

2025년 추계학술발표대회 : 대학생부문

# 야구장 발생 소음 이용한 에너지 하베스팅 시스템 제안

## - A Study on Energy Harvesting Using Noise Energy in Baseball Stadium

○조 환 희\*      전 승 호\*      권 민 영\*      오 재 준\*      변 상 우\*\*      조 진 균\*\*\*  
Cho, HwanHee      Jeon, SeungHo      Kwon, Minyeong      Oh, Jaekun      Byeon, Sangwoo      Cho, Jinkyun

### Abstract

This study explored energy harvesting from crowd noise in baseball stadiums. At Hanwha Life Eagles Park, sound levels were measured every three minutes from the 1st to 9th inning near the home cheering section, ranging 72.8–92.3 dBA with peaks up to 105.6 dBA. Estimated electrical output was 0.19–17.12 nW (average ~4.5 nW). Although individual harvesters yield low power, deploying many in large venues could supply ultra-low-power sensors and beacons. This demonstrates the potential of wasted environmental noise as a renewable urban energy resource.

키워드 : 에너지 하베스팅, 소음 에너지, 신재생 에너지

Keywords : Energy Harvesting, Noise, Renewable Energy

### 1. 서론

현대사회는 지구온난화로 인한 이상 기후, 해수면 상승 등을 겪으면서, 이산화탄소 배출을 감축하고 청정 지구환경을 보존하기 위해 많은 노력을 기울이고 있다. CO<sub>2</sub>를 배출하는 화석연료를 대체하기 위해 신·재생에너지 사업이 각광받고 있으나, 여전히 많은 기술적 개선이 필요한 실정이다. 동시에 우리 주변의 생활환경에서 발생하고 버려지고 있는 에너지를 활용하기 위한 에너지 하베스팅에 대한 노력도 절실히 요구되고 있다(Jo, 2009). 따라서 본 논문은 경기장에서 발생하는 소음을 활용한 에너지 하베스팅 기술을 연구하고자 한다. 구체적으로 소음 에너지를 전기에너지로 변환하는 하베스팅 기법을 적용하여, 경기장과 같은 대규모 공공시설에서 발생하는 소음 에너지를 적극 활용할 수 있는 방안을 탐구한다. 이를 통해 도시형 신재생 에너지 시스템으로 활용할 수 있는 가능성과 적용 방안을 제시하고자 한다.

### 2. 방법론\*

본 연구는 야구장의 관중이 발생시키는 소음을 활용하여 생산 가능한 에너지량을 분석하는 것을 목적으로 한다. 한화생명볼파크의 경우, 총 면적은 58,405.56 m<sup>2</sup>이고, 최대 수용인원은 20,007명이다. 야구장의 소음은 관중에 의해 발생하므로, 소음 수준이 가장 높은 홈팀 응원단석이 위치한 1루 측에 소음계를 설치하여 측정을 실시하였다. 실험

장비의 경우, CEM-DT-95 장비를 사용하였으며 1회~9회까지 각 회별로 3분 간격의 평균 소음(dBA)과 최대 소음 데이터를 수집하였다. 전력 계산은 수집된 평균 소음과 최대 소음 데이터를 기반으로 하여 관련 계산식을 적용하여 수행하였다.

$$SPL = 10 \log_{10} \left( \frac{P}{P_0} \right)^2 = 20 \log_{10} \frac{P}{P_0} (dB) \quad (1)$$

$$V_s = S_v \cdot p_{rms} \cdot G(f) \quad (2)$$

$$V_R = \frac{R_L}{\sqrt{R_L^2 + |Z_s|^2}} \cdot V_s, P_R = \frac{V_R^2}{R_L} \quad (3)$$

$$P_{rect} = \eta \cdot P_R \quad (4)$$

### 3. 실험결과

측정된 소음 데이터는 평균 72.8 dBA 에서 92.3 dBA 범위에서 분포하였고, 측정 시간 동안 최대 데시벨은 105.6 dBA로 측정되었다. 주파수 특성을 특정하기 위해



그림 1. 측정점 정보 및 소음계 표

\* 국립한밭대학교 건축설비시스템공학과 학부과정

\*\* 국립한밭대학교 건축설비시스템공학과 석사과정

\*\*\* 국립한밭대학교 건축설비시스템공학과 교수, 공학박사

(교신저자 : jinkyun@hanbat.ac.kr)

표 1. 회차별 소음 데이터 및 전력량

| 회차 \ 측정값 | 평균 소음 (dBA) | 최대 소음 (dBA) | 전력량 (nW) |
|----------|-------------|-------------|----------|
| 1~3회     | 84.2        | 103.5       | 110.8    |
| 4~6회     | 85.7        | 105.1       | 140.4    |
| 7~9회     | 82.7        | 105.6       | 48.9     |

야구장에서의 소음 수준을 측정한 논문을 참조하였다 (Lee & Han, 2019). 해당 연구에서는 야구장에서 주로 발생하는 관중 소음이 주로 0.05~1 kHz 구간에서 분포하며, 1 kHz 옥타브 밴드가 대표 중심대역임을 알 수 있었다. 따라서 본 연구에서도 대표 주파수를 1 kHz로 설정하여 계산에 적용하였다. 경기장 소음을 기반으로 계산된 전력량은 전체적으로 0.19~17.12 nW 수준임 확인하였으며, 평균 약 4.5 nW 수준으로 확인되었다. 이를 통해 nW 수준의 미약하지만 전력 생산이 가능한 것을 확인했다. 5회에서는 92.3 dBA이 기록되어 최대 17.12 nW의 전력이 생산되었는데, 이는 경기 흐름상 홈팀의 득점, 3루타 또는 홈런과 같은 장타, 혹은 관중 응원 이벤트가 발생했을 때 순간적으로 함성이 집중적으로 분출된 결과로 해석된다. 이러한 이벤트성 소음은 단순한 배경 응원보다 10 dBA 이상 높은 소음으로 나타났으며, 이로 인해 평상시보다 전력 생산량이 증가하는 양상을 보였다.

#### 4. 토의

버려지는 경기장 소음을 활용하여 에너지 하베스팅을 한 결과 소음을 통해 전력이 생산되는 것을 확인하였다. 계산 결과 전력량은 0.19~17.12 nW 범위에서 나타났으며, 평균 약 4.5 nW 수준으로 계산되었다. 이는 nW 단위의 전력 생산이 가능함을 의미하며, 경기 전체를 합산하면 수십 Wh 수준의 에너지 확보가 가능하다. 특히 야구장의 응원·득점 이벤트와 같은 이벤트성 소음이 전력 수확을 주도적으로 결정한다는 점을 실험적으로 검증하였다.

#### 5. 결론

본 연구는 소음 에너지가 단순한 공해가 아닌 잠재적 에너지원으로 기능할 수 있음을 입증했으며, 경기장과 공연장 등 적용 가능한 에너지 하베스팅 기술의 가능성을 제시하며 이에 따른 미비한 제도, 조건에 따른 일반화의 한계를 분석하였다. 에너지 하베스팅의 지속적인 성장을 위해서는 관중 규모와 위치에 따른 소음 분포가 크게 변동하기 때문에, 연구 결과를 일반화하기 위해서는 추가적인 데이터 축적과 다양한 조건에서의 검증이 필수적이다. IEC·ISO 등 해외에서는 이미 소음 측정 및 평가에 관한 국제 표준이 마련되어 있다. 이러한 기준을 국내에 도입하여 소리 에너지 하베스팅의 시험 조건과 평가 방식을 표준화한다면 연구 성과 간의 공정한 비교가 가능해지고, 성

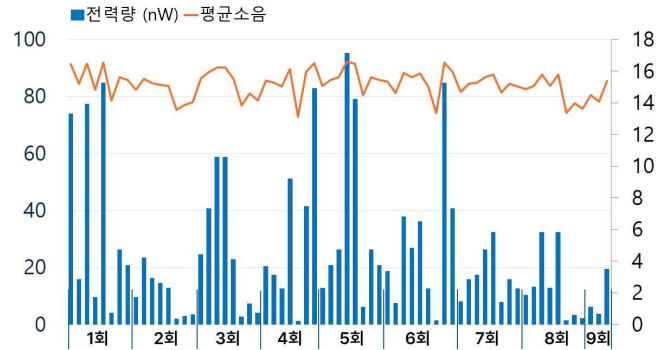


그림 2. 소음에 따른 전력량 그래프

능 인증 체계 확립을 통해 제품 상용화와 산업적 활용을 촉진할 수 있을 것이다. 향후 연구에서는 제안된 기술을 바탕으로 소음 에너지가 단순히 버려지지 않고, 정부 차원에서 적극적으로 활용된다면 유의미한 재생에너지 자원으로 자리매김할 수 있을 것이다. 이를 실현하기 위해서는 소음 에너지의 효율적으로 확보하기 위해 혁신적인 기술 개발과 더불어, 성능평가 기준 마련 및 지원 정책과 같은 제도적 개선이 병행되어야 한다.

#### 참고문헌

1. Jo Byung Wan, Kim Hyun Sik, Kang Seok Won, Kim Heoun, Jeon Woo Hyun, & Park Chul A Basic Study on Noise Energy Harvesting for Green Traffic Network. 대한토목학회 학술대회, p. 3003 ~ 3008
2. Kinsler et al. (2000). Fundamentals of Acoustics (4th ed., Chap. 5, Sec. 5.12, Eqs. 5.12.1-5.12.2).
3. Yang, Y., & Tang, L. (2020). Equivalent circuit modeling of piezoelectric energy harvesters (pp. 6-10). Nanyang Technological University.
4. Do, X.-D., Nguyen, H.-H., Han, S.-K., & Lee, S.-G. (2013). A rectifier for piezoelectric energy harvesting system with series synchronized switch harvesting inductor. In Proceedings of the IEEE Asian Solid-State Circuits Conference (pp. 269-272).
5. .Lee, D., & Han, W. (2019). Noise levels at baseball stadiums and the spectators' attitude to noise. Noise & Health, 21(99), 47-54