

도로용 압전발전체 시험모듈 설계를 위한 기초 실험 연구

A Fundamental Study for Design of Electric Energy Harvesting Device using PZT on the Road

이 재 준 Lee, Jae-Jun
류 승 기 Ryu, Seung-Ki
문 학 룡 Moon, Hak-Yong
권 수 안 Kwon, Soo-Ahn

정회원 · 한국건설기술연구원 수석연구원 (E-mail : yijaejun@kict.re.kr)
정회원 · 한국건설기술연구원 연구위원 (E-mail : skryu@kict.re.kr)
정회원 · 한국건설기술연구원 연구위원 (E-mail : hymoon@kict.re.kr)
정회원 · 한국건설기술연구원 선임연구위원 (E-mail : sakwon@kict.re.kr)

ABSTRACT

Green house gas emissions are increasing as development of the industrial economy of the international community. Many countries in the world are endeavoring to reduce green house gas emissions under severe climate change. In order to protect global warming, government is trying to reduce green gas emissions under "Low Carbon Green Growth Policy" and investing climate-friendly industries such as renewable energy harvesting. Renewable energy has been rapidly developing as a result of investment for development technology of using natural energy such as solar, wind, tidal, etc. There are lots of waste energy in the road space. However, nobody is not interested in waste energy from the road space. This paper present a fundamentally experimental study of energy harvesting technique to use waste energy in the road. The waste energy in the road is covered a pressure and impact of vehicles on the road, the radiant heat from asphalt pavement, road noise and vibration etc. In this study, an energy harvesting device using piezoelectric element is proposed and various tests are conducted to investigate a characteristic of this device as function of impact loading based on piezoelectric effect behavior. This paper shows the energy harvesting results of the device using domestic piezoelectirc element as a function of impact load size and pavement types.

KEYWORDS

energy harvesting, piezoelectric effect, piezoelectric element, falling impact

요지

국제 사회는 산업경제의 발달과 더불어 온실가스 배출량이 날로 증가하고 있으며, 이로 인한 기후 변화 피해가 날로 심각해지고 있는 상황에서 온실가스 배출량을 줄이기 위해 전세계가 노력을 하고 있다. 정부는 온실가스 배출량을 감축하여 지구온난화를 막기 위해 "저탄소 녹색성장"의 국가정책 하에서 신재생에너지와 같은 친환경적인 녹색산업에 많은 관심과 투자에 집중하고 있다. 신재생에너지 분야는 태양력, 풍력, 수력, 조력 등 자연에너지를 활용하는 기술에 투자하면서 관련 핵심 부품 및 소재 기술은 기술적으로 발전하고 있다. 반면에, 도로 공간에 존재하는 다양한 미활용 에너지를 이용하는 기술에 대한 연구는 세계적으로도 미흡한 실정인데, 본 논문에서는 이러한 도로 공간에서의 미활용 에너지를 통해 전기를 수확하는 기술에 대한 기초적인 실험방법과 결과를 제시하였다. 도로 공간에서의 미활용 에너지는 다양한 자원이 있을 수 있는데, 예를 들면 도로 주행 차량의 압력 및 충격 에너지, 도로 포장면의 복사열, 도로 소음 및 파동 등이다. 본 논문은 도로를 주행하는 차량으로부터 전기를 수확하기 위한 압전체 형상을 제안하였으며, 이를 검증하는 몇 가지의 기초 실험을 실시하였다. 즉, 압력을 전기로 변환하는 압전 기술을 활용한 것으로 국내에서 쉽게 생산하는 PZT 세라믹을 이용하여 충격하중에 따라 발생하는 전압을 측정하였고, 아스팔트 및 콘트리트 포장 조건에 따른 압전 발전 실험을 실시하여 에너지 수확 성능을 비교 분석하였다.

핵심용어

에너지 하베스팅, 압전효과, 압전소자, 충격하중

1. 서론

국제 사회는 산업 중심 기반의 경제 성장으로 무분별한 화석연료 개발과 사용으로 인하여 지구 온난화라는 전 지구적인 문제에 직면하게 되었다. 지구 온난화를 줄이기 위해서 세계적으로 CO₂ 배출을 줄이기 위해, 기후 변화협약(1992)이나 교토의정서¹⁾(1997) 채택 등으로 온실가스 감축을 위해 많은 노력을 기울이고 있다. 정부는 기후온난화 현상으로 인하여 기후변화 문제가 심각해질수록 국제사회에서 탄소배출을 규제하기 위한 강한 규제를 만들 것을 대비하여, “저탄소 녹색성장”이라는 향후 국가비전을 제시한 후, 신재생에너지와 같은 기후친화적 산업을 육성하기 위해 많은 노력을 기울이고 있다. 도로를 주행하는 많은 차량으로부터 배출되는 많은 양의 CO₂를 줄이기 위해 최근 전기자동차에 많은 관심을 가지고 개발을 추진하고 있으며, 도로에서 운행되고 있는 차량으로부터 신재생에너지를 생산하기 위한 연구들이 이스라엘과 미국 등 선진국에서 수행되고 있다(류승기 외, 2008; 류승기, 2010).

압전 세라믹은 기계적 에너지를 가하여 전기 에너지를 만들어 낼 수 있는 재료이며, 기계적 진동에너지로 전기적 에너지로도 변환이 가능한데, 이러한 원리를 이용해 도로에 적용한 사례로는 이스라엘의 한 업체가 있다. 이스라엘의 이노와텍(Innowattech)은 도로를 주행하는 자동차의 움직임으로부터 전기 에너지를 수확하기 위한 시험시공을 2009년 8월에 수행하였다. 시험 시공에서는 이노와텍에서 개발한 압전 발전체를 도로 포장체 내부에 설치하여 자동차 주행에서 발생하는 자동차의 역학적 에너지를 전기에너지로 변환하는 연구를 수행하였으며, Test bed도 시공하였다(권수안 외, 2010; <http://www.innowattech.co.il>). 본 연구에서는 그동안 도로 공간을 에너지 소비형의 인프라로 인식되어졌던 것을 에너지 생산이 가능한 공간으로 인식을 바꾸어가기 위한 노력이며, 이번 논문에서는 압전 세라믹을 이용한 도로에서의 에너지 수확에 대한 기초연구를 수행하였다.

2. 압전 발전체의 연구 방향

2.1. 압전체 기본 원리

압전효과²⁾는 압전체를 매개로 기계적 에너지와 전기

적 에너지가 상호 변환하는 작용이다. 어떤 종류의 결정판(결정판)에 일정한 방향에서 압력을 가하면 판의 양면에 외력에 비례하는 전기적 분극이 일어나는 현상이다. 1880년 프랑스의 퀴리 형제가 처음 발견하였다. 이후 한 장의 결정판에 나타나는 압전기는 미약하지만 금속 박을 삽입하면서 여러 장을 겹칠 경우 그 양이 크게 증대 된다는 것이 알려졌다. 또한, 결정판에는 고유의 진동이 있고 탄성진동과 전기진동이 일치하면 압전기와 결합되어 더욱 강한 진동이 일어난다는 사실도 발견되었다. 고체에 힘을 가하였을 때 결정 겹면에 전기적 분극이 일어나는 현상으로 피에조 저항 효과라고도 한다. 수정이나 로셀염 등의 결정에 압력을 가하면 전압이 발생하는데 이것을 압전 직접효과라고 하며, 이와 반대로 전압을 주면 결정체가 변형을 일으키는 현상을 압전 역효과라 한다. 발견자의 이름을 따서 직접효과를 퀴리효과, 역효과를 리프먼 효과라고도 한다. 결정체에 가해지는 힘의 방향과 전하가 발생하는 방향이 같은 경우를 종효과, 직각인 경우를 횡효과라 한다(박중수 외, 2005; 윤소남 외, 2009).

압전체(Piezoelectrics)³⁾는 압력이나 진동을 가하면 전기가 생기는 물질로 우리가 사용하는 가스레인지의 점화과정에서 압전체가 사용되고 있다. 가스레인지의 손잡이를 돌림으로써, 압전체에 압력이 가해지면, 가해진 압력에 의하여 압전체가 전기를 생성하며, 생산된 전기가 불꽃을 만들어 공급되는 가스에 불이 붙게되는 것이다. 최근 압전효과를 이용하여 신재생 에너지 개발을 위한 많은 연구들이 다양한 분야에서 추진되고 있다. 각종 진동을 이용해 전기에너지를 생성해내는 에너지 하베스팅은 무공해 재생에너지라는 점에서 각광받는 연구 분야이다. 또한 거꾸로 전기를 주입할 때 생기는 진동은 초음파 분야에서 응용돼 가슴기나 세척기 같은 생활용품, 초음파 모터 등의 분야에서 이미 다양하게 사용되고 있다. 이밖에도 압전효과를 복합시킨 응용 사례도 있다. 어군탐지기는 전기에너지를 기계에너지(초음파)로 변환해 내보내고 돌아온 기계에너지를 다시 전기에너지로



그림 1. 압전발전 개념

1) 지구온난화의 규제 및 방지를 위한 국제 협약인 기후변화 협약의 수정안이다.

2) 압전효과(Piezoelectric Effect) : 전기적인 에너지를 기계적인 에너지로 변형시키고, 기계적인 에너지를 전기적인 에너지로 변형시키는 현상

3) 압전체 : 외부의 기계적인 압력이 가해졌을 때 물질 내부에 분극이 유도되거나 혹은 외부 전기장에 의하여 기계적인 변형이 일어나는 재료

바꾼 원리다(강형원 외, 2009; 광문규, 2008).

압전 발전체는 압전체(PZT)재료의 압전상수⁴⁾(d)와 스트레스(T) 그리고 유전상수(ϵ) 및 전계⁵⁾(E) 등 여러 변수와 고유값에 의해 성능 결정하게 된다. 여기서 압전체의 고유값은 재료적 측면에서 성능을 높이는 것들이 연구되어지고 있지만, 본 논문에서는 재료적 관점보다는 기존 재료를 활용하면서 스트레스(T)의 변화와 이를 전달하는 보호층에 대한 것에 관심을 가지고 연구방향을 설정하고자 한다.

2.2. 연구 방향 설정

국내에서 도로에서 주행하는 자동차로부터 전기에너지를 수확하는 에너지 하베스팅 기술을 개발하기 위한 연구의 일환으로, 국내에서 생산되고있는 압전소자를 이용하여 전기에너지를 생산하는 압전발전체 개발을 위한 첫 단계로 충격하중에 따른 압전 소자의 특성을 분석하기 위하여 본 연구를 수행하였다.

본 연구의 목적은 압전 소자의 기본적인 특성을 파악하고, 도로에 적용하기 위한 압전발전체 형상 연구에 필요한 실험 데이터를 확보하는 것과, 향후 압전 발전체의 상용화를 위한 다양한 실험 방법을 개발하는 것이다. 또한, 본 연구에서 개발하고자 하는 압전발전체는 도로표층부에 설치하여 미끄럼 방지 기능용으로도 사용하고자 한다. 이를 위해 아스팔트 콘크리트 포장과 시멘트 콘크리트 포장체 위에서의 압전소자의 발전거동을 측정 분석하였다. 본 연구를 위하여 3가지 유형의 실험을 수행하였으며, 3가지 유형에 대한 설명은 다음과 같다.

유형 1 : 충격하중에 따른 압전발전체의 전압파형 측정 및 분석

유형 2 : 압전발전체 보호층 및 케이스 형태에 따른 압전발전체의 전압파형 측정 및 분석

유형 3 : 도로 포장층 종류에 따른 압전발전체의 전압파형 측정 분석

3. 국내 · 외 연구 현황

마이크로 동력변환장치(MPG, Piezoelectric Micro

Power Generator)에 압전효과를 도입한 연구가 국내에서도 진행 중에 있다. MPG는 외부에서의 힘 또는 스트레스를 받아 압전재료가 휘거나 구부러질 때 전기에너지를 발생하는 원리를 이용하기 위하여, 박막의 Cantilever 끝단에 물체를 매달아서 발생하는 진동으로부터 전기에너지를 만드는 기술을 도입하였다(유병곤, 2008). 진동을 이용하는 박막형 캔틸레버 형식에서 진폭을 향상시키기 위하여 마그네틱(magnetic)을 이용하는 방안이 연구되고 있다. 고정식의 마그네틱을 압전소자가 달려있는 캔틸레버 끝단에 설치하여 마그네틱의 영향에 의한 비선형 진동을 발생시킴으로써, 에너지 하베스팅 효율을 높이기 위한 연구가 수행되었으며, 캔틸레버 끝단에 마그네틱을 설치함으로써 다양한 진동원 또는, 다양한 환경조건으로 인하여 에너지 하베스팅 양이 증가하는 결과가 도출됨을 알 수 있었다(Lin et al., 2010).

유럽에서는 에너지 하베스팅을 위한 최적의 피에조 재료와 피에조 설치 장소를 위한 Cleansky-Green Rotor Craft 프로젝트가 진행되고 있다. 모든 구조형식이 빔 형식에 많이 집중이 되어 있으며, 높은 변형과 낮은 진동 특성을 가지고 있는 헬리콥터 회전 날개에서 에너지 하베스팅에 대한 연구를 수행하였다(P H de Jong et al., 2010).

최근 피에조 재료는 smart structures분야에서 센서와 actuators로 많은 관심을 받고 있다. 그 이유는 피에조 재료는 직접 역학적인 에너지를 전기적인 에너지로 바꿀 수 있기 때문이다. 피에조 재료들은 진동 조절, 소음 조절, 에너지 하베스팅, 구조 health 모니터링 등 다양한 기능을 할 수 있는 중국 smart structures에 적용하기 위한 연구들이 수행되고 있다. 특히, 구조물 상태 모니터링을 위해서 piezoelectric fibers를 이용하여 구조물 상태를 모니터링 하는 연구가 진행되고 있으며, 이는 향후 항공공학에도 충분히 적용할 수 있는 가능성을 발견할 수 있었다(Qiu et al., 2010).

에너지 하베스팅 기술을 자동차 타이어 압력 모니터링 시스템에 적용하는 연구를 수행하였다. 미국에서는 2007년 9월 이후부터 타이어 압력 모니터링 장비를 차량에 부착하게 되어 있다. 자동차 압력 모니터링 시스템에는 소형의 배터리가 장착되어 있어, 전력을 공급해 주고 있다. 소형 자동차 타이어 압력 모니터링 시스템에 필요한 소량의 전력을 차량 바퀴 휠에 장착하면서, 에너지 하베스팅 기술을 적용하여 배터리를 대체하는 기술은 연구하였다(Löhndorf, M. et al., 2011; Roundy et al., 2008).

4) Piezoelectric Constant으로 압전소재의 특성

5) Electric Field : 전기가 흐름으로 발생하는 전기장

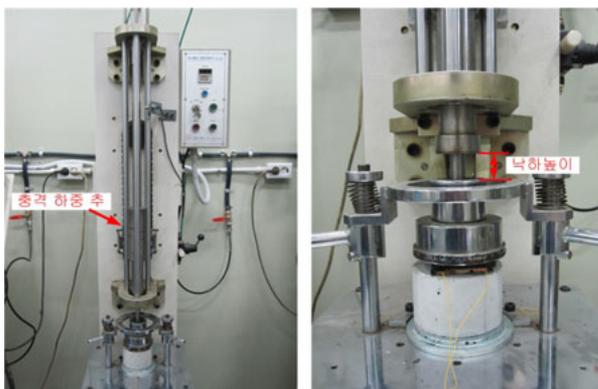
4. 압전 발전체의 실험 환경 및 시험모듈 개발

4.1. 압전 발전체 실험 환경

본 연구에서는 국내에서 생산되는 압전소자를 이용하여, 도로를 주행하는 차량의 움직임을 이용한 도로공간에서의 에너지 하베스팅 기술개발을 위한 기초연구로써, 압전 소자에 충격하중이 전달되었을 때 발생하는 전압특성과 충격하중 변화에 따른 압전 세라믹에서 발생하는 전압 특성을 분석하고자 한다.

본 연구에서는 압전 세라믹에 다양한 충격하중을 주기위하여 그림 2에서 설명하고 있는 마살다짐기를 이용하였다. 마살다짐기는 4.5kg추를 일정높이에서 자유낙하하여 발생하는 에너지를 이용하여 실내 실험실에서 아스팔트 혼합물을 다짐하는 다짐장비이다.

그림 2(a)에 표시되어진 자유낙하 추를 다양한 높이에서 낙하시켰으며, 변화된 높이에 따른 전압을 측정하였다. 그림 2(b)는 충격하중에 의해 발생하는 전압크기를 측정하기 위해 콘크리트 시편위에 압전 발전 수확기가 놓여있는 모습을 설명해 주고 있다. 현재 국내에서는 12차종으로 차량들이 분류되어 있으며, 다양한 차량들이 도로를 주행하고 있다. 압전 발전 수확기가 도로에 설치될 경우, 차종별, 차량 주행 속도별로 전달되는 충격하중이 다를 것이라 사료된다. 이러한 충격하중의 변화를 고려하여, 본 연구에서는 낙하높이를 3.5cm, 6.0cm, 그리고 12.0cm로 조절하여 충격하중별로 발생하는 전압파형 및 최고 전압을 각각 측정하였다. 높이 변화별 5번의 반복실험을 수행하였으며, 평균값을 도출하여 사용하였다. 향후 연구에서는 실제 차종별 주행차량의 속도별 충격에너지를 측정하여 본 연구에서 사용한 결과값과 비교하여 발전량을 예측하고자 한다.



(a) 마살다짐기 전경 (b) 압전발전 수확 및 시험 전경

그림 2. 충격하중 시험을 위한 마살다짐기 실험 환경

4.2. 압전 발전체 시험모듈 제작

본 연구를 수행하기 위해서 압전세라믹을 이용한 실내 실험용 소형 압전발전수확기를 제작하였다. 그림 3에서 설명하고 있는 전도성 구리테이프와 압전세라믹을 이용하여 그림 3의 하단에서 보여주고 있는 압전 발전 수확기 시작품을 제작하였다. 그림 3의 하단에서 보여주고 있는 소형 압전발전수확기는 일차적으로 단층구조로 하나의 압전 세라믹을 사용하여 제작되었다. 본 압전 수확기를 이용하여 다양한 충격하중에 따른 발생 전압 특성을 측정하였다. 국내·외 연구현황을 통하여 압전소자를 이용하여 에너지 하베스팅에 관한 선행 연구가 많이 진행되었음을 알 수 있었다. 하지만, 기존의 압전소자를 이용한 연구에서는 사용된 압전소자는 얇은 박막형이었으며, 구조는 캔틸레버형에서 진동을 이용하여 전기에너지를 생산하는 연구를 추진하였다(Lin et al., 2010; P H de Jon et al., 2010). 하지만 본 연구에서는 압전소자의 두께를 다소 증가하여, 캔틸레버형이 아닌 구조를 이용하였다. 캔틸레버형을 이용할 경우, 캔틸레버의 진동을 유지해 주기 위해 일정한 공간이 필요하게 되는데, 그럴 경우 압전 발전체의 크기가 커지게 됨으로 인하여, 도로 공간, 특히 포장체에 설치가 무리가 있을 거라 판단되어, 본 연구에서는 압전발전체의 크기를 고려하여 그림 3과 같은 소형 압전 발전 수확기를 고안하였다.



(a) 전도성 구리테이프 (b) 압전 세라믹

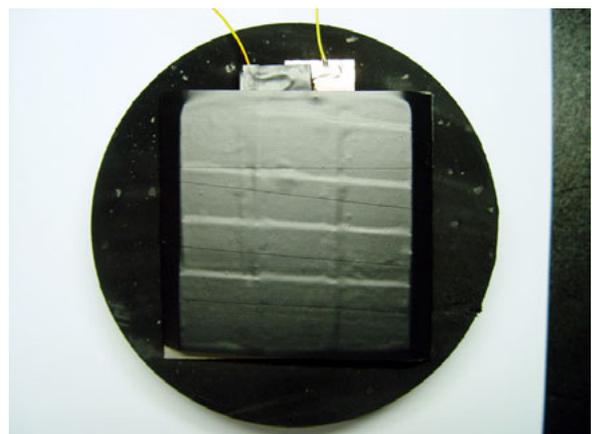
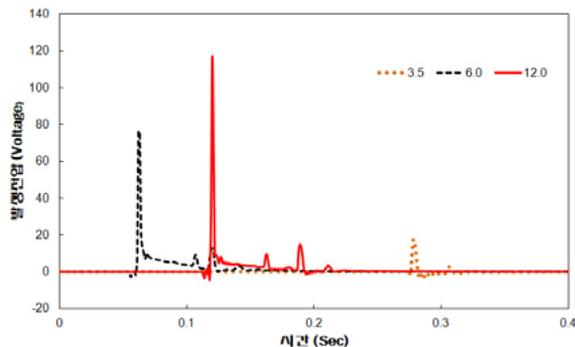


그림 3. 압전 발전 수확기 재료 및 소형시제품

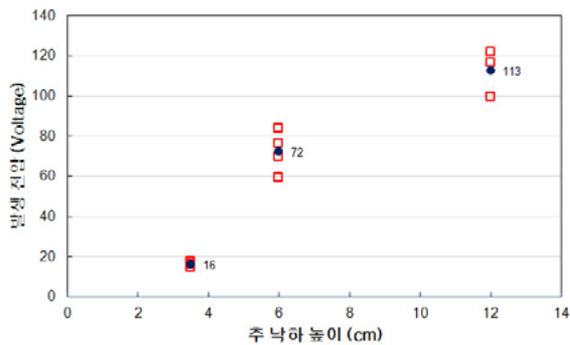
5. 압전발전 실험 조건에 따른 데이터 분석 결과

5.1. 낙하 추 높이 조절에 따른 발생 전압 특성

도로에서 주행하는 차량의 충격하중을 이용하여 압전 수확 발전기로부터 전기에너지를 회수함으로써, 에너지 소비형 도로가 아닌 에너지를 생산하는 도로로 인식 전환하기 위한 연구의 첫걸음으로, 압전 세라믹이 충격하중 변화에 대하여 생산하는 전압측정값을 비교하고자 한다. 본 연구에서는 그림 3에서 설명된 소형 압전 발전 수확기 시작품을 이용하여, 충격하중의 변화에 따라 각각의 발생 전압값과 전압파형을 측정하였다. 그림 2에서 소개되었던 마찰다짐기 추의 낙하높이 변화에 따른 압전 발전 수확기에서 발생하는 전압과 전압파형 거동을 측정 한 결과를 그림 4에 나타내었다.



(a) 충격에 따른 파형



(b) 충격하중에 따른 발생 전압

그림 4. 낙하 높이에 따른 압전소재 발생 전압 측정 결과

압전발전체에 다양한 하중을 주기 위하여, 마찰다짐기 낙하 추를 3.5cm, 6.0cm 그리고 12.0cm 높이에서 각각 낙하시켰다. 추가 낙하하면서 압전 세라믹에 충격을 가했을 때 발생하는 전압 파형을 높이별로 정리하여 그림 4(a)에 나타내었다. 낙하 추 높이 변화에 따른 전압 파형의 피크값이 변화하는 것이 명확하게 구별되었으며, 발생된 전압 파형 거동은 비슷하였다. 3.5cm 높이의 충격하중에서 발생한 파형의 최대 피크값이 적어서 인

지, 다른 두 두파형에서는 4개의 피크가 나타났으나, 3.5cm 충격하중에서는 2개의 피크만 보여주는 짧은 파형 길이의 특성을 보여주었다. 또한, 전압파형에서 나타난 4개의 피크값의 순서가 내림차순의 형태가 아닌 첫 번째(메인 피크)와 세 번째 피크값이 두 번째와 네 번째 피크값보다 크게 나타나는 특성을 나타내었다. 이는 첫 충격 이후에 발생하는 잔파의 영향으로 사료된다.

각각의 높이에서 마찰다짐기 추를 낙하하였을 때 발생하는 최대전압을 측정하여 그림 4(b)와 같이 정리하였다. 그림 4(b)에서 설명되고 있는 것처럼 추 낙하높이와 발생 전압은 비례관계를 나타내고 있음을 알 수 있었다. 그림 4(b)에서 설명되어지는 것처럼 추 낙하높이 3.5cm가 가장 낮은 전압을 보였으며, 12.0cm 낙하 높이에서 가장 큰 전압이 측정되는 것을 볼 수 있었다. 추 낙하 높이에 따라서 4~10배까지 전압 발생차이가 발생하는 것을 알 수 있었다. 따라서, 도로 포장체에 압전발전 수확기를 설치 할 경우 충격의 전달이 최대한 크게 전달해야 최대 순간 전압이 발생되리라 판단 되었다.

5.2. 시험체 형상 구조 형태에 따른 발생 전압 측정

본 연구에서는 외부 충격에 반응하는 압전발전체 재료를 보호하는 케이스에 대한 검토가 필요하였다. 즉, 압전 발전 성능을 개선하면서 압전체 재료의 파괴를 저감시키는 압전발전 수확기 케이스 개발을 위한 압전발전체 형상에 대한 연구를 수행하였다. 도로에 주행하는 차량으로부터 전기를 생산하기에 적합한 압전발전 수확 케이스 연구는 중요하다고 생각된다. 도로 포장체에 설치된 압전발전 수확기내에 있는 압전 세라믹이 도로를 주행하는 차량 주행에 방해가 되지 않으면서, 압전발전 수확기의 파손을 예방하기 위하여 5mm 두께의 고무판 2개를 사용하기로 하였다. 이러한 보호층의 형태에 따라 발생 전압의 형태가 달라지는데, 그림 5와 같이 본 연구에서는 두 가지 형태의 압전수확발전기 케이스를 검토했다. 그림 5에서 설명하고 있는 Type I은 직접 차량 충격하중을 감소하면서 압전 세라믹을 보호하는 개념의 케이스 디자인이며, Type II는 압전 세라믹이 직접 충격하중을 받으면서 압전 세라믹하부에 충격을 흡수할 수 있는 개념의 디자인이다. 이 두 가지 종류의 압력발전수확기를 3종류의 다른 충격하중 높이에 따른 압전 세라믹에서 생산되는 전압파형을 측정하여 그림 5에 정리하였다. 그림 5에서 보여주고 있는 전압파형에서 최대값을 찾아서 다양한 높이에서 발생하는 전압을 측정하였다.

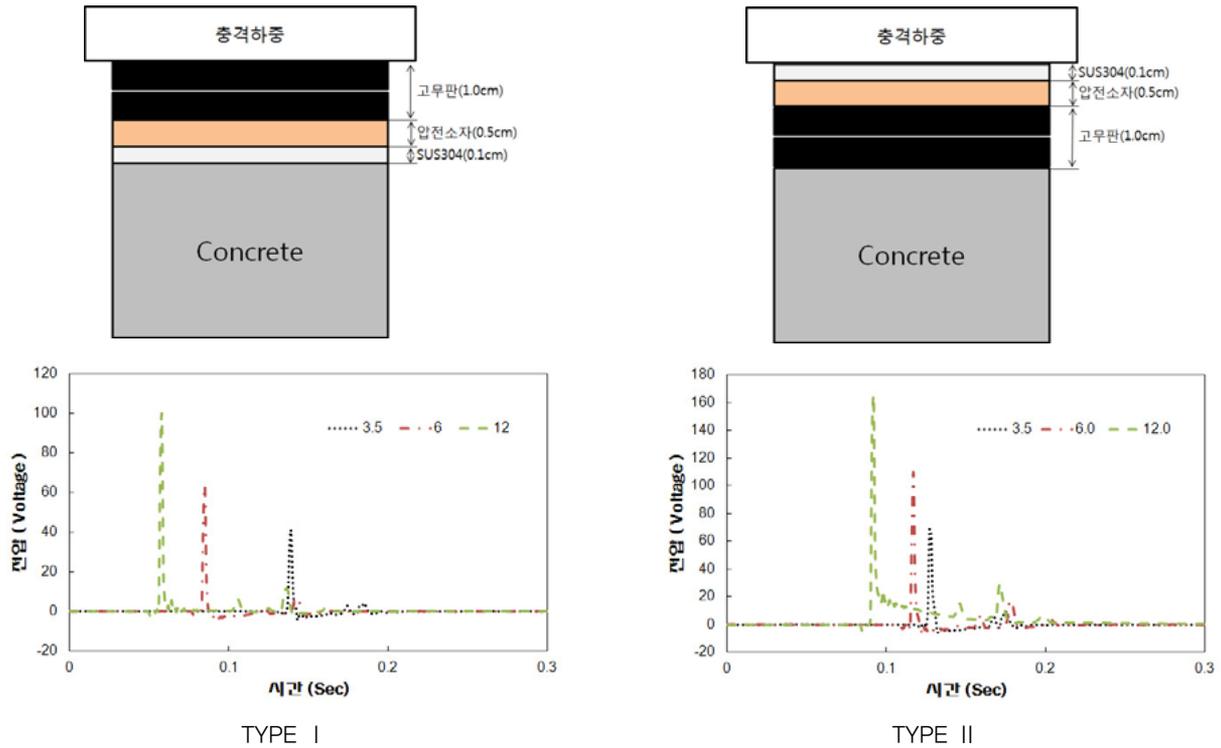


그림 5. 압전발전 수확기 타입과 발생 전압 파형

두 종류의 압전 발전 수확기 모델에서 측정된 전압 특성을 비교하기 위해서 다섯 번씩의 측정 데이터의 평균값을 정리한 것이 그림 6이다. 그림 6에서 설명되는 것과 같이 두 종류의 타입에서 공동적으로 보여주는 경향은 낙하추 높이가 증가할수록 발생 전압크기가 증가하는 경향을 나타내고 있다. TYPE II에서 TYPE I에서 발생하는 전압보다 30~60V 이상 더 큰 전압이 나오는 것을 알 수 있었다. 이는 충격하중이 직접 압전 세라믹에 전달이 되어야만 더 큰 전압이 발생하는 것을 의미한다.

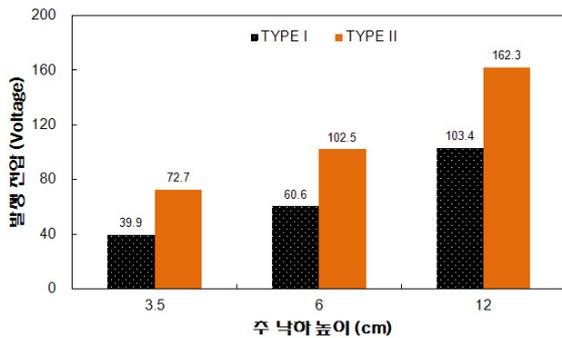


그림 6. 압전발전 수확기 타입에 따른 전압 발생량

5.3. 하부 포장체 구조에 따른 발생 전압 특성

앞절의 압전 발전 수확기 케이스 연구에서 TYPE I이 TYPE II보다 발전 전압이 우수함을 알 수 있었다. 따라

서, 본 연구에서는 압전 발전 수확기 케이스 모형을 TYPE II로 결정을 하였다. 압전발전수확기 모델을 결정한 후, 국내 도로포장 종류에는 아스팔트 콘크리트 포장과 시멘트 콘크리트 포장으로 크게 나뉘어져 있다. 따라서, 국내에서 널리 사용되고 있는 포장체 종류에 따른 압전발전수확기 발생 전압 특성을 파악하기 위해, 도로 포장체 종류에 따른 압전발전수확기와 충격하중에 대한 관계를 연구를 수행하였다. 이는 본 연구에서 개발하고자 하는 압전발전체는 도로 표층부에 설치되기 때문에 본 연구 수행이 필요하였다.



(a) 콘크리트 시편위에 압전발전 수확기(CASE I) (b) 아스팔트 시편위에 압전발전 수확기(CASE II)

그림 7. 포장체 종류에 따른 압전발전 수확기 전압 발생 시험

그림 7은 아스팔트 콘크리트 포장체와 시멘트 콘크리트 포장체 위에 압전발전수확기를 설치 한 후 발생 전압을 측정하는 실험과정을 나타내고 있다. 각각의 포장체 특성을 고려하기 위하여 직경이 10cm인 아스팔트 콘크리트 시편과 포틀랜드 시멘트 콘크리트 원형 시편을 이용하였다. 원형 시편위에 TYPE II의 압전발전수확기를 설치 한 후 마샬 다짐기 추의 높이를 3.5cm, 6.0 cm, 12.0cm로 조절하였으며, 각각의 높이에서 5번씩 추를 낙하하여 측정된 전압의 평균값을 그림 8에 정리하였다. 그림 8에서 설명되는 것과 같이 CASE I(시멘트 콘크리트 포장체)에서 CASE II(아스팔트 포장체)보다 평균 20V 정도의 큰 전압이 측정됨을 알 수 있었다. 각각의 포장체 종류별로 발생하는 전압의 차이가 발생함을 알 수 있었다. 김혁진 외 1인은 기계적 에너지를 압전소자에 의해 전기에너지를 생산하여 소형 전지를 충전하기 위해 사용되는 AC/DC 컨버터의 경우는 구조가 간단해야 하고 고효율이 필요하기 때문에 다양한 AC/DC 컨버터 토폴로지에 관한 연구를 수행하였다. 압전소자의 출력특성, 컨버터에 사용된 소자 특성 및 부하 특성 등 다양한 조건이 고려되어 최적 전력변환 컨버터 설계를 할 수 있음을 설명하고 있다(김혁진 외). 최적 전력변환기 개발을 위해서는(교류에서 직류), 포장체에 따라 압전발전체에서 발생하는 발생 전압이 전력변환 장비에 입력 범위가 달라지는 것을 고려해야 함을 알 수 있었다. 또한 압전발전수확기가 설치되는 하부구조의 강도와 전압 발생과도 연관성이 있음을 암시하고 있다. 향후 압전발전체 개발과 함께 충전시스템의 연구를 수행하고자 한다.

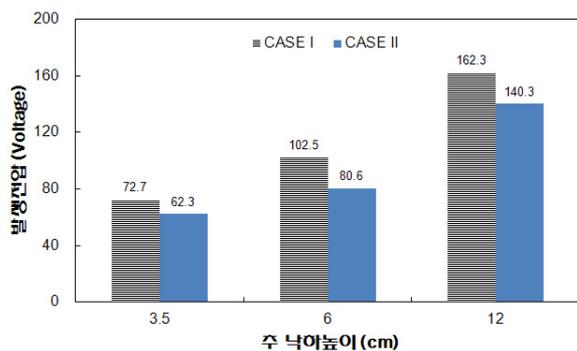


그림 8. 포장체 종류에 따른 압전발전체의 전압 발생량

6. 결론

실험을 통해 도로에서 도로표층부에 설치할 수 있는 압전 발전체의 형상조건에 대한 기본적인 방향을 계획하는

데 도움이 되는 실험 결과이었고, 이후 지속적인 실험을 통해 도로에 적용할 수 있는 압전 발전체의 적합한 형상 모델을 제안할 예정이다. 이번 실험을 통해 얻은 결과를 정리해 보면 첫째, 압전수확발전기에 가해지는 충격하중이 증가할수록 발생하는 전압의 크기가 비례하여 증가함을 알 수 있었다. 따라서, 압전수확발전기의 발전 효율을 높이기 위해서는 압전발전수확기에 강한 충격을 전달할 수 있는 시스템 개발이 요구되어진다. 둘째, 압전발전수확기 케이스 개발에 사용된 두 종류 케이스에서는 압전 세라믹 하부에 고무판을 배열하는 것이 압전 세라믹 상부에 고무판을 설치함으로써 전달 하중이 감소로 인하여 압전수확발전기 발생 전압이 감소함을 알 수 있었다. 셋째, 아스팔트 콘크리트 포장과 시멘트 콘크리트 포장에 압전발전수확기를 설치하였을 때 발생하는 전압크기를 알기 위한 연구에서는 시멘트 콘크리트 포장에 설치된 압전발전수확기보다 아스팔트 콘크리트 포장에 설치된 압전발전수확기보다 측정된 전압이 큼을 알 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 한국건설기술연구원의 시드사업 연구지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고 문헌

- 강형원 외2, 압전 발전의 이해, *전기의 세계*, 제 58권 12호, pp. 38~41, 2009
- 곽문규, 진동 제어 기술-제어 기법 및 응용기술: 압전소자를 이용한 진동 제어 및 응용기술, *한국소음진동공학지* (소음진동), 18권 3호, pp 11~15, 2008
- 권수안, 류승기 외6, "에너지 충전형 녹색도로 기술개발", 한국건설기술연구원, 2010.12
- 김혁진, 정교범, 압전소자를 이용한 에너지 수확시스템의 컨버터 토폴로지, p.600-603
- 류승기 외 2, "시설물관리에 활용 가능한 USN용 에너지 획득기술 실용화 연구", 한국건설기술연구원, 2008.12
- 류승기, "도로 공간을 활용한 전력수확기술", *한국조명전기설비학회지*, 24권 6호, pp.24~34, 2010
- 박종수 외 2, "압전소자를 이용한 에너지 회수에 관한 연구", *강원대학교 산업기술연구소 논문집*, 제 25권 B호, pp.141~147, 2005
- 유병곤, MEMS 기술을 이용한 에너지 하베스팅 기술, *전자통신동향분석*, 제 23권 제6호, p.48~58, 2008. 12
- 윤소남, 김동건, 압전소자를 이용한 에너지 수확에 관한 연구, *한국동력기계공학지*, 제 13권, 제3호, pp65~71, 2009

<http://www.innowattech.co.il>

Lin, Ji-Tzuoh, Barclay Lee and Bruce Alphenaar., The magnetic coupling of a piezoelectric cantilever for enhanced energy harvesting efficiency., *Smart Materials and Structures*, Vol. 19, p.1~7, 2010,

Londorf, M., Kvistery, T., Westby, E., and Halvorsen, E. *Evaluation of Energy Harvesting Concepts for Tire Pressure Monitoring Systems*. [웹주소: <http://cap.ee.imperial.ac.uk/~pdm97/powermems/2007/pdfs/331-334%20Lohndorf,%20M.pdf>, 2011년 7월 18일 검색], p 331-334

P H de Jong, A de Boer, R Loendersloot, P J M van der Hoogt, Power Harvesting Using Piezomaterial in A Helicopter Rotor Blade, *The 17th Internatioal Congress on Sound & Vibration*, Cairo 18-22 July, p.1~8 2010,

Roundy, Shad. Energy Harvesting for Tire Pressure Monitoring Systems: Design Considerations, *Proceedings of PowerMEMS 2008+microEMS 2008*, Semdai, Japan, November 9-12, p 1-6, 2008.

Qiu, Jinhao and HongIl Ji., The application of Piezoelectric Materials in Smart Structures in China, *International Journal of Aeronautical & Space Science*, Vol. 11, N0 4, p 266~284, 2010

접 수 일 : 2011. 5. 19

심 사 일 : 2011. 5. 19

심사완료일 : 2011. 11. 22