

하이브리드 에너지하베스팅 블록 개발 및 발전성능 평가

Development of Hybrid Energy Harvesting Block and Evaluation on Power Generation Performance

김효진¹ · 박지영² · 진규남³ · 노명현⁴

Hyo-Jin Kim¹, Ji-Young Park², Kyu-Nam Jin³ and Myung-Hyun Noh⁴

(Received April 11, 2014 / Revised April 28, 2014 / Accepted April 28, 2014)

요 약

이 연구에서는 주택과 도시 시설물에 적용이 가능하고, 시설물의 수요특성에 적합한 맞춤형 하이브리드형 에너지블록을 압전과 전자기 유도방식을 동시에 활용하여 개발하고자 하였다. 이를 위하여 에너지하베스팅 블록의 종류별 특성과 요구조건을 분석하고 그에 따른 에너지블록의 개선방향 및 적용방안을 도출하였다. 이러한 방안에 따라 선행연구에서 개발된 프로토타입 에너지블록의 특성 및 성능과 이 연구에서 개발된 하이브리드 에너지블록과의 성능을 비교분석 하였다. 비교결과, 하이브리드 에너지 블록이 기존 프로토타입에 비하여 1회 가진 시 12.7배, 그리고 5회 연속가진 시 28.9배의 출력을 나타냈다. 이는 연구목적인 W급의 전기에너지 생산목적에 부합되는 것으로, 주택 및 도시시설물에 적용이 가능할 것으로 사료된다.

주제어 : 에너지하베스팅, 압전, 전자기유도, 에너지블록, 하이브리드 에너지 하베스터

ABSTRACT

The purpose of this study is to develop hybrid energy blocks with piezoelectric and electromagnetic induction method. The developed energy block is able to be applied to the housing and facilities in the city and is suitable to adjust the characteristics of facilities. To develop the hybrid energy block, we analyzed the characteristics and requirements of various energy block types and drew improvement and application method to develop energy blocks. We compared and analyzed the characteristics and performance of the prototype energy blocks and the developed hybrid energy blocks. According to result of the comparison and analysis, the developed energy block shows higher performance of 12.7 times for adding one vibration and 28.9 times for five consecutive vibrations than that of a existing prototype energy block. This is consistent with research purposes for W-level electrical energy production. Thus, the new energy block will likely be possible to apply to the housing and urban facility.

Key words: Energy Harvesting, Piezoelectric, Electromagnetic, Energy Block, Hybrid Energy Harvester

1. 서 론

평소 의식하지 못하지만 우리 주위에는 빛, 바람, 열, 온도차, 진동 등 다양한 에너지원이 존재한다. 에너지하베스팅(energy harvesting)은 이러한 다양한 미활용 에너지를 수확하여 전기 에너지로 변환시켜 활용하는 기술이다. 즉, 스위치를 누를 때의 기계적인 변위, 자동차의 타이어나 모터의 진동, 산업플랜트 배관의 열, 휴대전화 기지국이나 방송국에서 방출되는 전

자파와 같은 에너지를 전기에너지로 변환하는 것이다.

기존의 에너지하베스팅 기술은 $\mu\text{W} \sim \text{mW}$ 급의 전기를 생산하는 수준이다. 화석연료를 이용한 발전전력이나 신재생에너지 생산 전력에 비해 그 규모가 아주 미소한 수준이다. 따라서 에너지수확 기술개발의 목적은 기존의 대전력과는 다른 용처, 즉 마이크로한 전기를 생산하여 그 목적에 적합하게 활용하는 것이다. 현재까지 수확되어 생산되는 전기에너지는 소형 가전기기나 전자기기에 주로 적용되어 왔다. 즉, 무선 센

1) 한국토지주택공사 토지주택연구원 연구위원(주저자: hyojin@lh.or.kr)
 2) 한국토지주택공사 토지주택연구원 수석연구원(교신저자: parkjy@lh.or.kr)
 3) 한국토지주택공사 토지주택연구원 연구위원
 4) 포항산업과학연구원(RIST) 강구조연구소 선임연구원

표 1. 에너지수확 메커니즘별 장단점 분석

구분		장점	단점
태양 (Solar)	압전 (Photovoltaic)	저비용, 고효율이고 작은 부피를 갖고 있음. 구동부 및 오염원이 없음	일조량에 따라 효율이 크게 변함
바람 (Wind)	터빈/로터 (Turbine/Rotor)	기술의 완성도가 높고, 기존 산업에서 기 응용되는 부품을 사용할 수 있음	풍량 및 블레이드의 구조에 따라 효율이 크게 변함
온도차 (Temp. Grad.)	열전 (Thermoelectric)	열전 소자를 적용할 경우 단위 부피당 발전가능량 높음. 구동부가 없고 빛이 들어오지 않는 분야에서 적용이 가능함	고비용 저효율
기계진동 (Kinetic)	압전 (Piezoelectric Direct Force)	가진 주파수에 따른 댐핑(damping)의 영향이 적고, 공진점에 의한 튜닝이 필요 없음	큰 하중에 의한 피로 및 파손 문제 있음
	압전/진동 (Piezoelectric Vibration)	진동 기반의 에너지하베스팅 모듈 중 압전체의 경우는 60% 효율을 보여줌	일부 적용 분야에서 신뢰성과 수명 문제 있음. 진동을 이용할 경우 한정된 주파수
	전자기 (Electromagnetic)	경제성과 효율성이 있음. 다양한 형태로 적용이 가능함	한정된 주파수
	정전기 (Electrostatic)	마이크로 시스템에 적용하기 쉬움	전원공급을 위한 전력원이 필요함
바람+기계진동 (Wind+Kinetic)	압전 (Piezoelectric: Flow Induced Vibration)	진동 기반의 압전체 적용으로 변환 효율이 높음. 공진 모드 적용이 아니기 때문에 사용 가능한 주파수 영역을 넓힐 수 있음. 또한 풍력을 에너지원으로 사용하기 때문에 풍속 증대를 통한 증폭이 가능함	풍력에 의한 유도 진동을 이용하기 때문에 큰 하중이 인가될 수 있어 신뢰성과 수명 문제 있음

서의 자체 가동전력 등에 주로 사용되어 왔다. 그러나 유무선 센서의 전송을 위해서는 최소한 20mW급의 전력이 필요하다. 또한 기술의 발전을 위해서는 다양한 용처의 개발이 필요하다. 그러한 의미에서 현재까지 적용된 예가 거의 없는 주택과 도시분야에 에너지하베스팅 기술을 적용하기 위한 기술개발이 필요하다.

본 논문은 주택과 도시 시설물의 요구수준에 맞는 에너지 하베스팅 전력의 생산기술을 개발하고 그 성능을 검증하는 것에 관한 것이다. 이를 위하여 선행 연구개발된¹⁾ 프로토타입 에너지블록 모듈을 개선한 에너지하베스팅 블록을 개발하였다. 기존에 타 연구에서 개발된 에너지블록은 압전방식을 적용한 것이었다. 그에 비해 본 연구에서는 압전과 전기유도 방식을 병합한 하이브리드 방식을 적용하였다. 이는 수확되는 전기에너지 효율을 최적화하고자 하는 것이며, 다음과 같은 절차에 따라 연구를 수행하였다.

첫 번째, 주택과 도시 분야에의 주요 적용처를 검토하여 적용처별 요구조건, 장단점, 그에 따른 적용효과를 비교 분석하였다.

두 번째, 적용처에 적합한 에너지블록 모듈의 개발방향을 설정하였다.

세 번째, 모듈의 개발방향에 맞는 압력 및 진동인가 방식의 하이브리드 에너지블록의 개선모듈을 개발하였다.

네 번째, 개선모듈의 적용을 통한 개선효과를 분석하였다. 이러한 연구내용은 다음과 같다.

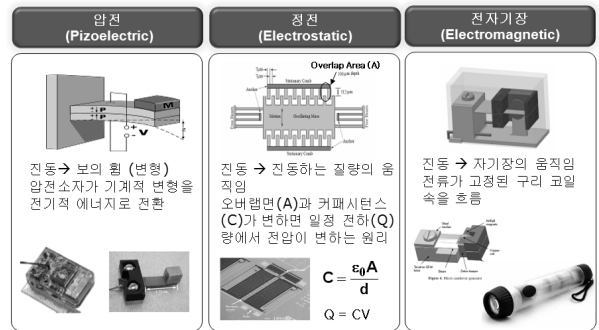


그림 1. 진동기반 에너지수확 메커니즘의 특성

2. 에너지블록의 개선방향 및 적용방안 설정

2.1 적용 대상 에너지 수확기술의 특성 검토

에너지 수확기술은 진동이나 직접충격 방식에 의한 압전, 진동에 의한 자기유도 방식 및 정전기 방식, 온도차에 의한 열전, 태양광에 의한 광전방식, 주변 방사전파(RF)의 전력전환, 나노다공체 유체의 상호작용 원리를 이용하는 방식, 마이크로 터빈 구동에 의한 방식, 음파소음을 이용하여 에너지를 수확하는 방법 등이 있다. 이러한 주요 에너지하베스팅 기술의 특성을 정리하면 표 12)과 같다.

이러한 에너지 수확기술 중 본 연구에서 개발하고자 하는 에너지 수확의 방법은 진동기반 수확기술이다. 진동기반 에너지 수확기술의 세부적인 종류 및 특성은 그림 13)과 같다.

- 2) 포항산업과학연구원(2010: 38), 「신재생에너지 융합 교량용 모듈 기술 개발전략 수립」.
- 3) 포항산업과학연구원(2010: 118), 「신재생에너지 융합 교량용 모듈 기술 개발전략 수립」.

1) 노명현 등(2012), “도시·주택 적용 미관용 에너지 블록의 발전성능 평가”, 『LHI Journal』, 3(2): 187~193.

이들 중 본 연구에서는 압전 및 전자기를 복합한 하이브리드 방식을 적용하였다.

2.2 에너지블록의 개발형태별 특성 및 요구조건 분석

본 절에서는 개발하고자하는 에너지하베스팅 블록의 개발 방향 및 그 적정성을 검토하였다. 개발방향은 용도에 맞추어 LED 발광블록, 발전용 에너지블록, 그리고 무선 센서네트워크용 자가발전모듈로 설정하였다. 각각에 대해서는 주요 적용처, 요구조건, 그리고 제품의 장단점을 분석하였다. 분석결과는 다음과 같다.

2.2.1 LED 발광블록

가. 주요 적용처 검토

LED 발광블록은 주로 도시나 주택내부에 설치하여 사람의 이동이나 활동으로 인해 전기에너지를 생산하여 발광하는 미관용의 개념이 강하다. 따라서 건물 외부에서는 주로 사람이 이동하면서 필연적으로 밝아야 하는 단지 내 공원의 산책로나 수변공원, 그리고 단지내 놀이터나 체육시설에 설치하는 것이 적합하다. 건물내부에서는 사람이 이동하는 동선에서 밝고 지나야 하는 주동 출입구나 계단부에 설치하는 것이 적합하다.

나. 요구성능 검토

첫 번째, 인력에 의한 수확에너지를 발광블록에 적용하게 되고 주로 건강이나 레저와 연계되므로 주변환경이나 경관과 조화될 수 있는 디자인의 개발이 필요하다.

두 번째, 주택의 주동출입부나 계단 또는 건물외부에 설치되어 잦은 충격력과 우수에 노출되기 때문에 장기적인 내구성과 방수기능의 확보가 필요하다.

세 번째, 생산되는 하베스팅 에너지량에 비해 그 소요치가 주로 미관용이므로 건설적인 측면에서 제조원가를 낮추어 경제성을 확보할 필요가 있다.

네 번째, 미관용에 적합하므로 LED 발광기능의 성능을 확보할 필요가 있다.

다. 장단점 분석

미관용 에너지블록은 블록단위로 제작되므로 설치가 간편하고 이동이 용이하다. 또한 미관용이므로 주택이나 단지의 미관이나 경관을 향상시킬 수 있다. 뿐만 아니라 체험이나 놀이공간으로 활동을 유도하여 건전한 놀이문화에 기여할 수 있다. 이를 통하여 주변에 버려지는 에너지를 수확하여 활용하는 친환경 신기술에의 적용을 통한 에너지의식 제고에 기여하고 에너지하베스팅 기술에 대한 홍보효과를 거둘 수 있을 것으로 사료된다. 반면에 블록형태이므로 외관 디자인에 제약이 있고, LED 블록의 낮은 조도 때문에 주간에 시인성 문제로 그 효과가 반감될 수 있다. 또한 공용공간이 아닌 곳

에 적용할 때에는 효과대비 과도한 설치비로 인해 가격 경쟁력이 낮아지는 단점이 있다.

2.2.2 발전용 에너지블록

가. 주요 적용처 검토

인도용 에너지블록은 횡단보도, 상가계단 등에 설치하여 발전용으로 사용할 수 있다. 차도용 에너지블록은 아파트 주동 출입구의 차량출입 개폐기, 주차장 출입구의 경광등용, 그리고 단지내 차도의 과속방지턱 등에 설치하여 활용할 수 있다.

나. 요구성능 검토

발전용 에너지블록에 요구되는 조건은 미관 디자인, 내구성 및 방수기능, 그리고 가격 경쟁력의 확보라는 측면에서는 위의 LED 발광블록과 같다. 이와 더불어 발전용 에너지블록의 경우에는 발전과 충전을 위한 시스템을 구비해야 하며, 축전된 전기에너지를 사용할 적절한 사용처를 개발해야 할 필요가 있다.

다. 장단점 분석

발전용 에너지블록의 장점은 미관용 에너지블록과 더불어 단순한 경관용이 아닌 전기에너지를 축전하여 활용하므로 그 활용성이 더 높다는데 있다. 즉, 단순한 미관용을 벗어나서 수확된 전기에너지를 실생활에 활용한다는 것이 큰 장점이다. 반면에 옥외에 설치하는 경우 방수성능이나 차량의 중량을 감당하기 위해 내구성을 보완할 경우에 경제성이 낮아질 수 있다. 또한 주로 사람이나 차량이 통과하므로 미끄럼방지, 유동방지를 위해 설치되는 기반시설과의 일체성의 유지에 문제가 있을 수 있다. 더불어 수확된 전기에너지를 활용하기 위한 축전시설의 설치가 추가로 요구되는 단점이 있다.

2.2.3 무선 센서네트워크(USN)용 자가발전 모듈

가. 주요 적용처 검토

에너지수확 개념은 위의 두 가지 방안과 동일하다. 그러나 그 적용처는 건물이나 도시시설물의 센서가동을 무선화하여 배터리가 필요 없는 자가발전용 전력으로 활용하는 무선센서네트워크 구축전력으로 활용한다는데 큰 차이가 있다. 이는 비교적 마이크로한 에너지를 수확하여 활용하는 표준적인 활용처라고 할 수 있다. 즉, 주택의 출입구나 현관 센서등 구동, 입출입 차량의 계량, 건물내부의 온습도 모니터링을 통한 스마트 주택의 구현, 외부의 공원이나 산책로의 보안등 구동, 그리고 아파트 옥상이나 교량의 모니터링을 위한 진단용 센서의 반영구적 가동전력 등으로 활용할 수 있다.

나. 요구성능 검토

이와 같이 USN 실현을 위해서는 수확되는 에너지를 이용

표 2. 에너지블록의 응용제품 유형 및 특성 비교 종합

응용제품	주요 적용처·요구조건	장·단점	적용효과	기타
LED 발광블록 (징검다리형, 보도블럭형)	<p>[주요 적용처]</p> <ul style="list-style-type: none"> - 단지내 공원(산책로, 수변공원) - 단지내 놀이터, 체육시설 - 단지내 상가입구, 계단 <p>[요구조건]</p> <ul style="list-style-type: none"> - 주변환경과 조화되는 디자인 - 내구성, 방수기능 - 경쟁력(제조원가) - 성능(LED 발광기능) - 건강, 놀이문화와 결부 	<p>[장점]</p> <ul style="list-style-type: none"> - 설치사례(부산 서면역) - 신재생에너지에 대한 대국민 홍보 - 이동설치 용이 - 미관, 경광조명 효과 - 체험효과 극대화(인지도 증가) <p>[단점]</p> <ul style="list-style-type: none"> - 주간시인성 문제(LED의 낮은 조도) - 공용공간 아닌 개별아파트 적용 시 낮은 가격경쟁력 - 플렉시블 외관으로 디자인에 제약 	<ul style="list-style-type: none"> - 공원 산책로 조경에 활용 - 자전거도로의 지시, 유도등 - 지하철광장(예: 서면역광장) - 사람들이 다니는 거리에 맞잡과 유명한 건물들을 보도블럭에 있는 전구를 화살표 모양으로 표시(유도등) - 단지내의 동번호 안내(단지를 잇는 구름다리에 설치해 LED로 번호 표시등) 	<ul style="list-style-type: none"> - 설치사례: 부산 서면역 대합실(LED 발광블록)
발전용블록 (인도설치형, 차도설치형)	<p>[주요 적용처]</p> <ul style="list-style-type: none"> - 인도용: 횡단보도, 상가계단 - 차도용: 과속방지턱, 아파트입구, 주차장입구 <p>[요구조건]</p> <ul style="list-style-type: none"> - 수려한 미관 디자인 - 내구성, 방수기능 - 경쟁력(제조원가) - 발전시스템(발전 및 충전시스템) - 축전된 전력의 적절한 사용방법 	<p>[장점]</p> <ul style="list-style-type: none"> - 홍보효과(국내 최초 테스트베스 적용) - 이미지제고(친환경, 신기술 적용) - 미관, 경관경효과 - 체험 및 놀이공간 제공으로 활동 유도 - 이동설치 용이 <p>[단점]</p> <ul style="list-style-type: none"> - 옥외설치로 인한 침수가능성 - 차량용이 경우 미검증으로 내구성 미 방수에 취약 - Non-Slip 기능으로 외관디자인에 제약 - 설계시 징검다리와의 일체성 문제 - 미관조명에 국한된 기능의 단조로움 	<ul style="list-style-type: none"> - 수변공원(인공 연못)의 조경효과 - 에너지원에 대한 호기심 유발 및 홍보 - 산책로에 조경 형태 설치 가능 - 놀이터에 체험놀이 형태의 LED 점등 - 단지 입구에 블록을 매설해 사람이 밟고 지나가면 축전을 해서 연말 크리스마스 트리를 켤 수 있는 이벤트 시스템 또는 아파트 표지석의 조명을 켜 - 운동기구 시설 공간이나 놀이터에 징검다리 형태의 이벤트 시스템 	<ul style="list-style-type: none"> - 설치사례: 부산 서면역 및 부천시 유한대학
USN용 자가발전모듈	<p>[주요 적용처]</p> <ul style="list-style-type: none"> - 현관 센서등 구동 - 공원, 산책로 보안등 구동 - 아파트 출입구(입출입 차량 카운터) - 단지내 온·습도, 기상 모니터링 - 아파트옥상 등 접근이 어려운 곳에 설치된 구조물 안전진단 <p>[요구조건]</p> <ul style="list-style-type: none"> - 센서구동 위한 발전 성능 - 진동, 바람 등 에너지원 확보 - 무선센서네트워크 구현 	<p>[장점]</p> <ul style="list-style-type: none"> - 무선네트워크 구현 - 다양한 정보의 모니터링 - 센서 구동을 위한 전력공급 용이 - 무전원, 무배터리 장치로 친환경 이미지 <p>[단점]</p> <ul style="list-style-type: none"> - 송신부 등 소형화된 보조장치 필요 - 발전 위한 인위적인 진동 필요 - 미소 발전으로 제한적 기능에만 적용 	<ul style="list-style-type: none"> - 초인종 구동 - 계단층 보안등 - 공원, 산책로, 가로등 점등 - 전동, 전열기구 온/오프 제어 - 피아노계단 설치로 계단으로의 이용을 유도 - 엘리베이터 앞 또는 입구의 블록을 밟으면 엘리베이터를 무선으로 작동(양손에 물건을 들었을 때 유용) - 주차장이나 단지 입구 차단기에 센서를 이용해 안내사인 문구 점등 및 입출입 차량 카운터 	<ul style="list-style-type: none"> - 설치사례: 제주도 - 국토부 교통체계효율화사업 연계, 지방도에 압전블럭을 설치후 차량 통과시 전방의 가로등을 원격제어

한 센서구동이 가능한 안정적 에너지원과 발전성능의 확보, 그리고 무선센서 네트워크의 구축이 필요하다.

다. 장단점 분석

수확된 에너지를 활용하여 무선센서 네트워크를 구축하는 것이 큰 장점이다. 즉, 건물의 경우에는 무선센서 네트워크를 구현하여 전력수요기기와 전력가동용 스위치 사이의 배선을 없앴으로써 그에 소요되는 설비비용을 절감할 수 있다. 토목 구조물 등 도시기반시설에서는 시설 모니터링을 위해 설치되는 장비에 소요되는 배터리 대신에 수확되는 에너지로 영구

적으로 대체함으로써 배터리 교체의 불필요, 그에 수반되는 인력절감 등의 효과가 있다. 해외자료에서는 USN의 실현을 통하여 건설비 15%, 설비비용 70%, 그리고 사용에너지를 40% 절감하는 것으로 발표하고 있다. 반면에 무선 센서네트워크를 설치하기 위해 송신부에 소형화된 보조장치가 추가로 필요하다. 또한 수확 에너지원의 안정적이고 지속적인 확보가 어려운 경우에는 인위적인 에너지원의 인가가 필요할 수도 있다. 수확된 에너지는 미소발전으로 주전력보다는 보조적, 제한적인 기능에만 적용이 가능하다.

2.3 에너지블록의 개선방향 설정

표 2와 같은 에너지블록의 종류별 특성비교 결과를 토대로 개발하고자 하는 에너지블록의 개선방향을 설정하였다. 개선 방향은 적용범위, 에너지원의 종류, 그리고 수확된 에너지의 활용 용도 측면에서 설정하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

2.3.1 에너지블록의 적용범위

본 연구는 궁극적으로 개발된 에너지블록을 적용하기 위한 주택분야의 에너지원 발굴, 도시시설물 분야의 에너지원 발굴, 그를 활용한 무선센서 네트워크 시스템 구축기술의 확보, 그것을 구현하기 위한 테스트베드 검증은 목표로 하고 있다. 에너지하베스팅은 주택, 도시, 무선 센서네트워크 구축 등 다양한 용처에 적용할 수 있다. 그러나 여기서는 개발된 에너지블록의 특성을 고려하여 도시규모가 아닌 주택 또는 주거단지에 부속된 시설에 적용하는 것으로 검토하였다. 즉, 단지내 도로, 단지 출입부, 주차장 출입부, 그리고 건물 내외부로 그 적용처를 제한하였다.

2.3.2 에너지원의 종류

본 연구에서 적용하고자 하는 에너지원은 진동과 압력을 복합한 하이브리드 에너지 수확전력을 활용하는 것이다. 따라서 앞서 단지 내로 국한된 영역에서의 주요 에너지원은 사람의 이동에 따른 하중과 차량의 이동에 따른 하중으로 구분할 수 있다. 두 가지 하중형태 중 사람의 하중으로 인한 에너지의 수확량은 극히 적고 앞서 검토된 미관용 에너지블록 이외에는 그 활용성이 크지 않다. 즉, 그 활용처는 발광 징검다리, 보안등 센싱 제어, 체육시설 센싱 제어 등에 제한적으로 사용되어 그 효과가 크지 않을 것이다. 따라서 차량의 이동에 따른 진동과 압력의 인가에 따라 발생하는 에너지를 수확하여 주차장 게이트 개폐기 제어, 경고 및 발광등 제어 등에 적용하는 것으로 설정하였다.

2.3.3 수확된 에너지의 용도

에너지블록의 개발방향은 진동과 압력을 조합한 하이브리드 방식이다. 일반적으로 미관용 에너지블록과 같은 압전형 단위 에너지블록은 미관용이나 센서의 신호 송출을 위한 소량의 자가공급 용도의 전원으로 사용할 수 있다. 또한 하이브리드형 에너지하베스팅 전력은 LED 발광 블록, 일부 전원 대체를 통한 그린 에너지 활용 홍보용 발전전원으로 활용할 수 있다. 또한 센싱기능을 기본으로 LED 발광, 경고음 발생 등의 추가 기능을 조합하여 센싱과 발전전원을 복합한 형태로 사용할 수도 있다. 본 연구에서는 진동 및 압력인가 복합방식 하베스팅 전력을 센싱기능을 기본으로 하고, 더불어 LED 발광, 주차장 및 주동 출입부 경고음 발생에 복합 활용하는 것으로 방향을 설정하였다.

3. 에너지블록 개선모듈 개발 및 발전성능 평가

본 연구에서는 상기 개발 및 적용방안에 따라 선행연구에서 개발된 프로토타입 에너지하베스팅 블록의 성능을 개선한 하이브리드 에너지블록을 개발하였으며, 이를 기존 개발제품의 성능과 비교 분석하였다.

3.1 프로토타입 에너지 블록의 특성 분석⁴⁾

기존의 에너지하베스팅 기술은 $\mu\text{W}\sim\text{mW}$ 급의 센서가동 수준의 소형전력에 집중하여 왔다. 프로토타입 에너지 하베스터는 이러한 기술수준을 극복하여 수 W급의 전력을 수확을 위한 핵심기술을 개발하고자 한 것이다.

프로토타입 에너지 하베스터는 PZT 기반 압전 캔틸레버 타입의발전성능(0.04mW급) 평가를 토대로 발전량 증폭기술을 적용하였다. 발전량 증폭은 압전과 전자기유도 조합방식을 통한 증폭, 다층(Multi-layer) PZT에 의한 면적증가 방식, 그리고 D31 변형 유도홀 구조를 통한 증폭기술을 적용한 것

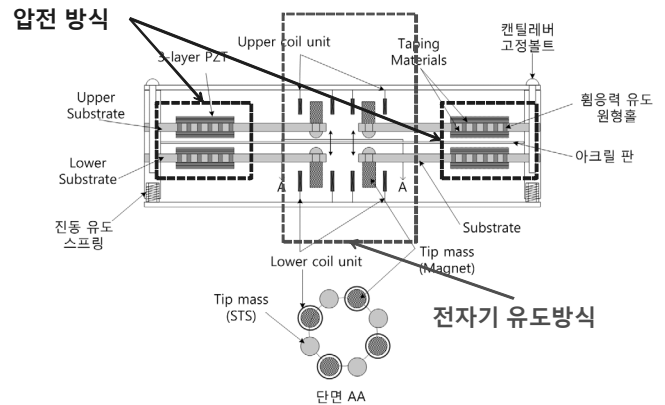


그림 2. 프로토타입 에너지 하베스터의 하이브리드 방식

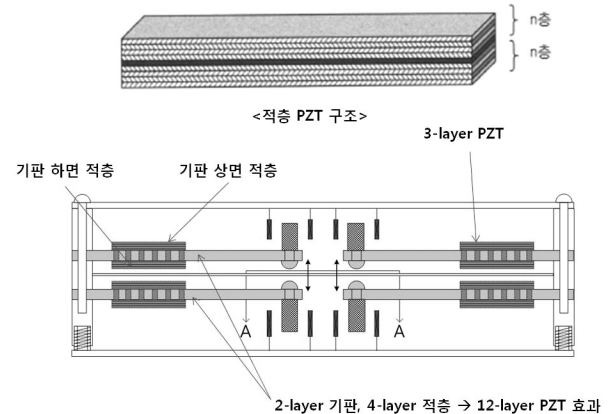


그림 3. 프로토타입 에너지 하베스터의 적층 구조

4) 포항산업과학연구원(2012: 61~151), 「진동기반 교량용 하이브리드 에너지하베스팅 프로토타입 개발」.

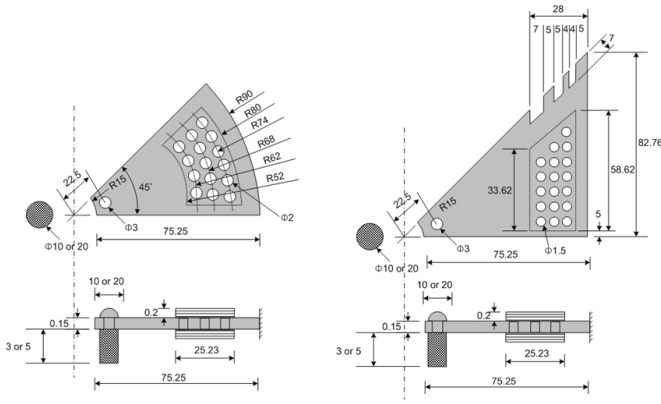


그림 4. 프로토타입 에너지 하베스터의 D31 변형 구조

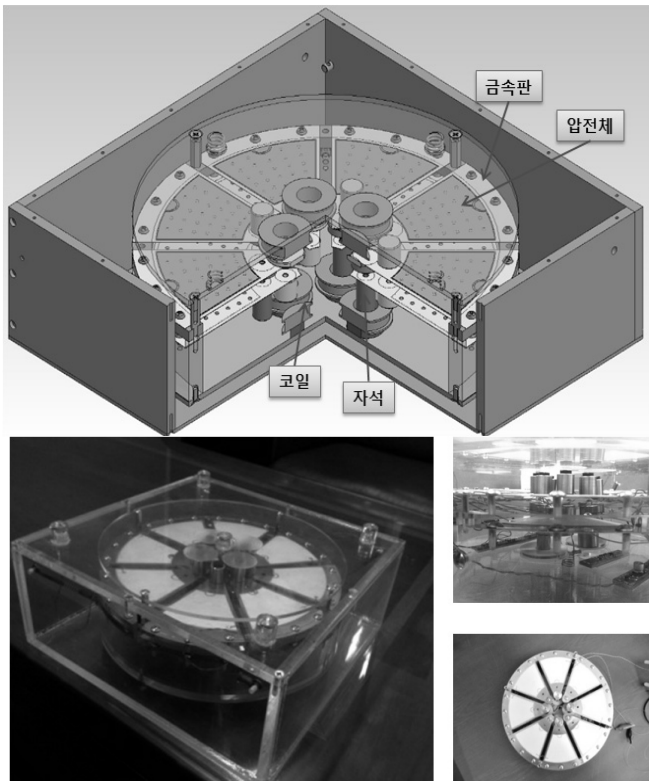


그림 5. 프로토타입 에너지 하베스터의 형상

이다(그림 2, 그림 3, 그림 4 참조).

프로토타입 에너지 하베스터는 그림 5와 같이 압전부와 전자기부로 구성된다. 압전부는 압전체를 금속판에 붙여 캔틸레버를 제작하고 끝단에 팁 매스(Tip Mass)를 결합한 구조이다. W급의 하이브리드 에너지 수확시스템의 프로토타입을 개발하기 위하여 기관의 형상에 따른 고유진동 해석 평가를 통해 저주파 고유진동수 유도를 위한 기관의 형상과 팁 매스를 결정하였다. 이는 외부진동에 의해 압전 캔틸레버가 상하로 변형하면 압전체의 변형에 의해 전하가 발생하도록 한 것이다. 전자기부는 캔틸레버 끝단의 무게추인 자석이 상하로 움직이고, 이때 코일을 상하로 이동하여 자속의 변화로 전하

표 3. 프로토타입 에너지 하베스터의 발전성능

구분	평균 출력 (mW)	충전량 (W/h)	효율비교 (압전방식 대비, %)
볼드롭	63.70	39.57	505
4Hz 가진 평가	35.76	21.45	274

가 발생하도록 한 것이다.

이러한 프로토타입 에너지 하베스터의 발전성능은 50cm 높이에서 볼(1kg)을 낙하시키고 낙하에 따른 충격력과 진동 발생을 동시에 유발시키는 볼드롭(Ball drop) 방식과 4Hz의 주파수에 의한 가진 방식으로 측정하였다. 측정결과 볼드롭 방식에서는 기존 압전 에너지 하베스터 대비 약 505%, 그리고 4Hz 가진 방식에서는 274%의 발전성능이 향상되는 것으로 나타났다⁵⁾.

이러한 평가 결과는 발전성능 평가시 인가되는 진동이 실제 운용 중에 인가되는 진동과 상이한 이상적 진동을 고려하였다. 이 때문에 실제 운용 중의 진동인가를 고려할 수 있도록 발전성능 평가방법의 보완이 필요할 것으로 사료된다.

3.2 에너지 블록의 개선모듈 개발

표 3에서와 같이 프로토타입 에너지 블록은 기존 압전방식 에너지 제품에 비해 월등하게 발전성능이 향상된 것으로 분석되었다. 그러나 순간 평균 전력이 당초 목표했던 W급의 전력에는 미치지 못했다. 따라서 본 연구에서는 그러한 목표를 달성하기 위하여 프로토타입 에너지 하베스터를 개선한 에너지 하베스터를 개발하여 그 성능을 평가하고 비교 분석하였다. 그러한 연구결과는 다음과 같다.

3.2.1 적용처에 따른 개선사양 설정

프로토타입 에너지 블록의 성능 분석결과를 토대로 용도가 제한적인 미관용 에너지블록의 내구성, 안전성 등 성능을 개선하여 실제현장에 적용이 가능하도록 모듈을 개선하였다. 검토된 개발방향 및 사양은 다음과 같다

첫째, 가진 에너지의 종류에 의한 적용처를 검토하였다. 즉, 선행개발된 프로토타입 에너지 블록은 사람의 체중을 이용하는 것으로서 산책로나 실개천의 미관용 발광 징검다리나 보안등의 센서 제어용으로 용도가 제한적이다. 따라서 그것을 단지내 이동 차량에 의한 주차장 출입구의 개폐기나 과속방지턱 등에 적용하도록 개발방향을 설정하였다.

둘째, 에너지 블록의 적용 용도를 설정하였다. 즉, 압전방식의 에너지 하베스터는 센서의 신호 송출을 위한 소량의 전원을 자가 공급하는 센싱 용도로 사용이 가능한 반면에 하이브리드 방식은 LED 발광블록이나 일부 시설의 전원을 대체

5) 김효진 등(2013), 「에너지하베스팅 기술의 주택도시 적용을 위한 기초 및 실용화 방안 연구(1)」, 토지주택연구원.

하는 보조 발전전력으로 활용이 가능하다. 따라서 본 연구에서는 기 개발된 프로토타입 에너지 하베스터의 성능을 개선하여 센싱과 발전기능의 동시구현이 가능한 수준으로 개발방향을 설정하였다.

3.2.2 개선모듈의 구조적 특징

상기 개발방향에 따른 개발되는 에너지 블록의 구조적 특징은 증폭 및 공간 효율화 구조, 수밀구조, 그리고 차량압력에 충분히 견딜 수 있는 내구성을 강화한 구조로 압축할 수 있으며, 세부적인 특징은 다음과 같다.

첫째, 증폭 및 공간효율화를 위하여 다층 PZT 증폭구조 및 집적화된 모듈구조로 개발하였다.

둘째, 이러한 모듈을 주차장 등 외부에 설치하여 장기간 우수 등에 노출될 때 발생할 수 있는 침수에 견딜 수 있는 2중의 수밀구조로 개발하였다.

셋째, 미관용 에너지블록이 가지고 있는 내구성의 취약점을 보완하여 차량 압력에도 견딜 수 있도록 내구성을 강화하도록 하였다. 이를 위하여 전자기부와 압전부를 분리하고, 2중의 고강도 케이싱을 적용하도록 하였다. 이는 선행연구의 사례에서 시범적용시 발견하였던 문제점을 개선하고자 하는 것이다.

3.2.3 개선 모듈의 구성

상기 구조적 특징에 따라 개선 전후 모듈의 구성을 비교하면 그림 6과 같다. 그림의 우측과 같이 개선모듈은 모듈의 중

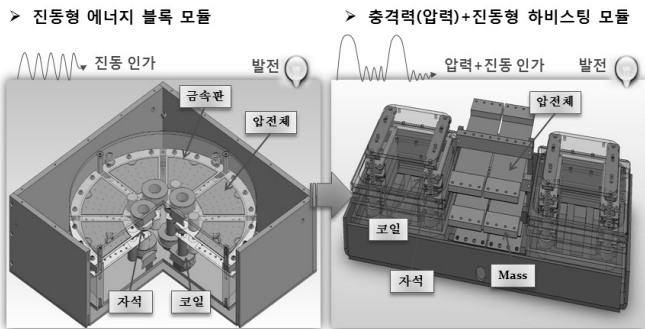


그림 6. 개선 전후 모듈의 구성 비교

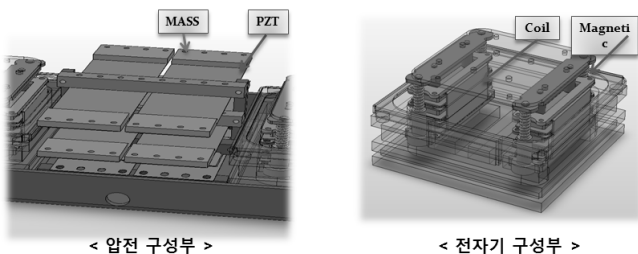


그림 7. 개선 모듈의 압전부와 전자기부 분리 구조도

양부에 압전부를, 그리고 양 측면에는 전자기 구성부를 설치하여 분리하였다. 개발 모듈의 종합적인 구조도는 그림 7, 그리고 전체적인 조립도는 그림 8과 같다.

그림에서와 같이 분리된 압전 및 전자기부는 각각 방수케이스를 설치하였으며, 모듈 전체에 외부 케이스를 설치함으로써 방수성능과 차량의 충격에 대한 내구성을 강화하였다.

3.3 개선모듈의 발전성능 평가

앞 절에서 기술한 개선된 압전 및 진동인가 방식 하이브리드 에너지하베스팅 모듈의 개선효과를 분석하기 위하여 발전성능을 평가하였다. 공압에 의한 하중시험으로 발전성능을 평가하였다.

발전성능 평가는 1회에 1.2sec로 1회 가진 시와 5회 연속 가진 시의 평균 출력을 측정하여 이론적인 충전량과 프로토타입 대비 효율을 분석하였다. 시험전경과 그 결과는 그림 9와 같고, 측정된 발전성능 비교결과는 표 4와 같다.

분석결과, 1회 가진 시에는 프로토타입 대비 약 12.7배, 그리고 5회 연속 가진 시에는 28.9배까지 효율이 증가하는 것으로 분석되었다. 이는 프로토타입을 포함한 본 연구이전의 기존 압전제품에 대비하여 1회 가진 시에는 약 34.7배, 5회

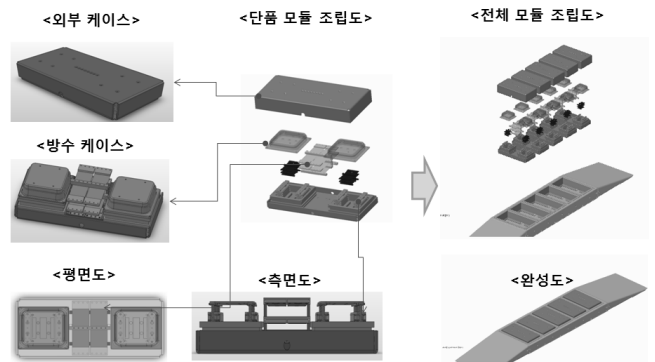


그림 8. 개선 모듈의 전체 모듈 조립도

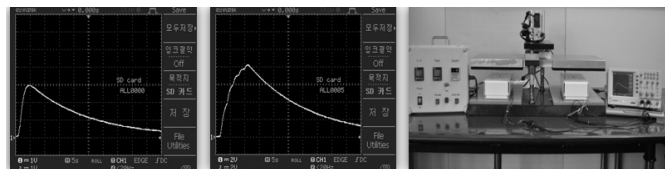


그림 9. 개선된 에너지하베스팅 모듈의 발전성능 측정결과

표 4. 개선 에너지하베스팅 블록의 발전성능 평가 결과

구분	평균 출력 (W)	충전량 (W/h)	효율비교 (프로토타입 대비, %)
1회 가진시	0.453	271.80	1,270
5회 연속 가진시	1.032	619.20	2,890

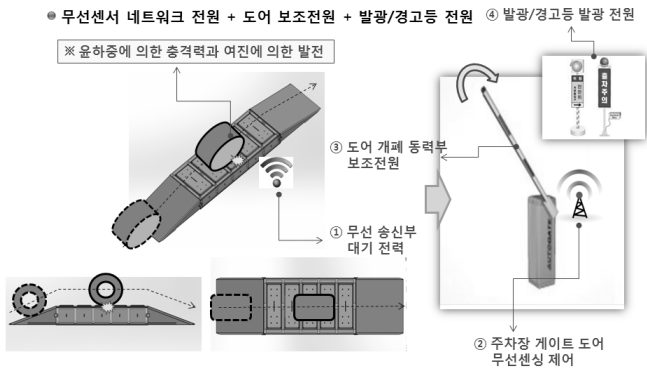


그림 10. 개선된 에너지하베스팅 블록의 현장적용 방안

연속 가진 시에는 79.1배로 효율이 크게 증가한 것이다.

이것은 실험실 조건에서의 결과이다. 즉, 이상적인 조건에서의 실험결과이므로 실제 현장조건과는 다를 수 있다. 그러나 그러한 조건의 차이에도 불구하고 기존 프로토타입에 대비하여 월등하게 효율이 개선된 것을 입증하였다.

따라서 이와 같이 수확된 전력은 본 연구에서 적용하고자 하는 주거단지 주동출입부나 주차장 출입부에 적용하는 경우 무선센싱에 의한 차량 차단기 자동개폐, 발광 및 경고등 전원으로 사용하고 남은 유휴 전력은 배터리에 축전하여 LED 발광등으로 활용이 가능할 것으로 사료된다.

4. 결론

본 연구에서는 선행연구에서 개발된 프로토타입 에너지하베스팅 블록의 성능을 개선한 하이브리드 에너지블록을 개발하였다. 개발한 에너지블록에 대한 발전성능을 평가하여 기존 에너지블록과의 성능을 비교 분석하였다. 그 결과는 다음과 같다.

1. 개발된 에너지블록은 1회 가진 시에는 기존제품 대비 34.7배 및 선행연구의 프로토타입 대비 약 12.7배, 그리고 5회 연속 가진 시에는 기존제품 대비 79.1배 및 선행연구의 프로토타입 대비해서는 약 28.9배로 효율이 대폭 증가하는 것으로 분석되었다. 따라서 개선 모듈은 기존 유사 제품에 비해 월등한 에너지수확 성능을 확보하였음을 입증하였다. 또한 당초 에너지블록의 개발목표였던 W급의 전력 수확이 가능한 수준으로 개선된 것으로 확인되었다. 이를 통하여 기존의 미관용 수준의 제품에 비하여 실용적으로 현장에 적용할 수 있을 것으로 기대된다.
2. 개선 모듈의 성능분석 결과를 토대로 할 때 에너지블록 모듈 1개당 평균 1W의 전기를 생산하는 경우, 5개를 적용할 때 5W의 발전효과가 있을 것이다. 이를 자동차 바퀴 2개축에 각각 1개 세트씩 2세트(10개의 모듈)를 설

치하는 경우에는 1회 차량 진입으로 약 10W의 발전이 가능할 것으로 사료된다.

3. 이러한 결과는 다양한 시험을 통하여 모듈을 추가 개선하고 이를 안정적인 하중 및 압력이 인가되는 조건에 설치하는 경우에는 에너지수확 효율이 획기적으로 개선될 수 있을 것으로 사료된다.
4. 추후, 시험실 조건에서의 성능 수준을 실제 차륜하중과 차량 통행 빈도 등을 고려하였을 때 시험실 조건과 같은 이상적인 전력수확 효율을 얻을 수 있는지에 대한 실증적인 평가와 보완이 필요한 것으로 사료된다.

감사의 글

본 논문은 토지주택연구원에서 연구과제로 수행 완료한 ‘에너지하베스팅 기술의 주택도시 적용을 위한 기초 및 실용화 방안 연구(1)’의 연구결과의 일부를 정리한 내용입니다.

참고문헌

1. 김영진, 진규남, 이상훈, 박선규, 윤정방, 박승희(2011), 「상시계측 시스템과 보수/보강 신기술에 의한 교량의 성능평가 및 유지관리 기법 개발」, 토지주택연구원.
2. 김창일 등(2012), “압전컨틸레버 구조를 이용한 도로용 에너지하베스터의 개발 및 평가”, 「전기전자재료학회논문지」, 25(7): 511~515.
3. 김효진, 진규남, 박지영(2013), 「에너지하베스팅 기술의 주택·도시 적용을 위한 기초 및 실용화 방안 연구(1)」, 토지주택연구원.
4. 노명현, 김효진, 박지영, 이상영, 조영봉(2012), “도시·주택 적용 미관용 에너지 블록의 발전성능 평가”, 「LHI Journal」, 3(2): 187~193.
5. 류경일, 정귀상(2011), “스프링이 없는 진동형 전자기식 에너지하베스터의 제작과 그 특성”, 「Journal of Sensor Science and Technology」, 20(4): 249~253.
6. 비즈오션(2011), 「에너지하베스팅 최신기술 동향 및 전망 세미나 자료집」.
7. 송병택(2012), 「압전소자를 이용한 에너지 저장 시스템」, 교육과학기술부, 한국과학기술정보연구원.
8. ㈜센블(2011), 「에너지하베스팅 프로토타입 발전특성평가」.
9. 최경규, 박홍근(2003), “불균형모멘트를 받는 플랫 플레이트의 변형능력”, 「한국콘크리트학회논문집」, 15(3): 482~493.
10. 포항산업과학연구원(2010), 「신재생에너지 융합 교량용 모듈 기술 개발전략 수립」.
11. 포항산업과학연구원(2012), 「진동기반 교량용 하이브리드 에너지하베스팅 프로토타입 개발」.
12. Harrop, P. and R. Das (2009), *Energy Harvesting and Storage for Electronic Devices 2009-2019*, IDTechEx.
13. Spremann, D. and Y. Manoli (2012), *Electromagnetic Vibration Energy Harvesting Devices : Architecture, Design, Modeling and Optimization*, Springer.