

도로교통인프라의 에너지수확 기술동향

류승기 <한국건설기술연구원 연구위원>

1 서 론

2010년 4월 멕시코만 원유 유출사고로 치명적인 수질오염과 자연훼손 등 심각한 문제를 발생시켰으며, 2011년에는 후쿠시마 원전 사고 여파로 심각한 전력 문제로 이어졌다. 우리나라도 계속된 원전 가동 중지로 전력 수급에 차질을 초래했으며, 여름과 겨울에 전력 수급에 문제를 발생시켰다.

세계 에너지 시장은 화석연료의 수요공급체계의 불안정성으로 유가 변동성이 심화되면서, 각 나라마다 에너지 수요 관리에 더욱 노력하고 있다. 또한 세계는 지구 온난화와 자연 재해 피해 그리고 산유국과의 국제적 갈등으로 자국의 에너지 관리에 신경을 쓰고 있는 실정이다. 세계적으로는 화석연료에 의존하는 산업과 경제활동 구조에서 에너지 자립적인 산업구조로 변화하기 위해 노력하고 있다. 우리도 에너지 다소비 산업에 대한 절감 정책을 펼치고 있지만, 아직 획기적인 대안은 없다고 볼 수 있다. 온실가스를 많이 배출하는 교통 부문은 에너지를 많이 소비하는 분야이기도 하다. 과거 30년 동안 자동차는 폭발적으로 증가했으며, 이에 따라 도로망을 지속적으로 확충했지만, 늘어나는 교통량을 감당하기에는 역부족으로 도심과 주말에는 수도권 주요 도로가 심각한 정체 현상을 보이고 있다. 전국적으로 자동차가 소비하는 막대한 양의 연료 등 에너지 소비 측면에서 많은 비율을 차지할

것이다. 자동차가 운행하는 도로망을 보면 우리나라 전체 국토면적 중에서 도로망이 차지하는 면적은 약 1% 수준이며, 여기에 약 2,000만대의 차량이 통행하고 있다. 우리나라에서 가장 통행량이 많은 도로는 자유로(일산), 경부고속도로(판교)로 일일 교통량이 약 10만대 이상이다[1].

최근 도로 공간을 활용한 에너지 생산 기술에 대한 관심이 있다. 국가 기간시설로 건설된 도로 인프라는 인적, 물적 수송 체계를 위한 기능에서 이 공간에서 신재생 에너지를 생산하는 인프라로서 관심을 갖게 되면서, 도로 교통 인프라에 잠재한 에너지원을 활용하는 기술에 대한 검토가 이루어지고 있다. 세계적으로 도로 교통 인프라에서의 마이크로 에너지 제너레이션 기술에 관한 연구는 1990년대 후반부터 유럽과 미국 등 초보적인 연구가 진행되고 있었다.

우리가 보유하고 있는 도로망은 도심 또는 산업지역을 네트워크로 이미 연결하여 생산한 전력을 근거리에서 활용할 수 있고, 장거리 전력 전송에 따른 송배전 인프라나 전력 손실을 줄일 수 있다. 또한 도로 유휴 부지는 신재생설비를 구축함에 있어 사회적 갈등을 최소로 할 수 있는 최적지라고 생각된다. 또한 교통 측면에서 보면 하루에도 수많은 통행량을 갖는 도로이고, 주행하는 차량의 운동에너지를 전기에너지로 변환하는 경제성 있는 에너지수확기술을 상용화한다면 사회적으로 매우 유용한 시스템이 될 것이다. 도

로교통 에너지 하베스팅 기술은 국내외적으로 아직 상용화까지는 이르지 못하고 있는 실정이 대부분이고, 개념 또는 시제품 실험 위주의 연구가 주로 이루어졌다. 태양광발전시스템 등 몇가지 신재생에너지 시범사업을 제외하고는 교통의 미활용 에너지에 대한 대규모의 실증 실험 연구는 진행되지 못한 것으로 파악되었다. 본 고에서는 도로 교통 인프라에서 미활용되고 있는 에너지 자원을 이용하는 에너지 수확기술에 대해서 국내외 연구 사례를 조사하였다.

2. 도로 교통 기반 에너지 수확 기술동향

2.1 해외 기술 동향

미국 오레곤주는 사용하지 않던 도로 갓길 또는 인터체인지 같은 도로 부지에 태양광발전시스템을 구축해 전력을 생산하는 Solar Highway Project를 추진했다. 오레곤주 내 Interstate 5번과 205번 도로 유희 부지에 솔라 패널 594개에서 연간 104KW를 생산하는 발전단지를 건설한 것이다. 향후 658개 솔라 패널을증설해 약 165kW를 생산할 예정이고, I-205번 도로에는 3MW급 발전 시스템을 구축중이라고 한다[2].



그림 1. 오레곤주 고속도로IC 활용 사례

일본은 메이신 고속도로 스이타 인터체인지 부근에

태양광 발전 시스템을 설치하여, 유지관리 전력으로 사용하고 있다.



그림 2. 일본 메이신고속도로 IC 활용사례

도로를 주행하는 차량으로 발생하는 충격하중과 진동에너지를 이용해 전기로 변환하는 기술이 연구되고 있다. 전력변환 기술로는 기계적 방법을 사용하거나 압전소자를 사용하는 등 여러 방법이 연구되고 있다. 이스라엘의 이노와텍은 압전소자 어레이를 도로에 약 6cm 깊이로 매설하여 차량 통과시 전력을 생산하는 발전시스템을 개발 중이다. 이 기술은 Ben Gurion 국제공항 부근의 도로에서 소규모로 몇 가지 프로젝트를 실험중이며, 경제성을 입증하기 위해 노력 중이다.

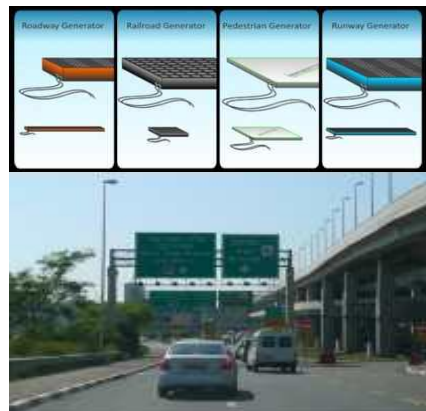


그림 3. 이노와텍(이스라엘)

미국 Kinergy Power社는 차량이 지나갈 때의 차량 무게를 이용하여 유압장치에 압력을 가함으로써 발전하는 시스템이다. 계산상으로는 일일 10,000대 자동차가 통과할 때 51kWh를 생산할 수 있고, 트럭 10,000대가 통과하면 1.23MWh를 생산할 수 있다고 설명하고 있다. 이 기술은 유압장치를 이용하고 있어 동력전달의 효율이 저하될 수 있고, 차량 하중만을 활용하므로 예상보다는 발전량이 가변적이라는 점, 차량의 주행 속도에 따라 중력에너지만을 활용할 경우 예상보다 발전량이 적을 수 있어, 실제로는 일정한 속도로 통과할 경우에만 발전 효율이 유지될 수 있다는 한계를 가진다.

가지는데, 이들은 불규칙한 운동에너지를 규칙적이고 일정한 방향으로 운동하는 재생 흡수 에너지 메커니즘을 제안했다[3].



그림 5. Huges Tesearch(영국)



그림 4. Kinergy Power(미국)

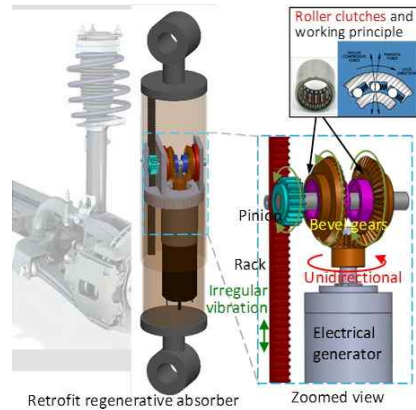


그림 6. 재생 흡수장치(미국)

영국 Huges Research社는 도로에 발전시스템을 매립하여 차량의 하중으로 발전을 하는 시스템이다. 실험 제품으로써 발전 효율, 내구성, 유지 보수의 한계점을 가지고 있다. 계산상으로는 하나의 발전시스템으로 약 5~10kW를 발전할 수 있다고 발표했지만 주행속도에 따라 발전 효율이 안정적이지 못하고 높은 설치비용, 유지보수 및 내구성에 문제가 있어 아직 상용화되지 못하였다.

2.2 국내 기술 동향

미국 뉴욕주립대는 불규칙한 진동에너지를 전기로 변환하는 장치를 개발했다. 차량의 진동, 파도 및 열차의 진동에너지는 대체로 불규칙적인 에너지 패턴을

미활용 진동에너지를 활용한 에너지 하베스터 연구는 아직 초보적인 수준으로, 학계 및 연구계에서 일부 개념적인 연구가 진행되었고, 산업체에서 시험제품을 제작한 사례가 있었다. 서울대는 진동 에너지 하베스터 기술을 이용해 USN 구동전력으로 활용하는 연구를 수행했다. 즉 자가구동형 USN 파워 모듈을 제안했으며, 건축 설비에서 진동이 발생하는 곳에 에너지 하베스터 스킨을 패치하여 전기를 생산하는 실험을 했다[5].



그림 7. Energy Harvesting Skin(서울대)

전자통신연구원은 PZT 압전적층형 세라믹을 이용해 캔틸레버형으로 에너지 하베스터를 연구했다. 압전체는 5개를 적층했고, 차량속도 30km/h로 주행하면 약 20mW를 출력하는 성능실험을 했다. 건설기술연구원은 PZT 적층 세라믹을 이용했지만 캔틸레버 형태가 아닌 디스크 형태로 연구했다. 캔틸레버 형태는 도로에 매설할 때 시공 상의 문제와, 유지보수 및 내구성에 문제가 있을 것으로 판단하여, 디스크 형태로 제작하여 실험하였다.



그림 8. Road Energy Harvester(건설연)

실 도로에서 승용차로 10km/h부터 100km/h까지 10km/h마다 증속하면서 출력전압을 측정하였다. 아래 결과에서 보듯이 속도가 증가할수록 압전 하베스터는 선형적으로 출력전압이 증가함을 보였다.

국토교통진흥원에서 추진한 에너지 하베스팅 연구는 진우소프트(주)와 센불(주)이 공동으로 수행했고, 압전 캔틸레버형 발전패드를 개발하여, 실제 도로에서 실험하였다. 설치방법은 압전패드를 노면에 매설하는 방식으로 건설연과 같은 주행속도로 차종을 달

리하면서 발전 성능을 측정했다.

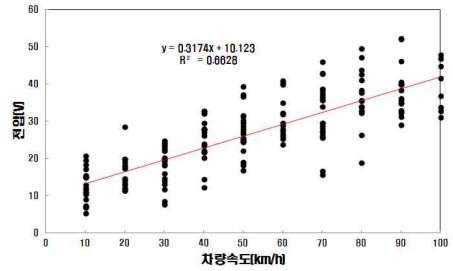


그림 9. Road EH 실험데이터

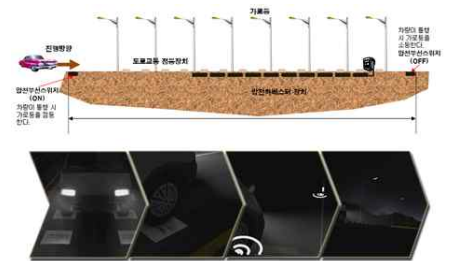


그림 10. Road Energy Harvester(진우소프트)

압전 하베스터가 아닌 플라이휠 방식 또는 실린더 방식 로드에너지 하베스터에 대한 연구도 있다. 플라이휠 압전 하베스터 기술은 차량의 운동에너지로 플라이휠을 회전시켜 회전력으로 전기를 생산하는 방식이다. 실린더 방식 압전 하베스터는 에어실린더를 이용해 전기를 생산하는 방식이다. 튜브형식의 에어 실린더는 하중에 의해 실린더 공기량이 변하고 터빈을 가동시켜 전기를 생산하는 구조이다.

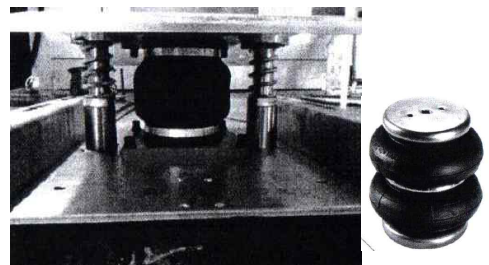


그림 11. Road Energy Harvester(우보이앤지)

3. 결 론

도로 인프라는 국토 전체 면적의 약 1%를 차지하고 있어 에너지 생산을 위한 아이디어가 추가된다면 태양에너지 발전뿐 아니라 풍력 및 지열 등 여러 신재생에너지 생산, 전송, 저장 인프라로 활용하기에 적합한 공간일 것이다.

도로 인프라는 주요 도시와 이미 연결되어 있어 도로 갓길이나 인터체인지 등 인접 부지를 활용한다면 좋은 전력 생산에서 전송 및 저장에 좋은 조건을 갖추고 있다고 볼 수 있다. 또한 도로는 도심 또는 산업 지역과 직접적으로 연결되어 있어 생산한 전력을 단거리로 전송할 수도 있을 것이다. 최근 송전탑 건설 등 지역주민의 민원이 빈번하게 발생하는 사례를 보듯이 다른 대안을 찾아야 할 시점이다.

또한 수많은 차량은 도로 주행 시 미활용되고 운동 에너지를 잘 활용하는 방법을 찾는 것도 필요한 시점이다. 통행량의 증가로 인해 교통정체가 발생되기도 하지만 차량으로 인한 운동에너지가 그냥 활용되지 않고 흩어지고 있다. 미활용되고 있는 차량의 운동 에너지를 전기에너지로 변환하는 기술에 대한 아이디어는 조금씩 나오고 있지만, 아직 도전적인 아이디어로 생각되어져 본격적인 연구투자가 이루어지고 있지 못한 실정이다.

도로 교통 인프라를 활용한 에너지 수확 기술은 여러 환경 요인과 불확실성에 영향을 받을 수 있기 때문에 아직까지는 성숙된 기술이라고 볼 수는 없으나, 앞으로 미래 기술로서 관심을 가질 방향이라고 생각한다. 그리고 이 분야는 경제성과 실용화를 우선시 하는 연구투자 정책에서는 당분간 부합하지 못할 가능성이 있지만, 참신하고 창의적이며 모험적인 연구에 대한 배려가 필요한 시기라고 생각한다.

참고문헌

- [1] 한국건설기술연구원, 신재생에너지 생산을 위한 태양광로드 연구, 2011.
- [2] Tonia Buell, Jeff Pilcher, Kathy Lindquist, and Michel Wendt, "Solar Highway Programs Information: Synthesis", 2010.
- [3] <http://phys.org/print254548648.html>
- [4] <http://www.oregon.gov>
- [5] <http://shrm.snu.ac.kr>

◇ 저 자 소개 ◇



류승기(柳承基)

1999년 충북대 전기공학과 졸업(박사).
현재 한국건설기술연구원 SOC성능연구소
도로교통연구실/연구위원.

E-mail : skryu@kict.re.kr