16RDPP-C1
19662-01

압전하베스터를 이용한 메가와트급 에너지자립형 도로기술개발 최종보고서

2017

국토교통과학기술진흥원

국토교통부

Land Infrastructure and Transport R&D Report

보안 과제( ), 일반 과제(○) / 공개(○), 비공개( )

국토교통연구기획사업 기획연구 최종보고서

R&D / 16RDPP-C119662-01

압전하베스터를 이용한 메가와트급 에너지 자립형 도로기술 개발

기획연구 최종 보고서

2017. 9.

주관연구기관 / 한국건설기술연구원

공동연구기관 / 한국도로공사
도로교통연구원
한국건설생활환경-
시험연구원

국 토 교 통 부

국토교통과학기술진흥원

제출문

국토교통부장관(국토교통과학기술진흥원장) 귀하

이 보고서를 "압전하베스터를 이용한 메가와트급 에너지 자립형 도로기술 개발 " 기획과제의 최종보고서로 제출합니다.

2017. 9.

주관연구기관명 : 한국건설기술연구원

공동연구기관명 : 한국도로공사 도로교통연구원

한국건설생활환경시험연구원



주관연구기관책임자 : 한국건설기술연구원 남정희
협동연구기관책임자 : 한국도로공사 도로교통연구원 김기훈
한국건설생활환경시험연구원 정윤석

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제38조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

보고서 요약서

<table>
<tr><td>과제 고유 번호</td><td>16RDPP-C119662-01</td><td>해당 단계 연구 기간</td><td>2016. 08. 30 ~2017.05. 29</td><td>단계구분</td><td>1/1</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구사업명</td><td>중사업명</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td>세부사업명</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구과제명</td><td>대과제명</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td>세부과제명</td><td colspan="4">압전하베스터를 이용한 메가와트급 에너지 자립형 도로기술 개발</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구책임자</td><td rowspan="2">남정희</td><td>해당단계 참여 연구원 수</td><td>총: 19 명
내부: 19 명
외부: 명</td><td>해당단계 연구개발비</td><td>정부:120,000 천원
기업: 천원
정부 외: 천원
계: 120,000 천원</td></tr>
<tr><td>총 연구기간 참여 연구원 수</td><td>총: 명
내부: 명
외부: 명</td><td>총 연구개발비</td><td>정부: 천원
기업: 천원
정부 외: 천원
계: 천원</td></tr>
<tr><td>연구기관명 및 소속 부서명</td><td colspan="2">한국건설기술연구원 도로연구소</td><td colspan="2">참여기업명</td><td></td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td colspan="2">상대국명:</td><td colspan="2">상대국 연구기관명:</td><td></td></tr>
<tr><td>위탁연구</td><td colspan="2">연구기관명:</td><td colspan="2">연구책임자:</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="4">• 국가적으로 파리 기후변화 협약으로 인한 온실가스 저감 정책에 기여하고 도로 압전에너지 하베스팅을 통한 새로운 신재생 에너지 발굴 및 선점 필요
• 이에 국토의 1.5%를 차지하는 도로공간과 자동차 등록대수 2,000만대에서 생산될 수 있는 압전에너지원으로부터 전기에너지를 수급하는 혁신적인 방안을 제시함
• 압전도로기술 실용화를 위해 국내·외 정책, 시장, 기술발전 동향 및 기술현황을 분석
• SWOT분석을 통해 연구개발 추진방향을 정립하고, 중점 추진분야 및 세부 연구 목표를 도출함
• 목표 1: 압전에너지 전달효율 향상을 위한 도로시스템 개발
• 목표 2 : 도로 적용을 위한 압전에너지 모듈 최적화 기술 개발
• 목표 3: 도로 압전에너지 활용기술 개발 및 실증
• 핵심 연구분야로 진동에너지 직/간접 전달방식을 통한 최적 압전도로기술 개발, 도로에너지 전달방식을 고려한 압전에너지 모듈/저장모듈 최적화 기술 개발, 압전도로 및 에너지 모듈 내구성 확보 기술 개발, 발전 단계별 압전에너지 활용기술 개발 등을 기획</td><td colspan="2">보고서 면수 : 323</td></tr>
</table>

• 5년간 정부출연금 198 억원 규모의 단계별 연구단 제안	

요약문

Ⅰ. 제 목

○ 압전하베스터를 이용한 메가와트급 에너지 자립형 도로기술 개발

Ⅱ. 기술의 정의 및 필요성

○ 기술의 정의

- 본 기술은 전체 국토의 1.5%를 차지하는 도로공간과 자동차 등록대수 이천만대 시대에 부합하는 친환경 신재생 에너지를 창출하기 위하여 '압전에너지 하베스터를 이용하여 도로공간에서 자체적으로 에너지를 생산 및 활용할 수 있는 에너지 자립형 스마트 도로시스템 기반 기술 개발' 을 위한 것으로 정의 함

○ 연구 필요성

- 파리 기후변화 협약('15.12)에 따른 이상기후 대응 및 신정부(' 17.05)의 탈원전 정책에 적극 기여하기 위한 새로운 신재생에너지 발굴 및 선점 필요
- 이에 새로운 신재생 에너지원으로서 친환경적이며, 고갈위험이 없는 압전 에너지 하베스팅에 대한 관심이 국내 · 외적으로 증대되고 있으며, 해당 기술을 고정적으로 정해진 수치의 차량의 이동으로 인한 에너지원 확보가 유리한 도로에 적용 하려는 연구가 최근 증대되고 있는 실정임
- 국내의 경우도 연간 고속도로 이동차량은 2016년 현재 약 15억대로서 압전 에너지 하베스팅 시스템의 도로구축을 위한 기본 에너지 공급원 인프라는 이미 확보된 상태임
- 또한 그동안 나노(nano) 및 마이크로(micro) 수준의 발전량에 머물러 있던 압전 에너지 하베스팅 기술이 최근 들어 급속히 발전하고 있으며, 이 같은 발전추세를 새로운 잠재적 신재생 에너지원 발굴 차원에서 도로에 적극적으로 적용해 볼 가치가 있음
- 대표적인 사회간접자본인 도로가 이동의 기본기능뿐만 아니라 부가적으로 에너지를 생산할 수 있다는 새로운 패러다임 제시가 가능하다면, 그 파급력은 무궁무진 할 것으로 판단 됨

Ⅲ. 국내·외 동향 및 환경 분석

○ 정책 동향 분석

- 2005년 2월 16일 교토의정서 발효 이후, 신재생에너지 시장은 변화, 확장하고 있으며 해외 선진국들은 신재생에너지 보급 확대를 통해 온실가스와 환경오염을 줄이고 신재생에너지 세계 시장을 선점하기 위한 정책들을 시행하고 있음

○ 시장 동향 분석

- 압전에너지를 통한 대용량 발전시장의 경우, 도로시설물 등에 설치하여 Watt급 이상의 발전량을 얻어 이를 도로교통 등 다양한 분야의 스마트 무선센서의 동력원으로서 사용할 수 있으나 그 구체적인 시장규모는 아직 파악되고 있지 않으며, 기술발전이 지속적으로 진행된다면 시장잠재력은 높을 것으로 예상됨

○ 기술 동향 분석

- 압전 에너지 하베스팅 기술이 실용화되기 위해서는 기본적으로 외부의 기계적 에너지를 압전재료에 전달하는 단계, 전달된 기계적 에너지를 압전재료를 이용하여 전기에너지로 변환하는 단계, 변환된 에너지를 전기적인 회로를 통해 충전하는 단계, 마지막으로 저장된 에너지를 효과적으로 활용하는 단계에 대한 최적화 연구가 진행되어야 함

Ⅳ. 연구개발과제 구성 및 추진전략

○ 연구개발과제 구성

- ‘**미활용 압전에너지를 이용한 에너지 자립형 스마트 미래도로 구현**’ 이라는 비전을 바탕으로 ‘**압전에너지 하베스터 최적화를 통한 에너지 자립형 스마트 도로 시스템 개발 및 실증**’ 라는 구체적인 목표를 제시함
  - 압전에너지 전달 최적화 도로시스템 개발 및 도로교통량 500만 ESAL 대응 내구성능 확보
  - 스마트 에너지 도로 구축을 위한 압전모듈 최적화 및 내구성능 10년 확보 (발전전력량 28 Ws/Vw)
  - 단계별 도로 압전에너지 활용기술 구체화 및 시범사업을 통한 실증

- 이의 실현을 위해 3개의 중점추진 분야 및 9개의 핵심과제를 제시함
- **1 세부 : 압전에너지 전달효율 향상을 위한 도로시스템 개발**

  1-1 : 진동에너지 직접전달방식을 통한 노출식 압전도로 기술 개발
  1-2 : 진동에너지 간접전달 방식을 통한 비접촉식 압전도로 기술 개발
  1-3 : 단계별 압전에너지 모듈 성능 및 공용성 평가기술 개발
- **2 세부 : 도로 적용을 위한 압전에너지 모듈 최적화 기술 개발**

  2-1 : 도로에너지 전달 방식을 고려한 압전에너지 모듈 구조 최적화 기술 개발
  2-2 : 스마트 도로시스템 구축을 위한 전력에너지 공급기술 개발
  2-3 : 도로 운영 환경을 고려한 압전하베스터 내구성 확보기술 개발
- **3 세부 : 도로 압전에너지 활용기술 개발 및 실증**

  3-1 : 스마트 발광차선 운영을 위한 압전에너지 하베스터 활용기술 개발
  3-2 : 발전 단계별 에너지 독립형 도로시설을 위한 압전에너지 하베스터 활용기술 개발
  3-3 :에너지 자립형 스마트 도로시스템 효과 검증 및 실증

○ 추진전략

- 5년간 전체연구비 264.19 억(정부출연금 비중 198 억원) 규모의 연구단 형태로 단계별 추진
- **1단계, 기술개발단계 (2019~2020년)**

  - 진동에너지 진/간접 전달방식을 통한 압전도로 실시설계 및 1차시작품 제작
  - 3.5 Ws/Vw 급 도로용 압전 하베스터 모듈 개발 및 평가
- **2단계, 기술향상단계 (2020~2021년)**

  - 진동에너지 진/간접 전달방식을 통한 압전도로 2차시작품 제작
  - 7 Ws/Vw 급 도로용 압전 하베스터 모듈 개발 및 평가
  - 압전에너지 하베스터 70 % 급 전력변환 회로기술 개발
  - 압전에너지 하베스터 내구성 확보
- **3단계, 단계별 시험시공 및 기술검증 단계 (2021~2023년)**

  - 발전 단계별 14, 21, 28 Ws/Vw 급 도로용 압전 하베스터 모듈 개발 및 평가
  - 1 단계 테스트베드 구축 (2021) : 스마트 발광차선 (100 m)
  - 2 단계 테스트베드 구축 (2022) : 저전력 도로조명 (100 m) / 노면결빙방지도로(30m)
  - 3 단계 테스트베드 구축 (2023) : 에너지 독립형 졸음쉼터 (14 kW급/day)

목 차

1장. 기술의 정의 및 필요성 ····· 1
1절. 기술의 정의 및 범위 ····· 1
1. 기술의 정의 ····· 1
2. 기술의 범위 ····· 1
2절. 기술개발의 배경 및 필요성 ····· 1
1. 기술개발의 배경 ····· 1
2. 기술개발의 필요성 ····· 5

2장. 국내·외 동향 및 환경분석 ····· 13
1절. 국내·외 정책 동향 ····· 13
1. 국내 정책동향 ····· 13
2. 국외 정책동향 ····· 17
3. 국내·외 정책동향 분석 소결 ····· 21
2절. 국내·외 시장동향 ····· 22
1. 국내·외 시장 현황 ····· 22
2. 국내·외 시장동향 분석 소결 ····· 26
3절. 국내·외 기술개발 동향 ····· 27
1. 국내·외 R&D 동향 분석 ····· 27
2. 논문현황 분석 ····· 69
3. 특허 분석 ····· 75
4. 국내 기 수행된 연구과제 현황 분석 ····· 117
5. 국내·외 기술동향 분석 소결 ····· 121
4절. 국내 연구개발 인프라 분석 ····· 125
1. 연구 인프라 분석 ····· 125
2. 연구 인력 분석 ····· 126
3. 연구 인프라 분석 소결 ····· 127
5절. 종합 분석 ····· 128
1. 동향분석을 통한 연구개발 추진 방향 ····· 128

3장. 연구개발과제 구성 및 추진전략 ····· 135
1절. 연구개발 추진방향 도출 ····· 135
1. SWOT 분석 ····· 135
2. 연구개발 추진 방향 정립 ····· 137
3. 중점추진 연구분야 도출 ····· 139
2절. 연구비전 및 목표 ····· 141
1. 연구 비전 및 목표 ····· 141

2. 설정 근거 ····· 142
3. 단계별 목표 ····· 144
4. 기술개발에 따른 미래상 ····· 145
3절. 연구개발과제 구성 ····· 147
1. 후보과제 도출 ····· 147
2. 기술예측조사 ····· 159
3. 연구과제 우선순위 도출 ····· 167
4절. 핵심과제별 주요내용 및 추진전략 ····· 170
1. 중점추진분야 과제카드 작성 ····· 170
5절. 과제 간 연계관계 ····· 189
6절. 기술로드맵 및 성과로드맵 ····· 191
1. 기술로드맵 ····· 191
2. 성과로드맵 ····· 205
7절. 기술효과 및 성과 활용 방안 ····· 223
8절. 연구수행체계 제안 ····· 226

4장. 사전 타당성 검토 ····· 228
1절. 기술적 타당성 ····· 228
1. 기술개발 계획의 적절성 ····· 228
2. 기술개발 성공 가능성 ····· 235
3. 기존 연구과제와의 중복성 ····· 239
2절. 정책적 타당성 ····· 240
1. 상위계획과의 부합성 ····· 240
2. 사업 추진체계 및 추진의지 ····· 243
3. 사업추진상의 위험요인 ····· 245
3절. 경제적 타당성 ····· 248
1. 경제성 분석 ····· 248
2. 태양광 발전과 압전 발전의 장래 경제성 분석 ····· 253
3. 기대효과 ····· 254

5장. 인력투입 및 소요예산 산정 ····· 256
1절. 인력투입계획 ····· 256
1. 연차별 투입 연구인력 ····· 256
2. 상세 투입 연구인력 ····· 257
2절. 소요예산 산정 ····· 260
1. 총괄 소요예산 ····· 260
2. 예산항목별 소요예산 ····· 261

6장. 과제 제안요구서 ····· 268
1절. 총괄 과제 제안요구서(RFP) ····· 268

2절. 세세부별 과제 제안요구서(RFP) ····· 280
1. 1세부 - 압전에너지 전달 효율 향상을 위한 도로시스템 개발 ····· 280
2. 2세부 - 도로 적용을 위한 압전에너지 모듈 최적화 기술 개발 ····· 286
3. 3세부 - 도로 압전에너지 활용기술 개발 및 실증 ····· 293
3절. 평가기준 설정 ····· 299
1. 평가항목 ····· 299
2. 가점 및 감점 기준 ····· 302

7장. 참고문헌 ····· 304

부록 ····· 307
Ⅰ. 기술수요조사서 양식 ····· 308
Ⅱ. 기술수요조사서 조사 내용 (대표사례) ····· 312
Ⅲ. 압전 발전량 가능성 검토 ····· 322

1장. 기술의 정의 및 필요성

1절. 기술의 정의 및 기획연구의 범위

1. 기술의 정의

○ 본 기술은 전체 국토의 1.5%를 차지하는 도로공간과 자동차 등록대수 이천만대 시대에 부합하는 친환경 신재생 에너지를 창출하기 위하여 '**압전에너지 하베스터**를 이용하여 도로공간에서 자체적으로 에너지를 생산 및 활용할 수 있는 **에너지 자립형 스마트 도로시스템** 기반 기술 개발'을 위한 것으로 정의 함

2. 기획연구의 범위

○ 본 기획연구는 에너지 자립형 도로 포장체를 활용한 압전 에너지 하베스터 발전량을 대용량 수준으로 구현하기 위한 기반 구축 기술을 기획하는 것으로, 본 연구를 위한 RFP를 작성하는 것을 목표로 함

○ 기획연구를 통해 에너지 하베스팅 도로과 관련된 핵심 요소 기술인 압전 에너지 전달효율 향상을 위한 도로시스템 개발, 도로 적용을 위한 압전에너지 모듈 최적화 기술 개발, 발생된 도로 압전에너지 활용기술 개발 및 실증에 대한 구체적인 과업 내용을 도출 함

○ 이러한 기획연구를 수행하기 위해 첫째, 기술개발동향 및 환경분석을 실시하고 둘째, 기술개발전략 및 연구내용을 도출하고 셋째, 사전타당성 분석 등 상세기획을 통해, 최종적으로 보고서 및 과제공모를 위한 RFP 및 평가기준을 제시 함

2절. 기술개발의 배경 및 필요성

1. 기술개발의 배경

가. 글로벌 이슈 대응 : 기후변화 협약

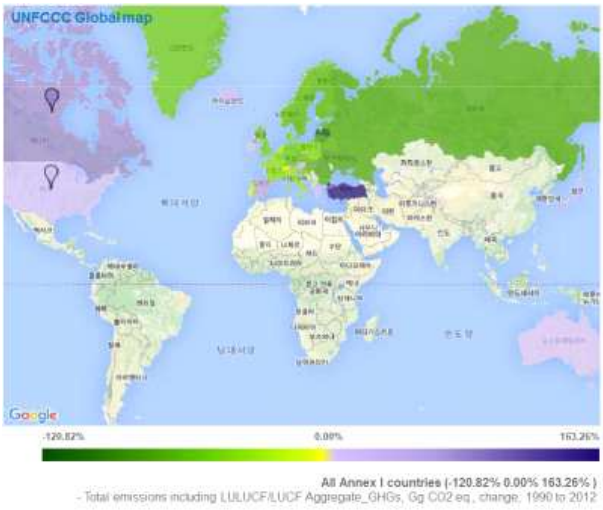
○ 제 21차 UN 기후변화협약 당사국 총회에서 합의('15.12)된 파리기후협약에 따라 모든 나라는 온실가스 감축의무 이행이 요구되고 있으며 우리나라는 2030년 온실가스 배출전망치 대비 37.0% 감축을 결정하였음

○ 미국은 전 세계 온실가스 배출량의 25%를 차지하고 있으며, Global Climate Change Initiative를 통한 온실가스 배출량 저감 목표를 2050년까지 1990년 대비 80% 감축하는 것을 정책적으로 강력히 추진해 나가고 있음. 또한 에너지 부분에서 재생에너지 활용 확대를 추진하고 있으며, 향후 10년간 청정에너지분야에 1,500억불을 투자예정으로 2025년 전력소비의 25%(09년 10.4%)를 신재생에너지로 공급하는 것을 목표로 하고 있음

○ 유럽연합(EU)은 유럽기후변화프로그램(ECCP)을 추진하여 EU 기후변화 종합법(Climate Change Package)을 통해 강제성을 강화하고 있으며 2020년까지 1990년 대비 20% 온실가스 감축 및 재생에너지 비중을 20%(2007년 7%)로 확대하기 위해 노력하고 있음. 영국은 2020년까지 전체 전력생산량의 15%를 신재생에너지로 공급하는 방안을 추진하고 있으며, 독일은 1990년대 후반부터 에너지 정책을 신재생에너지 개발로 전환하였으며, 신재생에너지산업의 기술표준과 공동연구 등 국가간 협력을 위한 국제기구 (IRENA : International Renewable Energy Agency)를 설립 하였음

○ 일본은 탄소저감 기술을 미래 성장동력으로 추진하고 있으며, 2008 후쿠다 비전 발표를 통해 2050년까지 이산화탄소 배출량을 2008년 대비 60~80% 감축하고, 2020년까지 1990년 대비 25% 온실가스 감축 및 신재생에너지 비중을 10%(2008년 3.2%) 향상시키는 것을 목표로 연구개발을 추진하고 있음

○ 중국은 2020년까지 신재생에너지 비중을 15%(2007년 8%) 목표로 하고 있으며 2009년 한해에만 346억불을 신재생에너지에 투자하였음. 또한 2020년까지 7,400억불을 신재생에너지산업에 투자하여 재생에너지 사용을 대폭 확대할 예정임



<UNFCCC 탄소 배출량 Global map, UNFCCC. 2015>

○ 우리나라의 2012년 온실가스 총배출량은 688.3 백만톤, CO_2는 1990년도 총배

출량(295.5 백만톤 CO_2)대비 132.9% 증가하였으며, 유엔기후변화협약(UNFCCC) 의무감축국 중에서 미국, 러시아, 일본, 독일, 캐나다 다음으로 6위(12년 배출량 기준)의 온실가스 배출국이며, 1인당 연료연소에 의한 배출량 기준으로 1인당 11.7톤을 배출하여 세계 12위에 해당됨

○ 이에 국가 온실가스 목표관리 체계에 따라 2020년까지 온실가스 배출전망치 대비 수송(교통) 부분 34.3%, 건물부분 26.9%의 온실가스 감축이 필요한 상황임

○ 이러한 기후변화에 대응한 국가적 차원의 정책에 부응하여 신재생에너지 개발 및 청정 교통수단 개발 등 국토 교통분야에서도 도전을 기회로 전환시킬 수 있는 대혁신이 필요한 시점임

나. 신재생 에너지원으로서 에너지 하베스팅의 가치

○ 에너지 하베스팅(harvesting)이란 태양광, 진동, 열, 풍력 등과 같이 자연적인 에너지원으로부터 발생하는 에너지를 전기에너지로 전환시켜 수확하는 기술을 의미함

○ 전기에너지는 다양한 기기를 구동하는 핵심동력으로 수력, 화석연료, 핵연료 등 전통적인 발전방식으로 얻어지며 배터리 등에 저장되어 사용되고 있음. 그런데 이런 전통적인 에너지 원료가 고갈되고 기존 화석연료, 핵연료 등은 공해 물질을 발생시키므로, 깨끗하고 무한정 사용할 수 있는 새로운 에너지원의 적극적인 발굴이 절실한 시점임

○ 이러한 신재생에너지는 "신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급촉진법'에 따라 기존의 화석연료를 변환시켜 이용하거나 수소, 산소 등의 화학 반응을 통하여 전기 또는 열을 이용하는 '신에너지'와 햇빛, 물, 지열, 강수, 생물유기체 등을 포함하는 재생가능한 에너지를 변환시켜 이용하는 '재생에너지'로 정의할 수 있음

○ 특히 이같은 에너지 하베스팅 기술은 원자력, 화력 등과 같이 원격지에서 대규모 전력을 생성하는 일반적인 전력전송 시스템(발전/송전/배전)과는 달리 우리 주변에 발생하는 미소한 자연에너지 발생원으로부터 비교적 간단하게 에너지를 변환하여 신속하고 용이하게 사용할 수 있는 장점이 있음

○ 우리나라는 2035년 1차 에너지의 11 %를 신재생에너지로 보급한다는 중장기적인 목표를 설정하고 기술개발 및 보급사업 등에 대한 지원을 강화하고 있음

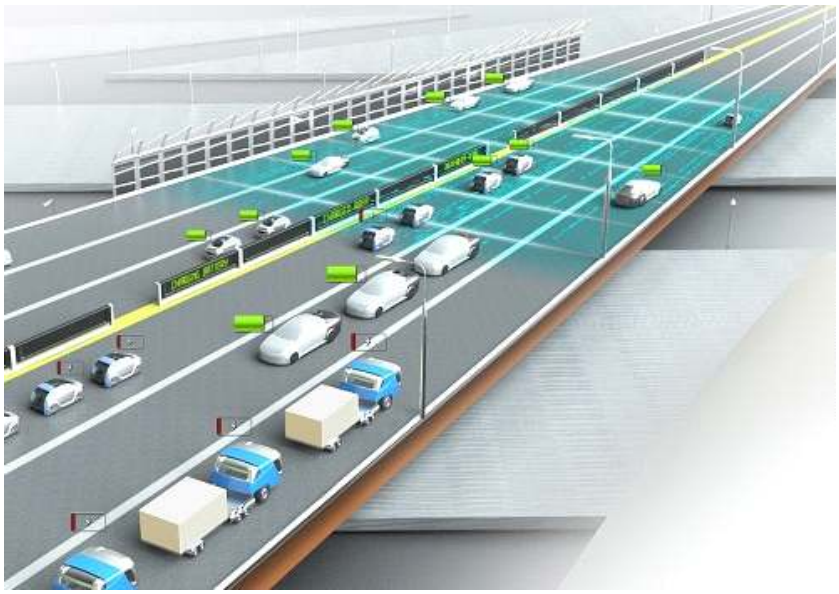
○ 그러나 대체 에너지원으로 풍력, 지열 및 태양광 발전 등의 에너지 수급율이 화석연료대비 불안정하며 그 효율 또한 낮은 문제점이 있어, 전 세계적으로 친환경 에너지 수확 및 활용기술에 대한 산업, 학계에서의 개발 필요성 및 요구사항이 증대되고 있는 실정임



<에너지 하베스팅 개요 (김기훈,한국도로공사 발표자료, 2016)>

다. 새로운 신재생 에너지원으로 압전 에너지 하베스팅

○ 이에 새로운 신재생 에너지원으로서 친환경적이며, 고갈위험이 없는 압전 에너지 하베스팅에 대한 관심이 국내·외적으로 증대되고 있으며, 해당 기술을 고정적으로 정해진 수치의 차량의 이동으로 인한 에너지원 확보가 유리한 도로에 적용 하려는 연구가 최근 증대되고 있는 실정임



<압전 에너지 하베스팅 및 무선 자가충전 미래도로 개념도 (KICT. 2016)>

○ 국내의 경우도 연간 고속도로 이동차량은 2016년 현재 약 15억대로서 (www.index.go.kr) 압전 에너지 하베스팅 시스템의 도로구축을 위한 기본 에너지 공급원 인프라는 이미 확보된 상태임

○ 또한 그동안 나노(nano) 및 마이크로(micro) 수준의 발전량에 머물러 있던 압전 에너지 하베스팅 기술이 최근 들어 급속히 발전하고 있으며, 이 같은 발전추세를 새로운 잠재적 신재생 에너지원 발굴 차원에서 도로에 적극적으로 적용해 볼 가치가 있음

2. 기술개발의 필요성

가. 압전 에너지 하베스팅 기술

○ 기계적 진동 에너지를 전기 에너지로 변환하는 방식에는 정전기(electrostatic), 전자기(electromagnetic), 압전(piezoelectric)효과를 이용하는 방식 등이 있는데 압전체에 힘을 가했을 때 전압이 발생하는 현상인 압전효과를 이용한 압전에너지 하베스팅은 변환 효율이 크고, 소형, 경량화가 가능하다는 장점으로 각종 센서, 무선모바일,소형 전자기기에 적합한 대체 에너지원으로 활용되고 있음

- 압전체를 이용한 에너지 하베스팅 기술은 압전체에 기계적 변형이 인가되면 전기에너지가 발생하는 효과를 이용하여 주위에 버려지는 힘이나 압력, 진동 같은 에너지를 우리가 사용가능한 전기에너지로 변환하여 주는 것을 말함

○ 압전 에너지 하베스팅 기술의 경우 다른 신재생 에너지 발전방식에 기후에 관계없게 없이 실내·외의 진동을 이용할 수 있는 장점이 있으며, 태양광과 달리 어두운 곳이나 밤에도 발전을 할 수 있는 장점이 있음

<에너지 하베스팅 특성 비교, http://www.azom.com>

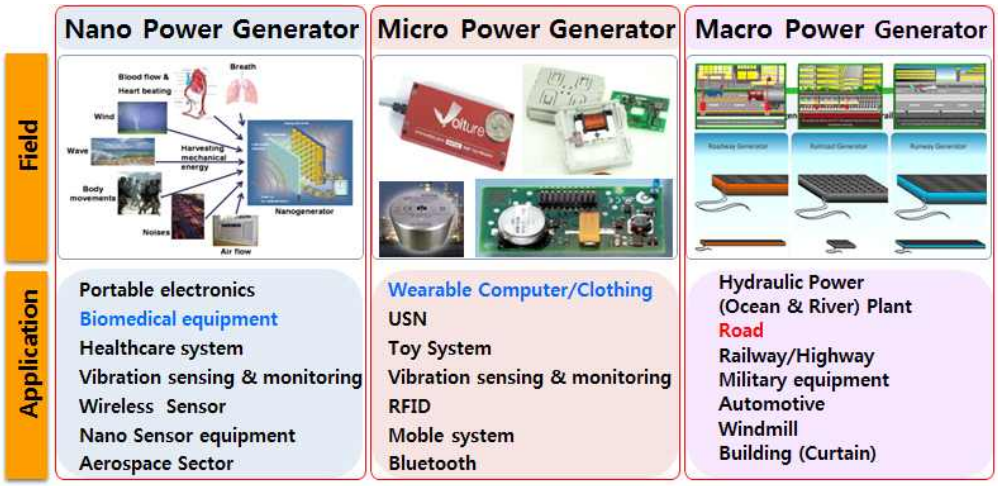
에너지원	전력 밀도 [mW/cm^3]	효율 [%]
태양광(Photovoltaic)	500 - 5000	5 - 40
압전(Piezoelectric)	0.001 - 90	25 - 60
전자기(Electromagnetic)	0.1 - 50	30 - 40
열전(Thermoelectric)	50 - 500	0.1 - 10

○ 압전에너지 하베스팅은 큰 규모의 발전장치부터 소형 나노 기계까지 다양한 분야에서 응용 연구가 활발히 진행되고 있으나 발전량 기준으로 분류하면 나노 스케일 (Nano scale, μW수준), 마이크로 스케일(micro scale, mW수준)과 매크로 스케일(Macro scale, W 수준)로 구분할 수 있음

○ 매크로 스케일은 보통 사람이나 자동차 등 기계적 동작을 이용한 발전부터 충전을 통해 보조전력 또는 대용량 발전까지로 할 수 있는 단계로 정의할 수 있음

○ 나노 및 마이크로 스케일은 MEMS(Micro-Electro-Mechanical System) 기반 압전 발전으로 소량의 진동이나 충격으로 발전하여 센서, 소형전자기기 전원 및 보조전원으로 사용되는 기술로 정의 할 수 있음

○ 근래까지의 기술동향을 보면 대부분의 압전 에너지 하베스팅 기술은 나노 및 마이크로 스케일 발전에 많은 연구와 응용이 집중되어 있는 것을 알 수 있음



<압전 에너지 하베스팅 발전 단계, Nano-Micro-Macro 수준>

나. 압전 에너지 하베스팅 기술 발전

○ 압전에너지 하베스팅 기술의 매크로 레벨 발전가능성에 대해서 가장 선도적으로 리딩한 업체는 이스라엘의 하베스팅 전문업체인 Innowattech임. 도로에 압전 벌크 세라믹을 이용해 도로용 압전 에너지 하베스터를 개발하였으며 1km 도로에서 시간당 최대 200 kw/h를 발전할 수 있다고 홍보하였음

- 또한 이러한 대용량 압전에너지 발전기술을 일반 도로뿐만 아니라 항공기 활주로, 중하중 도로 및 철도 등 다양한 분야에 적용할 계획이라고 발표를 하여 압전 에너지 하베스팅 발전 개념을 마이크로 단계에서 매크로 단계로 한단계 높일 수 있다는 가능성을 적극적으로 제시하였음

○ 2015년 The University of Texas at San Antonio (UTSA)와 the Texas A&M Transportation Institute (TTI) 는 $1.32 Million (Texas 교통국와 미연방도로국 [FHWA] 지원) 연구 프로젝트를 시작하였음

- Samer Dessouky 교수와 TTI의 Lubinda Walubita 연구팀은 piezoelectric sensor를 개발하여 아스팔트 층 아래에 설치하여 에너지를 생산하고, 이를 도로 가로등, 신호등, 전기차 자동차 충전소 및 도로 모니터링 센서에 활용하려고 계획하고 있음

○ 2014년 버지니아 Tech.의 Xiong은 여러 개의 압전소자를 설치하여 차량하중으로 인하여 발생하는 압축력으로 인하여 전력을 생산하는 시스템을 개발하였으며, 트레일러 트럭이 하루 4,000대 주행할 경우 약 400~700V의 전압 및 0.2~0.35mA의 전류가 발생되어 이를 전력량으로 환산한다면 0.08~2.1Watt를

생산할 수 있다고 발표함

- Xiong 압전 하베스터는 미국 Interstate 81번 축하중 측정소에 설치하였는데 버지니아 교통국에서는 주행차량의 축하중 정보를 얻는 것 뿐만 아니라 축하중에 따른 발전량까지 측정하고 있음 (평균전력생산은 약 0.116 Watt로 보고됨)



<Xiong에 의해 개발된 압전 하베스터 시스템 (Papagiannakis.2016)>

○ 국내 압전 응용분야는 공진기(resonator), 필터(filter), 센서(sensor), 액추에이터(actuator), 스피커(speaker), 초음파 응용소자, 착화소자 등 매우 다양하며, 한국전기연구원, 자동차 부품연구원, 한국세라믹기술원, KAIST 등 많은 연구기관과 학교에서 연구를 진행하였으나 도로부분 적용 사례는 거의 없음

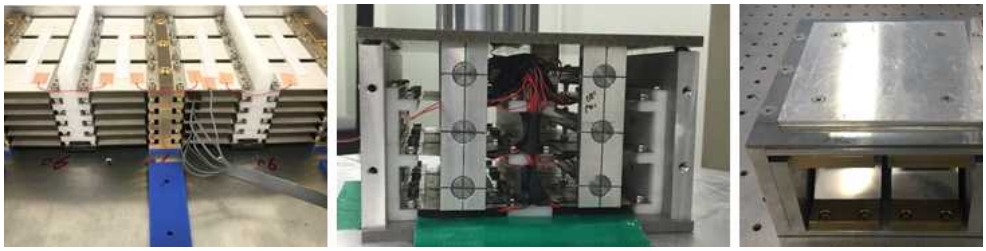
○ ㈜진우소프트이노베이션, ㈜센불, 한국세라믹기술원은 "Energy Harvesting을 이용한 도로교통시설물 제어시스템 개발과제"를 2009년부터 약 3년에 걸쳐 수행하였으며, 압전소자를 이용한 전력발생 모듈을 설계 제작하고, 발생된 전원을 충전, 제어하는 기술을 개발하였으며, 이를 이용하여 LED 가로등 점등을 제어하는 기술을 개발하고, 이를 현장에서 실증함

- 최종적으로 압전에너지를 이용한여 도로교통시설물(LED 형광등) 제어 목적의 실증실험을 실시하였으며, 캔틸레버 방식-다층패드형 압전모듈을 도로에 설치하여 시속 70 km/h로 SUV가 달렸을 경우 73.55 mW의 발전량을 측정하였음 (단, 순간 최대 발전 개념일 경우 발전량(watt*sec)은 훨씬 떨어질 것으로 추정됨)

○ 도로부분 압전 에너지 하베스팅 관련 진행형 과제(3차년중 2차년도 연구 완료)로는 '도로교통 미활용에너지 이용을 위한 압전 에너지 하베스터 개발 및 실증 한양대학교 및 한국과학기술연구원 등 참여)' 이 있으며 2차년도 최종 성과로 4.91 W/m^2의 출력을 발생하는 압전에너지 하베스터를 완성함

- 2016년 기준 한양대에서 개발한 압전소자/소재 기술은 세계최고 수준이며 기존 최대 압전 발전량 (25mW/cm^3, University of British Columbia, canada, 2013) 대비 약 23배 압전효율이 높은 578 mW/cm^3의 기술을 확보하였다고 알려져 있음

○ 실질적으로 압전 하베스터를 이용한 발전량을 비교분석하기 위해서는 동일한 발전 단위의 적용이 필요하나, 개발 주체마다 발전방식의 표현이 상이하여 직접적인 비교는 국내·외 자료만으로는 확인하기 힘듬. 현재까지 한양대에서 개발한 양단고정형태의 Plate-type 진동형 압전하베스터가 가장 발전효율이 높은 것으로 조사됨



<양단고정구조의 압전하베스터 내부 구조, 한양대, 2016 >

○ 최근들어 이와같은 압전 에너지 하베스팅 기술발전에 따라, 실질적인 발전량 수준이 나노 및 마이크로 스케일에서 매크로 스케일에 다다를 수 있다는 많은 가능성이 국내외 연구 결과를 통해서 밝혀지고 있음

다. 도로 적용 압전 에너지 하베스팅 기반기술 구축 필요

○ 그러나 압전 에너지 하베스팅 기술을 도로에 적용하여 매크로 스케일의 발전을 실현하기 위해서는 압전 에너지 하베스팅 관련 기술 뿐만 아니라 도로 공학적 측면에서 검토해야 할 사항이 여전히 많이 있음

○ 실제 압전 하베스팅의 기술이 실용화 되기 위해서는 기본적으로 외부의 기계적 에너지를 압전재료에 전달하는 단계, 전달된 기계적 에너지를 압전재료를 이용하여 전기에너지로 변환하는 단계, 변환된 에너지를 전기적인 회로를 통해 슈퍼캐퍼시터(super capacitor)나 2차 전지에 충전하는 단계, 마지막으로 저장된 에너지를 효과적으로 활용하는 단계가 필요하며 이렇게 정의된 각 단계별 기술의 완성도가 서로 밸런스가 맞추어 졌을 때 기술 실용화가 가능함



<압전 도로 에너지 하베스팅 개발 단계별 정의 >

○ **[1단계] 에너지 전달**

- 기계적인 에너지를 효과적으로 전기적 에너지로 변환 저장하기 위한 방법으로, 첫째 외부의 진동을 효과적으로 압전체에 전달할 수 있어야 함
- 기계적인 진동종류는 크게 준정적(Quasi-static), 조화주파수(Hamonic), 충격(Impulsive)에너지로 나눌 수 가 있으며, 도로에서 발생되는 진동의 종류는 대부분 충격 에너지에 해당됨
- 이러한 충격에너지의 특징은 이완시간보다 짧은 가진 시간이 특징이며 가진율이 10% 이하인 큰 가속이며 불특정하게 발생하는 경향이 많음
- 따라서 에너지 전환 효율을 높이기 위해서는 외부의 진동을 효과적으로 압전체에 전달해야 하기 때문에 기존의 콘크리트 및 아스팔트 도로의 적용성, 세그멘탈(segmental) 도로 타입인 블록형 도로, 그리고 압전효율을 극대화할 수 있는 신개념 압전도로 개발 등에 대한 세세한 검토가 필요함



<압전하베스터의 도로적용을 위한 시험시공 전경(http://treevolt.com/)>

○ **[2단계] 전기에너지로 변환**

- 압전재료에서 생성되는 전기에너지는 전기-기계결합계수(k)에 의해서 결정되며 주어진 진동에서 많은 전기에너지를 얻기 위해서는 전기-기계결합계수가 큰 재료 개발이 필요함
- 대표적으로 많이 사용되는 세라믹 압전재료로는 $Pb(ZrTi)O_3$(PZT)가 있으며, 폴리머 압전재료는 PVDF(Poly-Vinylidene Di-fluoride)가 있음
- 세라믹 압전재료인 PZT의 기계-전기결합계수는 k=0.5로 PVDF의 k=0.2보다

큰 장점이 있으나 폴리머에 비해 단단하여 적은 진동으로 에너지가 발생될 수 없으며, 잘 깨져서 큰 변형에는 사용할 수 없는 단점이 있음

- 반면 폴리머는 유연하여 큰 변위에 사용될 수 있으나 전기-기계결합계수가 낮다는 단점이 있음
- 생산되는 전류값을 증가시키기 위해 많이 쓰이는 방식은 바로 다층구조의 세라믹을 활용하는 방식임. 다층구조로 제작할 경우 압전체의 두께가 얇아져 발생하는 전압은 낮아지나 생성되는 전류량은 압전체에 사용되는 전극의 면적, 즉 압전체 층수에 의해서 증가함
- 이와같이 기계에너지를 전기에너지로 변환시키는 효율을 높이기 위한 최적의 조건을 재료 측면과 기계적 장치 측면에서 검토해야 되며, 무엇보다 중요한 것은 도로에 적용 시 발생하는 변형량(충격하중 등의 교통하중)에 대한 기계적 내구성, 그리고 도로변 극한 환경변화(온도 및 습도 변화)에 대한 재료적 내구성에 대한 검토가 선행되야 함

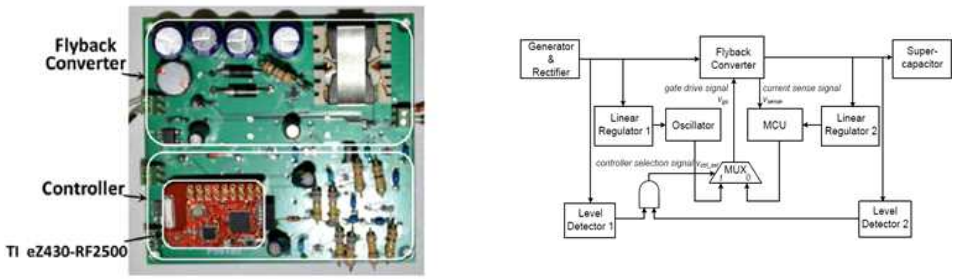


<압전 하베스터의 도로적용을 위한 하우징 설치, KICT 2016 >

○ **[3단계] 전기에너지 충전**

- 압전하베스터에 의해 생성된 교류 전압을 슈퍼 캐퍼시터나 2차전지에 충전하기위해서는 정류 다이오드와 평활화 캐퍼시터를 이용하여 교류를 직류로 변환시켜야 함
- 일반적으로 압전에너지 하베스터에 의해 생성된 전류는 그 양이 매우 적어 슈퍼 캐퍼시터 또는 2차전지에 충전한 후 센서노드를 구동하는데 이용됨
- 만약 발생전압이 슈퍼 캐퍼시터나 2차전지의 전압보다 높다면 충전시간은 전류량의 크기가 클수록 짧아지므로 발생하는 전류량을 증가시켜야 함. 따라서 충전시간을 줄이기 위해서는 분극변화가 큰 재료개발과 생성되는 전류량을 증가시킬수 있는 연구가 필요함
- 압력/진동에너지를 전기에너지로 변환하여 충전하기 위한 정류 효율 및 에너지 변환효율 90%이상, 최종효율 85% 급 최대 전력점 추종 에너지 기술을

확보할 필요가 있음



<전기에너지 변환 및 충전기술 필요>

○ **[4단계] 압전에너지 활용**

- 압전 에너지 하베스팅을 통해 도로에 필요한 에너지를 공급하는 단계에서는 크게 나노(nano)나 마이크로(micro) 스케일의 전력공급방식과 매크로(macro) 스케일의 전력공급 방식으로 구분할 수 있으며, 이같은 발전 요구성능에 따라 도로에 실제 적용되는 압전에너지 하베스터의 크기와 설치량은 크게 달라질 수 있음
- 따라서 현재의 압전 하베스터 성능을 고려하고, 이를 도로에 적용 시 발생될 수 있는 도로의 내구성, 그리고 현실적 투자가치 등을 종합적으로 고려하여 최적의 발전성능 방안을 도출할 필요가 있음
- 또한 자율주행 시대를 대비하여 도로의 상태를 측정할 수 있는 IoT 센서 네트워크는 저전력 CMOS를 이용한 무선통신 모듈과 센서를 부착한 센서노드를 넓은 지역에 임의적으로 분포시켜 센싱하고 센싱자료를 무선으로 보내는 것을 특징으로 하고 있으나 주기적으로 배터리를 교체해야 하는 근본적인 문제점을 가지고 있음에 따라 압전 에너지 하베스터 모듈을 분산-소형-독립-발전소(Isolated Independent Micro Generator) 개념으로 활용하는 방안도 검토할 필요가 있음
- 또한 발전효율을 매크로 스케일로 극대화하기 위해 신재생에너지 중 단위 체적 당 발생하는 전력량이 가장 높은 태양광 발전과 융합한 하이브리드형(hybrid type) 발전방식도 적극 검토할 필요가 있으며 이를 새로운 도로 형식(예: 저속 및 정속주행 요구구간에 적용 가능한 블록형 도로)에 적용하는 방안도 다양한 관점에서 검토해 볼 필요가 있음
- 압전 에너지 하베스터를 도로에 매설한다는 의미는 도로 측면에서는 장기 공용성 및 내구성 확보 측면에서 불리한 측면이 있으므로, 이를 극복하기 위한 도로부분 장기 내구성 확보방안 또한 검토되어야 함

- 최종적으로는 에너지 자립형 도로 실증을 위한 테스트 베드를 단계적으로 구축하여 개발 예정기술의 내구성능에 대한 명확한 검증이 필요하며, 이를 위한 구체적인 운영 계획이 필요함



<압전 에너지 하베스팅 도로 개념도, KICT 2016>

2장. 국내 · 외 동향 및 환경 분석

1절. 국내·외 정책 동향

1. 국내 정책 동향

가. 제4차 신재생에너지 기본계획(산업통상자원부, 2014.9)

○ 「신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법」 제5조(기본계획의 수립)에 산업통상자원부 장관은 관계 부처장과의 협의 후 매 5년마다 「신재생에너지 기본계획을 수립」하도록 명시되어 있음

○ 제4차 신재생에너지 기본계획의 계획기간은 2014년~2035년 (법상 10년 이상)이며, 5년 주기로 수립하도록 되어 있으며, 신재생에너지 정책심의회에서 다음과 같은 정책을 추진하고 있음

- 「제2차 신재생에너지 기본계획(2014.1.14.)」에서 신재생에너지를 1차 에너지 대비 11% 공급하는 것을 목표로 설정하였는데 2012년 기준으로 1차 에너지 대비 3.18%를 기록하였음
- 최근 5년간('08~'12) 신재생 에너지 보급 증가율은 연평균 10.9%로, 동기간 1차 에너지 증가율 3.7%보다 3배 높은 증가세임
- 원료별로는 폐기물,바이오가 80%, 태양광,풍력은 5% 수준



<제4차 신재생에너지 기본계획 주요 정책 방향>

○ 제4차 신재생에너지 기본계획에서는 수요자 맞춤형 보급 확산 정책으로 주민참여사업 활성화, 친환경에너지타운 조성, 대여(Rental)사업 활성화를 추진함

○ 특히, 에너지 자립섬 정책은 연료비 부담이 큰 디젤발전기에 의존하고 있는 독립계통 도서지역에 마이크로그리드 구축을 추진하는 정책으로 도서지역 전기공급비용이 육지에 비해 4~14배 높은 수준이기 때문에 이에 대하여 신재생에너지를 이용한 에너지 자립섬을 구축하는 정책임

- 울릉도에 풍력+태양광+지열+ESS 등을 연계한 시범사업 추진
- '17년에 ESS 30MWh 설치, 신재생에너지 비중 3.6% → 68%

○ 시장친화적 제도운영 정책으로는 신재생에너지 공급의무화제도(RPS)-의무이행 여건을 개선하여 발전사들의 의무이행 유연성을 강화하며 당초 연기 가능기간을 1년에서 3년까지로 연장함. RPS 가중치를 합리화하여 태양광에 대해서는 설치유형, 규모별 가중치로 투자를 활성화하고 해상풍력, 조력 등에는 변동형 가중치 도입과 ESS 설치 시 가중치 도입 등 관련 산업 투자를 촉진하도록 하였음

○ 공공기관에서의 신재생에너지 공급의무비율을 다음과 같이 상향조정함

< 연도별 공공기관 신재생에너지 공급의무비율(%)>

구 분	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020이후
기존	12	13	14	15	16	18	20
변경	12	15	18	21	24	27	30

○ 신재생에너지 신규 시장창출을 위해 다양한 에너지, 열원을 대상으로 편입하고 있으며, 신재생 R&D 역량을 강화하여 상용화 위주의 단기과제와 미래선도 기술 중심의 중장기 과제를 추진하고 있음

- 투자비 절감 R&D 신규 추진
- 사업화 애로기술(공정기술, 자동화, 실검증 등) R&D 확대
- 수출주도형 R&D 신규 추진
- 10년 이내 산업화 목표로 핵심유망기술 확보를 위한 장기투자 확대

  (부유식 초대형 해상풍력기술, 초고효율 장수명 차세대 태양전지)
- 신재생원간, 시스템간(신재생+스마트그리드) 융합 R&D확대

○ '35년 신재생에너지 11% 보급률 목표 달성을 위해 총 154조원의 투자가 필요한 것으로 분석되었으며 정부재원은 기술개발, 보급, 융자 등에 '35년까지 총 30조원이 소요될 전망임



<'35년 신재생에너지 11% 보급의 기대효과>

나. 국가 그린에너지 전략

○ 온실가스를 획기적으로 감축하는 혁신적인 에너지기술에 기반한 산업으로 신재생에너지, 화석연료 청정화, 에너지 효율향상 분야로 구분하여 추진하고 있음

○ 신성장 동력화가 가능한 그린에너지 기술을 대상으로 선정하여 단기 2011년 ~ 2015년, 중기 2016년 ~ 2020년, 장기 2021년 ~ 2030년으로 로드맵을 구성함



<그린에너지 전략로드맵 2011(한국에너지기술평가원)>

다. 국내 신재생 에너지 육성 정책 사례

○ 10대 그린 프로젝트 : 학교 등 10대 중점대상에 신재생에너지를 대량 보급하는 사업으로 그린스쿨사업부터 착수, 발전회사는 학교 옥상을 활용하여 태양광 발전시설을 설치(REC 발급)하고 학교는 태양광 설치로 인한 수익을 장학금으로 활용함

○ 2011년 시범사업 형태로 추진(87.5억 원)하고, 2012년부터 본격적으로 보급

○ 2020년까지 신재생 에너지 주택 100만 호를 보급한다는 목표를 설정하고 태양광, 태양열 외에도 지열, 소형풍력, 연료전지 및 목재팰릿 등 각 지열별로 특화

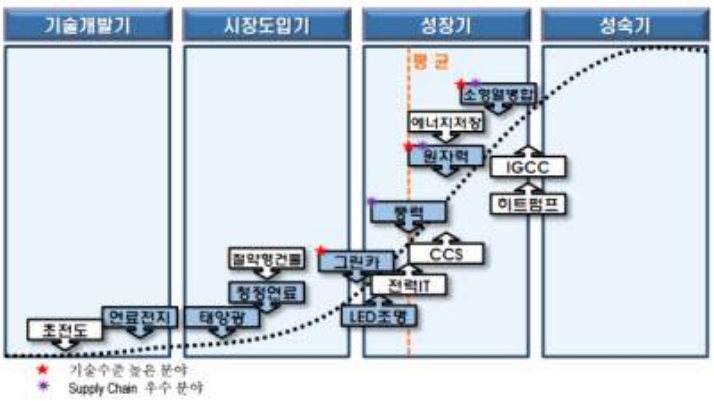
된 에너지원을 최대한 활용하여 그린홈 보급 사업에 인센티브를 부여하고 있음 지자체별로 우수마을(Green Village) 200개 선정 및 신재생에너지 공원 설치도 포함됨

○ 이와 유사한 사업으로 그린 빌리지 사업은 마을단위(10가구 이상, 아파트 공동주택 포함)에 신재생에너지원을 설치하는 경우 설치비의 일부를 보조 지원하는 사업임

라. 국내 지방자치단체 그린에너지 비전 및 육성 방안(경상남도 사례)

○ 경상남도는 그린 에너지산업 비전을 그린 에너지산업/기술 경쟁력 확보를 통한 저탄소 녹색 성장과 함께 하는 Green Economy 실현으로 설정하여 분야별 특화전략을 수립하여 추진하고, 차세대 기술의 확보 및 선도기업 육성을 핵심전략으로 선정하였음

○ 풍력과 원자력이 경상남도의 주요 그린에너지 생산품목으로, 특히 풍력의 경우 60개에 가까운 품목을 생산하고 있어 Supply Chain이 이미 구축된 것으로 파악됨



<경상남도의 그린에너지 기술 수명주기>

○ 산업특성별로 Group화하여 소형열병합과 같은 자생력 확보가 필요한 기술 분야에 대해서는 다음과 같은 지원정책을 실시하고 있음

- 내수시장 확대 : 건설사, 에너지전문기업 지원
- 부품/소재기업 육성 : 관련 기업 유치, 1차-2차 산업간 상생 강화
- 신규 사업분야 개척 : 타분야 연계, 신규사업분야 개척 지원

○ 태양광 및 청정연료 관련 기술 분야는 차세대기술개발 그룹으로 분류하여 다음과 같은 지원정책을 실시하고 있음

- 차세대 기술개발 : 연구소 및 대학을 중심으로 원천기술개발 지원
- 실증/시범사업 추진 : 유망분야 지속적 발굴 및 실증/시범사업 추진
- 시장변혁기 주도권 확보 : 산업화 역량을 집중하여 산업 주도권 확보

○ 풍력산업을 전략분야로 선정하여 이에 대한 전략적인 육성방안 정책을 다음과 같이 실시하고 있음

- 기업유치 설명회 개최/기술개발 및 구조조정 자금지원 강화
- 2차 품목 특화 기술연구소 설립/R&D 지원 강화 /
- 풍력 클러스터 조성 사업 유치/인증 및 성능평가센터 조성

○ 태양광 산업을 전략분야로 선정하여 이에 대한 전략적인 육성방안 정책을 다음과 같이 실시하고 있음

- 염료감응 태양전지 등 차세대 핵심분야 R&D 집중
- 태양에너지 산학연 교류회 예산지원 강화 – 특화 기술개발 과제 지속 발굴
- 차세대 태양광산업 클러스터 조성
- 차세대 태양전지 실증/시범사업 예산지원 확대

○ 차세대 태양전지 사업에 대해서는 지경부, 에기평 예산 및 경상남도, 관련시군 예산 확보로 사업을 추진하고 있으며, 창원대, 경상대, 인제대, 해군사관학교가 연구개발 사업에 참여하고 있음 (국비 40억 원, 도비 12억 원, 시군비 5억 원, 기타 10억 원 등 지원)

마. 태양열 에너지 분야 동향

○ 국내 태양열 기술은 1980년대 태양열 주택을 시작으로 1997년 축열조와 집열기를 사용하는 태양열 온수기의 보급이 이어졌고, 최근까지 연구개발을 통한 기술개발로 중규모 온수급탕시설 및 태양열 그린홈, 태양열 발전소 등이 보급됨

2. 국외 정책 동향

가. EU의 에너지 정책

○ EU 연합의 에너지 정책은 크게 다음 세가지 목적을 달성하기 위해 추진됨

- 언제 어디서나 안정적인 에너지 공급을 보장하기 위해 안전한 에너지 공급
- 가정, 기업 및 산업을 위한 저렴한 가격을 보장하는 경쟁 환경에서 에너지 공급 업체가 운영되도록 보장함
- 온실 가스 배출량, 공해 및 화석 연료 의존도의 감소를 통해 에너지 소비가 지속 가능토록 함

○ EU 연합의 에너지 관련 핵심 정책은 다음과 같음

- 유럽 연합 내에서 국경을 초월한 자유 에너지 흐름을 허용하고, 가계 에너지

비용을 절감하고 일자리를 창출하며 새로운 기술을 도입함으로써 EU 시민과 기업을 위한 안전하고 경제적이며 친환경적인 에너지를 보장하는 유럽 에너지 연합으로 성장

○ EU의 에너지 공급 안정을 뒷받침할 단기 및 장기 정책는 다음과 같음

- EU 전역의 복원력 있고 통합된 에너지 시장 - 내부 에너지 시장 확보
- 이를 위해 가스와 전기에 대한 EU 차원의 네트워크를 개발하기 위해 새로운 파이프라인과 전력선을 건설하고 있으며 공급 업체 간 경쟁을 촉진하고 소비자 선택을 촉진하기 위한 공통 규칙이 설계되고 있음
- 재생 가능한 에너지원의 개발을 포함한 EU의 국내 에너지 생산 증대
- 에너지 효율 증진
- 핵 폐기물 처분 및 해양 석유 및 가스 플랫폼 운영과 같은 문제에 대한 엄격한 규칙을 갖춘 EU 에너지 부문의 안전성 확보

○ 일관성있는 장기전략으로 이러한 목표를 추구하기 위해 EU는 2020년, 2030년 및 2050년의 목표를 다음과 같이 수립함

○ 2020년 에너지 전략은 2010년과 2020년 사이에 EU의 에너지 우선순위를 정의

- 온실가스를 최소 20% 감축
- 신재생에너지의 점유율을 소비의 20 % 이상으로 설정
- 에너지 효율 20 % 이상 향상

○ 2030년까지 달성해야 할 목표

- 2030년까지 온실가스 배출량을 1990년 대비 40% 이상 삭감
- EU 내 재생 가능 에너지의 최소 27% 확보 (강제규정)
- 에너지 효율 증가로 2020년까지 잠재적으로 목표를 30 %까지 끌어 올릴 것으로 검토 됨
- 2030년까지 EU 국가간 전기 배선 15%, 내부 에너지 시장 완성 및 주요 인프라 구축 프로젝트 추진
- 또한, 이러한 목표는 온실 가스 배출량, 재생 가능 에너지 및 에너지 효율에 대한 안정적인 정책 틀을 EU에 제공하여 투자자들에게 더욱 확실성을 부여하고 전세계적으로 신재생에너지 분야에서의 EU의 우위를 확인시킬 수 있음
- 2016년 11월 30일 위원회에서 이러한 목표를 달성하기 위해 마련된 입법안 제안서를 발표하였고, 이 조치에는 전력 시장 설계, 재생 가능 에너지 및 에너지 효율에 관한 제안 초안이 포함됨

○ EU는 2050년까지 온실가스의 1990년 수준 대비 80% ~ 95% 감축을 목표로 하

고 있으며, 에너지 로드맵 2050은 이러한 목표를 달성하는 방법에 대한 일련의 시나리오를 제시함

<EU 에너지 전략 개요>

EU 에너지 전략	내용
2020 에너지 전략	2020년까지 신재생에너지, 온실가스 감축 및 에너지 효율 목표를 20%로 설정
2030 에너지 전략	2020년 ~ 2030년까지 재생에너지, 에너지효율 및 온실가스 감축 목표 제안
2050 에너지 전략	2050년까지 경쟁력 있고 안전하며 지속 가능한 에너지 시스템으로 전환하고 온실가스 배출량을 80% 이상 줄이는 전략
에너지 안보 전략	EU 에너지 안보 전략은 EU 회원국들에게 안정적인 에너지 공급을 보장하는 것을 목표로 함

○ 유럽 전략 에너지 기술 계획(SET-Plan, Strategic Energy Technology Plan)은 저탄소 기술의 개발과 배치를 가속화하는 것을 목표로, 연구 및 프로젝트 재정 지원을 통해 새로운 기술을 개발하고 비용을 절감하기 위한 프로젝트임

- 27개 EU국가 전체가 참여하고 있음
- SET-Plan은 EU의 저탄소 에너지 시스템으로의 전환에 가장 큰 영향을 미치는 기술을 지원함으로써 유럽 전역의 연구, 혁신을 진흥하고 EU국가, 기업, 연구 기관 및 EU 자체의 협력을 지원함
- 통합된 SET-Plan은 에너지 시스템 변환을 가속화하기 위해 설계된 새로운 유럽 에너지 연구 및 혁신(R&I) 접근법에서 중심 역할을 수행하게 됨
- 새로운 통합 SET-Plan Communication은 향후 EU를 위한 새로운 유럽 R&I (Research & Innovation) 전략을 정의함
- 새롭고 효율적이며 비용경쟁력 있는 저탄소 기술을 시장에 더 빨리 도입하기위한 노력을 강화하기 위해 EU, 회원국 및 이해 관계자(연구 및 산업) 간의 R&I 협력 강화를 위한 전반적인 체계를 제공할 예정으로, 비용 경쟁 방식으로 에너지 전환을 유도할 예정임

나. 미국의 에너지 정책

○ 미국은 태양광 에너지의 보급과 관련하여 다양한 지원정책을 사용하여왔음. 특히, "Buy American" 정책에 근거한 미국 내 경제회복과 재투자 법에 따라 지원책을 실시함

- 보조금 정책, 세금 환급 30% 지원 정책 등 지원정책
- 주별 실정에 맞는 장려정책 실시

○ 미국 에너지부, DOE(Department of Energy)의 DOE SunShot Initiative는 태양에너지 발전을 지원하기위한 국가적인 지원 정책임

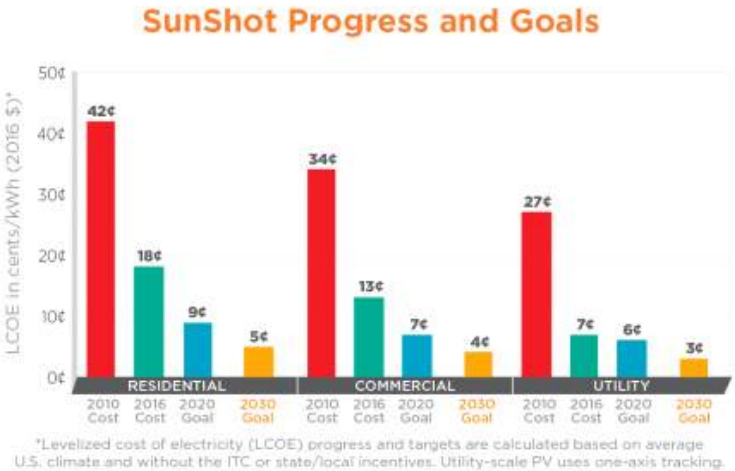
○ SunShot 정책은 공공 및 민간 파트너와 협력하여 연구개발 노력을 통해 태양에너지를 저비용의 전기공급원으로 만드는 것을 목표로 하고 있음

- 주거용, 상업용 및 유틸리티 규모의 태양광 (PV) 및 태양광 집광에 걸쳐 태양에너지 비용을 절감하는 프로그램에 연구비를 지원

○ 2011년에 SunShot Initiative가 시작되어 2020년까지 기존 전력원에 대해 동등 비용을 제시하기 위해 태양 전기의 계층화된 비용을 낮추는 목표를 설정

- 주거용 태양에너지의 경우 킬로와트 시간당 $ 0.09
- 상업용 태양에너지의 경우 킬로와트 시간당 $ 0.07
- 유틸리티 규모 태양에너지의 경우 킬로와트 시간당 $ 0.06

○ SunShot 2030 목표 : 태양전지 기술의 급속한 발전으로 2020년 목표를 이미 성취함에 따라 2020년에서 2030년 사이에 태양광 발전 비용을 추가로 50% 낮추는 것을 목표로 설정함



<미국 에너지부 Sunshot 정책의 목표>

다. 일본의 에너지 정책

○ 일본은 탄소저감 기술을 미래 성장동력으로 추진하고 있으며, 2008 후쿠다 비전 발표를 통해 2050년까지 이산화탄소 배출량을 2008년 대비 60~80% 감축하고, 2020년까지 1990년 대비 25% 온실가스 감축 및 신재생에너지 비중을 10%(2008년 3.2%) 향상시키는 것을 목표로 연구개발을 추진하고 있음

라. 중국의 에너지 정책

○ 중국은 2020년까지 신재생에너지 비중을 15%(2007년 8%) 목표로 하고 있으며 2009년 한해에만 346억불을 신재생에너지에 투자하였음. 또한 2020년까지 7,400억불을 신재생에너지산업에 투자하여 재생에너지 사용을 대폭 확대할 예정임

3. 국내·외 정책 동향 분석 소결

○ 2005년 2월 16일 교토의정서 발효 이후 유럽, 일본 등 의무감축 대상국들은 2008년부터 2012년(1차 공약기간)까지 1990년 대비 5% 이상의 온실가스를 감축하는 목표를 달성하기 위한 활동을 실시하고 있으며, 현재 포스트 교토의정서 체제 구축을 위해 노력하고 있음

○ 이러한 에너지 환경의 변화에서 신재생에너지 시장은 변화, 확장하고 있으며 해외 선진국들은 신재생에너지 보급 확대를 통해 온실가스와 환경오염을 줄이고 신재생에너지 세계 시장을 선점하기 위한 정책들을 시행하고 있음

○ 우리 정부도 제4차 신재생에너지 기본계획(산업통상자원부, 2014.9)」에 따라 신재생에너지 기술개발 및 이용·보급을 위한 다양한 정책을 수립하여 실시하고 있음

○ 2030년까지 1차 에너지의 11%를 신재생에너지로 공급한다는 목표를 설정함에 따라 그 실행을 위한 다양한 정책을 중앙정부는 물론 지방자치단체에서도 실시하고 있음

2절. 국내·외 시장 동향

1. 국내·외 시장 현황

○ 신재생에너지 분야에서 매크로(macro) 스케일 발전으로 새롭게 주목받고 있는 압전에너지는 이미 나노(naoo) 및 마이크로(micro) 스케일 분야에서는 상당한 시장을 형성하고 있는 것으로 분석됨

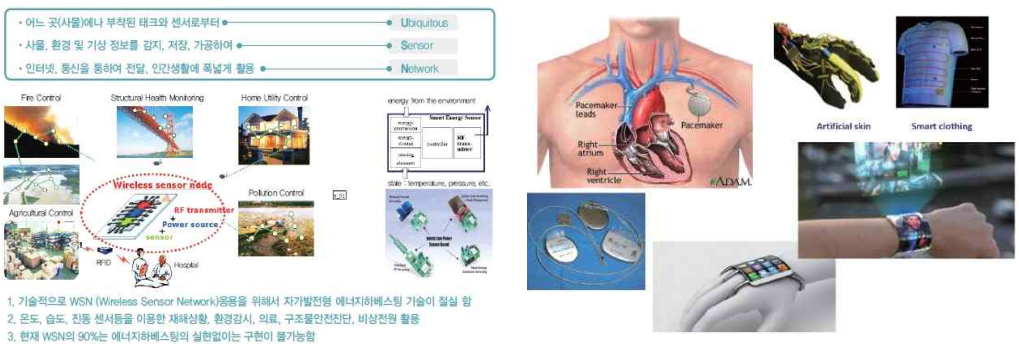
- 가장 많이 사용되고 있는 형태의 압전 발전은 바로 라이터 등에 적용되는 기술로, 약 1억개 정도의 장치에 현재 다양한 형태로 응용되고 있으며, 앞으로 2022년에는 보다 다양한 분야에 응용되어 약 3억개 이상의 장치에 적용될 것으로 영국의 IDTechEX는 예상하고 있음

○ 영국의 IDTechEX(2013)에 의하면 압전에너지 하베스팅 세계시장은 단기적인 2018년까지 1억 45백만 달러(약 1,450억원 규모)가 될 예정이며, 장기적으로 볼 때 2022년까지 6억 67백만 달러(약 6,670억원 규모)의 시장이 형성될 것으로 전망됨

○ 이에 압전에너지 하베스팅 발전 가능 성능별(나노 및 마이크로 스케일 발전 분야와 매크로 스케일 발전 분야)로 국내·외 시장동향을 분석하고 시장 동향을 예측해 보았음

가. 나노 및 마이크로 스케일 발전 분야

○ 대표적인 나노 및 마이크로 스케일 발전 분야인 스마트 무선센서 네트워크(Wireless sensor network)와 웨어러블 디바이스(Wearable device)분야의 시장 규모는 매우 큰 것으로 보고 됨



(a)WSN용 자가발전 압전에너지 하베스터

(b)체내삽입/착용형 자가발전 압전에너지 하베스터

<나노 및 마이크로 스케일 압전 하베스팅 분야>

○ 스마트 무선센서 네트워크 분야 (Wireless sensor network)

- 최근 압전에너지 하베스팅 기술은 구조물의 건전성 모니터링을 위한 센서 노드의 무선화와 배터리 교체를 대신할 수 있는 에너지 하베스팅 기술의 융합을 통한 효율적인 운영에 중점을 두고 있음
- 최근 무선센터 네트워크(WSN) 시장은 에너지 하베스팅 기술을 활용한 제품의 상용화를 위한 제품과 응용 프로그램의 개발이 지속적으로 이루어지고 있음
- 전세계 센서 시장은 2012년 796억 달러에서 수요 급증으로 인하여 연평균 9.4% 성장하여 2020년에는 약 1,147억 달러로 전망됨
- 국내 센서시장은 2012년 54억달러(세계시장의 6.7%)이며, 연평균 성장률은 세계시장보다 높을 것으로 예상되며 국내기업의 국내시장 점유율은 23%에 불과함
- 자동차, 스마트폰 등 센서 수요산업의 높은 성장에 따라 센서 시장도 비례하여 성장함

<세계 및 국내 센서시장 규모 (지식경제부, 2012)> (단위:억달러)

구 분	2010	2011	2012	2013	2015	2017	2020	CAGR (%)
세계시장	642	722	796	890	1,050	1,200	1,417	9.4
국내시장	41	48	54	60	72	82	99	10.5
국내생산액	11.3	11.5	-	-	-	-	-	-

- 스마트 첨단센터인 레이더 SoC, MEMS 등의 비중은 2010년 약 20% 였으나, 2020년에는 크게 높아져 49% 정도를 차지할 것으로 전망함
- 첨단센서 산업은 기술진입 장벽이 높은 분야로 미국, EU, 일본 등이 기술 경쟁력을 확보하여 세계 시장의 70%를 점유하고 있음
- MEMS(Micro-Electro-Mechanical System) 센서, CIS(Contact Image Sensor, 레이더 SoC 등의 첨단센서가 전체 센서시장의 성장을 주도하고 있음



<스마트 첨단센서 비중의 증대>

○ 웨어러블 기술분야 (Wearable device)

- 유연 압전에너지 하베스팅 소자는 굴곡진 표면을 갖는 눈, 뇌, 폐, 심장 등 신체기관의 벽면에 붙어 사용이 가능하므로 생명공학 및 웨어러블 분야에서 가장 주목을 받고 있음
- 생체신호 모니터링 디바이스란 신체에 부착, 장착한 센서를 통해 사용자의 생체신호 및 정보를 측정해 제공하는 디바이스로 정의할 수 있으며, 활용분야에 따라 휴대용 디바이스, 신체 부착형 디바이스, 생체 이식형 디바이스 등이 있음
- 생체신호 모니터링 디바이스의 세계 시장은 2015년 3,930백만 달러에서 2020년에는 32,142백만 달러로 성장(연평균 성장률 41.9%), 국내 시장은 2015년 649억 원에서 2020년에는 5,302억 원으로 성장할 것으로 예측되며 고령화 사회가 가속화 될수록 시장도 급격하게 성장할 것으로 기대됨

<생체신호 모니터링 디바이스 국내외 시장 전망 (KISTI, 2016)>

구 분	2015	2016	2017	2018	2019	2020	CAGR(%)
세계시장 (백만달러)	3,930	5,874	9,036	13,995	21,292	32,142	41.9
국내시장 (억원)	649	968	1,485	2,310	3,509	5,302	41.9

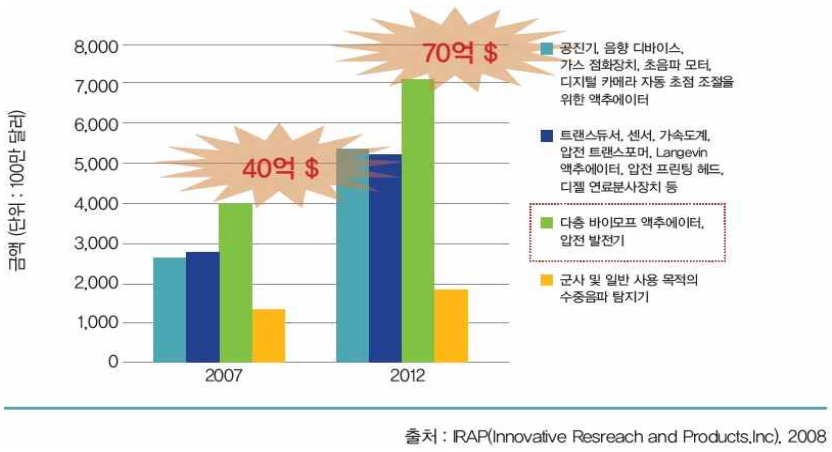
나. 매크로 스케일 발전 분야

○ 압전에너지 하베스팅은 도로시설물, 도로교통, USN(Ubiquitous sensor network) 등 다양한 분야의 스마트 무선센서의 동력원로 활용될 것으로 기대됨



<압전에너지 활용분야>

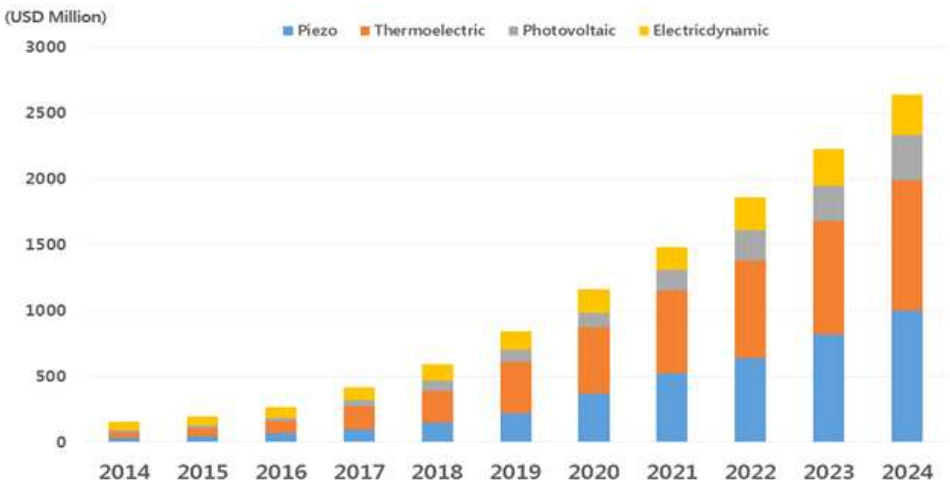
○ IRAP(Innovative Research and Products. Inc)에 따르면 압전에너지 하베스팅 세계 시장규모 중에서 압전 발전기의 비중은 2007년 40억 달러에서 2012년 70억 달러로 급격하게 증가함



<압전 발전기의 타입별 세계 시장규모>

○ 특히 IDTechEX에서는 세계 에너지 하베스팅 시장이 매년 약 33% 성장하고 있으며, 압전 에너지 하베스팅 시장은 2024년까지 약 21배 성장할 것으로 추정하고 있음

- 2015년 시장규모 : 약 577억원
- 2024년 시장규모 추정 : 약 1조 1800 억원



<세계 에너지 하베스팅 시장 규모와 전망 (IDTechEx)>

2. 국내·외 시장 동향 분석 소결

○ 압전에너지 하베스팅 관련 국내외시장규모는 크게 나노/마이크로 스케일 발전 시장과 매크로 스케일 발전 시장으로 구분할 수 있음

○ 나노/마이크로 스케일 발전시장의 경우, 기술 연관성이 있는 스마트 무선센서 네트워크(WSN) 및 웨어러블 디바이스(생체신호 모니터링 디바이스)를 함께 고려한다면 포괄적인 압전에너지 하베스팅 시장 규모는 크게 확장됨

- 전세계 센서시장은 796억 달러(2012년)에서 2020년에는 약 1,147억 달러로 전망되며, 생체신호 모니터링 디바이스 시장은 39.3억 달러(2015년)에서 2020년에는 약 321억 달러에 이를 것으로 예측됨
- 국내의 센서시장은 54억 달러(2012년)에서 2020년에는 99억 달러로 전망되며, 생체신호 모니터링 디바이스 시장은 649억원(2015년)에서 2020년에는 5,302억원에 이를 것으로 예측됨

○ 매크로 스케일 발전시장의 경우, 도로 및 철도시설물 등에 설치하여 Watt급 이상의 발전량을 얻어 이를 도로교통, USN(Ubiquitous sensor network)등 다양한 분야의 스마트 무선센서의 동력원으로서 사용될 수 있으나 그 구체적인 시장규모는 아직 파악되고 있지 않으나 시장잠재력은 높을 것으로 예상됨

- 영국의 IDTechEX에 따르면 세계 에너지 하베스팅 시장이 매년 약 33 % 성장하고 있으며, 압전 에너지 하베스팅 시장은 2024년까지 약 21배 성장할 것으로 추정하고 있음 (2024년 시장규모 추정 : 약 1조 1800 억원)

3절. 국내·외 기술개발 동향

1. 국내·외 R&D 동향 분석

○ 압전 에너지 하베스팅 기술의 최신기술 동향을 에너지 전달 분야, 전기에너지 변환 분야, 전기에너지 충전 분야, 압전에너지 활용 분야로 구분하여 기술동향 분석을 수행 하였음

가. 에너지 전달 분야

○ 외부에서 발생한 기계적 에너지를 효과적으로 압전재료에 전달하기 위해서는 기계적인 임피던스 매칭 개념이 중요하며 진동 종류에 따라 압전 에너지 하베스터의 구조가 달라져야 함

○ 진동에너지는 다음 표과 같이 크게 3가지로 나눌 수 있으며 각 진동 에너지의 특성에 적합한 압전에너지 하베스터를 개발해야 됨

<기계적인 진동 종류 분류 및 특징>

진동의 종류	특 징
준정적 (Quasi-static)	▪ 가진 주파수는 에너지 변환 장치의 기본 공진주파수보다 훨씬 낮음 (예: 신발, 무선버튼 송신기, 에너지 하베스팅 힐 등) ▪ 낮은 주파수 ▪ 큰 힘의 작용
조화 주파수 (Harmonic)	▪ 첫 번째 유형 : 변형이 집중된 진동 구조의 마디 점에 설치된 압전체 (예: 회전 기계(rotating machine)) ▪ 두 번째 유형 : 진동체의 운동에너지 또는 가속을 잡기위한 질량체 사용 (예: 헬리콥터 날개)
충격 (Impulsive)	▪ 이완시간보다 짧은 가진시간 (예: 압연, 자동차 타이어) ▪ 가진율이 10% 이하인 큰 가속

○ 매크로 스케일 발전을 목표로 하고 있는 본 기획연구가 대상으로 하고 있는 도로 시설물의 경우는 대표적으로 충격형 진동을 발생시키는 구조라고 가정할 수 있음

○ 실제로 압전 에너지 하베스터를 도로 시설물에 설치하기 위해서는 도로 시설물에서 발생되는 충격 진동의 파형에 대한 분석이 선행되어야 하나 국내·외적으로 이와 관련된 직접적 연구 실적은 거의 없는 것으로 조사됨

○ 1차적으로 차량의 기계에너지(진동 및 충격에너지)가 압전 에너지 하베스터로 전달되는 경로를 분류하면 직접 전달되는 방식과 도로포장체를 통해서 간접 전

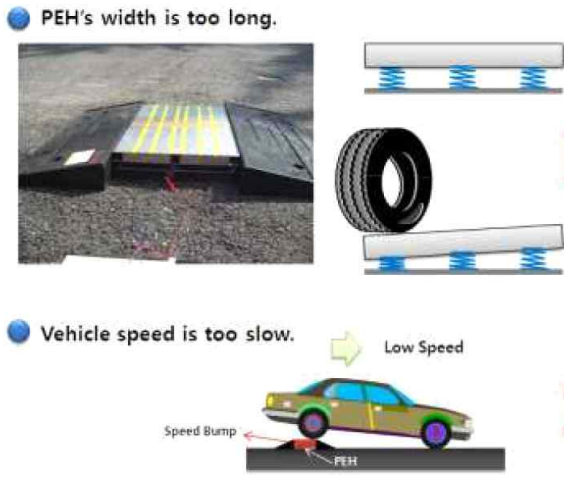
달하는 방식으로 나눌 수가 있으며, 직접 전달 방식은 주로 노출형 설치를 의미하며 간접 전달 방식은 도로포장체 하부에 압전하베스터를 설치하는 방식을 의미하므로 다음과 같이 세분할 수 있음

<충격 에너지 전달방식 및 설치형태에 따른 도로 분류>

전달방식	설치형태	설치 사례
직접 전달 방식	표면 노출형	과속 방지턱형
		포장 표면 노출형
	세그멘탈 블록형	블록형
	도로 시설물 설치형	교량 진동 Damper 형
간접 전달 방식	강성 포장 하부	콘크리트 포장 하부
	연성 포장 하부	아스팔트 포장 하부
	압전 포장 하부 (개념)	폴리머 재료 적용 (개념)

○ 표면 노출형- 과속 방지턱형

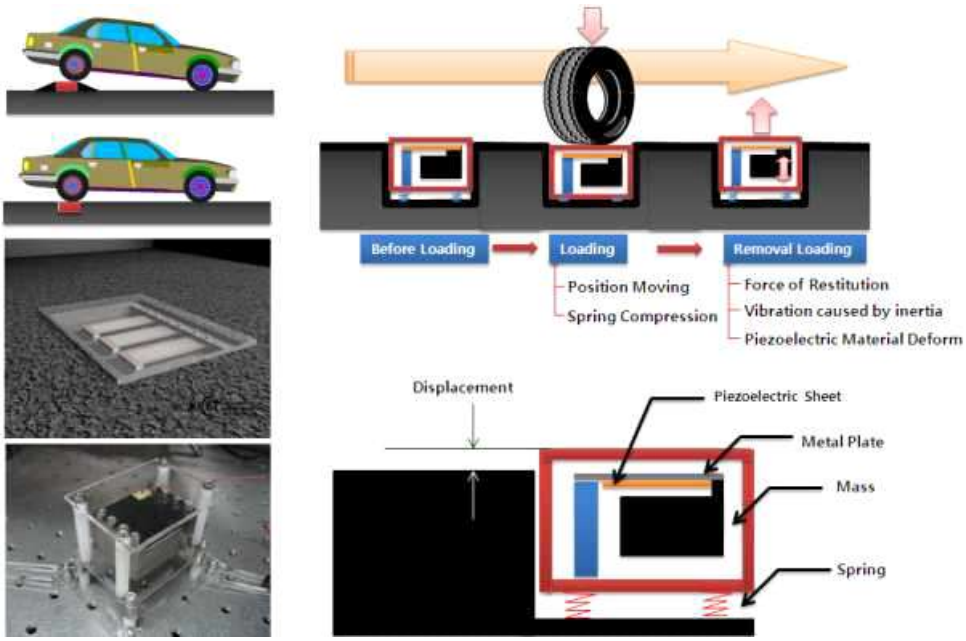
- 일반적으로 압전 에너지 하베스터 기술을 도로에 적용 시 가장 쉽게 선택할 수 있는 방식으로 차량의 진동 및 충격에너지를 직접적으로 압전소자에 전달 할 수 있는 방식임
- 그러나 과속방지턱은 도로면에서 돌출 되어 있으며, 이에 따라 차량의 속도는 일반적으로 최대 30 km/h를 넘지 못하는 한계가 있음. 또한 진동보다 충격에너지가 더 크게 발생됨에 따라 압전 에너지 하베스터 자체의 내구성 측면을 면밀히 검토해 보아야 함



<표면 노출형 – 과속 방지턱형 설치, ㈜진우소트프이노베이션,2012>

○ 표면 노출형- 포장 표면 노출형

- 압전 에너지 하베스터 방식 중 도로 포장체와 압전 하베스터의 부착 및 내구성, 주행쾌적성 및 안전에 관한 문제만 없다면 가장 발전 효율이 높은 방식임
- 이 같은 포장 표면 노출형을 실제 도로에 적용 할 경우 다양한 변수가 있으며, 대표적인 변수로는 차량하중, 차량 속도 변화 그리고 포장재료에 따라 발전량은 동일한 위치에 설치되더라도 달라질 수 있음
- ㈜ 진우소프트이노베이션에서 수행한 R&D 연구결과에 따른 표면 노출형 압전 하베스터 도로 발전 원리는 캔틸레버와 스프링을 결합한 구조의 하베스터가 차량하중이 전해지기 전에는 스프링에 의해 도로면보다 압전모듈이 약간 돌출되어 있으며, 차량하중이 압전모듈을 지나갈 경우, 스프링이 압축하게 되고, 차량하중이 제거시 스프링 복원력에 의해 압전 캘틸레버는 지면방향으로 움직이게 됨. 스프링이 완전히 팽창한 뒤에는 관성에 의해 압전체가 부착된 캔틸레버가 흔들리게 되고 이에 따라 전기가 발생되는 원리임

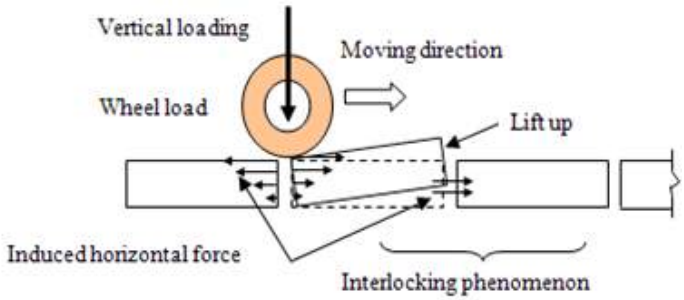


<표면 노출형 – 포장 표면 노출형 설치, ㈜진우소트프이노베이션,2012>

○ 세그멘탈 블록형- 블록형

- 압전 에너지 하베스터를 도로에 적용할 경우 기본적인 형태는 사각형의 하우징(내구성을 확보하기 위해 일반적으로 스테인레스 스틸 함체 사용) 속에 압전체를 집어 넣고, 이를 도로의 일부분을 제거한 후 매설하는 방식을 사용함

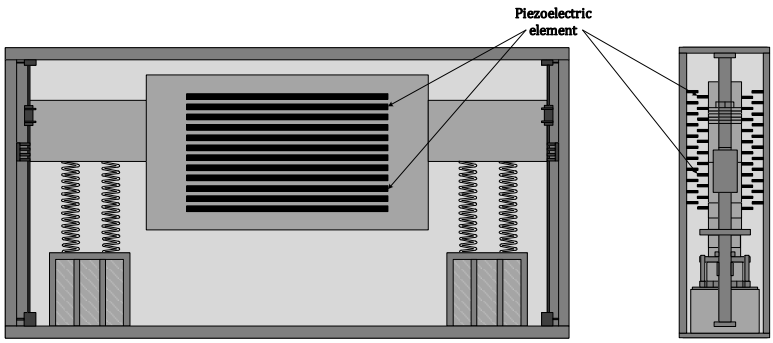
- 그러나 최근 한양대를 중심으로 개발한 압전 에너지 하베스터의 경우는 수직 변위 2mm가 발생할 경우 발전량이 최대가 되는 방식이기 때문에 실제로 일반적인 포장체 하부에 설치한다면 발전 효율이 떨어지는 구조임
- 이와 같은 경우 압전 에너지 하베스터 자체를 차도용 블록 형태로 만들어 도로변에 직접 노출시켜 설치한다면 블록포장 구조가 가지고 있는 3가지 거동 현상인 수직(vertical), 회전(rotational), 수평(horizontal) 매커니즘과 연동시킬 수 있는 가능성이 있으므로 적극 검토할 필요가 있음



< 블록 거동 매커니즘, 조윤호 2013>

○ 도로 시설물 설치형- 교량 진동 Damper형

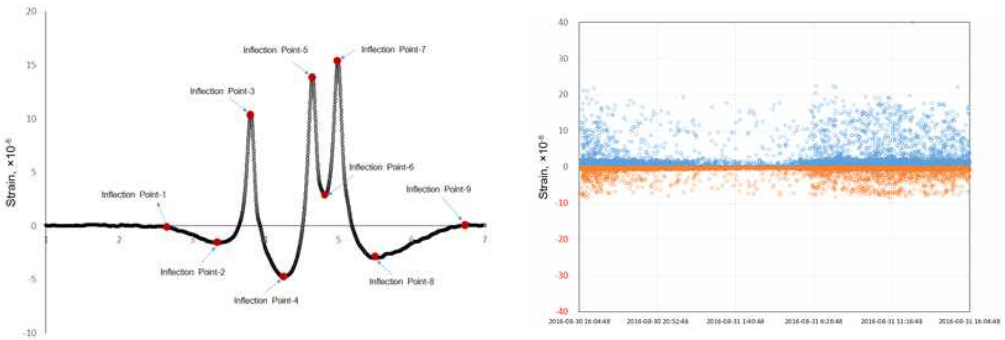
- 기존 도로시설물 중에서 가장 진동량이 크게 예상되는 부분은 교량구간이며, 교량구간에 타당한 형태의 압전 에너지 하베스터를 설치한다면 효과적으로 진동에너지를 전기에너지로 변환 할 수 있을 것으로 예상됨
- 이 같은 가능성은 '도로교통 미활용 에너지를 이용한 압전 에너지 하베스터 개발 및 실증' 연구의 참여연구기관인 건국대에서 압전소자를 이용한 신개념 TMD(Tuned Mass Damper, 동조질량감쇠기)를 개발하는 것을 통해 알 수 있음
- 주요 연구내용으로는 교량 형식에 따른 최적 TMD 형식을 결정하고, TMD 형식별 압전소자의 최적배치를 결정하고, PZT 압전체를 TMD의 질량부 옆면에 배치하여 전력생산 가능성을 검토하고 있음



<진동제어가 가능한 에너지 하베스터, TMD, 건국대 2016>

○ 강성포장 하부 – 콘크리트 포장 하부

- 국내 도로포장 연장 중 콘크리트 포장이 차지하는 전체 비율은 약 12.7% (11,375 km/연장)로 고속도로의 경우 전체 연장 중 약 62%(2,575 km/연장)가 콘크리트 포장이며, 일반국도의 경우 1.2%(160 km/연장), 특별·광역시도는 31.9%(6,401 km/연장), 기타 지방도, 시/군도는 4.3%(2,237 km/연장)를 차지하고 있음 (도로현황조서, 국토교통부, 2015)
- 콘크리트 포장은 일반적으로 아스팔트 포장에 비해 강성이 상대적으로 높고 취성적이며 하부에 린(lean)콘크리트를 기층으로 사용하고 있어 거의 처짐이 발생되지 않는 구조로 이해할 수 있음
- 실제로 국도 3호선에 설치된 무근콘크리트 줄눈 포장 (JPCP, Jointed Plain Concrete Pavement)에 매설된 변형율 게이지를 통해 계산된 콘크리트 포장 하부(표층으로부터 약 275mm 하부)의 수직 변위는 해당 일반 국도를 통과하는 모든 축하중을 대상으로 하여도 최대 약 0.012 mm 변위가 발생되는 것으로 조사됨 (전성일, 2016)
- 또한 FWD(Falling Weight Deflectometer)를 사용하여 측정한 콘크리트 표층의 최대 수직 변위도 약 0.1 mm 범위를 벗어나고 있지 않음 (전성일, 2016)
- 이와 같은 실측자료를 바탕으로 할 경우, Bulk-type 충격형 압전하베스터는 콘크리트 포장체 하부용으로 적용성을 검토해 볼 수 있으나, Plate-type 진동형 압전하베스터의 적용은 신중히 검토해 보아야 할 것임



(a)트럭(3축하중) 하중에 의한 콘크리트 포장 하부 변형율 데이타

(b) 국도 3호선 하계기간 교통량에 따른 최대 콘크리트 변형 계측 데이타

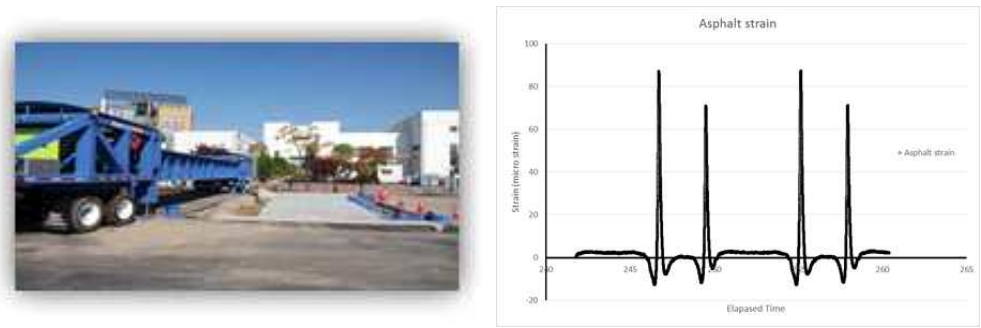
<콘크리트 포장 하부 최대 변형율 계측, KICT-전성일 2016>

○ 연성포장 하부 – 아스팔트 포장 하부

- 국내 도로포장 연장 중 아스팔트 포장이 차지하는 전체 비율은 약 87.37% (78,327 km/연장)로 고속도로의 경우 전체 연장 중 약 38%(1,563 km/연장)가 아스팔트 포장이며, 일반국도의 경우 98%(13,490 km/연장), 특별·광역시도는 68%(13,687 km/연장), 기타 지방도, 시/군도는 95%(49,586 km/연장)를

차지하고 있음 (도로현황조서, 국토교통부, 2015)

- 아스팔트 포장은 콘크리트 포장에 비해 상대적으로 강성이 약하나, 시공이 간편하며, 승차감이 좋고, 소음이 적으며, 개보수가 용이하여 시군도 및 일반국도에 많이 적용되고 있는 포장형식으로, 최근들어 개질 아스팔트가 적용된 SAM 포장 공법이 고속도로용 포장으로도 많이 사용되고 있음
- 연성포장 하부에 압전 에너지 하베스터를 설치하였을 경우 발생될 수 있는 진동에너지를 추정하기 위해 한국건설기술연구원에서 포장기속시험기(APT, Accelerating Pavement Tester)를 이용하여 일반적으로 서울시에 적용되는 아스팔트 재료 물성에 대해 실험을 수행하였음. 표층으로부터 약 200mm 깊이에 설치된 변형율 게이지를 통해 추정한 세로 변위는 약 0.025 mm 수준이었음. (Dura tire-one truck wheel-100 kN 하중 조건, 박희문-KICT 2016)
- 물론 압전 에너지 하베스터의 설치 위치, 아스팔트 재료의 종류, 대기 온도, 축하중 크기, 재하횟수에 따라 실제 세로변위 범위는 다양하게 발생되겠지만, 이와 같은 실측자료를 바탕으로 추정했을 경우, 아스팔트 포장체 하부도 콘크리트 포장체와 유사하게 Bulk-type 충격형 압전하베스터는 적용성을 검토해 볼 수 있겠으나, Plate-type 진동형 압전하베스터의 적용은 신중히 검토해 보아야 할 것임



(a) 포장가속시험(APT) 전경 (b) 아스팔트 포장 변위 측정 자료

<아스팔트 포장 하부 최대 변형율 계측, KICT-박희문 2016>

○ 압전포장체 개발 – 폴리머 재료 적용

- 압전 에너지 하베스터에 간접 전달방식으로 에너지를 전달할 수 있는 가장 효율적인 재료에 대해서는 기존의 콘크리트 및 아스팔트 재료가 아닌 새로운 개념의 재료 개발이 필요함 (예 : 폴리머 적용 도로표층 재료)
- 기존 포장체와 동등한 강성은 요구되나 최대 변위가 2mm 이상 발생될 경우에도, 탄성회복이 용이한 경계조건을 만족할 수 있는 재료의 개발이 필요함

나. 전기에너지로 변환

○ 압전에너지 하베스팅 기술은 소재를 만드는 재료 기술뿐만 아니라 발전 형태를 결정하는 기계 기술과 정류 및 저장을 하는 회로 기술이 모두 어우러져야 하는 복합기술이며, 이러한 압전하베스팅 기술을 도로에 적용하기 위해서는 최적의 압전 소자 및 압전 에너지 하베스터 장치를 개발하여 도로에서 발생된 진동에너지를 효율적으로 전기에너지로 변환시켜야 함

○ 압전 소재분야는 크게 '세라믹 계열'과 '폴리머 계열'로 구분할 수 있으며 세라믹 계열은 다시 'Bulk-type 충격형'과, 'Plate-type 진동형'으로 나눌 수가 있음. 또한 'Plate-type 진동형'은 기계적 발전 방식에 따라 '캔틸레버 방식'과 '양단고정 방식'으로 세분화 할 수 있으며, '폴리머 계열'은 '나노 합성물형'과 '박막형'으로 구분하였으며 이를 정리하면 다음 표와 같음

<압전에너지 변환 방식 구분>

압전 재료	발전 방식	진동 방식
세라믹 계열	Bulk-type 충격형	
	Plate-type 진동형	캔틸레버 방식
		양단고정 방식
폴리머 계열	나노합성물 형	
	박막형	

○ 대표적으로 압전 에너지 하베스팅 분야에 사용되는 압전 소자로는 세라믹 계열의 $Pb(ZrTi)O_3$ (PZT)가 있으며, 폴리머 계열로는 PVDF(Poly-Vinylidene Di-fluoride) 가 있음

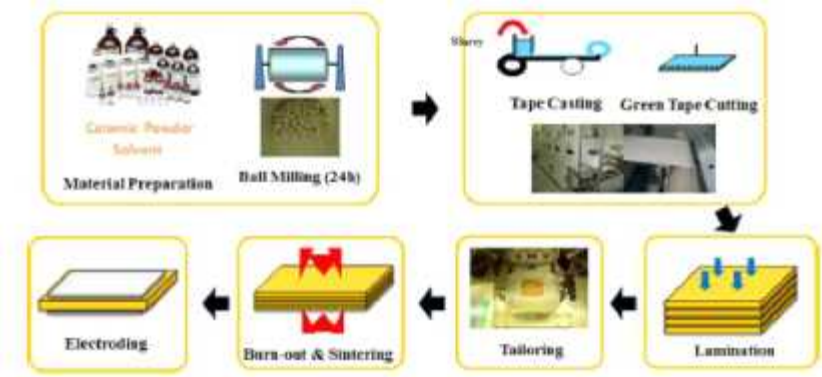
- 세라믹 압전재료인 PZT의 기계-전기 결합계수는 k=0.5로 PVDF의 k=0.2보다 큰 장점이 있으나 폴리머에 비해 단단하여 적은 진동으로 에너지가 발생될 수 없으며, 잘 깨져서 큰 변형에는 사용할 수 없는 단점이 있음
- 반면 폴리머는 유연하여 큰 변위에 사용될 수 있으나 전기-기계결합계수가 낮다는 단점이 있음

○ 세라믹 계열 압전 소자

- 압전 소자 중 현재까지 가장 효율성 및 시장성이 우수한 세라믹 타입의 압전 소자를 도로용 에너지 하베스팅에 적용하기 위해서는 우수한 압전성, 신뢰성 및 양산성이 확보되어야 되며, 이를 위해서 적층구조의 후막형 압전 세라믹 양산 공정 기술이 필요함
- PZT (lead zirconate titanate) 압전에너지 하베스팅 소재는 최근 발전량의 증

대가 획기적으로 향상되어 μW(마이크로 와트) 단위의 발전량에서 이제는 mW(밀리 와트), 나아가 W(와트) 단위의 발전량을 기대하게 되었음

- 도로 적용 압전하베스팅을 위한 압전소자는 내부전극 공정기술 및 적층형 후막 압전 세라믹 기초 제조 공정이 필수적으로 확보되어야 함
- 한국세라믹기술원에서는 NKN based, PMM-PNN-PZT, PZN-PZT 등 최적 양산 적합 조성 시스템을 연구 중에 있음
- 압전세라믹 실용화를 위해 필요한 Casting 공정용 압전 슬러리 제조 기술, 고분산 및 슬러리 조성개발, 압전 후막 성형, 저온 소성양산 공정 조건 수립 등에 관한 연구가 현재 진행 중임
- 세라콤, 아이블포토닉스, 기노리 등의 3개 기업과 한국세라믹기술원 임종인 박사로 이루어진 공동 연구팀은 최근 산업부 '핵심방산소재기술개발사업' 일환으로 세계 최고 성능을 지닌 '압전 단결정'과 '압전 복합체' 개발에 성공함



<압전 하베스터용 소자 개발 프로세스>

○ 국내에서는 1990년대를 전후로 압전에너지 하베스팅과 관련된 연구를 활발히 수행하기 시작하였으며, 압전에너지 하베스팅 연구는 압전체에서 에너지를 수확하는 방식(33모드:압축력, 31모드:휨 또는 인장력)에 따라 분류가 가능함

○ 압축력 중심의 발전 방식은 'Bulk-type 충격형'으로 분류할 수 있으며, 휨 또는 인장력 방식은 'Plate-type 진동형'으로 구분할 수 있음

○ Bulk-type 충격형 발전 방식

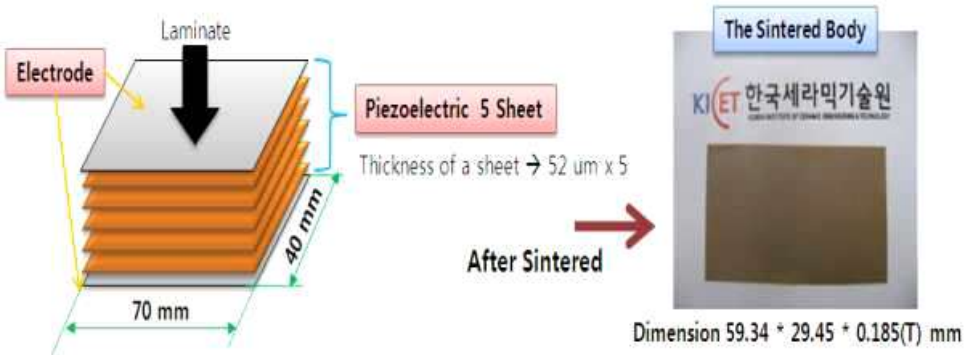
- 한양대에서 수행한 압전 발전방식 연구 결과에 따르면 'Bulk-type 충격형' 방식보다는 'Plate-type 진동형' 방식을 구조물과 함께 이용하는 것이 압전 발전 측면에서 유리하며 약 6배 더 발전량이 높은 것으로 평가됨

<단위 압전 하베스터 발전 방식에 따른 출력 비교 결과>

구 분	Plate-type 진동형	Bulk-type 충격형
하베스터 모델 출력 (mW/m^2)	8.19	1.30

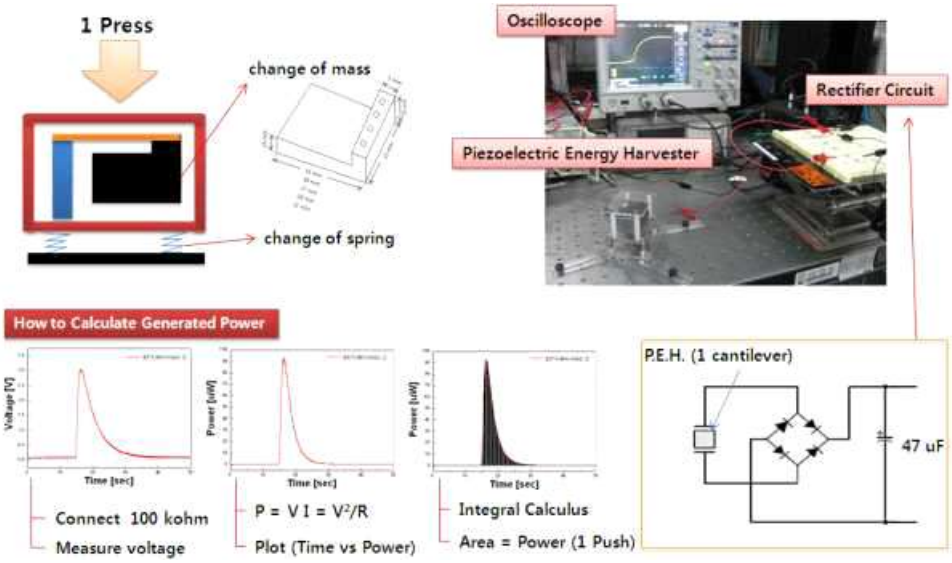
○ Plate-type 진동형 발전 방식 – 캔틸레버 방식

- 'Plate-type 진동형' 압전 하베스터는 일반적으로 '캔틸레버 방식'을 가장 많이 사용하고 있으며 도로부분 압전 하베스팅 관련 대표적인 선행과제로서 'Energy Harvesting을 이용한 도로교통 시설물 제어시스템 개발에 관한 연구'에서는 무게추를 이용한 방식을 다음과 같이 적용하였음
- 무게추를 이용한 방식의 경우 압전시트의 압전특성, 압전시트의 크기, 압전 캔틸레버 금속판의 크기, 압전 캔틸레버의 무게추의 질량 및 형태, 압전체 타격방식 등의 변수 변화에 따른 발전 특성이 다양할 수 있으며 본 연구에서는 단층패드 및 다층 패드형태의 압전 모듈을 제작함
- 압전소재는 한국세라믹 기술원에서 압전 전하계수와 압전 전압계수의 특성이 우수한 Cr_2O_3와 Nb_2O_5를 첨가한 $Pb(Zr_{0.54}\ Ti_{0.46})O_3$ 세라믹스를 기본으로 자체 개발함
- 압전 시트의 최적화된 크기로 60 mm* 30mm* 0.2 mm를 제시하였으며 이를 위하여 52 μm 시트를 5장 적층하여 라미네이션 후에 WIP 장비를 이용한 압착공정을 통해 최적화된 압전소재를 제작함



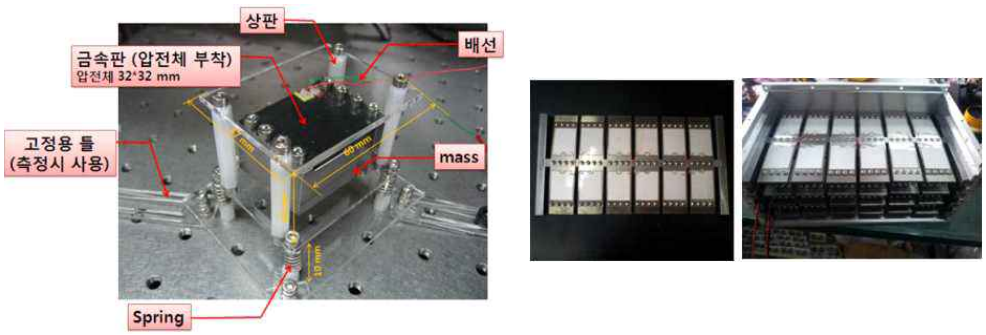
<최적화된 압전소재 형상 하베스터 (60*30*0.2 mm)>

- 압전원리는 캔틸레버 끝단에 매스(mass)가 달려있으며, 압전소자 하부에 스프링(spring)이 설치되어 있는 형상으로 외부 진동에 의한 하부 스프링 및 매스의 흔들림에 의해 압전소재가 최대한 진동을 일으킬 수 있게 하여 발전량을 극대화 시키는 방식을 적용함 (최종 적용 스프링 상수값 : 5.40 kgf/mm)



<압전 캔틸레버 발전 원리 및 발전특성 평가 방법>

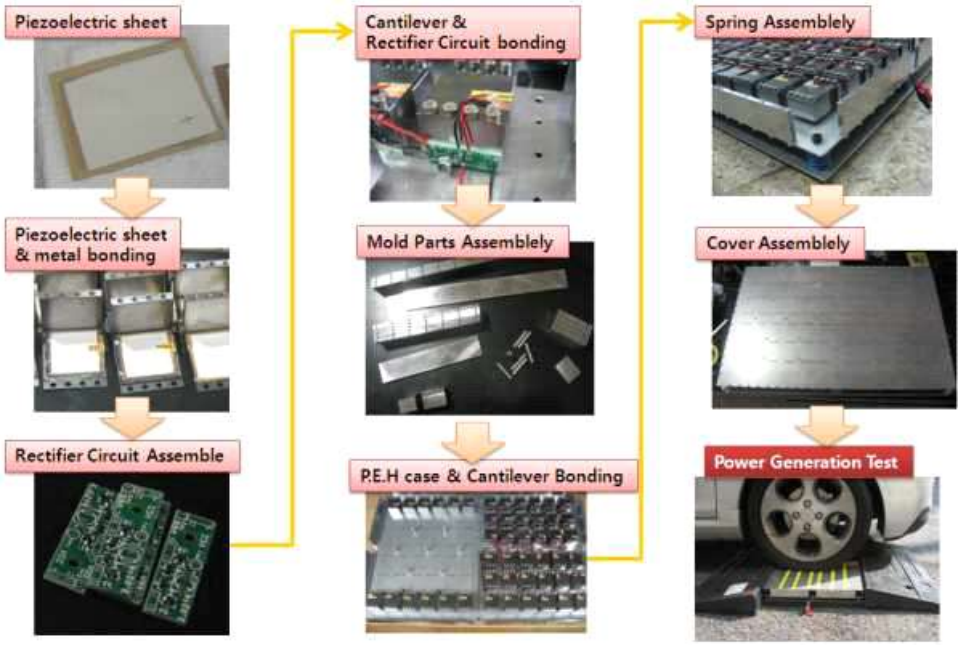
- 압전소자 1기가 적용된 에너지 하베스터를 1회 진동 시 약 0.055 mW가 발생되며, 이는 1시간 연속 가동 시 약 0.198 W가 발생되는 효과가 있음 (분당 60회 * 60분 진동 시)
- 다량의 압전소자가 배열된 다층패드 방식의 발전장치는 가로 297 mm, 세로 200mm, 높이 200mm 형태의 압전모듈 속에 5층 구조로 압전소자가 배열되어 있으며 각각의 층에는 12개의 압전소자가 장착되어 있음
- 압전소자가 장착된 다층별 (1층 – 5층) 발전량을 측정해 본 결과 각각의 층별 압전소자가 추가될 때마다 비례적으로 발전량이 증가하였으며, 최종 5층 설치시 평균 419 mW의 발전량이 측정되었음 (1층부터 5층 까지 각각 52, 153, 247, 329, 419 mW) : 6 ±0.5cm 높이에서 시료를 자유낙하 시킨 후 효율 측정하는 방식 적용, 발전량은 오실로스코프를 이용하여 측정한 그래프의 면적을 계산함 (한국산업기술시험원(KTL 실시))



(a) 압전소자 1기로 구성된 하베스터 (b) 다층 패드형 압전 하베스터

<압전 하베스터 형상>

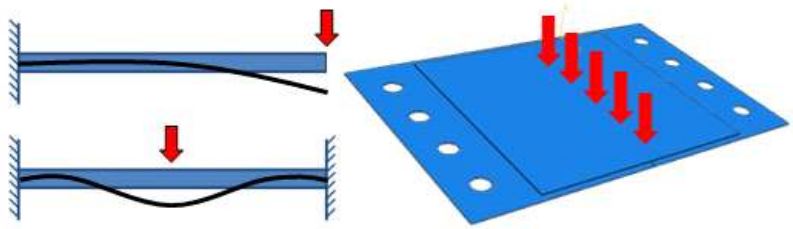
- 도로용 압전 에너지 하베스터 제작과정은 먼저 압전시트를 제작하고 이를 금속판에 부착한다. 그리고 정류회로를 조립 제작하고 압전 켄틸레버와 결합한 후 각종 금속 지지대 및 부속을 제작 가공하고 이를 압전 캔틸레버와 조립하여 72개의 압전 캔틸레버를 가지는 압전 에너지 하베스터를 제작 함



<도로용 압전 에너지 하베스터 제작과정>

○ Plate-type 진동형 발전 방식 – 양단고정 방식

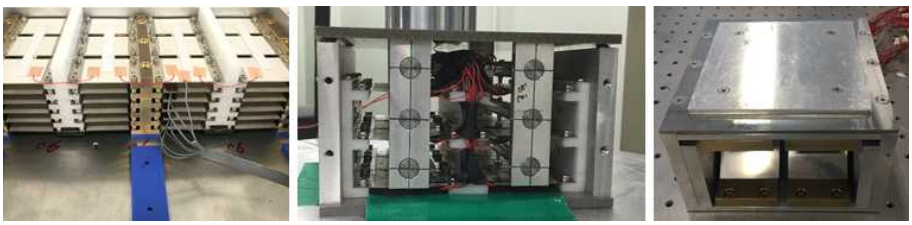
- 반면 한양대에서는 캔틸레버 형태에서 한 단계 더 나아가 적은 변위에서도 많은 출력을 낼 수 있는 양산고정 형태의 구조를 갖는 매설용 압전 하베스터를 설계함



<캔틸레버 방식과 양단고정 방식의 진동형상 및 구현방법>

- 한양대에서 개발하고 있는 압전 하베스터 모듈의 형태는 0.2 mm 두께의 세라믹 PZT 소자를 가로*세로 (38 mm * 38 mm) 형태로 만들어서 15 mm 간격으로 4개 층을 만들어서 제작한 것임
- 압전 하베스터 모듈의 외부함체 크기는 500 * 200 *90 mm의 형태로 총 96개의 압전체가 들어가 있으며, 한층에 24개씩 세라믹 PZT 소자가 배열되어 있는 구조임

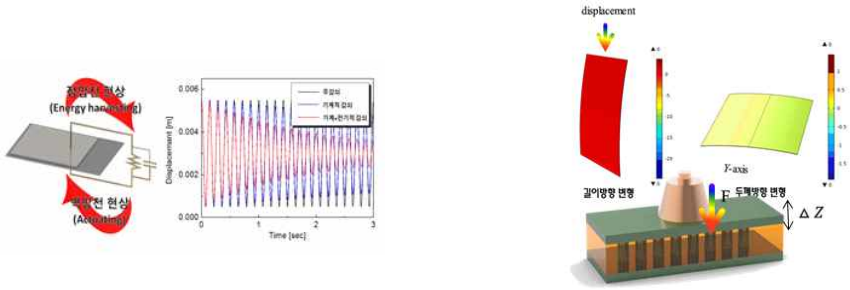
- 2016년 기준 한양대에서 개발한 압전소자/소재 기술은 세계최고 수준이며 기존 최대 압전 발전량 (25mW/cm^3, University of British Columbia, canada, 2013) 대비 약 23배 압전효율이 높은 578 mW/cm^{3}의 기술을 확보하였다고 알려져 있음
- 하나의 압전 모듈에서 1종 승용차 기준으로 바퀴(wheel) 앞뒤축이 지나갔을 때 발생되는 발전량은 70 mWs 정도이며, 안동의 수자원 하천센터에서 실험한 경우 압전체의 배열 형식을 변형하여 최대 140 mWs의 전력을 생산하였음
- 이와 같은 기존 실험 결과를 바탕으로 망향휴게소(부산방향)에 총 10개의 압전 하베스터를 2행 5열로 배치할 계획이며, 실제 주행차량에 의해 발생된 압전 전력은 LED 형태의 도로표지병을 밝히는데 사용하였음 (2016년 12월 7일 시험시공 실시함)



<양단고정 구조의 다양한 압전소자 배치 방식>

○ 폴리머 계열 압전 소자

- 폴리머 타입의 압전소재는 Polyvinilidene fluoride(PVDF) 및 전도성 고분자 등이 현재 적용가능하며, 다양한 복합화 장치를 통해 고효율 에너지 생산 또한 가능하게 되었으며, 교량, 도로 뿐만 아니라 생체에너지를 이용한 자가발전소자 등으로 응용 분야가 확대되고 있음
- 유연 압전 에너지 하베스팅 소자는 벌크형 소자에 비해 작은 외력에도 큰 스트레인(strain)을 받을 수 있으며 내구성이 우수한 장점을 가지고 있으나 벌크형 소자에 비해 에너지 하베스팅 출력 에너지가 상대적으로 낮음. 그러나 최근 유연 압전 하베스팅 소자에 대한 활발한 재료적/구조적 연구를 통해 출력에너지가 크게 향상되고 있어 적용 분야 확대가 기대됨
- 유연 압전 에너지 하베스팅 소자의 핵심 재료인 세라믹 소재의 경우, 한국세라믹 기술원을 중심으로 다양한 소재의 조성 및 혼합을 통해 단위 발전량을 높일 수 있는 재료를 개발하고 있으며, 생산된 소자는 전기·기계적 분석을 통해 고효율 매설용 압전하베스팅 모듈에 적용할 수 있음



<압전소자 발전 원리>

○ 폴리머 계열 - 나노 합성물형

- 나노합성물 압전소자는 압전물질인 BTO 나노입자와 CNT(Multi-walled and single-walled carbon nanotubes), NGO(Reduced graphene oxide)같은 흑연질 탄소를 PDMS(Polysimethylsiloxane)에 섞어서 제조함
- 흑연질 탄소는 압전나노입자를 분산시키는 분산제 역할과 압전층의 강도를 증진시키는 강화제 역할과 내부 저항을 낮추는 전도길(Conduction path)를 제공하여 전압을 높여 출력하는 역할을 수행함
- 최근에는 실리콘 고무폴리머에 PMN-PT를 압전나노입자로 MW-CNTs를 분산제 및 강화제로 섞어 나노합성물 압전소자를 만들었으며, 고무를 사용함으로써 200% 정도의 뛰어난 신축성(Hyper-streachable)을 나타냄
- 신축성이 좋은 압전소자중 가장 우수한 전압, 전류값을 출력함으로 압전 에너지 하베스팅 기술이 웨어러블 분야로 응용될 수 있는 가능성을 보여줌

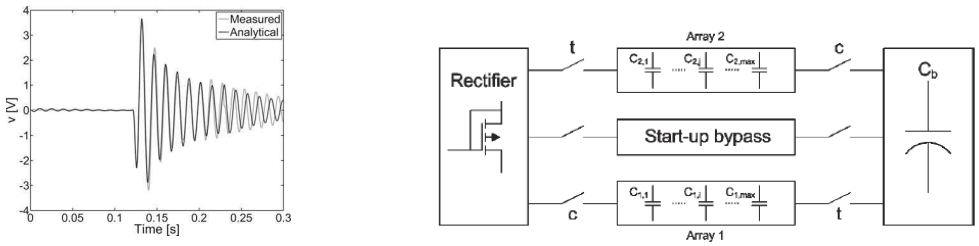
○ 폴리머 계열 - 박막형

- $BaTiO_3$ 반도체 기판에 증착된 BTO를 700℃에서 결정화 시킨 후 금속 전극을 장착
- 생성된 MIM구조를 사다리 모양의 패턴을 건식 식각(etching)한 후, 아래에 놓인 Si를 이방성의 습식 식각으로 제거하여 MIM 구조를 벌크형기판과 분리
- PDMS를 MIM구조 위에 코팅한후 플라스틱 기판에 붙여 최종적인 소자 완성
- 본 소자는 플라스틱 기판의 취약한 열 특성과 무관하게 딱딱한 실리콘 기판에서 열처리 후 분리시키는 방식으로 제작됨
- BTO는 납을 포함하고 있지 않기 때문에 인체에 무해한 재료이기는 하나 PZT나 PMN-PT와 같은 박막 압전물질에 비해 압전 결합상수가 낮아 적은 전력을 소모하는 전기 소자에만 사용 가능한 한계가 있음

다. 전기에너지 충전

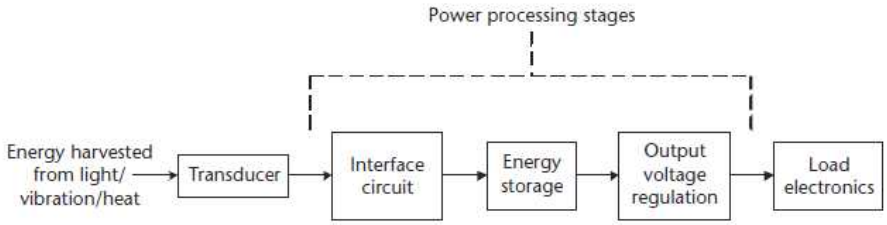
○ 압전에너지 하베스터에서 생성된 교류 전압을 슈퍼 캐퍼시터나 2차 전지에 충전하기 위해서는 정류회로(Rectifier)를 이용하여 직류로 변환시켜야 함. 압전 재료는 전기적으로 전압발생기, 유전체, 저항의 조합으로 구성되어 외부 저항이 변화함에 따라 생성되는 에너지가 변함

○ 특히 주기적인 진동으로 발전기에서 생성되는 최대 에너지는 외부 임피던스가 특정주파수에서 진동하는 압전체의 임피던스와 일치할 때, 즉 전기적인 임피던스 매칭 조건에서 나타남



<임피던스 매칭(커패시터 활용)>

○ 생성되는 에너지를 효과적으로 외부에 전달하기 위해서는 외부저항과 압전체의 저항을 일치시킬 수 있는 전기회로 구성이 필요하며, 생성되는 에너지양과 동작할 에너지량, 제작비용등을 고려하여 적절한 회로 구성이 필요함

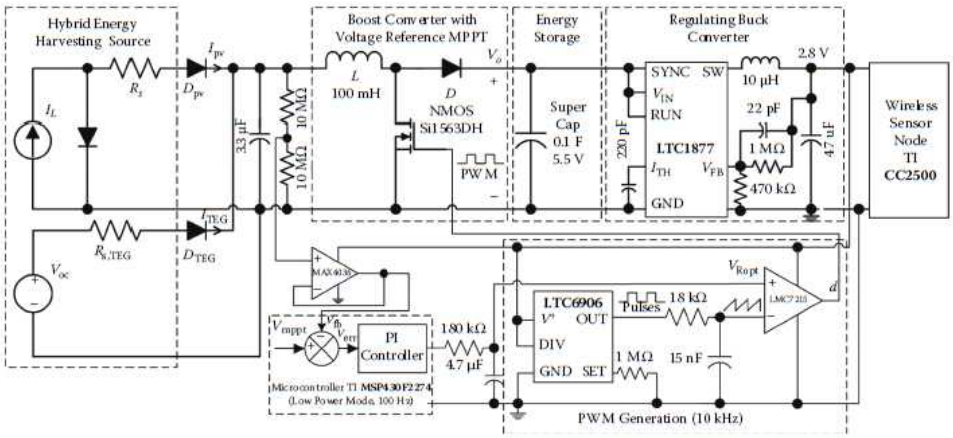


<에너지 하베스팅 시스템 토플로지>

○ 전기에너지 충전 분야는 크게 '정류회로', '임피던스 매칭 회로', '승압회로', '축전지', '출력회로' 분야로 나눌 수 있음

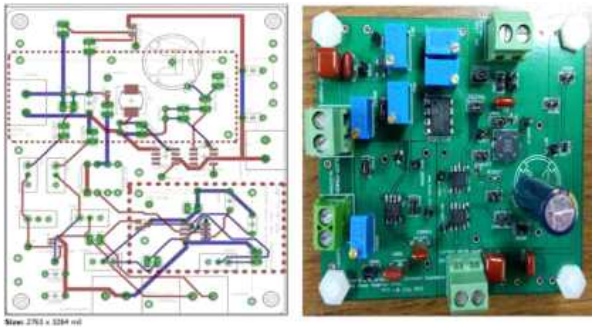
<전기에너지 충전 방식 검토>

분 야	세부 방식	내용	설명
정류회로 (Rectifier)	AC/DC	▪ diode bridge	AC를 DC로 변환
임피던스 매칭 회로 (Impedance matching Circuit)	matching	▪ Variable capacitor	임피던스 매칭
승압회로 (Boost converter)	DC/DC	▪ voltage step-up ▪ Villard multiplier ▪ Dickson multiplier	높은 출력 전압
축전지 (Battery)	Battery	▪ Super capacity ▪ Lithium	전기에너지 충전
출력회로 (Output voltage regulation)	DC/DC	▪ Buck-Boost Converter	승압/강압



○ 변환 회로 분야

- 현재 압전 하베스터로 발생되는 peak 전압은 일반적인 저장 장치의 전압보다 높아 buck 컨버터가 필요한 반면 peak 전압 후에 발생하는 펄스들은 저장 장치의 전압보다 낮아져 boost 컨버터가 필요하므로 이를 만족하는 저전력 및 고효율의 특징을 갖는 synchronous buck-boost 컨버터를 개발하고 있음



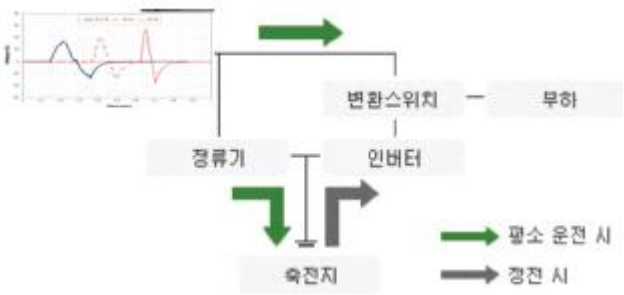
<DC-DC 벅(buck) 부스터 컨버터>

- 압전에너지 하베스팅 충전 부분에서는 전력손실을 최소화하고 충전 효율의 극대화를 위해 최적 충전회로 설계, 단위 충전회로 전류 및 전압제어 시스템 개발, 압전 발전모듈 장치 효율 평가 및 내구성 평가 연구 항목이 필요함
- 최적화된 충전 회로 제작을 위해서는 AC-DC 변환 정류회로 설계, DC-DC 승압회로 설계, 정류 평활회로와 승압 충전 및 지연회로, 정류/승압 회로 설계 및 전원 제어장치를 제작이 필요하며 압전 회로별 특성은 다음과 같음

<압전 기본 회로 특성 분석 비교>

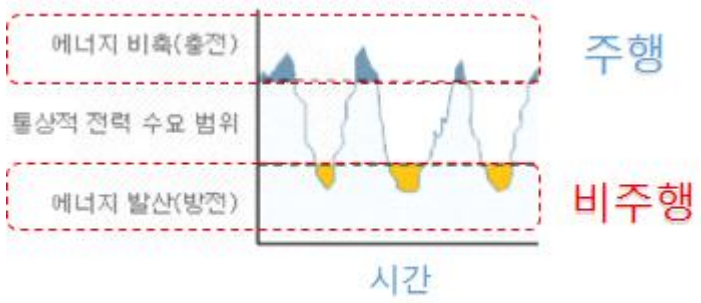
구 성	정파 정류회로 및 평활 회로	승압회로 및 평활 회로
장점	미세전원/전류에 반응 전원 공급이 용이	미세전원/전류에 반응 일정한 전원 공급 가능 공급 전원 조정이 가능 저전압에서도 운영이 가능
단점	전압이 일정하지 않음 고출력에는 부적합 저전력에서 구동 불가	승압효율에 따라 효율이 차이남

- 압전 에너지 하베스팅으로부터 직류입력을 활용하여 UPS 시스템과 통합하여 부하에 전력을 안정적으로 공급 가능한 시스템 구축필요



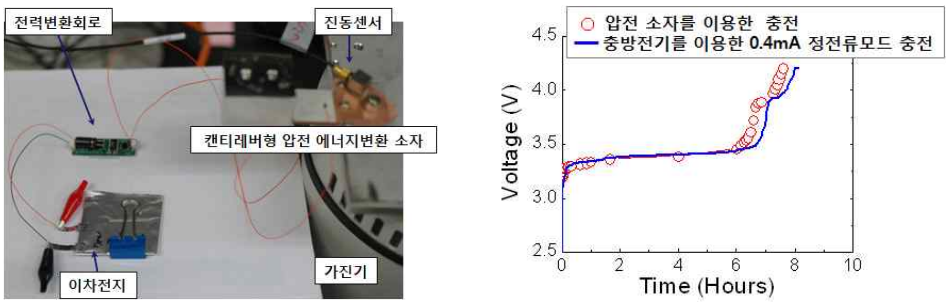
<UPS 통합운영시스템>

- 압전 에너지 하베스팅 발전과 관련하여 에너지 공급의 변동성을 에너지 저장/발산을 통해 안정화하여 필요전력을 도로시설물에 공급할 필요가 있음



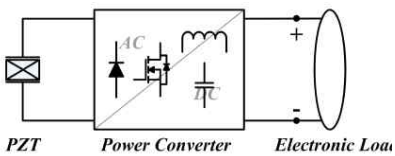
<압전 에너지 하베스팅 통합 모델링>

- 압전 에너지 하베스팅 배터리와 관련하여 정전류모드를 통해 충전한 충전전압곡선과 압전소자를 이용하여 충전성능 확보가능성을 검토할 필요가 있음

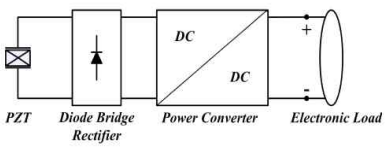


<캔티레버형 압전 에너지변환 소자와 충방전기를 이용하여 충전한 시간에 따른 이차전지의 충전전압 곡선의 예>

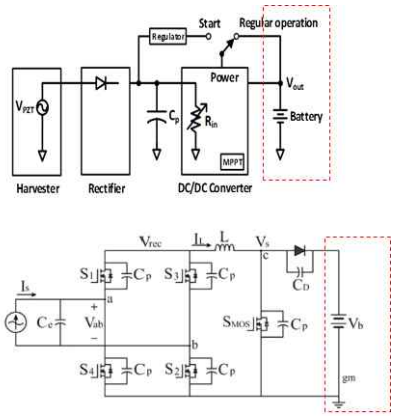
- 압전 소자를 에너지원으로 사용한 에너지 수확 컨버터 토플러지는 single conversion Topology, Double Conversion Topology로 분류할 수 있음



single conversion Topology

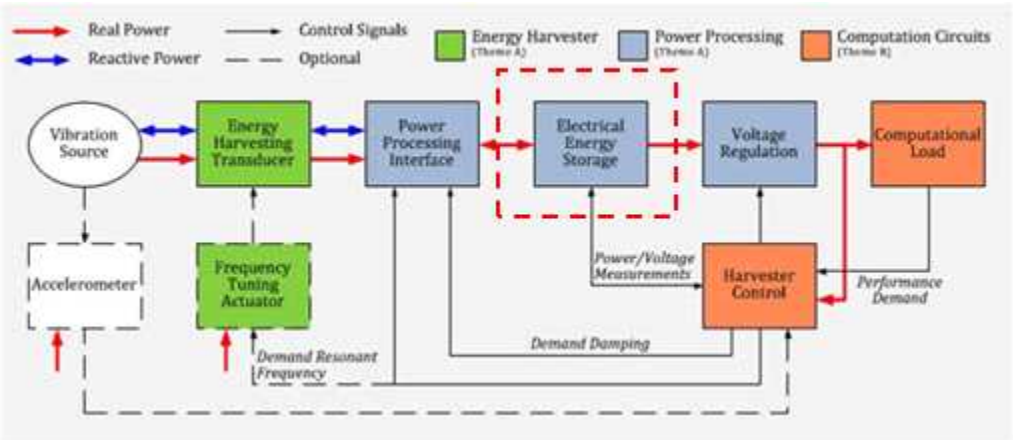


Double Conversion Topology



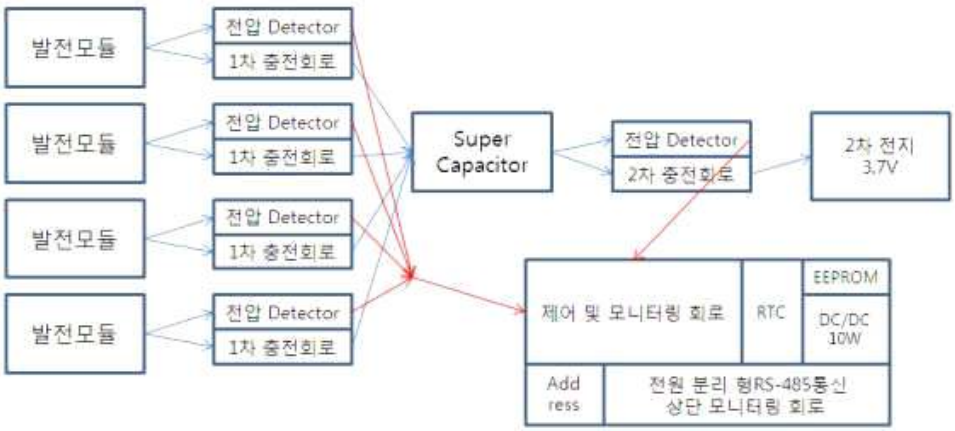
<압전 에너지 수확 컨버터 설계를 위한 AC/DC 컨버터 기본 토폴로지(배터리 포함)>

- 압전 트랜스듀서가 에너지 출력을 최대화시키는 데 필요한 작동 지점에 유지되도록 하고 에너지 스토리지 기기 및 다운스트림 부하에 동시에 최적으로 공급 가능한 시스템을 위한 배터리 적용 필요



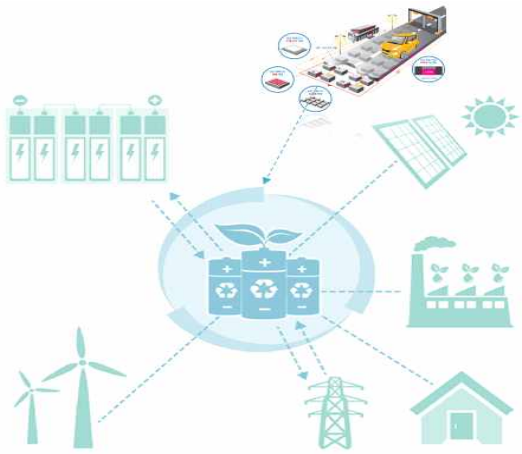
○ 충전회로 분야

- 충전회로는 압전 하베스터에서 발생한 에너지가 충전기로 바로 충전되는 것이 아니라 중간에 super capacitor에서 일차적으로 저장을 하고 일정량의 에너지가 쌓이게 되면 충전된 에너지를 2차 전지로 옮기는 방식이 일반적으로 사용되고 있음



<발전모듈 충전시스템 구성도>

- 압전 에너지 하베스팅은 신재생 에너지원으로 하이브리드(NRE-H) 분산발전 시스템을 구축함으로서 전력망의 신뢰성, 효율성, 안전성을 향상시키고, 전력의 생산 및 소비 정보를 양방향, 실시간으로 유동함으로써 에너지 효율을 최적화할 수 있음

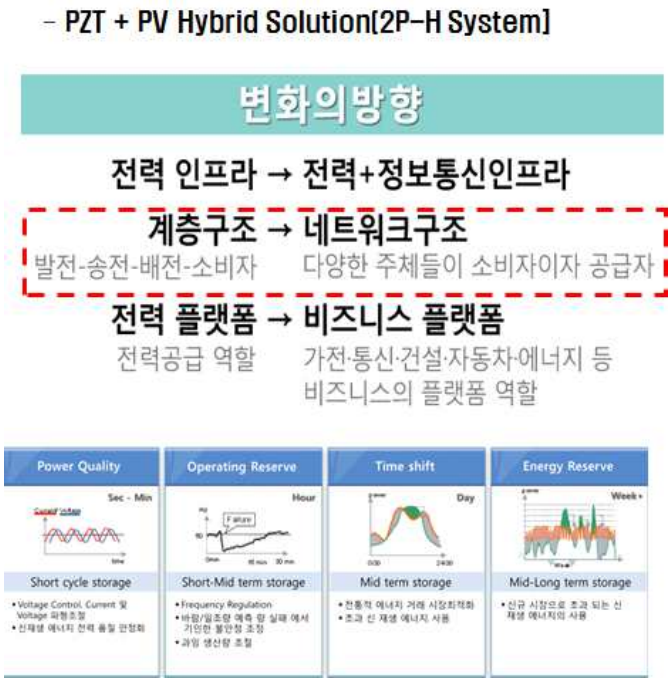


<분산전원 전력망(신재생에너지 적용)>

- 신재생에너지 하이브리드(NRE-H) 분산발전시스템은 입지환경이나 자연조건에 크게 영향을 받아 출력 변동이 심하여 연속 공급이 불가능하고 에너지 생산시점과 수요시점의 시간차가 발생하게 되므로 압전 에너지 하베스팅을 활성화를 위해서 에너지저장시스템이 중요함
- ESS는 태양광, 풍력 등 외부 환경에 따라 출력 변동성이 심한 에너지원을 고품질 전력으로 전환하여 전력망에 연계가 가능한 시스템임
- 에너지 저장이 없는 상태에서 신·재생 에너지 발전량 비율이 10%를 상회하는 경우, 전체 전력망의 불안정으로 인해 전력품질에 심각한 피해를 줄 수 있는 것으로 보고되고 있음
- 압전 에너지 하베스팅 발전과 ESS가 결합하면 전력공급자와 소비자가 양방

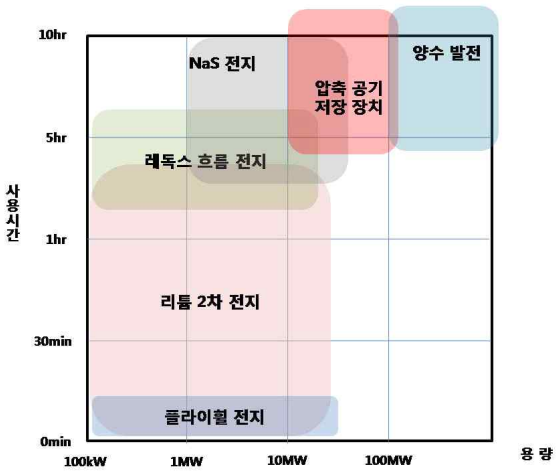
향으로 실시간 정보를 교환하고 ESS를 통해 필요한 시기에 전기에너지를 공급하여 에너지 효율을 향상시키는 시스템 구현이 가능함

- 현재의 중앙집중식 전력계통 문제 해결을 위하여 분산전원의 특징을 갖고 있는 스마트 그리드와 ESS가 고안되었고 배터리 및 IT 기술의 접목이 이를 가능하게 하고 있음



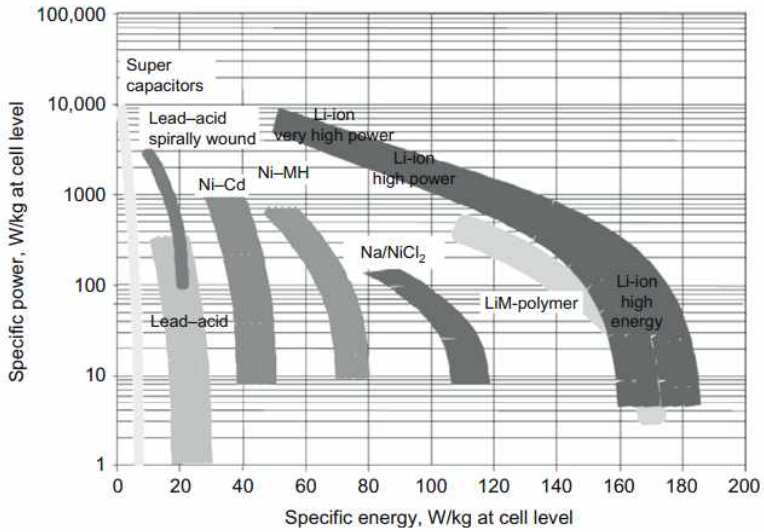
<하이브리드(NRE-H) 분산발전시스템>

- 신재생에너지 하이브리드(NRE-H) 분산발전시스템은 에너지저장장치(ESS: Energy Storage System)을 포함하여 구성되며, 에너지를 저장하는 방식에 따라 리튬전지, 나트륨황전지, 리독스플로 전지, 슈퍼커패시터 등의 배터리방식과 양수, 압축공기저장, 플라이휠 등의 비배터리 방식으로 구분할 수 있음
- 에너지저장시스템(ESS, Energy Storage System)이란 생산된 전력에너지를 저장하여, 필요할 때 사용함으로써 에너지 이용 효율 향상, 신재생에너지 활용도 제고 및 전력공급 시스템 안정화를 위한 장치로, 현재 전력계통의 안전도 향상과 에너지의 효과적인 운용을 위해 에너지저장시스템에 대한 연구가 활발히 진행되고 있음



<에너지 저장 기술별 적용범위>

- 에너지저장시스템(ESS, Energy Storage System)에는 배터리가 들어가게 되는데, 휴대 전자기기 또는 자동차 시동용 등으로만 사용되던 배터리는 최근 기술의 발달로 에너지 저장 밀도가 높아져서 대용량 에너지 저장 장치로도 각광을 받고 있음
- 전기에너지저장은 전력망으로부터 얻은 전기에너지를 물리.화학적 형태로 변환하였다가 필요시 다시 전기에너지 형태로 변환하여 이용 할 수 있도록 저장하는 과정을 의미



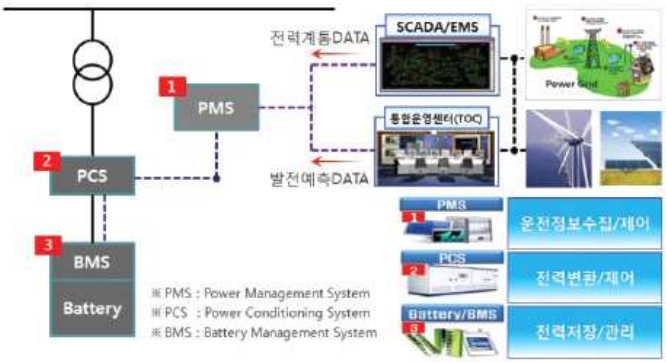
<배터리 종류에 따른 특징>

- 압전 에너지 하베스팅 발전에 적용하기 위한 배터리의 특징을 고려한 결과, 주파수 특성, 전압 변동성을 고려하면 리튬 2차를 우선적으로 적용할 수 있음

<주요 에너지 저장시스템별 장·단점>

구분	단주기		장주기	
	플라이휠	리튬2차	NaS	레독스 흐름
전력변환효율	90%	96%	78%	70%
수명(Year)	20	10	15	5 ~ 10
방전지속시간 (hr)	15min 미만	15 ~ 20	6~8	2~8
용도			전력저장, 송전전압 관리 등	
		부하 평준화, 신재생에너지, 계통연계		
	전력망 안정화, 품질향상			

- 배터리는 PCS (Power Conditioning System)를 거쳐 전기를 저장하였다가 필요할 때 전기를 방전하는 역할을 하는 구성부품이고, BMS(Battery Management Sysem)는 배터리의 충전상태 등을 외부 인터페이스를 통해 알려주고 과충전 등의 보호기능을 수행함
- PCS(Power Management System)는 발전원에서 전력을 입력받아 배터리에 저장하거나 계통으로 방출하기 위하여 전기의 특성을 변환한다. BMS는 배터리의 상태 모니터링과, PCS의 상태 모니터링 및 제어를 하며, 컨트롤센터 등에서 ESS를 모니터링하고 제어하기 위한 운영시스템
- BMS는 배터리의 전압, 전류, 온도를 측정하여 배터리의 안전상태와 고장 유무를 진단하고 배터리의 온도와 셀 밸런싱을 제어하며, PCS 및 운영시스템과 통신하여 배터리의 데이터를 제공하는 기능을 하는 장치
- PCS는 배터리로부터 저장된 직류전력을 교류로 변환하여 전력계통에 전력을 공급하거나 직접 교류부하에 전력을 공급하는 기능과 전력계통으로부터 교류전력을 직류로 변환하여 배터리에 전력을 저장하는 기능을 하는 장치로서 용도와 분야에 따라 변전소 적용 ESS용 PCS, 신재생에너지 적용 ESS용 PCS, 수용가 적용 ESS용 PCS 등으로 분류할 수 있음



<신재생에너지 연계형 MW급 이차전지 운용 시스템>

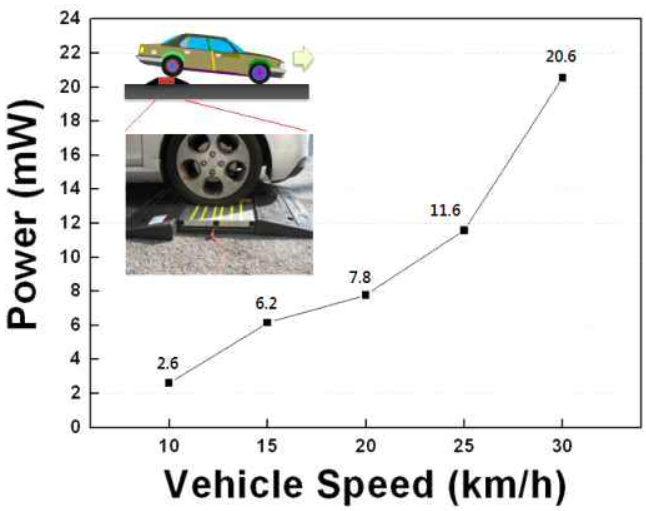
라. 압전에너지 활용

○ 압전 에너지 활용분야는 도로에서 발전시킬 수 있는 압전 발전량에 대해 발전 가치 측면에서 검토하고 압전과 태양광을 연계시킨 하이브리드 발전 분야에 대해서 조사를 실시하였음. 또한 도로에서 필요한 에너지 공급 측면에서 분산소형 발전소 개념에 대해 조사하고, 내구성 확보 측면과 테스트베드에 대해서도 검토하였음

(1) 국내·외 도로 압전 에너지 발전 사례 분석

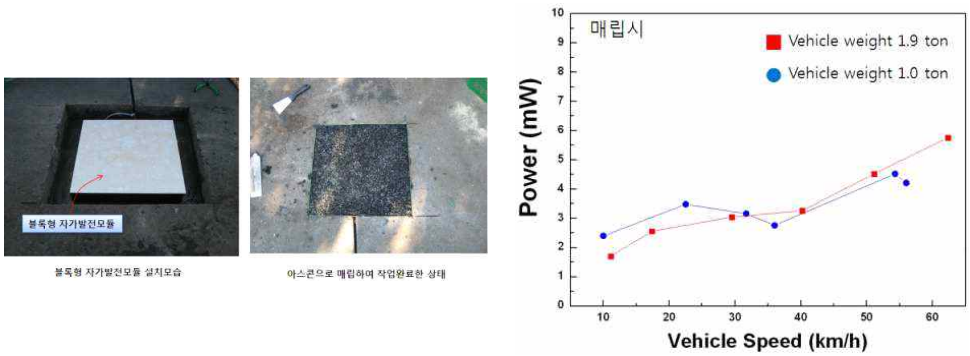
○ 도로부분 압전 에너지 하베스팅 관련 대표적인 선행과제로는 'Energy Harvesting을 이용한 도로교통 시설물 제어시스템 개발에 관한 연구'가 있었으며 과제 개요는 다음과 같음

- 주관연구기관 : ㈜ 진우소프트이노베이션
- 공동연구기관 : ㈜ 센불, 한국세라믹기술원
- 연구기간 및 연구비 : 2009년 9월 – 2012년 9월 (3년) / 정부출연금 17억원
- 연구내용 : 압전소자를 이용한 전력발생 모듈을 설계 제작하고, 발생된 전원을 충전, 제어하는 기술을 개발하며, 이를 이용하여 LED 가로등 점등을 제어하는 기술을 개발하고, 이를 현장에서 실증
- 과속방지턱 형태의 노출형 압전 에너지 하베스터에 대해 차량속도를 30 km/h까지 변화하였을 때 하베스터에 1 kΩ 의 저항을 병렬 연결한 뒤 차량 조수석 앞, 뒤 바퀴에 의해 1회 밟혔을 때 커패시터 양단에 발생한 전압과 전력을 측정하였으며, 30 km/h시 최대 20.6 mW의 전력량을 생산하였음



<차량속도별 압전 발전량 (과속방지턱 형태의 노출형 압전모듈)>

- 압전 하베스터의 발전량은 외부에서 가해지는 힘에 비례할 것이며, 하베스터에 가해지는 외부 힘은 가속력과 질량에 비례할 것임. 따라서 차량의 속도가 빠를수록 더 큰 가속도로 인해 하베스터가 많이 움직이게 되고 발전량도 크게 나오게 됨
- 도로의 아스팔트를 절단한 후 매설형 압전 하베스터를 넣고, 다시 아스팔트로 채워넣은 후 차량 속도 및 차종에 따른 발전특성을 분석하였음. 차량속도가 증가함에 따라 발전량은 점진적으로 증가되는 경향을 보이고 있으며, 1.9 ton 차량으로 약 60 km/h 주행시 5.8 mV 가 발생됨



(a) 매설형 압전 하베스터 (b) 차량속도/차종에 따른 발전량

<매설형 압전 하베스터 형상 및 발전량>

- 압전하베스터 설치를 위해서는 기존의 도로를 하베스터 형태로 재단을 하여 cutting 후 재단한 면을 들어낸 후, 압전패드의 내구성을 높이고 침수 문제를 해결하기 위한 구조물을 이용하여 압전하베스터를 설치함. 그리고 압전하베스터의 상부는 실험목적에 따라 아스팔트, 시멘트, 혹은 노출형으로 표면 처리할 수 있음
- 적용된 압전패드는 No. 46 형태로 사각소자 (가로 *세로: 38*38mm) 15개가 들어있으며, 개선된 정류회로를 사용해서 제조된 것임



(a) 하베스터 설치용 도로 절단



(b) 하베스터지지 거치대 설치



(c) 매설형 압전 하베스터 설치

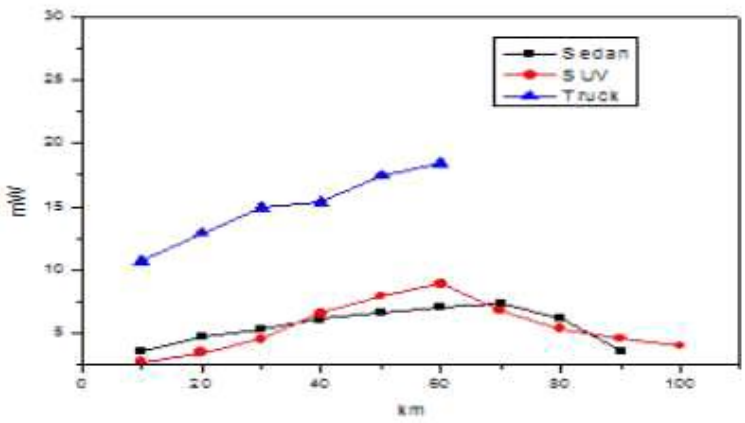


(d) 상부 표면처리 (아스팔트)

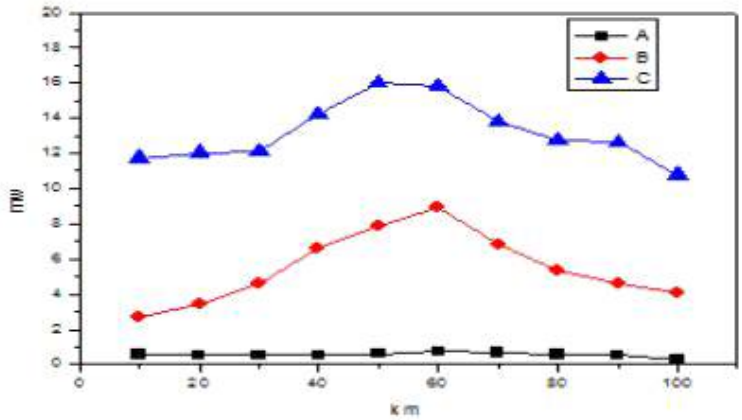
<매설형 압전 하베스터 시공 과정 : 아스팔트 표면 처리>

- 차량 무게별 발전특성을 검토하면 일반적으로 차량무게가 높은 순으로 발전량이 높게 나왔으며 (Truck>SUV>Sedan), 속도의 경우는 일반적으로 차량속도에 비례하여 발전량이 높아졌으나 70km/h 이상일 경우는 발전량이 낮아지는 경향이 있음. 그리고 표면처리의 경우 노출형일 경우 최대 24 mW로 아스팔트 표층의 최대치인 17 mW보다 훨씬 높은 발전량을 보임

-

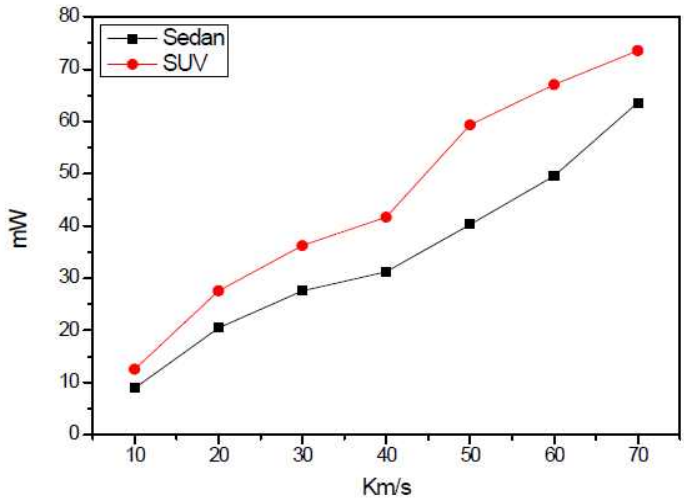


<차량무게별 압전 발전량 (아스팔트 표층형))>



<차량속도별 및 포장형식별 압전 발전량 (SUV, A : 시멘트, B: 아스팔트, C: 노출형)>

- 최종적으로 압전에너지를 이용하여 도로교통시설물(LED 형광등) 제어 목적의 실증실험을 실시하였으며, 캔틸레버 방식-다층패드형 압전모듈을 도로에 설치하여 시속 70 km/h로 SUV가 달렸을 경우 73.55 mW의 발전량을 측정하였음 (단, 순간 최대 발전 개념일 경우 발전량(watt*sec)은 훨씬 떨어질 것으로 추정됨)



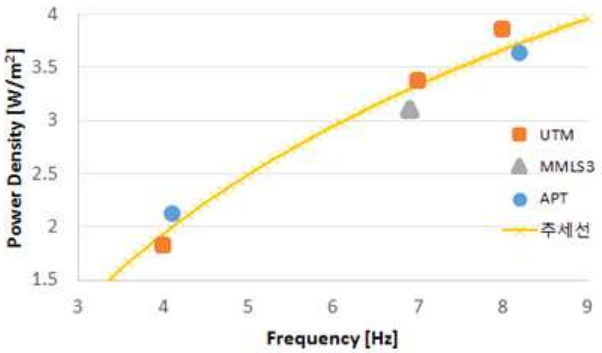
<캔틸레버-다층패드형 압전모듈 현장설치 발전모듈 발전량)>

- ㈜ 센불에서는 2013년에 부산서면 지하철역에 "압전에너지 블럭"이라는 명칭으로 시제품을 전시하고 블록 발판을 설치하여 부산 서면역을 이용하는 부산시민들에게 압전으로 인한 에너지 생산 및 휴대폰 배터리 충전 가능 할 수 있도록 체험 시설을 설치하였음

○ 도로부분 압전 에너지 하베스팅 관련 진행형 과제(3차년중 2차년도 연구 완료)로는 '도로교통 미활용에너지 이용을 위한 압전 에너지 하베스터 개발 및 실증'

이 있으며 과제 개요는 다음과 같음

- 주관연구기관 : 한양대학교 산학협력단
- 참여연구기관 : ㈜ 에이,엠,씨, 한국과학기술연구원, 한국건설기술연구원, 한국세라믹기술원, 건국대학교 산학협력단
- 연구기간 및 연구비 : 2014년 12월 – 2017년 9월 (3년) / 정부출연금 78억원
- 연구내용 : 압전 재료 중 현재까지 가장 효율성 및 시장성이 우수한 세라믹 타입의 압전소자를 이용하여 5 W/m^2 급 매설용 압전 하베스터를 개발하고, 이를 도로에 실증
- 측정 장비에 상관없이, 동일한 주파수에서 비슷한 발전 특성을 얻는 것을 확인하였으며, 이를 통해 개발한 압전 에너지하베스터의 신뢰성을 확보함
- 공인시험기관을 통하여 개발한 압전 에너지하베스터에 UTM을 통해 진폭 2 mm, 주기 8 Hz의 변위를 1분간 부하저항 1.3 kΩ을 이용하여 발전량을 시험을 받았고, 인증서를 발급 받음
- 공인인증 결과, 최대 전압 25.8 V, 최대 전류 22 mA가 발생하였고, 옴의 법칙을 따라 최대 전력은 567.6 mW가 발생됨
- 이 결과를 단위 면적당 전력으로 표현해보면, 하우징을 포함한 하베스터의 면적은 34 cm × 34 cm이므로, 단위 면적당 전력은 4.91 W/m^{2}로, 개발목표 3 W/m^2 이상을 달성하였고, 구조최적화를 통해 5 W/m^2 도 달성할 것으로 기대됨



<도로상황 모사실험 결과 및 발전량 추세선>

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

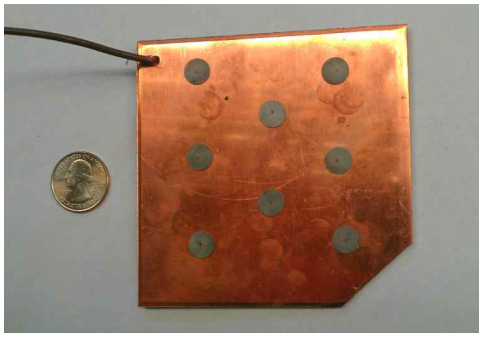
- 이노와텍이 개발한 압전발전장치(Innowattech Piezoelectric Electric

Generators, 이하 IPEGs)는 무게, 움직임, 진동, 그리고 온도의 변화에 의해 야기되는 기계적 에너지를 전자의 흐름으로 변환할 수 있는 압전 결정체임

- 압전발전장치에서 발생된 에너지는 전자축전기에 저장되며 교통신호등, 거리 조명등, 도로시설물의 운영을 위한 에너지원으로 사용됨. IPEGs는 도로표면아래 6cm, 차량으로부터 약 30cm 간격으로 설치되어, 차량이 통과하면서 발생시키는 압력 또는 진동으로부터 에너지를 생산함. 벤 구리언(Ben Gurion) 국제 공항 근처의 도로상에서 소규모 프로젝트를 통한 상용화 실험을 실시하였음
- 이노와텍의 CEO이자 Technion Institute of Technology의 항공우주공학과 부교수인 Haim Abramovich은 압전소자를 이용한 전력생산 상용화를 연구함. 연구결과에 따르면, 1대의 트럭이 압전소자가 설치된 도로구간을 주행할 경우 2,000볼트의 전력량을 생산할 수 있으나, 충분한 전력량을 생산하기 위해서는 도로구간에 많은 교통량과 수백미터에 걸쳐 IPEGs를 설치해야 하는 문제점이 있음
- 압전소자를 이용한 전력생산이 상용화 될 경우, 투자금액에 대한 환수기간은 6~12년 정도로 추정됨. 한편 IPEGs의 전력생산량은 시간당 600대의 교통량이 있는 도로구간 1km에 걸쳐 압전소자를 도로포장체에 설치할 경우, 600~800가구에 필요한 전력량과 맞먹는 수준인 약 400kwh의 전력이 생산될 것으로 발표하였으나, 그 실체는 분명하지 않은 것으로 판단됨

○ 2015년에는 The University of Texas at San Antonio (UTSA) and the Texas A&M Transportation Institute (TTI) 는 $1.32 Million Texas 교통국와 미연방도로국(FHWA) 연구 프로젝트가 시작됨

- Texas DOT는 도로를 주행하는 운전자의 안전을 향상시키기 위하여 도로상태 모니터링에 압전체를 활용하고자 함
- Samer Dessouky 교수와 TTI의 Lubinda Walubita 연구팀은 piezoelectric sensor를 개발하여 아스팔트 층 아래에 설치하여 에너지를 생산해 도로 가로등, 신호등, 전기차 자동차 충전소 및 도로 모니터링 센서에 활용하려고 추진함 (2015년 자료)
- 아래 그림은 Sammer Dessouky 교수의 Piezoelectric generator 연구 셋팅을 보여주고 있다. (Roshani et al, 2015) 그림에서 설명하고 있는 것처럼 구리판에 압전소자를 붙인 후 도로포장 하부에 설치하여 주행차량의 충격하중이 압전소자에 전달됨으로써 전력을 생산하는 시스템임



(a) 구리판에 압전소자 접착 시스템

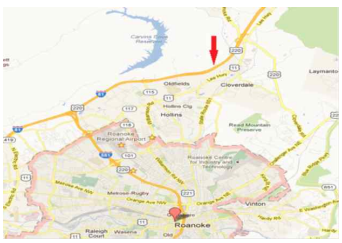


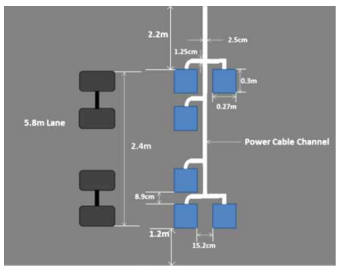
(b) 아스팔트 시편아래에 발전 시스템 설치 테스트 전경

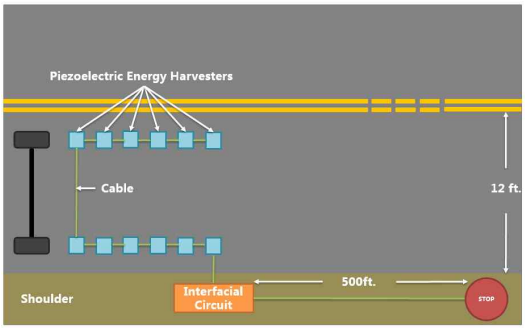
<압전하베스팅 시스템 및 테스트 전경(Roshani et al.)>

○ 버지니아텍의 Xiong 은 여러개의 실린더 압전소자를 설치하여 차량하중으로 인하여 발생하는 압축력으로 인하여 전력을 생산하는 시스템을 개발하였으며, 트레일러 트럭이 하루 4,000대 주행차량일 경우 400~700V의 전압이 생산되었으며, 전류은 0.2~0.35mA이 측정되어 전력량으로 환산한다면 0.08~2.1Watt가 생산되었음

- Xiong 하베스터는 미국 Interstate 81번도로 차량중량 측정 장소에 설치되었으며 버지니아 교통국에서 주행차량의 축하중 정보를 얻어서 축하중에 따른 발전량까지 연구하였음. 평균 0.116W가 생산되었으며, 최대평균전력생산은 약 3.106mW가 하베스터 하나에서 생산되었음
- 아래 그림은 Xiong의 향후 연구방향인 교통신호등 전력공급을 주행하는 차량으로부터 공급할 수 있는 시스템 개발을 위한 개념도를 나타내고 있음

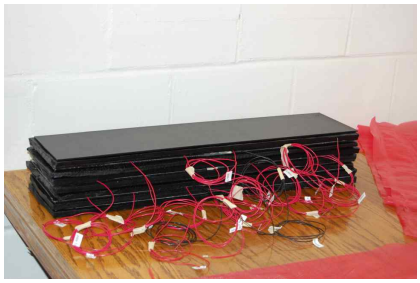






<압전하베스터 설치 위치(좌)와 압전하베스터 설치 조감도(우)
교통신호등 전력 공급 개념도(Xiong, 2014)>

○ Baldwin et al. 은 교량으로부터 압전하베스터를 이용하여 전력생산 연구를 진행하였음. 교량을 주행하는 교통하중을 이용하여 압전소자를 이용한 발전을 하기 위하여 16개의 압전소자를 사용하였으며, 압전소자를 6층의 강철베어링에 설치하여, 실험실에서 측정한 결과 1.253×10^{-6}W·hr 전력량이 생산되었음을 확인하였으며, 실험에 사용한 시스템은 다음 그림과 같음

<교량용에 연구하기 위한 압전 하베스터 장치(Baldwin et al. 2011)>

○ Pavegen Company

- 2009년 설립된 회사로 영국에 위치하고 있는 Pavegen Company는 Piezoelectirc sensor를 이용한 에너지하베스팅 연구와 마케팅을 추진하고 있으며, 현재 활발하게 사업을 진행하고 있음. 영국 Harrods 와 Heathrow 공항을 포함하여 100 여개 이상되는 곳에 Pavegen 발전 타일을 시공하였음
- Pavegen은 현재 압전 발판분야에 집중하여 압전하베스터 개발연구를 진행중에 있으며, 아래 그림은은 최근 업데이트한 Pavegen의 압전하베스터 모형임 (삼각형 꼭지점 위치에 압전소자를 설치하여 사람이 발판을 밟았을 때 에너지가 생산되는 방식임)



< Pavegen의 최신 압전하베스터 모델>

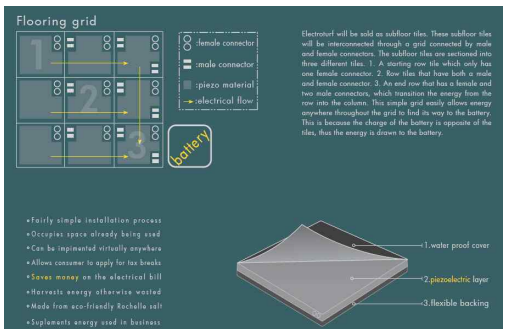
- 또한 2013년 파리 마라톤대회장에 Pavegen 회사가 176개의 압전발판을 설치하여 마라토너들로 인하여 발생하는 전력량을 생산하였음



< 파리 마라톤 경기장에 설치된 압전 하베스터>

○ PiezoPower사 : Piezoelectric Floors

- 실내 운동 클럽의 바닥에 스프링과 여러개의 압전블럭을 설치하여 전력생산을 하여 클럽의 60% 전력을 공급하고 있다고 함. 일본 동일본철도회사와 Keio 대학과 함께 터미널과 기차역에 설치하였음
- Electroturf라 불리는 제품을 생산하고 있으며, 가격은 $1.5/ft2 이며, 3인치×5인치 타일에서 한번 발을 올릴 때 마다 17.5W 가 생산된다고 발표함



<Piezo Floors(http://www.westentech.com)>

○ POWERleap Inc

- 볼튼 대학교와 클린-기술 회사인 POWERleap사는 사람들이 밟고 다닐 수 있는 바닥판을 만들어 발전하는 것을 시연함. 이 기술의 핵심은 재료가 기계적인 스트레스를 받을 때 전압이 생성되는 자연적인 형상인 압전기(piezoelectricity)기술을 이용한 것임
- LED조명이나 무선 전자기기 같은 장치에 전원을 공급하기 위해 걷고 춤추는 것과 같은 운동 움직임에 내포된 에너지를 처리하기 위해 압전기기술을 사용함. 이 제품은 소매체인점, 열차 정거장, 공항, 극장, 클럽 등 조명 설치 장소에 사용가능함
- 압전발전기에 대한 구체적인 물질, 디자인에 관한 내용은 보고되어 있지 않

으며, 실제 상업화하여 판매하고 있는지에 관한 정보는 알 수 없는 상태임

- POWERleap사는 이미 미국, 영국, 사우디아라비아에서 프로젝트를 파일럿 시험하였으며, 아부다비에서 개최된 세계 미래 에너지 서밋(World Energy Summit)에 전시함. 세계 시장조사회사 Frost & Sullivan사는 최근 클린-에너지 하베스팅 기술과 에너지 효율적인 조명기술을 산업화에 가까운 50대 기술로 선정한바 있음
- Powerleap사는 샌프란시스코에 있으며, 컬럼비아에 있는 Treevolt 파트너 관계를 맺었음. Treevolt와 협약을 진행하면서 콜롬비아에 Treevolt에서 시험포장 한 곳에서 POWERLeap 프로그램을 이용하여 발전량 데이터 모니터링을 실시함
- Treevolt 회사제품을 1km연장에 6,000개의 Treevolt 하베스터를 이용하면 대략 720kW를 생산할 수 있다고 이야기하고 있으며, 하베스터에 무선송신기를 설치하여 실시간으로 전력생산량 모니터링이 가능하다고 함



<콜롬비아의 Treevolt 장비 테스트(좌)와 POWERleap 데이터 하베스터(우)>

○ 일본의 교량 진동 발전

- 2007년 일본의 수도고속도로사에서는 달리는 자동차의 진동 에너지를 전기에너지로 변환하는 압전소자를 오색벚꽃 대교에 설치하고 교량 조명에 필요한 전력의 일부를 조달하고 있음
- 진동발전장치 내부에는 압전소자 4개가 한 조로 움직이며 약 0.01 W를 생산할 수 있다고 하며, 진동발전으로 필요전력의 약 0.03 %를 공급하고 있다고 함

(2) 압전 관련 하이브리드형 발전 사례 조사

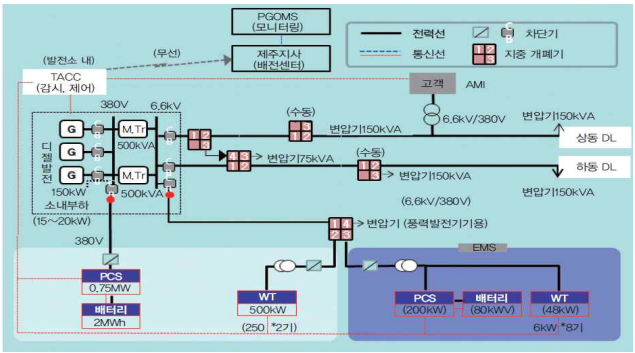
○ 발전효율을 매크로 스케일로 향상시키기 위해 신재생에너지 중 단위 체적 당 발생하는 전력량이 가장 높은 태양광 발전과 융합한 하이브리드형(hybrid type) 발전방식도 적극 검토할 필요가 있으며 이를 새로운 도로 형식 (예: 저속 및 정속주행 요구구간에 적용하는 블록형 도로)에 적용하는 방안도 다양한 관점에서

검토해 볼 필요가 있음

○ 신재생에너지는 태양광, 진동, 열, 풍력 등과 같이 자연적인 에너지원으로부터 발생하는 에너지를 전기에너지로 변환하여 활용하는 기술임. 이러한 신재생에너지는 에너지원에 따라 장단점이 있으며, 이를 상호 보완한 하이브리드형 기술들이 많이 연구 개발되고 있음

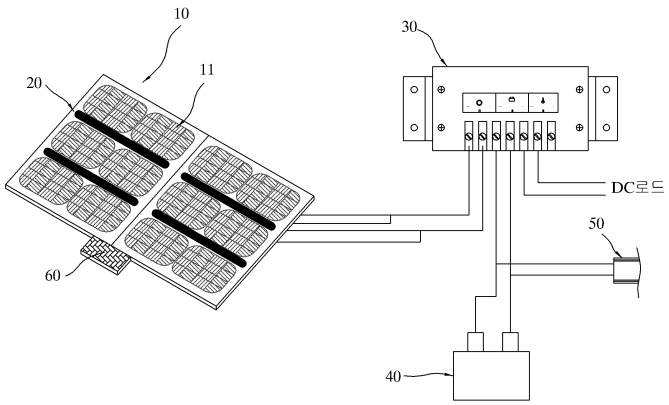
○ 국내 태양광 도로 관련 기술 사례로는 ㈜ 한축테크에서 태양광을 이용한 블록을 제작하여 LED 가로등을 켤 수 있는 기술을 개발하여 상용화 하였으나 압전과 태양광을 연계한 기술 사례는 조사되지 않음

○ 아래 그림은 가파도 태양광-풍력-디젤-축전지 하이브리드 발전 시스템으로, 국내의 경우에는 제주도 특별 자치도 가파도에서 2011년 6월 탄소 제로 섬(Carbon-free island) 프로젝트의 일환으로 하이브리드형 발전 사업을 하고 있으며, 신안, 완도 등에도 적용하고 있음



<가파도 태양광-풍력-디젤-축전지 하이브리드 발전 시스템>

○ 다음 그림은 압전소자를 이용한 친환경 발전장치로 압전과 태양광 발전의 경우에는 소전력용으로는 가로등 적용형이 개발되었으며, 대용량의 전력 그리드 분야는 지속적인 연구가 진행 중임



<압전소자를 이용한 친환경 발전장치>

○ 압전에너지 하베스팅은 국내외 기술적으로 많은 연구와 기술들이 개발되었으나, 실제 개발된 형태는 소형이면서도 독립적인 형태의 시스템에 전원을 공급하기 위한 형태가 주류를 이루고 있음. 또한, 압전 발전의 특징으로는 발전량이 아주 짧은 시간에 미소량의의 에너지가 생성되므로 발전소로서의 에너지 하베스팅을 위한 단일기술 적용에는 한계가 발생됨

○ 하이브리드형 에너지 하베스팅 기술은 압전과 태양광 뿐만 아니라 발전의 목적 및 방법에 따라 최대의 발전 효율을 확보하기 위한 형태로 중규모 이상의 발전 네크워크를 구축하는데 사용하고 있음

(3) 분산소형 발전소 개념

○ 자율주행 시대를 대비하여 도로의 상태를 측정할 수 있는 IoT 센서 네트워크는 저전력 CMOS를 이용한 무선통신 모듈과 센서를 부착한 센서노드를 넓은 지역에 임의적으로 분포시켜 센싱하고 센싱자료를 무선으로 보내는 것을 특징으로 하고 있으나 주기적으로 배터리를 교체해야 하는 근본적인 문제점을 가지고 있음에 따라 압전 에너지 하베스터 모듈을 분산-소형-독립-발전소(Isolated Independent Micro Generator) 개념으로 활용하는 방안도 검토할 필요가 있음

○ 일반적으로 전기기기는 배터리를 통하여 구동되며, 외부의 전력공급원을 이용하여 배터리를 충전함. 현재 배터리의 에너지 밀도는 꾸준히 향상되고 있지만 배터리가 차지하는 부피와 무게가 상당하고, 배터리가 모두 방전되면 충전하거나 교체해야 하는 문제점이 있음

○ 넓은 지역에 임의로 분포된 센서노드를 전선으로 연결하는 것은 현실적으로 불가능하며 배터리를 사용할 경우에는 넓은 지역에 산재한 배터리를 주기적으로 교환하는 어려움과 배터리 교체에 의한 공해문제가 발생하는 단점 있음

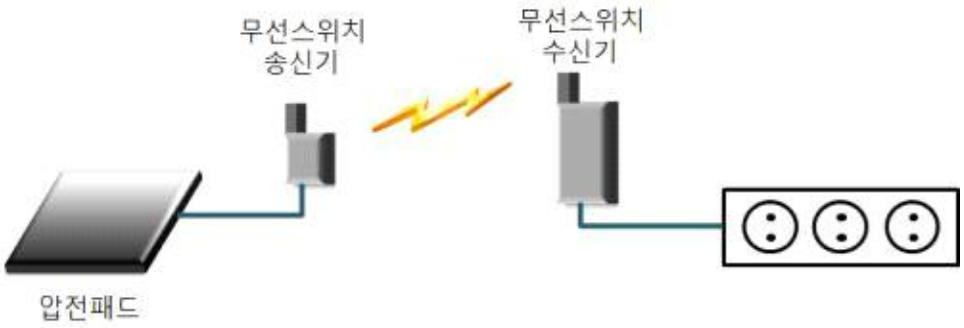
○ 자연에서 버려지는 에너지를 유용한 전기에너지로 변환하여 이용하는 에너지 하베스팅은 이러한 소형전자기기의 전원공급 문제를 근본적으로 해결할 수 잇는 방법으로 제시되고 있음

○ 소형에너지 하베스팅 방법에는 태양광을 이용한 태양발전, 기계적인 에너지를 이용한 압전발전, 기계적인 운동과 전자기적 현상을 이용한 발전 및 용량성 발전, 폐열을 이용한 열전 발전 등이 있음

○ 에너지 하베스팅 기술을 활용한 압전무선스위치 제작 부분은 압전체에서 나오는 저전력을 사용하기 위해 저전력 구동 무선 통신 송수신 모듈을 개발하고 이를 이용하여 LED 가로등을 켜기 위해 LED 장치 인터페이스 모듈을 제작한 사례가 있음 ((주)진우소프트이노베이션, 2012)

- 압전 무선스위치는 압전발전모듈과 연동하여 RF 무선통신을 통해 압전발전모듈에서 나오는 신호를 전달하는 장치로, 진동 및 충격에 의하여 압전발전

모듈이 전력을 발생하면 압전무선스위치의 송신부에서 그것을 감지하여 RF 무선통신을 통해 수신부로 신호를 전송하는 방식임



<무선스위치 송수신 동작 과정>

○ 또한 현대의 도로는 과거와 달리 날로 이용량과 시설규모가 증가하여 지능화·대형화되고 있음

- ITS 구축 사업을 통해 운영 중인 주효 현장설비로는 차량검지기(VDS : Vehicle Detection System), CCTV(Closed Circuit Television), 도로전광표지판(VMS : Variable Message Sign), BIT(Bus Information Terminal) 등이 있으며 2014년 8월 고속도로 4,114Km, 일반국도 2633Km, 지방자치단체 6711Km에 현장시설물이 구축 운영되고 있음
- ITS 현장시설물 관리시스템, C-ITS 등 센서 네트워크 기반의 지능화된 도로시설물이 도입되고 있음



<ITS 현장시설물관리 개념도(한국지능형교통체계협회, 2014)>

○ 미래 스마트 도로의 핵심기술로 교통사고 등 도로에서 발생하는 이벤트를 실시간으로 인지·판단하고 최적의 해결대안 수립 및 이행을 통하여 도로 성능 극대화를 준비 중에 있음



<서비스·관리의 최적화 및 실시간화(한국건설기술연구원, 2015)>

○ 압전 하베스팅을 통해 발전된 전력을 효과적으로 사용하기 위해 도로시설물 대상을 크게 '교통기능'과 '공간기능'으로 구분할 수 있음



<가로환경시설물 분류>

<가로환경시설물 분류표(가로환경 개선사업의 평가구조에 대한 연구, 2009>

대분류	중분류	소분류	내용	
교통기능	보행자계	안내시설	보행인 신호등 보행인 안내판	
		안전시설	보행자 안전	볼가드, 가드레일 등
		보행접근시설	포장	
			접근시설	버스정류장, 택시정류장, 자전거정차대, 보도교, 횡단보도, 지하도 출입구
	자동차계	안내시설	신호기, 교통표지, 교통안내판	
		억제시설	주행속도 억제	험프, 시케인, 크랭크 등
			교통량 억제	차도폭 줄이기, 교통차단
		주차	파킹미터, 노상주차장	
공간기능	정보계	안내시설	지역안내판, 종합안내판	
	편의계	휴게시설	벤치, 의자, 차양,	
		서비스시설	편의시설	전화박스, 매점부스, 자동판매기
			위생시설	휴지통, 음수대
	환경계	녹화시설	고정식	가로수, 가로수지지대
			이동식	플라워박스, 플랜터
	도시기간계	도시방재시설	소화전, 급수전	
		도시기간시설	맨홀, 전신주, 신호개폐기, 전력구	
	조명계	가로시설	가로등	
		보도시설	보행등, 발밑등	

○ 압전 하베스터 모듈을 적용하기 위한 가로환경시설물을 전력사용 유무에 따라 재분류 하였음

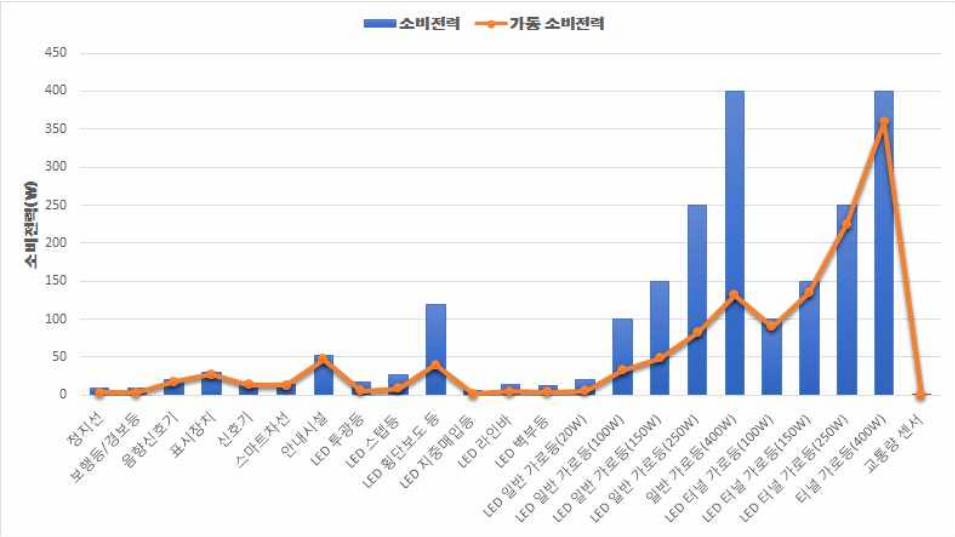
대분류	중분류	소분류	재분류	분류기호
교통 기능	보행자계	신호등	신호등	AAA
		안전시설	x	-
		보행접근시설	x	-
			x	-
	자동차계	안내시설	신호기	ABA
			차선	ABB
		억제시설	x	-
			안내시설	ABC
		주차	x	x
공간 기능	정보계	안내시설	x	x
	편의계	휴게시설	x	-
		서비스시설	x	-
	환경계	녹화시설	x	-
	도시 기간계	도시방재시설	x	-
		도시기간시설	x	-
	조명계	가로시설, 보도시설	가로, 보행 등	BA
기타	정보	정보생성	센서	CA

○ 압전 하베스터 모듈을 적용하기 위한 가로환경시설물 소비전력 분석을 통해 최적 용처를 도출할 필요가 있음

대분류	소분류	소비전력 (W)	시설 가동률 (%)	실소비 전력량 (추정, W)
AA_신호등	정지선	10	30	3
	보행등/경보등	10	30	3
	음향신호기	20	90	18
	표시장치	30	90	27
AB_자동차	신호기	15	90	14
	스마트차선	14	90	13
	안내시설	52	90	47
BA_공간기능	LED 투광등	18	33	6
	LED 스텝등	27	33	9
	LED 횡단보도 등	120	33	40
	LED 지중매입등	6	33	2
	LED 라인바	14.4	33	5
	LED 벽부등	12	33	4
	LED 일반 가로등(A)	20	33	6
	LED 일반 가로등(B)	100	33	33
	LED 일반 가로등(C)	150	33	49
	LED 일반 가로등(D)	250	33	82
	일반 가로등(E)	400	33	132

	LED 터널 가로등(A)	100	90	90
	LED 터널 가로등(B)	150	90	135
	LED 터널 가로등(C)	250	90	225
	터널 가로등(D)	400	90	360
CA_센서	센서 소모전력	0.05	10	0.005

- 소비전력은 최소기준으로 작성되었음
- 시설가동률 : 부하시간(설비를 가동시켜야 하는 시간)에 대한 실제 가동시간의 비율
- 산출식 = (부하시간-정지 Loss 시간)/부하시간 * 100
- 야간 조명기구는 일평균 8시간을 기준으로 시설가동률 적용



<가로환경시설물 소비전력>

○ 지능형 통합관제시스템 적용을 통한 전력량 절감 방안

- 가로등과 보안등의 고장 발생상황을 지리정보시스템(GIS)과 연계한 원격제어를 통해 실시간 보수체계가 이루어지게 하는 시스템으로서 고장상태의 장기간 방치에따른 손실 전력과 보수기간을 대폭 줄여 에너지 절감
- 에너지 절감을 위한 격등제를 보완, 운전자나 보행자에게 불편을 최소화하고, 도로조명을 에너지 절약형으로 운영될 수 있도록 밝기조절(디밍) 가능

○ 디밍(Dimming) 시스템 적용을 통한 전력량 절감 방안

- 고압방전램프(NA, MH)의 불밝기를 통행량이 적은 새벽시간 또는 임의의 시간을 선택하여 낮은 전력으로(80,60%) 균제도를 유지함으로써 교통상황 및 심야시간대 등 주변 여건에 따라 가로등의 밝기조절이 가능하고 조명시스템 본래 목적과 전력절감, 온실가스배출감소, 농작물피해감소 등을 모두 이룰

수 있는 에너지 절감장치

- 종류로는 타이머형 디밍시스템, 중앙제어 원격제어시스템에 의한 등주 개별 제어 방식, 센서제어 디밍시스템이 있음

○ 타이머형 디밍시스템

- 타이머형 디밍시스템은 가로등에 전원 투입(점등) 후 일정 시간이 지나면 자동으로 디밍 모드로 전환되는 방식이다. 도로조명에서 가장 저렴하게 디밍을 실현할 수 있어서 1980년대 중반 이후 독일을 비롯한 유럽에서 일상적으로 많이 쓰이고 있음
- 타이머형 디밍시스템은 4계절의 일교차가 큰 경우 가로등 점등시간의 편차가 커지고 이에 따라 디밍 전환시간 또한 일정하지 않게 되는 단점이 있음

○ 중앙제어 디밍시스템

- 중앙제어 디밍시스템은 디밍시스템의 궁극적인 목표로써 가장 바람직한 도로조명 시스템임
- 중앙제어 디밍시스템은 다소 높은 초기 투자비용과 시스템 운영 비용이 필요하지만 운영상의 많은 시너지를 기대할 수 있음
- 사고다발지역의 조도조정, 등하교 시간에 맞춘 맞춤 제어, 날씨에 따른 디밍 운전, 곡선로의 선형에 따른 디밍 제어, 교차로 및 횡단보도 지역 별도 제어, 행사 및 통행량에 따른 디밍 제어, 농작물 피해 감소 및 빛공해 방지 가능

○ 센서제어 디밍시스템

- 보안등이나 통행량이 아주 적은 군부대, 학교 등의 같은 경우 평소에는 디밍 모드로 운전하다가 사람이나 물체가 다가오면 모션센서에 의해 100% 밝기로 밝아지게 하여 주위를 환기시키고 보안성을 높이면서도 최대의 에너지 절감을 동시에 이룰 수 있음



(4) 도로발전 하베스터 내구성 검토

○ 압전 에너지 하베스터를 도로에 매설한다는 의미는 도로 측면에서는 장기 공용성 및 내구성 확보 측면에서 불리한 측면이 있으므로, 이를 극복하기 위한 도로 부분 장기 내구성 확보방안 또한 검토되어야 함

○ 현재의 압전 하베스터 성능을 고려하고, 이를 도로에 적용 시 발생될 수 있는 도로의 내구성, 그리고 현실적 투자가치 등을 종합적으로 고려하여 최적의 발전 성능 방안을 검토할 필요가 있음

○ 도로 현장에 적용 시 압전 하베스터 자체의 내구성이 중요한 변수이므로 고운, 저온, 내습, 열충격, 안정성, 및 진동에 대한 평가를 다음과 같이 방식으로 진행할 수 있음

- 고온시험 : 고온환경 (100 ℃, 240시간)에 노출 후 압전발전모듈 장치의 작동여부 확인에 의한 신뢰성 평가
- 저온시험 : 저온환경 (-20 ℃, 240시간)에 노출 후 압전발전모듈 장치의 작동여부 확인에 의한 신뢰성 평가
- 염수분무시험 : KS D 9502 조건의 염수를 압전발전모듈 장치에 분무하여 염수에 노출된 환경에서 10 시간 뒤 압전발전모듈 장치의 작동여부 확인에 의한 신뢰성 평가
- 열충격 시험 : 고온환경(100 ℃ 30분)과 저온환경 (-20 ℃ 30분)을 주기적으로 이동하면서 압전발전모듈 장치에 열충격을 수차례 가한 뒤 작동여부 확인에 의한 신뢰성 평가
- 진동시험 : 압전발전모듈 장치에 KS C 0240 방법에 따른 진동을 지속적으로 가한 뒤 일정시간 뒤에 장치의 작동여부 확인을 통한 신뢰성 평가

○ 압전에너지 하베스터에 대한 내구성 평가기준 및 표준화방법은 현재 없는 것으로 조사되었으나, 선행연구과제인 'Energy Harvesting을 이용한 도로교통시설물 제어시스템 개발연구'에서 다음과 같은 내구성 시험을 수행하였음

- 고온 안정성 시험 : 압전 발전 모듈의 고온에 대한 안정성을 평가하기 위해 100℃에서 240hr 동안 유지시킨 후 상온에서 발전량 평가를 수행하였음. 100℃ 240시간 방치 test에서 발전 효율이 –8.53, -5.13% 감소하여 고온 안정성이 유지됨을 확인할 수 있었음
- 저온 안정성 시험 : 압전 발전 모듈의 저온에 대한 안정성 평가를 위해 열충격 시험기(TSA-41L, ESPEC)를 사용하여 시험 모듈을 -20℃에서 240hr 동안 유지시킨 후 상온에서 발전량을 평가하였음. -20℃ 240시간 방치 test에서 발전 효율이 –6.0, -5.84% 감소하여 저온안정성이 유지됨을 확인할 수 있었음
- 염수분무시험 : 압전 발전 모듈의 염수에 대한 안정성을 평가하기 위해 KS D

9502 방법을 이용하여 염수분무 시험을 진행한 뒤 상온에서 발전량 평가를 실시하였음. 염수분무는 KS D9502 조건으로 염수에 노출된 환경에서 10시간 방치하였음. 시험결과 발전 효율이 -6.23, -9.78% 감소하여 염습 안정성이 확인되었음

- 열충격 안정성 시험 : 압전 발전 모듈의 열충격에 대한 안정성을 평가하기 위해 열충격시험기(TSA-41L,ESPEC)를 사용하여 주기적으로 열충격을 인가한 후 상온에서 발전량 평가를 실시하였음. 열충격 조건은 고온에서 30min, 상온에서 30min, 저온에서 30min, 상온에서 30min 유지하는 것을 1cycle로 하여 [100℃/-20℃] 조건에서 100cycle 동안 실험을 실시함. 최종적으로 [100℃/-20℃] 100cycle test에서 발전 효율이 -2.47, -8.08% 감소하여 열충격 안정성을 시험적으로 확인함
- 진동 시험 : 압전 발전 모듈의 진동에 대한 내구성을 평가하기 위해 KS C 0240 방법을 이용하여 지속적으로 진동을 가한 뒤 상온에서 발전량 평가를 실시하였음. 시험결과 발전 효율이 -8.39, -7.37% 감소하여 진동 효율이 10% 이내로 감소함을 확인함
- 항온항습 시험 : 압전 발전 모듈의의 습도에 대한 안정성을 평가하기 위해 온도를 85℃로 고정하고, RH 85%에서 240hr 동안 유지시킨 후 상온에서 발전량 평가를 실시하였음. 시험을 위해 사용한 장비는 항온항습기(CH250, ACS)이며, 이 장비의 구동 범위는 -40~180℃ 및 RH 10~98% 임. 항온항습기 8585(85℃ RH85%) 조건 240hr 방치 test에서 발전 효율이 -6.7, -6.67% 감소하여 내습성이 유지됨을 확인할 수 있었음

(5) 압전 하베스터 테스트 베드

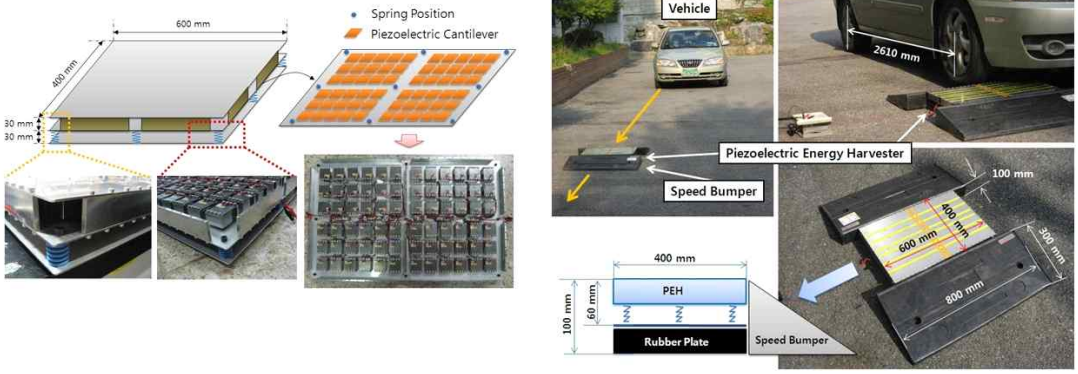
○ ㈜ 센불에서는 2013년에 부산서면 지하철역에 "압전에너지 블럭"이라는 명칭으로 시제품을 전시 및 블록 발판을 설치하여 부산 서면역을 이용하는 부산시민들에게 압전으로 인한 에너지 생산 및 휴대폰 배터리 충전 가능 할 수 있도록 체험 시설을 설치하였음 (압전에너지 블록, SK 에너지)

○ 도로에 압전하베스터를 적용하기 위한 테스트 베드를 제주시 남조로 및 제주대 진입로에 설치하였으며, 압전소자를 여러층으로 설치한 압전 발판을 설치하여 차량 주행시 발생하는 전력량을 측정하였으며, 30km/h 차량속도에서 최대 20.6mW가 생산되었음





<부산 서면 압전 에너지 하베스터 설치 현황>
(좌:센불 압전에너지블럭, 우:압전에너지발판)



<도로용 압전발판 설계 및 현장 테스트 현황(김창일 외 7인, 2011)>

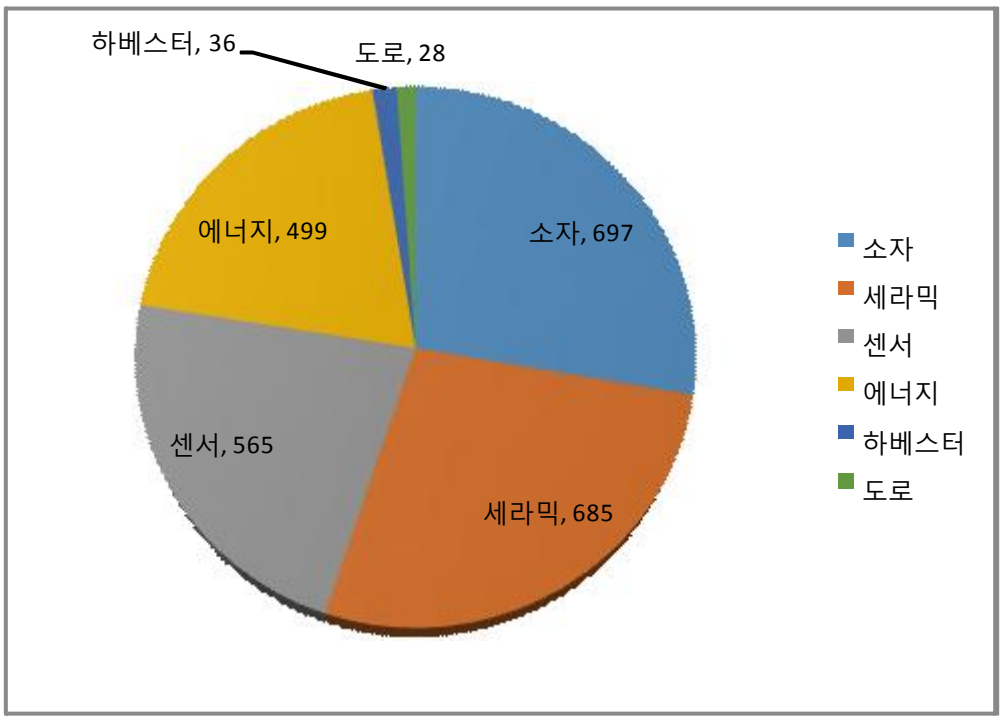
○ 최종적으로는 에너지 자립형 도로 실증을 위한 테스트 베드를 단계적으로 구축하여 개발 예정기술의 내구성능에 대한 명확한 검증이 필요하며, 이를 위한 구체적인 방안 검토가 필요함

2. 논문현황 분석

○ 압전 에너지 하베스팅 기술의 도로적용을 위하여 논문 동향 분석을 수행하였음. 키워드로는 '압전', '소자', '세라믹', '센서', '에너지', '하베스터' 및 '도로'를 사용하였으며 국가과학기술정보센터(http://www.ndsl.kr) 싸이트를 이용하였음

○ '압전' 키워드로 검색한 결과 논문은 총 4,901건이 검색되었으며, 여기에 '소자'라는 키워드로 검색 결과 697건의 논문이 검색 되었음. '압전'과 '세라믹'이라는 키워드 검색 결과 685건건의 논문이 검색 되었으며, '센서'라는 키워드를 사용하였을 경우 565건의 논문이 검색 됨. '에너지'라는 키워드로 재검색 결과 논문은 총 499건이 검색되었으나, '하베스터'라는 키워드에는 총 36건 '도로'라는 키워드로 검색했을 경우에는 최종 28건의 논문이 검색됨.

○ 압전 방식의 다양성으로 인해 많은 논문이 검색되었으나, 실제 본 기획에서 주안점으로 두고 있는 도로 적용 압전기술과 상관성이 높은 12건의 논문에 대해서 상세 분석을 실시하였음



논문제목	출판정보	논문내용
도로매설용 압전에너지 하베스터의 설계 및 제작	김창일(2010), 한국전기전자재료학회 논문집	본 연구에서는 차량 하중에 의해 압전체가 변형되어 전기에너지를 발생시키는 도로용 압전에너지 하베스터를 개발하기위한 설계 및 실험을 진행하였다. 최대의 전기에너지가 발생되도록 압전사각 시트를 닥터브레이드로 제작하여, 이를 강판에 부착하고 고유주파수를 낮추기 위해 끝단에 질량을 달아 캔틸레버형태의 구조로 제작하였으며 끝단 질량의 변화와 가진주파수에 따른 발전특성을 비교하였다. 이로써 도로용 센서 및 방향지시등의 전원으로 사용하기 위한 도로매설용 압전 에너지 하베스터의 타당성을 확인하였다.
도로용 압전발전체 시험모듈 설계를 위한 기초 실험 연구	이재준 외 3인(2010), 한국도로학회 논문집	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 소재기술은 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 압전기술을 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.
녹색도로 시스템을 위한 압전발전에너지 회수 연구	황창연 (2010), 한양대학교 대학원 학위논문	최근 지구 온난화, 이상기후 및 유가의 불안정 등으로 국내외로 기후변화협약의 규제대응을 바탕으로 녹색성장 연구가 조명을 받고 있다. 특히, 우리나라는 화석연료에 대한 과도한 의존으로 자원위기와 환경위기를 동시에 초래하고 있다. 이러한 탄소 배출량은 환경적인 문제뿐만

		아니라 사회적, 경제적 불안 심리를 지니고 있다. 탄소 배출 문제를 해결하고자 제시된 녹색성장 정책은 지구적 화두가 되고 있으며, 온난화 문제와 자원 및 에너지 위기 문제 해결은 물론 녹색환경 경제 시너지효과를 나타내는 정책이다. 본 연구에서는 녹색 사회기반시설을 바탕으로 녹색 교통망을 구축하여 도로에 발생되는 이산화탄소 저감에 영향을 끼치고 고효율 재생 에너지 생산 및 활용을 위한 녹색도로 시스템을 개발 연구를 하였다. 녹색도로 시스템 연구는 도로 1km를 한정하여 설계에 발생되는 이산화탄소 탄소 배출량과 교통차량 하중(압력)에 압전소자를 이용한 전기에너지 회수를 통한 이산화탄소 저감에 최종목적을 두었다. 본 연구를 통하여 수많은 교통차량으로부터 무공해 청정전기 에너지를 생산하고 도로교통 유지관리를 위한 전력생산을 줄이게 됨으로써 전력생산에서 발생되는 CO_2 배출량을 저감시킬 수 있다. 이에 녹색기술 및 녹색 환경 경제 효과로 녹색 도로 핵심 연구로 영위할 수 있다고 판단된다.
압전 캔틸레버 구조를 이용한 도로용 에너지 하베스터의 개발 및 평가	김창일(2012) 외 다수 전기전자재료학회논문지	본 연구에서는 압전 캔틸레버를 이용한 압전 하베스터와 차량하중 전달 기구를 제작하여 이를 과속방지턱 형태와 매설형태로 설치하여 차량 속도에 따른 압전 하베스터의 발전특성을 조사한 논문임. 제작한 단위 에너지 하베스터는 타격속도에 비례하여 발전량이 증가하였으며, 가속방지턱 형태로 설치한 24개 압전 캔틸레버 하베서터는 차량속도 20 km/h에서 7.61 mW의 전력이 발생하였다. 매설형태로 설치된 압전 캔틸레버 하베스터는 차량속도 28 km/h에서 63.0 mW의 전력이 발생하였다. 24개의 압전 캔틸레버 하베스터를 과속방지턱 형태로 설치했을대 보다 매설형태로 설치시 발전 특성값이 크게 나타났다. 압전 캔틸레버의 수가 72개에서 24개로 1/3이 줄었지만, 차량하중 전달기구와 캔틸레버 진동방식을 변화시킴으로 차량속도 20km/h 이내에서 유사한 발전특성 값을 얻을 수 있었다.
충격에너지를 활용한 압전 발전기의 특성을 이해하기 위한 실험 연구	이재준 외 3인(2011), 대한토목학회 논문집	본 논문에서는 도로공간에서 전력 생성이 가능한 신재생에너지 기술들 중에서 압전효과를 활용하는 방법에 대한 연구를 수행하였다. 도로공간을 주행하는 수많은 차량을 이용하여 전력을 생성할 수 있는 신재생에너지 기술 연구의 일환으로, 외부의 충격하중을 전기에너지로 바꾸어 주는 압전효과를 이용하여 도로공간에 적용가능한 압전 발전기를 개발하기 위한 기초연구를 수행하였다. 압전세라믹을 이용한 압전발전 수확기를 개발하기 위한 충격하

		중에 따른 특성 실험을 하였다. 압전발전기 형상 개발을 위해 충격하중 전달 방법, 충격흡수에 따른 압전세라믹의 발전 특성, 충격하중의 종류에 따른 압전 발전 수확기의 전압 발전 특성을 비교분석 하였다.
압전세라믹 연결방식에 따른 전력생산 평가 연구	권수안 외 3인(2012) 한국도로학회 논문집	세계각국에서 홍수, 태풍과 같은 자연재해가 많이 발생하고 있다. 이러한 자연재해가 발생하는 원인으로는 지구온실가스 배출 증가에 따른 지구온난화 현상 때문이다. 지구온난화를 막기 위해, 많은 연구진들이 신재생에너지에 대한 연구를 진행하고 있다. 정부는 온실가스배출량을 감축하여 지구온난화를 막기위해 "저탄소 녹색성장"의 국가정책 하에서 신재생에너지와 같은 친환경적인 녹색산업에 많은 관심과 투자에 집중하고 있다. 연구팀들은 도로를 주행하는 차량으로부터 전달되는 역학전 에너지를 이용하여 신재생에너지를 생산하는 연구를 진행하고 있다. 본 논문에서는 압전세라믹의 크기와 연결방식에 따른 연구 결과를 나타내고 있다. 또한 실험변수에 따른 압전세라믹의 파워특성을 측정하여 분석을 하였다.
차량압력을 이용한 녹색도로 에너지 하베스팅 기초 연구	조병완 외 4인(2009) 대한토목학회	본 연구는 도로에서 차량의 압력으로 발생되는 에너지를 회수하는 에너지 하베스팅 연구를 위해 압전 소자의 크기, 수량, 차량하중, 시간에 따른 측전량에 변수를 두어 실험한 결과를 요약하였고 순수 압전소자에서 발생하는 전류 및 크기, 수량, 외력을 변경하여 전압과 전류를 측정하였다. 에너지 회수 측정결과 및 시간과의 관계, 외부환경에 대한 내구성을 검토 하였다.
압전 하베스팅 모듈과 태양광 모듈의 융합형 에너지 생산 시스템에 관한 연구	강성윤 (2016), 동명대학교 대학원 학위논문	지금 우리 사회의 기술 발달 속도는 점점 가속화되어지고 있으며 기술의 발달은 우리 삶에도 큰 영향을 미치고 있다. 우리는 더욱 더 편안한 삶과 새로운 것을 추구하고 있지만 이러한 기술 발달에 원동력이 되는 에너지원이 미래에는 자원 고갈로 인해 어려워질 것이라는 전망이다. 이에 따라 새로운 대체 에너지에 대한 관심이 커지고 있으며 이렇게 에너지에 대한 관심이 높아짐에 따라 관련된 다양한 기술들 역시 주목받고 있다. 이러한 기술 중 압전 에너지는 다른 그린에너지, 대체 에너지들과는 다르게 노이즈가 없고 긴 수명을 갖고 있으며 정비를 크게 할 필요도 없고 소형화가 가능하다는 이점을 갖고 있어 다양한 기술과 접목을 하여 여러 방면으로 이용될 수 있다. 본 논문에서는 압전 하베스팅 모듈은 기존의 외팔보 형태와 다르게 양쪽을 고정하는 모듈을 택하여 압전소자가 상대적으로 압전소자의 변형율의 변화가 크면 클수록 단위 변위당 발생하는 전하량이 증가 한다는 수식으로 가정을 했다. 기존의 모델에 비해 많은 전력을 얻을 수 있었지만 아직까지 개별 전력생산으로 부하에 사용하기

		는 어려웠다. 압전소자의 이러한 문제점을 극복하기 위해 태양광 발전 시스템과 압전소자를 융합하여 서로의 장단점을 보완해 전력을 생산하는 방법을 실험했다. 지속적으로 압전 하베스팅 모듈이 전력을 생산할 수 있도록 스프링을 이용하는 모듈을 설계 하였다. 지속적으로 움직이거나 진동이 있는 장소 인 도로, 항만부두, 소형선박 등에 설치하여 압전 하베스팅 모듈을 설치하여 24시간 전력을 생산하게 하고 압전소자가 생산하는 부족한 전력을 태양광으로 낮 시간동안 전력을 생산하여 배터리에 저장하여, 매순간이 아닌 필요 시 또는 비상시에 전력을 이용할 수 있도록 가정했다.
도로 환경 모니터링을 위한 차량 유도풍 에너지 변환 시스템	이제윤 외 4인(2009) 한국신재생에너지학회 논문집	도로 환경 모니터링을 위한 센서 노드의 전력원으로 유도풍을 이용한 압전에너지 하베스팅 기술은 기존 재생에너지의 설치 및 작동 조건에 영향을 받지 않고, 도로상에 주오염원인 자동차에서 발생되는 폐에너지를 활용하는 친환경적 에너지 순환시스템을 구현하는 핵심 요소이다. 차량 유도풍에 의해 발생되는 풍압으로 도로 상의 구조물에 진동을 유발한다. 이 때 발생한 진동 에너지는 압전체를 통해 전기 에너지로 변환, 저장할 수 있다. 이렇게 저장된 에너지는 센서의 구동과 무선 데이터 송수신을 위한 센서 노드의 전력원으로 사용함으로써 별도의 전력원이 필요없게 된다. 본 연구에서는 60km/h로 주행하는 한 대의 차량에 의해 2.7m/s의 유도풍이 발생하여 0.6g로 도로 상의 구조물에 에너지를 전달하게 된다. 전달된 에너지가 압전체를 통해 15uJ 전기에너지로 저장된다.
녹색 교량의 전기 방식법 유지관리 시스템의 기초 연구	조병완 외 3인(2013) 한국방재학회	현재 사용되는 교량 강재의 부식 방식은 도장 방식이며, 이는 도막의 구성물이 고분자물질로 이루어져 있기 때문에 그 기능이 감소되거나 상실된다는 문제점 및 교량의 하부 교대 및 교각, 교좌 장치 등의 안전 점검 및 유지관리에 어려움이 있다. 본 논문에서는 압전소자 및 진동발전을 이용한 에너지 회수기술로서 발생된 녹색 에너지를 이용하여 철근 부식, 강합성 교량 및 강교량의 부식에 대해 전기 방식 중 외부 전원법의 활용에 대한 기초 연구를 하였다. 지하철의 경우 도상에서 평균 1km 당 자갈 도상에서 5.76MW・h 5.76MW・h , 콘크리트 도상에서 0.58MW・h 0.58MW・h 의 전력이 발생 되고, 차량의 하중을 이용한 압전 소자로 발생되는 전력은 약 4차선 도로 기준 1km당 약 166kW가 발생된다. 강재 방식 중 외부 전원법의 애노드 강재 보호 반경은 약 2m 이며 6~12 볼트의 직류 전기가 필요로 한다. 본 연구에서는 이러한 녹색 에너지에서 발생되는 전력을 이용하여 외부 전원법

		의 전류 공급을 하여 교량 강재의 부식 방식 및 효율적으로 유지관리 하는 시스템을 제안하였다.
자가발전 압전발판의 개발 및 평가	김창일 외 6인(2009) 한국전기전자재료학회	우리 주변에서 쉽게 얻을 수 있는 에너지를 수확하여 전기에너지로 변환해서 전자기기의 전원으로 사용하고자 하는 에너지 하비스팅의 연구가 활발히 진행중이다. 본 연구에서는 일정장소에 설치된 압전발판을 사람이 보행시 밟았을 때 압전체가 변형되어 전기에너지를 발생시키는 자가발전 압전발판을 제작하였다. 발생된 전기에너지를 육안으로 확인하기 위해 발판 주변에 LED를 설치하여 점등되도록 하였다. 최대의 전기에너지가 발생되도록 압전발판을 제작하고자 디스크형태의 압전체를 아크릴판에 휨이 발하는 지점에서 일정거리를 두어 부착하고 인위적으로 일정 변위가 발생하도록 가진을 하였을 때 발생하는 전압을 비교하였다. 또한 압전체에 동판이 부착된 형태로 동판 두께에 따른 발전특성도 비교하였다. 이를 바탕으로 최대의 발전특성을 나타내는 형태로 제작하여 다수의 압전소자를 밀집시키고 그 위에 판을 대어서 보행시 밟은 부분 외의 압전체에도 하중이 인가되도록 제작하였다. 인도, 도로, 교량 등에 압전발판을 다수 설치하여 전기에너지를 축적하여 센서등의 전원으로 응용성을 검증하였다.
도로용 압전발전발판 설계 및 발전특성 평가	김창일 외 7인(2011) 전기전자재료학회논문지	본 연구에서는 압전체를 이용하여 차량진동에 의한 자가발전장치를 설계하여 차량속도에 따른 발전 특성을 조사한 것이며 압전 캔틸레버 1기를 1회 누름에 따라 0.355mW의 전력을 수확하였으며 압전체의 구조는 스프링 상수값이 클수록 발전량이 크게 나오는 결과를 보였다. 차량 속도가 증가함에 따라 발전량도 증가했으며, 차량속도 30km/h 차량의 조수석 쪽 앞, 뒤 바퀴로 1회 밟을 경우 20.6mW의 발전량을 수확하는 결과를 얻었다.

3. 특허 분석

가. 분석개요

○ 분석목적

- 압전하베스터를 이용한 메가와트급 에너지 자립형 도로기술을 개발함에 있어, 도로용 압전 하베스터 모듈, 에너지 저장 모듈, 압전 하베스팅 도로의 적용 가능 분야 및 압전 하베스팅을 위한 도로 시스템 기술에 대하여 특허동향 분석을 실시함
- 이를 통하여 국제 특허현황 및 국가별 기술수준, 선진기업의 연구개발 동향, 핵심기술에 대한 분석 등을 도출하여, 전략적인 연구개발 계획 수립에 활용할 수 있도록 함으로써, 중복연구를 방지하고, 본 연구개발과제 수행의 타당성에 대한 객관적인 특허정보를 제공하기 위함

○ 분석대상

- 본 분석에서는 연구성과의 파급효과 및 연구의 필요성을 고려하여 선택된 1개의 대분류 아래 4개의 중분류와 7개의 소분류 기술 분야에 대해, ~2016년 11월까지 출원공개 된 한국, 일본, 유럽 및 미국 공개특허와 ~2016년 11월까지 출원등록 된 미국등록특허를 분석 대상으로 함

<검색 DB 및 검색범위>

자료 구분	국 가	검색 DB	검색구간	검색범위
공개.등록특허 (공개.등록일 기준)	한국특허 (KIPO)	WIPS	~ 2016.11.	특허공개 및 등록 전체문헌
	미국특허 (USPTO)	WIPS		
	일본특허 (JPO)	WIPS		
	중국특허 (CPO)	WIPS		
	유럽특허 (EPO, 19개국 특허청)	WIPS		

○ 분석방법

- 특허검색 DB로는 KIPRIS와 WIPS의 이용하였으며, 연도를 제한하지 않아 최근에 공개 또는 등록된 특허로서 DB에 업데이트된 특허는 모두 대상이 됨

<분석대상 기술분류 기준>

대분류	중분류	소분류	검색개요 (기술범위)
압전하베스터를 이용한 메가와트급 에너지 자립형 도로기술 개발 (A)	도로용 압전 하베스터 모듈 (AA)	에너지 획득 모듈 (AAA)	도로용 압전 하베스터 모듈에서 특히, 진동 에너지를 획득하는 모듈 관련 기술 개발
		에너지 변환 모듈 (AAB)	도로용에 국한하지 않고 압전 하베스터 분야에서 진동 에너지를 전기 에너지로 변환하는 회로 등의 관련 기술 개발
	에너지 저장 모듈 (AB)	에너지 저장 모듈 (ABA)	도로용에 국한하지 않고 압전 하베스터 분야에서 변환(획득)된 에너지를 저장하는 모듈 및 장치 관련 기술 개발
	압전 하베스팅 도로의 적용 가능 분야 (AC)	도로 물리적 지형정보 제공 (ACA)	압전 하베스팅을 이용하여 도로의 차선 등의 물리적 정보 제공에 활용되는 기술 개발
		도로 상태/환경 정보 제공 (ACB)	압전 하베스팅을 이용하여 도로의 결빙이나 교통 상황 등의 도로 상태/환경 정보 제공에 활용되는 기술 개발
		미래형 스마트 도로 (자율주행/IoT 등) (ACC)	압전 하베스팅을 이용하여 자율주행 등 미래형 스마트 도로 구축 관련 분야에 활용되는 기술 개발
	압전 하베스팅을 위한 도로 시스템 (AD)	압전 하베스팅의 도로 적용을 위한 도로 소재 및 구조 (ADA)	압전 하베스팅의 도로 적용을 위한 도로 소재나 포장구조 등 도로시스템 관련 기술 개발

- 검색어로 국내특허는 청구항1항이나 초록을 대상으로 "압전 AND 도로"를 검색어로 선별하였으며, 국외특허(US, EP, PAJ)는 청구항1항이나 초록에 "PIEZO* AND ROAD"를 검색어로 선별한 결과 국내특허 85건과 국외특허 26건이 검색되었고, 노이즈 제거 작업 결과 분석대상으로 국내특허 14건과 국외특허 5건이 선정됨

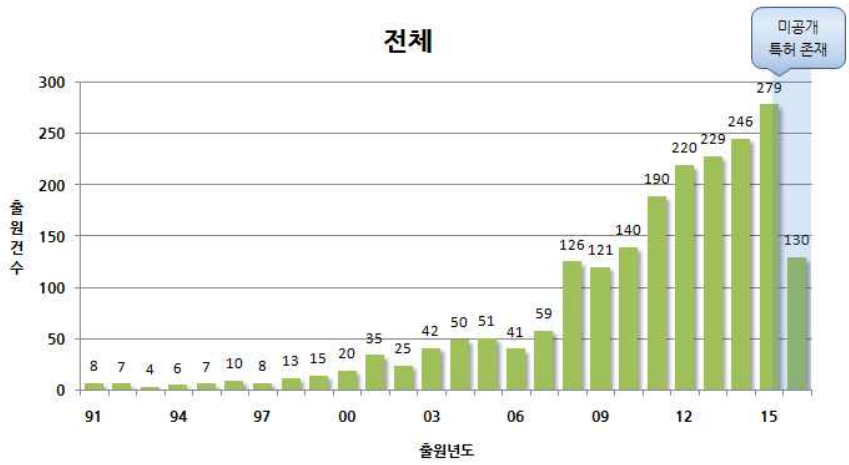
<분석대상 유효특허 선별결과>

대분류	중분류	소분류	유효데이터 건수					
			한국 KIPO	미국 USPTO	일본 JPO	중국 CPO	유럽* EPO	계
압전하베스터를 이용한 메가와트급 에너지 자립형 도로기술 개발 (A)	도로용 압전 하베스터 모듈 (AA)	에너지 획득 모듈 (AAA)	59	18	41	63	7	188
		에너지 변환 모듈 (AAB)	46	64	53	150	12	325
	소 계		105	82	94	213	19	513
	에너지 저장 모듈 (AB)	에너지 저장 모듈 (ABA)	190	227	211	632	42	1,302
	소 계		190	227	211	632	42	1,302
	압전 하베스팅 도로의 적용 가능 분야 (AC)	도로 물리적 지형정보 제공 (ACA)	11	0	2	23	1	37
		도로 상태/환경 정보 제공 (ACB)	32	4	8	26	4	74
		미래형 스마트 도로 (자율주행/IoT 등) (ACC)	17	1	0	10	0	28
	소 계		60	5	10	59	5	139
	압전 하베스팅을 위한 도로 시스템 (AD)	압전 하베스팅의 도로 적용을 위한 도로 소재 및 구조 (ADA)	28	3	23	75	4	133
	소 계		28	3	23	75	4	133
총 계			383	317	338	979	70	2,087

나. 전체 Landscape 동향분석

(1) 연도별 전체동향

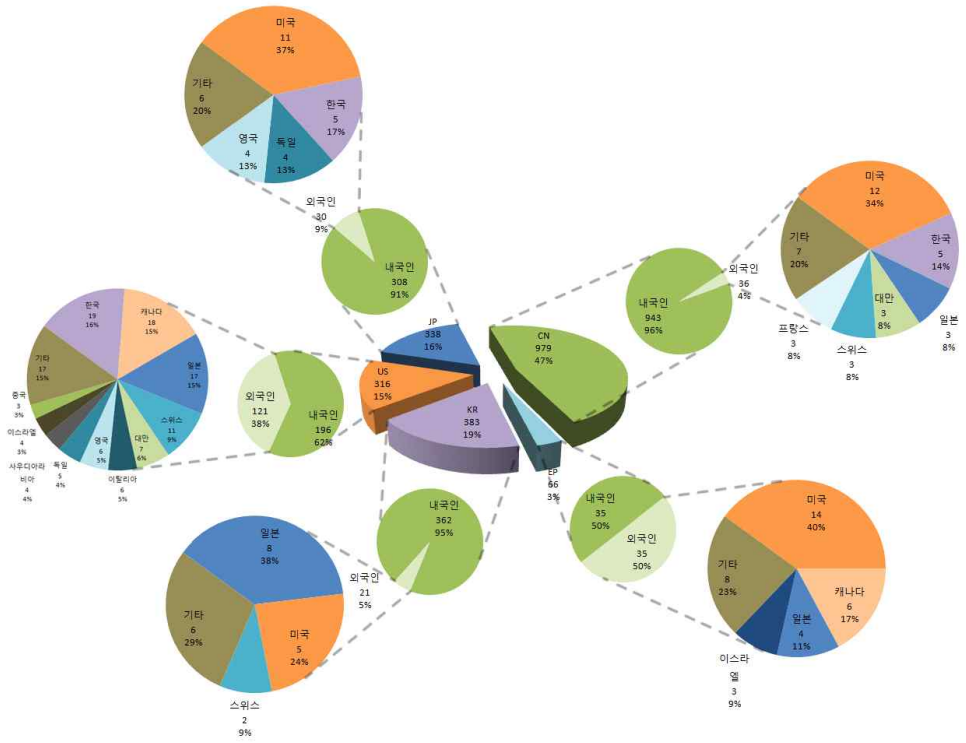
○ 압전하베스터를 이용한 메가와트급 에너지 자립형 도로기술개발 분야의 연도별 전체 특허동향을 살펴보면, 거시적인 관점에서 2000년대 초반부터 관련 출원이 증가하기 시작하다가 '08년 세계금융위기로 잠시 주춤한 이후 다시 2000년대 후반부터 비약적인 출원 증가세를 보이고 있으며, 현재까지 특허출원이 꾸준히 이루어져 오고 있는 것으로 나타남



<연도별 특허동향>

(2) 주요시장국 내・외국인 특허출원현황

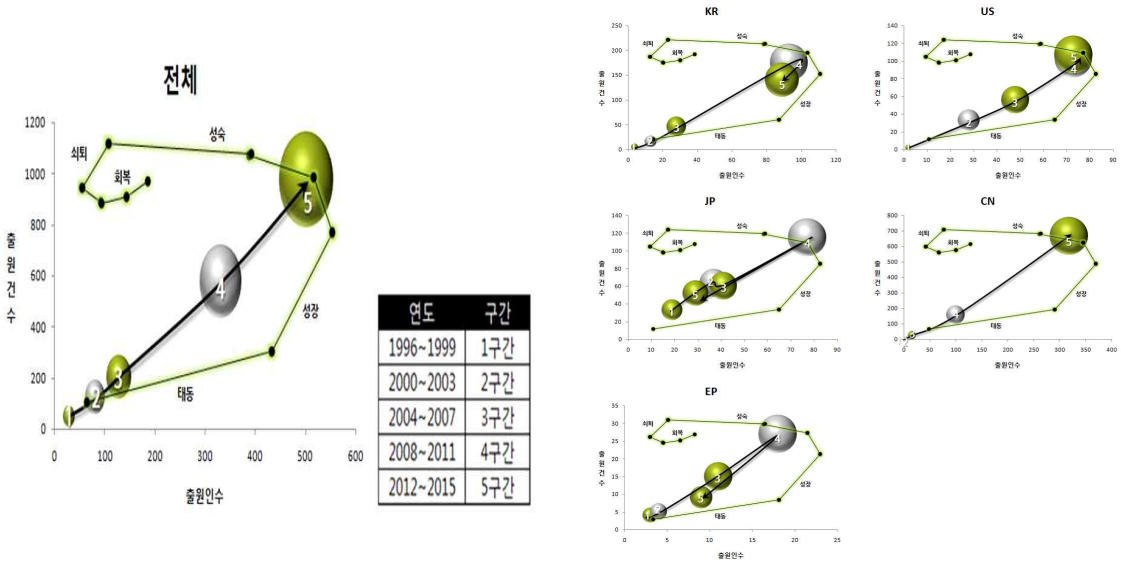
○ 압전하베스터를 이용한 메가와트급 에너지 자립형 도로기술개발 분야의 국가별/출원인 국적별 특허동향을 살펴보면, 중국에서의 출원이 전체 분석대상 국가 출원 규모의 약 47% 정도를 차지하는 것으로 나타나, 압전하베스터를 이용한 메가와트급 에너지 자립형 도로기술개발 분야의 연구개발은 최근 출원이 비약적으로 증가하고 있는 중국에서 주도되고 있는 것으로 보이며, 그 뒤를 한국(19%)> 일본(16%)> 미국(15%) 순으로 나타남



<주요시장국 내·외국인 특허출원현황>

(3) 기술시장 성장단계

○ 포트폴리오로 나타낸 전체특허의 기술 위치는 전체적으로 1구간(1996년~1999년)부터 5구간(2012년~2015년)까지 출원 건수와 출원인의 수가 계속 증가하는 성장기의 단계에 있으며, 특히 3구간(2004년~2007년)부터 5구간(2012년~2015년)까지 출원 건수 및 출원인 수가 크게 증가하고 있어 최근들어 급격한 기술 개발이 이루어진 것으로 분석됨



연도	구간
1996~1999	1구간
2000~2003	2구간
2004~2007	3구간
2008~2011	4구간
2012~2015	5구간

<기술시장 성장단계>

(4) 주요 경쟁자 현황 및 최근 신규 시장 진입자 현황

○ 압전하베스터를 이용한 메가와트급 에너지 자립형 도로기술개발 분야의 주요 출원인 Top20을 추출한 결과, 중국의 CHANG'AN UNIVERSITY(CN)가 33건으로 전체 다출원인 1위로 나타났으며, 그 뒤를 SEIKO EPSON(JP)(28건) > BEIJING INSTITUTE OF GRAPHIC COMMUNICATION(CN)(26건) > 진우소프트이노베이션(KR)(22건) > ZHEJIANG UNIVERSITY(CN)(20건) > JILIN UNIVERSITY(CN)(20건) > RAILWAY TECHNICAL RESEARCH INSTITUTE(JP)(19건) > TSINGHUA UNIVERSITY(CN)(16건) > RESEARCH IN MOTION(CA)(15건) > 한국건설기술연구원(KR)(13건) 순

<주요 경쟁자 Landscape>

분석 항목 / 출원인	출원인 국적	주요 IP시장국(건수,%)							주력 기술 분야[1]
		합계	한국 KIPO	미국 USPTO	일본 JPO	중국 CPO	유럽 EPO	IP시장국 종합	
CHANG'AN UNIVERSITY	중국	33	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	33 (100%)	0 (0.0%)	중국	ADA
SEIKO EPSON CORP	일본	28	0 (0.0%)	2 (7.1%)	26 (92.8%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	일본	ABA
BEIJING INSTITUTE OF GRAPHIC COMMUNICATION	중국	26	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	26 (100%)	0 (0.0%)	중국	ABA
(주)진우소프트이노베이션	한국	22	22 (100%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	한국	ABA
ZHEJIANG UNIVERSITY	중국	20	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	20 (100%)	0 (0.0%)	중국	ABA
JILIN UNIVERSITY	중국	20	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	20 (100%)	0 (0.0%)	중국	ADA
RAILWAY TECHNICAL RESEARCH INSTITUTE	일본	19	0 (0.0%)	0 (0.0%)	19 (100%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	일본	AAA
TSINGHUA UNIVERSITY	중국	16	8 (100%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	16 (100%)	0 (0.0%)	중국	ABA
RESEARCH IN MOTION LIMITED	캐나다	15	0 (0.0%)	10 (100%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	미국	ABA
한국건설기술연구원	한국	13	13 (100%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	한국	ACB
SUZHOU VOCATIONAL UNIVERSITY	중국	13	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	13 (100%)	0 (0.0%)	중국	AAA
한국유지관리 주식회사	한국	13	13 (100%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	한국	ADA
USC CORP	일본	13	0 (0.0%)	0 (0.0%)	13 (100%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	일본	ABA
PANASONIC CORP	일본	13	0 (0.0%)	2 (15.3%)	10 (76.9%)	0 (0.0%)	1 (7.6%)	일본	ABA
ZHEJIANG NORMAL UNIVERSITY	중국	12	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	12 (100%)	0 (0.0%)	중국	ABA
Wuhan University of Technology	중국	12	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	12 (100%)	0 (0.0%)	중국	ABA
한양대학교 산학협력단	한국	11	11 (100%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	한국	AAA
Colgate Palmolive Co.	미국	11	2 (18.1%)	4 (25.0%)	0 (0.0%)	2 (18.1%)	3 (27.2%)	미국	ABA
Michelin Recherche et Technique S.A.	유럽	11	1 (9.0%)	7 (63.6%)	0 (0.0%)	2 (18.1%)	1 (9.0%)	미국	ABA
YANGZHOU UNIVERSITY	중국	10	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	10 (100%)	0 (0.0%)	중국	AAB

<주요 IP시장국에서의 신규 시장 진입자(잠재적 경쟁자) ('12~'16)>

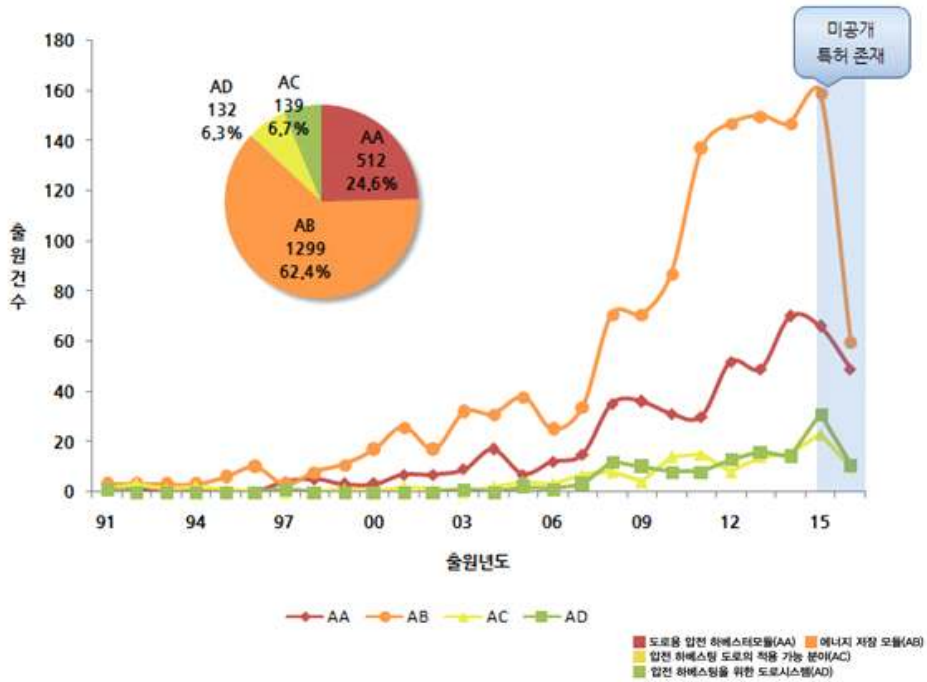
<주요 IP시장국에서의 신규 시장 진입자(잠재적 경쟁자) ('12~'16)>

한국(KIPO)		미국(USPTO)		일본(JPO)		중국(CPO)	
출원인명	건수	출원인명	건수	출원인명	건수	출원인명	건수
한양대학교	10	uBeam	5	HONDA KENJI	7	CHANG'AN UNIV.	32
진우소프트이노베이션	7	STMICRO ELEC.	4	TRYFORCE	6	BEIJING INS. OF	26
한국철도기술연구원	7		4	SEIKO EPSON	5	GRAPHIC COMMUN.	
(주)에이엠씨에너지	4	TEXAS INSTRUMENTS	4	SEDO KAZUTO	3	ZHEJIANG UNIV.	20
한국건설기술연구원	4	Drexel Univ.	3	RAILWAY TECH.	3	JILIN UNIV.	19
						TSINGHUA UNIV.	14
		RESEARCH IN MOTION					

다. 세부 기술별 특허동향

(1)세부 기술별 전체 동향

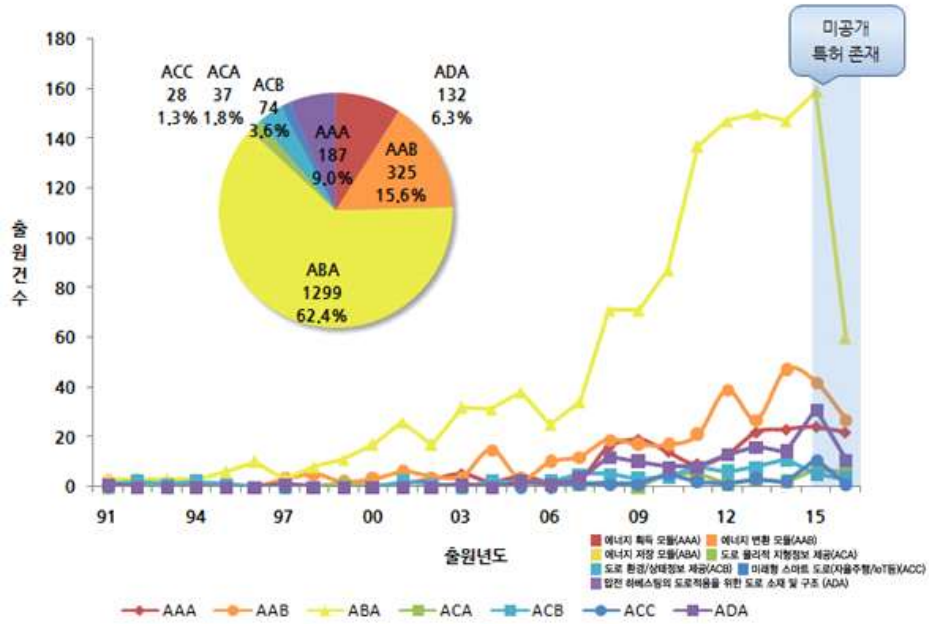
○ 출원 점유율에서 에너지 저장모듈(AB) 분야가 가장 높은 62.4%의 점유율을 나타내고 있으며, 그 뒤를 도로용 압전 하베스터 모듈(AA)(24.6%)> 압전 하베스팅 도로 적용가능 분야(AC)(6.7%)> 압전 하베스팅을 위한 도로시스템(AD)(6.3%) 순으로 출원 점유율을 보이고 있어, 실질적으로 압전 하베스팅으로 생산(변환)된 전력을 저장하는 에너지 저장모듈 분야에 가장 많은 연구개발이 이루어지고 있는 것으로 분석됨



<세부기술(중분류)별 점유율 및 연도별 출원동향>

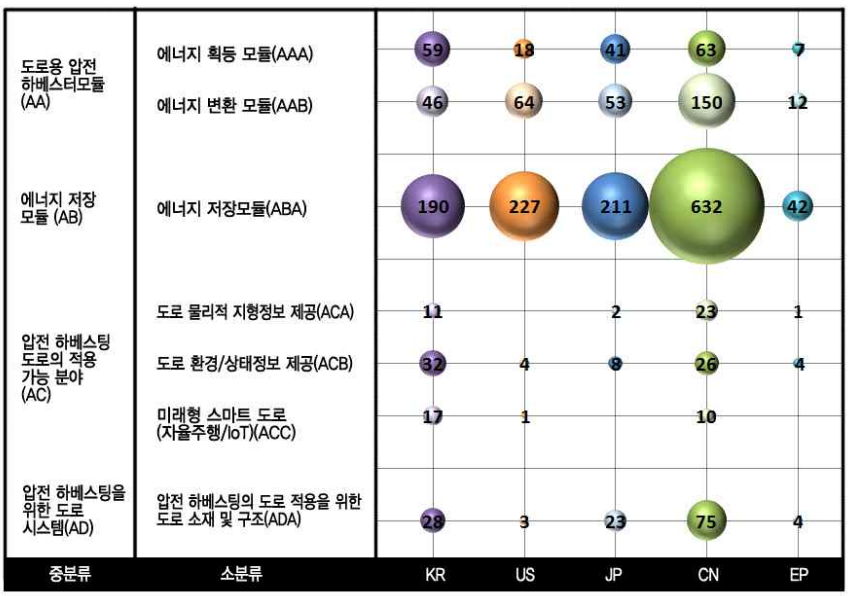
○ 출원 점유율에서 에너지 저장모듈(ABA) 분야가 가장 높은 62.4%의 점유율을 나타내고 있으며, 그 뒤를 에너지 변환모듈(AAB)(15.6%) > 에너지 획득모듈(AAA)(9.0%) > 압전 하베스터의 도로 적용을 위한 도로 소재 및 구조

(ADA)(6.3%) > 도로 환경/상태 정보 제공(ACB)(3.6%) > 도로 물리적 지형정보 제공(ACA)(1.8%) > 미래형 스마트 도로(ACC)(1.3%) 순으로 출원 점유율을 보이고 있어, 실질적으로 압전 하베스터 모듈(에너지 획득/변환/저장) 분야에 가장 많은 연구개발이 이루어지고 있음



<세부기술(소분류)별 점유율 및 연도별 출원동향>

(2)세부 기술별 시장 점유율



<세부기술별 시장 점유율>

(3) 주요 출원인 동향

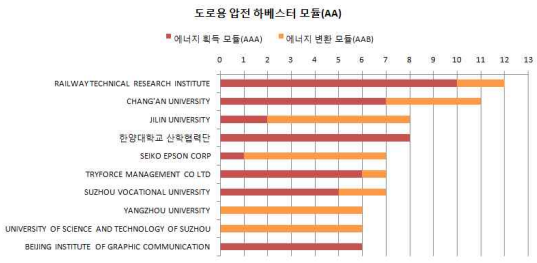
① 세부 기술별 주요 출원인

○ 도로용 압전 하베스터 모듈(AA) 분야의 주요 출원인은, RAILWAY TECHNICAL RESEARCH(JP), CHANG'AN UNIV.(CN), JILIN UNIV.(CN), 한양대학교 산학협력단(KR), SEIKO EPSON(JP) 등으로, 이 중 RAILWAY TECHNICAL RESEARCH(JP), CHANG'AN UNIV.(CN), 한양대학교 산학협력단(KR)은 에너지 획득 모듈(AAA) 분야에 특허출원이 집중되고 있는 반면, JILIN UNIV.(CN), SEIKO EPSON(JP)은 에너지 변환 모듈(AAB) 분야에 특허출원이 집중되고 있음

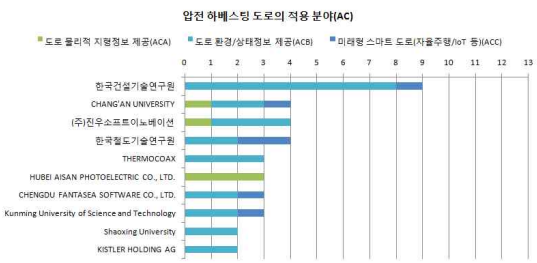
○ 에너지 저장 모듈(AB) 분야의 주요 출원인은, SEIKO EPSON(JP), USC CO.(JP), Michelin Recherche(EP), BEIJING INSTITUTE OF GRAPHIC COMMUNICATION(CN), Wuhan UNIV.(CN) 등으로, 도로 분야가 아닌 일반적인 에너지 하베스팅 분야에서 활용되는 에너지 저장 관련 분야의 특허를 다수 보유하고 있음

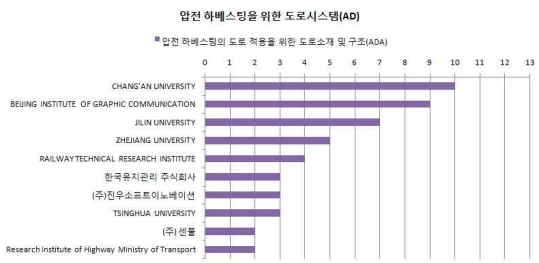
○ 압전 하베스팅 도로 적용 분야(AC)의 주요 출원인은, 한국건설기술연구원(KR), CHANG'AN UNIV.(CN), (주)진우소프트이노베이션(KR), 한국철도기술연구원(KR) 등으로, 이들은 모두 도로 환경/상태 정보 제공(ACB)에 관한 특허출원을 보유하고 있고 그 외, 한국건설기술연구원(KR)과 한국철도기술연구원(KR)은 미래형 스마트 도로(ACC) 분야에, CHANG'AN UNIV.(CN), (주)진우소프트이노베이션(KR)은 도로 물리적 지형정보 제공(ACA)분야에도 출원이 이루어지고 있음

○ 압전 하베스팅의 도로 적용을 위한 도로 시스템(AD) 분야의 주요 출원인은, CHANG'AN UNIV.(CN), BEIJING INSTITUTE OF GRAPHIC COMMUNICATION(CN), JILIN UNIV.(CN), ZHEJIANG UNIV.(CN), RAILWAY TECHNICAL RESEARCH(JP) 등으로, 주로 압전 하베스팅의 도로 적용을 위한 구조 관련 분야의 특허를 다수 보유하고 있음









② 주요 시장국 주요 출원인 형황

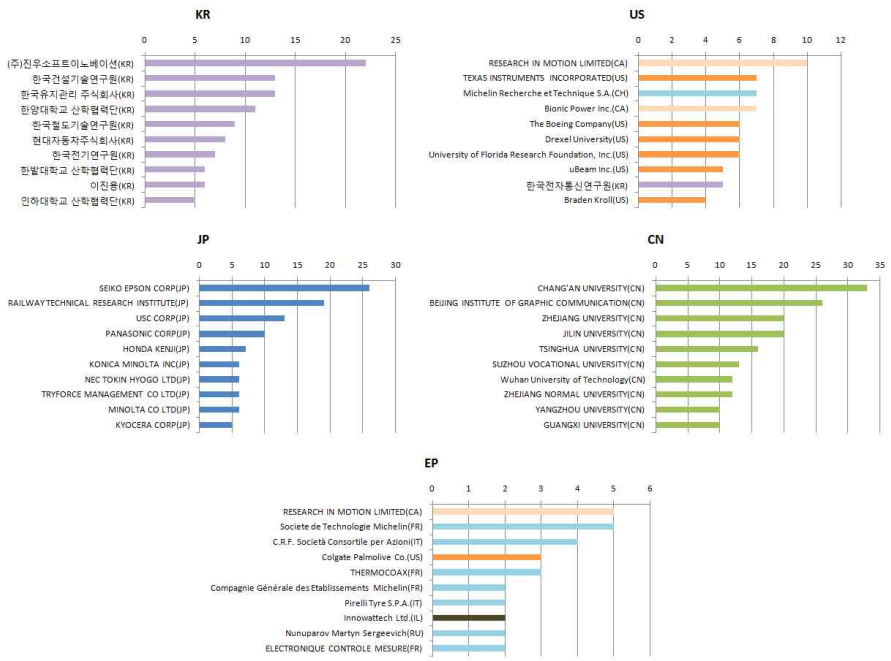
○ 한국의 경우, 가장 많은 출원을 보유한 출원인은 (주)진우소프트이노베이션(KR)로 총 22건의 출원을 보유하고 있으며, 그 뒤를 한국건설기술연구원(KR)(13건) > 한국유지관리 주식회사(KR)(13건) > 한양대학교 산학협력단(KR)(11건) > 한국철도기술연구원(KR)(9건)

○ [USPTO] 미국의 경우, 가장 많은 출원을 보유한 출원인은 RESEARCH IN MOTION LIMITED(CA)로 총 10건의 출원을 보유하고 있으며, 그 뒤를 TEXAS INSTRUMENTS(US)(7건) > Michelin Recherche(EP)(7건) > Bionic Power(CA)(7건) 순

○ [JPO] 일본의 경우, 가장 많은 출원을 보유한 출원인은 SEIKO EPSON(JP)로 총 26건의 출원을 보유하고 있으며, 그 뒤를 RAILWAY TECHNICAL RESEARCH(JP)(19건) > USC CO.(JP)(13건) > PANASONIC CO.(JP)(10건) > HONDA KENJI(JP)(7건) 순

○ [CPO] 중국의 경우, 가장 많은 출원을 보유한 출원인은 CHANG'AN UNIV.(CN)로 총 33건의 출원을 보유하고 있으며, 그 뒤를 BEIJING INSTITUTE OF GRAPHIC COMMUNICATION(CN)(26건) > ZHEJIANG UNIV.(CN)(20건) > JILIN UNIV.(CN)(20건) > TSINGHUA UNIV.(CN)(16건) 순

○ [EPO] 유럽의 경우, 가장 많은 출원을 보유한 출원인은 RESEARCH IN MOTION LIMITED(CA)로 총 5건의 출원을 보유하고 있으며, 특히 도로 분야에 압전 하베스팅 제품을 선도적으로 도입 ,운영한 적이 있는 이스라엘의 Innowattech(IL)이 2건의 출원을 보유하고 있음



라. 주요 권리 분석

○ 분석대상

- 해당 기술분야는 도로에서 압전소자를 이용하는 다양한 특허기술을 검색하기 위해 검색어를 최대한 확대하여 적용

○ 분석방법

- 특허검색 DB로는 KIPRIS와 WIPS의 이용하였으며, 연도를 제한하지 않아 최근에 공개 또는 등록된 특허로서 DB에 업데이트된 특허는 모두 대상이 됨
- 검색어로 국내특허는 청구항1항이나 초록을 대상으로 "압전 AND 도로"를 검색어로 선별하였으며, 국외특허(US, EP, PAJ)는 청구항1항이나 초록에 "PIEZO* AND ROAD"를 검색어로 선별한 결과 국내특허 85건과 국외특허 26건이 검색되었고, 노이즈 제거 작업 결과 분석대상으로 국내특허 14건과 국외특허 5건이 선정됨

<국내 관련 특허목록>

1	명칭	압력에 의한 미세 자가발전의 효율증대 패키징 구조 및 이를 이용한 결빙감지 장치				
	출원인	카이센	출원번호	10-2008-33498	법적상태	공개
2	명칭	자가 발전 장치를 이용한 도로환경 모니터링 시스템 및 방법				
	출원인	진우소프트이노	출원번호	10-2008-86663	법적상태	공개
3	명칭	자가발전장치를 이용한 도로 LED 점등시스템 및 방법				
	출원인	진우소프트이노	출원번호	10-2008-86662	법적상태	공개
4	명칭	압전소자를 구비하는 전력공급장치				
	출원인	진우소프트이노	출원번호	10-2008-86661	법적상태	거절
5	명칭	압전 및 루프감지기를 이용한 교통정보 검출시스템				
	출원인	한국건설기술연	출원번호	10-2001-741	법적상태	등록
6	명칭	자가발전형 도로관리시스템				
	출원인	한밭대 산학협력	출원번호	10-2007-53089	법적상태	거절
7	명칭	압전소자를 이용한 교통표시기의 전원공급장치				
	출원인	김조천	출원번호	10-1999-12679	법적상태	등록
8	명칭	노면가열장치				
	출원인	드림이엔지	출원번호	10-2008-116483	법적상태	공개
9	명칭	자가발전이 가능한 도로용 프리캐스트 패널				

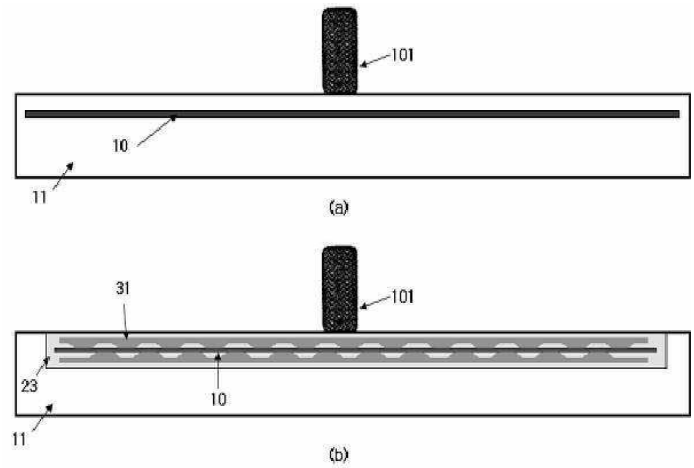
	출원인	한국유지관리	출원번호	10-2008-47000	법적상태	등록
10	명칭	안전가이드 장치				
	출원인	현대건설	출원번호	10-2008-107917	법적상태	공개
11	명칭	노면결빙 방지장치				
	출원인	한국기계연구원	출원번호	10-2007-103737	법적상태	등록
12	명칭	압전검지기 및 이를 이용한 교통정보 수집시스템				
	출원인	한국산업기술평가원	출원번호	10-2004-11219	법적상태	등록
13	명칭	진동형 압전막을 이용한 도로 매설식 에너지 하비스터				
	출원인	한양대학교 산학	출원번호	10-2009-24036	법적상태	등록
14	명칭	전력생성장치와 그 방법 및 상기 전력생성장치를 구비하는 센싱장치				
	출원인	광주과학기술원	출원번호	10-2008-112111	법적상태	공개

<국외 관련 특허목록>

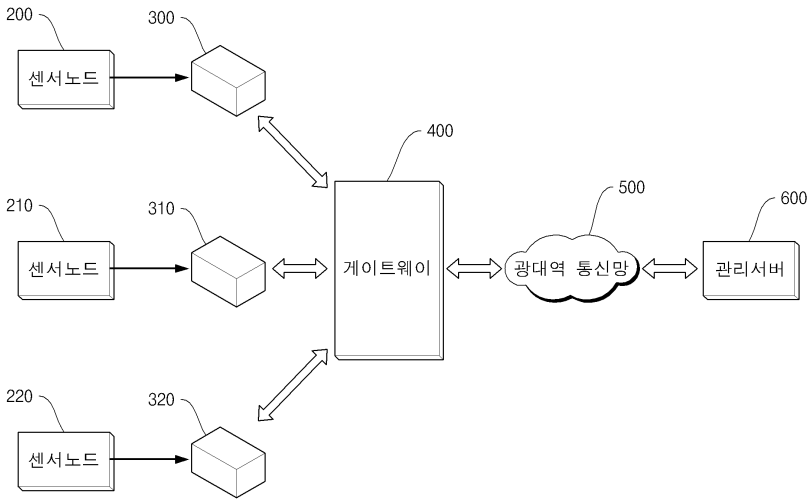
1	명칭	Traffic measurement equipment (US, EP)				
	출원인	Gebert 외	번호	US 5,008,666	법적상태	등록
2	명칭	Force sensor systems especially for determining dynamically the axle load, speed, wheelbase and gross weight of vehicles				
	출원인	Kistler instrumente AG	번호	US 5,265,481	법적상태	등록
3	명칭	Process and apparatus for measuring the dynamic loads applied to a highway by the road traffic (US)				
	출원인	Laboratoire Central Des Ponts Et Chaussees	번호	US 4,712,423	법적상태	등록
4	명칭	RUNNIG CONDITION DETECTOR FOR AUTOMOBILE (JP)				
	출원인	DAIKIN INT LTD	번호	1991099272	법적상태	공개
5	명칭	ROAD DISPLAY DEVICE				
	출원인	NEC ENG LTD	번호	1992068499	법적상태	공개

○ 주요특허 권리 분석

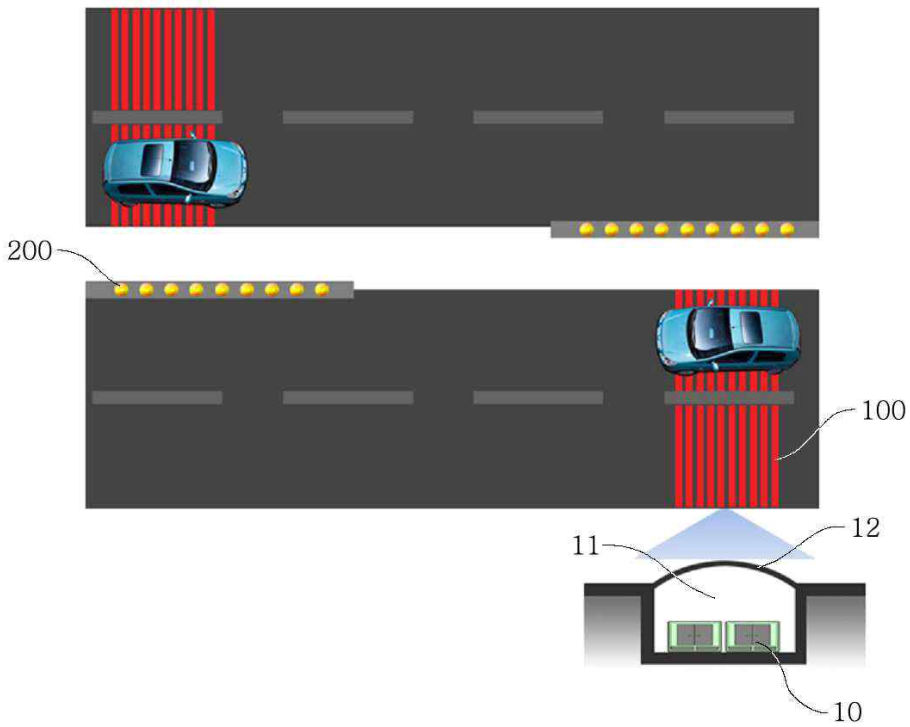
- 한국 10-2008-33498

발명의 명칭	압력에 의한 미세 자가발전의 효율증대 패키징 구조 및이를 이용한 결빙 감지 장치		
출원인	카이센	출원번호	10-2008-33498
출원일	2008-04-11	법적상태	공개(o), 등록( ), 거절( )
중요도	향후 발명시 참고할만한 자료이나 중요특허로 보기는 어려움		
청구항	도로 등에 설치되어 가해지는 외부 외부압력과 압전소자를 이용하여 내구성이 향상된 미세 자가발전 패키징 구조로서, 압전소자를 원형으로 감을 수 있도록 바(bar) 역할을 하며, 외부 압력에 의하여 압전소자가 눌려서 미세 발전(Micro Energy Harvesting)이 가능하도록 하는 원형 중심봉(21)과; 원형 중심봉에 스프링과 같이 나선형으로 감겨져 외부 압력에 의하여 미세 발전이 되는 압전소자(20)와; 나선형으로 감져진 압전소자 외부에 비닐, 박판 알루미늄 등과 같이 감져져 압전소자와 패키징 외장재를 분리시키는 역할을 하는 얇은 박리층(22)과; 고무, 폴리우레탄 등으로 상기 압전소자를 외부 자극으로부터 보호하고, 외부 압력을 압전소자로 전달하는 역할을 수행하는 패키징 외장재(23)로 구성됨을 특징으로 하는 내구성이 향상된 압전소자를 이용한 미세 자가발전 패키징 구조		
대표도면			
분석결과 종합	- 본 발명은 압전소자를 이용하여 미세 자가발전 패키징 구조와 패키징 구조를 이용하여 결빙감지를 하는 장치에 관한 발명임 - 자가발전 패키징 구조에 대해 원형 중심봉, 박리층 등의 구성이나 변형률유도체, 외장재 구성 등 다양한 변형된 형태의 패키징 구조를 청구하고 있으나, 청구항을 이루는 구성요소가 극히 한정적으로 기술되어 향후 권리적 충돌가능성은 낮은편임 - 현재는 공개된 상태이며, 2010.4월에 심사청구 되었음		

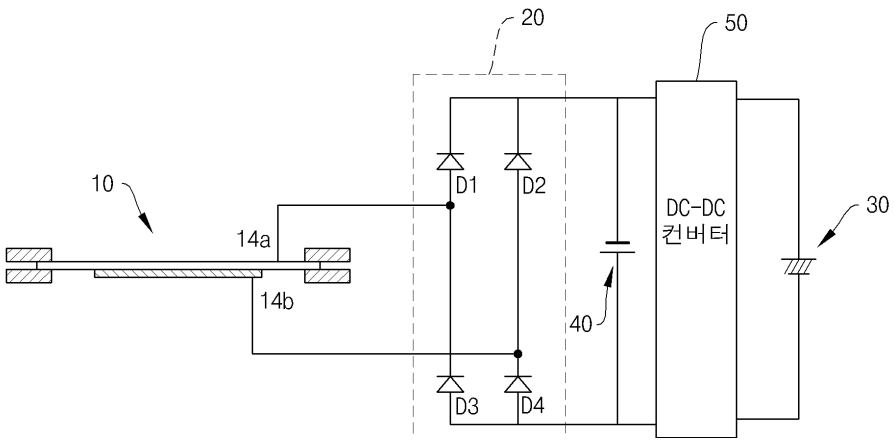
- 한국공개 10-2008-86663

발명의 명칭	압력에 의한 미세 자가발전의 효율증대 패키징 구조 및 이를 이용한 결빙감지 장치		
출원인	진우소프트이노베이션/제주대산학	출원번호	10-2008-86663
출원일	2008-09-03	법적상태	공개(o), 등록( ), 거절( )
중요도	향후 발명시 참고할만한 자료임		
청구항	도로 상에 설치되어 있어, 도로가 진동함에 따라 도로상에 설치되어 있는 압전 소자에 의해 발생되는 교류 전압을 정류부를 거쳐 직류 전압으로 바꾸어 축전 수단에 충전시키는 자가 발전 장치와; 도로상의 차량 인식정보 또는 도로 주변의 환경정보를 실시간으로 감지하여 센싱값을 생성하 센서와 통신 모듈로 구성되는 센서 노드와; 센서 노드의 집합으로 이루어진 센서 필드와; 센서 필드에서 수집된 센싱값을 전송 받는 싱크 노드와; 상기 싱크 노드로부터 전송된 센싱값을 라우팅하여 광대역 통신망으로 전송하는 게이트웨이와; 상기 게이트웨이를 통해 광대역 통신망으로 전송된 센싱값을 전달받는 관리서버로 구성되는 것을 특징으로 하는 자가 발전 장치를 이용한 도로 환경 모니터링 시스템.		
대표도면			
분석결과 종합	- 본 발명은 압전소자를 이용하여 미세 자가발전 패키징 구조와 패키징 구조를 이용하여 결빙감지를 하는 장치에 관한 발명임 - 자가발전 패키징 구조에 대해 원형 중심봉, 박리층 등의 구성이나 변형률유도체, 외장재 구성 등 다양한 변형된 형태의 패키징 구조를 청구하고 있으나, 청구항을 이루는 구성요소가 극히 한정적으로 기술되어 향후 권리적 충돌가능성은 낮은편임 - 현재는 공개된 상태이며, 2010.4월에 심사청구 되었음		

- 한국공개 10-2008-86662

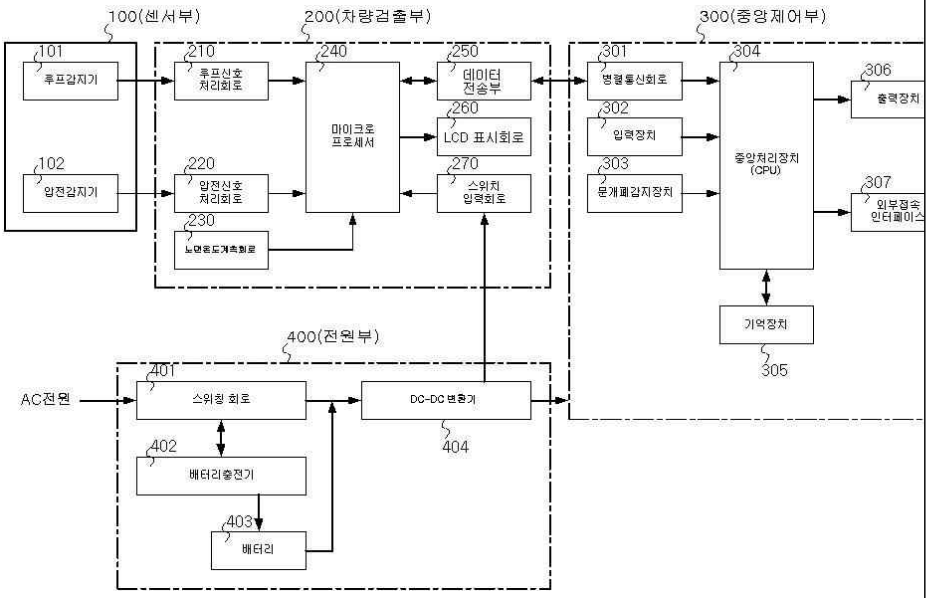
발명의 명칭	자가 발전 장치를 이용한 도로 ＬＥＤ 점등 시스템 및 방법		
출원인	진우소프트이노베이션/제주대산학	출원번호	10-2008-86662
출원일	2008-09-03	법적상태	공개(o), 등록( ), 거절( )
중요도	향후 발명시 참고할만한 자료임		
청구항	도로 상에 설치되어 있어, 도로가 진동함에 따라 도로상에 설치되어 있는 압전 소자에 의해 발생되는 교류 전압을 정류부를 거쳐 직류 전압으로 바꾸어 축전 수단에 충전시키는 자가 발전 장치와; 도로 환경을 감지하여 감지신호를 생성하는 감지센서와; 도로 상에 위치하는 1개 이상의 LED와; 상기 자가발전장치로부터 전원을 공급받아 상기 감지센서와 LED에 전원을 공급하여 이들을 동작시키며, 상기 감지센서로부터 전달받은 감지신호를 설정 상태에 따라 LED를 점등 혹은 소등시키는 LED 콘트롤러를 포함하여 구성하고 있는 것을 특징으로 하는 자가 발전 장치를 이용한 도로 LED 점등 시스템		
대표도면			
분석결과 종합	- 본 발명은 조도 또는 안개 등의 감지센서와 압전소자에 의한 발전/축전 장치와 조명장치(LED)로 구성되어 있음 - 차량의 진동에 의한 기계적 에너지를 압전소자를 이용하여 조명장치의 전원으로 활용하는 목적 및 구성에 있어 일반적인 형태를 가지고 있음		

- 한국공개 10-2008-86661

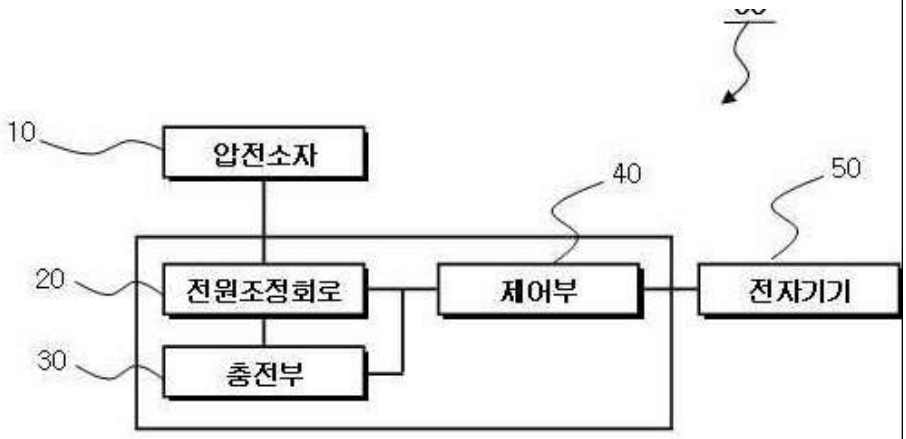
발명의 명칭	압전 소자를 구비하는 전력 공급 장치		
출원인	진우소프트이노베이션/제주대산학	출원번호	10-2008-86661
출원일	2008-09-03	법적상태	공개( ), 등록( ), 거절(o)
중요도	향후 발명과정에서 참고할 만한 특허임		
청구항	도로 상에 설치되어 도로의 진동에 따라 교류 전압을 발생하는 압전 소자; 상기 교류 전압이 입력되는 정류부; 및 상기 정류부로부터 출력되는 직류 전압에 의해 충전되는 축전 수단을 포함하는 전력 공급 장치.		
대표도면			
분석결과 종합	- 압전소자를 이용하여 도로의 진동에 따른 운동에너지를 전기에너지로 변환하는 장치에 관한 것으로 청구범위가 너무 넓게 작성되었고 변형이 가능한 부가적인 구성요소가 가지고 있지 않아 특허를 받지 못함 - 압전소자의 구성이나 배열(구조)에서 특징을 가질 수 있도록 권리범위를 작성할 필요가 있으며, 전력변환에 초점을 둔 발명은 특이성을 가지기 곤란할 것으로 판단되므로 향후 특허출원시 고려해야 할 사항임 - 본 건은 거절 결정됨		

- 한국공개 10-2001-741

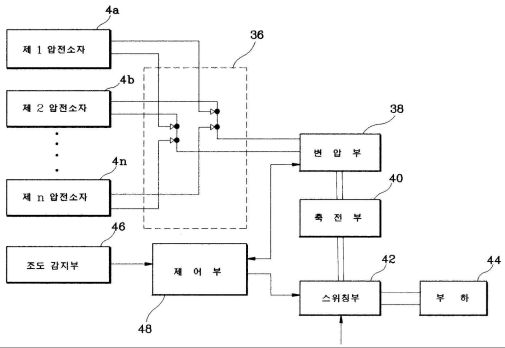
발명의 명칭	압전 및 루프감지기를 이용한 교통정보 검출시스템		
출원인	한국건설기술연구원	출원번호	10-2001-741
출원일	2001-01-06	법적상태	공개( ), 등록(o), 거절( )
중요도	발명하고자 하는 부분과 목적 및 구성이 상이함		
청구항	도로상에 설치되며, 감지기(sensor)의 조합으로 구성되는 다수개의 센서부(100); 상기 센서부(100)에 연결되며, 통과차량의 데이터를 검출하고 중앙처리부(300)로 전송하는 다수개의 차량검출부(200); 상기 차량검출부(200)에 연결되며, 차량검출부(200)의 통과차량의 데이터를 받아 처리하여 교통정보를 생성하고, 표시하며, 이를 외부로 전송하고 외부로부터 교통정보의 검출 기준값(parameter)을 수신하는 다수개의 중앙제어부(300); 및, 상기 차량검출부(200) 및 중앙제어부(300)에 연결되며, 차량검출부(200)와 중앙제어부(300)에 필요한 전원 및 정전 시에도 전원을 공급할 수 있는 다수개의 전원부(400);를 포함하여 구성되며, 상기 센서부(100)는 다수개의 루프감지기(101) 및 압전감지기(102)를 조합한 것으로서, 루프감지기(101)의 폭(d)을 최소한 200mm로 형성시키고, 상기 차량검출부(200)는, 외부요인에 의한 회로파손을 방지하는 루프보호회로(211), 상기 루프보호회로(211)에 연결되며 상기 루프감지기(101)의 전기신호의 변화를 주파수의 변화로 변환시키는 발진회로(212), 상기 발진회로(212)에 연결되어 인접한 상기 루프감지기(101)에 의한 주파수 간섭을 배제하는 주파수제어회로(213), 및 상기 루프감지기(101)의 감도를 일정하게 유지하기 위한 전류제어회로(214)를 포함하는 루프신호처리회로(210); 상기 루프신호처리회로(210)에 연결되며 상기 루프신호처리회로(210)에서 발생된 주파수의 변화를 측정하는 카운터(241), 상기 압전신호처리회로(220)에 연결되며 압전신호처리회로(220)에서 발생된 전압을 디지털 신호로 변환시키는 A/D 변환기(242), 상기 카운터(241) 와 상기 A/D 변환기(242)의 주파수 변화량 및 디지털 신호를 처리하여 통과차량의 데이터를 취득하는 차량검출부 운영프로그램(500) 및 통과차량의 데이터를 외부로 전송하거나, 상기 중앙제어부(300)로부터의 명령을 수신하는 PSP 통신회로(243)를 포함하는 마이크로프로세서(240); 상기 마이크로프로세서(240)에 연결되며 차량정보 검출시스템의 결과에 영향을 주는 기상변화에 따른 노면의 온도변화를 측정하기 위한 노면온도계측회로(230);및, 상기 마이크로프로세서(240)으로부터 검출된 통과차량 데이터를 상기 중앙제어부(300)에 전송하고, 상기 중앙제어부(300)의 명령을 수신하는 데이터버스(251) 와 제어선버스(252)를 포함하는 데이터전송부(250); 를 포함하는 것을 특징으로 하는 압전감지기 및 루프감지기를 이용한 교통정보 검출시스템.		

대표도면	
분석결과 종합	- 본 발명은 압전 및 루프감지기를 이용하여 도로상의 차량의 신호를 감지하고 이를 중앙처리 할 수 있도록 하는 구조에 관한 것임 - 압전소자를 이용하여 검출하는 점이 일부 유사하나 연구의 목적과 상이하고 본 발명의 청구범위는 많은 구성요소로 대단히 협소하게 기재되어 있어 특허로서의 가치는 거의 없다고 볼 수 있음

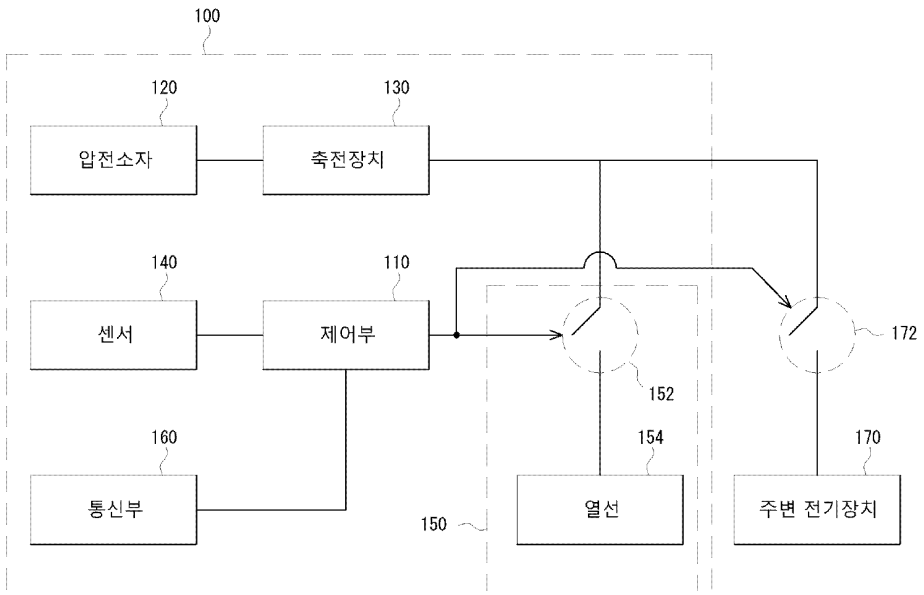
- 한국공개 10-2007-53089

발명의 명칭	자가발전형 도로관리시스템		
출원인	한밭대학교 산학	출원번호	10-2007-53089
출원일	2007-05-31	법적상태	공개( ), 등록( ), 거절(o)
중요도	향후 발명과정에서 참고할 만한 특허임		
청구항	도로에 매설되고, 외압에 의해 전하를 발생하는 압전소자(10); 상기 압전소자(10)와 전기적으로 연결되어 상기 압전소자(10)로부터 발생된 전하를 받아들여 전기에너지로 변환하는 전원조정회로(20); 상기 전원조정회로(20)와 연결되어 전기에너지를 저장 또는 충전하는 충전부(30); 및 상기 충전부(30)에 저장된 전원을 이용하여 도로에 설치된 전자기기(50)를 제어하는 제어부(40); 를 포함하여 형성되는 것을 특징으로 하는 자가발전형 도로관리시스템		
대표도면			
분석결과 종합	- 본 발명은 압전소자를 이용하여 전기에너지를 획득하고 이를 이용하여 신호등 등 전자기기를 구동하는 시스템에 관한 발명임 - 본 특허는 종래의 기술적 사상과 유사하고 청구항의 구성요소상 특이점이 없어 특허가 등록되지 않았으므로 향후 연구과제의 특허획득을 위해 압전소자의 구성이나 설치방법 등에서 차별화된 연구결과를 도출하여 권리화를 진행해야 할 것임		

- 한국공개 10-1999-12679

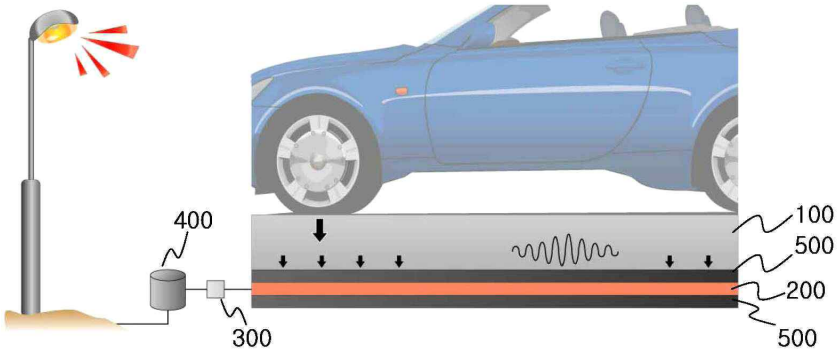
발명의 명칭	압전소자를 이용한 교통표시기의 전원공급장치		
출원인	김조천 외 5인	출원번호	10-1999-12679
출원일	1999-04-10	법적상태	공개( ), 등록(o), 거절( )
중요도	특허권리화시 참조할 필요가 있는 특허임		
청구항	노변에 설치되어 차량의 주행안내 및 지명을 표시하기 위한 교통표시수단에 있어서, 상기 교통표시수단의 소정부에 구성되며 그 내부에 포토다이오드를 구비하여 광전변환을 수행함으로써 광(光)을 인가받아 전압을 발생시키는 조도감지부와, 도로의 외부와 내부를 통하여 포설되며 그 외측으로부터 가압되게 되면 분극처리된 소자자체에 고전압이 유기되는 압전소자와, 상기 압전소자로부터 발생된 고전압을 일정한 전압으로 변압시키기 위한 변압부와, 상기 변압부를 매개로하여 인가된 전압을 축전시키기 위한 축전부와, 상기 축전부와 상용전원(AC)이 그 일측에 전기적으로 접속되며 타측에는 부하와 접속되고 그 내부에 다수의 반도체소자를 구비하여 스위칭동작을 수행하게 되는 스위칭부와, 상기 조도감지부로부터 감지신호를 인가받아 상기 스위칭부의 베이스단에 제어신호를 발생함으로써 부하측으로 전원인가여부를 제어하게 되며, 상기 변압부를 통해 인가되는 전압치를 감지하여 그 전압치가 일정치이하로 감소되면 상용전원(AC)이 부하측으로 인가될 수 있도록 상기 스위칭부를 제어하는 제어부로 구성된 것을 특징으로 하는 압전소자를 이용한 교통표시기의 전원공급장치.		
대표도면			
분석결과 종합	- 본 발명은 출원시기가 빠르고 압전소자를 복수로 배치하고 이를 통해 얻어지는 전기에너지를 축전하고 축전된 전기에너지를 이용하여 교통신호기를 구동하는 장치에 관한 것으로 청구항의 구성요소도 적절히 잡혀있어 권리적 측면에서 대단히 중요한 특허임		

- 한국공개 10-2008-116483

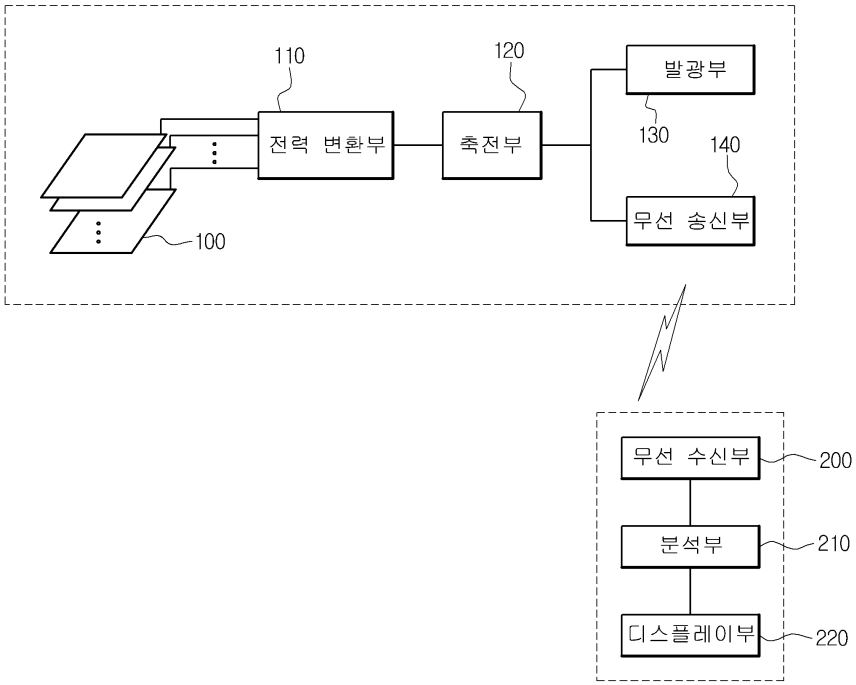
발명의 명칭	노면 가열 장치		
출원인	드림이엔지	출원번호	10-2008-116483
출원일	2008-09-03	법적상태	공개(o), 등록( ), 거절( )
중요도	권리화시 참고할 만한 특허임		
청구항	도로에 설치되어 상기 도로를 주행하는 차량의 하중을 입력받아 전하를 발생시키는 압전 소자; 상기 압전 소자에서 발생한 전하를 저장하는 축전 장치; 상기 도로에 설치되며 상기 축전 장치에 저장된 전하를 이용하여 열을 발생시키는 히터; 상기 노면 상의 강설, 강우 및 결빙 중 적어도 하나를 감지하는 센서; 및 상기 센서로부터의 신호에 따라 상기 축전 장치와 상기 히터 사이의 연결을 제어하는 제어부를 포함하는 노면 가열 장치.		
대표도면			
분석결과 종합	- 본 발명은 압전소자를 이용하여 축전한 이후 센서가 결빙을 감지 할 경우 축전된 전기에너지를 이용하여 발열(히터)함으로서 결빙을 해결하는 발명임		

- 한국공개 10-2008-47000

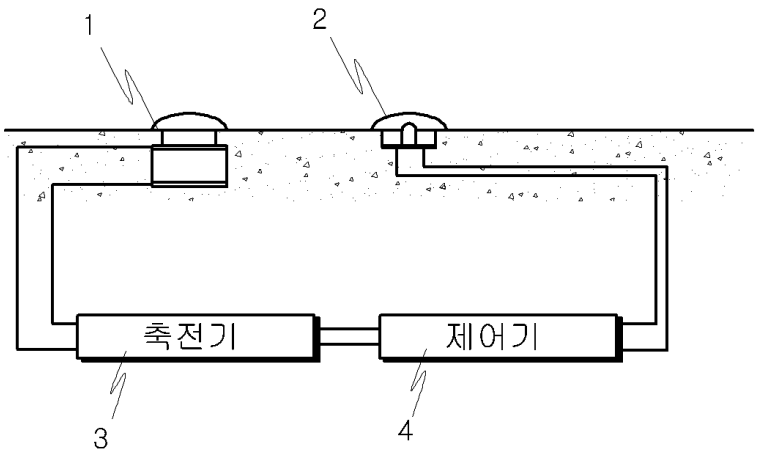
발명의 명칭	자가 발전이 가능한 도로용 프리캐스트 패널		
출원인	한국유지관리	출원번호	10-2008-47000
출원일	2008-05-21	법적상태	공개( ), 등록(o), 거절( )
중요도	관련분야 기술이나 특허의 권리부분이 좁게 형성되어 있음		
청구항	프리캐스트 패널을 이용한 도로 포장 시 압전소자를 이용하여 프리캐스트 패널의 하중과 자동차의 주행으로 발생하는 진동 에너지를 전기 에너지로 변환하는 자가 발전이 가능한 도로용 프리캐스트 패널에 있어서, 상기 도로 포장에 사용되도록 콘크리트로 이루어진 패널 몸체와 상기 패널 몸체와 인접한 다른 패널 몸체에 결합되도록 외주면 상의 적어도 어느 일면에 돌출 형성된 연결부재와 상기 연결부재와 결합되도록 패널 몸체의 외주면 상의 적어도 어느 일면에 홈을 형성하는 슬롯부재로 이루어져 상기 연결부재와 슬롯부재가 인접한 패널 몸체에 각각 대응되도록 형성하는 프리캐스트 패널; 상기 각각의 패널 몸체의 하단에 형성하여 압전소자의 상단과 하단의 필름 PCB로 형성된 필름으로 도포하여 프리캐스트 패널의 하중과 자동차의 주행으로 발생하는 진동에 의한 진동 에너지를 압전효과에 따른 전기 에너지로 변환하여 전류를 발생하는 압전 필름부; 상기 압전 필름부가 형성된 각각의 패널 몸체의 연결부재와 슬롯부재에 형성하여 상기 패널 몸체의 결합에 의한 프리캐스트 패널의 형성 시 압전 필름부를 병렬로 전기적으로 연결하기 위한 전극 커넥터; 상기 압전 필름부의 상단과 하단에 형성하여 압전 필름부의 상단에 형성된 패널 몸체와 상기 압전 필름부 하단에 위치한 지반에서 발생하는 압력에 의한 압전 필름부의 내구성과 충격을 완화하는 고무패드; 상기 압전 필름부를 형성한 각각의 패널 몸체를 전기적으로 전극 커넥터를 통해 연결된 프리캐스트 패널의 하단에 형성된 압전 필름부에서 발생한 전류를 정류하여 변환하기 위해 상기 압전 필름부로부터 외부 충격 또는 진동에 의해 압전효과로 압전소자에서 발생하는 AC 전류 전압을 변화하는 트랜스포머와, 상기 트랜스포머를 통해 인가된 전압을 정류하여 상기 AC 전압을 DC 전압으로 변환하는 정류 회로부와, 상기 정류 회로부를 통해 변환된 전압을 캐패시터에 저장하는 에너지 저장부와, 상기 에너지 저장부를 통해 저장된 전압을 축전지에 충전될 수 있는 전압으로 강압 또는 승압하는 DC 레귤레이터를 포함하는 에너지 변환부; 상기 에너지 변환부를 통해 정류된 전류를 충전하는 축전지; 로 이루어지는 것을 특징으로 하는 자가 발전이 가능한 도로용 프리캐스트 패널.		

대표도면	
분석결과 종합	- 본 발명은 압전소자를 이용해 축전한 이후 이를 조명장치의 전원으로 활용하는 기술에 대한 특허임 - 심사가 진행되면서 청구범위의 권리부분이 상당히 축소되어 등록받은 상황으로 향후 권리행사 등이 어려운 특허임 - 거절결정불복심판을 거쳐 등록된 특허임

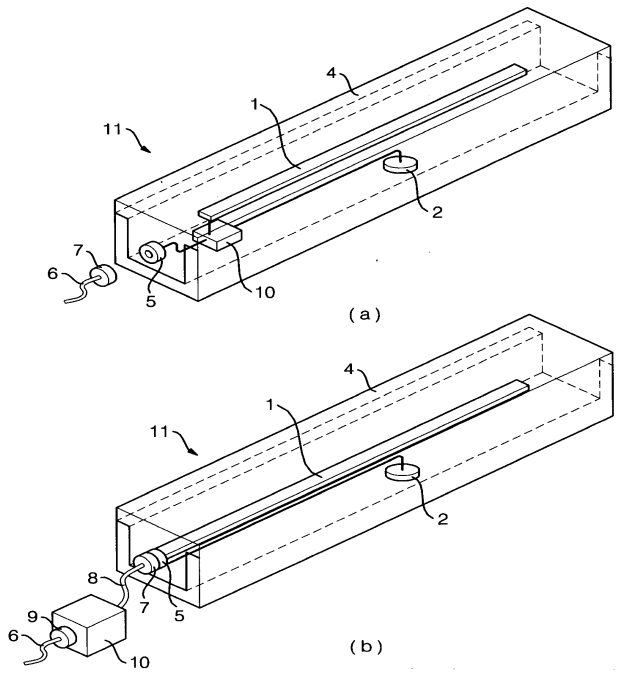
- 한국공개 10-2008-107917

발명의 명칭	안전 가이드 장치		
출원인	현대건설	출원번호	10-2008-107917
출원일	2008-10-31	법적상태	공개(o), 등록( ), 거절( )
중요도	특허 권리화시 참고할만한 특허임		
청구항	도로상에 설치되어 차량의 안전한 주행을 가이드하는 안전 가이드 장치에 있어서, 차량이 주행하는 노면에 매립 설치되어 통행하는 차량의 축하중에 의하여 발생된 압력을 전달받아 전력을 발생시키는 다수개의 압전 장치와; 상기 압전 장치에서 발생된 전력의 전압을 조정하여 직류 전력으로 변환하는 전력 변환부와; 상기 전력 변환부로부터 공급받은 전력을 저장하는 축전부와; 상기 축전부로부터 공급받은 전력에 의해 구동되어 발광하는 발광부를 포함하여 이루어지는 것을 특징으로 하는 안전 가이드 장치.		
대표도면			
분석결과 종합	- 본 발명은 압전소자를 이용하여 축전 및 발광하는 장치에 관한 것으로 무선송수신부를 더 구비하여 차간 거리 차종파악 등을 할 수 있는 기능을 부가하고 있음		

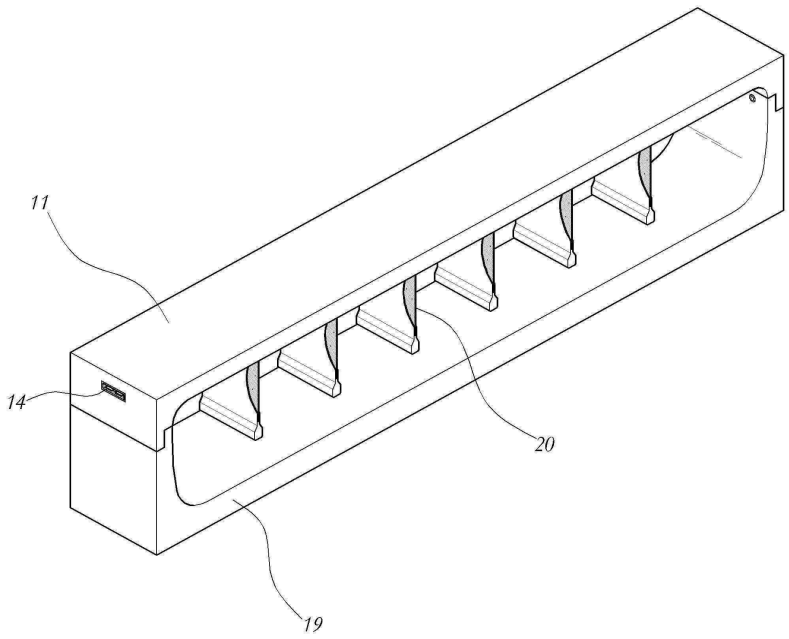
- 한국공개 10-2007-103737

발명의 명칭	노면결빙 방지장치		
출원인	한국기계연구원	출원번호	10-2007-103737
출원일	2007-10-15	법적상태	공개( ), 등록(o), 거절( )
중요도	특허 권리화시 참고할 특허임		
청구항	다수의 열로 설치되어 차량의 통행시 가해지는 연속충격에 의해 전기를 발생시키는 압전장치(1)와 ; 도로에 설치되어 상기 압전장치(1)에서 발생된 전기에 의해 발열하는 전기열선(2)을 포함하여 구성되고, 상기 압전장치(1)와 전기열선(2) 사이에는 축전지(3)가 더 연결되며, 상기 압전장치(1)는 적층된 압전소자(11) 사이에 전극(111)을 설치하여 구성되고, 상부에는 노면으로 노출되어 차량에 의한 연속충격을 압전소자(11)에 전달하는 충격돌기(12)가 설치되어 있으며, 상기 전기열선(2)은 도로에 일부가 매설되는 보호커버(22)의 내부에 설치하여 구성됨을 특징으로 하는 노면결빙방지장치.		
대표도면			
분석결과 종합	- 본 발명은 압전소자를 이용하여 축전한 이후 발광수단을 이용하거나 전기열선을 이용하여 노면의 결빙을 방지하는 장치에 관한 특허임 - 본 발명은 압전장치가 돌기 형태를 구성하고 이를 보호하기 위해 보호커버를 설치하는 것을 특징이 특허가 된 듯이 판단되나, 무효화 가능성이 내포되어 있는 특허로 판단됨		

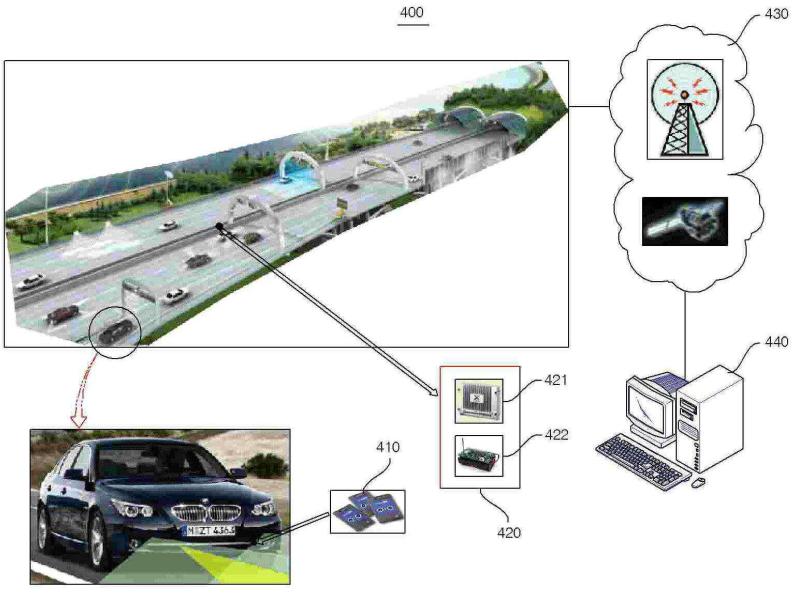
- 한국공개 10-2004-11219

발명의 명칭	압전검지기 및 이를 이용한 교통정보 수집시스템		
출원인	요업기술원/제온이엔에스	출원번호	10-2004-11219
출원일	2004-02-20	법적상태	공개( ), 등록(o), 거절( )
중요도	연구진행시 참고할만한 특허임		
청구항	차량의 하중을 측정하기 위한 압전검지기에 있어서, 평판 형태의 압전세라믹 센서와, 온도 센서와, 상기 압전세라믹 센서 및 상기 온도 센서와 연결되며, 상기 온도 센서로부터 입력된 온도 정보에 따라 상기 압전세라믹 센서의 유전율을 보상하여 출력하는 출력보상부와, 상기 압전세라믹 센서 및 상기 온도 센서를 둘러싸는 몰딩재 및 상기 몰딩재의 하부를 커버하는 보호케이스를 포함하는 것을 특징으로 하는 압전검지기.		
대표도면			
분석결과 종합	- 본 발명은 도로에서 차량의 교통정보를 수집하기 위하여 압전소자를 이용하여 검지하는 장치에 관한 발명임 - 본 발명의 특징은 압전센서와 온도센서를 이용하여 압전센서의 유전율을 보상함으로써 검지기의 정확도를 높이고 차량속도와 차량중량과 같은 교통정보를 수집할 수 있는 특징이 있는 것으로 연구진행시 참고할 만한 특허임		

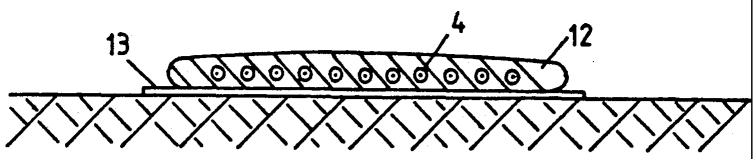
- 한국공개 10-2009-24036

발명의 명칭	진동형 압전막을 이용한 도로 매설식 에너지 하비스터		
출원인	한양대산학/승화이엔씨	출원번호	10-2009-24036
출원일	2009-03-20	법적상태	공개( ), 등록(o), 거절( )
중요도	연구진행시 고려할 특허임		
청구항	휨변형에 의하여 전류가 발생되는 압전막(21)과 탄성판(22)이 적층된 전동판(20)과; 하단에 상기 진동판(20)의 단부가 직각으로 접합되는 수직판(28)과; 도로에 매설되어 양단이 고정되고 하부에 공동(空洞)이 형성되며, 저면에 상기 수직판(28)의 상단이 수직으로 접합되는 상판(11)으로 이루어져; 외력에 의하여 상판(11)이 변형 및 복원됨에 따라 진동판(20)이 진동함을 특징으로 하는 진동형 압전막을 이용한 도로 매설식 에너지 하비스터.		
대표도면			
분석결과 종합	- 본 발명은 도로에 압전소자를 설치하는 구조에 관한 발명으로 수직으로 적층된 진동판과 수직판의 구조에 대한 특허임 - 향후 연구진행하면서 압전소자의 배열구조에 대해 검토할 때 참고가 될만한 특허임 - 본 발명은 우선심사를 청구하여 등록을 받은 상태임		

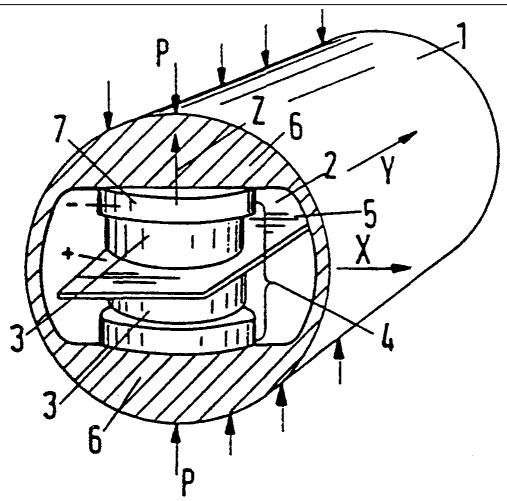
- 한국공개 10-2008-112111

발명의 명칭	전력 생성 장치와 그 방법, 및 상기 전력 생성 장치를 구비하는 센싱 장치		
출원인	광주과학기술원	출원번호	10-2008-112111
출원일	2008-11-12	법적상태	공개(o), 등록( ), 거절( )
중요도			
청구항	외부의 운동체로 인해 발생한 압력 또는 바람을 이용하여 전기적 에너지를 생성하는 전기적 에너지 생성부; 상기 생성된 전기적 에너지를 이용하여 전원을 충전시키는 충전부; 및 상기 충전된 전원을 이용하여 구동되며, 소정 거리 내에 위치한 상기 운동체와 RF 신호를 송수신하는 송수신부 를 포함하는 것을 특징으로 하는 센싱 장치.		
대표도면			
분석결과 종합	- 본 발명은 압전(또는 풍력)으로 전기에너지를 획득하고 이를 통해 교통정보를 송수신하기 위한 무선통신수단에 전원을 공급하는 장치에 관한 발명임 - 본 발명은 청구범위의 구성요소상 종래의 발명과 기술적 차이점이 크지 않음		

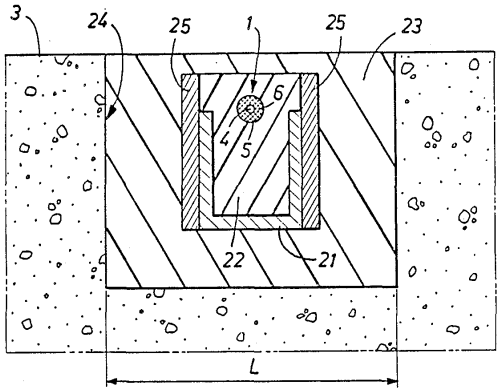
- 미국특허 5008666

발명의 명칭	Traffic measurement equipment		
출원인	Gebert; Franz J. 등	특허번호	US 5008666
출원일	2008-09-03	법적상태	공개( ), 등록(o), 거절( )
중요도	R&D시에 참고할 만한 자료임		
청구항	In a traffic data acquisition method comprising laying an electrically conductive cable with at least two conductors separated by a material which has electrical properties selected from one or more of piezo-electric, tribo-electric, magneto=and/or electro=strictive effects, connecting the conductors to an electronic processor comprising an amplifier, digitiser and micro-processor, detecting signals induced in the cable by passage of vehicle wheel(s) over the cable, and processing the signals, the improvements in that the processing of the signals comprises computing a total integrated spectral power of the signals, establishing an empirical relationship between speed and weight of other vehicle wheel(s) passing over the cable and the total spectral power for the cable, inputting the computed total spectral power and one of the speed or weight of the vehicle wheel(s) thereof into the empirical relationship and deriving the other one of the weight or speed of the latter vehicle wheel(s) from the empirical relationship		
대표도면			
분석결과 종합	- 본 발명은 트래픽 측정장비를 위한 것으로 압전효과를 가진 동축케이블을 매설함으로써 차량 속도, 차축거리 운전간격 등의 정보를 수집하는 장치임 - 동축케이블에 압전소자가 포함되고 폴리머를 감싸는 형태를 가지는 것으로 R&D를 추진하는데 참고할 만한 자료임		

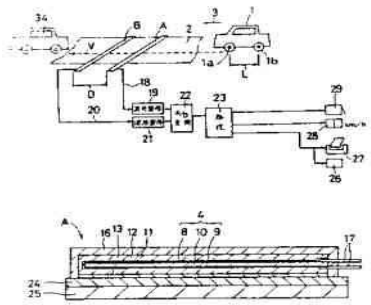
- 미국특허 5265481

발명의 명칭	Force sensor systems especially for determining dynamically the axle load, speed, wheelbase and gross weight of vehicles		
출원인	Kistler Instrumente AG	특허번호	US 5265481
출원일	2008-09-03	법적상태	공개( ), 등록(o), 거절( )
중요도	R&D 추진과 특허권리화시 참고할만한 특허임		
청구항	Force sensor system for dynamically determining vehicle axle load, speed, wheelbase and gross weight, comprising: a hollow section within a roadway and including one or more sensor modules connected in series; one or more piezo-elements located within each sensor module for measuring a load over the whole length of the hollow section; a terminating module attached to one end of said hollow section and an amplifier module attached to the other end of said hollow section; and said piezo-elements being electrically connected to said amplifier module.		
대표도면			
분석결과 종합	- 도로안의 공동구에서 압전소자를 이용하여 차량 차축부하, 속도, 축간거리, 총중량 등 전체의 부하를 측정하기 위한 발명임 - 압전센서의 구조에 있어 특이점이 있는 것으로 판단되므로 연구시에나 특허권리화할 때 참고로 볼 특허임		

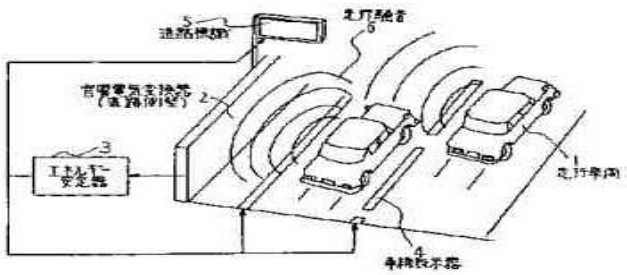
- 미국특허 4712423

발명의 명칭	Process and apparatus for measuring the dynamic loads applied to a highway by the road traffic		
출원인	Laboratoire Central Des Ponts Et Chaussees	특허번호	US 4712423
출원일	2008-09-03	법적상태	공개( ), 등록(o), 거절( )
중요도			
청구항	A process for measuring the dynamic loads applied to a highway by the road traffic, in which a rectilinear piezo-electric cable is placed across the highway so that the wheels of the axles of the vehicles circulating on the highway subject it, upon passage thereof, to a pressure to which it responds by the emission of an electrical pulse and the corresponding dynamic load is calculated from the parameters of said pulse, whilst the speed of the vehicle is measured with the aid of the pulse delivered by a second rectilinear piezo-electric cable disposed on the highway at a certain distance from the first-mentioned cable, by determination of the duration of the time gap separating the appearance of the pulses respectively furnished by the two cables for the same wheel, the dynamic load being deduced from the area of the contour, with respect to time, of the pulse delivered by the first-mentioned cable and from the speed of the vehicle, by making the product of said area by said speed		
대표도면			
분석결과 종합	- 압전소자를 포함한 블럭을 도로에 매설하여 트래픽을 측정하는 기술에 대한 발명으로 현재 추진 중인 연구과제와 비슷한 점이 있어 향후 특허권을 확보하는데 참고할 만한 자료임		

- 일본공개 1991-99272

발명의 명칭	RUNNING CONDITION DETECTOR FOR AUTOMOBILE		
출원인	DAIKIN IND LTD	공개번호	1991-099272
출원일	1989-09-11	법적상태	공개(o), 등록(), 거절( )
중요도			
초록	PURPOSE: To enable detection of accurate running condition by providing a pair of piezo-electric elements as arranged spaced at an interval along a road and a processing means which performs an arithmetic processing in response to an output of the piezo-electric elements to determine running condition. CONSTITUTION: A pair of piezo-electric elements 4 is arranged spaced with an interval along a road. For example, when a four-wheel car runs, it runs pressing on the pair of piezo-electric elements 4 sequentially with the front wheels 1a while the pair of piezo-electric elements 4 are pressed with rear wheels 1b. Thus, based on outputs of the pair of piezo-electric elements, this enables the determination of running conditions of an automobile 24, for example, covering the number of passing cars when it runs, the speed of the automobile, distance between the preceding and following cars, an ongoing direction of cars, the type of cars corresponding to intervals of front and rear wheels thereof and the like.		
대표도면			
분석결과 종합	- 압전소자를 이용하여 차량의 통행속도 등을 감지하기 위한 구조에 대한 특허		

- 일본공개 1992-68499

발명의 명칭	ROAD DISPLAY DEVICE		
출원인	NEC ENG LTD	공개번호	1992-68499
출원일	1990.07.09	법적상태	공개(o), 등록( ), 거절( )
중요도			
청구항	PURPOSE: To reduce energy consumption by converting traveling noise, which is generated from a vehicle under traveling the road, to electric energy and utilizing it for the night illumination or light emission of a road symbol or the like. CONSTITUTION: A traveling vehicle 1 traveling the highway generates traveling noise 6 from contact between wheels and the surface of the road. The higher the traveling noise of the traveling vehicle 1 is or the higher traffic quantity is, the higher this traveling noise 6 is increased. Then, the noise 6 is converted to the electric energy by an acoustic / electric converter 2 installed on the surface of a walls besides the road. The acoustic / electric converter 2 utilizes an electrostriction type piezoelectric element or a high-polymer compound piezo- electric element, etc., and supplies the generated electric energy to an energy stablizer 3. The energy stablizer 3 stores the energy generated in the daytime for using at night or stores energy to be intermittently generated and uses it for illuminating or emitting a lane display 4 or a road symbol 5. Thus energy for illumination or light emission can be saved.		
대표도면			
분석결과 종합	- 소리진동에 의해 에너지를 압전소자를 활용하여 전기적 에너지를 변환하여 이를 디스플레이 장치의 전원으로 사용하는 발명으로 파악됨 - 종래의 기계적(직접 접촉) 방법에 의한 진동이 아닌 소리진동을 이용하는 것이 특징인바, 청구항분석 등 보다 면밀한 내용 검토가 필요함		

마. 간접-자력 방식의 압전에너지 하베스터 추가 특허 동향 분석

○ 분석배경

- 대용량 압전에너지 하베스터의 도로적용을 위한 새로운 접근법으로 기존의 직접-진동방식의 압전에너지 하베스터가 아닌 간접-자력 방식의 압전에너지 하베스터의 특허동향분석을 추가로 실시함

○ 분석목적

- 간접-자력 방식의 핵심특허 권리분석을 통해 중복 연구를 방지하고, 본 기획과제 수행 및 목표설정의 타당성 확보를 위한 객관적 특허정보를 얻기 위함

○ 분석범위

- 본 분석에서는 2017년 07월까지 출원공개 된 한국, 일본, 유럽, 미국, 중국 특허를 분석 대상으로 함

< 검색 DB 및 검색범위>

<table>
<tr><th>자료 구분</th><th>국 가</th><th>검색 DB</th><th>분석구간</th><th>검색범위</th></tr>
<tr><td rowspan="7">공개.등록특허
(공개.등록일 기준)</td><td>한국</td><td>Wipson</td><td rowspan="7">~ 현재(2017.07)</td><td>특허공개 및 등록
전체문서</td></tr>
<tr><td>미국</td><td>Wipson</td><td>특허공개, 특허공개(공표),
특허공개(재공표)
전체문서</td></tr>
<tr><td>일본</td><td>Wipson</td><td rowspan="2">특허공개 및 등록
전체문서</td></tr>
<tr><td>유럽</td><td>Wipson</td></tr>
<tr><td>중국</td><td>Wipson</td><td>EP-A(Applications) 및
EP-B(Granted) 전체문서</td></tr>
<tr><td rowspan="2">국제출원</td><td rowspan="2">PCT</td><td>특허공개 및 등록
전체문서</td></tr>
<tr><td>특허공개</td></tr>
</table>

○ 기술분류체계 및 검색식

< 검색식 및 검색결과>

대분류	검색식						
간접-자력 방식의 압전하베스터 (Magnetic + Rotary + piezoelectric)	(압전 or piezoelectric) and (자석 or magnetic) and (발전 or generat*)						
	국가별						
	KIPO	USPTO	JPO	EPO	CN	PCT	합계
	44	368	52	114	559	114	1215

○ 유효특허 선별 기준 및 방법

- 핵심기술 구성요소를 마그네틱(Magnetic)을 활용한 로타리 방식, 간접전달 방식, 양단고정형 압전소자로 구분하여 유효 특허를 분석 함

< 유효특허 선별 결과>

대분류	유효데이터 건수						
	KIPO	USPTO	JPO	EPO	CN	PCT	계
간접-자력 방식의 압전하베스터 (Magnetic + Rotary + piezoelectric)	2	1	2	-	31	-	36

○ 심층분석 대상 핵심특허 선정

- 심층 분석을 위한 핵심특허는『간접-자력 방식의 압전하베스터』의 유효 데이터 36건의 패밀리 특허 현황, 출원인, 최종 법적 상태 등 특허 정량적인 정보를 바탕으로 핵심기술구성요소와 그 기술적 내용 및 구성과 목적이 유사한 6건의 핵심특허를 심층분석 대상특허로 선정함

< 핵심특허 선정기준>

선정기준	선정이유
등록여부	- 등록건이 아닌 경우, 침해 의미 없음 - 등록건이 아니어도 기술적으로 유사한 경우 핵심특허로 포함
주요 출원인 보유특허	- 주요 분쟁은 기업 위주로 발생하므로, 개인출원은 의미 없음
패밀리 특허 국가수	- 패밀리 특허출원이 많을수록 기술에 의한 의지가 강하다고 판단 - 특허적 가치 및 영향력이 높다고 볼 수 있음
기타	- 특허 청구 범위 및 기술적 유사도 검토 후 핵심특허로 선정

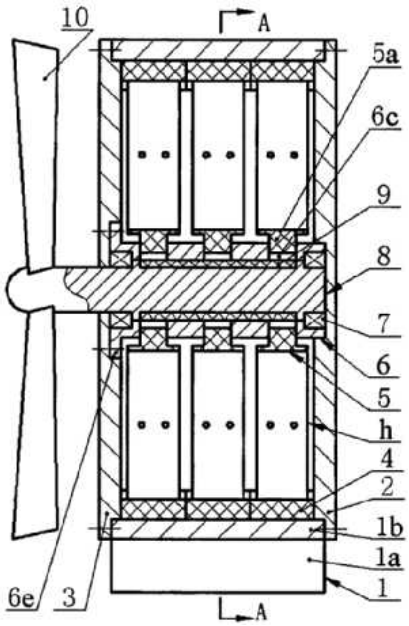
○ IP 장벽도 및 기술 경쟁력 분석

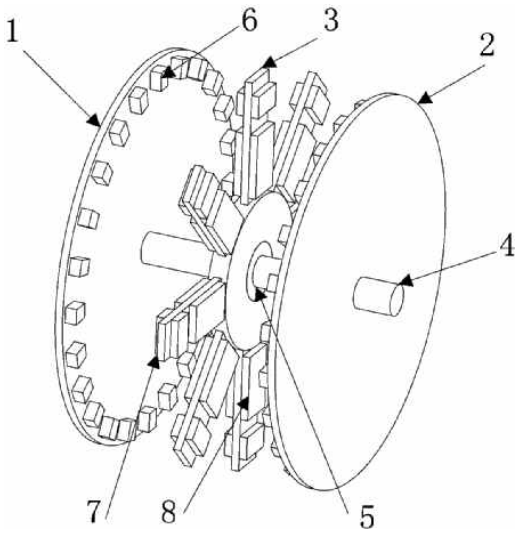
- 심층 분석대상 6건에 대해 IP 장벽도 및 기술경쟁력 분석 실시

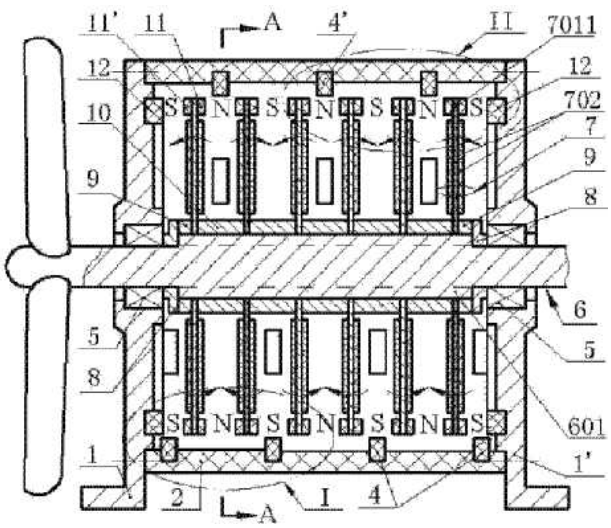
출원번호	출원인	출원일	법적 상태	유사도 (중요도)
CN 2015-10007469	Zhejiang Normal University	2015-01-07	등록	★★★☆
CN 2012-10168880	Zhejiang Normal University	2012-05-28	등록	★★★☆
CN 2012-10318930	Zhejiang Normal University	2012-09-01	등록	★★★☆
CN 2012-10320120	Zhejiang Normal University	2012-09-01	등록	★★★☆
JP 2011-054098	CASIO	2011-03-11	취하	★★☆☆
KR 2009-0009700	(주)아이블포토닉스	2009-02-06	취하	★★☆☆

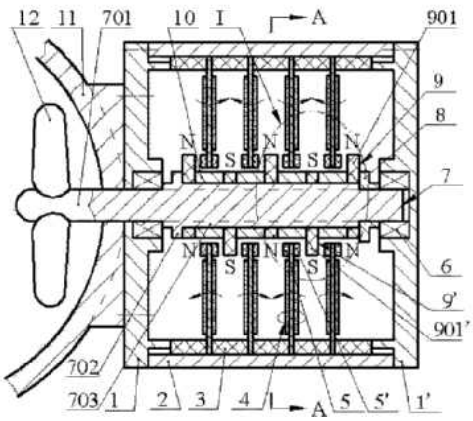
- 주요장벽 특허 유사도 분석

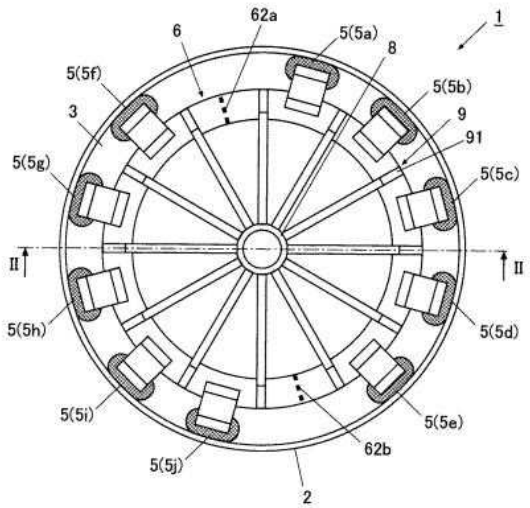
유사특허 비교분석			
특허(등록.출원)번호	비고	법적 상태	권리비교
CN104506083 (Zhejiang Normal University)	유사점	등록	자석유도 기둥/압전 끝단에 마그네틱 채용
	차이점		외팔보 형태로 양단고정형과 차이점이 있음
CN102723894 (Zhejiang Normal University)	유사점	등록	자석유도 Rotary
	차이점		외팔보 형태
CN102801358 (Zhejiang Normal University)	유사점	등록	자석유도 기둥
	차이점		외팔보 형태
CN102797517 (Zhejiang Normal University)	유사점	등록	자석유도 기둥
	차이점		외팔보 형태
JP 2011-054098 (CASIO)	유사점	취하	자석유도 Rotary
	차이점		외팔보 형태
KR 2009-0009700 ((주)아이블포토닉스)	유사점	취하	자석유도 Rotary
	차이점		외팔보 형태
검토 의견	로타리 방식의 압전하베스터 기술 분야는 높은 유사도를 나타내고 있으나, 세부 기술의 압전소자 형태의 경우 간접-자력 방식의 요소 기술에 대한 차이가 있음 구체적으로 기존 핵심특허는 외팔보 형태로 구성되어 있음		
대응방안	전체적으로 유사한 기술들이 선행문헌을 통하여 나타나 있으나, 압전소자 방식에 대한 기존 핵심특허와의 차별성을 구체화해 강조할 필요가 있음		

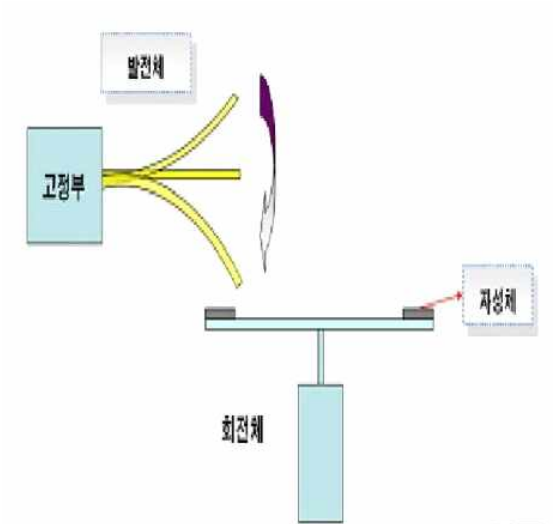
순서	1	발명의 명칭	A kind of rotary piezoelectric wind generator of radial drawing excitation			
출원번호	CN2015-10007469		출원일자	2015-01-07	기술분류	
공개번호/ 등록번호	104506083		공개일자/ 등록일	2017-01-04/ 2017-01-04	우선권	
출원인	Zhejiang Normal University					
청구항	The rotary piezoelectric wind generator of a radial drawing excitation, it is characterised in that: main body is made up of support and housing, It is provided with axial dovetail groove, two ends in inner walls in uniform way and by screw, left and right end cap is installed respectively, at the end cap central of left and right Counterbore in be crimped with sleeve, the flange of sleeve is fixed on left end cap through screw, and hub internal bore is respectively arranged at two ends with dead eye, Radially-directed hole it is provided with in uniform way on the shaft section of sleeve ; Being inlaid with bearing in described dead eye, bearing is through left end cap or right-hand member Lid is pressed on sleeve ; Being cased with main shaft in hub internal bore, main shaft positions through two bearings, is inlaid with in axial elongated slot uniform on main shaft Magnetic stripe, spindle nose is provided with blade ; T**wo are bonded with the sheet metal of piezoelectric patches through rivet composition at its circular arc high spot Piezoelectric vibrator, piezoelectric vibrator constitutes transducer by the voussoir riveted with its two ends and magnetic piece, and magnetic piece is provided with guide pillar ; Transducing During on device, magnetic piece guide pillar is placed in the radially-directed hole of sleeve,** on transducer, voussoir is placed in the dovetail groove in inner walls and through a left side Right end cap compresses, and on same transducer, the axial width of voussoir is more than the axial width of magnetic piece ; On each transducer, magnetic piece magnetic pole is joined Put direction identical and be embedded on main shaft the opposite pole of each magnetic stripe near installing ; During main axis, magnetic piece bears all the time Captivation from magnetic stripe on main shaft ; Before installation, sheet metal circular arc least radius isFormula Middle hpAnd hmIt is respectively piezoelectric patches and the thickness of sheet metal, α=hm/(hm+hp),β =Em/Ep, EpAnd EmIt is respectively piezoelectric patches and the Young's modulus of sheet metal,TpIt is respectively the electromechanical coupling factor of piezoelectric And allowable tensile stress.					
대표도면						
분석결과 종합	-압전소자 양단끝단에 마그네틱 소자를 활용					

순서	2	발명의 명칭	Rotary piezoelectric generation device			
출원번호	CN2012-10168880		출원일자	2012-05-28	기술분류	
공개번호 / 등록번호	102723894/ 102723894		공개일자/ 등록일	2015-07-29/ 2015-07-29	우선권	
출원인	Zhejiang Normal University					
청구항	A rotary piezoelectric generation device, comprise rotating shaft and exciting wheel, piezoelectric bimorph beam array is on the rotary shaft installed respectively, it is characterized in that: described exciting wheel comprises front exciting wheel, rear exciting wheel, front exciting wheel, rear exciting wheel are all rigidly connected with rotating shaft, and piezoelectric bimorph beam array is placed between front exciting wheel and rear exciting wheel; Described front exciting wheel and rear exciting wheel include wheel disc and a plurality of circumference and are distributed on excitation permanent magnetic iron block in wheel disc card, and the excitation permanent magnetic iron block of the excitation permanent magnetic iron block of front exciting wheel and rear exciting wheel is spatially crisscross arranged; Described piezoelectric bimorph beam array comprises a plurality of piezoelectric bimorph beams that wheel hub and circumference are distributed on wheel hub cylindrical, wheel hub and rotating shaft are connected, each piezoelectric bimorph beam includes cantilever beam, one end of this cantilever beam is fixedly connected with wheel hub, other end cantilever is arranged, and the beam body of cantilever beam installs piezoelectric ceramic piece and piezoelectric beam permanent magnetic iron block respectively, this piezoelectric beam permanent magnetic iron block can respectively and front exciting wheel, rear exciting wheel excitation permanent magnetic iron block between form permanent magnetism repulsive force, described piezoelectric ceramic piece is provided with the extraction wire be connected with load.						
대표도면						
분석결과 종합	- 끝단 외팔보 형태의 구조 - 앞/뒷면이 양단형태의 압자소자 구조					

순서	3	발명의 명칭	Bi-directionally magnetically coupled and axially excited and limited rotating-shaft piezoelectric generator			
출원번호	CN2012-10318930		출원일자	2012-09-01	기술분류	
공개번호 / 등록번호	102801358/ 102801358		공개일자/ 등록일	2015-06-10/ 2015-06-10	우선권	
출원인	Zhejiang Normal University					
청구항	1. bidirectional magnetic force coupling axial excitation spacing rotary shaft piezoelectric generator, it is characterized in that: between two bearing pedestals one and bearing pedestal two, be screwed connection cylinder, the varying cross-section of described cylinder inner wall is alternately inlayed many group fixed magnets one and fixed magnet two, and the magnetic pole of described fixed magnet one and fixed magnet two to be installed and pole orientation is contrary along the radial direction of described cylinder; Described bearing pedestal one and bearing pedestal two are inlaid with bearing and magnet ring respectively, and the pole polarity that described bearing pedestal one and the magnet ring on bearing pedestal two point in cylinder is identical with the pole polarity that the moving magnet one be adjacent or moving magnet two point in cylinder; Main shaft is arranged on two described bearing pedestals by described two bearings, has PZT (piezoelectric transducer) at the spline upper sleeve of described main shaft, and described PZT (piezoelectric transducer) is crimped between two described bearings by a pair ladder back-up ring, short a pair back-up ring and each long back-up ring; Described PZT (piezoelectric transducer) is by the cantilever beam on metal substrate and piezoelectric chip is bonding forms, and is provided with splined hole in the center of the metal substrate of described PZT (piezoelectric transducer); A pair moving magnet one and moving magnet two opposite pole are relatively arranged on the free end of described PZT (piezoelectric transducer) by screw, the moving magnet one on described PZT (piezoelectric transducer) is identical with the axial arrangement direction of moving magnet two magnetic pole, the axial arrangement direction of moving magnet one on two adjacent groups PZT (piezoelectric transducer) and moving magnet two magnetic pole is contrary; The polarity of the moving magnet one adjacent with magnet ring or the magnetic pole of moving magnet two is identical with the pole polarity that described magnet ring points to inside cylinder.					
대표도면						
분석결과 종합	- 끝단 외팔보 형태의 구조					

순서	4	발명의 명칭	Electricity generation device for oil gas pipeline monitoring system			
출원번호	CN2012-10320120		출원일자	2012-09-01	기술분류	
공개번호 / 등록번호	102797517/ 102797517		공개일자/ 등록일	2014-10-15/ 2014-10-15	우선권	
출원인	Zhejiang Normal University					
청구항	1. the electricity generating device for oil and gas pipes monitoring system, it is characterized in that: between left end cap and right end cap, be screwed housing, on the madial wall of described housing, alternately cover has piezoelectric transducer and inner pressure ring, described piezoelectric transducer and inner pressure ring to be crimped between left end cap and right end cap; One group of piezoelectric transducer refers to by the multiple fan-shaped overhang on metal substrate and the bonding composite structure forming of fan-shaped piezoelectric chip; A pair of fixed magnet one and fixed magnet two opposite poles are relatively arranged on the free end of piezoelectric transducer by screw; Fixed magnet one on described same group of piezoelectric transducer free end is identical with the axial arrangement direction of fixed magnet two magnetic poles, **fixed magnet one on two adjacent groups piezoelectric transducer free end a**nd the axial arrangement opposite direction of fixed magnet two magnetic poles; On left end cap and right end cap, be all inlaid with bearing, main shaft is arranged on left end cap and right end cap by bearing; The bearing of the axle head that impeller is installed on main shaft on left end cap enters in pipeline; Being positioned on the spline of main shaft of enclosure interior from right to left alternately cover has magnet ring one, outer press ring and magnet ring two, and bearing on right end cap of described magnet ring one, outer press ring and magnet ring two and the back-up ring being enclosed within on main shaft are crimped on the shaft shoulder of main shaft; Magnet ring one with on magnet ring two, be respectively equipped with double wedge one and the double wedge two that quantity is identical; The pole orientation of described magnet ring one and magnet ring two all radially distributes, and the pole orientation of the two is contrary.					
대표도면						
분석결과 종합	- 외팔보 구조의 압전소자					

순서	5	발명의 명칭	발전 장치			
출원번호	JP2011-054098		출원일자	2011-03-11	기술분류	
공개번호 / 등록번호	2012-191786/		공개일자/ 등록일	/	우선권	
출원인	CASIO					
청구항	소정의 가동역을 가지는 가이드 부재 내에 수용되고 외부로부터의 진동에 의해 상기 가이드 부재의 상기 가동역 내에서 이동하는 **제1 자석과 변위에 의해 기전력을 발생시키는 압전 소자 모**듈과 상기 압전 소자 모듈에 부설되고 상기 제 1 자석이 상기 가동역 내에서 이동했을 때 상기 제 1 자석 접리에 의해 상기 압전 소자 모듈에 변위를 일으키는 제2 자석과 상기 제 1 자석 접리에 의해 발생하는 자속밀도의 변화에 의해 기전력을 발생시키는 코일를 구비하고 있는 것을 특징으로 하는 발전 장치.					
대표도면						
분석결과 종합	- 본 발명은 끝단 외팔보 형태로 구성					

순서	6	발명의 명칭	압전자성복합체를 이용한 무선 자가발전 충전장치			
출원번호	KR10-2009-0009700		출원일자	2009-02-06	기술분류	
공개번호 / 등록번호	10-2010-0090432/		공개일자/ 등록일	/	우선권	
출원인	(주)아이블포토닉스					
청구항	분극방향에 상관없이 금속판에 평행하게 접합된 단층 또는 복층 압전재료층을 포함한 발전부; 상기 압전재료층과 유격하게 배치되는 운동에너지 발생부로 구성된 무선 자가발전 충전장치에 있어서, 상기 운동에너지 발생부는 하나 이상의 회전판 및 회전판을 구동시키는 구동부를 포함하며, 상기 회전판에는 하나 이상의 자성체가 부착되어, 회전판 회전에 따라 자성체로부터의 자력이 상기 금속판에 교번하게 인가되는 것을 특징으로 하는, 무선 자가 발전 충전장치.					
대표도면						
분석결과 종합	- 외팔보 평태의 구조					

○ 종합의견

- 선행기술을 조사한 바에 따르면, 도로에 압전소자를 매설하여 도로에 가해지는 압력이나 진동에너지를 이용하여 충전하는 내용은 특허출원이 다소간 있는 것으로 파악됨
- 기술을 세부적으로 나눠보면 먼저, 효율성 향상을 위해 압전소자를 도로에 매설하는 방법(배열 구조 등)에 대해 구체적인 연구가 진행될 수 있는 부분이 있고, 압전소자로부터 발생된 전기에너지를 직류로 변환하여 충전하는 부분이 있음
- 또 다른 기술분야로는 압전소자로부터 생성되어 충전된 전원을 활용하는 디스플레이, 조명, 무선통신기기 등 응용분야의 출원이 활발함
- 따라서 향후 특허획득 방향은 도로에 삽입되는 구조물에 압전을 배열하는 방법에 대해 특이성이 있는 한국특허공개 10-2009-24036와 같이 구조적 특성을 가지는 부분이나, 도로에 삽입되는 구조물의 형태를 달리하여(매립형, 돌출형, 구조물 재질 등) 특성을 가지는 부분으로 진행할 필요가 있음
- 추가로 진행된 로타리 방식의 압전하베스터 기술 분야는 본 기획과정을 통해 도출된 간접-자력 방식과 높은 유사도를 나타내고 있으나, 세부 기술인 압전소자 형태(기존 핵심특허는 외팔보 형태로 구성됨)의 경우 간접-자력 방식의 요소 기술과 상당한 차이가 있어 특허 중복성 우려는 없는 것으로 판단됨

4. 국내 기 수행된 연구과제 현황 분석

가. 압전에너지 하베스팅 소재/소자관련 연구과제 수행현황 분석

사업명 (부처명)	과제명	연구내용	연구기간 (수행기관)
이공학개인기초 연구지원 (교육부)	산화금속 나노구조물의 압전 특성을 이용한 에너지 하베스팅 소자기술	o 나노 산화금속 구조물 제어 및 전극소재 연구 o 나노구조체 에너지 harvesting 효율증대를 위한 압전 역학 연구	2013~2016 (한양대)
중견연구자지원 (미래창조과학부)	나노 구조를 이용한 고 전력밀도 polymer 압전체 소재 제조	o Polymer 압전체의 공정기술 개발과 나노구조 제조를 통하여 고 전력밀도를 발전할 수 있는 에너지 수확 시스템의 소재 제조 기술을 개발 - 최종목표는 1 ㎾/㎡의 전력밀도(현 PVDF 시트의 수준은 1 W/㎡임)를 발전할 수 있는 소재 prototype을 제조하는 기술 확립	2010~2015 (한국과학 기술원)

첨단융합기술개발 (미래창조과학부)	에너지 하비스팅용 나노압전 신소재 공정 기술 개발	o 에너지 하비스팅 소자를 제작하고 소재의 전기적 특성 및 출력 특성 등을 조사하여 에너지 변환 특성 극대화 연구 o 기존의 Pb를 포함하는 PZT 계열의 환경·인체 유해성 압전 소재가 아닌 Na0.5K0.5NbO3(NKN) 등을 기반으로 한 친환경 나노압전소재를 연구함	2010~2014 (고려대)
일반연구자지원 (교육부)	미활용 에너지 이용을 위한 압전-복합재료 발전소자 및 고신뢰성/고성능 에너지 하베스터 개발	o 광역 무선 네트워크 센서의 전원이라는 기존의 소극적 적용 개념을 발전시켜 상용 전기 에너지 생산이 가능한 신뢰성이 담보된 에너지 하베스터 개념연구 및 개발이 최종 목표임 - 압전 상수가 크고 내구성이 좋은 압전-복합재료 발전 소자를 연구 - 효율적인 에너지 하베스터 설계와 제작 - 내구성 시험 등을 통한 신뢰성 연구 수행	2010~2013 (건국대)
산학연협력체제 활성화지원 (미래창조과학부)	고효율 비납계 압전소재, 소자 제작기술 개발	o 세계 최고수준의 압전소자 발전 시스템 및 센서용 독립전원 시스템 개발 - 300 mW/cm^3 발전효율의 압전소자 발전시스템을 개발하여 표준화를 달성하며, 효율이 우수한 NKN 계열 비납계 압전소자를 개발	2012 (한양대)
일반연구자지원 (교육과학기술부)	압전소재 나노구조 제어를 통한 플렉서블 나노발전소자 제작 및 특성평가 연구	o 전기선 없이 자체 발전 전원을 가지고 구동해야 하는 차세대 유비쿼터스 기술 개발을 위하여, 생활 속에서 자연적으로 발생하는 기계적인 에너지를 전기적인 에너지로 변환시켜 주는 압전 소재를 이용한 플렉서블 나노발전소자를 제작, 특성 평가 및 구동 메카니즘 규명에 관련한 기초연구 수행	2008~2010 (성균관대)

나. 압전에너지 하베스팅 적용관련 연구과제 수행현황 분석

사업명 (부처명)	과제명	연구내용	연구기간 (수행기관)
이공학개인기초 연구지원 (교육부)	무공압 타이어에 적용된 고효율 압전 에너지 하베스터 장치 개발	o 무공압 타이어의 형태를 유지하는 구조물이 지면으로부터 받는 하중에 의해 발생하는 변형을 이용하는 것으로, 이 구조물에 압전 소자를 부착하여 변형 에너지를 전기 에너지로 변환	2015~2018 (창원대)
국토교통기술 촉진연구 (국토교통부)	철도 진동소음 저감형 고분자 압전소재 및 자가발전 시스템 개발	o 철도에서 발생하는 진동소음을 저감함과 동시에 압전소자의 특징을 갖는 궤도소재 개발 o 철도궤도의 진동에너지를 활용한 압전소자 기반 철도발전시스템 개발 o 철도진동 기반 압전소자를 이용한 궤도 안전진단 모니터링 시스템 개발	2015~2017 (배재대)
에너지수요관리 핵심기술개발 (산업통상자원부)	도로교통 미활용에너지 이용을 위한 압전 에너지 하베스터	o 5mW/cm^2 급 압전에너지 하베스팅 소자개발 o FEM을 이용한 고출력 유연 압전 하베스팅 소자 설계	2014~2017 (한양대)

		o 압전 하베스터용 아스팔트 바인더/혼합물 개발 o 압전 하베스팅용 양산 조성, 내외부 전극 재료 선정 및 기초 공정 프로세스 수립 o 유연 압전 소자를 위한 PVDF 물성 개질 및 특성평가	
소재부품기술개발 (산업통상자원부)	압전 복합 소재를 활용한 1mW급 설비 진단용 센서구동 전원(self-powered) 모듈 개발	o 자가발전용 소재/소자 양산공정/모듈개발 및 압전 자가발전용 양산소재기술 기반확립 o 자가발전용 압전 소자 설계 및 제작 기술 o 자가발전 모듈 사양, 발전 환경 시뮬레이션 및 시스템 응용 자가발전 모듈 사양 및 저손실 회로 개발	2014~2017 (아모센스)
중소기업상용화기술개발지원 (중소기업청)	압전소자를 이용한 USN기반 실시간 누수진단 시스템 개발	o 관로의 노후 및 파손에 의해 누수가 발생시 누수 확인을 위한 정보 추출이 가능한 H/W, F/W 기술 개발 o 다수의 누수음 검지기에서 전송된 누수검지 정보를 관제센터로 전송하기 위한 H/W, F/W 기술 개발 o 누수 신호 분석 및 관제 소프트웨어 기술 개발 o 유지관리용 누수진단 소프트웨어 개발	2013~2014 (디앤샤인)
일반연구자지원 (교육부)	매립형 압전센서를 이용한 콘크리트의 재료특성 평가기술 개발	o 매립형 PZT 압전센서를 이용한 몰탈 및 콘크리트의 재료 특성 파악연구 o PZT 압전센서의 전기적-역학적 임피던스 변화와 콘크리트의 재료 특성 변화 모형 개발	2011~2014 (충북대)
건설교통기술촉진연구 (국토교통부)	철도차량 적용을 위한 압전하베스팅 시스템 개발	o 철도차량 진동 측정 및 분석을 통하여 선별되어진 열차 조건에서 0.1 mW/cm^3 발전시스템 설계 o 고성능 에너지 하베스팅용 압전 조성 개발 o 시스템 성능 및 신뢰성 검증을 위한 철도차량에 시범설치/적용하여 평가	2011~2013 (한양대)
건설기술혁신사업 (국토교통부)	압전소자를 이용한 발전기능과 하중계측기능을 가진 교량받침의 개발	o 압전-복합재료 발전소자의 내구성 향상, 신뢰성 확보를 위한 정적해석, 환경시험, 내구성 시험 등을 수행하여 성능 개선 o 압전-복합재료 발전소자가 내장된 교량받침의 실물크기 시험체를 제작하여 성능시험 수행 o 발전된 에너지를 이용하기 위하여 필수적인 축전시스템의 개발	2011~2013 (건국대)
해외협력기반조성사업 (교육과학기술부)	압전 나노전력발전소자 기반 대면적 에너지 하베스팅	o 우수한 압전특성을 나타내는 신물질을 개발· 제어하고 최적의 단위셀 정렬 연구를 통하여 고효율의 나노전력발전소자 기반 에너지 하베스팅 소자를 구현 o 고품질의 ZnO 나노와이어의 저온 성장·제어 조건을 확립하고 소자 설계를 통하여 3차원 적층구조의 집적화된 고출력의 나노전력발전소자에 의해 구동되는 "self-powered" 나노소자를 구현	2010~2013 (성균관대)
신재생에너지기술개발 (지식경제부)	압전 하베스팅을 이용한 미활용 수력에너지 회수기술	o 에너지 하베스팅 단위 모델의 수확부 구조 제작 기술 개발 - 목표치 (전력밀도): 30mW/100 cm^2 o 수력발전용 복합구조 설계 및 계면 제어기술 개발	2010~2012 (한양대)

		o 압전 발전모듈 단위구조설계 및 발전특성 평가 기술 개발	
교통물류연구사업 (국토교통부)	Energy Harvesting을 이용한 도로교통시설물 제어시스템 개발	o 압전 기술을 이용한 전력발생 모듈 제작 o 압전 충전회로제작 및 압전발전모듈 평가 o 압전무선스위치 제작 o 압전발전모듈 현장설치 및 발전특성 평가	2009~2012 (진우소프트이노베이션)
방사선기술개발사업 (교육과학기술부)	구조물 진단을 위한 압전센서 Networking 기술개발	o 유한요소법을 통한 임피던스 및 유도파와 손상의 상호작용 분석 o 기저자료(기초비교자료-baseline reference data) 없이 손상을 감지할 수 있는 무기저 임피던스 및 유도파 기법 개발 o 손상 위치 및 크기의 정량적 추정이 가능한 통계적 기법 개발	2007~2012 (한국과학기술원)

다. 압전 에너지하베스팅 관련 R&D 및 관련 기관 활동

○ 한양대학교, 한국건설기술연구원 등 총 6개 기관은 산업통상자원부 주관으로 '도로교통 미활용에너지 이용을 위한 압전 에너지 하베스터 개발 및 실증' 과제를 수행 중임

○ ㈜진우소프트이노베이션에서는 국토해양부 주관으로 'Energy Harvesting을 이용한 도로교통시설물 제어시스템 개발' 과제를 수행함

○ ㈜센불은 부산 서면역에 압전 에너지 하베스터를 설치하여 지하철 승객의 도보로부터 에너지를 수확하여 핸드폰 충전 및 야구게임 등을 하며 압전 발전을 체험할 수 있게 함

○ 한양대학교는 2015년 7월, 수요자 근접형 발전 기술인 '압전 에너지 하베스터'로 에너지 소비절감 및 그린 에너지 기술을 위한 저탄소 에너지 생산형 인프라 구축을 위하여 교책연구소 '에너지 하베스팅 센터(SEED Center)'를 개소함

○ 전자부품연구원(KETI)에서는 압전 발전 성능 향상 및 실증에 대하여 활발한 연구를 진행하고 있으며, 2015년 사업화대상기술로 압전 에너지 하베스팅을 선정함

○ 한국과학기술기획평가원(KISTEP)에서는 2016년 7월 청소년들의 미래 직업의 탐색과 교육에 활용될 수 있는 '과학기술 분야 유망 신직업 진로 가이드'를 발간하였으며, 에너지 분야 유망 신직업으로 '에너지 하베스팅(Energy Harvesting) 전문가'를 선정함

○ 한국표준과학연구원(KRISS)에서는 빠르게 성장하고 있는 압전 에너지 하베스팅 분야에서 성능과 효율을 비교할 수 있는 평가 표준이 마련되어 압전 소자 실용화를 앞당길 수 있도록 2015년 3월 압전 에너지 하베스팅 분야의 산·학·연 유일 자발적 협의체인 '에너지 하베스팅 교류회'를 설립함

5. 국내·외 기술동향 분석 소결

가. 국내·외 R&D 동향 분석 소결

○ 압전 에너지 하베스팅 기술이 실용화되기 위해서는 기본적으로 외부의 기계적 에너지를 압전재료에 전달하는 단계, 전달된 기계적 에너지를 압전재료를 이용하여 전기에너지로 변환하는 단계, 변환된 에너지를 전기적인 회로를 통해 슈퍼캐퍼시터(super capacitor)나 2차 전지에 충전하는 단계, 마지막으로 저장된 에너지를 효과적으로 활용하는 단계가 필요하여 각 단계별 R&D 기술 동향을 분석한 결과는 다음과 같음

○ [1단계] 에너지 전달

- 차량의 기계에너지(진동 및 충격에너지)가 압전 에너지 하베스터로 전달되는 경로를 분류하면 직접 전달되는 방식과 도로포장체를 통해서 간접 전달하는 방식으로 나눌 수가 있으며, 직접 전달 방식은 주로 노출형 설치를 의미하며 간접 전달 방식은 도로포장체 하부에 압전하베스터를 설치하는 방식으로 정의 할 수 있음
- 직접 전달방식에서 과속방지턱형은 진동보다 충격에너지가 크게 발생되며 차량의 속도가 저하되는 한계가 있으며, 포장표면 노출형의 경우는 도로포장체와 압전하베스터의 부착 및 내구성 문제가 해결되어야하며, 세그멘탈 블록형의 경우는 블록 포장이 가지는 특성인 수직,회전,수평 거동과 압전하베스터의 매칭문제를 고려해야 함
- 간접 전달방식의 경우 기존에 도로용 재료로 많이 쓰이고 있는 콘크리트 및 아스팔트 포장 하부에 적용시는 Bulk-type 충격형 압전하베스터가 적당하나 발전 효율이 떨어지는 한계가 있어 압전 하베스터의 압전효율을 높이기 위한 폴리머 계열의 새로운 재료 개발이 필요함

○ [2단계] 전기에너지로 변환

- 압전 소자분야는 크게 '세라믹 계열'과 '폴리머 계열'로 구분할 수 있으며 세라믹 계열은 다시 'Bulk-type 충격형'과, 'Plate-type 진동형'으로 나눌 수가 있음. 또한 'Plate-type 진동형'은 기계적 발전 방식에 따라 '캔틸레버 방식'과 '양단고정 방식'으로 세분화 할 수 있으며, '폴리머 계열'은 '나노 합성물형'과 '박막형'으로 구분할 수 있음
- 세라믹 압전재료인 PZT의 기계-전기 결합계수는 k=0.5로 PVDF의 k=0.2보다 큰 장점이 있으나 폴리머에 비해 단단하여 적은 진동으로 에너지가 발생될 수 없으며, 잘 깨져서 큰 변형에는 사용할 수 없는 단점이 있음

- 반면 폴리머는 유연하여 큰 변위에 사용될 수 있으나 전기-기계결합계수가 작다는 단점이 있음
- 한양대에서 개발한 Plate-type 양단고정방식 압전 하베스터는 캔틸레버 형태에서 한 단계 더 나아가 적은 변위에서도 많은 출력을 낼 수 있는 구조로 압전체의 배열 방식을 적층형으로 적용시 최대 140 mWs 전력을 생산할 수 있음

○ [3단계] 전기에너지 충전

- 압전하베스터에 의해 생성된 교류 전압을 슈퍼 캐퍼시터나 2차전지에 충전하기위해서는 정류 다이오드와 평활화 캐퍼시터를 이용하여 교류를 직류로 변환시키는 변환회로가 필요함
- 현재 압전 하베스터로 발생되는 peak 전압은 일반적인 저장 장치의 전압보다 높아 buck 컨버터가 필요한 반면 peak 전압 후에 발생하는 펄스들은 저장 장치의 전압보다 낮아져 boost 컨버터가 필요하므로 이를 만족하는 저전력 및 고효율의 특징을 갖는 synchronous buck-boost 컨버터를 개발이 필요함
- 신재생에너지 하이브리드(NRE-H) 분산발전시스템은 입지환경이나 자연조건에 크게 영향을 받아 출력 변동이 심하여 연속 공급이 불가능하고 에너지 생산시점과 수요시점의 시간차가 발생하게 되므로 압전 에너지 하베스팅을 활성화를 위해서 에너지저장시스템이 중요함
- 압전 에너지 하베스팅 발전에 적용하기 위한 배터리의 특징을 고려한 결과, 주파수 특성, 전압 변동성을 고려하면 단주기 리튬 2차를 우선적으로 적용할 수 있음

○ [4단계] 압전에너지 활용

- 압전 에너지 활용분야는 도로에서 발전시킬 수 있는 압전 발전량에 대해 발전 가치 측면에서 검토하고 압전과 태양광을 연계시킨 하이브리드 발전 분야에 대해서 조사를 실시하였음. 또한 도로에서 필요한 에너지 공급 측면에서 분산소형 발전소 개념에 대해 조사하고, 내구성 확보 측면과 테스트 베드에 대해서도 검토하였음
- ㈜ 진우소프트이노베이션에서는 압전에너지를 이용하여 도로교통시설물(LED 형광등) 제어 목적의 실증실험을 실시하였으며, 캔틸레버 방식-다층패드형 압전모듈을 도로에 설치하여 시속 70 km/h로 SUV가 달렸을 경우 73.55 mW의 발전량을 측정하였음
- 한양대학교에서는 양단고정방식의 압전하베스터를 개발하였으며, 경북 안

동에서 시험시공을 통해 시속 60 km/h 승용차 주행 시 단위 면적당 전력 4.91 W/m^2의 발전량을 측정하였음

- 발전효율을 향상시키기 위해 태양광과 결합한 하이브리드형(hybrid type) 발전방안, 자율주행시대를 대비한 분산 소형 발전소 개념 적용, 도로포장체에 적용시 예상되는 고온, 저온, 내화학성, 진동 등에 대한 내구성 확보, 최종적으로 에너지 자립형 도로 실증을 위한 테스트베드 구축 방안에 대한 검토가 필요함

나. 논문동향분석 소결

○ 압전 에너지 하베스팅 기술의 도로적용을 위하여 '압전', '소자', '세라믹', '센서', '에너지', '하베스터' 및 '도로'를 핵심 키워드로 논문 동향 분석을 실시했으며, 본 기획에서 주안점을 두고 있는 도로 적용 압전기술과 상관성이 높은 13 건의 논문을 분석하였음

- 논문 동향은 실제 테스트 베드에 압전하베스터를 매설한 후 차량 속도에 따라 발전량을 계측한 (30 km/h 속도시 약 20.6 mW 발전량) 연구에서부터 실험실 수준에서 압전 발전 가능성을 검토한 논문까지 다양한 수준 분포를 보이고 있으나 공통적으로는 발전량에 대한 정의가 명확하지 않으며, 개발된 압전하베스터에 대한 상세한 제원은 파악하기 어려웠음
- 비록 실내실험 수준이기는 하나 '압전하베스팅 모듈과 태양광 모듈의 융합형 에너지 생산시스템에 관한 연구(2016, 강성윤)' 석사 학위 논문은 하이브리드형 발전 가능성에 대한 잠재 가능성을 보여준 논문으로 평가됨

다. 특허분석 소결

○ 특허동향분석은 '도로용 압전 하베스터 모듈', '에너지 저장 모듈', '압전하베스팅 도로의 적용 가능 분야', '압전 하베스팅을 위한 도로시스템' 분야로 나누어서 분석이 진행됨

- 선행기술 조사에 따르면 도로에 압전소자를 매설하여 압력이나 진동에너지를 이용하여 전기를 발생시키는 특허 등이 다양하게 등록되어 있기는 하나 실용화 및 사업화까지는 진행된 사례는 거의 없는 것으로 파악됨
- 압전소자로부터 발생된 전기에너지를 직류로 변환하여 충전하는 다양한 특허가 검색되었으나, 도로부분의 에너지 파형에 적합한 전력변환 부분에 대해서는 지속적인 연구가 필요할 것으로 보임

- 압전하베스터를 통해 생산된 전력의 사용처로는 도로 하중 및 환경 센싱, 신호발생, 디스플레이, 조명, 무선통신기기 등에 적용이 가능하나 대용량 발전을 위한 특허 출원 내용은 거의 없음
- 압전 하베스터를 도로에 매설하는 방식은 개념적으로는 단순해 보이나 실제 실용화 및 사업화를 위해서는 내구성 문제에 대한 검토가 반드시 고려되어야 함
- 추가로 진행된 로타리 방식의 압전하베스터 기술 분야는 본 기획과정을 통해 도출된 간접-자력 방식과 높은 유사도를 나타내고 있으나, 세부 기술인 압전소자 형태(기존 핵심특허는 외팔보 형태로 구성됨)의 경우 간접-자력 방식의 요소 기술과 상당한 차이가 있어 특허 중복성 우려는 없는 것으로 판단됨

라. 국내·외 기 수행된 연구과제 현황 분석 소결

○ 국내 기 수행된 연구과제 현황은 '압전에너지 하베스팅 소재/소자 분야'와 '압전에너지 하베스팅 적용 분야'로 나누어서 분석을 실시하였음

○ 압전에너지 하베스팅 소재/소자 분야는 2010년을 전후하여 이공계 (미래창조과학부 및 교육부) 지원사업으로 각 대학을 중심으로 R&D 연구가 진행됨

- 연구의 방향은 압전 소재/소자의 개선을 통해 압전 효율을 높이는 방향으로 진행되었으며, 발전효율은 1 ㎾/㎡, 300 mW/cm^3 등 개발방식에 따라 다양한 형태로 표현되어 절대적인 비교는 어려움

○ 압전에너지 하베스팅 적용 분야는 2010년 이후부터 공학계 (국토교통부 및 산업통상자원부 등) 지원사업으로 대학, 기업, 출연연 등이 중심이 되어 실용화 연구를 진행함

- 압전에너지 하베스팅 적용분야로는 무공압 타이어, 철도 궤도, 도로발전, 교량 받침, 누수진단, 수력 발전용, 구조물 진단용 등 다양한 분야에서 적용 가능성이 검토되고 있음
- 발전량 측면에서는 적용 대상의 필요 전력량에 따라 5mW/cm^2 , 0.1 mW/cm^3 , 30mW/100 cm^2 등으로 다양하게 표현되고 실제 발전량에 대한 전제조건이 상이하여 절대적인 비교는 어려우며, 현재 진행형 과제들이 많아 최종 성과에 대해서는 지속적인 모니터링이 필요함

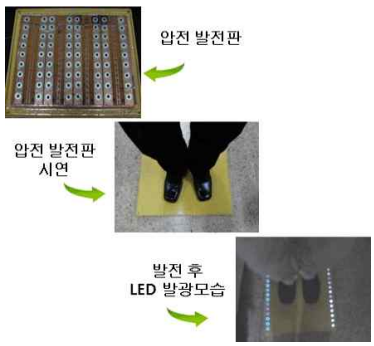
4절. 국내 연구개발 인프라 분석

1. 연구 인프라 분석

가. ㈜센불의 압전에너지 블록

○ 현재까지 나노(Nano) 또는 마이크로(Micro) 스케일을 벗어나 매크로(Macro) 스케일의 압전하베스팅 기술을 상용화 단계까지 개발한 국내 기업으로는 ㈜센불이 있음

○ ㈜센불은 개발한 압전소자를 이용한 압전에너지 블록을 부산 서면 지하철역에 설치하여 시민의 보행에 의해 수확된 에너지를 활용한 발전시스템 및 홍보전광판을 운영하였음



압전에너지 블록(압전 발전판)

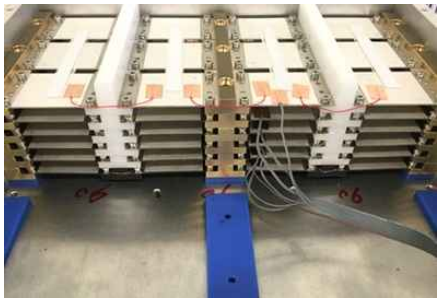

압전에너지 홍보전광판(핸드폰 충전/게임)

○ ㈜센불은 ㈜진우소프트이노베이션, 한국세라믹기술원과 함께 국토교통부의 지원을 받아 "Energy Harvesting을 이용한 도로교통 시설물 제어시스템 개발" 연구과제를 통하여 도로매설에 적합한 압전발전장치 개발 및 현장실증 연구를 수행함

나. 한양대학교의 도로용 압전하베스터 모듈

○ 한양대는 한국건설기술연구원 등 총 5개 기관과 컨소시엄을 구성하여 도로용 압전하베스터 모듈을 개발하고 포장가속시험기(APT)를 활용한 하베스터의 효율 및 내구성 검증을 위한 연구를 수행중에 있음

- "도로교통 미활용에너지 이용을 위한 압전에너지 하베스터 개발 및 실증", 산업통상자원부



도로용 압전하베스터 모듈



포장가속실증실험 인프라(한국건설기술연구원)

2. 연구 인력 분석

가. 한양대

○ 한양대(전기공학과)에서는 산화금속 나노구조물의 압전특성 연구, 비납계 압전 소재/소자 제작기술 등 압전하베스팅 소재의 발전효율 향상을 위한 기초연구를 수행하였으며, 적용처별 특성을 반영하여 효율성을 극대화한 압전하베스팅 모듈 원천기술, 시작품 제작 및 성능평가 기술을 보유하고 있음

○ 압전하베스팅을 활용한 응용분야로는 미활용 수력에너지 회수기술, 철도차량 적용을 위한 압전하베스팅 시스템 개발을 수행하였으며, 현재는 도로교통 미활용 에너지 이용을 위한 압전에너지 하베스터 개발 및 실증 연구를 주도적으로 수행중에 있음

나. 한국세라믹기술원

○ 한국세라믹기술원은 2005년부터 자가 발전이 가능한 압전 세라믹 소재 및 에너지 하베스팅 모듈 개발 등 관련 연구를 지속적으로 수행하고 있음

○ ㈜센불과 공동 연구를 통하여 차량의 이동하중에 의한 충격 에너지를 이용하여 LED 가로등을 점등할 수 있는 무선 스위치 적용을 위한 도로에너지 하베스팅 연구를 수행하였음

다. 한국건설기술연구원

○ 도로연구소에서는 주행하는 차량하중으로부터 에너지를 수확할 수 있는 도로환경에 최적화된 압전에너지 하베스팅 관련 연구를 지속적으로 수행하고 있음

○ 최근에는 한양대와 공동연구를 통하여 압전 하베스터를 포함하는 도로 포장층의 성능 및 내구성을 증진시킬 수 있는 도로 매립형 압전하베스터용 고인성/무공극 아스팔트 배합설계 및 혼합물 개발 연구를 수행중에 있음

라. 한국과학기술원(KAIST)

○ KAIST 건설/환경공학과 연구팀은 폴리우레탄 기반의 압전복합체를 개발하여 차량 통과시 최대 26V의 전압을 생산하는 압전에너지 하베스터를 개발하였으며, 해당 연구에서는 압전재료와 탄소나노튜브(CNT)를 병용함에 따른 압전 하베스터의 효율변화 및 압전 복합체의 내구성 향상 등에 대한 연구를 수행하였음

○ KAIST 전기/전자공학과 연구팀은 배터리의 전력을 이용하지 않고도 압전소자에서 발생하는 전류를 이용하여 전압을 축척(Pile-up)한 후 수확하는 기술을 개발하였으며, 개발된 고효율 공진회로는 일반 회로보다 422%, 기존 공진회로보다는 150% 향상된 에너지 수확 효율을 보임

마. 성균관대학교

○ 성균관대(신소재공학부)는 미국 조지아공대과 공동연구를 통해 플렉시블한 기판상에 산화아연(ZnO)을 포함한 우수한 압전특성을 나타내는 물질의 나노구조물을 제어/집적화하여 고효율 소자 제작기술을 확보하고, 나노전력 발전소자에 의해 구동되는 “self-powered” 소자를 구현하는 연구를 수행하였음

3. 연구 개발 인프라 분석 소결

○ 도로분야에서 상용화 단계에 이른 압전에너지 하베스팅 기술은 많지 않으며, 민간기업으로는 ㈜센불에서 보도 및 차도에서 에너지를 수확할 수 있는 압전에너지 하베스터를 개발하여 홍보전광판을 운영하였으며 가장 적극적으로 기술개발을 주도하였음

○ 다양한 압전재료를 활용한 압전소재/소자 및 고효율 공진회로의 개발은 한국세라믹기술원, 한국과학기술원, 성균관대학교 등을 포함한 출연연 및 학계에 많은 연구인력이 있으며, 도로환경에 최적화된 압전에너지 하베스팅 관련 연구는 최근 들어 한양대와 한국건설기술연구원에서 공동으로 연구를 수행 중에 있음

5절. 종합 분석

1. 동향분석을 통한 연구개발 추진 방향

○ 압전 에너지 하베스팅 기술을 도로에 적용하여 매크로 스케일 발전을 실현하기 위해서 국내·외 정책동향, 시장동향, 연구개발 동향 분석을 수행하였으며 국·내외 기술개발 동향 분석 결과를 중심으로 연구개발추진방향을 제시함

○ 압전 하베스팅 기술 실용화를 위해 필요한 '에너지 전달단계', '전기에너지 변환단계', '전기에너지 충전단계', '압전에너지 활용 단계'에 대한 각각의 연구개발 추진방향을 다음과 같이 제시함



<압전 도로 에너지 하베스팅 연구개발 추진 단계 >

가. 에너지 전달

○ 차량의 기계에너지를 압전 에너지 하베스터로 전달하는 방식 중 에너지 전달 효율이 가장 높은 '표면 노출형-포장표면 노출형'과 '세그멘탈 블록형-차도형 블록형'을 우선 압전에너지 도로 형식으로 고려하며, 간접 전달 방식에서는 '폴리머 재료'를 적용하는 방안을 차선으로 고려할 수 있으며 각 설치 방식별 장·단점을 정리하면 아래와 같음

<충격 에너지 전달/설치형태에 따른 도로 에너지 전달방식 검토>

전달방식	설치형태	설치종류	장·단점
직접 전달 방식	표면 노출형	과속 방지턱형	▪ 에너지 전달 효율 높음 ▪ 차량진입 속도 떨어짐
		포장 표면 노출형	▪ 에너지 전달 효율 높음 ▪ 차량진입 속도 높음 ▪ 매설에 따른 내구성 검토 필요
	세그멘탈 블록형	블록형	▪ 에너지 전달 효율 높음 ▪ 저속 및 정속주행에 적합 ▪ 블록거동 매커니즘과 매칭필요
	도로 시설물 설치형	교량 진동 Damper 형	▪ 교량 설치 위치 제한 ▪ 교량 구조형식에 따라 제한
간접 전달 방식	강성 포장 하부	콘크리트 포장 하부	▪ 에너지 전달 효율 낮음 ▪ 개보수가 어려움
	연성 포장 하부	아스팔트 포장 하부	▪ 에너지 전달 효율 낮음 ▪ Bulk-type 충격형 적용 가능
	압전 포장 하부 (개념)	폴리머 재료 적용 (미개발 분야)	▪ 포장체와 동등한 강성 요구 ▪ 탄성회복 용이한 재료개발필요



<도로 적용 압전 에너지 하베스팅 개념도>

나. 전기에너지 변환

○ 압전소재/소자 측면에서는 전기-기계결합계수(k)값이 높은 '세라믹 계열'의 압전재료인 $Pb(ZrTi)O_3$(PZT)를 우선 고려하며, 발전 방식은 한양대에서 개발하고 있는 'Plate-type 진동형 방식-양단고정 방식'을 압전에너지 하베스터로 고려할 예정이며 각 설치 방식별 장·단점을 정리하면 아래와 같음

<압전에너지 변환 방식 검토>

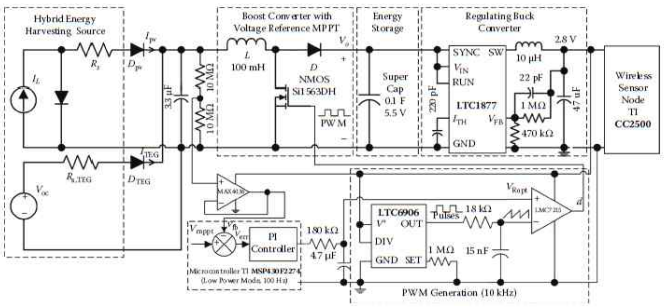
압전 재료	발전 방식	진동 방식	장·단점
세라믹 계열	Bulk-type 충격형		▪ 기존 포장 하부에 적용가능 ▪ 압전 소자/소재 품질이 중요함 ▪ 두께가 두꺼워 취성적임
	Plate-type 진동형	캔틸레버 방식	▪ 전기-기계결합상수 높음 ▪ 공진주파수/진동주파수 일치중요
		양단고정 방식	▪ 적은 변위에서도 출력이 높음 ▪ 적층형 적용시 발전효율 높음 ▪ 최대 2mm 외부 변위 필요
폴리머 계열	나노합성물 형		▪ 나노/마이크로 발전방식에 적합 ▪ 유연하며 내구성이 높음 ▪ 전기-기계결합상수 낮음
	박막형		

- 2016년 기준 한양대에서 개발한 압전소자/소재 기술은 세계최고 수준이며 기존 최대 압전 발전량 (25mW/cm^3, University of British Columbia, canada, 2013) 대비 약 23배 압전효율이 높은 578 mW/cm^{3}의 기술을 확보하였다고 알려져 있음

다. 전기에너지 충전

○ 전기에너지 충전 분야는 크게 압전 하베스터에서 발생되는 AC를 DC로 변환하는 '정류회로', 발생된 전류량을 최적화 하기위한 임피던스 매칭회로인 '최적화 회로', 낮은 출력 전압을 승압시키는 '승압회로', 승압된 전압을 슈퍼 캐퍼시티나 2차전지에 충전하는 '축전지분야', 최종 사용 목적에 따라 출력을 조절하는 '출력회로' 분야로 나눌 수 있음

○ 차량에서 수확되는 압전에너지는 출력 변동이 심하고 연속 공급이 불가능하고 에너지 생산시점과 사용시점의 시간차가 발생하게 되므로 압전에너지에 최적화된 에너지저장장치(ESS, Energy Storage System)의 구성 및 개발이 필요함



<에너지 충전 장치 계통도>

<전기에너지 충전 방식 검토>

분 야	세부 방식	내용	설명
정류회로 (Rectifier)	AC/DC	▪ diode bridge	AC를 DC로 변환
최적화 회로 (Impedance matching Circuit)	matching	▪ Variable capacitor	임피던스 매칭
승압회로 (Boost converter)	DC/DC	▪ voltage step-up ▪ Villard multiplier ▪ Dickson multiplier	높은 출력 전압
축전지 (Battery)	Battery	▪ Super capacity ▪ Lithium	전기에너지 충전
출력회로 (Output voltage regulation)	DC/DC	▪ Buck-Boost Converter	승압/강압

라. 압전 에너지 활용

○ 압전 에너지 활용분야는 도로에서 발전시킬 수 있는 압전 발전량에 대해 발전 가치 측면에서 검토하고 압전과 태양광을 연계시킨 하이브리드 발전 분야, 분산 소형 발전소 개념, 내구성 확보 측면과 테스트베드 구축방안에 대해 다음과 같이 연구개발 전략을 수립함

(1) 압전 에너지 하베스터 발전량

○ 압전 에너지 하베스팅을 통해 도로에 필요한 에너지를 공급하는 단계에서는 크게 나노(nano)나 마이크로(micro) 스케일의 전력공급방식과 매크로(macro) 스케일의 전력공급 방식으로 구분할 수 있으며, 이 같은 발전 요구성능에 따라 도로에 실제 적용되는 압전에너지 하베스터 크기와 설치량은 크게 달라질 수 있음

○ 현 단계에서 세계 최고수준의 압전 하베스터 성능(한양대 개발 : 압전소자 1개 평균 발전량 1.75 mWs - 38mm*38mm*0.2mm PZT 소자 적용시)을 효과적으로 도로에 매칭시키고, 이를 도로에 적용 시 발생될 수 있는 도로 측면의 검토사항(주행쾌적성, 안전성, 내구성 등)을 종합적으로 고려하여 단계적 발전방안을 제시할 필요가 있음

○ 매크로(macro) 스케일 발전량 검토

- 한양대에서 개발한 양단고정방식 압전하베스터 2차년도 실증결과를 근거로 압전 발전량 계산하면 다음과 같음

STEP	조건	추정발전량	단위
1	▪ 압전소자 1개 평균 발전량 - 38mm*38mm*0.2mm PZT 소자 적용	0.875	mWs
2	▪ 압전모듈 1개 평균 발전량 (1번 재하) - 압전모듈 : 압전 소자 80개로 구성 - 압전모듈 크기 : 50 cm * 20 cm	70.00	mWs
3	▪ 차량 1대 통과 시 평균 발전량 (2번 재하) - 일반 승용차 기준 : 앞, 뒤 바퀴 재하시	140.00	mWs
4	▪ 차선당 1일 교통량 가정 연평균일교통량(Annual Average Daily Traffic) - 2016 도로업무편람 기준 - 고속도로 일평균 교통량 적용(48,505대) - 차량분배계수 (Dd) : 0.525 적용 - 차로분배계수 (Dl) : 0.85 적용 - 횡방향 변동계수 (W) : 0.92 적용	20,015.00	대
5	▪ 차선당 일일 발전량 / 1-압전모듈	2,802,100.00	mWs
		0.78	Wh
6	▪ 차선당 년간 발전량 / 1-압전모듈	284.10	Wh
		0.28	kWh

<압전 하베스터 설치 개수 별 발전량 계산, 2016년 발전량 기준>

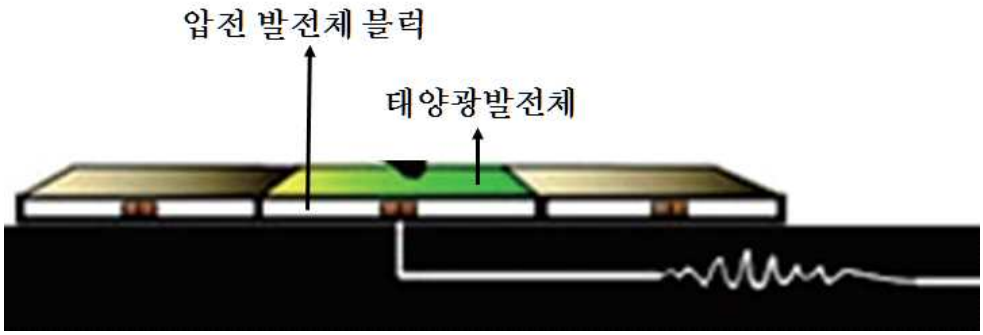
압전 하베스터 설치 개수	일일 발전량 (Wh)	년간 발전량 (kWh)
1	0.78	0.20
10	7.78	2.84
100	77.84	28.41
1,000	778.36	284.10
3,520	2739.83	1000.04

- 실제 압전 하베스터를 이용하여 매크로 수준의 발전가능성을 검토한 사례는 국내·외적으로 많지 않으며(예: 진우소트프이노베이션- 시속 70 km/h로 SUV가 달렸을 경우 73.55 mW의 발전량 측정, 단, 순간 최대 발전 개념일 경우 발전량(watt*sec=Ws)은 훨씬 떨어질 것으로 추정됨), 실험실 혹은 단순 현장 테스트 단계의 연구성과를 보여주고 있으나, 한양대 연구결과는 압전 하베스터의 도로적용을 통해 매크로 수준의 발전 가능성을 보여주는 의미있는 결과로 판단됨

(2) 압전 연계 하이브리드형 발전

○ 신재생에너지는 태양광, 진동, 열, 풍력 등과 같이 자연적인 에너지원으로부터 발생하는 에너지를 전기에너지로 변환하여 활용하는 기술임. 이러한 신재생에너지는 에너지원에 따라 장·단점이 있으며, 이를 상호 보완하여 하이브리드형 기술들이 개발하면 에너지 발전량을 높일 수 있음

○ 발전효율을 매크로 스케일로 향상시키기 위해서 신재생에너지 중 단위 체적 당 발생하는 전력량이 가장 높은 태양광 발전과 압전 발전을 융합한 하이브리드형(hybrid type) 발전방식도 적극 검토할 필요가 있으며 이를 새로운 도로 형식(예: 저속 및 정속주행 요구구간에 적용하는 블록형 도로)에 적용하는 방안도 다양한 관점에서 검토해 볼 필요가 있음



<압전+태양광 연계 하이브리드형 발전 블록 개념>

(3) 분산 소형 독립 발전소

○ 자율주행 시대를 대비하여 도로의 상태를 측정할 수 있는 IoT 센서 네트워크는 저전력 CMOS를 이용한 무선통신 모듈과 센서를 부착한 센서노드를 넓은 지역에 임의적으로 분포시켜 센싱하고 센싱자료를 무선으로 보내는 것을 특징으로 하고 있으나 주기적으로 배터리를 교체해야 하는 근본적인 문제점을 가지고 있음에 따라 압전 에너지 하베스터 모듈을 분산-소형-독립-발전소(Isolated Independent Micro Generator) 개념으로 활용하는 방안도 검토할 필요가 있음

○ 넓은 지역에 임의로 분포된 센서노드를 전선으로 연결하는 것은 현실적으로 불가능하며 배터리를 사용할 경우에는 넓은 지역에 산재한 배터리를 주기적으로 교환하는 어려움과 배터리 교체에 의한 공해문제가 발생하는 단점 있음

○ 따라서 자연에서 버려지는 에너지를 유용한 전기에너지로 변환하여 이용하는 에너지 하베스팅은 이러한 소형전자기기의 전원공급 문제를 근본적으로 해결할 수 잇는 방법으로 제시되고 있음

(4) 압전 하베스터 도로 내구성

○ 압전 에너지 하베스터를 도로에 매설한다는 의미는 도로 측면에서는 장기 공용성 및 내구성 확보 측면에서 불리한 측면이 있으므로, 열악한 도로환경에서 압전하베스터의 압전효율을 유지하기 위해서도 압전 하베스터 자체의 내구성 확보방안도 검토되어야 함

- 도로 현장에 적용 시 압전 에너지 하베스터의 내구성을 확보하기 위해서는 압전소자 자체의 피로(fatigue)거동에 대한 저항성 확보가 가장 우선되어야 하며, 고운, 저온, 내습, 열충격, 안정성, 및 진동 등 도로환경 내구성 검토도 병행되어야 함

○ 압전 하베스터가 도로에 매설됨에 따라 압전하베스터 함체와 도로포장체간의 단면 이음, 포장층간 부착성능, 표층 마무리, 환경 저항성, 온도 및 습도 변화 민감성, 제설제 사용에 따른 내화학성 등 다양한 관점에서의 내구성 평가가 이루어져야 함

○ 또한 압전 하베스터 설치에 따른 도로 변형량과 자동차 연료효율 상관관계 분석, 사용자 측면에서의 주행쾌적성(IRI, International Roughness Index) 감소, 마찰저항성 변동 유무 등도 검토할 필요가 있음

(5) 압전 하베스터 테스트 베드

○ 최종적으로는 에너지 자립형 도로 실증을 위한 테스트 베드를 단계적으로 구축하여 개발 예정기술의 발전성능 및 내구성능에 대한 명확한 검증이 필요하며, 이를 위한 구체적인 테스트 베드 총괄 운영 계획이 필요함

○ 압전 하베스터 테스트 베드는 포장가속시험기(APT, Accelerating Pavement test)를 활용하여 압전 하베스터 발전 효율을 실증하고, 내구성을 검증하는 1단계 검토를 실시 후, 실제 압전 하베스터 효율 최적화 부지 (예: 고속도로 본선 톨게이트 도로, 고속도로 휴게소 진입로 등) 선정을 통해 장기적인 공용성 평가를 순차적으로 실시할 필요가 있음

3장. 연구개발과제 구성 및 추진 전략

1절. 연구개발 추진방향 도출

1. SWOT 분석

○ 국내외 동향 및 환경분석 결과를 바탕으로 연구개발과제의 구성 및 추진전략을 도출하기 위한 사전 분석으로 SWOT 분석 실시

○ 정책, 시장, 기술의 내·외부 환경분석 결과를 바탕으로 SWOT 분석을 수행하고, 이를 연구개발 당위성, 시급성 등과 결부시켜 연구개발 추진 전략을 수립하는데 기본 자료로 활용하고자 함

○ 환경 분석으로 외부의 기회 및 위협요인을 분석하고 내부의 강점 및 약점 요인을 분석하여 핵심/세부기술을 도출하는 근거자료로 사용함

가. 강점(Strength) 분석

○ 국내의 압전소자/소재 기술은 세계최고 수준이며, 압전 에너지 하베스팅 원천기술 확보 (4.91w/m^2)

○ 나노(nano) 및 마이크로(micro) 수준의 발전량에 머물러 있던 압전에너지 하베스팅 기술이 최근 들어 급속히 발전하고 있으며, 압전재료, 압전하베스터 모듈 최적화를 통하여 압전에너지 하베스터 발전효율은 향후 400배 이상 기대

○ 국가 온실가스 목표관리 체계에 따라 2020년까지 온실가스 배출전망치 대비 수송(교통) 부분 34.3%, 건물부분 26.9%의 온실가스 감축이 필요하며, 이러한 기후변화에 대응한 국가적 차원의 정책에 부응하여 신재생 에너지산업에 대한 꾸준한 투자 증대가 이루어지고 있으며, 차세대 사업모델로 압전에너지 발전 분야에 중소기업의 투자 및 관심 고조

○ 압전 에너지 하베스터 기술의 실제 도로 적용을 위한 내구성, 발전량 등 모의환경을 통한 매크로 스케일의 발전 검증, 기술 실용화를 완성하기 위한 단계별 압전에너지 하베스터 평가기술 역량 및 인프라 확보

○ 압전에너지 하베스터를 활용하여 매크로 스케일의 발전 성능을 확보하기 위한 도로 시스템 기술은 도로 압전분야의 새로운 기술 표준을 선도할 가능성 높음

○ 선행 연구를 통해 에너지를 생산하는 압전 하베스팅 도로 시스템에 대한 실증, 운영 및 유지관리 Know-How 확보

나. 약점(Weakness) 분석

○ 대용량 발전(매크로 스케일, W급) 신재생 에너지원으로서 압전 에너지 분야는 기초연구 단계

○ 이스라엘 하베스팅 전문업체인 Innowattech, The University of Texas at San Antonio (UTSA) 등 압전소자를 이용한 프로젝트는 계속적인 연구를 추진하고 있으나 현재 압전 에너지를 이용한 도로 적용기술 개발 사례 미비

○ 차량 진동에너지의 짧은 가진 특성 및 불특정 발생으로 인한 비선형적 발전 특정으로 인하여 실용화 수준의 전력을 공급하기 위한 대용량 발전에 대한 지속적인 연구 필요

○ 순간 전압(Voltage) 특성, 임피던스 매칭(impedance matching), buck-boost 등 전기 에너지로 변환시키는 압전 에너지 고효율 전력변환 및 전력관리 회로기술 분야는 아직 기초연구 단계임

○ 열악한 도로 환경 조건(온도, 비, 눈 등)에도 견딜 수 있는 압전 소자/소재의 내구성 및 신뢰성 확보 방안 마련 필요

다. 기회(Opportunity) 요인 분석

○ 정부 차원에서 신재생에너지 기본계획(산업통상자원부)등 정책적으로 개발 장려

○ 대체 에너지원으로 풍력, 지열 및 태양광 발전 등의 에너지 수급율이 화석연료 대비 불안정하며 그 효율 또한 낮은 문제점이 있어, 전 세계적으로 친환경 에너지 수확 및 활용기술에 대한 산업, 학계에서의 개발 필요성 및 요구사항이 증대되고 있어 새로운 신재생 에너지원으로서 압전에너지 하베스팅 가치 상승

○ 압전에너지 하베스팅 기술을 도로 적용 시 분산 독립전원으로서의 신재생 에너지 공급원을 확보할 수 있으며, 대용량 압전에너지 발전방안 개발 시 압전 신재생 에너지 분야 세계 최선도국 지위 확보 가능

○ 미래 자율협력주행, IoT 유지관리 등 미래형 첨단도로 기술에 분산독립전원으로 자립형 에너지를 공급할 수 있는 차세대 전력공급원으로서 신재생에너지 지위 확보 가능

○ 저전력-고효율 기반 도로안전 시설물 연구가 꾸준하게 진행됨에 따라 추가적인 발전량 개선과 더불어 압전에너지 하베스팅과 연계한 실용화 가능성 증가

○ 특허동향 분석에서 기존 프로젝트 수행을 통한 다양한 압전도로 개념 아이디어는 출원 및 등록되어 있으나 실용화/사업화 진행 사례가 전무함에 따라 회피전략을 통한 실증기반의 지식재산권을 신규 확보 가능

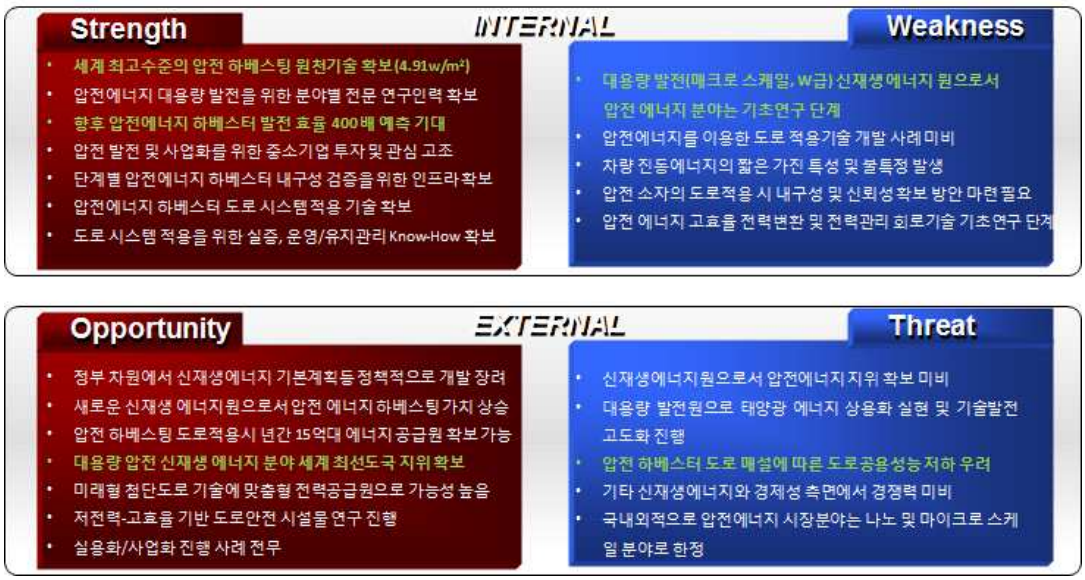
라. 위협(Threat) 요인 분석

○ 신재생에너지원으로서 압전에너지 지위 확보 미비

○ 대용량 발전원으로 태양광 에너지 상용화 실현 및 기술발전 고도화 진행이 빠르게 진행되고 있어 신재생에너지원으로서 적극적 도입가능성에 대한 경제성/타당성 제시필요

○ 압전에너지 하베스터를 도로에 매설함으로써 도로의 내구성 등 도로 공용성능의 저하가 우려됨에 따라 실증을 통한 검증 필요

○ 국내·외적으로 압전에너지 시장분야는 나노 및 마이크로 스케일 분야로 한정되어 있어 향후 신재생에너지원으로서 시장 확대가 필요함



<SWOT 분석 실시>

2. 연구개발 추진 방향 정립

가. 강점 활용을 통한 기회확대 전략 (SO 전략)

○ 대용량 압전에너지 발전을 위하여 '세라믹 압전체' 기반 압전 에너지 하베스터 모듈 효율 향상기술 개발 가능

○ 압전에너지 하베스터 도로 적용에 대한 선행 know-How를 바탕으로 차량진동에너지 직접전달 도로구조 시스템 개발이 가능

○ 신재생에너지 정책적 장려를 기반으로 압전에너지 하베스터 관련 중소기업의

적극적 참여 가능

○ 자율협력 주행 및 미래 스마트 도로 인프라 건설을 위한 무선센서 네트워트 적용형 분산소형발전소 적용 기술 개발 필요성이 대두됨

나. 강점 활용을 통한 위협극복 전략 (ST 전략)

○ 압전에너지 하베스터 도로 매설 시 원활한 도로 공용성능 확보기술 개발이 필요함

○ 포장가속시험기 및 실증 테스트 베드 적용을 통한 압전에너지 하베스터 장기공용성 평가 기술 개발 추진이 필요함

○ 압전에너지 하베스터 도로 적용을 위한 압전에너지 도로 경제성 분석 기술 개발이 필요함

○ 압전에너지 도로 기술 확대를 위해 압전도로 발전량 추정 모델 개발이 필요함

다. 약점 보완을 통한 기회활용 전략 (WO 전략)

○ 도로 주행성 확보를 위해 차량진동에너지 간접 전달 도로 구조 시스템 개발이 필요함

○ 압전에너지 하베스터 자체 내구성 확보 기술 개발이 필요함

○ 압전에너지 하베스터 도로의 공용성 및 내구성 확보 기술 개발이 필요함

○ 압전에너지를 이용한 저전력-고효율 기반 도로시설물 적용 기술이 필요함

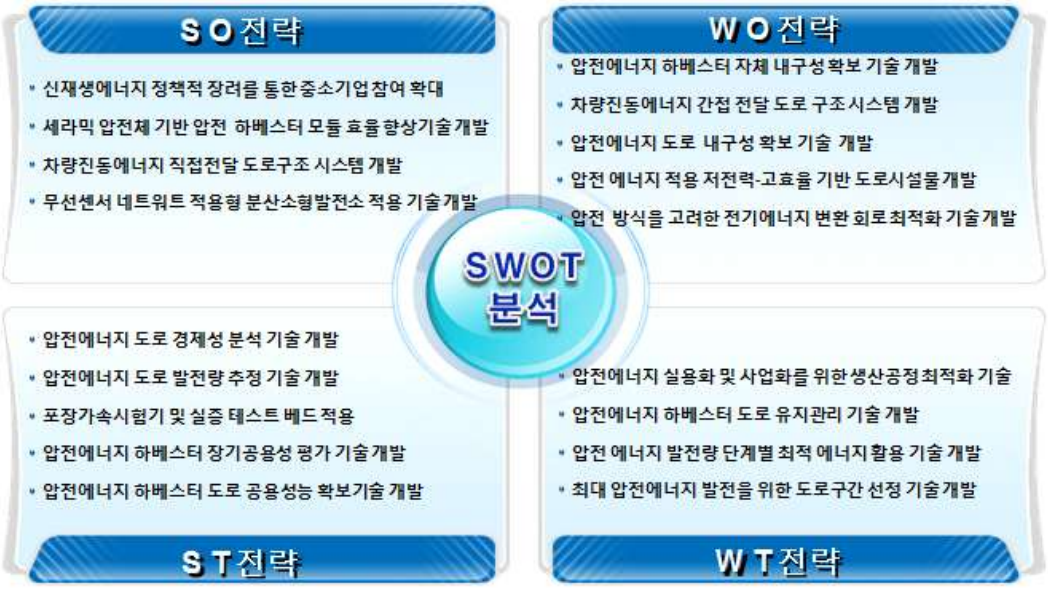
○ 압전 발전 방식을 고려한 전기에너지 변환 회로 최적화 기술 개발이 필요함

라. 약점 보완을 통한 위협극복 전략 (WT 전략)

○ 압전에너지 실용화 및 사업화를 위한 생산공정 최적화 기술 개발이 필요함

○ 압전에너지 발전량 단계별 최적 에너지 활용 기술 개발이 필요함

○ 최대 압전에너지 발전을 위한 최적 도로구간 선정 기술 개발이 필요함



<연구개발 추진 방향 정립>

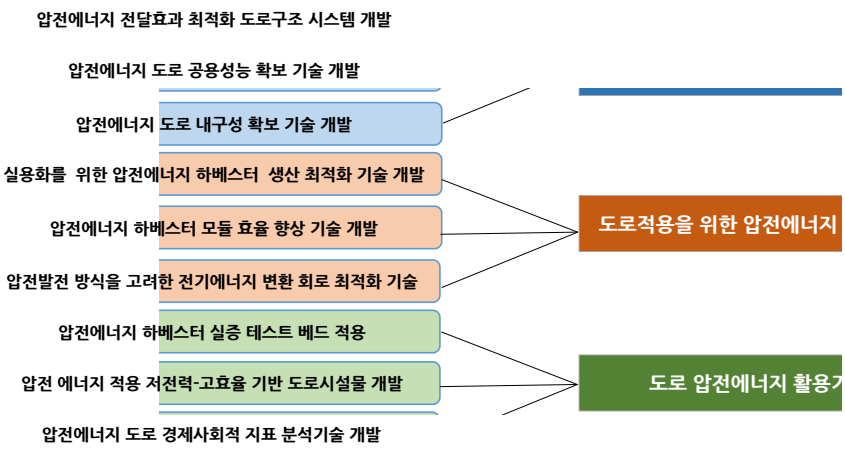
3. 중점추진 연구분야 도출

○ 내부의 강점/약점 요인을 분석하고, 외부의 기회/위협요인을 정량화 한 후, 이를 통한 연구개발추진 방향을 모색하였으며, 도출된 연구추진 방향의 위계 조정 및 그룹핑을 통해 '압전에너지 전달 최적화를 위한 도로구조 기술 개발', '압전에너지 모듈 효율 향상 기술 개발', '도로 압전에너지 활용 및 운영·관리 기술 개발'의 3개 중점추진분야가 도출됨

○ **(압전에너지 전달 효율 향상을 위한 도로시스템 개발)** 도로에서 발생되는 진동 및 충격에너지를 압전에너지 하베스터로 효과적으로 전달하기 위한 최적 도로구조기술 개발이 필요함

○ **(도로 적용을 위한 압전에너지 모듈 최적화 기술 개발)** 현행 압전에너지 하베스터 모듈의 발전량을 혁신적으로 향상시키고, 발생된 전기에너지를 활용하기 위한 에너지 변환 및 저장 모듈을 개발하는 기술이 필요함

○ **(도로 압전에너지 활용기술 개발 및 실증)** 도로에서 발생된 에너지를 압전에너지 하베스터를 이용해서 효과적으로 전기 에너지로 변환시키며, 저장된 전기에너지를 도로분야에서 효과적으로 활용하고 운영 및 관리하기 위한 기술 개발이 필요함


압전에너지 전달효과 최적화 도로구조 시스템 개발
압전에너지 도로 공용성능 확보 기술 개발
압전에너지 도로 내구성 확보 기술 개발
실용화를 위한 압전에너지 하베스터 생산 최적화 기술 개발
압전에너지 하베스터 모듈 효율 향상 기술 개발
압전발전 방식을 고려한 전기에너지 변환 회로 최적화 기술
압전에너지 하베스터 실증 테스트 베드 적용
압전 에너지 적용 저전력-고효율 기반 도로시설물 개발
압전에너지 도로 경제사회적 지표 분석기술 개발
도로적용을 위한 압전에너지
도로 압전에너지 활용기

<중점추진 연구분야 도출>

2절. 연구비전 및 목표

1. 연구 비전 및 목표

가. 비전

○ **미활용 압전에너지를 이용한 에너지 자립형 스마트 미래도로 구현**

나. 목표

○ 총괄 목표 : **압전에너지 하베스터 최적화를 통한 에너지 자립형 스마트 도로시스템 개발 및 실증**

○ 세부 목표

- 압전에너지 전달 최적화 도로시스템 개발 및 도로교통량 500만 ESAL 대응 내구성능 확보
- 스마트 에너지 도로 구축을 위한 압전모듈 최적화 및 내구성능 10년 확보 (발전전력량 28 Ws/Vw)
- 단계별 도로 압전에너지 활용기술 구체화 및 시범사업을 통한 실증



<연구개발 비전 및 목표>

2. 설정 근거

가. 비전 설정 근거

○ 본 연구의 비전은 **" 미활용 압전에너지를 이용한 에너지 자립형 스마트 미래도로 구현"** 으로, 정부의 제 4차 신재생 에너지 기본계획(2014.9)에 제시되어 있는 '35년 기준 신재생에너지 보급률 11 % 달성' 이라는 국가 정책적 기조에 부합하기 위해, 2016년 기준 약 15억대의 고속도로 이용차량에서 발생되는 미활용에너지인 압전 에너지를 효과적으로 이용하여 궁극적으로 스마트 도로 인프라를 구축하기 위해 필요한 에너지를 도로 자체적으로 생산 및 활용하는 미래형 에너지 자립형 스마트 도로 비전을 제시

나. 목표 설정 근거

○ **압전에너지 전달 최적화 도로시스템 개발 및 도로교통량 500만 ESAL 대응 내구성능 확보**

- 도로에서 발생되는 진동 및 충격에너지를 효과적으로 압전 에너지 하베스터로 전달하기 위해서는 기계적인 임피던스 매칭 개념이 중요하며, 국내·외 기술개발 동향 분석을 통해 '진동에너지 직접전달형' 및 '진동에너지 간접전달형' 등 압전 에너지 전달 최적화를 위한 효과적인 도로 시스템 개발이 선행되어야 하기 때문에 이를 세부목표로 설정함
- 압전에너지를 획득하기 위해 도로구조물에 에너지 하베스터가 설치될 경우 크게 차량하중 및 환경하중에 노출되기 때문에 내구성 확보가 필수적이며, 특히 도로교통량이 주 발전원임을 고려할 경우 등가단축하중(Equivalent Single Axle Load) 개념을 적용하여 500만 ESAL(일반도로 기준 약 10년 적용에 해당하는 도로교통량)의 교통하중에 대한 내구성 확보가 필요함으로 이를 목표로 제시함

○ **스마트 에너지 도로 구축을 위한 압전모듈 최적화 및 내구성능 10년 확보**

- 대용량 발전을 위한 국내 압전 에너지 하베스터 기술은 세계 최고 수준(0.1 m^2 압전하베스터 RMS 기준 추정 발전량 : 0.78 Wh, 20,015대/day 적용조건) 이나, 압전 재료에 대한 공정 최적화 및 새로운 압전 조성 상용화, 압전 하베스터의 역학적 미케니즘 개선을 통한 에너지 전달 최적화가 이루어지고, 정류소자등의 최적화를 통해 지금보다 약 400배 향상된 도전적인 발전 전력량(28 Ws/Vw)을 목표치로 제시함 (압전 발전량 가능성 검토 : 첨부 3 참조, 고

속도로 일일평균 교통량(AADT) : 20,015대 가정).

- 기존 압전에너지 연구분야에서는 연구자별 압전에너지 발전 효율을 제시하는데 있어서, 개발된 압전에너지 하베스터의 발전 특성을 고려하여 W(Watt), Ws(Watt*Sec), Wh(Watt*hour), W/cm^2(Watt/cm^2), W/cm^3(Watt/cm^3) 등 다양한 발전단위가 제시되었으나, 본 기획연구에서는 압전에너지는 차량의 바퀴(Wheel)가 인가됨에 따라 에너지가 발생되는 원리임을 고려하여 차량의 바퀴에 대한 압전에너지 발생 전력량 개념으로 발전 단위(unit)을 제안함

  * Ws : Watt * Sec. (전력량 단위) / Vw : Wheel per Vehicle (차량 바퀴)

  * '16년 기준 압전에너지 하베스터 발전량 수준 : 0.07 Ws/Vw

- 압전에너지 하베스팅을 통해 획득하는 전력은 일반적으로 매우 작은 용량의 전력을 모아서 사용하는 개념이므로 일반적인 전원 장치와는 달리 전력변환 효율이 50 %를 넘기가 어려우나, AC-DC Rectifier 회로 기술 개발, DC-DC converter 회로 기술 개발, PMIC (Power management IC) 회로 기술 개발, MPPT (Maximum Power Point Tracking) 회로 기술 개발 등을 통해 전력변환 효율 70 % 확보를 목표로 제시함

○ **단계별 도로 압전에너지 활용기술 구체화 및 시범사업을 통한 실증**

- 압전에너지를 이용한 에너지 자립형 스마트 미래도로 구현이라는 비전을 실현하기 위한 방안으로, 개발 예정인 압전에너지 전달 최적화 도로시스템 및 효율 향상된 압전에너지 하베스터를 통해 발생된 전력을 이용한 활용기술을 구체적으로 명시하고, 테스트베드 구축을 통해 발생전력량 및 내구성을 실증하는 것이 핵심 목표임

- 세부적으로는 마이크로 스케일 (mW급) 스마트 미래도로 인프라 분산독립전원 공급을 목표로 자율협력용 스마트 인프라가 갖추어야 할 정적 정보(static information)인 능동형 발광차선(테스트베드 100m 구축)과 압전에너지 하베스터와 연계하여 시범사업을 실시 함

- 매크로 스케일(W급) 스마트 도로안전 시설물에 대한 분산독립전원 공급을 목표로 30 W급 저전력 인식형(Dimming형) 낮은 폴 도로조명 시스템(테스트베드 100m 구축), 30 W급 저전력 노면 결빙 방지 도로시스템(테스트베드 30 m 구축), 발전단계별 에너지 독립형 도로시설 (졸음쉼터, 14kW급/day)을 압전에너지 하베스터와 연계하여 시범사업을 실시 함

3. 단계별 목표

○ 1단계, 기술개발단계 (2019~2020년)

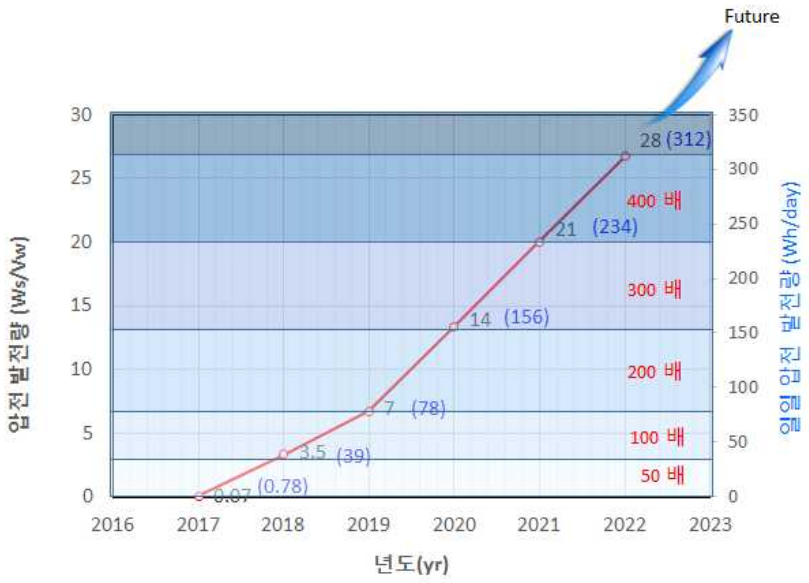
- 진동에너지 진/간접 전달방식을 통한 압전도로 실시 설계 및 1차시작품 제작
- 3.5 Ws/Vw 급 도로용 압전 하베스터 모듈 개발 및 평가

○ 2단계, 기술향상단계 (2020~2021년)

- 진동에너지 진/간접 전달방식을 통한 압전도로 2차시작품 제작
- 7 Ws/Vw 급 도로용 압전 하베스터 모듈 개발 및 평가
- 압전에너지 하베스터 70 % 급 전력변환 회로기술 개발
- 압전에너지 하베스터 내구성 확보

○ 3단계, 단계별 시험시공 및 기술검증 단계 (2021~2023년)

- 발전 단계별 14, 21, 28 Ws/Vw 급 도로용 압전 하베스터 모듈 개발 및 평가
- 1 단계 테스트베드 구축 (2021) : 스마트 발광차선 (100 m)
- 2 단계 테스트베드 구축 (2022) : 저전력 도로조명 (100 m) / 노면결빙방지도로(30m)
- 3 단계 테스트베드 구축 (2023) : 에너지 독립형 졸음쉼터 (14 kW급/day)



<압전에너지 하베스터 발전량 예측 Roadmap>

4. 기술개발에 따른 미래상

○ 향후 기술개발에 따라 구현될 본 과제에 따른 미래의 이미지를 기술성능 관점에서 현재(As-Is)와 미래(To-Be)로 구분하여 제시함

가. 압전에너지 전달 최적화 도로시스템 개발 및 도로교통량 500만 ESAL 대응 내구성능 확보

○ 도로에서 발생되는 진동 및 충격에너지를 효과적으로 압전 에너지 하베스터로 전달하기 위한 '진동에너지 직접전달형' 및 '진동에너지 간접전달형' 등 압전 에너지 전달 최적화를 위한 효과적인 압전에너지 도로 시스템 개발

○ 500만 ESAL(일반도로 기준 약 10년 적용에 해당하는 도로교통량)의 교통하중에 대한 압전하베스터 내구성 확보



<압전에너지 전달 최적화를 위한 도로구조기술 개발 미래상>

나. 도로 적용을 위한 압전에너지 모듈 최적화 기술 개발

○ 압전 재료에 대한 공정 최적화 및 새로운 압전 조성 상용화, 압전 하베스터의 역학적 미케니즘 개선을 통한 발전 전력량 28 Ws/Vw 달성

○ AC-DC Rectifier 회로 기술 개발, DC-DC converter 회로 기술 개발, PMIC (Power management IC) 회로 기술 개발, MPPT (Maximum Power Point Tracking) 회로 기술 개발 등을 통해 전력변환 효율 70 % 확보

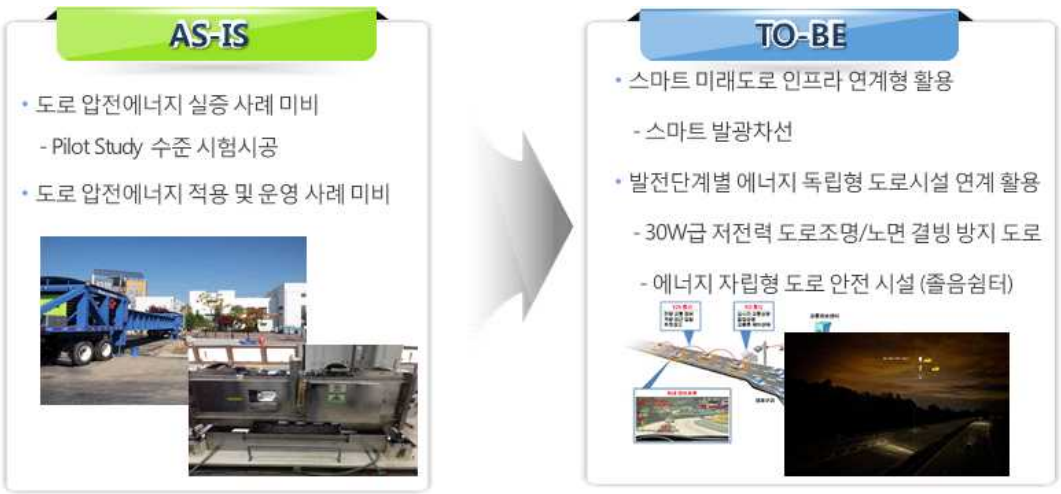


<압전에너지 모듈 효율 향상기술 개발 미래상>

다. 도로 압전에너지 활용기술 개발 및 실증

○ 압전에너지 전달 최적화 도로시스템 및 효율 향상된 압전에너지 하베스터를 통해 발생된 전력을 이용한 활용기술을 구체적으로 명시하고, 테스트베드 구축을 통해 발생전력량 및 내구성을 실증

- 스마트 미래도로 인프라 연계형 압전에너지 하베스터 활용기술 개발
- 발전단계별 에너지 독립형 도로시설을 위한 압전에너지 하베스터 활용기술 개발



<도로 압전에너지 활용 및 운영관리기술개발에 따른 미래상>

3절. 연구개발과제 구성

1. 후보과제 도출

가. 기술수요조사 목적 및 내용

○ 연구의 비전 및 목표를 달성하기 위한 중점추진분야는 국내·외 동향 및 환경분석, SWOT 분석을 통해서 도출되었으며, 선정된 중점추진분야를 실현하기 위한 구체적인 연구개발 기술 도출을 위해 기술수요조사를 실시함

- 압전에너지 전달 최적화를 위한 도로구조기술 분야
- 압전에너지 모듈 효율 향상 기술 분야
- 도로 압전에너지 활용 및 운영·관리 기술 분야

○ (기술수요조사 주요 항목) 제안기술의 개요 및 배경/필요성, 기술개발 목표와 내용, 관련기술의 선행연구 및 연구개발 동향, 적용대상 및 활용분야, 소요예산 및 기대효과 등으로 구성

○ 기술수요조사서 양식은 다음 그림과 같음

<기술수요조사서 양식>

나. 기술수요조사 절차

○ (기술수요조사 설계) 기술수요조사는 도로분야, 압전에너지 하베스터 분야, 압전에너지 하베스터 활용분야에 대한 대한 산·학·연의 전문가들을 대상으로 구성

○ (기술수요조사 실시) 선정된 대상자를 바탕으로 기술수요조사서 양식을 메일로 발송하고 약 4주후에 회수

○ (기술수요조사서 분석) ① 기술수요조사 응답현황 자체에 대한 분석 실시, ② 기술수요조사의 제안된 기술에 대해 기 제안 기술분류체계와의 매칭을 통한 2차 분석 실시

○ (기술수요조사서 활용) ① 기술분류체계 및 연구동향에 대한 분석 수정/보완, ② 기술예측조사를 위한 예측기술명 도출에 활용, ③ 기획연구에서의 중점분야 선정 및 후보과제 선정을 위한 기초자료로 활용함

다. 기술수요조사 활용 세부 내용

○ 기술수요조사결과를 활용한 본 기획연구에서 제시한 기술분류체계 및 연구동향, 환경분석의 수정/보완

○ 정부 R&D 및 신재생 에너지 분야에 대한 정책과의 적합성을 반영할 수 있는 기술예측조사를 위한 예측기술명 도출에 활용

○ 기획연구 및 본 연구에서 수행할 필요가 있는 중점 연구분야 선정 및 수행과제 선정에 활용

○ 내·외부 전문가, 담당부처 관계자 등의 의견수렴 절차를 거쳐 중점분야별 후보기술 발굴의 기초자료로 활용

○ 기술개발 우선순위를 파악하고 기술개발과제간의 효율적인 자원배분 방안을 마련하기 위한 사전 조사에 해당함

라. 기술수요조사 발송 및 응답결과

○ 기술수요조사 대상은 기획 참여연구원, 자문위원, 외부전문가를 대상으로 메일 발송을 통해 조사를 실시하였으며, 기술수요조사 주요 수행내용은 다음 표와 같음

<기술수요조사 주요 수행내용>

구분	내 용
조사기간	2017년 1월 5일(목) ~ 1월 31일(화)
조사대상	- 조사대상 : 참여 연구진, 자문위원, 외부전문가
조사방법	- 이메일을 통한 설문조사
응답자 수	- 35 명 응답
기술수요 조사 응답 건수	- 압전 에너지 전달 최적화를 위한 도로구조 기술 개발 : 12건 - 압전하베스터 모듈 효율 향상 기술 개발 : 14건 - 도로 압전에너지 활용 및 운영·관리 기술 개발 : 9건

마. 기술수요조사 결과 분류

○ 회신된 기술수요조사서를 중점분야별/연구수행기관별로 조사 응답 현황을 분석하였으며, 그 결과는 다음 표와 같음

<중점분야별/연구수행기관별 기술수요조사 결과>

구분		중점분야			계
		압전 에너지 전달 최적화를 위한 도로구조 기술	압전하베스터 모듈 효율 향상 기술	도로 압전에너지 활용 및 운영·관리 기술	
연구 수행 기관	기업	1	4	2	7
	대학	8	8	4	20
	연구기관	3	2	3	8
	기타(협회)	-	-	-	0
	계	12	14	9	35

○ 중점분야별 기술수요조사는

- 압전 에너지 전달 최적화를 위한 도로구조 기술 개발 (34%)
- 도로압전에너지 활용 및 실용화 기술 개발 (40%)
- 도로 압전에너지 활용 및 운영·관리 기술 (26%) 순으로 응답함

○ 대분류(중점분야) 기술분류체계 내에 기술수요조사 제안 과제명을 매칭함

<압전 에너지 전달 효율 최적화를 위한 도로구조 기술 개발 분야>

대분류	중분류	소분류	기술수요조사 제안 과제명
압전 에너지 전달 최적화를 위한 도로구조 기술	진동에너지의 직접전달을 위한 도로구조 기술	도로포장 노출형 압전 도로구조 기술	도로 압전 하베스팅 변환을 위한 압전매트 개발 및 설치 방법 개발
		세그멘탈 블록형 압전 도로구조 기술	재생 플라스틱 블록 도로를 이용한 압전 에너지 수집 기술 설계
			블록의 불규칙 단면을 활용한 압전 하베스팅 요소 기술 개발
			블록 자체의 이동 및 진동 특성을 최대화한 압전 에너지 수집 기술
		도로 시설물 설치형 압전 도로구조 기술	교량의 신축이음(expansion joint)을 활용한 압전 에너지 하비스팅 시스템 개발
			교량 진동과 차량 유도풍을 이용한 교량 부착형 압전하베스터용 최적화 구조체 개발
			도로의 신축이음부를 통한 압전 하베스팅 시스템 구축 및 기술개발
			교량 진동을 활용한 폴리머 압전체 기반 에너지 하베스팅 기술
	진동에너지의 간접전달을 위한 도로구조 기술	기존 도로포장 하부 매설형 압전 도로구조 기술	도로 진동소음 저감형 압전소재 및 자가발전 시스템 개발
		매개체를 이용한 진동에너지 간접전달방식 도로구조 기술	지반가진을 이용한 도로용 frequency-tuned 압전 하베스터
			도로 타이닝(tining) 및 구루빙(grooving) 활용 유압펌프를 이용한 압전하베스터 발전 기술 개발
			도로 램프 구간 및 속도 변이 구간의 횡방향 그루빙을 통한 감속 유도 및 압전 시스템 개발

<압전하베스터 모듈 효율 향상 기술 개발 분야>

대분류	중분류	소분류	기술수요조사 제안 과제명
압전 하베스터 모듈 효율 향상 기술	세라믹 압전체 기반 압전에너지 효율 향상 기술	세라믹 압전체 기반 (Plate-type) 압전효율 향상 기술	변위 확대 타격형 압전 하베스터
			불규칙적인 차량 소통에 의한 기계적 에너지의 효율적 이용에 대한 연구
			하베스터 효율 향상을 위한 발판 구조
			압전소자의 최적 설계 연구
		세라믹 압전체 기반 (Bulk-type) 압전효율 향상 기술	Bulk-type을 활용한 피스톤 방식 충격형 압전 하베스터 모듈 발전 기술 개발
	폴리머 압전체 기반 발전 방식	폴리머 압전체 기반 압전 효율 향상 기술	필름형 압전소자 도로 적용 및 미활용 에너지 이용 압전 발전기술 개발
			PVDF기반 유연압전소자의 고출력화를 위한 전극용 유기소재 개발
	하이브리드 연계 및 첨단소재를 이용한 압전에너지 효율 향상 기술	하이브리드 연계형 신재생에너지 발전기술	중앙분리대 태양광 발전소와 압전발전 융합 기술 개발
		나노 복합소재를 이용한 압전에너지 효율 향상 기술	나노 압전물질 및 CNT의 시너지 효과를 이용한 고성능·고내구성 압전 하베스터 모듈 개발
	압전에너지 하베스터 자체 내구성 확보 기술	압전에너지 하베스터 자체 내구성 확보 기술	압전세라믹 자체 내구성 확보기술 - 취성파괴 방지 및 내습성 향상을 위한 고신뢰 압전세라믹 복합소재 및 메탈 접합 가공 기술 개발
	압전하베스터 전력변환 회로 및 발전에너지 저장 기술	압전발전형 전기에너지 변환 회로 최적화 기술	loss 최소화를 위한 압전 모듈의 결선 및 배선의 최적화와 저장 시스템 연구
			SSHI 회로를 이용한 압전하베스터 전력변환 회로 기술 개발
			압전에서 발생하는 전력이 고효율의 performance를 내기 위한 최적화된 임피던스 매칭 회로 기술
			압전 에너지 하베스팅용 고효율 전력변환 및 전력관리 회로 기술

<도로압전에너지 활용 및 운영·관리 기술 분야>

대분류	중분류	소분류	기술수요조사 제안 과제명
도로압전 에너지 활용 및 실용화 기술	발전 단계별 압전 에너지 활용 기술	마이크로/매크로 스케일 압전에너지 활용 기술	콘크리트 포장체 자가진단 및 교통정보 모니터링 기술
			하이브리드형(압전+태양광) 신재생 에너지를 활용한 20 W급 낮은 폴 조명 완전 에너지 자립화 요소기술 개발 및 실증
			위계적 3차원 전도성 네트워크를 지닌 시멘트계 복합체를 이용한 발열 포장모듈 개발
			발열 양생 및 융설이 가능한 발열 도로 포장체 개발
			저전력 발열 유도체 직조 토목 신소재를 활용한 도로 및 인접 시설물의 동결 피해 저감 기술 개발
			지방부 도로의 무인 자동차의 도입 시 시인성 향상 압전 센서 개발
			무인 자동차 운영을 대비한 도심 부 도로에서 Marking, sign, signal 등 교통 신호 처리 시스템 개발
	압전에너지 하베스터 운영 및 관리 기술	압전에너지 하베스터 테스트 베드 운영 관리 기술	교통약자보호를 위한 압전하베스팅 감속 유도 포장시스템 및 주의 경고 교통시스템 구축 및 개발
			압전하베스터 성능검증을 위한 테스트 베드 및 실증시험장/시범단지 구축

○ 중점분야별 기술수요조사 제안과제명 및 연구내용은 다음과 같음

<중점분야별 기술수요조사 제안과제명 및 연구개발내용>

No.	중점분야	기술수요조사 제안과제명	연구개발내용
1	압전 에너지 전달 최적화를 위한 도로구조 기술	도로 압전 하베스팅 변환을 위한 압전매트 개발 및 설치 방법 개발	ㅇ압전매트 개발 및 설치를 위한 문헌조사 및 이론적 고찰 ㅇ압전소자를 다량으로 설치하여 이용차량의 축 ㅇ압전매트 설치 방법 개발 ㅇ압전매트 기능 및 성능 검증
2		재생 플라스틱 블록 도로를 이용한 압전 에너지 수집 기술 설계	ㅇ 압전 에너지를 최대화하는 재생 플라스틱 개발 ㅇ 처짐 후 재생이 가능한 플라스틱 블록 개발 ㅇ 플라 도로의 횡단면 설계 및 요소 기술 개발 ㅇ 시험시공을 통한 플라스틱 블록포장 도로 기능 및 내구성 검증
3		블록의 불규칙 단면을 활용한 압전 하베스팅 요소 기술 개발	ㅇ 다양한 사이즈의 블록 및 배치, 제원, 틀을 이용하여 불규칙한 프로파일의 블록 표면 디자인 설계 ㅇ 불규칙 단면으로 인한 손상 방지를 위해 기존의 블록보다 강도기준이 높은 블록 개발 ㅇ 블록 포설 시 표면 불규칙 단면의 제공을 통한 진동 구현 기술 ㅇ 에너지를 최적 생성하며 편리성 및 주행 안전성을 확보하는 최적 프로파일 확정 ㅇ 블록의 불규칙 표면을 활용한 속도 저감 효과 및 도로 기능 내구성 검증
4		블록 자체의 이동 및 진동 특성을 최대화한 압전 에너지 수집 기술	ㅇ 블록 자체의 진동 특성 최대화 시스템 개발 ㅇ 자체 진동 최대화 블록포장 시험 시공 및 평가
5		교량의 신축이음(expansion joint)을 활용한 압전 에너지 하비스팅 시스템 개발	ㅇ교량 신축이음장치의 종류별 구조 및 진동 특성 분석 ㅇ진동원의 특성에 따른 효율적인 압전재료 및 하베스터의 제안 ㅇ압전에너지 하베스터의 시공기술 개발 및 현장 적용성 검토 ㅇ에너지 발전량의 추이를 통한 교량의 손상평가기법 개발
6		교량 진동과 차량 유도풍을 이용한 교량 부착형 압전하베스터용 최적화 구조체 개발	ㅇ교량 진동 및 차량 유도풍 활용 압전하베스터 적용성 검토 ㅇ진동 기반 교량 부착형 압전 에너지 하베스팅 최적 구조체 개발 ㅇ차량 유도풍 기반 교량 부착형 압전 에너지 하베스팅 최적 구조체 개발 ㅇ교량 복합 에너지원 기반 압전 에너지 하베스팅 최적 구조체(복합구조체) 개발 ㅇ테스트 베드를 통한 교량 부착용 복합구조체 유압펌프 기능 및 내구성 검증

No.	중점분야	기술수요조사 제안과제명	연구개발내용
7		도로의 신축이음부를 통한 압전 하베스팅 시스템 구축 및 기술개발	ㅇ교량 진동 및 차량 유도풍 활용 압전하베스터 적용성 검토 ㅇ진동 기반 교량 부착형 압전 에너지 하베스팅 최적 구조체 개발 ㅇ차량 유도풍 기반 교량 부착형 압전 에너지 하베스팅 최적 구조체 개발 ㅇ교량 복합 에너지원 기반 압전 에너지 하베스팅 최적 구조체(복합구조체) 개발 ㅇ테스트 베드를 통한 교량 부착용 복합구조체 유압펌프 기능 및 내구성 검증
8		교량 진동을 활용한 폴리머 압전체 기반 에너지 하베스팅 기술	ㅇ고진폭 진동 에너지 하베스팅에 적합한 폴리머 압전 소재 기술 개발 ㅇ교량 등 고진폭 도로 시설물의 진동에너지를 전기에너지로 변환하는 폴리머 압전 소재 기반 에너지 하베스팅 모듈 기술 ㅇ고효율 압전 에너지 하베스팅 회로 기술 개발
9		도로 진동소음 저감형 압전소재 및 자가발전 시스템 개발	ㅇ진동저감형 고분자 압전 소재 개발 ㅇ압전소자 이용 자가발전 시스템 개발 ㅇ궤도 안전진단 모니터링 기술 개발
10		지반가진을 이용한 도로용 frequency-tuned 압전 하베스터	ㅇ지반가진을 이용한 frequency tuning ㅇ자유진동을 극대화 할 수 있는 무마찰(friction-free) 진동 환경 설계 ㅇ도로 적용 시 압전 하베스터의 설치 방법에 대한 연구
11		도로 타이닝(tining) 및 구루빙(grooving) 활용 유압펌프를 이용한 압전 하베스터 발전 기술 개발	ㅇ국내 도로 타이닝 및 구루빙 활용 유압펌프 적용 가능성 검토 ㅇ도로 타이닝 및 구루빙 활용 유압펌프(Hydraulic Actuator) 개념 설계 ㅇ도로 타이닝 및 구루빙 활용 유압펌프 개발 ㅇ테스트 베드를 통한 유압펌프 기능 및 내구성 검증
12		도로 램프 구간 및 속도변이 구간의 횡방향 그루빙을 통한 감속 유도 및 압전 시스템 개발	ㅇ 고속 주행용 도로에서 저속 주행이 필요한 도로 구간 분류 및 정의 ㅇ 실내 모형을 이용한 다양한 그루빙 설치 기법 제작 및 동적 거동 평가 ㅇ 저속을 구현하며 에너지를 최대로 생산하는 최적 그루빙 폭 및 간격 ㅇ 통제된 시설에서 다양한 그루빙 제작 및 평가 ㅇ 시험 시공을 위한 속도 저감 효과 및 압전 에너지 평가 ㅇ 표준화 및 활용화를 위한 품질 관리 기준 수립
13	압전하베스터 모듈 효율 향상 기술	변위 확대 타격형 압전 하베스터	ㅇ 기존 양단 고정 타격형의 하베스터를 개조하여 변위 확대 타격형 하베스터를 개발
14		불규칙적인 차량 소통에 의한 기계적 에너지의 효율적 이용에 대한 연구	ㅇ 규칙적인 차량 소통에 의한 기계적 에너지의 효율적 이용에 대한 연구

No.	중점분야	기술수요조사 제안과제명	연구개발내용
15		하베스터 효율 향상을 위한 발판 구조	ㅇ 하베스터 상판을 커다란 하나로 통합하여 설계 ㅇ 하베스터와 상판 사이의 하중 전달 시스템 개발 ㅇ 내구성, 특성값 조사 및 발전량 테스트
16		압전소자의 최적 설계 연구	ㅇ 압전소자의 최적 설계 연구 ㅇ 불규칙한 차량 소통에 의한 기계적 에너지의 효율적 이용에 관한 연구
17		Bulk-type을 활용한 피스톤 방식 충격형 압전 하베스터 모듈 발전 기술 개발	ㅇ피스톤 방식 충격형 압전 하베스터 모듈 설계 ㅇ모듈 신뢰성 검증
18		필름형 압전소자 도로 적용 및 미활용 에너지 이용 압전 발전기술 개발	ㅇ필름형 압전소자 도로 적용 방안 개발 ㅇ차량 비접촉 방식에 의한 압전소자 이용 기술 개발 ㅇ중앙분리대 및 방음벽등 도로에 설치되는 시설물을 활용한 압전소자 발전 연구
19		PVDF기반 유연압전소자의 고출력화를 위한 전극용 유기소재 개발	ㅇ유기용매에 용해가 가능한 poly(3,4-ethylenedioxythiophene)(PEDOT) 유도체 설계 및 합성 ㅇ전도도 향상을 위한 고분자 설계 ㅇ유기물-금속 하이브리드 전극 설계 ㅇFlexible device에 적용가능한 전극 소재를 개발하려는 연구가 지속적으로 이어져오고 있음.
20		중앙분리대 태양광 발전소와 압전발전 융합 기술 개발	ㅇ도로공간에 소형태양광 발전소 설립 개념 설계 ㅇ교통량과 압전하베스트 설치 효율 개념 설계 ㅇ압전발전기와 소형 태양광 발전소 융합 발전소 개념 설계 ㅇ테스트 베드를 통한 압전발전기와 소형 태양광 발전소 운영
21		나노 압전물질 및 CNT의 시너지 효과를 이용한 고성능·고내구성 압전 하베스터 모듈 개발	ㅇ0.5W/m^2 압전 발전 성능을 갖는 고내구성 도로용 압전소자 모듈 개발 ㅇ나노 압전물질 및 CNT 혼입 폴리 우레탄 복합체 제조 기술 개발 ㅇ나노 압전물질 및 CNT 혼입 폴리 우레탄 복합체의 압전성능 평가 ㅇ도로용 압전 에너지 하베스터 모듈 제조 기술 개발 ㅇ도로용 압전 에너지 하베스터 모듈의 시공 기술 개발 ㅇ실증 테스트 베드 적용을 통한 도로용 압전 에너지 하베스터 모듈의 현장 적용성 검토
22		압전세라믹 자체 내구성 확보기술 - 취성파괴 방지 및 내습성 향상을 위한 고신뢰 압전세라믹 복합소재 및 메탈 접합 가공 기술 개발	ㅇ 고효율 고신뢰성 압전 복합소재 개발 ㅇ 세라믹-금속 접합 가공기술 개발

No.	중점분야	기술수요조사 제안과제명	연구개발내용
23		loss 최소화를 위한 압전 모듈의 결선 및 배선의 최적화와 저장 시스템 연구	ㅇ loss 최소화를 위한 압전 모듈의 결선 및 배선의 최적화와 저장 시스템 연구 ㅇ 과전압(OVP),과전류(OCP),온도(Thermal Shutdown)에 대한 배터리 보호회로기술 개발
24		SSHI 회로를 이용한 압전하베스터 전력변환 회로 기술 개발	ㅇ SSHI 회로를 이용한 전력변환 효율 제고 시뮬레이션 ㅇ SSHI 회로를 적용하여 임피던스 매칭 ㅇ SSHI 회로의 전력손실을 줄여 전력변환 효율 제고
25		압전에서 발생하는 전력이 고효율의 성능를 내기 위한 최적화된 임피던스 매칭 회로 기술	ㅇ임피던스 매칭 회로를 통한 전력변환효율 및 저장효율 10% 향상
26		압전 에너지 하베스팅용 고효율 전력변환 및 전력관리 회로 기술	ㅇ AC-DC Rectifier ㅇ DC-DC converter ㅇ PMIC (Power management IC)
27	도로압전 에너지 활용 및 실용화 기술	콘크리트 포장체 자가진단 및 교통정보 모니터링 기술	ㅇ 콘크리트 포장체용 나노소재 활용 기술 개발 ㅇ 나노소재 보강 콘크리트 활용 포장체 자가진단 및 교통정보 모니터링 기술
28		하이브리드형(압전+태양광) 신재생 에너지를 활용한 20 W급 낮은 폴 조명 완전 에너지 자립화 요소기술 개발 및 실증	ㅇ강한 바인더 다기능 콘크리트포장 덧씌우기 재료 개발 ㅇ초조강-고강도-고내구성-고마모저항성-고마찰저항성 재료 검증 ㅇ랜덤문양 저소음-안전/주행성포장 공법 개발 및 검증
29		위계적 3차원 전도성 네트워크를 지닌 시멘트계 복합체를 이용한 발열 포장모듈 개발	ㅇ50W-50℃급 발열성능을 갖춘 도로 융설용 시멘트계 발열 포장모듈 개발 ㅇ다상의 탄소계 전도성 필러(CNT, GNP, carbon fiber)를 이용한 위계적 3차원 전도성 네트워크 형성 기법 개발 ㅇ위계적 3차원 전도성 네트워크를 지닌 시멘트계 복합체의 발열성능 평가 ㅇ발열 복합체를 이용한 도로 융설용 모듈 제조 기술 개발 ㅇ도로용 융설 모듈의 시공 기술 개발 ㅇ실증 테스트 베드 적용을 통한 도로용 융설 모듈의 현장 적용성 검토
30		발열 양생 및 융설이 가능한 발열 도로포장체 개발	ㅇ 탄소계열 나노소재 활용 발열 콘크리트 배합 기술 ㅇ 콘크리트 초기발열양생 및 강도향상 기술 ㅇ 자기발열 콘크리트 융설 기술 ㅇ 발열 도로포장체 설계기술
31		저전력 발열 유도체 직조 토목 신소재를 활용한 도로 및 인접 시설물의 동결 피해 저감 기술 개발	ㅇ 관용적으로 분류 되어있는 저전열 발열유도체의 효율검증 ㅇ 저전열 발열유도체 직조형 토목 신소재 개발 ㅇ 저전열 발열유도체 직조형 토목 신소재 적용 기술 개발 ㅇ 동절기 도로안정성 확보 및 시설물 파괴 저감 기술 운용기술개발

No.	중점분야	기술수요조사 제안과제명	연구개발내용
32		지방부 도로의 무인 자동차의 도입 시 시인성 향상 압전 센서 개발	ㅇ 무인 자동차 플랫폼의 동향 분석 및 안전도 평가 관련 문헌 조사 ㅇ 기존 무인 자동차만의 센서 개발을 통한 위험도 분석 ㅇ 주도적 도로 정보 제공자로서의 추가 정보 분석 ㅇ IoT 개념을 이용한 센서, 압전, 통신 기본 설계 및 제작 ㅇ 제작된 센서의 내구성, 통신 성능, 반복성 평가 ㅇ 무인 자동차와 소통할 수 있는 표준 시스템 및 프로그램 개발 ㅇ 시험 시공을 위한 센서 매립 및 반복성 평가 ㅇ 다양한 환경 조건하의 안전도 시험 평가 및 경제적 타당성 평가
33		무인 자동차 운영을 대비한 도심 부 도로에서 Marking, sign, signal 등 교통 신호 처리 시스템 개발	ㅇ 도심부 안전 시스템의 현황 및 문제점 분석 ㅇ 대체/보완 가능한 마킹, 신호, 사인 시스템 기능 분류 및 설계 ㅇ IoT 개념을 이용한 센서, 압전, 통신 기본 설계 및 제작 ㅇ 제작된 센서의 내구성, 통신 성능, 반복성 평가 ㅇ 시험 시공을 위한 센서 매립 및 반복성 평가 ㅇ 시험 트랙을 이용한 다양한 환경 조건하의 안전도 시험 평가 및 경제적 타당성 평가 ㅇ 교통 특성 별 현장 평가용 시험 단면 제작 ㅇ 표준화 및 활용화를 위한 제품 제작 규격 및 품질 관리 기준 수립
34		교통약자보호를 위한 압전하베스팅 감속 유도 포장시스템 및 주의 경고 교통시스템 구축 및 개발	ㅇ시공성, 경제성, 유지관리측면을 고려하여 압전하베스팅 기술이 접목된 프리캐스트 압전 요철 제작 및 시공기술 개발 ㅇ주행 중인 차량으로부터 교통약자(어린이보호구역, 노인보호구역 등의 이용자)를 보호하기 위한 압전하베스팅 감속 유도 포장시스템 및 주의 경고 교통시스템 기술 개발로 보호구역 내 주행 차량에 의해 발생된 노출형 압전하베스팅 변환 전기에너지를 이용하여 횡단보도 내 경고음 및 안내방송, 구간 내 유도등 점멸, 야간 시 집중조명 발생 등의 경고 교통시스템 구축 기술 ㅇ보호구간 내 일정한 간격으로 압전요철을 설치함으로써 진입차량의 주행에 의해 발생되는 접지압과 진동을 통해 차량감속 유도 및 보호구간 인식을 통한 주의력 향상으로 교통사고 사전예방이 가능토록하는 감속 유도 포장시스템 개발 기술
35		압전하베스터 성능검증을 위한 테스트 베드 및 실증 시험장/시범단지 구축	ㅇ 압전 하베스터 성능검증을 위한 테스트 베드 및 실증시험장/시범단지 구축 ㅇ 압전에너지 하베스터 도로 유지관리 기술 검증

○ 기술수요조사를 통하여 제안된 35개의 과제와 연구진이 수행한 국내·외 정책동향, 시장현황, 기술수준, 국내외 특허 논문동향 조사 및 국내 연구개발 인프라 분석 결과를 바탕으로 판단한 유사한 내용은 그룹화화고, 위계를 조정하여 20개의 후보과제를 도출 함

<압전도로기술 관련 20개 후보과제 도출>

대분류	중분류	소분류
압전 에너지 전달 최적화를 위한 도로구조 기술	진동에너지의 직접전달을 위한 도로구조 기술	도로포장 노출형 압전 도로구조 기술
		세그멘탈 블록형 압전 도로구조 기술
		도로 시설물 설치형 압전 도로구조 기술
	진동에너지의 간접전달을 위한 도로구조 기술	기존 도로포장 하부 매설형 압전 도로구조 기술
		매개체를 이용한 진동에너지 간접전달방식 도로구조 기술
		신개념 압전포장 재료 및 도로구조 기술
	압전에너지 도로 내구성능 확보 기술	압전에너지 하베스터 도로 내구성능 기술
		압전에너지 하베스터 도로 유지관리 기술
압전하베스터 모듈 효율 향상 기술	세라믹 압전체 기반 압전에너지 효율 향상 기술	세라믹 압전체 기반(Plate-type) 압전효율 향상 기술
		세라믹 압전체 기반(Bulk-type) 압전효율 향상 기술
	폴리머 압전체 기반 발전 방식	폴리머 압전체 기반 압전효율 향상 기술
	하이브리드 연계 및 첨단소재를 이용한 압전에너지 효율 향상 기술	하이브리드 연계형 신재생에너지 발전기술
		나노 복합소재를 이용한 압전에너지 효율 향상 기술
	압전에너지 하베스터 자체 내구성 확보 기술	압전에너지 하베스터 자체 내구성 확보 기술
	압전하베스터 전력변환 회로 및 발전에너지 저장 기술	압전발전형 전기에너지 변환 회로 최적화 기술
		압전 발전형 전기에너지 충전회로 최적화 기술
	압전하베스터 생산 최적화 및 상용화 기술	압전하베스터 생산 최적화 기술개발
도로압전 에너지 활용 및 실용화 기술	발전 단계별 압전 에너지 활용 기술	마이크로/매크로 스케일 압전에너지 활용 기술
	압전에너지 하베스터 운영 및 관리 기술	압전에너지 하베스터 테스트 베드 운영 관리 기술
		압전에너지 하베스터 효과 검증 기술

2. 기술예측조사

가. 기술예측조사 개요

(1) 목적

○ 기술의 실현시기, 기술수준 등 기술특성의 변화속도를 정량적으로 평가하여 본 기획의 기술개발 추진전략을 수립하기 위한 기초자료로 활용함

(2) 기술예측조사 절차

○ (기술예측조사 설계) 예측기술명을 작성하고, 기술예측조사 항목을 결정하며 기술예측조사 대상자를 선정함

○ (기술예측조사 수행) 기술예측조사 대상자 메일 발송 및 회수

○ (기술예측조사 결과 분석) 기술예측조사 응답현황분석 및 예측기술의 실현시기 분포를 분석하며, 기술획득방식, 정부개입 필요성 등을 분석함

○ (기술예측조사 결과 활용) 후보과제 우선순위 도출 및 TRM 작성 시 활용

(3) 기술예측조사 조사 방법

<기술예측조사 주요 수행내용>

구분	내 용
조사기간	2017년 2월 6일(월) ~ 2월 17일(금)
조사대상	- 조사대상 : 참여연구원, 자문위원, 외부전문가
조사방법	- 이메일을 통한 설문조사
응답자 수	- 28 명 응답
조사항목	사회경제적 실현시기, 기술획득방식. 정부개입의 필요성, 국내기술수준, 우선순위 도출

(4) 기술예측조사 조사항목 결정

○ '최고기술보유국 대비 우리나라 기술수준'은 각 기술별 최고기술을 보유한 나라의 기술수준을 100%로 가정하였을 경우 국내기술수준을 전문가 관점에서 제시

○ '예측기술명 실현시기'는, 해당 예측기술명이 경제성이 확보되어 기술을 적용한 제품 등이 상업화되거나 해당기술이 사회적으로 널리 활용되는 예상시점을 가리키며, 해당과제의 실용화시기를 설정하는데 활용

○ '예측기술명 실현시기'에 대한 세계 시기와 국내 시기와의 격차는 기술수준에 대한 격차로 해석할 수 있으며, 이는 해당과제에 대한 추진전략 설정에 활용

○ '기술획득방식'은 해당 예측기술명의 기술개발을 위한 적합한 연구 주체를 조사함

○ 예측기술명에 대해 아래의 4개의 조사 항목 중 적합한 연구 주체를 선택함

< 기술획득방식 조사항목 >

조사항목		내용
자체개발	민간주도	기술이 사업에 직접 적용될 수 있거나 민간의 역량이 우수하여 민간이 주도하는 것이 적합
	정부주도	기술의 공공성이 강하거나 민간의 역량이 부족하고 기초단계 연구개발이 필요하여 정부출연 또는 기관을 중심으로 정부가 주도하는 것이 적합
	정부민간주도	정부와 민간이 매칭펀드 또는 역할분담을 통하여 공동으로 개발을 추진하는 것이 바람직
기술도입 및 공동연구		국내 개발 역량이 미흡하거나 해외 우수 기술의 도입을 통하여 비용을 크게 절감

○ '정부개입 필요성'은 해당 예측기술명의 개발과 경쟁력 확보를 위해 정부가 개입할 필요성 정도를 조사함

- "정부개입 필요성"은 5점 척도(매우높음 : 5점, 높음 : 4점, 보통 : 3점, 낮음 : 2점, 매우낮음 : 1점)로 조사함

(5) 예측기술명 작성

○ 예측기술명은 국내·외 동향조사 및 수요조사 결과를 바탕으로 압전하베스터를 이용한 메가와트급 에너지 자립형 도로기술 개발에 필요한 20개 후보과제를 서술식으로 기술

<중점분야별 예측기술명>

No.	중점분야	예측기술명
1		ㅇ도로포장 노출형 압전 도로구조 기술
		[설명] 도로 진동에너지의 직접전달을 위해 도로포장체 일부를 절단하고 압전하베스터를 '도로면에 직접 노출'하고 운영하는 기술을 개발한다.
2		ㅇ세그멘탈 블록형 압전 도로구조 기술

No.	중점분야	예측기술명
	압전 에너지 전달 효율 향상을 위한 도로시스템 개발	[설명] 저속도로 및 광장 등에 적용가능한 '보도블록'형태의 압전하베스터를 개발하여 적용한다.
3		ㅇ도로 시설물 설치형 압전 도로구조 기술
		[설명] 압전하베스터를 도로자체가 아니라 도로시설물 (예: 교량 진동 Damper) 등에 설치하여 운영한다.
4		ㅇ기존 도로포장 하부 매설형 압전 도로구조 기술
		[설명] 진동에너지를 직접 전달받는 것이 아니라 도로포장체(아스팔트 혹은 콘크리트 도로) 하부에 설치하여 간접적으로 진동에너지를 전달받는 방식을 개발한다.
5		ㅇ매개체를 이용한 진동에너지 간접전달방식 도로구조 기술
		[설명] 압전에너지 하베스터를 도로에 직접 매설하지 않고, 매개체를 이용한 진동에너지를 '간접적'으로 전달받을수 있는 도로구조물을 개발한다.
6		ㅇ신개념 압전포장 재료 및 도로구조 기술
7		[설명] 전통적인 도로포장재료가 아닌 압전하베스터에 최적화된 신개념 압전포장재료를 개발한다
		ㅇ압전에너지 하베스터 도로 내구성능 기술
		[설명] 압전에너지 하베스터의 도로 설치 시 발생될 수 있는 도로분야 내구성 및 사용성 확보기술을 개발한다. (내구성 예 : 도로포장체와 압전하베스터 경계면의 내구성)
8		ㅇ압전에너지 하베스터 도로 유지관리 기술
		[설명] 압전에너지 하베스터 도로적용에 따른 장기적인 유지관리 기술을 개발한다.
9	도로 적용을 위한 압전에너지 모듈 최적화 기술 개발	ㅇ세라믹 압전체 기반(Plate-type) 압전효율 향상 기술
		[설명] 대용량 발전을 위해 세라믹 압전체 기반 Plate-type 진동형 압전에너지하베스터 모듈을 개발한다.
10		ㅇ세라믹 압전체 기반(Bulk-type) 압전효율 향상 기술
		[설명] 대용량 발전을 위해 세라믹 압전체 기반 Bulk-type 충격형 압전에너지 하베스터를 개발한다.
11		ㅇ폴리머 압전체 기반 압전효율 향상 기술
		[설명] 대용량 발전을 위해 내구성이 뛰어난 폴리머 압전체 기반(나노 합성물형/박막형 등) 압전에너지하베스터 모듈을 개발한다
12		ㅇ하이브리드 연계형 신재생에너지 발전기술
		[설명] 압전에너지 효율 향상을 위해 하이브리드형(압전+태양광 등) 신재생 에너지 발전기술을 개발한다.
13		ㅇ나노 복합소재를 이용한 압전에너지 효율 향상 기술
		[설명] 압전에너지 성능향상을 위한 기능성 복합소재 (탄소나노튜브, 폴리머 결합 등) 결합기술을 개발한다.
14		ㅇ압전에너지 하베스터 자체 내구성 확보 기술
		[설명] 압전에너지 하베스터 실용화를 위해 압전 에너지 하베스터 자체 내구성 확보기술을 개발한다. (내구성 예 : 압전함체의 방수, 스프링 피로강도 등)
15		ㅇ압전발전형 전기에너지 변환 회로 최적화 기술
		[설명] 압전발전특성을 고려한 전기에너지 변환회로 최적화 기

No.	중점분야	예측기술명
		술을 개발한다.
16		ㅇ압전 발전형 전기에너지 충전회로 최적화 기술
		[설명] 압전발전특성을 고려한 전기에너지 충전회로 최적화 기술을 개발한다.
17		ㅇ압전하베스터 생산 최적화 기술개발
		[설명] 압전에너지 하베스터 양산화 및 상용화를 위한 기술을 기발한다.
18	도로 압전에너지 활용기술 개발 및 실증	ㅇ마이크로/매크로 스케일 압전에너지 활용 기술
		[설명] 도로압전에너지의 효과적인 활용을 위해 마이크로(Micro) 및 매크로(Macro) 단계의 압전에너지 적용(Application) 로직을 개발한다. (예: 무선센스 네트워트 적용을 위한 분산소형발전소 기술 로직)
19		ㅇ압전에너지 하베스터 테스트 베드 운영 관리 기술
		[설명] 압전에너지 하베스터의 실용화를 위한 단계적 테스트베드 운영 기술을 개발한다. (실험실 단계→포장가속시험기 단계 → 실제 도로매설형 테스트베드 단계)
20		ㅇ압전에너지 하베스터 효과 검증 기술
		[설명] 압전에너지 기술의 도로적용에 따른 경제성 분석 기술을 개발한다.

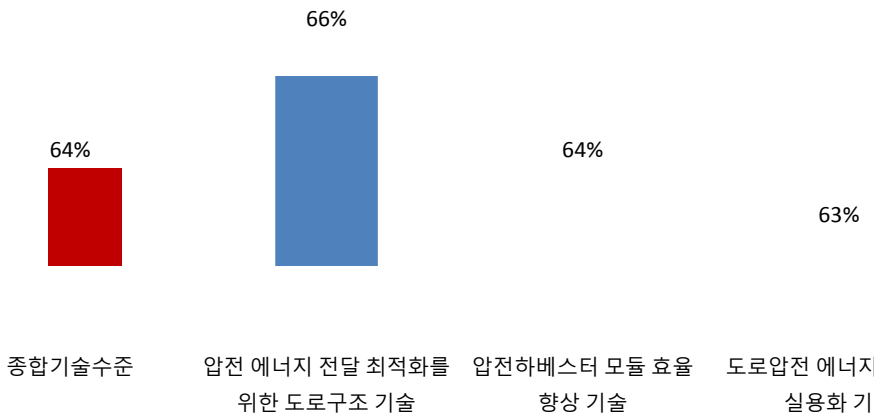
나. 기술예측조사 결과

(1) 기술수준 분석

○ 압전하베스터를 이용한 메가와트급 에너지 자립형 도로기술 개발 관련 기술수준은 최고기술보유국 대비 64% 수준인 것으로 나타났음

○ 중점분야별 기술수준을 조사했을 경우, 압전 에너지 전달 최적화를 위한 도로구조 기술 (66%), 압전하베스터 모듈 효율 향상 기술 (64%), 도로압전 에너지 활용 및 실용화 기술 (63%) 순으로 기술수준이 높은 것으로 나타남

○ 이와 같은 기술수준 분석결과를 볼 때 도로압전 에너지 활용 및 실용화 기술 등 기술개발의 성과의 활용 분야에 대한 기술이 최선도국 대비 비교적 수준이 낮은 것으로 분석됨

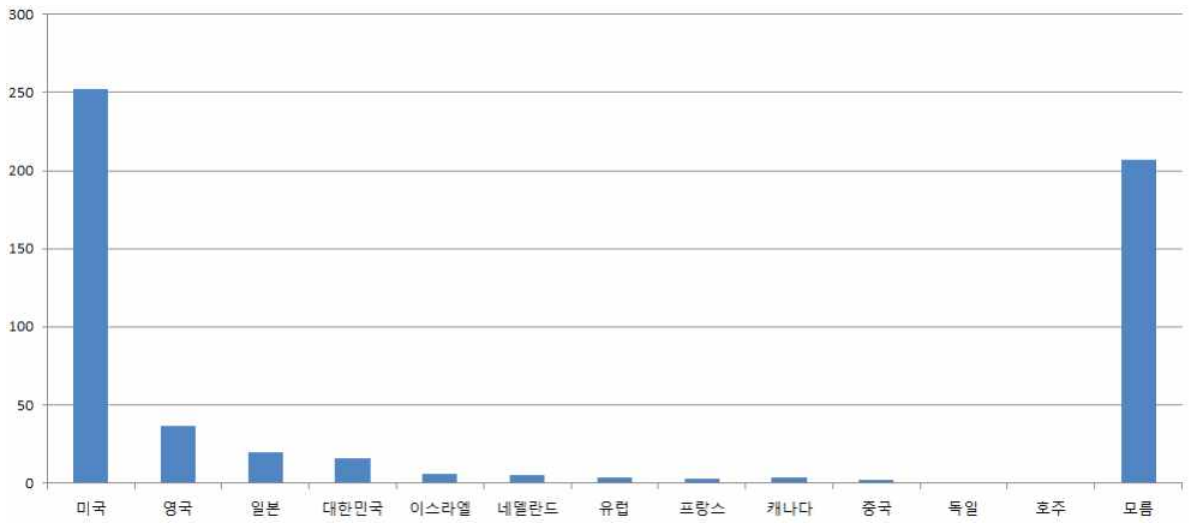


<압전하베스터를 이용한 메가와트급 에너지 자립형 도로기술 개발 중점분야별 기술수준 분석>

○ 최고기술 보유국으로 응답한 국가들은 다음과 같으며, 압전하베스터를 이용한 메가와트급 에너지 자립형 도로기술 개발과 관련해서는 현재 미국이 예측되는 기술의 대부분에 있어 최고기술을 보유하고 있는 것으로 나타남

○ 우리나라는 전체 예측기술에 대하여 현재 네 번째로 높은 수준의 기술을 보유하고 있는 것으로 나타남

○ 특히, 진동형 압전 에너지 하베스터 모듈과 이에 최적화된 도로포장 재료에 대하여 우수한 기술력을 보유한 것으로 나타남



<예측기술에 대한 최고기술 보유국 순위>

○ "도로 진동에너지의 직접전달을 위해 도로포장체 일부를 절단하고 압전하베스터를 '도로면에 직접 노출'하고 운영하는 기술을 개발한다. "에 대해서는 총 응답자 28명 중 16명이 영국이 최고 기술을 보유한 것으로 나타났으며, 미국이 6

명으로 두 번째로 많은 응답을 나타냈음

○ 그 외 모든 예측기술에 대하여 미국이 현재 최고 기술을 보유하고 있는 것으로 나타났음

○ 진동형 압전에너지하베스터모듈개발은 72% 수준으로 비교적 높게 나타났음,

○ 전기에너지 충전회로 최적화 60%, 도로압전에너지의 효과적인 활용을 위한 로직 개발 59%, 압전에너지 향상을 위한 기능성 복합소재 개발 59%로 비교적 기술수준이 미진한 것으로 나타났음

(2) 기술의 실현시기

○ 예측기술의 세계 실현의 경우 전체 20개 기술이 모두 앞으로 6년에서 9년 사이에 개발될 것이라고 예측되었으며, 이 중 평균치인 8년 이내에 실현될 것으로 예측된 기술이 9개 (45%), 8년 이후에 실현될 것이라고 예측된 기술이 11개 (55%)로 가장 많았음

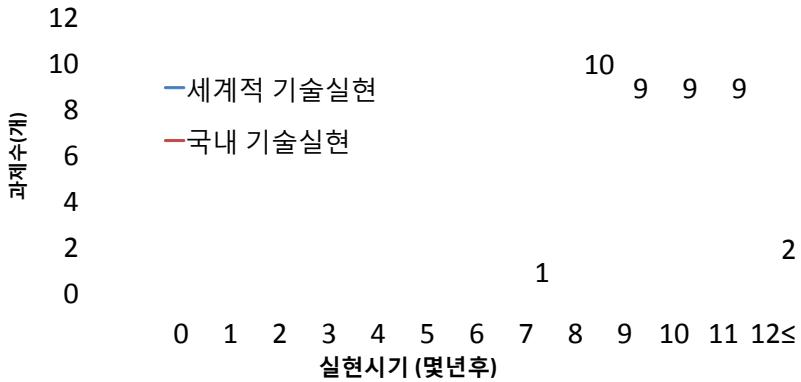
- 전반적으로 세계 실현시기는 앞으로 9년 이내에 모든 과제의 기술적 실현이 가능할 것으로 나타남

○ 예측기술의 국내 실현의 경우 전체 20개 기술 중 45%인 9개 기술에 있어서는 10년 이내에 실현될 것으로 나타남

- 국내에서의 기술실현 예측 시기는 최소 9.4년이 필요하며, 평균 10.2년이 소요될 것으로 나타남
- 최장 11.3년이 소요될 것으로 나타나 지속적인 투자와 연구개발이 필요할 것으로 나타났으나, 10.5년 이상 소요되어야 실현될 것으로 나타난 기술이 20개 중 16개 (80%)로 대부분을 차지하고 있어 국제적인 기술실현 기간인 9년과 비교할 경우 시급한 연구개발이 필요한 것으로 나타남

<예측기술 실현시기 분포결과 >

실현시기 (몇년후)		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12≤	합계
세계	과제 수	0	0	0	0	0	0	0	1	10	9	0	0	0	20
	비중 (%)	0	0	0	0	0	0	0	5	50	45	0	0	0	100
국내	과제 수	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	9	2	20
	비중 (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100



<예측기술의 세계/국내 기술적 실현시기 분포>

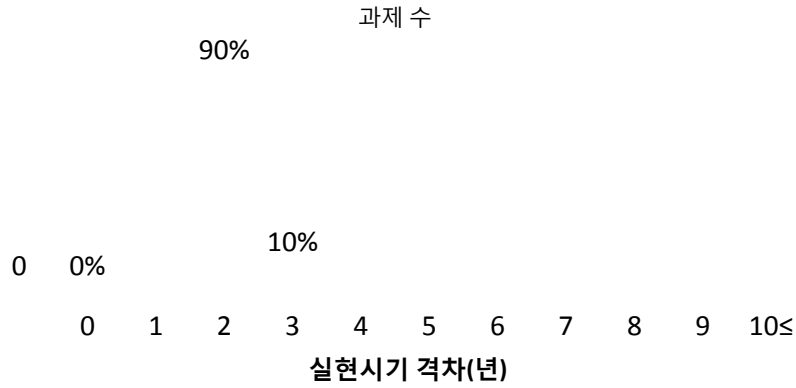
(3) 실현시기 격차

○ 예측기술의 실현시기에 있어 국내와 세계의 실현시기 격차는 전체 20개 기술에 있어 2년~3년으로 나타났으며, 이 중 2개 기술에 대하여 3년, 18개 기술에 대하여 2년의 격차가 있는 것으로 나타남

- 국내·외 실현시기 격차가 큰 분야는 '도로포장 노출형 압전 도로구조 기술'과 '매개체를 이용한 진동에너지 간접전달방식 도로구조 기술'이 3년의 격차를 가지는 것으로 나타났으며, 나머지 기술분야는 모두 2년의 기술 격차가 있는 것으로 나타남

<예측기술 실현시기 국내외 격차 >

기술격차		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10≤	합계
실현시기	과제 수	0	0	18	2	0	0	0	0	0	0	0	20
	비중 (%)	0	0	90	10	0	0	0	0	0	0	0	100

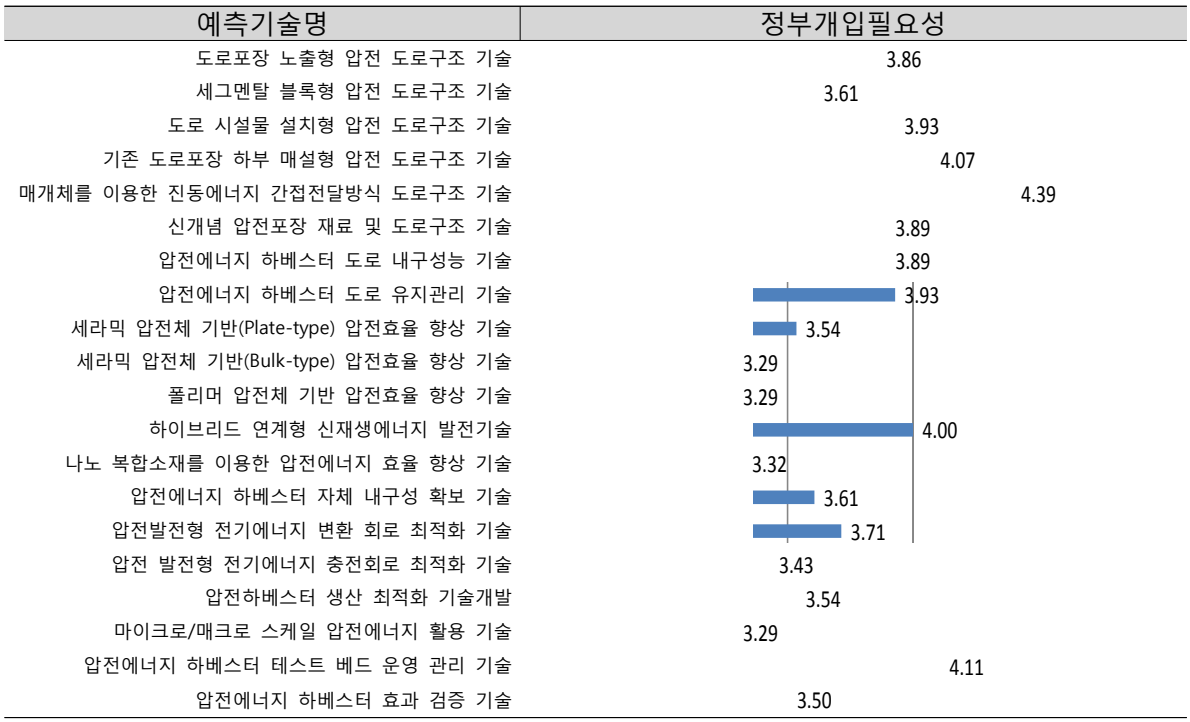


<국내와 세계와의 실현시기 격차 분포>

(4) 정부개입의 필요성

○ 정부개입의 필요성을 5점 척도로 측정한 결과 평균이 3.71 수준으로 예측기술 전반에 걸쳐 정부개입의 필요성이 높은 것으로 나타남

- '매개체를 이용한 진동에너지 간접전달방식 도로구조 기술' 개발 분야가 4.39로 정부개입의 필요성이 가장 높은 것으로 조사됨
- '압전에너지 하베스터 테스트 베드 운영 관리 기술' 개발 분야가 4.11로 그 다음으로 높은 정부개입 필요성을 가지는 것으로 조사됨



<예측기술에 대한 정부개입의 필요성>

(5) 기술획득 방식

○ 예측기술에 대한 기술획득 방식은 종합적으로 정부주도가 56.45%로 가장 많았으며 다음으로는 정부/민간 공동이 30.65%의 비중으로 분석됨

- 중점분야의 경우 '압전 에너지 전달 최적화를 위한 도로구조 기술' 분야는 및 '도로압전 에너지 활용 및 실용화 기술' 분야는 정부가 주도하여 기술개발을 해야 된다는 의견이 각각 64.73%와 64.20%로 가장 높았음
- '압전하베스터 모듈 효율 향상 기술' 분야는 정부주도가 46.64%, 정부/민간 공동이 32.02%로 큰 차이 없이 높은 결과를 나타내었음
- 국가 기반 시설인 도로를 대상으로 하는 기술의 특징으로 인해 '정부주도' 및 '정부/민간 공동' 기술획득이 가장 타당한 것으로 조사된 분석됨

<예측기술에 대한 기술획득 방식 >

구분	기술획득 방식 (%)				합계 (%)
	민간주도	정부주도	정부/민간 공동	기술도입 및 국제협력	
전체	9.50	56.45	30.65	3.41	100
압전 에너지 전달 최적화를 위한 도로구조 기술	3.13	64.73	30.80	1.34	100
압전하베스터 모듈 효율 향상 기술	15.02	46.64	32.02	6.32	100
도로압전 에너지 활용 및 실용화 기술	9.88	64.20	25.93	0	100

3. 연구과제 우선순위 도출

가. 우선순위 도출

○ 기술수요조사를 중심으로 35개의 기술아이템 후보를 도출하고, 동향분석결과를 바탕으로 연구진이 1차 후보기술 아이템 20개 항목을 선정 후, 최종적으로 전문가가 참여한 기술아이템 우선순위 분석을 통해 최종 20개의 기술아이템의 우선순위를 결정하였음

○ 20개 예측기술에 대한 우선순위 결과를 바탕으로 3개 중점추진 연구분야의 실현을 위해 필요한 핵심과제로 14개 항목을 우선적으로 선정함

○ 예측기술 우선순위 평가를 위해서 기술의 핵심성, 기술의 경제성, 기술의 공공성, 기술의 시급성에 대해 각각 5점 척도로 조사를 실시함

○ 각각의 조사항목에 대한 가중치는 연구진 의견을 종합적으로 반영하여 기술의 핵심성 0.5, 기술의 경제성 0.1, 기술의 공공성 0.2, 기술의 시급성 0.2의 가중치를 부여하였음

<예측기술의 우선순위 조사 결과>

예측기술명	예측기술의 우선순위 (5점만점)					
	기술의 핵심성	기술의 경제성	기술의 공공성	기술의 시급성	소계	순위
도로포장 노출형 압전 도로구조 기술	1.96	0.36	0.53	0.74	3.59	2
세그멘탈 블록형 압전 도로구조 기술	1.39	0.29	0.66	0.69	3.03	10
도로 시설물 설치형 압전 도로구조 기술	1.34	0.24	0.63	0.54	2.75	17
기존 도로포장 하부 매설형 압전 도로구조 기술	0.70	0.21	0.49	0.41	1.81	20
매개체를 이용한 진동에너지 간접전달방식 도로구조 기술	1.68	0.31	0.54	0.60	3.13	8
신개념 압전포장 재료 및 도로구조 기술	1.61	0.29	0.51	0.63	3.03	9
압전에너지 하베스터 도로 내구성능 기술	1.82	0.33	0.63	0.49	3.26	7
압전에너지 하베스터 도로 유지관리 기술	1.45	0.28	0.48	0.64	2.84	14
세라믹 압전체 기반(Plate-type) 압전효율 향상 기술	1.82	0.36	0.71	0.75	3.64	1
세라믹 압전체 기반(Bulk-type) 압전효율 향상 기술	1.23	0.29	0.71	0.51	2.75	18
폴리머 압전체 기반 압전효율 향상 기술	1.55	0.25	0.49	0.51	2.81	15
하이브리드 연계형 신재생에너지 발전기술	1.43	0.24	0.56	0.53	2.76	16
나노 복합소재를 이용한 압전에너지 효율 향상 기술	0.75	0.29	0.61	0.44	2.09	19
압전에너지 하베스터 자체 내구성 확보 기술	1.75	0.36	0.60	0.67	3.38	5
압전발전형 전기에너지 변환 회로 최적화 기술	1.80	0.31	0.56	0.71	3.38	4
압전 발전형 전기에너지 충전회로 최적화 기술	1.41	0.28	0.70	0.56	2.95	12
압전하베스터 생산 최적화 기술개발	1.70	0.38	0.74	0.69	3.50	3
마이크로/매크로 스케일 압전에너지 활용 기술	1.66	0.31	0.57	0.72	3.26	6
압전에너지 하베스터 테스트 베드 운영 관리 기술	1.45	0.29	0.62	0.62	2.98	11
압전에너지 하베스터 효과 검증 기술	1.39	0.29	0.64	0.61	2.94	13

○ 예측기술의 우선순위에 따라 상위 14개 기술에 대하여 과제 간 연계성, 추진 효율성 등을 종합적으로 분석하여 3개의 중점추진분야에 대해 9개의 대표 세세부 과제를 다음과 같이 도출하였음

<중점추진분야 및 핵심 세세부 과제 구성>

구분		과제명
중점추진분야 1		압전에너지 전달효율 향상을 위한 도로시스템 개발
	1-1 세부과제	진동에너지 직접전달 방식을 통한 노출식 압전 도로 기술 개발
	1-2 세부과제	진동에너지 간접전달 방식을 통한 비접촉식 압전 도로 기술 개발
	1-3 세부과제	단계별 압전에너지 모듈 성능 및 공용성 평가 기술 개발
중점추진분야 2		도로 적용을 위한 압전에너지 모듈 최적화 기술 개발
	2-1 세부과제	도로에너지 전달 방식을 고려한 압전에너지 모듈 구조 최적화 기술 개발
	2-2 세부과제	스마트 도로시스템 구축을 위한 전력에너지 공급 기술 개발
	2-3 세부과제	도로 운영 환경을 고려한 압전하베스터 내구성 확보기술 개발
중점추진분야 3		도로 압전에너지 활용기술 개발 및 실증
	3-1 세부과제	스마트 발광차선 운영을 위한 압전에너지 하베스터 활용기술 개발
	3-2 세부과제	발전 단계별 에너지 독립형 도로시설을 위한 압전에너지 하베스터 활용기술 개발
	3-3 세부과제	에너지 자립형 스마트 도로시스템 효과 검증 및 실증

4절. 핵심과제별 주요내용 및 추진전략

1. 중점추진분야 과제카드 작성

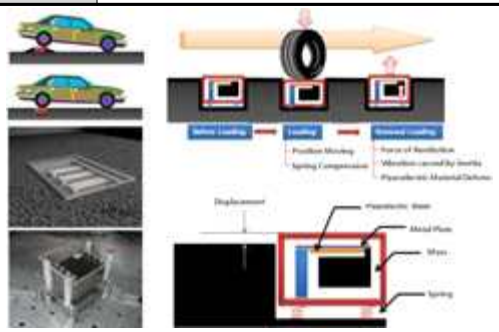
가. 1 세부 : 압전에너지 전달 효율 향상을 위한 도로시스템 개발

○ 1-1 세세부 : 진동에너지 직접전달방식을 통한 노출식 압전도로기술 개발

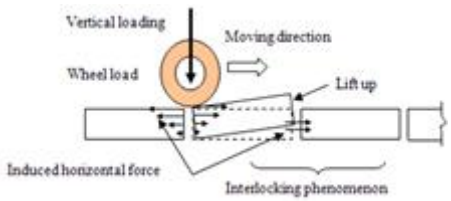
과제명		1-1 세세부 – 진동에너지 직접전달방식을 통한 노출식 압전도로기술 개발
연구개요		• 차량의 진동 및 충격에너지 직접전달 방식을 통한 노출식 압전도로 최적화 기술을 개발하기 위해 노출식 압전도로 개념 도출, 최적화 설계, 현장 맞춤형 시공기술을 개발함
배경 및 필요성	정책적	• 1980년대의 에너지 기술정책은 동력자원부(현 지식경제부)의 적극적인 추진아래 에너지 절약기술, 대체에너지 기술 등의 기술개발이 수행되었으나 에너지 수급정책과의 효율적인 연계를 이루지 못하는 등 국가 기술개발전략이 부족함 • 전 세계적으로 온실가스 및 탄소배출 저감을 위한 규제 협약 및 해결 방안을 모색하고 있으며 제 21차 UN 기후 변화 협약 당사국 총회(파리기후협약)에서 2030년 온실가스 배출 전망치 대비 37% 감축을 목표로 함 • 이에 미국 Global Climate Change Initiative은 2050년까지 1990년 대비 온실가스 배출량 80% 저감을 목표로, EU 유럽기후변화프로그램(ECCP)의 경우 2020년까지 1990년 대비 20% 온실가스 감축, 재생에너지 비중 20% 확대를 목표로 하며, 일본 후쿠다 비전(2008)은 2050년까지 CO2 배출량을 2008년 대비 60~80% 감축을 목표로 함 • 1990년대의 에너지 기술정책은 본격적인 기술개발연구가 산학연 협동으로 추진되어 에너지 절약 기술분야, 신·재생에너지분야, 석탄 이용 기술분야 등에서 기술적인 발전을 이룬 시기로 실용화 목적으로 절약기술개발사업이 추진됨 • 대한민국의 경우 신재생에너지 RD&D 전략 2030을 시작으로 다양한 기술개발 및 산업화 방안을 모색하고자 투자 및 연구가 진행 중이며 세계 진출 투자를 위한 선점을 노력중임 • 에너지 수급의 불안정성 및 환경문제는 지속적으로 우리 사회의 위협요인으로 작용될 전망임. 따라서 이 문제의 해결대안으로 환경을 훼손하지 않음과 동시에 안정적 공급이 가능한 미래 에너지 기술개발 필요성이 증대되고 있는 실정임
	경제적	• 압전에너지 하베스팅 관련 국내외시장규모는 크게 나노/마이크로 스케일 발전시장과 매크로 스케일 발전 시장으로 구분할 수 있음 • 나노/마이크로 스케일 발전시장의 경우, 기술 연관성이 있는 스마트 무선센서 네트워크(WSN) 및 웨어러블 디바이스(생체신호 모니터링 디바이스)를 함께 고려한다면 포괄적인 압전에너지 하베스팅 시장 규모는 크게 확장됨 • 국내의 센서시장은 54억 달러(2012년)에서 2020년에는 99억 달러로 전망되며, 생체신호 모니터링 디바이스 시장은 649억원(2015년)에서 2020년에는 5,302억원에 이를 것으로 예측됨

		• 매크로 스케일 발전시장의 경우, 도로 및 철도시설물 등에 설치하여 Watt급 이상의 발전량을 얻어 이를 도로교통, USN(Ubiquitous sensor network)등 다양한 분야의 스마트 무선 센서의 동력원으로서 사용될 수 있으나 그 구체적인 시장규모는 아직 파악되고 있지 않으나 시장잠재력은 높을 것으로 예상됨 • 영국의 IDTechEX에 따르면 세계 에너지 하베스팅 시장이 매년 약 33 % 성장하고 있으며, 압전 에너지 하베스팅 시장은 2024년까지 약 21배 성장할 것으로 추정하고 있음 (2024년 시장규모 추정 : 약 1조 1800 억원)
	기술적	• 일상적으로 버려지거나 사용하지 않은 작은 에너지를 수확하여 사용 가능한 전기 에너지로 변환해주는 기술인 에너지 하베스팅 중 진동 에너지 하베스팅은 진동이나 압력을 가해 압전 소자를 발전시키는 방법임 • 우리나라의 자동차 등록대수는 국토교통부 자료에 따르면 2016년 기준 2180만 3350대로 자동차 1대당 주민등록 인구수는 2.37명임 • 도로 주행 차량에서 발생되는 진동과 압력을 활용하기 위한 다양한 시도 중 표면 노출형 압전함체를 활용한 접목기술은 전기생산에 유리한 방안이나 기존 도로포장체를 절삭하고 압전함체를 설치하는 방법으로 이질재료에 따른 물리적 거동의 차이로 함체 주변 도로의 파손, 함체 손상 등으로 설치비, 유지관리비용의 증가로 인해 그 효율성이 매우 낮은 상태임에 따라 연구개발이 필요함 • 또한 간접 전달방식은 포장체 하부에 설치되어 포장체의 진동과 압력을 활용한 기술이나 주행차량에 의한 진동자체가 미미하여 전력생산량이 매우 적은 단점을 지니고 있음 • 따라서 차량 주행 시 많은 전기에너지를 생산할 수 있는 직접 전달방식에 의해 기존의 문제점을 해결할 수 있는 새로운 도로 구조시스템의 개발이 필요함
목표		• 압전에너지 직접 전달 효율 최적화를 위한 노출식 압전도로 시스템 개발
TRL 유형		• 공법/기법
TRL 단계		• 기술 성숙도 6 단계 목표
연구내용		• 진동에너지 직접전달 방식 개발을 위한 문헌조사 및 이론적 고찰 - 국내외 압전에너지 직접전달 방식 연구사례 검토 - 국내 교통량 및 환경조건을 고려한 진동 및 충격에너지 분석 • 진동에너지 직접전달 방식을 통한 노출식 압전도로 개념 도출 - 도로등급, 차량속도 및 하중 등을 고려한 압전에너지 하베스터 설치 선정논리 개발 - 차량하중 및 도로환경에 따른 압전에너지 하베스터 필요 내구성능 정의 • 진동에너지 직접전달 효율 최적화를 위한 노출식 도로 설계 - 진동에너지 직접 전달 최적화를 위한 노출식 압전도로 프로토 타입 설계 - 직접전달 효율 최적화를 위한 압전하베스터 크기, 형상, 패턴, 배치 최적화 기술 개발 • 노출식 압전도로 효과 최적화를 위한 구조해석 기술 개발 및 시작품 제작 - 유한요소해석을 통한 노출식 압전도로 피로성능 평가 - 유한요소해석을 통한 환경하중 저항형 압전도로 성능평가 - 노출식 압전도로 시작품 제작 • 노출식 압전도로 현장 맞춤형 시공기술 개발 - 노출식 압전도로 현장 시공 최적화 기술 개발

	- 압전도로 성능평가를 포장가속시험기(APT)를 이용한 실증 시험 - 진동에너지 직접전달 방식 실용화를 위한 현장 시험시공 • 노출식 압전도로 실용화를 위한 지침 개발 - 노출식 압전도로 현장 시공을 위한 시공 지침 개발 • 노출식 압전도로 운영을 위한 유지관리 기술 개발 - 노출식 압전도로 운영 가이드 및 단계별 유지관리 기술 개발
최종 성과물	• 진동에너지 직접전달방식을 이용한 노출식 압전도로 개념설정 보고서 • 진동에너지 직접전달 효율 최적화를 위한 압전도로 설계도 • 압전도로 효과 최적화를 위한 노출식 압전도로 구조해석 프로그램 및 보고서 • 압전에너지 직접전달 방식을 통한 노출식 압전도로 시작품 • 노출식 압전도로 최적화시공 기술서 • 노출식 압전도로 현장 맞춤형 시공을 위한 시방서(안) • 노출식 압전도로 유지관리 매뉴얼



<표면노출형-일반포장 표면 노출형>



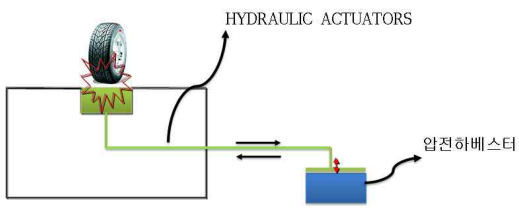
<표면노출형-세그멘탈 차도용 블록형>

○ 1-2 세세부 : 진동에너지 간접전달 방식을 통한 비접촉식 압전도로기술 개발

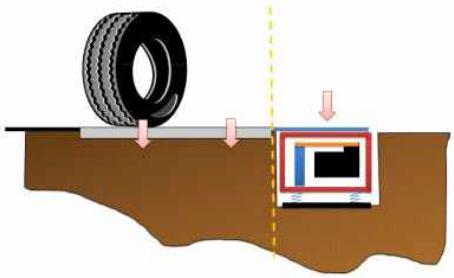
과제명		1-2 세세부 – 진동에너지 간접전달 방식을 통한 비접촉식 압전도로기술 개발
연구개요		• 차량의 진동 및 충격에너지 간접전달 방식을 통한 비접촉식 압전도로 최적화 기술을 개발하기 위해 비접촉식 압전도로 개념 도출, 최적화 설계, 현장 맞춤형 시공기술을 개발함
배경 및 필요성	정책적	• 2005년 2월 16일 교토의정서 발효 이후 유럽, 일본 등 의무감축 대상국들은 2008년부터 2012년(1차 공약기간)까지 1990년 대비 5% 이상의 온실가스를 감축하는 목표를 달성하기 위한 활동을 실시하고 있으며, 현재 포스트 교토의정서 체제 구축을 위해 노력하고 있음 • 이러한 에너지 환경의 변화에서 신재생에너지 시장은 변화, 확장하고 있으며 해외 선진국들은 신재생에너지 보급 확대를 통해 온실가스와 환경오염을 줄이고 신재생에너지 세계시장을 선점하기 위한 정책들을 시행하고 있음 • 우리 정부도 제4차 신재생에너지 기본계획(산업통상자원부, 2014.9)」에 따라 신재생에너지 기술개발 및 이용·보급을 위한 다양한 정책을 수립하여 실시하고 있음 • 그러나 대체 에너지원으로 풍력, 지열 및 태양광 발전 등의 에너지 수급율이 화석연료대비

		불안정하며 그 효율 또한 낮은 문제점이 있어, 전 세계적으로 친환경 에너지 수확 및 활용 기술에 대한 산업, 학계에서의 개발 필요성 및 요구사항이 증대되고 있는 실정임
	경제적	• 압전에너지 하베스터를 이용한 스마트 무선센서 네트워크에 사용하는 세계 센서시장은 2012년 기준 796억 달러에서 2020년 1417억 달러로 약 9.4% 성장할 것이라 예상하고 있으며 국내 시장 또한 2012년 기준 54억 달러에서 2020년 기준 99억 달러로 성장할 것으로 예측함. 이는 MEMS 센서, CIS 센서, 레이더 SOC 등의 첨단센서가 전체 센서 시장을 주도하고 있으며 앞으로 주도할 것으로 예측됨 • 시장조사 전문기업인 IDTechEx에 따르면 에너지 하베스팅 응용기기 시장규모가 38%의 CAGR(연평균 성장률)을 보이며 2018년 1억4,500만 달러까지 확대될 것으로 전망하였으며, 특히 열전소자분야의 시장규모는 2억3,600만 달러로 예상하였음 • Business Insider에 의하면 웨어러블 기기의 수는 2013년 2200만여 대에서 2018년에는 1억 7700만여 대까지 증가할 것이며, 시장가치 규모는 120억 달러 규모에 달할 것으로 전망함 • 작고 강력한 휴대용 전자기기의 출현으로 누구나 장소 및 시간에 구애받지 않고 자유롭게 정보에 접속하고 무선 통신을 할 수 있게 됨에 따라 웨어러블 디바이스 등의 가동을 위한 외부 전력 공급을 위해 저전력 에너지원 수확에 대한 필요성은 무한히 확대될 것으로 예상되고 있음
	기술적	• 새로운 신재생 에너지원으로서 친환경적이며, 고갈위험이 없는 압전 에너지 하베스팅에 대한 관심이 국내·외적으로 증대되고 있으며, 해당 기술을 고정적으로 정해진 수치의 차량의 이동으로 인한 에너지원 확보가 유리한 도로에 적용 하려는 연구가 최근 증대되고 있는 실정임 • 국내의 경우도 연간 고속도로 이동차량은 2016년 현재 약 15억대로서 (www.index.go.kr) 압전 에너지 하베스팅 시스템의 도로구축을 위한 기본 에너지 공급원 인프라는 이미 확보된 상태임 • 전체 국토의 1.4%를 차지하는 도로공간과 자동차 등록대수 이천만대 시대에 부합하는 친환경 신재생 에너지를 창출하기 위하여 압전하베스터를 이용하여 도로공간에서 자체적으로 에너지를 생산 및 활용할 수 있는 에너지 자립형 도로 기반 기술을 개발할 필요가 있음 • 국내 도로포장 연장 중 콘크리트 포장이 차지하는 전체 비율은 약 12.7% (11,375 km/연장)로 고속도로의 경우 전체 연장 중 약 62%(2,575 km/연장)가 콘크리트 포장이며, 일반국도의 경우 1.2%(160 km/연장), 특별·광역시도는 31.9%(6,401 km/연장), 기타 지방도, 시/군도는 4.3%(2,237 km/연장)를 차지하고 있음 (도로현황조서, 국토교통부, 2015) • 국내 모든 콘크리트 포장은 횡방향 혹은 종방향 타이닝(tining) 혹은 구루빙(grooving)이 미끄럼 저항성 증대 및 배수성 확보를 목적으로 설치되어 있으며, 이러한 타이닝 및 구루빙을 활용하여 유체 및 전달자를 이용한 간접전달방식의 압전하베스터 발전 방식을 검토할 필요가 있음 • 진동에너지 직접전달방식(도로매설형)에 비해 도로의 파손이 원천적으로 차단되며 압전에너지 하베스터가 도로 노견에 설치되기 때문에 장기내구성 확보도 용이한 장점이 있음
목표		• 압전에너지 간접전달 효율 최적화를 위한 비접촉식 압전도로 시스템 개발

TRL 유형	• 공법/기법
TRL 단계	• 기술 성숙도 6 단계 목표
연구내용	• 진동에너지 간접전달 방식 개발을 위한 문헌조사 및 이론적 고찰 - 국내외 압전에너지 간접전달 방식 연구사례 검토 - 국내 교통량 및 환경조건을 고려한 진동 및 충격에너지 분석 • 진동에너지 간접전달 방식을 통한 비접촉식 압전도로 개념 도출 - 도로등급, 차량속도 및 하중 등을 고려한 압전에너지 하베스터 설치 선정논리 개발 - 차량하중 및 도로환경에 따른 압전에너지 하베스터 필요 내구성능 정의 • 진동에너지 간접전달 효율 최적화를 위한 비접촉식 도로 설계 - 진동에너지 간접 전달 최적화를 위한 비접촉식 압전도로 프로토 타입 설계 - 간접전달 효율 최적화를 위한 압전하베스터 크기, 형상, 패턴, 배치 최적화 기술 개발 • 비접촉식 압전도로 효과 최적화를 위한 구조해석 기술 개발 및 시작품 제작 - 유한요소해석을 통한 비접촉식 압전도로 피로성능 평가 - 유한요소해석을 통한 환경하중 저항형 압전도로 성능평가 - 비접촉식 압전도로 시작품 제작 • 비접촉식 압전도로 현장 맞춤형 시공기술 개발 - 비접촉식 압전도로 현장 시공 최적화 기술 개발 - 압전도로 성능평가를 포장가속시험기(APT)를 이용한 실증 시험 - 진동에너지 간접전달 방식 실용화를 위한 현장 시험시공 • 비접촉식 압전도로 실용화를 위한 지침 개발 - 비접촉식 압전도로 현장 시공을 위한 시공 지침 개발 • 비접촉식 압전도로 운영을 위한 유지관리 기술 개발 - 비접촉식 압전도로 운영 가이드 및 단계별 유지관리 기술 개발
최종 성과물	• 진동에너지 간접전달방식을 이용한 압전도로 개념설정 보고서 • 진동에너지 간접전달 효율 최적화를 위한 압전도로 설계도 • 압전도로 효과 최적화를 위한 비접촉식 압전도로 구조해석 프로그램 및 보고서 • 압전에너지 간접전달 방식을 통한 비접촉식 압전도로 시작품 • 비접촉식 압전도로 최적화시공 기술서 • 비접촉식 압전도로 현장 맞춤형 시공을 위한 시방서(안) • 비접촉식 압전도로 유지관리 매뉴얼



<간접전달방식-유압 펌프형 비접촉식 압전도로 개념도>

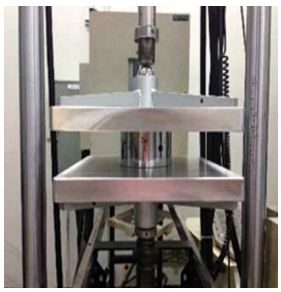


<간접전달방식-타격봉 형 비접촉식 압전도로 개념도>

○ 1-3 세세부 : 단계별 압전에너지 모듈 성능 및 공용성 평가기술 개발

과제명		1-3 세세부 – 단계별 압전에너지 모듈 성능 및 공용성 평가기술 개발
연구개요		• 실내동적 실험, 환경재현 실험 및 포장가속시험(APT)을 통해 단계별 압전에너지 하베스터 성능 및 내구성을 평가하고, 평가 프로세스를 개발
배경 및 필요성	정책적	• 화석에너지의 고갈 및 환경오염으로 인한 기후변화의 위기는 신재생에너지 보급 확대의 필요성에 대한 공감대를 형성, 국가정책에 적극 반영되고 있음 • 세계 주요 국가의 1차 에너지에 대한 신재생에너지 생산량의 비율 (2013년, IEA)은 독일 11.8%, 미국 6.7%, 영국 5.7%, 일본 4.9%이며 한국 2.1%로서 OECD 34개국 중 32위에 해당하는 것으로 나타남 • 2012년에 도입된 신재생에너지 의무 할당제(Renewable Energy Portfolio Standard, RPS)의 유지와 지속적인 비율증가 및 공공기관 신재생에너지설비 설치의무비율 확대와 같은 다양한 정책추진을 통해서 2035년 신재생에너지의 보급 비율 목표를 11%로 설정하고 있음 (2016년 신재생에너지 보급 및 인프라 구축 예산: 총 5,386억 원) • 우리나라의 해외 에너지 의존도는 2011년 기준으로 97%로서 신재생에너지의 보급률 확대를 통한 에너지 자립도의 개선이 필요함 • 좁은 국토면적으로 주요 재생에너지 자원(태양, 바람, 물) 부족 및 환경, 입지규제, 주민 수용성 저하로 인한 기존 신재생에너지 보급의 한계에 직면하고 있으며, 이를 극복하기 위해서 기존 신재생에너지를 대체할 수 있는 에너지로서 시간적/공간적 제약이 적고 친환경적인 압전에너지 하비스팅 기술에 대한 관심이 고조되고 있음
	경제적	• BBC Research (2015)에 따르면, 에너지 하비스팅과 관련된 세계시장규모는 2014년에 8.8억 달러를 기록하였으며, 2020년에는 33억 달러에 육박할 것으로 평가됨. (CAGR 23%) • 교통 인프라(도로, 교량, 철도)를 대상으로 한 미활용에너지 활용기술로서 교통수단(자동차, 열차)의 주행으로 발생하는 압전 에너지 하비스팅 연구가 활발히 진행되고 있음 • 계측 센서 기반 모니터링 시스템 구축을 통한 교량의 구조 건전도 평가 (Structural Health Monitoring, SHM)가 이루어지고 있으며, 센서 네트워크의 무선화(wireless sensor network, WSN)를 통해서 초기비용 및 유지/관리 비용에 있어서 유선네트워크시스템에 비해서 획기적인 예산절감이 가능함
	기술적	• 최근 국내·외에서는 에너지 절감 및 친환경 대체 에너지 동력원 개발에 대한 다양한 연구가 이뤄지고 있음 • 이에 대표적인 연구분야인 에너지 하베스팅 기술은 낭비되고 있는 에너지를 재활용하여 전기에너지로 전환시키는 재생에너지로 다양한 분야에서 적용되고 있음 • 압전 소자를 이용한 진동만으로 에너지 생산이 가능하여 태양광, 풍력 등의 발전방식의 다른 에너지에 비해 활용도가 높음 • 그러나 압전 에너지 하베스터를 도로에 직접 매설하여 대용량 발전을 실용화한 사례는 국내외적으로 찾아볼 수 없으며, 많은 연구가 압전 소재/소자를 이용한 발전량 확보에 집중되어 있음 • 실제 압전체를 이용한 도로 발전을 하기 위해서는 무엇보다도 압전에너지 하베스터에 대한 내구성 검증 및 이를 통한 도로 적용 가능성을 검토하는 과정이 선행되어야 함

목표	• 도로교통량 500 만 ESAL(Equivalent Single Axle Load) 대응 내구성능 검증 및 평가 프로세스 개발
TRL 유형	• 제도/표준화
TRL 단계	• 기술 성숙도 7 단계 목표
연구내용	• 압전하베스터 모듈 발전 성능 실험 - 실내 동적 실험장비를 이용한 압전 하베스터 발전 성능 평가 - 국내 교통량 500만 ESAL 차량 축하중 대응 발전 성능 평가 • 압전도로 모듈 에너지 전달 성능 실험 - 개발된 압전도로 모듈 에너지 전달 성능 평가 • 압전하베스터 실내 내구성능 실험 - 국내 도로 환경조건(방수, 방진 등)을 고려한 내구성능 평가 • 포장가속시험기(APT, Accelerating Pavement Tester)를 이용한 압전하베스터 내구성능 평가 - 진동에너지 전달방식에 따른 압전에너지 하베스터 발전 성능 평가 - 실제 공용성능 검증을 위한 환경하중 노출에 따른 내구성능 평가 • 압전하베스터 현장적용을 위한 성능 기준 및 평가 방법 표준화 - 실내 동적 실험장비를 이용한 압전 하베스터 평가법 개발 - 도로환경 조건별 내구성능 평가법 개발 - 포장가속시험기를 이용한 압전도로 평가 프로세스 개발
최종 성과물	• 압전에너지 하베스터 모듈 발전 성능 보고서 • 압전도로 모듈 에너지 전달 성능 보고서 • 압전에너지 하베스터 실내 내구성능 보고서 • 포장가속시험기(APT)를 이용한 압전에너지 하베스터 발전 및 내구성능 보고서 • 압전에너지 하베스터 성능 평가 기준 (안)



<동적장비 실험>



<도로환경 모사 가속실험>



<대형 포장가속시험(APT)>

나. 2 세부 : 도로 적용을 위한 압전에너지 모듈 최적화 기술 개발

○ 2-1 세세부 : 도로에너지 전달 방식을 고려한 압전에너지 모듈 구조 최적화 기술 개발

<table>
<tr><td colspan="2">과제명</td><td>2-1 세세부 – 도로에너지 전달 방식을 고려한 압전에너지 모듈 구조 최적화 기술 개발</td></tr>
<tr><td colspan="2">연구개요</td><td>• 28 Ws/Vw(차량 바퀴 한개가 지나갔을때 압전하베스터를 통해 최종 발생하는 전력량 개념)급 압전 하베스터 개발을 위해 고전력 압전 하베스터 모듈 설계, 고효율 압전재료를 이용한 압전소자 성능개선 연구 및 도로실증 환경을 고려한 도로용 압전하베스터 최적설계 수행</td></tr>
<tr><td rowspan="2">배경및필요성</td><td>정책적</td><td>• 최근 신재생에너지 산업이 재부상하면서 글로벌 경기 둔화 및 14년도 하반기 이후 저유가 상황에서도 신규 설치량은 2015년도에 29.1% 증가한 133GW에 달했으며, 신규 투자액도 3,288억 달러로 사상 최고치를 기록함
• 전 세계적으로 화석연료와 신재생에너지의 발전단가가 같아지는 시점인 Grid parity 달성 지역이 확대되면서 신재생에너지 산업의 본격적인 발전을 위한 기반이 마련되고 있음
• 기후변화 대응, 연료수입의존도 감축, 에너지시스템 유연성 제고 및 미래 기술시장 선점 등을 위해 신재생에너지 지원정책과 보급목표를 수립하는 국가가 증가하고 있는 추세임
• 우리나라의 에너지수입의존도는 96%, 중동원유수입의존도는 86%로 매우 높은데 비해, 신재생에너지 비중은 3.52%로 OECD 국가 중 가장 낮음. 또한, 우리나라의 에너지 수급 구조는 에너지 안보 및 기후변화 대응에 취약하며, 신재생에너지 활용 실적이 미흡함
• 정부는 제4차 신재생에너지 기본계획을 수립과 함께 에너지신산업 발굴 및 활성화, R&D 역량강화 및 기술융복합화, 해외사업진출 지원 등을 적극 추진 중에 있음
• 대체 에너지원으로 풍력, 지열 및 태양광 발전 등의 에너지 수급율이 화석연료 대비 불안정하며 그 효율 또한 낮은 문제점이 있어, 전 세계적으로 친환경 에너지 수확 및 활용기술에 대한 산업, 학계에서의 개발 필요성 및 요구사항이 증대됨
• 또한 전 세계가 온실가스를 감축하는 목표를 달성하기 위한 활동을 실시하고 있으며, 새로운 환경 정책 체제 구축을 위해 노력하고 있음</td></tr>
<tr><td>경제적</td><td>• 영국의 IDTechEX에 따르면 세계 에너지 하베스팅 시장이 매년 약 33 % 성장하고 있으며, 압전 에너지 하베스팅 시장은 2024년까지 약 21배 성장할 것으로 추정하고 있음 (2024년 시장규모 추정 : 약 1조 1800 억원)
• 하지만 이는 초기 기술단계에서 예상된 시장이기 때문에 더욱 큰 규모의 시장 형성 가능성이 있음
• 정확한 시장 규모에 대해 알려지진 않았으나, 에너지 변환 효율 향상과 함께 웨어러블 전자기기, 유비쿼터스 센서, 메디컬 센서 등의 저전력 시스템 뿐만 아니라, 도로, 철도 등에서 발생하는 미활용에너지를 이용한 kW~MW급 에너지 산업에 적용이 가능하기 때문에 다양한 응용분야에 적용하게 되면 시장 규모는 더욱 커질 것으로 예상할 수 있음.
• 압전하베스터 모듈의 에너지의 에너지 효율을 높이기 위해서 ‘하베스터 모듈의 압전 소자의 고집적화 기술’과 ‘압전 하베스터 모듈의 low loss 회로 기술’의 개발이 요구됨
• 압전에너지 하베스팅 관련 국내외시장규모는 크게 나노/마이크로 스케일 발전시장과 매크로 스케일 발전 시장으로 구분할 수 있음</td></tr>
</table>

	기술적	• 새로운 신재생 에너지원으로서 친환경적이며, 고갈위험이 없는 압전 에너지 하베스팅에 대한 관심이 국내·외적으로 증대되고 있으며, 해당 기술을 고정적으로 정해진 수치의 차량의 이동으로 인한 에너지원 확보가 유리한 도로에 적용 하려는 연구가 최근 증대되고 있는 실정임 • 압전 하베스팅은 다른 발전에 비해 에너지 밀도가 높고 날씨에 관계없이 주변의 미활용에너지를 전기에너지로 변환할 수 있다는 장점으로 인해 전세계적으로 관심이 급증하고 있음 • 압전하베스터 모듈의 발전량은 내장된 압전소자의 특성과 그 수량에 비례하므로, 도로에서 얻을 수 있는 기계적 진동에 특화된 압전소자 디자인의 최적화로 발전능력을 제고하고, 압전모듈 내에 압전 소자의 배열을 고집적화하여, 압전모듈의 발전량을 향상시키는 구조적 연구가 필수적임 • 각 압전소자에서 발생된 전기에너지를 손실을 최소화 하여 사용하기 위해서는, 압전하베스터 모듈 내의 결선 및 배선, 그리고 저장 방법에 대한 연구가 필요함
목표		• 에너지 전달방식을 고려한 압전 도로하베스터 모듈 구조 최적화
TRL 유형		• 장비/장치
TRL 단계		• 기술 성숙도 7 단계 목표
연구내용		• 도로에너지 전달 방식별 압전에너지 모듈 최적화 방안 도출 - 직간접 전달 방식 모듈 최적화 방안 정립 - 불규칙적인 차량 소통에 의한 기계적 에너지의 효율적 이용에 대한 연구 • 도로 환경을 고려한 압전에너지 모듈 구조 개선 - 압전에너지 전달 최적화 매커니즘 개발 - 압전소자 최적화 모듈 개발 - 정립된 최적화 방안에 따른 모듈 구조 설계 및 최적화 • 구조해석을 통한 압전에너지 모듈발전 성능 시뮬레이션 - 압전에너지 하베스터 모듈 구조 해석 및 구조 설계 - 내구성을 고려한 수명주기 해석 - 동하중을 고려한 압전도로 발전 해석 • 도로에너지 전달 방식별 압전에너지 하베스터 시작품 제작 - 단계별 압전에너지 하베스터 시작품 제작 (3.5→7→14→21→28 Ws/Vw 급) - 도로에너지 직/간접전달 방식 고려 압전에너지 하베스터 시작품 개선
최종 성과물		• 전달방식별 압전에너지 모듈 설계 최적화 방안 보고서 • 대용량 발전을 위한 도로용 고전력 압전에너지 모듈 최적화 설계도 • 모듈 발전 성능 시뮬레이션 보고서 • 연차별 압전하베스터 발전량 공인 성적서 (최종 28 Ws/Vw) - Ws : Watt * Sec. (전력량 단위) / Vw : Wheel per Vehicle • 에너지 전달 방식별 압전에너지 하베스터 시작품

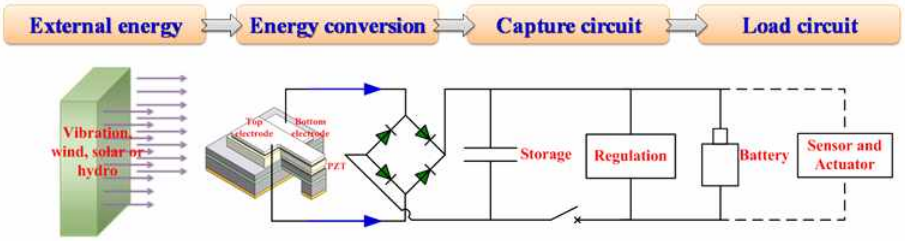


<양단고정 구조의 다양한 압전에너지 하베스터 형상, 한양대, 2016>

○ 2-2 세세부 : 스마트 도로시스템 구축을 위한 전력에너지 공급 기술 개발

과제명		2-2 세세부 – 스마트 도로시스템 구축을 위한 전력에너지 공급 기술 개발
연구개요		• 압전에너지 하베스터 전력변환효율 70% 이상 확보를 위한 고효율 전력변환 회로 기술 개발 및 도로 압전 발전에너지의 효율적인 저장 및 관리를 위한 최적 시스템 개발
배경 및 필요성	정책적	• 국제에너지지구(IEA)에 따르면 세계 경제의 탄소 집약도는 다양한 에너지 기술 조합을 통해서 2/3까지 줄어들 수 있으며, 저탄소 배출 경로는 에너지시스템의 거대한 변화를 요구하고 있으며 '2℃ 시나리오'(2DS)는 비용 효과적인 전환을 달성하기 위해 저탄소 기술의 확산을 장려하는 정책을 강조하고 있음 • 4DS 경로에서 2DS 경로로 이산화탄소 배출량을 감축하려면 다양한 효율 기술과 저탄소 기술이 필요하며, 2DS 경로로 전환하는 이산화탄소 감축에서 가장 기여도가 큰 기술은 재생에너지와 최종 소비 효율 향상 • 최근 태양광과 풍력, 전기자동차에 세계적으로 투자가 집중되고 있으며, 특히 도심지역에서 이산화탄소 배출량을 줄이는데 결정적인 역할을 하게 될 전기자동차 활성화가 기대되며, 2050년대까지 10억대의 전기자동초가 보급되고 대중교통 이용률은 2배 이상 증가 할 것으로 예측 됨 • 전기자동차 활성화에 따른 전기소모량은 증가될것이 예측이 되지만, 현재 에너지 수급율이 화석연료와 원자력 발전소에 집중되어 있음 • 하지만, 이산화탄소 배출 감소와 방사능 폐기물 문제를 해결하기 위한 친환경 에너지 수확 및 활용기술에 대한 기술 개발 필요성이 부각되고 있는 실정이며, 하지만, 이산화탄소 배출 감소와 방사능 폐기물 문제를 해결하기 위한 친환경 에너지 수확 및 활용기술에 대한 기술 개발 필요성이 부각되고 있는 실정이며, 에너지 안보 강화, 대기오염 개선, 기후변화 대응, 경제 활성화, 에너지 빈곤 해소 등 다양한 목적을 달성하기 위한 정책적 지원 덕분에 세계적으로 재생에너지는 꾸준히 증가하고 있음 • EU 28개 회원국은 냉난방부문의 신재생열에너지 점유율 목표를 도입하였고, 세계적으로 신재생냉난방 목표를 설정한 국가가 41개국, 국가 또는 지자체 차원의 신재생열에너지이용의무화를 실시하는 국가는 19개국 이상임
	경제적	• 신기후체제 출범·IT기술 혁신에 따라 글로벌 에너지 패러다임의 전환의 가속화와 세계 각국에서는 장기간 투자·운영이 요구되는 에너지 산업 특성을 고려하여 미래를 대비한 과감한 투자가 추진되고 있음 • 정부는 에너지 신시장 창출을 위해 '2030 에너지 신산업 확산전략'을 수립하여 발표('15.11)하였으며, 또한 2030년 신성장동력을 위한 신시장(100조원) 및 고용(50만명) 창출은 물론 5,500만톤의 온실가스 감축 목표를 세우는 등 초기시장을 확대하기 위한 정부의

		역할을 강화하고 있음 • 2015년 세계 신재생에너지 투자액은 3,288억 달러를 기록해 최고치를 기록하였으며, 2016년 세계 신재생에너지 산업 투자액은 전년대비 7% 증가한 3,453억 달러를 기록할 전망하고 있으며, 특히 중국 및 미국 등 주요 신재생에너지 수요국들의 투자가 2016년에도 여전히 활발할 전망
	기술적	• 에너지 하베스팅을 실제 시스템에 적용하기 위해서는 전력을 생산하는 하베스터 소자 기술 개발과 더불어 전력변환 및 전력관리 기술 개발이 필수적임 • 에너지 하베스터(Energy source)에 대한 연구개발도 중요하지만, 효율을 높일 수 있는 Power management IC에 대한 필요성이 증대되고 있음. 아울러 저전력 회로 기술 개발이 동시에 이루어 져야 함 • 에너지 하베스팅용 미소전력 변환 회로의 효율 증대가 필요함 • 변환 효율이 낮아 획득된 전력이 시스템에 사용되지 못하고 손실되고 있음 • 전원장치 자신이 소비하는 전력을 극도로 낮추어야 함 • 극저전압, 저전력에서 동작하는 전력관리 회로 필요함 • 에너지 하베스팅용 전원장치의 경우 미소전력을 활용해야 하므로, 극저전압 혹은 저전력인 환경에서 동작하는 전력관리 회로 (PMIC) 필요함 • 압전 에너지 하베스팅을 도로에 적용할 경우 불규칙적이고, 정형화되지 않은 형태의 전력이 획득될 것이므로 이에 대한 고효율 전력변환 및 관리 기술이 필요함
목표		• 스마트 도로시스템 구축을 위한 전력변환 시스템 고효율화 * 전력변환 단계는 압전소자의 출력부터 저장장치 전까지로 정의함. 전력변환 효율은 용량에 크게 좌우됨. 에너지 하베스팅으로 획득하는 전력은 일반적으로 매우 작은 용량의 전력을 모으는 개념이기 때문에, 일반적인 전원장치와는 달리 효율이 50%를 넘기 어려움
TRL 유형		• 장비/장치
TRL 단계		• 기술 성숙도 7 단계 목표
연구내용		• 최대전력 전송을 위한 압전에너지 전력변환 회로기술 적용 - AC-DC Rectifier 회로 기술 적용 - DC-DC converter 회로 기술 적용 - PMIC (Power management IC) 회로 기술 적용 - MPPT (Maximum Power Point Tracking) 회로 기술 적용 - 과전압(OVP),과전류(OCP),온도(Thermal Shutdown)에 대한 배터리 보호회로기술 적용 • 도로 상황에 적합한 압전에너지 저장기술 개발 - 전력 loss 최소화를 위한 압전 모듈 결선방안 최적화 설계기술 개발 - 커패시터(capacitor)를 이용한 압전에너지 최적화 저장 시스템 개발 • 압전에너지 저장상태 모니터링 및 운영 시스템 구축 - 압전하베스터 및 압전에너지 저장상태 원격 모니터링 및 운영 시스템 구축
최종 성과물		• 전력 변환효율 70 % 급 압전에너지 하베스터 전력 변환 회로 설계도 • 연차별 압전에너지 하베스터 전력 변환율 공인 성적서 • 커패시터(capacitor)를 이용한 압전에너지 저장 회로 설계도 • 연차별 압전에너지 저장 관련 공인 성적서 • 압전에너지 모니터링 및 운영시스템

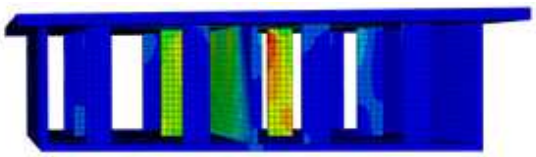


<에너지 하베스트 에너지 변환 회로 및 저장장치, 부하 구성>

○ 2-3 세세부 : 도로 운영 환경을 고려한 압전하베스터 내구성 확보기술 개발

과제명		2-3 세세부 – 도로 운영 환경을 고려한 압전하베스터 내구성 확보기술 개발
연구개요		• 열악한 도로환경에 대응하기 위한 압전에너지 하베스터의 물리적, 화학적 내구성 및 도로환경하중대응형 기술을 개발하고 시스템을 최적화하여 10년 내구수명 확보기술을 개발함
배경 및 필요성	정책적	• 9대 국가 전략 프로젝트(2016년 8월) 중 가상·증강현실, 자율주행 자동차, 스마트 시티 육성 분야의 핵심부품에 사용될 수 있는 원천 기술이며, 특히 스마트 시티의 교통, 에너지 문제와 직접 연관됨 • 파리 합의문 (2015년 12월)으로 온실가스 감축을 위한 친환경 대체에너지에 대한 관심 증가되고 있으며, 세계 온실가스 배출량의 약 30%가 석탄발전에서 발생됨 • 국내 신재생에너지 정책방향은 2035년 신재생에너지 보급률 11% 달성 (에너지공단, 2016년) 목표로 국가정책을 추진하고 있으나, 좁은 국토면적으로 재생에너지 자원이 부족하고, 환경·입지 규제, 주민 수용성 저하로 신재생 보급에 제약이 있음 • OECD 34개국과 비교 시, 우리나라 1차 에너지 대비 신재생에너지 비중은 34위, 2.1% 에 불과한 것으로 조사됨 (IEA, 2013년)
	경제적	• 전세계 에너지 하베스팅 시장규모가 2020년에 43억 7000만 달러 (한화 약 42조 7284억원)에 달할 것으로 예상 (IDTechEx, 2015년) 되나 화석연료를 대체할 값싼 에너지원에 대한 필요성은 지속적으로 증가 • 신기후 변화체제 출범에 따른 최대 수혜 산업은 신재생에너지 산업이 될 전망되고 있으며 (수출입은행, 2016년 1월) 2016년 세계 신재생에너지 산업투자액은 전년 대비 7% 증가한 3,453억 달러에 이를것으로 전망 됨
	기술적	• 압전에너지 하베스팅 시스템에서 발전된 전기에너지를 효율적으로 부하로 전달하는 전력 변환 시스템은 에너지를 효과적으로 수확하기 위한 중요한 이슈임 • 압전에너지 하베스팅 시스템에서 출력되는 전력은 높은 전압과 낮은 전류값을 가지는 특성이 있음 • 높은 전압과 낮은 전류를 에너지 손실이 적게 전력소비단계로 변환하여 전달하는 것은 시스템 전체의 에너지 효율 향상에서 중요한 기술적 문제로 대두됨 • 전 세계적으로 압전 에너지 하베스팅 기술 분야에서 기계적 시스템의 연구는 활발히 진행

	되고 있는 반면 회로의 연구는 미비 (상용화제품은 거의 없음) • 압전으로 생산된 전기를 저장해야 할 필요가 있지만 연구단계에 있으며 아직 그 효율이 높지 않아 상용화에 어려움이 있고 이에 대한 핵심 기술로 임피던스 매칭이 포함됨 • 도로 압전 에너지 하베스터의 발전되는 전압 형태는 불규칙한 차량의 입력으로 인해 비정현파 형태임. 그러므로 이에 맞는 회로기술이 필요하지만, 현재까진 범용성의 에너지 하베스팅 회로를 사용할 수밖에 없었음
목표	• 압전 에너지 하베스터 모듈 내구성능 10년 확보
TRL 유형	• 장비/장치
TRL 단계	• 기술 성숙도 7 단계 목표
연구내용	• 도로용 압전하베스터의 물리적(내열, 피로 및 내충격 등) 내구성 확보 기술 개발 - 하중전달방식에 따른 압전하베스터의 물리적 내구성 확보 기술개발 • 도로환경하중(방수 및 방진) 대응형 압전하베스터 내구성 확보 기술 개발 - 하베스터 내부 방수 및 방진을 위한 내구성 확보 기술개발 • 도로 압전하베스터의 화학적 내구성 확보 기술 개발 - 하베스터 내화학성 확보 기술 개발 • 압전하베스터 도로환경 맞춤형 시스템 최적화 기술 개발 - 하중전달 방식에 따른 하베스터 시스템 최적화 기술 개발
최종 성과물	• 압전하베스터의 물리적 내구성능 검증 실험결과 보고서 • 압전하베스터 방수 및 방진 공인 성적서 • 압전하베스터 내화학성 공인 성적서 • 하중전달 방식에 따른 압전 하베스터 내구성 최적 설계도



<압전 에너지 하베스터 하우징 내구성 설계, 한양대 , 2016>



<IP 66, IP 67 등급의 방수 방진 실험, 한양대, 2016>

다. 3 세부 : 도로 압전에너지 활용기술 개발 및 실증

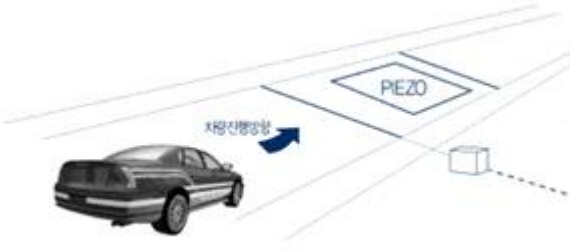
○ 3-1 세세부 : 스마트 발광차선 운영을 위한 압전에너지 하베스터 활용기술 개발

과제명		3-1 세세부 – 스마트 발광차선 운영을 위한 압전에너지 하베스터 활용기술 개발
연구개요		• 자율협력 주행형 스마트 도로 인프라를 효과적으로 구축하기 위해서는 능동형 발광차선의 도입이 효과적이며, 이를 위해 압전에너지 하베스터를 활용한 에너지 자립형 스마트 도로시스템을 개발
배경 및 필요성	정책적	• 국토부는 2016년 발표한 '제 1차 국가도로종합계획안 (2016-2020년)'에 따라 전국고속도로망의 확충과 함께 기능성·지능형 시스템을 갖춘 스마트 하이웨이 구축 사업을 진행할 것을 발표함 • 2017년도 정부연구개발투자 방향 및 기준안에 따르면 국내 R&D 투자는 융합 기반의 신기술 개발로 산업혁신을 통해 산업경쟁력을 제고할 수 있는 기술에 집중 투자하는 것을 목표로 하고 있음 • 최근 우리나라의 교통상황은 지속적으로 악화되고 있으며, 이로 인한 사회적 손실이 크게 발생하고 있음 • 이를 해결하기 위해 실제 교통정보(교통량, 교통속도, 교통밀도, 과적차량)에 대한 실시간 모니터링 기술개발에 대한 관심이 상당히 높아지고 있음 • 교통정보 big-data의 활용을 통해 기존 교통 체증 문제를 해결 할 수 있으며 도로의 설계, 유지, 관리 및 교통안정 및 효율 제고 등 폭 넓게 적용할 수 있음 • 미국의 과학재단(NSF)과 유럽의 유럽연합집행부(EC)는 최근 5년간 각각 300억, 115억원 규모의 연구자금을 기술 융합형 건설신소재 분야에 투자하였음
	경제적	• 2020년 이후 건설소재 시장은 기술융합형 기능성 건설신소재 중심으로 재편될 전망임 • 기술융합형 건설신소재 시장의 규모는 2011년 이후 급격히 성장하여 2021년에는 그 규모가 약 10억달러에 육박할 것으로 기대됨 • 세계 첨단교통시스템 시장 규모는 2010년 약 240억 규모였으며 연평균 22.1%의 성장률을 보이며 꾸준히 성장하고 있음. 국내 관련 기술의 시장 점유율을 9%로 가정하면 2020년에는 연간 수출액이 12억 달러에 이를 것으로 전망됨 • 국내의 경우, 첨단교통시스템 구축을 통해 2020년에는 도로혼잡 비용을 연 1.3조원 이상 절감할 수 있을 것으로 기대됨 • 기술 융합형 기능성 건설신소재 개발 관련 시장에서 국가 경쟁력의 제고에 기여 할 수 있을 것으로 기대되며, 첨단 도로교통 시스템의 요소 기술로 활용됨으로서 관련 기술의 수출 경쟁력 향상에 기여할 수 있을 것으로 기대됨
	기술적	• 유럽, 미국 등을 중심으로 이동식 노면 정보 수집 장치(Thermal Mapping System)을 개발하여 도로를 주행하면서 노면온도, 대기온도, 노면상태(습윤, 결빙, 습도 등)의 정보를 수집하고, 수집한 정보를 실시간으로 센터에 전송하여, 도로관리에 활용하고 있음 • 도로분야 기상 정보는 크게 기상청 자체의 정보와 도로관리청에서 보유하고 있는 기상 정보 센서가 있으며, 일부 도로관리청에서는 RWIS(Road Weather Information System)을 구축하고 있으며, 대기온도, 노면온도, 도로변 강우, 강설, 풍향 등의 정보를 수집하고 있으

		나, 일부 고개, 터널 진출입부 취약구간 중심으로 설치되어 있어 지점 중심의 정보를 제공하는 시스템임 • 미국, 유럽 등 도로기상 관련 기술은 RWIS(Road Weather Information System)으로 개발되고 있으며 도로변에 설치된 기상 센서로부터 정보를 수집하고, 이를 기상청 예측 정보와 기타 도로변 변수 등의 정보를 수집하여 도로상태(온도, 결빙 등)를 예측하는 모형이 포함되어 있음 • 또한 일부 차량에 노면정보를 수집할 수 있는 센서를 장착하여 노면 상태를 수집하고 있으며 이를 센터에 정보를 제공해주고 있음 • 도로기상은 차량의 주행 거동에 영향을 줄 뿐 아니라 자율주행차의 인지 성능에 영향을 주는 요소로 자율주행차의 도로기상 정보를 실시간으로 수집하는 것이 필요함 • 특히 기존 도로기상은 기상청에서 제공하는 정보로 최고해상도는 5km×5km 격자로 도로에서는 광범위한 영역으로 좀 더 조밀한 크기의 영역으로 구분되야 함 • 기존 기상정보는 지점 정보를 이용하여 공간정보를 모델링하여 생성하여 다변화하는 도로기상 정보를 반영하는데 어려움이 존재하였으나, 조밀하게 구분된 영역에 대해 연속적인 혹은 공간적인 도로기상정보를 수집하게 될 경우 도로망에 따라 다변화하는 기상정보를 수집하는 것이 가능함 • 이에 자율주행자동차 거동에 영향을 주는 기상정보에 대해 실시간으로 정보를 수집하고 제공할 수 있는 시스템 개발이 요구됨
목표		• 압전에너지 하베스터를 이용한 분산독립형 도로안전시스템 개발
TRL 유형		• 시스템
TRL 단계		• 기술 성숙도 6 단계 목표
연구내용		• 스마트 차선 유도등을 위한 압전에너지 활용기술 개발 - 자율주행을 위한 발광차선 최적 성능 설계 - 자율주행 연계 능동형 발광차선 최적 설치 논리 개발 - 압전에너지 하베스터 연계 2 Watt급 분산 독립전원 공급체계 구축 - 포장가속시험기를 이용한 능동형 발광차선 성능 및 내구성 검증
최종 성과물		• 자율주행 연계 스마트 차선 유도등 전원 공급 시스템 • 스마트 차선유도등 압전시스템 시작품



<스마트 발광차선 적용 사례>



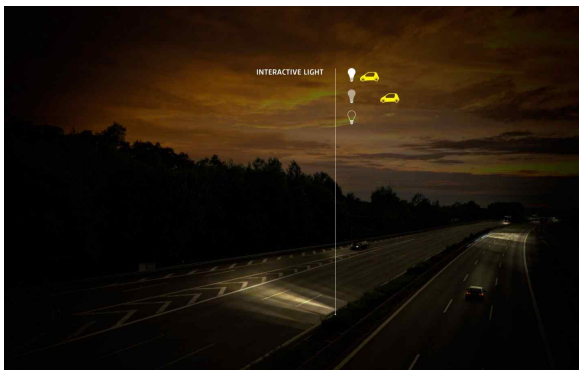
<PZT를 이용한 정밀차량속도 및 도로용량 센서로 확장 가능>

○ 3-2 세세부 : 발전 단계별 에너지 독립형 도로시설을 위한 압전에너지 하베스터 활용기술 개발

<table>
<tr><td colspan="2">과제명</td><td>3-2 세세부 – 발전 단계별 에너지 독립형 도로시설을 위한 압전에너지 하베스터 활용기술 개발</td></tr>
<tr><td colspan="2">연구개요</td><td>• 압전에너지 하베스터를 이용한 30W급 저전력 인식형 낮은폴 조명시스템 및 30W급 저전력 노면결빙 방지 도로시스템을 개발하고 발전 단계별 에너지 독립형 도로시설 (졸음쉼터, 14kW급/day) 연계기술을 확보</td></tr>
<tr><td rowspan="2">배경 및 필요성</td><td>정책적</td><td>• 정부는 2035년까지 신·재생에너지 보급률을 11%까지 확대하고, 경제성·입지규제·보급여건 등 공급가능 잠재량을 종합적으로 고려하여 기술개발 및 보급지원 정책을 적극 추진 중이며 특히, 보급 잠재력 및 산업적 파급효과가 큰 수소·연료전지, 태양광, 풍력 등을 3대 핵심 분야로 선정하여 집중 지원하고 있음
• 정부는 미래 핵심에너지원으로 부각되고 있는 신재생에너지의 보급 확대 및 신성장동력 산업화 추진하고 있음
• 국토교통부 연구개발을 통해 적정성능. 저가격의 최소 도로 조명 기술 개발 및 현장 적용을 위한 실효성 있는 야간 도로 안전 확보의 기반 마련을 위한 낮은 폴 조명을 개발 연구를 수행하였음
• 저전력의 낮은 폴 조명의 구동을 위해 추가 전령망 구축 없이도 압전 하베스팅 시스템과 접목하여 에너지활용 능동제어기술을 통한 효율적 활용으로 도로조명의 제로 에너지화 기술 실현이 가능함
• 최근에는 주요 선진국 건설정책 패러다임이 '효율'에서 '안전'으로 전환됨. 최근 10년간 겨울철 자연재난 발생현황을 분석하면 대설, 풍랑으로 인한 재난이 지속적으로 발생하고 있음. 특히 겨울철에는 강설에 의한 고속도로, 국도, 지방도 등 교통두절과 정체로 인한 피해가 해마다 발생하고 있으며, 짧은 시간에 기습적인 집중폭설이 내릴 경우 도로 상에 눈이 쌓여 차량정체, 고립, 블랙아이스 사고 등 교통대란이 발생함</td></tr>
<tr><td>경제적</td><td>• 도로조명 전력망은 기존 고속도로의 인터체인지나 톨게이트 구간에 집중되어 있거나 국도의 경우에도 전력망 구축이 되어 있지 않은 구간이 대부분임
• 이같이 전력망이 구축되어 있지 않는 구간에 조명을 적용하기 위해 상용전력 망을 구축할 경우 신규 전력망 설비비용이 크게 증가하는 경제성 문제를 안고 있음
• 당초 상용화 단계에 있는 낮은 폴 조명의 설치 구간이 교량구간 및 위험 구간에 설치될 목적으로 개발되었으며 이 구간은 특히 전력망 구성이 되어 있지 않아 에너지 완전 자립화를 통해 시설 구축비용 축소가 필요함
• 따라서 에너지를 자가 생산하여 독립 전력망을 구성할 경우 상용전력망 구축비용에 비해 경쟁력이 있음
• 또 본 기술은 도로 교통사고로 인한 연간 39조원의 사회경제적 손실 비용을 최소화 할 수 있는 핵심 기술이며, 국가 안전망 확보에 이바지
• 발열 양생 및 융설이 가능한 발열 도로포장체 개발을 위해서는 나노기술의 적용이 필요함. 최근 건설 선진국에서는 나노기술의 적용으로 건설산업의 패러다임이 전환되고 있으며 관련 산업화가 급진전 되고 있음. 미국과학재단(NSF)은 나노 시장 규모를 2015년 1조 달러로 예상하고 있으며, 새로운 기술 변화 흐름에 맞추어 건설 분야의 새로운 성장엔진을 발굴하고 산업구조를 재편하는데 있어 나노기술을 이용하여 역학적으로 탁월하면서 기능적으로 우수한 새로운 분야를 개척하고 있음.</td></tr>
</table>

	기술적	• 낮은 폴 도로조명의 소비전력은 20W 이내이며 태양광만을 적용할 경우 날씨에 따라 전력 생산의 한계를 가지고 있어 별도의 상용전원 전력망을 갖추어야 하는 계획이었으나 압전 하베스트 전력망을 사용할 경우 완전 독립화 가능 • 교량 구간은 물리적으로 적정 진동이 발생하도록 설계되어 있고 안전을 위한 추가 목적의 요철 하베스터 모듈 설치로 진동을 직접 전달하는 방식을 적용하면 높은 에너지 효율이 기대됨 • 이를 위해 확보되어야 할 요소기술로는 도로 상황 및 조명소비전력에 따른 최적 압전 하베스터 모듈 기술, 압전 진동 전력을 포집하기 위한 고효율의 전력변환 충전 회로기술, 실증을 위한 전력 모니터링 기술, 메터링 기술, 시스템 제어기술 등이 있음 • Steel fiber, steel shaving 등 금속재료를 전도성 필러로 사용한 기존의 시멘트계 도로 융설체는 필러의 부식에 의해 저항이 60배 이상 증가할 수 있으며, 필러의 노출에 의해 차량 손상 등을 유발할 수 있음 • 흑연의 경우, 발열에 적합한 시멘트계 복합체의 저항을 확보하기 위해 15% 이상의 혼입이 필요하며, 이러한 다량 혼입이 복합체의 급격한 역학적 성능의 저하를 유발함 • 기존의 전도성 필러를 혼입한 발열 복합체는 Negative temperature coefficient (NTC) effect에 의해 10배 이상의 저항 감소가 발생할 수 있고, 이로 인해 복합체에 열충격(thermal shock)을 유발할 수 있음 • 기존의 전도성 필러를 혼입한 발열복합체는 전도성 네트워크의 균질성이 확보되지 않아 내·외부의 수분에 의해 복합체의 저항이 급격하게 변화하는 현상이 나타남 • 전도성 필러를 혼입한 polymer 기반의 발열 복합체는 뛰어난 발열성능을 가지고 있으나, 배합과 양생에 고도의 기술이 필요하고 제조 공정이 복잡함. 또한, polymer 기반의 발열 복합체는 열팽창 계수가 시멘트계 재료와 상이하여 구조물의 일체성을 심각히 저하시킬 수 있음 • 다상(multiphase)의 탄소계 전도성 필러(탄소나노튜브, 흑연 나노판, 탄소섬유)를 혼용함으로서 수분 및 온도에 의한 복합체의 전기적 성능 변화를 최소화시키면서 발열 성능을 향상시킬 수 있음.
목표		• 압전에너지 하베스터를 이용한 저전력 낮은 폴 도로조명/ 노면결빙 방지 시스템 에너지 독립형 도로시설 개발
TRL 유형		• 시스템
TRL 단계		• 기술 성숙도 6 단계 목표
연구내용		• 30 W급 저전력 낮은 폴 도로조명 시스템을 위한 압전에너지 활용기술 개발 - 30W급 에너지 자립형 조명구동을 위한 압전 에너지 하베스터 연계 시스템 개발 - 압전하베스터 전력변환 출력 상태 및 전력 소비 상태, 배터리 충전상태 모니터링 기술과 제어기술 개발 - 기계적 안정성 및 내구성 확보 설계 • 30W급 저전력 노면결빙 방지 도로시스템을 위한 압전에너지 활용기술 개발 - 다상의 탄소계 전도성 필러(CNT, GNP, carbon fiber)를 이용한 위계적 3차원 전도성 네트워크 발열체 도로 모듈 제작 - 압전에너지 하베스터를 이용한 위계적 3차원 전도성 네트워크를 지닌 시멘트

	계 복합체의 발열성능 평가 - 발열 복합체를 이용한 도로 융설용 모듈 내구성능 평가 • 에너지 독립형 도로시설을 위한 압전에너지 활용기술 개발 - 도로변 졸음쉼터(14 kW급/day) 에너지 공급을 위한 압전에너지 활용기술 개발
최종 성과물	• 30 W급 저전력 낮은 폴 도로조명 연계 전원 공급 시스템 • 30 W급 저전력 노면결빙 방지 시스템 연계 전원 공급 시스템 • 압전에너지 하베스터를 이용한 저전력 낮은 폴 도로조명 시스템 시작품 • 압전에너지 하베스터를 이용한 저전력 노면결빙 방지 도로 시스템 시작품 • 발전 단계별 에너지 독립형 도로시설(졸음쉼터, 14 kW급/day) 시작품





<30 W급 저전력 낮은폴 도로조명 시스템> <30W 급 저전력 노면결빙 방지 시스템>

○ 3-3 세세부 : 에너지 자립형 스마트 도로시스템 효과검증 및 실증

과제명		3-3 세세부 – 에너지 자립형 스마트 도로시스템 효과검증 및 실증
연구개요		• 28 Ws/Vw급 압전에너지 하베스터 실증을 위한 총괄운영계획 수립, 성능평가 및 내구성 검증 테스트베드 구축 및 운영, 첨단 미래도로와 연계방안 도출
배경 및 필요성	정책적	• 최근 수년간 원자력 발전에 대한 불안 요소로 인해 원자력 발전 비중이 감소, 신·재생에너지 관련 정책 및 지원은 확대되고 있음 • 태양광이나 열을 이용하는 신재생에너지의 보급을 확대하여 왔으나, 높은 발전단가와 초기 설치비용, 소형화의 어려움 등으로 인해 경제성이 낮아 후퇴와 전진을 반복하고 있는 실정임 • 에너지 난 속 버려지는 에너지를 전기에너지로 변환하는 신기술이 대두됨에 따라 화석에너지 사용에 의한 환경파괴 및 지구 온난화 가속으로 기존의 에너지원을 대체할 수 있는 에너지원 필요.
	경제	• Pike Research의 최신 시장 조사 보고서에 따르면 에너지 하베스팅 시장 규모는 연평균 복합 성장률 (CAGR) 37.6%로 성장할 것으로 예측됨.

	적	• 또한, BCC research (2012)에 따르면 미국, 아시아, 유럽 (중동, 아프리카)의 에너지 하베스팅 시장은 연평균 복합 성장률 (CAGR) 40.8 %로 성장해 2017년엔 5배 이상으로 커질 것으로 예상하고 있음 • 에너지 하베스팅 시장은 2015년에 11조 원까지 성장할 것으로 예상되며, 압전 발전의 대용량화가 달성될 경우 어플리케이션 영역의 확대로 인해 2020년에는 50조 원에 육박할 것으로 예상됨. • 따라서 에너지 하베스터 분야의 기술개발, 현장 적용으로 새로운 시장 창출, 관련 기업 매출증대 등이 필요함
	기술적	• 최근 에너지 하베스터에 대한 기술이 많이 개발되고 있으나, 상용화를 위해서는 하베스터 출력, 모듈의 내환경성(방수, 방진, 내열, 내구성), 전기적 부하와의 적용성, 실제 차량 주행시의 포장 내구성 등에 대한 성능을 검증이 필요함 • 이를 위해서는 실내에서 포장 성능을 검증할 수 있는 테스트베드, 하베스터 시스템의 내환경성, 재하시험, 전기적 부하의 적용성 검증을 위한 실증 시험장, 실제 도로 사용자에 의한 현장 적용성 평가를 위한 시범단지의 구축이 필요함
목표		• 에너지 자립형 스마트 도로시스템 실증 테스트베드 운영을 통한 발전효과 및 성능 검증
TRL 유형		• 시스템
TRL 단계		• 기술 성숙도 7 단계 목표
연구내용		• 실증 테스트베드 구축을 위한 총괄 운영 플랜 수립 - 1 단계 테스트베드 구축 (2021) : 스마트 발광차선 (100 m) - 2 단계 테스트베드 구축 (2022) : 저전력 도로조명 (100 m) / 노면결빙방지도로(30m) - 3 단계 테스트베드 구축 (2023) : 에너지 자립형 졸음쉼터 (14 kW급/day) • 압전하베스터 성능 평가 및 내구성 검증 테스트베드 구축 - 저전력 스마트 발광차선 시범도로 시험시공 - 30W급 저전력 도로안전시설물 시험시공 - 에너지 자립형 졸음쉼터 시험시공 • 에너지 자립형 미래도로 구현을 위한 실증 테스트베드 운영 - 압전에너지 하베스터 내구성 및 압전도로 공용성 검증 • 압전에너지 하베스터 시스템 유지관리 기술 검증 - 압전에너지 하베스터 도로 유지관리 기술 검증 • 압전에너지 하베스터 발전량 추정모델 검증 및 모니터링 시스템 개발 - 압전에너지 하베스터 발전량 추정모델 검증 - 압전에너지 하베스터 모니터링 기술 개발 • 압전에너지 하베스터 적용기술 경제성 분석 모델 개발 - 압전에너지 적용기술 경제성 분석 • 압전에너지 하베스터 연계 미래적용 기술(안) 도출
최종		• 실증 테스트베드 총괄 및 운영계획 보고서 • 실증 테스트베드 설계도 및 테스트베드

성과물	• 실증 테스트베드 운영 보고서 • 압전에너지 하베스터 도로 유지관리 가이드라인 • 압전에너지 하베스터 발전량 추정 모델 및 모니터링 시스템 • 압전에너지 하베스터 도로 경제성 분석 보고서 • 압전에너지 하베스터 미래적용 분야 도출 보고서



<28 Ws/Vw급 압전도로 시범사업 실시>



<압전도로 성능평가/내구성 검증을 위한 시범도로 운영>

5절. 과제 간 연계관계

○ 1세부에서는 도로에서 발생되는 진동 및 충격에너지를 압전에너지 하베스터에 효과적으로 전달하기 위한 압전도로 시스템을 개발하는 것이 주 목적이며 이를 위해 진동에너지 직접전달 및 간접 전달 방식을 개발하고, 열악한 도로환경에서 내구성을 확보할 수 있도록 압전에너지 모듈 성능 및 공용성 평가 기술 개발로 구성되어 있음

○ 2세부에는 1세부에서 직·간접 에너지 전달방식으로 전달된 진동에너지를 압전체를 이용하여 전기에너지로 효과적으로 변환시키고, 이를 에너지 자립형 도로시설에 쓰일 수 있게 저장시키는 기술을 개발 함. 또한 도로운영환경을 고려한 압전하베스터 내구성을 물리적 화학적 측면에서 확보하는 기술을 개발 함

○ 3세부에서는 2세부에서 발생시킨 전기에너지를 발전 단계별로 효과적으로 사용하기 위한 활용기술을 개발하고, 테스트 베드를 구축한 후 이를 검증하여 실용화 기반을 확보하는 과업을 수행 함. 발전 1단계(1-5 W급)의 경우, 스마트 발광차선과 연계하며, 발전 2 단계(5-30 W급)의 경우, 30 W급 저전력 낮은 폴 도로조명 및 노면 결빙방지 도로시스템과 연계하고, 발전 3 단계(30-100W)의 경우, 중전력을 이용한 일반도로 조명시설 연계형 활용기술을 개발하며, 발전 4 단계(100W급 이상)의 경우, 에너지 자립형 도로안전 시설(졸음쉼터, 터널, 교량, 톨게이트, 휴게소 시설 등) 연계형 활용기술을 개발 함



<연구 목표달성을 위한 과제 간 연계 관계 >



<압전에너지 발전단계별 적용가능 도로전력 시설 >

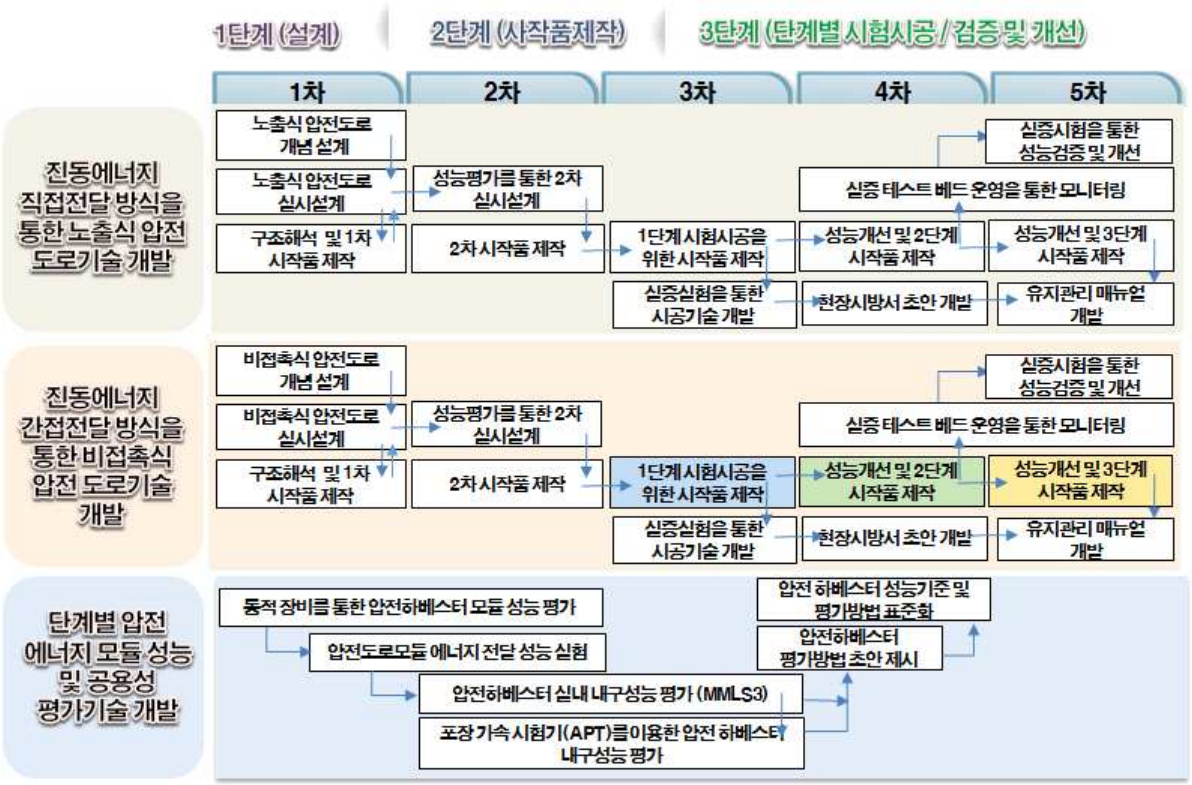
6절. 기술로드맵 및 성과로드맵

1. 기술로드맵

가. 총괄 기술 로드맵



나. 1세부 – 압전에너지 전달 효율 향상을 위한 도로시스템 개발



○ 1-1세세부 – 진동에너지 직접전달방식을 통한 노출식 압전도로기술 개발

연차	연구목표	연구내용
1차년도	• 진동에너지 직접전달 방식 개발을 위한 문헌조사 및 이론적 고찰 • 진동에너지 직접전달 방식을 통한 노출식 압전도로 개념도출 /실시설계/1차 시작품 제작	- 국내외 압전에너지 직접전달 방식 연구사례 검토 - 국내 교통량 및 환경조건을 고려한 진동 및 충격에너지 분석 - 도로등급, 차량속도 및 하중 등을 고려한 압전에너지 하베스터 설치 선정논리 개발 - 차량하중 및 도로환경에 따른 압전에너지 하베스터 필요 내구성능 정의
2차년도	• 진동에너지 직접전달 효율 최적화를 위한 노출식 압전도로 2차 실시설계 및 시작품 제작 • 노출식 압전도로 효과 최적화를 위한 구조해석 기술 개발	- 진동에너지 직접 전달 최적화를 위한 노출식 압전도로 시작품 제작 - 직접전달 효율 최적화를 위한 압전하베스터 크기, 형상, 패턴, 배치 최적화 기술 개발 - 유한요소해석을 통한 환경하중 저항형 압전도로 성능평가
3차년도	• 1단계 시험시공을 위한 시작품 제작 • 노출식 압전도로 현장 맞춤형 시공기술 개발	- 노출식 압전도로 현장 시공 최적화 기술 개발 - 1단계 시험시공을 위한 시작품 제작 - 진동에너지 직접전달 방식 실용화를 위한 현장 시험시공
4차년도	• 2단계 시험시공을 위한 시작품 제작 • 노출식 압전도로 실용화를 위한 시방서 개발	- 노출식 압전도로 2단계 실증시험을 위한 시작품 제작 - 실증테스트베드 운영을 통한 노출식 압전도로 모니터링 - 노출식 압전도로 현장 시공을 위한 시방서 개발
5차년도	• 3단계 시험시공을 위한 시작품 제작 • 노출식 압전도로 운영을 위한 유지관리 기술 개발	- 시험시공을 통한 성능 개선 및 노출식 압전도로 최종 시작품 완성 - 실증 시험을 통한 시방서(안) 개선 - 실증 시험을 통한 유지관리 방안 수립

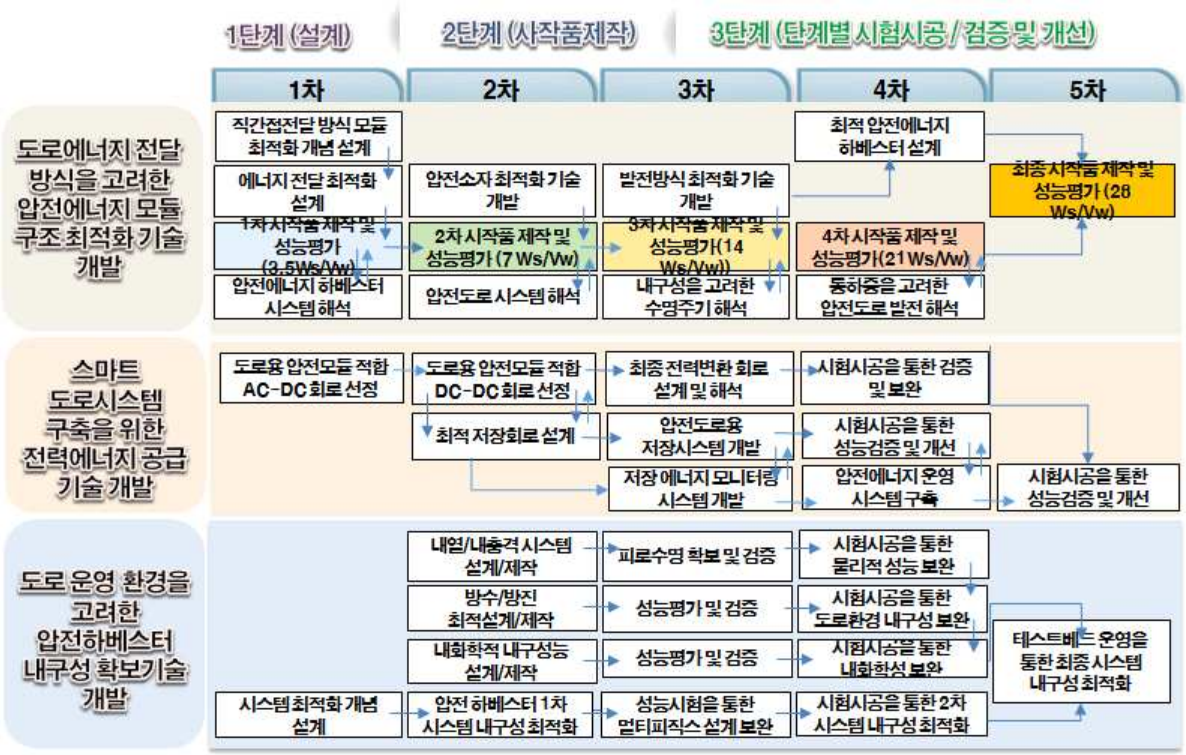
○ 1-2세세부 – 진동에너지 간접전달 방식을 통한 비접촉식 압전도로기술 개발

연차	연구목표	연구내용
1차년도	• 진동에너지 간접전달 방식 개발을 위한 문헌조사 및 이론적 고찰 • 진동에너지 간접전달 방식을 통한 비접촉식 압전도로 개념 도출/실시설계/1차 시작품 제작	- 국내외 압전에너지 간접전달 방식 연구사례 검토 - 국내 교통량 및 환경조건을 고려한 진동 및 충격에너지 분석 - 도로등급, 차량속도 및 하중 등을 고려한 압전에너지 하베스터 설치 선정논리 개발 - 차량하중 및 도로환경에 따른 압전에너지 하베스터 필요 내구성능 정의
2차년도	• 진동에너지 간접전달 효율 최적화를 위한 비접촉식 압전도로 2차 실시설계 및 시작품 제작 • 비접촉식 압전도로 효과 최적화를 위한 구조해석 기술 개발	- 진동에너지 간접 전달 최적화를 위한 비접촉식 압전도로 시작품 제작 - 간접전달 효율 최적화를 위한 압전하베스터 크기, 형상, 패턴, 배치 최적화 기술 개발 - 유한요소해석을 통한 환경하중 저항형 압전도로 성능평가
3차년도	• 1단계 시험시공을 위한 시작품 제작 • 비접촉식 압전도로 현장 맞춤형 시공기술 개발	- 비접촉식 압전도로 현장 시공 최적화 기술 개발 - 1단계 시험시공을 위한 시작품 제작 - 진동에너지 간접전달 방식 실용화를 위한 현장 시험시공
4차년도	• 2단계 시험시공을 위한 시작품 제작 • 비접촉식 압전도로 실용화를 위한 시방서 개발	- 비접촉식 압전도로 2단계 실증시험을 위한 시작품 제작 - 실증테스트베드 운영을 통한 비접촉식 압전도로 모니터링 - 비접촉식 압전도로 현장 시공을 위한 시방서 개발
5차년도	• 3단계 시험시공을 위한 시작품 제작 • 비접촉식 압전도로 운영을 위한 유지관리 기술 개발	- 시험시공을 통한 성능개선 및 비접촉식 압전도로 최종 시작품 완성 - 실증 시험을 통한 시방서(안) 개선 - 실증 시험을 통한 유지관리 방안 수립

○ 1-3세세부 – 단계별 압전에너지 모듈 성능 및 공용성 평가기술 개발

연차	연구목표	연구내용
1차년도	• 압전하베스터 모듈 발전 성능 실험	- 실내 동적 실험장비를 이용한 압전 하베스터 발전 성능 평가 - 국내 교통량 500만 ESAL 차량 축하중 대응 발전성능 평가
2차년도	• 압전도로모듈 에너지 전달 성능 평가 • 압전하베스터 실내 내구성능 실험	- 동적시험장비를 이용한 압전도로 모듈 에너지 전달 성능평가 - 국내 도로 환경조건을 고려한 내구성능 평가
3차년도	• 포장가속시험기(APT, Accelerating Pavement Tester)를 이용한 압전하베스터 내구성능 평가	- 진동에너지 전달방식에 따른 압전에너지 하베스터 발전 성능 평가 - 실제 공용성능 검증을 위한 환경하중 노출에 따른 내구성능 평가
4차년도	• 압전하베스터 현장적용을 위한 성능 기준 및 평가 방법 표준화	- 실내 동적 실험장비를 이용한 압전 하베스터 평가법 개발 - 도로환경 조건별 내구성능 평가법 개발 - 포장가속시험기를 이용한 압전도로 평가 프로세스 개발

다. 2세부 - 도로 적용을 위한 압전에너지 모듈 최적화 기술 개발



○ 2-1세세부 – 도로에너지 전달 방식을 고려한 압전에너지 모듈 구조 최적화 기술 개발

연차	연구목표	연구내용
1차년도	• 도로에너지의 전달 방식 별 압전에너지 모듈의 최적화 방안 도출 • 도로 환경을 고려한 도로용 압전에너지 모듈 설계 • 압전에너지 모듈 구조 해석 및 구조 설계 • 압전에너지 모듈 1단계 시작품 제작	- 도로에너지 간접 전달 기구학에 따른 압전에너지 최적화 방안 도출 - 도로에너지 직접 접촉식 전달 기구학에 따른 압전에너지 최적화 방안 도출 - 실 도로 환경의 특징을 분석 및 반영한 압전에너지 모듈 구조 최적화 개념 설계 - 유한요소법을 이용하여 압전에너지 모듈의 구조 안정성 해석 및 해석 결과를 바탕으로 한 구조 설계 - 1회 타격당 출력 발전량 3.5 Ws/Vw 급의 압전에너지 모듈 시작품 제작 - 1단계 시작품의 발전량 측정을 위하여 UTM 및 MMLS3 장비를 활용한 압전에너지 모듈의 실내 시험 실시
2차년도	• 실 도로 환경 기반 모듈 최적화를 위한 압전에너지 모듈의 설계 개선 • 통계적 기법을 이용한 하베스터의 통계 기반 최적 설계 • 압전에너지 모듈 2단계 시작품 제작	- 해석 및 실험 결과를 바탕으로 압전에너지 모듈 설계 보완 - 라틴방격법 등의 실험인자 임의 배치 실험계획법을 통한 하베스터 성능의 대체모델 구축 - 실험 통계량, 분산분석(ANOVA) 및 통계적 모델보정 기법을 이용하여 하베스터 해석모델의 정확성 향상 - 1회 타격당 출력 발전량 7 Ws/Vw 급의 압전에너지 모듈 시작품 제작 및 발전량 성능 시험 - 2단계 시작품의 발전량 측정을 위하여 UTM 및 MMLS3 장비를 활용한 압전에너지 모듈의 실내 시험 실시
3차년도	• 도로에너지 전달 방식을 적용한 압전에너지 모듈 최적설계 • 도로 시스템의 다물리 해석 구축 및 시스템 불확실성 정량화 • 압전에너지 모듈 3단계 시작품 제작	- 타격방식 별 압전소자에 인가되는 불규칙적 도로에너지 분석 - 각 타격방식 별 최적의 에너지를 압전에너지 모듈로 인가하도록 압전에너지 모듈 최적 설계 - 압전에너지 모듈 및 도로 포장체, 교통 특성 등을 고려한 전체 도로 시스템의 다물리 해석 구축 - 시스템에 존재하는 다양한 불확실성 인자들의 성능에 대한 영향력 판단을 위하여 반복적인 실험 수행 및 시스템

연차	연구목표	연구내용
		불확실성 정량화 수행 - 1회 타격당 출력 발전량 14 Ws/Vw 급의 압전에너지 모듈 시작품 제작 및 발전량 성능 시험 - 3차 시작품의 발전량 측정을 위하여 UTM 및 MMLS3 장비를 활용한 압전에너지 모듈의 실내 시험 실시
4차년도	• 에너지 자립형 스마트 도로에 적합한 압전에너지 모듈 최종 설계 • 도로 시스템 신뢰성 해석 및 신뢰성 기반 최적 설계 • 압전에너지 모듈 4단계 시작품 제작	- 정립한 설계 및 개선 안들을 종합하여 에너지 자립형 스마트 도로에 적합한 압전에너지 모듈의 최종 설계안 도출 - 실 도로 환경 및 시스템 불확실성을 고려한 전체 도로 시스템의 신뢰성 해석 및 신뢰성 기반 최적 설계 - 1회 타격당 출력 발전량 21Ws/Vw 급의 압전에너지 모듈 시작품 제작 및 발전량 성능 시험 - 4단계 시작품의 발전량 측정을 위하여 UTM 및 MMLS3 장비를 활용한 압전에너지 모듈의 실내 시험 실시
5차년도	• 압전에너지 모듈 5단계 시작품 제작	- 1회 타격당 출력 발전량 28 Ws/Vw 급의 압전에너지 모듈 시작품 제작 및 발전량 성능 시험 - 5단계 시작품의 발전량 측정을 위하여 UTM 및 MMLS3 장비를 활용한 압전에너지 모듈의 실내 및 현장 시험 실시

○ 2-2세세부 – 스마트 도로시스템 구축을 위한 전력에너지 공급 기술 개발

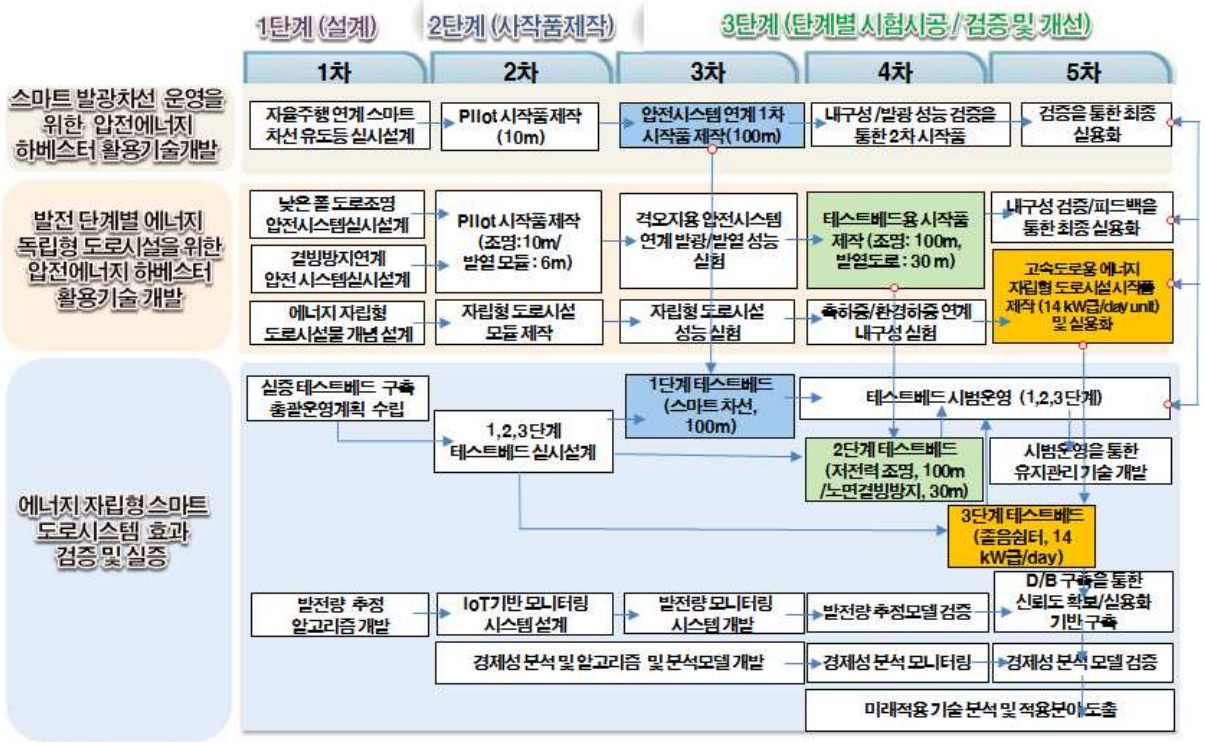
연차	연구목표	연구내용
1차년도	• AC-DC 회로 개발	- AC-DC 컨버터의 회로 방식을 저소음 콘크리트를 위한 골재 최대크기/입도/입형 실내실험 - 비용과 외형 치수, 변환 효율을 고려하여 도로용 압전 하베스터에 적합한 AC-DC 회로 선정 - 플라이백 방식 AC-DC 회로 검토 - 포워드 방식 AC-DC 회로 검토 - 푸시풀 방식 AC-DC 회로 검토 - 하프 브리지 방식 AC-DC 회로 검토 - 풀 브리지 방식 AC-DC 회로 검토

연차	연구목표	연구내용
2차년도	• DC-DC 회로 개발 • 도로 상황에 적합한 압전에너지 저장 기술 최적 설계	- AC-DC 컨버터와 연계하여 변환 효율을 우선적으로 고려한 DC-DC 컨버터 회로 선정 - 강압형 벅 컨버터 DC-DC 회로 검토 - 승압형 부스트 컨버터 DC-DC 회로 검토 - 강압-승압 벅 부스트 컨버터 DC-DC 회로 검토 - 축(cuk) 컨버터 DC-DC 회로 검토 - SEPIC 컨버터 DC-DC 회로 검토 - AC-DC 컨버터와 DC-DC 컨버터를 연계하여 실증 - PCB 기판을 사용한 압전에너지 저장 기술 개념 설립
3차년도	• 최종 전력변환 회로 설계 및 해석 • 압전에너지 저장 장치성능평가 • 압전에너지 저장상태 모니터링 및 운영 시스템 개발	- 선정된 AC-DC, DC-DC 컨버터를 이용하여 최종 전력변환 회로 설계 - 고효율 전력변환 회로 설계 및 구성 - 압전에너지 저장상태 모니터링 및 운영 시스템 개발
4차년도	• 전력변환 PCB 제작 • 압전에너지 저장 장치 성능개선 • 운영 시스템 테스트베드 실증	- 설계된 회로를 PCB를 통한 제작 및 검증 - 운영 시스템 테스트베드 실시를 통한 압전 에너지 모니터링 효과 정량화 - 현장 운영 시스템의 추적조사를 통하여 운영개선점 검증
5차년도	• 압전에너지 저장상태 모니터링 및 운영시스템의 성능개선	- 현장 기후 등의 사용 환경에 따른 설치된 압전 하베스터에 적합한 운영시스템 최적화 실시 - 현장 저장상태 모니터링을 통한 문제점 검토 및 보완 - 운영 기준 및 관련 개량안 제출 - 모니터링 운영 보고서 제출

○ 2-3세세부 – 도로 운영 환경을 고려한 압전하베스터 내구성 확보 기술 개발

연차	연구목표	연구내용
1차년도	• 운영환경을 고려한 시스템 최적화 정립	- 직접 전달방식 노출형 압전 하베스터 시스템에 최적화된 시스템 개념설계 - 간접 전달방식 비접촉식 압전 하베스터 시스템에 최적화된 시스템 개념설계
2차년도	• 도로용 압전하베스터의 내충격 설계/제작 • 도로용 압전하베스터의 방수 설계/제작 • 도로용 압전하베스터의 내화학 설계/제작 • 압전 하베스터 1차 최적화	- 실제 도로 환경을 가정한 도로용 압전하베스터의 내충격성 확보를 위한 기술 개발 - 실제 도로 환경을 가정한 도로용 압전하베스터의 방수성 확보를 위한 기술 개발 - 실제 도로 환경을 가정한 도로용 압전하베스터의 내화학성 확보를 위한 기술 개발 - 도로에너지 전달방식별 도로용 압전하베스터의 최적화 방안 도출
3차년도	• 도로용 압전하베스터의 피로 수명 확보 및 검증 • 도로용 압전하베스터의 방진 성능 평가 및 검증 • 도로용 압전하베스터의 내화학 성능 평가 및 검증 • 압전 하베스터 멀티피직스 설계	- 실제 도로 환경을 가정한 도로용 압전하베스터의 피로 내구성 확보를 위한 기술 개발 - 실제 도로 환경을 가정한 도로용 압전하베스터의 방진 특성 확보를 위한 기술 개발 - 실제 도로 환경을 가정한 도로용 압전하베스터의 내화학성 확보를 위한 기술 개발 - 멀티피직스 시뮬레이션을 통한 압전하베스터의 최적화 설계
4차년도	• 시험시공을 통한 내구성능 보완 • 압전 하베스터 2차 최적화	- 압전하베스터 방수 및 방진 내구성능 보완 - 압전하베스터 내열 및 내화학 성능 보완 - 시험시공을 통한 도로환경 내구성능 보완 - 압전하베스터 2차 최적화
5차년도	• 테스트베드 운영을 통한 최종 시스템 내구성 최적화	- 테스트 베드 운영을 통한 도로환경 내구성 모니터링 및 피드백을 통한 최종 시스템 내구성 최적화

라. 3세부 - 도로 압전에너지 활용기술 개발 및 실증



○ 3-1세세부 – 스마트 발광차선 운영을 위한 압전에너지 하베스터 활용기술개발

연차	연구목표	연구내용
1차년도	• 자율주행 연계 스마트 발광차선 압전 시스템 최적 실시설계	- 스마트 차선유도등 자율주행 연계 최적 설치 논리 개발 - 자율주행 연계 능동형 발광차선 최적 설계
2차년도	• 발광차선 압전 시스템 시작품 제작 (10 m)	- 스마트 발광차선 연계 2 Watt급 분산 독립전원 공급체계 구축 - 스마트 차선 유도등 압전시스템 시작품 제작 (10m) - 도로 노면 연계 2 Watt급 분산독립전원 공급체계 구축
3차년도	• 압전 시스템 연계 테스트베드용 1차 시작품 제작 (100 m)	- 스마트 발광차선유도등 발광성능 실험 - 압전 시스템 연계 테스트베드용 1차 시작품 제작 (100 m)
4차년도	• 내구성 및 발광성능 검증을 통한 성능 개선	- 시험시공을 통한 능동형 발광차선 내구성 검증 및 성능개선
5차년도	• 시험시공 피드백을 통한 성능 검증 및 최종 실용화	- 시험시공 모니터링을 통한 스마트 발광차선 성능 검증 - 피드백을 통한 자율주행 연계 스마트 발광차선 최종 실용화

○ 3-2세세부 - 발전 단계별 에너지 독립형 도로시설을 위한 압전에너지 하베스터 활용기술 개발

연차	연구목표	연구내용
1차년도	• 30W 급 저전력 낮은 폴 도로조명 및 노면결빙 방지 도로 압전 시스템 최적 설계 • 에너지 자립형 도로시설을 위한 압전 시스템 개념 설계	- 30W 급 저전력 낮은 폴 도로조명 압전 시스템 최적설계 - 30W 급 저전력 낮은 폴 도로조명 압전 시스템 기계적 안정성 및 내구성 확보 설계

연차	연구목표	연구내용
		- 30 W 급 저전력 노면결빙 방지 도로 압전 시스템 최적설계 - 에너지 자립형 도로시설을 위한 압전 시스템 개념 설계
2차년도	• 30W 급 저전력 낮은 폴 도로조명 압전 시스템 시제품 제작 (10 m) • 30 W 급 저전력 노면결빙 방지 도로 압전 시스템 발열체 모듈 제작 (6m) • 에너지 자립형 도로시설을 위한 압전 시스템 모듈 제작	- 30W급 에너지 자립형 조명구동을 위한 압전 에너지 하베스터 연계 시스템 개발 - 30W 급 저전력 낮은 폴 도로조명 압전 시스템 시작품 제작(10m) - 다상의 탄소계 전도성 필러(CNT, GNP, carbon fiber)를 이용한 위계적 3차원 전도성 네트워크 발열체 도로 재료 개발 - 30 W 급 저전력 노면결빙 방지 도로 압전 시스템 발열체 모듈 제작 (6m) - 에너지 자립형 도로시설(졸음쉼터, 톨게이트 등)을 위한 압전 시스템 최적 설계 및 모듈 제작
3차년도	• 30W 급 저전력 낮은 폴 도로조명 압전 시스템 성능실험 • 30 W 급 저전력 노면결빙 방지 도로 압전 시스템 발열 성능 실험 • 에너지 자립형 도로시설 성능 실험	- 30W 급 저전력 낮은 폴 도로조명 압전 시스템 성능실험 - 30W 급 저전력 노면결빙 방지 도로 압전 시스템 하중/환경하중 연계 성능 실험 - 발전단계별 에너지 자립형 도로시설 성능 실험
4차년도	• 30W 급 저전력 낮은 폴 도로조명 압전 시스템 시제품 제작 (100 m) • 30 W 급 저전력 노면결빙 방지 도로 압전 시스템 시제품 제작 (30 m) • 에너지 자립형 도로시설 내구성능 실험	- 시험시공을 위한 30W 급 저전력 낮은 폴 도로조명 시작품 제작 - 30W 급 저전력 노면결빙 방지 도로 압전 시스템 시작품 제작 - 축하중/환경하중 연계 에너지 자립형 도로시설 내구성능 실험
5차년도	• 30W 급 저전력 낮은 폴 도로조명/노면결빙 내구성 검증 • 에너지 자립형 도로시설 시작품 제작 (14 kW급/day)	- 30W 급 저전력 낮은 폴 도로조명 압전 시스템 모니터링을 통한 성능 개선 - 30 W 급 저전력 노면결빙 방지 도로 압전 시스템 모니터링을 통한 성능 개선 -에너지 자립형 도로시설 시험시공 (14 kW급/day)

○ 3-3세세부 - 에너지 자립형 스마트 도로시스템 효과 검증 및 실증

연차	연구목표	연구내용
1차년도	• 실증 테스트베드 총괄 운영계획 수립 및 발전량 추정 알고리즘 개발	- 실증 테스트베드 총괄운영계획 수립 - 압전 에너지 하베스터 발전량 추정 알고리즘 개발 - 실증 테스트 베드 최적부지선정
2차년도	• 1,2,3단계 테스트베드 실시설계 • IoT 기반 모니터링 시스템 설계 및 경제성 분석 알고리즘 개발	- 실증 테스트베드 실시 설계 - 발전량 추정을 위한 IoT기반 모니터링 시스템 설계 - 압전에너지 하베스터 경제성 분석 알고리즘 개발
3차년도	• 1단계 테스트베드 (스마트 발광차선, 100 m) 구축 • 발전량 추정 모니터링 시스템 개발, 경제성 분석 모델 개발	- 1단계 테스트 베드 구축 (스마트 발광차선, 100m) - 압전에너지 하베스터 발전량 추정 모델 및 모니터링 시스템 개발 - 압전에너지 하베스터 경제성 분석 모델 개발
4차년도	• 2단계 테스트베드 (저전력 노면조명(100m)/노면결빙방지(30m)) 구축 • 1단계 테스트베드 시범운영 • 압전에너지 미래적용기술 분석	- 2단계 실증 테스트 베드 (저전력 노면조명(100m)/노면결빙방지(30m)) 구축 - 1단계 테스트베드 시범운영 - 1단계 테스트베드 유지관리 기술 개발 - 압전에너지 하베스터 발전량 추정 모델 검증 및 경제성 분석 모니터링 - 압전에너지 미래적용기술 분석
5차년도	• 3단계 테스트베드 구축 (졸음쉼터, 14 kW급/day) • 1,2 단계 테스트베드 시범운영 • 테스트베드 유지관리 기술 개발 • 경제성 분석 모델 검증	- 3단계 테스트베드 구축 (졸음쉼터, 14 kW급/day) - 2,3 단계 테스트베드 시범운영 - 실증시험을 통한 압전에너지 하베스터 발전량 D/B 구축 - 2,3 단계 테터스베드 유지관리 기술 개발 - 압전에너지 하베스터 경제성 분석 모델 검증 - 압전에너지 하베스터 미래연계기술 분야 도출

2. 성과로드맵

가. 1세부 – 압전에너지 전달효율 향상을 위한 도로시스템 개발

○ 1-1세세부 – 진동에너지 직접전달 방식을 통한 노출식 압전도로 기술 개발

연도	성과목표	세세부 산출물	성과검증 기준				
			성과지표		목표치	측정방법	검증방법
1차 년도	진동에너지 직접전달 방식을 통한 노출식 압전도로 시작품 제작	노출식 압전도로 개념 설정 보고서	①	포장 표면 노출형 압전 도로 개념	1건	노출식 압전도로 개념 실현가능 여부	특허 출원 및 보고서
		노출식 압전도로 실시설계	②	프로토 타입 설계	1건	작성건수	설계도
		노출식 압전도로 1차 시작품	③	노출식 압전도로 1차 모듈	1건	시작품 구축여부	시작품
2차 년도	진동에너지 직접전달 효율 최적화를 위한 노출식 2차 시작품	노출식 압전도로 2차 시작품	①	노출식 압전도로 2차 모듈	1건	시작품 구축여부	시작품
	압전도로 효과 최적화를 위한 구조해석기술 개발	노출식 압전도로 구조해석 보고서	②	노출식 압전도로 구조해석	1건	구조해석 여부	해석 보고서
3차 년도	1단계 시험시공을 위한 시작품	1단계 시험시공을 위한 노출식 압전도로 시작품	①	노출식 압전 도로 모듈	1건	시작품 구축 여부	특허 등록 및 시작품
		노출식 압전도로 시공기술서	②	시공 지침	1건	작성 건수	시공 기술서
4차 년도	노출식 압전도로 실용화를 위한 시방서 개발	노출식 압전도로 현장 시공 시방서	①	시공 지침	1건	작성 건수	시방서
5차 년도	노출식 압전도로 운영을 위한 유지관리 기술 개발	실증시험을 통한 성능 개선 및 유지관리 매뉴얼	①	유지관리 지침	1건	작성 건수	유지관리 매뉴얼

구분	목표		1-1세세부					
			1차 년도	2차 년도	3차 년도	4차 년도	5차 년도	합계
사업 연계 지표	특허출원/등록		1/0		0/1			1/1
	소프트웨어 등록건수							
	시제품 출시(제작)·현장시험 건수		1	1	1	1	1	5
	학술성과 (논문게재)	SCI(E)급			1	1	1	3
		비SCI(E)급						
기타 지표	정책성과	정책제안					1	1
		정책채택						
	신기술지정 건수							
	국내외 학술회의 발표 건수			1	1	1	1	4
	기술료 징수금액							
	기술실시계약 건수							
	현장적용에 따른 비용절감 건수							
	사업화·제품화 건수						1	1
	국내학협회지 기술기사				1	1	1	3
	자문회의 개최			1	1	1	1	4
	전문인력양성							
	연구개발 관련 홍보				1	1	1	3
	기타 목표							

○ 1-2세세부 – 진동에너지 간접전달 방식을 통한 비접촉식 압전도로 기술 개발

연도	성과목표	세세부 산출물	성과검증 기준				
			성과지표		목표치	측정방법	검증방법
1차 년도	진동에너지 간접전달 방식을 통한 비접촉식 압전도로 시작품 제작	비접촉식 압전도로 개념 설정 보고서	①	비접촉식 압전도로 개념	1건	비접촉식 압전도로 개념 실현가능 여부	특허 출원 및 보고서
		비접촉식 압전도로 실시설계	②	프로토 타입 설계	1건	작성건수	설계도
		비접촉식 압전도로 1차 시작품	③	비접촉식 압전도로 1차 모듈	1건	시작품 구축여부	시작품
2차 년도	진동에너지 간접전달 효율 최적화를 위한 비접촉식 압전도로 2차 시작품	비접촉식 압전도로 2차 시작품	①	비접촉식 압전도로 2차 모듈	1건	시작품 구축여부	시작품
	비접촉식 압전도로 효과 최적화를 위한 구조해석기술 개발	비접촉식 압전도로 구조해석 보고서	②	비접촉식 압전도로 구조해석	1건	구조해석 여부	해석 보고서
3차 년도	1단계 시험시공을 위한 시작품	1단계 시험시공을 위한 비접촉식 압전도로 시작품	①	비접촉식 압전 도로 모듈	1건	시작품 구축 여부	특허 등록 및 시작품
		비접촉식 압전도로 시공기술서	②	시공 지침	1건	작성 건수	시공 기술서
4차 년도	비접촉식 압전도로 실용화를 위한 시방서 개발	비접촉식 압전도로 현장 시공 시방서	①	시공 지침	1건	작성 건수	시방서
5차 년도	비접촉식 압전도로 운영을 위한 유지관리 기술 개발	실증시험을 통한 성능 개선 및 유지관리 매뉴얼	①	유지관리 지침	1건	작성 건수	유지관리 매뉴얼

구분	목표		1-2세세부					
			1차 년도	2차 년도	3차 년도	4차 년도	5차 년도	합계
사업 연계 지표	특허출원/등록		1/0		0/1			1/1
	소프트웨어 등록건수							
	시제품 출시(제작)·현장시험 건수		1	1	1	1	1	5
	학술성과 (논문게재)	SCI(E)급			1	1	1	3
		비SCI(E)급						
기타 지표	정책성과	정책제안						
		정책채택						
	신기술지정 건수							
	국내외 학술회의 발표 건수			1	1	1	1	4
	기술료 징수금액							
	기술실시계약 건수							
	현장적용에 따른 비용절감 건수							
	사업화·제품화 건수						1	1
	국내학협회지 기술기사				1	1	1	3
	자문회의 개최			1	1	1	1	4
	전문인력양성							
	연구개발 관련 홍보				1	1	1	3
	기타 목표							

○ 1-3세세부 – 단계별 압전에너지 모듈 성능 및 공용성 평가기술 개발

연도	성과목표	세세부 산출물	성과검증 기준				
			성과지표		목표치	측정방법	검증방법
1차 년도	압전하베스터 모듈 발전 성능 실험	압전하베스터 모듈 발전성능 보고서	①	압전 발전 모듈 성능 평가	2건	압전하베스터 모듈 발전 성능	공인시험 성적서
2차 년도	압전도로모듈 에너지 전달 성능 평가	압전도로모듈 에너지 전달성능 보고서	①	직접/간접 압전도로 모듈 성능평가	2건	압전에너지 전달 효율	실험 보고서
	압전하베스터 실내 내구성능 실험	압전하베스터 실내 내구성능 보고서	②	실내 내구성능 평가	1건	압전하베스터 모듈 내구성능	실험 보고서
3차 년도	포장가속시험기(APT)를 이용한 압전하베스터 내구성능 평가	포장가속시험기를 이용한 압전하베스터 내구성능 보고서	①	실외 내구성능 평가	2건	포장가속시험기를 통한 내구성능	실험 보고서
4차 년도	압전하베스터 현장적용을 위한 성능 기준 및 평가 방법 표준화	압전하베스터 성능평가 기준(안)	①	성능평가 기준	1건	기준 제시 여부	기준

구분	목표		1-2세세부					
			1차 년도	2차 년도	3차 년도	4차 년도	5차 년도	합계
사업 연계 지표	특허출원/등록							
	소프트웨어 등록건수							
	시제품 출시(제작)·현장시험 건수							
	학술성과 (논문게재)	SCI(E)급			1	1		2
		비SCI(E)급						
기타 지표	정책성과	정책제안				1		1
		정책채택						
	신기술지정 건수							
	국내외 학술회의 발표 건수			1	1	1		3
	기술료 징수금액							
	기술실시계약 건수							
	현장적용에 따른 비용절감 건수							
	사업화·제품화 건수							
	국내학협회지 기술기사				1	1		2
	자문회의 개최			1	1	1		3
	전문인력양성					1		1
	연구개발 관련 홍보							
	기타 목표							

나. 2세부 – 도로 적용을 위한 압전에너지 모듈 최적화 기술 개발

○ 2-1세세부 – 도로에너지 전달 방식을 고려한 압전에너지 모듈 구조 최적화 기술 개발

연도	성과목표	세세부 산출물 (성능목표)	성과검증 기준				
			성과지표		목표치	측정방법	검증방법
1차 년도	도로에너지 전달 방식별 압전에너지 모듈 최적화 방안 도출	모듈 최적화 방안 정립	①	방안	1건	최적화 방안 제시 여부	보고서
	하베스터 구조 해석 및 구조 설계	압전에너지 모듈 구조 안정성 해석	②	구조해석	1건	구조해석 여부	보고서
	압전에너지 모듈 1단계 시작품 제작	압전에너지 모듈	③	모듈	3.5 Ws/Vw 급 1건	장비를 이용한 실내 실험	시작품
2차 년도	해석 및 실험 기반 압전에너지 모듈 보완	개선된 압전에너지 모듈 설계도	①	설계	1건	설계도 제시 여부	설계도
	하베스터의 통계 기반 최적 설계	하베스터 대체모델	②	구조해석	1건	구조해석 여부	보고서
	압전에너지 모듈 2단계 시작품 제작	압전에너지 모듈	③	모듈	7 Ws/Vw 급 1건	장비를 이용한 실내 실험	시작품
3차 년도	불규칙 도로에너지 전달 방식 적용 모듈 보완	타격방식 별 모듈 설계도	①	설계	1건	설계도 제시 여부	설계도
	도로 포장을 고려한 전체 시스템 해석	도로 시스템의 다물리 해석 구축	②	방안	1건	방안 제시 여부	보고서
	압전에너지 모듈 3단계 시작품 제작	압전에너지 모듈	③	모듈	14 Ws/Vw 급 1건	장비를 이용한 실내 실험	시작품

연도	성과목표	세세부 산출물 (성능목표)	성과검증 기준				
			성과지표		목표치	측정방법	검증방법
4차 년도	압전에너지 모듈 최종 설계	모듈 최종 설계도	①	설계	1건	설계도 제시 여부	설계도
	도로 시스템 신뢰성 기반 최적 설계	도로 시스템의 최적설계도	②	구조해석	1건	구조해석 여부	보고서
	압전에너지 모듈 4단계 시작품 제작	압전에너지 모듈	③	모듈	21 Ws/Vw 급 1건	장비를 이용한 실내 실험	시작품
5차 년도	압전에너지 모듈 5단계 시작품 제작	압전에너지 모듈	①	모듈	28 Ws/Vw 급 1건	실 사용 현장 실험	시작품

구분	목표		2-1세세부					
			1차 년도	2차 년도	3차 년도	4차 년도	5차 년도	합계
사업 연계 지표	특허출원/등록		1/0	1/0	1/2	1/1	0/1	4/4
	소프트웨어 등록건수							
	시제품 출시(제작)·현장시험 건수		1	1	1	1	1	5
	학술성과 (논문게재)	SCI(E)급		2	2	2	2	8
		비SCI(E)급						
기타 지표	정책성과	정책제안						
		정책채택						
	신기술지정 건수							
	국내외 학술회의 발표 건수		2	2	2	2	2	10
	기술료 징수금액							
	기술실시계약 건수							
	현장적용에 따른 비용절감 건수							
	사업화·제품화 건수							
	국내학협회지 기술기사							
	자문회의 개최							
	전문인력양성							
	연구개발 관련 홍보							
	기타 목표							

○ 2-2세세부 – 스마트 도로시스템 구축을 위한 전력에너지 공급 기술 개발

연도	성과목표	세세부 산출물 (성능목표)	성과검증 기준				
			성과지표		목표치	측정방법	검증방법
1차 년도	AC-DC 회로 개발	도로에너지 압전 하베스터 전력변환용 AC-DC회로 개발	①	개발 방안 정립	고효율	문헌조사 전문가 자문	실험보고서
2차 년도	DC-DC 회로 개발	도로에너지 압전 하베스터 전력변환용 DC-DC회로 개발	①	개발 방안 선정	성능 향상	문헌조사 전문가 자문	보고서
	압전에너지 저장 회로 설계	도로 상황에 적합한 압전에너지 저장 회로 설계(안)	②	설계안	1건	문헌조사 전문가 자문	보고서
3차 년도	최종 회로 설계, 해석	최적화기준(안)	①	최적화기준	1건	전문가 자문	관련자료
	압전에너지 저장회로 성능실험	성능실험 결과	②	논문	1건	논문	관련자료
	압전에너지 저장상태 모니터링 및 운영시스템 개발	설계(안)	③	설계안	1건	문헌조사 전문가 자문	보고서
4차 년도	전력변환 회로 PCB 제작	PCB 제작	①	현장적용여부	1건	적용여부	시험시공 유무
	압전에너지 저장회로 성능개선	성능 개선 측정	②	논문	1건	논문	관련자료
	운영 시스템 테스트베드 실증	성능 측정 결과	③	성능 측정 결과	1건	실험 결과	실험보고서
5차 년도	압전에너지 저장상태 모니터링시스템 성능개선	성능 개선(안) 도출	①	성능 개선안	1건	전문가 자문	보고서

구분	목표		2-2세세부					
			1차 년도	2차 년도	3차 년도	4차 년도	5차 년도	합계
사업 연계 지표	특허출원/등록		1/0	1/0	1/1	1/0	0/1	4/2
	소프트웨어 등록건수							
	시제품 출시(제작)·현장시험 건수							
	학술성과 (논문게재)	SCI(E)급			2	2	2	6
		비SCI(E)급						
기타 지표	정책성과	정책제안						
		정책채택						
	신기술지정 건수							
	국내외 학술회의 발표 건수							
	기술료 징수금액							
	기술실시계약 건수							
	현장적용에 따른 비용절감 건수							
	사업화·제품화 건수							
	국내학협회지 기술기사							
	자문회의 개최							
	전문인력양성							
	연구개발 관련 홍보							
	기타 목표							

○ 2-3세세부 – 도로 운영 환경을 고려한 압전하베스터 내구성 확보 기술 개발

연도	성과목표	세세부 산출물 (성능목표)	성과검증 기준				
			성과지표		목표치	측정방법	검증방법
1차 년도	도로환경 맞춤형 시스템 최적화 기반 구축	도로시스템 최적화 정립	①	방안	1건	최적화 방안 제시 여부	보고서
2차 년도	하베스터의 내충격 설계를 통한 물리내구성 확보	내충격성 검증 실험	①	검증시험	10년 내구성	실내 실험	실험보고서
	하베스터의 방수 설계를 통한 내환경하중 확보	방수성 검증 실험	②	검증시험	10년 내구성	실내 실험	공인시험성적서
	하베스터의 내열 설계를 통한 내구성 확보	내열성 검증 실험	③	검증시험	10년 내구성	실내 실험	공인시험성적서
3차 년도	하베스터의 내피로 설계를 통한 내구성 확보	내피로성 검증 실험	①	검증시험	10년 내구성	실내 실험	실험보고서
	하베스터의 방진 설계를 통한 내환경하중 확보	방진성 검증 실험	②	검증시험	10년 내구성	실내 실험	공인시험성적서
	하베스터의 내화학 설계를 통한 내구성 확보	내화학 검증 실험	③	검증시험	10년 내구성	실내 실험	공인시험성적서
4차 년도	시험시공을 통한 내구성능 보완	내구성능 검증실험	①	검증실험	1건	현장실험	실험보고서
5차 년도	각 분야별 내구설계안 종합을 통한 최종 도로시스템 최적화	전체 도로시스템의 최적설계	①	설계	1건	설계도서 제시여부	설계도

구분	목표		2-3세세부					
			1차 년도	2차 년도	3차 년도	4차 년도	5차 년도	합계
사업 연계 지표	특허출원/등록					1/0	0/1	1/1
	소프트웨어 등록건수							
	시제품 출시(제작)·현장시험 건수					1	1	2
	학술성과 (논문게재)	SCI(E)급				1	1	2
		비SCI(E)급	1	1	1			3
기타 지표	정책성과	정책제안						
		정책채택						
	신기술지정 건수							
	국내외 학술회의 발표 건수		1	1	1	1	1	5
	기술료 징수금액							
	기술실시계약 건수							
	현장적용에 따른 비용절감 건수							
	사업화·제품화 건수							
	국내학협회지 기술기사							
	자문회의 개최							
	전문인력양성							
	연구개발 관련 홍보							
	기타 목표							

다. 3세부 - 도로 압전에너지 활용기술 개발 및 실증

○ 3-1세세부 – 스마트 발광차선 운영을 위한 압전에너지 하베스터 활용기술개발

연도	성과목표	세세부 산출물 (성능목표)	성과검증 기준				
			성과지표		목표치	측정방법	검증방법
1차 년도	자율주행 연계 발광차선 압전 시스템 최적 설계	자율주행 연계 능동형 발광차선 최적 설치 방안	①	설치 방안	1건	보고서 제시여부	보고서
		스마트 차선유도등 연계 압전시스템 최적 설계	②	최적 설계	1건	설계도 제시여부	설계도
2차 년도	발광차선 압전 시작품 제작 (10m)	스마트 발광차선 연계 2W급 압전시스템 시작품	①	분산독립 전원 시스템	2W급	장비를 이용한 실내실험	시작품
3차 년도	압전시스템 연계 테스트베드용 1차 시작품 제작 (100m)	스마트 발광차선 1차 시작품	①	실증용 시작품	100 m	시작품 구축여부	시작품
4차 년도	내구성 및 발광성능 검증을 통한 성능 개선	압전연계형 스마트 저전력 도로시설 내구성 및 성능 보고서	①	실외 내구성 및 발광 성능 평가	2건	테스트베드 운영을 통한 성능평가	실험 보고서
5차 년도	시험시공을 통한 시스템 최적화	발광차선 모니터링 및 피드백을 통한 최적화 방안	①	시스템 최적화	1건	설계도 제시여부	최적 설계도

구분	목표		1-1세세부					
			1차 년도	2차 년도	3차 년도	4차 년도	5차 년도	합계
사업 연계 지표	특허출원/등록							
	소프트웨어 등록건수							
	시제품 출시(제작)·현장시험 건수		1	1	1			3
	학술성과 (논문게재)	SCI(E)급				1	1	2
		비SCI(E)급						
기타 지표	정책성과	정책제안					1	1
		정책채택						
	신기술지정 건수							
	국내외 학술회의 발표 건수			1	1	1	1	4
	기술료 징수금액							
	기술실시계약 건수							
	현장적용에 따른 비용절감 건수							
	사업화·제품화 건수						2	2
	국내학협회지 기술기사						1	1
	자문회의 개최			1	1	1	1	4
	전문인력양성							
	연구개발 관련 홍보				1	1	1	3
	기타 목표							

○ 3-2세세부 - 발전 단계별 에너지 독립형 도로시설을 위한 압전에너지 하베스터 활용기술 개발

연도	성과목표	세세부 산출물 (성능목표)	성과검증 기준				
			성과지표		목표치	측정방법	검증방법
1차 년도	단계별 에너지 독립형 도로시설을 위한 압전시스템 개념 및 실시 설계	30W급 저전력 도로시설물 실시 설계	①	실시 설계	2건	설계도 제시여부	설계도
		단계별 에너지 독립형 도로시설물 개념 설계	②	개념설계	1건	개념 실현가능 여부	특허출원 및 보고서
2차 년도	30W급 저전력 도로시설물 시작품 제작	30W급 낮은 폴 조명 시작품(10m)	①	분산독립 전원 시스템	30 W급	시작품 구축여부	시작품
		30W급 노면결빙 방지 시스템 시작품(6m)	②	분산독립 전원시스템	30 W급	시작품 구축여부	시작품
	에너지 자립형 도로시설을 위한 모듈 제작	에너지 자립형 도로시설을 위한 단위모듈 제작	③	단위모듈	1건	시작품 구축여부	시작품
3차 년도	단계별 에너지 독립형 도로시설 성능 실험	단계별 에너지 자립형도로시설 성능 실험	①	성능실험	3건	성능실험	실험 보고서
4차 년도	2단계 테스트베드용 시작품 제작	단계별 에너지 자립형 도로시설 내구성 실험	①	시작품	2건	시작품 구축여부	시작품
5차 년도	3단계 테스트베드용 시작품 제작	단계별 에너지 자립형 도로시설 시험시공	①	시작품	1건	시작품 구축여부	시작품

구분	목표		1-1세세부					
			1차 년도	2차 년도	3차 년도	4차 년도	5차 년도	합계
사업 연계 지표	특허출원/등록		1/0		0/1			1/1
	소프트웨어 등록건수							
	시제품 출시(제작)·현장시험 건수			3		2	1	6
	학술성과 (논문게재)	SCI(E)급				1	1	2
		비SCI(E)급						
기타 지표	정책성과	정책제안						
		정책채택						
	신기술지정 건수							
	국내외 학술회의 발표 건수			1	1	1	1	4
	기술료 징수금액							
	기술실시계약 건수							
	현장적용에 따른 비용절감 건수							
	사업화·제품화 건수						3	3
	국내학협회지 기술기사						1	1
	자문회의 개최		1	1	1	1	1	5
	전문인력양성							
	연구개발 관련 홍보				1	1	1	3
	기타 목표							

○ 3-3 세세부 - 에너지 자립형 스마트 도로시스템 효과 검증 및 실증

연도	성과목표	세세부 산출물 (성능목표)	성과검증 기준				
			성과지표		목표치	측정방법	검증방법
1차 년도	실증 테스트베드 총괄 운영계획 수립	실증 테스트베드 총괄 운영계획 보고서	①	운영계획	1건	보고서 제시여부	보고서
2차 년도	압전하베스터 성능 평가 및 내구성 검증 테스드베드 실시설계	1,2,3 단계 테스트베드 실시설계	①	종합 설계도	1건	설계도 제시 여부	설계도
3차 년도	1단계 테스트베드 구축	1단계 테스트베드 (스마트 발광차선, 100 m) 구축	②	스마트 발광차선 테스트 베드	1건	테스트 베드 구축 여부	테스트 베드
4차 년도	2단계 테스트베드 구축	1 단계 테스트베드 시범운영	①	시범운영 여부	1건	보고서 제시여부	시범운영 보고서
		2단계 테스트베드 (저전력 노면조명(100 m)/노면결빙 방지(30m)) 구축	②	저전력 노면조명/ 노면결빙 방지 테스트 베드	2건	테스트 베드 구축 여부	테스트 베드
		경제성 분석 모델	③	경제성 분석 모델	1건	제시 유무	소프트웨어 등록
5차 년도	3단계 테스트베드 구축	1,2 단계 테스트베드 시범운영	①	시범운영 여부	1건	보고서 제시여부	시범운영 보고서
		3단계 테스트베드 구축 (졸음쉼터, 14 kW급/day)	②	졸음쉼터 테스트 베드	1건	테스트 베드 구축 여부	테스트 베드
		압전에너지 도로 미래적용 기술(안) 도출	③	미래적용 분야 도출	1건	보고서 제시 유무	보고서

구분	목표		1-1세세부					
			1차 년도	2차 년도	3차 년도	4차 년도	5차 년도	합계
사업 연계 지표	특허출원/등록							
	소프트웨어 등록건수							
	시제품 출시(제작)·현장시험 건수				1	1	1	3
	학술성과 (논문게재)	SCI(E)급				1	1	2
		비SCI(E)급						
기타 지표	정책성과	정책제안						
		정책채택						
	신기술지정 건수							
	국내외 학술회의 발표 건수			1	1	1	1	4
	기술료 징수금액							
	기술실시계약 건수							
	현장적용에 따른 비용절감 건수							
	사업화·제품화 건수							
	국내학협회지 기술기사						1	1
	자문회의 개최		1	1	1	1	1	5
	전문인력양성							
	연구개발 관련 홍보				1	1	1	3
	기타 목표							

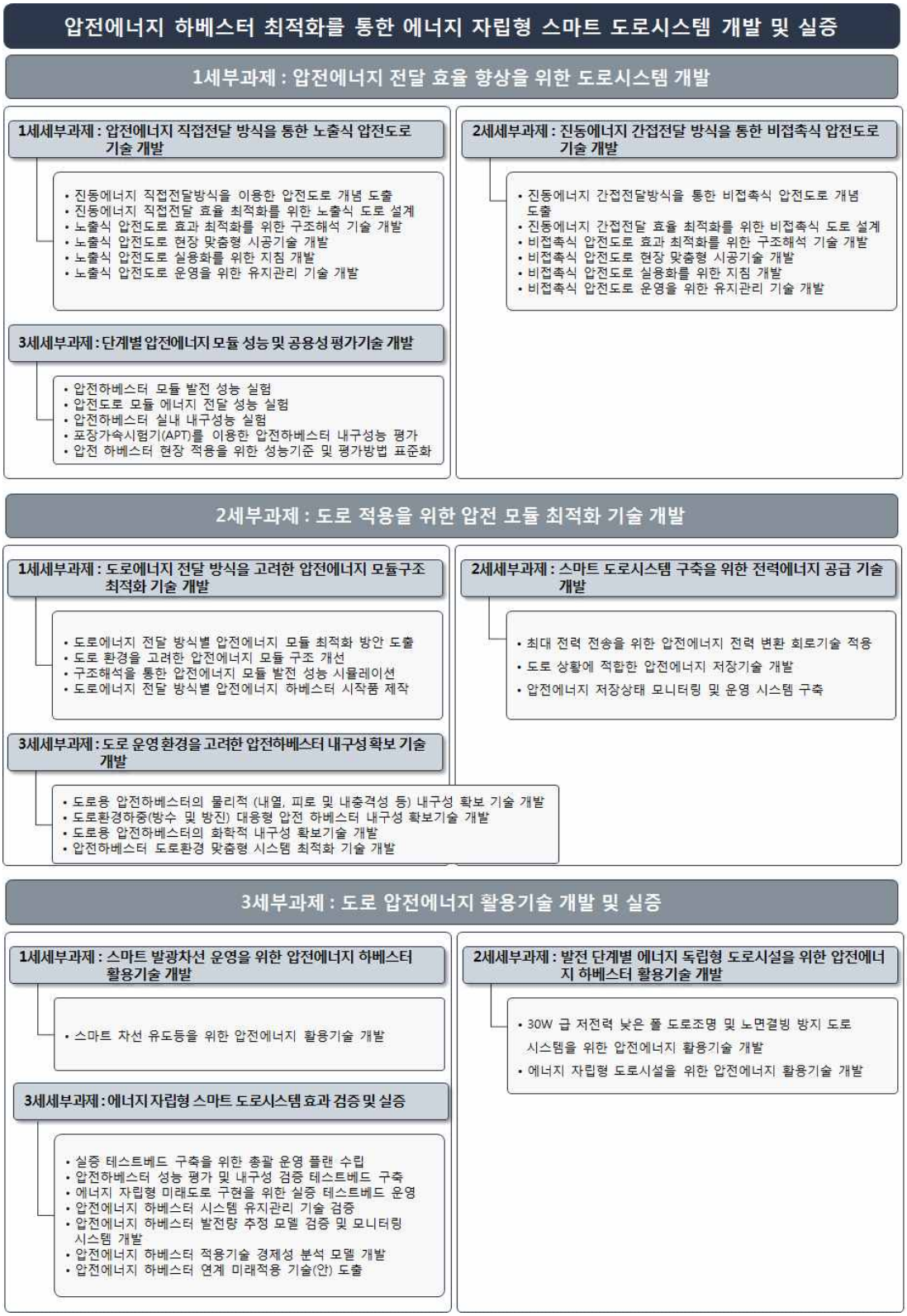
7절. 기술효과 및 성과 활용 방안

세부 과제	세세부과제	목표 성과물	최종 수요처	사업화 및 실용화 방안
1세부-압전에너지 전달효율 향상을 위한 도로시스템 개발	1-1 진동에너지 직접전달 방식을 통한 노출식 압전도로 기술 개발	노출식 압전도로 개념 설정 보고서	•국토교통부 •한국도로공사 •LH 공사 •도로관리 지방청 •지방자치단체 •에너지 관리 공단	• 에너지 발전 단계별 실용화 성과를 바탕으로 도로의 등급별(고속도로-일반국도-시군도-지방도) 적용 가능 시스템 제시
		노출식 압전도로 설계도		
		노출식 압전도로 최적화 구조해석 보고서 및 시작품		
		노출식 압전도로 최적화 시공 기술서		
		현장 맞춤형 노출식 압전도로 시방서		
		노출식 압전도로 유지관리 매뉴얼		
	1-2 진동에너지 간접전달 방식을 통한 비접촉식 압전도로 기술 개발	비접촉식 압전도로 개념 설정 보고서	•국토교통부 •한국도로공사 •LH 공사 •도로관리 지방청 •지방자치단체 •에너지 관리 공단	• 에너지 발전 단계별 실용화 성과를 바탕으로 도로의 등급별(고속도로-일반국도-시군도-지방도) 적용 가능 시스템 제시
		비접촉식 압전도로 설계도		
		비접촉식 압전도로 최적화 구조해석 보고서 및 시작품		
		비접촉식 압전도로 최적화 시공 기술서		
		현장 맞춤형 비접촉식 압전도로 시방서		
		비접촉식 압전도로 유지관리 매뉴얼		
	1-3 단계별 압전에너지 모듈 성능 및 공용성 평가 기술 개발	압전하베스터 모듈 발전성능 보고서	•국토교통부 •한국도로공사 •LH 공사 •도로관리 지방청 •지방자치단체 •에너지 관리 공단 •압전하베스터 연구기관	• 압전에너지 하베스터의 도로 적용을 위한 성능평가 기준(안) 제시를 통해 국가기준화 추진
		도로일체형 압전하베스터 발전성능 보고서		
		압전하베스터 실내 내구성능 보고서		
		압전하베스터 실외 내구성능 보고서		
		압전하베스터 성능 평가 기준(안)		

2세부-도로적용을 위한 압전에너지 모듈 최적화 기술 개발	2-1 도로에너지 전달 방식을 고려한 압전에너지 모듈 구조 최적화 기술 개발	전달 방식별 모듈 설계 최적화 방안 보고서	•국토교통부 •산업통상자원부 •한국도로공사 •지방자치단체 •토지주택공사 •민간 기업체 •정부출연연 •신재생에너지 관련 연구소	• 도로용 압전에너지 하베스터 최적화를 통해 대용량 발전 가능성을 검증하고 이를 실용화 함
		압전에너지 모듈 최적화 설계도		
		모듈 발전 성능 시뮬레이션 보고서		
		압전에너지 하베스터 모듈 시작품		
	2-2 스마트 도로시스템 구축을 위한 전력에너지 공급 기술 개발	전력변환 회로 설계도 및 시작품	•국토교통부 •산업통상자원부 •한국도로공사 •지방자치단체 •토지주택공사 •민간 기업체 •정부출연연 •신재생에너지 관련 연구소	• 도로용 압전에너지 하베스터를 통해 발생된 전력에너지 loss 최소화 기술을 개발하고 이를 저장하는 핵심기술을 개발/검증 후 실용화 함
		압전에너지 저장 회로 설계도 및 시작품		
		압전에너지 모니터링 및 운영 보고서		
	2-3 도로 운영 환경을 고려한 압전하베스터 내구성 확보기술 개발	물리적 내구성 검증 실험결과보고서	•국토교통부 •산업통상자원부 •한국도로공사 •지방자치단체 •토지주택공사 •민간 기업체 •정부출연연 •신재생에너지 관련 연구소	• 압전에너지 하베스터 자체의 내구성능 검증을 위한 기준(안) 제시를 통해 국가기준화 추진
		방수 방진 공인시험성적서		
		화학적 내구성 공인시험성적서		
		압전하베스터 내구성 최적 설계도		

3세부- 도로 압전에 너지 활용기 술 개발 및 실증	3-1 스마트 발광차선 운영을 위한 압전에너지 하베스터 활용기술 개발	스마트 차선유도등 압전시스템 시작품	•국토교통부 •한국도로공사 •지방자치단체 •도로안전시설 업체 •도로정보수집 업체 •자율협력주행 관련 업체	• 압전에너지 하베스터에서 발생된 전력을 스마트 도로시설물에 적용/검증 후 실용화 전략 추진
	3-2 발전 단계별 에너지 독립형 도로시설을 위한 압전에너지 하베스터 활용기술 개발	낮은 폴 도로조명 및 노면결빙 방지 압전시스템 시작품	•국토교통부 •한국도로공사 •지방자치단체 •도로안전시설 업체 •도로정보수집 업체 •자율협력주행 관련 업체	• 압전에너지 하베스터에서 발생된 전력을 낮은폴 도로조명, 노면결빙 방지 시스템, 에너지 자립형 도로 시설 등에 적용/ 검증 후 실용화 전략 추진
		발전 단계별 에너지 독립형 도로시설(졸음쉼터,톨게이트 등) 시작품		
	3-3 에너지 자립형 스마트 도로시스템 효과 검증 및 실증	실증 테스트베드 총괄 및 운영 계획 보고서	•국토교통부 •산업통상자원부 •한국도로공사 •지방자치단체 •토지주택공사 •민간 기업체 •정부출연연 •신재생에너지 관련 연구소	• 에너지 자립형 스마트 도로시스템 운용을 위한 테스트베드 구축, 모니터링, 효과검증 및 보완의 피드백 체계를 통해 실용화 기반 구축
		실증 테스트베드 설계도		
		실증테스트베드 4개소		
		실증 테스트베드 운영 보고서		
		압전에너지 하베스터 도로 유지관리 가이드라인		
		압전에너지 발전량 추정 모델 및 모니터링 시스템		
		압전에너지 하베스터 경제성 분석 보고서		
		압전에너지 하베스터 미래적용 분야 도출 보고서		

8절. 연구수행체계 제안



<압전도로시스템을 활용한 에너지 자립형 스마트 도로 기반기술구축 연구단 연구수행 체계>

○ 연구추진체계는 '압전에너지 하베스터 최적화를 통한 에너지 자립형 스마트 도로시스템 개발 및 실증' 이라는 구체적 목표를 달성하기 위해 3개의 중점추진 분야를 발굴하였으며, 이의 구체적 실현을 위해 9개의 핵심과제를 도출하였음

○ 본 과업을 수행하기 위한 효과적인 연구추진체계로는 연구단 형태로 추진하는 것이 타당하다고 판단됨

4장. 사전 타당성 검토

1절. 기술적 타당성

1. 기술개발 계획의 적절성

가. 기획과정의 적절성

(1) 기획에 참여한 전문가 구성의 적절성

○ 주관기관은 사업계획 수립을 위해 산학연 TF를 구성하여, 기술성, 경제성, 정책성 분석에 기반하여 동 사업을 기획함

- 한국건설기술연구원의 총괄하에 한국도로공사, 한국건설생활환경시험연구원 참여하고 분야별 전문 자문회의를 통해 구체적인 기획 업무를 수행함

○ 동 사업이 '압전하베스트를 이용한 메가와트급 에너지 자립형 도로기술'을 개발하기 위한 연구단 규모의 대형 연구개발사업이라는 점을 고려할 때, 사업 기획에 참여한 전문가 집단의 구성은 참여규모, 포괄성, 균형성 측면에서 적절한 것으로 판단됨

- 사업 기획과정에 참여한 기술분야별 전문가는 사업의 규모 및 범위, 지원 분야의 다양성을 고려할 때 폭넓고 충분한 수의 전문가가 참여하였음
- 분야별로 산·학·연의 전문가가 균형 있게 참여하였으며, 특히 현재 도로분야의 압전하베스트 상용화를 활발하게 추진 중인 민간기업 소속 전문가가 다수 참여하여 산업계의 개발현황, 수요 및 요구사항 등을 반영한 것으로 판단됨

(2) 관련 분야 연구개발수요 파악의 적절성

○ 주관연구기관은 산·학·연 전문가를 대상으로 수요조사를 실시함

- 연구의 비전 및 목표를 달성하기 위한 중점추진분야는 국내·외 동향 및 환경분석, SWOT 분석을 통해서 도출된 중점추진분야를 실현하기 위한 구체적인 연구개발 기술 도출을 위해 기술수요조사를 실시함
- 기술수요조사 대상 선정은 도로분야, 압전에너지 하베스트 분야, 압전에너지

하베스트 활용분야에 대한 산·학·연 전문가를 구성하고 기술수요조사서*를 이메일 발송을 통해 4주간 실시함

* 주요 항목은 제안기술의 개요 및 배경/필요성, 기술개발 목표와 내용, 관련기술의 선행연구 및 연구개발 동향, 적용대상 및 활용분야, 소요예산 및 기대효과 등으로 구성됨

○ 기술수요조사 결과 내용을 검토한 결과, 국내 압전하베스트 연구 수요를 구체적이고 체계적으로 파악할 수 있었음

- 사업기획을 위해 수행한 대부분의 기술수요조사는 산·학·연 전문가를 대상으로 이메일 발송을 통해 4주간의 조사를 실시하였기 때문에 충분한 의견 수렴 과정을 거친 것으로 판단할 수 있음
- 기술수요조사결과는 도로구조기술(12건), 압전하베스트 모듈 향상 기술(14건), 활용 및 운영관리 기술(9건)으로 한 분야에 편중되지 않고 다양한 분야의 기술수요조사 결과가 나타남
- 응답자 수 35명(수요조사 수)는 다소 부족한 수요조사결과로 보이나, 압전하베스팅 기술이 신기술이고 국내 관련 전문가의 Pool이 적은 결과로 인한 것임

⑶ 세부과제 도출 과정의 적절성

○ 동 사업의 기획연구진은 압전하베스팅 분야의 정책, 기술, 시장, 인프라 동향조사를 기반으로 SWOT 분석을 실시하고 이를 통해 연구개발 추진방향(SO전략 4개, WO전략 5개, ST전략 5개, WT전략 4개)을 도출함

- SWOT 분석에서 활용한 우리나라의 강점/약점/기회/위기요인은 기획보고서의 기술, 시장, 정책, 인프라 동향부분에서 확인하고 분석하였던 내용을 바탕으로 제시하였음



<연구개발 추진 방향 정립>

○ 내부의 강점/약점 요인을 분석하고, 외부의 기회/위협요인을 정량화 한 후, 이를 통한 연구개발추진 방향을 모색하였으며, 도출된 연구추진 방향의 위계 조정 및 그룹핑을 통해 '압전에너지 전달효율 향상을 위한 도로시스템 개발', '도로적용을 위한 압전에너지 모듈 최적화 기술 개발', '도로 압전에너지 활용기술 개발 및 실증'의 3개 중점추진 연구분야가 도출됨

- 중점추진 연구분야1 : 압전에너지 전달 효율 향상을 위한 도로시스템 개발
- 중점추진 연구분야2 : 도로 적용을 위한 압전에너지 모듈 최적화 기술 개발
- 중점추진 연구분야3 : 도로 압전에너지 활용기술 개발 및 실증

○ 중점추진 연구분야를 실현하기 위해 연구진에서 수행한 동향분석을 통해 후보과제(20개) 도출결과와 산학연 전문가를 대상으로 실시한 기술수요조사(35개) 결과를 동 기획연구진이 작성한 압전하베스팅 기술분류체계에 매핑함

<중점추진 연구분야별 후보군 매핑>

대분류	중분류	연구진 동향분석 후보과제	기술수요조사 제안 과제명
압전 에너지 전달 효율 향상을 위한 **도로시스템 개발**	**진동에너지의 직접전달을 위한 도로구조 기술**	도로포장 노출형 압전 도로구조 기술	도로 압전 하베스팅 변환을 위한 압전매트 개발 및 설치 방법 개발
		세그멘탈 블록형 압전 도로구조 기술	재생 플라스틱 블록 도로를 이용한 압전 에너지 수집 기술 설계
			블록의 불규칙 단면을 활용한 압전 하베스팅 요소기술 개발
			블록 자체의 이동 및 진동 특성을 최대화한 압전 에너지 수집 기술
		도로 시설물 설치형 압전 도로구조 기술	교량의 신축이음(expansion joint)을 활용한 압전 에너지 하비스팅 시스템 개발
			교량 진동과 차량 유도풍을 이용한 교량 부착형 압전하베스터용 최적화 구조체 개발
			도로의 신축이음부를 통한 압전 하베스팅 시스템 구축 및 기술개발
			교량 진동을 활용한 폴리머 압전체 기반 에너지 하

대분류	중분류	연구진 동향분석 후보과제	기술수요조사 제안 과제명
			베스팅 기술
	진동에너지의 간접전달을 위한 도로구조 기술	기존 도로포장 하부 매설형 압전 도로구조 기술	도로 진동소음 저감형 압전소재 및 자가발전 시스템 개발
		매개체를 이용한 진동에너지 간접전달방식 도로구조 기술	지반가진을 이용한 도로용 frequency -tuned 압전 하베스터
			도로 타이닝(tining) 및 구루빙(grooving) 활용 유압펌프를 이용한 압전하베스터 발전 기술 개발
			도로 램프 구간 및 속도 변이 구간의 횡방향 그루빙을 통한 감속 유도 및 압전 시스템 개발
도로 적용을 위한 압전에너지 모듈 최적화 기술 개발	세라믹 압전체 기반 압전에너지 효율 향상 기술	세라믹 압전체 기반 (Plate-type) 압전효율 향상 기술	변위 확대 타격형 압전 하베스터
			불규칙적인 차량 소통에 의한 기계적 에너지의 효율적 이용에 대한 연구
			하베스터 효율 향상을 위한 발판 구조
			압전소자의 최적 설계 연구
		세라믹 압전체 기반 (Bulk-type) 압전효율 향상 기술	Bulk-type을 활용한 피스톤 방식 충격형 압전 하베스터 모듈 발전 기술 개발
	폴리머 압전체 기반 발전 방식	폴리머 압전체 기반 압전효율 향상 기술	필름형 압전소자 도로 적용 및 미활용 에너지 이용 압전 발전기술 개발
			PVDF기반 유연압전소자의 고출력화를 위한 전극용 유기소재 개발
	하이브리드 연계 및 첨단소재를 이용한 압전에너지 효율 향상 기술	하이브리드 연계형 신재생에너지 발전기술	중앙분리대 태양광 발전소와 압전발전 융합 기술 개발
		나노 복합소재를 이용한 압전에너지 효율 향상 기술	나노 압전물질 및 CNT의 시너지 효과를 이용한 고성능·고내구성 압전 하베스터 모듈 개발
	압전에너지 하베스터 자체 내구성 확보 기술	압전에너지 하베스터 자체 내구성 확보 기술	압전세라믹 자체 내구성 확보기술 - 취성파괴 방지 및 내습성 향상을 위한 고신뢰 압전세라믹 복합소재 및 메탈 접합가공 기술 개발
	압전하베스터 전력변환 회로 및 발전에너지 저장 기술	압전발전형 전기에너지 변환 회로 최적화 기술	loss 최소화를 위한 압전 모듈의 결선 및 배선의 최적화와 저장 시스템 연구
			SSHI 회로를 이용한 압전하베스터 전력변환 회로 기술 개발
			압전에서 발생하는 전력이 고효율의 performance를 내기 위한 최적화된 임피던스 매칭 회로 기술
			압전 에너지 하베스팅용 고효율 전력변환 및 전력관리 회로 기술
도로압전 에너지 활용기술 개발 및 실증	발전 단계별 압전 에너지 활용 기술	마이크로/매크로 스케일 압전에너지 활용 기술	콘크리트 포장체 자가진단 및 교통정보 모니터링 기술
			하이브리드형(압전+태양광) 신재생 에너지를 활용한 20 W급 낮은 폴 조명 완전 에너지 자립화 요소기술 개발 및 실증
			위계적 3차원 전도성 네트워크를 지닌 시멘트계 복합체를 이용한 발열 포장모듈 개발
			발열 양생 및 융설이 가능한 발열 도로포장체 개발
			저전력 발열 유도체 직조 토목 신소재를 활용한 도로 및 인접 시설물의 동결 피해 저감 기술 개발
			지방부 도로의 무인 자동차의 도입 시 시인성 향상 압전 센서 개발
			무인 자동차 운영을 대비한 도심 부 도로에서 Marking, sign, signal 등 교통 신호 처리 시스템 개발

대분류	중분류	연구진 동향분석 후보과제	기술수요조사 제안 과제명
	압전에너지 하베스터 운영 및 관리 기술	압전에너지 하베스터 테스트 베드 운영 관리 기술	교통약자보호를 위한 압전하베스팅 감속 유도 포장 시스템 및 주의 경고 교통시스템 구축 및 개발
			압전하베스터 성능검증을 위한 테스트 베드 및 실증 시험장/시범단지 구축

○ 주요 연구내용을 확정하기 위한 후보군의 도출 과정을 구체적으로 제시하였으며, 산학연 전문가를 통해 후보군에 대한 평가기준 및 우선순위 선정 결과를 명확히 제시함

- 기술수요조사를 중심으로 35개의 기술아이템 후보를 도출하고, 동향분석결과를 바탕으로 연구진이 1차 후보기술 아이템 20개를 선정 후, 최종적으로 전문가가 참여한 기술아이템 우선순위 분석을 통해 14개의 기술아이템을 선정 함
- 20개 예측기술에 대한 우선순위 결과를 바탕으로 3개 중점추진 연구분야의 실현을 위해 필요한 핵심과제로 14개 항목을 선정함
- 예측기술 우선순위 평가를 위해서 기술의 핵심성, 기술의 경제성, 기술의 공공성, 기술의 시급성에 대해 각각 5점 척도로 조사를 실시함
- 각각의 조사항목에 대한 가중치는 연구진 의견을 종합적으로 반영하여 기술의 핵심성 0.5, 기술의 경제성 0.1, 기술의 공공성 0.2, 기술의 시급성 0.2의 가중치를 부여하였음

<예측기술의 우선순위 조사 결과>

예측기술명	예측기술의 우선순위 (5점만점)					
	기술의 핵심성	기술의 경제성	기술의 공공성	기술의 시급성	소계	순위
도로포장 노출형 압전 도로구조 기술	1.96	0.36	0.53	0.74	3.59	2
세그멘탈 블록형 압전 도로구조 기술	1.39	0.29	0.66	0.69	3.03	10
도로 시설물 설치형 압전 도로구조 기술	1.34	0.24	0.63	0.54	2.75	17
기존 도로포장 하부 매설형 압전 도로구조 기술	0.70	0.21	0.49	0.41	1.81	20
매개체를 이용한 진동에너지 간접전달방식 도로구조 기술	1.68	0.31	0.54	0.60	3.13	8
신개념 압전포장 재료 및 도로구조 기술	1.61	0.29	0.51	0.63	3.03	9
압전에너지 하베스터 도로 내구성능 기술	1.82	0.33	0.63	0.49	3.26	7
압전에너지 하베스터 도로 유지관리 기술	1.45	0.28	0.48	0.64	2.84	14
세라믹 압전체 기반(Plate-type) 압전효율 향상 기술	1.82	0.36	0.71	0.75	3.64	1
세라믹 압전체 기반(Bulk-type) 압전효율 향상 기술	1.23	0.29	0.71	0.51	2.75	18
폴리머 압전체 기반 압전효율 향상 기술	1.55	0.25	0.49	0.51	2.81	15

예측기술명	예측기술의 우선순위 (5점만점)					
	기술의 핵심성	기술의 경제성	기술의 공공성	기술의 시급성	소계	순위
하이브리드 연계형 신재생에너지 발전기술	1.43	0.24	0.56	0.53	2.76	16
나노 복합소재를 이용한 압전에너지 효율 향상 기술	0.75	0.29	0.61	0.44	2.09	19
압전에너지 하베스터 자체 내구성 확보 기술	1.75	0.36	0.60	0.67	3.38	5
압전발전형 전기에너지 변환 회로 최적화 기술	1.80	0.31	0.56	0.71	3.38	4
압전 발전형 전기에너지 충전회로 최적화 기술	1.41	0.28	0.70	0.56	2.95	12
압전하베스터 생산 최적화 기술개발	1.70	0.38	0.74	0.69	3.50	3
마이크로/매크로 스케일 압전에너지 활용 기술	1.66	0.31	0.57	0.72	3.26	6
압전에너지 하베스터 테스트 베드 운영 관리 기술	1.45	0.29	0.62	0.62	2.98	11
압전에너지 하베스터 효과 검증 기술	1.39	0.29	0.64	0.61	2.94	13

나. 사업목표의 적절성

(1) 목표 설정의 적절성

○ 동 기획보고서에서는 사업의 전체를 대표하는 비전 및 목표 설정 근거를 구체적으로 제시하였음

○ 동 기획보고서에서 사업 전체를 대표하는 비전으로 "미활용 압전 에너지를 이용한 에너지 자립형 스마트 미래도로 구현"을 제시하고, 총괄목표로는 " 압전에너지 하베스터 최적화를 통한 에너지 자립형 스마트 도로시스템 개발 및 실증"을 구체적으로 제시함



<동 기획연구사업의 비전 및 목표>

<비전 및 목표 설정 근거>

비전 및 목표		설정 근거
비전	**미활용 압전에너지를 이용한 에너지 자립형 스마트 미래도로 구현**	■ 정부의 제 4차 신재생 에너지 기본계획(2014.9)에 제시되어 있는 '35년 기준 신재생에너지 보급률 11 % 달성' 이라는 국가 정책적 기조에 부합 ■ 2016년 기준 약 15억대의 고속도로 이용차량에서 발생되는 미활용에너지인 압전 에너지를 효과적으로 이용하여 궁극적으로 스마트 도로 인프라를 구축하기 위해 필요한 에너지를 도로 자체적으로 생산 및 활용하는 미래형 에너지 자립형 스마트 도로 비전을 제시
목표	**[목포1] 압전에너지 전달 최적화 도로시스템 개발 및 도로교통량 500만 ESAL 대응 내구성능 확보**	■ 도로에서 발생되는 진동 및 충격에너지를 효과적으로 압전 에너지 하베스터로 전달하기 위한 도로시스템 개발이 필요함 ■ 도로구조물에 에너지 하베스터가 설치될 경우 크게 차량하중 및 환경하중에 노출되기 때문에 내구성 확보가 필수적이며, 특히 도로교통량이 주 발전원임을 고려할 경우 등가단축하중(Equivalent Single Axle Load) 개념을 적용하여 500만 ESAL(일반도로 기준 약 10년 적용에 해당하는 도로교통량)의 교통하중에 대한 내구성 확보가 필요함
	[목포2] 스마트 에너지 도로 구축을 위한 압전 모듈 최적화 및 내구성능 10년 확보 (발전 전력량 28 Ws/Vw)	■ 대용량 발전을 위한 세계 최고 수준(0.1 m^2 압전하베스터 RMS 기준 추정 발전량 : 0.78 Wh, 20,015대/day 적용조건) 이나, 압전 재료에 대한 공정 최적화 및 새로운 압전 조성 상용화, 압전 하베스터의 역학적 미케니즘 개선을 통한 에너지 전달 최적화가 이루어지고, 정류소자등의 최적화를 통해 지금보다 약 400배 향상된 도전적인 발전 전력량 (28 Ws/Vw)을 목표치로 제시함 ■ 압전에너지는 차량의 바퀴(Wheel)가 인가됨에 따라 에너지가 발생되는 원리임을 고려하여 차량의 바퀴에 대한 압전에너지 발생 전력량 개념으로 발전 단위(unit)을 제안함 * Ws : Watt * Sec. (전력량 단위) / Vw : Wheel per Vehicle (차량 바퀴) * '16년 기준 압전에너지 하베스터 발전량 수준 : 0.07 Ws/Vw ■ 압전에너지 하베스팅은 일반적인 전원 장치와는 달리 전력변환 효율이 50 %를 넘기가 어려우나, AC-DC Rectifier 회로 기술 개발, DC-DC converter 회로 기술 개발, PMIC (Power management IC) 회로 기술 개발, MPPT (Maximum Power Point Tracking) 회로 기술 개발 등을 통해 전력변환 효율 70 % 확보를 목표로 제시함
	[목포3] 단계별 도로 압전에너지 활용기술 구체화 및 시범사업을 통한 실증	■ 개발 예정인 압전에너지 전달 최적화 도로시스템 및 효율 향상된 압전에너지 하베스터를 통해 발생된 전력을 이용한 활용기술을 구체적으로 명시하고, 테스트베드 구축을 통해 발생전력량 및 내구성을 실증하는 것이 핵심 목표임 ■ 자율협력용 스마트 인프라가 갖추어야 할 정적 정보(static information)인 능동형 발광차선을 위한 시스템을 압전에너지 하베스터와 연계하여 개발함 ■ 매크로 스케일(W급) 스마트 도로안전 시설물에 대한 분산독립 전원 공급을 목표로 30W급 저전력 인식형(Dimming형) 낮은 폴 도로조명 시스템 및 30W급 저전력 노면 결빙 방지 도로시스템을 압전 에너지 하베스터와 연계하여 개발함

<본 연구의 단계별 목표>

단계	단계별 목표
[1단계] 기술개발단계 (2019~'2020년)]	■ 진동에너지 진/간접 전달방식을 통한 압전도로 실시 설계 및 1차시작품 제작 ■ 3.5 Ws/Vw 급 도로용 압전 하베스터 모듈 개발 및 평가
[목표2] 기술향상단계 (2020~'2021년)]	■ 진동에너지 진/간접 전달방식을 통한 압전도로 2차시작품 제작 ■ 7 Ws/Vw 급 도로용 압전 하베스터 모듈 개발 및 평가 ■ 압전에너지 하베스터 70 % 급 전력변환 회로기술 개발 ■ 압전에너지 하베스터 내구성 확보
[목표3] 기술평가단계 (2021~'2023년)]	■ 발전 단계별 14, 21, 28 Ws/Vw 급 도로용 압전 하베스터 모듈 개발 및 평가 ■ 1 단계 테스트베드 구축 (2021) : 스마트 발광차선 (100 m) ■ 2 단계 테스트베드 구축 (2022) : 저전력 도로조명 (100 m) / ■ 노면결빙방지도로(30m) ■ 3 단계 테스트베드 구축 (2023) : 에너지 독립형 졸음쉼터 (14 kW급/day)

다. 구성 및 내용의 적절성

(1) 세부 연구내용 적절성

○ 3세 세부과제 및 9개의 세세부과제의 연구내용은 동 기획연구의 목표 달성을 위해 적절하게 구성된 것으로 판단됨

- (압전에너지 전달 효율 향상을 위한 도로시스템 개발) 도로에서 발생되는 진동 및 충격에너지를 압전에너지 하베스터로 효과적으로 전달하기 위한 최적 도로구조기술 개발로 구성됨
- (도로 적용을 위한 압전에너지 모듈 최적화 기술 개발) 현행 압전에너지 하베스터 모듈의 발전량을 혁신적으로 향상시키고, 발생된 전기에너지를 활용하기 위한 에너지 변환 및 저장 모듈을 개발하는 기술로 구성됨
- (도로 압전에너지 활용기술 개발 및 실증) 도로에서 발생된 에너지를 압전에너지 하베스터를 이용해서 효과적으로 전기 에너지로 변환시키며, 저장된 전기에너지를 도로분야에서 효과적으로 활용하고 운영 및 관리하기 위한 기술개발로 구성됨

2. 기술개발 성공가능성

○ 기술개발 성공가능성은 본 사업에서 제안하는 기술의 발전추세가 대규모 투자

근거로서 합리적인지의 여부를 분석하는 '기술추세 분석'과 주요 연구개발활동 주체와의 상대적인 기술격차를 분석하는 '기술수준 분석'으로 구분하여 수행함

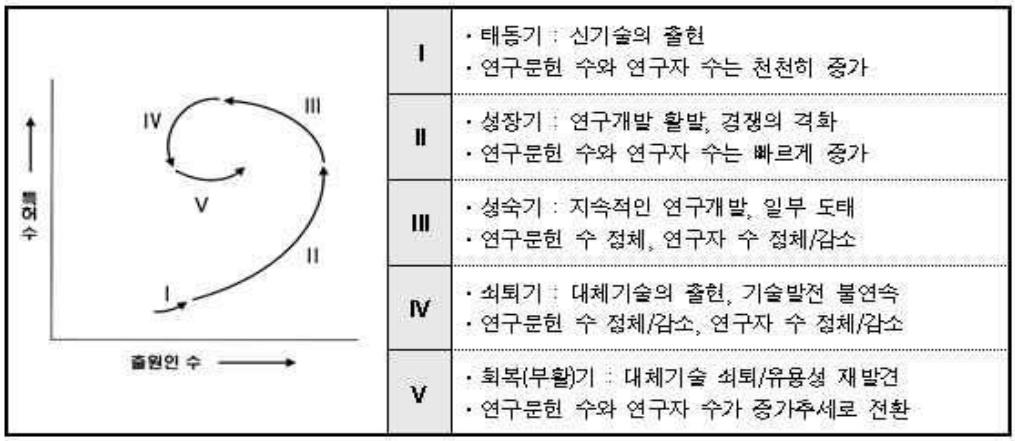
가. 기술추세 분석

○ 기술추세 분석은 예비타당성조사(KISTEP 예비타당성 분석 방법론)에서 대상으로 하는 사업의 기술분야가 대형 연구개발사업의 신규 추진에 적합한 정도의 기술개발단계에 있는지를 주로 조사하는 방법임

- 일반적으로 연구개발사업에 대한 예비타당성조사에서는 기술확산모형에 따른 "S-곡선"을 활용하여 기술성장단계를 파악하고, 이 모형에서 과도한 초기 혹은 후기 단계에 있다고 추정한다면 대형사업의 신규 투자를 유보적으로 판단함
- 기술성장단계는 연구자 및 연구결과를 이용한 특허 포트폴리오 분석 기법을 적용하고, 기술의 성장을 연구자와 연구결과물의 시계열 관계로 근사시켜 분석하는 방법임
- 연구자가 연구개발의 생산자인 동시에 결과물의 수용자라는 가정과 특허 등의 연구결과는 산출물이면서 새 기술을 채택하였다는 점을 보여주는 지표라는 가정을 전제로 함
- 대부분의 연구개발 활동에서 이러한 가정이 성립할 수 있으므로, 연구개발에서 도출된 성과물의 수와 연구자의 수를 시계열에 따라 분석하면 기술성장단계를 태동기, 성장기, 성숙기, 쇠퇴기, 부활기로 구분(아래의 그림 참조 : <연구자-연구결과 포트폴리오 분석>)할 수 있음
- 따라서 이러한 분석 방법을 이용하여, 동 조사의 대상 사업이 다루고자 하는 기술분야의 기술성장단계를 파악하였음

<기술개발 성공가능성 분석 요소>

분석항목	내용
기술추세	■ 대형 연구개발투자를 위한 동태적(Dynamic) 분석

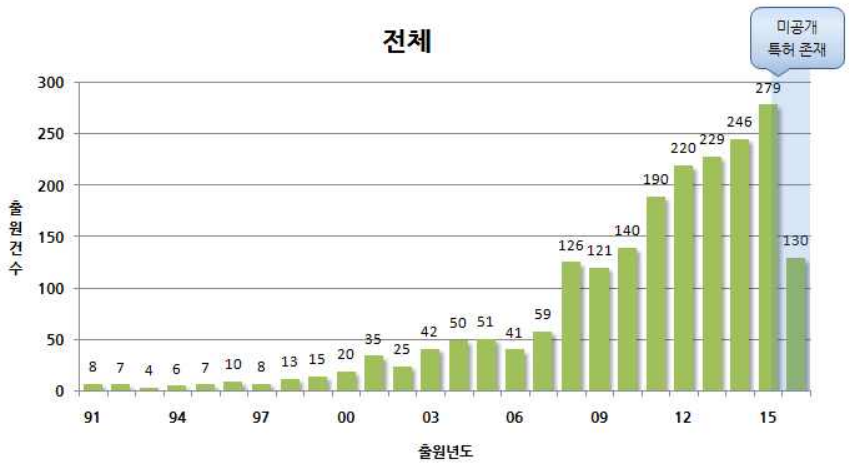


I	· 태동기 : 신기술의 출현 · 연구문헌 수와 연구자 수는 천천히 증가
II	· 성장기 : 연구개발 활발, 경쟁의 격화 · 연구문헌 수와 연구자 수는 빠르게 증가
III	· 성숙기 : 지속적인 연구개발, 일부 도태 · 연구문헌 수 정체, 연구자 수 정체/감소
IV	· 쇠퇴기 : 대체기술의 출현, 기술발전 불연속 · 연구문헌 수 정체/감소, 연구자 수 정체/감소
V	· 회복(부활)기 : 대체기술 쇠퇴/유용성 재발견 · 연구문헌 수와 연구자 수가 증가추세로 전환

<연구자-연구결과 포트폴리오 분석>

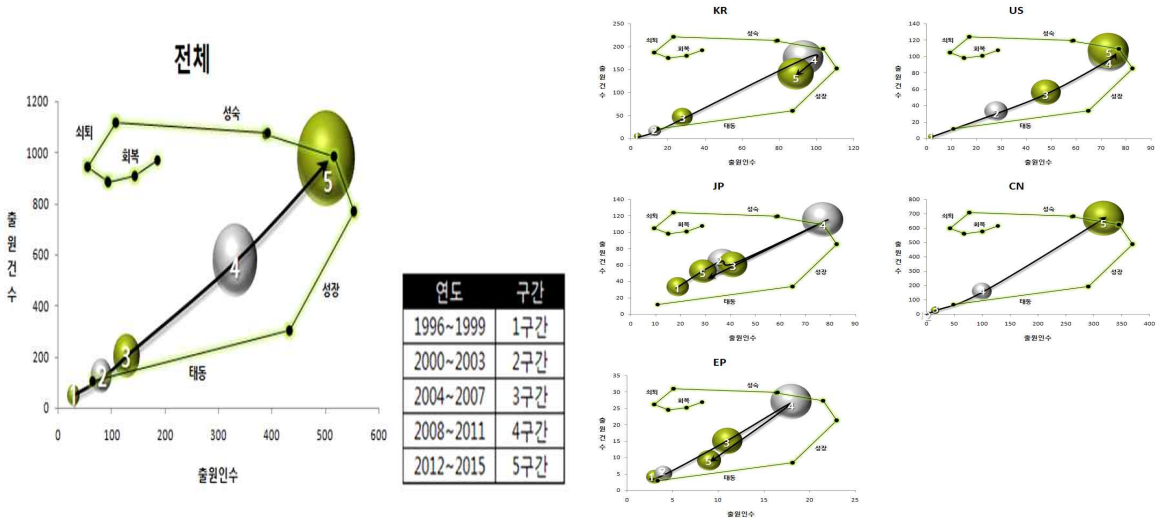
○ 본 사업 개발 기술분야의 기술발전단계를 살펴보면, 특허 출원 건수 및 출원인 수 증가에 따른 기울기가 가파른 성장기 단계로 조사되어 대규모 투자 시기로는 적절한 것으로 분석됨

- 2000년대 초반부터 관련 출원이 증가하기 시작하다가 '08년 세계금융위기로 잠시 주춤한 이후 다시 2000년대 후반부터 비약적인 출원 증가세를 보이고 있으며, 현재까지 특허출원이 꾸준히 이루어져 오고 있는 것으로 나타남



<연도별 특허동향>

- 포트폴리오로 나타낸 전체특허의 기술 위치는 전체적으로 1구간(1996년~1999년)부터 5구간(2012년~2015년)까지 출원 건수와 출원인의 수가 계속 증가하는 성장기 단계에 있음
- 특히 3구간(2004년~2007년)부터 5구간(2012년~2015년)까지 출원 건수 및 출원인 수가 크게 증가하고 있어 최근에 급격한 기술 개발이 이루어진 것으로 분석됨



연도	구간
1996~1999	1구간
2000~2003	2구간
2004~2007	3구간
2008~2011	4구간
2012~2015	5구간

<기술시장 성장단계>

○ 국가별 내·외국인 특허출원현황을 살펴보면, 전반적으로 중국, 일본, 한국이 주도하고 있는 것으로 조사됨

- 중국, 일본, 한국은 대체적으로 외국인보다 내국인에 의한 특허활동이 활발한 것으로 나타나고 있어, 자국 내에서의 상용화를 위해 주로 이루어지고 있는 것으로 해석됨

○ 특허 출원 및 출원인 분석을 통한 기술성장단계를 분석한 결과, 출원 건수와 출원인이 지속적으로 증가하는 성장기 추세를 보임에 따라, 기술적 관점에서 동 사업의 연구개발 분야에 대하여 대형 국가연구개발사업의 투자를 시행하기에는 적절한 시점인 것으로 판단됨

나. 기술수준 분석

○ 주관연구기관은 산·학·연 전문가를 대상으로 기술예측조사를 통해 기술적 실현시기, 사회경제적 실현시기, 기술획득방식, 정부개입 필요성, 국내기술수준을 조사함

- 기술예측조사는 기술수요조사 및 기획연구진이 도출한 후보 과제를 대상으로 산·학·연 전문가를 통해 2주간 실시함

○ 압전하베스터를 이용한 메가와트급 에너지 자립형 도로기술 개발 관련 기술수준은 최고기술보유국 대비 64% 정도로 상대적인 기술력이 낮은 것으로 파악됨

- 중점분야별 기술수준을 조사했을 경우, 압전 에너지 전달 최적화를 위한 도

로구조 기술 (66%), 압전하베스터 모듈 효율 향상 기술 (64%), 도로압전 에너지 활용 및 실용화 기술 (63%) 순으로 나타남

○ 압전하베스터를 이용한 메가와트급 에너지 자립형 도로기술 개발과 관련해서는 현재 미국이 예측되는 기술의 대부분에 있어 최고기술을 보유하고 있는 것으로 나타남

- 우리나라는 전체 예측기술에 대하여 현재 네 번째로 높은 수준의 기술을 보유하고 있는 것으로 나타남
- 특히, 진동형 압전 에너지 하베스터 모듈과 이에 최적화된 도로포장 재료에 대하여 우수한 기술력을 보유한 것으로 나타남

○ 후보 과제에 대한 기술의 실현시기는 평균적으로 세계 실현시기는 8년, 국내 실현시기는 10.2년으로 나타나 기술의 상용화를 위한 기간적 차이는 없는 것으로 해석됨

3. 기존 연구과제와의 중복성

○ 본 연구단에서 추진하는 내용에 대해서는 압전에너지 하베스팅 소재/소자 관련 연구과제 수행현황 분석 및 압전에너지 하베스팅 적용관련 연구과제 수행현황 분석을 통해 중복성을 단계적으로 검토하였음

- 동 연구에 대한 중복성 조사는 1차적으로 NTIS 자료 및 각 부처 R&D 계획 자료를 이용하여 중복가능성이 있는 사업과 과제들을 스크리닝 하였음
- 각 단계별로 전문가 워크샵을 추진하여, 1차 스크리닝 결과에 대해 검토를 하였으며, 착수보고 및 1차례의 기획타당성 평가 시 제기된 중복과제에 대해 면밀한 검토를 하였음

○ 특히 압전에너지 하베스터를 도로에 적용하여 대용량 발전 및 에너지 자립형 스마트 도로 기반기술을 구축하고 실증하는 연구는 국내에서 시도된 사례가 없는 혁신적인 연구로 조사됨

2절. 정책적 타당성

1. 상위계획과의 부합성

○ 상위계획과의 부합성은 국가 정책 실현을 위해 본 기획연구가 정책적 일관성을 갖고 체계적으로 추진되는지 검토하기 위한 항목으로 국가계획에 제시된 추진 전략 및 중점 추진과제를 해당 기획연구에 제시된 내용과 비교 분석하였음

- 동 사업에 대한 상위계획과의 부합성 검토를 위하여 '필수계획'으로는 '제3차 과학기술기본계획'을, '선택군 계획'으로 '제4차 신재생에너지 기본계획'을 선정하여 분석하였음

○ 관련 상위계획을 분석한 결과, 동 사업의 추진계획은 '필수계획'에 '미래자원 에너지원 확보 기술'을 명시하고 있고, '선택군 계획'에서는 '신규 에너지원 발굴'과 'R&D역량 강화' 등 본 사업과 관련된 구체적인 내용을 명시하고 있어 전체적인 부합성은 '적절'한 것으로 판단됨

<상위계획과의 부합성 분석 결과>

구분	계획명	2027년	2028년	2029년
		낮음	보통	높음
필수계획	제3차 국가과학기술기본계획			V
선택계획	제4차 신재생에너지 기본계획			V

<상위계획과의 부합성 평점 결과>

필수계획 / 선택군계획	부합도 낮음	부합도 보통	부합도 높음
부합도 높음	보통	대체로 적절	적절
부합도 보통	대체로 부적절	보통	대체로 적절
부합도 낮음	부적절	대체로 부적절	보통

[제3차 과학기술기본계획]

○ 정부는 과학기술의 체계적인 계획 수립을 통하여 지속적인 경제성장과 삶의 질 향상을 도모하고자 「과학기술기본법」제7조에 따라 5년마다 「과학기술기본계획」을 수립 및 시행하고 있음

- 「제3차 과학기술기본계획」은 2013년에서 2017까지의 우리나라 과학기술혁신 정책의 비전 및 목표와 방향을 제시하는 중장기 발전전략이며, 정부 각 부처에 관련 정책의 수립 및 추진방향을 제시하는 최상위 계획임

- 또한, '창조적 과학기술로 여는 희망의 새시대'를 비전으로 설정하고, 연구개발 경제성장 기여율 40%, 신규일자리 64만개 창출, 과학기술혁신역량 세계 Top7 달성을 목표함

○ 해당 계획은 목표 달성을 위한 하이파이브(High Five)전략*의 추진을 제시하고, 세부내용은 다음과 같음

* 하이파이브 전략은 5개 전략 분야를 고도화한다는 의미

- '국가연구개발 투자 확대 및 효율화(High 1)'를 통하여 '국가전략기술개발(High 2)', '중장기 창의역량 강화(High 3)', '신산업창출 지원(High 4)', '과학기술 일자리 확대(High 5)'를 실현할 것을 제시함
- 5개 전략 분야는 19개 분야 78개 과제로 세분화되고, 78개 중 40개는 과학기술 이슈 설문조사(2012.12), 국정과제와의 관련성 등을 고려하여 중점과제로 관리됨
- 국가전략기술은 국민행복 증진을 뒷받침하기 위해 국가 차원의 개입 및 중점투자가 필요한 기술을 의미하며, 향후 5년간 기술적 파급효과 등을 고려하여 선정됨

<과학기술기본계획 내 국가전략기술개발 부문의 추진과제>

구분	계획명	추진과제
국가전략기술개발 (High2)	ICT 융합 신산업 창출	SW·인터넷 신산업 창출
		C-P-N-D 기반 ICT 혁신역량 강화
		문화·관광 콘텐츠 첨단화
		스마트 교통·물류시스템 구축
		주력 수출산업 고도화
	미래성장동력 확충	**미래에너지와 자원 확보·활용**
		보건·의료 글로벌 시장 선점
		보건·의료 글로벌 시장 선점
		보건·의료 글로벌 시장 선점
		해양·수산의 미래산업화
	깨끗하고 편리한 환경 조성	기후변화 대응력 강화
		환경보전·복원시스템 고도화
		생활공간 편의성 향상
		국토 인프라 선진화
	건강장수시대 구현	국토 인프라 선진화
		환자 맞춤형 의료서비스 실현
		저출산·고령화 대응 강화
	걱정 없는 안전사회 구축	선제적 자연재해 대응과 피해 최소화
		사회적 재난 대응체계 확보
		식량안보와 식품안전 향상

출처 : 미래창조과학부, 제3차 과학기술기본계획, 2013.7

○ 본 사업에서 개발하고자 하는 에너지 자립형 도로기술은 해당 계획의 5대 전략 분야 중 '국가전략기술개발(High 2)'의 '미래성장동력 확충'부문에서 '미래에너지와 자원 확보·활용' 중점과제 내의 국가중점과학기술과 연관성이 높은 것으로 판단됨

- '미래성장동력 확충' 중점과제 내의 국가중점과학기술 중 '태양에너지', '환경친화형 고성능 전력수송'은 에너지 재활용 기술로 전반적으로 자립형 도로기술과 관련이 높으며, 본 사업에서 추구하는 기술범위와 유사한 것으로 보임

○ 이상을 종합하면, 「제3차 과학기술기본계획」의 5대 전략 중 '국가전략기술 개발' 전략내 '미래성장동력 확충' 분야에서 국가중점과학기술로 동 사업 관련기술과 연관성이 있어 부합도는 '높은' 것으로 판단됨

[제4차 신재생에너지 기본계획]

○ 「신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법」 제5조(기본계획의 수립)에 산업통상자원부 장관은 관계 부처장과의 협의 후 매 5년마다 「신재생에너지 기본계획을 수립」하도록 명시되어 있음

○ 제4차 신재생에너지 기본계획의 계획기간은 2014년~2035년이며, 5년 주기로 수립하도록 되어 있으며, 신재생에너지 정책심의회에서 다음과 같은 비전 및 목표, 주요추진과제를 선정함

- '35년까지 1차 에너지의 11.0%를 신재생에너지로 공급하고 '14년~'35년 기간 중 신재생에너지 연평균 증가율은 6.2%, '35년에는 전체 전력량 중 13.4%를 신재생에너지로 공급 계획을 수립함
- 이를 위해 6대 정책방향(수요자 맞춤형 정책, 시장친화적 운영, 해외진출 확대, 새로운 신재생 시장창출, R&D역량 강화, 제도적 지원기반 확충) 및 24개 주요추진과제를 선정함



<제4차 신재생에너지 기본계획 주요 정책 방향>

○ 본 사업에서 개발하고자 하는 에너지 자립형 도로기술은 해당 계획의 6대 정책 방향 중 '새로운 신재생에너지 시장창출' 의 '신규에너지원 발굴' 과제와, 'R&D 역량 강화' 정책방향의 '미래선도 기술선점' 주요 추진과제와 연관성이 높은 것으로 판단됨

- '새로운 신재생 시장창출' 내의 '신규 에너지원 발굴'은 활용 가능한 신규에너지원을 발굴하는 기술로 도로의 차량이동으로 발생하는 압전에너지 개발기술과 관련이 있을 수 있으며, 본 사업에서 추구하는 기술범위와 일치 함
- 'R&D역량 강화' 내의 '미래선도 기술선점'은 미래를 선도하는 융복합형 기술로 미래 선도형 자립형 도로기술로서 본 사업에서 추구하는 기술범위에 해당되는 것으로 보임

○ 이상을 종합하면, 「제4차 신재생에너지 기본계획」의 6대 정책방향 중 '새로운 신재생 시장창출 확충' 내 '신규 에너지원 발굴'과 'R&D역량 강화' 내 '미래선도 기술선점' 주요추진과제는 동 사업 관련기술과 연관성이 있어 부합도는 '높음'으로 판단됨

2. 사업 추진체계 및 추진의지

가. 사업 추진체계

○ 사업 추진체제 평가항목은 법·제도적인 관점에서 정책적 목표 달성을 위한 사업 수행체계와 절차의 적절성, 그리고 사업 운영방안의 효율성 등을 분석함

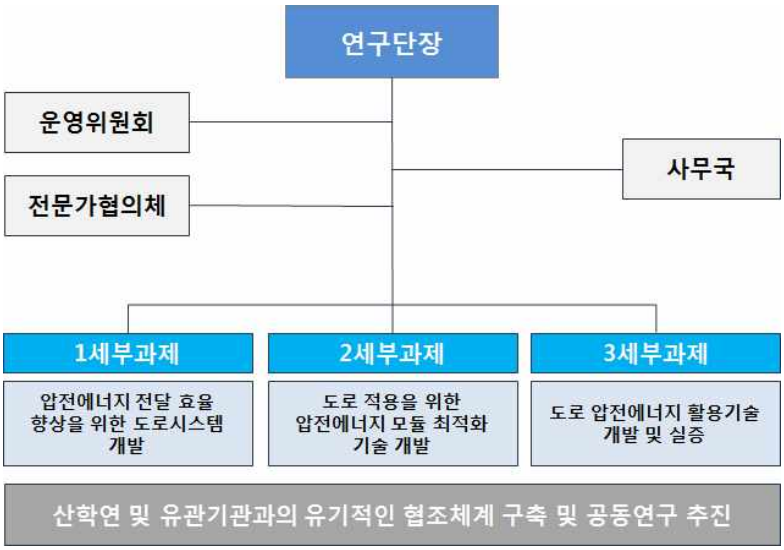
○ 동 사업은 '압전에너지 하베스터 최적화를 통한 에너지 자립형 스마트 도로시스템 개발 및 실증' 목표를 달성하기 위해 3개의 중점추진 분야와 9개의 핵심

과제를 도출하고 총 사업비는 약 250억원 (정부출연금 기준) 규모로 사업 특성을 고려하여 연구단 형태로 추진하는 것이 타당할 것으로 판단됨

- 본 사업의 연구비는 약 250억 원 규모로 국토교통과학기술진흥원의 연구수행 형태 구분 중 정부출연금 기준의 연구단 연구수행 형태구분[1]에 만족함

○ 본 계획에서 다음과 같은 추진체계를 제안함

- 연구단은 연구단장, 운영위원회, 행정지원조직, 전문가협의체, 세부과제를 구성하고, 연구단장에게 집행 및 전산에 대한 권한과 책임을 부여하고, 주관부처 전문기관은 단일예산 관리에 대한 행정을 지원 계획을 수립이 필요할 것으로 판단됨



<본 사업의 연구단 체계(안)>

<사업 추진체계 내 주체별 역할 분담>

구분	2026년
연구단장	프로젝트를 총괄관리하며, 세부과제기획, 재원배분, 과제평가, 성과 및 조직관리, 국제협력 등을 수행
사무국 (행정지원조직)	과제 공고, 선정, 협약, 평가관리, 성과활용 등 프로젝트 실무관리를 지원
운영위원회	과제 공고, 선정, 협약, 평가관리, 성과활용 등 프로젝트 실무관리를 지원
전문가협의체	국토교통부 등 관련 부처 및 관련 전문가가 참여하여 의견을 수렴, 조정하고, 주관-협력 부처 간 협력체계를 유지
세부과제	연구단장 주도로 프로젝트 관련 연구개발(R&D)을 수행하고, 사업화·실증 등을 추진하는 프로젝트팀을 구성

1) 연구단 규모 : 50억원 이상~300억원 미만

나. 사업 추진의지 및 선호도

○ 사업 추진의지 항목은 사업 추진체계 상에 명시된 참여 예정 주체들의 사업에 대한 의지와 사업으로 인해 영향을 받는 이해관계자들의 선호도를 분석 평가함

○ 동 사업은 '제3차 국가과학기술계획', '제4차 신재생에너지 기본계획' 국가 정책과 부합하고 현재까지 주관부처인 국토교통부, 국토교통과학기술진흥원의 평가 및 조사에 대한 적극적인 대응수준을 고려하면 본 사업에 대한 주관부처의 추진의지는 높은 것으로 판단됨

○ 또한, 기획단계에서 본 사업의 세부과제별 연구주체(기관)이 구체적으로 제시할 수는 없지만 산학, 산연, 학연, 산학연 등 공동연구로 추진이 필요할 것으로 판단됨

3. 사업 추진상의 위험요인

가. 재원조달 가능성

○ 재원조달 가능성은 사업 추진을 위한 재원의 투입과 재원으로 인한 사업 추진의 지연의 위험요인을 검토함

- 연구개발사업 추진을 위한 재원으로는 중앙정부가 제공하는 국비를 중심으로 분석함하고, 동 사업의 총사업비는 19,800백만 원으로 설정함

<동 사업의 연차별 연구개발 투자계획>

(단위 : 백만원)

구분	세부과제명	1차 년도	2차 년도	3차 년도	4차 년도	5차 년도	총 연구비
1세부	압전에너지 전달 효율 향상을 위한 도로시스템 개발	1,250	1,552	1,103	1,443	718	6,067
2세부	도로 적용을 위한 압전에너지 모듈 최적화 기술 개발	1,241	1,462	1,534	1,312	142	5,692
3세부	도로 압전에너지 활용기술 개발 및 실증	445	1,209	1,071	2,854	2,461	8,041
합계		**2,937**	**4,224**	**3,708**	**5,610**	**3,322**	**19,800**

○ 본 사업의 정부재원은 국가재정운용계획을 고려 시 재원 조달가능성에 대한 위험요인은 낮을 것으로 분석됨

- 2016~2020년 국가중기재정운용계획[2]을 살펴보면 재량지출 구조조정을 통해 한정된 자원을 효율적으로 배분하고 유사·중복사업 통폐합으로 재정낭비 소지 제거를 기본방향으로 설정함
- 재정지출은 '16년부터 '20년까지 연평균증가율 3.5% 증가하여 '16년 386.4조

2) 기획재정부, '2016~202년 국가재정운용계획' 2016.8

원에서 '20년에는 443.0조원 증가할 계획이며, 투자 중점사업으로 우리 경제의 새로운 '미래성장동력 창출'을 위한 '미래성장동력산업 육성' 투자할 계획임

<미래성장동력산업 육성 세부내용>

구분	세부과제명
미래 성장동력사업 육성	• 범부처 합동 수행이 필요한 9개 R&D 프로젝트를 추진하여 미래대비 국가 전략기술 확보(+300억원)
	• 신성장·고부가가치 창출을 위해 지역전략산업('17~'19년간 총 3.1, 국비 1.7조원)에 집중 투자
	• 스마트공장을 확산(1,245→1,750개)하고 고위험 신약개발 R&D 투자 확대(2,154→2,471억원)
	• 연료전지 등 청정에너지 분야 지원을 강화(4,536→5,844억원)하고 농수산업 6차 산업화 촉진을 통한 부가가치 창출 지원(255→310억원)

- 12개 분야의 '16년부터 '20년까지의 분야별 재원배분은 R&D분야에 '20년까지 20.2조원 투자할 계획임

<2016~2020년 분야별 재원배분 계획>

구 분	'16	'17	'18	'19	'20	'16~'20 연평균
총 지 출	386.4 *(2.9)*	400.7 *(3.7)*	414.3 *(3.4)*	428.4 *(3.4)*	443.0 *(3.4)*	3.5
1. 보건・복지・고용	123.4	130.0	135.8	141.6	147.7	4.6
2. 교육	53.2	56.4	58.8	61.0	63.4	4.5
3. 문화・체육・관광	6.6	7.1	8.1	8.4	8.6	6.8
4. 환경	6.9	6.9	6.8	6.7	6.7	△0.6
5. R&D	19.1	19.4	19.7	19.9	20.2	1.5
6. 산업・중소기업 ・에너지	16.3	15.9	15.7	15.4	15.2	△1.7
7. SOC	23.7	21.8	20.3	19.3	18.5	△6.0
8. 농림・수산・식품	19.4	19.5	19.4	19.3	19.3	△0.2
9. 국방	38.8	40.3	41.8	43.2	44.7	3.6
10. 외교・통일	4.7	4.6	4.7	4.9	5.0	1.7
11. 공공질서・안전	17.5	18.0	18.7	19.4	20.1	3.5
12. 일반・지방행정	59.5	63.9	66.9	69.6	73.5	5.4

- 현재 국내 R&D 분야는 세계적인 수준의 투자비중(GDP 대비)을 유지해 왔고 이제 외연확대보다는 내실화를 기할 시점이라는 지적 등을 반영하여 2015~2019년 연평균 1.7%에서 2016~2020년 연평균 1.5%로 소폭 감소함
- 그러나, 미래를 대비한 투자임을 감안하여 선택과 집중을 통해 신재생에너지 등 유망분야에 대한 투자를 강화하고 주력산업의 고부가가치화 등을 통해 신성장동력 창출에 집중할 계획을 밝힘

3절. 경제적 타당성

1. 경제성 분석

가. 경제성 분석 방법

○ 비용/편익 분석(Benefit/Cost Analysis)

- B/C ratio는 분석 대상에 비용규모 대비 혜택규모의 비율로 1보다 높으면 경제성이 높은 것으로 판단할 수 있음

○ 분석대상

- "압전하베스트를 이용한 메가와트급 에너지 자립형 도로기술"의 도로부문에서의 '전력사용'과 '탄소발생의 대체(절감)' 시장에 대해 분석하였으며, 총괄적인 비용/혜택 분석 결과를 도출함

○ 편익범위

- 본 연구단의 기술개발에 의한 편익은 미래 시장규모 추정이 가능한 시장재화에 대한 추가 창출 부가가치 증대이므로 시장접근법을 사용함
- 동 연구단의 연구기간을 2019년~2023년으로 가정하고, 실용화 기간을 2~3년으로 볼 때 본 연구단의 결과물이 시장에 반영되는 시기는 2026년 이후라 볼 수 있음

► 편익발생은 2026년~2035년(10년간) 시장을 예측하여 반영하였음

○ 비용의 설정

- 각 세부과제의 향후 5년간 예산(안)으로 정부출연금액으로 산정함

○ Benefit 산출을 위한 요소

- R&D에 의한 부가가치의 증대를 환산하기 위하여, 추가창출시장규모, 부가가치비중, 시장점유율, 기술기여도, 기술개발성공률, R&D기여도, 할인율 고려함

Benefit = (국내시장규모×시장점유율×기술성공률×기술기여도)×(부가가치비중×R&D기여도)

(연구개발사업 추진으로 인한 추가창출 생산액 기댓값) *(부가가치창출비율)*

► 추가창출시장규모 : 기술개발과제 추진을 통한 연구결과물이 파급되는 산업의 시장 규모

► 시장 점유율 : 해당 산업의 관련 국내 시장에서의 점유비율

► 기술개발성공률 : 2010년 산업기술연구회 등에 대한 국정감사 결과에 의하면 정부 연구개발(R&D)성과의 사업화 성공률이 30% 수준으로 조사되었으며, 이를 준용하여 적용함

► 부가가치 비중 : 부가가치 비중은 한국은행의 2009년 산업연관표를 기준으로 건설업종의 40.1%를 적용함

► R&D 기여도 : 본 연구 과제를 통해 달성된 기술 개선 비중[3)]

► 기술기여도 : 제품/공법에서 기술이 차지하는 비중[4)]

► 할인율 : 할인율은 KDI 일반지침(2007) 5.5%를 적용함

나. 압전하베스터를 이용한 에너지 자립형 도로기술 직접편익(경제적 편익)

○ 에너지 자립형 도로기술의 경제적 가치창출

- 국내 압전에너지 하베스팅시장의 에너지 자립형 도로기술 적용 시 시장매출편익

► ① 기술 도입을 통한 도로가로등 운영에 필요한 전력사용 대체 매출편익

► ② 기술 도입을 통한 도로가로등 운영 시 발생하는 탄소발생절감 매출편익

다. 압전하베스터를 이용한 에너지 자립형 도로기술 시장동향

○ 국내 도로부문 가로등 전력 시장동향

- (a) 2016년 도로업무편람에 따르면, 우리나라의 도로건설*은 2000년 88.7백만m에서 2015년 107.5백만m로 연평균 1.28% 증가한 것으로 조사되며, 연평균증가율을 적용하여 2026년부터 2035년까지 도로건설 총연장을 추정함

* 도로건설은 고속국도, 일반국도, 특별·광역시도, 지방도, 시·군도 도로 연장의 합계임

- (b) 국내 도로에 설치된 가로등은 일반도로의 경우 25m 간격으로 설치되고 이 중 실제 설치된 가로등 비율 20%를 적용하여 2026년부터 2035년까지의

3) KISTEP에서 작성된 "09 R&D분야 예비타당성 조사 수행을 위한 지침연구"의 R&D사업의 효과분석 사례에서는 R&D기여도를 10.9% 혹은 30.6%로 적용하였음. 본 분석에서는 10.9% 적용함

4) 기술가치 평가과정에서 기술기여도 적용방법은 전문가의 주관적 판단에 의하거나 관행적으로 적용하는 방법이 있음. 전문가 판단법의 일종인 AHP를 적용하여 기술기여도를 산정한 이영찬(2006)의 연구에서는 사업가치 구성요소를 기술자산, 시장자산, 인적자산으로 구분하고 이중 기술자산의 상대적 중요도(기술기여도)를 29.7%로 산출한 바 있음. 기술기여도를 일률적으로 적용하는 방법은 일반적으로 33%나 25%를 적용함. 본 분석에서는 25%적용함

가로등 설치 개수를 도출함

- (c) 2011년 기준*, 전국에 설치된 가로등 수는 2.7백만, 연간 사용 전력은 2,790백만kwh이며, 가로등 1개 당 연간 1,033kwh 전력을 사용하는 것으로 분석됨

* 에너지관리공단 보도자료(2011.12.5.)

- (d) 한국전력공사의 가로등 전력*의 전기요금 기준은 기본요금(원/kw) 6,290원, 전력량 요금(원/kwh) 85.9원으로 구분되며, 여기서는 1kwh당 전기요금을 적용하여, 가로등 1개 당 연간 전기요금은 88,763원으로 도출됨

* 일반 공중의 편익을 위하여 도로·교량,·공원 등에 조명용으로 설치한 전등이나, 교통 신호등·도로표시등·해공로 표시등 및 기타 이에 준하는 전등(소형기기를 포함)에 적용하는 전기요금

<국내 도로부문 가로등 전력 시장규모>

구분	2026년	2027년	2028년	2029년	2030년	2031년	2032년	2033년	2034년	2035년
(a) 도로건설 총연장 (백만m)	123.8	125.3	127.0	128.6	130.2	131.9	133.6	135.3	137.1	138.8
(b) 도로건설 가로등 설치 수 (천)	990	1,003	1,016	1,029	1,042	1,055	1,069	1,083	1,097	1,111
(c) 가로등 1개당 연간 전력 사용량(kwh)	1,033	1,033	1,033	1,033	1,033	1,033	1,033	1,033	1,033	1,033
(d) 가로등 1개당 연간 전기요금(원)	88,763	88,763	88,763	88,763	88,763	88,763	88,763	88,763	88,763	88,763
(e=b*c*d) 가로등 연간 총 전기요금(억원)	879	890	902	913	925	937	949	961	973	986

○ 국내 도로부문 가로등 탄소발생 시장동향

- (f) (b) 도로건설 가로등 설치 수, (c) 가로등 1개당 연간 전력 사용량을 곱하여 '가로등 연간 총 전력 사용량'을 도출함

- (g) 1kwh 당 CO_2 발생량은 0.424tCO_2* 값 적용

* 한국전력광사 CO_2 배출계산기 결과 값 적용(2017. 5월 기준)

- (h) (f) 가로등 연간 총 전력사용량, (g) 1kwh 전력 당 CO2 발생량을 곱하여 '가로등 탄소발생 양'을 도출함

- (i) 2011년, 전 세계 1t 당 탄소거래금액(17.25US$)*과 한국은행의 2017년 원/달러 환율 평균(1,147.64원)을 곱하여 '탄소 1톤 당 탄소거래금액(19,802원)' 도출함

* 2011년, 전세계 탄소거래량 10,200,000,000(MtCO2), 탄소거래금액176,000,000,000(MUS$)을 고려하여 1t 당 탄소거래금액 17.25US$를 도출함

<국내 도로부문 가로등 탄소발생 시장동향>

구분	2026년	2027년	2028년	2029년	2030년	2031년	2032년	2033년	2034년	2035년
(a) 도로건설 총연장 (백만m)	123.8	125.3	127.0	128.6	130.2	131.9	133.6	135.3	137.1	138.8
(b) 도로건설 가로등 설치 수(천)	990	1,003	1,016	1,029	1,042	1,055	1,069	1,083	1,097	1,111
(c) 가로등 1개당 연간 전력 사용량(kwh)	1,033	1,033	1,033	1,033	1,033	1,033	1,033	1,033	1,033	1,033
(f=b*c) 가로등 연간 총 전력사용량(kwh)	1,023	1,036	1,049	1,063	1,077	1,090	1,105	1,119	1,133	1,148
(g) 1kwh 전략 당 CO_2 발생량 (톤)	0.424	0.424	0.424	0.424	0.424	0.424	0.424	0.424	0.424	0.424
(h=f*g) 가로등 탄소발생 양 (백만 톤)	434	439	445	451	456	462	468	474	480	487
(i) 탄소 1톤 당 탄소거래금액	19,802	19,802	19,802	19,802	19,802	19,802	19,802	19,802	19,802	19,802
(j=h*i) 탄소발생 거래금액(억원)	85,894	86,998	88,117	89,250	90,397	91,560	92,737	93,929	95,137	96,360

라. 경제성 분석 결과

○ 직접편익 분석결과, 2017년 기준 현재가치는 67,362억원으로 분석됨

- 국내 도로부문 가로등 전력시장에 연구단이 개발한 압전하베스터를 이용한 메가와트급 에너지 자립형 도로기술을 적용 시 전력비용 절감 편익은 '17년 현재가치로 환산하면 682억원으로 추정됨

<국내 도로부문 가로등 전력 시장 기술 적용 시 전력비용 매출 편익>

구분	2026년	2027년	2028년	2029년	2030년	2031년	2032년	2033년	2034년	2035년
국내 도로부문 가로등 전력시장 (억원)	879	890	902	913	925	937	949	961	973	986
시장점유율	5.0%	8.0%	10.0%	13.0%	15.0%	18.0%	20.0%	23.0%	25.0%	30.0%
2017년 기준 현재가치(억원)	(연도별 시장규모 * 시장점유율)의 현재가치 = 682									

- 국내 도로부문 가로등 탄소발생 거래시장에 연구단이 개발한 압전하베스터를 이용한 메가와트급 에너지 자립형 도로기술을 적용 시 시장 매출편익은 '17년 현재가치로 환산하면 66,680억 원으로 추정됨

<국내 도로부문 가로등 탄소발생 거래시장 기술 적용 시 매출편익>

구분	2026년	2027년	2028년	2029년	2030년	2031년	2032년	2033년	2034년	2035년
국내 도로부문 가로등 탄소발생 거래시장(억원)	85,894	86,998	88,117	89,250	90,397	91,560	92,737	93,929	95,137	96,360
시장점유율	5.0%	8.0%	10.0%	13.0%	15.0%	18.0%	20.0%	23.0%	25.0%	30.0%
2017년 기준 현재가치(억원)	(연도별 시장규모 * 시장점유율)의 현재가치 = 66,680									

○ 압전하베스터를 이용한 메가와트급 에너지 자립형 도로기술 적용 시 2017년 기준 현재가치는 67,362억 원이 발생할 것으로 분석됨

<압전하베스터를 이용한 메가와트급 에너지 자립형 도로기술 적용 시 직접편익(경제적 가치)>

항 목	직접편익(억원)
국내 도로부문 가로등 전력시장 기술 적용 시 전력비용 절감 편익	682
국내 도로부문 가로등 탄소발생 거래시장 기술 적용 시 매출편익	66,680
합계	**67,362**

○ 세부과제별로 적용 시장을 구분하여 시장재화에 대한 추가 창출 부가가치와 R&D 예산을 산정하고, 이를 취합하여 연구단 전체 B/C ratio를 산정함

○ 시장재화에 대한 추가 창출 부가가치와 R&D 예산을 고려한, 동 연구단의 경제성 분석 결과는 B/C ratio가 1.38 로 나타나, 본 사업의 경제성 측면에서 긍정적으로 판단됨

○ 연도별 시장재화에 대한 추가 창출 부가가치 및 R&D 예산을 고려한 금액 및 B/C ratio 산출식의 산정 결과는 다음과 같음

- 편익 = 시장규모의 현재가치(67,362억원) × 시장점유율 × 기술개발성공률(30%) × 부가가치 비중(40.1%) × R&D기여도(10.9%) × 기술기여도(25%)
- 비용 = 연도별 소요 예산의 현재가치
- 편익/비용 = **1.38**

2. 태양광 발전과 압전 발전의 장래 경제성 분석

가. 태양광 발전

○ 태양전지(Solar Cell) 제조기술은 태양전지 종류에 따라 실리콘 태양전지와 화합물반도체 태양전지 등으로 크게 분류할 수 있으며, 현재 상용화되어 시판되고 있는 태양전지는 단결정 및 다결정 실리콘 태양전지, 비정질 실리콘 태양전지 등으로 구분할 수 있음

○ 태양전지 에너지 변환효율의 경우 단결정과 다결정 실리콘 태양전지는 약 17~20% 이상, 비정질 실리콘 태양전지는 약 10% 초반 정도임

○ 태양전지 제조기술 개발은 주로 신뢰성 및 에너지 변환효율 향상, 저가화에 주요 포인트를 두고 기술개발을 추진하고 있으며, 태양광발전시스템 단가의 약 30% 이상을 차지하고 있어 태양전지의 저가화는 태양광발전의 핵심기술이라고 할 수 있음

○ 다양한 태양전지 중에서 현재 태양광발전용으로 널리 사용되고 있는 태양전지는 기판형 결정질 실리콘계 태양전지이며, 비정질규소 태양전지와 같은 박막형 태양전지는 상용화 개발단계에 있으며, 아직까지 내구성 및 신뢰성이 확보되지 않아 많이 사용되지 못하고 있는 실정임

나. 태양광 발전에 대한 경제성 분석

○ 현재 국내 태양광 발전시스템은 RPS 제도에 따라 주요 사업이 진행되고 있음

- RPS란 신재생에너지 공급의무화 제도이며, 태양광을 포함한 모든 신재생에너지를 대상으로 이루어짐
- 일정 규모 이상의 발전설비를 보유한 발전사업자에게 총 발전량의 일정비율 이상을 신재생 에너지로 공급하도록 의무화하는 제도로 한국전력을 비롯한 50만kW 이상의 민간발전소 사업자들이 태양광을 중심으로 신재생에너지 사업자들이 생산한 전력을 일정 기간동안 의무구매 하도록 한 정책임
- 한전이 20년 동안 의무로 구입해야하는 RPS거래 단가인 SMP는 약 80-90원대 이며 일반 발전사업자가 20년동안 의무로 구입해야 하는 REC 단가는 150원대 임

○ 현재 토지 비용을 제외한 순수 100kW의 태양광 설치비용은 kW 당 280만원 전후 수준(국내 S 태양광 업체 문의 정보)으로 파악되나, 태양 전지의 종류 및 생산지에 따라 가격 변동 폭은 큰 것으로 알려짐

다. 압전 발전에 대한 장래 경제성 분석

○ 압전에너지 하베스터를 이용한 대용량 발전 시나리오에 따른 장래 발전량 추정치 및 설치 비용은 다음과 같음

- 압전에너지 하베스터 설치 면적은 가로 50cm, 세로 20cm로 가정함
- 5년 후 압전에너지 하베스터 발전량 추정치는 28 Ws/Vw 급으로 고속도로 일일평균 교통량(AADT) : 20,015대 가정 조건을 적용 시 일일 발전량은 약 312 Wh/day로 추정
- 압전에너지 하베스터 도로설치는 본 기획에서 제안한 간접전달 방식을 적용하며, 포장체로부터 에너지를 전달하는 효율 및 직접시공비는 포함하지 않은 설치비용은 약 4,000,000/EA로 추정함 (현재 압전에너지 하베스터를 생산하고 있는 중소기업을 통해 예상 단가를 추정 받음)

라. 태양광 발전과 압전 발전의 장래 경제성 분석

○ 태양광 발전의 경우 설치면적, 설치각도, 일일 평균 발전 시간 등 다양한 조건에 따라 발전효율이 달라지며, 압전 발전의 경우도, 압전에너지 하베스터의 설치 위치, 통과하는 일일평균 교통량 등에 따라 발전효율의 차이가 발생 함

○ 태양광 발전과 압전 발전의 발전방식 및 조건이 상이하여, 직접 비교는 어려우며, 상용화 측면에서 발전량(Wh) 대비 시공비 측면을 단순 비교 검토해 보았을 경우, 태양광 발전에 압전에너지 발전에 비해 시공비 대비 발전량 측면에서 4.5 배 정도 효율이 높을 것으로 평가됨

	태양광 발전	압전 발전(5년후)	비고
설치면적	6 m2	0.1 m2	
태양광 발전량	1,000 Wh	312 Wh	
발전조건	3.5 hr 평균 일조	수정 AADT 20,015	
시공비(추정치)	2,868,000 원	4,000,000 원	태양광 발전 : 토지비용 제외 압전 발전 : 도로설치비 제외
시공비/발전량	2,868 원/Wh	12,821 원/Wh	4.5 (압전/태양광)

○ 추후 압전에너지 발전 효율 향상을 통해 태양광 발전과 시공비 대비 발전량 측면의 차이는 지속적으로 극복해 경제성을 확보할 필요가 있음

3. 기대효과

○ 대용량 발전이 가능한 압전에너지 도로기술이 개발될 경우 새로운 신재생에너지 영역의 개발이 가능함

- 신재생에너지는 "신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급촉진법'에 따라 기존

의 화석연료를 변환시켜 이용하거나 수소, 산소 등의 화학 반응을 통하여 전기 또는 열을 이용하는 '신에너지'와 햇빛, 물, 지열, 강수, 생물유기체 등을 포함하는 재생가능한 에너지를 변환시켜 이용하는 '재생에너지'로 정의할 수 있음

- 그 동안 압전 에너지 하베스터는 체내 삽입 자가 발전 수준인 나노(Nano, μW) 스케일 발전, 웨어러블 디바이스나 무선 센서에 전력 공급 가능한 마이크로(Micro, mW) 스케일 발전이 전부였으나, ㈜amc가 원천기술을 보유하고 있으며 새롭게 제안한 차량의 진동 에너지와 자력을 이용한 대용량 발전(W급)이 가능하다면 이는 새로운 개념의 신재생 에너지원의 발굴로 그 가치는 아주 높을 것으로 예상 됨

○ 특히, 새 정부의 신재생 에너지 정책에 적극 부흥하며, 단순히 이동의 수단인 도로에서 에너지를 생산할 수 있는 도로로 패러다임 전환(paradigm shift)이 가능함

- 파리 기후변화 협약으로 우리나라는 2030년 온실가스 배출 전망치 대비 37% 감축을 결정하였음
- 새 정부의 탈원전 정책 및 현재 전체 전력 생산량의 1.1 %에 불과한 신재생에너지 전력 생산량을 2030년까지 20%까지 끌어올리겠다는(YTN Science, 17-05-12) 정부 정책에 적극 부흥 필요
- 대표적인 사회간접자본인 도로가 이동의 기본기능뿐만 아니라 부가적으로 에너지를 생산할 수 있다는 새로운 패러다임 제시가 가능하다면, 그 파급력은 무궁무진할 것으로 판단 됨

○ 대용량 발전 실용화가 진행되면 발전 단계별로 1) 순간 전력을 이용한 스마트 미래 도로 인프라 연계형 기술(발광 차선, 도로 교통량 모니터링 압전 센서 등), 2) 저전력을 이용한 도로 인프라 안전시설 연계형 기술(30W급 저전력 낮은 폴 도로 조명 및 노면 결빙 방지 시스템 등)은 직접 적용 가능하며, 추후 3) 중전력을 이용한 일반도로 조명시설 연계형 기술(100W급 LED조명 및 교통정보 제공시설 등), 최종적으로 4) 상용 전원 대체를 통한 에너지 자립형 도로안전시설 연계형 기술(졸음 쉼터, 터널, 톨게이트 시설 등)로 적용분야를 확대할 수 있음

○ 장기적으로는 한국도로공사가 도로 전기 시설로 소비하는 전력 규모는 연간 300억 원 규모이며, 전국 가로등 전력 소비 시장(약 270만 개)은 약 2500억 원 규모로, 도로 압전 발전을 통해 5% 대체 시 약 125억 원 규모의 신 재생에너지 시장이 확보될 것으로 추정 함

○ 압전도로기술의 발전 단계에 따라 적용범위는 고속도로/국도/지방도 및 인도로 확대적용 가능하며, 단순한 이동의 도로에서 에너지 생산도로로 패러다임이 전환됨에 따른 새로운 시장형성 및 지속적 일자리 창출이 가능함

5장. 인력투입 및 소요예산 산정

1절. 인력투입계획

1. 연차별 투입 연구인력

(단위 : 명)

세부과제		1차년	2차년	3차년	4차년	5차년	합계
총괄		143	183	172	222	153	873
1세부	1-1	25	19	12	27	18	101
	1-2	26	19	12	30	17	104
	1-3	14	29	28	2	0	73
	소계	65	67	52	59	35	278
2세부	2-1	34	28	29	23	2	116
	2-2	9	20	18	13	3	63
	2-3	6	9	16	16	2	49
	소계	49	57	63	52	7	228
3세부	3-1	5	18	10	8	19	60
	3-2	8	27	23	23	25	106
	3-3	16	14	24	80	67	201
	소계	29	59	57	111	111	367

2. 상세 투입 연구인력

가. 1세부 - 압전에너지 전달 효율 향상을 위한 도로시스템 개발

○ 1-1세세부 – 진동에너지 직접전달 방식을 통한 노출식 압전 도로 기술 개발

분류	총 개발인력(명)						비고
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계	
책임연구원 (교수급)	3	2	2	3	3	13	
연구원	9	7	3	10	4	34	
연구보조원	8	6	4	10	5	33	
보조원	5	4	2	4	6	21	
합계	25	19	12	27	18	101	

○ 1-2세세부 – 진동에너지 간접전달 방식을 통한 비접촉식 압전 도로 기술 개발

분류	총 개발인력(명)						비고
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계	
책임연구원 (교수급)	2	2	2	4	2	12	
연구원	9	8	5	10	6	38	
연구보조원	9	5	2	8	5	29	
보조원	6	4	3	8	4	25	
합계	26	19	12	30	17	104	

○ 1-3세세부 – 단계별 압전에너지 모듈 성능 및 공용성 평가 기술 개발

분류	총 개발인력(명)						비고
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계	
책임연구원 (교수급)	2	5	5	1	0	13	
연구원	4	12	6	1	0	23	
연구보조원	5	8	9	0	0	22	
보조원	3	4	8	0	0	15	
합계	14	29	28	2	0	73	

나. 2세부 - 도로 적용을 위한 압전에너지 모듈 최적화 기술 개발

○ 2-1세세부 – 도로에너지 전달 방식을 고려한 압전에너지 모듈 구조 최적화 기술 개발

분류	총 개발인력(명)						비고
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계	
책임연구원 (교수급)	6	6	6	4	1	23	
연구원	10	9	6	7	1	33	
연구보조원	9	6	8	5	0	28	
보조원	9	7	9	7	0	32	
합계	34	28	29	23	2	116	

○ 2-2세세부 – 스마트 도로시스템 구축을 위한 전력에너지 공급 기술 개발

분류	총 개발인력(명)						비고
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계	
책임연구원 (교수급)	2	3	3	4	1	13	
연구원	3	5	6	3	1	18	
연구보조원	4	5	5	4	0	18	
보조원	0	7	4	2	1	14	
합계	9	20	18	13	3	63	

○ 2-3세세부 – 도로 운영 환경을 고려한 압전하베스터 내구성 확보기술 개발

분류	총 개발인력(명)						비고
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계	
책임연구원 (교수급)	1	3	2	2	1	9	
연구원	3	3	7	7	1	21	
연구보조원	1	2	5	6	0	14	
보조원	1	1	2	1	0	5	
합계	6	9	16	16	2	49	

다. 3세부 – 도로 압전에너지 활용 기술 개발 및 실증

○ 3-1세세부 – 스마트 발광차선 운영을 위한 압전에너지하베스터 활용 기술 개발

분류	총 개발인력(명)						비고
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계	
책임연구원 (교수급)	1	4	2	2	2	11	
연구원	2	4	3	2	4	15	
연구보조원	2	4	2	2	7	17	
보조원	0	6	3	2	6	17	
합계	5	18	10	8	19	60	

○ 3-2세세부 – 발전 단계별 에너지 독립형 도로시설물을 위한 압전에너지 하베스터 활용기술 개발

분류	총 개발인력(명)						비고
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계	
책임연구원 (교수급)	1	2	2	1	3	9	
연구원	2	8	4	4	6	24	
연구보조원	2	8	8	9	7	34	
보조원	3	9	9	9	9	39	
합계	8	27	23	23	25	106	

○ 3-3세세부 - 에너지 자립형 스마트 도로시스템 효과 검증 및 실증

분류	총 개발인력(명)						비고
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계	
책임연구원 (교수급)	1	2	2	10	10	25	
연구원	2	4	5	20	15	46	
연구보조원	5	3	8	25	22	63	
보조원	8	5	9	25	20	67	
합계	16	14	24	80	67	201	

2절. 소요예산 산정

1. 총괄 소요예산

(단위 : 백만원)

과제	1차년		2차년		3차년		4차년		5차년(max)		합계	
	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간
연구단 총괄	2,937	983	4,224	1,412	3,708	1,240	5,610	1,875	3,322	1,109	19,800	6,619
1세부	1,250	418	1,552	519	1,103	369	1,443	482	718	239	6,067	2,027
1-1	509	170	392	131	254	85	696	232	365	122	2,215	740
1-2	468	156	401	134	254	85	696	232	365	122	2,183	729
1-3	274	92	759	254	596	199	52	18	-	-	1,669	558
2세부	1,241	415	1,462	489	1,534	513	1,312	440	142	48	5,692	1,905
2-1	838	280	725	242	670	224	546	183	20	7	2,801	936
2-2	253	85	439	147	449	150	351	118	77	26	1,570	526
2-3	149	50	297	100	415	139	415	139	45	15	1,322	443
3세부	445	150	1,209	404	1,071	358	2,854	953	2,461	822	8,041	2,689
3-1	95	32	421	141	240	80	165	56	330	110	1,251	419
3-2	122	41	492	164	345	116	314	105	446	149	1,719	575
3-3	228	77	296	99	486	162	2,375	792	1,686	563	5,071	1,693

2. 예산항목별 소요예산

가. 1세부 - 압전에너지 전달 효율 향상을 위한 도로시스템 개발

○ 1-1세세부 – 진동에너지 직접전달 방식을 통한 노출식 압전 도로 기술 개발

(단위 : 백만원)

예산 항목	세부 항목	구분						소계	비율 (%)
		단가 (연봉)	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도		
			인원×참여율/100	인원×참여율/100	인원×참여율/100	인원×참여율/100	인원×참여율/100		
인건비	책임연구원	74.6	106	65	70	106	108	455	15.45%
	연구원	57.2	240	191	104	272	110	917	31.12%
	연구보조원	38.3	109	82	54	137	70	452	15.34%
	보조원	28.7	23	21	9	20	33	107	3.63%
소계			479	359	237	536	321	1,931	65.55%
직접비	연구장비/재료비		-	20	10	200	40	270	9.16%
	연구활동비		36	20	11	1	7	75	2.54%
	연구수당		95	71	47	98	64	376	12.75%
소계			132	111	68	299	111	720	24.45%
간접비			68	52	34	93	48	295	10.00%
합계			679	522	338	928	479	2,946	100%

○ 1-2세세부 – 진동에너지 간접전달 방식을 통한 비접촉식 압전 도로 기술 개발

(단위 : 백만원)

예산 항목	세부 항목	구분						소계	비율 (%)
		단가 (연봉)	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도		
			인원×참여율/100	인원×참여율/100	인원×참여율/100	인원×참여율/100	인원×참여율/100		
인건비	책임연구원	74.65	65	70	65	139	68	407	14.02%
	연구원	57.24	230	200	128	267	160	984	33.89%
	연구보조원	38.26	115	64	26	109	68	383	13.19%
	보조원	28.70	30	28	18	21	24	121	4.18%
소계			441	362	237	536	321	1,896	65.28%
직접비	연구장비/재료비		-	30	10	200	40	280	9.64%
	연구활동비		33	18	11	1	7	69	2.38%
	연구수당		88	72	47	98	64	369	12.70%
소계			120	120	68	299	111	718	24.72%
간접비			62	54	34	93	48	290	10.00%
합계			624	535	338	928	479	2,904	100%

○ 1-3세세부 – 단계별 압전에너지 모듈 성능 및 공용성 평가 기술 개발

(단위 : 백만원)

예산 항목	세부 항목	구분						소계	비율 (%)
		단가 (연봉)	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도		
			인원×참여율/100	인원×참여율/100	인원×참여율/100	인원×참여율/100	인원×참여율/100		
인건비	책임연구원	74.65	65	174	163	33	-	435	19.37%
	연구원	57.24	102	327	163	23	-	616	27.43%
	연구보조원	38.26	67	112	123	-	-	301	13.44%
	보조원	28.70	20	32	48	-	-	101	4.49%
소계			255	644	497	56	-	1,452	64.72%
직접비	연구장비/재료비		12	116	108	-	-	236	10.52%
	연구활동비		12	23	11	1	-	48	2.12%
	연구수당		51	128	99	6	-	284	12.65%
소계			74	268	218	7	-	567	25.28%
간접비			37	101	80	7	-	224	10.00%
합계			366	1,013	795	70	-	2,244	100%

나. 2세부 - 도로 적용을 위한 압전에너지 모듈 최적화 기술 개발

○ 2-1세세부 – 도로에너지 전달 방식을 고려한 압전에너지 모듈 구조 최적화 기술 개발

(단위 : 백만원)

예산 항목	세부 항목	구분						소계	비율 (%)
		단가 (연봉)	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도		
			인원×참여율/100	인원×참여율/100	인원×참여율/100	인원×참여율/100	인원×참여율/100		
인건비	책임연구원	74.65	213	215	213	130	14	786	21.03%
	연구원	57.24	275	245	162	189	12	882	23.61%
	연구보조원	38.26	123	84	112	70	-	388	10.38%
	보조원	28.70	49	40	47	38	-	174	4.65%
소계			660	584	533	427	26	2,230	59.68%
직접비	연구장비/재료비		215	165	165	150	-	695	18.60%
	연구활동비		2	6	1	1	0	10	0.25%
	연구수당		130	116	106	78	-	430	11.51%
소계			347	287	272	229	0	1,135	30.37%
간접비			112	97	89	73	1	372	9.95%
합계			1,118	967	894	729	27	3,736	100%

○ 2-2세세부 – 스마트 도로시스템 구축을 위한 전력에너지 공급 기술 개발

예산 항목	세부 항목	구분						소계	비율 (%)
		단가 (연봉)	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도		
			인원×참여율/100	인원×참여율/100	인원×참여율/100	인원×참여율/100	인원×참여율/100		
인건비	책임연구원	74.65	67	100	100	132	34	433	20.64%
	연구원	57.24	79	136	160	78	26	479	22.86%
	연구보조원	38.26	53	70	69	54	-	246	11.73%
	보조원	28.70	-	37	22	11	5	74	3.52%
소계			199	342	351	275	64	1,231	58.74%
직접비	연구장비/재료비		76	125	125	100	25	451	21.51%
	연구활동비		1	2	1	1	1	6	0.30%
	연구수당		29	59	62	46	2	198	9.45%
소계			106	186	188	147	28	655	31.26%
간접비			34	59	60	47	10	210	10.00%
합계			339	586	599	469	103	2,096	100%

○ 2-3세세부 – 도로 운영 환경을 고려한 압전하베스터 내구성 확보기술 개발

예산 항목	세부 항목	구분						소계	비율 (%)
		단가 (연봉)	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도		
			인원×참여율/100	인원×참여율/100	인원×참여율/100	인원×참여율/100	인원×참여율/100		
인건비	책임연구원	74.65	33	100	70	65	14	283	16.02%
	연구원	57.24	80	82	189	185	20	555	31.48%
	연구보조원	38.26	13	27	66	79	-	185	10.50%
	보조원	28.70	5	5	10	5	-	25	1.39%
소계			131	214	334	334	34	1,048	59.38%
직접비	연구장비/재료비		25	120	100	100	25	370	20.97%
	연구활동비		1	1	1	1	0	5	0.27%
	연구수당		22	23	63	63	-	171	9.69%
소계			48	144	164	164	25	546	30.93%
간접비			20	40	55	55	1	171	9.69%
합계			199	397	554	554	60	1,765	100%

다. 3세부 – 도로 압전에너지 활용기술 개발 및 실증

○ 3-1세세부 – 스마트 발광차선을 위한 압전에너지하베스터 활용 기술 개발

(단위 : 백만원)

예산 항목	세부 항목	구분						소계	비율 (%)
		단가 (연봉)	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도		
			인원×참여율/100	인원×참여율/100	인원×참여율/100	인원×참여율/100	인원×참여율/100		
인건비	책임연구원	74.65	33	138	67	68	67	372	20.01%
	연구원	57.24	54	183	80	80	107	504	27.12%
	연구보조원	38.26	28	68	40	27	111	274	14.75%
	보조원	28.70	-	30	16	11	32	88	4.74%
소계			115	418	202	185	316	1,237	66.62%
직접비	연구장비/재료비		-	46	58	6	46	156	8.40%
	연구활동비		2	19	2	7	9	38	2.06%
	연구수당		23	83	34	37	63	240	12.92%
소계			24	148	94	50	118	434	23.38%
간접비			15	63	33	26	48	186	10.00%
합계			155	629	329	261	483	1,857	100%

○ 3-2세세부 – 발전 단계별 에너지 독립형 도로시설을 위한 압전에너지 하베스터 활용기술 개발

(단위 : 백만원)

예산 항목	세부 항목	구분						소계	비율 (%)
		단가 (연봉)	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도		
			인원×참여율/100	인원×참여율/100	인원×참여율/100	인원×참여율/100	인원×참여율/100		
인건비	책임연구원	74.65	35	70	70	35	102	312	12.29%
	연구원	57.24	54	245	104	108	162	673	26.48%
	연구보조원	38.26	40	112	102	123	112	489	19.25%
	보조원	28.70	16	47	44	48	48	202	7.96%
소계			145	474	320	313	423	1,676	65.97%
직접비	연구장비/재료비		-	63	57	35	63	218	8.58%
	연구활동비		4	20	7	12	15	59	2.32%
	연구수당		29	94	64	62	84	333	13.13%
소계			33	178	128	109	163	610	24.03%
간접비			20	72	50	47	65	254	10.00%
합계			198	724	498	469	651	2,540	100%

○ 3-3세세부 - 에너지 자립형 스마트 도로시스템 효과 검증 및 실증

(단위 : 백만원)

예산 항목	세부 항목	구분						소계	비율 (%)
		단가 (연봉)	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도		
			인원×참여율/100	인원×참여율/100	인원×참여율/100	인원×참여율/100	인원×참여율/100		
인건비	책임연구원	74.65	35	69	68	355	355	882	13.92%
	연구원	57.24	53	109	133	548	412	1,255	19.82%
	연구보조원	38.26	68	56	109	352	309	895	14.13%
	보조원	28.70	43	27	48	128	109	355	5.60%
소계			199	261	359	1,382	1,184	3,386	53.46%
직접비	연구장비/재료비		50	60	150	1,000	550	1,810	28.58%
	연구활동비		1	1	1	1	1	5	0.08%
	연구수당		36	52	58	150	203	499	7.88%
소계			87	113	209	1,151	754	2,314	36.54%
간접비			32	42	63	281	215	633	10.00%
합계			318	416	631	2,815	2,154	6,334	100%

라. 세세부 과제 장비 및 시제품 소요 예산

○ 장비 목록(3천만원 이상)

세세부	장비명	용도	비용 (천원)
2-2	임피던스 분석기	- 압전체의 내부임피던스를 측정하여 압전체의 특성을 측정.평가하기 위한 장비 - 압전하베스터에 적합한 회로를 설계하기 위해 반드시 선행되어야 하는 내부 임피던스 측정을 가능케 하는 필수 장비	56,000
2-2	PCB 도면설계 Software	- PCB 설계를 위한 전문 소프트웨어 - 압전에너지 모듈 상용화를 위한 회로 설계에 필요	48,000

○ 시작품 목록(1천만원 이상)

세세부	시작품명	용도	비용(천원)
1-1	노출식 하베스터	도로에너지 직접 전달 방식용 노출식 하베스터 검증시험을 위한 시작품	10,000
1-2	비접촉식 하베스터	도로에너지 간접 전달 방식용 비접촉식 하베스터 검증시험을 위한 시작품	10,000
1-3	1차 시험시공	압전에너지 모듈 공용성 평가를 위한 시험시공	50,000
	2차 시험시공	압전에너지 모듈 공용성 평가를 위한 시험시공	50,000
2-1	압전하베스터	실내실험 및 현장실험용 하베스터	80,000
2-3	압전하베스터	내구성 실험 및 검증용	80,000
3-1	차선 컨트롤 시스템	압전을 이용한 스마트 차선 구동 실험 및 검증용	20,000
	모니터링 시스템	도로시스템 작동상황 실시간 모니터링용	25,000
	스마트 발광차선 시제품	압전에너지 하베스터를 이용한 스마트 발광차선 시작품	20,000

세세부	시작품명	용도	비용(천원)
3-2	조명 컨트롤 시스템	압전을 이용한 스마트 조명 구동 실험 및 검증용	40,000
	모니터링 시스템	도로시스템 작동상황 실시간 모니터링용	25,000
	발열체 모듈	압전 이용한 융설 장비 실험 및 검증용	50,000
3-3	1단계 실증 테스트베드 구축	스마트 발광차선 도로압전시스템 공용성 평가를 위한 실증테스트베드 구축	100,000
	2단계 실증 테스트베드 구축	저전력 도로조명/노면결빙 방지 도로압전시스템 공용성 평가를 위한 실증테스트베드 구축	400,000
	3단계 실증 테스트베드 구축	에너지 독립형 졸음쉼터 실증테스트베드 구축	500,000
	발전량 추정 Software	도로압전시스템의 발전량 추정 및 시공 장소 선정을 위한 소프트웨어	50,000
	IoT 시스템	도로압전시스템의 원격 관찰 및 제어 시스템 구축	60,000
	발전량 모니터링 시스템	도로압전시스템의 실시간 발전량 추적 및 구동상황 실시간 모니터링용	100,000
	운영 시스템	도로압전시스템 운영용	50,000
	경제성 분석 Software	도로압전시스템의 경제성 분석용	50,000

6장. 과제 제안요구서

1절. 총괄 과제 제안요구서(RFP)

총괄과제명	압전에너지를 활용한 에너지 자립형 도로기술 개발
1. 연구개발 목표	
	○ 압전에너지 전달 최적화 도로 시스템 개발 및 도로교통량 500만 ESAL 대응 내구성능 확보 ○ 스마트 에너지도로 구축을 위한 압전 모듈 최적화 및 내구성능 10년 확보 (발전 전력량 28 Ws/Vw) ○ 단계별 도로압전에너지 활용기술 구체화 및 시범사업을 통한 실증
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	
□ 연구개발의 필요성	○ 국내 환경 측면의 필요성 - 국내의 경우 신재생에너지 RD&D 전략 2030을 시작으로 다양한 기술개발 및 산업화 방안을 모색하고자 투자 및 연구가 진행 중이며 세계 진출 투자를 위한 선점을 노력중임 - 우리 정부도 제4차 신재생에너지 기본계획(산업통상자원부, 2014.9)」에 따라 신재생에너지 기술개발 및 이용·보급을 위한 다양한 정책을 수립하여 실시하고 있음 - 그러나 대체 에너지원으로 풍력, 지열 및 태양광 발전 등의 에너지 수급율이 화석연료대비 불안정하며 그 효율 또한 낮은 문제점이 있어, 전 세계적으로 친환경 에너지 수확 및 활용기술에 대한 산업, 학계에서의 개발 필요성 및 요구사항이 증대되고 있는 실정임 - 2012년에 도입된 신재생에너지 의무 할당제(Renewable Energy Portfolio Standard, RPS)의 유지와 지속적인 비율증가 및 공공기관 신재생에너지설비 설치의무비율 확대와 같은 다양한 정책추진을 통해서 2035년 신재생에너지의 보급 비율 목표를 11%로 설정하고 있음 (2016년 신재생에너지 보급 및 인프라 구축 예산: 총 5,386억 원) - 에너지 수급의 불안정성 및 환경문제는 지속적으로 우리 사회의 위협요인으로 작용될 전망임. 따라서 이 문제의 해결대안으로 환경을 훼손하지 않음과 동시에 안정적 공급이 가능한 미래 에너지 기술개발 필요성이 증대되고 있는 실정임 - 좁은 국토면적으로 주요 재생에너지 자원(태양, 바람, 물) 부족 및 환경, 입지규제, 주민 수용성 저하로 인한 기존 신재생에너지 보급의 한계에 직면하고 있으며, 이를 극복하기 위해서 기존 신재생에너지를

대체할 수 있는 에너지로서 시간적/공간적 제약이 적고 친환경적인 압전에너지 하비스팅 기술에 대한 관심이 고조되고 있음

- 정부는 제4차 신재생에너지 기본계획을 수립과 함께 에너지신산업 발굴 및 활성화, R&D 역량강화 및 기술융복합화, 해외사업진출 지원 등을 적극 추진 중에 있음
- 9대 국가 전략 프로젝트(2016년 8월) 중 가상·증강현실, 자율주행 자동차, 스마트 시티 육성 분야의 핵심부품에 사용될 수 있는 원천 기술이며, 특히 스마트 시티의 교통, 에너지 문제와 직접 연관됨
- 압전하베스터 모듈의 에너지의 에너지 효율을 높이기 위해서 '하베스터 모듈의 압전 소자의 고집적화 기술'과 '압전 하베스터 모듈의 low loss 회로 기술'의 개발이 요구됨
- 압전에너지 하베스팅 관련 국내외시장규모는 크게 나노/마이크로 스케일 발전시장과 매크로 스케일 발전 시장으로 구분할 수 있음
- 나노/마이크로 스케일 발전시장의 경우, 기술 연관성이 있는 스마트 무선센서 네트워크(WSN) 및 웨어러블 디바이스(생체신호 모니터링 디바이스)를 함께 고려한다면 포괄적인 압전에너지 하베스팅 시장 규모는 크게 확장됨
- 국내의 센서시장은 54억 달러(2012년)에서 2020년에는 99억 달러로 전망되며, 생체신호 모니터링 디바이스 시장은 649억원(2015년)에서 2020년에는 5,302억원에 이를 것으로 예측됨
- 매크로 스케일 발전시장의 경우, 도로 및 철도시설물 등에 설치하여 Watt급 이상의 발전량을 얻어 이를 도로교통, USN(Ubiquitous sensor network)등 다양한 분야의 스마트 무선센서의 동력원으로서 사용될 수 있으나 그 구체적인 시장규모는 아직 파악되고 있지 않으나 시장잠재력은 높을 것으로 예상됨
- 국토부는 2016년 발표한 "제1차 국가도로종합계획안 (2016-2020년)"에 따라 전국고속도로망의 확충과 함께 기능성·지능형 시스템을 갖춘 스마트 하이웨이 구축 사업을 진행할 것을 발표함
- 최근 우리나라의 교통상황은 지속적으로 악화되고 있으며, 이로 인한 사회적 손실이 크게 발생하고 있으며, 이를 해결하기 위해 실제 교통정보(교통량, 교통속도, 교통밀도, 과적차량)에 대한 실시간 모니터링 기술개발에 대한 관심이 상당히 높아지고 있음
- 교통정보 Big-data의 활용을 통해 기존 교통 체증 문제를 해결할 수 있으며 도로의 설계, 유지, 관리 및 교통안정 및 효율 제고 등 폭 넓게 적용할 수 있음
- 국토교통부 연구개발을 통해 적정성능 . 저가격의 최소 도로 조명 기술 개발 및 현장 적용을 위한 실효성 있는 야간 도로 안전 확보의 기반 마련을 위한 낮은 폴 조명 개발 연구를 수행중에 있음
- 저전력의 낮은 폴 조명의 구동을 위해 추가 전령망 구축 없이도

압전 하베스팅 시스템과 접목하여 에너지활용 능동제어기술을 통한 효율적 활용으로 도로조명의 제로 에너지화 기술 실현이 가능함

○ 국외 환경 측면의 필요성

- 전 세계적으로 온실가스 및 탄소배출 저감을 위한 규제 협약 및 해결 방안을 모색하고 있으며 제 21차 UN 기후 변화 협약 당사국 총회(파리기후협약)에서 2030년 온실가스 배출 전망치 대비 37% 감축을 목표로 함
- 미국 Global Climate Change Initiative은 2050년까지 1990년 대비 온실가스 배출량 80% 저감을 목표로 EU 유럽기후변화프로그램(ECCP)의 경우 2020년까지 1990년 대비 20% 온실가스 감축, 재생에너지 비중 20% 확대를 목표로 하며, 일본 후쿠다 비전(2008)은 2050년까지 CO2 배출량을 2008년 대비 60~80% 감축을 목표로 함
- 2005년 교토의정서 발효 이후 유럽, 일본 등 의무감축 대상국들은 2008년부터 2012년(1차 공약기간)까지 1990년 대비 5% 이상의 온실가스를 감축하는 목표를 달성하기 위한 활동을 실시하고 있으며, 현재 포스트 교토의정서 체제 구축을 위해 노력하고 있음
- 이러한 에너지 환경의 변화에서 신재생에너지 시장은 변화, 확장하고 있으며 해외 선진국들은 신재생에너지 보급 확대를 통해 온실가스와 환경오염을 줄이고 신재생에너지 세계 시장을 선점하기 위한 정책들을 시행하고 있음
- 세계 주요 국가의 1차 에너지에 대한 신재생에너지 생산량의 비율 (2013년, IEA)은 독일 11.8%, 미국 6.7%, 영국 5.7%, 일본 4.9%이며 한국 2.1%로서 OECD 34개국 중 32위에 해당하는 것으로 나타남
- BBC Research (2015)에 따르면, 에너지 하비스팅과 관련된 세계시장규모는 2014년에 8.8억 달러를 기록하였으며, 2020년에는 33억 달러에 육박할 것으로 평가됨. (CAGR 23%)
- 교통 인프라(도로, 교량, 철도)를 대상으로 한 미활용에너지 활용기술로서 교통수단(자동차, 열차)의 주행으로 발생하는 압전 에너지 하비스팅 연구가 활발히 진행되고 있음
- 영국의 IDTechEX에 따르면 세계 에너지 하베스팅 시장이 매년 약 33 % 성장하고 있으며, 압전 에너지 하베스팅 시장은 2024년까지 약 21배 성장할 것으로 추정하고 있으나 (2024년 시장규모 추정 : 약 1조 1800 억원) 이는 초기 기술단계에서 예상된 시장이기 때문에 더욱 큰 규모의 시장 형성 가능성이 있음
- 정확한 시장 규모에 대해 알려지진 않았으나, 에너지 변환 효율 향상과 함께 웨어러블 전자기기, 유비쿼터스 센서, 메디컬 센서 등의 저전력 시스템 뿐만 아니라, 도로, 철도 등에서 발생하는 미활용에너지를

이용한 kW~MW급 에너지 산업에 적용이 가능하기 때문에 다양한 응용분야에 적용하게 되면 시장 규모는 더욱 커질 것으로 예상할 수 있음

- 압전에너지 하베스터를 이용한 스마트 무선센서 네트워크에 사용하는 세계 센서시장은 2012년 기준 796억 달러에서 2020년 1417억 달러로 약 9.4% 성장할 것이라 예상하고 있으며, 국내 시장 또한 2012년 기준 54억 달러에서 2020년 기준 99억 달러로 성장할 것으로 예측함. 이는 MEMS 센서, CIS 센서, 레이더 SOC 등의 첨단센서가 전체 센서 시장을 주도하고 있으며 앞으로 주도할 것으로 예측됨
- 미국의 과학재단(NSF)과 유럽의 유럽연합집행부(EC)는 최근 5년간 각각 300억, 115억원 규모의 연구자금을 기술 융합형 건설신소재 분야에 투자하였음
- 2020년 이후 건설소재 시장은 기술융합형 기능성 건설신소재 중심으로 재편될 전망이며, 기술융합형 건설신소재 시장의 규모는 2011년 이후 급격히 성장하여 2021년에는 그 규모가 약 10억 달러에 육박할 것으로 기대됨
- 최근 주요 선진국 건설정책 패러다임이 '효율'에서 '안전'으로 전환되는 추세이며, 특히 겨울철에는 강설에 의한 고속도로, 국도, 지방도 등 교통두절과 정체로 인한 피해가 해마다 발생하고 있으며, 짧은 시간에 기습적인 집중폭설이 내릴 경우 도로 상에 눈이 쌓여 차량 정체, 고립, 블랙아이스 사고 등 교통대란이 발생함
- 발열 양생 및 융설이 가능한 발열 도로포장체 개발을 위해서는 나노기술의 적용이 필요하며, 최근 건설 선진국에서는 나노기술의 적용으로 건설산업의 패러다임이 전환되고 있으며 관련 산업화가 급진전 되고 있음

□ 기술동향

○ 국내기술동향

- 일상적으로 버려지거나 사용하지 않은 작은 에너지를 수확하여 사용 가능한 전기 에너지로 변환해주는 기술인 에너지 하베스팅 중 진동 에너지 하베스팅은 진동이나 압력을 가해 압전 소자를 발전시키는 방법임
- 국내의 경우도 연간 고속도로 이동차량은 2016년 현재 약 15억대로서 (www.index.go.kr) 압전 에너지 하베스팅 시스템의 도로구축을 위한 기본 에너지 공급원 인프라는 이미 확보된 상태임
- 전체 국토의 1.4%를 차지하는 도로공간과 자동차 등록대수 이천만대 시대에 부합하는 친환경 신재생 에너지를 창출하기 위하여 압전하베스터를 이용하여 도로공간에서 자체적으로 에너지를 생산 및 활용할 수 있는 에너지 자립형 도로 기반 기술을 개발할 필요가 있음
- 도로 주행 차량에서 발생되는 진동과 압력을 활용하기 위한 다양한 시도 중 표면 노출형 압전함체를 활용한 접목기술은 전기생산에 유리한 방안

이나 기존 도로포장체를 절삭하고 압전함체를 설치하는 방법으로 이질 재료에 따른 물리적 거동의 차이로 함체 주변 도로의 파손, 함체 손상 등으로 설치비, 유지관리비용의 증가로 인해 그 효율성이 매우 낮은 상태임에 따라 연구개발이 필요함

- 또한, 간접 전달방식은 포장체 하부에 설치되어 포장체의 진동과 압력을 활용한 기술이나 주행차량에 의한 진동자체가 미미하여 전력생산량이 매우 적은 단점을 지니고 있음
- 따라서 차량 주행 시 많은 전기에너지를 생산할 수 있는 직접 전달방식에 의해 기존의 문제점을 해결할 수 있는 새로운 도로 구조시스템의 개발이 필요함
- 압전하베스터 모듈의 발전량은 내장된 압전소자의 특성과 그 수량에 비례하므로, 도로에서 얻을 수 있는 기계적 진동에 특화된 압전소자 디자인의 최적화로 발전능력을 제고하고, 압전모듈 내에 압전 소자의 배열을 고집적화하여, 압전모듈의 발전량을 향상시키는 구조적 연구가 필수적임
- 에너지 하베스팅을 실제 시스템에 적용하기 위해서는 전력을 생산하는 하베스터 소자 기술 개발과 더불어 전력변환 및 전력관리 기술 개발이 필수적임
- 에너지 하베스터(Energy source)에 대한 연구개발도 중요하지만, 효율을 높일 수 있는 Power management IC에 대한 필요성이 증대되고 있으며, 아울러 저전력 회로 기술 개발이 동시에 이루어 져야 함
- 압전 에너지 하베스팅을 도로에 적용할 경우 불규칙적이고, 정형화되지 않은 형태의 전력이 획득될 것이므로 이에 대한 고효율 전력변환 및 관리 기술이 필요함
- 높은 전압과 낮은 전류를 에너지 손실이 적게 전력소비단계로 변환하여 전달하는 것은 시스템 전체의 에너지 효율 향상에서 중요한 기술적 문제로 대두됨
- 도로분야 기상 정보는 크게 기상청 자체의 정보와 도로관리청에서 보유하고 있는 기상 정보 센서가 있으며, 일부 도로관리청에서는 RWIS(Road Weather Information System)을 구축하고 있으며 대기온도, 노면온도, 도로변 강우, 강설, 풍향 등의 정보를 수집하고 있으나, 일부 고개, 터널 진출입부 취약구간 중심으로 설치되어 있어 지점 중심의 정보를 제공하는 시스템임
- 낮은 폴 도로조명의 소비전력은 20W 이내이며 태양광만을 적용할 경우 날씨에 따라 전력생산의 한계를 가지고 있어 별도의 상용 전원 전력망을 갖추어야 하는 계획이었으나 압전하베스트 전력망을 사용할 경우 완전 독립화 가능
- 최근 에너지 하베스터에 대한 기술이 많이 개발되고 있으나, 상용화를 위해서는 하베스터 출력, 모듈의 내환경성(방수, 방진, 내열, 내구성),

전기적 부하와의 적용성, 실제 차량 주행시의 포장 내구성 등에 대한 성능을 검증이 필요함

- 이를 위해서는 실내에서 포장 성능을 검증할 수 있는 테스트베드, 하베스터 시스템의 내환경성, 재하시험, 전기적 부하의 적용성 검증을 위한 실증 시험장, 실제 도로 사용자에 의한 현장 적용성 평가를 위한 시범단지의 구축이 필요함

○ 국외기술동향

- 새로운 신재생 에너지원으로서 친환경적이며, 고갈위험이 없는 압전 에너지 하베스팅에 대한 관심이 증대되고 있으며, 해당 기술을 고정적으로 정해진 수치의 차량의 이동으로 인한 에너지원 확보가 유리한 도로에 적용 하려는 연구가 최근 증대되고 있는 실정임
- 최근 해외에서는 에너지 절감 및 친환경 대체 에너지 동력원 개발에 대한 다양한 연구가 이뤄지고 있으며, 대표적인 연구분야인 에너지 하베스팅 기술은 낭비되고 있는 에너지를 재활용하여 전기에너지로 전환시키는 재생에너지로 다양한 분야에서 적용되고 있음
- 압전 하베스팅은 다른 발전에 비해 에너지 밀도가 높고 날씨에 관계없이 주변의 미활용에너지를 전기에너지로 변환할 수 있다는 장점으로 인해 전세계적으로 관심이 급증하고 있음
- 압전 소자를 이용한 진동만으로 에너지 생산이 가능하여 태양광, 풍력 등의 발전방식의 다른 에너지에 비해 활용도는 높으나 압전 에너지 하베스터를 도로에 직접 매설하여 대용량 발전을 실용화한 사례는 국내외적으로 찾아볼 수 없으며, 많은 연구가 압전 소재/소자를 이용한 발전량 확보에 집중되어 있음
- 전 세계적으로 압전 에너지 하베스팅 기술 분야에서 기계적 시스템의 연구는 활발히 진행되고 있는 반면 회로의 연구는 미비한 실정임 (상용화 제품은 거의 없음)
- 압전으로 생산된 전기를 저장해야 할 필요가 있지만 연구단계에 있으며 아직 그 효율이 높지 않아 상용화에 어려움이 있고 이에 대한 핵심 기술로 임피던스 매칭이 포함됨
- 도로 압전 에너지 하베스터의 발전되는 전압 형태는 불규칙한 차량의 입력으로 인해 비정현파 형태이므로 이에 맞는 회로기술이 필요하지만, 현재까진 범용성의 에너지 하베스팅 회로를 사용할 수밖에 없음
- 유럽, 미국 등을 중심으로 이동식 노면 정보 수집 장치(Thermal Mapping System)을 개발하여 도로를 주행하면서 노면온도, 대기온도, 노면상태(습윤, 결빙, 습도 등)의 정보를 수집하고, 수집한 정보를 실시간으로 센터에 전송하여, 도로관리에 활용하고 있음
- 또한, 일부 차량에 노면정보를 수집할 수 있는 센서를 장착하여 노면상태를 수집하고 있으며 이를 센터에 정보를 제공해주고 있음

- 도로기상은 차량의 주행 거동에 영향을 줄 뿐 아니라 자율주행차의 인지 성능에 영향을 주는 요소로 자율주행차의 도로기상 정보를 실시간으로 수집하는 것이 필요함
- 이에 자율주행자동차 거동에 영향을 주는 기상정보에 대해 실시간으로 정보를 수집하고 제공할 수 있는 시스템 개발이 요구됨

3. 연구개발 내용

■ **1세부 : 압전에너지 전달 효율 향상을 위한 도로시스템 개발**

○ **진동에너지 직접전달 방식을 통한 노출식 압전 도로 기술 개발**

• 연구목표
- 압전에너지 직접 전달 효율 최적화를 위한 노출식 압전도로 시스템 개발

• 연구내용
- 진동에너지 직접전달 방식을 통한 노출식 압전도로 개념 도출
- 진동에너지 직접전달 효율 최적화를 위한 노출식 도로 설계
- 노출식 압전도로 효과 최적화를 위한 구조해석 기술 개발
- 노출식 압전도로 현장 맞춤형 시공기술 개발
- 노출식 압전도로 실용화를 위한 지침 개발
- 노출식 압전도로 운영을 위한 유지관리 기술 개발

○ **진동에너지 간접전달 방식을 통한 비접촉식 압전 도로 기술 개발**

• 연구목표
- 압전에너지 간접 전달 효율 최적화를 위한 비접촉식 압전도로 시스템 개발

• 연구내용
- 진동에너지 간접전달 방식을 통한 비접촉식 압전도로 개념 도출
- 진동에너지 간접전달 효율 최적화를 위한 비접촉식 도로 설계
- 비접촉식 압전도로 효과 최적화를 위한 구조해석 기술 개발
- 비접촉식 압전도로 현장 맞춤형 시공기술 개발
- 비접촉식 압전도로 실용화를 위한 지침 개발
- 비접촉식 압전도로 운영을 위한 유지관리 기술 개발

○ **단계별 압전에너지 모듈 성능 및 공용성 평가 기술 개발**

• 연구목표

- 도로교통량 500만 ESAL 대응 내구성능 검증 및 평가 프로세스 개발

• 연구내용
- 압전하베스터 모듈 발전 성능 실험
- 도로일체형 압전하베스터 발전 성능 실험
- 압전하베스터 실내 내구성능 실험
- 포장가속시험기(APT)를 이용한 압전하베스터 내구성능 평가
- 압전 하베스터 현장적용을 위한 성능 기준 및 평가 방법 표준화

■ **2세부 : 도로 적용을 위한 압전에너지 모듈 최적화 기술 개발**

○ **도로에너지 전달 방식을 고려한 압전에너지 모듈 구조 최적화 기술 개발**

• 연구목표
- 에너지 전달방식을 고려한 압전 도로하베스터 모듈 구조 최적화 (압전에너지 발전량 28 Ws/Vw)

• 연구내용
- 도로에너지 전달 방식별 압전에너지 모듈 최적화 방안 도출
- 도로 환경을 고려한 압전에너지 모듈 구조 개선
- FEM을 활용한 압전에너지 모듈발전 성능 시뮬레이션
- 도로 에너지 전달 방식별 압전에너지 하베스터 시작품 제작

○ **스마트 도로시스템 구축을 위한 전력에너지 공급 기술 개발**

• 연구목표
- 스마트 도로시스템 구축을 위한 전력변환 시스템 고효율화

• 연구내용
- 최대전력 전송을 위한 압전에너지 전력변환 회로기술 적용
- 도로 상황에 적합한 압전에너지 저장 기술 개발
- 압전에너지 저장상태 모니터링 및 운영 시스템 구축

○ **도로 운영 환경을 고려한 압전하베스터 내구성 확보기술 개발**

• 연구목표
- 압전 에너지 하베스터 모듈 내구성능 10년 확보

• 연구내용

- 도로용 압전하베스터의 물리적 (내열, 피로 및 내충격성 등) 내구성 확보 기술 개발
- 도로환경하중(방수 및 방진) 대응형 압전 하베스터 내구성 확보기술 개발
- 도로용 압전하베스터의 화학적 내구성 확보기술 개발
- 압전하베스터 도로환경 맞춤형 시스템 최적화 기술 개발

■ **3세부 : 도로 압전에너지 활용기술 개발 및 실증**

○ **스마트 발광차선 운영을 위한 압전에너지 하베스터 활용기술 개발**

• 연구목표
- 압전에너지 하베스터를 이용한 분산독립형 도로안전시스템 개발

• 연구내용
- 자율주행을 위한 발광차선 최적 성능 설계
- 스마트 차선 유도등(100 m 구간)을 위한 압전에너지 활용기술 개발

○ **발전 단계별 에너지 독립형 도로시설을 위한 압전에너지 하베스터 활용기술 개발**

• 연구목표
- 단계별 도로압전에너지 활용기술 구체화 및 시범사업을 통한 실증

• 연구내용
- 30W 급 저전력 낮은 폴 도로조명(100 m 구간) 및 노면결빙 방지 도로시스템(30 m 구간)을 위한 압전에너지 활용기술 개발
- 에너지 독립형 도로시설(14 kW급/day-졸음쉼터)을 위한 압전에너지 활용기술 개발

○ **에너지 자립형 스마트 도로시스템 효과 검증 및 실증**

• 연구목표
- 에너지 자립형 스마트 도로시스템 실증 테스트베드 운영을 통한 발전효과 및 성능 검증

• 연구내용

	- 실증 테스트베드 구축을 위한 총괄 운영 플랜 수립(기획/협의/설계) - 압전하베스터 성능 평가 및 내구성 검증 테스트베드 구축 - 에너지 자립형 미래도로 구현을 위한 실증 테스트베드 운영 - 압전에너지 하베스터 시스템 유지관리 기술 검증 - 압전에너지 하베스터 발전량 추정 모델 검증 및 모니터링 시스템 개발 - 압전에너지 하베스터 적용기술 경제성 분석 모델 개발 - 압전에너지 하베스터 연계 미래적용 기술(안) 도출
4. 연구개발 추진방법	
□ TRL 유형	ㅇ 공법/장비/시스템
□ TRL 단계	ㅇ 6 –7 단계
□ 추진전략	ㅇ 압전도로시스템을 활용한 에너지 자립형 스마트 도로 기반기술 구축 및 실증을 하기 위해서는 도로 전문가 및 압전에너지 전문가의 융복합 연구가 필수적이며 구체적인 평가 및 실증을 하기 위해서는 도로운영 주체의 직접참여가 권장됨 ㅇ 본 사업의 궁극적인 목표는 단계별 압전에너지 기술의 실용화이며, 압전도로 관련 연구수행 경험이 있는 기관 및 대용량 압전 하베스터를 제작해본 연구기관 및 관련 민간 기업 등의 참여가 필수적 임 ㅇ 특히 압전에너지 전달효율 향상을 위한 도로시스템 개발의 경우 도로의 열악한 환경과 압전 하베스터 설치에 따른 도로 측면의 영향을 제대로 인지할 수 있는 연구진의 투입이 성공의 핵심 전략이라고 할 수 있음 ㅇ 또한 도로적용을 위한 압전에너지 모듈 최적화 기술 개발 분야는 압전소자를 이용하여 대용량 압전에너지를 발생시킬 수 있는 원천기술이 있는 연구주체가 연구를 주도해야 하며, 이의 실용화를 위한 관련 기업의 참여가 필수 요수임 ㅇ 도로 압전에너지 활용기술 개발 및 실증 분야의 경우, 국내에서 최초로 시도되는 대규모 용량의 압전 발전기술에 대한 특수성을 고려하여, 도로관련 주체가 주관기관으로 참여하는 것이 바람직 함 ㅇ 연구 방법론 및 성과지표는 국내 전문가 자문단을 구성하여 세미나 및 워크샵 개최를 통해 평가하며, 개발된 기술의 자문수행 및 실효성 검증을 실시 ㅇ 실용화 및 사업화와 관련된 성과목표 및 지표를 구체적으로 제시하고, 기술의 객관성 및 실효성 확보를 위하여 평가단을 구성하여 공정하고 신뢰성 있는 결과 도출을 실시

□ 추진체계	ㅇ 연구단 차원에서의 국내 학회 및 자문그룹과의 협력체계를 제안하여 효율적인 연구추진체계를 구축하고 연구단 중심의 기술개발 추진형태를 설정함 ㅇ 세세부의 각 연구진행 내용에 대하여 기술개발 과정 및 결과를 검증하기 위한 기술위원회 구축을 통해 연구추진 성과의 정확성을 높여야 함 ㅇ 전문위원회, 자문위원, 실무자 등의 의견을 수렴하여 실효성 있는 연구결과의 도출을 실시해야 함 ㅇ 연구과제와 관련한 국내외 기술 인프라 현황 및 관련 연구개발과제 수행현황 등을 조사하여 충분한 연구경험을 보유하고 있는 기관과의 협력을 통한 기술의 차별화 방안을 모색해야 함
5. 최종성과물	
□ 주요 최종성과물	○ 압전에너지 전달 효율 향상을 위한 도로시스템 개발 - 노출식/비접촉식 압전도로 개념 설정 보고서 - 노출식/비접촉식 압전도로 설계도 - 노출식/비접촉식 압전도로 최적화 구조해석 보고서 및 시작품 - 노출식/비접촉식 압전도로 최적화 시공 기술서 - 현장 맞춤형 노출식/비접촉식 압전도로 시방서 - 노출식/비접촉식 압전도로 유지관리 매뉴얼 - 도로일체형 압전하베스터 발전성능 보고서 - 포장가속시험기를 이용한 압전하베스터 내구성능 보고서 - 압전하베스터 성능 평가 기준(안) ○ 도로 적용을 위한 압전에너지 모듈 최적화 기술 개발 - 전달 방식별 압전에너지 모듈 설계 최적화 방안 보고서 - 압전에너지 모듈 최적화 설계도 - 압전에너지 모듈 발전 성능 시뮬레이션 보고서 - 압전에너지 전력변환/저장 회로 설계도 - 압전하베스터 내구성 검증 실험결과보고서 - 압전하베스터 내구성 최적 설계도 - 압전에너지 하베스터 모듈 시작품 - 압전에너지 모니터링 및 운영 보고서 ○ 도로 압전에너지 활용기술 개발 및 실증 - 스마트 차선유도등 압전시스템 시작품 - 낮은 폴 도로조명 압전시스템 시작품 - 노면 결빙 방지 도로시스템 시작품

	- 에너지 자립형 도로시설 시작품 - 실증 테스트베드 총괄 및 운영 계획 보고서 - 실증 테스트베드 설계도 - 실증 테스트베드 운영 보고서 - 압전에너지 하베스터 도로 유지관리 가이드라인 - 압전에너지 발전량 추정 모델 및 모니터링 시스템 - 압전에너지 하베스터 경제성 분석 보고서 - 압전에너지 하베스터 미래적용 분야 도출 보고서
6. 연구기간 및 지원예산	
□ 전 체	○ 총 연구기간 : 5년 ○ 연구비 예산 : 264.19 억원 (정부출연금 198.00억원)
7. 기 타	
	○ 연구내용, 연구기간 및 연구비는 과제제안요구서(RFP) 및 상세 기획연구 보고서를 참조하여 작성 - 연차별 지원예산을 제시된 총 정부출연금 범위 내에서 편성

2절. 세세부별 과제 제안요구서(RFP)

1. 1세부 - 압전에너지 전달 효율 향상을 위한 도로시스템 개발

세부과제명	압전에너지 전달 효율 향상을 위한 도로시스템 개발
1. 연구개발 목표	
	○ 압전에너지 직접 전달 효율 최적화를 위한 노출식 압전도로 시스템 개발 ○ 압전에너지 간접 전달 효율 최적화를 위한 비접촉식 압전도로 시스템 개발 ○ 도로교통량 500만 ESAL 대응 내구성능 검증 및 평가 프로세스 개발
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	
□ 연구개발의 필요성	○ 국내 환경 측면의 필요성 - 국내의 경우 신재생에너지 RD&D 전략 2030을 시작으로 다양한 기술개발 및 산업화 방안을 모색하고자 투자 및 연구가 진행 중이며 세계 진출 투자를 위한 선점을 노력중임 - 우리 정부도 제4차 신재생에너지 기본계획(산업통상자원부, 2014.9)」에 따라 신재생에너지 기술개발 및 이용·보급을 위한 다양한 정책을 수립하여 실시하고 있음 - 그러나 대체 에너지원으로 풍력, 지열 및 태양광 발전 등의 에너지 수급율이 화석연료대비 불안정하며 그 효율 또한 낮은 문제점이 있어, 전 세계적으로 친환경 에너지 수확 및 활용기술에 대한 산업, 학계에서의 개발 필요성 및 요구사항이 증대되고 있는 실정임 - 2012년에 도입된 신재생에너지 의무 할당제(Renewable Energy Portfolio Standard, RPS)의 유지와 지속적인 비율증가 및 공공기관 신재생에너지설비 설치의무비율 확대와 같은 다양한 정책추진을 통해서 2035년 신재생에너지의 보급 비율 목표를 11%로 설정하고 있음 (2016년 신재생에너지 보급 및 인프라 구축 예산: 총 5,386억 원) - 우리나라의 해외 에너지 의존도는 2011년 기준으로 97%로서 신재생에너지의 보급률 확대를 통한 에너지 자립도의 개선이 필요함 - 에너지 수급의 불안정성 및 환경문제는 지속적으로 우리 사회의 위협요인으로 작용될 전망임. 따라서 이 문제의 해결대안으로 환경을 훼손하지 않음과 동시에 안정적 공급이 가능한 미래 에너지 기술개발 필요성이 증대되고 있는 실정임 - 좁은 국토면적으로 주요 재생에너지 자원(태양, 바람, 물) 부족 및

환경, 입지규제, 주민 수용성 저하로 인한 기존 신재생에너지 보급의 한계에 직면하고 있으며, 이를 극복하기 위해서 기존 신재생에너지를 대체할 수 있는 에너지로서 시간적/공간적 제약이 적고 친환경적인 압전에너지 하비스팅 기술에 대한 관심이 고조되고 있음

○ 국외 환경 측면의 필요성

- 전 세계적으로 온실가스 및 탄소배출 저감을 위한 규제 협약 및 해결 방안을 모색하고 있으며 제 21차 UN 기후 변화 협약 당사국 총회(파리기후협약)에서 2030년 온실가스 배출 전망치 대비 37% 감축을 목표로 함
- 미국 Global Climate Change Initiative은 2050년까지 1990년 대비 온실가스 배출량 80% 저감을 목표로 EU 유럽기후변화프로그램(ECCP)의 경우 2020년까지 1990년 대비 20% 온실가스 감축, 재생에너지 비중 20% 확대를 목표로 하며, 일본 후쿠다 비전(2008)은 2050년까지 CO2 배출량을 2008년 대비 60~80% 감축을 목표로 함
- 영국의 IDTechEX에 따르면 세계 에너지 하베스팅 시장이 매년 약 33 % 성장하고 있으며, 압전 에너지 하베스팅 시장은 2024년까지 약 21배 성장할 것으로 추정하고 있음 (2024년 시장규모 추정 : 약 1조 1800 억원)
- 2005년 교토의정서 발효 이후 유럽, 일본 등 의무감축 대상국들은 2008년부터 2012년(1차 공약기간)까지 1990년 대비 5% 이상의 온실가스를 감축하는 목표를 달성하기 위한 활동을 실시하고 있으며, 현재 포스트 교토의정서 체제 구축을 위해 노력하고 있음
- 이러한 에너지 환경의 변화에서 신재생에너지 시장은 변화, 확장하고 있으며 해외 선진국들은 신재생에너지 보급 확대를 통해 온실가스와 환경오염을 줄이고 신재생에너지 세계 시장을 선점하기 위한 정책들을 시행하고 있음
- 세계 주요 국가의 1차 에너지에 대한 신재생에너지 생산량의 비율 (2013년, IEA)은 독일 11.8%, 미국 6.7%, 영국 5.7%, 일본 4.9%이며 한국 2.1%로서 OECD 34개국 중 32위에 해당하는 것으로 나타남
- BBC Research (2015)에 따르면, 에너지 하비스팅과 관련된 세계시장규모는 2014년에 8.8억 달러를 기록하였으며, 2020년에는 33억 달러에 육박할 것으로 평가됨. (CAGR 23%)
- 교통 인프라(도로, 교량, 철도)를 대상으로 한 미활용에너지 활용기술로서 교통수단(자동차, 열차)의 주행으로 발생하는 압전 에너지 하비스팅 연구가 활발히 진행되고 있음
- 계측 센서 기반 모니터링 시스템 구축을 통한 교량의 구조 건전도 평가(Structural Health Monitoring, SHM)가 이루어지고 있으며, 센서 네트워크의 무선화(wireless sensor network, WSN)를 통해서 초기비용 및 유지/관

	리 비용에 있어서 유선네트워크시스템에 비해서 획기적인 예산절감이 가능함
□ 기술동향	○ 국내기술동향 - 일상적으로 버려지거나 사용하지 않은 작은 에너지를 수확하여 사용 가능한 전기 에너지로 변환해주는 기술인 에너지 하베스팅 중 진동 에너지 하베스팅은 진동이나 압력을 가해 압전 소자를 발전시키는 방법임 - 우리나라의 자동차 등록대수는 국토교통부 자료에 따르면 2016년 기준 2180만 3350대로 자동차 1대당 주민등록 인구수는 2.37명임 - 도로 주행 차량에서 발생되는 진동과 압력을 활용하기 위한 다양한 시도 중 표면 노출형 압전함체를 활용한 접목기술은 전기생산에 유리한 방안이나 기존 도로포장체를 절삭하고 압전함체를 설치하는 방법으로 이질재료에 따른 물리적 거동의 차이로 함체 주변 도로의 파손, 함체 손상 등으로 설치비, 유지관리비용의 증가로 인해 그 효율성이 매우 낮은 상태임에 따라 연구개발이 필요함 - 또한, 간접 전달방식은 포장체 하부에 설치되어 포장체의 진동과 압력을 활용한 기술이나 주행차량에 의한 진동자체가 미미하여 전력생산량이 매우 적은 단점을 지니고 있음 - 따라서 차량 주행 시 많은 전기에너지를 생산할 수 있는 직접 전달방식에 의해 기존의 문제점을 해결할 수 있는 새로운 도로 구조시스템의 개발이 필요함 - 국내의 경우도 연간 고속도로 이동차량은 2016년 현재 약 15억대로서 (www.index.go.kr) 압전 에너지 하베스팅 시스템의 도로구축을 위한 기본 에너지 공급원 인프라는 이미 확보된 상태임 - 전체 국토의 1.4%를 차지하는 도로공간과 자동차 등록대수 이천만대 시대에 부합하는 친환경 신재생 에너지를 창출하기 위하여 압전하베스터를 이용하여 도로공간에서 자체적으로 에너지를 생산 및 활용할 수 있는 에너지 자립형 도로 기반 기술을 개발할 필요가 있음 - 국내 도로포장 연장 중 콘크리트 포장이 차지하는 전체 비율은 약 12.7% (11,375 km/연장)로 고속도로의 경우 전체 연장 중 약 62%(2,575 km/연장)가 콘크리트 포장이며, 일반국도의 경우 1.2%(160 km/연장), 특별·광역시도는 31.9%(6,401 km/연장), 기타 지방도, 시/군도는 4.3%(2,237 km/연장)를 차지하고 있음 (도로현황조서, 국토교통부, 2015) - 국내 모든 콘크리트 포장은 횡방향 혹은 종방향 타이닝(tining) 혹은 구루빙(grooving)이 미끄럼 저항성 증대 및 배수성 확보를 목적으로 설치되어 있으며, 이러한 타이닝 및 구루빙을 활용하여 유체 및 전달자를 이용한 간접전달방식의 압전하베스터 발전 방식을 검토할 필요가 있음 - 진동에너지 간접전달방식은 직접전달방식(도로매설형)에 비해 도로의 파손이 원천적으로 차단되며 압전에너지 하베스터가 도로 노견에 설치되기

때문에 장기내구성 확보도 용이한 장점이 있음

○ 국외기술동향

- 새로운 신재생 에너지원으로서 친환경적이며, 고갈위험이 없는 압전 에너지 하베스팅에 대한 관심이 증대되고 있으며, 해당 기술을 고정적으로 정해진 수치의 차량의 이동으로 인한 에너지원 확보가 유리한 도로에 적용 하려는 연구가 최근 증대되고 있는 실정임
- 최근 해외에서는 에너지 절감 및 친환경 대체 에너지 동력원 개발에 대한 다양한 연구가 이뤄지고 있으며, 대표적인 연구분야인 에너지 하베스팅 기술은 낭비되고 있는 에너지를 재활용하여 전기에너지로 전환시키는 재생 에너지로 다양한 분야에서 적용되고 있음
- 압전 소자를 이용한 진동만으로 에너지 생산이 가능하여 태양광, 풍력 등의 발전방식의 다른 에너지에 비해 활용도는 높으나 압전 에너지 하베스터를 도로에 직접 매설하여 대용량 발전을 실용화한 사례는 국내외적으로 찾아볼 수 없으며, 많은 연구가 압전 소재/소자를 이용한 발전량 확보에 집중되어 있음
- 실제 압전체를 이용한 도로 발전을 하기 위해서는 무엇보다도 압전에너지 하베스터에 대한 내구성 검증 및 이를 통한 도로 적용 가능성을 검토하는 과정이 선행되어야 함

3. 연구개발 내용

○ **1-1세세부 과제 : 진동에너지 직접전달 방식을 통한 노출식 압전 도로 기술 개발**

• 연구목표

- 압전에너지 직접 전달 효율 최적화를 위한 노출식 압전도로 시스템 개발

• 연구내용

- 진동에너지 직접전달 방식 개발을 위한 문헌조사 및 이론적 고찰
- 진동에너지 직접전달 방식을 통한 노출식 압전도로 개념 도출
- 진동에너지 직접전달 효율 최적화를 위한 노출식 도로 설계
- 노출식 압전도로 효과 최적화를 위한 구조해석 기술 개발 및 시작품 제작
- 노출식 압전도로 현장 맞춤형 시공기술 개발
- 노출식 압전도로 실용화를 위한 지침 개발
- 노출식 압전도로 운영을 위한 유지관리 기술 개발

○ **1-2세세부 과제 : 진동에너지 간접전달 방식을 통한 비접촉식 압전 도로 기술 개발**

• 연구목표
- 압전에너지 간접 전달 효율 최적화를 위한 비접촉식 압전도로 시스템 개발

• 연구내용
- 진동에너지 간접전달 방식을 통한 비접촉식 압전도로 개념 도출
- 진동에너지 간접전달 효율 최적화를 위한 비접촉식 도로 설계
- 비접촉식 압전도로 효과 최적화를 위한 구조해석 기술 개발 및 시작품 제작
- 비접촉식 압전도로 현장 맞춤형 시공기술 개발
- 비접촉식 압전도로 실용화를 위한 지침 개발
- 비접촉식 압전도로 운영을 위한 유지관리 기술 개발

○ **1-3세세부 과제 : 단계별 압전에너지 모듈 성능 및 공용성 평가 기술 개발**

• 연구목표
- 도로교통량 500만 ESAL 대응 내구성능 검증 및 평가 프로세스 개발

• 연구내용
- 압전하베스터 모듈 발전 성능 실험
- 압전도로 모듈 에너지 전달 성능 실험
- 압전하베스터 실내 내구성능 실험
- 포장가속시험기(APT)를 이용한 압전하베스터 내구성능 평가
- 압전 하베스터 현장적용을 위한 성능 기준 및 평가 방법 표준화

4. 연구개발 추진방법

□ TRL 유형 ㅇ 공법/기법

□ TRL 단계 ㅇ 6 단계

□ 추진전략 ㅇ 압전도로시스템을 활용한 에너지 자립형 스마트 도로 기반기술 구축 및 실증을 하기 위해서는 도로 전문가 및 압전에너지 전문가의 융복합 연구가 필수적이며 구체적인 평가 및 실증을 하기 위해서는 도로운영 주체의 직접참여가 권장됨

ㅇ 본 사업의 궁극적인 목표는 단계별 압전에너지 기술의 실용화이며, 압전도로 관련 연구수행 경험이 있는 기관 및 대용량 압전 하베스터를 제작해본 연구기관 및 관련 민간 기업 등의 참여가 필수적 임

ㅇ 특히 압전에너지 전달효율 향상을 위한 도로시스템 개발의 경우 도로의 열악한 환경과 압전 하베스터 설치에 따른 도로 측

	면의 영향을 제대로 인지할 수 있는 연구진의 투입이 성공의 핵심 전략이라고 할 수 있음 ㅇ 연구 방법론 및 성과지표는 국내 전문가 자문단을 구성하여 세미나 및 워크샵 개최를 통해 평가하며, 개발된 기술의 자문 수행 및 실효성 검증을 실시 ㅇ 실용화 및 사업화와 관련된 성과목표 및 지표를 구체적으로 제시하고, 기술의 객관성 및 실효성 확보를 위하여 평가단을 구성하여 공정하고 신뢰성 있는 결과 도출을 실시
□ 추진체계	ㅇ 연구단 차원에서의 국내 학회 및 자문그룹과의 협력체계를 제안하여 효율적인 연구추진체계를 구축하고 연구단 중심의 기술개발 추진형태를 설정함 ㅇ 세세부의 각 연구진행 내용에 대하여 기술개발 과정 및 결과를 검증하기 위한 기술위원회 구축을 통해 연구추진 성과의 정확성을 높여야 함 ㅇ 전문위원회, 자문위원, 실무자 등의 의견을 수렴하여 실효성 있는 연구결과의 도출을 실시해야 함 ㅇ 연구과제와 관련한 국내외 기술 인프라 현황 및 관련 연구개발과제 수행현황 등을 조사하여 충분한 연구경험을 보유하고 있는 기관과의 협력을 통한 기술의 차별화 방안을 모색해야 함
5. 최종성과물	
□ 주요 최종성과물	○ 노출식/비접촉식 압전도로 개념 설정 보고서 ○ 노출식/비접촉식 압전도로 설계도 ○ 노출식/비접촉식 압전도로 최적화 구조해석 보고서 및 시작품 ○ 노출식/비접촉식 압전도로 최적화 시공 기술서 ○ 현장 맞춤형 노출식/비접촉식 압전도로 시방서 ○ 노출식/비접촉식 압전도로 유지관리 매뉴얼 ○ 도로일체형 압전하베스터 발전성능 보고서 ○ 포장가속시험기를 이용한 압전하베스터 내구성능 보고서 ○ 압전하베스터 성능 평가 기준(안)
6. 연구기간 및 지원예산	
□ 전 체	○ 총 연구기간 : 5년 ○ 연구비 예산 : 80.94 억원 (정부출연금 60.67억원)
7. 기 타	
	○ 연구내용, 연구기간 및 연구비는 과제제안요구서(RFP) 및 상세기획연구 보고서를 참조하여 작성 - 연차별 지원예산을 제시된 총 정부출연금 범위 내에서 편성

2. 세부 - 도로 적용을 위한 압전에너지 모듈 최적화 기술 개발

세부과제명	도로 적용을 위한 압전에너지 모듈 최적화 기술 개발
1. 연구개발 목표	
	○ 에너지 전달방식을 고려한 압전 도로하베스터 모듈 구조 최적화 ○ 스마트 도로시스템 구축을 위한 전력변환 시스템 고효율화 ○ 압전 에너지 하베스터 모듈 내구성능 10년 확보
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	
□ 연구개발의 필요성	○ 국내 환경 측면의 필요성 - 정부는 에너지 신시장 창출을 위해 "2030 에너지 신산업 확산전략"을 수립하여 발표('15.11)하였으며, 또한 2030년 신성장동력을 위한 신시장(100조원) 및 고용(50만명) 창출은 물론 5,500만톤의 온실가스 감축 목표를 세우는 등 초기시장을 확대하기 위한 정부의 역할을 강화하고 있음 - 신기후 변화체제 출범에 따른 최대 수혜 산업은 신재생에너지 산업이 될 전망되고 있으며 (수출입은행, 2016년 1월) 2016년 세계 신재생에너지 산업투자액은 전년 대비 7% 증가한 3,453억 달러에 이를것으로 전망 됨 - OECD 34개국과 비교 시, 우리나라 1차 에너지 대비 신재생에너지 비중은 34위, 2.1% 에 불과한 것으로 조사됨 (IEA, 2013년) - 국내 신재생에너지 정책방향은 2035년 신재생에너지 보급률 11% 달성 (에너지공단, 2016년) 목표로 국가정책을 추진하고 있으나, 좁은 국토면적으로 재생에너지 자원이 부족하고, 환경·입지 규제, 주민 수용성 저하로 신재생 보급에 제약이 있음 - 우리나라의 에너지수입의존도는 96%, 중동원유수입의존도는 86%로 매우 높은데 비해, 신재생에너지 비중은 3.52%로 OECD 국가 중 가장 낮으며, 우리나라의 에너지 수급 구조는 에너지 안보 및 기후변화 대응에 취약하고 신재생에너지 활용 실적이 미흡함 - 정부는 제4차 신재생에너지 기본계획을 수립과 함께 에너지신산업 발굴 및 활성화, R&D 역량강화 및 기술융복합화, 해외사업진출 지원 등을 적극 추진 중에 있음 - 9대 국가 전략 프로젝트(2016년 8월) 중 가상·증강현실, 자율주행 자동차, 스마트 시티 육성 분야의 핵심부품에 사용될 수 있는 원천 기술이며, 특히 스마트 시티의 교통, 에너지 문제와 직접 연관됨 - 압전하베스터 모듈의 에너지의 에너지 효율을 높이기 위해서 '하베스터 모듈의 압전 소자의 고집적화 기술'과 '압전 하베스터 모듈의 low loss 회로 기술'의 개발이 요구됨 - 압전에너지 하베스팅 관련 국내외시장규모는 크게 나노/마이크로 스케일

발전시장과 매크로 스케일 발전 시장으로 구분할 수 있음

- 나노/마이크로 스케일 발전시장의 경우, 기술 연관성이 있는 스마트 무선센서 네트워크(WSN) 및 웨어러블 디바이스(생체신호 모니터링 디바이스)를 함께 고려한다면 포괄적인 압전에너지 하베스팅 시장 규모는 크게 확장됨
- 국내의 센서시장은 54억 달러(2012년)에서 2020년에는 99억 달러로 전망되며, 생체신호 모니터링 디바이스 시장은 649억원(2015년)에서 2020년에는 5,302억원에 이를 것으로 예측됨
- 매크로 스케일 발전시장의 경우, 도로 및 철도시설물 등에 설치하여 Watt급 이상의 발전량을 얻어 이를 도로교통, USN(Ubiquitous sensor network)등 다양한 분야의 스마트 무선센서의 동력원으로서 사용될 수 있으나 그 구체적인 시장규모는 아직 파악되고 있지 않으나 시장잠재력은 높을 것으로 예상됨

○ 국외 환경 측면의 필요성

- EU 28개 회원국은 냉난방부문의 신재생열에너지 점유율 목표를 도입하였고, 세계적으로 신재생냉난방 목표를 설정한 국가가 41개국, 국가 또는 지자체 차원의 신재생열에너지이용의무화를 실시하는 국가는 19개국 이상임
- 신기후체제 출범·IT기술 혁신에 따라 글로벌 에너지 패러다임의 전환의 가속화와 세계 각국에서는 장기간 투자·운영이 요구되는 에너지 산업 특성을 고려하여 미래를 대비한 과감한 투자가 추진되고 있음
- 2015년 세계 신재생에너지 투자액은 3,288억 달러를 기록해 최고치를 기록하였으며, 2016년 세계 신재생에너지 산업 투자액은 전년대비 7% 증가한 3,453억 달러를 기록할 전망하고 있으며, 특히 중국 및 미국 등 주요 신재생에너지 수요국들의 투자가 2016년에도 여전히 활발할 전망
- 파리 합의문 (2015년 12월)으로 온실가스 감축을 위한 친환경 대체에너지에 대한 관심 증가되고 있으며, 세계 온실가스 배출량의 약 30%가 석탄발전에서 발생됨
- 전세계 에너지 하베스팅 시장규모가 2020년에 43억 7000만 달러(한화 약 42조 7284억 원)에 달할 것으로 예상 (IDTechEx, 2015년)되나 화석연료를 대체할 값싼 에너지원에 대한 필요성은 지속적으로 증가
- 최근 신재생에너지 산업이 재부상하면서 글로벌 경기 둔화 및 14년도 하반기 이후 저유가 상황에서도 신규 설치량은 2015년도에 29.1% 증가한 133GW에 달했으며, 신규 투자액도 3,288억 달러로 사상 최고치를 기록함

- 전 세계적으로 화석연료와 신재생에너지의 발전단가가 같아지는 시점인 Grid parity 달성 지역이 확대되면서 신재생에너지 산업의 본격적인 발전을 위한 기반이 마련되고 있음
- 기후변화 대응, 연료수입의존도 감축, 에너지시스템 유연성 제고 및 미래 기술시장 선점 등을 위해 신재생에너지 지원정책과 보급목표를 수립하는 국가가 증가하고 있는 추세임
- 또한 전 세계가 온실가스를 감축하는 목표를 달성하기 위한 활동을 실시하고 있으며, 새로운 환경 정책 체제 구축을 위해 노력하고 있음
- 영국의 IDTechEX에 따르면 세계 에너지 하베스팅 시장이 매년 약 33 % 성장하고 있으며, 압전 에너지 하베스팅 시장은 2024년까지 약 21배 성장할 것으로 추정하고 있으나 (2024년 시장규모 추정 : 약 1조 1800 억원) 이는 초기 기술단계에서 예상된 시장이기 때문에 더욱 큰 규모의 시장 형성 가능성이 있음
- 정확한 시장 규모에 대해 알려지진 않았으나, 에너지 변환 효율 향상과 함께 웨어러블 전자기기, 유비쿼터스 센서, 메디컬 센서 등의 저전력 시스템 뿐만 아니라, 도로, 철도 등에서 발생하는 미활용에너지를 이용한 kW~MW급 에너지 산업에 적용이 가능하기 때문에 다양한 응용분야에 적용하게 되면 시장 규모는 더욱 커질 것으로 예상할 수 있음
- 최근 태양광과 풍력, 전기자동차에 세계적으로 투자가 집중되고 있으며, 특히 도심지역에서 이산화탄소 배출량을 줄이는데 결정적인 역할을 하게 될 전기자동차 활성화가 기대되며, 2050년대까지 10억대의 전기자동초가 보급되고 대중교통 이용률은 2배 이상 증가 할 것으로 예측 됨
- 압전에너지 하베스터를 이용한 스마트 무선센서 네트워크에 사용하는 세계 센서시장은 2012년 기준 796억 달러에서 2020년 1417억 달러로 약 9.4% 성장할 것이라 예상하고 있으며 국내 시장 또한 2012년 기준 54억 달러에서 2020년 기준 99억 달러로 성장할 것으로 예측함. 이는 MEMS 센서, CIS 센서, 레이더 SOC 등의 첨단센서가 전체 센서 시장을 주도하고 있으며 앞으로 주도할 것으로 예측됨
- 시장조사 전문기업인 IDTechEx에 따르면 에너지 하베스팅 응용기기 시장규모가 38%의 CAGR(연평균 성장률)을 보이며 2018년 1억4,500만 달러까지 확대될 것으로 전망하였으며, 특히 열전소자분야의 시장규모는 2억3,600만 달러로 예상하였음
- Business Insider에 의하면 웨어러블 기기의 수는 2013년 2200만여 대에서 2018년에는 1억 7700만여 대까지 증가할 것이며, 시장가치 규모는 120억 달러 규모에 달할 것으로 전망함
- 작고 강력한 휴대용 전자기기의 출현으로 누구나 장소 및 시간에 구애받지 않고 자유롭게 정보에 접속하고 무선 통신을 할 수 있게 됨에 따라 웨

어러블 디바이스 등의 가동을 위한 외부 전력 공급을 위해 저전력 에너지원 수확에 대한 필요성은 무한히 확대될 것으로 예상되고 있음

□ 기술동향

○ 국내기술동향

- 압전하베스터 모듈의 발전량은 내장된 압전소자의 특성과 그 수량에 비례하므로, 도로에서 얻을 수 있는 기계적 진동에 특화된 압전소자 디자인의 최적화로 발전능력을 제고하고, 압전모듈 내에 압전 소자의 배열을 고집적화하여, 압전모듈의 발전량을 향상시키는 구조적 연구가 필수적임
- 각 압전소자에서 발생된 전기에너지를 손실을 최소화 하여 사용하기 위해서는, 압전하베스터 모듈 내의 결선 및 배선, 그리고 저장 방법에 대한 연구가 필요함
- 에너지 하베스팅을 실제 시스템에 적용하기 위해서는 전력을 생산하는 하베스터 소자 기술 개발과 더불어 전력변환 및 전력관리 기술 개발이 필수적임
- 에너지 하베스터(Energy source)에 대한 연구개발도 중요하지만, 효율을 높일 수 있는 Power management IC에 대한 필요성이 증대되고 있으며, 아울러 저전력 회로 기술 개발이 동시에 이루어 져야 함
- 에너지 하베스팅용 미소전력 변환 회로의 효율 증대가 필요하며, 변환 효율이 낮아 획득된 전력이 시스템에 사용되지 못하고 손실되고 있음
- 에너지 하베스팅용 전원장치의 경우 미소전력을 활용해야 하므로, 극저전압 혹은 저전력인 환경에서 동작하는 전력관리 회로 (PMIC) 필요함
- 압전 에너지 하베스팅을 도로에 적용할 경우 불규칙적이고, 정형화되지 않은 형태의 전력이 획득될 것이므로 이에 대한 고효율 전력변환 및 관리 기술이 필요함
- 압전에너지 하베스팅 시스템에서 발전된 전기에너지를 효율적으로 부하로 전달하는 전력변환 시스템은 에너지를 효과적으로 수확하기 위한 중요한 이슈임
- 높은 전압과 낮은 전류를 에너지 손실이 적게 전력소비단계로 변환하여 전달하는 것은 시스템 전체의 에너지 효율 향상에서 중요한 기술적 문제로 대두됨

○ 국외기술동향

- 새로운 신재생 에너지원으로서 친환경적이며, 고갈위험이 없는 압전 에너지 하베스팅에 대한 관심이 해외에서 증대되고 있으며, 해당 기술을 고정적으로 정해진 수치의 차량의 이동으로 인한 에너지원 확보가 유리한 도로에 적용 하려는 연구가 최근 증대되고 있는 실정임
- 압전 하베스팅은 다른 발전에 비해 에너지 밀도가 높고 날씨에 관계없

이 주변의 미활용에너지를 전기에너지로 변환할 수 있다는 장점으로 인해 전세계적으로 관심이 급증하고 있음
- 전 세계적으로 압전 에너지 하베스팅 기술 분야에서 기계적 시스템의 연구는 활발히 진행되고 있는 반면 회로의 연구는 미비한 실정임 (상용화제품은 거의 없음)
- 압전으로 생산된 전기를 저장해야 할 필요가 있지만 연구단계에 있으며 아직 그 효율이 높지 않아 상용화에 어려움이 있고 이에 대한 핵심기술로 임피던스 매칭이 포함됨
- 도로 압전 에너지 하베스터의 발전되는 전압 형태는 불규칙한 차량의 입력으로 인해 비정현파 형태이므로 이에 맞는 회로기술이 필요하지만, 현재까진 범용성의 에너지 하베스팅 회로를 사용할 수밖에 없음

3. 연구개발 내용

○ **2-1 세세부 과제 : 도로에너지 전달 방식을 고려한 압전에너지 모듈 구조 최적화 기술 개발**

• 연구목표
- 에너지 전달방식을 고려한 압전 도로하베스터 모듈 구조 최적화 (발전 전력량 28 Ws/Vw)

• 연구내용
- 도로에너지 전달 방식별 압전에너지 모듈 최적화 방안 도출
- 도로 환경을 고려한 압전에너지 모듈 구조 개선
- 구조해석을 통한 압전에너지 모듈발전 성능 시뮬레이션
- 도로에너지 전달 방식별 압전에너지 하베스터 시작품 제작

○ **2-2 세세부 과제 : 스마트 도로시스템 구축을 위한 전력에너지 공급 기술 개발**

• 연구목표
- 스마트 도로시스템 구축을 위한 전력변환 시스템 고효율화

• 연구내용
- 최대전력 전송을 위한 압전에너지 전력변환 회로기술 적용
- 도로 상황에 적합한 압전에너지 저장 기술 개발
- 압전에너지 저장상태 모니터링 및 운영 시스템 구축

○ **2-3 세세부 과제 : 도로 운영 환경을 고려한 압전하베스터 내구성 확보기술 개발**

• 연구목표

- 압전 에너지 하베스터 모듈 내구성능 10년 확보

• 연구내용
- 도로용 압전하베스터의 물리적 (내열, 피로 및 내충격성 등) 내구성 확보 기술 개발
- 도로환경하중(방수 및 방진) 대응형 압전 하베스터 내구성 확보기술 개발
- 도로용 압전하베스터의 화학적 내구성 확보기술 개발
- 압전하베스터 도로환경 맞춤형 시스템 최적화 기술 개발

4. 연구개발 추진방법

□ TRL 유형 ㅇ 장비/장치

□ TRL 단계 ㅇ 7 단계

□ 추진전략
ㅇ 압전도로시스템을 활용한 에너지 자립형 스마트 도로 기반기술 구축 및 실증을 하기 위해서는 도로 전문가 및 압전에너지 전문가의 융복합 연구가 필수적이며 구체적인 평가 및 실증을 하기 위해서는 도로운영 주체의 직접참여가 권장됨
ㅇ 본 사업의 궁극적인 목표는 단계별 압전에너지 기술의 실용화이며, 압전도로 관련 연구수행 경험이 있는 기관 및 대용량 압전 하베스터를 제작해본 연구기관 및 관련 민간 기업 등의 참여가 필수적 임
ㅇ 특히 도로적용을 위한 압전에너지 모듈 최적화 기술 개발 분야는 압전소자를 이용하여 대용량 압전에너지를 발생시킬 수 있는 원천기술이 있는 연구주체가 연구를 주도해야 하며, 이의 실용화를 위한 관련 기업의 참여가 필수 요수임
ㅇ 연구 방법론 및 성과지표는 국내 전문가 자문단을 구성하여 세미나 및 워크샵 개최를 통해 평가하며, 개발된 기술의 자문 수행 및 실효성 검증을 실시
ㅇ 실용화 및 사업화와 관련된 성과목표 및 지표를 구체적으로 제시하고, 기술의 객관성 및 실효성 확보를 위하여 평가단을 구성하여 공정하고 신뢰성 있는 결과 도출을 실시

□ 추진체계
ㅇ 연구단 차원에서의 국내 학회 및 자문그룹과의 협력체계를 제안하여 효율적인 연구추진체계를 구축하고 연구단 중심의 기술개발 추진형태를 설정함
ㅇ 세세부의 각 연구진행 내용에 대하여 기술개발 과정 및 결과를 검증하기 위한 기술위원회 구축을 통해 연구추진 성과의 정확성을 높여야 함
ㅇ 전문위원회, 자문위원, 실무자 등의 의견을 수렴하여 실효성

	있는 연구결과의 도출을 실시해야 함 o 연구과제와 관련한 국내외 기술 인프라 현황 및 관련 연구개발과제 수행현황 등을 조사하여 충분한 연구경험을 보유하고 있는 기관과의 협력을 통한 기술의 차별화 방안을 모색해야 함
5. 최종성과물	
□ 주요 최종성과물	○ 전달 방식별 압전에너지 모듈 설계 최적화 방안 보고서 ○ 압전에너지 모듈 최적화 설계도 ○ 압전에너지 모듈 발전 성능 시뮬레이션 보고서 ○ 압전에너지 전력변환/저장 회로 설계도 ○ 압전하베스터 내구성 검증 실험결과보고서 ○ 압전하베스터 내구성 최적 설계도 ○ 압전에너지 하베스터 모듈 시작품 ○ 압전에너지 모니터링 및 운영 보고서
6. 연구기간 및 지원예산	
□ 전 체	○ 총 연구기간 : 5년 ○ 연구비 예산 : 75.97 억원 (정부출연금 56.92억)
7. 기 타	
	○ 연구내용, 연구기간 및 연구비는 과제제안요구서(RFP) 및 상세기획연구 보고서를 참조하여 작성 - 연차별 지원예산을 제시된 총 정부출연금 범위 내에서 편성

3. 3세부 - 도로 압전에너지 활용기술 개발 및 실증

세부과제명	도로 압전에너지 활용기술 개발 및 실증
1. 연구개발 목표	
	○ 압전에너지 하베스터를 이용한 분산독립형 도로안전시스템 개발 ○ 압전에너지 하베스터를 이용한 저전력 낮은 폴 도로조명,노면결빙 방지 시스템 및 에너지 독립형 도로시설 개발 ○ 에너지 자립형 스마트 도로시스템 실증 테스트베드 운영을 통한 발전효과 및 성능 검증
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	
□ 연구개발의 필요성	○ 국내 환경 측면의 필요성 - 국토부는 2016년 발표한 "제1차 국가도로종합계획안 (2016-2020년)"에 따라 전국고속도로망의 확충과 함께 기능성·지능형 시스템을 갖춘 스마트 하이웨이 구축 사업을 진행할 것을 발표함 - 2017년도 정부연구개발투자 방향 및 기준안에 따르면 국내 R&D 투자는 융합 기반의 신기술 개발로 산업혁신을 통해 산업 경쟁력을 제고할 수 있는 기술에 집중 투자하는 것을 목표로 하고 있음 - 최근 우리나라의 교통상황은 지속적으로 악화되고 있으며, 이로 인한 사회적 손실이 크게 발생하고 있으며, 이를 해결하기 위해 실제 교통정보(교통량, 교통속도, 교통밀도, 과적차량)에 대한 실시간 모니터링 기술개발에 대한 관심이 상당히 높아지고 있음 - 교통정보 Big-data의 활용을 통해 기존 교통 체증 문제를 해결할 수 있으며 도로의 설계, 유지, 관리 및 교통안정 및 효율 제고 등 폭 넓게 적용할 수 있음 - 국내의 경우, 첨단교통시스템 구축을 통해 2020년에는 도로혼잡비용을 연 1.3조원 이상 절감할 수 있을 것으로 기대됨 - 국토교통부 연구개발을 통해 적정성능 . 저가격의 최소 도로 조명 기술 개발 및 현장 적용을 위한 실효성 있는 야간 도로 안전 확보의 기반 마련을 위한 낮은 폴 조명 개발 연구를 수행중에 있음 - 저전력의 낮은 폴 조명의 구동을 위해 추가 전령망 구축 없이도 압전 하베스팅 시스템과 접목하여 에너지활용 능동제어기술을 통한 효율적 활용으로 도로조명의 제로 에너지화 기술 실현이 가능함 - 도로조명 전력망은 기존 고속도로의 인터체인지나 톨게이트 구간에 집중되어 있거나 국도의 경우에도 전력망 구축이 되어 있

지 않은 구간이 대부분임
- 이와 같이 전력망이 구축되어 있지 않는 구간에 조명을 적용하기 위해 상용전력 망을 구축할 경우 신규 전력망 설비비용이 크게 증가하는 경제성 문제를 안고 있음
- 당초 상용화 단계에 있는 낮은 폴 조명의 설치 구간이 교량구간 및 위험 구간에 설치될 목적으로 개발되었으며 이 구간은 특히 전력망 구성이 되어 있지 않아 에너지 완전 자립화를 통해 시설 구축비용 축소가 필요함
- 따라서, 에너지를 자가 생산하여 독립 전력망을 구성할 경우 상용전력망 구축비용에 비해 경쟁력이 있음

○ 국외 환경 측면의 필요성
- 미국의 과학재단(NSF)과 유럽의 유럽연합집행부(EC)는 최근 5년간 각각 300억, 115억원 규모의 연구자금을 기술 융합형 건설신소재 분야에 투자하였음
- 2020년 이후 건설소재 시장은 기술융합형 기능성 건설신소재 중심으로 재편될 전망이며, 기술융합형 건설신소재 시장의 규모는 2011년 이후 급격히 성장하여 2021년에는 그 규모가 약 10억달러에 육박할 것으로 기대됨
- 세계 첨단교통시스템 시장 규모는 2010년 약 240억 규모였으며 연평균 22.1%의 성장률을 보이며 꾸준히 성장하고 있음
- 최근 주요 선진국 건설정책 패러다임이 '효율'에서 '안전'으로 전환되는 추세이며, 특히 겨울철에는 강설에 의한 고속도로, 국도, 지방도 등 교통두절과 정체로 인한 피해가 해마다 발생하고 있으며, 짧은 시간에 기습적인 집중폭설이 내릴 경우 도로 상에 눈이 쌓여 차량정체, 고립, 블랙아이스 사고 등 교통대란이 발생함
- 발열 양생 및 융설이 가능한 발열 도로포장체 개발을 위해서는 나노기술의 적용이 필요하며, 최근 건설 선진국에서는 나노기술의 적용으로 건설산업의 패러다임이 전환되고 있으며 관련 산업화가 급진전 되고 있음

□ 기술동향

○ 국내 기술동향
- 도로분야 기상 정보는 크게 기상청 자체의 정보와 도로관리청에서 보유하고 있는 기상 정보 센서가 있으며, 일부 도로관리청에서는 RWIS(Road Weather Information System)을 구축하고 있으며, 대기온도, 노면온도, 도로변 강우, 강설, 풍향 등의 정보를 수집하고 있으나, 일부 고개, 터널 진출입부 취약구간 중심으로 설치되어 있어 지점 중심의 정보를 제공하는 시스템임
- 낮은 폴 도로조명의 소비전력은 20W 이내이며 태양광만을 적용

할 경우 날씨에 따라 전력생산의 한계를 가지고 있어 별도의 상용전원 전력망을 갖추어야 하는 계획이었으나 압전하베스트 전력망을 사용할 경우 완전 독립화 가능

- 교량 구간은 물리적으로 적정 진동이 발생하도록 설계되어 있고 안전을 위한 추가 목적의 요철 하베스터 모듈 설치로 진동을 직접 전달하는 방식을 적용하면 높은 에너지 효율이 기대됨
- 이를 위해 확보되어야 할 요소기술로는 도로 상황 및 조명소비 전력에 따른 최적 압전 하베스터 모듈 기술, 압전 진동 전력을 포집하기 위한 고효율의 전력변환 충전 회로기술, 실증을 위한 전력 모니터링 기술, 메터링 기술, 시스템 제어기술 등이 있음
- 최근 에너지 하베스터에 대한 기술이 많이 개발되고 있으나, 상용화를 위해서는 하베스터 출력, 모듈의 내환경성(방수, 방진, 내열, 내구성), 전기적 부하와의 적용성, 실제 차량 주행시의 포장 내구성 등에 대한 성능을 검증이 필요함
- 이를 위해서는 실내에서 포장 성능을 검증할 수 있는 테스트베드, 하베스터 시스템의 내환경성, 재하시험, 전기적 부하의 적용성 검증을 위한 실증 시험장, 실제 도로 사용자에 의한 현장 적용성 평가를 위한 시범단지의 구축이 필요함

○ 국외 기술동향

- 유럽, 미국 등을 중심으로 이동식 노면 정보 수집 장치(Thermal Mapping System)을 개발하여 도로를 주행하면서 노면온도, 대기온도, 노면상태(습윤, 결빙, 습도 등)의 정보를 수집하고, 수집한 정보를 실시간으로 센터에 전송하여, 도로관리에 활용하고 있음
- 미국, 유럽 등 도로기상 관련 기술은 RWIS(Road Weather Information System)으로 개발되고 있으며 도로변에 설치된 기상 센서로부터 정보를 수집하고, 이를 기상청 예측 정보와 기타 도로변 변수 등의 정보를 수집하여 도로상태(온도, 결빙 등)를 예측하는 모형이 포함되어 있음
- 또한, 일부 차량에 노면정보를 수집할 수 있는 센서를 장착하여 노면상태를 수집하고 있으며 이를 센터에 정보를 제공해주고 있음
- 도로기상은 차량의 주행 거동에 영향을 줄 뿐 아니라 자율주행차의 인지 성능에 영향을 주는 요소로 자율주행차의 도로기상 정보를 실시간으로 수집하는 것이 필요함
- 특히 기존 도로기상은 기상청에서 제공하는 정보로 최고해상도는 5km×5km 격자로 도로에서는 광범위한 영역으로 좀 더 조밀한 크기의 영역으로 구분되야 함
- 기존 기상정보는 지점 정보를 이용하여 공간정보를 모델링하여 생성하여 다변화하는 도로기상 정보를 반영하는데 어려움이 존

재하였으나, 조밀하게 구분된 영역에 대해 연속적인 혹은 공간적인 도로기상정보를 수집하게 될 경우 도로망에 따라 다변화하는 기상정보를 수집하는 것이 가능함

- 이에 자율주행자동차 거동에 영향을 주는 기상정보에 대해 실시간으로 정보를 수집하고 제공할 수 있는 시스템 개발이 요구됨

3. 연구개발 내용

○ **3-1 세세부 과제 : 스마트 발광차선 운영을 위한 압전에너지 하베스터 활용기술 개발**

• 연구목표

- 압전에너지 하베스터를 이용한 분산독립형 도로안전시스템 개발

• 연구내용

- 자율주행을 위한 발광차선 최적 성능 설계
- 스마트 차선 유도(100 m 구간)등을 위한 압전에너지 활용기술 개발

○ **3-2 세세부 과제 : 발전 단계별 에너지 독립형 도로시설을 위한 압전에너지 하베스터 활용기술 개발**

• 연구목표

- 압전에너지 하베스터를 이용한 저전력 낮은 폴 도로조명,노면결빙 방지 시스템 및 에너지 독립형 도로시설 개발

• 연구내용

- 30W 급 저전력 낮은 폴 도로조명 (100m 구간) 및 노면결빙 방지 도로시스템(30m 구간)을 위한 압전에너지 활용기술 개발
- 에너지 독립형 도로시설(14 kW급/day-졸음쉼터)을 위한 압전에너지 활용기술 개발

3-3 세세부 과제 : 에너지 자립형 스마트 도로시스템 효과 검증 및 실증

• 연구목표

- 에너지 자립형 스마트 도로시스템 실증 테스트베드 운영을 통한 발전효과 및 성능 검증

	• 연구내용 - 실증 테스트베드 구축을 위한 총괄 운영 플랜 수립(기획/협의/설계) - 1 단계 테스트베드 구축 (2021) : 스마트 발광차선 (100 m) - 2 단계 테스트베드 구축 (2022) : 저전력 도로조명 (100 m) / 노면결빙방지도로(30m) - 3 단계 테스트베드 구축 (2023) : 에너지 독립형 졸음쉼터 (14 kW급/day) - 압전하베스터 성능 평가 및 내구성 검증 테스트베드 구축 - 에너지 자립형 미래도로 구현을 위한 실증 테스트베드 운영 - 압전에너지 하베스터 시스템 유지관리 기술 검증 - 압전에너지 하베스터 발전량 추정 모델 검증 및 모니터링 시스템 개발 - 압전에너지 하베스터 적용기술 경제성 분석 모델 개발 - 압전에너지 하베스터 연계 미래적용 기술(안) 도출
4. 연구개발 추진방법	
□ TRL 유형	ㅇ 시스템
□ TRL 단계	ㅇ 7 단계
□ 추진전략	ㅇ 압전도로시스템을 활용한 에너지 자립형 스마트 도로 기반기술 구축 및 실증을 하기 위해서는 도로 전문가 및 압전에너지 전문가의 융복합 연구가 필수적이며 구체적인 평가 및 실증을 하기 위해서는 도로운영 주체의 직접참여가 권장됨 ㅇ 본 사업의 궁극적인 목표는 단계별 압전에너지 기술의 실용화이며, 압전도로 관련 연구수행 경험이 있는 기관 및 대용량 압전 하베스터를 제작해본 연구기관 및 관련 민간 기업 등의 참여가 필수적 임 ㅇ 도로 압전에너지 활용기술 개발 및 실증 분야의 경우, 국내에서 최초로 시도되는 대규모 용량의 압전 발전기술에 대한 특수성을 고려하여, 도로관련 주체가 주관기관으로 참여하는 것이 바람직 함 ㅇ 연구 방법론 및 성과지표는 국내 전문가 자문단을 구성하여 세미나 및 워크샵 개최를 통해 평가하며, 개발된 기술의 자문수행 및 실효성 검증을 실시 ㅇ 실용화 및 사업화와 관련된 성과목표 및 지표를 구체적으로 제시하고, 기술의 객관성 및 실효성 확보를 위하여 평가단을 구성하여 공정하고 신뢰성 있는 결과 도출을 실시

□ 추진체계	ㅇ 연구단 차원에서의 국내 학회 및 자문그룹과의 협력체계를 제안하여 효율적인 연구추진체계를 구축하고 연구단 중심의 기술개발 추진형태를 설정함 ㅇ 세세부의 각 연구진행 내용에 대하여 기술개발 과정 및 결과를 검증하기 위한 기술위원회 구축을 통해 연구추진 성과의 정확성을 높여야 함 ㅇ 전문위원회, 자문위원, 실무자 등의 의견을 수렴하여 실효성 있는 연구결과의 도출을 실시해야 함 ㅇ 연구과제와 관련한 국내외 기술 인프라 현황 및 관련 연구개발과제 수행현황 등을 조사하여 충분한 연구경험을 보유하고 있는 기관과의 협력을 통한 기술의 차별화 방안을 모색해야 함
5. 최종성과물	
□ 주요 최종성과물	○ 스마트 차선유도등 압전시스템 시작품 ○ 낮은 폴 도로조명 압전시스템 시작품 ○ 노면 결빙 방지 도로시스템 시작품 ○ 에너지 자립형 졸음쉼터 시작품 ○ 실증 테스트베드 총괄 및 운영 계획 보고서 ○ 실증 테스트베드 설계도 ○ 실증 테스트베드 운영 보고서 ○ 압전에너지 하베스터 도로 유지관리 가이드라인 ○ 압전에너지 발전량 추정 모델 및 모니터링 시스템 ○ 압전에너지 하베스터 경제성 분석 보고서 ○ 압전에너지 하베스터 미래적용 분야 도출 보고서
6. 연구기간 및 지원예산	
□ 전 체	○ 총 연구기간 : 5년 ○ 연구비 예산 : 107.28 억원 (정부출연금 80.41억원)
7. 기 타	○ 연구내용, 연구기간 및 연구비는 과제제안요구서(RFP) 및 상세기획연구 보고서를 참조하여 작성 - 연차별 지원예산을 제시된 총 정부출연금 범위 내에서 편성

3절. 평가기준 설정

1. 평가항목

기준항목	세 부 항 목
연구개발목표 (10점)	최종목표 및 연차별 달성목표의 적절성.타당성(5점)
	성과지표 설정의 명확성 및 적정성(5점)
연구개발내용 (20점)	RFP와의 적합성(5점)
	과제목표달성을 위한 세부과제 구성 및 상호연계성(5점)
	연구개발내용의 완성도 및 실현가능성(5점)
	연차별 연구내용의 차별성 및 창의성(5점)
추진전략 및 계획 (20점)	연구수행체계 적정성 및 연구진 전문성(5점)
	연구추진 전략의 구체성 및 타당성(5점)
	연구인프라 및 연구지원시스템의 적절성(5점)
	연구기간 및 연구개발비 편성의 적절성(5점)
개발기술의 실용성 및 경제성 (40점)	개발기술의 혁신성 및 차별성(10점)
	활용방안의 적절성 및 구체성(10점)
	개발기술의 실용성 및 사업성(10점)
	개발기술의 경제적 기대성과(투자 및 파급효과 등)(10점)
연구책임자의 전문성 및 관리능력 (10점)	연구전문성 및 해당분야 실적(5점)
	연구과제 관리 및 운영 능력(5점)

※ 총점은 100점이며, 총점의 60% 미만인 경우에는 탈락

부합성 평가	평가위원 과반수 이상이 연구개발계획서가 과제제안요구서(RFP)와 부합되지 않는다고 판정시 탈락 조치
중복성 평가	평가위원 과반수 이상이 기 수행되었거나, 수행중인 과제와 중복되는 것으로 판정시 탈락 조치

가. 연구개발 목표

○ 압전도로시스템을 활용한 에너지 자립형 스마트 도로 기반기술 구축 및 실증을 위하여, '압전에너지 전달효율 향상을 위한 도로시스템 개발', '도로 적용을 위한 압전에너지 모듈 최적화 기술 개발', '도로 압전에너지 활용기술 개발 및 실증'을 위한 연구를 수행하며, 연구목표에 부합되도록 각 과제의 구성과 연차별 목표 및 최종목표를 설정하여 제시 필요

○ 연차별 목표 및 최종목표의 달성에 대한 정량적인 평가를 위하여 국토교통부의 '건설교통 R&D 성과지표'에 따라 명확한 성과지표 설정과 평가기준 제시

나. 연구개발 내용

○ 차량에서 발생하는 진동 및 충격에너지를 압전에너지 하베스터에 에너지 로스(loss)를 최소화 해 합리적으로 전달하기 위한 진동에너지 직접전달 및 간접전달 방식을 개발하고, 열악한 도로 환경에서 압전에너지 하베스터 모듈 성능 및 공용성을 확보하기 위한 평가기술을 개발할 필요가 있음

○ 도로에너지 전달 방식을 고려한 압전에너지 모듈 구조를 최적화하고, 생산된 전력을 스마트 도로시스템에 효과적으로 전달하기 위한 전력에너지 공급기술을 개발하며, 도로 운영환경을 고려한 압전하베스터 내구성 확보기술의 개발이 필요함

○ 생산된 도로압전에너지의 발전 단계별 효과적인 운영을 위한 마이크로 스케일 급(mW급) 및 매크로 스케일 급(W급) 활용기술을 구체적으로 제시하며, 이를 실증 테스트 베드를 통해 효과 검증할 필요가 있음

○ 기획과제에서 제시한 연구목표 및 기술개발 요청사항에 대하여 제안과제의 적정성, 상향된 목표 제시여부 평가

○ 최종목표 달성을 위한 각 과제간 연계 여부 및 과제간 개발사항의 중복 여부 및 차별성, 적정성 평가

다. 추진전략 및 계획

○ 연구개발 성과목표.지표체계, 실용성 검증 및 사업화 추진계획 등을 연구개발계획서에 필히 제시하며 이를 통해 향후 과제선정 후 해당 연구책임자(기관)에 대한 진도점검.관리 및 성과평가 등의 근거자료로 활용.

○ 참여기업은 참여하고자 하는 과제와 관련된 연구 또는 사업 수행실적이 있고, 과제추진 시 역할(자료.기술조사 또는 제공, 시험시공 현장제공 등)이 명확하여야 하며 연구개발결과를 직접 활용하고자 하는 기업에 한함.

○ 지원한 기관 및 연구진은 기초/원천기술, 응용기술, 실용화기술 등 과제성격에

따른 성과물을 얻을 수 있는 기관 및 연구진으로 제안서를 작성해야 함

○ 압전도로시스템을 활용한 에너지 자립형 스마트 도로 기반기술 구축 및 실증의 성공적 수행을 위한 산, 학, 연의 기관구성의 적정성 및 연계성을 제시해야 함

○ 과제의 단계별 추진사항이 연구목표 달성을 위해 타당한가를 평가하고 연구개발 사항과 이를 위한 구체적 추진방안 수립 여부 제시 필요

○ 과제의 목표달성을 위한 연구기간의 단계설정과 연구개발비의 적정하게 편성 여부 제시 필요

라. 개발기술의 실용성 및 경제성

○ 기관선정의 우선순위는 압전도로시스템을 활용한 에너지 자립형 스마트 도로 건설에 따른 시장점유율 및 부가가치 확대, 세계최고 수준의 기술경쟁력 확보 등으로 개발기술의 실용성 및 경제성에 초점을 두어 선정함

○ 현재 기술수준과 비교하여 목표한 개발기술의 향상정도, 기술선도국 대비 예상 수준, 기술의 경쟁력 수준 등에 대하여 정성적 또는 정량적 평가 여부

○ 연구기관 또는 참여기관을 통한 개발기술의 실용화 및 사업화 방안이 성과지표의 구제적 항목으로 제시 여부

○ 개발되는 과제 결과는 실험실 내의 제한된 범위와 조건과는 달리 현장의 여건과 환경을 고려한 실질적이고 실현가능한 기술 여부

○ 개발기술의 경제적 기대성과로서 투자 및 파급효과 등에 대한 평가방안이 구체적으로 제시 여부

마. 연구책임자의 전문성 및 관리능력

○ 연구책임자는 과제 내의 세부과제 및 세세부과제 간에 유기적인 결합이 원활하게 추진되도록 할 필요가 있음.

○ 연구책임자는 각 과제의 연구기관과의 협조체제구축은 물론 과제내에서 진행되는 과제 관리, 대외기술협력 등 해당 사업의 원활한 추진을 위한 역할을 수행해야 함.

○ 연구책임자는 국토교통부에서 실시하는 해당분야의 산업육성, 발전정책 및 종합계획 수립 등 관련 업무 추진 시, 기술자문 및 적극적인 업무협조 역할을 수행해야 함

2. 가점 및 감점 기준

가. 연구수행 형태에 따른 가점

○ 산, 학, 연이 모두 참여하며

- 세부 주관연구기관으로 산, 학, 연이 각각 구성된 경우 : 2점
- 세부 주관연구기관으로 중소기업이 구성된 경우 : 1점

○ 산, 학 또는 산, 연으로 구성되며

- 중소기업이 세부 주관연구기관의 1/3 이상인 경우 : 2점
- 중소기업이 세부 주관연구기관으로 구성된 경우 : 1점

나. 총 연구개발비에 대한 연구신청기관의 연구개발비 부담비율에 따른 가점

○ 총 연구개발비에 대한 연구신청기관이 부담하는 연구개발비(현금)의 비율에 따라 신청기관 별로 가점 부여(단, 경쟁응모인 경우에 한함)

- 신청기관 중 연구개발비(현금) 부담비율이 가장 높은 기관 : 1.0점
- 그 외 기관은 최대 연구개발비(현금) 부담비율을 기준으로 연구개발비(현금) 부담비율에 따른 가점 부여

$$\text{부여가점} = 1.0 \times \frac{\text{해당 기관 연구개발비 부담비율}}{\text{신청기관 중 최대 연구개발비 부담비율}}$$

다. 추적평가결과에 따른 가점

○ 국토교통부기술 연구개발사업 관리지침의 가점 및 감점 기준에 따르되, 이 지침 시행 이전에 협약이 체결된 과제의 추적평가결과에 따른 가점 및 감점은 종전 지침에 의함

라. 보안과제 등과 관련된 가점 및 감점

○ 현재 개정 작업 중에 있는「국토교통부소관 연구개발사업 관리지침」이 신청서 접수전에 완료될 경우에 한하여 반영하되, 이 경우 가점 및 감점기준은 별도 공지 예정

*『국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정('11.3.28)』제7조 4항 1호 및 [별표 1의3] 관련

마. 기타

○ 기획과제에 대한 과제제안자가 본 과제의 주관(공동)연구책임자로 참여시 : 가점 2점(기입 여부)

○ 여성연구자가 신규과제 주관연구책임자로 참여시 : 가점 1점

○ 연구개발과제 선정 후 협약포기 경력이 있는 주관 또는 협동연구책임자나 기업의 경우(「국토교통기술 연구개발사업 관리지침」제정('09. 6. 30) 이후 협약과제 대상) : 3점 감점

○ 연구개발과제의 연구수행 도중 연구를 포기한 경력이 있는 주관 또는 협동연구책임자나 기업의 경우(「국토교통기술 연구개발사업 관리지침」제정('09. 6. 30) 이후 협약과제 대상) : 3점 감점

7장. 참고문헌

○ 강성윤, vi, 71 p., 동명대학교 대학원, 국내석사 2016

○ 고광용, 이철기, 김민성, 허낙원, 정준하, "교통신호제어기용 무정전전원장치 용량기준 연구", 한국ITS학회, Vol.11, pp.1–6, 2012.

○ 김창일, 이주희, 김철민, 이영진, 정영훈, 조정호, 전명표, 박신서, 최범진, 이무용, 강인석, 백종후, 한국전기전자재료학회 2010년도 하계학술대회 논문집 Vol.11 2010 June 16, pp.331 - 331, 2010

○ 김창일, 이주희, 김경범, 정여훈, 조정호, 백종후, 이영진, 남산, "도로용 압전발전발판 설계 및 발전특성 평가", 전기전자재료학회논문지 Vol24, no7, pp. 554-558, 2011

○ 김창일, 이주희, 김경범, 정영훈, 조정호, 백종후, 이영진, 남 산. 도로용 압전발전발판 설계 및 발전 특성 평가, 전기전자재료학회 논문지, 제 24권, 제 7 호, pp.554-558, 2011년 7월

○ 국토교통과학기술진흥원, 제 2차 국토교통 R&D혁신 토론회 초정의 글, 2016, 12.

○ 산업통상자원부, 한국에너지기술평가원, "도로교통 미활용에너지 이용을 위한 압전 에너지 하베스터 개발 및 실증", 상세기획최종보고서, pp. 4-5, 2014.

○ 산업통상자원부, 에너지관리공단, "알기쉬운 신재생에너지" 2014.12

○ 산업통상자원부, 2015 원자력발전백서

○ 유진투자증권, "2014 하반기 산업전망:스몰캡 이슈(3)", 2014.

○ 이수진, 김상우, 함영복, "압전에너지하베스팅 기술동향 및 전망" 정보분석보고서, 한국과학기술정보연구원 정보분석연구소, ISBN 978-89-294-0336-9 93550, pp. 7-8. 2013.

○ 이수재, " 압전 나노발전소자의 기술 개발 동향", 압전발전지식연구회, 2012

○ 이윤희, 이중정, "생체신호 모니터링 다비이스", KISTI Market Report, 2016.

○ 이제윤, 민철기, 한의석, 한상주, 오재근, "도로 환경 모니터링을 위한 차량 유도풍 에너지 변환 시스템" 한국신재생에너지학회, 춘계학술대회 논문집, pp.550-553, 2009

○ 왕희승, 김동현, 이건재, "차세대 에너지 하베스팅 기술", KIST 융합연구정책센터, 2015.

○ 정대용, 이영진, 백종후, "압전에너지 하베스팅의 원리 및 응용", 한국조명전기설비학회지, 제24권 제6호, pp. 14-23, 2010

○ 조병완, 황윤태, 황창연, 김헌, 박정훈 ,엄창열, "차량압력을 이용한 녹색 도로 에너지 하베스팅 기초 연구" 대한토목학회 정기학술대회, 2009

○ 조병완, 김영석, 이윤성, 김헌, "녹색교량의 전기 방식법 유지관리 시스템의 기초연구", 한국방재학회, 정기학술발표대회, 2013

○ 지식경제부, "센서산업 고도화를 위한 첨단센서 육성사업 기획 보고서", 2012.

○ 황창연, vi, 54 p., 한양대학교 대학원, 국내석사 2010

○ Baldwin, J.D., Roswurm, S. Holliday, L. Energy Harvesting on Highway Bridge, Final Report, Oklahoma Department of Transportation, 2011

○ Hill, Davion., Agarwal, Arun. and Tong, Nellie, Assessment of Piezoelectric Materials for Roadway Energy Harvesting, Energy Research and Development Division Final Project Report. 2015

○ Jackson, Nathan. Piezoelectric energy harvesting and application

○ Kim, Seonghoon. , Shen, Junan., Ahad, Mohammad. Zolly Tucker, Zolly. Stern, Liam. "Piezoelectric Energy Harvesting System Assessment for Highway Sustainability, 52nd ASC Annual International Conference Proceedings, 2016

○ Papagiannakis, A.T., Dessouky,S., Montoya. A and Roshani, H., Energy Harvesting from Roadways, The 6th International Conference on Sustainable Energy Information Technology. Procedia Computer Science 83 (2016) 758 – 765

○ Roshani, Hossein., Dessouky, Samer Dessouky. Feasibility Study to Harvest Electric Power from Highway Pavements using Laboratory Investigation, Proceedings of the 2015 ASEE Gulf---Southwest Annual Conference Organized by The University of Texas at San Antonio

○ Xiong Haocheng, Piezoelectric Energy Harvesting for Public Roadways, Dissertation of the Virginia Polytechnic Institute and State Univeraity.2014

○ TWOB(Texas wide open for business), The Texas Renewable Energy Industry, 2014

○ 압전에너지블럭: http://blog.naver.com/PostView.nhn?blogId=cloud87&logNo=10128816526 Online access: 2016년 11월 28일

○ SK 에너지: 똑똑한 에너지 재활용법, 함께 걸을까요? http://blog.skenergy.com/1199

○ http://www.idtechex.com/research/reports/piezoelectric-energy-harvesting-2013-

2023-forecasts-technologies-players-000320.asp?viewopt=desc

○ natureworld, 4. http://www.natureworldnews.com/articles/29187/20160926/california-taps-on-unusual-power-source.htm#!

○ zmscience, http://www.zmescience.com/ecology/renewable-energy-ecology/

california-highway-electricity/

○ http://energy.gov/eere/sunshot/about-sunshot-initiative

부록

Ⅰ. 기술수요조사서 양식

Ⅱ. 기술수요조사서 조사 내용 (대표사례)

Ⅲ. 압전 발전량 가능성 검토

Ⅰ. 기술수요조사서 양식

압전하베스터를 이용한 메가와트급 에너지 자립형 도로기술 개발 기술수요조사서

한국건설기술연구원에서는 “압전하베스터를 이용한 메가와트급 에너지 자립형 도로기술 개발”을 위해 정부 R&D사업을 기획* 중에 있습니다.

본 연구는 전체 국토의 1.4%를 차지하는 도로공간과 자동차 등록대수 이천만대 시대에 부합하는 친환경 신재생 에너지를 창출하기 위하여 압전하베스터를 이용하여 도로공간에서 자체적으로 에너지를 생산 및 활용할 수 있는 에너지 자립형 도로 기반 기술을 기획하는 것입니다.

본 기획연구를 통해 에너지 하베스팅 도로과 관련된 핵심 요소 기술인 압전 효과 향상을 위한 압전도로시스템 개발, 압전에너지 하베스터 발전 효율 향상기술 개발, 압전에너지 최적 변환기술 개발, 발생된 압전에너지를 효과적으로 활용 및 실용화하기 위한 핵심 기반기술을 발굴할 필요가 있습니다.

이에 폭넓은 의견수렴을 위하여 압전하베스터를 이용한 메가와트급 에너지 자립형 도로기술 개발을 위한 기술수요조사를 실시하오니, 관련 기술분야 전문가 분들의 적극적인 협조를 부탁드립니다.

이번 조사는 압전하베스터를 이용한 도로기술개발 관련된 니즈를 파악하는 목적으로 사용되며, 그 이외의 목적으로는 사용되지 않음을 약속드립니다.

*** 압전하베스트를 이용한 메가와트급 에너지 자립형 도로기술 개발 기획, 발주-국토교통과학기술진흥원, 주관-한국건설기술연구원, 공동-한국도로공사 도로교통연구원, 한국건설생활환경시험연구원**

2017. 1. 5

한국건설기술연구원
연구위원 남정희

OFFICE: 031-910-0190
C.P: 010-9878-5558
FAX: 031-910-0161

PART I. 인적사항

성 명		소속기관명	
소 속 부 서		직 위	
주 소	(TEL) (FAX) (E-mail)		
소속기관 형태	대기업( ), 중견기업( ), 중소기업( ), 대학교( ), 정부기관( ), 연구소( ), 협회( ), 기타( )		

PART Ⅱ. 제안기술 개요

1. 기술분류체계	대분류	(별첨) 기술분류체계 를 참고하여 기입해 주십시오. (새로운 대분류, 중분류, 소분류 추가 제안 가능합니다)
	중분류	(별첨) 기술분류체계 를 참고하여 기입해 주십시오.
	소분류	(별첨) 기술분류체계 를 참고하여 기입해 주십시오.
2. 제안 기술명		ㅇ (제안기술 아이템의 주요 기능이 드러날 수 있도록 제안 기술명을 작성해 주십시오)
3. 기술개발 배경 및 이슈	정책적	ㅇ ㅇ ㅇ (기술아이템을 제안한 배경과 이슈를 정책적 관점에서 간략 작성해 주십시오)
	경제적	ㅇ ㅇ ㅇ (기술아이템을 제안한 배경과 이슈를 경제적 관점에서 간략 작성해 주십시오)
	기술적	ㅇ ㅇ ㅇ (기술아이템을 제안한 배경과 이슈를 기술적 관점에서 간략 작성해 주십시오)
4. 기술개발 목표		ㅇ (제안 기술아이템의 수준,성능 및 품질에 대한 달성목표를 가급적

	정량적으로 제시해 주십시오)
5. 기술개발 내용	ㅇ - ㅇ - ㅇ - (기술개발 목표를 달성하기 위하여 수행할 세부 기술의 내용 및 범위를 기술해 주십시오)
6. 기존 선행연구	ㅇ - ㅇ - (기존에 수행된 유사 선행연구를 제시해 주십시오)
7. 소요기간 및 예산	ㅇ소요기간 : 년 ㅇ예산 : 억원 (억/년) (예산되는 연구개발사업의 소요기간 및 연구규모를 기입해 주십시오.)
8. 예상성과 및 활용처	ㅇ 예상성과 ㅇ 활용처 (기술개발 완료시 예상 최종성과물과 성과물이 활용될 것으로 예상되는 수요처를 작성해 주십시오.)
9. 기대효과	ㅇ (기술개발 목표 달성시 예상되는 기대효과를 구체적으로 간략히 작성해 주심시오.)

[별첨] 기술분류체계

대분류	중분류	소분류
압전 에너지 전달 효율 향상을 위한 도로시스템 개발	진동에너지의 직접전달을 위한 도로구조 기술	과속방지턱형 압전 도로구조 기술
		도로포장 노출형 압전 도로구조 기술
		세그멘탈 블록형 압전 도로구조 기술
		도로 시설물 설치형(교량 진동 Damper형) 압전 도로구조 기술
	진동에너지의 간접전달을 위한 도로구조 기술	강성포장 하부형(콘크리트 포장) 압전 도로구조 기술
		연성포장 하부형(아스팔트 포장) 압전 도로구조 기술
		신개념 압전포장 재료 및 도로구조 기술
도로 적용을 위한 압전에너지 모듈 최적화 기술 개발	세라믹 압전체 기반 발전 방식	Bulk-type 충격형 압전 하베스터 모듈 기술
		Plate-type 진동형-캔틸레버 방식 압전 하베스터 모듈 기술
		Plate-type 진동형-양단고정 방식 압전 하베스터 모듈 기술
	폴리머 압전체 기반 발전 방식	나노 합성물형 압전 하베스터 모듈 기술
		박막형 압전 하베스터 모듈 기술
	압전 발전형 전기에너지 변환 회로 최적화 기술	정류회로(Rectifier) 최적화 기술
		임피던스 매칭 회로(Impedance matching) 최적화 기술
		승압회로(Boost converter) 최적화 기술
		출력회로(Output voltage regulation) 최적화 기술
	압전 발전형 전기에너지 충전 회로 최적화 기술	압전에너지 충전 최적화 기술
도로압전 에너지 활용 기술 개발 및 실증	발전 단계별 압전 에너지 활용 기술	마이크로(Micro, mW급) 스케일 압전 에너지 활용 기술
		매크로(Macro, W급) 스케일 압전 에너지 활용 기술
		메가(Mega, kW급) 스케일 압전 에너지 활용 기술
		무선센서 네트워크 적용형 분산소형발전소 적용 기술
	압전에너지 효율 향상 기술	하이브리드형(압전+태양광) 신재생에너지 발전기술
		압전성능향상을 위한 기능성 복합소재(탄소튜브, 폴리머 등) 결합 기술
	압전에너지 하베스터 도로 내구성 향상 기술	압전에너지 하베스터 자체 내구성 확보 기술
		압전에너지 하베스터 도로 설치시 도로 내구성 확보 기술
	압전에너지 하베스터 테스트 베드 운영 기술	포장가속시험기를 이용한 압전에너지 하베스터 발전 및 내구성 검증 기술
		실증 테스트 베드 적용을 통한 압전에너지 하베스터 장기공용성 평가 기술
	압전에너지 도로 운영기술	압전에너지 하베스터 도로 유지관리 기술
		압전에너지 도로 발전량 추정 기술
		압전에너지 도로 경제성 분석 기술

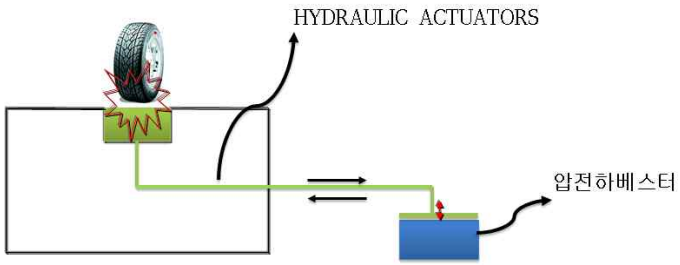
Ⅱ. 기술수요조사서 조사 내용 (대표사례)

PART I. 인적사항

성 명	강성인/조윤호	소속기관명	한국건설기술연구원/ 중앙대학교
소 속 부 서	도로연구소/토목공학과	직 위	연구원/교수
주 소	경기도 고양시 일산서구 고양대로 283 한국건설기술연구원 (10223) (TEL) 031-910-0190 (FAX) 031-910-0161 (E-mail) archnam@kict.re.kr		
소속기관 형태	대기업( ), 중견기업( ), 중소기업( ), 대학교( ), 정부기관( ), 연구소(○), 협회( ), 기타( )		

1. 기술분류체계	대분류	압전에너지 전달 효율 최적화를 위한 도로구조 기술
	중분류	진동에너지 간접 전달을 위한 도로구조 기술
	소분류	신개념 압전포장 재료 및 도로구조 기술
2. 제안 기술명		ㅇ도로 타이닝(tining) 및 구루빙(grooving) 활용 유압펌프를 이용한 압전하베스터 발전 기술 개발
3. 기술개발 배경 및 이슈	정책적	ㅇ2005년 2월 16일 교토의정서 발효 이후 유럽, 일본 등 의무감축 대상국들은 2008년부터 2012년(1차 공약기간)까지 1990년 대비 5% 이상의 온실가스를 감축하는 목표를 달성하기 위한 활동을 실시하고 있으며, 현재 포스트 교토의정서 체제 구축을 위해 노력하고 있음 ㅇ이러한 에너지 환경의 변화에서 신재생에너지 시장은 변화, 확장하고 있으며 해외 선진국들은 신재생에너지 보급 확대를 통해 온실가스와 환경오염을 줄이고 신재생에너지 세계 시장을 선점하기 위한 정책들을 시행하고 있음 ㅇ우리 정부도 제4차 신재생에너지 기본계획(산업통상자원부, 2014.9)」에 따라 신재생에너지 기술개발 및 이용·보급을 위한 다양한 정책을 수립하여 실시하고 있음 ㅇ그러나 대체 에너지원으로 풍력, 지열 및 태양광 발전 등의 에너지 수급율이 화석연료대비 불안정하며 그 효율 또한 낮은 문제점이 있어, 전 세계적으로 친환경 에너지 수확 및 활용기술에 대한 산업, 학계에서의 개발 필요성 및 요구사항이 증대되고 있는 실정임
	경제적	ㅇ압전에너지 하베스팅 관련 국내외시장규모는 크게 나노/마이크로 스케일 발전시장과 매크로 스케일 발전 시장으로 구분할 수 있음 ㅇ나노/마이크로 스케일 발전시장의 경우, 기술 연관성이 있는 스마트 무선

		센서 네트워크(WSN) 및 웨어러블 디바이스(생체신호 모니터링 디바이스)를 함께 고려한다면 포괄적인 압전에너지 하베스팅 시장 규모는 크게 확장됨 ㅇ국내의 센서시장은 54억 달러(2012년)에서 2020년에는 99억 달러로 전망되며, 생체신호 모니터링 디바이스 시장은 649억원(2015년)에서 2020년에는 5,302억원에 이를 것으로 예측됨 ㅇ매크로 스케일 발전시장의 경우, 도로 및 철도시설물 등에 설치하여 Watt급 이상의 발전량을 얻어 이를 도로교통, USN(Ubiquitous sensor network) 등 다양한 분야의 스마트 무선센서의 동력원으로서 사용될 수 있으나 그 구체적인 시장규모는 아직 파악되고 있지 않으나 시장잠재력은 높을 것으로 예상됨 ㅇ영국의 IDTechEX에 따르면 세계 에너지 하베스팅 시장이 매년 약 33 % 성장하고 있으며, 압전 에너지 하베스팅 시장은 2024년까지 약 21배 성장할 것으로 추정하고 있음 (2024년 시장규모 추정 : 약 1조 1800 억원)
	기술적	ㅇ새로운 신재생 에너지원으로서 친환경적이며, 고갈위험이 없는 압전 에너지 하베스팅에 대한 관심이 국내·외적으로 증대되고 있으며, 해당 기술을 고정적으로 정해진 수치의 차량의 이동으로 인한 에너지원 확보가 유리한 도로에 적용 하려는 연구가 최근 증대되고 있는 실정임 ㅇ국내의 경우도 연간 고속도로 이동차량은 2016년 현재 약 15억대로서 (www.index.go.kr) 압전 에너지 하베스팅 시스템의 도로구축을 위한 기본 에너지 공급원 인프라는 이미 확보된 상태임 ㅇ 전체 국토의 1.4%를 차지하는 도로공간과 자동차 등록대수 이천만대 시대에 부합하는 친환경 신재생 에너지를 창출하기 위하여 압전하베스터를 이용하여 도로공간에서 자체적으로 에너지를 생산 및 활용할 수 있는 에너지 자립형 도로 기반 기술을 개발할 필요가 있음 ㅇ 국내 도로포장 연장 중 콘크리트 포장이 차지하는 전체 비율은 약 12.7% (11,375 km/연장)로 고속도로의 경우 전체 연장 중 약 62%(2,575 km/연장)가 콘크리트 포장이며, 일반국도의 경우 1.2%(160 km/연장), 특별·광역시도는 31.9%(6,401 km/연장), 기타 지방도, 시/군도는 4.3%(2,237 km/연장)를 차지하고 있음 (도로현황조서, 국토교통부, 2015) ㅇ국내 모든 콘크리트 포장은 횡방향 혹은 종방향 타이닝(tining) 혹은 구루빙(grooving)이 미끄럼 저항성 증대 및 배수성 확보를 목적으로 설치되어 있으며, 이러한 타이닝 및 구루빙을 활용하여 유체를 이용한 간접전달방식의 압전하베스터 발전 방식을 검토할 필요가 있음 ㅇ진동에너지 직접전달방식(도로매설형)에 비해 도로의 파손이 원천적으로 차단되며 압전에너지 하베스터가 도로 노견에 설치되기 때문에 장기내구성 확보도 용이한 장점이 있음  < 종방향 구루빙 설치 형상 >  <포장면과 타이어의 역학관계>

4. 기술개발 목표	ㅇ유체를 통한 진동에너지 간접 전달 방식을 이용해 압전에너지 하베스터 수직 진동 진폭 5 mm 확보
5. 기술개발 내용	ㅇ국내 도로 타이닝 및 구루빙 활용 유압펌프 적용 가능성 검토 - 국내외 타이닝 및 구루빙 설계기준 및 시방서 검토 - 타이닝 및 구루빙 기능 범위 내 응용 방안 설계 - 유관기관 협의를 통한 기술적 적용 가능성 확보 ㅇ도로 타이닝 및 구루빙 활용 유압펌프(Hydraulic Actuator) 개념 설계 - 양단 고정형 압전하베스터를 위한 Booster 진동구조 개념 설계 → 5mm 이상의 변위확보(Booster Pump도입) 및 진동주파수 확대 검토 - 도로 노면 진동특성을 고려한 Hydraulic Actuator 설계 및 방식 검토 → 매트릭스 구조 및 라인형 등 검토 - Lab Test를 통한 적용 가능성 검증  ㅇ도로 타이닝 및 구루빙 활용 유압펌프 개발 - 도로(유압발생)-유체흐름(Flow)-진동전달(Ripple)-압전에너지 발생 단계별 유압펌프 설계 및 시공 - 유압을 통한 진동증폭 모듈 개발 ㅇ테스트 베드를 통한 유압펌프 기능 및 내구성 검증 - 포장가속시험기를 통한 유압펌프를 통한 수직 진동 진폭(5mm) 검증 - 타이닝 및 구루빙 활용 시 도로 안전성 및 주행성 검증 - 유압펌프의 내구성 검증
6. 기존 선행연구	ㅇJP 2016-521954(A)의 경우 노면으로부터 진동특성을 유압으로 변환하고 이를 활용하여 압전체로부터 전압을 발생함 - 단, 압전체와 유체가 직접 접촉되는 구조로서 센서에 활용하기 위한 구조임 ㅇKR 2010-0017042(A)는 다기능 센서 및 모니터링 시스템으로 유체의 흐름을 이용하여 센싱하는 소자에 관한 것임 ㅇDESIGN AND TESTING OF PIEZOELECTRIC-HYDRAULIC ACTUATORS, 2003, SPIC. 논문의 경우 HYDRAULIC ACTUATORS를 활용한 간접방식을 사용하고 있음 - 압전소자의 일축단면에 직접적으로 진동을 부여하는 방식임 ㅇ"A Piezoelectric Energy Harvester Based on Pressure Fluctuations in Kármán Vortex Street", 2011, Dung-An Wangdml ruddn의 논문의 경우 유체와 직접적으로 접촉되는 압전체의 구성으로 발전을 하고 있음

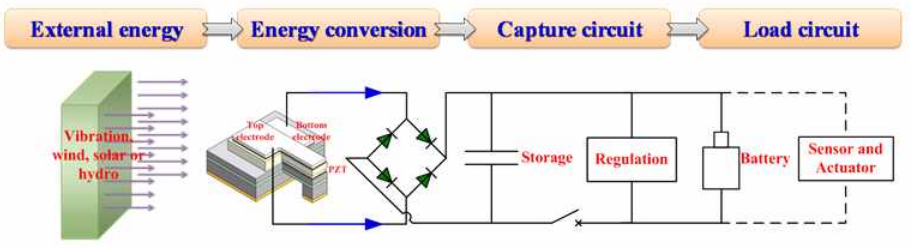
	○"Energy harvesting from hydraulic pressure fluctuations", 2012, K A Cunefare 논문의 경우 JP 2016-521954(A)의 발표 논문으로서 유체를 이용한 진동을 증폭하는 연구에 관한 것임 - 유체를 이용하여 진동을 증폭하는 개념 연구에 관한 것임
7. 소요기간 및 예산	○소요기간 : 5 년 ○예 산 : 15 억원 (3억/년)
8. 예상성과 및 활용처	○예상성과 - 유압펌프 활용 진동에너지 간접 전달 방식으로 압전에너지 하베스터 수직진동 진폭 5 mm 확보 ○활용처 - 국내 콘크리트 포장 전 구간 및 아스팔트 포장 중 구루빙 설치구간에 활용 가능 - 한국도로공사 및 국토교통부 간선도로과와 협의 후 확산 보급
9. 기대효과	○도로포장체에 압전하베스터를 직접 매설할 필요가 없음에 따라 고내구성/장수명 압전모듈 확보 ○유압펌프 성능 및 도로조건에 따라 수직진동진폭 조정이 가능하며, 이에 따른 압전발전량 증대 가능 ○진동에너지 간접전달 방식에 따라 압전하베스터 교체 및 유지보수가 용의함

PART I. 인적사항

성 명	이경호	소속기관명	한국전기연구원
소 속 부 서	전력반도체연구센터	직 위	선임연구원
주 소	경남 창원시 성산구 불모산로 10번길 12 (TEL) 055-280-1689 (E-mail) khlee93@keri.re.kr		
소속기관 형태	대기업( ), 중견기업( ), 중소기업( ), 대학교( ), 정부기관( ), 연구소(O), 협회( ), 기타( )		

PART II. 제안기술 개요

1. 기술분류체계	대분류	압전발전방식을 고려한 전기에너지 변환 및 충전 회로 최적화 기술
	중분류	압전 발전형 전기에너지 변환 회로 최적화 기술
	소분류	정류회로(Rectifier) 최적화 기술
2. 제안 기술명		ㅇ 압전 에너지 하베스팅용 고효율 전력변환 및 전력관리 회로 기술
3. 기술개발 배경 및 이슈	정책적	ㅇ 9대 국가 전략 프로젝트(2016년 8월) 중 가상·증강현실, 자율주행 자동차, 스마트 시티 육성 분야의 핵심부품에 사용될 수 있는 원천 기술임. - 특히, 스마트 시티의 교통, 에너지 문제와 직접 연관됨. ㅇ 파리 합의문 (2015년 12월)으로 온실가스 감축을 위한 친환경 대체에너지에 대한 관심 증가. - 세계 온실가스 배출량의 약 30%가 석탄발전에서 발생 ㅇ 국내 신재생에너지 정책방향 : 2035년 신재생에너지 보급률 11% 달성 (에너지공단, 2016년) - 좁은 국토면적으로 재생에너지 자원이 부족하고, 환경·입지 규제, 주민 수용성 저하로 신재생 보급에 제약. - OECD 34개국과 비교시, 우리나라 1차에너지 대비 신재생에너지 비중은 34위, 2.1% 에 불과. (IEA, 2013년)
	경제적	ㅇ 전세계 에너지 하베스팅 시장규모가 2020년에 43억 7000만 달러 (한화 약 42조 7284억 원)에 달할 것으로 예상 (IDTechEx, 2015년) ㅇ 화석연료를 대체할 값싼 에너지원에 대한 필요성 증가. - 신기후변화체제 출범에 따른 최대 수혜 산업은 신재생에너지 산업이 될 전망 (수출입은행, 2016년 1월) - 2016년 세계 신재생에너지 산업투자액은 전년 대비 7% 증가한 3,453억 달러 기록할 전망.
	기술	ㅇ 에너지 하베스팅을 실제 시스템에 적용하기 위해서는 전력을 생산하는

	적	하베스터 소자 기술 개발과 더불어 전력변환 및 전력관리 기술 개발이 필수적임. - 에너지 하베스터(Energy source)에 대한 연구개발도 중요하지만, 효율을 높일 수 있는 Power management IC에 대한 필요성이 증대되고 있음. 아울러 저전력 회로 기술 개발이 동시에 이루어 져야 함. o 에너지 하베스팅용 미소전력 변환 회로의 효율 증대 필요. - 변환 효율이 낮아 획득된 전력이 시스템에 사용되지 못하고 손실되고 있음. - 전원장치 자신이 소비하는 전력을 극도로 낮추어야 함. o 극저전압, 저전력에서 동작하는 전력관리 회로 필요. - 에너지 하베스팅용 전원장치의 경우 미소전력을 활용해야 하므로, 극저전압 혹은 저전력인 환경에서 동작하는 전력관리 회로 (PMIC) 필요. o 압전 에너지 하베스팅을 도로에 적용할 경우 불규칙적이고, 정형화되지 않은 형태의 전력이 획득될 것이므로 이에 대한 고효율 전력변환 및 관리 기술이 필요.
4. 기술개발 목표		o 전력변환 회로 효율 > 70% (전력변환 효율은 용량에 크게 좌우됨. 에너지 하베스팅으로 획득하는 전력은 일반적으로 매우 작은 용량의 전력을 모으는 개념이기 때문에, 일반적인 전원장치와는 달리 효율이 50%를 넘기 어려움.)
5. 기술개발 내용		o AC-DC Rectifier - 압전과 같은 경우 AC-DC rectifier 가 필요함. 낮은 전압 또는 전류에서도 동작하는 높은 효율의 rectifier가 필요함. - Synchronous rectifier ; 일반 diode 는 순방향 전압 강하(Forward voltage drop)로 인한 손실이 큼. 순방향 전압 강하가 낮은 active diode를 이용한 synchronous rectifier 가 필요함. o DC-DC converter - 여러 Energy source를 사용할 경우 전압 레벨이 다를 수 있으므로 voltage conversion이 필요함. - 다양한 조건, 환경에서 효율이 가장 좋은 전압 레벨을 선택해야 함. o PMIC (Power management IC) - MPPT (Maximum Power Point Tracking) : 효율이 최대가 되는 최적 포인트를 찾아 변환하는 MPPT 회로 필요. - 보호회로 : 과전압(OVP), 과전류(OCP), 온도 (Thermal Shutdown)에 대한 보호회로 필요.  <에너지 하베스트 에너지 변환 구성 요소>
6. 기존 선행연구		o 전력손실이 적은 액티브 다이오드 기술 개발 (한국전기연구원 주요사업, 2015년) - Kyoungho Lee, "An Active Diode with Low Forward Voltage Drop and A Low-voltage Rectifier for Autonomous Sensor Applications", ICESI 2016 o 에너지 독립형 센서 시스템 (Autonomous Sensor System) (미시건대,

	2013년~) - W. Jung, et al., "A rational-conversion-ratio switched-capacitor DC-DC converter using negative-output feedback", IEEE Int. Solid-State Circuits Conference (ISSCC), 2016
7. 소요기간 및 예산	ㅇ소요기간 : 3 년 ㅇ예산 : 15 억원 (5 억/년)
8. 예상성과 및 활용처	ㅇ 예상성과 - 에너지 하베스팅용 고효율 전력변환 및 전력관리 기술 확보 - 압전에너지 하베스팅을 이용한 전원장치 ㅇ 활용처 - 압전 에너지 하베스터를 이용한 에너지 자립형 도로기술 - 도로, 교량 등 구조물 진단 센서 네트워크
9. 기대효과	ㅇ 친환경 신재생 에너지 증대 - 온실가스 감축, 신재생에너지 정책방향에 부합 ㅇ 신재생 에너지 산업의 핵심부품 기술개발 - 국내 중소기업에 기술이전하여 국내 산업발전에 기여

PART I. 인적사항

성 명	박철우	소속기관명	강원대학교
소 속 부 서	공학대학 건설시스템공학부	직 위	교수
주 소	강원도 삼척시 중앙로 346 (25913) (TEL)033-570-6515 (FAX)033-570-6517 (E-mail) tigerpark@kangwon.ac.kr		
소속기관 형태	대기업( ), 중견기업( ), 중소기업( ), 대학교(○), 정부기관( ), 연구소( ), 협회( ), 기타( )		

PART II. 제안기술 개요

1. 기술분류체계	대분류	도로압전 에너지 활용 및 실용화 기술
	중분류	압전에너지 하베스터 테스트 베드 운영 기술
	소분류	실증 테스트 베드 적용을 통한 압전에너지 하베스터 장기공용성 평가 기술
2. 제안 기술명		ㅇ 미래 신재생 에너지 특성화 지역 기반 압전하베스트 에너지 도로 시설화 적용 테스트베드 구축 기술
3. 기술개발 배경 및 이슈	정책적	ㅇ '신재생에너지 보급 활성화 방안' 발표와 함께 시기를 10년 앞당기며 목표 단계 재조정 ㅇ RPS(Renewable Portfolio Standard) 제도에 따른 REC(Renewable Energy Certificate)의 활성화 정책 추진 ㅇ 파리협정(COP21) 이후 세계는 청정하고 풍부하며, 동시에 신뢰성과 빠른 건설 공기를 갖춘 에너지원을 찾고 있으며, 압전하베스트 에너지 기술은 신재생 대체에너지의 미래 기술로서 개발 필요 ㅇ 강원도 삼척을 비롯한 영동지방은 에너지 특성화 기반 지역으로 미래 국가 에너지 중심 허브로서의 지역기반 구축 계획

	경제적	ㅇ 에너지 특화 지역으로서의 지역 자치단체의 기술개발의 이해도가 높아 추후 협력체계 유도 유리 ㅇ 대단지의 시설이 필요한 테스트 베드 구축에 상대적으로 유리한 지역적 특성 ㅇ 타 신재생 에너지 사업의 개발 계획과 연계하여 우수한 연구 인프라 구축
	기술적	ㅇ 기존의 석탄화력 및 원자력발전 등의 에너지산업 기반과 함께 풍력 및 태양광 에너지 사업 등과 연계하여 압전하베스트 에너지기술을 도로시설물로 적용하기 최적의 테스트 베드 구축 필요 ㅇ 기존의 복잡한 도로시설물의 활용하는 것으로 매우 어렵고 신규 계획도로나 상대적으로 교통량을 조정가능한 도로를 활용하여 압전하베스트 에너지 기술의 현장적용성 연구 필요 ㅇ 압전하베스트 도로시설물 적용을 위하여 장기적인 계획도로망을 구축하여 지속적으로 활용가능한 계획 도로망의 구축 필요 ㅇ 기존의 지역적 특성과 기 구축된 연구진 등을 활용하여 개발 기술의 현장적용에 필요한 기반기술 현장적용 테스트 베드 구축 필요
4. 기술개발 목표		ㅇ 압전하베스트 적용 도로포장 종류별 하베스팅 효율 평가 시스템 구축 - 블록, 플라스틱 블록, 아스팔트 적용 포장 기술과 압전하베스트 에너지 기술 효과 분석 테스트 베드 구축 - 압전하베스트 에너지 생산 효율 평가 시스템 구축 - 압전하베스트 포장의 장기 사용성 평가 시스템 구축 ㅇ 압전하베스트 현장시공 시험시공 및 평가 단지 조성 - 압전하베스트 기술 도로시설물 현장 적용위한 목업 등 예비 시험시공 단지 조성 - 압전하베스트 도로시설물 적용 효율화 시공공법 개발 ㅇ 압전하베스팅 에너지 도로시설물 적용 테스트베드 컨트롤 센터 구축 - 포장 종류 별 압전에너지하베스팅 효율성 평가 센터 구축을 통한 장기성능 분석 센터 구축 - 압전하베스팅 기술의 장기 공용성 및 에너지 효율성 장기성능 분석 센터 구축
5. 기술개발 내용		ㅇ 압전하베스트 적용 도로포장 종류별 하베스팅 효율 평가 시스템 구축 - 강원도 삼척 및 영동지방의 압전하베스팅 연구 기반 구축위한 각 지자체와의 MOU 등의 협의 추진 - 블록, 플라스틱 블록, 아스팔트 적용 포장 기술과 압전하베스트 에너지 기술 효과 분석 테스트 베드 구축 - 압전하베스트 에너지 생산 효율 평가 시스템 구축 - 압전하베스트 포장의 장기 사용성 평가 시스템 구축

	ㅇ 압전하베스트 현장시공 시험시공 및 평가 단지 조성 - 강원도 삼척 및 영동지역의 압전하베스트 기술 도로시설물 현장 적용위한 시험시공 단지 부지 확보 - 압전하베스트 도로시설물 적용위한 최적 계획 도로망 설계 - 시험시공을 통한 압전하베스트 에너지 생산기술 및 도로시설물의 장기 공용성 확보 기반 구축 - 압전하베스트 도로시설물 적용 효율화 시공공법 개발 ㅇ 압전하베스팅 에너지 도로시설물 적용 테스트베드 컨트롤 센터 구축 - 지역적 특성과 국가에너지 수급계획과 연계한 에너지 기반 인적네트워크 기반 구축 - 압전하베스팅 기술의 장기 공용성 및 에너지 효율성 장기성능 분석 ㅇ 압전하베스팅 에너지 도로시설물 적용 도로계획 및 설계 기술 개발 - 압전하베스트 에너지 기술을 도로시설물로의 적용을 위한 도로계획 및 설계 기술 개발 - 도로시설물 적용 계획 및 설계 기술 적용지침 개발
6. 기존 선행연구	ㅇ 한국에너지공단 신재생어네지센터에서는 태양광, 풍력, 연료전지 등 신재생 기업(특히 중소·중견기업)이 개발한 기술 또는 제품의 사업화, 수출화를 촉진할 수 있도록, 수요 거점지역에 시험분석·성능평가·실증장비 및 공용인프라 구축한 바 있음. - 도로시설물의 적용을 통하여 대국민 생활 편의를 위한 실증단지 구축 사례 전무하여 이의 구축을 통하여 도로시설물 적용 기반 확보 가능
7. 소요기간 및 예산	ㅇ소요기간 : 5년 ㅇ예산 : 70억원 (14억/년)
8. 예상성과 및 활용처	ㅇ 예상성과 - 청정 신재생 에너지 활용기반 구축을 통하여 국가에너지수급계획 기반 역할 가능 - 사회기반시설의 활용을 통한 청정에너지 개발 기반 구축 가능 - 도로시설물에 적용하여 대국민 시설사용 안전성 확대 가능 - 사전 시험시공 및 장기성능 테스트 기반 구축을 통한 예산 절감 및 대외 경쟁력 강화
9. 기대효과	ㅇ 자체수급 에너지 현장 활용을 통하여 도로시설물 (예: 전광판, VMS, 가로등 등)의 적용을 통하여 대국민 시설사용 안전성 확대 ㅇ 사전 시험시공 및 장기성능 테스트 기반 구축을 통한 예산 절감 및 대외 경쟁력 강화 ㅇ 청정에너지 기술분야 선도를 통하여 국제적 우수사례 제시가능

Ⅲ. 압전 발전량 가능성 검토

○ 차량의 진동 및 충격에너지를 이용한 대용량 압전도로 발전량 확보 가능성에 대한 이론적 검토를 위해, 국내 대학의 물리학과, 자동차공학과, 매카트로닉스학과 전문가들에게 자문을 구했으며, 다음과 같은 다양한 검토의견을 받았음

- 차량의 위치에너지만을 고려해야 한다는 관점
- 차량의 위치에너지와 운동에너지를 종합적으로 고려해야 되나, 그 비율이나 범위를 계산하기위해서는 많은 검토가 필요하다는 관점
- 차량의 진동에너지, 충격에너지 등 다양한 에너지를 종합적으로 고려해야 된다는 관점

○ 따라서 본 기획에서 제시한 최종 목표 발전전력량인 '28 Ws/Vw'의 확보 가능성에 대해, 운행 중인 차량이 가지는 에너지 벡타량 분석을 통한 단순 계산을 다음과 같이 수행하였으며, 가정 조건은 아래와 같음

○ 대상 차량 무게 : 1,500 kg (차 축별 무게 : 375 kg 가정)

- 국내 차량종류는 1종에서 12종 분류까지 가능하나, 운행 빈도수가 가장 높은 1종 차량을 대상으로 압전에너지 하베스터 에너지 발전 가능성을 검토함
- 국내 생산되는 1종 승용차 대상으로 평균적인 차량무게인 1,500 kg 적용

○ 압전에너지 하베스터 최대 처짐 제한 : 0.002 m

- 개발 예정인 압전에너지 하베스터의 경우 양단고정형식으로 최대 처짐 허용 0.002 m 적용

○ 중력가속도 : 9.8 m/sec^2

○ 패널크기 : 0.3 m

- 개발 예정인 압전모듈의 차량 진행방향의 길이 가정

○ 차량진행 속도 : 10 ~ 100 km/hr

- 압전에너지 하베스터에 차량이 지나갈 경우 10 ~ 100 km/hr 까지 10단계로 속도를 나누어서 분석

○ 최대 운동에너지 (Joule = Watt·sec)

- 대상차량의 바퀴가 압전에너지 하베스터를 수직이동 없이 지나갔을 경우 차량의 주행방향에서 발생 가능한 최대 운동에너지 계산 값

○ 수평접촉시간 (sec.)

- 가정된 차량진행속도로 차량이 패널 상부를 통과할 경우 실제 바퀴가 압전

패널을 완전히 통과하는데 걸리는 시간

○ 수직 이동거리 (m)

- 수평된 접촉시간동안 압전에너지 하베스터의 이론적 수직이동 거리 계산

○ 실제 수직이동거리 (m)

- 압전에너지 하베스터 최대 처짐 제한과 수평접촉시간을 고려한 실제 수직이동거리

○ 수직이동속도 (km/hr)

- 실제 수직이동거리에 대해 선형적 거동을 가정한 수직이동 속도 값

○ 운동에너지 기여율 (%)

- 차량의 최대 운동에너지에 대한 수직 및 수평 운동에너지 기여율

○ 수정 운동에너지 기여율 (%)

- 압전에너지 하베스터 최대 처짐을 고려한 수정 운동에너지 기여율

○ 최대 유효 운동에너지 (Joule = Watt·sec)

- 압전에너지 하베스터가 받을 수 있는 최대 유효 운동에너지 계산 값

조건	속도	최대운동에너지	수평접촉시간	수직이동거리	실제수직이동거리	수직이동속도	운동에너지기여율	수정운동에너지기여율	최대유효운동에너지	비고 (목표발전량)
단위	(km/hr)	(Joule)	(sec.)	(m)	(m)	(km/hr)			(Joule)	28 J
1	10	1,447	01.08	0.05715	0.002	1.9051	0.1905	0.0067	10	
2	20	5,787	0.054	0.01429	0.002	0.9526	0.0476	0.0067	39	○
3	30	13,021	0.036	0.00635	0.002	0.6350	0.0212	0.0067	87	○
4	40	23,148	0.027	0.00357	0.002	0.4763	0.0119	0.0067	154	○
5	50	36,169	0.022	0.00229	0.002	0.3810	0.0076	0.0067	241	○
6	60	52,083	0.018	0.00159	0.0016	0.3175	0.0053	0.0053	276	○
7	70	70,891	0.015	0.00117	0.0012	0.2722	0.0039	0.0039	276	○
8	80	92,593	0.014	0.00089	0.0009	0.2381	0.0030	0.0030	276	○
9	90	117,188	0.012	0.00071	0.0007	0.2117	0.0024	0.0024	276	○
10	100	144,676	0.011	0.00057	0.0006	0.1905	0.0019	0.0019	276	○

○ 따라서 차량진행속도 20 km/hr 이상 진행시 최대 유효운동에너지는 39 Ws 가 발생될 수 있으므로, 목표발전량 '28 Ws/Vw'는 상기 가정조건상에서는 압전에너지 하베스터 발전효율을 극대화 시킨다면 충분히 발생시킬 수 있는 전력량으로 판단됨

주 의

1. 이 최종보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통연구기획사업의 연구보고서입니다.

2. 이 최종보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 사업의 연구개발 성과임을 밝혀야 합니다.

3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.