

에너지 하베스팅 기술의 국내 건축물 적용 방안에 관한 기초 연구

- Interseasonal Heat Transfer System 적용 사례 중심으로 -

A Study on the Application Method in Korea of Energy Harvesting Technology

- Focused on the Case Study of Interseasonal Heat Transfer System -

조병완	Jo, Byungwan	정회원 · 한양대학교 건설환경공학과 정교수 · 교신저자 (E-mail: joycon@hanmail.net)
이윤성	Lee, Yunsung	한양대학교 건설환경공학과 박사과정 (E-mail: nikesoo@nate.com)
윤광원	Yoon, Kwangwon	한양대학교 건설환경공학과 박사과정 (E-mail: ykwabc@nate.com)
김도근	Kim, Dogeun	한양대학교 건설환경공학과 박사과정 (E-mail: dk76kim@nate.com)

ABSTRACT

PURPOSES : This research is a basic study for application method in Korea of energy harvesting technology, and it is a research to find out the direction of architectural planning through analyzing cases of interseasonal heat transfer system applied buildings.

METHODS : In this paper authors investigate application necessity of energy harvesting technology, we analyzed energy use status of building section through analyzing domestic energy consumption status and analyzed domestic renewable energy generation potential. Also we study the features of energy harvesting technology, interseasonal heat transfer system, and case study on interseasonal heat transfer system applied buildings.

RESULTS : On the basis of case study on interseasonal heat transfer system applied buildings, we analyzed feasibility study and classified into four sections (economic, environment, design, applicability), and suggested directions of architectural planning.

CONCLUSIONS : Economic renewable energy for public and commercial buildings (hospitals, offices, schools, factories) can be provided effectively using Interseasonal Heat Transfer.

Keywords

energy harvesting technology, buildings, Interseasonal heat transfer system, Case study, Feasibility study

Corresponding Author : Jo, Byungwan, Professor
Department of Civil Engineering, Hanyang University,
222 Wangsimni-ro, Seongdong-gu, Seoul 133-791, Korea
Tel : +82.2.2220.0327
E-mail : joycon@hanmail.net

International Journal of Highway Engineering
<http://www.ksre.or.kr/>
ISSN 1738-7159 (print)
ISSN 2287-3678 (Online)
Received May, 20, 2014 Revised May, 21, 2014 Accepted Jul, 22, 2014

1. 서론

1.1. 연구의 배경과 목적

산업혁명 이후 전 세계적인 화석에너지 사용의 급격한 증가는 온실가스의 과대 배출로 인한 지구온난화와

에너지원의 고갈, 대기오염 등과 같은 심각한 환경문제를 유발하였다. 전 세계적으로 이러한 환경문제를 규제·방지하기 위한 노력으로 1987년 제 1차 세계기상회의에서 정부간기후변화패널(Inter-Governmental

Panel on Climate Change: IPCC)을 결성하였으며, 1992년 6월 기후변화협약 및 1997년 교토의정서 체결을 통하여 다양한 환경관련 규제를 시행하고 있다.

국내의 경우 세계 8위의 에너지 소비국이며, 이산화탄소 배출량은 약 7억 4천만 Ton으로 세계 7위의 온실가스 배출국으로서(Energy Alternative Forum, 2012), 온실가스 감축 및 에너지 안보 확보를 위하여 2010년 저탄소 녹색성장 기본법을 제정하여 기후변화 대응 및 에너지 목표관리를 위한 노력을 하고 있다.

대부분의 온실가스는 산업분야에서 발생하지만 국내의 경우 건축물 부문에서 국가 온실가스 배출량의 25%가 배출되고 있으며, 국가 에너지 총 사용량의 20% 이상을 소비하고 있는 실정(Kim, 2013)으로 에너지 절약과 온실가스 감축을 위해서는 친환경 녹색 건축물의 기술개발을 통한 보급과 확대가 필수적이다. 이에 정부는 2020년까지 건축물 온실가스 배출량을 31% 감축한다는 목표로 녹색건축 활성화를 위한 체계적인 추진기반을 마련하기 위하여 2013년 녹색건축물조성지원법을 제정하였다. 녹색건축물조성지원법은 에너지 소비총량제, 에너지 절약계획서 제출제, 녹색건축인증제, 에너지 효율등급인증제, 에너지 소비증명제 등 5가지의 핵심 내용으로 구성되어있으며, 정부는 이를 뒷받침하기 위하여 녹색건축물조성지원법에 근거하여 건축물 에너지 평가사 제도를 도입하여 건축, 기계, 전기, 신재생 부문의 종합적 지식을 갖춘 건축물 에너지 관리 전문인력을 양성하여 녹색건축물 보급 및 건축물의 효율적인 에너지 관리를 위한 정책을 시행하고 있다(Ministry of Land, Infrastructure, and Transport, 2013).

최근 선진국에서는 환경파괴와 지구온난화에 따른 기후변화가 심각하여 온실가스를 배출하는 화석에너지를 대체할 수 있는 대체에너지원에 대한 연구가 활발히 진행 중이다. 이중 교량·도로·철도 등과 같은 사회기반시설과 대형 빌딩 등에서 발생하는 열진동 등을 활용하여 전기에너지를 만들어내는 에너지 하베스팅 기술이 각광을 받으며 관련된 연구들이 대학이나 연구기관에서 주도적으로 진행되고 있다(Jo et al, 2010).

이에 본 연구에서는 정부의 저탄소 녹색성장의 기초 아래 에너지 저감과 온실가스 감축을 위하여 친환경 녹색 건축물의 보급과 확대를 위해 에너지 하베스팅 기술 중 태양에너지를 이용하는 계절간 열전환 시스템(Interseasonal Heat Transfer System)의 국내 건축물 적용을 위한 기초 연구를 수행하였다.

1.2. 연구방법 및 범위

앞서 언급한 바와 같이 본 연구는 에너지 하베스팅 기술의 국내 건축물 적용방안을 도출하기 위한 것으로서 본 연구의 구체적인 연구방법 및 범위의 설정은 다음과 같다.

첫째, 에너지경제연구원이 발간하는 에너지 통계연보와 2012년 에너지대안포럼이 발표한 2030에너지대안 시나리오 고찰을 통해 2005~2011년 동안의 국내 건축물의 에너지 이용현황 및 특성 그리고 국내 신재생 에너지 잠재발전량에 관한 분석을 통해 에너지 하베스팅 기술의 건축물 적용의 필요성에 대해 알아보았다.

둘째, 기존논문, 연구보고서, DB자료 등 문헌고찰을 통하여 에너지 하베스팅 기술의 개념 및 연구동향에 대해 알아보고, 본 연구에서는 에너지 하베스팅 기술 중 계절간 열전환 시스템(Interseasonal Heat Transfer System-IHT)기술로 한정하여 해당 기술의 특징에 대해 분석하였다.

셋째, 계절간 열전환 시스템의 국내 적용 사례는 전무하기 때문에 해외의 적용 건축물 중심으로 적용시스템, 장점, 타당성 등을 사례분석을 통하여 실시하였고, 연구 결과를 종합분석하여 국내 건축물 적용을 위해 고려해야 할 주요사항을 도출하였다.

2. 국내 에너지 현황

2.1. 국내 건축물 부문 에너지 이용 현황

국내 건축물 부문 에너지 소비 현황조사를 위해 에너지경제연구원에서 발간하는 에너지통계연보(2012)를 활용하였으며, 건물에서 사용하는 에너지는 가정상업 및 공공 기타부문에서 사용하는 에너지로 정의할 수 있다(Go and Kim, 2008).

Table 1을 보면 국내 총 에너지 소비에서 건축물 부문이 차지하는 비율은 2005년 총 24%(가정 13.2, 상업 8.4, 공공 2.4)에서 2011년 총 20.5%(가정 10.5, 상업 7.7, 공공 2.3)%로 감소하였으나 여전히 높은 비율을 차지하고 있다. 이 기간에 산업 부문은 55.2%에서 61.6%로 증가하였으며, 수송 부문은 20.8%에서 17.9%로 감소하였다(Korea Energy Economics Institute, 2012). 이는 국내 경제발전으로 인한 산업설비의 증가로 인해 산업부문의 에너지 소비량이 증가하였고, 최근 온실가스 배출과 건물 에너지를 절감하기 위하여 친환경 건축기술을 적용한 에너지 절약형 건물(태양광주택, 패시브 하우스, 3리터 하우스 등) 등이 다양하게 시도되

고 있기 때문에 판단된다(Go and Kim, 2008).

Table 1. Energy Consumption Status

Unit : 1,000TOE¹⁾

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Industry	94,366 (55.2)	97,235 (56)	102,917 (57)	106,458 (58.3)	106,119 (58.3)	116,910 (59.8)	126,886 (61.6)
Transportation	35,559 (20.8)	36,527 (21)	37,589 (20.8)	35,793 (19.6)	35,930 (19.7)	36,938 (18.9)	36,875 (17.9)
Home	22,500 (13.2)	21,435 (12.3)	21,109 (11.7)	21,132 (11.6)	20,537 (11.3)	21,186 (10.8)	21,621 (10.5)
Commerce	14,361 (8.4)	14,551 (8.4)	14,787 (8.2)	15,093 (8.3)	15,185 (8.3)	16,071 (8.2)	15,921 (7.7)
Public	4,068 (2.4)	3,836 (2.3)	4,141 (2.3)	4,108 (2.2)	4,295 (2.4)	4,483 (2.3)	4,560 (2.3)
Total	170,854	173,584	180,543	182,576	182,066	195,587	205,864

2007년에 발표된 IPCC 4차 평가보고서(2007)에 따르면 모든 부문 중에서 건축물 부문의 온실가스 감축 잠재량이 가장 높게 나타났으며, 경제적인 효과까지 고려할 경우에도 온실가스 감축비용이 낮으면서 감축 잠재량이 가장 높은 부문으로 평가되었다. Fig. 1은 2030년까지 부문별 온실가스의 경제적 감축 잠재량을 나타낸 것이다(IPCC, 2007).

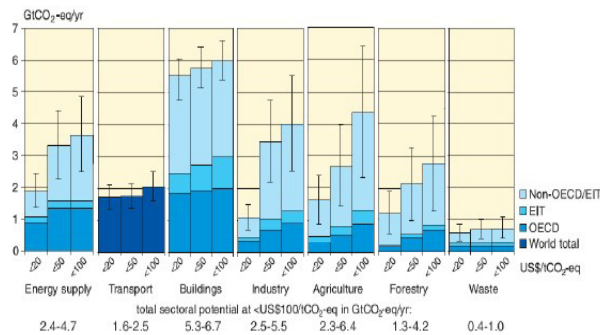


Fig. 1 Economic Mitigation Potential of Greenhouse Gas

온실가스 배출량의 감축은 에너지 소비와 밀접한 관련이 있으므로 온실가스 배출량 감소를 위해서는 에너지 절감이 선행되어야 하며 국내 총 에너지 소비의 20% 이상을 차지하며 온실가스의 경제적 감축 전망치가 가장 높은 건축물 부문의 에너지 절감 및 온실가스 배출량을 줄이기 위해 신재생 에너지와 에너지 하베스팅과 같은 다양한 에너지 저감기술을 활용하려는 노력이 필요하다(Park and Hong, 2010).

1) TOE는 석유환산톤으로, 석유 1톤을 연소할 때 발생하는 에너지를 1석유환산톤이라고 정의함.

2.2. 국내 신재생 에너지 현황

신재생 에너지는 자연에서 재생가능한 에너지와 새로운 에너지의 개념을 합성한 용어로서 국내의 신재생 에너지의 정의를 보면 신 에너지 및 재생 에너지 개발·이용·보급 촉진법 제 2조에 의해 태양·풍력·수력·바이오·지열 등 8개 재생 에너지와 수소 에너지·연료전지·석탄액화가스의 신에너지 3개분야로 구분할 수 있다.

Table 2는 국내 신재생 에너지 잠재발전량을 나타낸 것으로 에너지원별 기술적 잠재량을 살펴보면 태양열, 태양광, 지열, 풍력, 수력, 해양, 바이오매스 순으로 나타났으며 태양열, 태양광 지열에너지와 비교할 경우 다른 에너지원의 경우 기술적 잠재량이 매우 낮은 것을 알 수 있다(Energy Alternative Forum, 2012). 에너지원별 공급가능 잠재량의 경우 지열, 태양열, 수력, 태양광, 바이오매스, 해양, 풍력 순으로 나타났으며 기술적 잠재량에 비해 그 차이가 크지 않다. 기술적 잠재량 대비 공급가능 잠재량을 살펴보면 태양열 2.4%, 태양광 1.6%, 풍력, 8.2%, 수력 100%, 바이오매스 100%, 지열 11.9%, 해양 에너지 44.6%로 태양열, 태양광, 풍력, 지열 에너지의 경우 기술적 잠재량에 비해 공급가능 잠재량이 매우 낮은 것을 알 수 있다.

Table 2. Renewable Energy Generation Potential

Unit : TWh

Energy	Technical potential ²⁾	Supply available potential ³⁾
Solar thermal energy	10,129	243
Photovoltaic power	6,807	109
Wind power	353	29
Water power	243	243
Biomass	72	72
Geothermal energy	2,719	324
Ocean energy	74	33

국내 신재생 에너지 잠재발전량분석을 통해 보면 태양열, 태양광, 지열 에너지의 경우 기술적 잠재량이 매우 높아 활용가치가 매우 높으나 공급가능 잠재량은 기술적 잠재량에 비해 매우 낮아 제대로 활용되지 못하고 있다. 따라서 국내 에너지 절감과 온실가스 배출 감축을 위해 태양 에너지와 지열 에너지의 적극적인 활용이 필요하며 이를 위한 다각도의 기술개발과 활용계획에 대

2) 현재의 기술수준으로 산출할 수 있는 최종 에너지의 양을 나타낸 값으로 기기의 시스템 효율 등을 적용

3) 현재의 에너지 환경 및 여건을 고려해 산출할 수 있는 에너지 총량

한 적극적인 연구가 필요하다.

3. 에너지 하베스팅(Energy Harvesting)과 계절간 열전환 시스템(Interseasonal Heat Transfer System-IHT)

3.1. 에너지하베스팅 기술

에너지 하베스팅(Energy Harvesting)기술이란 자연의 빛 에너지, 인간 신체 또는 연소형 엔진으로부터의 저온 폐열 에너지, 휴대용 기기의 미세 진동 에너지, 인간의 신체활동으로 인한 소산 에너지 등을 흡수하여 에너지 하베스팅 소자를 이용하여 전기에너지로 변환하여 전력으로 사용하는 친환경적인 재생 에너지원으로 태양광·풍력 등의 신재생 에너지도 넓은 의미의 에너지 하베스팅에 속한다(Yu, 2008). Fig. 2는 에너지 하베스팅 소자의 종류를 나타낸 것이다.

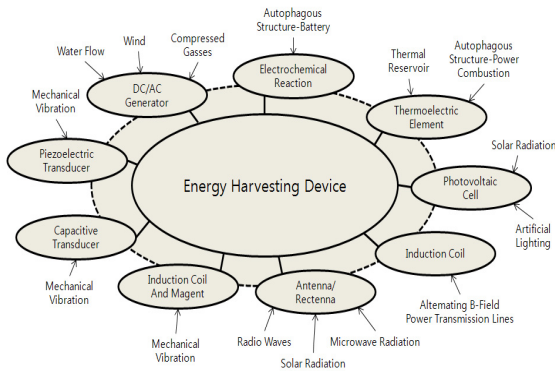


Fig. 2 Types of Energy Harvesting Device

에너지 하베스팅 기술은 최근에 미국·일본·유럽 등 선진국을 중심으로 각광을 받고 있는데, 열과 진동같이 주변 환경에서 버려지는 에너지를 이용하여 전기 에너지로 변환할 수 있는 친환경 에너지 활용기술이기 때문이다. 이러한 에너지 하베스팅 기술은 매크로 및 마이크로 에너지 하베스팅으로 분류하며, 변환기술에 따라 일반적으로 열전기술, 압전기술, 생체역학기술, 전자기 에너지 변환기술 등으로 분류된다. 에너지 하베스팅의 에너지원으로는 일반적으로 빛, 진동, 열 에너지를 사용하며, 이중 열 에너지를 이용하는 기술은 에너지 변환 효율이 낮은 단점이 있어, 최근에는 빛과 진동을 이용한 에너지 변환 연구들이 많이 진행되고 있다(Lee et al, 2008).

에너지 하베스팅 기술은 대부분 휴대용 기기의 전력원으로 사용하기 위해 연구 되었으나 최근에는 공공시설물과 건축물에 사용하기 위한 연구들도 활발히 진행되고 있으며, 일본 철도회사인 JR은 승객이 지하철 개

찰구를 통과할 때 일으키는 진동을 이용 하루 6000W의 전력을 생산했으며, 히타치 제작소 중앙연구소는 건물의 미세한 진동을 이용해 0.12mW를 생산하는데 성공하였다(Jo et al, 2010).

이처럼 에너지 하베스팅 기술은 다양한 분야에 접목할 수 있어 전략적 개발이 유망한 분야로서 새로운 에너지 분야 및 시장을 창출할 수 있는 미래의 유망한 청정 기술이다.

Table 3은 에너지 하베스팅의 에너지원과 그 특징을 나타낸 것이다(Yu, 2008).

Table 3. Energy Source Types

Energy Source	Performance (energy density)	Characteristics
Sunlight	100mW/cm ² (direct light) 100μW/cm ² (office)	17% of poly-Si solar battery, 20% of solitary crystal Si solar battery
Thermoelement	60μW/cm ²	Output of Thermo Life at ΔT=5°C
Environmental air flow	1mW/cm ²	Measurement value of micromechanical turbin of 30 liters/min
Press button	50μJ/N	At 3VDC of MIT Media Lab
Foot pressure	Gained potentially 7 W(1cm distortion for 70kg of 1 Hz walk)	800mW on dielectric elastic hill, 250-700mW at piezo-electric actuator

3.2. 계절간 열전환 시스템

계절간 열전환 시스템(Interseasonal Heat Transfer System-IHT)은 태양에너지를 이용하는 기술로 Fig. 3과 같이 여름동안 Asphalt Solar Collector를 이용하여 아스팔트표면의 태양열 에너지를 수집하고, 수집한 태양열 에너지를 지하의 절연된 ThermalBank에 저장하여,

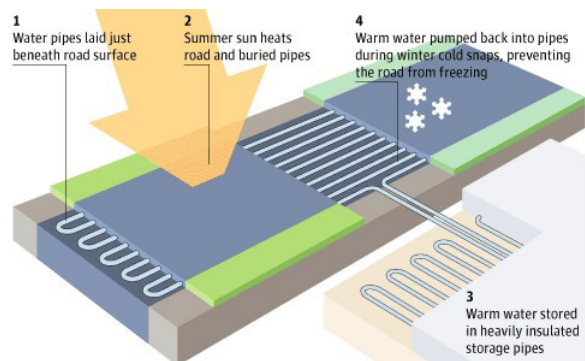


Fig. 3 Interseasonal Heat Transfer



Fig. 4 ICAX Skid

겨울철에 건물의 난방이나 도로의 용설작업에 활용할 수 있는 친환경적인 기술이다(The Guardian, 2008). 또한 이 시스템은 여름과는 반대로 겨울동안 차가운 열을 저장하였다가 여름에 건물의 냉방에도 활용할 수 있다.

계절간 열전환 시스템은 여름동안 태양열을 수집하는 Asphalt Solar Collector⁴⁾와 수집한 태양열 에너지를 저장하는 ThermalBank⁵⁾, 저장된 에너지를 사용할 수 있는 ICAX Skid⁶⁾의 3개 시스템으로 구성되어 있다.

계절간 열전환 시스템의 경우 지붕에 설치한 태양전지와 비교하여 최대 1/6의 비용으로 같은 에너지를 생성할 수 있으며, 이 시스템을 도입할 경우 난방을 하기위해 가스보일러를 사용하는 경우에 비해 50%, 냉각을 위해 에어컨과 같은 냉각장치를 사용하는 경우에 대비하여 80%의 탄소저감효과를 나타낸다(The Guardian, 2008; Hewitt, 2008).

계절간 열전환 시스템은 지열원 히트펌프시스템(GSHP)과 히트펌프를 사용한다는 점에서 비슷하나 기존의 지열원 히트펌프시스템(GSHP)의 경우 단순 지열 온도만을 사용함으로 히트펌프의 사용온도가 10℃에서 작동되어 CoP(Coefficient of Performance)가 4에 그치지만 계절간 열전환 시스템의 경우 작동온도가 25℃에 시작되어 기존의 히트펌프 성능의 두 배를 나타낸다. 이러한 히트펌프 성능의 향상은 ThermalBank로 인해 가능한 것으로 여름동안에 저장되는 태양열 에너지로 인해 ThermalBank에 저장되는 온도가 자연상태

의 온도에 비해 10℃~25℃ 이상 높은 온도가 저장되고 히트펌프는 기존에 비해 역시 10℃~25℃ 이상 높은 온도에서 작동하게 되어 더 높은 성능 효율을 나타낸다(Hewitt, 2008).

계절간 열전환 시스템은 에너지 효율성을 위하여 태양열과 지열원 히트펌프를 융합한 시스템으로 냉각장치(에어컨 등)나 난방장치(보일러)를 사용하지 않고 자연 에너지를 활용하여 건물의 냉난방에 활용하는 친환경적인 기술로서 지열원 히트펌프시스템(GSHP)과 비교하여 CoP가 두 배로 성능이 우수하며, 수직형 지열원 시스템의 경우 지열에너지의 활용을 위해 약 100~150m 이상의 깊이까지 천공해야 하나 계절간 열전환 시스템은 약 7m깊이의 지상근처에 ThermalBank를 설치하기 때문에 시공이 유리하고 경제적이다(Carder et al, 2008;Jung et al, 2007).

Table 4는 계절간 열전환 시스템과 국내 신재생 에너지원 중 기술적 잠재량이 가장 높은 태양광, 태양열, 지열 에너지와의 특징을 비교·분석한 것이다(Lee and Park, 2008; Yu, 2011; Hewitt, 2008).

Table 4. Ground Source Heat Pumps

Renewable Energy	Generates electricity	Captures solar heat	Stores heat between seasons	Delivers space heating	Delivers space cooling	Note
Photovoltaic	O	x	x	x	x	
Solar water heating	x	O	x	x	x	Works better with IHT
Ground Source Heat Pumps	x	slowly	partly	O	can do	Works better with IHT
IHT	x	O	O	O	O	

4. 계절간 열전환 시스템의 적용 사례

4.1. 사례분석

4.1.1. TRL 프로젝트

영국의 도로교통청(Highways Agency)은 계절간 열전환 시스템의 도입을 위하여, 도로교통연구소(Transport Research Laboratory-TRL)가 영국의 고속도로 중 하나인 Toddington Service station 근처의 도로에 계절간 열전환 시스템을 설치하여 2년간 성능을 시험하였다. 영국의 도로교통청은 화석연료를 대체하기 위한 대체 에너지 개발을 위해 향후 경제적인

4) 도로 밑에 물로 채워진 파이프 네트워크로 구성되어 있으며 이외에도 계절간 열전환 시스템의 태양열 에너지를 수집하기 위한 장치에는 Pitched Roof Solar Collector, Flat Roof Solar Collector가 있으며 기존 태양발전 소자역시 사용가능하다.

5) ThermalBank는 Asphalt Solar Collector과 마찬가지로 파이프의 네트워크로 형성되며 주변은 절연체로 둘러싸여 있어 에너지손실을 막음

6) ICAX Skid는 계절간 열전환 시스템의 전체적인 구동을 위한 것으로 히트펌프와 전자제어시스템 등 패키지로 구성된 에너지관리 시스템이다.

효과를 고려한 미래 청정기술로 판단하여 프로젝트를 진행하였다.

Fig. 5와 Fig. 6은 Toddington에 설치된 계절간 열 전환 시시스템의 형상을 나타낸다(Carder et al, 2008). 각각의 에너지 수집 파이프(Collector pipe)와 저장 파이프는(Store 1,2) 너비 5m, 길이 30m, 지름 25mm의 폴리에틸렌 파이프로 제작되었고, 에너지 수집 파이프는 120mm, 저장 파이프는 875mm 깊이에 설치하였다. 저장 파이프의 주변에는 열손실을 예방하기 위하여 200mm 두께의 폴리스틸렌을 설치하였다. TRL은 계절간 열전환 시시스템의 성능을 모니터링하기 위하여 온도 변화와 열에너지의 이동, 저장된 에너지 사용과 주변 기후 상태 등을 체크할 수 있는 특수 센서(온도센서, 변형률 게이지 등)를 설치하였다. Fig. 7과 8은 특수 센서의 위치를 나타낸다(Carder et al, 2008). 계절간 열전환 시시스템의 성능을 시험하기 위한 TRL의 Toddington 프로젝트는 2005년 9월부터 2년간 실행되었으며 도로 표면에서 수집된 태양열 에너지는 겨울철 도로의 결빙 방지에 사용하였다.

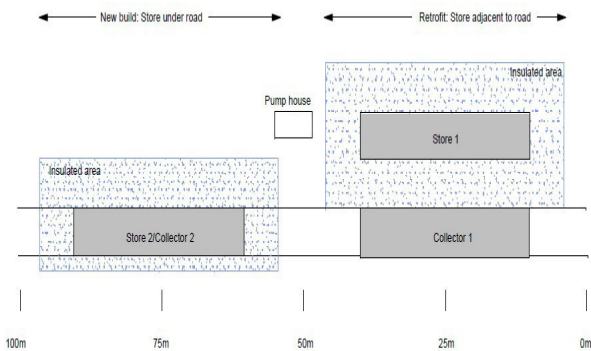


Fig. 5 Plan Showing the Layout of the Trial

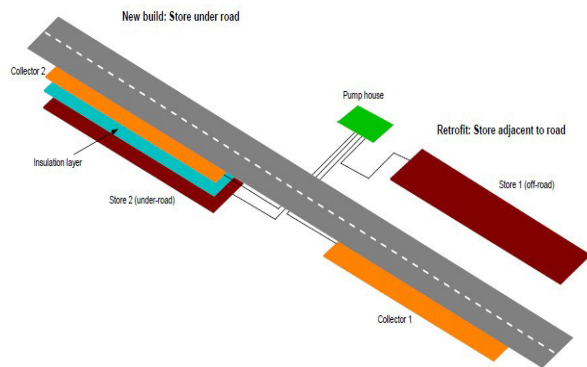


Fig. 6 Three-dimensional Schematic Showing the Layout of the Trial

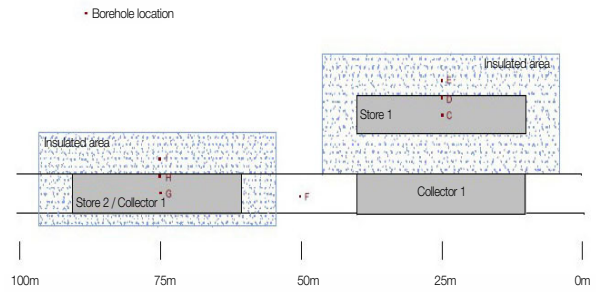


Fig. 7 Plan View Showing the Locations of Instrument Boreholes

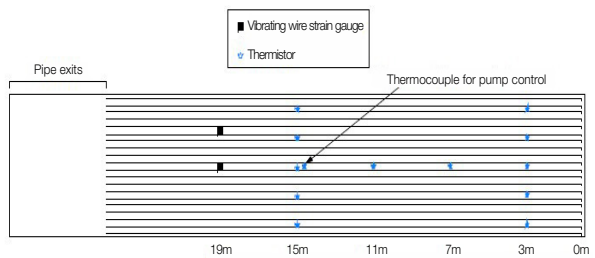


Fig. 8 Plan View Showing Instrument Layout

TRL 보고서(2008)에 따르면 2005년 8월부터 11월까지 약 1MWh의 열에너지가 에너지 수집 파이프에서 각각의 Store(면적 150m²)로 이동하였다. 이 기간 동안의 대기온도와 도로 표면온도의 최대치는 30℃와 40℃였다. 2006년 한 해 동안에는 약 4MWh와 6.5MWh의 열에너지가 Store 1과 Store 2로 이동하였고, 이는 겨울철 유지관리일정에 따른 차이로 분석되었다. TRL프로젝트에 적용된 계절간 열전환 시시스템은 도로가 결빙되었을 경우 저장된 열에너지를 다시 도로로 전환시켜 도로의 온도를 높여 결빙되지 못하도록 도로표면온도가 2℃로 떨어졌을 때 가동되도록 설계되었으며, 영국의 도로교통연구소는 TRL 프로젝트를 통해 시시스템의 성능을 검증하였다. TRL 프로젝트에 적용된 계절간 열전환 시시스템의 설치비용은 79,302파운드가 소요되었으며 프로젝트를 통한 분석결과 100M 길이의 두 개 라인의 계절간 열전환 시시스템을 도입할 경우 연간 운영비용은 77파운드, 유지관리비용은 615파운드로, 설치비용을 포함한 30년간 Life-Cost는 164,293파운드가 소요될 것으로 예상되었으며, 같은 규모의 계절간 열전환 시시스템을 도입할 경우 매년 8,600파운드를 30년간 절약할 수 있다고 분석하였다.

4.1.2. How Dell School 프로젝트

How Dell School 프로젝트의 경우 영국 정부의 신재생 에너지 기술정책의 일환으로 신재생 에너지의 적

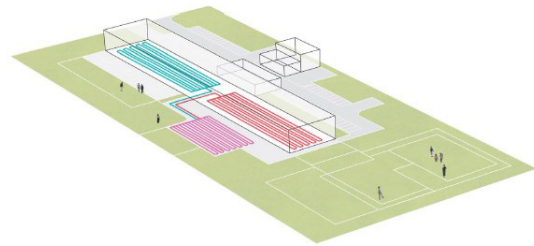
용을 통한 그린 스쿨 시범 프로젝트로 Hertfordshire 의회의 승인을 받아 시행되었다(Local Government Association, 2012). 이번 프로젝트는 탄소 제로 빌딩을 건립한다는 계획아래 학교의 전기공급과 냉난방을 위해 태양광 발전과 같은 신재생 에너지와 더불어 계절간 열전환 시스템을 접목하였다는 특징이 있다. 계절간 열전환 시스템은 다양한 대체 에너지 기술과 접목하여 사용가능하다(The Epoch Times, 2008). Green School 시범 프로젝트를 진행한 How Dell School은 총면적 3,484㎡로 계절간 열전환 시스템의 설치비용은 Carbon Trust에 의해 244,000파운드의 기금조성을 통해 진행되었다. How Dell School에 설치된 계절간 열전환 시스템에 사용된 태양열 수집 파이프의 면적은 551㎡로 운동장 아래에, 에너지 저장 파이프의 면적은 750㎡로 건물 아래에 설치하였으며 건설기간은 2004년 3월에서 2006년 5월동안 진행되었다. How Dell School은 계절간 열전환 시스템을 도입한 세계 최초의 건물이며, 여름과 겨울동안 계절간 열전환 시스템을 통해 저장되는 에너지는 학교건물의 냉난방에 사용된다. 계절간 열전환 시스템을 통해 How Dell School은 기존 학교와 비교하여 50% 이상 탄소배출량을 저감할 수 있다(Building, 2008; Treehugger, 2008).

How Dell School의 계절간 열전환 시스템의 비용은 모니터링 시스템의 비용이 합산된 것이기 때문에 일반적인 설치비용보다 더 소요되었으며, 관련 설치기술의 발전과 경험축적으로 유사한 규모의 계절간 열전환 시스템을 설치할 경우 75,000파운드의 비용으로 가능하다(Treehugger, 2008). How Dell School은 계절간 열전환 시스템의 도입으로 Mark Jansnsen가 2008년 6월에 발표한 영국의 친환경건축물 TOP20에 선정되었다(Property Week, 2008). Fig. 9~Fig. 13는 How dell Shcool 계절간 열전환시스템 설치모습을 나타낸 것이다(Hewitt, 2008).



Fig. 9 Positions of Collector and Stores

Delivered projects - Howe Dell School



icax for schools:
 Demonstration project for the the Carbon Trust: Howe Dell School: 3484m²
 Collector area: 551m², Store area: 750m²

Fig. 10 Three-dimensional Schematic Showing the Layout of the How Dell School



Fig. 11 How Dell School



Fig. 12 How Dell School



Fig. 13 Construction of the Store Array (ThermalBank) - Beneath the School

4.1.3. Tesco Greenfield 슈퍼마켓





Tesco는 2010년 12월 개업한 Oldham 근처의 Tesco Greenfield 슈퍼마켓(Fig. 14)에 계절간 열전환 시스템을 적용하였다. Tesco Greenfield 슈퍼마켓에는 건축물 냉난방 시스템이 모두 설치되었다. Tesco Greenfield 슈퍼마켓의 면적은 약 2,360㎡로서 계절간 열전환 시스템에 의해 냉난방을 하는 세계 최초의 슈퍼마켓으로, Tesco의 경영진은 2007년부터 2020년까지 새롭게 지어지는 건물의 탄소배출량을 절반으로 줄이는 계획을 수립하고, 청정 에너지원인 계절간 열전환 시스템을 도입하였다(Construction Magazine, 2012). Tesco Greenfield 슈퍼마켓에 설치된 계절간 열전환 시스템은 기존 매장들 대비 41%의 탄소배출량을 줄일 수 있도록 설계되었다. 시스템 도입 후 1년 뒤 보고서에 따르면 기존 지열원을 사용할 경우 3.5의 CoP를 나타내는 것에

비하여 이 시스템에서는 8.5의 CoP를 나타냈으며, 계절간 열전환 시스템의 도입으로 Tesco Greenfield 슈퍼마켓은 매년 냉난방운영비의 40%를 절감할 수 있는 것으로 평가되었다(Construction Magazine, 2012).



Fig. 14 Tesco Greenfield Supermarket

Table 5. Result of the Case Study on IHT

Case	TRL Project	How Dell School	TESCO Greenfield Supermarket	Garth Prison
Analysis Items				
Site location (UK)	 Bedfordshire	 Hertfordshire	 Oldham in Lancashire	 Lancashire
Period	2005~2007	2004~2006	2010,12(open)	2007,9(completion)
Construction cost of IHT	79,302	244,000	-	-
Funding	Highways Agency	Carbon Trust	Tesco	The Ministry of Justice
The main purpose	Demonstration of IHT	Green School Project Practical application of IHT	Saving energy and lowering carbon emissions	Saving energy and lowering carbon emissions
Area	• 150m ² ×2 Rine (Collector pipe) • 150m ² ×2 Rine (Store pipe)	• 551m ² (Collector pipe) • 750m ² (Store pipe)	2,360m ² (Total area)	420m ² (Collector pipe)
Application system	Road Snow-melting	Heating and Cooling Pre-heat hot water	Heating and Cooling	Pre-heat hot water
Installation location	• Beneath the road(Collector pipe) • Beneath the road and off-road(Store pipe)	• Beneath the playground (Collector pipe) • Beneath the building (Store pipe)	• Beneath the parking lot(Collector pipe) • Beneath the building(Store pipe)	Beneath the exercise yard(Collector pipe)
Feature	Analysis of IHT	• First building in the world to benefit from IHT • Selection to Britain's 20 Greenest Buildings in 2008	First supermarket in the world to be heated and cooled by IHT	Apply to existing buildings
Advantage	Prevent a section of road near the A1 from icing over	Reduce carbon emissions by 50% compared to conventional school	Reduce carbon emissions by 41% and annual running costs by 40% compared to a conventional store	Save 6,000 a year compared with electric water heating, or £1,740 compared with using a gas-fired boiler.

4.1.4. Garth Prison

Lancashire에 위치한 Garth Prison는 2007년에 완공된 건물로 사용 에너지에 대한 타당성 조사를 실시한 후 계절간 열전환 시스템을 도입하였다. 이 건물에 설치된 태양열 수집장치는 Fig. 15와 같이 총 420m²의 면적으로 운동장에 설치되었으며, ThermalBank의 경우 근처 건물 아래에 설치되었다(Hewitt, 2008). 계절간 열전환 시스템을 통해 수집된 에너지는 주방의 요리나 세척을 위해 필요한 온수로 사용되며, 계절간 열전환 시스템을 도입함으로써 Garth Prison는 매년 전기온수장치를 이용하는 경우에 비해 6,000파운드, 가스보일러를 사용하는 경우에 비해 1,740파운드를 절약 가능한 것으로 평가되었다(Building, 2010). Garth Prison에 설치된 계절간 열전환 시스템의 경우에는 기존에 이미 건설된 건물에 도입하였다는 특징이 있다.



Fig. 15 Interseasonal Heat Transfer for Prison Houseblocks

4.2. 적용사례 종합분석 및 국내 건축물 계획방향

계절간 열전환 시스템의 사례 연구 분석내용을 종합 요약하면 Table 5와 같으며, 앞서 분석한 것을 토대로 사례 연구 분석내용을 종합하여 계절간 열전환 시스템의 국내 건축물 적용을 위한 계획과 방향을 살펴보면 다음과 같다.

4.2.1. 계절간 열전환 시스템 적용성 평가

일반적으로 건축물에 신재생 에너지를 적용하기 위해서는 건축물의 디자인과 쾌적한 환경을 해치지 않으면서

경제적으로 건축물에서 소비하는 에너지를 줄일 수 있어야 한다(Kim et al, 2012). 이러한 점을 고려하여 계절간 열전환 시스템의 국내 건축물 적용성을 평가하기 위해 Table 6과 같이 경제, 환경, 디자인, 적용성의 네 가지 측면으로 분류하여 평가하였다(Hewitt, 2008).

Table 6. Advantage of Interseasonal Heat Transfer

Classification	Feature	Note
Economic feasibility	Low maintenance	-IHT can generate half the energy of a solar panel placed on a roof at about a 12th of the cost -Double the efficiency an unassisted GSHP
Environment Effect	No noise Low carbon	-IHT can save over 50% of carbon emissions compared to using a gas boiler for heating. -IHT can save over 80% of carbon emissions compared to using standard air conditioning and chillers for cooling.
Design	Invisible	-IHT are located out-of-sight, inside buildings -Invisible heating systems meet architects and planners
Applicability	Flexible system application	-Integration of Heating and Cooling -Integration of Renewable Technologies for Energy Efficiency

평가요소 중 경제성에 있어서 계절간 열전환 시스템을 건물의 냉난방에 활용할 경우 기존의 가스보일러를 이용한 난방과 냉각장치를 이용한 난방에 비해 운영비용을 절감할 수있으며, Tesco Greenfield 슈퍼마켓의 경우 냉난방비의 40%, Garth Prison의 경우 가스보일러 대비 1,740파운드 전기온수장치 대비 6,000파운드 절감효과가 있는 것으로 나타났다. 또한 기존 지열원 히트펌프시스템(GSHP) 대비 히트펌프의 성능계수가 약 2배 이상 높아 더욱 효율적이며, Tesco Greenfield의 사례에서는 약 2.4배 높게 나타났다. 도로용설에 적용할 경우 TRL프로젝트 보고서에 따르면 기존 전기방식의 도로용설 시스템과 비교하여 설치비용은 비슷하나 운영비용이 약 1/7로 평가됐다. 기존 태양광발전과 비교할 경우 계절간 열전환 시스템은 일반적으로 지붕의 태양전지를 이용해 생성하는 에너지를 최대 1/6의 비용으로 생산 가능하다. Table 7은 국내의 신재생 에너지 설비보급 사업을 위해 지식경제부에서 규정한 태양광발전의 기준설비단가와 계절간 열전환 시스템의 KW당

설비단가를 비교한 것이다(Hewitt, 2008; Ministry of Knowledge Economy, 2011).

Table 7. Base Price of Renewable Energy

Unit : 1,000Won

Classification		Base price	
Photovoltaic power	General building	PV	7,180/KW
		Tracking system	8,093/kW
		BIPV	13,796/kW
	Solar house	PV	5,650/kW
		Tracking system	6,710/kW
		BIPV	13,055/kW
IHT	This cost allows for the heat delivery system to the building (the solar collector, the ThermalBank and the ICAX Skid which incorporates the control mechanisms including a heat pump	2,550/KW	

환경적인 면에서는 계절간 열전환 시스템은 도로나 건물지하에 물 순환 파이프를 매설하는 시스템으로 소음이 없으며 태양열 에너지를 활용하여 추가적인 화석 연료의 사용이 필요하지 않아 가스보일러를 사용하는 경우에 비해 50% 이상, 에어컨 같은 냉각장치를 사용하는 경우에 비해 80% 이상 탄소배출을 줄일 수 있다. How Dell School과 Tesco Greenfield 슈퍼마켓의 사례에서는 각 50%, 41% 이상 탄소배출을 저감하도록 설계하였다.

디자인 측면을 보면 태양광발전과 풍력발전 등 기존의 신재생 에너지의 경우 Fig. 16과 같이 태양광 전지와 풍력터빈 등의 가시적인 설비로 인해 건축물의 설계 시



Fig. 16 Renewable Energy applied Buildings

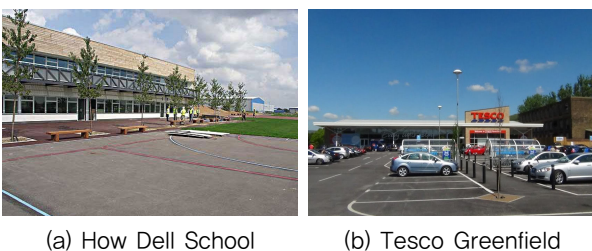


Fig. 17 Interseasonal Heat Transfer applied Buildings

디자인을 방해하는 요소로 작용하나, 계절간 열전환 시스템의 경우 Fig. 17과 같이 도로, 운동장, 주차장, 건물 아래에 설치하는 비가시적인 시스템으로 디자인 제약이 없어, 설계의 유연성이 뛰어나다.

평가요소 중 마지막으로 적용성 측면을 보면 계절간 열전환 시스템의 경우 How Dell School, Garth Prison, Tesco Greenfield 슈퍼마켓의 사례처럼 학교, 대형 상가건물, 감옥이나 시청과 같은 공공건축물의 난방과 예열온수공급 및 TRL 프로젝트의 경우와 마찬가지로 도로의 용설작업에도 적용이 가능하며 활주로의 결빙을 방지하기 위해 특수재료를 사용(비행기의 부식을 막기위해)하는 공항에도 계절간 열전환 시스템의 도입으로 비용절감이 가능하다(Lopez, 2012). 계절간 열전환 시스템은 난방, 난방, 예열온수 등 건물의 에너지 수요에 따라 유연한 시스템 설계가 가능하며, How Dell School 사례와 같이 태양광·태양열발전 등 기존 신재생 에너지와 접목 및 Garth Prison 사례와 같이 기존 건축물에도 유연하게 시공과 사용이 가능하다.

4.2.2. 국내 건축물 적용 시 계획방향

계절간 열전환 시스템의 경우 기존 신재생 에너지와 마찬가지로 초기 설치비용이 크게 소요되며, 에너지 수집 파이프와 ThermalBank 설치를 위한 넓은 대지면적이 필요하다. 따라서 개인주택과 같은 소규모 건축물에 적용하기에는 무리가 따르며 해외 사례와 같이 일정 규모 이상의 시청, 학교, 감옥 등의 공공시설물과 병원, 대형 슈퍼마켓과 같은 상업시설물 혹은 고속도로와 같은 사회기반시설에 적용하는 것이 경제적이다. Table 8은 계절간 열전환 시스템을 적용하기에 적합한 건축물과 적용 시스템을 나타낸 것이다.

Table 8. Applicable Facility of Interseasonal Heat Transfer

Classification	Applicable object	Application field
Public facility	City hall, Council, Police station, Terminal, Railway station, Community center, School, Prison etc	Conditioning and heating
	Highway, Runway etc	Road Snow-melting
Private facility	Factory, hospital, Commercial building/house, Supermarket, Stadium etc	Conditioning and heating

계절간 열전환 시스템의 설치비용은 에너지 수요를

포함하여 건축물의 크기, 디자인, 난방부하, 대지 위치와 환경, 지역 지질 등 매우 다양한 요인에 의해 영향을 받는다. 따라서 계절간 열전환 시스템을 적용하기 위해서는 계획단계에서부터 적용 대상 건축물의 규모, 형태, 용도 등의 특성검토 후 총 건물 에너지 활용과 이산화탄소 배출감소를 위한 다양한 측면에서의 접근으로 보다 적극적으로 총체적인 계획이 이루어져야 한다.

또한 계절간 열전환 시스템과 같은 대체 에너지의 적극적인 활용을 위해서는 적용 건물사업자에 대한 인센티브 및 지원금 지급 등의 다양한 정책적 지원이 필요하다. 국내에서는 그동안 신재생 에너지의 투자경제성 확보를 위해 신재생 에너지 발전차액제도⁷⁾를 시행하였으나 효율성 증대와 발전기업간의 시장경쟁을 더욱 확대하기 위해 2012년 신재생 에너지 공급의무화제도(RPS)⁸⁾를 도입하였다(Gwon, 2012). 그러나 이러한 국가 신재생 에너지 보급정책의 효과적인 목표설정과 이행을 위해서는 각 지방자치단체와의 상호협력과 역할분담이 전제되어야 하며, 각 지방자치단체마다 예산의 규모, 에너지 소비특성 등이 다르기 때문에 지역에 따라 적용면적 및 신재생 에너지 발전량 완화 등의 지역사회의 실제적으로 적용될 수 있도록 보완이 필요하다.(Kim and Kim, 2012) 즉, 정부 차원에서는 큰 방향을 제시하고, 세부적인 지원금 및 신재생 에너지 의무 적용 면적·발전량 등은 시도 단위 정책에서 규정하도록 정책개선이 이루어져야 할 것이다.

5. 결론

본 연구는 건축물의 에너지 절감과 온실가스 저감을 위해 에너지 하베스팅 기술의 국내 건축물 적용 방안에 관해 알아보기 위하여 에너지 하베스팅 기술 중 계절간 열전환 시스템의 특징과 해외 건축물 적용 사례를 분석한 연구로서 이상의 연구를 통해서 도출한 결론은 다음과 같다.

첫째, 국내 에너지 이용현황 및 국내 신재생 에너지 잠재발전량에 관해 분석하였으며, 국내 총 에너지 소비에서 건축물 부문은 20% 이상의 높은 비율을 차지하고

7) 신재생 에너지 투자경제성 확보를 위해 신재생 에너지 발전에 의하여 공급한 전기의 전력거래가격이 지식경제부 장관이 고시한 기준가격보다 낮은 경우, 기준가격과 전력거래와의 차액(발전차액)을 지원해주는 제도

8) 공공기관이 신축하는 연면적 1,000m² 이상의 건축물에 대해 예상 에너지 사용량의 10% 이상을 신재생 에너지로 공급하도록 의무화하는 제도

있어 국가 에너지 절감을 위해 대체 에너지원의 적용을 통한 건물 에너지 시스템의 효율성 개선이 요구된다.

또한 국내 신재생 에너지 중 태양열, 태양광, 지열 에너지의 경우 기술적 발전량 대비 공급가능 발전량이 매우 낮게 나타나 태양 에너지와 지열 에너지의 적극적인 활용을 위한 다각도의 기술개발과 활용계획에 대한 연구가 필요하다.

둘째, 계절간 열전환 시스템의 사례분석을 실시하였고, 사례분석결과를 종합정리하였다. 앞선 연구와 사례분석결과를 바탕으로 계절간 열전환 시스템의 국내 건축물 적용을 위한 계획방향에 대해 알아보았다. 계절간 열전환 시스템의 도입타당성을 검토하기 위하여 기본적으로 고려하여야 할 고려요소로 경제성, 환경성, 디자인성, 적용성의 네 가지 측면으로 평가요소를 설정하여 분석하였다.

이러한 계절간 열전환 시스템은 초기 설치비용이 크게 소요되고, 넓은 대지면적이 요구되어 대형 건축물이나 도로와 같은 공공시설물에 적합하며 설치비용은 매우 다양한 요인에 의해 영향을 받으므로 계획단계에서부터 디자인에서 에너지 활용까지 고려하여 총체적인 접근방법으로 적용 계획이 이루어져야 한다. 또한 계절간 열전환 시스템과 같은 대체 에너지의 적극적인 활용을 위해서는 적용 건물사업자에 대한 인센티브 및 지원금 지급 등의 다양한 정책적 지원과 기존제도의 보완이 이루어져야 할 것이다.

References

Building, 2008. How Dell School, Hertfordshire.

Building, 2010. A Sustainable heating and cooling system.

Carder, D. R., Barker, K. J., Hewitt, M. G., Ritter D., Kiff, A., 2008. Performance of an interseasonal heat transfer facility for collection, storage, and re-use of solar heat from the road surface, TRL Published Project Report PPR302, TRL Limited, Wokingham.

Construction Magazine, 2012. ICAX proves 'every little helps' in Tesco's drive to halve carbon emissions.

Energy Alternative Forum, 2012. 2030 Energy Scenario

Go, J. K., Kim, H. S., 2008. A Study on Greenhouse Gas Mitigation in the Building Sector in Gyeonggi-Do, Gyeonggi Research Institute.

Gwon, T. H., 2012, "Regulating rents from renewable energy policies : focusing on RPS in South Korea", Korea, Vol.11, No.2, pp.141-163.

Hewitt, M., 2008. Interseasonal heat transfer, Underground Energy Seminar.

- ICAX, <http://> (Accessed: September 15, 2013).
- IPCC, 2007. The Fourth Assessment Report.
- Jo, B. W., Lee, Y. S., Kim, Y. J., Yoon, K. W., 2010. "A Basic Experimental Study on Vibration Power Generation Using Bridge Vibration", *Journal of the Korean Society of Road Engineers*, KSRE, Vol. 12, No. 4, pp.121-129.
- Jung, M. H., Jang, K. C., Na, H. S., Back, Y., J., Park, S. Y., Yu, S., Y., 2007. "A Study on Heat Transfer Performance of Vertical Ground Heat Exchanger of GSHP(Ground Source Heat Pump)", *Annual Spring Conferences of KSME*, KSME, pp.1443-1448.
- Kim, M. R., Lee, K. J., Park, H. S., 2012. "A Study on the Cases of New Renewable Energy Applied Buildings in Korea and Germany - Focused on Solar and Geothermal Energy Cases", *Journal of Architectural Institute of Korea*, AIK, Vol.28, No.3, pp.29-37.
- Kim, S. H., 2013. "The existing system and the major revision matter of building energy efficiency rating system", *International Journal of Air-Conditioning and Refrigeration*, SAREK, Vol. 42, No. 6, pp.28-37.
- Kim, U. S., Kim, J. A., 2012. A Preliminary Study on Introducing Solar Power Generation Supporting System with Mandatory RPS Policies.
- Korea Energy Economics Institute, 2012. Yearbook of Energy Statistical.
- Lee, Y. G., Lee, S. G., Park, K. H., Kang, M. G., Kim, J. D., 2008. "Energy Harvesting Technology and IT Devices Application", *Weekly Technology Trends*, NIPA, Vol. 1343, pp.30-36.
- Lee, S. C., Park, S. J., 2008. "Renewable Electricity Promotion Policy in Korea - Feature and Challenges through the Comparative Analysis of EU and Japanese Policy -", *Journal of environmental policy*, KEI, Vol. 7, No. 4, pp.1-34.
- Local Government Association, 2012. How dell leads the way in building an eco-school with heat pumps.
- Lopez, Ramon, 2012. Interest warms up in heated runway systems, *IHS Jane' airport review*.
- Ministry of Land, Infrastructure, and Transport, 2013. The first test of Building Energy Assessor in December, Press Release.
- Ministry of Knowledge Economy, 2011. Base Price of Renewable Energy Sources Base.
- Park, J. H., Hong, T. H., 2010. "Improvements of Policies related Building Energy Reduction in Korea", *Korea Journal of Construction Engineering and Management*, KICEM, Vol.22, No.4, pp.32-40.
- Property Week, 2008. Britain's 20 greenest buildings.
- The EpochTimes, 2008. Playground powers the heating at new school.
- The Guardian, 2008. Under-road radicators may beat the ice.
- Treehugger, 2008. Zero Carbon School is Too Cool.
- Yu, B. G., 2008. "Energy Harvesting Technology by Using MEMS", *Electronics and Telecommunications Trends*, ETRI, Vol. 23, No. 6, pp.48-58.
- Yu, C. R., 2011. "Recent Trends of Power Generation System in New and Renewable Energy", *Journal of power electronics*, KIPE, Vol. 16, No. 5, pp.57-64.