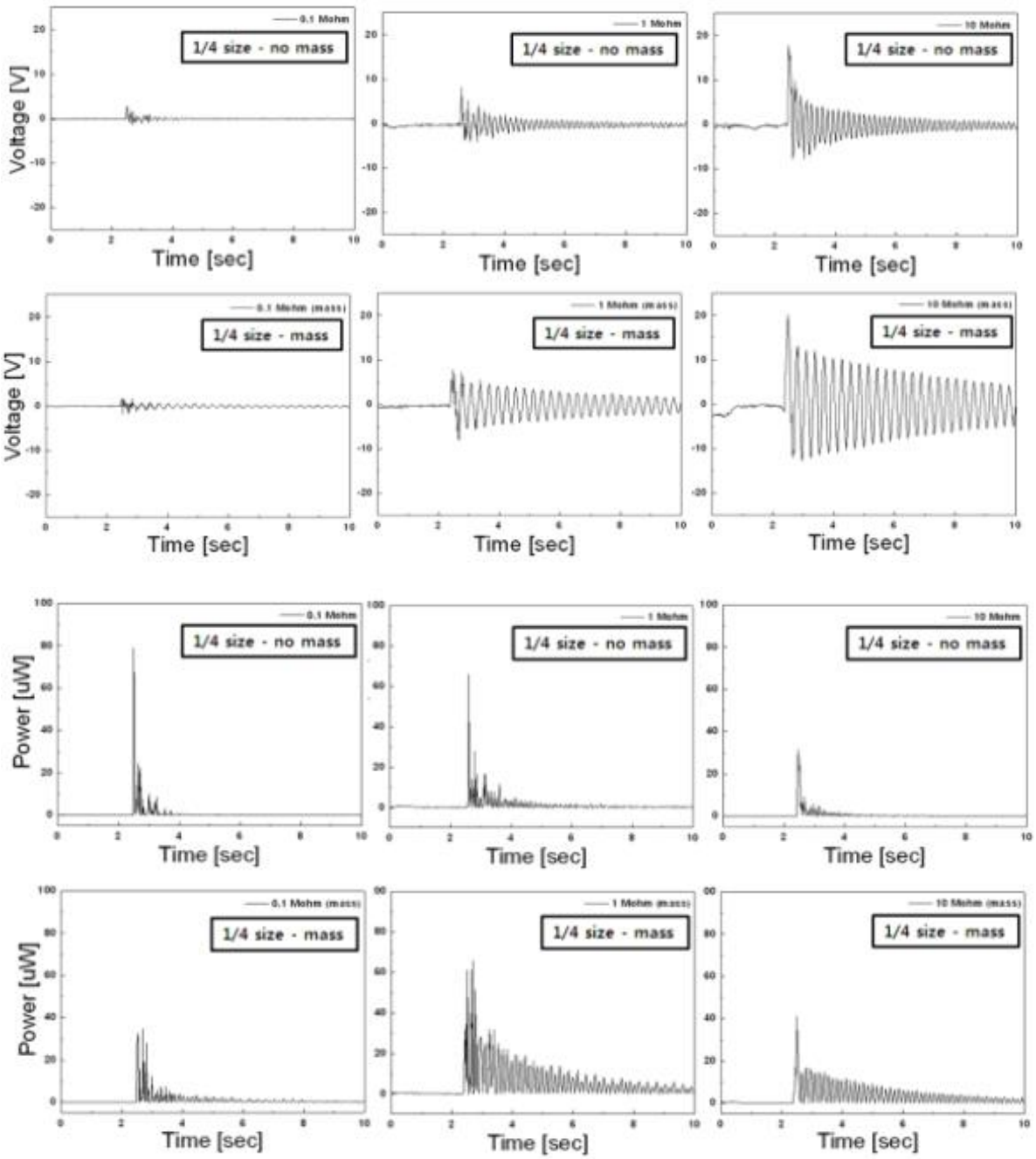
<그림 3-42> mass 유무 변화, 저항 변화에 따른 전압파형과 전력파형

(압전소자 길이비율 1/2)



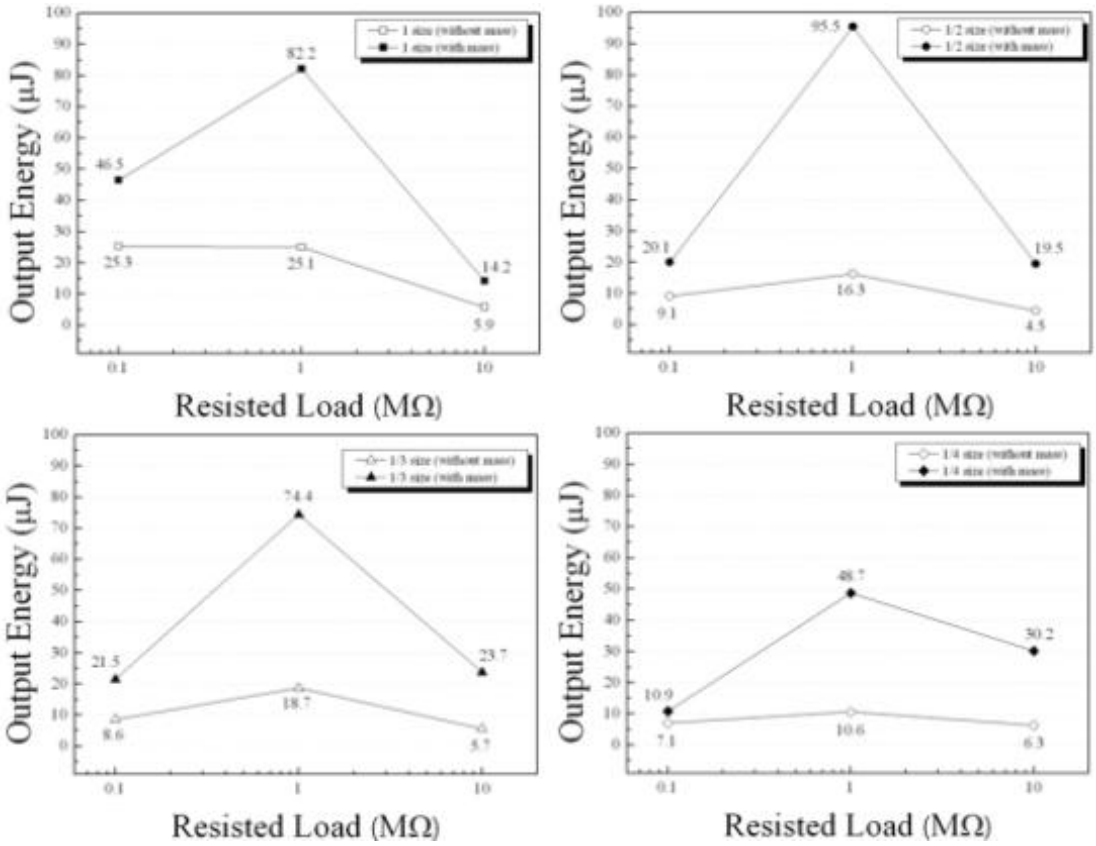
<그림 3-43> mass 유무 변화, 저항 변화에 따른 전압파형과 전력파형

(압전소자 길이비율 1/3)

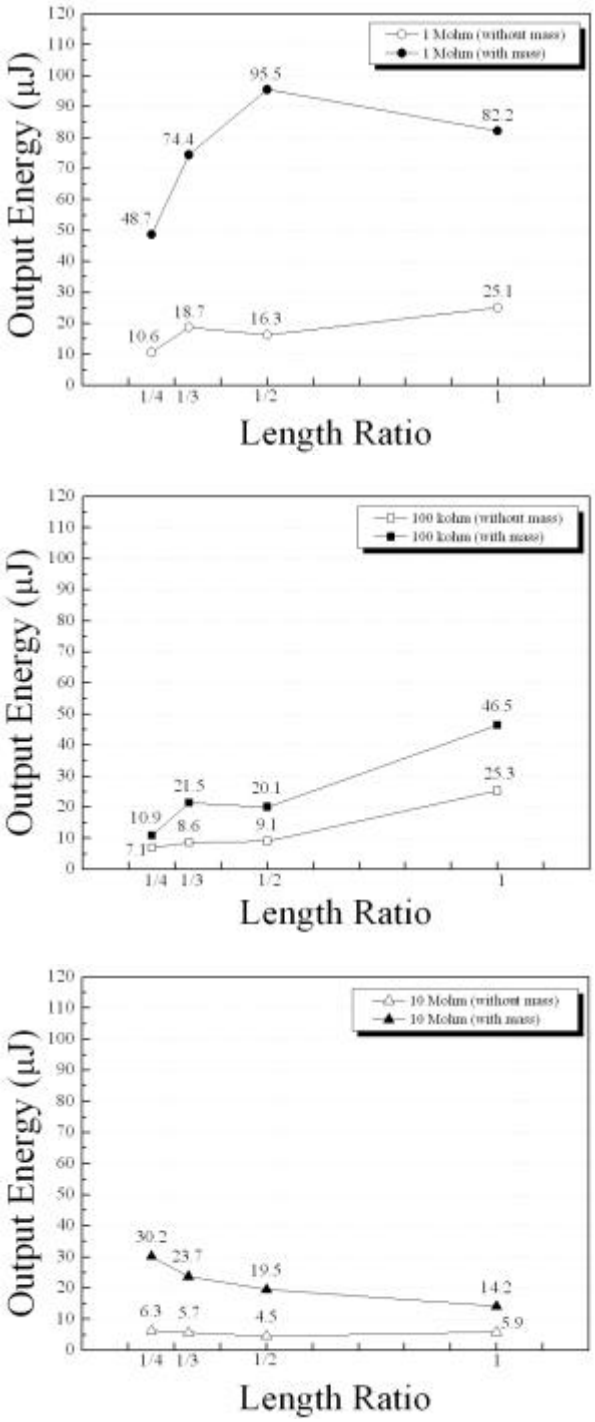


<그림 3-44> mass 유무 변화, 저항 변화에 따른 전압파형과 전력파형

(압전소자 길이비율 1/4)



<그림 3-45> mass 유무 변화, 저항 변화, 길이 비율에 따른 발생 에너지 특성



<그림 3-46> 압전소자 길이 비율 변화에 따른 발생에너지 특성

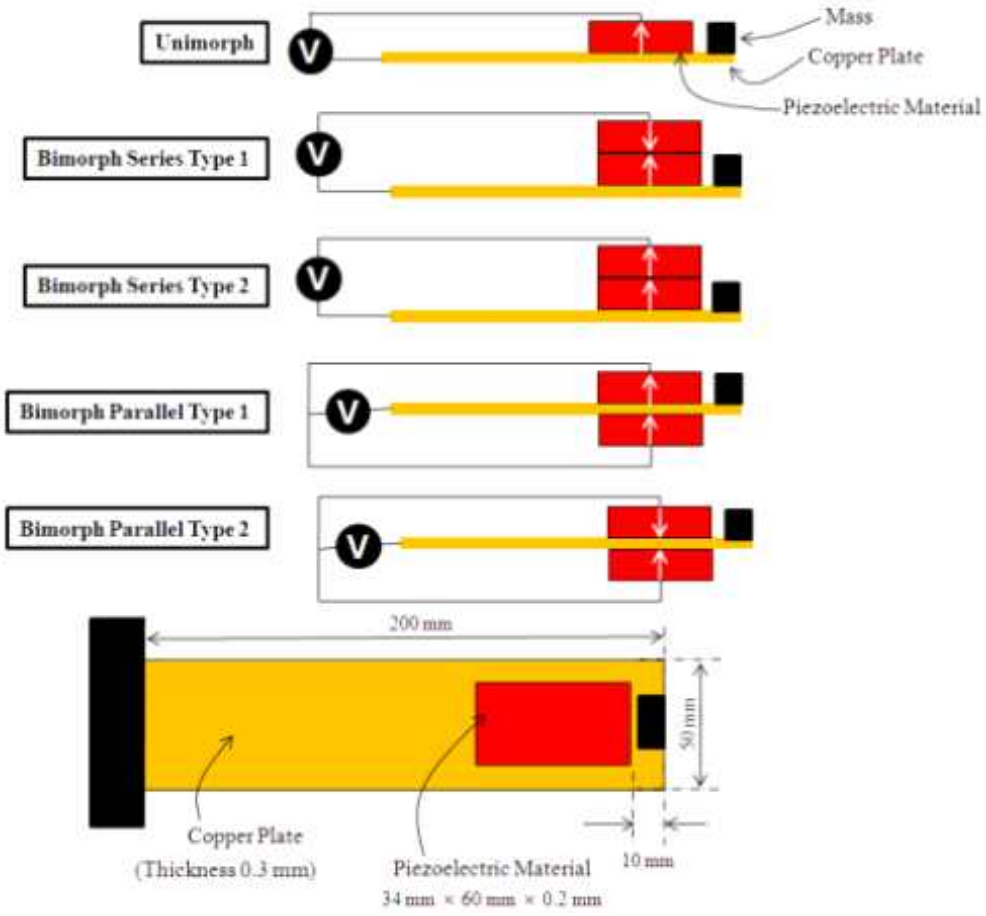
<그림 3-41>은 길이 비율이 1인 캔틸레버의 저항 변화와 mass의 유무에 따른 전압과 전력특성을 나타낸다. 계속해서 <그림 3-42>은 1/2 비율, <그림 3-43>는 1/3 비율, <그림 3-44>는 1/4비율에 대한 결과이다. 이를 적분하여 발생에너지를 <그림 3-45>과 <그림 3-46>에 나타내었다. 모든 길이비율에서 mass가 결합되었을 때가 그렇지 않

았을 때보다 발전특성이 크게 나타났다. 이는 mass에 의해서 여진이 오래가기 때문이다. 저항을 1 Mohm연결하였을 때 발생 에너지가 크게 나타났다. <그림 3-45>은 mass의 유무, 저항의 변화, 길이비율 변화에 따른 발생 에너지를 나타낸다. 길이비율이 1은 압전체 면적이 가장 클때이며 따라서 발생에너지가 가장 클것이라고 예상되지만, 결과는 길이비율이 1일때 모든 경우에서 발생에너지가 크게 나타나지 않았다. 하베스터 제작시 보다 많은 압전체를 사용과 더불어 선형적으로 발전특성이 향상되지 않음을 확인하였다. 따라서 하베스터 설계시 진동원과의 매칭, 회로와의 매칭이 중요하지만 더불어 압전체와의 매칭도 고려되어야만 한다.

마. 압전 캔틸레버 분극방향에 따른 발전특성 평가

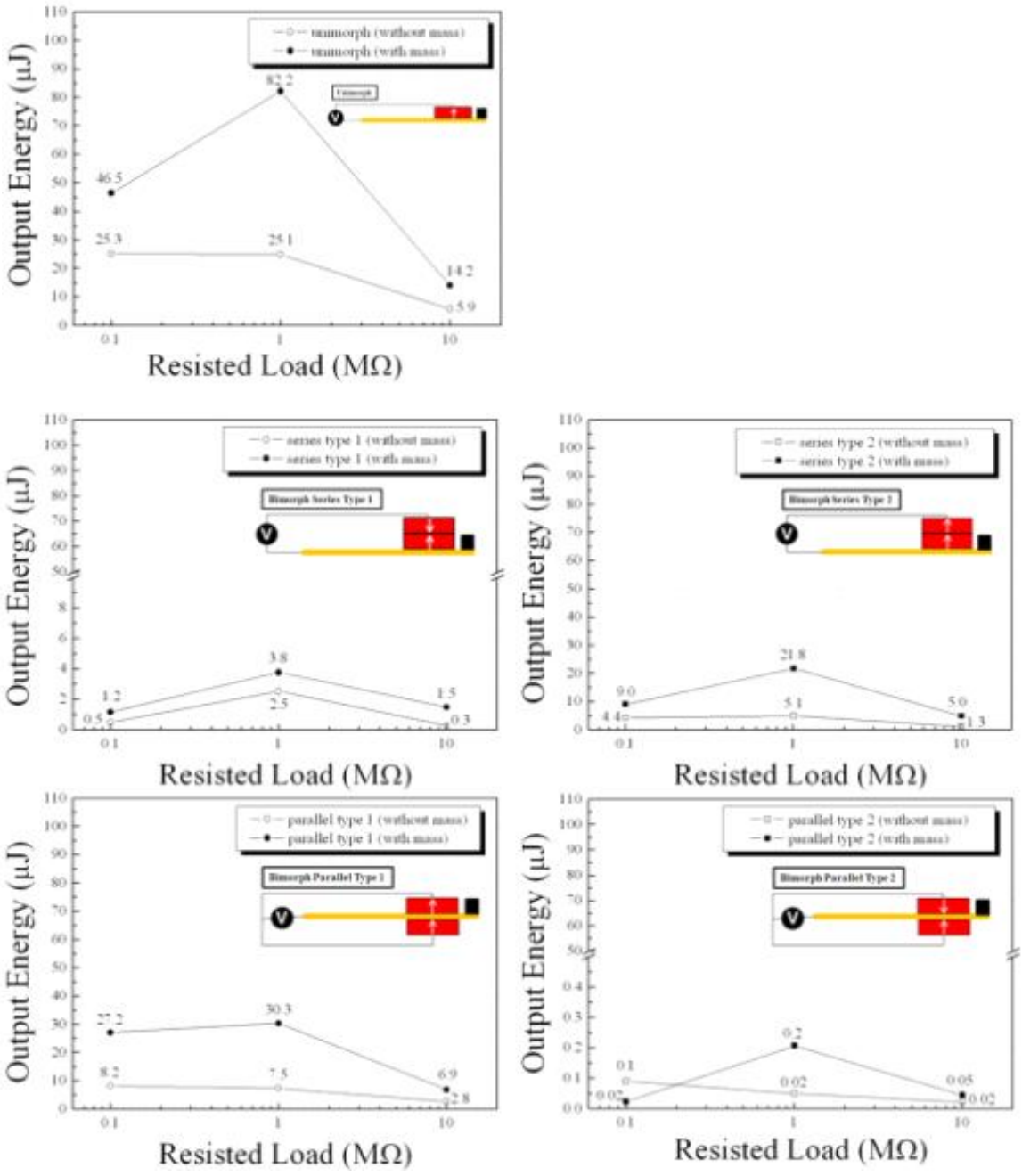
압전 캔틸레버를 제작할 때 압전체를 부착하는 방법은 다양하다. bimorph액추에이터의 연결방법인 병렬형태와 직렬형태가 있으며, 일반적인 연결방법과 반대의 경우도 가능하다. 이에 압전 캔틸레버 제작시 압전체 연결방법에 따른 캔틸레버의 발전특성을 비교하고자 하였다.

<그림 3-47>과 같이 200 mm × 50 mm × 0.3 mm 인 동판과 34 mm × 60 mm × 0.2 mm크기의 사각압전소자를 사용하였다. 분극방향을 +z축 방향으로 해서 동판에 부착한 unimorph 캔틸레버를 제작하였다. bimorph직렬 형태는 동판위에 2개의 압전체가 부착한 형태이며, 분극방향이 서로 마주본 형태와 나란한 방향형태로 압전체를 부착하고 배선은 <그림 3-47>과 같이 연결하였다. bimorph 병렬형태는 2개의 압전체 사이에 동판을 둔 형태이며, 분극방향이 나란한 것과 마주보는 형태로 제작하였다. 캔틸레버 끝단에는 mass를 탈부착 할 수 있도록 하였다.



<그림 3-47> 압전소자 분극 방향 변화에 따른 압전 캔틸레버

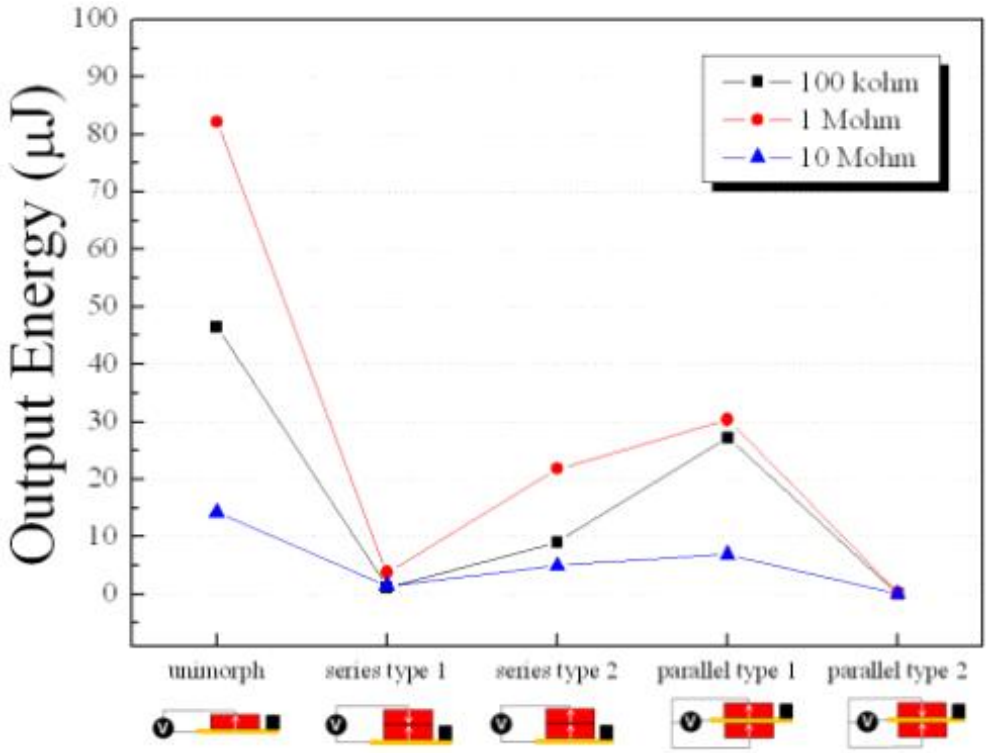
캔틸레버 끝단을 z축 수직방향으로 40 mm 변위를 주고 힘을 제거했을 때 진동에 의한 발전특성을 평가하였다. 압전체 연결방법의 변화와 저항의 변화 그리고 mass의 유무에 따른 발전 특성을 비교하였다.



<그림 3-48> 압전 소자 분극 변화와 저항변화에 따른 발전특성

<그림 3-48>은 캔틸레버 끝단 튕김에 의한 발전특성을 나타낸다. 모든 압전 캔틸레버 연결방법에서 mass가 결합된 경우가 그렇지 않은경우 보다 발전특성값이 대체로 높게

나타났다. 또한 저항이 1 Mohm일 때 발전특성이 100 kohm과 10 Mohm에 비해서 높게 측정되었다. 이 결과를 압전체 연결방법에 따라 정리하면 <그림 3-49>과 같다. unimorph 일때 발생 에너지가 가장 컸다. 그다음으로 bimorph 병렬연결 type 1이 높았으며, 차례로 bimorph 직렬연결 type 2, bimorph 직렬연결 type 1, bimorph 병렬열결 type 2 순으로 나타났다. 압전체 간에 개별적으로 정류를 하고 합쳐진 것이 아니기 때문에 압전체 간의 위상차에 의해서 전압이 서로 상쇄되는 구간이 발생하게 된다. 결국 전압의 손실이 발생하게 된다. 따라서 압전체 개별적인 정류회로 연결방법이 아닌 경우에는 unimorph 형태로 제작하는 것이 바람직하다.



<그림 3-49> 압전 소자 분극 변화와 저항 변화에 따른 발생 에너지

1-2. 단위모듈 실험 및 평가 (압전 시트 특성 조성 개발 및 평가)

가) 고효율 압전 세라믹 조성 개발

○ 발전특성과 효율이 우수한 Energy Harvester용 압전소재를 개발하기 위해서는 발전특성에 비례하는 압전 전하계수와 압전 전압계수 특성이 우수한 압전 세라믹 소자의 조성 설계

○ 우선 압전 세라믹 조성에 대한 기초 실험을 통해서 다음과 같은 기본 조성을 선정하였으며, 본 과제에서 사용한 조성은 Cr_2O_3와 Nb_2O_5를 첨가한 $Pb(Zr_{0.54}Ti_{0.46})O_3$ 세라믹스 조성을 기본으로 함

○ Cr_2O_3첨가량에 따른 미세조직, 소결 및 압전, 유전특성을 조사하여 최적의 Energy Harvester용 압전 세라믹 조성 개발

○ Cr_2O_3는 stabilizer로 사용되며, 온도계수 감소, 시효효과 감소 등의 효과가 있으며, Nb_2O_5는 softner로 사용되며, 유전상수 증가, 전기기계결합계수 증가 등의 효과 발생(<표 3-1> 참고)

<표 3-1> 진동자의 첨가제 분류

분 류	첨 가 제	첨 가 효 과
하드너(hardner)	Fe_2O_3, NiO, CaO, Al_2O_3 등	유전상수 감소, 주파수 상수 증가 Q_m 증가,시효효과 증가, 항전계 증가
소프트너(softner)	La_2O_3, Bi_2O_3, Nb_2O_5, WO_2 등	T_c 감소, 유전상수 증가 k_p 증가 시효효과 감소, 항전계 감소
스테빌라이저 (stabilizer)	Cr_2O_3, UO_4	유전상수 감소, 주파수상수 증가 Q_m 증가온도계수 감소 시효효과 크게 감소

○ 압전 조성 설계에서 가장 중요한 것은 상이 MPB에 놓이도록 하는 학 것이고, 그 다음으로는 높은 압전 특성을 보이기 위해 아래와 같은 요소들이 있음

- 높은 밀도 : 높은 소결성을 의미
- 큰 그래인 사이즈 : 그래인 바운더리 이펙트를 최소화

- 균일한 미세구조
- 첨가제의 영향 (Softening/Hardening effect)
- Domain shape

○ 첨가제 효과에서 Softner는 주로 donor doping으로서 PZT재료의 Pb자리에 +3가 이온, Zr, Ti 자리에 +5가 이온 이 첨가된 경우로서 Pb공공(vacancy)이 형성되도록 하는 경우임. PZT에 donor가 첨가될 경우 하기와 같은 특성 변화가 생김

① increased dielectric constant
② high dielectric loss
③ increased elastic compliance
④ low mechanical Q
⑤ high piezoelectric coupling factor
⑥ low coercive field, relatively square hysteresis loop
⑦ greatly increased electrical volume resistivity
⑧ anomalously small aging effects
⑨ easy nonelastic mechanical deformation
⑩ yellow color
⑪ easy phototropic darkening
⑫ translucency.

○ PZT에 donor효과를 내는 첨가제는 원자가와 이온 반경을 고려할 때 표에 열거한 원소들을 고려할 수 있으나 표에 나타낸 원소들이 반드시 donor 역할을 하는 것이 아니며 또한 원자가 상태가 여러 가지로 존재하는 경우는 현상이 복잡해지며, A, B 자리 양쪽에 들어가는 경우 donor나, acceptor 도 아닌 경우가 있음

○ Hardner는 주로 acceptor doping으로서 Pb자리에 +1가 이온이 치환되거나 Zr, Ti 자리에 +3가, +2가 이온이 치환될 경우로서 산소 공공(Oxygen vacancy)이 형성됨. 이 경우 하기와 같은 전기적 현상이 일어남

① relatively low dielectric constant
② low dielectric loss
③ moderately lowered electrical resistivity

④ high mechanical Q

⑤ high coercive field

⑥ more difficult poling and depoling

⑦ relatively dark color

⑧ relatively insensitivity to darkening by light

○ Stabilizer는 일반적인 전기적 현상변화를 규정할 수 있는 것이 아니고 aging 현상과 온도 안정성을 좋게 하기 위한 실험적 결과에 의해 나타나는 것임

○ 압전 PZT는 poling 후 시간 경과에 따라 압전 특성이 감소하는 Aging 현상이 나타남. 따라서 aging 현상을 억제할 목적으로 PZT재료에 Cr이나 Mn 첨가제를 doping 하여 압전체 내부의 분역(domain boundary) 이동의 억제 효과로 안정화시킴

○ 본 과제에서 진행한 기본적인 실험방법을 <그림 3-51>에 나타내었으며, 일반적인 세라믹 제조공정으로 진행하였다. 출발물질로 사용한 분말원료는 PbO (Aldrich, 99.9%), ZrO_2 (Aldrich, 99%), TiO_2 (고순도 화학, 99.9%), Cr_2O_3 (Aldrich, 99%), Nb_2O_5 (Aldrich, 99.9%)이며, 전자 저울을 사용하여 원료분말을 ±0.1 mg의 오차범위에서 정밀하게 평량함

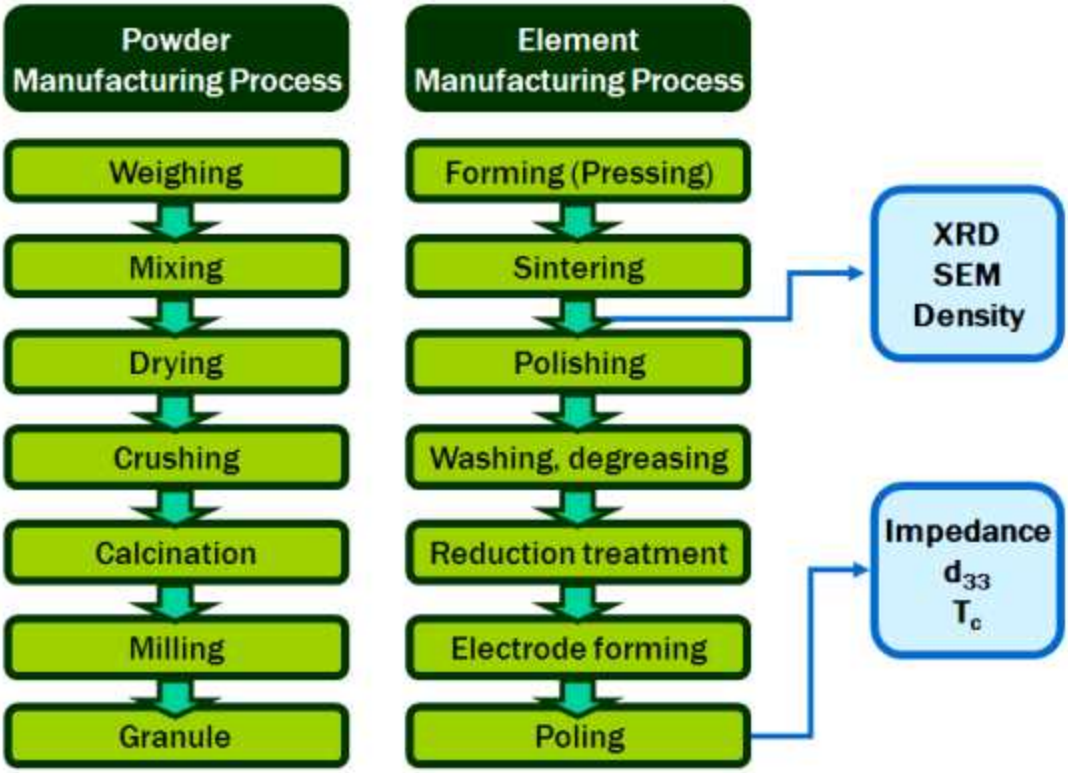
○ 습식 혼합된 시료는 100~150℃에서 건조한 후, 850℃에서 2시간 하소하였고, 하소분말은 분쇄, 건조 후에 일축 성형하여 지름 13 ㎜인 disc 시편을 만듦

○ 성형시편들은 1100 ~ 1200℃에서 2 ~ 4시간동안 소결하였으며, 이때 승온 속도는 분당 5℃로 함

○ 소결된 시편은 silver epoxy paste를 이용하여 550℃에서 소부 하여 형성하였으며, 전극 처리된 시편은 120℃의 실리콘 절연유 내에서 2.5 kV/mm의 직류 전류계를 15분 인가하여 분극처리 함

○ 소결시편의 결정구조 등은 XRD(Mac Science KFX-987228-SE)로 분석하였으며, 시편의 미세구조는 주사전자현미경(SEM- Topcon SM-300)으로 분석함

○ 전기적 특성은 공진 - 반공진법으로 측정, 계산 하였으며 압전정수(d_{33})는 Piezo d_{33} Tester (American Piezo Ceramics, Pennebaker Model 8000)로 측정함



<그림 3-50> 압전 세라믹 조성 실험순서도

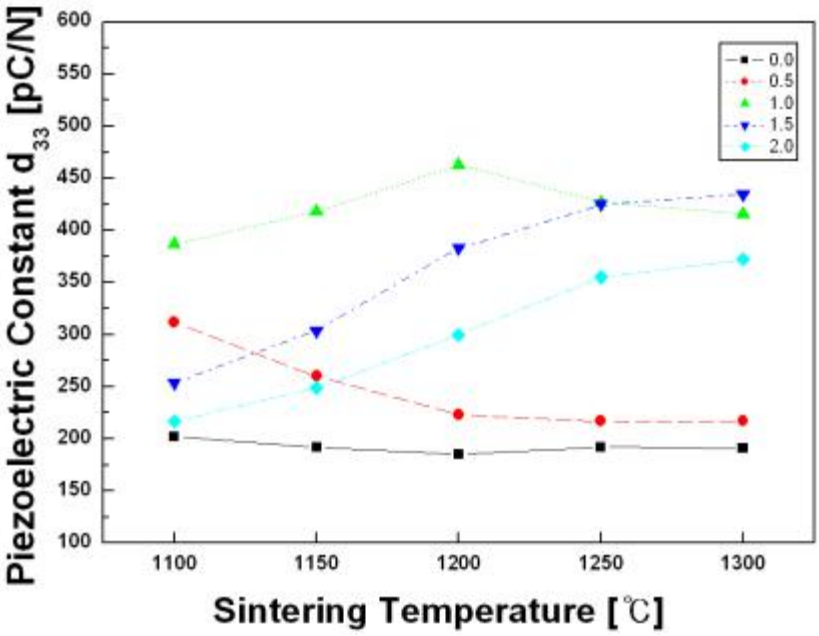
○ 실험은 조성 $Pb(Zr_{0.54}Ti_{0.46})O_3$ + x wt% Nb_2O_5 + 2.0 wt% Cr_2O_3에서 최적의 값을 나타내는 Nb_2O_5의 첨가량을 선택하여 그 값을 고정한 뒤 다시 Cr_2O_3값을 변경하여 최대의 발전량을 내는 조성을 찾고자 함

(1) 조성 $Pb(Zr_{0.54}Ti_{0.46})O_3$ + x wt% Nb_2O_5 + 2.0 wt% Cr_2O_3 bulk 특성

○ <그림 3-51>는 조성 $Pb(Zr_{0.54}Ti_{0.46})O_3$ + x wt% Nb_2O_5 + 2.0 wt% Cr_2O_3에서 Nb_2O_5을 0.0에서 2.0까지 변화시키고 온도를 1100℃에서 1300℃까지 변화시켜 소결한 압전 bulk 시편의 압전상수(d_{33})를 나타냄

○ 압전 상수는 일정한 응력이 가해졌을 때 발생 하는 전하량의 척도이며, 역으로 일정한 전계를 가했을 때의 압전체의 변형률을 나타내는 계수를 의미함

○ 소결온도에 따라 압전상수값의 특성이 서로 다른 경향을 모이고 있으나, 전체적으로 1.0wt% 조성에서 최대값을 나타내었으며, 이것은 이 조성에서 상 경계영역에 의해서 나타난 결과로 분석됨



<그림 3-51> Piezoelectric constant(d_{33}) of $Pb(Zr_{0.54}Ti_{0.46})O_3$ + x wt% Nb_2O_5 + 0.2 wt% Cr_2O_3

○ <그림 3-52>은 조성 $Pb(Zr_{0.54}Ti_{0.46})O_3$ + x wt% Nb_2O_5 + 2.0 wt% Cr_2O_3에서 Nb_2O_5을 0.0에서 2.0까지 변화시키고 온도를 1100℃에서 1300℃까지 변화시켜 소결한 압전 bulk 시편의 전기기계결합계수(kp)를 나타냄

○ 압전 세라믹스의 전기기계결합계수(kp), 기계적품질계수(Qm) 및 공진저항(Ω)은 압전 특성을 결정짓는 중요한 인자로써, 전기기계결합계수는 전기적 에너지를 기계적 에너지로 변환시키는 효율을 나타내며, 기계적 품질계수는 전기기계 변환과정에서의 에너지 손실에 대한 척도로써, 실제 압전체의 사용 주파수가 공진 주파수 이하일 경우라도 측정의 정확을 기하기 위하여 공진 주파수에서 임피던스(Zm), 반공진 주파 수 (≈fp), 공진주파수(≈fs)로 부터 구함

○ 기계적 품질계수는 재료의 물성계수 이므로 시편의 형상이나 진동 모드에 무관하나 단지 측정 시의 오차로 인하여 약간의 차이가 있을 수 있음

○ 압전소자의 전기적 특성은 IRE standard에 근거하여 Impedance Analyzer (Agilent, 4294A)를 사용하여 공진-반공진법에 의하여 측정 하였으며, 시편의 공진 및 반공진 주파수와 공진시의 저항을 다음 식 에 대입하여 원판형 전기기계결합계수(kp)와 기계적 품질계수 (Qm)를 구하였음

$$\frac{1}{k_p^2} = 0.395 \times \frac{f_r}{f_a - f_r} + 0.574$$

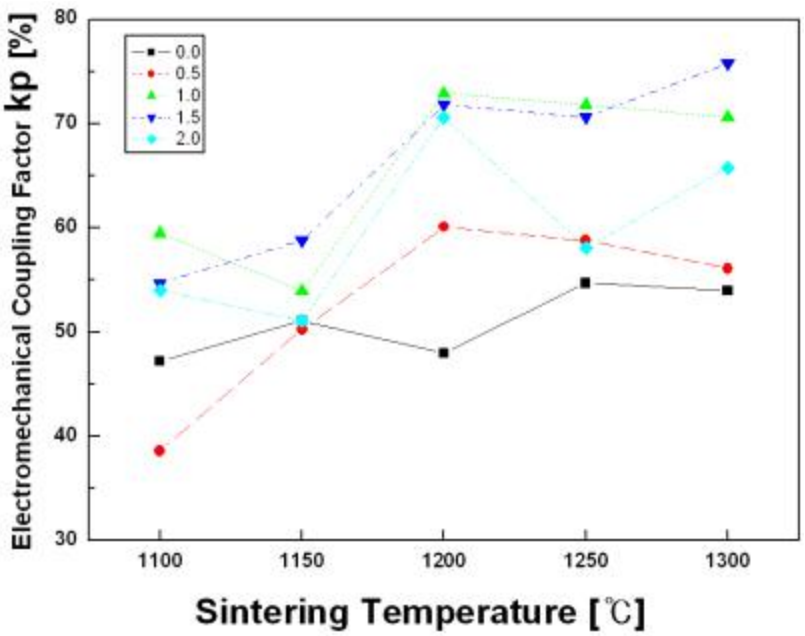
$$Qm = \frac{1}{2\pi f_r \left[1 - \left(\frac{f_r}{f_a}\right)^2\right] RC}$$

여기서, R : 공진시 시편의 저항값[Ω]

C : 분극후 1[㎑]에서 측정한 시편의 정전용량[pF]

fr : 공진주파수, fa : 반공진주파수

○ 전기기계결합계수는 진동모드에 따라 k31, k33, k15, kt, kp (planar coupling factor), kr (radial coupling factor)로 나타내며, 상호간 변환효율을 나타내는 계수로서 압전체의 성능을 좌우하는 중요한 Factor 임

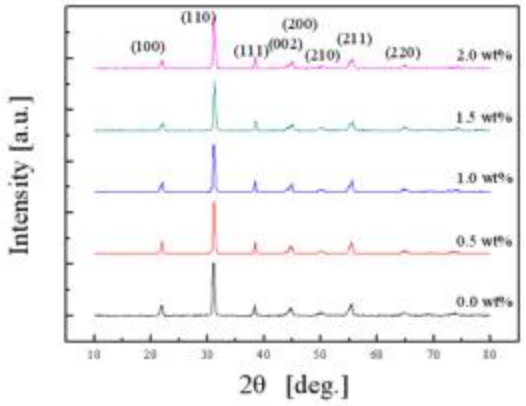


<그림 3-52> Electromechanical Coupling factor (K_p) of $Pb(Zr_{0.54}Ti_{0.46})O_3$ + x wt% Nb_2O_5 + 0.2 wt% Cr_2O_3

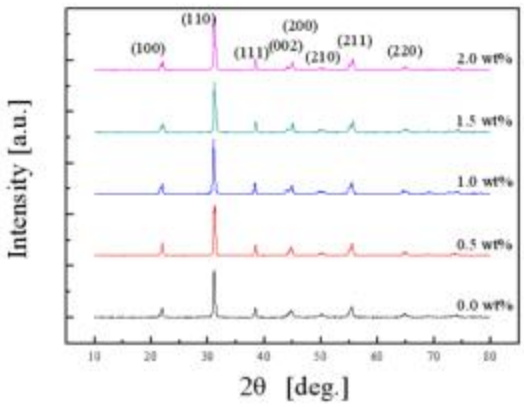
○ 또한, <그림 3-53>은 조성 $Pb(Zr_{0.54}Ti_{0.46})O_3$ + x wt% Nb_2O_5 + 2.0 wt% Cr_2O_3에서 Nb_2O_5을 0.0에서 2.0까지 변화시키고 온도를 1100℃에서 1300℃까지 변화시켜 소결한 압전 bulk 시편의 XRD 패턴임

○ 그림에서 보는바와 같이 소결온도에 따라 결정구조가 크게 변하는 것을 확인하였으며, Nb_2O_5 첨가량에 따라 (110)기본 회절선(Fundamental reflection)이 순차적으로 이동하기 때문에 세라믹 격자에 잘 고용되어 있음을 알 수 있음

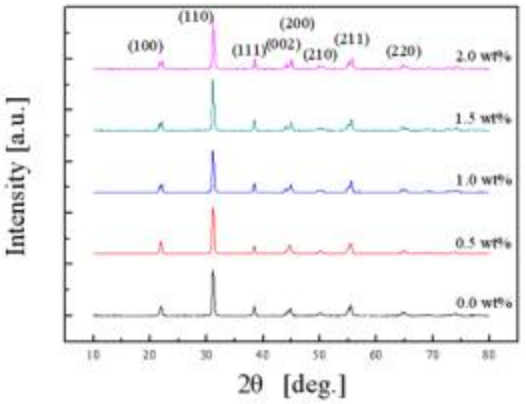
○ 1200 ℃ 온도 이상에서 MPB, 즉 상이 공존하는 영역이 나타나기 시작하였으며 Nb_2O_5 첨가량이 1.0-1.5 조성에서 확실하게 나타는 것을 확인하였음



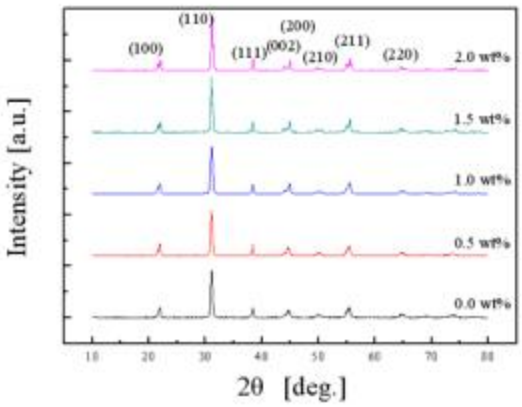
(a) 1100 ℃



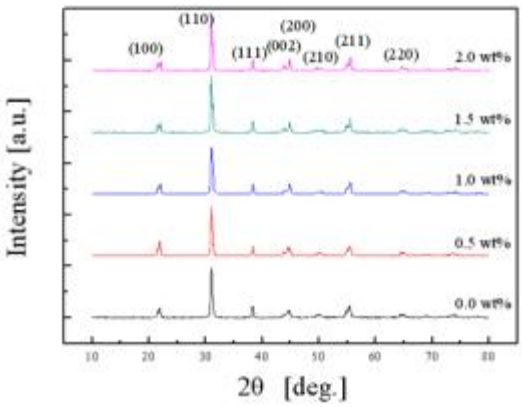
(b) 1150 ℃



(c) 1200℃



(d) 1250 ℃

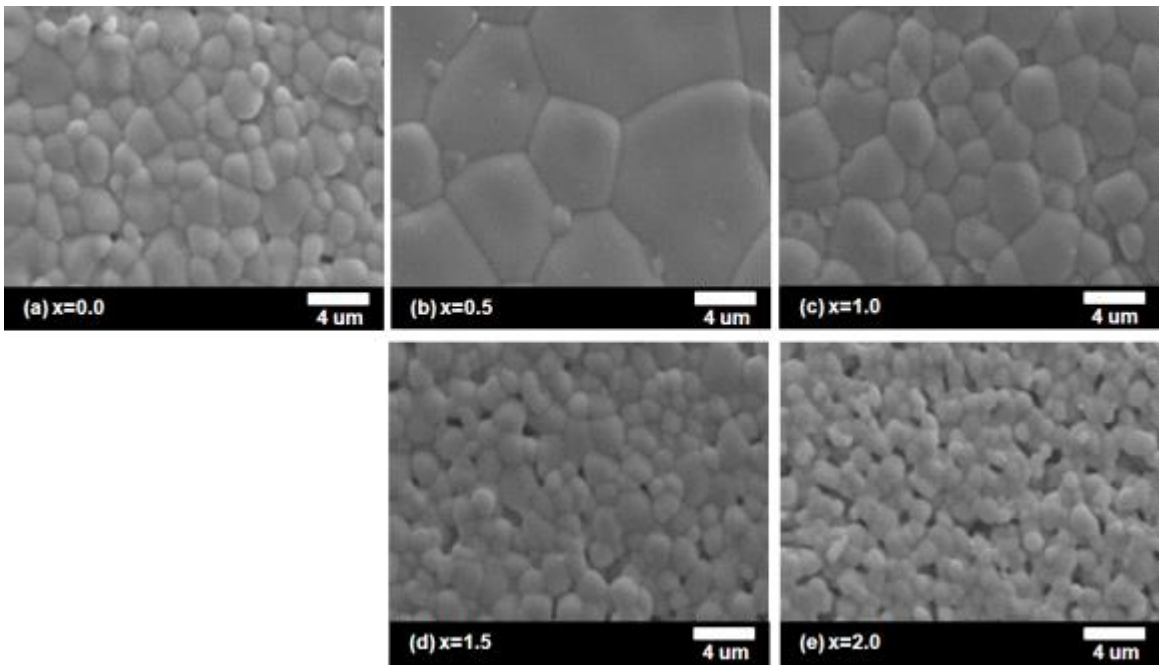


(e) 1300 ℃

<그림 3-53> XRD patterns of the $Pb(Zr_{0.54}Ti_{0.46})O_3$ + x wt% Nb_2O_5 + 0.2 wt% Cr_2O_3 (x=0.0~2.0)specimens sintered at 1100~1300 ℃ for 2h.

○ <그림 3-54>은 조성 $Pb(Zr_{0.54}Ti_{0.46})O_3$ + x wt% Nb_2O_5 + 2.0 wt% Cr_2O_3에서 Nb_2O_5을 0.0에서 2.0까지 변화시키고 1200℃에서 4시간 소결한 압전 bulk 시편 표면의 SEM 사진임

○ Nb_2O_5이 0, 1.5, 2.0 첨가된 시편에서 기공이 일부 관찰되었지만 특성값이 우수한 1.0 wt% Nb_2O_5 첨가된 시편은 조밀한 것을 볼 수 있음



<그림 3-54> Surface SEM images of $Pb(Zr_{0.54}Ti_{0.46})O_3$ + x wt% Nb_2O_5 + 0.2 wt% Cr_2O_3 sintered at 1200℃ for 4h: (a) x=0, (b) x=0.5, (c) x=1.0, (d) x=1.5, and (e) x=2.0.

○ 압전 정수 d_{33}값과 기계결합계수 kp값이 큰 조성에서 (MPB영역) 발전특성이 크게 나타나므로 Nb_2O_5가 1.0 wt% 첨가되고 1200 ℃에서 소결된 조성을 선택함

<표 3-2> 조성 $Pb(Zr_{0.54}Ti_{0.46})O_3$ + 0.2 wt% Cr_2O_3 + x wt% Nb_2O_5 의 특성값

Temperature	x	k_p(%)	d_{33}(pC/N)	Q_m	ε_r	Phase*
1100℃	0.0	47.2	202	240.9	522.5	R
	0.5	38.6	312	98.9	601.9	R
	1.0	59.5	387	70.5	572.6	R
	1.5	54.7	254	49.1	591.6	R
	2.0	54.0	217	49.5	531.9	R
1150℃	0.0	51.1	192	285.9	537.9	R
	0.5	50.3	260	67.4	1016.2	R
	1.0	54.0	418	121.9	1113.2	R
	1.5	58.8	304	66.2	997.0	R
	2.0	51.1	249	46.8	785.6	R
1200℃	0.0	48.0	185	337.7	497.3	R
	0.5	60.1	223	162.5	406.5	R
	1.0	72.9	463	90.0	1539.2	MPB
	1.5	71.8	383	71.2	1521.2	T
	2.0	70.6	300	70.5	1899.3	T
1250℃	0.0	54.7	192	267	592.2	R
	0.5	58.8	217	199.1	541.4	R
	1.0	71.8	427	70.2	1495.4	MPB
	1.5	70.6	425	70.1	1899.3	MPB
	2.0	58.1	355	88.9	1644.9	T
1300℃	0.0	54.0	191	187.5	630.2	R
	0.5	56.1	217	128.5	559.4	R
	1.0	70.6	416	94.2	1578.3	MPB
	1.5	75.8	435	81.8	2041.4	MPB
	2.0	65.8	372	87.6	1839.8	T

Phase* : R:(rhombohedral), T:(tetragonal)

(2) 조성 $Pb(Zr_{0.54}Ti_{0.46})O_3$ + 1.0 wt% Nb_2O_5 + x wt% Cr_2O3 bulk 특성

○ 앞선 실험에서 선택한 Nb_2O_5의 첨가량을 1.0 wt%로 고정하고 Cr_2O_3의 첨가량을 0.0에서 0.4로 변화시켜 최적의 조성을 찾는 실험을 진행함

○ <그림 3-56>와 <그림 3-57>은 Cr_2O_3의 첨가량변화에 따른 비유전율, 기계결합계수, 압전정수(d_{33}, g_{33})를 나타냄

○ 비유전율은 Impedance Analyzer(Agilent, 4294A, <그림 3-55> 참조)를 사용하여 1㎑에서의 정전용량 C를 측정한 후 다음 식으로 유전상수를 계산하였다.

$$C = \frac{\varepsilon_{33}^{T} \cdot \varepsilon_0 \cdot S}{t}[F]$$

여기서, C : 정전용량

S : 시편의 면적

t : 시편의 두께

$\varepsilon 0$: 진공중의 유전율(8.854×10^{-12} F/m)

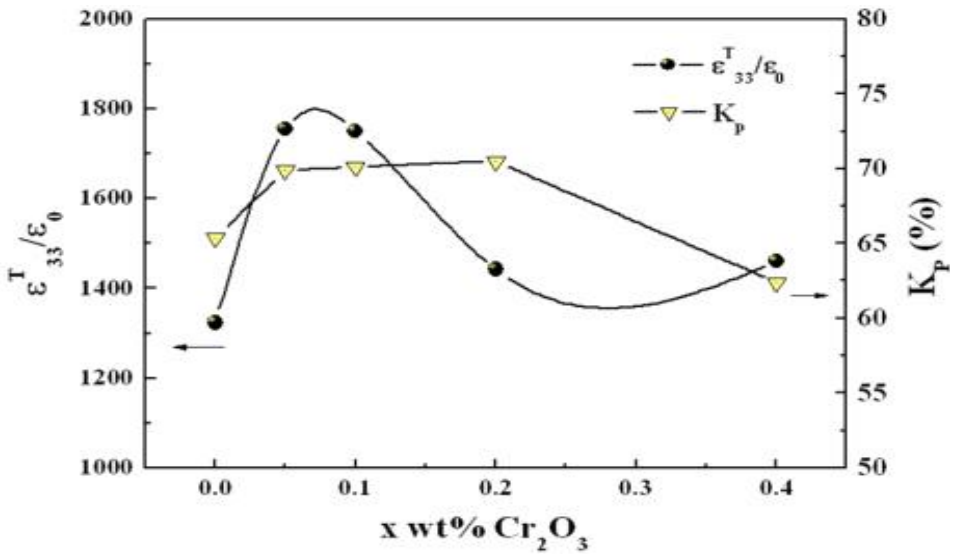


<그림 3-55> Precision Impedance Analyzer (Agilent 4294A 40 Hz ~ 110 MHz)

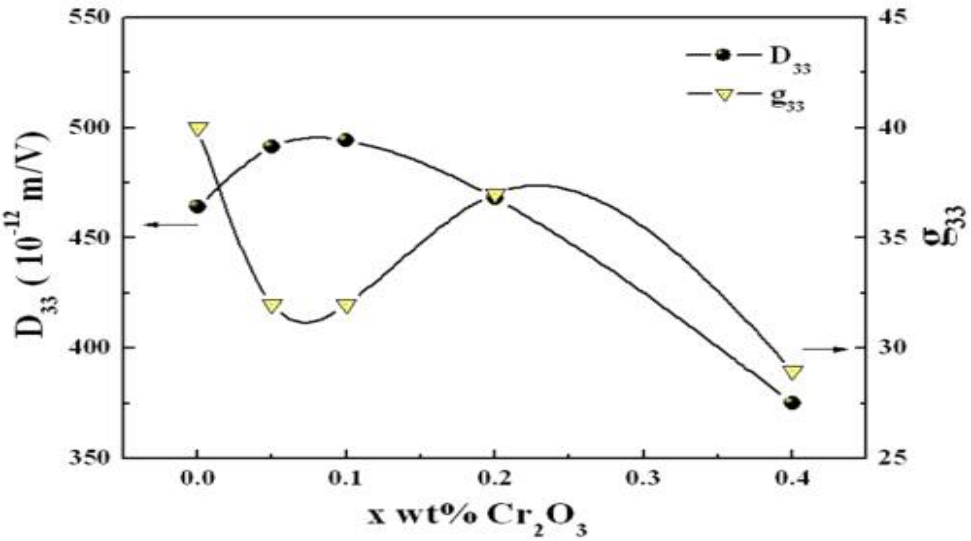
○ <그림 3-56>은 조성 $Pb(Zr_{0.54}Ti_{0.46})O_3$ + x wt% Cr_2O_3 + 1.0 wt% Nb_2O_5에서 Cr_2O_3를 0.0에서 0.4까지 변화시키고 1200℃에서 2시간 소결한 압전 bulk 시편의 전기기계결합계수(kp)를 나타냄

○ 전기기계결합계수는 0.2 첨가 조성에서 완만히 증가하였다가 그 이상 조성에서 급격히 감소하는 경향을 나타내고 있고, Cr_2O_3 첨가량이 0.2 wt% 조성부근, 즉 분극가능한 축이 공존하는 상경계 영역부근에서 분극특성이 향상됨에 따라 전기기계결합계수가 증가한 것으로 보이며, 밀도 증가에 기인한 것으로 분석되었음

○ <그림 3-57>은 $Pb(Zr_{0.54}Ti_{0.46})O_3$ + x wt% Cr_2O_3 + 1.0 wt% Nb_2O_5에서 Cr_2O_3를 0.0에서 0.4까지 변화시키고 1200℃에서 2시간 소결한 압전 bulk 시편의 압전상수(d_{33})를 나타낸다. Cr_2O_3이 0.2 wt% 첨가되었을 때 전기기계결합계수(kp)와 압전정수(d_{33})가 높게 나타났으며 이때가 MPB 영역임을 확인할 수 있었음



<그림 3-56> Variations of the $\varepsilon_3^T/\varepsilon_0$, kp of $Pb(Zr_{0.54}Ti_{0.46})O_3$ + x wt% Cr_2O_3 + 1.0 wt% Nb_2O_5 with $0 \leq x \leq 0.4$



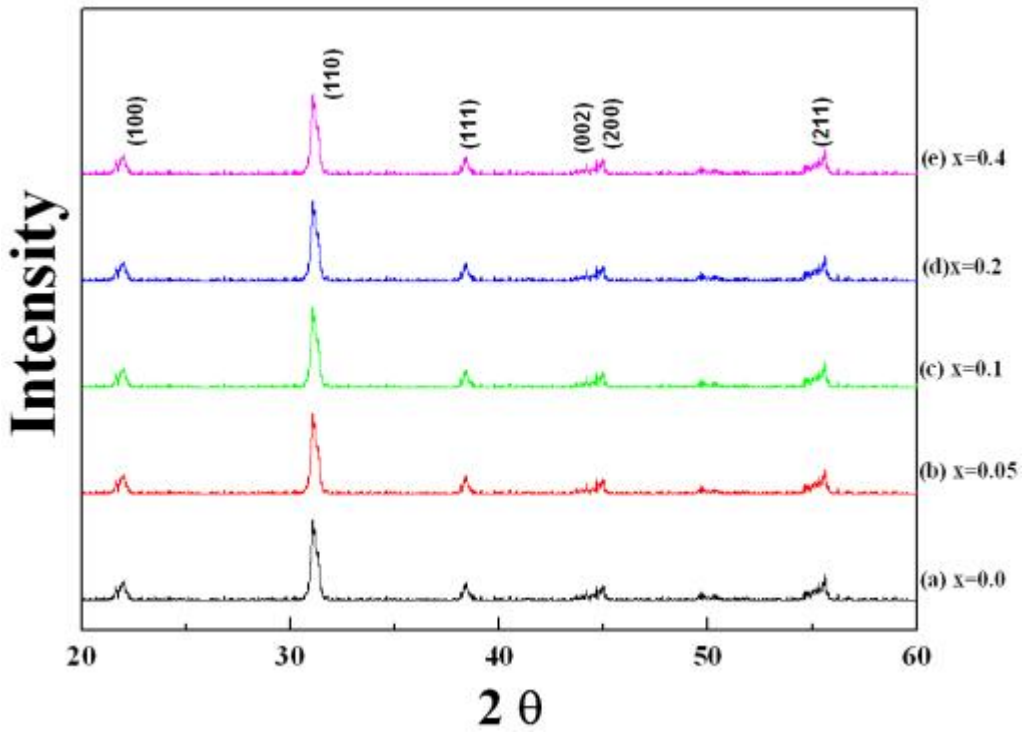
<그림 3-57> Variations of the D_{33}, g_{33} of $Pb(Zr_{0.54}Ti_{0.46})O_3$ + x wt% Cr_2O_3 + 1.0 wt% Nb_2O_5 with $0 \leq x \leq 0.4$

○ 또한, <그림 3-58>는 조성 $Pb(Zr_{0.54}Ti_{0.46})O_3$ + x wt% Cr_2O_3 + 1.0 wt% Nb_2O_5에서 Cr_2O_3를 0.0에서 0.4까지 변화시키고 1200℃에서 2시간 소결한 압전 bulk 시편의 XRD 패턴임

○ 그림에서 보는바와 같이 삼방정(rhombohedral) 구조와 정방정(tetragonal)구조를 나타내는 X선 회절 peak가 $2\theta = 45°$ 부근에서 존재하며, 정방정 구조는 (200)과 (002)면이 공존하며, 삼방정 구조는 (200)면만 존재하는데, 이들 회절 peak에 의하여 상경계 지점을 판단 할 수 있음

○ 또한 특성에 영향을 미치는 것으로 알려져 있는 2차 상인 pyrochlore($2\theta = 28°$ 부근에서 관찰) 상은 전체조성에서 관찰되지 않았으며, 잘 합성된 것을 알 수 있음

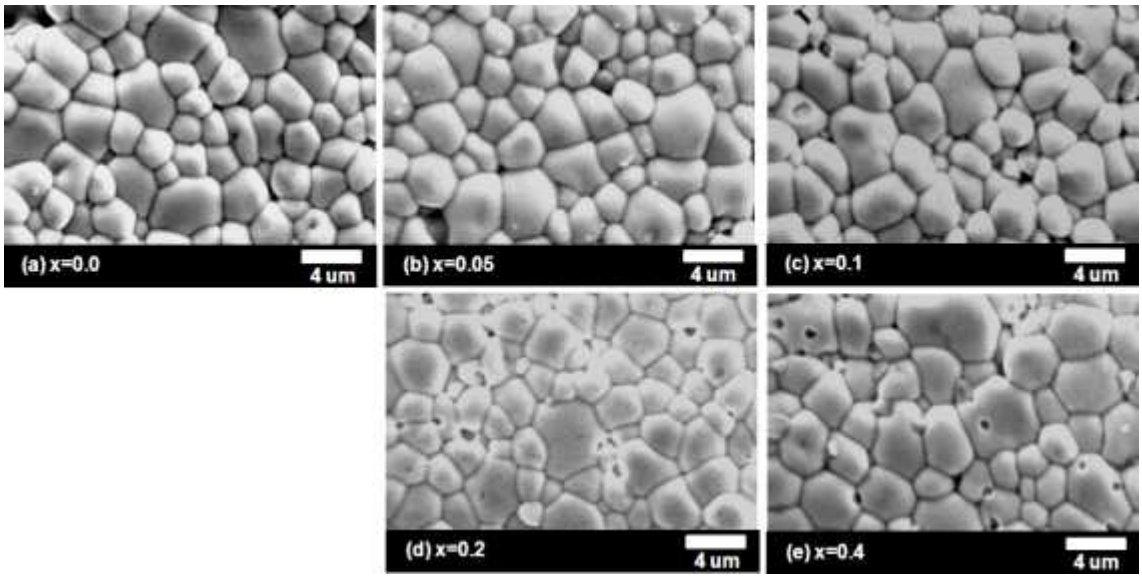
○ XRD 패턴을 보면 상이 잘 합성된 것을 확인할 수 있었으며 SEM 사진을 통해 전체적으로 조밀한 것을 볼 수 있었음



<그림 3-58> XRD patterns of $PPb(Zr_{0.54}Ti_{0.46})O_3$ + x wt% Cr_2O_3 + 1.0 wt% Nb_2O_5 with $0 \leq x \leq 0.4$ sintered at 1200℃ for 2h: (a) x=0, (b) x=0.05, (c) x=0.1, (d) x=0.2, and (e) x=0.4

◦ <그림 3-59>은 조성 $Pb(Zr_{0.54}Ti_{0.46})O_3$ + x wt% Cr_2O_3 + 1.0 wt% Nb_2O_5에서 Cr_2O_3를 0.0에서 0.4까지 변화시키고 1200℃에서 2시간 소결한 압전bulk 시편표면의 SEM 사진임

◦ SEM 사진을 통해 전체적으로 조밀한 것을 볼 수 있었음



<그림 3-59> Surface SEM images of $Pb(Zr_{0.54}Ti_{0.46})O_3$ + x wt% Cr_2O_3 + 1.0 wt% Nb_2O_5 with $0 \leq x \leq 0.4$ sintered at 1200℃ for 2h: (a) x=0, (b) x=0.05, (c) x=0.1, (d) x=0.2, and (e) x=0.4

나) $PbZrTiO_3$ 계 세라믹의 조성 변화에 따른 MPB 변화 분석과 PZT계 세라믹의 압전특성에 대한 온도 의존성 확인

○ 여러 소결온도에 따라 압전 특성의 변화를 분석하였으며, 세라믹 조성변화에 따른 결정구조와 MPB영역의 변화를 표에 나타내었다.

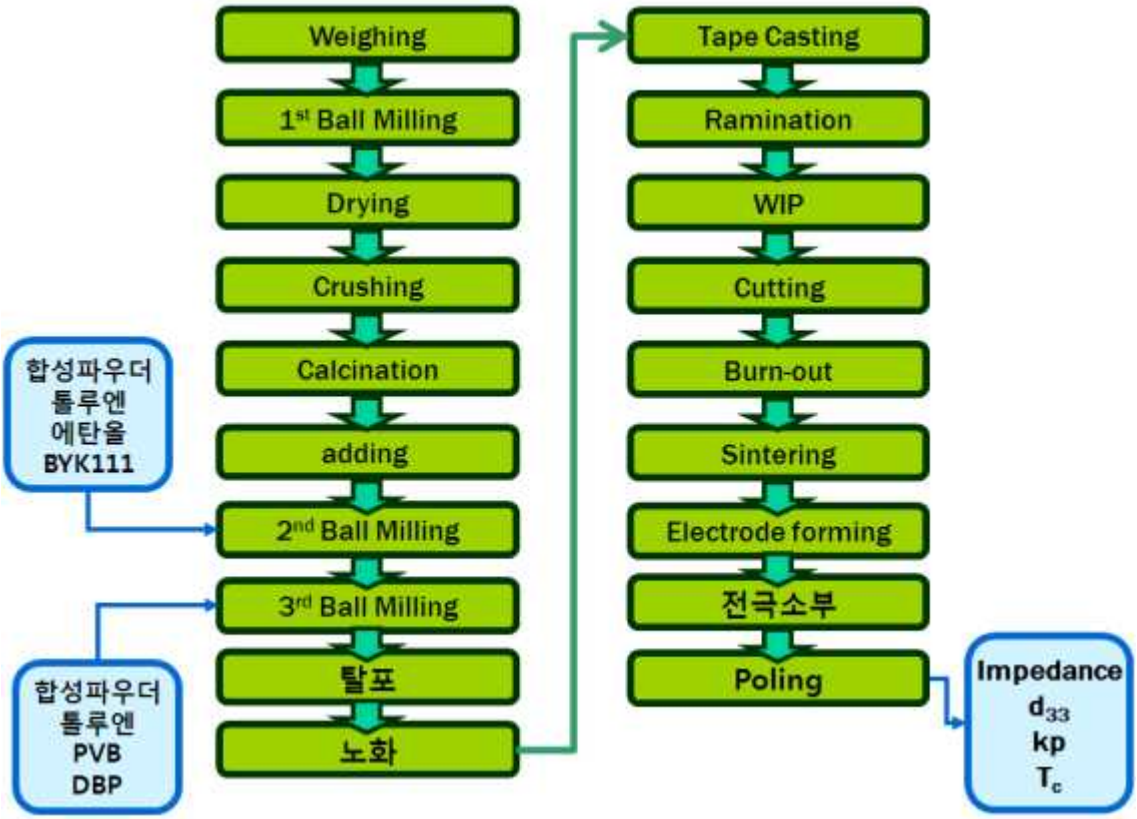
<표 3-3> 조성 $Pb(Zr_{0.54}Ti_{0.46})O_3$ + x wt% Cr_2O_3 + 1.0 wt% Nb_2O_5의 특성값

Temperature	Y	k_p(%)	d_{33}(pC/N)	Q_m	ε_r	Phase*
1150℃	0	64.5	464	68	1449.6	R
	0.1	66	474	77	1567.6	*R*
	0.2	65.1	456	87	1496.4	*R*
	0.4	56.5	372	235	1273.7	R
1200℃	0	65.4	464	68	1323.2	R
	0.1	70.1	494	72	1750.7	*MPB*
	0.2	70.5	479	90	1654.6	T
	0.4	62.3	375	306	1459.8	T
1250℃	0	59.8	360	52	1270.2	R
	0.1	61	370	99	1280.7	*MPB*
	0.2	61.1	400	80	1391.9	*MPB*
	0.4	56.1	320	248	1115	T

Phase* : R:(rhombohedral), T:(tetragonal)

○ 지금까지의 특성분석을 통해서 $Pb(Zr_{0.54}Ti_{0.46})O_3$ + 0.2 wt% Cr_2O_3 + 1.0 wt% Nb_2O_5을 기본조성으로 하여 압전 SHEET를 제작하였음

다) sheet 공정을 위한 sluury 제작 및 소결조건 확립



<그림 3-60> 압전 sheet 제작 과정

○ 벌크실험 특성에서 얻어진 $Pb(Zr_{0.54}Ti_{0.46})O_3$ + 0.2 wt% Cr_2O_3 + 1.0 wt% Nb_2O_5조성으로 sheet casting을 하였음

○ 실험방법은 위의 도식화 된 <그림 3-60>와 같이 일반적인 고상합성법을 사용하여 제조되었음

○ 우선 $Pb(Zr_{0.54}Ti_{0.46})O_3$ + 0.2 wt% Cr_2O_3 + 1.0wt% Nb_2O_5 조성을 만들기 위해 PbO, ZrO_2, TiO_2, Cr_2O_3, Nb_2O_5의 원료분말을 1000ml 날젠병에 화학양론적인 조성 비율에 따라 0.1mg의 오차범위에서 정밀하게 400 을 평량한 후에 99% 에탄올을 200ml 넣었음

○ 합성된 파우더에 톨루엔, 에탄올, BYK111을 첨가하여 볼밀로 24시간 동안 2차 볼밀을 진행한 후, 다시 톨루엔, 에탄올 바인더(PVB), DBP를 첨가한 후 볼밀로 24시간 동안 3차 볼밀을 진행하였음

○ 볼밀이 끝난 후에 슬러리 안에 기포를 제거하기 위하여 탈포기에서 탈포 후<그림 3-61>), 남아 있는 기포를 제거하기 위해 24시간 동안 Aging을 하였음(<그림 3-62> 참조)



<그림 3-61> 탈포 모습



<그림 3-62> Aging 위한 Ball-mill 모습



<그림 3-63> Tape casting 장비

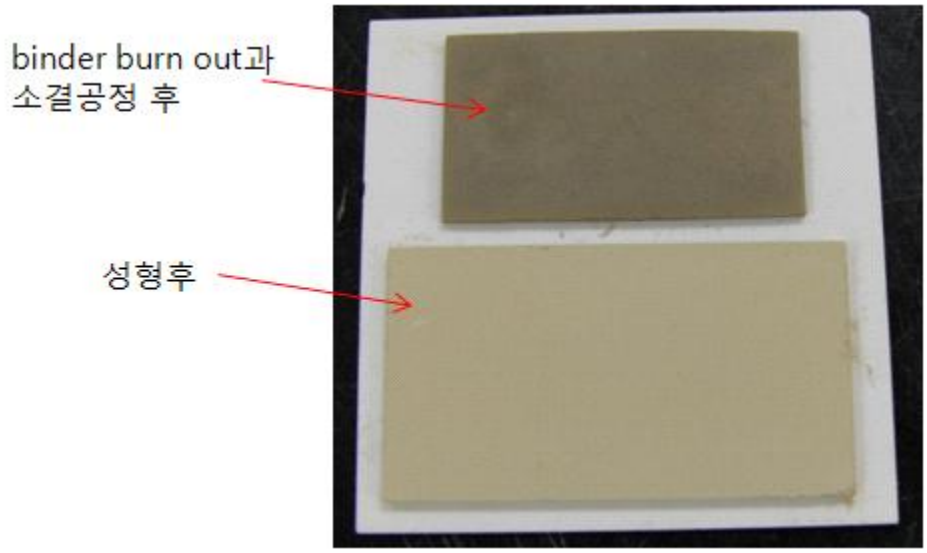


<그림 3-64> 압전 sheet 모습

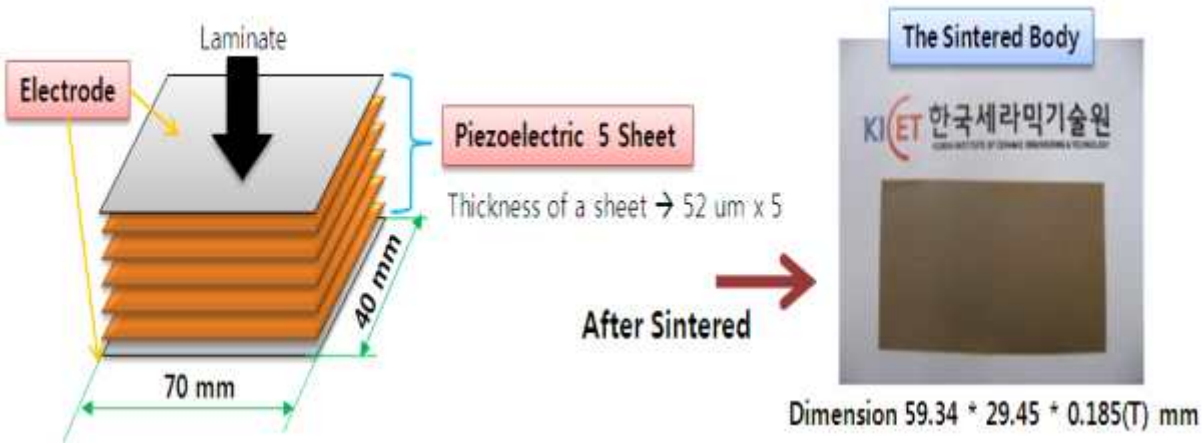
○ 만들어진 슬러리를 Tape casting 장비에서 약 50㎛ 두께를 가지는 sheet로 뽑았음

◦ 최적화 된 구조인 60 × 30 × 0.2mm 크기의 sheet를 만들기 위해 52㎛의 sheet를 5장 적층하여 라미네이션 후에 WIP장비를 이용하여 압착하였고, 후에 70 × 40 × 0.22mm 크기로 잘라냄(<그림 3-65>, <그림 3-66> 참조)

◦ 만들어진 압전 sheet의 소결조건을 잡기 위해 TG-DTA 분석(<그림 3-67>) 함

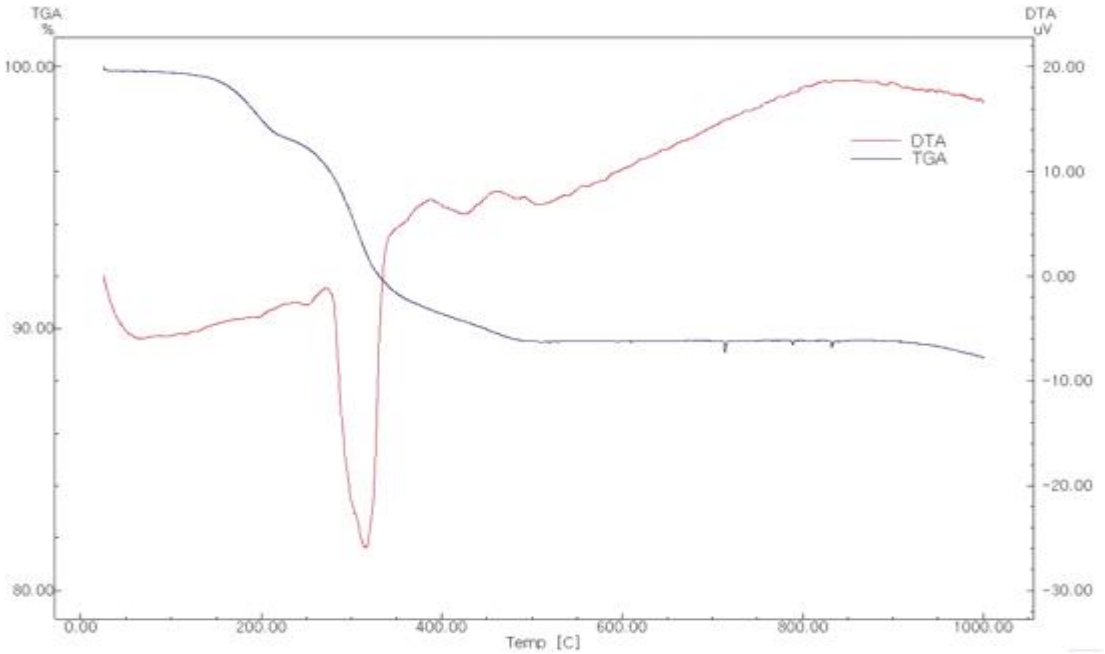


<그림 3-65> 성형과 소결 후 시편형상



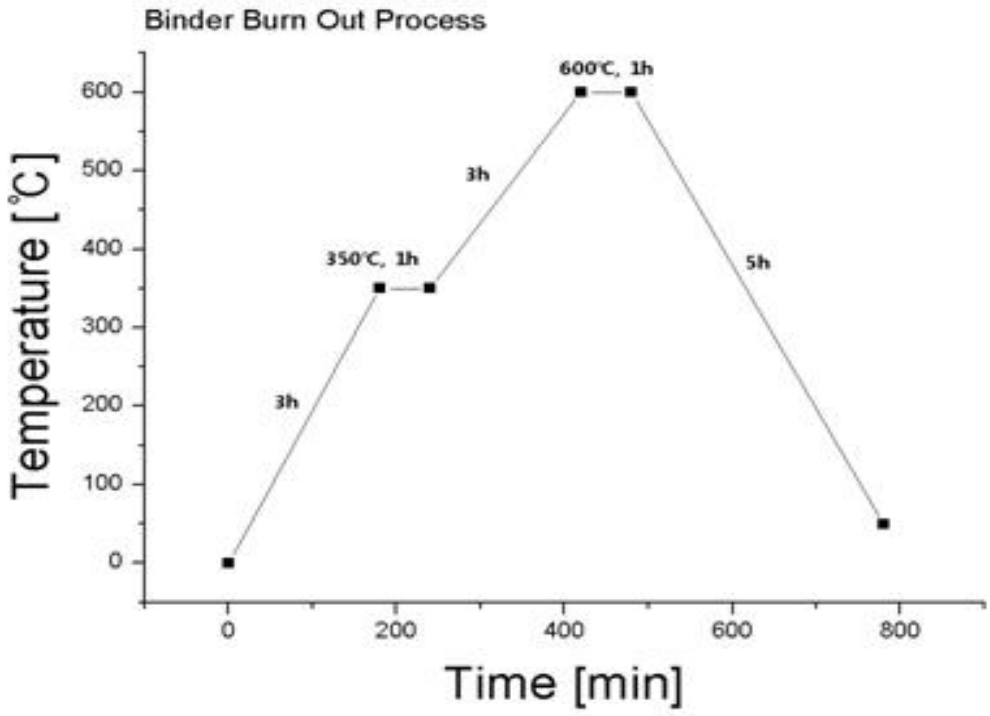
<그림 3-66> 압전 sheet 압착후 성형모습

○ TG-DTA 결과 300℃부근에서 급격한 변화를 보이는 것으로 보아 바인더가 휘발되는 것을 알 수 있었음(<그림 3-67> 참조)



<그림 3-67> TG-DTA 측정값

○ 따라서 충분한 바인더 휘발을 위해서 600도에서 충분한 열처리를 실시하였고, <그림 3-69>는 바인더의 Burn-Out 조건을 나타내고 있음



<그림 3-68> 바인더 Burn-Out 조건

○ 또한 소결 조건을 잡기 위하여 1000 ~ 1200℃에서 소결을 진행하였고, 소결된 시편은 silver epoxy paste를 이용하여 550℃에서 소부 하여 형성하였으며, 전극 처리된 시편은 120℃의 실리콘 절연유 내에서 2.5 kV/mm의 직류 전류계를 15분 인가하여 분극처리 하였음

○ <그림 3-69>은 본 과제에서 사용한 분극기와 자동 전극프린터를 나타내고 있음



<그림 3-69> 분극기와 자동전극프린터기

○ <그림 3-70>와 <표 3-4>는 압전 sheet를 1085℃, 1100℃, 1115℃로 소결하여 얻은 압전 sheet의 압전 특성값임

○ 시편의 밀도는 시편의 부력을 이용한 습식법을 사용하였으며, 시편의 공기중에서의 무게와 물속에서의 무게를 측정하여 다음 식에 의해 밀도를 구하였음

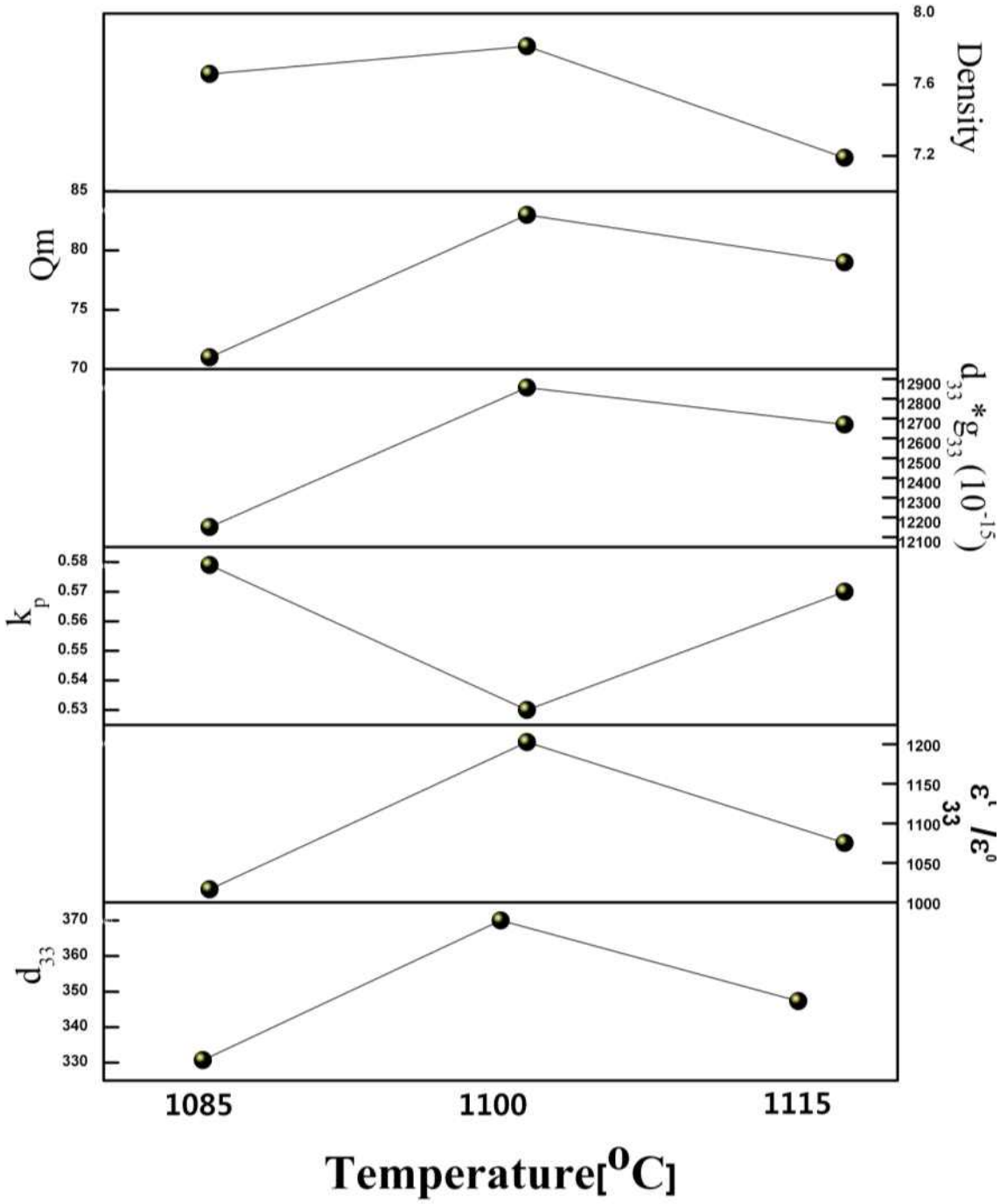
$$\rho = \frac{B}{B-A} \times \rho_{hg}$$

여기서, ρ : 시편의 밀도[g/㎤]

ρhg : 물의 밀도[g/㎤]

A : 수중에서 시편의 무게[g]

B : 공기중에서 시편의 무게[g]



<그림 3-70> sheet의 압전특성값

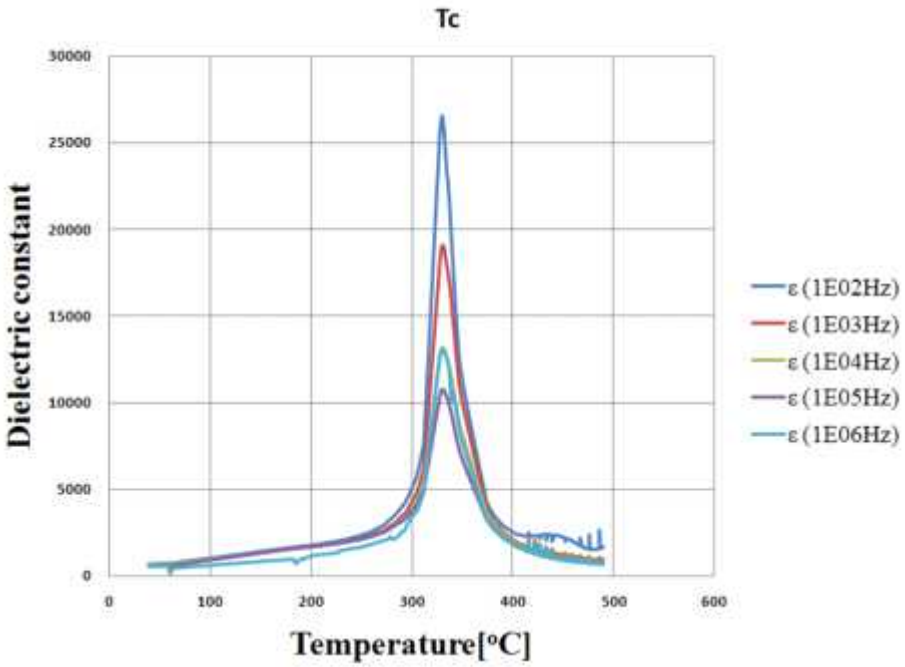
<표 3-4> sheet 특성값

Temperature (℃)	density (g/cm^{3})	Q_m	d*g	k_p(%)	ε_r	d_{33} (pC/N)
1085	7.7	71	12,151	57.9%	1016.5	330.7
1100	7.8	83	12,856	53.0%	1202.7	370.0
1115	7.2	79	12,670	57.0%	1075.2	347.3

○ <그림 3-71>는 1085℃에서 소결한 압전 sheet의 온도에 따른 유전율 그래프임

○ 측정주파수를 102Hz에서 106Hz로 변화시켜 가면서 정전용량을 측정한 뒤, 압전소자의 면적과 두께 값을 넣어 유전율로 환산하여 얻은 그래프임

○ 330℃에서 유전율의 급격한 변화로 큐리점(Curie Temperature)이 330℃임을 확인하였으며, 큐리점 이상의 온도로 압전소자에 가해지면 압전체가 압전특성을 잃게 되기 때문에 큐리점이 높을수록 압전체의 사용온도대역이 넓게됨

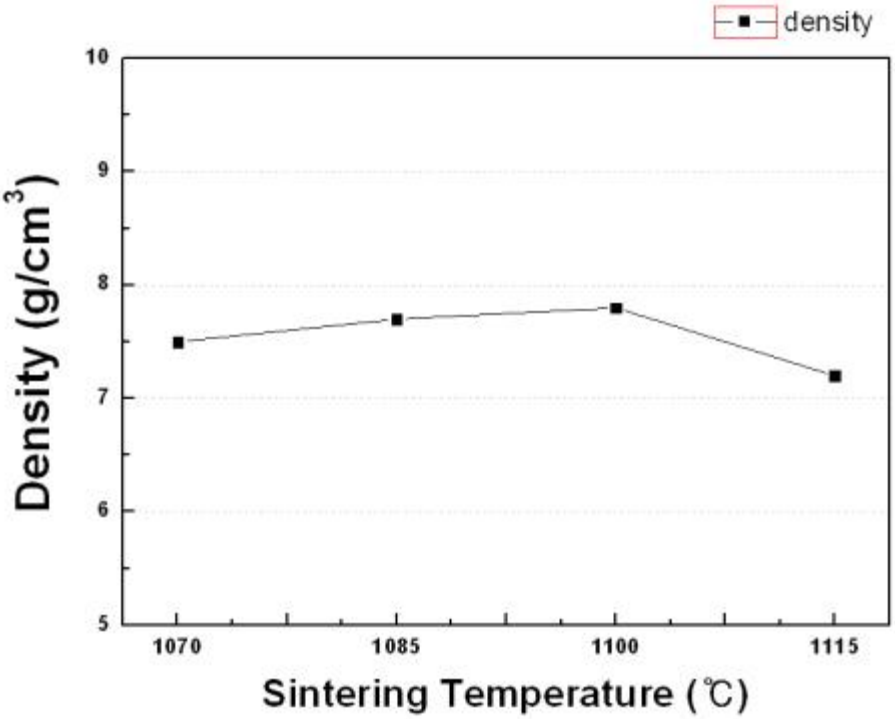


<그림 3-71> sheet Tc data

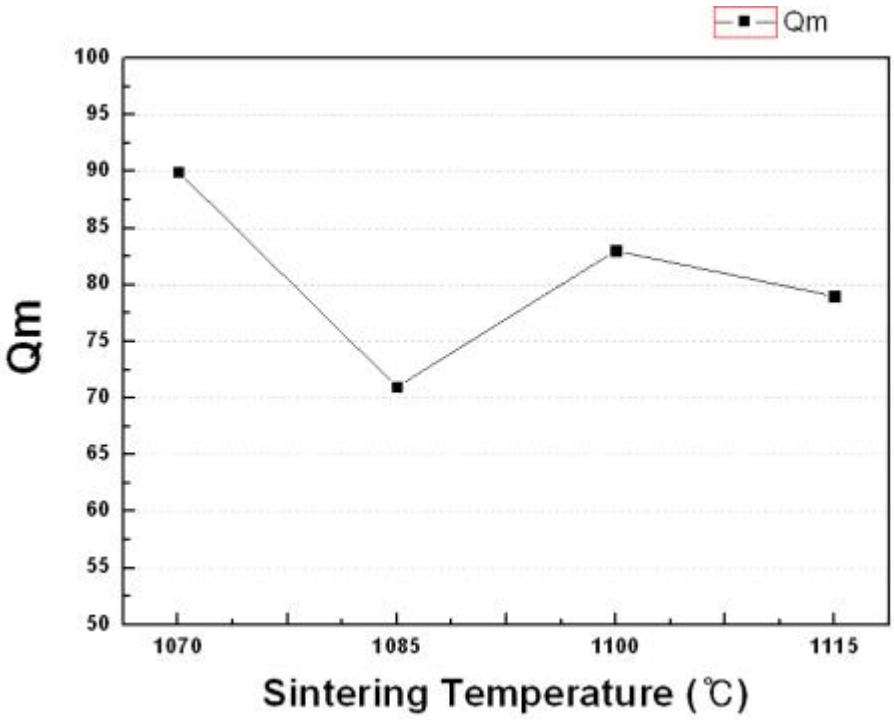
○ 압전조성 실험과 이후 sheet 제작 후 sheet 특성평가결과로써 Energy Harvesting을 이용한 도로교통 시설물 제어시스템 개발을 위한 압전세라믹의 특성값으로 $d_{33} \times g_{33}$ ($10^{-15}m^2/N$)가 12K, 기계결합계수 kp(%)는 58%, Curie Temperature인 Tc는 330℃로 과제목표치를 각각 100% 달성하였음

가. 압전소자 전기적 특성 평가

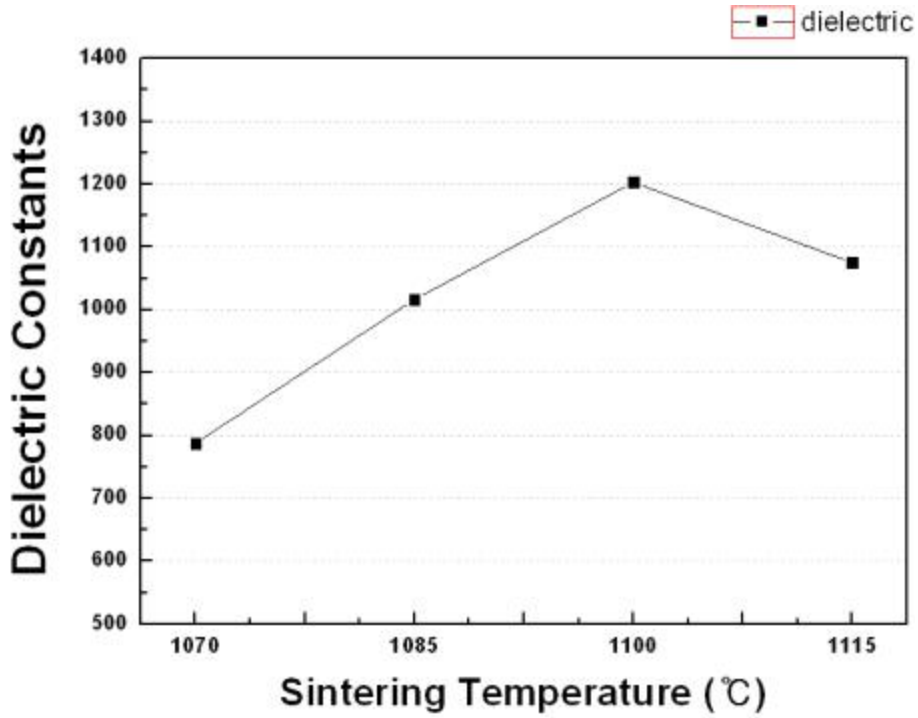
○ 그림은 압전 시트의 소결온도를 1070, 1085, 1100, 1115도로 변화시킴에 따른 압전 시트의 특성을 나타낸다.



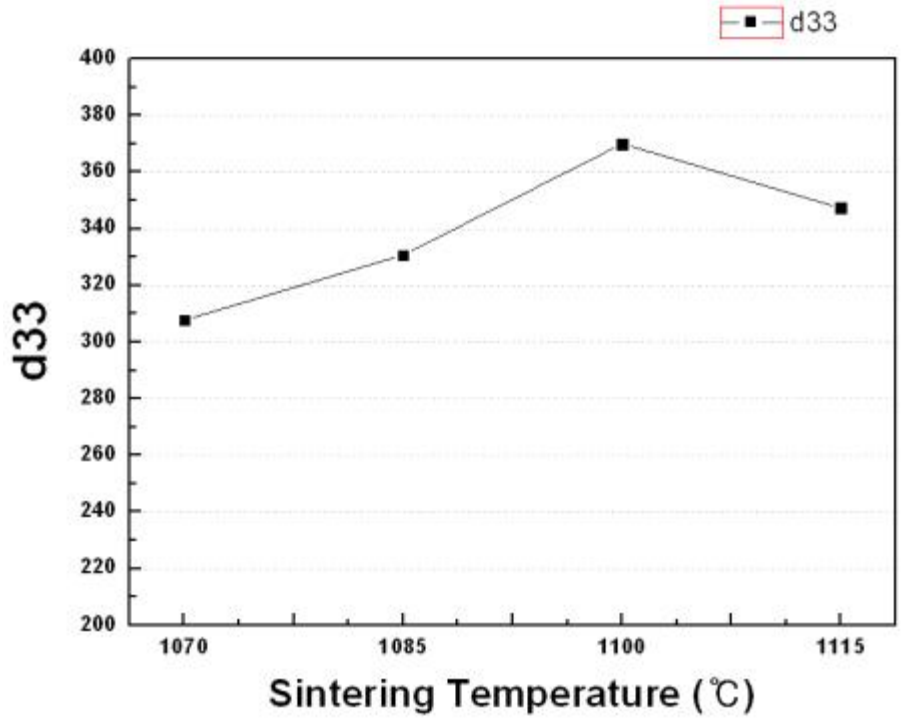
<그림 3-72> 압전 시트 소결온도 변화에 따른 밀도 값



<그림 3-73> 압전 시트 소결온도 변화에 따른 품질계수 값(Qm)

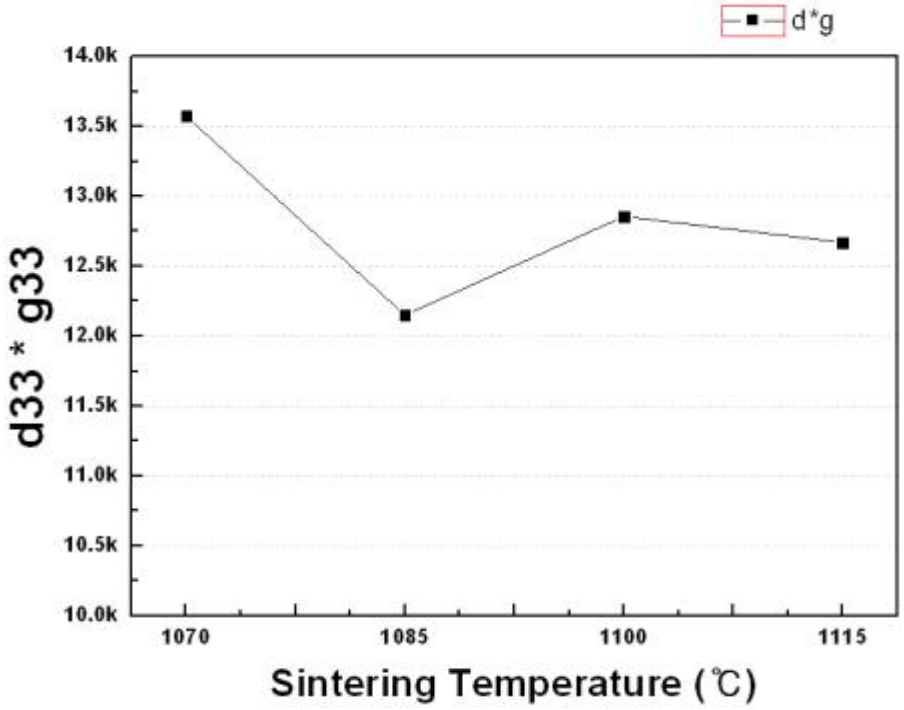


<그림 3-74> 압전 시트 소결온도 변화에 따른 유전율 값

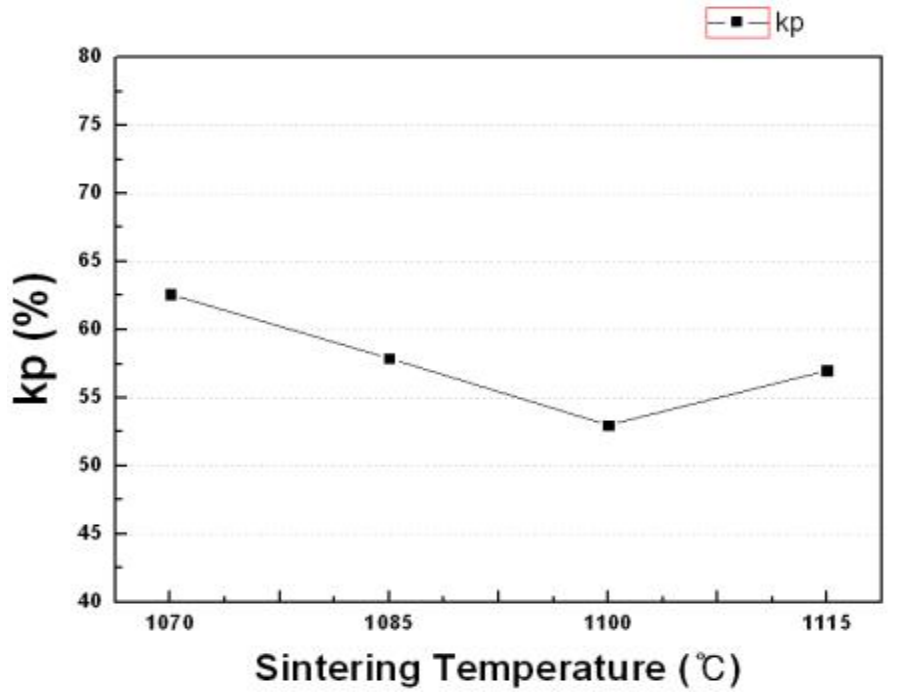


<그림 3-75> 압전 시트 소결온도 변화에 따른 압전 상수 값(d_{33})

○ 압전 시트의 소결온도 변화에 따라 1100℃까지 d_{33}와 유전율 값은 증가하다가 1115℃에서 감소하는 경향을 나타냈다. 기계결합계수(kp)는 이와 반대의 경향으로 kp가 점차 감소하다가 1115℃에서 다시 증가하는 경향을 보였다.

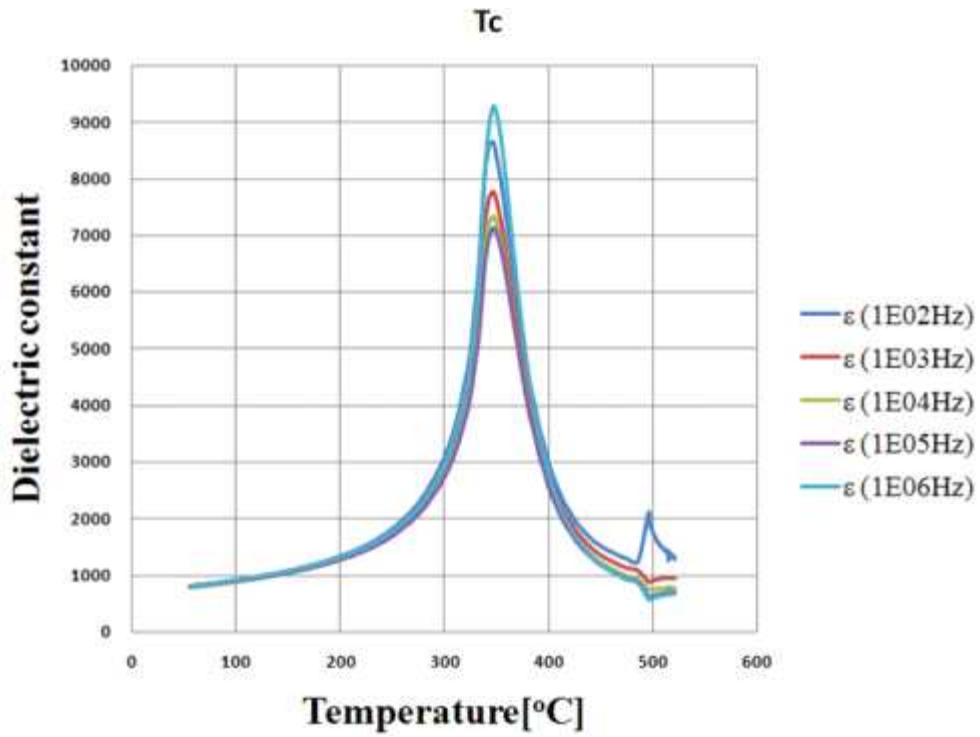


<그림 3-76> 압전 시트 소결온도 변화에 따른 압전 상수 d*g 값



<그림 3-77> 압전 시트 소결온도 변화에 따른 기계결합 계수 값(kp)

○ 압전 조성 실험을 통한 압전 시트 제작 후 특성평가를 통하여 자가발전모듈에 사용하기위한 압전 세라믹의 특성 값으로 $d_{33} \times g_{33}$ ($10^{-15}m^2/N$)가 13.5K, 기계결합계수 kp(%)는 62%, Curie Temperature인 Tc는 340℃로 과제목표치를 각각 100% 달성하였다.

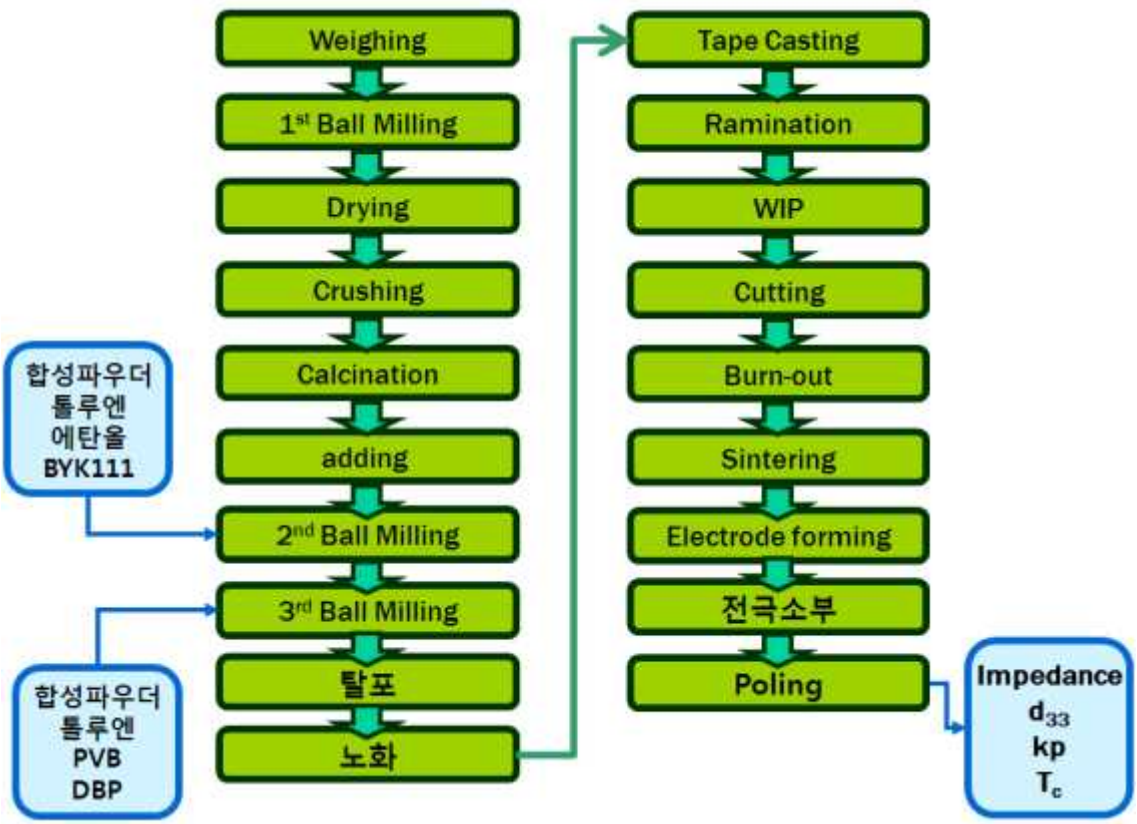


<그림 3-78> 압전 시트의 온도에 대한 유전율 그래프(Tc)

○ 그림은 압전시트의 온도에 대한 유전율을 나타낸다. 각 주파수별로 측정한 결과이며, Tc는 340도 부근이다.

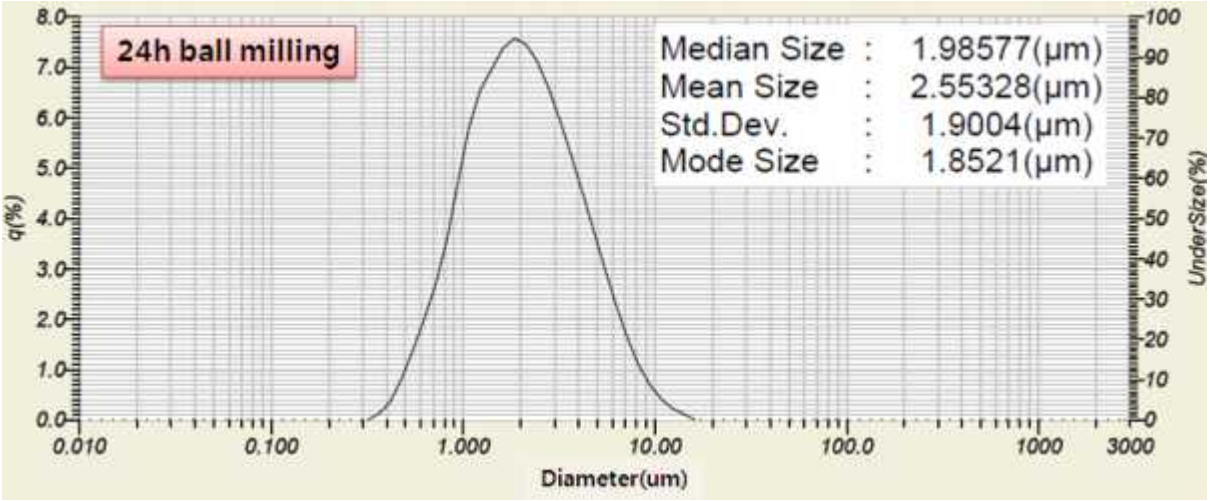
나. 압전 세라믹 후막공정 최적화

○ 압전 세라믹 후막공정은 그림과 같은 순서로 제작하였으며, 각 과정은 1차년도 보고서에 기재하였다.

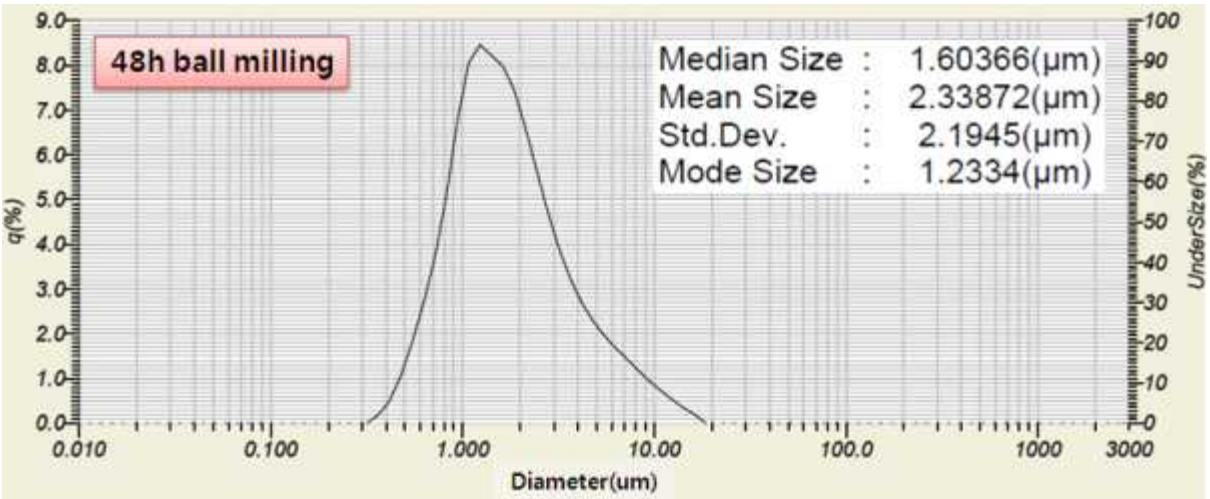


<그림 3-79> 압전 시트 제작과정

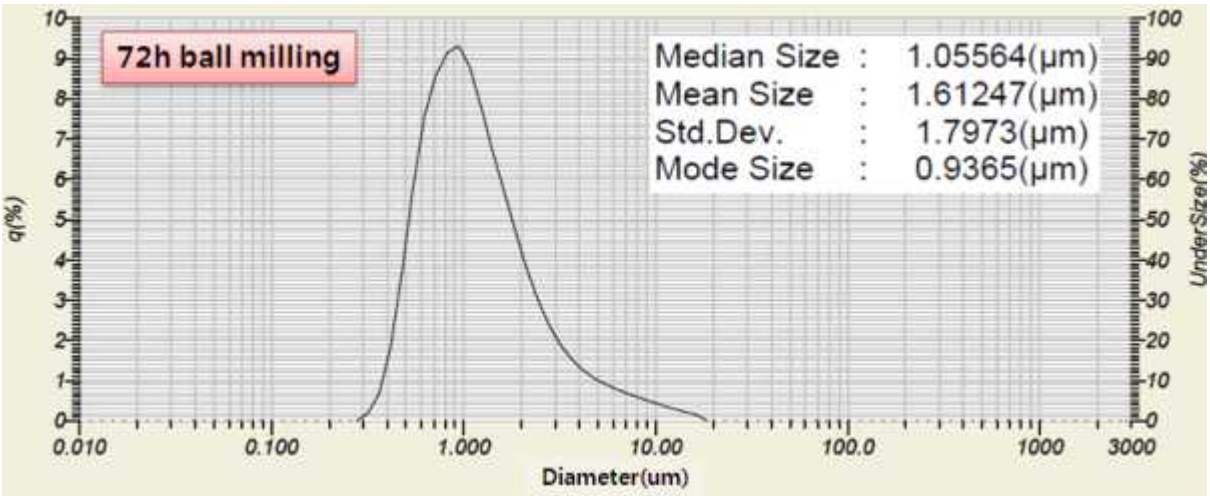
○ 압전 시트의 균일한 제작을 위해서 2차 볼밀 시간의 시간변화를 통하여 압전 파우더의 입도를 최적화하고자 하였다. 2차 볼밀 시간을 24시간, 48시간, 72시간으로 구분하여 볼 밀링 후 압전 파우더의 입도를 분석하였으며 다음의 그림에 나타내었다. 24시간 볼밀을 하였을 때 평균입경은 2.55 um였으며, 48시간 볼밀을 하였을 때 평균입경은 2.34 um이었다. 마지막으로 72시간 볼밀을 하였을 때 평균입경은 1.61 um가 측정되었다. 기존의 공정인 24시간은 48시간과 평균입경의 차이는 크지 않았으나 72시간 볼밀을 진행하였을 때 평균입경이 37% 감소하는 효과가 있었으며, 이를 적용하여 균일한 압전 시트를 제작하였다.



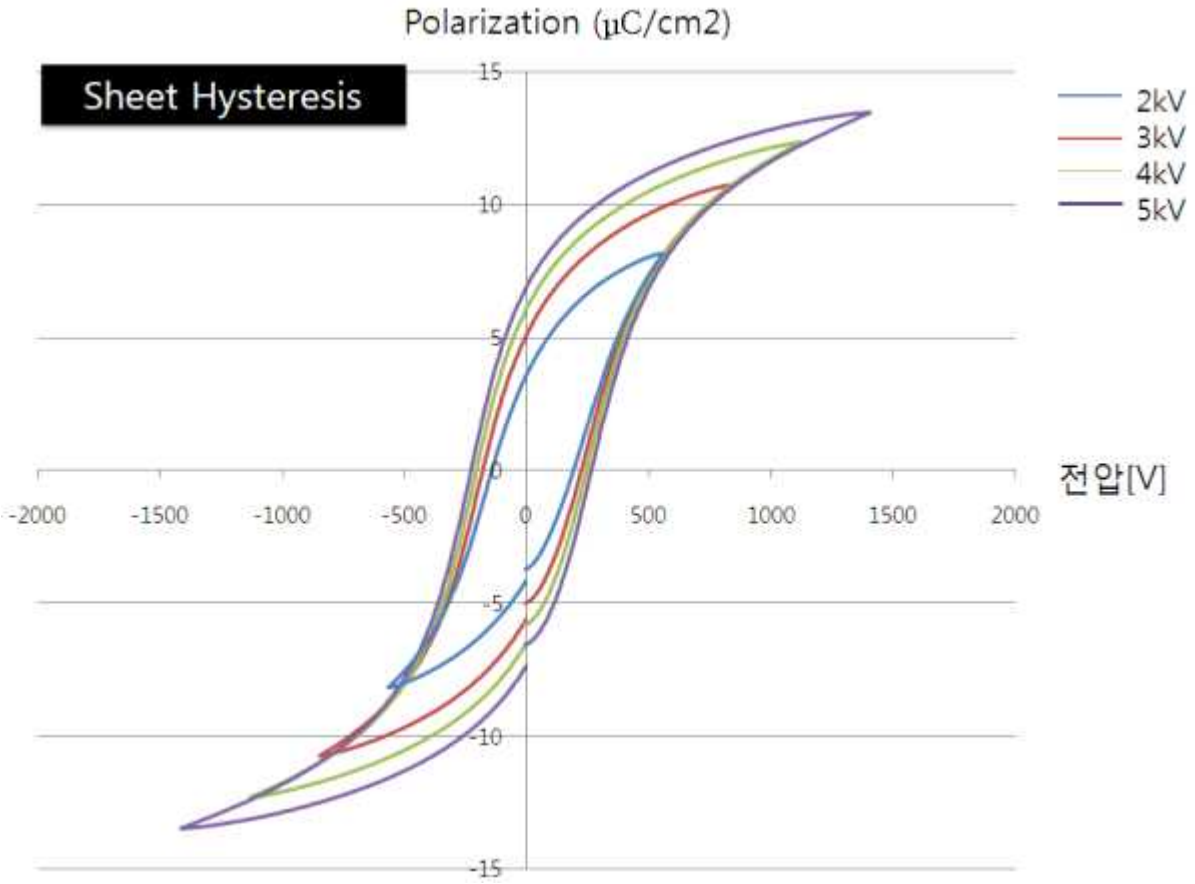
<그림 3-80> 2차 볼밀을 24시간 했을 시 입도분석 결과



<그림 3-81> 2차 볼밀을 48시간 했을 시 입도분석 결과



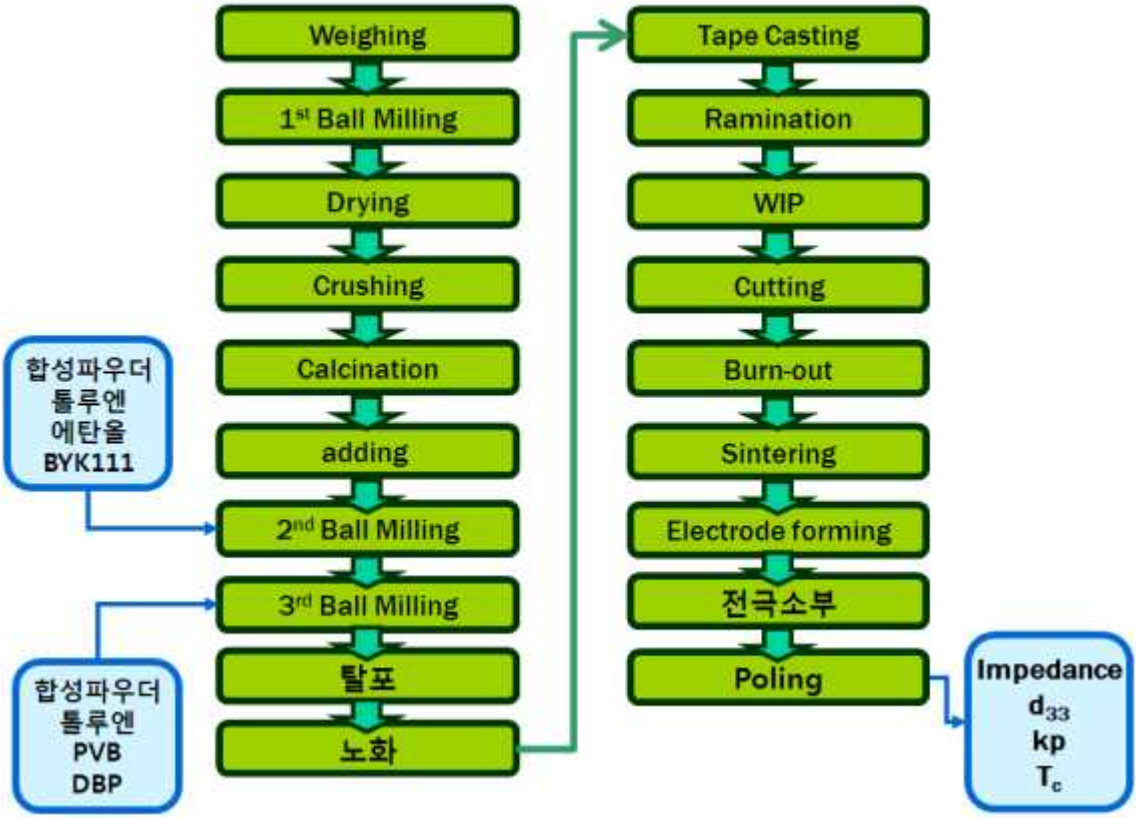
<그림 3-82> 2차 볼밀을 72시간 했을 시 입도분석 결과



<그림 3-83> 압전 시트의 히스테리시스 곡선

○ 최적의 분극전압을 찾기 위해 압전 시트의 PE측정을 하였으며, 그림에 결과를 나타내었다. 전압에 따른 분극의 정도를 비교하는 것으로 인가전압을 2~5 kV까지 변화시키면서 측정시에도 히스테리시스 곡선이 유지되어 분극전압을 기존 압전 시트의 두께 mm당 2.5 kV를 가했던 것을 두께 mm 당 5.0 kV까지 인가하여 분극을 시도하였다. 그후 압전 상수 d_{33}값을 측정하였으나 변화는 없었으며, 동일한 특성을 가지기에 2.5 kV로 분극전압을 유지하여 압전 시트를 분극하였다.

다. sheet 공정위한 sluury 제작 및 소결조건 확립



<그림 3-84> 압전 sheet 제작 과정

○ 벌크실험 특성에서 얻어진 $Pb(Zr_{0.54}Ti_{0.46})O_3$ + 0.2 wt% Cr_2O_3 + 1.0 wt% Nb_2O_5조성으로 sheet casting을 하였음

○ 실험방법은 위의 도식화 된 <그림 3-84>와 같이 일반적인 고상합성법을 사용하여 제조되었음

○ 우선 $Pb(Zr_{0.54}Ti_{0.46})O_3$ + 0.2 wt% Cr_2O_3 + 1.0wt% Nb_2O_5 조성을 만들기 위해 PbO, ZrO_2, TiO_2, Cr_2O_3, Nb_2O_5의 원료분말을 1000ml 날젠병에 화학양론적인 조성 비율에 따라 0.1mg의 오차범위에서 정밀하게 400 을 평량한 후에 99% 에탄올을 200ml 넣었음

○ 합성된 파우더에 톨루엔, 에탄올, BYK111을 첨가하여 볼밀로 24시간 동안 2차 볼밀을 진행한 후, 다시 톨루엔, 에탄올 바인더(PVB), DBP를 첨가한 후 볼밀로 24시간 동안 3차 볼밀을 진행하였음

○ 볼밀이 끝난 후에 슬러리 안에 기포를 제거하기 위하여 탈포기에서 탈포 후<그림 3-85>), 남아 있는 기포를 제거하기 위해 24시간 동안 Aging을 하였음(<그림 3-86> 참조)



<그림 3-85> 탈포 모습



<그림 3-86> Aging 위한 Ball-mill 모습



<그림 3-87> Tape casting 장비

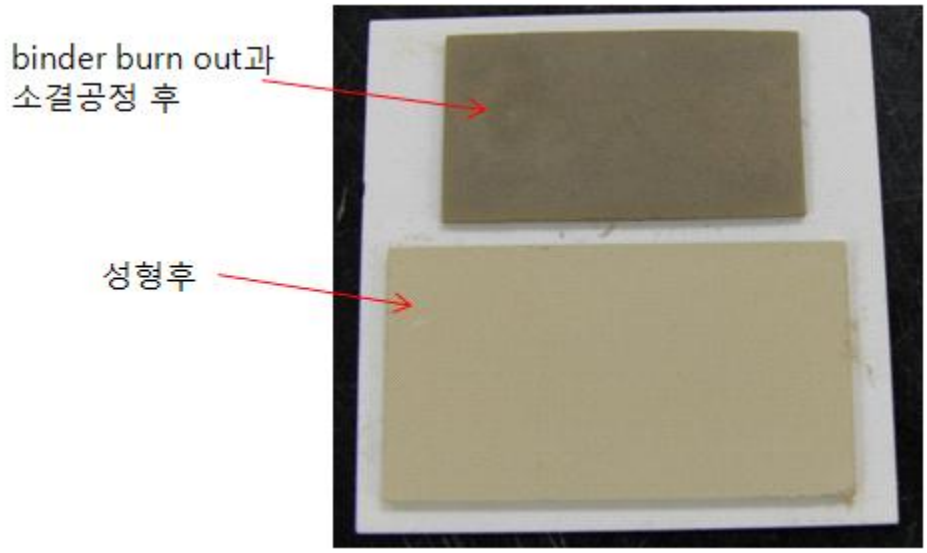


<그림 3-88> 압전 sheet 모습

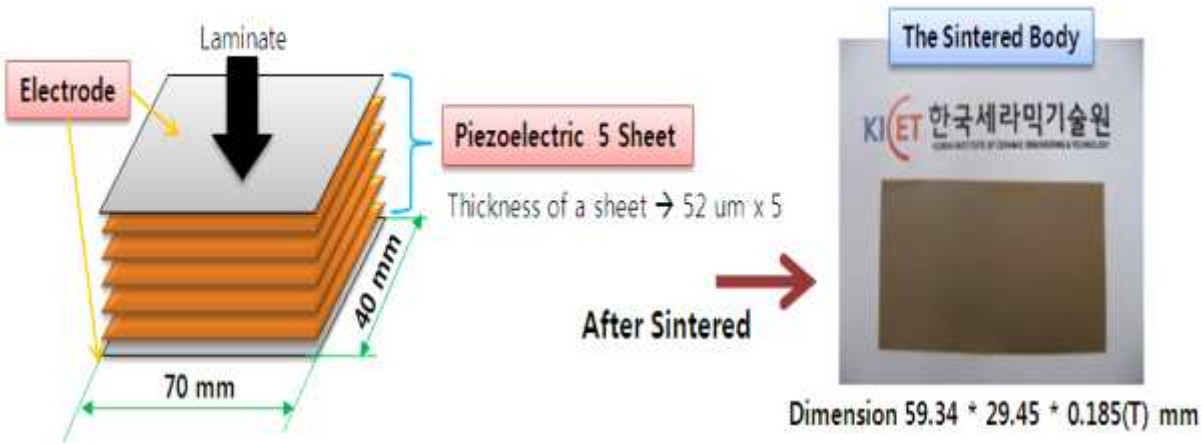
○ 만들어진 슬러리를 Tape casting 장비에서 약 50㎛ 두께를 가지는 sheet로 뽑았음

○ 최적화 된 구조인 60×30×0.2mm 크기의 sheet를 만들기 위해 52㎛의 sheet를 5장 적층하여 라미네이션 후에 WIP장비를 이용하여 압착하였고 후에 70×40×0.22mm 크기로 잘라냄(<그림 3-87>, <그림 3-88> 참조)

○ 만들어진 압전 sheet의 소결조건을 잡기 위해 TG-DTA 분석(<그림 3-89>) 함

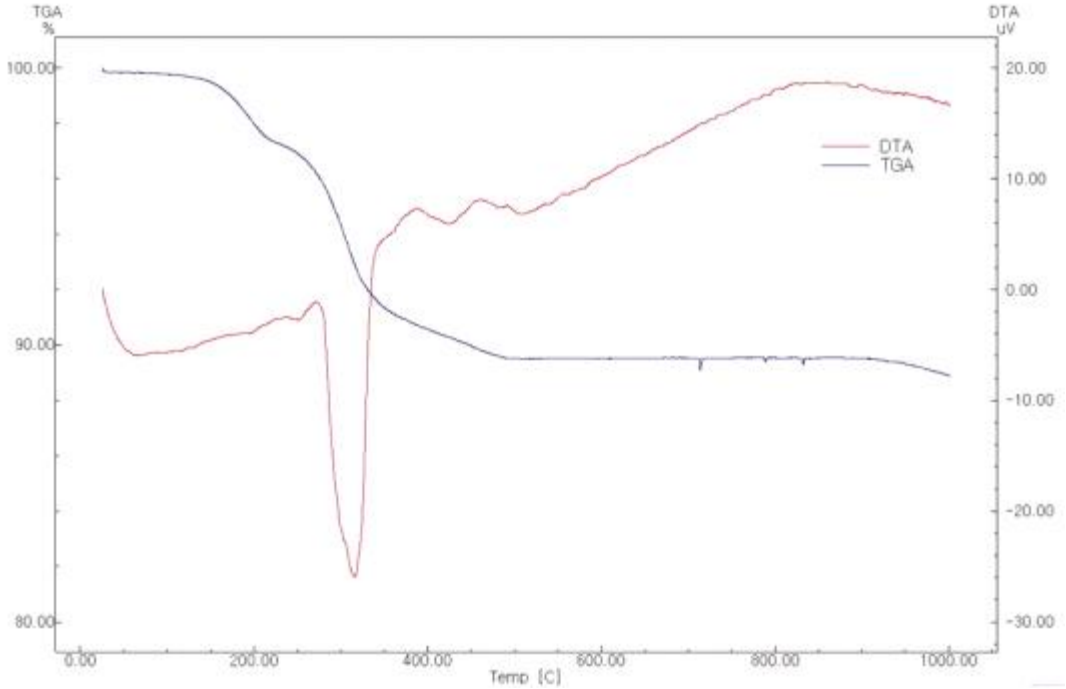


<그림 3-89> 성형과 소결 후 시편형상



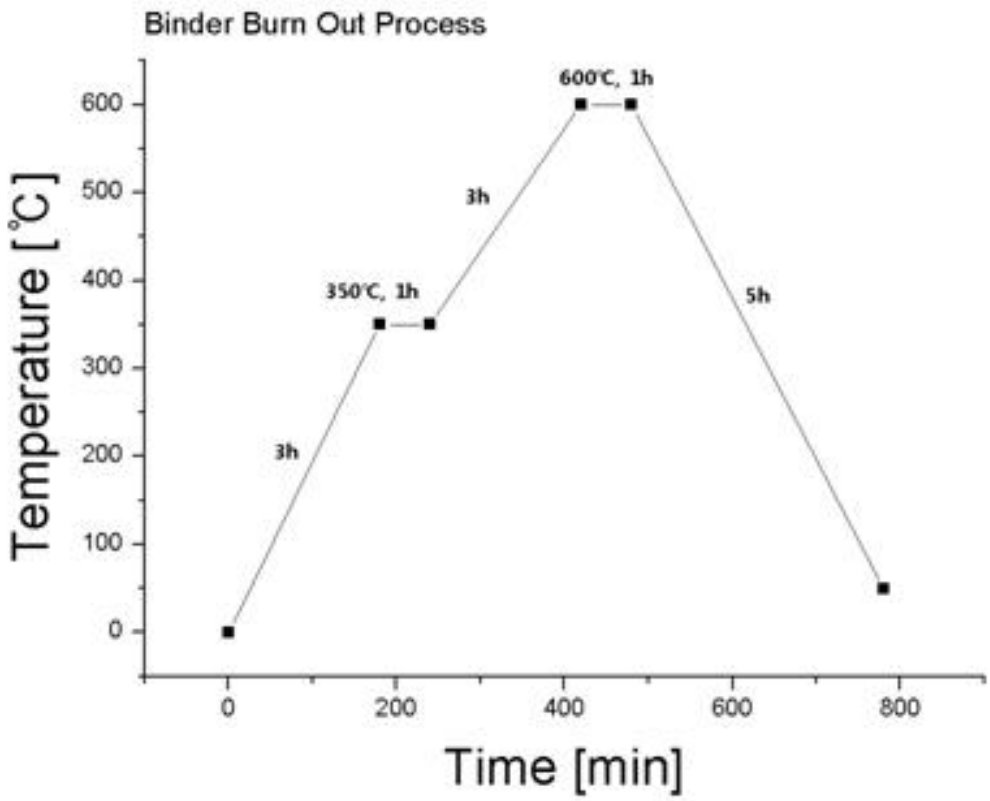
<그림 3-90> 압전 sheet 압착후 성형모습

○ TG-DTA 결과 300℃부근에서 급격한 변화를 보이는 것으로 보아 바인더가 휘발되는 것을 알 수 있었음(<그림 3-91> 참조)



<그림 3-91> TG-DTA 측정값

○ 따라서 충분한 바인더 휘발을 위해서 600℃에서 충분한 열처리를 실시하였고, <그림 3-92>는 바인더의 Burn-Out 조건을 나타내고 있음



<그림 3-92> 바인더 Burn-Out 조건

○ 또한 소결 조건을 잡기 위하여 1000 ~ 1200℃에서 소결을 진행하였고, 소결된 시편은 silver epoxy paste를 이용하여 550℃에서 소부 하여 형성하였으며, 전극 처리된 시편은 120℃의 실리콘 절연유 내에서 2.5 kV/mm의 직류 전류계를 15분 인가하여 분극처리 하였음

○ <그림 3-93>은 본 과제에서 사용한 분극기와 자동 전극프린터를 나타내고 있음



<그림 3-93> 분극기와 자동전극프린터기

○ <그림 3-94>와 <표 3-4>는 압전 sheet를 1085℃, 1100℃, 1115℃로 소결하여 얻은 압전 sheet의 압전 특성값임

○ 시편의 밀도는 시편의 부력을 이용한 습식법을 사용하였으며, 시편의 공기중에서의 무게와 물속에서의 무게를 측정하여 다음 식에 의해 밀도를 구하였음

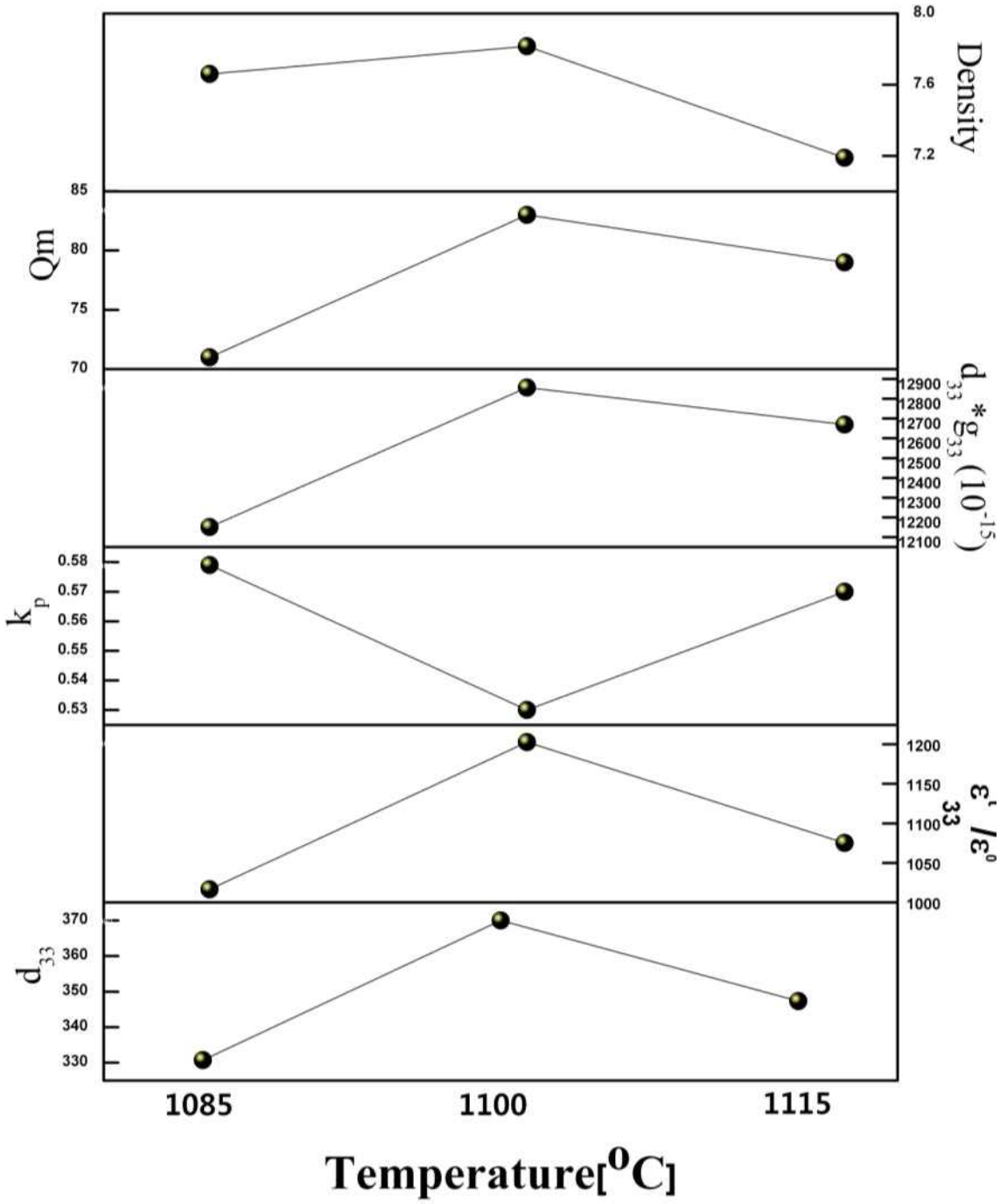
$$\rho = \frac{B}{B-A} \times \rho_{hg}$$

여기서, ρ : 시편의 밀도[g/㎤]

ρhg : 물의 밀도[g/㎤]

A : 수중에서 시편의 무게[g]

B : 공기중에서 시편의 무게[g]



<그림 3-94> sheet의 압전특성값

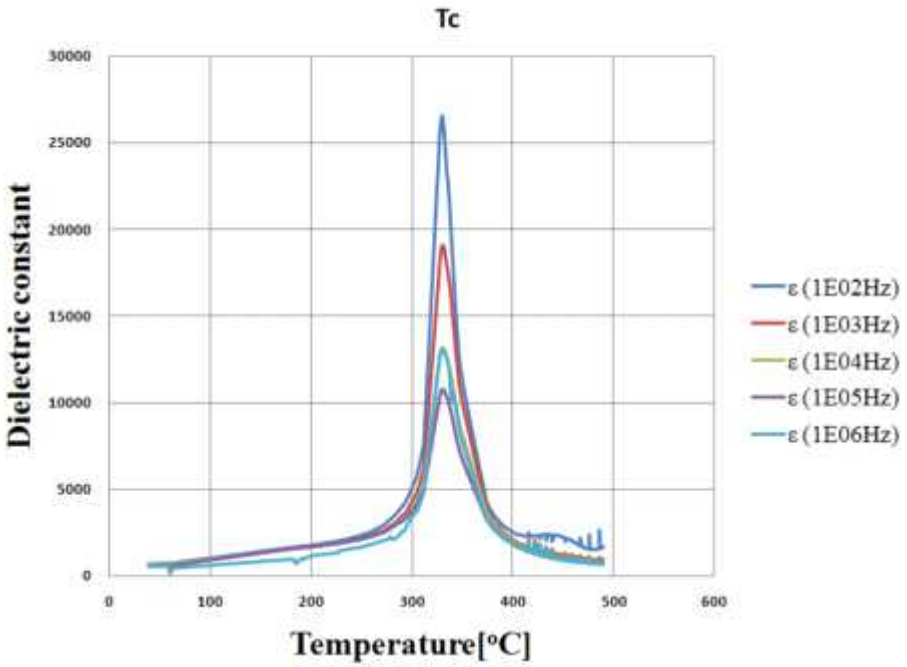
<표 3-5> sheet 특성값

Temperature (℃)	density (g/cm^{3})	Q_m	d*g	k_p(%)	ε_r	d_{33} (pC/N)
1085	7.7	71	12,151	57.9%	1016.5	330.7
1100	7.8	83	12,856	53.0%	1202.7	370.0
1115	7.2	79	12,670	57.0%	1075.2	347.3

○ <그림 3-96>는 1085℃에서 소결한 압전 sheet의 온도에 따른 유전율 그래프임

○ 측정주파수를 102Hz에서 106Hz로 변화시켜 가면서 정전용량을 측정한 뒤, 압전소자의 면적과 두께 값을 넣어 유전율로 환산하여 얻은 그래프임

○ 330℃에서 유전율의 급격한 변화로 큐리점(Curie Temperature)이 330℃임을 확인하였으며, 큐리점 이상의 온도로 압전소자에 가해지면 압전체가 압전특성을 잃게 되기 때문에 큐리점이 높을수록 압전체의 사용온도대역이 넓게됨



<그림 3-95> sheet Tc data

○ 압전조성 실험과 이후 sheet 제작 후 sheet 특성평가결과로써 Energy Harvesting을 이용한 도로교통 시설물 제어시스템 개발을 위한 압전세라믹의 특성값으로 $d_{33} \times g_{33}$ ($10^{-15}m^2/N$)가 12K, 기계결합계수 kp(%)는 58%, Curie Temperature인 Tc는 330℃로 과제목표치를 각각 100% 달성하였음

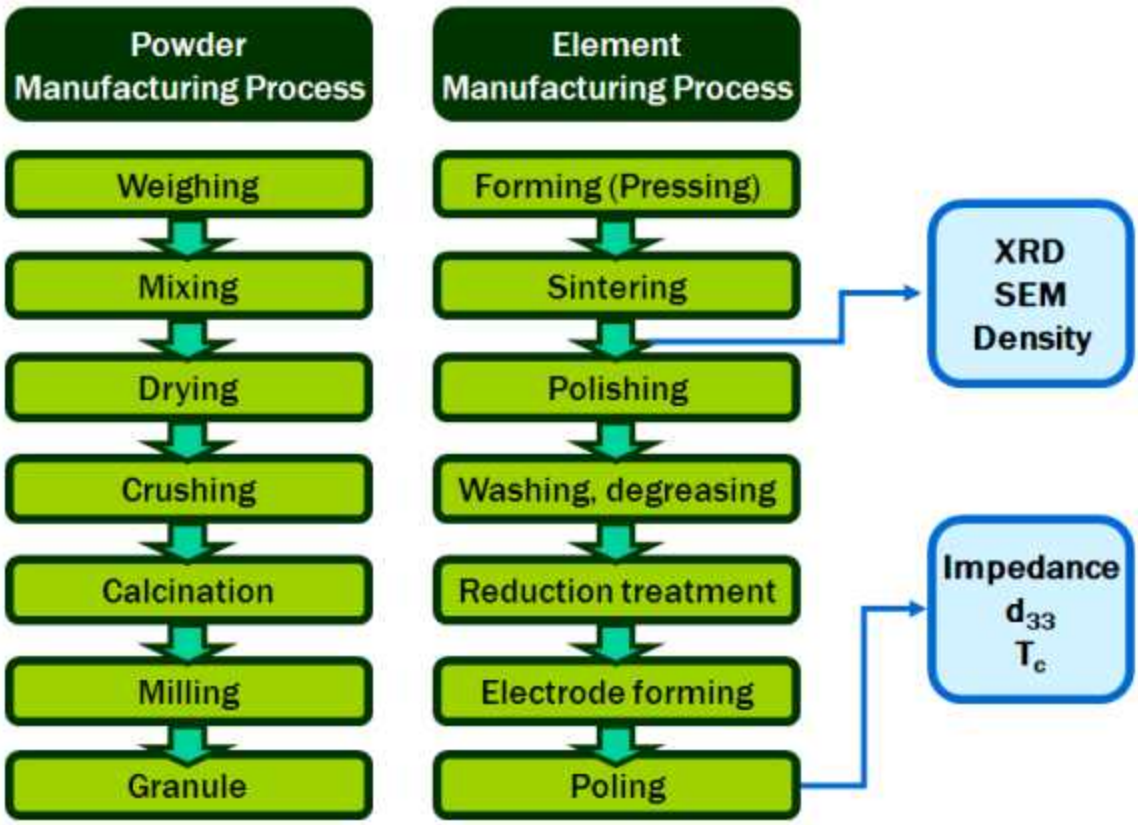
발전특성과 효율이 우수한 Energy Harvester용 압전소재를 개발하기 위해서는 발전특성에 비례하는 압전 전하계수와 압전 전압계수 특성이 우수한 압전 세라믹 소자의 조성을 설계하였다. 우선 압전 세라믹 조성에 대한 기초 실험을 통해서 다음과 같은 기본 조성을 선정하였으며, 본 과제에서 사용한 조성은 Fe_2O_3와 Nb_2O_5를 첨가한 $Pb(Zr_{0.54}Ti_{0.46})O_3$ 세라믹스 조성을 기본으로 하였다. Fe_2O_3 첨가량에 따른 소결 및 압전, 유전특성을 조사하여 최적의 Energy Harvester용 압전 세라믹 조성을 개발하였다. Fe_2O_3는 hardner로 사용되며, 유전상수 감소, 주파수 상수 증가, Qm 증가, 시효효과 증가, 항전계 증가 등의 효과가 있으며, Nb_2O_5는 softner로 사용되며, 유전상수 증가, 전기기계결합계수 증가 등의 효과가 있다. <표 3-6 참고>

<표 3-6> 진동자의 첨가제 분류

분 류	첨 가 제	첨 가 효 과
하드너(hardner)	$\underline{Fe_2O_3}$, NiO, CaO, Al_2O_3 등	유전상수 감소, 주파수 상수 증가 Q_m 증가,시효효과 증가, 항전계 증가
소프트너(softner)	La_2O_3, Bi_2O_3, $\underline{Nb_2O_5}$, WO_2 등	T_c 감소, 유전상수 증가 k_p 증가 시효효과 감소, 항전계 감소
스테빌라이저 (stabilizer)	Cr_2O_3, UO_4	유전상수 감소, 주파수상수 증가 Q_m 증가온도계수 감소 시효효과 크게 감소

본 과제에서 진행한 기본적인 실험방법을 그림 1에 나타내었으며, 일반적인 세라믹 제조공정으로 진행하였다. 출발물질로 사용한 분말원료는 PbO (Aldrich, 99.9%), ZrO_2 (Aldrich, 99%), TiO_2 (고순도 화학, 99.9%), Fe_2O_3 (Aldrich, 99%), Nb_2O_5 (Aldrich, 99.9%),이며, 전자 저울을 사용하여 원료분말을 ±0.1 mg의 오차범위에서 정밀하게 평량하였다. 습식 혼합된 시료는 100~150℃에서 건조한 후, 850℃에서 2시간 하소하였다. 하소분말은 분쇄, 건조 후에 일축 성형하여 지름 13 ㎜인 disc 시편을 만들었다.

성형시편들은 1100 ~ 1200℃에서 2 ~ 4시간동안 소결하였으며, 이때 승온 속도는 분당 5℃로 하였다. 소결된 시편은 silver epoxy paste를 이용하여 550℃에서 소부 하여 형성하였으며, 전극 처리된 시편은 120℃의 실리콘 절연유 내에서 2.5 kV/mm의 직류 전류계를 15분 인가하여 분극처리 하였다. 전기적 특성은 공진 – 반공진법으로 측정, 계산 하였으며 압전정수(d_{33})는 Piezo d33 Tester (American Piezo Ceramics, Pennebaker Model 8000)로 측정하였다.



<그림 3-96> 압전 세라믹 조성 실험순서도

$Pb(Zr_{0.54}Ti_{0.46})O_3$ + 1.0 wt% Nb_2O_5 + x wt% Fe_2O_3 의 압전 조성에서 Fe_2O_3 의 양을 0.0에서 1.0까지 0.2간격으로 증가시킴에 따른 압전조성 평가를 하였다. 소결온도는 1100도에서 1350도까지 50도 간격으로 증가시켰으며, 각각의 압전특성값은 다음과 같다.

유전상수는 Impedance Analyzer(Agilent, 4294A, 그림 참조)를 사용하여 1 ㎑에서의 정전용량 C를 측정한 후 다음 식으로 유전상수를 계산하였다.

$$C = \frac{\varepsilon_{33}^{T} \cdot \varepsilon_0 \cdot S}{t} [F]$$

여기서, C : 정전용량

S : 시편의 면적

t : 시편의 두께

ε_0 : 진공중의 유전율(8.854×10^{-12} F/m)



<그림 3-97> Impedance Analyzer(Agilent 4294A 40 Hz ~ 110 MHz)

압전 세라믹스의 전기기계결합계수(kp), 기계적품질계수(Qm) 및 공진저항(Ω)은 압전특성을 결정짓는 중요한 인자로써, 전기기계결합계수는 전기적 에너지를 기계적 에너지로 변환시키는 효율을 나타내며, 기계적 품질계수는 전기기계 변환과정에서의 에너지 손실에 대한 척도로써, 실제 압전체의 사용 주파수가 공진 주파수 이하일 경우라도 측정의 정확을 기하기 위하여 공진 주파수에서 임피던스(Zm), 반공진주파수($\approx f_p$), 공진주파수($\approx f_s$)로 부터 구한다. 기계적 품질계수는 재료의 물성계수이므로 시편의 형상이나 진동모드에 무관하나 단지 측정시의 오차로 인하여 약간의 차이가 있을 수 있다. 압전소자의 전기적 특성은 IRE standard에 근거하여 Impedance Analyzer(Agilent, 4294A)를

사용하여 공진-반공진법에 의하여 측정하였으며, 시편의 공진 및 반공진 주파수와 공진시의 저항을 다음 식 에 대입하여 원판형 전기기계결합계수(kp)와 기계적품질계수(Qm)를 구하였다.

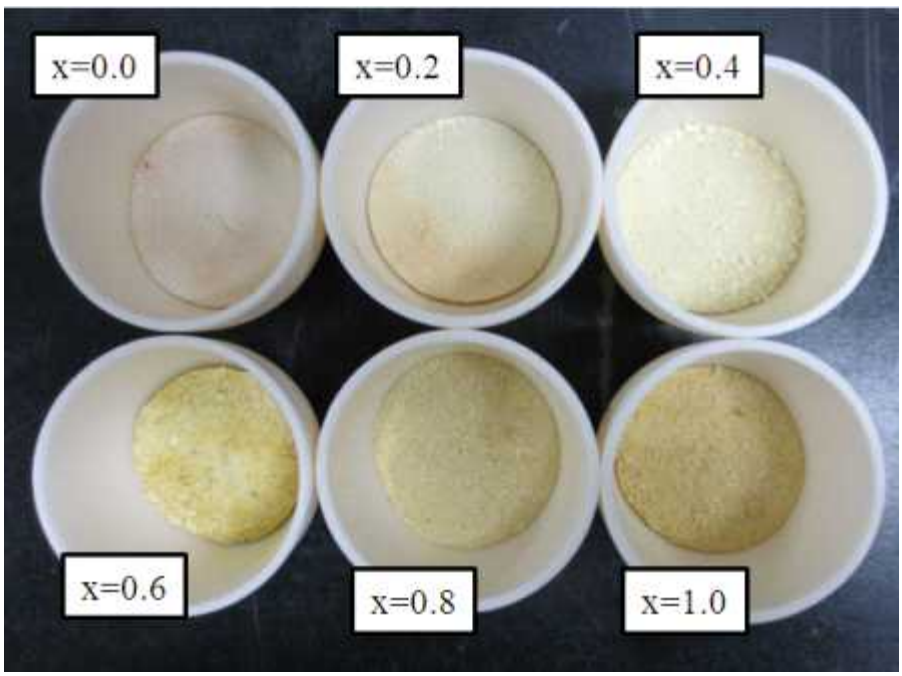
$$\frac{1}{k_p^2} = 0.395 \times \frac{f_r}{f_a - f_r} + 0.574$$

$$Qm = \frac{1}{2\pi f_r \left[1 - \left(\frac{f_r}{f_a}\right)^2\right] RC}$$

여기서, R : 공진시 시편의 저항값[Ω]

C : 분극후 1[㎑]에서 측정한 시편의 정전용량[㎊]

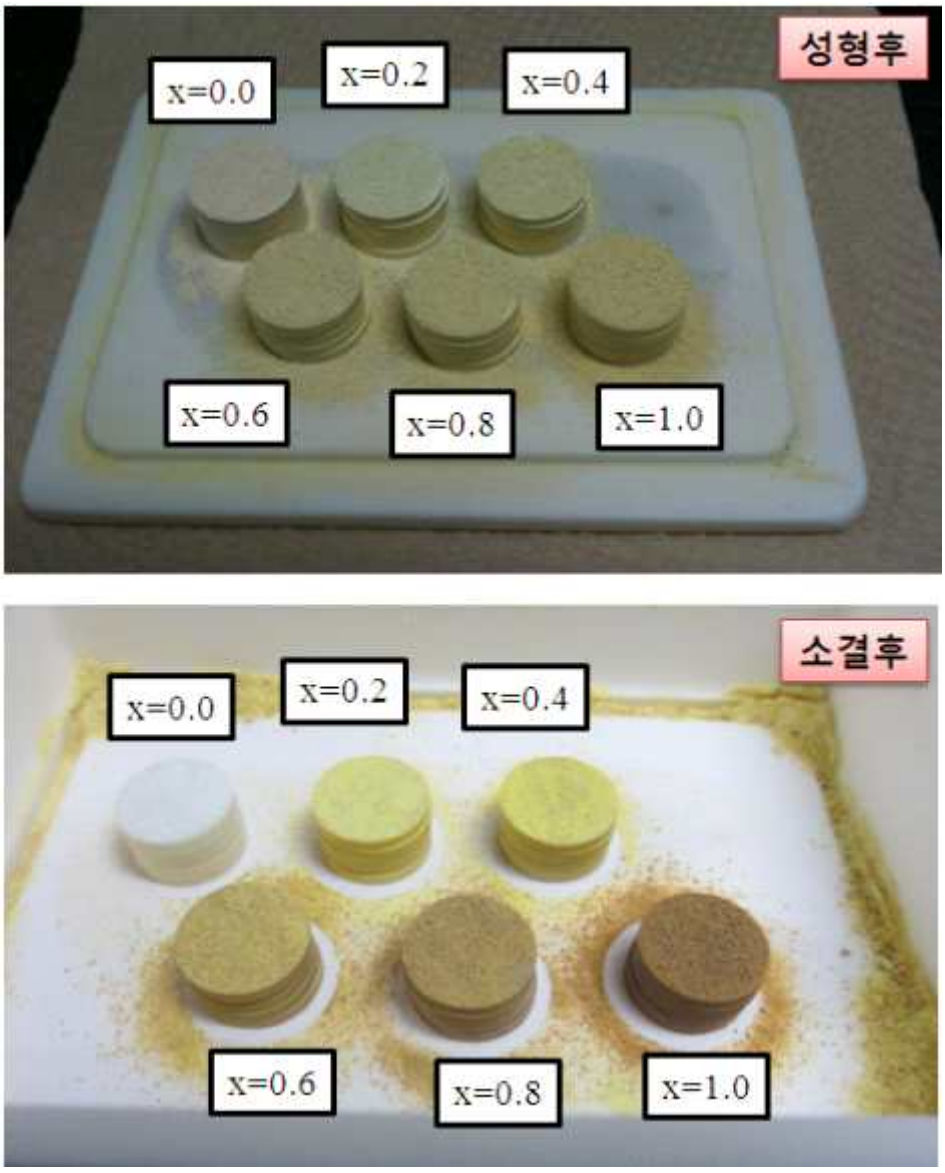
f_r : 공진주파수, f_a : 반공진주파수



<그림 3-98> 조성 $Pb(Zr_{0.54}Ti_{0.46})O_3$ + 1.0 wt% Nb_2O_5 + x wt% Fe_2O_3 하소 후 모습

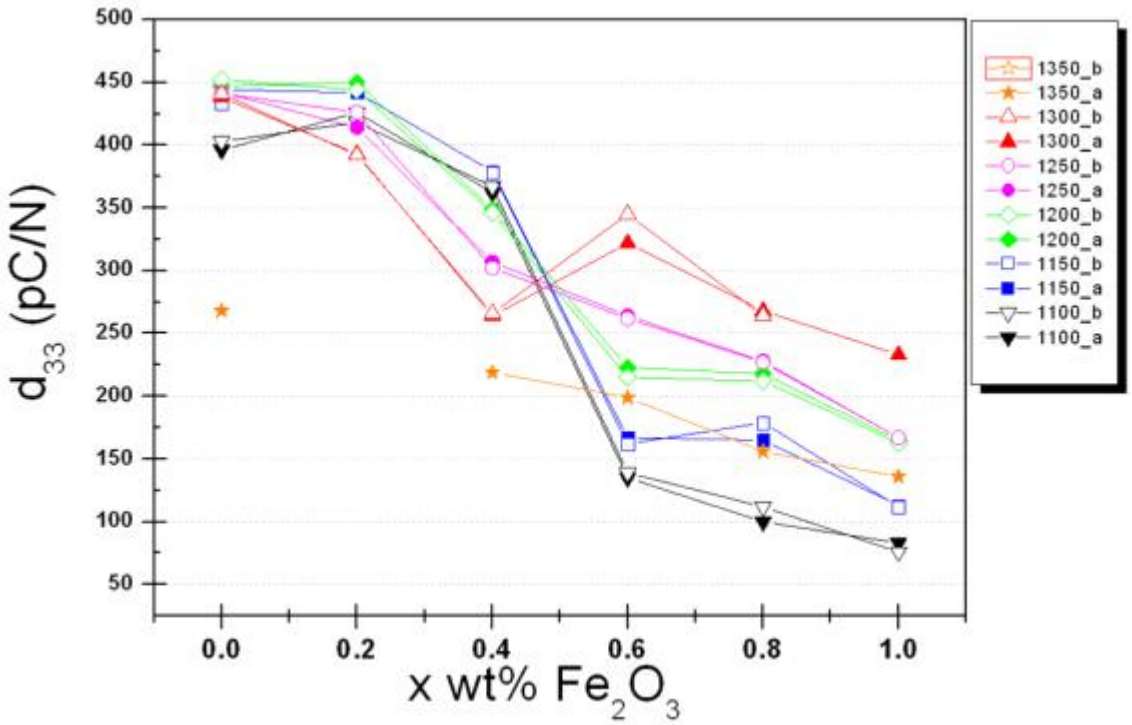
<그림 3-98>은 Pb(Zr0.54Ti0.46)O3 + 1.0 wt% Nb2O5 + x wt% Fe2O3 (x=0.0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0) 조성의 하소후 모습이다. Fe_2O_3가 첨가됨에 따라 세라믹 파우더의 색상이 점차 진해짐을 알 수 있었다.

<그림 3-99>는 Pb(Zr0.54Ti0.46)O3 + 1.0 wt% Nb2O5 + x wt% Fe2O3 (x=0.0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0) 조성의 성형후 모습과 소결후 모습을 나타낸다. 소결체 또한 Fe2O3의 첨가량이 증가할수록 색상도 점차 진해짐을 확인할 수 있었다.

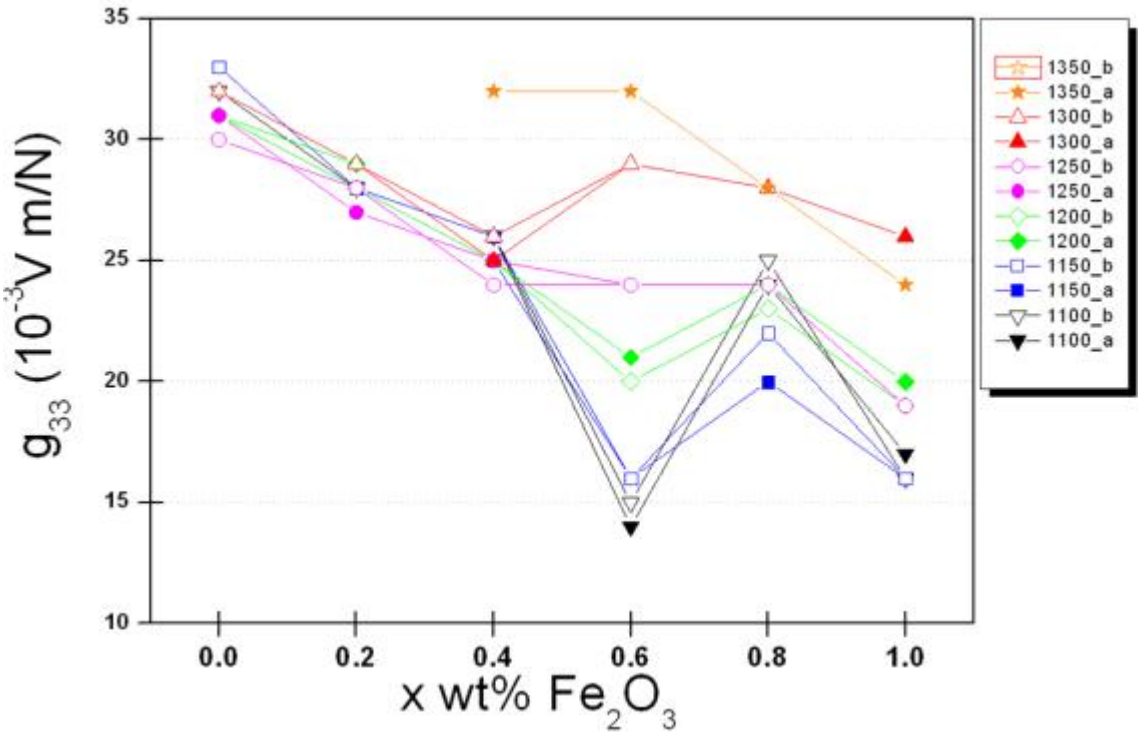


<그림 3-99> 조성 $Pb(Zr_{0.54}Ti_{0.46})O_3$ + 1.0 wt% Nb_2O_5 + x wt% Fe_2O_3 의 성형후와 소결 후 모습

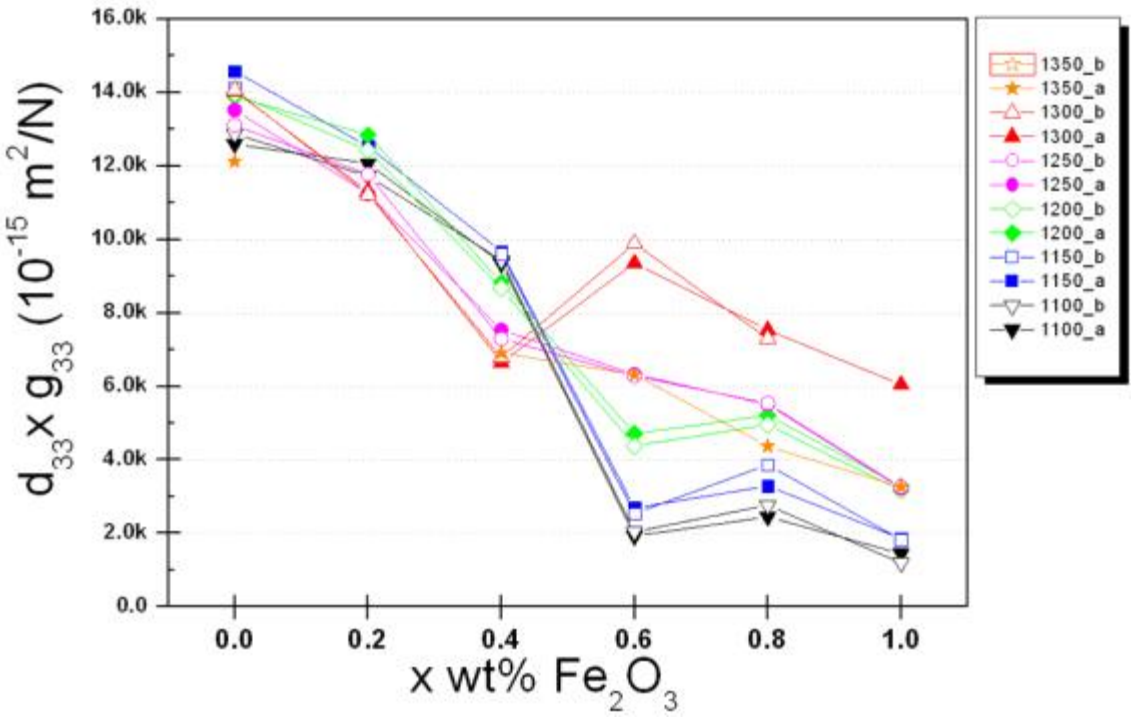
<그림 3-100>과 <그림 3-101>는 $Pb(Zr_{0.54}Ti_{0.46})O_3$ + 1.0 wt% Nb_2O_5 + x wt% Fe_2O_3 ceramics (x=0.0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0) 조성에서의 Fe_2O_3 치환량에 따른 압전정수(d_{33})와 (g_{33})를 나타낸다. Fe_2O_3 첨가량이 증가할수록 d_{33}값은 감소하는 경향을 나타냈다. <그림 3-102>의 $d_{33} \times g_{33}$ 값 또한 Fe_2O_3가 첨가될수록 감소하는 경향을 나타냈다. <그림 3-103>은 $Pb(Zr_{0.54}Ti_{0.46})O_3$ + 1.0 wt% Nb_2O_5 + x wt% Fe_2O_3 ceramics (x=0.0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0) 조성에서의 Fe_2O_3 치환량에 따른 전기기계결합계수 planar coupling coefficient (k_p)를 나타내었으며, <그림 3-104>은 기계적 품질계수(Qm)를 나타낸다. Fe_2O_3 첨가량이 증가하면서 전기기계결합계수는 감소하는 경향을 나타냈으나 기계적 품질계수는 증가하는 경향을 나타내었다. 이로써 Fe_2O_3의 치환에 의해 압전특성값 d33, kp등은 낮아지지만 Qm 값을 높일 수 있었으며, Fe_2O_3가 0.2 wt% 첨가된 조성을 선정하여 압전소자를 제작하였다.



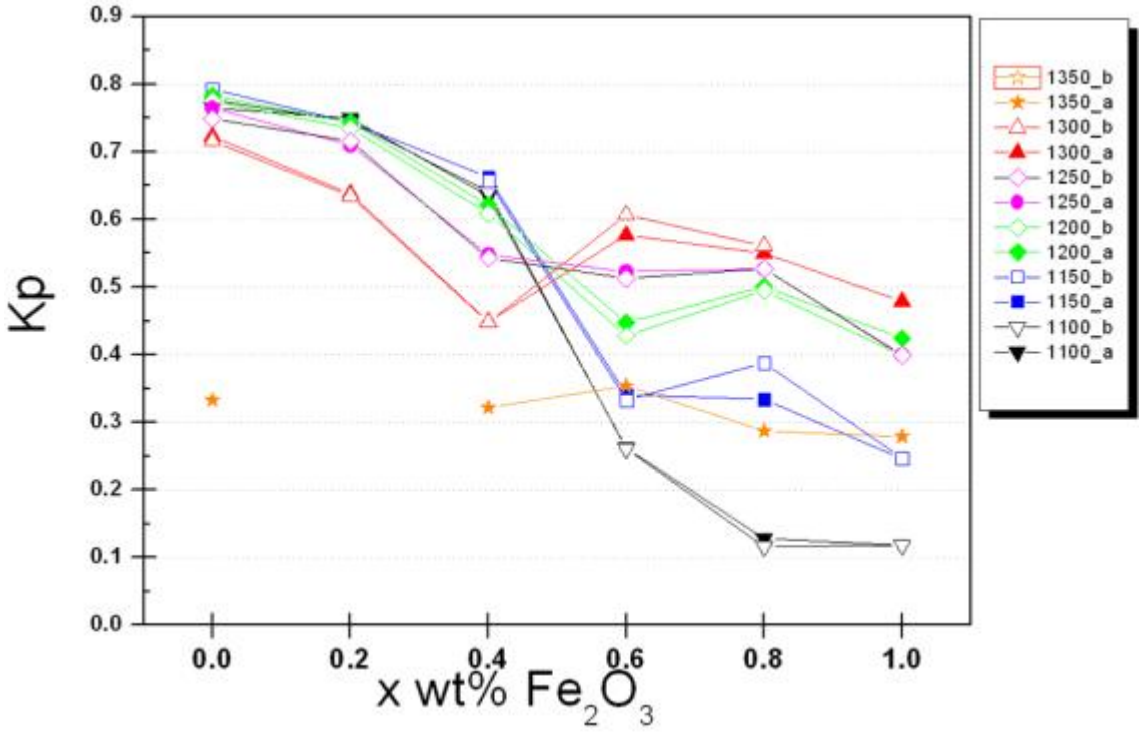
<그림 3-100> Piezoelectric charge constant(d_{33}) of $Pb(Zr_{0.54}Ti_{0.46})O_3$ + 1.0 wt% Nb_2O_5 + x wt% Fe_2O_3



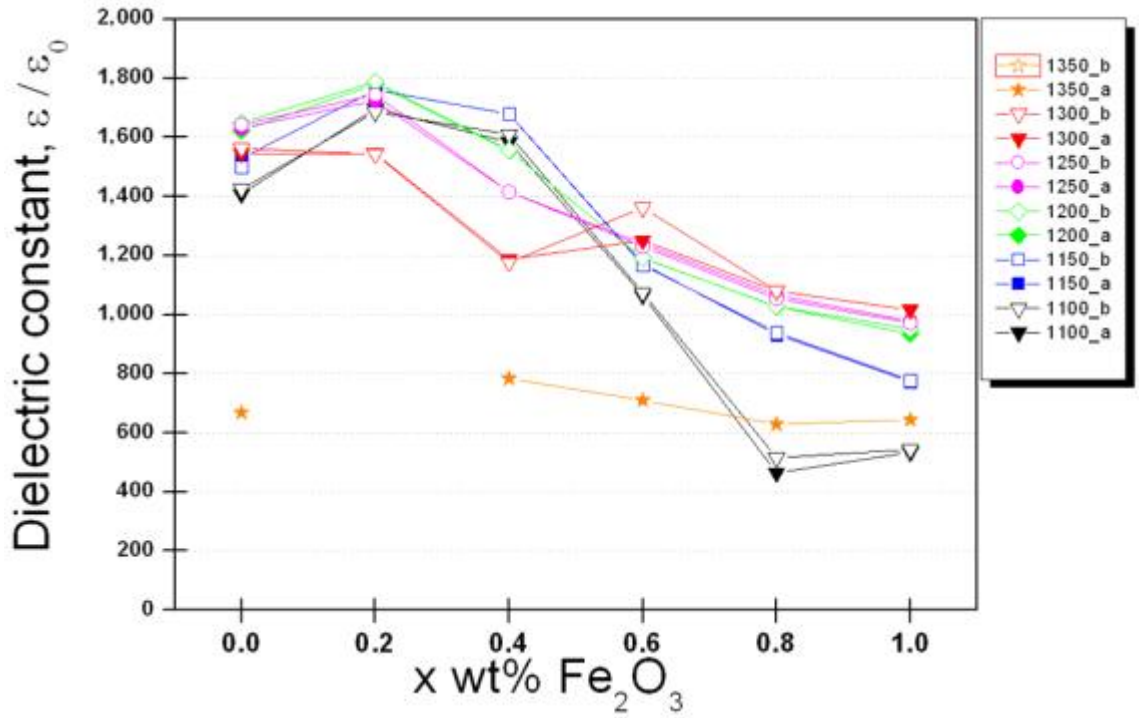
<그림 3-101> Piezoelectric voltage constant(g_{33}) of $Pb(Zr_{0.54}Ti_{0.46})O_3$ + 1.0 wt% Nb_2O_5 + x wt% Fe_2O_3



<그림 3-102> $d_{33} \times g_{33}$ of $Pb(Zr_{0.54}Ti_{0.46})O_3$ + 1.0 wt% Nb_2O_5 + x wt% Fe_2O_3



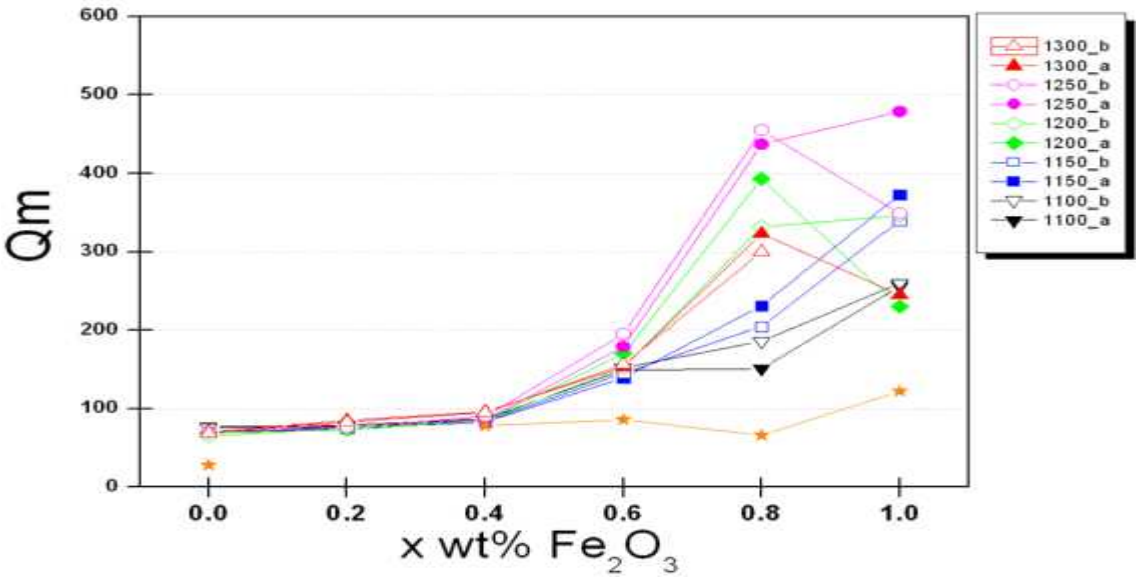
<그림 3-103> Electromechanical Coupling factor (Kp) of $Pb(Zr_{0.54}Ti_{0.46})O_3$ + 1.0 wt% Nb_2O_5 + x wt% Fe_2O_3



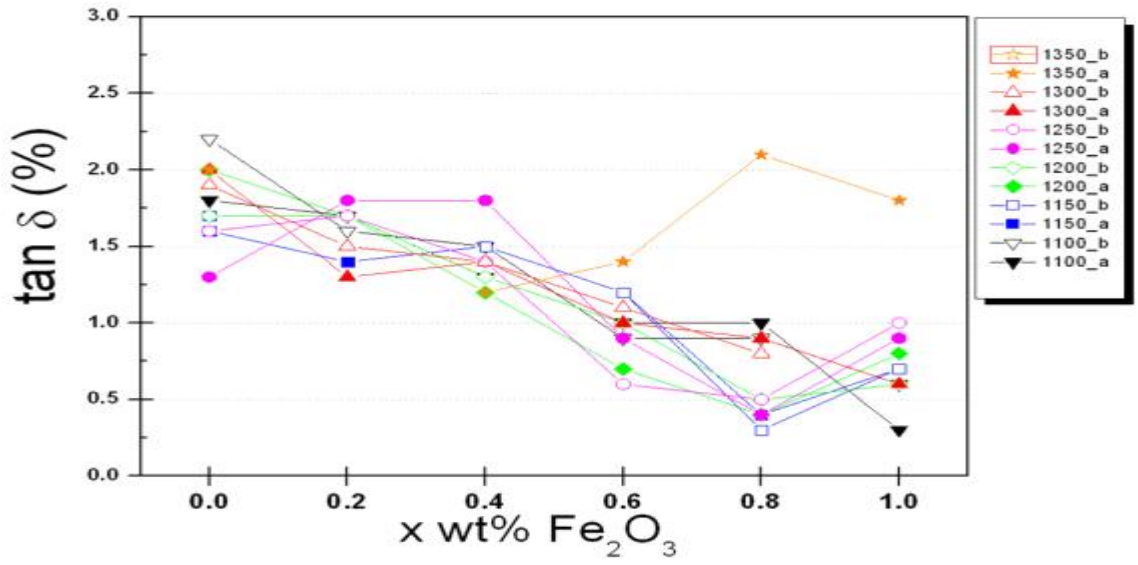
<그림 3-104> Dielectric constant($\varepsilon/\varepsilon 0$) of $Pb(Zr_{0.54}Ti_{0.46})O_3$ + 1.0 wt% Nb_2O_5 + x wt% Fe_2O_3

○ 현재의 압전조성은 PZT로 납성분이 함유되어있으며, 동일한 제작공정을 사용하고 높은 압전특성값을 내는 납성분이 함유되지 않은 Pb free의 조성을 사용하면 환경문제 해결 가능하다고 판단됨

○ 특정 주파수구간에서 압전체를 변형시 높은 출력에너지를 얻기위해서 Qm값을 높여야하며 따라서 하드너로 작용하는 Fe_2O_3를 첨가하여 Qm값이 향상된 특성을 얻었음(보고서에 제시되어있음, 하단 결과 참조)



<그림 3-105> Mechanical quality factor(Qm) of $Pb(Zr_{0.54}Ti_{0.46})O_3$ + 1.0 wt% Nb_2O_5 + x wt% Fe_2O_3



<그림 3-106> Dielectric dissipation factor(tanδ) of $Pb(Zr_{0.54}Ti_{0.46})O_3$ + 1.0 wt% Nb_2O_5 + x wt% Fe_2O_3

Fe_2O_3가 첨가됨에 따라 대부분의 압전특성 값이 감소하였지만, 품질계수는 점차 증가하는 경향을 나타냈다.

Fe_2O_3가 0.2 wt% 첨가된 압전샘플의 압전특성값 기계결합계수를 측정하여 얻은 시험성적서는 아래와 같다.

ktl 한국산업기술시험원 Korea Testing Laboratory

성적서 번호 : 12-055268-01-1

총 3 페이지 중 1 페이지

시 험 성 적 서

1.신청자

회사명 : 한국세라믹기술원

주 소 : 서울특별시 금천구 디지털로 10길 77(가산동)

2.시험품

품 명 : 압전하베스터 소자 외 2종

모델/형식 :

제 조 자 : 의뢰자가 제시한 시험품

3. 시험규격/방법 : 의뢰자가 제시한 시험방법

4. 시험 결과 : 별첨참조

5. 성적서 용도 : 한국건설교통기술평가원 제출용

6. 접수 일자 : 2012년 09월 20일

7. 발급 일자 : 2012년 09월 28일

시 험 자 신민철

재료평가센터 신민철

승 인 자 J.K.Song

재료평가센터 송준광

본 성적서의 시험결과는 신청자로부터 제공된 시험품에만 적용되며, 본원의 사전승인없이는 본 성적서의 전부 혹은 일부를 복사하여 사용할 수 없습니다.

한국산업기술시험원장

서울특별시 구로구 디지털로26길 87(우 152-718)
http://www.ktl.re.kr
Tel. : 02-860-1575
Fax. : 02-860-1649

FP204-01-02

시 험 결 과

1. 시험품명 및 시험항목

1) 시험품명 : 압전하베스터 소자, 압전하베스터(Rack type), 압전무선스위치


압전하베스터 소자


압전하베스터(Rack type)


압전무선스위치

2) 시험항목 : 압전하베스터소자 효율(Kp), 압전하베스터(rack type) 효율(power),
압전무선스위치 송수신 거리

※ 압전하베스터(rack type) 효율(power) 시험방법
: 6±0.5cm 높이에서 시료를 자유낙하 시킨 후 효율을 측정한다.

2. 시험 결과

1) 압전하베스터 소자 효율 (Kp)

시료명	효율 (Kp)				비고
	1	2	3	평균	
압전하베스터 소자	0.747	0.750	0.752	0.749	

2) 압전하베스터(rack type) 효율 (power)

(단위 : W)

시료명	효율 (power)				비고
	1	2	3	평균	
압전하베스터 (rack type)	0.396	0.344	0.516	0.419	

3) 압전 무선스위치 송수신 거리

(단위 : m)

시료명	송수신 거리	비고
압전무선스위치	30 이상	

3. 시험조건(시험실) : (23 ± 2)℃, 50 % R.H. 이하

4. 시험장비

장 비 명	제 조 자	모 델
Impedance/gain-phase analyzer	Hewlett Packard	4194A
Oscilloscope	LeCory	Wavejet 322

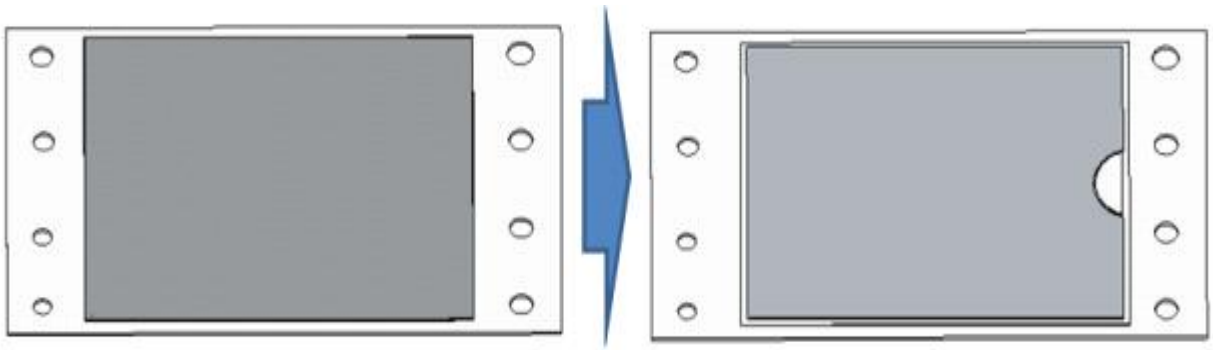
이상 끝.

1-3. 압전시트 전극공정 개선 및 전극산화 방지기술 개발

가. 압전시트 전극 공정 개선

기존의 전극패턴은 압전 시트 앞, 뒷면이 사각형의 모양으로 압전 시트의 앞, 뒷면에 도선을 연결하기 위해서 압전 시트의 윗면에 전선을 납땜하여 연결하였으며, 아랫면은 압전 시트를 금속판과 접착하기 전 동 테이프를 이용하여 금속판 뒷면으로 연결하는 작업을 한 뒤 전선을 납땜하는 공정으로 제작하였다. 위와 같은 방법은 동 테잎 부분에 압전 시트와 금속판의 접촉이 잘 되지 않는 문제점과 공정을 한 단계 더 진행해야 하는 단점이 있었다.

본 연구에서는 이러한 문제점을 보완하고자 그림과 같이 전극패턴의 모습을 바꾸어 압전 시트의 한면에서 압전 시트의 앞, 뒷면 모두 배선작업이 가능하도록 변경하여 제작하였다. <그림 3-107>처럼 전극패턴을 변경함으로써 압전시트와 금속판의 접착 면이 고르게 되어 접착안정성이 증가하였고, 공정단순화가 가능하였다.

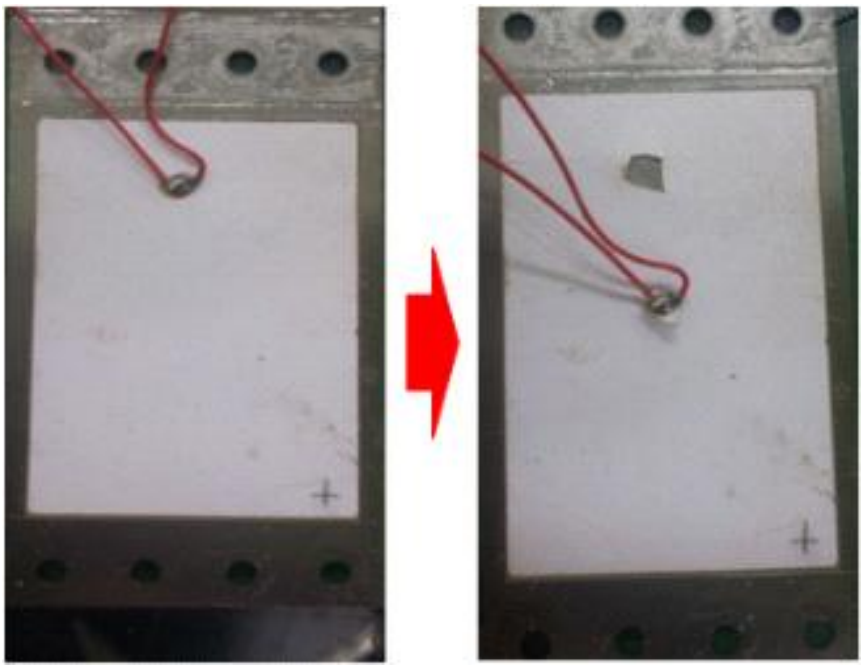


<그림 3-107> 전극패턴 변화

전극패턴 변화로 접착안정성은 기존 방법에 비해 증가하였으나 압전시트 전극면과 정류회로 간 연결된 납땜은 지속적인 외부 충격이 인가됨에 따라 장시간 사용시 납땜이 탈리되는 문제점이 발생된다. 납땜의 탈리는 발전 모듈에 외부 힘(진동)이 인가될 때 발전이 되지 않는 고장의 원인이므로 내구성 향상을 위해 납땜 위에 동 테잎을 사용하여 부착안정성을 향상시켰다.

납땜 위에 동 테잎을 사용한 단위 모듈은 지속적인 충격을 인가한 가혹시험시 부착 안정성이 약 200% 이상 증가하였다. <그림 3-108>에 납땜이 탈리되는 불량과 동테잎을 사용한 개선품을 나타내었고, <표 3-7>에 가혹시험 결과를 나타내었다. 시험에 사용한

장비는 자동타격기로 최다 1.2Mpa의 공압을 대상에 가해주는 장비이다.



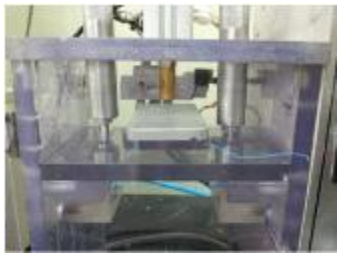
(a) 납땜 탈리 고장



(b) 동테잎을 사용한 개선품

<그림 3-108> 납땜 탈리 고장 및 동테잎을 사용한 개선품

<표 3-7> 동테잎 사용 여부에 따른 충격 인가 시험 결과

구 분	동테잎 사용 전	동테잎 사용 후	평가장비 / 시험방법
sample 1	1520 회	3,000회 이상 탈리 없음	 * 발전모듈에 상하로 충격을 인가하여 납땜 탈리 여부 확인 공압 : 1㎫, 1회에 5회씩 타격
sample 2	1355 회	3,000회 이상 탈리 없음	
sample 3	1655 회	3,000회 이상 탈리 없음	
sample 4	1610 회	3,000회 이상 탈리 없음	
sample 5	1490 회	3,000회 이상 탈리 없음	
평 균	1526회	3,000회 이상 탈리 없음	

세라믹 판과 금속재 간의 본딩력 향상을 위해 여러 접착제를 사용하여 동일 압전체를 부착하여 발전특성을 평가하여 최적의 접착공정을 선택하였으며, 6종의 내구성 시험 진행 전 후 발전특성 10% 이내였다.

압전세라믹과 금속판의 접착은 압전체가 변형될 때 깨지는 문제와 관련되어 중요하다. 적절한 접착을 고려하기 위해서 다음과 같은 실험을 진행하였다. 금속판에 원형의 압전소자와 사각의 압전소자를 2종의 에폭시 접착제를 사용하여 부착했고, 에폭시 접착제의 경우 상온에서 경화되며 경화시간에 따라 일반에폭시 접착제와 30분 경화 에폭시 접착제로 구분하였다. 압전소자를 금속판에 접착하여 제작한 캔틸레버의 한쪽을 고정하고 다른쪽에 일정한 변위를 인가한 뒤 캔틸레버를 튕겼으며, 이때 발생하는 전압을 측정하여 발전량을 계산하였다.

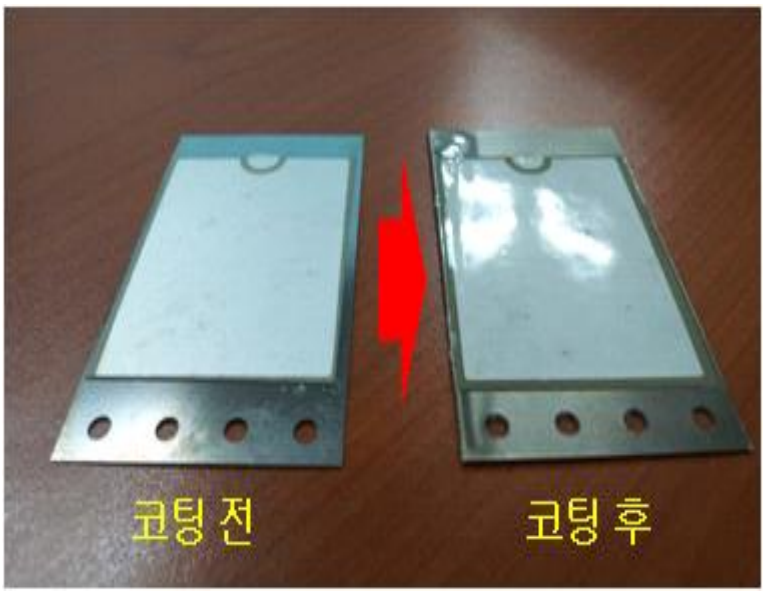
이때 저항을 100 kohm, 1 Mohm, 10 Mohm으로 구분하여 연결하였으며, 또한 캔틸레버 끝단에 무게추의 유무에 따라서도 비교하였다. 이를 다음의 그림에 각각 나타냄. 무게추가 있는 경우가 없을때보다 발전특성이 크게 나타났으며 저항이 1 Mohm일 때 발전특성이 크게 나타남. 또한 30분 경화 에폭시 접착제를 사용하였을 때가 일반 에폭시 접착제 사용시 보다도 발전특성이 크게 나타났으며, 이를 사용하여 압전 발전 모듈을 제작함. 열경화성 접착제를 사용할 경우 특정 고온에 노출해야 경화가 이루어지는데 압전체의 큐리온도를 넘어설 경우에 압전성을 잃어버리게 되며, 열경화성의 경우 재료의 변형에 의해 휨이 발생하게 됨을 확인함. 따라서 에폭시 접착제를 선정하여 사용하였다. 최적의 접착제를 선정하여 동일한 접착제로 접착 제작하여 6종류(저온, 고온, 항온항습, 열충격, 진동, 염수분무)의 내구성 시험을 평가하였다.

나. 전극산화 방지기술 개발

압전시트 위에 형성된 Ag 전극은 대기에 노출되면 공기중의 수분등을 흡착하여 산화되며, 손으로 만질 경우 AgCl 등의 화합물을 형성하여 산화되는 문제점이 있다. 이렇게 전극이 산화될 경우 산화된 부분은 압전소자의 발전효율을 저하시키는 문제점이 발생한다. 도로용 발전모듈에 삽입되는 발전소자는 도로환경에 노출되기 때문에 온도, 습도등에 대한 내구성이 강해야하며, 전극의 산화가 발생하지 않아야 발전량의 감소 없이 사용이 가능하다.

본 연구에서는 Ag 전극의 산화를 방지하기 위하여 전극위에 우레탄, 아크릴, 실리콘 재질의 코팅제를 코팅한 뒤 각각의 특성을 고찰하였다. 3종의 코팅제를 사용하기 전 발전량이 유사한 압전 단위 모듈을 선택하였고, 선택된 압전 단위 모듈에 코팅제를 코팅 한 후 발전량을 측정하여 코팅제 사용 전, 후에 따른 발전량을 비교하였다. 또한 코팅된 단위 모듈은 함습(물에 24hr 담금), 항온항습(85℃, RH85, 24hr), 고온 (100℃, 24hr) 조건에 노출시킨 뒤 발전량을 측정하였다. 발전량은 자동타격기를 이용하였고, 측정 조건은 공압 0.15㎫이었다.

<그림 3-109>, <그림 3-110>에 코팅제 사용 전, 후에 대한 압전소자와, 3종의 코팅제가 코팅된 압전소자가 조립된 단위 모듈의 사진을 나타내었고, 그림 112는 발전 모듈의 발전량 측정에 사용된 자동타격기를 나타내었다.



<그림 3-109> 코팅제 코팅 전, 후의 압전소자

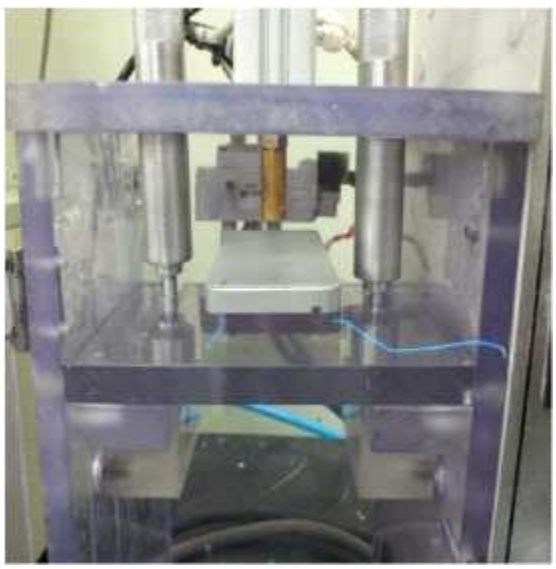


(a) 코팅 전



(b) 코팅 후

<그림 3-110> 3종(아크릴, 실리콘, 우레탄)의 코팅제 코팅 전, 후의 단위 모듈



<그림 3-111> 자동타격기

압전시트에 도포한 3종의 코팅제 영향을 고찰하기 위하여 각각 5개의 sample을 제조한 후 코팅제 코팅 전, 후의 발전량을 측정하였고 그 결과를 <표 3-3>에 나타내었다. 시험결과, 아크릴의 경우 코팅 전 0.0543㎼, 코팅 후 0.0532㎼, 실리콘 코팅 전 0.0584㎼, 코팅 후 0.0582㎼, 우레탄 코팅 전 0.0514㎼, 코팅 후 0.0486㎼로 측정되어 증감율은 각각 -2.03, -0.34, -5.45%로 측정되었다. 코팅 후 발전량이 감소하는 것은 코팅제를 도포하면 압전시트가 단단하게 경화되어 동일한 외부 힘이 가해지더라도 소자의 변형율이 줄어들기 때문인 것으로 판단된다.

<표 3-8> 코팅제 코팅 전, 후의 발전량

구 분	코팅 전		코팅 후		
	data	평균	data	평균	증감율(%)
1 아크릴	0.058	0.0543	0.055	0.0532	-2.03
	0.055		0.053		
	0.051		0.054		
	0.051		0.050		
	0.058		0.054		
2 실리콘	0.059	0.0584	0.060	0.0582	-0.34
	0.056		0.058		
	0.062		0.058		
	0.057		0.060		
	0.058		0.058		
3 우레탄	0.050	0.0514	0.048	0.0486	-5.45
	0.051		0.050		
	0.051		0.047		
	0.050		0.048		
	0.055		0.053		

<표 3-9> 코팅제 코팅 후 내구성 평가(함습, 항온항습, 고온)

구분	코팅 후		함습 (침수 24hr)			항온항습 (85℃, 고85%, 24hr)			고온 (100℃, 24hr)		
	data	평균	data	평균	증감율	data	평균	증감율	data	평균	증감율
1 아크릴	0.055	0.053	0.056	0.0528	-0.38	0.051	0.050	-5.66	0.048	0.0462	-12.83
	0.053		0.051			0.052			0.044		
	0.054		0.050			0.050			0.050		
	0.050		0.052			0.047			0.043		
	0.054		0.055			0.050			0.046		
2 실리콘	0.060	0.0588	0.063	0.0586	-0.34	0.058	0.0586	-0.34	0.059	0.054	-0.68
	0.058		0.064			0.059			0.059		
	0.058		0.057			0.057			0.057		
	0.060		0.053			0.059			0.058		
	0.058		0.056			0.060			0.059		
3 우레탄	0.048	0.0486	0.042	0.0428	-11.93	0.044	0.0436	-10.29	0.039	0.040	-17.70
	0.050		0.045			0.045			0.041		
	0.047		0.040			0.042			0.038		
	0.048		0.041			0.043			0.040		
	0.053		0.046			0.044			0.042		

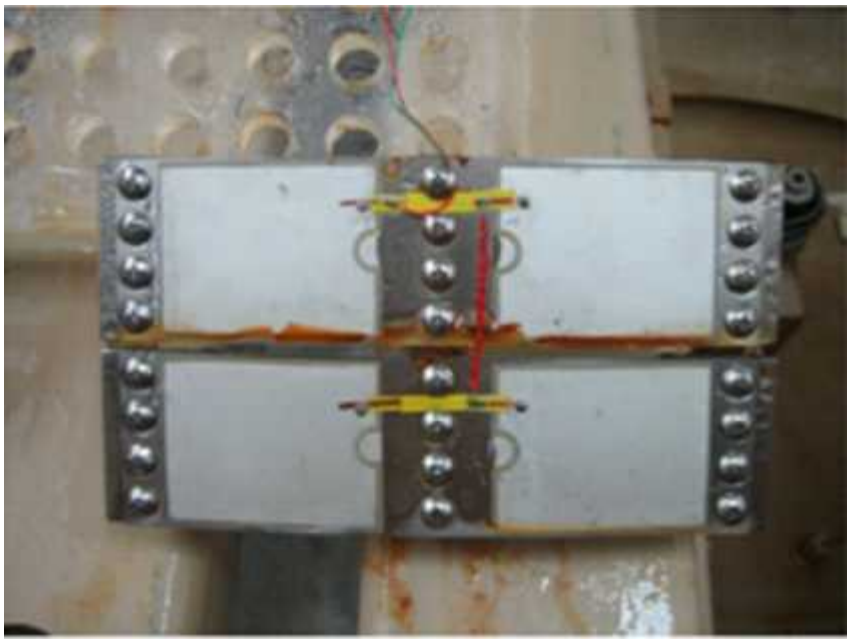
<표 3-9>는 3종의 코팅제가 도포된 단위 모듈에 대한 함습, 항온항습, 고온 시험을 진행한 결과이다. 함습시험은 코팅된 소자를 물에 24시간 담궜고, 항온항습 시험은 85℃, RH85% 조건에서 24시간 방치하였으며, 고온시험은 100℃건조기에 24시간 방치하였다. 열화가속조건에서 방치된 각각의 sample은 시험 후 자동타격기를 이용하여 발전량을 측정한 뒤 열화 가속시험 전, 후 비교분석을 실시하였다.

아크릴을 코팅한 경우 함습, 항온항습, 고온시험에서 각각 −0.38, −0.66, −12.83%의 발전량 감소가 나타났다. 함습과, 항온항습 조건에서는 내구성이 우수한 것으로 판단되지만, 고온시험에서 발전량 감소가 −12.83%로 나타나 열적 내구성은 낮은 것으로 판단되었다.

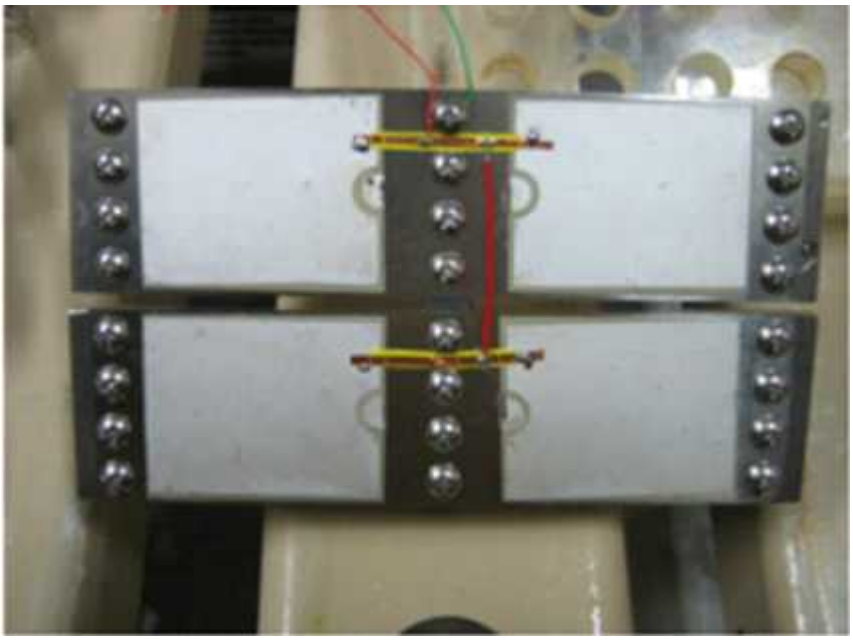
실리콘이 코팅된 제품은 함습, 항온항습, 고온시험에서 각각 −0.34, −0.34, −0.68% 발전량이 감소하여 수분과 열적 내구성이 우수하였다.

우레탄이 코팅된 제품은 함습, 항온항습, 고온시험에서 각각 −11.93, −10.29, −17.70% 발전량이 감소하여 3가지 코팅제 중 특성이 가장 열위하였다. 우레탄의 경우 수분에 의한 반응으로 코팅층이 얇아져 코팅 효과가 낮아지고 열적 안정성도 낮은 것으로 판단된다.

이상의 결과로 전극산화를 방지하기 위한 코팅제는 실리콘 특성이 가장 우수하여 도로용 발전모듈에 가장 적합한 코팅제로 판단되어 이후 시험에 사용되는 발전모듈은 모두 실리콘 코팅을 하여 제조하였다. 코팅제로 선정된 실리콘을 도포하여 제조한 단위모듈에 대한 최종적인 산화 가속시험을 위해 염수 분무 시험을 진행하였고, 그 결과를 <그림 3-112>에 나타내었다. 시험결과 코팅제가 도포되지 않은 시험편은 붉게 산화가 진행되었지만, 실리콘 코팅제가 도포된 시험편은 시험 후 변화가 관찰되지 않아 염수에서도 내구성이 우수함을 확인할 수 있었다.



(a) 코팅제 사용하지 않은 시료

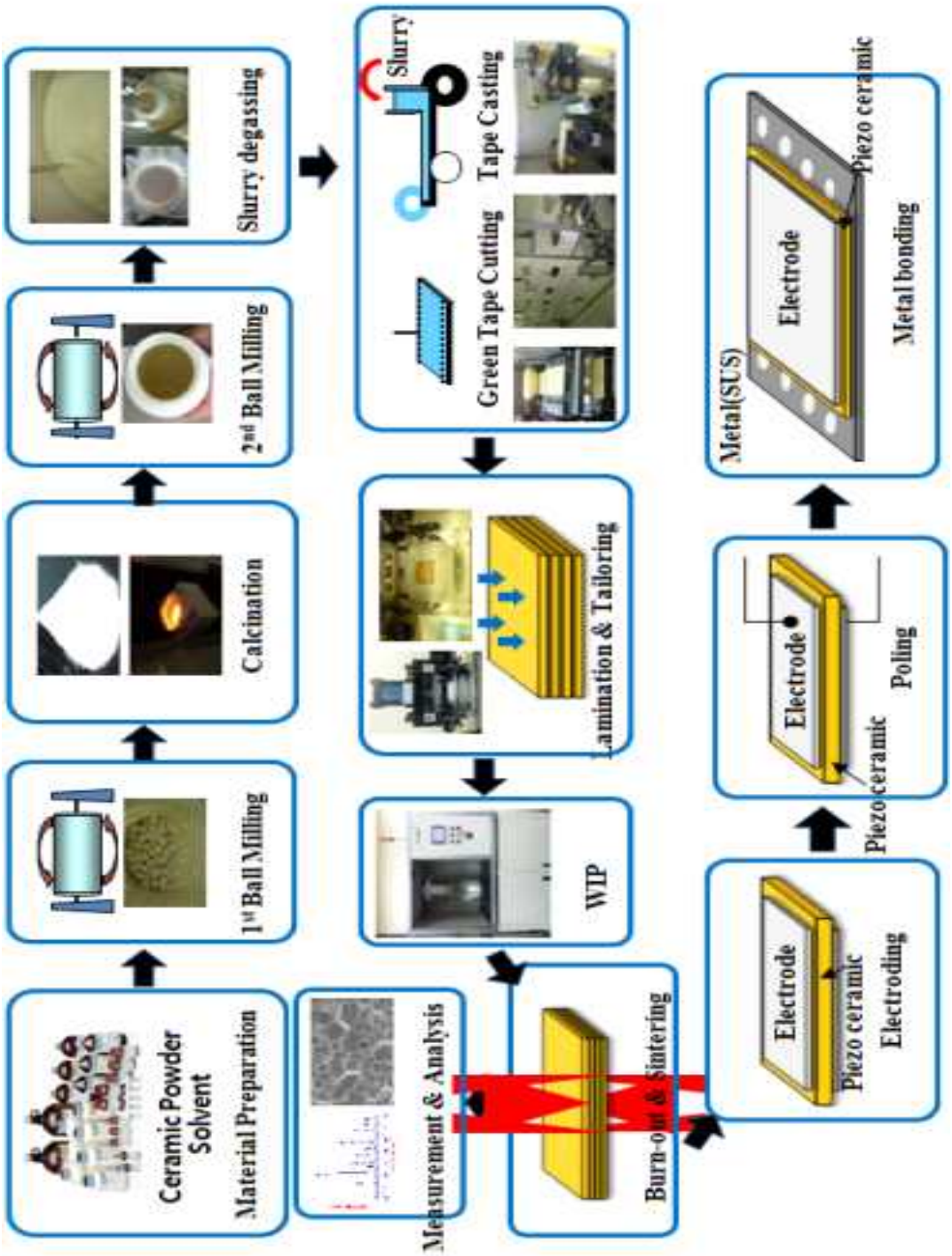


(b) 실리콘 코팅제 사용한 시료

<그림 3-112> 실리콘 코팅제 사용 여부에 따른 염수분무 시험 후 시험 sample

1-4. 시제품 제작

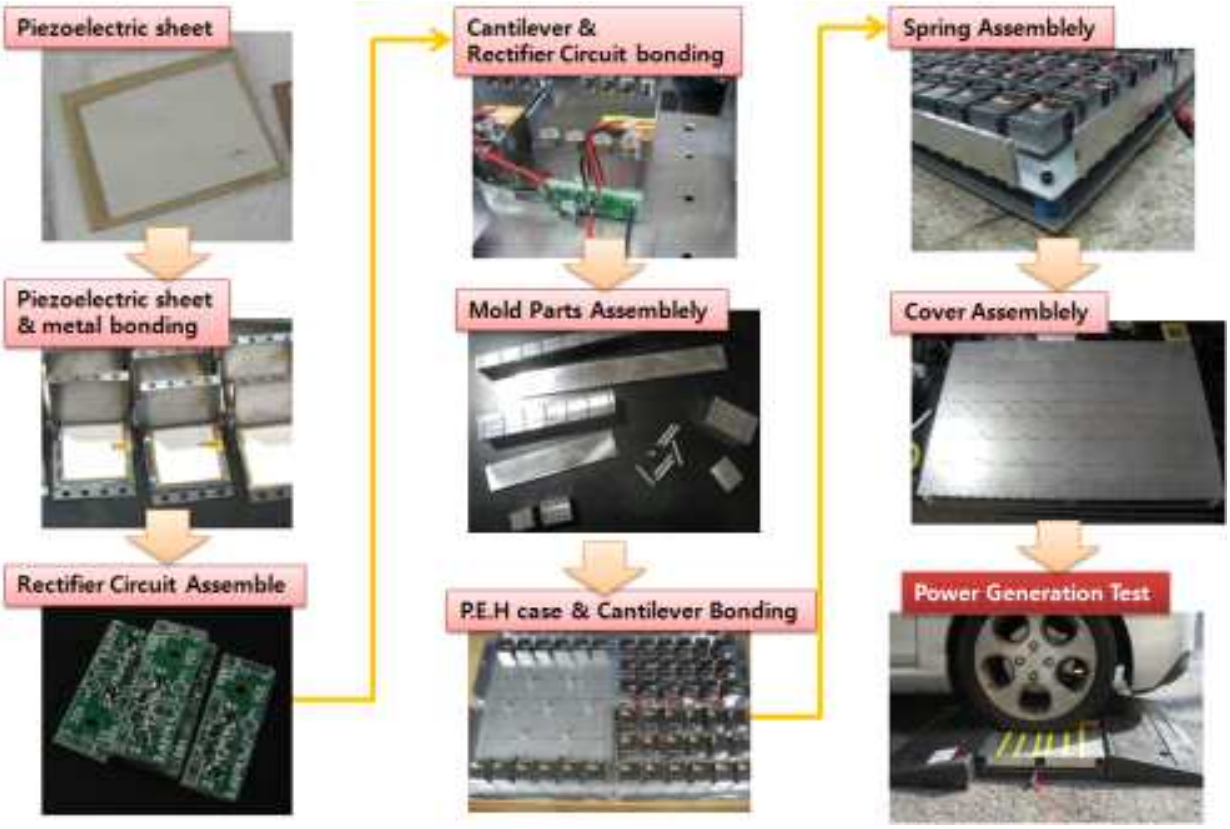
가. 단층패드(블록) 형태의 시제품 제작



<그림 3-113> 압전소자 제조 공정

도로에 매설을 위한 단층패드(블록)형 압전 발전 모듈은 지면과 수평을 이룬 일반적인 캔틸레버형과 차량이 지나갈 때의 힘과 하중이 압전소자에 직접 전달되는 직접가압형 두 가지 형태로 제작하였다. 두 종류의 발전패드에 사용되어진 압전소자는 tape casting 공법을 사용하여 제조한 압전 sheet를 이용하였고, 내구성 향상을 위해 실리콘 코팅제를 도포하였다.

<그림 3-113>에 압전소자 제조 공정을 나타내었고 <그림 3-114>, <그림 3-115>에 패드(블록) 제조 공정 및 제조된 발전 패드를 나타내었다. 발전패드는 시뮬레이션 결과를 바탕으로 도로용 발전에 최적화된 조건으로 제작하였다.



<그림 3-114> 발전 패(블록) 제조 공정



(a) 직접가압형



(b) 캔틸레버형

<그림 3-115> 발전패드

단층형 발전 패드 시제품은 물속에 담근 뒤 내구성 시험을 진행하였다. 30일 방치 후 패드를 분해해본 결과 압전 소자 및 회로에는 코팅제를 도포하여 침수되었음에도 불구하고 고장이 발생하지 않았다. 그러나 고무패드를 사용했지만 패드 금속 케이스는 약간의 부식이 발생하였다. 이는 수분이 고무케이스를 침투하여 발전 패드가 침수되었기 때문으로 판단된다.

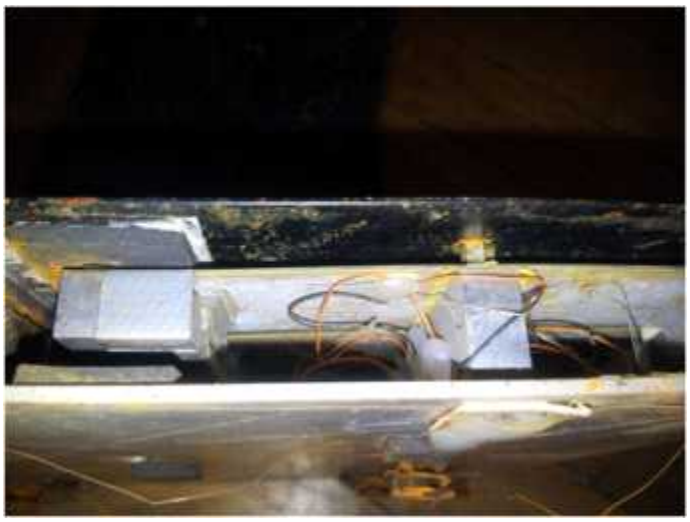
본 연구에서는 코팅제 및 고무패드 사용하여 빗물 침수에도 하베스터 발전에는 문제가 없었지만 도로용으로 장기간 매설 될 때 내구성을 향상시키기 위해 방수 테입을 사용하여 빗물 침수에 대한 안정성을 증가시켰다.



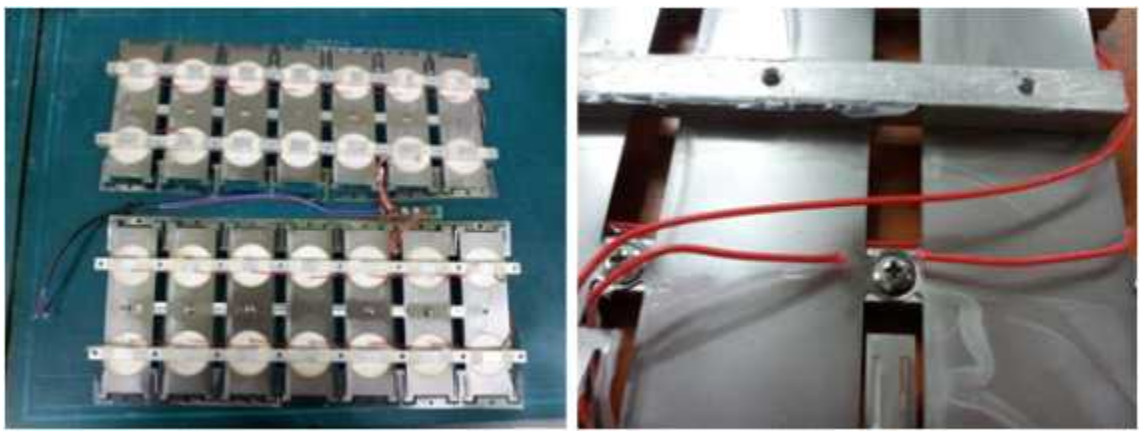
<그림 3-116> 단층형 발전패드 매설



(a) 방수 테잎 사용 전, 후(기존은 고무패드만 사용, 개선품은 고무패드+방수테잎 사용)



(b) 방수 테잎 사용 전 내구성 평가 결과 사진 (부식)

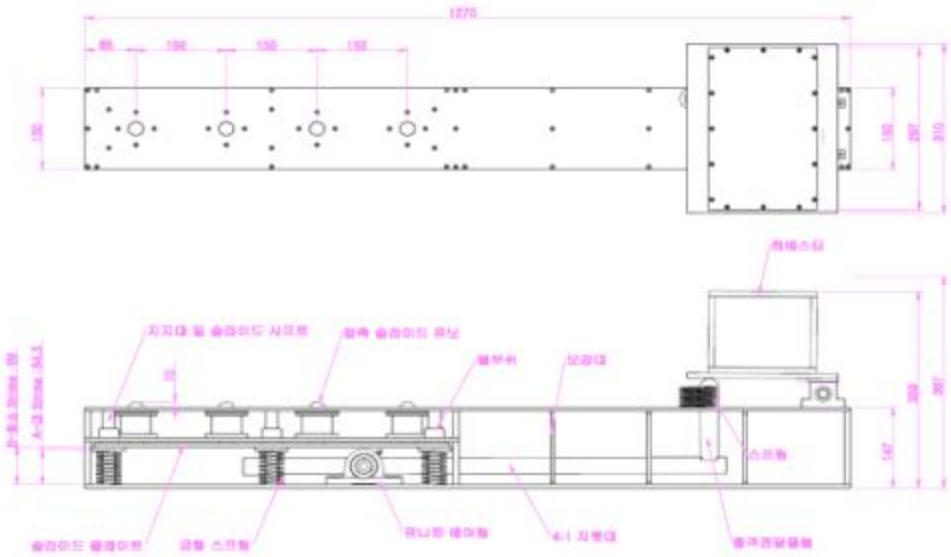


(c) 방수 테잎 사용 후 내구성 평가 결과 사진

<그림 3-117> 방수테잎을 사용한 단층 패드 및 내구성 평가 결과

1-5. 다층 패드형태의 시제품 제작

단층 패드의 경우 매설이 용이하고 공간의 제약이 적은 장점이 있지만 발전량이 높지 않아 충전시 각각의 회로에서 손실되는 전력이 많다. 이러한 단점을 보완하고자 다층패드(rack) 시제품을 제작하였고, 차량이 지나갈 때 다층패드에 운동에너지가 전해지도록 기구물을 설계하였다. <그림 3-118>에 다층패드 형태의 기구물 도면을 나타내었고, <그림 3-119>에 다층패드 발전 모듈 및 방수, 이물 삽입 방지를 위한 모듈 보호 케이스를 나타내었다.





<그림 3-118> 다층패드 기구물 도면





(a) 다층형 발전 모듈



(b) 방수 및 이물질 삽입 방지를 위한 발전 모듈 케이스

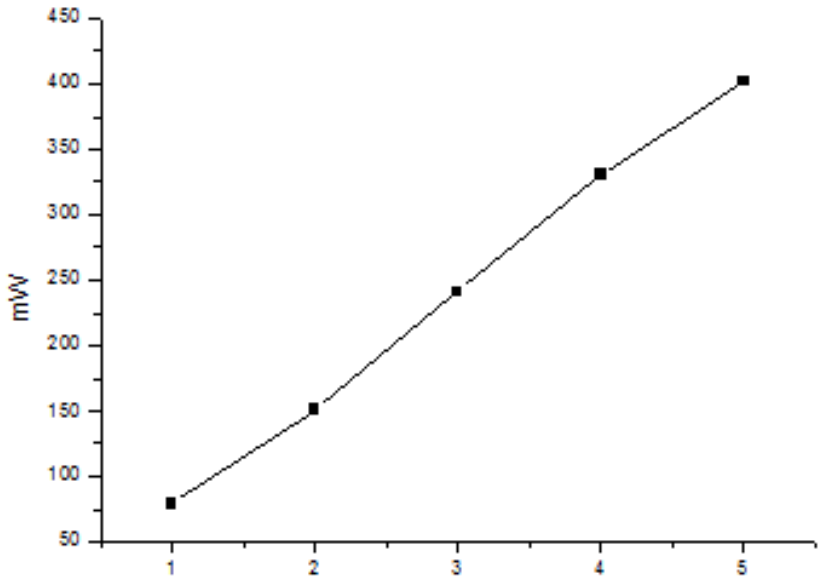
<그림 3-119> 다층패드형 발전장치 및 보호 케이스

제작된 다층패드형 발전장치는 가로 297㎜, 세로 200㎜, 높이 200㎜, 5층 구조로 되어 있으며, 각각의 층에는 12개의 압전소자가 장착되어 있다. 압전소자가 장착된 rack별 (1층 ~ 5층) 발전량을 측정해본 결과 각각의 rack이 삽입될 때 비례적으로 발전량이 증가하였으며, 5층 삽입시 400㎽의 발전량이 측정되었다. (1층부터 5층 까지 각각 52, 153, 247, 329, 400mW) 시뮬레이션 결과를 바탕으로 발전모듈을 설계하여 외부 힘

인가시 진동을 위한 mass의 층간 간섭은 없는 것으로 판단된다. 발전량 평가는 rack형 발전 모듈을 기구물에 올려놓은 뒤 타이어 바퀴를 굴려 평가하였고 <그림 3-120>, <그림 3-121>에 평가 방법 및 평가 결과를 나타내었다.(바퀴를 굴려 rack형 하베스터에 힘을 전달할 경우 발전모듈은 지면에서 수직방향으로 5 ~ 6cm 기구물이 올라감)



<그림 3-120> rack형 발전모듈 발전량 평가 방법



<그림 3-121> rack형 발전모듈 rack 삽입수량 별 발전량

1-6. P.P scale 압전 발전 모듈 제조 기술 확보

가. 핵심 공정 최적화

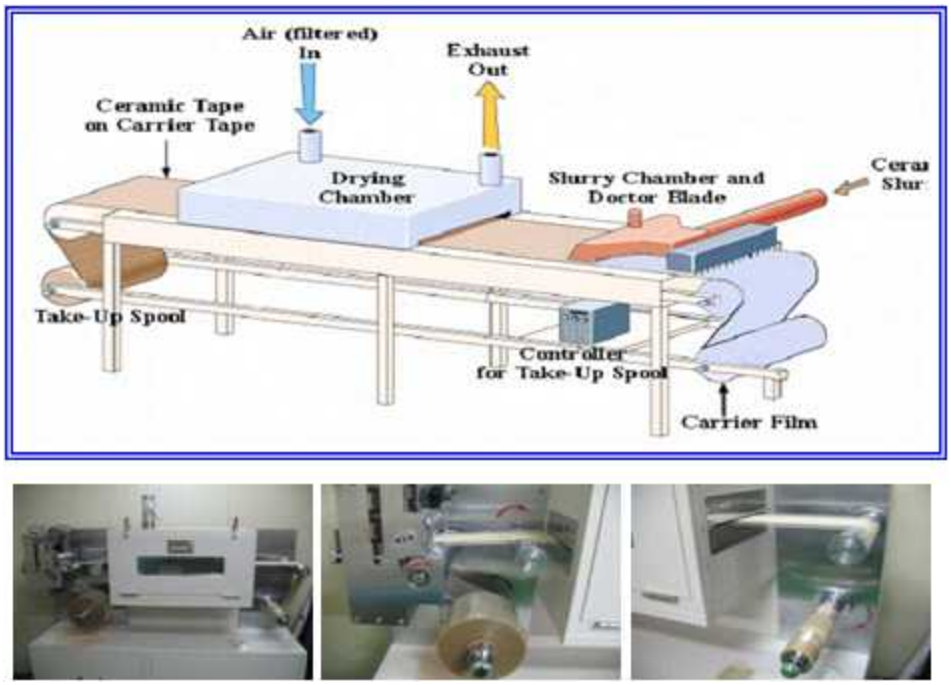
P.P scale의 압전 발전 모듈을 제작하기 위하여 Lab. scale에서 확보된 기반기술을 바탕으로 제조 공정 최적화를 진행하였다. 압전 세라믹 재료의 성형은 일반적으로 프레스를 이용하여 bulk type으로 성형하는 방법과, tape casting 공법을 이용하여 후막(수백㎛)으로 성형하는 방법이 있는데 본 연구에서는 도로 매설용으로 발전특성이 우수한 후막형 압전소자를 제조하기 위하여 tape casting 공법을 이용하였다.

압전 발전 모듈 제조 공정 중 불량률이 가장 높은 공정은 압전 powder를 이용하여 sheet를 제조하는 공정이다. powder 입도에 따라 동일한 고형분 함량에서도 sheet의 pin hole, scratch 불량 등이 나타나며, 건조온도와 속도에 따라서도 sheet의 특성이 좌우된다.

본 연구에서는 제조 공정 표준화를 통해 압전 powder의 입도를 균일하게 (D50=0.9㎛) 제조하여 고형분 함량에 따른 sheet 특성을 고찰하였다. Tape casting 공법을 이용한 sheet 성형을 위해 압전 powder는 vehicle과 혼합하여 slurry화 하였다. vehicle은 solvent(알코올, 톨루엔), binder(PVA) 및 첨가제(가소제, 분산제)를 혼합하여 제조하였고, 제조된 vehicle과 압전 powder은 slurry mixer와 ball mill을 이용하여 48시간 동안 혼합하였다.

압전 powder 고형분을 70, 71, 72wt%로 제조하여 tape casting을 실시한 결과 고형분 함량이 70%인 경우 vehicle 함량이 높아 sheet 건조시 solvent가 급격하게 휘발되어 sheet 갈라짐 현상이 심하게 발생하였다(<그림 3-123> (a)). 고형분 함량이 가장 높은 72wt%에서는 고형분에 비해 상대적으로 적은 binder 함량의 영향으로 sheet 성형이 균일하게 되지 않는 현상이 발생하였다.(<그림 3-123> (c)) 고형분 함량이 71%인 경우는 균일한 sheet 성형이 가능하였고, 건조 온도를 70℃, belt 속도를 30cm/min으로 조절할 경우 sheet 양품율이 95%로 증가함을 확인할 수 있었다. 제조된 sheet의 두께는 40~60㎛이며 폭25cm의 roll film에 도포하였다.

<그림 3-122>에 tape caster 장비를 나타내었고 고형분 함량별 sheet 성형체를 <그림 3-124>에 나타내었다.



<그림 3-122> tape caster



(a) 고형분 70wt% (b) 고형분 71wt% (c) 고형분 72wt%



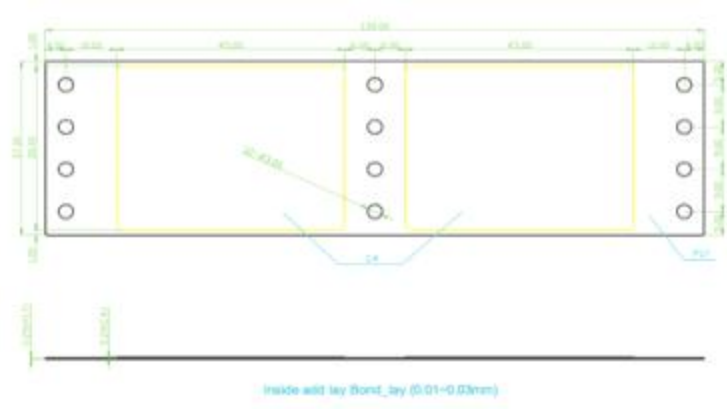
(d) sheet 불량 image (고형분 70, 72wt%)

<그림 3-123> 고형분 함량별 압전 sheet 성형체

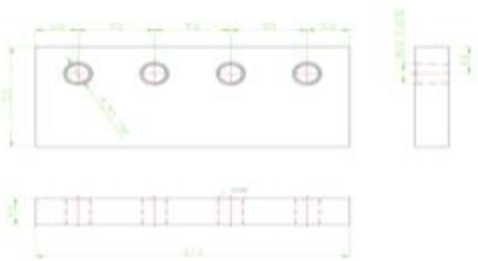
공정최적화를 통해 제조된 압전 sheet는 금속판과의 부착을 위해 록타이트를 이용하였다. 록타이트는 screen printing 공법으로 소자에 도포 후 압전 sheet를 부착하였고, 부착된 소자는 UV건조로를 이용하여 10분간 건조하였다.

나. 양산화 기반기술 확보 (capa.)

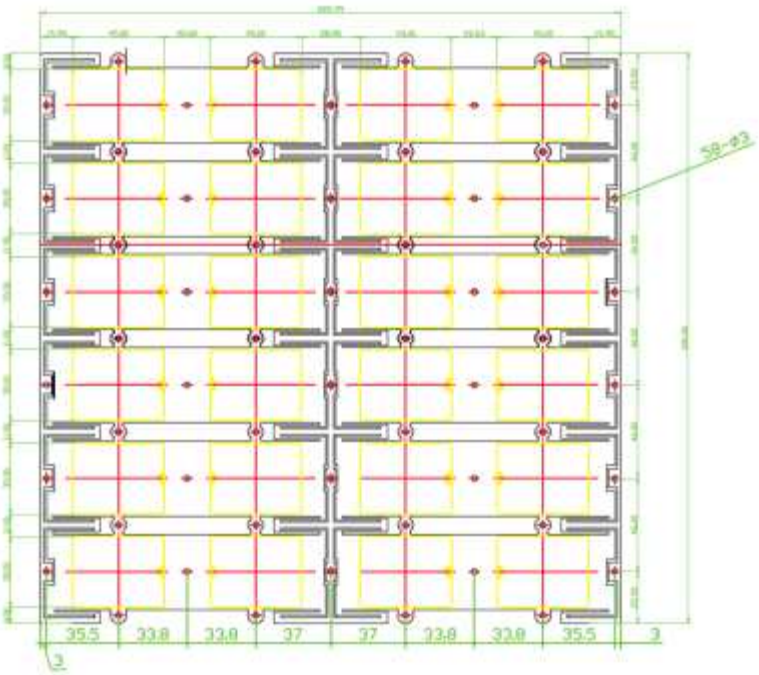
단층형 발전 패드는 직접가압방식, 진동방식으로 구분되며 직접가압방식의 경우 가압방식에 따라 내구 구조가 상이하다. 매설 환경별, 용도별 상이한 구조를 갖는 발전 모듈의 효율적인 생산을 위해 본연구에서는 소자, 모듈 제조에 사용되는 다양한 보조물 및 기구 구조에 대한 도면화 및 부품 표준화를 진행하였고, 체계적인 생산라인 및 공정을 구축하였다. <그림 3-124> 그 결과 압전 단위 모듈의 경우 350개/일 의 제조 공정 능력을 확보하였다.



(a) 발전 모듈 소자



(b) mass



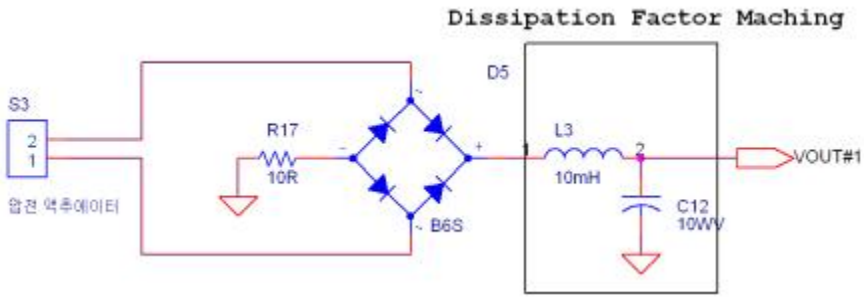
(c) 단층형 발전 모듈 도면

<그림 3-124> 소자, 부속품 및 기구물 도면

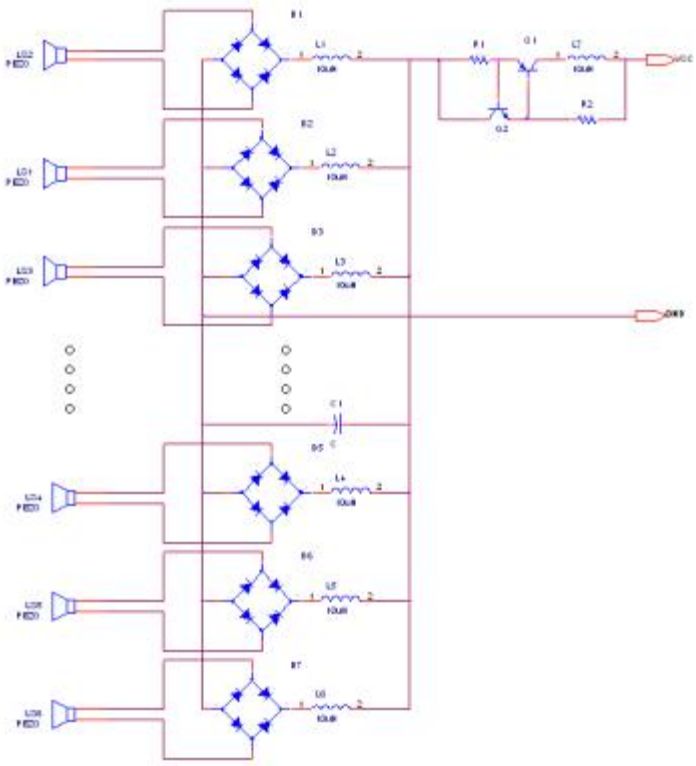
2. 압전 충전회로제작 및 압전발전모듈 평가

2-1. 최적화된 충전회로 제작

가. AC-DC 변환 정류회로 설계



<그림 3-125> 압전 에너지 하베스팅 AC-DC 정류회로



<그림 3-126> 압전소자 어레이시 하베스팅 회로

◦ <그림 3-125>은 압전 소자별로 발생한 AC 전압을 DC 전압으로 정류하는 회로임

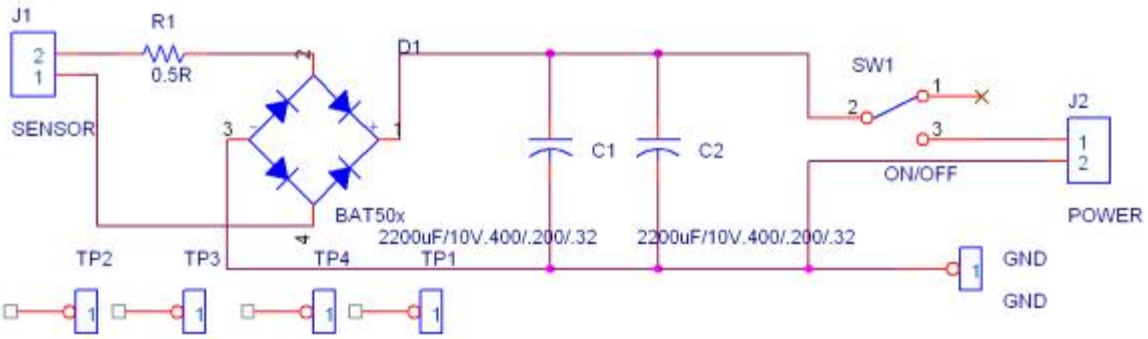
◦ 충전효율 극대화를 위해 LC matching 회로를 적용하여 미소전력에 적합한 회로로 설계・제작하였음

◦ 일반적인 브릿지 구조 정류회로를 사용하여 발전 효율을 최대화하고자 하였으며 이러한 구조는 입력전압의 주파수, 크기에 크게 영향을 받지 않는 장점을 가짐



<그림 3-127> 압전 하베스팅 회로 모습

◦ 압전 소자를 여러 개 연결시 <그림 3-128>와 같이 압전 에너지 하베스팅 회로를 어레이하여 압전 소자별로 발생한 전압을 충전하게 됨

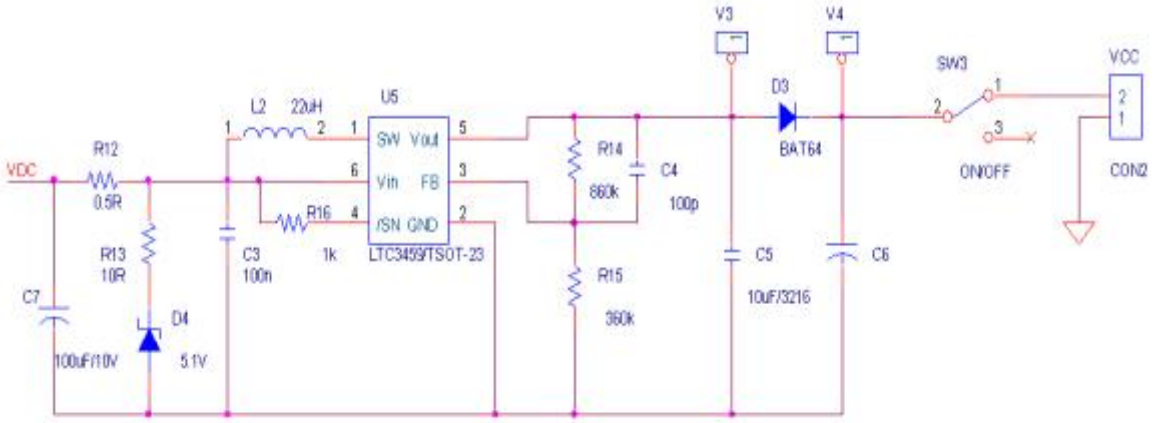


<그림 3-128> 압전 세라믹 하베스팅 회로

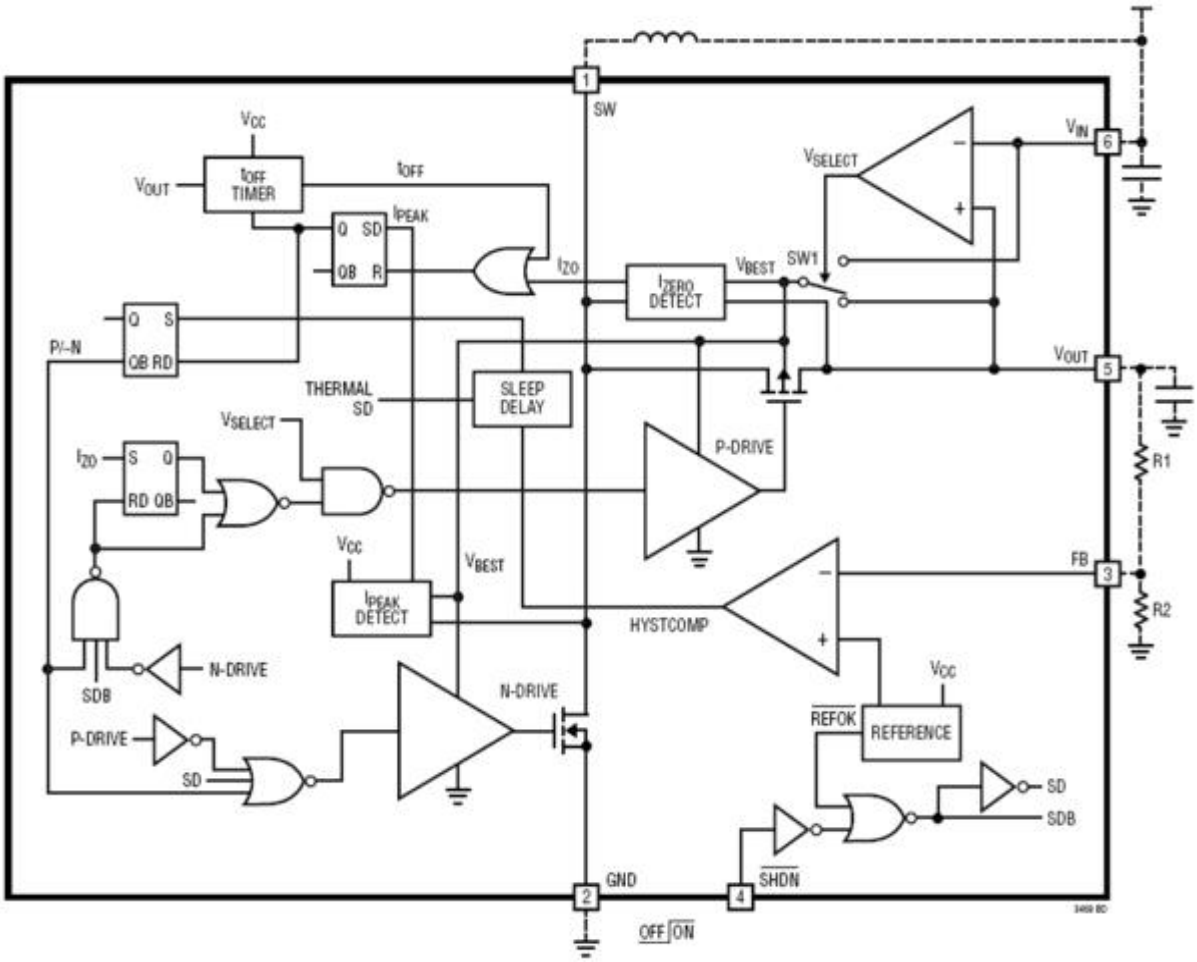
◦ <그림 3-128>는 압전세라믹 하베스팅의 회로를 나타내고 있으며, 이는 아주 간단하면서도 가장 효율적인 방식이며, 쇼트킷 다이오드 브릿지 방식의 전력 포집방식임

◦ 일반 다이오드 보다 Turn On 전압이 상대적으로 낮으며 전해 캐페스트 충전특성과 잘 융화함. 하지만 자연방전이 매우 높은 단점을 가지고 있음

나. DC-DC 승압회로 설계



<그림 3-129> 압전 세라믹 하베스팅 승압회로



<그림 3-130> LTC3459/TSOT-23 칩 회로도

○ <그림 3-129>은 압전 세라믹 하베스팅 승압회로를 나타냄

○ 1.5 voltage에서 3.3 voltage로 승압하는 회로이며, LTC3459/TSOT-23 칩을 사용하였음

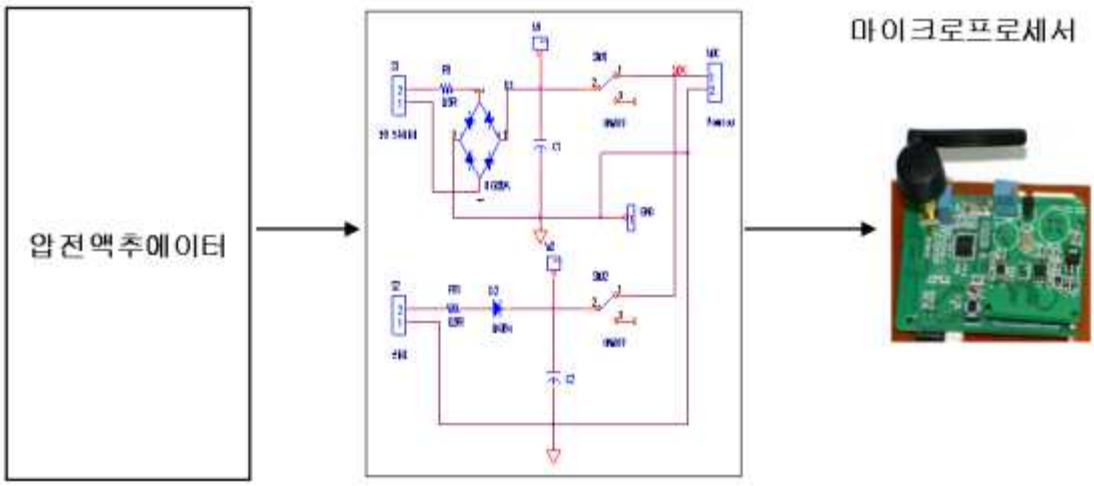
○ 해당칩의 회로도는 <그림 3-130>에 나타내었으며, Pull-Up/Down 방식의 승압회로이며 스위칭 방식의 전원회로임

○ 이는 고주파 스위칭의 높은 변환 효율을 지니며 미소전력에 적합한 회로임. 하지만 저전압에서는 구동이 어렵고 입력 전압범위가 좁음

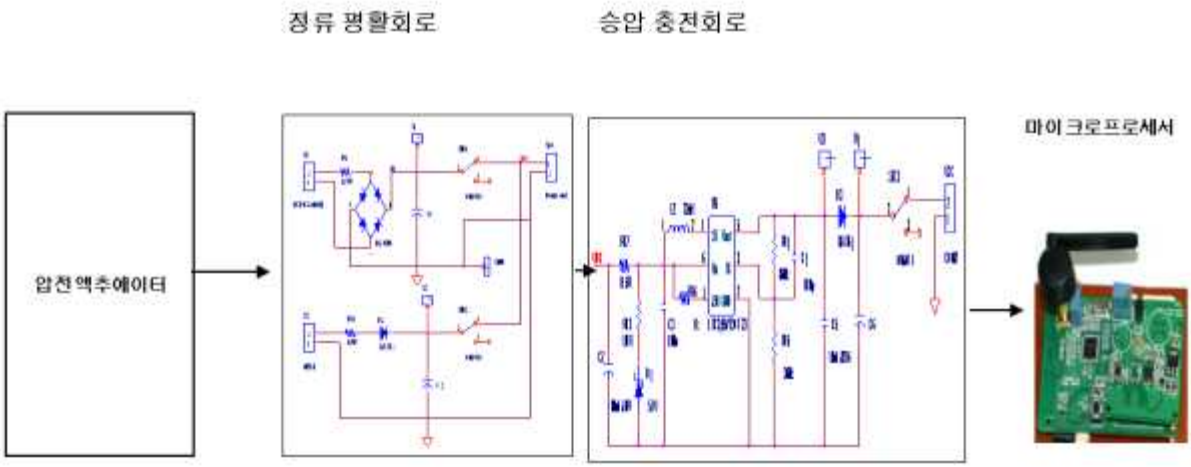
다. 정류 평활 회로와 승압 충전 및 지연회로

○ <그림 3-131>는 정류 평활 회로만을 이용하여 압전 하베스터를 운용하는 방법을 보여주고 있으며, <그림 3-132>은 정류 평활 회로에 승압 충전회로를 결합하여 필요한 DC 전압을 만들어 전자기기의 전원으로 사용하고자 할 때 운용하는 방법을 보여줌

○ 사용하고자 하는 전자기기에 따라서 적절한 방법을 찾아 운용을 해야 효율을 최대화 할 수 있음



<그림 3-131> 정류 평활 회로만을 이용한 운영방법 예시



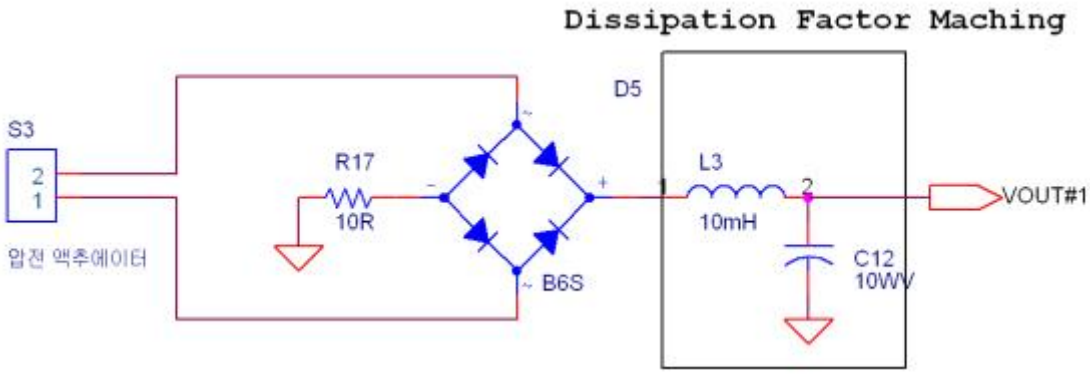
<그림 3-132> 승압 충전회로를 이용한 운영 방법 예시

○ 압전 기본회로의 두 가지 방식에 대한 장단점을 <표 3-10>에 나타내었음

<표 3-10> 압전 기본 회로 특성 분석비교

구 성	방 법 1	방 법 2
주요기능	○ 정파 정류회로 및 평활회로	○ 승압회로 및 평활 회로
장점	○ 미세전원/전류에 반응 ○ 전원 공급이 용이	○ 미세전원/전류에 반응 ○ 일정한 전원 공급가능 ○ 공급 전원 조정이 가능 ○ 저전압에서도 운영이 가능
단점	○ 전압이 일정하지 않음 ○ 고출력에는 부적합 ○ 저전력에서 구동 불가	○ 승압효율에 따라 효율이 차이남

라. 정류 · 승압회로 설계 및 전원제어 장치 개발

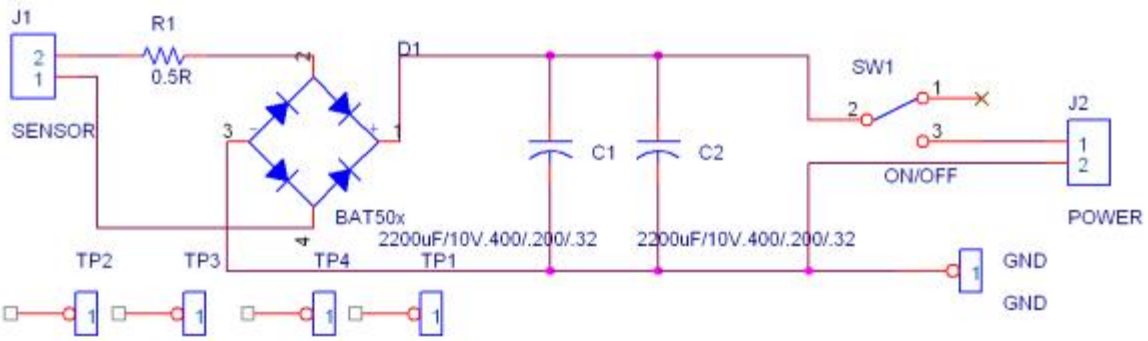


<그림 3-133> 압전 에너지 하베스팅 정류회로

○ 충전효율 극대화를 위해 LC matching 회로를 적용하여 미소전력에 적합한 회로로 설계 및 제작하였다

○ 일반적인 브릿지 구조 정류회로를 사용하여 발전 효율을 최대화하고자 하였으며 이러한 구조는 입력전압의 주파수, 크기에 크게 영향을 받지 않는 장점을 가지고 있다.

○ 압전 소자를 여러 개 연결 시 그림과 같이 압전 에너지 하베스팅 회로를 어레이하여 압전 소자별로 발생한 전압을 충전하게 된다.



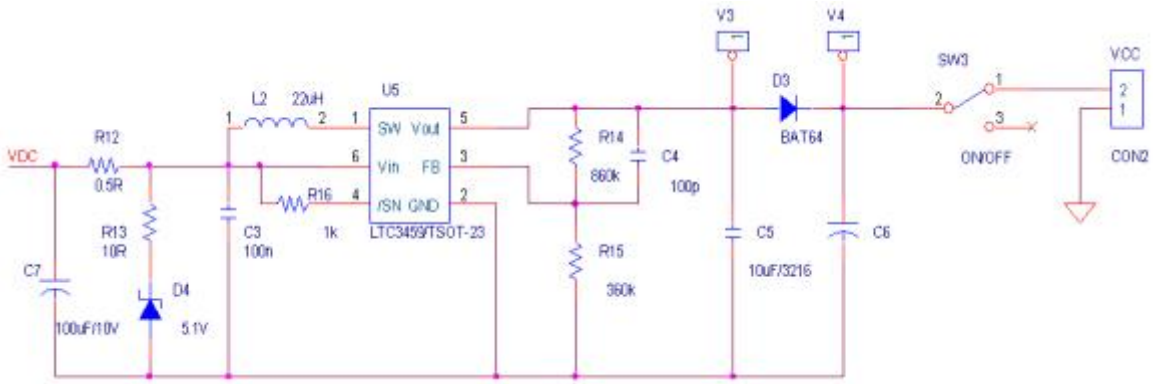
<그림 3-134> 압전 세라믹 하베스팅 회로

○ 쇼트킷 다이오드 브릿지 방식의 전력 포집방식으로, 일반 다이오드 보다 Turn On 전압이 상대적으로 낮으며 전해 캐페스트 충전특성과 잘 융화함. 하지만 자연방전이 매우 높은 단점을 가지고 있음

○ 그림은 압전 세라믹 하베스팅 승압회로를 나타내고 있다.

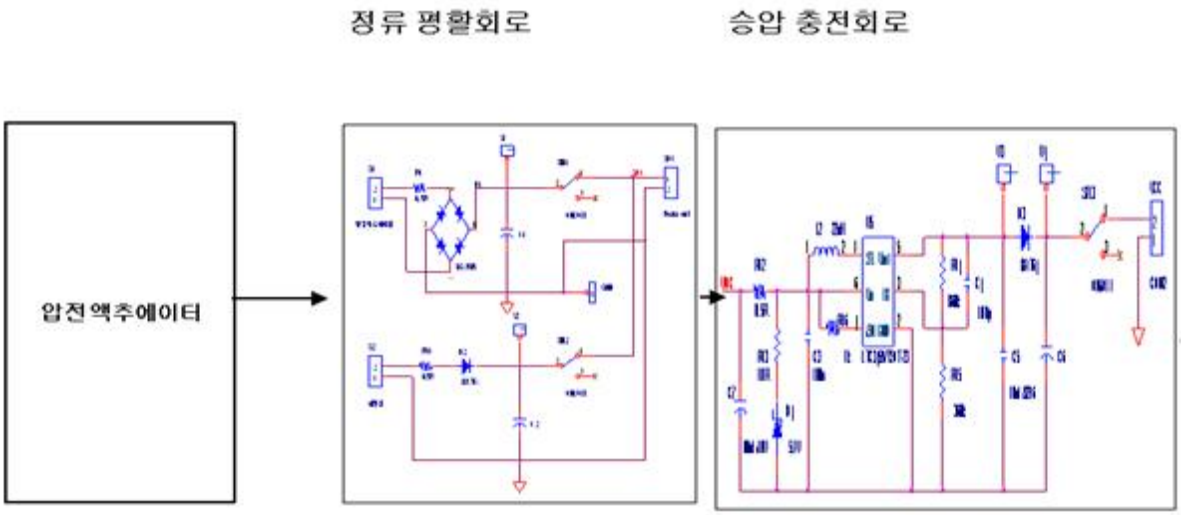
○ 1.5 voltage에서 3.3 voltage로 승압하는 회로이며, LTC3459/TSOT-23 칩을 사용하였다.

○ 해당칩의 회로도는 그림에 나타내었으며, Pull-Up/Down 방식의 승압회로이며, 스위칭 방식의 전원회로이다.



<그림 3-135> 압전 세라믹 하베스팅 승압회로

○ 그림은 정류 평활 회로만을 이용하여 압전 하베스터를 운용하는 방법을 보여주고 있으며, 그림은 정류 평활 회로에 승압 충전회로를 결합하여 필요한 DC 전압을 만들어 전자기기의 전원으로 사용하고자 할 때 운용하는 방법을 보여주고 있다.



<그림 3-136> 정류 및 승압회로를 이용한 운용방법 예시

○ 아래 그림은 정류 및 승압회로를 이용하여 압전무선스위치를 개발하였다.



<그림 3-137> 압전무선스위치

○ 작동 방법은 아래와 같다. 먼저, 전원공급장치(압전발판)을 송신기 연결커넥터에 연결한다.

○ 연결이 잘되졌다면, 압전발판 또는 전원공급장치로 전원을 인가한다.

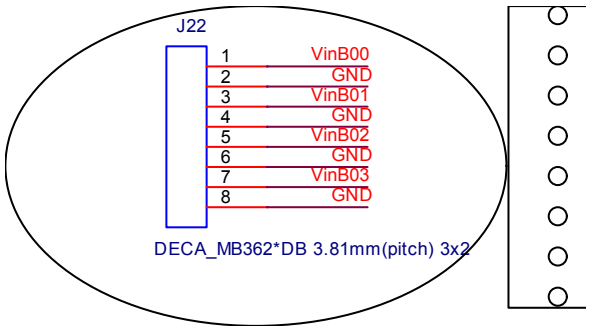
○ 이때 송신기는 공급전원 약 8.4VDC 10uF 이상에서 30msec이상 공급되어면, 1회 송신을 한다.

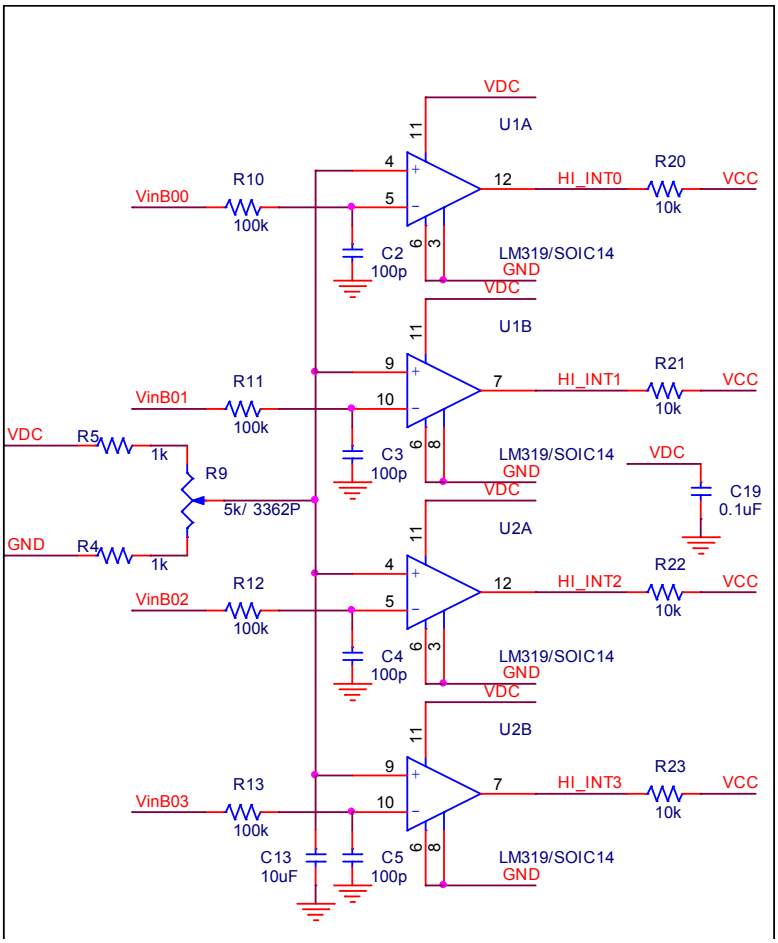
○ 22~68uF 전해커패시터에 9VDC 충전하여 이를 순간 연결하여도 송신기는 작동합니다

○ 송신기가 작동을 하였다면, 수신기에 연결되어진 램프에 불이 들어온다.(Power ON)

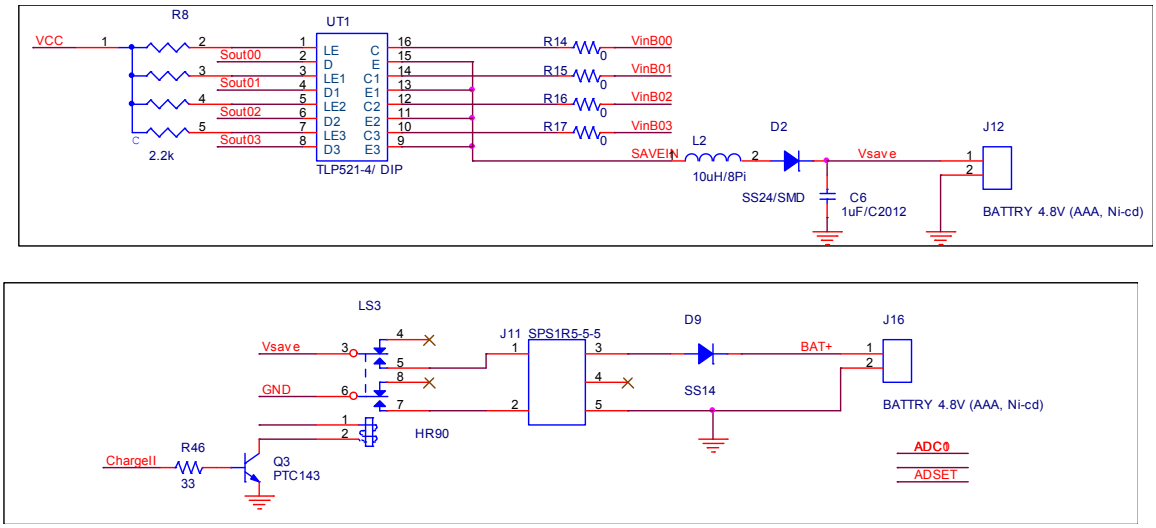
○ 램프는 약 10초정도 유지한 후 전원을 단락시킨다.(Power OFF)

제작한 충전 회로는 압전 발전 모듈에서 들어오는 외부 전원을 최대 30 Vdc까지 가능하도록 제작하였다. <그림 3-138>은 DC의 입력전압이 비교기를 통하여 일정전압 (7.5 V)이상일 때 1차 충전을 시작하며 이 보다 낮은 전압이 되면 충전을 끝낸다.



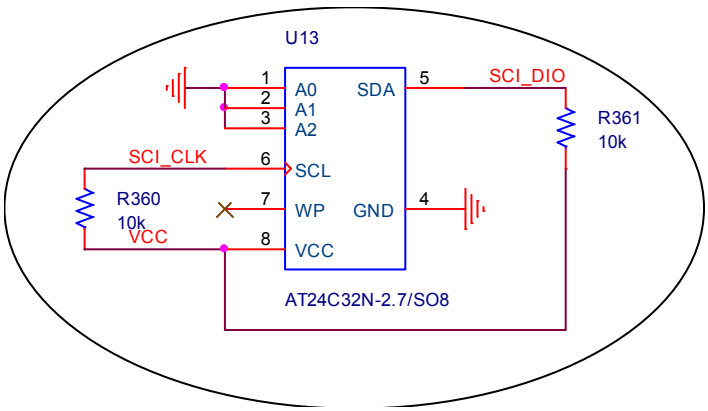


<그림 3-138> 비교기를 통한 충전회로



<그림 3-139> 1차 및 2차 배터리 충전회로

<그림 3-139>는 비교기에서 일정 전압 이상일 경우 Ni-Cd 충전 밧데리에 충전을 하기 위한 회로이다. 충전 가능한 회로는 4개의 채널로 이루어져 있으며, 충전 배터리는 4.6 V를 사용하였다. 1차 배터리의 충전 전압을 감지하여 2차 니튬 폴리머 배터리에 충전을 시작하며 1차 밧데리의 충전 전압이 일정 전압(4.5 V)이상일 경우 1차에서 2차로 승압하여 충전을 하는 방식이다. 이는 1차에서 얻을 수 있는 전압의 크기가 작기 때문에 필요한 전압으로 조정하여 충전할 수 있도록 하기 위함이다. 즉, 1차에서 4.5 ~ 5 V 인 것을 2차에서 15 V로 승압하여 배터리에 충전을 할 수 있도록 설계하였다.



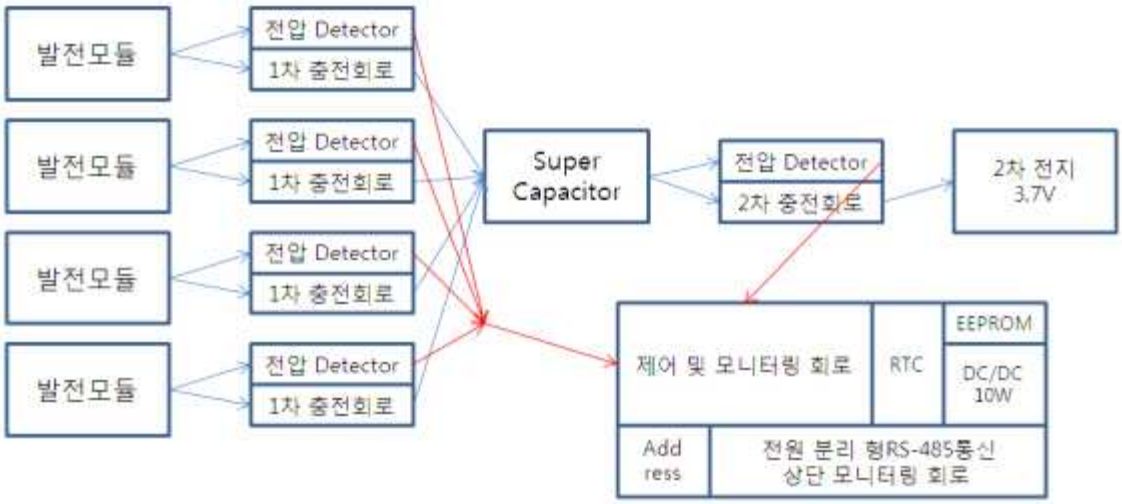
<그림 3-140> EEProm

<그림 3-140>는 EEProm으로써 압전 발전 모듈의 충전 횟수를 기록하여 평가하기 위해 데이터를 보존하는 기능을 가진다.



<그림 3-141> 제작한 충전회로 실제 모습

2-2. 단위 충전회로 전류 및 전압제어시스템 제작

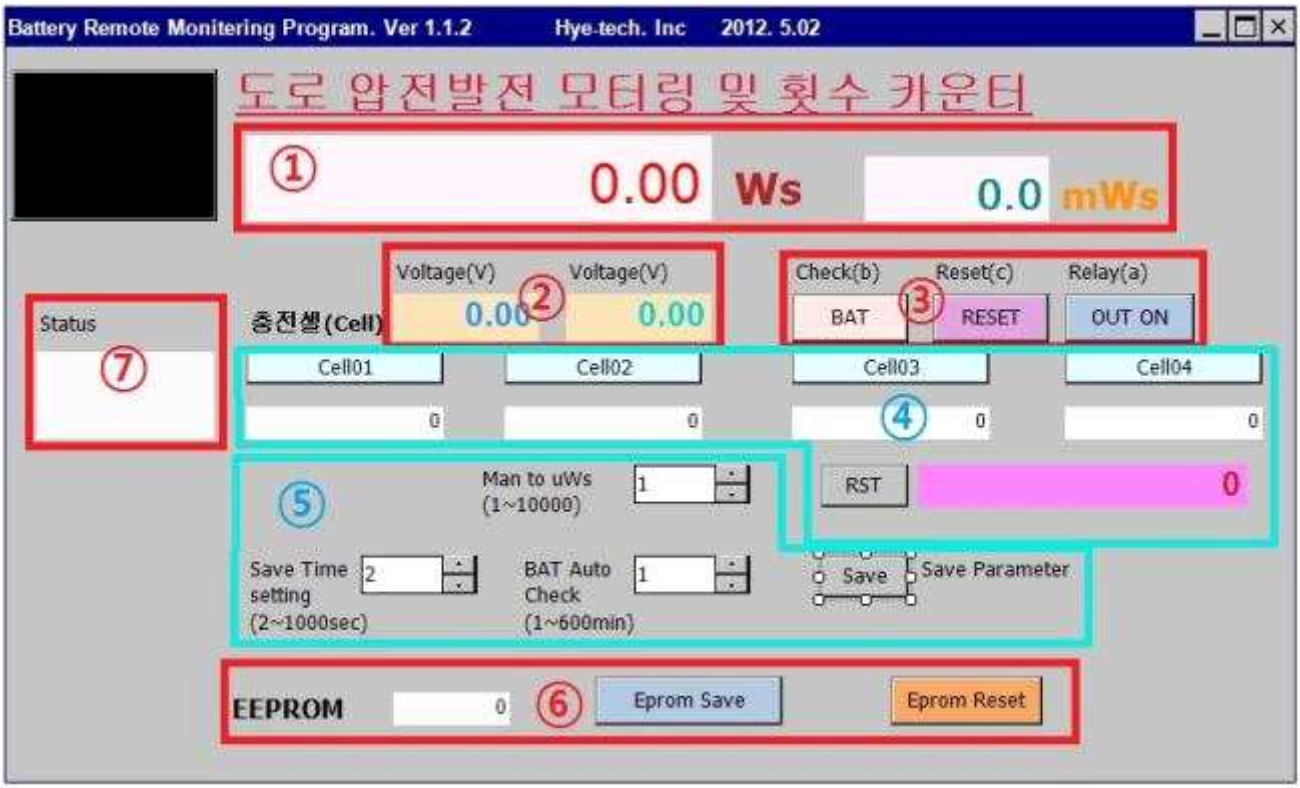


<그림 3-142> 발전모듈 충전시스템 구성도

충전회로는 압전패드에서 발생한 에너지가 충전기로 바로 충전이 되는 것이 아니라 중간에 Super Capacitor에 일차적으로 저장을 하고 일정량의 에너지가 쌓이게 되면 충전된 에너지를 2차 전지로 옮기는 방식을 쓰고 있다.



<그림 3-143> 제작한 압전발전모듈 발전특성 평가기기



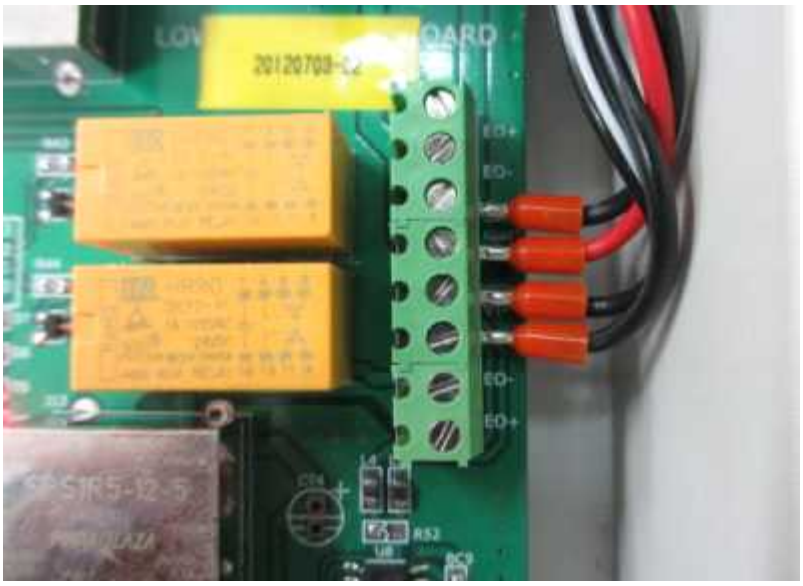
<그림 3-144> 충전회로 모니터링 시스템 화면

<그림 3-144>는 충전회로의 모니터링 시스템 화면을 나타낸다. 충전회로의 자세한 사용방법은 다음과 같다

① 압전 블록에서 발생된 전력을 보여준다.
Ws : Watt*sec mWs : 순간 충전량을 나타낸다.

② 두 개의 내장배터리의 전압을 각각 보여준다.

③ Check(b) BAT 버튼 : 누르면 배터리 전압을 검사해서 ②에 보여준다.
Reset(c) RESET 버튼 : 더미 블록 카운터를 초기화한다.(초기값 0)
Relay(a) OUT ON 버튼 : 배터리에 충전된 전원을 사용한다.
* out on 버튼을 클릭시 충전회로의 out 단자(EO-, EO+, 아래사진 참조)에서 부하를 걸어 충전한 전압을 사용할 수 있다.



<그림 3-145> Cell01~04

④ Cell01~04 : 각 압전 블록에서 전력이 발생한 회수를 나타낸다.

압전 블록에서 전력이 발생한 회수를 합산해서 나타낸다.

RST 버튼 : 합산 회수를 초기화 합니다. (초기값 0)

⑤ Man to uWs (1~2000000) : 압전 블록이 1회당 발생시킨 전력을 적용한다. 범위(1~2000000). 2W까지 입력 가능하도록 수정함.

Save Time setting (2~1000sec) : 필요한 수치를 외부 저장장치에 자동으로 저장하는 시간간격을 조절한다. 범위(2~1000초)

BAT Auto check (1~600min) : ③의 BAT 버튼을 누르지 않아도 자동으로 배터리 전압을 전압을 검사하는 시간간격이다. 범위(1~600분)

Save Parameter 버튼 : 위 세 가지 파라미터를 내부 메모리에 저장한다.

* data 저장형태 – 장비를 on 한 순간 별다른 스위치 없이, setting 한 save time 주기대로 엑셀시트에 기록된다. 파일명은 장비 on 한 시간이다.

⑥ Eprom에는 위의 내용이 모두 기록된다.

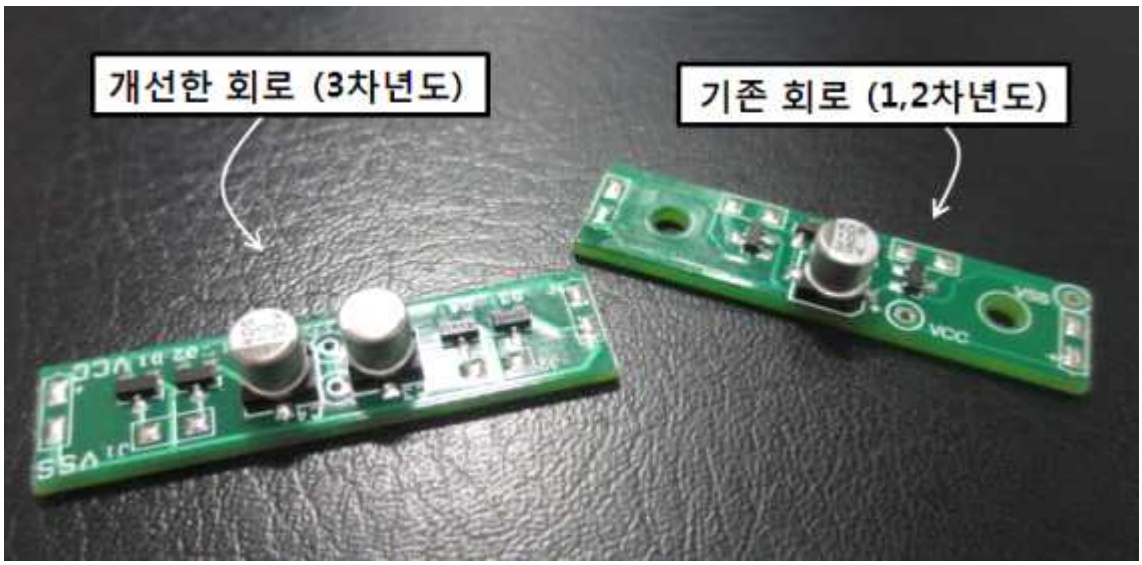
Eprom Save 버튼 : Eprom의 내용을 외부 저장장치에 저장한다.

Eprom Reset 버튼 : Eprom을 초기화 한다. (충전회로의 메모리를 초기화 하는 것임)

* Eprom은 1시간 간격으로 저장된다. 따라서 최소 1시간 이상 장비에 전원이 들어와 있어야 한다. Eprom 3 이면 장비를 켠 뒤 3시간이 지났으며 3개의 데이터가 존재함을 의미한다. 파일명은 저장버튼을 누른 시간이다.

⑦ 더미 회로와 통신 상태를 나타낸다. 백색 : 정상 / 적색 : 대기 중 또는 연결 없음

2-3 제작 회로 성능 평가



<그림 3-146> 기존 회로와 개선한 회로 모습

<그림 3-146> 기존 회로와 개선한 회로의 모습을 나타낸다. 우측의 회로는 1, 2차년도에 제작하여 사용한 회로이며 좌측의 회로가 개선한 회로이다. 정류회로는 압전체가 변형됨에 따라 교류형태의 전압파형이 나타나며 이를 정류하기 위해 그림과 같은 다이오드와 DC화하기 위해 캐패시터로 구성된다. 기존 회로의 경우 정파정류로 다이오드를 거치면서 약 1.2 volt 이상의 전압손실이 있었지만, 개선한 회로의 경우 배합회로를 사용하여 약 0.6 volt의 전압손실만 있게 된다. 따라서 기존회로보다 0.6 volt 전압이득이 있다.

에너지 변환효율에 대한 회로에 의한 손실은 정류회로와 발생전압의 각 20% 손실이 발생하며, 승압회로(DC-DC)에서 약 15%가 발생된다

무선통신회로에서는 wake-up→20 mW @2 msec (3.3 V, 5~10 mA), 송신→10 mW, 4 msec 회로 설계 시 부품의 스펙에 의해 유추할 수 있다.

위 내용에 대한 참조(논문결과)는 아래와 같다.

: Yee Win Shwe and Yung C. Liang, Smart Dust Sensor Network with Piezoelectric Energy Harvesting, The 6th International Conference on Information Technology and Applications (ICITA 2009)

2-4 압전발전 장치 효율 평가

단층형 압전패드의 발전효율을 보다 정확히 측정하기 위하여 한국건설기술연구원의 가속포장시험기와 하중/진동시험기를 사용하였다. 가속포장시험기는 회전하는 바퀴의 속력과 하중을 변화시킬 수 있는 장비로, 주행 중인 차량이 압전패드를 밟고 지나는 설정으로 차량의 속력 및 하중을 변화시켜 압전패드의 발전량을 측정하였다

선행 test를 통해 모델별로 상이한 발전모듈의 높이는 경질 고무 패드로 높이를 맞춰 전체적인 블록의 높이가 일정하도록 setting하여 test를 진행하였고 각각의 발전 패드는 가속포장시험기 바퀴에 직접 닿도록 노출시켜 평가를 진행하였다. 또한 선행 평가에서 진동형 발전 패드의 경우 발전량이 현저히 낮아 추가적인 평가는 진행하지 않았다. 진동형 발전패드(캔틸레버형)의 경우 발전패드의 수직방향으로 힘이 가해져야 발전량이 높아지는데 본 test에서는 바퀴가 패드에 충격을 가하기보다는 패드 표면을 미끄러지듯 지나가 캔틸레버가 진동하지 못하기 때문에 발전량이 낮은 것으로 판단된다.



<그림 3-147> 가속포장시험기

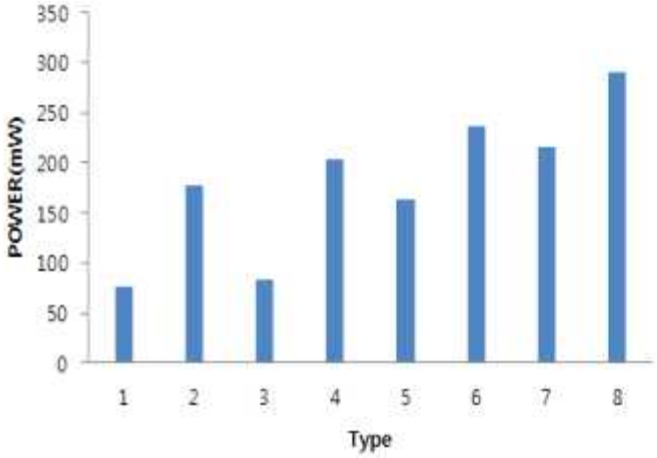
<그림 3-147>와 같이 가속포장시험기가 위치할 바닥에 압전패드를 단단히 고정하고 가속포장시험기의 하중을 설정하여 압전패드 위에 설치하였다. 가속포장시험기를 동작시켜 서서히 송력을 증가하여 압전패드의 발전량을 비교하였다. 시험에 사용된 압전패드는 No. 27, 29, 46 패드로, 1차년도부터 개발한 패드이며 구조 및 공정 최적화를 진행하여 제조한 최종 개발품은 No. 46패드이다.

압전패드의 세부적인 사양은 No. 27의 경우 사각소자(가로×세로 : 35 × 45㎜) 20개가 사용되어 제조된 패드이고, No. 29는 사각소자(가로×세로 : 38 × 38㎜) 20개가 사용되어 제조된 패드이며, No. 46은 사각소자(가로×세로 : 38 × 38㎜) 15개가 사용되어 제조된 패드이다. 각각의 압전패드는 외부에서 전달되는 힘이 압전소자에 전해지는 방법이 다르게 설계되어 있으며, No. 46패드는 3차년도에 개발된 정류회로를 사용하여 제조하였다.

<표 3-11>과 <그림 3-148>은 테스트 결과 속력과 하중에 따른 발전량을 나타낸 것이다. 테스트는 가속포장시험기에서 구동이 가능한 max 속력 및 max 하중의 조건을 기준으로 각각의 1/2의 속력과 하중이 가해지도록 조절하여 실시하였다.

<표 3-11> 가속포장시험기 테스트 결과

no.	조건(14sec)	PECK	POWER(W)	POWER(mW)
1	27블럭-속력1/2 하중 1/2	13	0.076	76.174
2	27블럭-속력Max 하중 1/2	25	0.178	177.558
3	27블럭-속력1/2 하중 Max	13	0.083	83.499
4	27블럭-속력Max 하중 Max	25	0.203	202.979
5	29블럭-속력1/2 하중 Max	13	0.163	162.839
6	29블럭-속력Max 하중 Max	25	0.237	236.610
7	46블럭-속력1/2 하중 Max	13	0.216	215.542
8	46블럭-속력Max 하중 Max	25	0.289	289.382

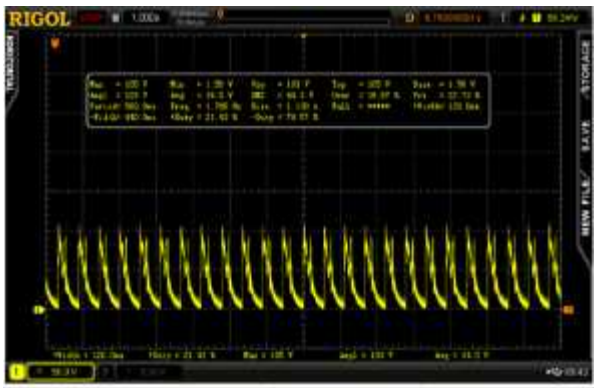


no.	조건 (14sec)
1	27블럭 - 속력1/2 하중1/2
2	27블럭 - 속력max 하중1/2
3	27블럭 - 속력1/2 하중max
4	27블럭 - 속력max 하중max
5	29블럭 - 속력1/2 하중max
6	29블럭 - 속력max 하중max
7	46블럭 - 속력1/2 하중max
8	46블럭 - 속력max 하중max

<그림 3-148> 가속포장시험기 테스트 결과 그래프

가속포장시험기의 테스트 결과 하중과 속력이 모두 최대일 경우 No.27 패드 202㎽, No. 29 패드 136㎽, No.46 패드 289㎽로 측정되어, No. 46패드의 발전량이 가장 높게 나타났다. 본실험에서 발전패드 발전량에 영향을 미치는 변수로 하중보다 속력이 더 큰 인자임을 확인할 수 있었고 (No. 27패드 의 1 ~ 4 daata 참조), 구조개선을 통해 제조된 패드의 발전량이 더 크게 나타나 구조 개선 효과를 확인할 수 있었다. (패드의 발전량 : No. 27 < No. 29 < No. 46)

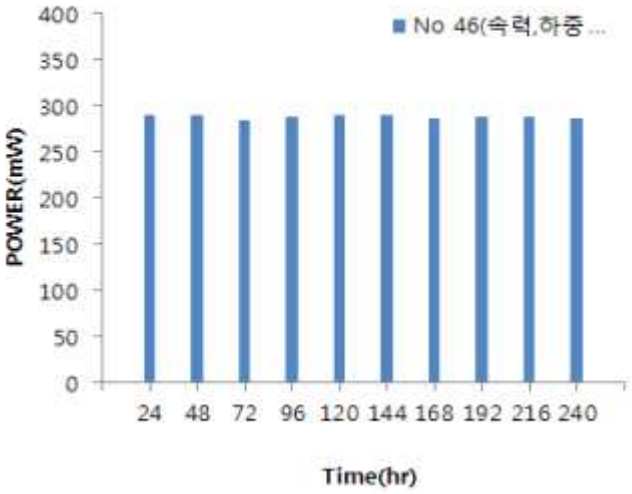
<그림 3-149>는 가속포장시험기 테스트 중 오실로스코프로 측정한 No.46 패드의 발전 전압을 표시한 것이다.



no.	비고	power(W)	power(mW)
8	46블럭 - 속력max 하중max	0.289	289.382

<그림 3-149> NO.46 패드의 가속포장시험기 테스트 측정결과

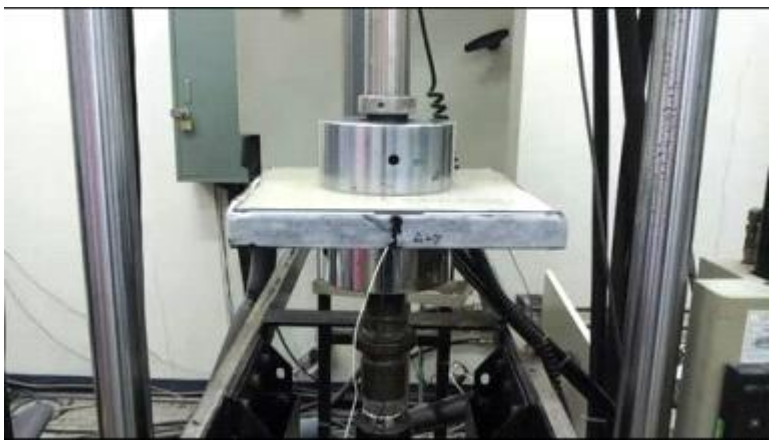
내구성 평가를 위하여 가속포장시험기를 장시간 동작시켰을 때 압전패드의 발전량 변화 추이를 살펴보았다. 1차 테스트시 가장 성능이 우수했던 No 46패드를 사용하여 속력과 하중이 모두 최대인 상태에서 240시간 동작시켜 발전량을 측정하였다. 24시간 간격으로 발전량을 측정한 결과 24시간 289mW, 240시간 287mW로 장시간의 가속상태에서도 발전량이 변화가 크지 않은 것으로 나타났다.



TIME(hr)	POWER(mW)
24	289
48	290
72	285
96	288
120	289
144	290
168	287
192	288
216	288
240	287

<그림 3-150> 시간별 발전량 측정결과(N0 46 : 속력, 하중 : Max)

일정 하중을 가한 뒤 진동 환경을 구현할 때 압전패드의 발전량을 테스트 하기 위하여 한국건설기술연구원의 하중시험기를 사용하였다. 하중시험기는 <그림 3-151>으로 테스트 대상에 일정한 하중으로 일정한 시간동안 진동(sine wave)을 주는 장비이다.

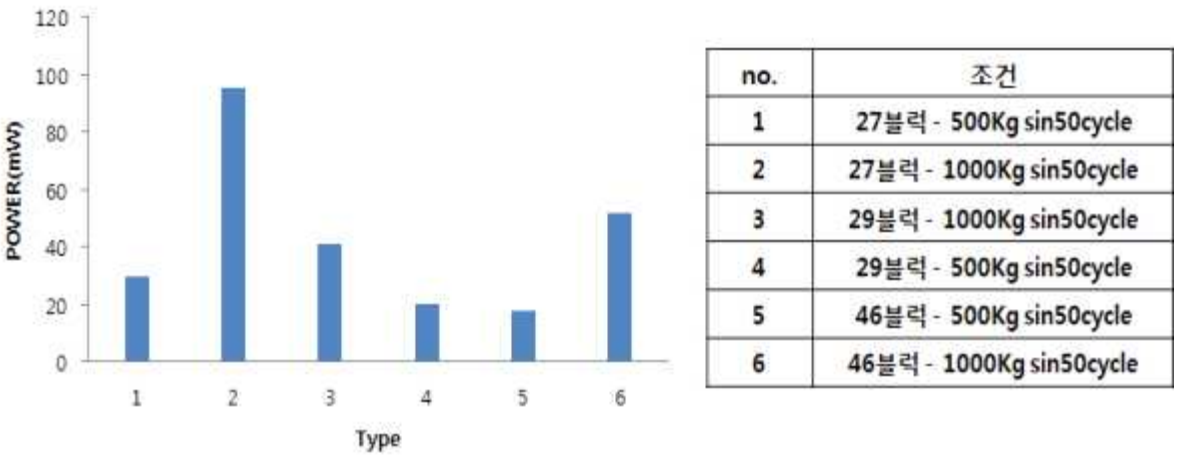


<그림 3-151> 하중시험기

하중에 따른 발전량 테스트는 하중시험기의 하중을 500kg, 1000kg 두 가지로 구분하여 50사이클 동안 압전패드에 가해주었을 경우의 발전량을 측정하였다. 가속포장시험기 테스트와 마찬가지로 시험에 사용된 압전패드는 No. 27, 29, 46 패드로, 1차년도부터 개발한 패드이며 구조 및 공정 최적화를 진행하여 제조한 최종 개발품은 No. 46패드이다. <표 3-12>과 <그림 3-152> 는 테스트 결과 속력과 하중에 따른 발전량을 나타낸 것이다.

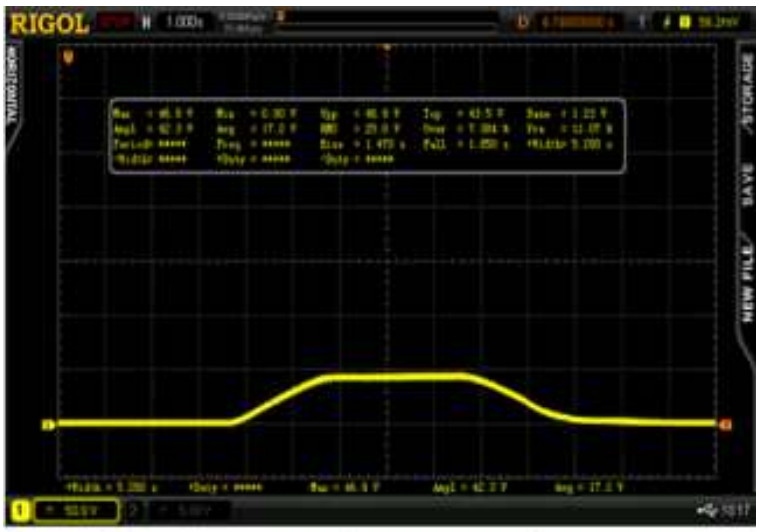
<표 3-12> 하중시험기 테스트 결과

no.	조건(14sec)	POWER(W)	POWER(mW)
1	27블럭-500kg sin50cycle	0.030	29.810
2	27블럭-1000kg sin50cycle	0.095	95.241
3	29블럭-1000kg sin50cycle	0.041	41.196
4	29블럭-500kg sin50cycle	0.020	19.963
5	46블럭-500kg sin50cycle	0.018	18.065
6	46블럭-1000kg sin50cycle	0.052	51.506



<그림 3-152> 하중시험기 테스트 결과 그래프

하중시험기의 테스트 결과 하중이 1000kg 일 때 No.27 패드 95㎽, No. 29 패드 41㎽, No.46 패드 51㎽로 측정되어, No. 27패드의 발전량이 가장 높게 나타났다. <그림 3-153>은 하중 테스트 중 오실로스코프로 측정한 No.27 패드의 발전 전압을 표시한 것이다. 가속포장시험 결과와 달리 No. 27패드의 발전량이 가장 높게 측정된 이유는 발전 패드에 힘이 전달되는 방식이 틀리기 때문이며, 패드 내부의 구조상 27번 패드의 경우 압전소자 지지대의 변위가 다른 패드에 비해 크게 설계되어 외부에서 전달되는 진동에 일부 반응하여 발전이 이루어진 것으로 판단된다. 그러나 도로환경에서는 일정하중이 가해진 뒤 진동을 주는 상황이 아니므로 도로용의 경우 No. 46패드를 사용하는 것이 바람직하다고 판단된다.



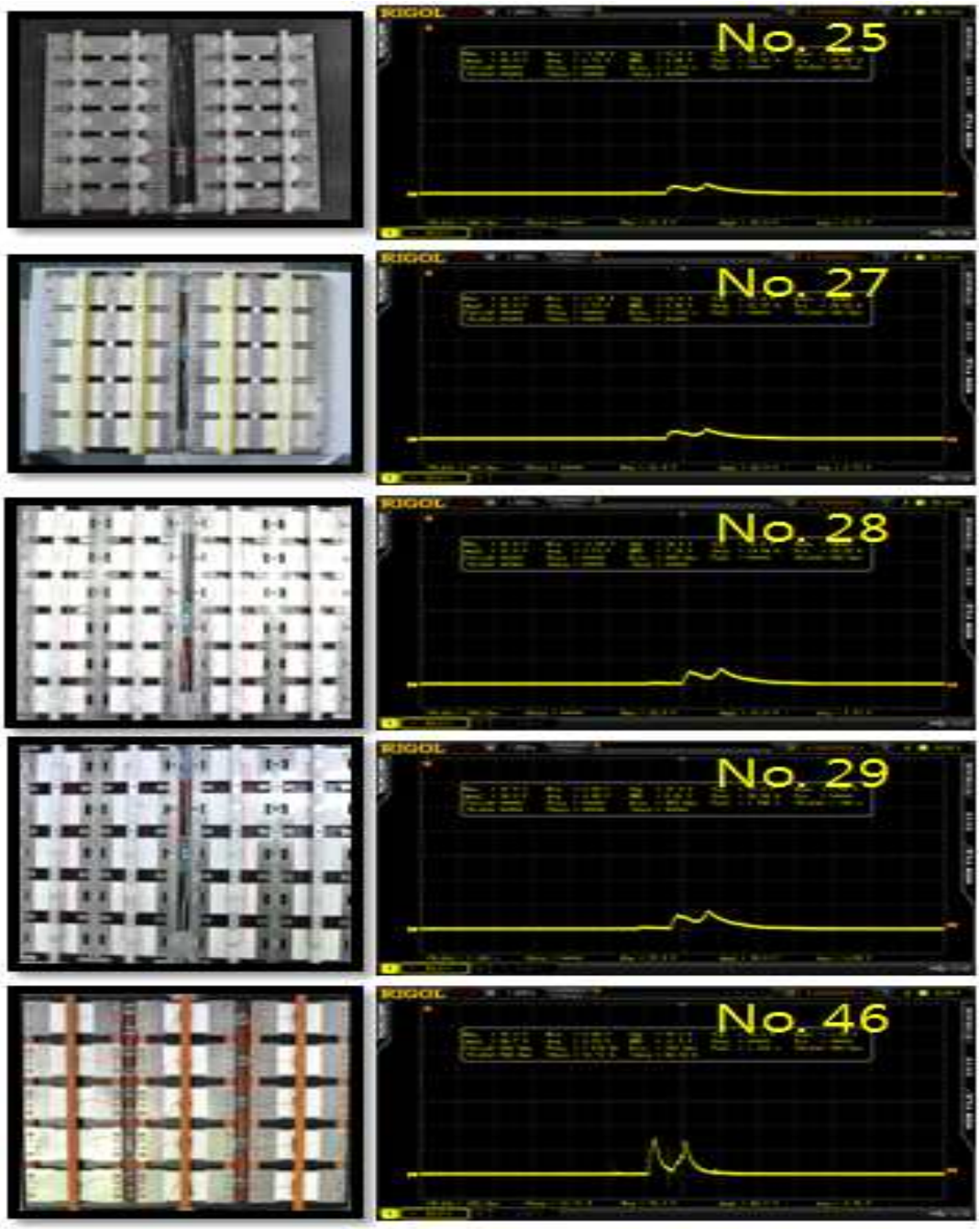
no.	조 건	power(W)	power(mW)
2	27블럭 - 1000Kg sin50cycle	0.095	95.241

<그림 3-153> NO.27 패드의 하중시험기 테스트 측정결과

단층형 압전 발전 패드의 발전량은 공압을 이용한 test 장비를 제작하여 진행하였다. (그림 3-154) 발전량 평가는 공압 test 장비 지그 사이에 단층형 발전 패드를 넣고 공기압력을 7kgf/㎠로 가하였다. 공압 test 장비에 공기압이 가해지면 하부지지대에 올려진 패드를 상판이 일정한 속도와 압력으로 누르게되어 발전이 이루어지게 된다. 이때 오실로스코프를 이용하여 발전량을 측정하였다. 그 결과 No.25 패드 6.9㎽, No. 27 패드 5㎽, No.28 패드 9.3㎽, No.29 패드 12.8㎽, No.46 패드 21.1㎽로 측정되어 No. 46 패드가 가장 우수하였고, 한국건설연구원에서 모델별로 측정한 포장가속시험과 동일한 발전 특성 경향이 나타났다. 각각의 패드는 1차년도부터 개발한 패드이며 구조 및 공정 최적화를 진행하여 제조한 최종 개발품은 No. 46패드이다.



<그림 3-154> 공압 test 장비



<그림 3-155> 단층형 압전 패드의 구조 및 공압 test 장비를 이용하여 측정한 발전량

2-5 압전발전모듈 장치 내구성 평가

가. 신뢰성 및 신뢰도

제품에 있어서 신뢰성이란 “고장을 일으키지 않는 성질”의 의미로 쓰이고 있다. 다시 말하면 “제품이 일정기간 접하게 되는 사용조건 하에서 의도된 임무 또는 기능을 완수한 능력 또는 성질”로 설명될 수 있다. 신뢰도의 정의는 신뢰성의 우열을 수량적으로 평가하는 척도로서 객관성과 범용성을 가져야하므로 신뢰성을 확률이라는 수치로 정량화하고 있다. 이와 같이 제품의 품질과 성능뿐만 아니라 이의 기능이 t시간 이상 유지하는 확률로서, 즉 시간 t의 함수로 신뢰도를 정의하는 것이다. 이러한 정의에 의해 “신뢰성”을 객관적 및 정량적으로 평가하고 과학적으로 추구하는 것이 가능하게 된다. 위의 정의에 따르면 제품의 신뢰성 R(t)은 시스템의 수명(사용 개시 후 고장이 발생할 때까지의 시간 : lifetime 또는 Time to Failure(TTF))을 나타내는 확률변수 T가 t보다 크게 되는 확률로서 식 (1)과 같다.

$$R(t) = Pr\ (T > t) \qquad \text{식 (1)}$$

수명 T의 누적분포함수 또는 불신뢰도 함수인 F(t)는 식 (2)가 된다.

$$F(t) = 1 - R(t) = Pr\ (T \leq t) \qquad \text{식 (2)}$$

즉, 신뢰도는 사용기간에 따라 달라진다. 일반적으로 사용기간에 의해 신뢰도를 정의하나 시간 이외의 다른 척도를 사용하는 경우도 있다.

나. 고장의 종류 및 고장분석

1) 고장의 종류

제품이나 시스템이 의도된 기능을 수행하지 못할 때 고장이라고 한다. 즉, 기능이 완전히 정지한 경우나 기능이 불안정 또는 규정된 성능을 발휘하지 못할 때 이를 고장이라고 판정한다. 고장은 일반적으로 다음의 2가지로 대별하여 정의할 수 있다.

① 파국고장 : 기능의 갑작스런 정지현상으로 시스템의 기능이 모두 상실되는 고장

② 열화고장 : 동작 특성의 점진적인 열화 및 성능의 저하 등으로 내구한계에 도달하는 고장

이 외에 고장은 다음과 같이 분류할 수 있다.

① 초기고장, 우발고장, 마모고장 : 제품이 출하되어 사용되어지는 기간에 따른 분류

② 내재적 고장(intrinsic failure)과 외재적 고장(extrinsic failure)

- 내재적 고장 : 제품이나 부품의 내부 문제(설계 오류, 재료선정 등)로 인한 고장
- 외재적 고장 : 외부에서 작용하는 스트레스로 인한 고장

③ 치명고장, 중대고장, 사소한 고장, 무시할 만한 고장 : 고장발생이 미치는 영향의 심각도(criticality)에 의한 분류

- 치명고장(critical failure) : 고장의 발생이 안전, 기능의 완전정지와 같은 심각한 문제를 야기할 때
- 중대고장(major failure) : 사고를 유발하지 않으나 기능이나 성능에 중대한 영향을 미치는 고장
- 사소한 고장(minor failure) : 기능이나 성능에 약간 영향을 주는 고장
- 무시할만한 고장(negligible failure) : 기능이나 성능에 영향을 주지 않으나 소비자의 만족도를 저하시키는 고장

2) 고장분석

고장분석이란 고장이 일어났을 때, 그 메커니즘(mechanism)을 밝히기 위하여 고장발생 개소에 대하여 수행하는 물리적, 화학적 원인규명을 말한다. MIL-STD-883에서는 “고장분석은 보고된 고장을 확인하고 고장모드 또는 메커니즘을 규명하기 위해, 전기적 특성, 물리·금속·화학적 최신 분석기술에 의하여 고장 발생 후에 고장원인을 조사 하는 것”으로 정의하고 있다.

고장은 외부의 응력 및 사용·환경조건 변화에 따라 제품 내부에서의 물리적·화학적 변화

로 인하여 발생하며, 제품 외부의 전기적 특성 변화로 관찰된다. 고장분석을 위한 수단으로서는 전기적, 물리적, 금속학적, 화학적인 분석기술을 구사한다.

① 접근방법

고장분석을 위한 접근 방법으로는 통계적 접근, 고장물리적 접근, 관리적 접근 등을 들 수 있다. <표 3-13>에 고장분석의 접근 방법 및 내용을 나타내었으며, Fig. a에 일반적인 고장분석을 위한 접근방법의 모식도를 나타내었다.

<표 3-13> 고장분석의 접근방법 및 내용

접근방법	내 용
통계적 접근	° 고장현상을 정량적으로 파악하고 개선포인트와 우선순위를 명확히 하기 위해 고장이 발생할 때마다 ① 발생일시, ② 제품(부품)명칭, ③ 고장 상황, ④ 고장원인, ⑤ 조치, ⑥ 대책 등에 관한 데이터를 파악하고, 소정기간의 수집된 데이터를 통계적으로 분석 ° 개선포인트와 우선순위가 명확하게 됨으로써, 효율적 보전활동의 전개가 가능하게 된다.
고장물리적 접근	° 고장 전의 상황(작업기록, 수리기록, 점검기록 등), 고장발생시의 상황(제품동작기록, 고장전파상황 등), 고장 후의 상황(손상부품의 상세상황, 제품의 위치, 상태 등)등 종합적인 데이터를 기초로 고장의 근본원인과 메커니즘을 규명 ° 고장의 근본원인을 알게 되고 이를 토대로 대책을 적용할 때 확실한 성과로 연결됨. 그렇지 않으면 고장이 재발한다.
관리적 접근	° 고장방지를 위한 관리적 접근으로서 설계도면의 수정, 검사표준서, 점검표준서의 개정, 운전매뉴얼의 개정 등에 따라 고장이 재발을 확실하게 방지하는 수단을 강구하는 것 ° 고장직후의 대책은 충분하게 실시되었지만 몇 년 경과한 후 동일한 고장이 발생된다면 충분한 방지 대책이라고 볼 수 없다.



<그림 3-156> 고장분석의 접근 방법 모식도

② 고장분석 절차

고장분석은 순서가 매우 중요하다. 이는 고장원인, 메커니즘을 규명하는 작업이 기본적으로 불가역적인 파괴적 요소가 포함되어 고장을 재현하는 것이 어렵기 때문이다. 개별 부품마다 고장분석 순서와 상세 사항은 다르지만, 일반적인 전자부품의 고장분석 절차 및 내용을 <표 3-14>에 나타내었다.

<표 3-14> 고장분석 절차 및 내용

절 차	내 용
사전조사	제품의 사용환경(온도, 습도), 발생상태(수량, 발생시기, 로트 의존성), 고장재현성의 확인
외관점검	실장상태(납땜, 역실장 유무), 단자부(오염, 플럭스 부착, 휘스커), 부품, 실장면 표면상태 확인
전기적 특성측정	실사용 전압이하에서 측정(전압인가에 의한 회복 방지), 재현되지 않는 경우에는 온도를 변화시키면서 확인
비파괴해석	이 단계에서 가능한 많은 정보를 수집, 고장내용에 맞는 각종 장비의 활용, 양품과 비교
케이스제거	소자의 영향을 최소한으로 하는 용해약품의 종류, 시간 등, 케이스 제거 후의 불량 확인
표면분석	macro 분석에서 micro 분석, 고장 내용에 맞는 각종 장비 활용
소자해제	부품구조, 재료의 사전 이해, 해체작업에 의한 소자 파괴 방지

내부분석	macro 분석에서 micro 분석, 유효한 분석기기의 조사 및 활용, 양품과 비교
고장위치 파악	양품과 다른 점 명확화, 특정 개소를 제거하면 회복되는지 과거 사례와 비교해서 동일한지 비교분석
고장메커니즘 추정	과거 고장분석사례 조회, 고장메커니즘의 추정과 적합성 평가, 재현시험의 실시
재발방지	재발방지 대책의 명확화, 고장원인으로 된 부분에 피드백

다. 신뢰성시험

일반적으로 신뢰성 시험은 제품의 수명 또는 고장률을 평가하기 위한 시험으로, 개발 및 제조 과정에서 신뢰성 향상·평가·보증을 위하여 실시되는 모든 시험을 의미한다. 신뢰성 시험은 다음과 같은 목적을 위하여 수행할 수 있다.

① 제품 개발과정에서 새로운 또는 변경된 설계(부품, 프로세스, 재료)의 설계 마진, 내환경성, 잠재적 약점과 예상하지 못한 상호작용을 평가하여 개발 위험을 감소하기 위하여

② 제품의 신뢰성(내구수명, 고장률 등)을 보증(수락시험, 로트 합부판정)하고, 계약 요구사항을 만족시키기 위하여

③ 신뢰성 예측, 시험방법 개발 등 기술적 정보를 수집하기 위하여

④ 고장메커니즘의 조사 및 고장의 재현, 사고대책 수립 및 유효성 확인

1) 신뢰성 시험의 종류

신뢰성 시험은 목적, 적용단계, 시험장소 및 가속여부에 따라 <표 3-15>와 같이 분류할 수 있다.

<표 3-15> 신뢰성 시험의 종류

기 준	내 용
시험목적	° 크게 적합시험과 결정시험으로 구분할 수 있으며, 적합시험은 아이템의 특성(성질)이 규정된 요구사항에 적합한지 여부를 판정하기 위한 시험이고, 결정시험은 아이템의 특성(성질)을 확인하기 위한 시험이다.
개발단계	° 개발단계에 따라서 개발·성장시험, 보증시험, 신뢰성수락시험, 번인(또는 ESS) 등이 있다.
시험장소	° 실험실시험과 현장시험으로 구분할 수 있다. 실험실 시험은 규정되고 제어되는 조건에서 수행되는 시험(적합 또는 결정시험)이고, 현장시험은 운용, 환경, 보전 및 측정 조건들이 기록되는 현장에서 수행되는 시험이다. ° 실험실시험은 현장조건을 모의시험 할 수도 있고, 그렇지 않을 수도 있다.

가속여부	° 가속시험과 정상시험으로 구분할 수 있다. 가속시험은 시험기간을 단축하기 위하여 기준 조건에 규정된 것보다 가혹한 스트레스를 인가하는 시험이고, 정상시험은 실 사용조건에서 인가되는 스트레스에서 수행되는 시험이다.

2) 가속시험

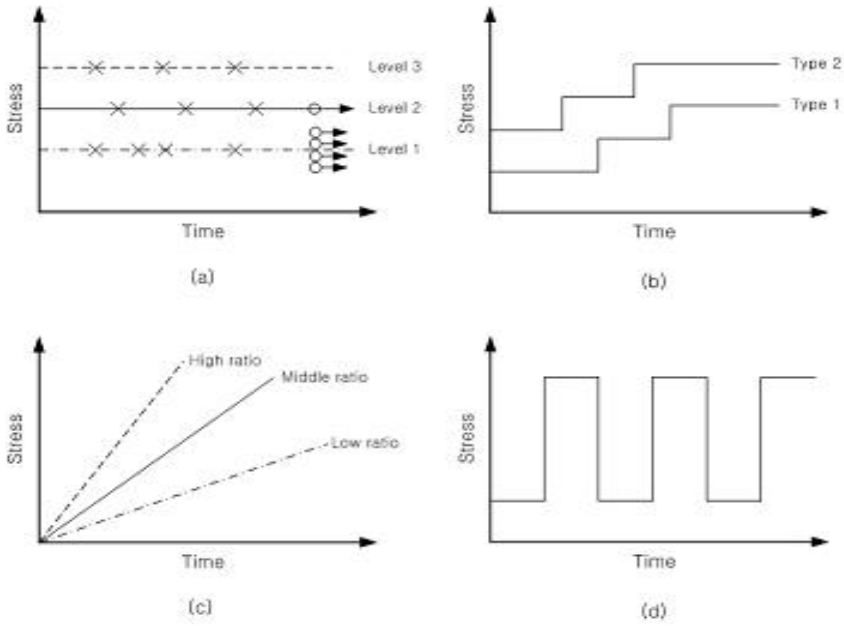
① 가속수명시험

시험기간을 단축하기 위한 목적으로 기준조건(통상 사용조건)보다 가혹한 조건에서 실시하는 시험이다. 높은 스트레스 수준에서 스트레스를 인가하는 스트레스 가속과 간헐동작 시 반복회수를 증가시키거나 연속동작 시 지속시간을 늘이는 시간 가속을 실시하여 제품의 고장 메커니즘을 촉진하여 수명을 측정하는 시험 방법이다. 따라서 가속한 조건의 시험결과로부터 기준 조건의 수명 또는 고장률을 추정하기 위해 두 조건 사이에 존재하는 규칙성을 활용하여 가속계수를 구하며, 일반적으로 두 조건에서의 고장 메커니즘이 동일해야 한다.

높은 신뢰도를 갖는 제품에 대한 적절한 신뢰성 평가 시 직면하게 되는 시간과 시험단위수의 제약을 극복하여 짧은 기간에 제품의 신뢰도와 성능을 파악하기 위해서는 가속수명시간이 절실히 필요하다.

② 가속열화시험(Accelerated Degradation Test : ADT)

수명자료 대신 열화자료를 획득하는 열화시험과 동일한 시험형태지만 가속시험과 같이 정상 사용 조건보다 높은 스트레스 조건하에서 성능특성이 시간에 따라 열화 되는 정도, 즉 열화량을 측정하여 시간에 따른 열화량 변화에 대한 모형(열화량 분포, 열화량의 시간과 스트레스에 대한 의존성)의 모수를 추정하고, 추정된 모형으로부터 정상 사용조건에서의 수명을 추정하는 시험방법이다. <그림 3-157>에 가속열화시험에서의 스트레스 부과방법을 나타내었다.



(a) 일정 스트레스 시험　　(b) 단계 스트레스 시험

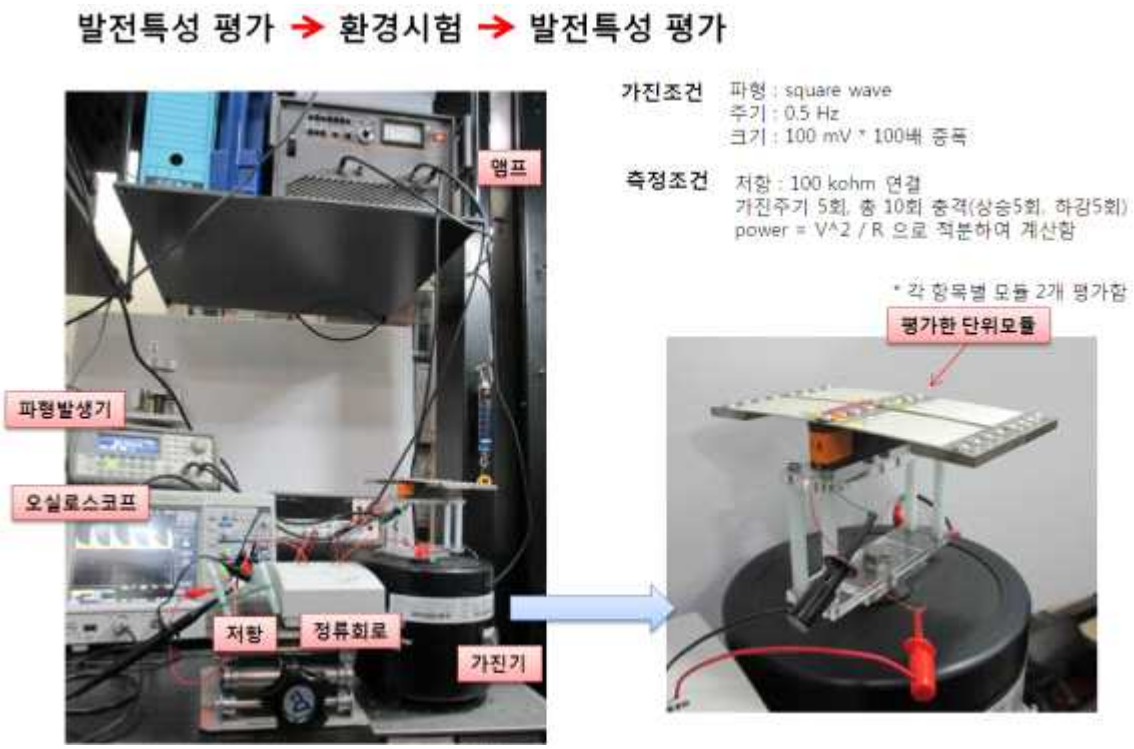
(c) 점진 스트레스 시험　　(d) 주기적 스트레스 시험

<그림 3-157> 스트레스 부과방법

라. 시험결과

1) 1차 실험

압전 발전 모듈 장치의 내구성 평가를 하기 위해서 우선 4종의 환경시험(항온항습, 열충격, 염수분무, 진동시험)을 진행하였다. 환경시험 전과 후의 비교를 위해서 환경시험 전과 후 발전특성을 평가하였다. 발전특성 평가는 파형을 발생시키고 증폭하여 가진기에 인가했을 때 가진기 상단에 부착된 압전 시트 캔틸레버가 진동하게 될 때 발생하는 발전량을 평가하고자 하였다. 내구성 평가에 사용된 압전 발전 모듈 장치는 4개의 압전 시트 캔틸레버로 구성하여 제작하였다. 압전 발전 모듈 장치에 진동을 인가한 조건은 다음과 같다. 파형은 사각파, 주기는 0.5 Hz, 진폭은 100 mV를 100배 증폭하였다. 이때 발전량 계산을 위해서 저항 100 kohm을 연결하였으며, 가진을 5회 진행하였다. 이때 상승 5회와 하강 5회로 총 10회의 충격이 압전 시트 캔틸레버에 인가된다. 이 가진에 의해 압전 시트가 변형됨에 따라 발생하는 발전량을 측정하였다.



<그림 3-158> 발전특성 평가 장비모습

환경 시험 전과 후의 발전특성 평가 결과를 <표 3-16>, <표 3-17>에 나타내었다. 진동시험의 경우 진동조건이 가혹하여 진동시험기와 압전 시트 끝단의 무게 추와의 충돌이

지속되었으며 이로인해 압전 시트의 층상 깨짐이 발생하였다. 따라서 압전 시트 전극의 단락으로 발전 특성 측정이 불가하였다. 염수분무와 항온항습의 경우 초기대비 약 20~68%의 발전특성 차이를 보였으며, 특히 열충격 시험 후 발전량의 증감율이 크게 나타났다.

<표 3-10> 환경 시험 전의 발전특성 평가 결과

시험항목	no.	sample name	측정	10회타격	10회타격	10회타격 평균	1회타격
				power(W)	power(mW)	power(mW)	power(mW)
항온항습	1	1A	1st	0.014	14.1	14.0	1.4
	2		2nd	0.014	13.9		1.4
	3		3rd	0.014	14.2		1.4
	4	1B	1st	0.009	9.0	9.2	0.9
	5		2nd	0.009	9.2		0.9
	6		3rd	0.009	9.3		0.9
-	7	2A	1st	0.015	14.6	14.9	1.5
	8		2nd	0.015	14.9		1.5
	9		3rd	0.015	15.1		1.5
	10	2B	1st	0.014	14.0	14.3	1.4
	11		2nd	0.014	14.4		1.4
	12		3rd	0.015	14.6		1.5
-	13	3A	1st	0.010	10.2	10.6	1.0
	14		2nd	0.011	10.7		1.1
	15		3rd	0.011	10.9		1.1
	16	3B	1st	0.011	11.2	11.3	1.1
	17		2nd	0.011	11.3		1.1
	18		3rd	0.011	11.4		1.1
열충격	19	4A	1st	0.012	12.5	12.7	1.2
	20		2nd	0.013	12.8		1.3
	21		3rd	0.013	13.0		1.3
	22	4B	1st	0.009	8.9	8.9	0.9
	23		2nd	0.009	8.9		0.9
	24		3rd	0.009	9.0		0.9
염수분무	25	5A	1st	0.016	16.1	16.4	1.6
	26		2nd	0.016	16.4		1.6
	27		3rd	0.017	16.6		1.7
	28	5B	1st	0.014	13.7	14.2	1.4
	29		2nd	0.014	14.2		1.4
	30		3rd	0.015	14.5		1.5
진동시험	31	6A	1st	0.014	13.8	14.0	1.4
	32		2nd	0.014	14.0		1.4
	33		3rd	0.014	14.3		1.4
	34	6B	1st	0.015	15.5	15.6	1.5
	35		2nd	0.016	15.5		1.6
	36		3rd	0.016	15.8		1.6

<표 3-17> 환경 시험 후의 발전특성 평가 결과

시험항목	no.	sample name	측정	10회타격 power(W)	10회타격 power(mW)	10회타격 평균 power(mW)	환경시험 대비 power(mW)	1회타격 power (mW)
항온항습	1	1A	1st	0.011	10.8	10.8	-23%	1.1
	2		2nd	0.011	10.9			1.1
	3		3rd	0.011	10.8			1.1
	4	1B	1st	0.005	5.3	5.4	-41%	0.5
	5		2nd	0.005	5.4			0.5
	6		3rd	0.005	5.5			0.5
-	7	2A	1st		0.0	0.0	-	0.0
	8		2nd		0.0			0.0
	9		3rd		0.0			0.0
	10	2B	1st		0.0	0.0	-	0.0
	11		2nd		0.0			0.0
	12		3rd		0.0			0.0
-	13	3A	1st		0.0	0.0	-	0.0
	14		2nd		0.0			0.0
	15		3rd		0.0			0.0
	16	3B	1st		0.0	0.0	-	0.0
	17		2nd		0.0			0.0
	18		3rd		0.0			0.0
열충격	19	4A	1st	0.005	4.9	5.1	-60%	0.5
	20		2nd	0.005	5.2			0.5
	21		3rd	0.005	5.4			0.5
	22	4B	1st	0.000	0.5	0.5	-94%	0.0
	23		2nd	0.001	0.5			0.1
	24		3rd	0.001	0.5			0.1
염수분무	25	5A	1st	0.012	11.9	12.3	-25%	1.2
	26		2nd	0.012	12.4			1.2
	27		3rd	0.013	12.7			1.3
	28	5B	1st	0.005	4.6	4.6	-68%	0.5
	29		2nd	0.005	4.5			0.5
	30		3rd	0.005	4.6			0.5
진동시험	31	6A	1st	0.000	0.1	0.0	소자깨짐	0.0
	32		2nd	0.000	0.0			0.0
	33		3rd	0.000	0.0			0.0
	34	6B	1st	0.000	0.0	0.0	소자깨짐	0.0
	35		2nd	0.000	0.0			0.0
	36		3rd	0.000	0.0			0.0

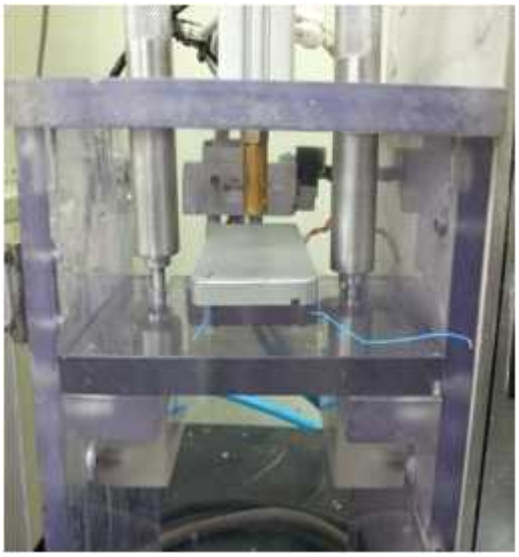
내구성 평가 1차 실험 결과를 통하여 고온, 저온, 열충격, 염수분무에 의한 압전소자의 손상 방지 기술이 필요하고 또한, 압전소자 전극 산화를 방지하기 위한 보완이 필요하며, 큰 가속도에 의한 진동시험에 의해 압전 시트가 손상되지 않도록 하기위한 보완작업이 필요하다.

2) 2차 실험

2차 내구성 평가에서는 1차 내구성 평가에서 도출된 문제점을 개선하기 위하여 전극 산화방지를 위해 소자, 회로 및 금속판에 실리콘 코팅을 진행하였고, 진동시험시 압전 시트가 파손되지 않도록 압전 시트의 진동폭을 제한할 수 있는 구조로 제작하여 발전 모듈의 환경적 요소에 대한 안정성 평가를 수행하였다. 환경적 요소에 대한 안정성 평가는 실제 도로환경보다 가혹한 조건에서 저온, 고온, 항온항습, 열충격, 진동, 염수분무 시험을 진행하였다. 내구성 평가는 평가 항목별 각각 단위 발전 모듈을 2개씩 제작하여 진행하였고, <그림 3-159> 내구성 시험 전, 후 발전량 평가를 비교하였다. 발전량 평가는 <그림 3-160> 장비를 이용하여 발전모듈에 자동 타격(공압 이용)을 1회 가한 뒤 발전량을 측정하였다.



<그림 3-159> 내구성 평가를 위한 압전 발전 모듈



<그림 3-160> 발전량 평가용 자동 타격기

(1) 저온 안정성 시험

압전 발전 모듈의 저온에 대한 안정성 평가를 위해 <그림 3-161>의 열충격 시험기(TSA-41L, ESPEC)를 사용하여 시험 모듈을 -20℃에서 240hr 동안 유지시킨 후 상온에서 발전량을 평가하였다. 본 시험에 사용한 열충격 시험기는 chamber 안의 온도를 최저 -77℃ ~ 최고 205℃ 까지 조절할 수 있다.



<그림 3-161> 열충격 시험기

<표 3-18>는 저온 시험 결과이다. -20℃ 240시간 방치 test에서 발전 효율이 -6.0, -5.84% 감소하여 저온안정성이 우수함을 확인할 수 있었다. (개발 목표 -10% 감소

이내)

<표 3-18> 저온 시험 전 후 발전특성 값

시료명	발전특성			비고
	저온 시험 전(㎽)	저온 시험 후(㎽)	시험 전후 변화율(%)	
압전발전모듈-5	81.12	76.25	- 6.00	
압전발전모듈-6	80.33	75.64	- 5.84	

시 험 결 과

1. 시험품명 및 시험항목

1) 시험품명 : 입전발전모듈-5, 6



2) 시험항목 : 저온(-20℃, 240 시간) 시험 후 발전특성 비교

2. 시험 결과

시료명	발전특성			비고
	저온 시험 전(㎼)	저온 시험 후(㎼)	시험 전후 변화율(%)	
입전발전모듈-5	81.12	76.25	- 6.00	
입전발전모듈-6	80.33	75.64	- 5.84	

3. 시험조건(시험실) : (23 ± 2)℃, 50 % R.H. 이하

4. 시험장비

장 비 명	제 조 사	모 델
Temperature & humidity chamber	ACS	Challenge 250
Oscilloscope	RIGOL	DS6062
타격시험기	광성전업	-

이상 끝.

위 링크는 추후 변경될수도 있으며 그렇게될때 홈페이지로 시 서비스는 없습니다.

ktl 한국산업기술시험원 Korea Testing Laboratory

성적서 번호 : 12-041825-01-3

총 2 페이지 중 1 페이지

시 험 성 적 서

1.신청자

회사명 : 한국세라믹기술원

주 소 : 서울특별시 금천구 디지털로 10길 77(가산동)

2.시험품

품 명 : 압전발전모듈

모델/형식 : 캔틸레버 방식

제 조 자 : 의뢰자가 제시한 시험품.

3. 시험규격/방법 : 의뢰자가 제시한 시험방법

4. 시험 결과 : 별첨참조

5. 성적서 용도 : 한국건설교통기술평가원 제출용

6. 접수 일자 : 2012년 06월 26일

7. 발급 일자 : 2012년 07월 26일

시 험 자 신민철

재료평가센터 신민철

승 인 자 J.K.Song

재료평가센터 송준영

본 성적서의 시험결과는 신청자로부터 제공된 시험품에만 적용되며, 본원의 사전승인없이는 본 성적서의 전부 혹은 일부를 무사하여 사용할 수 없습니다.

한국산업기술시험원장

서울특별시 구로구 디지털로26길 87(우 152-718)
Tel. : 02-860-1575
http://www.ktl.re.kr
Fax. : 02-860-1649

FP204-01-02

(2) 고온 안정성 시험

압전 발전 모듈의 고온에 대한 안정성을 평가하기 위해 100℃에서 240hr 동안 유지시킨 후 상온에서 발전량 평가를 수행하였다.

<표 3-19>은 고온 시험 결과이다. 100℃ 240시간 방치 test에서 발전 효율이 -8.53, -5.13% 감소하여 고온 안정성이 우수함을 확인할 수 있었다. (개발 목표 -10% 감소 이내)

<표 3-19> 고온 시험 전 후 발전특성 값

시료명	발전특성			비고
	고온 시험 전(㎼)	고온 시험 후(㎼)	시험 전후 변화율(%)	
압전발전모듈-3	78.10	71.44	- 8.53	
압전발전모듈-4	79.96	75.86	- 5.13	

ktl 한국산업기술시험원 Korea Testing Laboratory

성적서 번호 : 12-041825-01-2

총 2 페이지 중 1 페이지

시 험 성 적 서

1.신청자

회사명 : 한국세라믹기술원

주 소 : 서울특별시 금천구 디지털로 10길 77(가산동)

2.시험품

품 명 : 압전발전모듈

모델/형식 : 캔틸레버 방식

제 조 자 : 의뢰자가 제시한 시험품.

3. 시험규격/방법 : 의뢰자가 제시한 시험방법.

4. 시험 결과 : 별첨참조

5. 성적서 용도 : 한국전설표풍기술평가원 제출용

6. 접수 일자 : 2012년 06월 26일

7. 발급 일자 : 2012년 07월 26일

시 험 자 신민철

재료평가센터 신민철

승 인 자 J.K.성

재료평가센터 송준성

본 성적서의 시험결과는 신청자로부터 제공된 시험품에만 적용되며, 본원의 사전승인없이는 본 성적서의 전부 혹은 일부를 복사하여 사용할 수 없습니다.

한국산업기술시험원장

서울특별시 구로구 디지털로26길 87(주 152-718)
http://www.ktl.re.kr
Tel. : 02-860-1575
Fax. : 02-860-1649

FP2M-01-02

시 험 결 과

1. 시험품명 및 시험항목

1) 시험품명 : 압전발전모듈-3, 4





2) 시험항목 : 고온(100℃, 240 시간) 시험 후 발전특성 비교

2. 시험 결과

시료명	발전특성			비고
	고온 시험 전(μW)	고온 시험 후(μW)	시험 전후 변화율(%)	
압전발전모듈-3	78.10	71.44	- 8.53	
압전발전모듈-4	79.96	75.86	- 5.13	

3. 시험조건(시험실) : (23 ± 2)℃, 50 % R.H. 이하

4. 시험장비

장 비 명	제 조 자	모 델
Temperature & humidity chamber	ACS	Challenge 250
Oscilloscope	RIGOL	DS6052
타격시험기	강성산업	-

이상 끝.

위변조 방지를 위해 본 문서확인은 당장 드림그룹에서 무료로도 이용하실 수 있습니다.

(3) 항온항습 시험

압전 발전 모듈의의 습도에 대한 안정성을 평가하기 위해 온도를 85℃로 고정하고, RH 85%에서 240hr 동안 유지시킨 후 상온에서 발전량 평가를 실시하였다. 시험을 위해 사용한 장비는 <그림 3-162>의 항온항습기(CH250, ACS)이며, 이 장비의 구동 범위는 -40~180℃ 및 RH 10~98% 이다.



<그림 3-162> 항온항습기

<표 3-20>는 항온항습 시험 결과이다. 8585(85℃ RH85%) 조건 240hr 방치 test에서 발전 효율이 -6.7, -6.67% 감소하여 내습성이 우수함을 확인할 수 있었다.(개발 목표 -10% 감소 이내)

<표 3-20> 항온항습 시험 전 후 발전특성 값

시료명	발전특성			비고
	항온항습 시험 전(㎼)	항온항습 시험 후(㎼)	시험 전후 변화율(%)	
압전발전모듈-1	80.89	75.47	- 6.70	
압전발전모듈-2	80.10	74.76	- 6.67	

ktl 한국산업기술시험원 Korea Testing Laboratory

성적서 번호 : 12-041825-01-1

총 2 페이지 중 1 페이지

시 험 성 적 서

1.신청자

회사명 : 한국세라믹기술원

주 소 : 서울특별시 강서구 디지털로 10길 77(가산동)

2.시험품

품 명 : 압전발전모듈

모델/형식 : 캔틸레버 방식

제 조 자 : 의뢰자가 제시한 시험품.

3. 시험규격/방법 : 의뢰자가 제시한 시험방법.

4. 시험 결과 : 별첨참조

5. 성적서 용도 : 한국건설교통기술평가원 제출용

6. 접수 일자 : 2012년 06월 26일

7. 발급 일자 : 2012년 07월 26일

시 험 자 신민철

재료평가센터 신민철

승 인 자 J.K성

재료평가센터 송준장

본 성적서의 시험결과는 신청자로부터 제공된 시험품에만 적용되며, 본원의 사전승인없이는 본 성적서의 전부 혹은 일부를 복사하여 사용할 수 없습니다.

한국산업기술시험원장

서울특별시 구로구 디지털로26길 87 (우 152-718)
Tel. : 02-860-1575
http://www.ktl.re.kr
Fax. : 02-860-1649

FP204-01-02

시 험 결 과

1. 시험품명 및 시험항목

1) 시험품명 : 입전발전모듈-1, 2



2) 시험항목 : 항온항습(85℃, 85 % R. H. 240 시간) 시험 후 발전특성 비교

2. 시험 결과

시료명	발전특성			비고
	항온항습 시험 전(㎷)	항온항습 시험 후(㎷)	시험 전후 변화율(%)	
입전발전모듈-1	80.89	75.47	- 6.70	
입전발전모듈-2	80.10	74.76	- 6.67	

3. 시험조건(시험실) : (23 ± 2)℃, 50 % R.H. 이하

4. 시험장비

장 비 명	제 조 자	모 델
Temperature & humidity chamber	ACS	Challenge 250
Oscilloscope	RIGOL	DS6062
타격시험기	강성산업	-

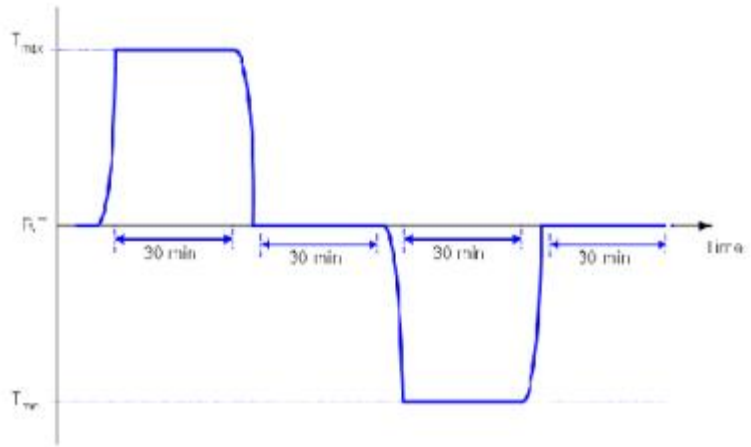
이상 끝.

KTSM-02-01

위 링크는 추후 전자확인을 위한 드론그림과의 혼란방지를 위해 삽입되었습니다.

(4) 열충격 안정성 시험

압전 발전 모듈의 열충격에 대한 안정성을 평가하기 위해 열충격시험기(TSA-41L, ESPEC)를 사용하여 주기적으로 열충격을 인가한 후 상온에서 발전량 평가를 실시하였다. 열충격시험 조건은 <그림 3-163>에 나타낸 것과 같이 고온에서 30min, 상온에서 30min, 저온에서 30min, 상온에서 30min 유지하는 것을 1cycle로 하여 [100℃/-20℃] 조건에서 100cycle 동안 실시하였다.



<그림 3-163> 열충격 사이클 모식도

<표 3-21>는 열충격 시험 결과이다. [100℃/-20℃] 100cycle test에서 발전 효율이 -2.47, -8.08% 감소하여 열충격 안정성이 우수함을 확인할 수 있었다. (개발 목표 -10% 감소 이내)

<표 3-21> 열충격 시험 전 후 발전특성 값

시료명	발전특성			비고
	열충격 시험 전(㎼)	열충격 시험 후(㎼)	시험 전후 변화율(%)	
압전발전모듈-7	76.43	74.54	- 2.47	
압전발전모듈-8	81.76	75.15	- 8.08	

ktl 한국산업기술시험원 Korea Testing Laboratory

성적서 번호 : 12-041825-01-4

시 험 성 적 서

1.신청자

회사명	: 한국세라믹기술원
주 소	: 서울특별시 금천구 디지털로 10길 77(가산동)

2.시험품

품 명	: 압전발전모듈
모델/형식	: 캔틸레버 방식
제 조 자	: 의뢰자가 제시한 시험품.

3. 시험규격/방법 : 의뢰자가 제시한 시험방법.

4. 시험 결과 : 별첨참조

5. 성적서 용도 : 한국건설교통기술평가원 제출용

6. 접수 일자 : 2012년 06월 26일

7. 발급 일자 : 2012년 07월 26일

시 험 자 신민철

재료평가센터 신민철

승 인 자 J.K성

재료평가센터 송준엽

본 성적서의 시험결과는 신청자로부터 제공된 시험품에만 적용되며, 본원의 사전승인없이는 본 성적서의 전부 혹은 일부를 복사하여 사용할 수 없습니다.

한국산업기술시험원장

서울특별시 구로구 디지털로26길 874수 152-718)
http://www.kitre.kr
Tel. : 02-860-1575
Fax. : 02-860-1649

위변조 여부는 추후 전자확인을 통해 프로그램에서 확인하시기 바랍니다.

시 험 결 과

1. 시험품명 및 시험항목

1) 시험품명 : 압전발전모듈-7, 8



2) 시험항목 : 열충격(1회 주기(100℃→ 25℃→ -20℃→ 25℃, 각 30분), 100 Cycle) 시험 후 압전특성 비교

2. 시험 결과

시료명	압전특성			비고
	열충격 시험 전(㎂)	열충격 시험 후(㎂)	시험 전후 변화율(%)	
압전발전모듈-7	76.43	74.54	- 2.47	
압전발전모듈-8	81.76	75.15	- 8.08	

3. 시험조건(시험실) : (23 ± 2)℃, 50 % R.H. 이하

4. 시험장비

장 비 명	제 조 자	모 델
Thermal Shock chamber	TABAI ESPEC	TSA-41L
Oscilloscope	RIGOL	DS6052
미적시험기	광성산업	-

이상 끝.

FT204-002-01

※ 이 보는 주요 손괴확인용 이므로 이용고객에서 복제대용시 사용하는 것이 아닙니다.

(5) 염수분부 시험

압전 발전 모듈의 염수에 대한 안정성을 평가하기 위해 KS D 9502 방법을 이용하여 염수분무 시험을 진행한 뒤 상온에서 발전량 평가를 실시하였다. 염수분무는 KS D 9502 조건으로 염수에 노출된 환경에서 10시간 방치 하였다.

<표 3-22>은 염수분무 시험 결과이다. 시험결과 발전 효율이 -6.23, -9.78% 감소하여 염습 안정성이 우수함을 확인할 수 있었다. (개발 목표 -10% 감소 이내)

<표 3-22> 염수분무 시험 전 후 발전특성 값

시료명	발전특성			비고
	염수분부 시험 전(μW)	염수분무 시험 후(μW)	시험 전후 변화율(%)	
압전발전모듈-9	79.97	74.99	- 6.23	
압전발전모듈-10	83.30	75.15	- 9.78	

ktl 한국산업기술시험원 Korea Testing Laboratory

성적서 번호 : 12-041825-01-5

총 2 페이지 중 1 페이지

시 험 성 적 서

1.신청자

회사명	: 한국세라믹기술원
주 소	: 서울특별시 금천구 디지털로 10길 77(가산동)

2.시험품

품 명	: 압전발전모듈
모델/형식	: 캔틸레버 방식
제 조 자	: 의뢰자가 제시한 시험품.

3. 시험규격/방법	: 의뢰자가 제시한 시험방법.
4. 시험 결과	: 별첨참조
5. 성적서 용도	: 한국건설교통기술평가원 제출용
6. 접수 일자	: 2012년 06월 26일
7. 발급 일자	: 2012년 07월 26일

시 험 자 신민철

재료평가센터 신민철

승 인 자 J.K성

재료평가센터 송준용

본 성적서의 시험결과는 신청시료부터 제공된 시험품에만 적용되며, 본원의 사전승인없이는 본 성적서의 일부 혹은 일부를 복사하여 사용할 수 없습니다.

한국산업기술시험원장

서울특별시 구로구 디지털로26길 87(수 152-718) Tel. : 02-860-1575
http://www.ktl.re.kr Fax. : 02-860-1649

FP004-01-02

시 험 결 과

1. 시험품명 및 시험항목

1) 시험품명 : 압전발진모듈-9, 10





2) 시험항목 : 염수분무(5% NaCl 10 시간 분무) 시험 후 발진특성 비교

2. 시험 결과

시료명	발진특성			비고
	염수분무 시험 전(㎒)	염수분무 시험 후(㎒)	시험 전후 변화율(%)	
압전발진모듈-9	79.97	74.99	- 6.23	
압전발진모듈-10	83.30	75.15	- 9.78	

3. 시험조건(시험실) : (23 ± 2)℃, 50 % R.H. 이하

4. 시험장비

장 비 명	제 조 자	모 델
Salt spray tester	Ascott	S 1000
Oscilloscope	RIGOL	DS6062
타격시험기	금성산업	-

이상 끝.

FT204-02-01

e-fri 인크는 추후 전자화인을 대조 프로그램에서 원본대조시 사용되는 2D코드입니다.

(6) 진동 시험

압전 발전 모듈의 진동에 대한 내구성을 평가하기 위해 KS C 0240 방법을 이용하여 지속적으로 진동을 가한 뒤 상온에서 발전량 평가를 실시하였다.

<표 3-23>은 진동 시험 결과이다. 시험결과 발전 효율이 -8.39, -7.37% 감소하여 진동 안정성이 우수함을 확인할 수 있었다. (개발 목표 -10% 감소 이내)

<표 3-23> 진동 시험 전 후 발전특성 값

시료명	발전특성			비고
	진동 시험 전(㎷)	진동 시험 후(㎷)	시험 전후 변화율(%)	
압전발전모듈-11	76.56	70.14	- 8.39	
압전발전모듈-12	75.02	69.49	- 7.37	

ktl 한국산업기술시험원 Korea Testing Laboratory

성적서 번호 : 12-041825-01-G

총 2 페이지 중 1 페이지

시 험 성 적 서

1.신청자

회사명 : 한국세라믹기술원

주 소 : 서울특별시 금천구 디지털로 10길 77(가산동)

2.시험품

품 명 : 압전발전모듈

모델/형식 : 캔틸레버 방식

제 조 자 : 의뢰자가 제시한 시험품.

3. 시험규격/방법 : 의뢰자가 제시한 시험방법.

4. 시험 결과 : 별첨참조

5. 성적서 용도 : 한국건설표준기술평가원 제출용

6. 접수 일자 : 2012년 06월 26일

7. 발급 일자 : 2012년 07월 26일

시 험 자 신민철

재료평가센터 신민철

승 인 자 J.K.송

재료평가센터 송준광

본 성적서의 시험결과는 신청자로부터 제공된 시험품에만 적용되며, 본원의 사전승인없이는 본 성적서의 전부 혹은 일부를 복사하여 사용할 수 없습니다.

한국산업기술시험원장

서울특별시 구로구 디지털로26길 87(우 152-718)
Tel. : 02-860-1575
http://www.ktl.re.kr
Fax. : 02-860-1649

이 문서는 출력 보안설정을 마크 프로그램에서 문서열람 시 사용자 정보가 표시됩니다.

시 험 결 과

1. 시험품명 및 시험항목

1) 시험품명 : 압전발전모듈-11, 12





2) 시험항목 : 진동(10-55Hz, 1G, 50 cycle) 시험 후 발전특성 비교

2. 시험 결과

시료명	발전특성			비고
	진동 시험 전(㎷)	진동 시험 후(㎷)	시험 전후 변화율(%)	
압전발전모듈-11	76.56	70.14	- 8.39	
압전발전모듈-12	75.02	69.49	- 7.37	

3. 시험조건(시험실) : (23 ± 2)℃, 50 % R.H. 이하

4. 시험장비

장 비 명	제 조 사	모 델
Vibration tester	LDS	V 726
Oscilloscope	RIGOL	DS6062
타격시험기	강성산업	-

이상 끝.

FT204-02-01

* 위 0.3는 측정 불확도를 제외한 결과값으로 인증서에 사용되는 것은 아닙니다.

6개 항목(저온, 고온, 항온항습, 열충격, 염수분무, 진동)에 대한 내구성 시험결과 가혹 조건에서도 모두 10% 미만의 발전 효율이 감소하여 내구성이 우수함을 확인할 수 있었다. 각각의 시험에서 발전 효율이 감소한 것은 소자 및 모듈 구성품들이 열화되어 성능이 감소한 것으로 판단된다. 그러나 이번 시험은 가혹한 조건에서 시험한 것이므로 도로 환경에서의 내구성은 더 우수할 것으로 판단된다.

내구성 시험(저온, 고온, 항온항습, 열충격, 진동, 염수분무)의 시험 방법 선정 및 발전효율 감소 −10% 목표의 선정 근거 제시

압전 에너지 하베스터에 대한 내구성 평가 기준 및 표준화 방법은 전무하며, 내구성 시험은 압전소자를 이용한 제품에 대한 내구성 즉 세척용 초음파부품의 신뢰성 평가기준(RS B 0012)를 참조하여 선정하였다.

시험방법 선정은 아래와 같다.

→ 압전 에너지 하베스터에 대한 내구성 평가 기준 및 표준화 방법은 전무함

→ 내구성 시험은 압전소자를 이용한 제품에 대한 내구성 즉 세척용 초음파부품의 신뢰성 평가기준 (RS B 0012)를 참조하여 선정함

: RS B 0012에서는 내구성 시험시 온,습도 시험을 제시하고 있으나, 본 연구에서는 제시된 온,습도 항목 외 진동, 염수분무 등의 시험을 추가하였고, 시험조건도 더 가혹한 조건으로 설정함

· 발전효율 감소 −10% 목표 선정

RS B 0012 온습도 시험조건
7.2.1 온습도시험 a) IEC 60068-2-38의 규정에 따라 시험품의 전원을 차단한 후 온도 55±2 ℃, 상대습도 20 %의 조건에서 24 시간 유지한 후 24 시간동안 안정화한다. b) 고온(65 ℃), 상온, 저온(-10 ℃)을 24 시간 1 사이클로 하여 10 회 반복한다. 이때, 처음 9 회 중 순서에 관계없이 4 회는 저온부의 노출이 없는 상태이어야 한다.

→ RS B 0012에서는 내구성 평가 후 고장이 아닌 범위를 평가항목별로 상이하지만, ±10%, ±30% 이내로 제시하고 있음.

본 연구에서는 내구성 시험 후 목표치를 위의 근거를 토대로 ±10% 이내로 설정하였다. 모듈의 신뢰성 시험이 몇 개의 샘플을 적용해서 이루어졌는가에 대한 정보가 부재하여, 제시된 시험평가는 각 두 개씩 적용해서 수행하였다. 좀 더 신뢰성 있는 데이터 제시를 위해서는 샘플 수를 늘릴 필요가 있으며, 통계처리가 요구된다.

RS B 0012 규격에 의하면 필요한 시료는 제조공정을 대표할 수 있는 최소의 개수로 한다로 명시되어 있으며, 성적서를 발급받기 위해 공인시험기관에 의뢰한 샘플이 각 항목별 2개이며, 공인기관 시험 의뢰 전 컨소시엄 내에서 각 항목별 3개의 샘플을 선행 분석하였다.

구분	RS B 0012
내용	5.샘플링 방법 신뢰성 평가시험에 필요한 시료는 제조공정을 대표할 수 있는 최소의 개수로 한다.

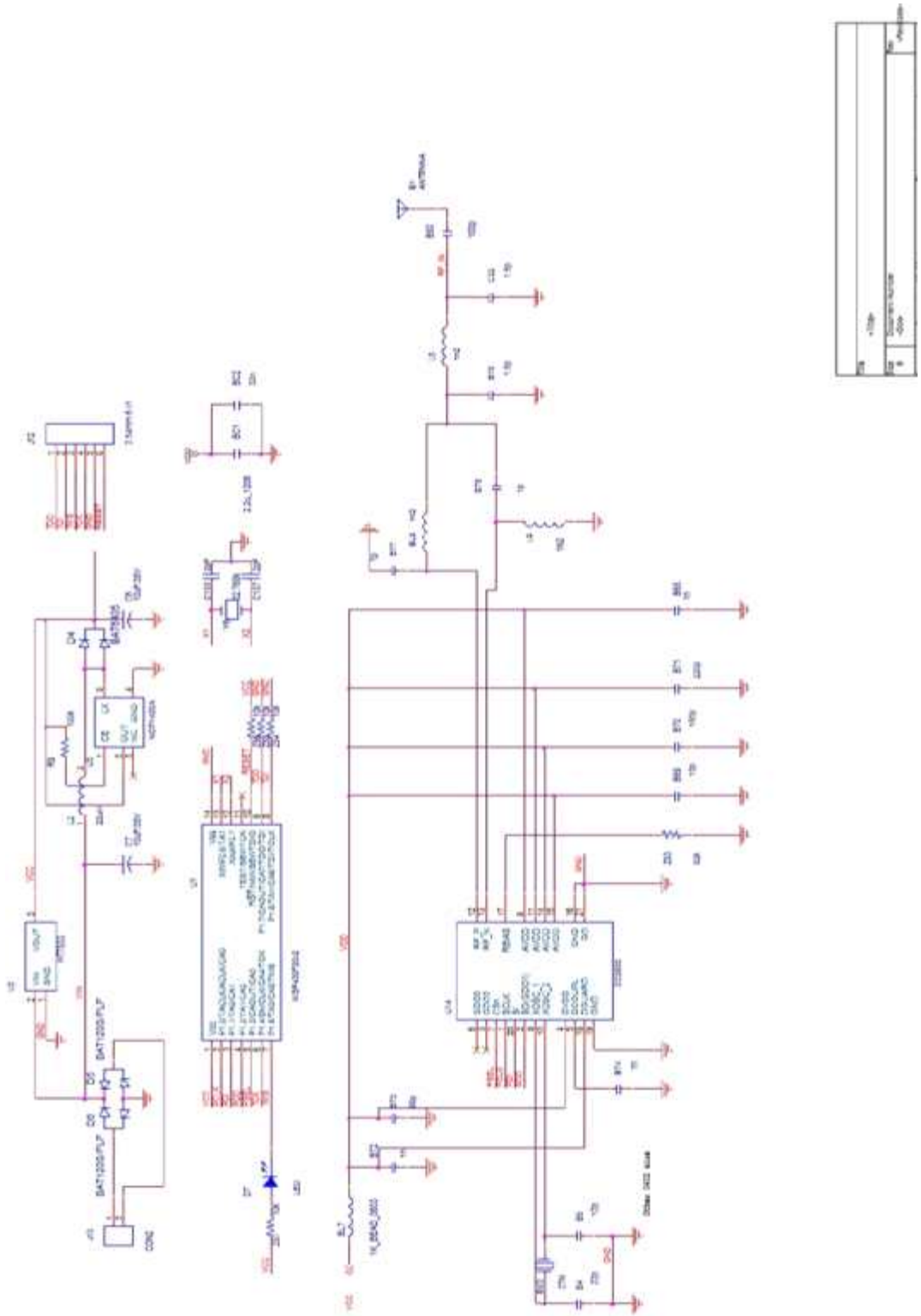
RS B 0012 규격에 의하면 필요한 시료는 제조공정을 대표할 수 있는 최소의 개수로 한다로 명시되어 있으며, 또한 lot 검사를 할 경우 샘플링 방식은 인수, 인도 당사자간의 협정에 따른다고 명시되어 샘플 수량에 대한 정확한 기준은 없다

본 연구에서는 표준 공정을 거쳐 제조된 30EA의 샘플 중 총 12개의 샘플링을 진행하여 총 6항목을 분석하였다.(자체적으로 항목별 샘플을 각각 2개로 설정함)

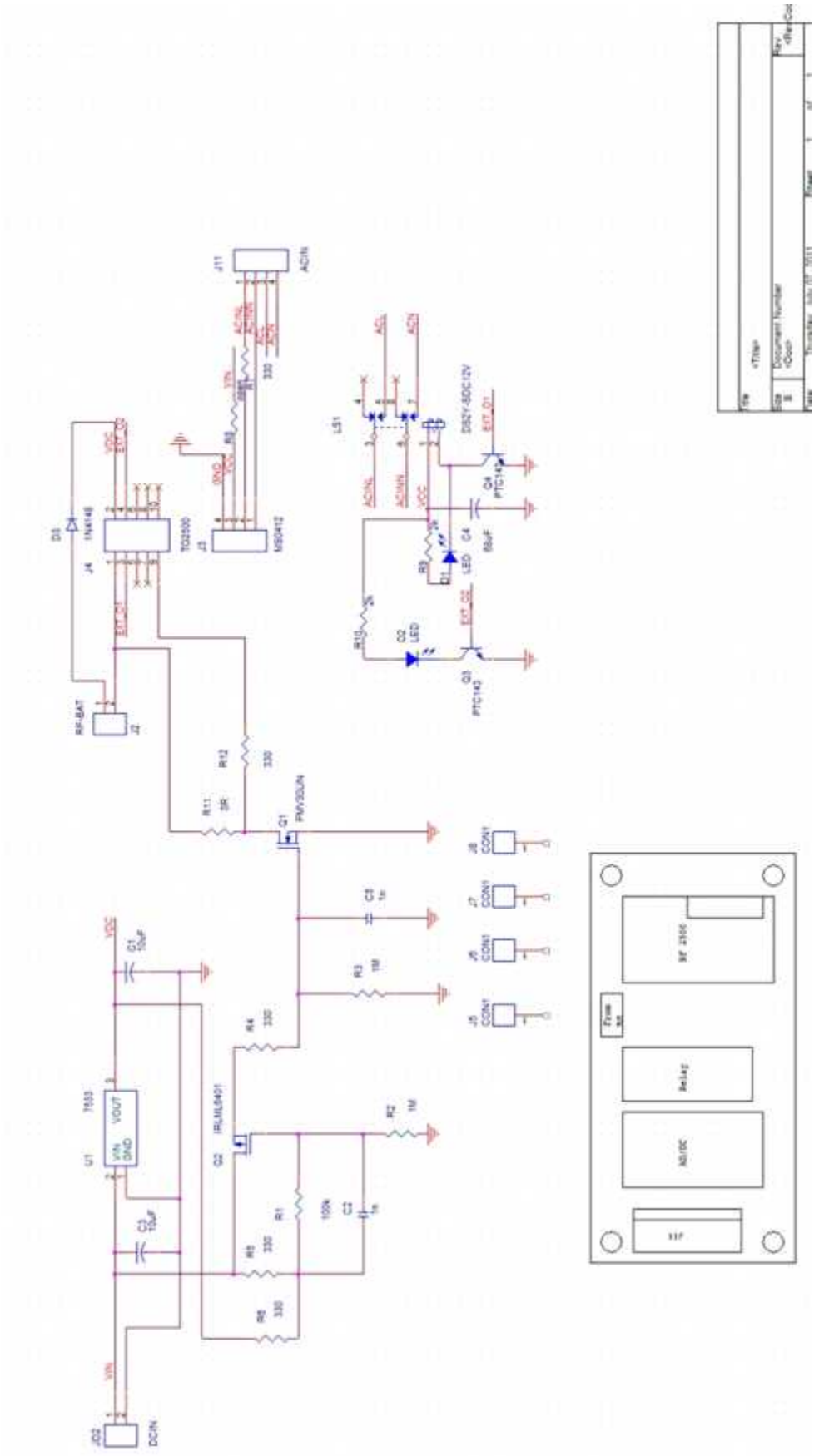
※ RS B 0012 규격 첨부

3. 압전무선스위치 제작

3-1. 저전력 구동 무선통신 송· 수신 모듈개발



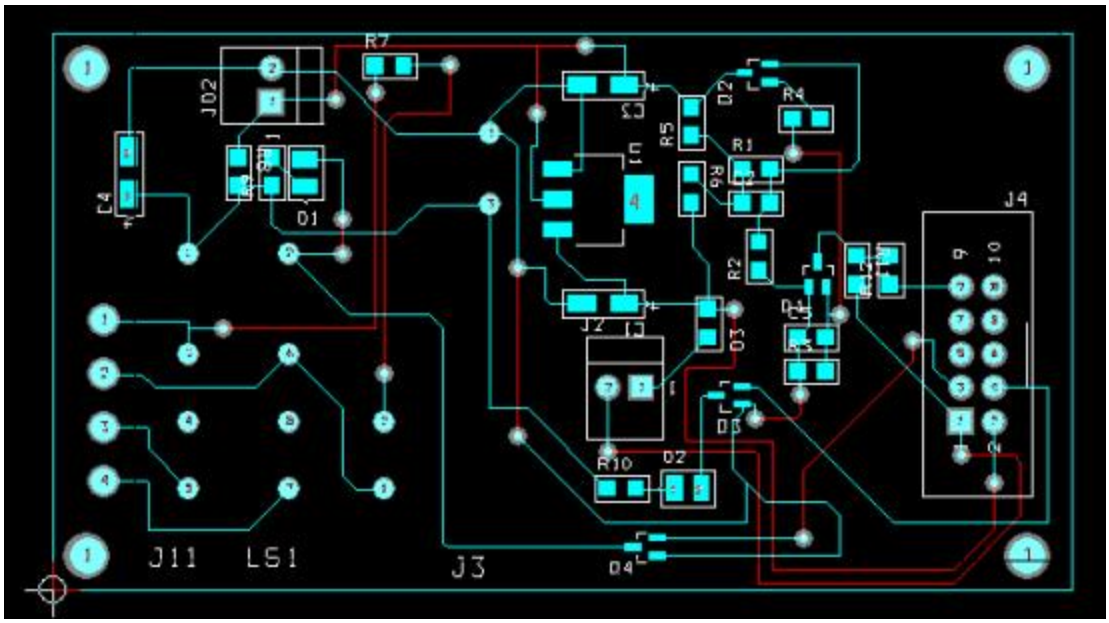
<그림 3-164> 무선스위치 송신기 회로도



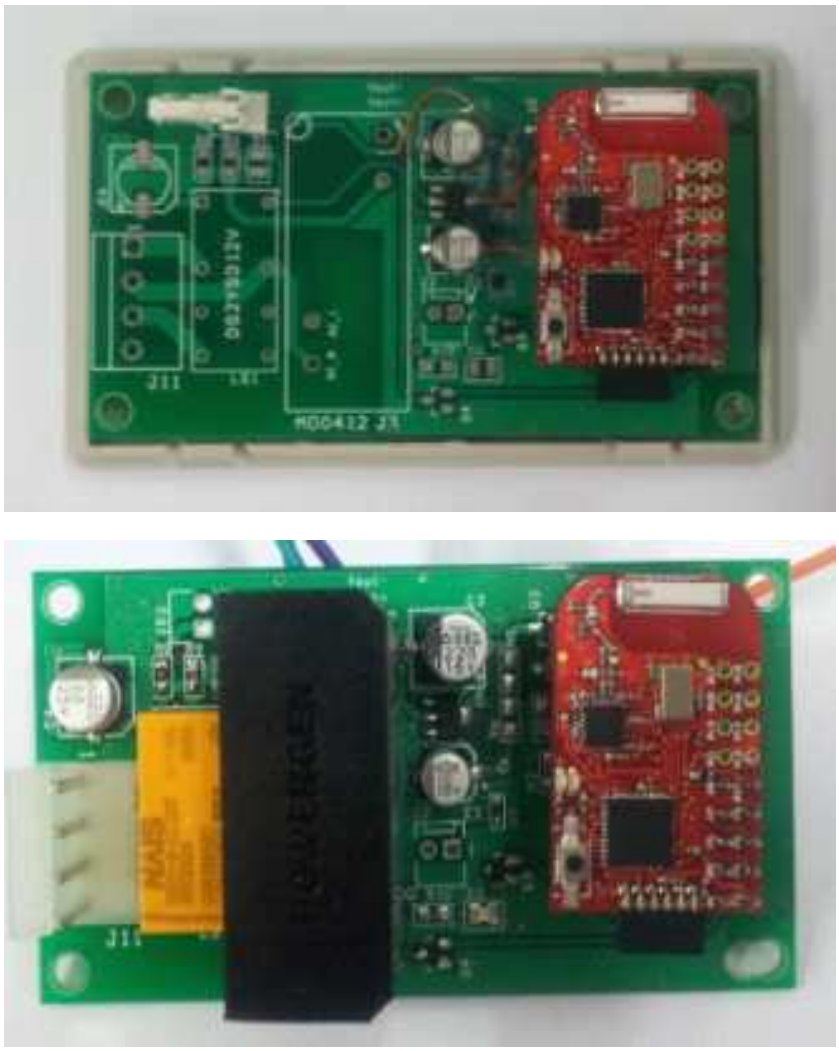
<그림 3-165> 무선스위치 수신기 회로도

압전무선스위치는 압전발전모듈과 연동하여 RF 무선통신을 통해 압전발전모듈에서 나온 신호를 전달하는 장치다. 진동 및 충격에 의하여 압전발전모듈이 전력을 발생하면 압전무선스위치의 송신부에서는 그 것을 감지하여 RF 무선통신을 통해 수신부로 신호를 전송한다. 수신부에서는 신호를 수신하게 되면 정해진 시간동안 어플리케이션 장치를 동작시키는 역할을 한다.

무선스위치 송신기와 수신기는 RF무선 통신을 통하여 신호를 주고받는다. <그림 3-164>와 <그림 3-165>은 압전무선스위치 송·수신기 회로도에 나타나듯이 두 회로 모두 RF통신을 위하여 eZ430-RF2500 Chip을 사용한다. 무선스위치 수신기는 220V 정격전압을 컨버터(MS0412)를 거쳐 12V로 낮춘 후 보드에 전원을 공급하게 설계되어 있으며 RF chip 특성상 전원을 동작시키기 위해서는 3.3V의 전압이 필요하기 때문에 12V 전류가 레귤레이터(HT7533)을 거쳐 3.3V로 낮추어 RF chip의 전원을 공급하도록 설계되었다.

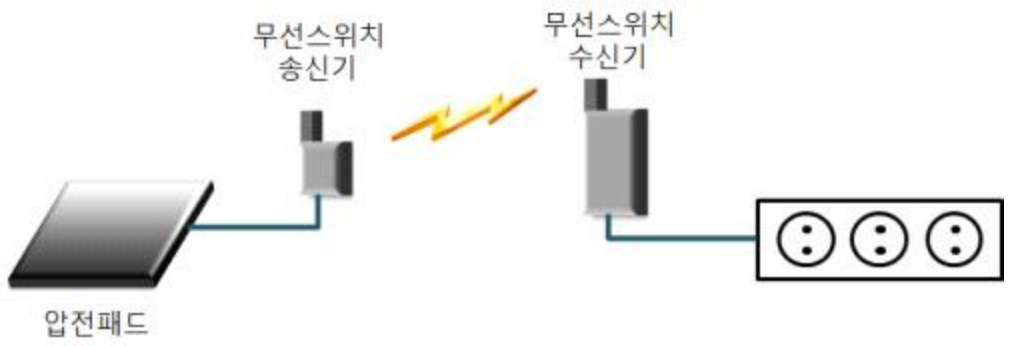


<그림 3-166> 압전무선스위치 PCB



<그림 3-167> 무선스위치 송·수신기 모듈

<그림 3-167>는 무선스위치 송·수신기 PCB를 제작하여 그 위에 SMT수납작업을 마친 사진이다. 무선스위치 송신기의 경우 압전패드를 통해 전류가 흐르면 그에 반응하여 수신기를 향해서 신호만 보내는 역할을 하기 때문에 부품의 개수가 적지만 무선스위치 수신기의 경우는 평소 송신기로부터 신호가 없을 때에도 정격전압을 통해 대기상태로 유지하다가 신호를 받으면 220V의 정격전압을 출력해야 하기 때문에 부품의 개수가 더 많이 들어간다.

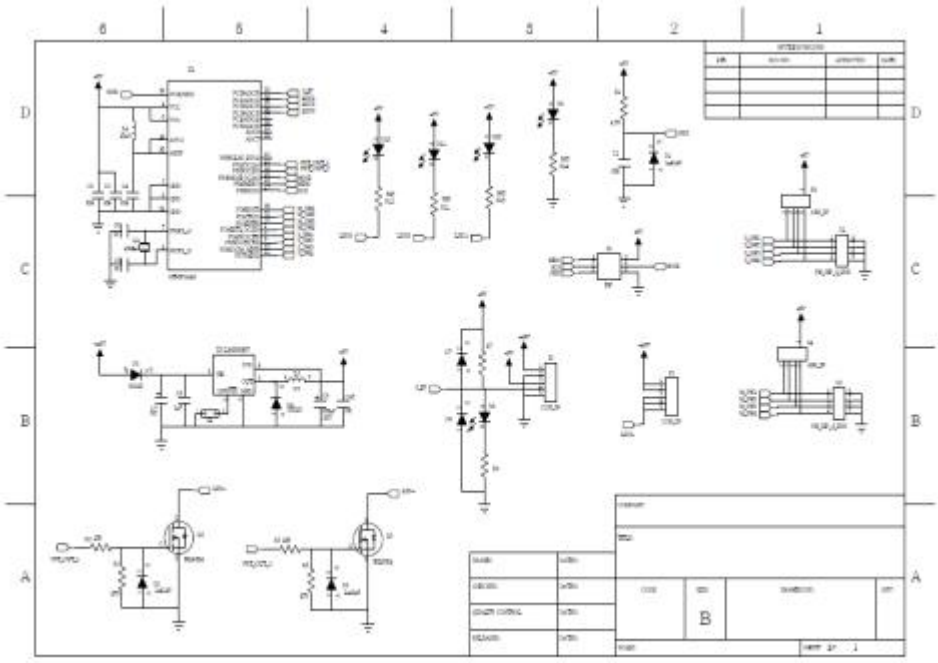


<그림 3-168> 무선스위치 동작과정

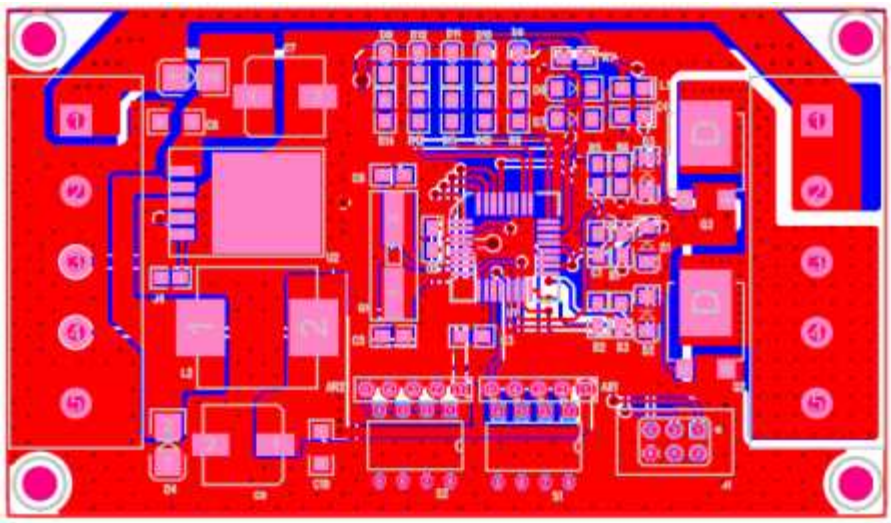
무선스위치의 자세한 동작 과정을 설명하면 다음과 같다. 압전패드를 무선스위치 송신기에 연결하고 압전패드에 충격을 가해 진동효과를 주면 진동에너지는 전기에너지로 변환되어 송신기의 RF chip을 동작시킨다. 동작된 무선스위치 송신기는 같은 채널로 설정된 RF chip에게 신호를 보내게 되고 이 신호를 무선스위치 수신기 안에 있는 RF chip이 받는다. 신호를 받은 RF chip에서는 3.3V의 전류를 출력하고, 이 3.3V의 전류는 무선스위치 수신기 안에 들어있는 레귤레이터를 통해 12V로 승압된다. 12V로 승압된 전류는 또다시 컨버터를 거쳐 220V 정격전압으로 승압된 후 무선스위치 수신기에 연결되어 있는 콘센트에 전류를 흘러 넣어 콘센트에 연결되어 있는 LED가로등을 동작시킨다.

3-2 LED 장치 인터페이스 모듈 제작

압전무선스위치와 연동하여 LED 가로등을 제어하기 위하여 LED 장치 인터페이스 모듈을 제작하였다. LED 장치 인터페이스 모듈을 LED의 밝기, 동작시간 및 딜레이시간을 조절할 수 있는 장치로, MCU로는 ATMEGA128 chip이 사용되었으며 2개의 딥스위치로 LED 가로등의 동작을 설정한다.



<그림 3-169> LED 장치 인터페이스 모듈 회로도



<그림 3-170> LED 장치 인터페이스 모듈 PCB



<그림 3-171> LED 장치 인터페이스 모듈

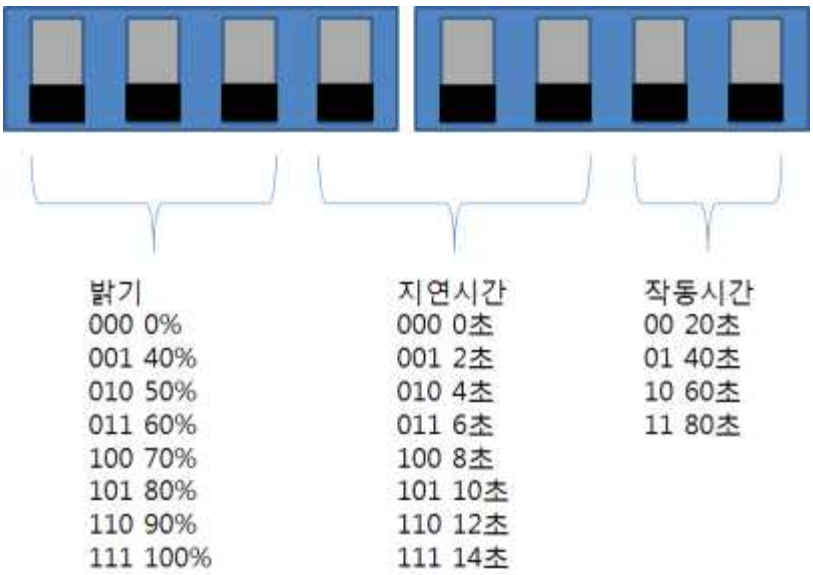
<그림 3-171>은 LED 장치 인터페이스 모듈이다. 그림에서 보면 LED 장치 인터페이스 모듈은 양 옆으로는 5구의 홀이 달린 2개의 단자대가 있으며 왼쪽 단자대의 위로부터 2개의 입력은 LED 인터페이스 모듈의 전원을 공급하기 위한 +, -로 최소 5V에서 최대 48V까지 허용범위이다. 아래의 2개는 수신부의 +, -을 연결하는 홀이다. 오른쪽에 위치한 단자대는 LED를 연결하는 단자대로 위의 2개는 +, 아래 3개는 -를 연결하면 된다.

LED 장치 인터페이스 모듈은 4개의 LED가 달려있다. 이 4개의 LED는 LED 장치 인터페이스 모듈의 동작상태를 표시한다. 왼쪽부터 PW, DM, FU, SM으로 그 의미는 표와 같다.

<표 3-24> LED 장치 인터페이스 모듈 동작상태 표시

구 분	의 미
PW	전원이 인가되면 점등
DM	LED Dimming 상태면 점등
FU	LED Full 상태면 점등
SM	수신부 신호가 ON되면 점등, OFF시 소등

LED 장치 인터페이스 모듈의 딥스위치 설정을 통하여 LED 가로등의 동작을 제어한다. LED 장치 인터페이스 모듈에는 2개의 딥스위치가 있으며 LED 등의 밝기, 지연시간, 동작시간을 설정할 수 있다. LED 밝기는 최소 0%에서 가장 밝은 100%까지 조절이 가능하다. 지연시간은 송신부로부터 신호를 받아 LED 인터페이스 모듈이 동작하게 되었을 때 LED 인터페이스 모듈이 LED를 ON시키기 위한 딜레이시간을 말한다. 즉, 바로 LED가 ON이 될수도 있으며 최대 14초 후에 ON시키게 하는 것이 가능하다. 마지막으로 동작시간은 LED가 ON이 된 후 다시 꺼지는 시간을 말하며, 여기서 알아야 할 점은 딜레이 단계에서 0초일때는 동작시간의 시간과 상관없이 계속 ON되어 있다. <그림 3-172>은 위에서 말한 LED 장치 인터페이스 모듈의 딥스위치 설정에 대하여 정리한 것이다.



<그림 3-172> LED 장치 인터페이스 모듈 딥스위치 설정

<표 3-25>는 LED 장치 인터페이스 모듈의 전기적 특성이다.

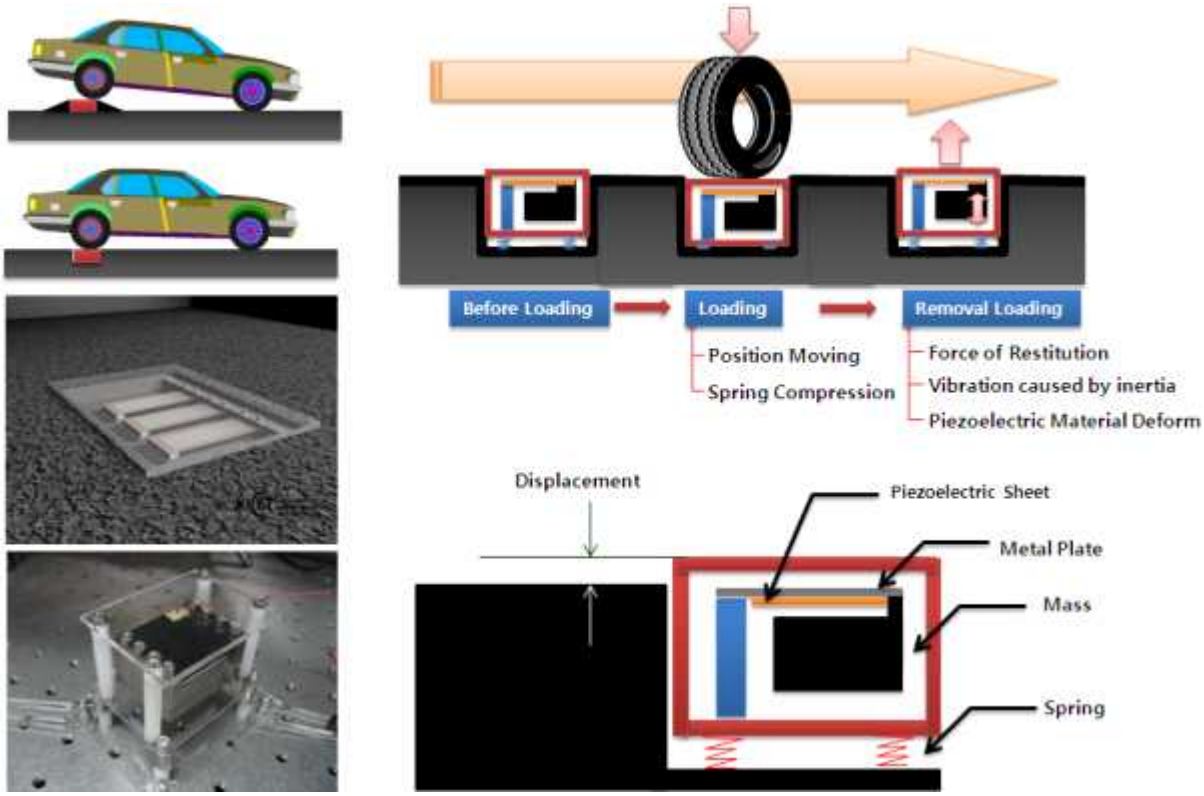
<표 3-25> LED 장치 인터페이스모듈 전기적 특성.

구 분	특 징
입력전압	DC 24V ~ 50V
출력전압	48V (LED가로등 기준)
출력전류	3.5A Max
전력	150W Max
신호입력	3.3V ~ 5.5V Logic(H)

4. 현장설치 및 테스트

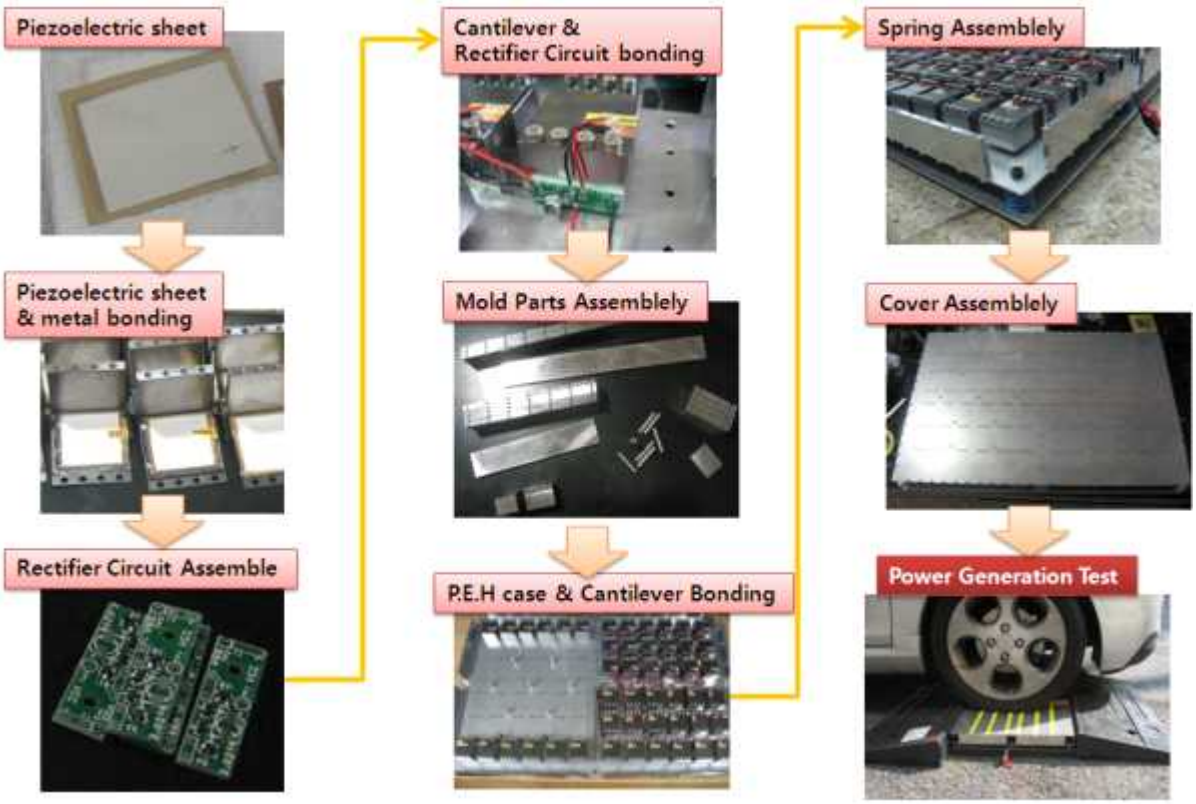
4-1. 압전발전모듈 현장설치 및 발전특성 평가

가. 발전특성 평가 및 테스트



<그림 3-173> 차량하중에 의한 압전 에너지 하베스터 개념도

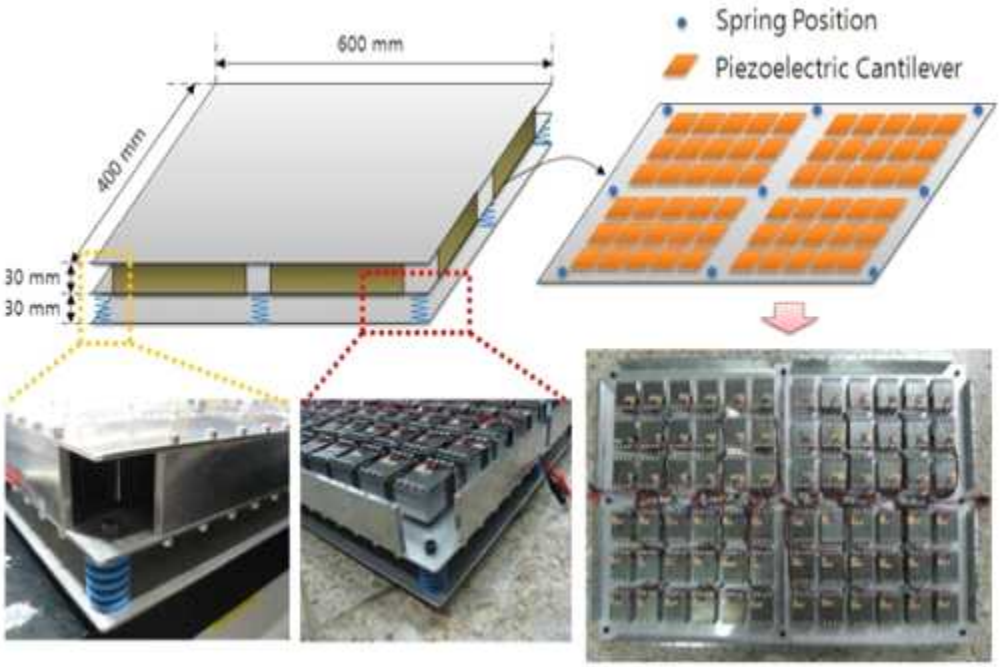
○ 도로면에 매설하거나 속도 방지턱 형태로 압전 에너지 하베스터를 설치하기위해 캔틸레버와 스프링을 결합한 형태의 구조로 설계하고자 하였다. 차량하중이 전해지기 전에는 스프링에 의해 도로면보다 돌출되도록 되어있다. 이때 차량하중이 인가되면 스프링은 압축하게 되고, 차량하중이 제거시 스프링 복원력에 의해 압전 캔틸레버는 지면방향으로 움직이게 된다. 스프링이 완전히 팽창한 뒤 관성에 의해서 압전체가 부착된 캔틸레버가 흔들리게 되고 이때 전기가 발생하는 원리이다.



<그림 3-174> 도로용 압전 에너지 하베스터 제작과정

◦ 그림은 도로용 압전 에너지 하베스터의 제작과정을 보여준다. 먼저 압전 시트를 제작하고, 이를 금속판에 부착한다. 정류회로를 조립 제작하고 압전 캔틸레버와 결합한다. 각종 금속 지지대 및 부속을 제작, 가공하고 이를 압전 캔틸레버와 조립하여 72개의 압전 캔틸레버를 가지는 압전 에너지 하베스터를 제작하였다.

○ 최적의 조건을 찾은 mass와 스프링 조건을 통해서 72개의 캔틸레버를 제작하여 도로용 압전 에너지 하베스터를 제작하였다. 도로용 압전 에너지 하베스터의 전체 크기는 600 mm × 400 mm × 60 mm(T) 이며, 이 안에 그림 3과 같이 캔틸레버를 배열하였다. 압전 캔틸레버 변형에 의한 전압발생이 서로 상쇄되지 않도록 캔틸레버 1기당 1개의 정류회로를 거쳐서 압전 캔틸레버 72개 전체를 병렬로 연결하였다. 또한 네모서리와 중심부분에 스프링(SL 2,025, Samsol precision Co. LTD., Namyangju-si, Korea) 9개를 결합하였다. 이때 사용한 스프링 상수는 5.40 kgf/mm 이다. 차량의 하중에 버티도록 곳곳에 지지대를 세우고 각 상, 중, 하판 및 지지대등을 SUS로 제작하였다.

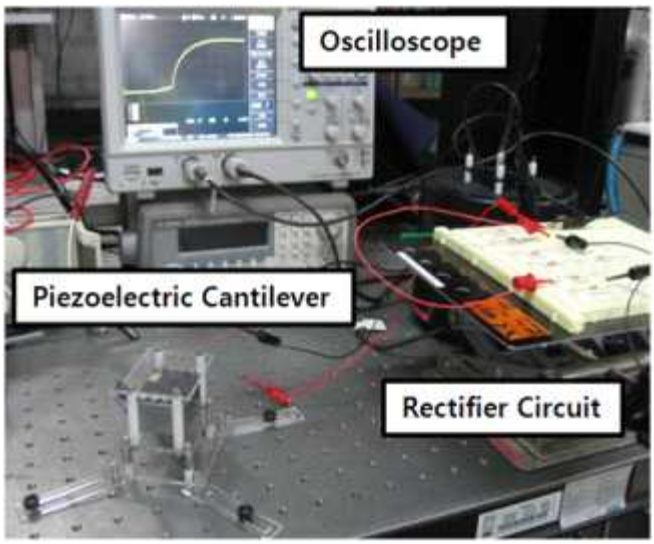


<그림 3-175> 제작한 차량용 압전 에너지 하베스터

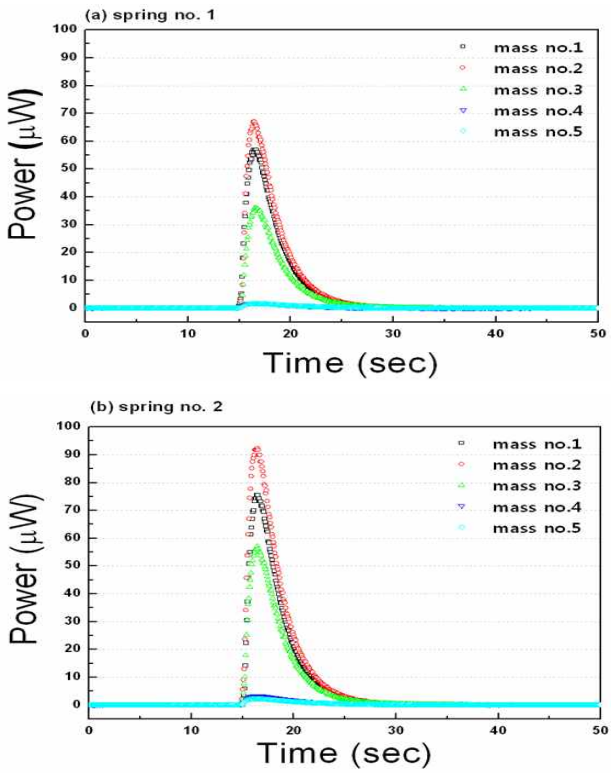


<그림 3-176> 차량용 압전 에너지 하베스터의 차량하중에 따른 발전특성 평가모습

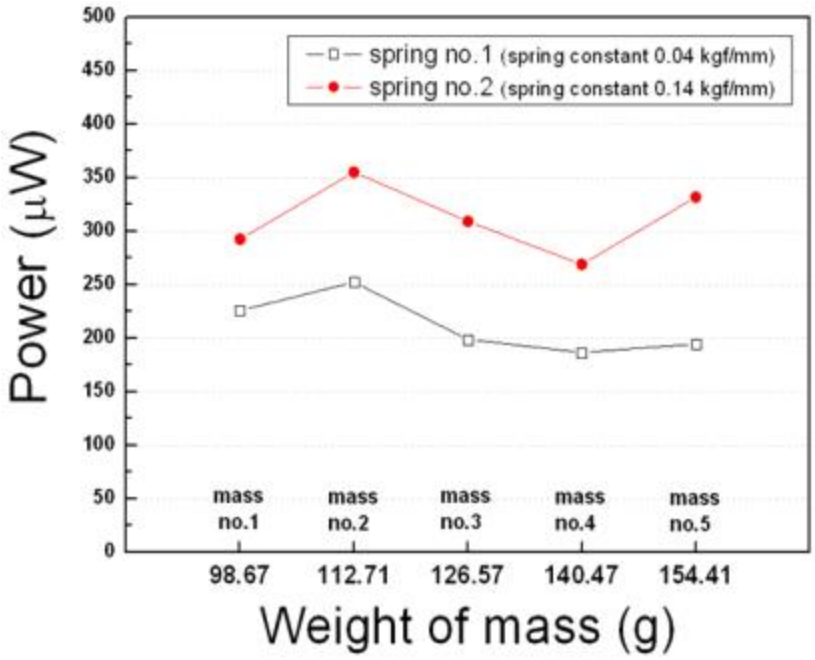
○ 그림은 차량하중에 의한 발전특성 평가를 위한 실험모습이다. 압전 발전 발판의 양옆을 과속방지턱으로 고정하여 도로에 설치한 뒤 차량의 조수석 쪽 앞, 뒤 바퀴로 1회 밟고 통과할 때 발생하는 발전량을 측정하였다. 발전특성 평가를 위해서 회로에 저항을 연결한 뒤 $P= V^2/R$식을 통하여 power를 계산하고 시간에 대하여 적분하여 차량의 조수석 쪽 앞, 뒤 바퀴 1회 밟음에 대한 발전량을 측정하였다.



<그림 3-177> 압전 캔틸레버 1기에 대한 발전특성 평가 실험장비

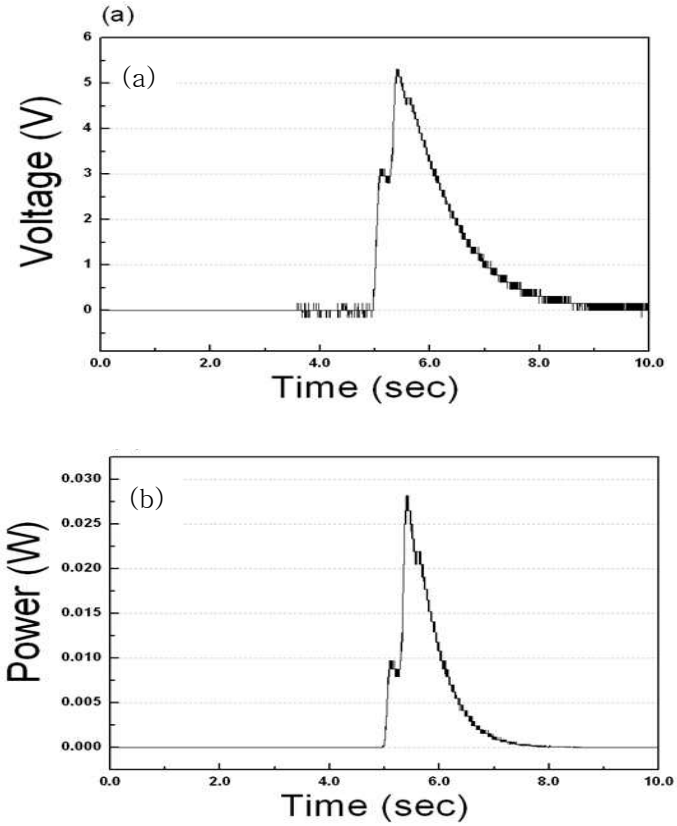


<그림 3-178> 압전 캔틸레버 1기의 발전특성 그래프(100 kΩ)

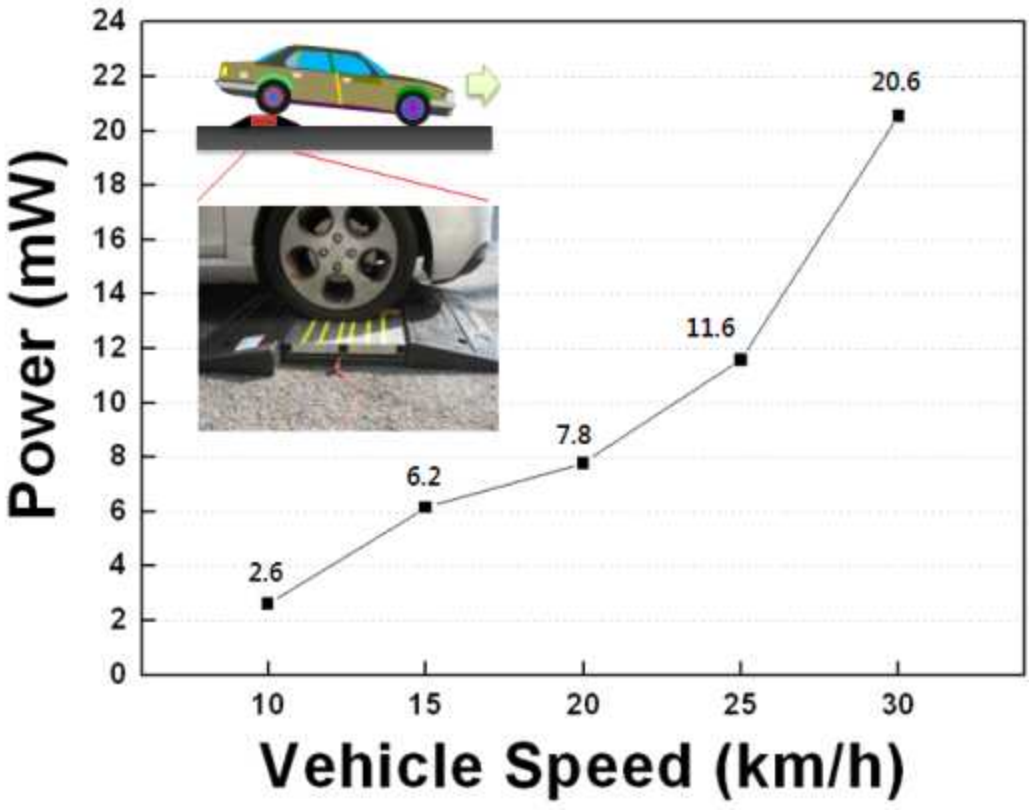


<그림 3-179> 압전 캔틸레버의 mass와 스프링 변화에 따른 발전특성

○ 스프링상수가 스프링 1번(k1= 0.04 kgf/mm)보다 큰 스프링 2번(k2= 0.14 kgf/mm)이 전체적으로 더 높은 발전량을 나타내었다. 스프링 1과 2의 발전 특성 값이 차이가 나는 이유는 낮은 스프링상수일 경우에 스프링이 압축된 뒤 스프링 복원력에 의해 하베스터가 상승한 뒤 고정되지 않고 다시 스프링이 압축되면서 캔틸레버와 함께 진동하게 된다. 따라서 감쇄진동이 되어 진동이 오래가지 못하게 된다. 상대적으로 스프링상수가 큰 경우에는 스프링이 압축 후 팽창했을 때 복원력이 크게 되어 가속도도 클 것이며, 팽창 후 압축의 변화가 적기에 스프링 최대 팽창시의 충격에 의해 캔틸레버가 계속적인 진동을 하게 된다. 따라서 스프링상수가 더 클 때 더 큰 발전량을 얻을 수 있다. Mass 의 질량에 따라서도 발전량의 변화가 있었으며 특히 2번 mass(123 g) 일 때 최대의 발전량이 측정되었다.



<그림 3-180> 차량속도 30 km/h 일 때 시간에 대한 전압과 전력 그래프

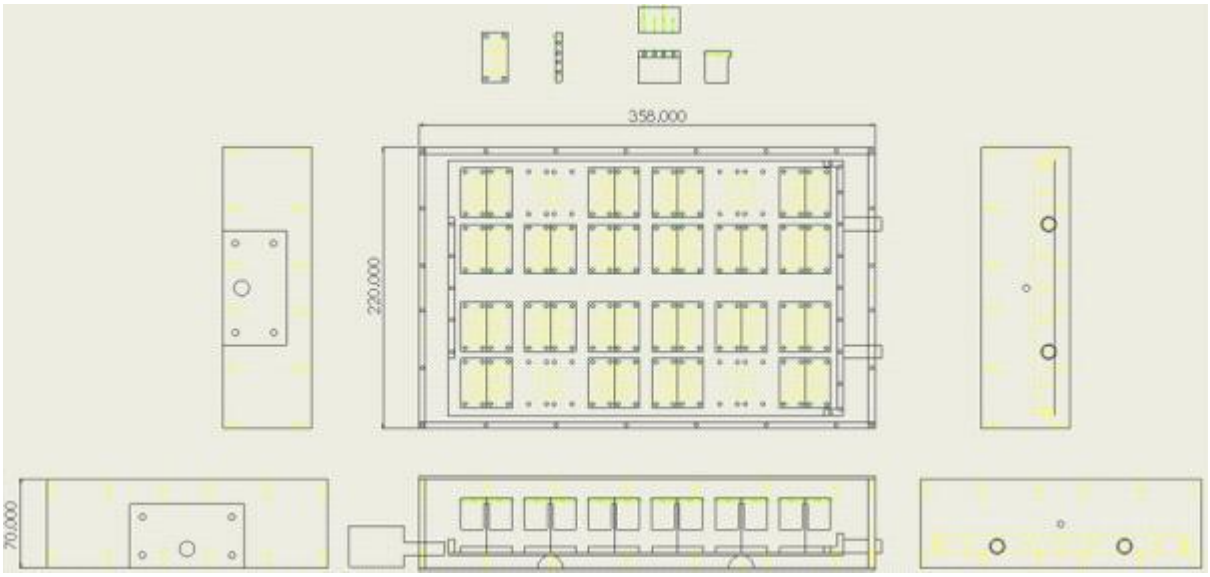


<그림 3-181> 차량속도에 따른 압전 에너지 하베스터 발전특성

○ 최적의 mass와 차량의 하중에의해 하베스터가 압축되지만 차량하중이 제거된 이후에 더 이상 압축되지 않는 적절한 스프링 상수 값을 가지는 스프링을 선택하여 캔틸레버 72개를 포함한 압전 하베스터를 제작하였다. 이를 차량 속도를 10, 15, 20, 25, 30 km/h로 변화시키면서 차량하중에 의한 발전특성을 평가하였다. 그림 8은 차량의 속도가 30 km/h일 때 압전 하베스터에 1 kΩ의 저항을 병렬 연결한 뒤 압전 하베스터가 차량의 조수석 쪽 앞, 뒤 바퀴에 의해 1회 밟혔을 때 커패시터 양단에 발생한 전압과 파워를 나타내고 있다. 그림과 같이 차량의 속도가 증가함에 따라 발전량도 증가하였으며, 과속방지턱 형태이기에 30 km/h 이상의 속도에 대해선 평가하지 못했다.

○ 차량의 속도가 증가함에 따라 발전량이 증가한 이유는 차량의 속도가 증가할수록 캔틸레버에 가해지는 충격량이 커지기 때문인 것으로 판단된다. 압전 하베스터의 발전량은 외부에서 가해지는 힘에 비례할 것이며 하베스터에 가해지는 외부 힘은 가속력과 질량에 비례할 것이다. 하베스터의 질량은 동일하므로 외부의 힘이 클수록 가속도가 커지게 된다. 따라서 차량의 속도가 빠를수록 더 큰 가속도로 하베스터가 움직이게 되고 결국 발전량도 크게 나오게 됨을 확인할 수 있었다.

<봉타입 기구물에의한 타격방식의 압전 발전 모듈 제작 및 특성평가>



<그림 3-182> 봉타입 힘 전달 기구물 끝단에 연결할 자가발전 모듈 설계도면

○ 그림은 봉타입 힘전달 기구물 끝단에 연결할 자가발전 모듈의 설계도면이다. 케이스안에 판이 있으며 봉타입 힘 전달 기구물에서 나온 봉이 이판을 타격하게 된다. 마찰을 적게하기 위해 판 아래부분에 반달모양의 돌출부를 만들었으며, 이 판이 제자리로 돌아가게 하기위해 끝부분에 스프링 2개를 연결하였다. 이 판에 압전 캔틸레버 24개(6*4)를 설치하였다. 타격봉이 이 판을 치게 되면 압전 캔틸레버가 흔들리게 되어 전하가 발생되는 구조이다.



<그림 3-183> 압전 에너지 하베스터 진동방향 및 실제모습

○ 압전 캔틸레버는 금속판에 압전 시트가 부착되어있으며, 지면과 수직으로 고정하고 끝단에 진동을 오래가도록 하기위해 무게 추를 결합하였다. 또한 압전 캔틸레버 1기당 정류회로를 연결하였다.



<그림 3-184> 봉타입 힘전달 기구물과 자가발전모듈 결합모습 및 내부모습

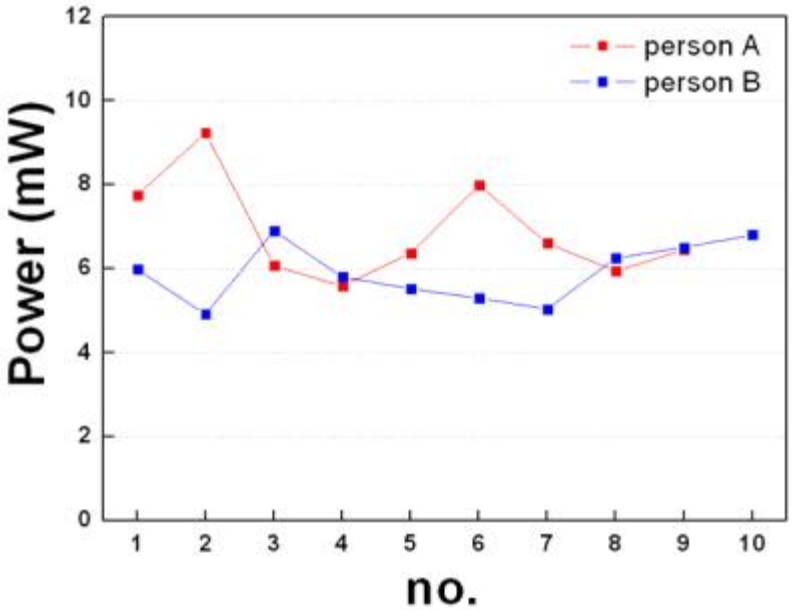
○ 그림은 봉타입 힘전달 기구물과 자가발전 모듈을 결합한 실제 모습이다. 발판의 면적은 30 cm * 10 cm 이며, 힘전달 기구물의 크기는 80 cm * 10 cm * 5 cm (두께)이다. 자가발전 모듈의 전체크기는 36 cm * 22 cm * 7 cm(두께) 이다. 자가발전 모듈의 내부사진을 보면 압전 캔틸레버가 지면과 수직으로 결합되고 끝단에 무게추가 연결되어있어서 상단에서 바라보면 무게추만 보이게 되며, 24개가 설치된 것을 볼 수 있다.

<봉타입 기구물에의한 타격방식의 압전 발전 모듈 사람하중에 따른 특성평가>



<그림 3-185> 봉타입 힘전달 자가발전모듈의 사람하중에 의한 발전특성 평가모습

○ 그림과 같이 봉타입 힘전달 기구물 끝단에 연결된 자가발전모듈을 사람하중에 의한 발전특성을 평가하였다. 누름판 상단에 가속도 측정 센서를 부착하여 사람의 한쪽 발에 의한 하중시 가속도를 측정하였다. 압전 하베스터는 정류회로에 연결하였으며, 발전특성을 평가하기 위해 저항과 오실로스코프를 연결하였다. 이를 한 사람당 10회를 밟고 2명이 밟아 발생된 전력을 측정하였다.

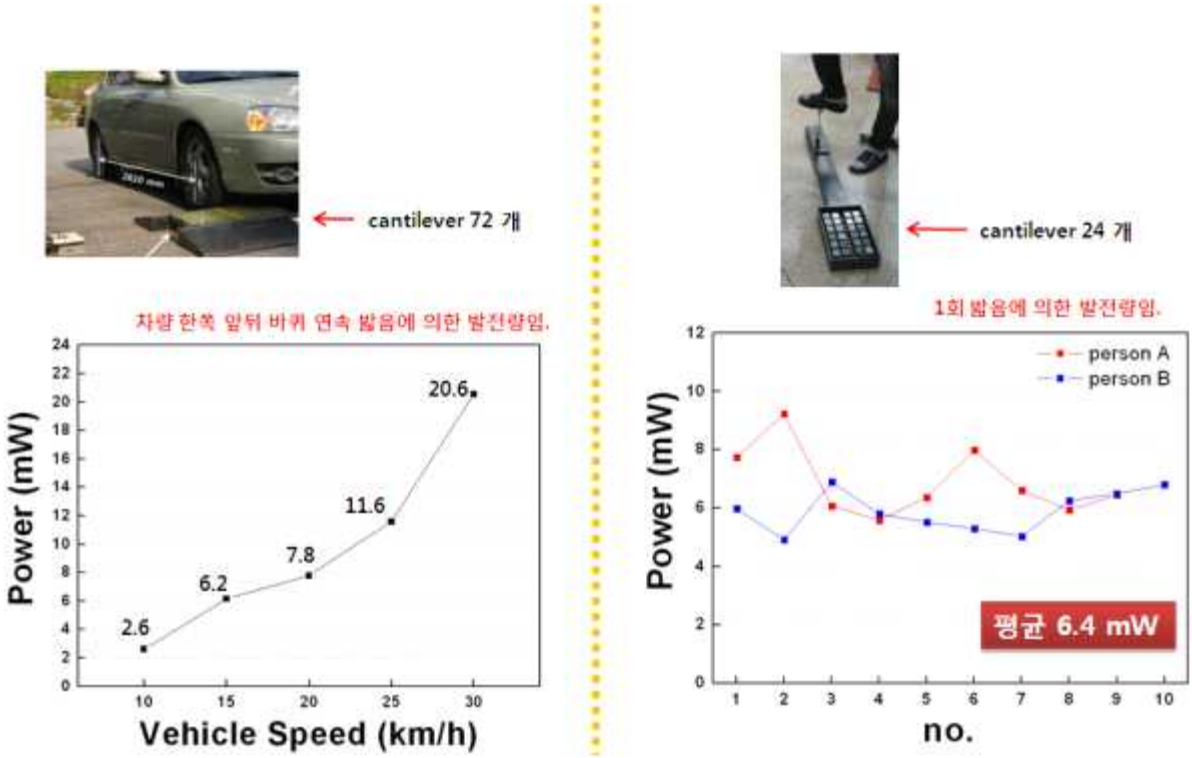


<그림 3-186> 봉타입 자가발전 모듈의 사람하중에 의한 발전특성

<표 3-26> 봉타입 자가발전 모듈의 사람하중에 의한 발전특성

no	person A			person B		
	가속도 [m/s2]	G	power [㎷]	가속도 [m/s2]	G	power [㎷]
1	1.37	0.14	7.76	1.68	0.17	5.98
2	1.46	0.15	9.23	1.24	0.13	4.92
3	1.11	0.11	6.07	1.58	0.16	6.90
4	1.37	0.14	5.59	1.60	0.16	5.80
5	1.45	0.15	6.37	1.40	0.14	5.53
6	1.48	0.15	7.99	1.47	0.15	5.30
7	1.66	0.17	6.60	1.10	0.11	5.05
8	1.60	0.16	5.95	1.53	0.16	6.25
9	1.81	0.18	6.45	1.84	0.19	6.51
10			0.00	1.90	0.19	6.80
평균	1.48	0.15	6.20	1.53	0.15	5.90

○ 평균가속도 1.5 m/s2 (0.15G)로 발판을 밟았을 때 작게는 5 ㎷에서 크게는 8 ㎷ 정도까지 발전량이 측정되었으며 평균 6.4 ㎷의 발전량을 얻었다.



<그림 3-187> 직접인가방식 압전 하베스터와 봉타입의 압전 하베스터의 발전특성 비교

○ 이는 동일한 크기의 압전 캔틸레버 72개를 사용하여 제작했던 자가발전모듈의 차량하중 실험시 차량속도 15 km/h일 때 측정된 6.2 ㎷에 해당된다.

<봉타입 기구물에의한 타격방식의 압전 발전 모듈 차량하중에 따른 특성평가>



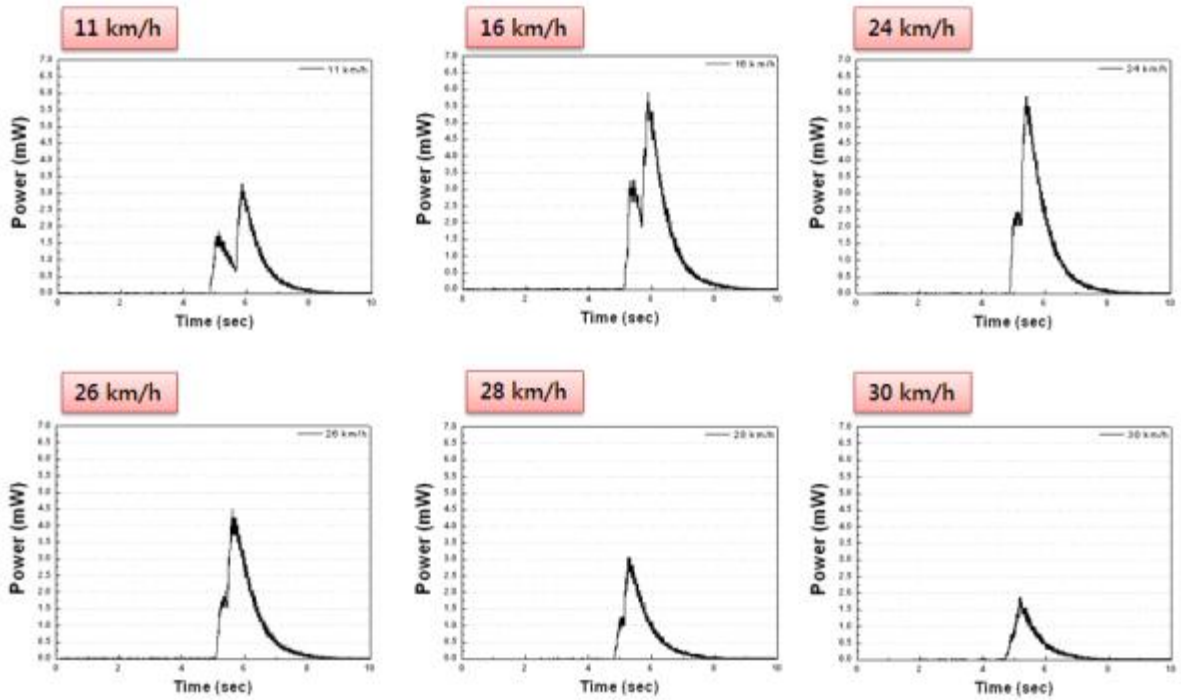
<그림 3-188> 봉타입 자가발전 모듈의 차량하중에 의한 발전특성 평가모습

○ 그림과 같이 봉타입 자가발전 모듈의 차량하중에 의한 발전특성 평가를 진행하였다. 봉타입 힘 전달 기구물의 발판을 차량이 밟을 수 있도록 양옆에 과속방지턱으로 지지하고 도로면에 고정하였다.



<그림 3-189> 봉타입 자가발전 모듈의 차량하중에 의한 발전특성 평가모습

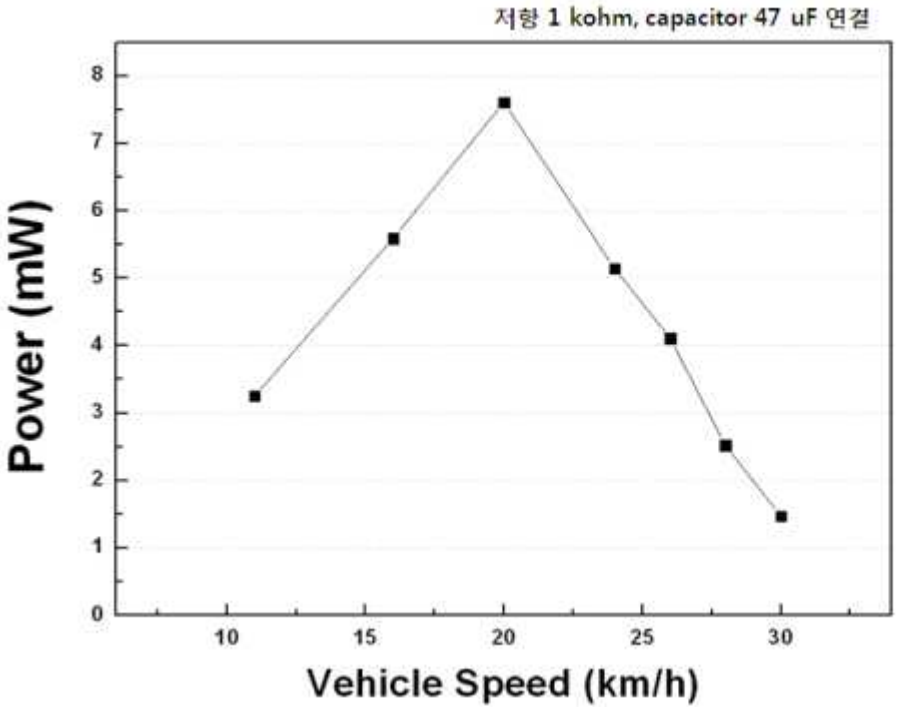
○ 자가발전 모듈에 저항과 커패시터를 연결하고 오실로스코프로 커패시터 양단의 전압을 측정하였다. 차량의 속도를 10 ~ 30 km/h로 변화시켜가면서 발전량을 측정하였다.



<그림 3-190> 봉타입 압전 에너지 하베스터의 차량속도에 따른 시간-전력 그래프

○ 그림은 차량속도를 10에서 30 km/h로 변화시키면서 각 속도에서 발생한 전력에 의해 커패시터에 충전되는 시간-전력 그래프이다. 피크가 두개인 것은 차량 조수석 쪽 앞, 뒤 바퀴가 총 2회 밟음 때문이다.

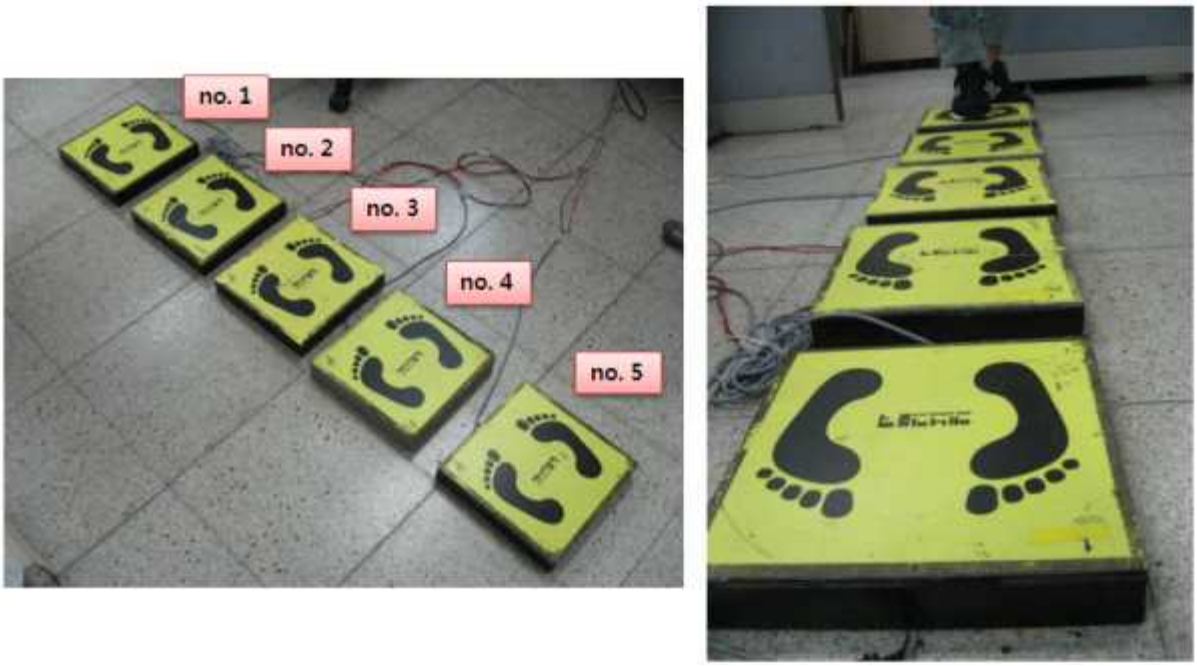
○ 그림은 차량속도 변화에 따른 봉타입 자가발전 모듈의 발전특성을 나타낸다. 차량속도가 20 km/h 까지 증가하면서 발전량도 증가하였지만, 차량속도가 20 km/h를 넘어서면서 발전량이 감소하는 경향을 보였다. 차량의 속도가 증가하면서 발전량도 증가할 것이라는 예상과 달리 감소한 이유는 과속방지턱의 형태로 봉타입 힘 전달 기구를 설치하여 차량속도가 20 km/h 이상이 되면 미쳐 봉타입 발판을 누르지 못하고 통과한 것으로 판단된다. 결국 자가발전 모듈에 일정한 변위의 타격을 가하지 못함에 따라 발전량이 감소한 것으로 판단된다.



속도(km/h)	power(mW)
11	3.25
16	5.59
20	7.61
24	5.14
26	4.11
28	2.52
30	1.47

<그림 3-191> 차량속도에 따른 봉타입 자가발전 모듈의 발전특성

<블럭형 압전 발전 모듈 사람보행하중에 따른 특성평가>



<그림 3-192> 블록형 압전 발전 모듈의 사람보행하중에 따른 발전특성 평가모습

<표 3-27> 블록형 압전 발전 모듈 사람보행하중에 따른 발전량

sample name	블록형 압전 발전 모듈				
	no. 1	no. 2	no. 3	no. 4	no. 5
밟음no.	power [uW]	power [uW]	power [uW]	power [uW]	power [uW]
1	0.636	1.111	0.222	2.639	0.741
2	0.843	2.073	0.188	3.917	0.294
3	0.492	1.182	0.29	5.17	0.267
4	1.055	1.819	0.25	2.97	0.293
5	0.877	1.725	0.244	2.368	0.24
평균	0.781	1.582	0.239	3.413	0.367

○ 그림과 같이 블록형 압전 발전 모듈을 늘어놓고 사람보행하중에 따른 발전특성을 평가하였다. 한발당 하나의 블록형 압전 발전 모듈을 밟아 발전특성을 평가하였다. 0.4 ~ 3.4 uW의 발전량이 측정되었다.

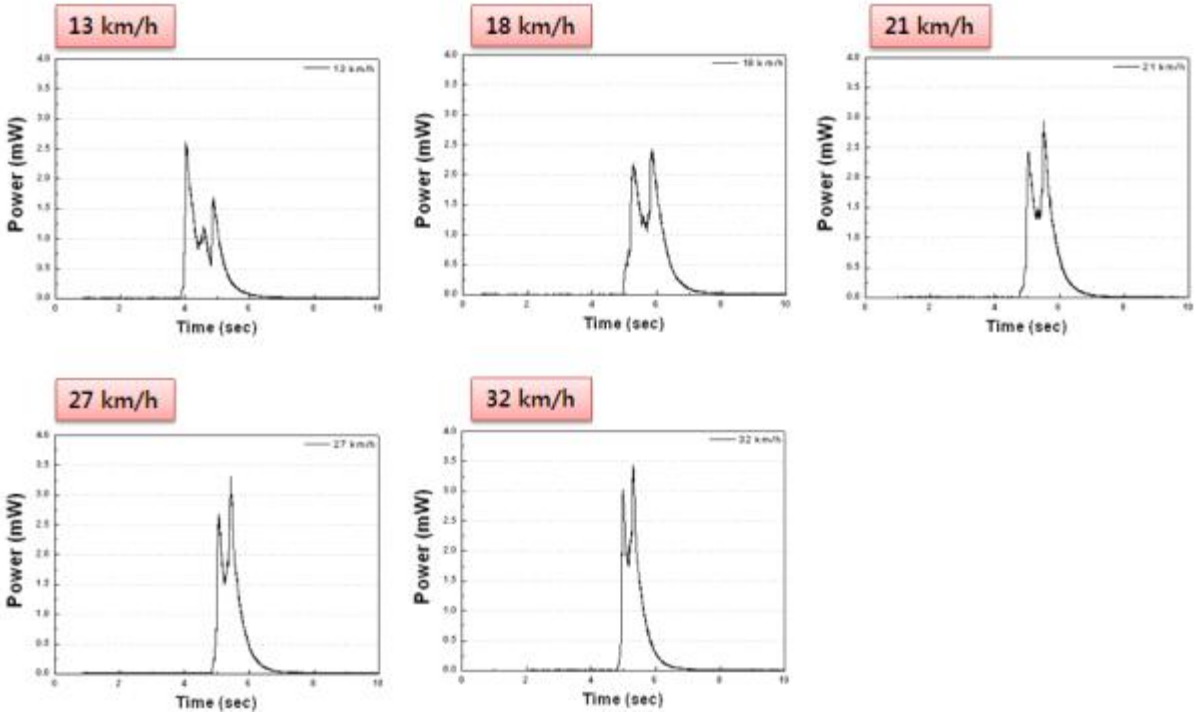
<블럭형 압전 발전 모듈 차량하중에 따른 특성평가>

○ 블록형 압전 발전 모듈의 차량하중에 따른 특성을 평가하였다. 그림과 같이 블록형 압전 발전 모듈 5개를 차량진행방향으로 늘어놓은뒤 차량하중에 의한 발전량을 평가하였다. 블록형 압전 발전 모듈의 두께와 도로면의 단차를 과속방지턱으로 보완하였다. 차량의 속도를 10~35 km/h로 약 5 km/h 간격으로 차량 조수석 쪽 앞, 뒤바퀴로 블록형 압전 발전 모듈에 하중을 가함에 따른 발전량을 평가하였다.

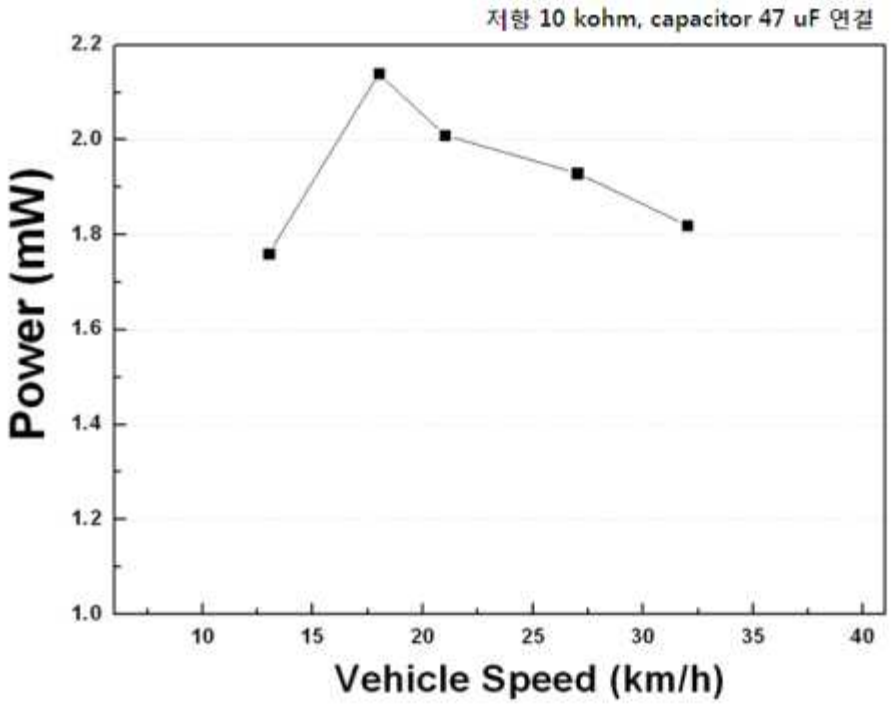


<그림 3-193> 블록형 압전 발전 모듈 차량하중에 따른 특성평가 실험모습

○ 그림은 차량의 하중에 의해 발생된 시간에 대한 발전량 그래프를 나타낸다. 또한 아래 그림은 차량의 속도에 따른 발전량을 나타낸다. 전체적으로 1.7 ~ 2.1 ㎷가 발생되었으며, 특히 차량속도 18 km/h 일 때 2.14 ㎷가 발생되었다.



<그림 3-194> 블록형 압전 발전 모듈 차량속도별 따른 시간에 따른 발전특성 그래프



속도(km/h)	power(mW)
13	1.76
18	2.14
21	2.01
27	1.93
32	1.82

<그림 3-195> 블록형 압전 발전 모듈 차량속도에 따른 발전특성값

<압전 발전 모듈 도로매설후 차량하중에 따른 특성평가>

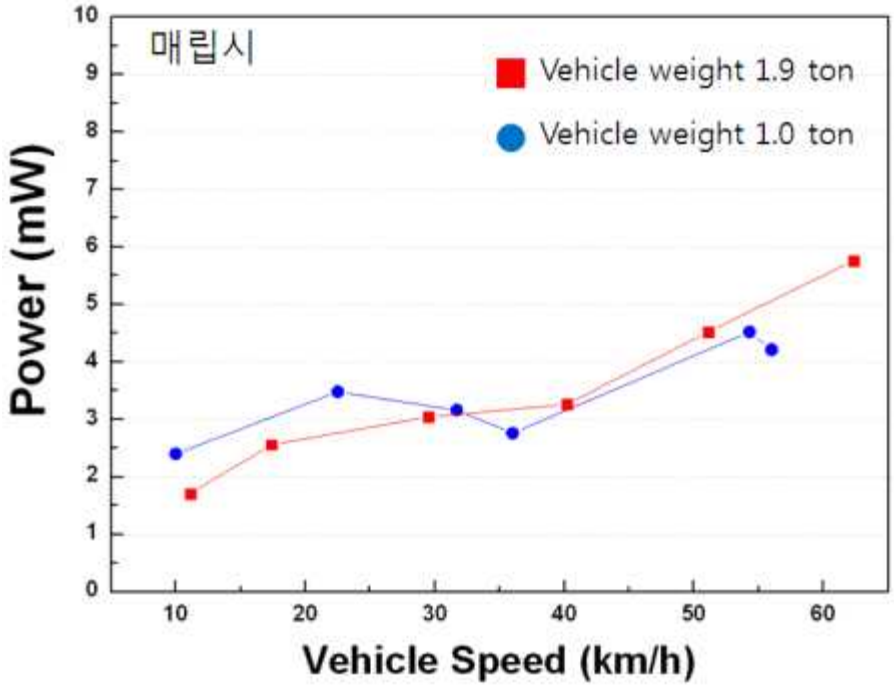
○ 압전 발전 모듈을 도로에 매설하여 차량하중에 따른 발전특성을 평가하였다. 도로에 완전히 매설하는 형태와 봉타입의 힘전달 기구물만 매설하여 압전 발전 모듈은 도로 갓길에 위치시킨 2가지 형태로 실험을 진행하였다.



블록형 자가발전모듈 설치모습　　아스콘으로 매립하여 작업완료한 상태

<그림 3-196> 블록형 자가발전모듈 도로매설모습

○ 그림은 블록형 자가발전모듈을 도로에 매설하기 위해 도로의 아스콘을 절단한 뒤 자가발전모듈을 넣고 빈틈을 아스콘으로 채워넣은 모습이다. 아래 그림은 차량 속도와 차종에 따른 자가발전모듈의 발전특성결과를 나타낸다.



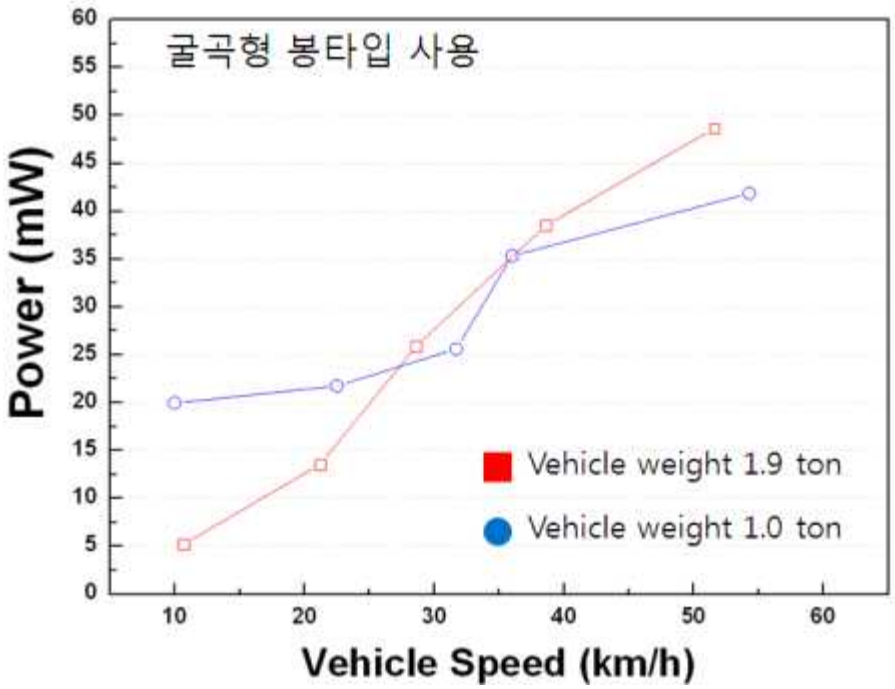
<그림 3-197> 차량속도와 차종에 따른 도로에 매설한 압전모듈의 발전특성

○ 차량 속도는 10~60 km/h로 변화시키면서 차량의 조수석 쪽 앞,뒤 바퀴로 자가발전모듈에 하중을 가했을 때 발생된 전력을 측정하였다. 또한 서로 다른 2대의 차량으로 차량의 무게를 1.0톤과 1.9톤으로 하중을 주었다. 도로면에 완전히 매립한 형태의 경우 차량속도 10 km/h에서 약1.5~2.5 ㎷가 발생되었으며, 차량속도가 증가함에 따라 발전량도 증가하였다. 차량무게 1.9톤의 차량으로 약 60 km/h로 주행시 5.8 ㎷가 발생되었다.

○ 다음으로 봉타입 굴곡형 힘 전달기구를 이용하여 자가발전모듈을 그림과 같이 설치하였다. 차량이 발판을 누르게 되면 힘전달기구의 내부의 금속봉이 자가발전모듈을 타격하는 구조이다. 힘전달기구 끝단에 자가발전모듈이 세워진 형태로 ㄴ자 지지대로 받치고, 탄성을 주기위해 실리콘튜브를 부착하였다. 봉타입 힘전달기구의 발판은 노면에서 약 1cm정도 돌출되어있으며, 실험결과 약 60 km/h로 통과 시에도 차량 진행에 문제는 발생되지 않았다.



<그림 3-198> 봉타입 굴곡형 힘 전달 기구와 자가발전모듈 설치모습



<그림 3-199> 차량속도와 차종에 따른 굴곡형 봉타입 사용하여 설치한 압전 모듈의 발전특성

○ 그림은 매설시와 동일한 방법으로 두 대의 차량으로 속도를 변화시키면서 발전량을 측정하였다. 차량속도 10 km/h 일 때 발전량은 5~20 ㎷ 정도였으며, 차량의 속도가 증가하면서 발전량도 증가하는 경향을 보였다. 1.9톤의 차량으로 약50 km/h로 주행 시 49 ㎷가 발생하였다.

○ 매립형의 경우 1분간 차량이 약 50 km/h의 속도로 1대씩 통과했을 때 1시간 경과 후 0.25~0.27 W가 발생함을 의미한다.

○ 기존 외국에서 개발된 압전 제품과의 발전효율을 비교하자면, 국내에서는 도로용 압전에너지하베스팅은 본 연구에서 국내 최초로 진행(선행 연구 전무함)하였으며, 일본의 경우 음력발전사에서 인도용으로 개발된 발전마루가 있으나, 판매가 아닌 임대형태로 진행하고 있으며, 발전량은 순간 최대 0.1 ~ 0.3W로 발표하였다.

○ 이스라엘인 경우 이노와텍사에서 도로용 압전 에너지하베스팅 관련 동영상을 공개하고 있으나, 발전량, 판매가격은 밝히지 않고 있으며, 동영상을 통해 개발진행은 확인할 수 있으나 실체는 없다.

○ 기타로써 소형 에너지 하베스터 상품이 출시되어 판매되고 있으나, nW 급이며, 가격은 개당 평균 300$ 수준임

○

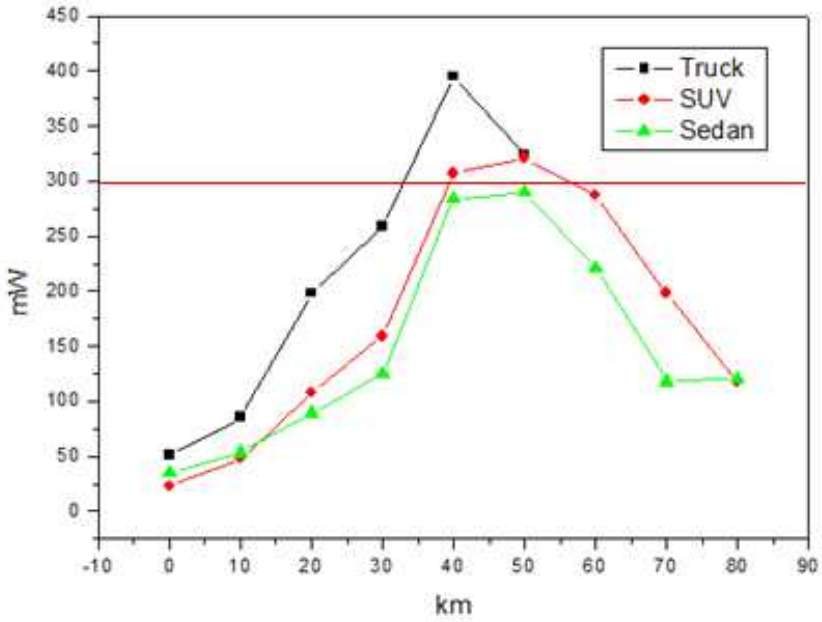
구분	외국제품		개발품
	일본(음력발전)	이스라엘 (이노와텍)	
성능	최대순간 출력 : 0.1~0.3W	발표하지않음	최대순간출력 : 1W 발전량 : 0.419W
가격	임대:3만엔/1주	발표하지않음	판매:100만원/set
비고	해외에서 판매되고 있는 소형 하베스터 상품의 발전량은 nW급이며 가격은 평균 300$ 수준임 개발된 조성으로 소형 하베스터 제작시 발전량은 uW급으로 발전량이 높으며 판매 가격은 200$ 내외로 예상함.		

음력발전 : www.soundpower.co.jp

○ 전력발생모듈의 목표성능 0.3W는 6 ± 0.5cm 높이에서 시료를 자유낙하 시킨 후 효율을 측정한다.

* 발전량은 오실로스코프를 이용하여 측정한 그래프의 면적을 계산함

○ 매설형태의 전력발생모듈의 발전량은 아래와 같다.
(차량별 : 5톤트럭, SUV, 승용차) 속도별 발전량 측정함



※ Truck : 시속 40~50km 구간에서 0.3W 이상 발전

※ SUV : 시속 40~55km 구간에서 0.3W 이상 발전

나. 현장설치(남조로)

압전발전모듈의 발전특성 테스트를 위하여 남조로의 우회도로 일부구간을 점용하여 테스트베드를 구축하였다. <그림 3-200>은 압전패드 매설을 위한 준비작업 사진이다. 압전패드 매설 준비작업 순서를 설명하면 다음과 같다.

① 전기톱날을 사용하여 압전패드 크기만큼 정사각형의 금을 내고 15cm 깊이로 도로를 파낸다

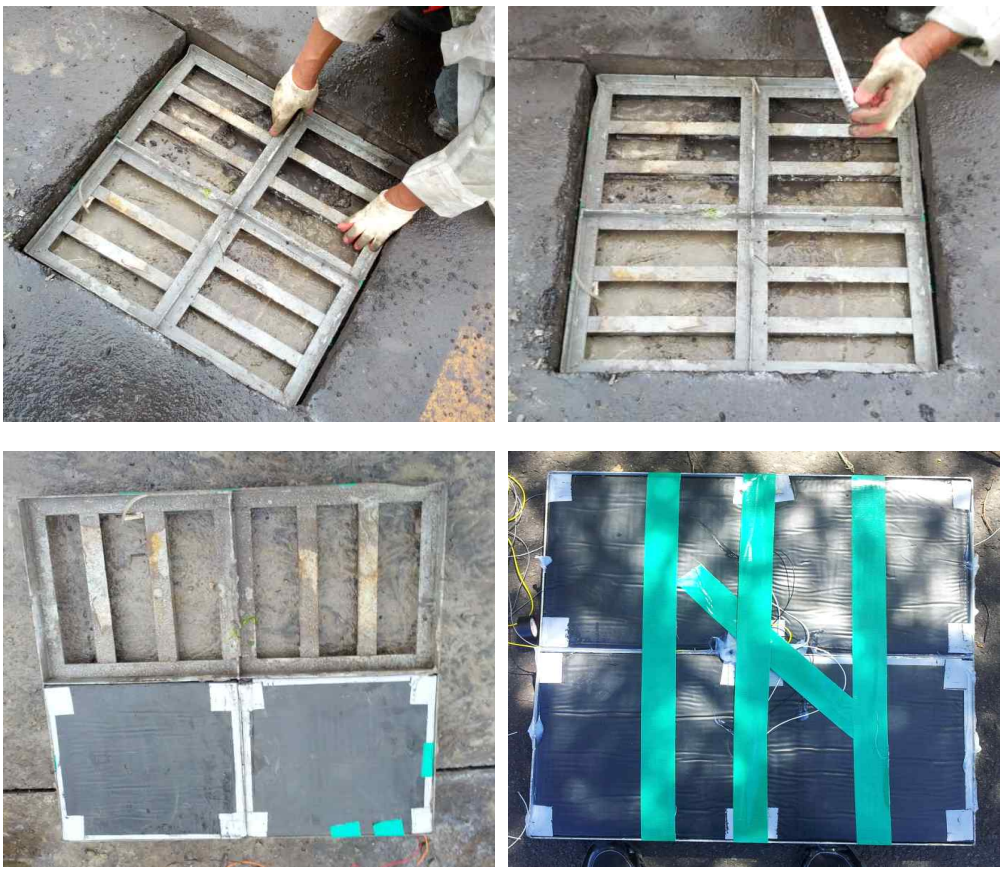
② 방수문제를 해결하기 위해 파이프를 가운데 놓아두고 같은 크기의 정사각형의 벽돌 4개를 파이프 주위에 세워놓는다

③ 시멘트를 붓고 평탄하게 다지면 가운데 파이프만 남긴 채 밑바닥이 평탄해진다.



<그림 3-200> 압전패드 매설 준비작업

압전패드의 내구성을 높이고 침수 문제를 해결하기 위하여 <그림 3-201>와 같은 압전패드를 넣을 수 있는 쇠틀을 제작하였다. 쇠틀은 압전패드 4개를 넣을 수 있는 틀과 2개를 넣을 수 있는 틀을 제작하여 매설상황 에 따라 사용하였다.



<그림 3-201> 압전패드 쇠틀

매설 준비작업이 끝난 후에 아스콘, 시멘트, 노출 3가지 형태로 압전패드를 매설하였다. <그림 3-202>은 아스콘으로 마감처리를 하는 사진이다. 압전패드 4개씩 두 군데에 아스콘 매설을하였다. 매설시 No.29와 No.46 압전패드를 구분하여 4개씩 병렬로 연결하여 매설하였다 아스콘 마감의 자세한 순서를 설명하면 다음과 같다.

① 압전패드가 들어있는 쇠틀을 묻기 전에 쇠틀을 단단하게 고정시키기 위해 일정량 아스콘을 먼저 붓는다.
② 쇠틀을 묻고 아스콘에 고정되도록 힘껏 누른다.
③ 압전패드 위로 아스콘을 붓고 골고루 퍼지도록 다듬어준다.
④ 롤러를 사용하여 아스콘을 다져준다



<그림3-202> 압전패드 매설작업(아스콘)



<그림 3-203> 압전패드 매설작업(시멘트)

<그림 3-203>은 시멘트으로 마감처리를 하는 사진이다. 매설시 No.29와 No.46 압전패드를 구분하여 2개씩 병렬로 연결하여 매설하였다 시멘트 마감의 자세한 순서를 설명하면 다음과 같다.

① 쇠틀이 흔들리지 않도록 시멘트를 먼저 붓고 압전패드가 들어있는 쇠틀을 묻는다.
② 가느다란 철심을 압전패드의 크기만큼 자른 후 시멘트를 묻기 전에 먼저 압전패드 위에 올려둔다. 철심을 먼저 묻는 이유는 시멘트가 굳을 때 그 중심역할을 하기 위해서

다.(예로 건축현장에서는 시멘트를 붓기 전에 두꺼운 철심으로 먼저 깔아둔 후 시멘트를 붓는다.)

③ 철심 위로 골고루 시멘트를 붓고 다져준다



<그림 3-204> 압전패드 매설작업(노출)

<그림 3-204>는 노출형태로 마감처리를 하는 사진이다. 매설시 No.29와 No.46 압전패드를 구분하여 2개씩 병렬로 연결하여 매설하였다 자세한 순서를 설명하면 다음과 같다.

① 쇠틀이 흔들리지 않도록 아스콘을 일정량 붓고 쇠틀을 묻는다

② 매설방법은 노출이지만 차량이 지나다니면서 압전패드를 충격으로부터 보호하기 위해 고무를 압전패드 위에 깔아준다

③ 고무가 차량의 바퀴로 인해서 떨어지지 않도록 테이프코트를 붙인다



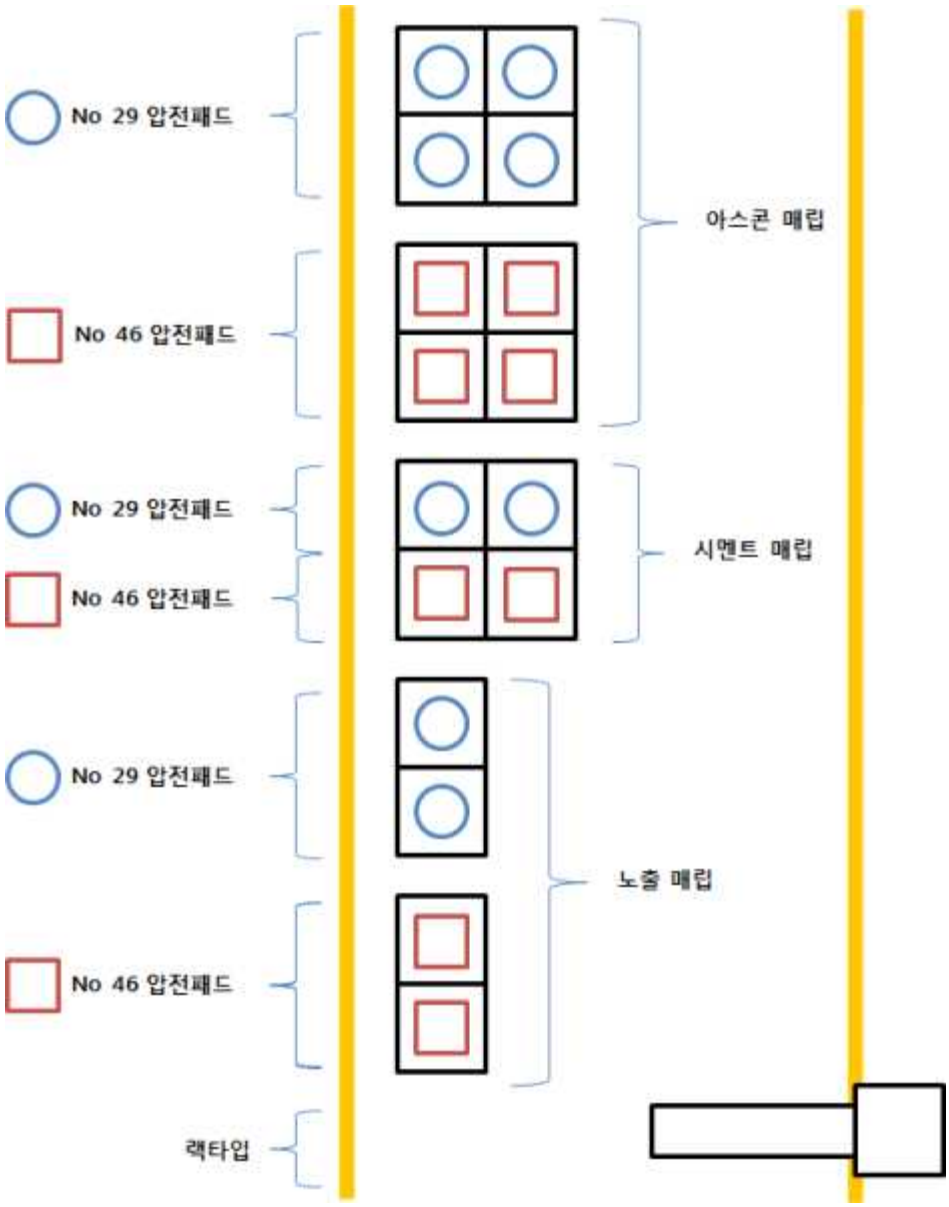
<그림 3-205> 렉형 압전발전모듈 매설작업

<그림 3-205>은 렉형 압전발전모듈 매설작업 사진이다. 렉형 압전발전모듈은 발전 켄틀레버가 구조물 옆으로 솟아 있는 형태이기 때문에 도로의 가장자리에 매성하였다. 매설순서는 다음과 같다.

① 전기톱날과 드릴을 사용하여 압전발전모듈이 매설될 공간을 만든다

② 압전발전모듈을 넣는다

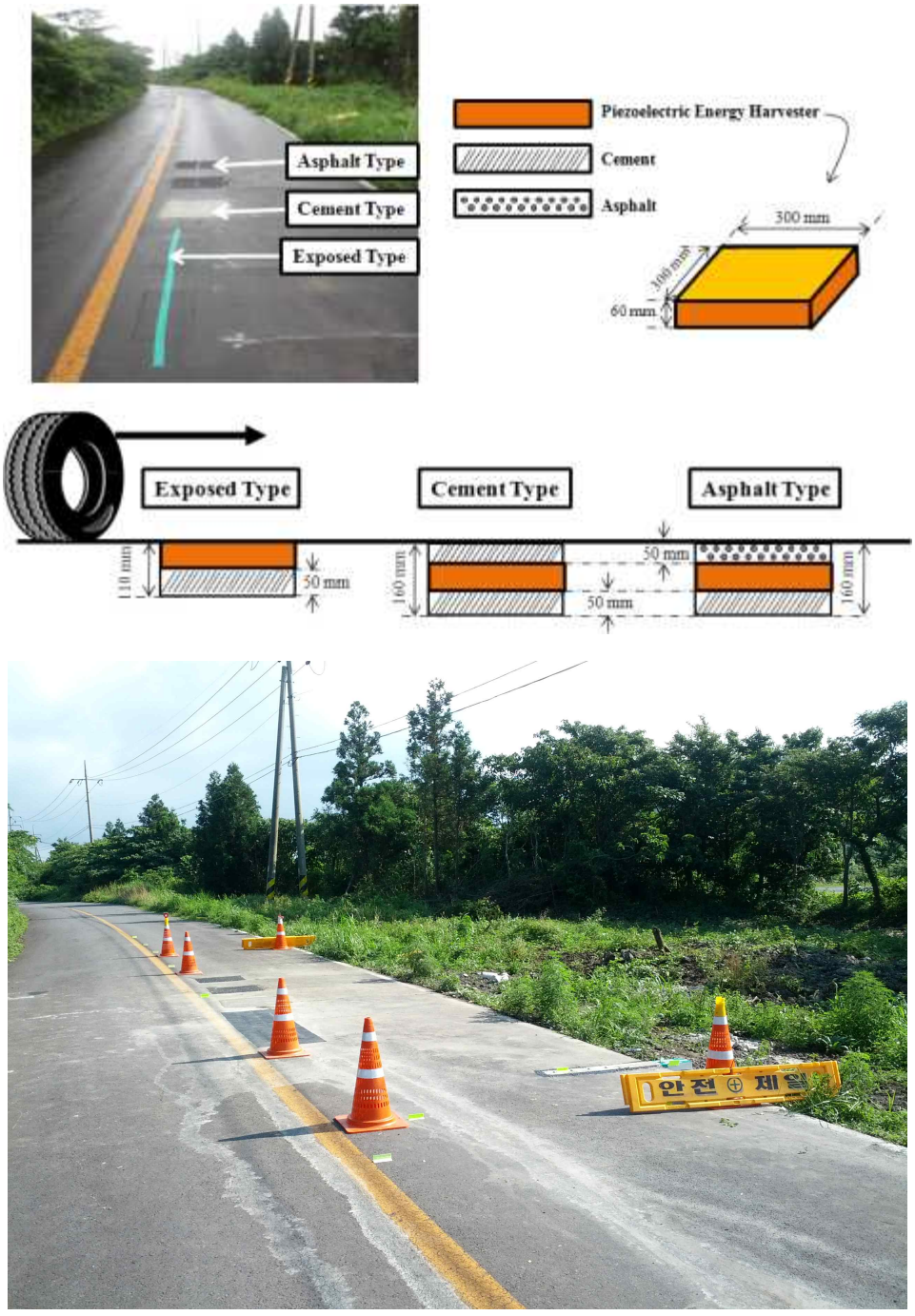
③ 아스콘 등을 사용하여압전발전모듈과 도로의 틈새를 매꾼다.



<그림 3-206> 압전패드 매설지역 구성

지금까지 매설작업에 대하여 설명한 것이 <그림 3-206>이다. 도로의 제일 상단에는

No.29 압전패드가 4개 병렬로 연결한 후 아스콘으로 매설되어 있고, 그 다음 No.46 압전패드 4개가 병렬로 연결한 후 아스콘으로 매설되어 있다. 그 밑에 No.29, No.46 압전패드를 2개씩 병렬로 연결하여 시멘트로 매설하였고 다시 No.29, No.46 압전패드를 2개씩 병렬로 연결하여 노출형태로 마감하였다. 마지막으로 제일 밑부분에 렉형 압전발전모듈을 매설하였다.



<그림 3-207> 압전패드 매설 개략도 및 사진

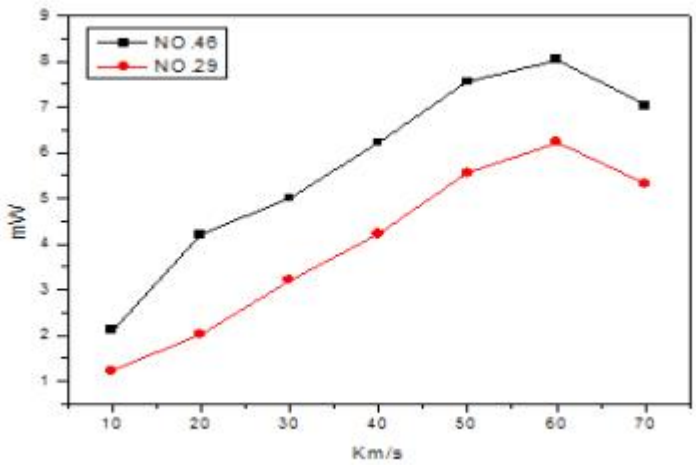
<그림 3-207>는 압전모듈의 매설 개략도 및 공사가 완료된 테스트 베드의 전체적인 모습으로 진행방향으로 압전모듈(랙형)이 오른쪽에 위치해 있으며 그 후로는 중앙선 가까이 테이프코트로 공사한 노출형 압전모듈, 시멘트로 매립한 압전모듈과 아스콘으로 매립한 압전모듈이 위치해 있다.

나. 현장 테스트 결과

한국건설기술연구원 발전효율 평가, 공압을 이용한 자체 발전효율평가를 통하여 보다 좋은 발전효율을 보인 No.46 압전패드와 No.29 압전패드, 2개의 압전패드를 도로에 매설하여 발전효율 평가 테스트를 실시하였다. 두 압전패드 모두 조건을 동일하게 아스콘으로 매립하였으며 차량은 스포티지를 사용하여 10 ~ 70km/s까지 단계별로 속도를 올리면서 테스트를 실시하였다.



<그림 3-208> 스포티지 현장테스트



<그림 3-209> 속도별 압전패드 발전효율 비교

<그림 3-209>을 보면 테스트 결과 No.46 압전패드가 No.29 압전패드보다 약 1~2mW정도 높은 발전효율을 보이는 것을 알 수 있다. 다음 테스트로 초기 테스트에서 가장 좋은 발전 효율을 보인 No.46 압전패드를 다양한 방법으로 테스트하여 발전량을 비교하였다. 차량의 하중과 속력, 매설타입에 따른 발전량을 측정하였다. 차량은 Sedan

(소형), SUV(중형), Truck(대형)이며 매설방법은 시멘트와 아스콘으로 매립한 상황과 노출형일 경우를 산정하였다. 차량속도는 10 ~ 100km/h까지 단계별로 발전효율을 테스트하였다. 단 트럭의 경우 도로여건상 60km/h까지 테스트하였다.



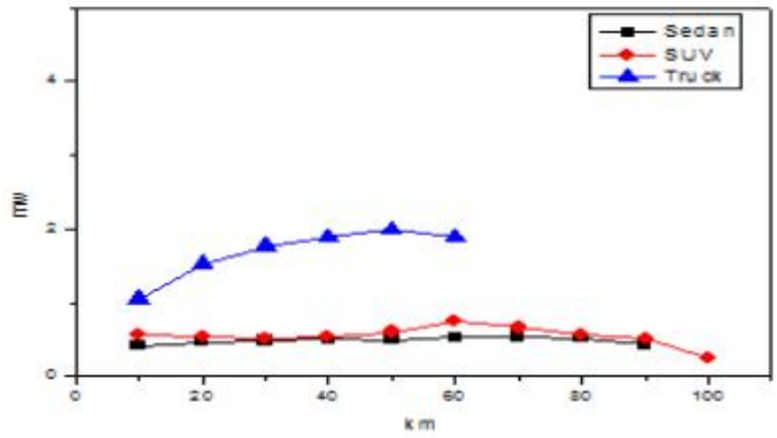
<그림 3-210> 대형차량 테스트 사진



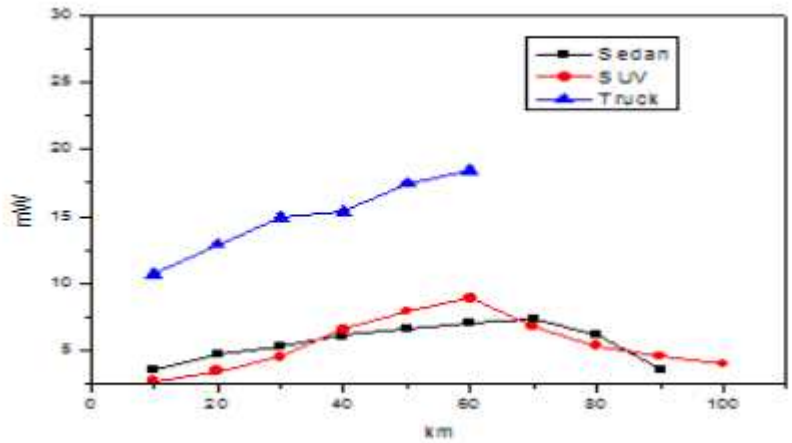
<그림 3-211> 중형차량 테스트 사진



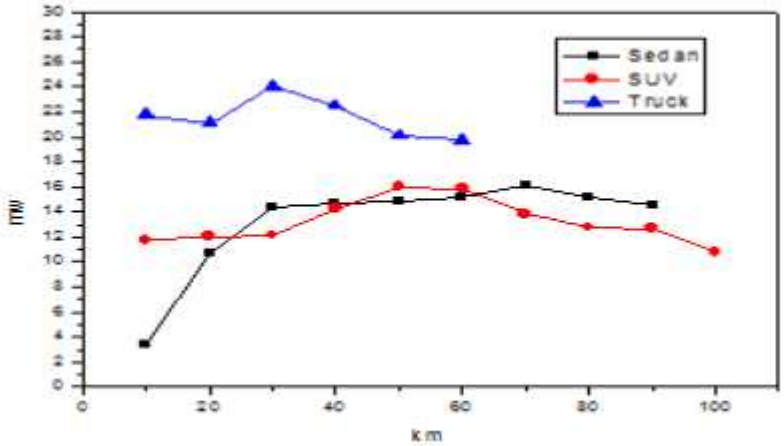
<그림 3-212> 소형차량 테스트 사진



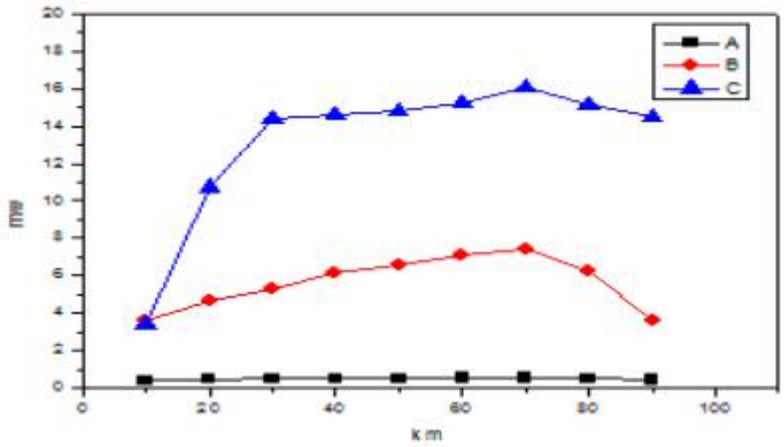
<그림 3-213> 차량별 발전특성(시멘트 매립)



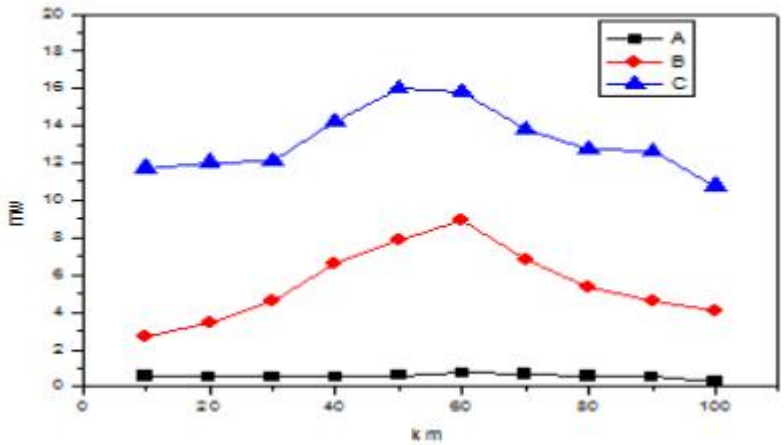
<그림 3-214> 차량별 발전특성(아스콘 매립)



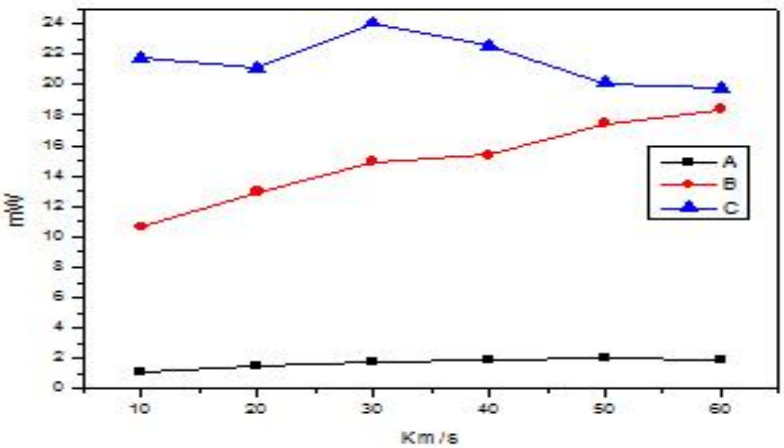
<그림 3-215> 차량별 발전특성(노출)



<그림 3-216> 매설타입별 소형차량 발전특성(A: 시멘트, B: 아스콘, C: 노출)

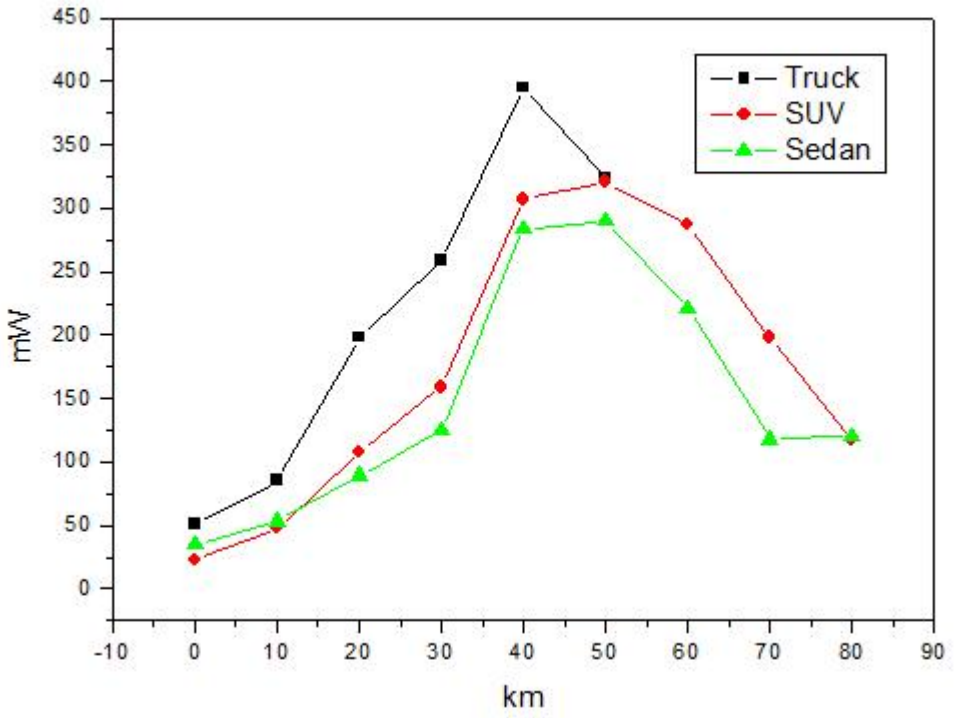


<그림 3-217> 매설타입별 중형차량 발전특성(A: 시멘트, B: 아스콘, C: 노출)



<그림 3-218> 매설타입별 대형차량 발전특성(A: 시멘트, B: 아스콘, C: 노출)

위의 <그림 3-213>부터 <그림 3-218>까지 차량별, 매설타입 별로 속력을 증가시켜 가면서 측정한 No.46 압전패드의 발전량을 나타낸 것이다. <그림 3-213>을 보면 시멘트로 매립을 한 경우 대형차량이 아니면 발전량이 1mW 이하로 나타났으며, 대형차량의 경우에도 발전량이 1~2mW정도였다. 전체적으로 시멘트 매립의 경우 매우 낮은 발전효율을 보이는 것을 알 수 있다. <그림 3-214>의 아스콘 매립의 경우를 보면 차량별로 대략 60km/h 전후까지는 속도가 증가할수록 발전량도 증가하였고, 70km/h 이상일 경우 발전량이 조금씩 감소하는 경향을 보였다. 또한 차량의 하중이 무거울수록 높은 발전효율을 나타냈다. <그림 3-215>의 노출타입의 경우에서는 전체 차량 모두 다른 매설타입보다 높은 발전량을 나타내었다. 대형차량의 경우 최대 발전량이 약 24mW로 아스콘의 약 17mW에 비하여 높은 발전량을 보였다. 노출타입의 경우에도 차량의 속도가 70km/h 이상으로 올라갈 시 발전량이 조금씩 감소하는 경향을 나타냈다. 이는 차량의 속도가 증가하면 매설된 압전패드에 주는 하중도 따라서 감소하여 속도가 증가하여 압전패드에 가해지는 충격이 증가하는 것보다 하중이 줄어들어 압전패드에 가해지는 충격이 감소하여 나타나는 현상으로 파악된다. <그림 3-216>, <그림 3-217>, <그림 3-218>은 매설타입에 따른 차량별 발전량을 나타낸 것이다. 앞에서 말한 것처럼 테스트 차량이 대형차량일 경우가 최대 발전량 약 24mW로 다른 차종에 비하여 전체적으로 높은 발전량을 보였으며, 중형과 소형차량의 경우 큰 차이를 보이지 않았다. 압전패드의 매설방식이 노출타입일 경우가 가장 높은 발전효율을 보였으며, 시멘트타입의 경우에는 발전효율이 매우 낮게 나타났다. 테스트베드의 테스트 결과 차량이 하중은 클수록, 속도는 약 60km/h 정도에서 가장 큰 발전효율을 내는 것을 알 수 있었다. 또한 압전패드에 직접적인 충격이 가해지는 노출형태의 매설이 가장 큰 효율을 보였다.



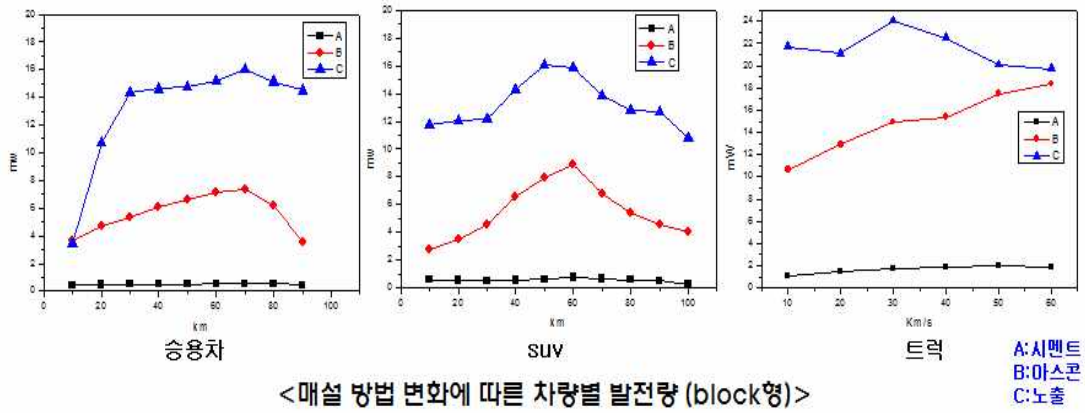
<그림 3-219> Rack type 하베스터의 차량 종류/속도별 발전특성

<그림 3-219>는 Rack type 하베스터에 대한 차량 종류/속도별 발전특성을 나타낸 그래프이다. 차량속도는 10 ~ 80km/h까지 단계별로 발전효율을 테스트하였다. 단 트럭의 경우 도로여건상 50km/h까지 테스트하였다. (rack type 하베스터를 도로 바깥쪽에 설치하여 차량 속도를 제한적으로 실시함)

테스트 결과 속도가 40~50km까지 발전량이 증가하는 경향이 나타났으며 트럭의 경우 최대 발전량이 395mW로 측정되었고, SUV, 승용차는 최대 발전량이 각각 321, 290mW로 측정되었다. 차량 종류에 관계없이 일정 속도 이상(50~60km)에서는 발전량이 감소하는 경향이 나타났는데 이는 차량의 속도가 빨라질 경우 일정속도 이상에서 rack type 기구물의 힘전달 장치를 완전히 누르지 못하고 차량 바퀴가 기구물을 지나가기 때문인 것으로 판단된다. rack type 하베스터의 경우 발전패드와 비교하여 발전량이 매우 높지만 별도의 발전모듈 장치(rack)가 있어 도로환경에 설치할 경우 제한적으로 설치할 수밖에 없는 단점이 있다. (기존의 차도-인도 경계 블록 대체 등)

간접 타격방식을 이용할 수 있는 공간이 확보된다면 발전량이 높은 간접타입 방식이 우위하며, 이때 기구물은 표면 노출형으로 매립(발전 효율이 좋아 충전 효율도 높아짐)

고속 통행이 이루어지는 도로에서는 도로 위로 노출되거나 도로 옆에 놓인 기구물 등에 의한 사고 가능성이 있으므로 발전모듈을 완전히 매립하여 매설하는 방법이 바람직하다.



<매설 방법 변화에 따른 차량별 발전량 (block형)>

· 매립방식 (노출식, 매립식)

→ 발전특성 노출식 우위 (위 그래프에서 C가 A, B 대비 우위)

· 매설재료 (아스콘, 콘크리트)

→ 발전특성 아스콘 우위 (위 그래프에서 B가 A 대비 우위)

· 직/간접타격방식

→ 절대적인 비교는 어려움(직, 간적 타격 방식 발전 모듈의 size가 상이하여 절대적인 비교는 어려움)

→ 간접 타격방식의 경우 설치 공간의 제약이 없다면 직접 타격방식 대비 압전소자의 수량을 늘릴 수 있어 발전량은 높아짐)

· 매설 최적 설치 방안

→ 간접 타격방식을 이용할 수 있는 공간이 확보된다면 발전량이 높은 간접타입 방식이 우위함. 이때 기구물은 표면노출형으로 매립함. (발전 효율이 좋아 충전 효율도 높아짐)

→ 고속 통행이 이루어지는 도로에서는 도로 위로 노출되거나 도로 옆에 놓인 기구물 등에 의한 사고 가능성이 있으므로 발전모듈을 완전히 매립하여 매설하는 방법이 바람직함.

→ 발전 모듈에 전달되는 힘은 아스콘이 시멘트보다 우위임(발전효율이 높음)

· 테스트베드 구축의 절절성 및 실험방법 및 실험방법, 결과 분석의 타당성 검토 필요

· 테스트베드 구축의 적절성

: 테스트베드는 차량 이동이 거의 없는 남조로와 차량 이동이 많은 제주대 진입로 두 곳에 구축함.

① 남조로 : 다양한 형태의 발전모듈을 다양한 형태의 매설방법을 이용하여 매설시험을 진행하였고, 계절 변화에 따른 기구물의 내구성 검증을 위한 준비가 잘되어 있음.

② 제주대 진입로 : 실제 많은 차량이 다니는 도로이며, 차량 이동시 발생할 수 있는 문제점 즉 내구성 검증을 위한 적절한 위치라고 판단되며, 무선스위치가 설치되어 설치 전, 후 전력 절감 효과를 검증할 수 있는 적절한 장소임.

· 실험방법, 결과분석의 타당성

: 승용차, SUV 트럭 등 다양한 차종에 대한 시험 data가 제시되었고, 매설방법에 따른 특성평가 결과도 제시함. 또한 발전량 및 무선스위치를 사용하여 가로등 제어를 통한 에너지 절감 효과를 분석한 data도 적합함.

· LED 가로등을 통해 기존 나트륨 가로등 대비 100W의 전력을 줄일 수 있고, 무선스위치를 이용한 가로등 제어시 기존의 나트륨 가로등 대비 62.4%의 전력을 절감할 수 있음 (제주대 진입로 동절기 기준)

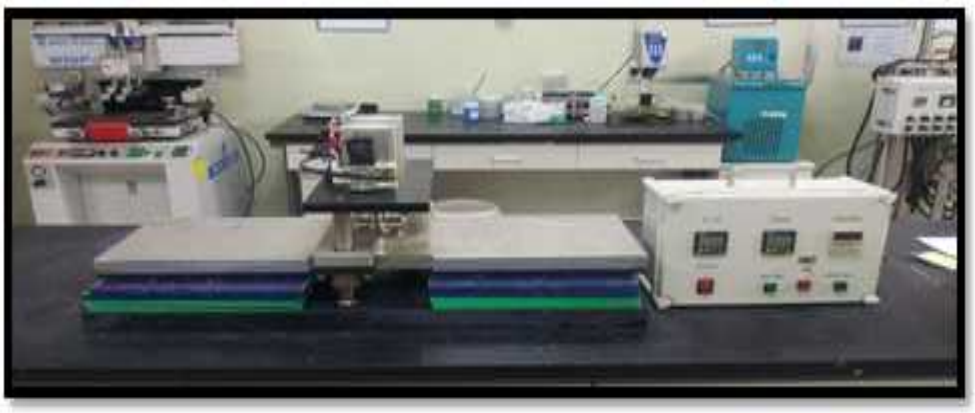
→ 교통량이 적은 야간(24:00~06:00)의 경우 기존 나트륨 가로등 대비 67.6%의 전기 절감

* 상기 분석 조건 (교통량 분석 : 일주일 평균치 사용)

- 18:00~21:00 : 차량 500대
- 21:00~24:00 : 차량 300대
- 24:00~06:00 : 차량 100대

→ 교통량이 적은 구간이나 심야 시간(시간당 50대 이하)에 절감 효과가 약 40% 수준임

다. 도로주변환경에 따른 내구성 평가



<그림 3-220> 공압을 이용한 압전패드의 발전량 테스트

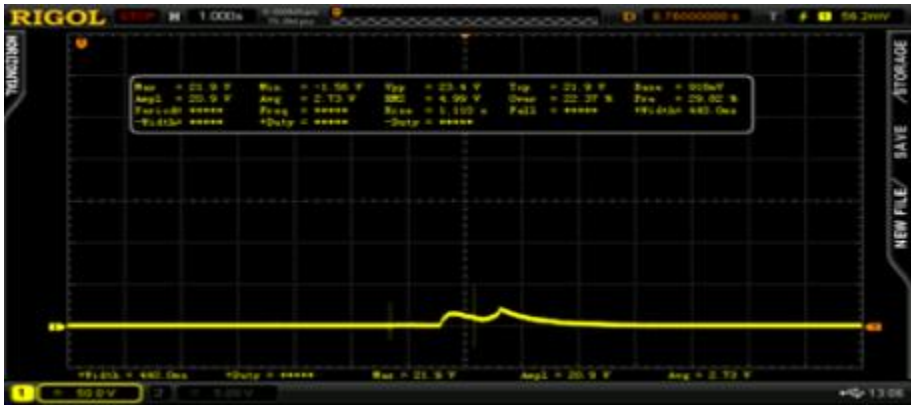
도로주변환경에 따른 내구성 평가를 위하여 압전패드의 매설 전, 후 발전량을 측정하여 비교하였다. 발전량 측정은 공압테스트를 통해 이루어졌다. 발전량 평가는 공압 test 장비 지그 사이에 단층형 발전 패드를 넣고 공기압력을 7kgf/㎠로 가하였다.



<그림 3-221> 매설 후 날씨 상황

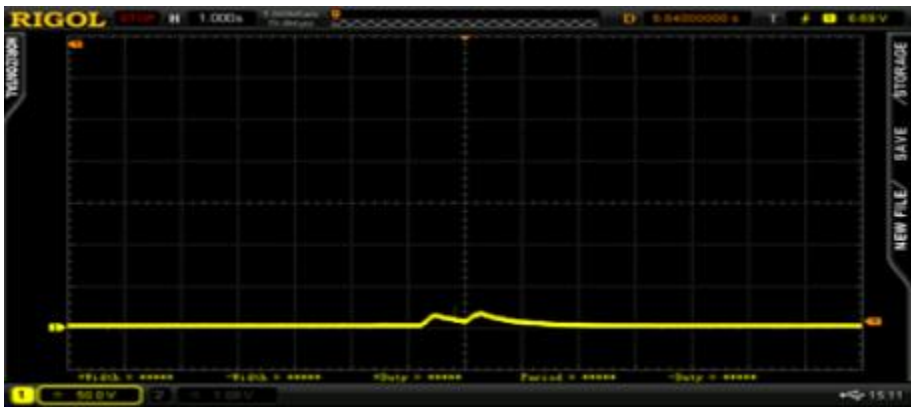
먼저 매설 전 공압 테스트 장비를 사용하여 압전패드의 발전량을 측정하고, 압전패드를 남조로 테스트베드에 매설하고 43일이 경과한 뒤 다시 꺼내어 매설 전과 동일한 방법으

로 발전량을 측정하였다. <그림 3-221>에서 보이는 것처럼 43일 동안 비가 온 날은 총 17일이었으며, 그 중 3일은 강수량이 100mml 이상이었다.



46		
시간간격	연결저항	sum average
[sec]	[ohm]	2.59933E+01
0.01	100000	power (W)
		0.0050

(a)매설전 발전량



46		
시간간격	연결저항	sum average
[sec]	[ohm]	2.59921E+01
0.01	100000	power (W)
		0.0049

(b)매설후 발전량

<그림 3-222> 매설 전후 압전패드 발전량 비교

<그림 3-222>에서 보면 매설 전 압전패드의 발전량을 측정한 결과 약 5mW의 발전량

을 나타내었고 매설 후의 발전량은 약 4.9mW를 나타내었다. 이를 통해 압전패드가 43일간 동안 외부환경에 노출되어 있어도 발전효율이 떨어지지 않는다는 것을 알 수 있었다.

도로환경에서 사용하는 것을 감안하여 추가항목 및 가혹조건을 설정하여 평가하였다

: 신뢰성(내구성) 평가 후 제품의 성능 분석(OK, NG)은 초기 발전량과의 비교를 통해 진행함. (합격기준 : ±10%이내)

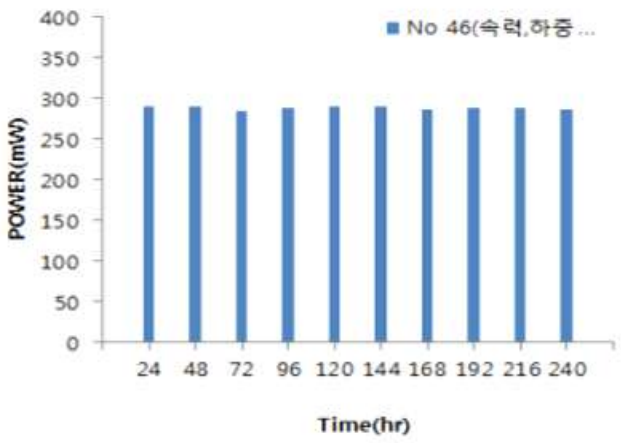
- 환경성, 내구성 : 매설품에 대한 실증을 거쳐 추가적인 data 확보, 발생하는 문제점 원인 분석 및 개선을 통해 극복
- 경제성 : 현재 P.P scale의 가격이며, 양산시 수량에 따라 50% 이상의 단가 절감 가능함
- 응용분야 : 어린이 보호구역 차량 진입시 무선 송수신을 이용한 안전 시설물 제어, 톨게이트 차단 bar LED 조명 활용 등
- 발전용량 저하 여부에 대한 실험 결과 및 예상치

: 건기연에서 발전모듈에 대한 240hr 내구성 시험결과 발전 특성의 변화 없었음

: test bed에 매설된 기구물의 운영을 (남조로 : 6개월 유지, 제주대 진입로 2개월) 통해 현재까지 발전 용량 저하는 나타나지 않음.

: 압전소자 발전특성의 지속성은 반 영구적이나, 예상치 못한 큰 힘이 전해질 경우 제품 성능 저하는 발생할 수 있음

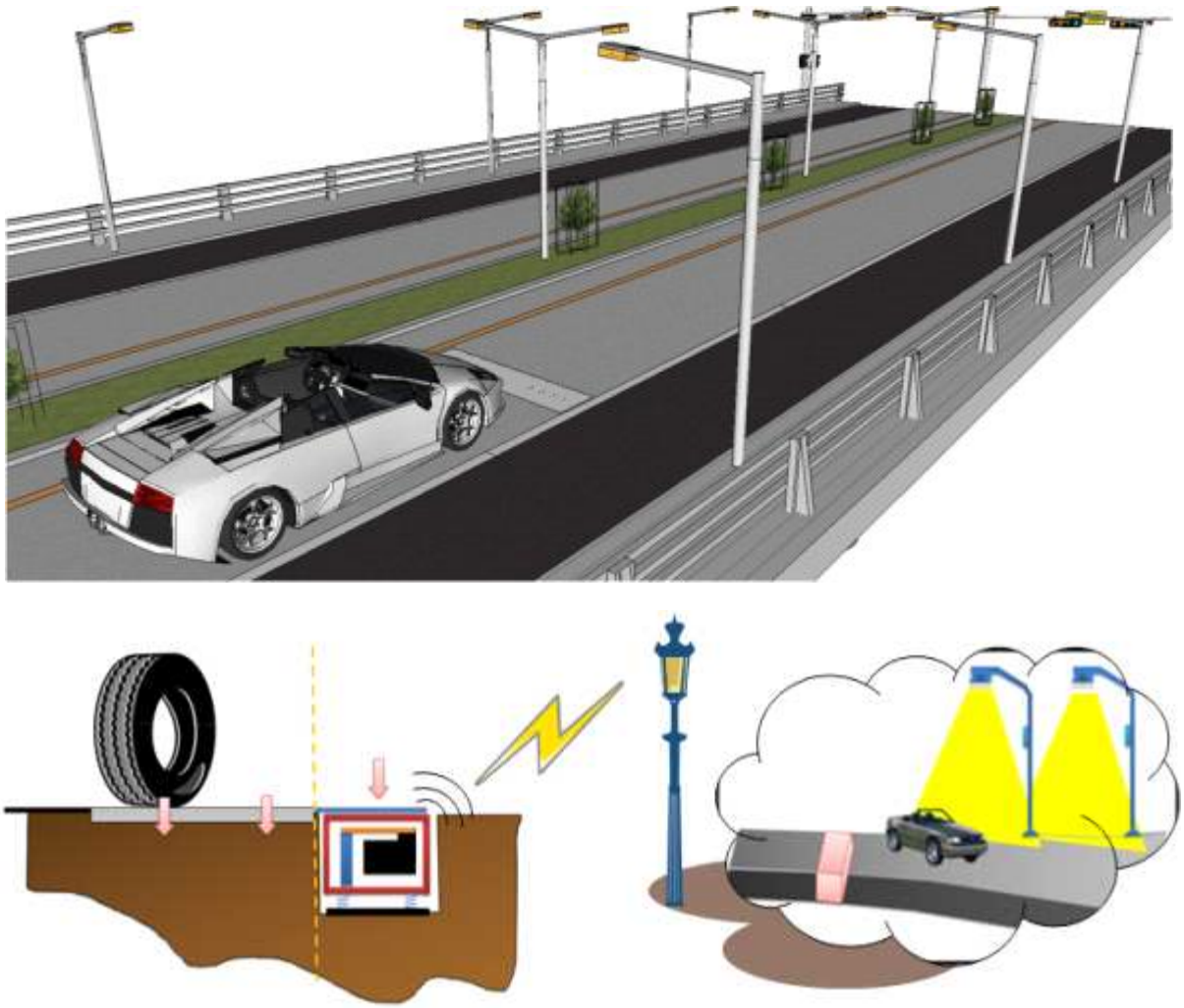
: 매설된 발전모듈의 발전 용량 저하보다는 기구물과 아스팔트의 이질감에 의한 아스팔트 침식 또는 기구물의 케이스 외형 변화에 대한 것이 더 우려됨.



TIME(hr)	POWER(mW)
24	289
48	290
72	285
96	288
120	289
144	290
168	287
192	288
216	288
240	287

<한국건설기술연구원 가속포장시험기 시험 결과-240hr>

4-2. 압전무선스위치 현장설치 및 테스트



<그림 3-223> 압전무선스위치 개념도

차량이 주행시 차량의 진행에 따라 가로등이 동작하는 실증단지를 구축하였다. 단층형 압전발전모듈과 다층형 압전발전모듈을 도로에 매설하고, 압전 무선스위치를 연결하여 각 가로등의 LED 전원 인터페이스 모듈과 연동시켜 동작하도록 하였다. 도로를 따라 진행하는 차량의 바퀴가 도로에 매설된 압전발전모듈을 밟으면 압전발전모듈에서 발생한 진동에너지는 전기에너지로 변환된다. 변환된 전기에너지는 무선스위치 송신기의 전원을 인가하여 동작시키게 되고 무선스위치 송신기는 자신의 주파수대역과 같은 무선스위치 수신기를 향해 신호를 보내게 된다. LED가로등에 설치되어 있는 무선스위치 수신기가 신호를 수신하면 LED 전원 인터페이스 모듈에서 해당 신호를 통해 LED 가로등을 동작시킨다.

가. 현장설치(제주대학교) 특징



<그림 3-224> 현장설치(제주대학교) 구축장소

- 위치 : 제주대학사거리부터 제주대학정문 입구 구간
- 거리 : 890m
- 차량소요시간 : 약 2분
- 가로등의 배치 방식 : 지그재그형
- 한라산 방면 남쪽에 신설 LED가로등 구간과 기존 시설은 북쪽에 위치
- 일몰 후 남단과 북단의 도로에 대한 조도 관측이 필요하며 쌍방의 전력소모량에 대한 비교 검토 수행 예정
- 도로의 특징
  - 제주대학교 정문 인근에 버스 차고지 및 버스 종착/시착점으로 다수의 버스 통행이 용이
  - 중간지점에 과속방지턱이 존재하여 감속요인
  - 현재 시설지점은 노면 요철 포장 형태임

나. 가도등주의 배치형태

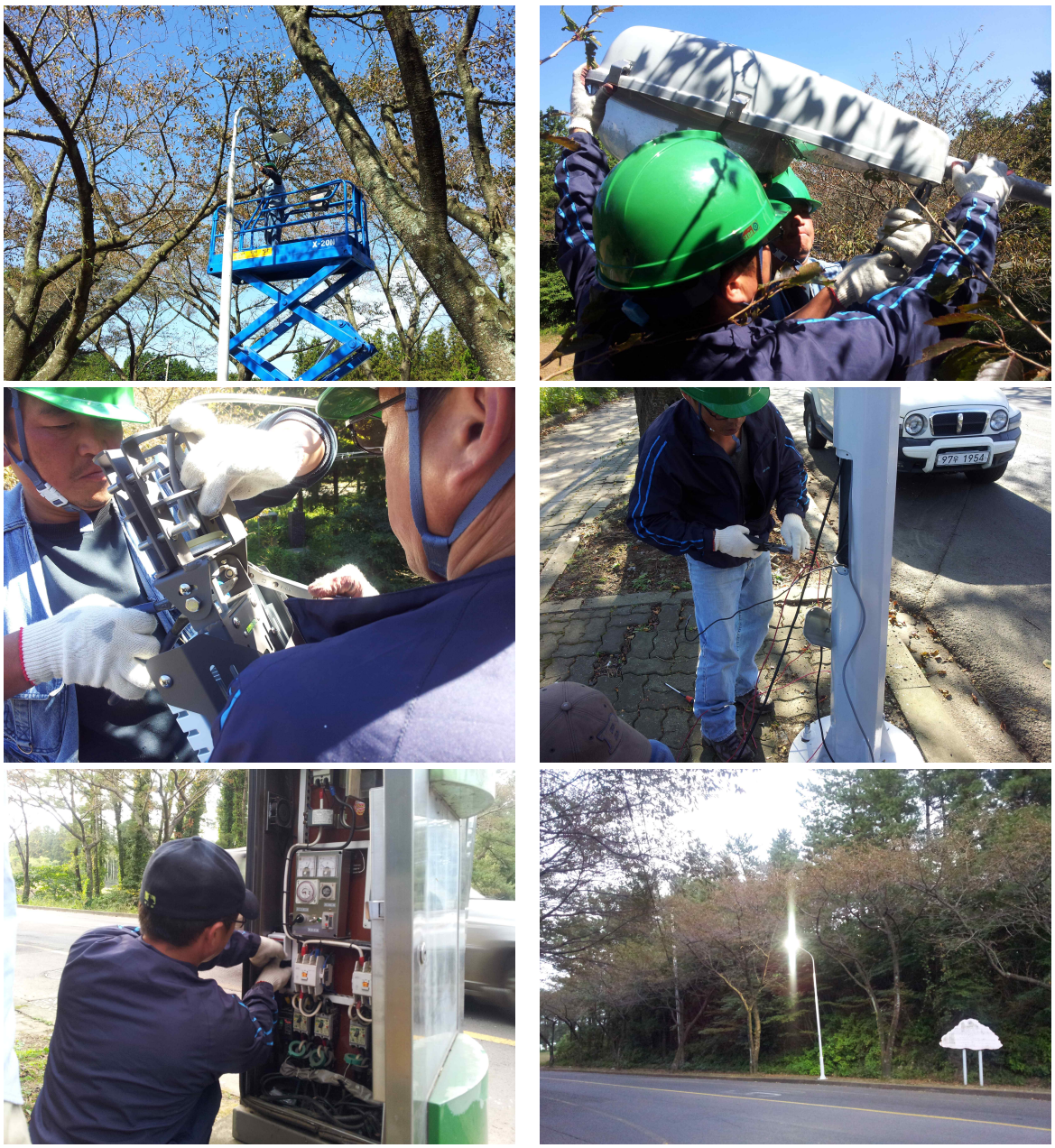


<그림 3-225> 가도등 배치형태

- 가로등주는 기존형태와 신규 LED형태의 등주가 지그재그형으로 위치
- L은 신설된 LED 가로등주이며 P는 기존의 가로등주임
- 신규 시설된 가로등주는 모두 13개소이며 기존 가로등주는 16개임
- 가로등의 높이 : 7m
- 가로등의 간격은 약 30~40m로 균일하지 않음
- P20~L21와 P18~L19 구간에는 과속방지턱이 존재하여 차량의 속도가 현저히 저하되나 이후 시설지점까지는 일정 속도이상 가속이 가능
- 시설지점에는 제주대학교 아파트로 진입로 인근으로 버스가 잠시 정차하는 지점이나 그 빈도는 매우 적음

다. 현장설치 및 테스트

먼저 현장설치를 위하여 설치구간(제주대학교 사거리에서 정문방향)의 나트륨 가로등 13개를 LED 가로등으로 교체하였다. 기존 나트륨등과의 소비전력비교를 위하여 분전함에 소비전력측정기를 추가 설치하였다.

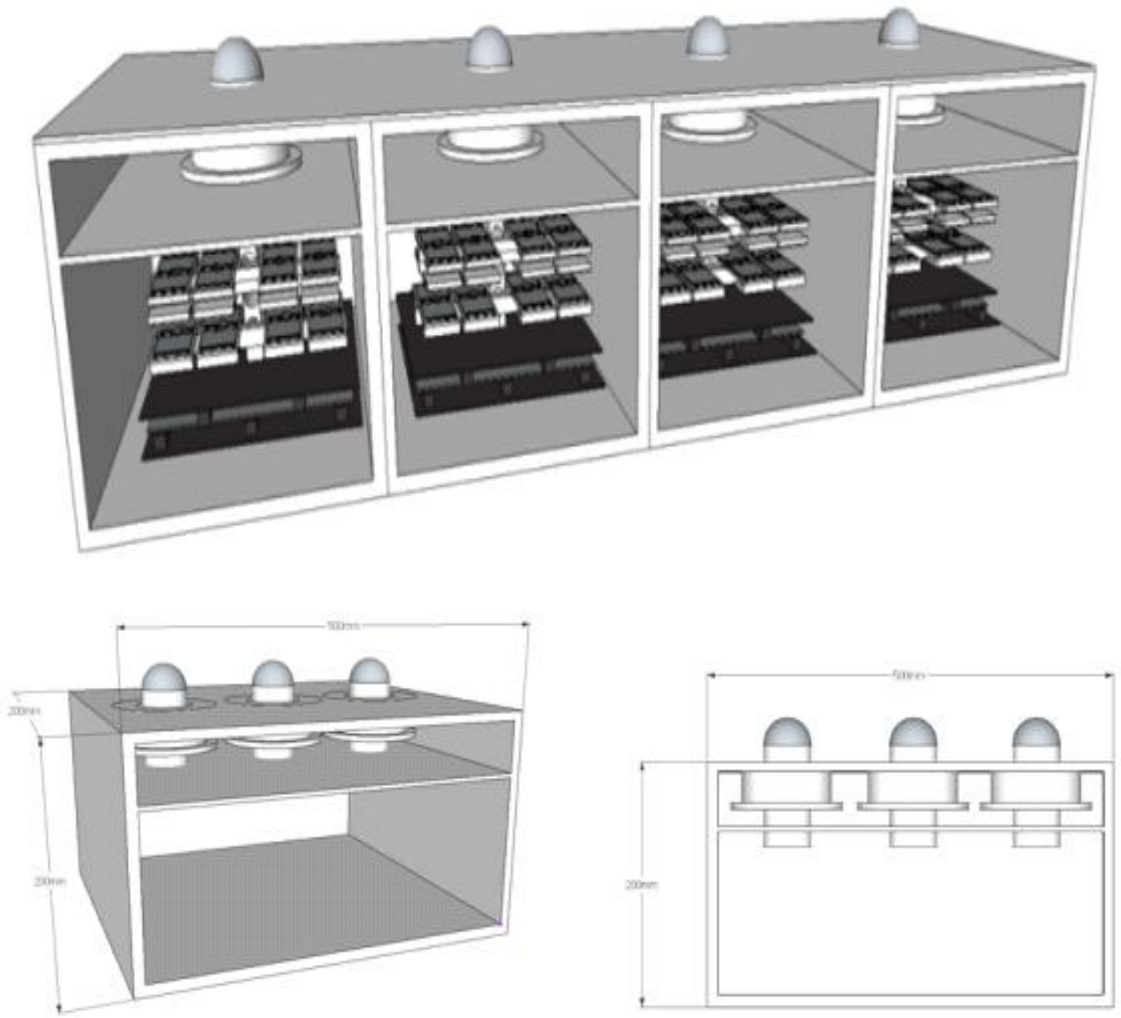


<그림 3-226> 기존 나트륨 가로등에서 LED 가로등으로 교체

배전반과 전력선을 분리시켜 나트륨 가로등을 제거한 후 LED 가로등을 전신주와 연결하여 고정시킨다. LED 전원 인터페이스 모듈과 무선스위치 수신기를 가로등에 설치한다. 마지막으로 LED 가로등을 통해서 사용되는 전력을 측정하기 위해서 전력량 계량기

를 배전반 안에 설치한다.

현장설치(제주대학교)를 하기 전 사전성 검토를 위하여 남조로 연구테스트 도로에 압전발전모듈을 시험 매설하였다. 압전발전모듈의 크기를 정확히 측정하여, 도로 커팅작업을 실시하였으며, 우천 시 물의 흐름을 옆으로 세어나가도록 하였다, 커팅작업을 한 바닥과 장치의 고정을 위해 에폭시를 사용하였다.



<그림 3-227> 압전발전모듈

<그림 3-227>는 새로 개발한 압전발전모듈로 캔틀레버가 구조물 안에 삽입되어 있어 도로의 어느 부분에도 매설이 가능하게 제작되었다. 이는 기존의 렉형 압전발전모듈이 도로의 가장자리에만 매설이 가능한 단점이 있어서 그 부분을 개선한 것이다.

<그림 3-228>는 남조로 연구테스트 도로에 실시한 시험 매설 사진이다. 매설작업의 자세한 순서는 다음과 같다.

① 압전발전모듈의 사이즈만큼 정확히 도로를 커팅 한다. 이 매설공사에서는 방수 문제를 파이프가 아닌 옆으로 세어나가도록 작업하였다.

② 시멘트로 평탄화작업을 한 후 압전발전모듈을 넣는다.

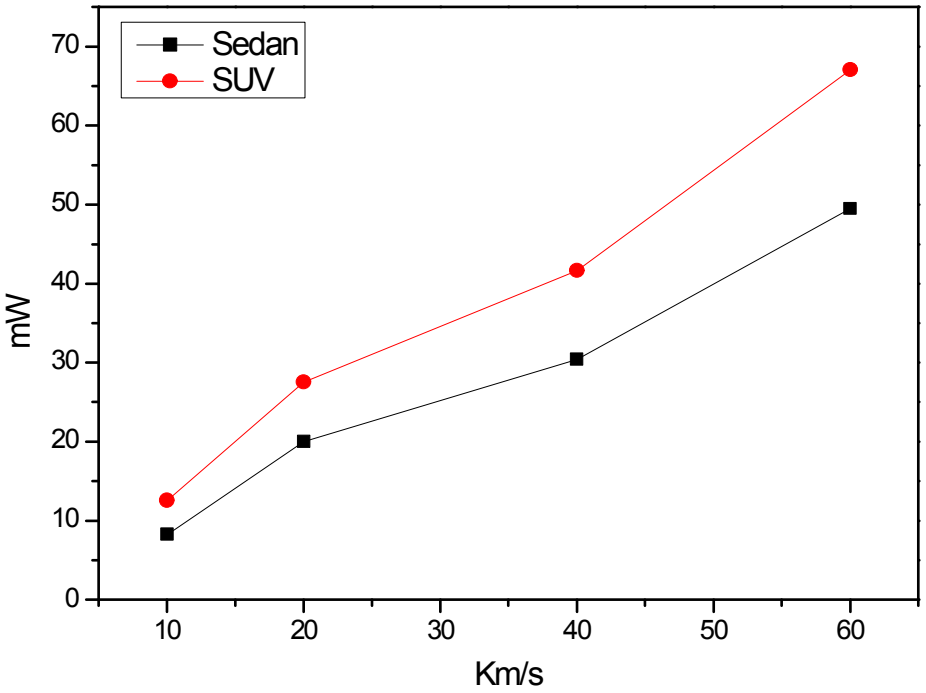
③ 압전발전모듈이 흔들리지 않도록 고정하기 위해 주위 틈새로 시멘트를 넣어 단단히 고정시킨다.



<그림 3-228> 남조로 연구테스트 도로 시험 매설 사진

현장설치계획에 따라 1개의 압전발전모듈에는 가상의 과속 방지턱을, 다른 압전발전모듈에는 가상의 미끄럼방지구간을 만들었다.

<그림 3-229>는 남조로 연구테스트 도로에 매설된 압전발전모듈에 대한 차량별 발전량 데이터이다. 속도방지턱 구간이 있어 차량의 속도는 60km로 제한되어 발전량이 측정되었으며, 발전량은 오실로스코프를 이용하여 측정된 피크의 면적을 적분하여 계산하였다. 시험 결과 속도가 증가할수록 발전량이 증가되는 경향이 나타났으며 SUV 차량이 승용차보다 발전량이 높게 측정되었다. SUV, 승용 차량의 최고 발전량은 시속 60km에서 측정되었으며, 각각 67.02, 49.52㎽로 측정되었다.



<그림 3-229> 남조로 연구테스트 도로에 매설된 압전발전모듈 발전량



<그림 3-230> 현장설치을 위한 매설 시공

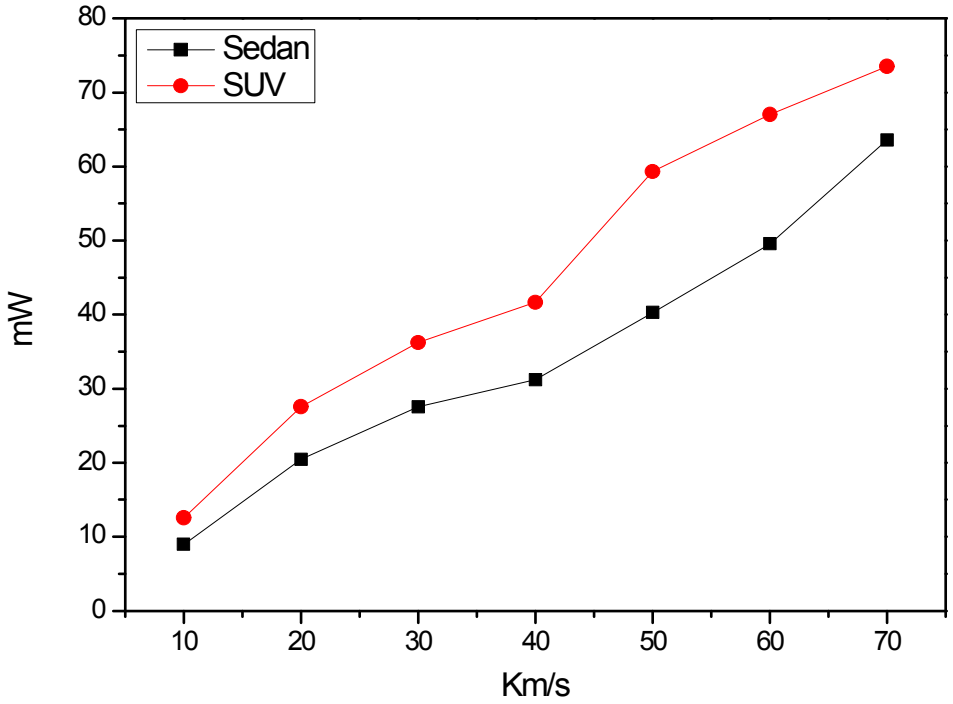
<그림 3-230>은 실제 현장설치(제주대학교) 압전발전모듈 매설사진이다. 매설시공을 하기 전에 차량의 지나가는 패턴을 분석하기 위해 도로에 스티커를 부착하였다. 이를 통하여 차량의 지나가는 위치를 분석하여, 가장 많이 지나가는 위치를 선정하여 공사를 실시하였다. 매설작업의 자세한 과정은 다음과 같다.

① 압전발전모듈의 가로, 세로 길이만큼 도로에 표시를 하여 정확히 도로를 커팅 한다.
② 커팅된 도로를 압전발전모듈의 높이보다 조금 더 깊이 파낸다.
③ 압전발전모듈를 묻기 전에 아스콘을 먼저 붓고 바닥을 평평하게 다져준다.
④ 압전발전모듈을 넣고 압전발전모듈이 흔들리지 않도록 고정하기 위해 주위 틈새로 아스콘을 넣어 단단히 고정시킨다.



<그림 3-231> 압전발전모듈 매설 완료 사진

<그림 3-231>은 압전발전모듈 매설이 완료된 사진이다. 총 4개를 매설하였으며 서로 병렬로 연결되어 있다.



<그림 3-232> 현장설치(제주대학교)에 매설된 발전모듈에 대한 발전량

<그림 3-232>는 제주대학교 앞 현장설치구간에 매설된 압전모듈에 대한 발전량 data 이다. 발전량 실험은 승용차와, SUV 차량을 이용하였고 속력은 10, 20, 30 40 50 60 70km로 변화시키며 측정하였다. 그 결과 남조로에 매설된 기구물과 유사한 발전특성이 나타났다. 승용차의 경우 속도가 10~70km 구간에서 발전량은 8.99, 20.44, 27.55, 31.22, 40.3. 49.52, 63.55㎽로 측정되었고, SUV 차량은 12.55, 27.56, 36.22, 41.66, 59.33, 67.02, 73.55㎽로 측정되어 SUV 차량이 지나갈 때 발전량이 승용차보다 높음을 확인할 수 있었다.

제4장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

제1절 연구개발 목표 달성도

1. 당해년도 연구개발 목표

연구목표	세부 연구목표	달성도
압전 기술을 이용한 전력발생 모듈 제작	▪ 발전량에 미치는 구조적 인자 도출 ▪ 전극공정 및 접착기술 개발 ▪ 최적 구조 설계를 위한 시뮬레이션 ▪ 시제품 제작 - 다층 패드형태 압전모듈 제작 - 기존 패드(블럭)형태의 모듈 제작 ▪ 양산화를 위한 기반 기술 개발 - 압전모듈 양산성 검토(형태 및 사이즈)	120%
압전 충전제작 및 압전발전모듈 평가	▪ 최적 충전회로 설계 - 전력 손실 최소화/효율 극대화 ▪ 단위 충전회로 전류 및 전압제어 시스템 개발 ▪ 제작 회로 성능 평가 ▪ 압전발전 모듈 장치 효율 평가 ▪ 압전발전모듈 장치 내구성 평가 - 고온, 저온, 내습, 열충격 안정성	110%
압전무선스위치 제작	▪ 저전력 구동 무선통신 송·수신 모듈개발 - 안정적 전력공급회로 개발 및 제작 - 송·수신 프로토콜 개발 - 무선통신 장치 연계 체계 개발 ▪ LED 장치 인터페이스 모듈 제작 - RF 수신 및 조명제어 모듈제작 - 주행환경에 맞는 동작 펌웨어 개발	120%
현장설치 및 테스트	▪ 시제품 현장 설치 및 테스트 - 압전발전모듈 및 압전무선스위치 ▪ 매설형태에 따른 특성평가 - 조건별 발전량(차량하중 및 속도) - 도로환경에 따른 내구성 평가	100%

<표 4-1> 연구성과 목록

성과지표	최종목표치	달성도
학술지 논문게제	1 건	2 건
학술회의 발표	1 건	1 건
특허출원	1 건	6 건
인력양성	3 명	3 명

제2절 관련분야의 기여도

○ 주변의 무제한 활용되고 있지 않은 진동에너지를 수확하여 전기에너지로 변환, 활용하는 친환경/청정/재활용 자가 발전은 도래하는 유비쿼터스, 무선 모바일시대의 전자제품에 필요한 대체 에너지원으로 청정화, 소형화, 무선화, 고기능화가 필요한 다양한 분야 즉 Wearable 컴퓨터, MP3, GSM, Bluetooth등의 정보통신기기, Robotics, 항공우주, 자동차, 의료, 건축, MEMS 분야 등의 친환경 Power Generation 으로 검토되고 있으며, 그 응용 가능분야는 크게 확대 예정

<표 4-2> 각 에너지 원천에 대한 cm 단위에서 얻을 수 있는 에너지 하베스팅 양

에너지 원천	에너지 변환방법	극복할 내용	$1cm^3$ 또는 $1cm^2$ 에서 얻을 수 있는 전력
RF	AC/DC 변환	작은 면적으로 구현	100~200 ㎼ @200 ㎽ TX & 300MHz
빛	DC/DC 변환	작은 면적으로 구현	10 ㎼ ~ 15 ㎽ (Outdoors : 0.15 ~ 15㎽) (Indoors : < 10 ㎼)
진동	AC/DC 변환	진동의 변화량	1 ~200 ㎼ (Piezoelectric : 200 ㎼) (Electrostatic : 50 ~ 100 ㎼) (Electromagnetic : < 1 ㎼)
열	DC/DC 변환	온도의 차이	15 ㎼ @ 10℃ gradient, 일반적으로 10 ㎼ ~ 1 ㎽

1. 기술적 측면

○ 고유가 및 유비쿼터스 시대의 무수한 센서를 위한 독립적인 전원을 제공하는 기술을 바탕으로 고용창출 및 매출증대 효과의 달성.

○ 미활용 진동에너지를 이용한 Energy Havester용 압전 조성 및 구조설계 국산화

○ Energy Harvesting & Maintenance Free Power 개념의 실용화 및 파생상품 개발 가능성 제공 (ex. 마우스, 키보드 등)

○ 발전 system 구축 및 평가기술 확립

○ 저전력 센서 네트워크 기술 개발 및 에너지 절약 효과

○ Wearable 컴퓨터, MP3, GSM, Bluetooth장치 등과 각종 전자장치 등 의 에너지원으로 구체적인 제품을 상품화 하고, 각종 기기의 소형화와 특성 개선을 통해 제품 경쟁력 제고

○ 압전 세라믹 발전 시스템의 제조기술의 확보를 통해 초소형 MEMS 기술을 접목한 Piezoelectric Micro Power Generator(PMPG)의 제조 기반 마련

2. 사회・경제적 측면

○ 에너지 발전 시장 경쟁력 확보로 수입대체 및 수출 증대 효과 기대 및 시장 점유율 배가

○ 밧데리 사용량 절감을 통하여 환경개선과 에너지 절감효과가 동 기술의 보편화에 따라 기하급수적으로 증가할 것으로 기대됨.

○ 광범위한 USN(유비쿼터스 센서 네트워크) 응용 분야에 적용

○ 이중 전원모듈의 비중은 5~10%선으로 추정할 수 있으며 따라서 최대 3천 억원의 국내 신규 시장을 창출할 것으로 예상함. 세계시장규모는 국내시장이 10%를 차지하는 선에서 보수적으로 추정 가능할 것으로 판단함.

○ 주변의 무제한 활용되고 있지 않은 진동에너지를 수확하여 전기에너지로 변환, 활용하는 친환경/청정/재활용 자가 발전 소재 개발을 통해서 Wearable 컴퓨터, MP3, GSM, Bluetooth 장치 등과 각종 전자장치 등의 에너지원으로 구체적인 제품을 상품화 하고, 각종 기기의 소형화와 특성 개선을 통해 제품 경쟁력 제고

3. 타 산업에 미치는 효과

○ 에너지 발전 시장 경쟁력 확보로 수입대체 및 수출 증대 효과 기대 및 시장 점유율 배가

○ 밧데리 사용량 절감을 통하여 환경개선과 에너지 절감효과가 동 기술의 보편화에 따라 기하급수적으로 증가할 것으로 기대됨

○ 고유가 및 유비쿼타스 시대의 무수한 센서를 위한 독립적인 전원을 제공하는 기술을 바탕으로 고용창출 및 매출증대 효과의 달성.

○ 중장기적으로 동 연구개발 결과는 PDA, 스마트폰, 인터넷단말기, 인터넷TV, 스마트태그 등의 다양한 정보기기에 적용가능하며 블루투스, 802.11b, IEEE 1394, CDMA 등의 무선통신 기술과 융합되어 기존의 고정형 데스크탑 PC 중심의 컴퓨팅 패러다임을 이동형으로 변화시키고 기존의 밧데리 중심의 전원공급체계를 독자적으로 전환시킬 수 있으므로 이에 수반되는 폐건전지 절감효과와 중금속 오염방지 효과가 기대됨

4. 기타

○ 해외 기업, 학술지 등을 통해 공개된 자료에 의하면 태양열, 풍력 등의 신재생 에너지대비 투자비용 및 생산비용 등에 우위가 있는 것으로 제시되어 있음
(단, 실제 에너지 변환 효율 즉 전기에너지를 저장하는 등의 효율은 최적화가 필요함)

○ LED 가로등을 통해 기존 나트륨 가로등 대비 100W의 전력을 줄일 수 있고, 무선스위치를 이용한 가로등 제어시 기존의 나트륨 가로등 대비 62.4%의 전력을 절감할 수 있음 (제주대 진입로 동절기 기준)

제5장 연구개발결과의 활용계획

제1절 연구결과의 활용방안

○ 친환경 압전 세라믹 소재를 이용한 자가발전 모듈의 구조 설계 및 해석에 의한 기반기술 확립

○ 향후 압전세라믹을 이용한 발전응용 관련 분야 신규 시장 창출 및 세계 시장을 주도적으로 선도

○ 국가 지속적 발전의 근간이 되는 에너지/환경 분야의 기술 혁신이 필요한 상황에서 Energy Harvesting 기술 확립 무엇보다 필요한 실정

○ 이는 유가 상승과 에너지 고갈이라는 시대적인 문제점을 해결할 수 있는 방안을 제시

○ 또한 기간시설에 필요한 전력 공급을 위한 전력선 시설 및 전력 생산 비용을 줄일 수 있는 핵심기술 선도

○ 또한 RFID/USN 등 저전력을 필요한 다양한 분야에 적용함으로써 유비쿼터스 환경 구축 및 국가 경쟁력 강화에 이바지함

1. 기대성과 및 파급효과

○ 압전세라믹을 이용한 자가발전모듈의 개발은 초절전형 전자장치의 임베딩 기술을 통하여 각종 전자장비, 가전기기, 의료 장비, 건물 및 기타 인프라 요소들의 제어를 위한 동력 공급이 가능

○ 유비쿼터스 환경의 핵심 요소기술을 확보함으로써 향후 각종 IT기기, 자동차, 컴퓨터, 의료기기등과 각종 전자장치 등의 국가 청정산업 경쟁력을 제고

○ 군수용 발전장치, 의료용 장치의 보조전원, 자동차의 2차 발전장치, Wearable전자제품, 즉 Wearable 컴퓨터, MP3, GSM, Bluetooth 장치 등에 확대 적용이 가능하여 관련 산업의 파급효과 기대됨

제2절 연구결과의 기업 활용방안

1) 참여기업의 현황분석

○ 교통 안전 시설에 대한 특허 및 실용실안을 통해 국내 내수 시장 진입확보

○ 세라믹재료/부품 전문업체로 압전체, 유전체, 절연체, glass seal재, 세라믹필터 등을 생산하고 있으며 세라믹 관련 기반 기술에 관한 특허 및 전문기술일 보유하고 있음

○ 세라믹 원료처리, 성형, 소성 등의 기반기술을 이용한 발전용 압전세라믹 제조

○ 압전세라믹을 이용한 신재생에너지 사업화를 통해 신규시장 개척 및 고용 창출효과가 발생할 것으로 판단됨

○ USN의 확산에 결정적인 역할을 할 수 있는 기술이므로 원천 기술을 확보하면 세계 시장을 선점

○ 에너지 발전 시장 경쟁력 확보를 통한 수입대체 및 수출 증대

2) 참여기업별 연계방안 및 추진전략

- (주)센불(발전용 압전체 개발 및 제작)과 (주)진우소프트이노베이션(발전용 압전체를 이용한 도로교통 제어시스템 제작)에 대한 영역
- 추진전략
  - 효율적인 교육연계, 정보제공, 기술지도 관리
  - 기술정보 수집에 대한 정보공유

번호	기업명	과제에 대한 기업 관심영역	연계방안								
			기업 활용	장비 활용	교육 연계	기술 상담	정보 제공	기술 지도	기술 이전	공동 연구	창업 지원
1	(주)진우소프트이노베이션	압전모듈 설계 및 제작	●				●	●		●	
2	(주)센불	후막공정 기술	●	●			●	●		●	
합계			2	1			2	2		2	

제3절 추가연구개발의 필요성

우리나라는 세계 우위에 있는 IT 분야의 소자와 같은 부문을 대상으로 경제성과 신뢰성 있는 생산기술의 확보에 노력하고, 중장기적 관점에서는 산학연공동연구 개발체제를 구축하여 첨단기술 개발을 통한 시장 진출에 초점을 맞추어야 할 것이다. 이러한 전략과 추진력에 의해서만 세계 선진 100대 핵심기술 보유 및 세계 10대 부품소재 공급 국가로 성장할 수 있는 기반을 마련해야 함

○ 제품 상용화에 대한 제약사항(환경성, 내구성, 경제성, 응용분야 등) 극복방안을 검토

- 환경성, 내구성 : 매설품에 대한 실증을 거쳐 추가적인 data 확보, 발생하는 문제점 원인 분석 및 개선을 통해 극복
- 경제성 : 현재 P.P scale의 가격이며, 양산시 수량에 따라 50% 이상의 단가 절감 가능함.
- 응용분야 : 어린이 보호구역 차량 진입시 무선 송수신을 이용한 안전 시설물 제어, 톨게이트 차단 bar LED 조명 활용 등

○ 에너지 하베스터 분야는 아직 시작단계이므로, 불확실한 시장 때문에 발전모듈을 제작하는데 소요되는 비용이 대부분 수공업 형태이여서, 제품단가가 높은상태임

○ 제품단가를 낮추고 대량으로 제작하기 위해서는 양산 시 필요한 장비에 대한 개발 및 제작이 필요함

○ 지속적 성능개선을 통한 고성능 발전 모듈 개발(구조 및 압전소자 개선)의 필요
: 도로환경에 맞는 맞춤형 압전 발전모듈 개발과 진동이 잘 전달되는 형태로 기구물에 대한 구조 개선

○ 하이브리드 에너지 하베스터 개발을 통한 제품의 다변화가 필요함
: 압전-Magnetic, 압전-태양광, 압전-열전 등

○ 특정한 장소에 최대한 많은 수의 압전 발전모듈을 시공하여, 실용화에 대한 가능성 검토와 표준화가 필요함

○ 도로부분 도입을 가정한 다양한 제약조건 등과 문제점 등을 적시할 필요

○ 후속연구 분야

: 사용하지 않는 폐도로에 충분한 매설 시험이 필요함

: 개발품의 응용분야 별 (LED 전원공급, 무선스위치 응용 등) 모듈 SIZE를 최소화하는 연구 및 내구성 검증을 위한 추가적인 연구가 필요함 (압전 발전 모듈의 발전량, 내구성 시험법 등 표준화된 측정 방법 제정 필요)

제6장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

제 1 절 해외 연구 동향

1) 「주식회사음력발전(株式会社音力発電)」

株式会社音力発電 神奈川県藤沢市遠藤4489番105号 **Website** : www.soundpower.co.jp **Tel** : +81 466 48 7503 **Fax** : +81 466 48 7503	株式会社 音力発電

□ 기업 개요

- 2006년 9월 카나가와현 후지사와시에서 설립된 대학 벤처 기업으로 연간 약 6천만 엔의 매출액을 보이고 있으며, 사업영역은 다음과 같음

· 연구 개발(위탁 연구) 사업 : 발전마루나 음력 발전, 진동력 발전 등을 중심으로한 에코 발전 기술의 연구 개발을 수행. 구체적인 목적과 사양에 따라 특별 주문품 및 시제품의 제작도 대응 가능

· 컨설팅 : 환경 사업을 중심으로한 컨설팅을 수행. 환경 사업 중에서도 친환경 발전 기술의 컨설팅 및 이를 응용한 폭넓은 분야의 전문적인 상담에 대응

· 임대 사업 : 기업 연구 개발, 교육 기관, 이벤트 용 등을 위한 발전마루 , 음력 진동 발전기 등 자사 제품 대여 수행

· 조명 사업 : 발전마루, 소리 발전기, 진동 발전기를 이용한 일루미네이션의 기획, 제안, 기간 한정 대여

– 음력발전(音力発電)社의 대표적인 기술은 다음과 같음

· 음력 발전(音力発電□) : 사람의 이야기 소리와 소음 등 소리의 에너지를 이용하여 발전하는 신기술
· 진동력 발전™(振動力発電™) : 사람이 걸을 때 발생하는 진동이나 자동차, 자전거, 레저 스포츠 등의 움직임으로 인해 발생하는 진동 에너지를 이용하여 발전하는 신기술

· 발전마루(発電床□) : 사람이 보행하거나 차량이 주행하는 동안 발생하는 진동 에너지를 전기 에너지로 변환하는 발전기로, 보행 등의 경우에 생기는 진동 에너지를 자체 개발을 통해 제조한 '소형 진동 발전기 유닛인 '진력 전지(振力電池)□'를 통해 전기 에너지로 변환

– 해당 기술들을 통해 MM총연 대상 2009 화제상, 제 5회 가나가와 "캬라리" 챌린저 대상, ITpro EXPO AWARD 2008, 가나가와 사업 오디션 2008 우수상, 2006 Global Competition "Kelleher Chair in Entrepre neurship Challenge 3 위 수상 등 각종 콘테스트에서 수상 경력을 가지고 있음

– 한편, 외부 자문 협력 업체로는 게이오 대학, KIEP 등이 있음

– NEC 일렉트로닉스 주식회사, 코쿠요 퍼니쳐 주식회사, 수도 고속도로 주식회사, 스탄레 전기기업, 일본 방송협회, TV 방송망 주식회사 등의 회사에 납품 실적이 있음

·그 외에 계약 상 이름을 밝힐 수는 없으나 기타 제품 제조 업체, 건설, 부동산, 자동차 제조업체, 소재 업체, 완구 제조업체, 통신 사업자, IT기업, 장애인 기업, 광고 대행사, 이벤트 제작회사, 대학, 연구기관, 각 관공서 등에 납품 실적이 있다고 밝힘

□ 최근 동향

- 2010년 4월 "신 에노시마 수족관(新江ノ島水族館)" 내 "사가미의 바다 영역" 입구 "생명의 기념비"에 발전마루를 도입

- 2010년 10월 일본도로(日本道路)社와 공동으로 포장 매설 형식 발전마루를 개발

- 2010년 11월 미야기현 시바타시 센다이대학에서 인조 잔디 아래 발전마루를 설치, 축구를 하면서 전력을 생산하는 실험을 진행

- 현재 발전마루의 양산화를 추진하고 있는 중이며, 2011년에는 진력 ™ 리모콘(배터리리스 리모콘), 이후 도로의 진동력 발전을 실용화할 계획을 추진 중

- 또한 진력 ™ 리모콘의 제휴처, 발전마루 및 참가형 일루미네이션(조명) 의 도입처를 수시 모집 중
- 현재 창업 5주년 기념 캠페인을 실시 중

· 2011년 3월 31일까지 '이벤트용 발전마루'의 임대 가격을 캠페인 기간 동안 10개 이상 신청할 경우 임대 전체 비용의 50%를 할인하여줌 (통상 임대 가격은 일주일에 8만 엔(세금 별도))

2) 주요 제품의 기능 및 스펙



- 제품명 : 발전마루(発電床)
- 상세 설명

· 사람이나 차량이 그 위를 통과하는 것으로 발전하는 제품으로 "진동력 발전"을 응용
· 발전량은 사용하는 압전 소자의 매수, 기타 사양에 따라 다르지만, 표준 사양이 체중 60kg의 사람이 보행하는 것으로 0.1W정도 발전이 가능
· 코쿠요 퍼니쳐 본사, 후지사와 시청, 에노시마 수족관 등에 도입 실적이 있음
· 내구성에 관해서는, 10 만회 반복 통과 시험을 거침
· 가정용 바닥재로 제작될 경우 가격은 일반 제품과 비슷한 정도, 도로의 경우 1.5 배 정도가 될 것으로 예상

<기업 연구 개발용 임대 제품>



- 제품명 : FB-0001
- 상세 설명

·다양한 주파수에 대응 발전 가능
·크기 : 20cm × 30cm
·두께 : 3cm
·발전량 : 0.3-0.5W ※체중 60kg의 사람이 도보 경우 값
·임대료 : 1개월 1장당 50만 엔 ~



- 제품명 : FA-0001, FA-0002

- 상세 설명

·실험용 "발전마루"의 단순화 버전 제품이며 0002은 소형 타입임

·크기 : 20cm × 30cm, 15cm × 20cm

·두께 : 3cm

·발전량 : 0.1-0.3W ※체중 60kg의 사람이 도보하는 경우

·임대료 : 1개월 1장당 25만 엔~

<학교 교육 기관 안내용 임대 제품>



- 제품명 : EDA-0001

- 상세 설명

·심플한 구조로 휴대 가능한 슬림 타입

·20cm × 30cm의 발전마루와 LED 10개 세트 제품

·크기 : 20cm × 30cm

·두께 : 3cm

·발전량 : 0.1W ※체중 60kg의 사람이 도보하는 경우

·임대료 : 정보없음

<이벤트용 임대 제품>



- 제품명 : EVA-0001
- 상세 설명

·야외 행사에서도 사용 가능한 만능 타입

·同사 지정 LED 100 ~ 300개 점등 허용

·의뢰사가 지정하는 LED를 이용할 수도 있으며 同사에서 제공하는 LED 조명인 참가형 조명도 주문 가능

·커넥터가 달려있으며 커넥터로부터 외부 출력

·충전이 가능하므로 충전 이후 각종 전자 장비에 연결 가능

·한편, 발전마루와의 연계를 통해 더 넓은 범위로 발전이 가능

·또한 완전 방수 사양은 아니지만, 가랑비에 젖는 정도에는 문제가 없으며, 별도 맞춤형으로 완전 방수 사양도 주문 가능

·크기 : 50cm × 50cm

·두께 : 2.5cm

·임대 가격 : 1주 8만 엔 (세금별도, 이벤트용 발전마루의 임대 비용은 사용 매수 + 응용 프로그램(필요한 경우 사양에 따라 별도 견적) + 현지 조정 비용 (필요한 경우))





- 제품명 : 진력 리모콘(振力リモコン)
- 상세 설명

·'진력 전지'를 이용한 리모콘

·루네사스 엘레트로닉스(구 : NEC Electronics)社와 공동 연구 개발로 탄생한 리모콘 제품

·버튼을 손가락으로 누를 때 발생하는 진동을 전기 에너지로 변환하는 배터리가 필요없는 리모콘

·소비 전력이 적은 ZigBee 기반 무선 방식으로 통신 방식을 바꾼 것 뿐만 아니라, 자체 전원 제어 회로를 개발. 즉, 진력 전지의 출력은 순간 전압이 높기 때문에, 전원 회로를 통해 이것을 일정 시간 전력을 유지할 수 있는 정전압 형태로 변환

·버튼을 누르는 방법에 따라 달라지지만 해당 전원 제어 회로의 발전 능력은 2.5V, 소비 전류는 신호를 보낼 때 20mA 정도로 그것을 2 ~ 3초 정도 지속 가능함. 이는 진력 발전의 성능 향상, 초저전력 RF (무선) 내장 MCU의 채용, 전원 제어 회로의 개선이라는 3가지가 갖추어져야 가능

·"임베디드 시스템 개발 기술전 ESEC 2010(組込みシステム開発技術展 ESEC 2010)" 등 정기적으로 시제품을 전시

·향후 실용화, 상용화를 위해 추가적으로 연구 개발을 실시 중으로 리모콘의 소형화 (1/3-1/4 축소 필요) 및 신호 응답률의 개선을 도모하고 있음

- 제품명 : 진력 전지(SHINDO BATTERY□)

- 상세 설명

·발전마루 기술을 응용한 것으로, 소형화, 고성능화를 도모한 진동 발전기

·사용할 때만 발전, 배터리 교체가 필요 없어 배터리 구입 및 폐기 등의 번거로움에서 해방

·배터리 누수의 걱정도 없고, 수명이 반영구적

·임대 가격 : 1 개월 임대 60만 엔 ~



表示画像はCGです。

- 제품명 : BA-0001

- 상세 설명

·모바일 제품에 응용 등을 검토할 시 사용 가능

·크기 : 3cm × 3cm

·두께 : 0.8cm

·발전량 : 5mW ※(1G, 10Hz의 진동을 주었을 경우의 값)

·임대 가격 : 2 개 세트 1 개월 임대 시 60만 엔 (부가세 별도)

·충전 회로의 렌탈을 옵션으로 추가 할 수 있음

(충전 회로 임대 비용 (추가분) : 1개월 10만 엔 (세금 별도))



– 상세 설명

·사람의 목소리로 발전하는 발전기

·입에 걸치는 진동 발전기가 소리(공기의 진동)를 전력으로 바꾸고, LED를 점등. 현재 연구 개발 중



– 제품명 : 발전 신발(発電靴)

– 상세 설명

·진력 전지를 내장한 신발

·도보에 의한 진동을 이용하여 발전, 발광하며 야간 달리기와 도보에서 시인성을 높이

는 효과

·건전지가 필요없으며 배터리 교환의 번거로움도 없음

·발광 이외에도 무선 송신 장치를 내장함으로써 위치 정보 등을 통신할 수 있는 발전 신발 연구 등을 예정 중



– 제품명 : 발전 나막신(発電下駄)

– 상세 설명

·발전 나막신을 신고 걸으면 나막신 밑창부분이 발광

·진동력 발전기술을 통해 배터리 교체 불필요

·경량화와 방수 사양에도 대응 가능

·나막신 이외에 하이힐이나 부츠, 어린이 신발과 샌들, 탭 댄스와 플라멩코 신발 등과 같은 다양한 신발로도 제작 가능하며, 맞춤형 주문에 따라 빛의 색상, 디자인을 바꿀 수 있음





– 제품명 : 발전 지팡이(発電杖™)™

– 상세 설명

·'진력 전지'를 내장한 지팡이로, 지팡이를 사용하여 걷는 진동으로 지팡이가 발광

·야간이나 어두운 곳에서의 안전성을 높이는 효과가 있음

·건전지가 필요없으며 배터리 교환의 번거로움도 없음

– 제품명 : 발전마루의 무선 송신' (発電床による無線送信)

– 상세 설명

·진동으로 출력된 전력을 무선 전송의 전원으로 사용

·전원 on / off, 디스플레이 전환, 도어 개폐 센서 이용, 방범 등의 이용 방법이 있고, 상업 시설 / 광고 / 홈 시큐리티 / 빌딩 주택 등 다양한 방면에서 사용할 수 있음

·LED 조명과 병용하는 것도 가능

·외부 전원 및 배터리가 필요 없고 시공 및 유지 보수비용의 절감도 기대할 수 있음

○ Techno-Frontier 2010 전시회 참관(일본 동경 7월)

; Advanced Electronic & Mechatronic Devices and Components Exhibition

- ‘모터 기술전’, ‘모션 엔지니어링전’, ‘메카트로닉스 제어기술전’으로 구성된 메카트로닉 솔루션 파트
- 일렉트로닉스 토탈 솔루션 파트에서는 ‘파워 시스템전’, ‘EMC · 노이즈 대책전’, ‘배터리 기술전’, ‘전기자동차 인프라 설비 · 개발기술전’, ‘에너지 하베스팅전 ‘ 으로 구성





동경 프론티어 홍보물

- 에너지 하베스팅 존에서는 크게 열전, 태양, 압전, Elecret 방식의 다양한 하베스팅 기술소개 및 제품 전시가 주를 이루었으며, 예년의 다른 전시회에 비해 상용제품 및 상용수준의 샘플 소개가 주를 이루어 하베스팅 기술의 실제 산업 적용이 더욱 활발해진 것으로 판단됨

- Omron 사의 고출력 발전모듈

; 가속도 센서 등의 무선통신 모듈 전원용으로 사용

(5분에 1회씩 최대 10m 전송)



- JST-ERATO Maenaka Human Sensing Fusion Project / University of Hyogo



- JR(JAPAN RAILROAD) East Consultants Company 의 발전 플로어







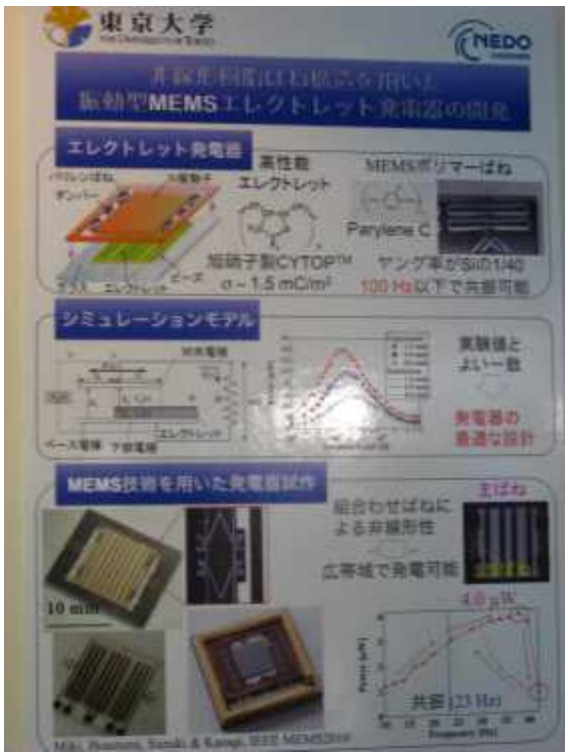


압전발판 장치



ENOCEAN의 무선스위치





동경대학의 MEMS형 일렉트렛 발전기

제7장 참고문헌

1. F. Akasheh, T. Myers, J. D. Fraser, S. Bose, A. Bandyopadhyay, Sensors and Actuators A 111, 275 (2004).
2. N. Ledermann, P. Muralt, J. Baborowski, S. Gentil, K. Mukati, M. Cantoni, A Seifert, and N. Setter, Sens. Act. A, 105, 162 (2003).
3. S. Trolier-McKinstry and P. Muralt, J. of Electroceramics, 1, 7 (2004)
4. D. L. Polla and L. F. Francis, Annual Review of Materials Science, 28, 563 (1998).
5. N. Setter and R. Waser, Acta Mater. 48, 151 (2000).
6. P. Muralt, N. Ledermann, J. Baborowski, A. Barzegar, S. Gentil, B. Belgacern. S. Petitgrand, A.Bosseboeuf, and N. Setter, IEEE Trans. Ultrason. Ferroelect. Freq. Control., 52, 2276 (2005).
7. S. P. Beeby, J. N. Ross, and N. M. White, J. Micromech. Microeng. 10, 322 (2000).
8. "유망전자부품재료 ", Fuji Chimera Research Institute. 2000.
9. 손준호, "압전 세라믹스의 응용", 전자공학회지. 1998.
10. 이성호, " Piezoelectric Materials for the End User", 2002 KOSEN Conference Report.
11. 최헌진, "미국과 일본의 전자 세라믹스 연구동향(Ⅰ)", 1997.
12. 함영복, 윤소남, " 미소유량 토출제어용 압전(piezoelctric)펌프", 한국기계연구원.
13. 손준호, "압전 세라믹스에 관하여" 전자재료
14. 권기현, "스위칭 전원 핸드북 :LCD 백라이트용 압전 세라믹 인버터", 전자 기술. 1998.
15. 김종선, 염상덕, 김남철, " 압전트랜스포머(Ⅱ) - High Power용 재료개발", 전기전자재료 제 12권 제 5호. 1999.
16. 전자재료공업회, "압전세라미기과 응용", 전파신문사, 1974.

17. 尾野, “일렉트로닉 세라믹스”, 18[88]. pp.49-53. 1987.
18. 지식경제부, 에너지관리공단 신·재생에너지센터, 신재생에너지 백서, 2008
19. 尾野, “일렉트로닉 세라믹스”, 18[88]. pp.49-53. 1987.
20. 지식경제부, 에너지관리공단 신·재생에너지센터, 신재생에너지 백서, 2008
21. N. S. Shench and J. A. Paradiso, "Energy scavenging with shoe-mounted piezoelectrics", IEEE Micro, Vol, 21, No. 3, p. 30 (2001).
22. E, S. Leland and P. K,. Wright, "Resonance tunning of piezoelectric vibration energy scavenging generators using compressive axial preload", Smart Mater, Struct., Vol. 15, p. 1413 (2004).
23. E. Minazara, D. Vasic, F. Costa, and G. Poulin, "Piezoelectric diaphragm for vibration energy harvesting", Ultrason., Vol. 44, p. 699 (2006).
24. M. Ericka, D Vasic, F. Costa, and G. Poulain. "Predictrive energy harvesting from mechanical vibration using a circular piezoelectric membrane", Proc. IEEE Ultrason. Symp., p. 946 (2005).
25. [5] H. A. Sodano, J. Lloyd, and D. J. Inman, "An experimental comparison between several composite actuators for power generation", Smart Mater. Struct., Vol. 15, p. 1211 (2006).
26. W. R. Heinzelman, A. Chandrakasan, H. Balakrishnan, and C. MIT, Proceedings of the 33rd Annual Hawaii International Conference on, p. 10 (2000).
27. Williams, C.B., Woods, R.C., Yates, R.B., Proceedings of IEE colloq. Compact power sources (digest No. 96/107), p. 7/1-7/3 (1996).
28. C. I. Kim, Y. H. Jeoung, Y. J. Lee, J. H. Paik, and S. Nahm, "Self Power Generation from Vibration using Piezoelectric Bimorph Actuator", J. of the Korean Institute of Electrical and Electronic Material Engineers, Vol. 21, No. 12, p. 1071 (2008).
29. Baker J, Roundy S and Wright P 2005 Energy Conversion

Engineering Conf. (San Francisco, CA, Aug.) pp 959-70 (2005).

30. Yoon H S,Washington G and Danak A 2005 J. Intell. Mater. Syst. Struct. 16 877-88 (2005).
31. Johnson T J, Charnegie D, Clark W W, Buric M and Kusic G 2006 Materials Conf.; Proc. SPIE 6169 61690D (2006).
32. Q.-M. Wand and L. eric Cross, "Tip deflection and blicking force of soft PZT-based cantilever rainbow actuators", J. Am. Ceram. Soc., Vol. 82, No. 1, p. 103 (1999).
33. C. M. Kim, Y. J. Lee, and J. H. Paik, "Design and Evaluation of Piezoelectric Ultrasonic Scaler Produced by a Simulation", J. of the Korean Institute of Electrical and Electronic Material Engineers, Vol. 22, No. 10, p. 832 (2009).
34. Lee, H-J., Saravanos, D.A., "The effect of temperature dependent material nonlinearities on the response of piezoelectric composite plates", Lewis Research Center, NASA, NASA/TM—97-206216 (1997).