

고속도로 소음의 전기에너지 발생원으로서의 이용 가능성에 관한 기초연구

(A Fundamental Study on Feasibility of The Noise on Express Highway As Electrical Power Source)

박중신*

(Jung-Shin Park)

요 약

신·재생에너지원은 풍력, 태양 광, 연료전지가 대표적이다. 그러나 고속도로 또는 도로변에서 자동차의 바퀴와 도로 바닥과의 마찰로부터 발생하는 마찰 소음 역시 전기를 발생시킬 수 있는 재생에너지원으로 사료되어 다양한 재생에너지원의 개발 차원에서 연구하게 되었다. 자동차의 차중(중량), 속도, 이격거리 등에 따른 소음의 크기와 파형의 차에 따라 전기에너지의 발생량에 영향을 주었다. 고속도로에서 트럭이 시속 100[km], 측정거리 6[m]에서 최대전압 0.53[V], 최대출력 0.028[W]의 전기에너지를 얻었다.

Abstract

Wind power, Solar power and Fuel cell is the representative of new and renewal energy sources. In this paper, the frictional noise made by vehicles tire on roads is considered and researched as alternative electrical generation source. The amplitude and waveform of generated electricity with various types of vehicles according to their velocity, weight and distances between vehicles and sensor are measured and analyzed.

As a result, all difference effects mentioned above which make the frictional noise affect quality and quantity of generated electricity. Maximum 0.53[V] and 0.028[W] electricity was generated by truck with 100[km/h] velocity on the express way.

Key Words : New And Renewal Energy, A Source Of Friction Sound, Alternative Electrical Generation Source

1. 서 론

1997년 12월 기후변화협약 제 3차 당사국 총회(일명 교토회의)에서 90년을 기준으로 미국 7[%], 일본 6[%] 유럽연합 8[%]를 포함하여 선진국은 평균 5.2[%]의 온실가스 배출 감축 목표를 골자로 하는 “교토 의정서”를 채택하였고, 순 배출량 방식 및 배

* 주저자 : 위덕대학교 에너지전기공학부 조교수

Tel : 054-760-1665, Fax : 054-760-1669

E-mail : pjs1400@hanmail.net

접수일자 : 2009년 5월 15일

1차심사 : 2009년 5월 19일

심사완료 : 2009년 6월 8일

출권 거래제도를 허용하는 안을 채택하였다.

우리나라는 CO₂ 소비량이 2010년 정도에는 미국, 러시아, 중국, 일본, 독일 다음으로 6위, 2030년도에는 미국 다음으로 2위에 진입할 것으로 예상하고 있다[1]. 이에 대한 우리나라의 대응정책으로 정부에서는 녹색산업 육성책을 발표하고 관련 산업의 개발을 위해 재원 마련과 함께 대기업의 적극적인 참여를 주문하고 있다. 전원설비 산업은 풍력, 태양광 연료 전지 산업 등에 집중되어 있다. 그리고 에너지 자원 효율화 산업은 고효율 광원 기술 및 소재 개발, 고효율 전동기, 건물의 에너지 효율성을 높이기 위한 ESCO(Energy Service Company) 분야로 구분할 수 있다.

본 연구에서는 우리 생활 주변에서 쉽게 얻을 수 있는 소음이 새로운 전기에너지 발생원으로 이용이 가능한지에 대한 기초실험연구이다.

자동차가 일상생활의 필수품으로 인식되면서 자동차 대수가 증가하고 있고 이에 따라 자연스럽게 교통량뿐만 아니라 도로 역시 증가하고 있다. 따라서 자동차에 의한 소음 역시 증가하고 있다. 그러나 일반적으로, 고속도로, 터널 내 등에서 차량에 의해 발생하고 있는 마찰 소음은 단순히 소음으로 간주되어 이용가치가 없는 것으로 취급되고 있는 것이 사실이다. 특히, 고속도로의 경우에는 그 소음의 발생 정도가 매우 크기 때문에 전기에너지 발생원으로 충분히 사용할 가치가 있을 것으로 판단이 되어 이에 대한 기초 시험의 필요성을 느끼게 되었다.

따라서 본 연구에서는 일반국도, 고속도로 및 터널 내 등에서 속력이 가해진 차량의 타이어와 도로 바닥면과의 마찰에 의해 발생하는 평음을 전기에너지 발생원으로 사용할 수 있는지에 대한 기초 연구이다.

2. 원리 및 실험장치

2.1 원리

2.1.1 운동기전력

본 기초연구에서 사용한 전원발생장치는 일반국도, 고속도로 또는 터널 내의 소음에 의해 발생하는

공기의 소밀현상으로 진동판이 좌우 방향으로 움직이는 기계력을 이용하는 방식을 택하였다.

전기 발생장치의 구조는 그림 1과 같이 소음에 의해 좌우로 움직이는 원뿔 모양의 진동판이다. 그리고 진동판의 중앙에 진동판과 독립된 영구자석을 고정시키고 진동판의 원뿔 밑 부분에 코일 MC (Moving Coil)를 감아 진동판이 움직이면 코일이 영구자석에서 발생하는 자속을 직각 방향으로 자르도록 구성하였다.

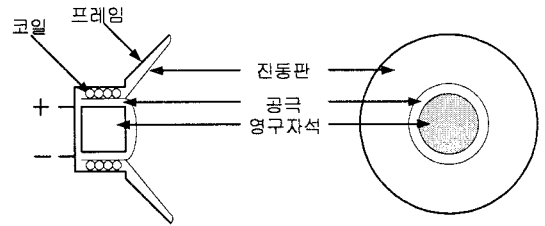


그림 1. 전기 발생장치의 구조
Fig. 1. construction of vibration

그림 1에서 영구자석의 자기장 B 내에서 코일이 진동판의 떨림에 의해 속도 v 로 움직이면 평균자기력 F 는

$$F = -e \vec{v} \times B \quad (1)$$

여기서

F : 영구자석의 자기력

v : 진동판의 떨림에 의한 코일의 좌우운동 속도

B : 영구자석에 의해 자기장이 되는 것은 이미 물리적으로 잘 알려진 사실이다.

또한,

$$F_E = qE = -F_B = -(q\vec{v} \times B) \text{의 관계가 성립된다.}$$

여기서 \vec{v} 와 B 가 수직 관계라면 $E = vB$ 가 된다.

따라서 솔레노이드의 양단에 걸리는 전압 V 는

$$\Delta V = EL = vBL \quad (2)$$

이 된다. 여기서 v 는 도체의 움직이는 속도이고, B 는 자기장, L 은 전기발생장치의 도체길이(솔레노이드)가 된다. 따라서 운동기전력 ξ 는

고속도로 소음의 전기에너지 발생원으로서의 이용 가능성에 관한 기초연구

$$\xi = vBL \quad (3)$$

여기서 L 은 도선코일의 전체 길이를 의미하기 때문에 원형으로 감긴 코일의 반지름을 r 이라 하면 $L=2\pi rN$ 이 된다. 여기서 N 은 코일이 감긴 횟수이다.

따라서 식 3의 운동기전력 ξ 은

$$\xi = vB \cdot 2\pi rN \quad (4)$$

이 된다.

식 4를 물리적으로 해석하면, 소음의 소밀(疏密)에 의해 진동판이 진동하면 진동판에 부착된 솔레노이드 $L(=2\pi rN)$ 이 전기장 B 에서 v 의 속도로 좌우운동을 하게 된다. 이에 따라 솔레노이드 L 은 영구자석에서 발생하고 있는 전자장 B 를 수직방향으로 v 의 속도로 자르면 솔레노이드 L 의 내부에는 기전력 ξ 가 발생하게 된다. 만일, 솔레노이드 L 의 양단에 저항 R 을 연결하면 저항 R 의 양단에 전위차 V 가 발생하여 전류 i 가 흐르게 된다[2].

2.1.2 소음에 의한 진동판의 진동속도와 기전력

소음에 의해 진동판이 v 의 속도로 움직인다면 속도 v 는 식 5와 같이 표현할 수 있다.

$$v = \frac{dx}{dt} = wA_0 \cos(wt) \quad (5)$$

여기서

A_0 : 최대진동 폭

또한, 기전력 ξ 는 식 6과 같이 표현된다.

$$\xi = vBL \quad (6)$$

식 5를 식 6의 v 에 대입하여 풀면 식 7과 같이 표현할 수 있다

$$\xi = wA_0 \cos(wt)BL \quad (7)$$

식 7에서 진동판 장치가 완성이 되면 B 와 L 은 고정되었기 때문에 기전력 ξ 의 크기는 진동판의 좌우

움직임의 속도에 의해 결정된다. 또한 식 5에서 속도의 진폭은 wA_0 에 의해 결정됨을 알 수 있다.

2.1.3 진동판의 두께 및 재질에 따른 진동 특성

진동판의 재질 및 두께는 진동판의 진동 특성에 많은 영향을 주기 때문에 진동판의 진동주파수 특성이 달라진다. 그림 2의 그래프를 보면 모든 재질에서 진동판의 두께가 두꺼워지면 공진주파수 특성이 상승하는 것을 알 수 있다. 뿐만 아니라 재질에 따라 같은 두께인 경우에도 공진주파수 대역이 달라짐을 알 수 있다[3].

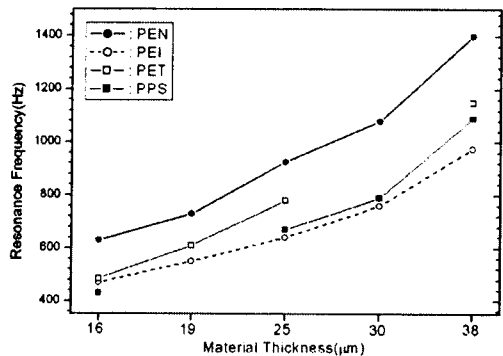


그림 2. 진동판의 재질과 두께에 따른 진동 주파수 특성
Fig. 2. The frequency characteristics according to materials and thickness of vibration plate

이런 특성은 진동판의 떨림 효과를 최대한으로 끌어내기 위해서는 진동판에 대하여 보다 체계적인 연구와 설계가 요구됨을 알 수 있다.

2.2 실험장치

차량에 의해 소음이 발생하는 장소인 고속도로에서 실험하기 위해서 그림 3과 같이 실험 장치를 구성하였다.

속도가 가해진 차량으로부터 발생하는 소음에 의해 진동판이 움직이면 진동판의 표면에 부착된 센서(ADXL330)에 의해 진동판의 진동폭, 진동횟수가 3차원적(X,Y,Z)으로 감지된 데이터와 소음에

의해 진동판의 진동으로 전원발생장치의 단자(+,- 단자)에 전압이 발생하여 Multifunction I/O(NI USB 6009)에 입력된다. 이 신호는 Multifunction I/O에서 증폭되어 USB 단자를 통해 신호 분석처리장치(노트북)로 입력되어 진동폭, 진동횟수, 전압, 전류, 전력의 크기 및 파형 등이 출력하도록 구성하였다.

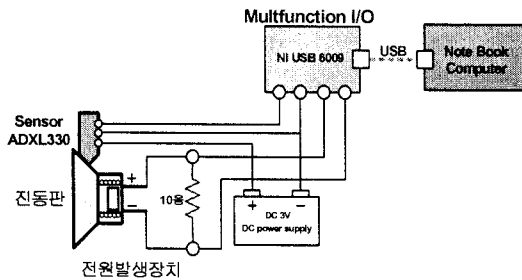


그림 3. 실험장치
Fig. 3. Devices of equipment

출력 전압, 전류, 전력은 차량의 크기(중량)와 속도 등에 따라 크게 달라 질 수 있을 것으로 사료된다. 뿐만 아니라 지나가는 차량과 진동판의 거리에 의해서도 많은 영향을 받을 것으로 판단되어 실험을 차량의 종류(중량), 차량의 속도, 차량과의 거리로 구분하여 실험하였다.

2.2.1 진동판(Vibration plate)

표 1. 진동판 규격
Table 1. Specifications of the vibration plate

구	격	단위	값
능	률	[db]	90
진동판	직경	[cm]	8
진동판	재질		펄프
진동판의	두께	[mm]	0.2
진동판의	투영 면적	[cm ²]	16[π]

진동판은 차량으로부터 발생한 소음에 의해 공기층의 소밀현상이 일어나면 공기층의 소밀에 따라 민감하게 응답할 수 있는 구조로 되어 있다. 뿐만

아니라 진동판을 지지하고 있는 에지(edge)의 형태에 따라 진동판의 진동 폭에 영향을 줄 수 있다. 본 연구에서는 기초 연구이기 때문에 진동판에 대한 디자인은 차후의 연구로 넘기고, 오디오의 음향장치로 사용하고 있는 스피커를 진동판으로 사용하였다. 본 연구에 사용한 스피커의 능률은 90[db]급이다.

2.2.2 센서(Sensor)

센서는 그림 3과 같이 진동판의 표면에 수직 또는 수평으로 부착하여 진동판의 떨림에 응동하여 신호가 출력되도록 구성하였다. 본 시험에 사용된 센서의 규격은 표 2와 같다.

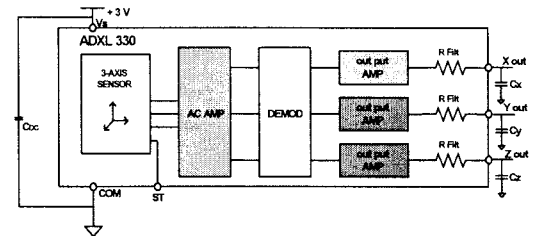


그림 4. 센서 등가회로도
Fig. 4. Equivalent circuit of sensor

표 2. ADXL330의 센서 규격
Table 2. Specification of Sensors

구	분	값
sensing	dimension	3[axis]
Range		+/- 3[g]
Sensitivity		270~330[mV/g]
Sensitivity Accuracy([%])		±1[%]
Output amplifier		0.1~2.8[V]
Typical Bandwidth(kHz)		2.5[kHz]
Noise Density(μg/Hz rms)		280(Xout, Yout) 350(Zout)
Voltage Supply(V)		1.8 to 3.6[V]
Supply Current(max)		320[μA]
Temp Range(°C)		-25 to 70[°C]

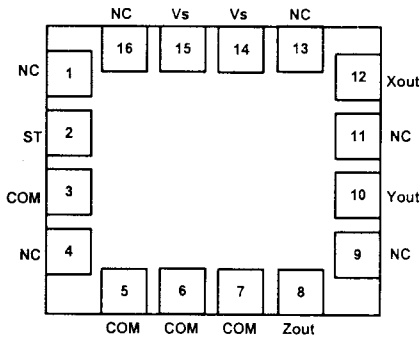


그림 5. 셀의 핀 단자
Fig. 5. Pins configuration

표 3. 핀 단자의 기능 설명
Table 3. Pin Function Descriptions

핀 번호	표식	의 미
1	NC	No Connect
2	ST	Self Test
3	COM	Do Not Connect
4	NC	No Connect
5	COM	Common
6	COM	Common
7	COM	Common
8	Zout	Z channel out
9	NC	No Connect
10	Yout	Y channel out
11	NC	No Connect
12	Xout	X channel out
13	NC	No Connect
14	Vs	Supply Voltage(1.8[V]~3.6[V])
15	Vs	Supply Voltage(1.8[V]~3.6[V])
16	NC	No Connect

2.2.3 프루브(Probe)

프루브는 전원발생장치에서 발생된 전압을 측정하기 위하여 저항을 사용하였다. 저항의 규격은 10 [Ω]을 사용하였다.

표 4. 프루브 규격
Table 4. Specification of probes

구분	단위	값
종류	-	저항
규격	Ω	10
정격	W	1/2

2.2.4 전원공급장치

상기 설치를 동작시키기 위해서는 직류전원 3[V]가 필요하다. 따라서 건전지를 전원으로 사용하였다.

2.3 실험방법

상기 장치를 이용하여 실험실에서 기초 실험을 하고, 현장(고속도로)에서 실측하는 방식을 취하였다. 실험내용은 전원장치와 차량과의 거리에 대한 전력생산량의 크기 변화, 차량 종류(중량)에 따른 전력생산량의 크기 변화, 차량의 속도에 따른 전력생산량의 변화 등을 비교 검토하는 방식으로 시행하였다. 표 5는 측정 조건을 분류한 것이다.

표 5. 측정 조건
Table 5. Conditions of measurement

구분	내 용
거리	측정장치와 차량과의 거리
차종(중량)	차량의 종류(트럭, 승용차, 소형승용차)
차량속도	차종이 비슷한 차량간의 속도 비교

3. 측정 결과 및 분석

상기와 같이 소음원과의 거리(측정장치와 차량간 거리), 차량종류(중량), 차량속도 등으로 분류하여 측정된 결과는 다음과 같다.

3.1 측정장치와 소음원(차량) 거리에 따른 측정 결과

소리의 세기는 소음원으로부터 멀어지면 거리의 제곱에 반비례하여 감소한다[2]. 따라서 소음원과 차량간 거리는 전력 생산량과 매우 밀접한 관계가 있

기 때문에 차후, 전원장치의 설치 위치를 결정하는데 중요한 요소가 될 것이다.

그림 6은 시속 100[km/h]의 승용차로부터 약 6[m] 떨어진 곳에서 측정된 데이터이다. 최소 전압 및 최고전압은 약 0.04~0.09[V], 전류는 0.0045~0.008[A] 정도가 발생하였다.

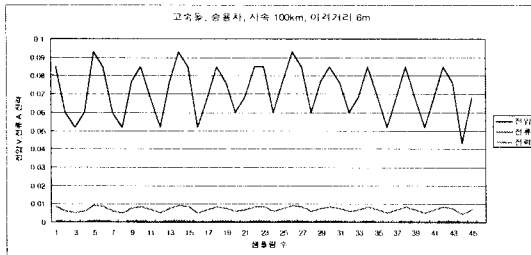


그림 6. 승용차, 시속 100(km), 이격 6(m)의 데이터
Fig. 6. Car for person, Speed 100(km/h), distance 6(m) between car and device

그림 7은 시속 100[km/h]의 승용차로부터 8[m] 정도 떨어진 곳에서 측정된 데이터이다. 최저 및 최고 전압은 0.018~0.07[V], 최저 및 최고전류는 0.0018~0.0076[A] 정도가 발생하였다.

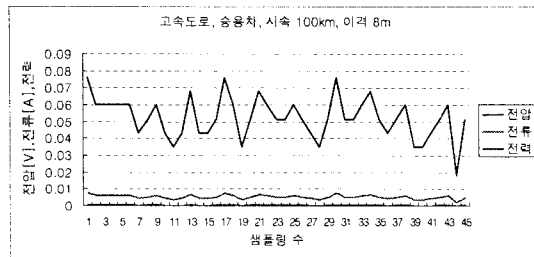


그림 7. 승용차, 시속 100(km), 이격 8(m)의 데이터
Fig. 7. Car for person, Speed 100(km/h), distance 8(m) between car and device

3.2 차량 종류(중량)에 따른 측정 결과

차량의 중량에 따라 도로바닥과 차량의 타이어와의 마찰면의 증가 및 차량 중량에 따른 마찰력의 크기가 달라지기 때문에 두 요소에 의해 파생하는 물리현상으로 발생하는 소음의 크기도 달라진다. 따라서 지나가는 차량의 종류에 따라 진동판의 진동속도나 진동 폭이 달라져 전기발생량에 영향을 준다. 측

정 데이터는 다음과 같다. 차량과의 이격거리 8[m], 시속 100[km/h]인 소형승용차의 경우에는 그림 8과 같이 최저 및 최고전압은 -0.02~0.02[V], 전류는 -0.004~0.004[A] 정도로 매우 미미하였다.

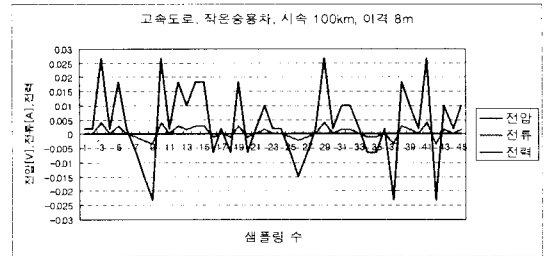


그림 8. 작은승용차, 시속 100(km), 이격거리 8(m)의 데이터
Fig. 8. Mini Car, Speed 100(km/h), distance 8(m) between car and device

시속 80[km/h], 차량과의 이격거리 8[m]인 트럭은 차량에 설치되어 있는 타이어개수, 직경, 폭, 바닥무늬 및 차량 무게 차에 의해 지역의 주파수가 많이 포함되어 있다. 그림 9는 트럭과 같이 중량이 큰 차량에서 발생된 것으로 최저 및 최고전압은 -0.18~0.21[V], 전류는 0.018~0.02[A] 정도가 발생하였다.

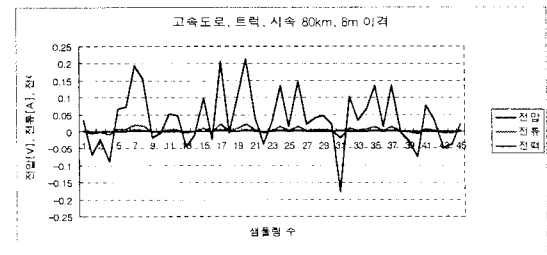


그림 9. 트럭, 시속 80(km), 이격 8(m)의 데이터
Fig. 9. Truck, Speed 80(km/h), distance 8(m) between car and device

3.3 차량속도에 따른 측정 결과

트럭으로 비교하면 같은 종류의 차량이라도 차량 속도에 따라 소음의 발생량도 달라진다. 따라서 속도에 의해 받는 영향 정도를 알아보기 위하여 비슷한 차량을 대상으로 차량속도에 따른 전기발생량을 측정하였다. 그림 10은 트럭이 차량과의 이격거리

고속도로 소음의 전기에너지 발생원으로서의 이용 가능성에 관한 기초연구

6[m]에서 시속 80[km/h] 정도로 달릴 때 발생된 전력을 측정하였다. 최저 및 최고 전압은 $-0.15 \sim 0.24[V]$, 전류는 $-0.015 \sim 0.025[A]$ 정도가 발생하였다.

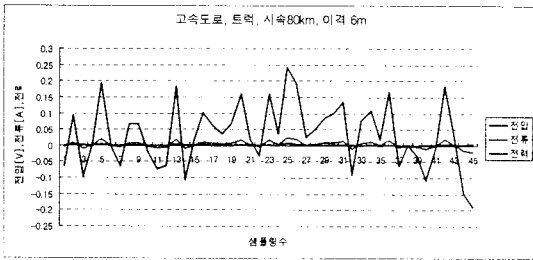


그림 10. 트럭, 시속 80(km), 이격 6(m)의 데이터
Fig. 10. Truck, Speed 80(km/h), distance 6(m) between car and device

그림 11은 차량과의 이격거리 6[m]에서 시속 100[km] 정도인 트럭에 의해 발생된 경우인데, 최소 및 최대 전압은 $0.045 \sim 0.53[V]$, 전류는 $0.0045 \sim 0.053[A]$ 정도가 발생하였다.

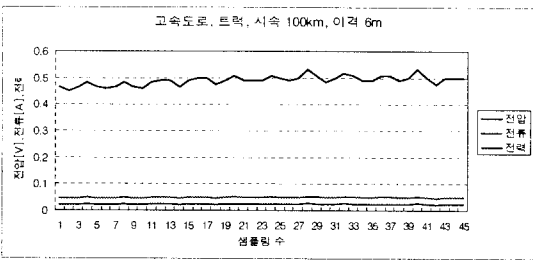


그림 11. 트럭, 시속 100(km), 이격 6(m)의 데이터
Fig. 11 Truck, Speed 100(km/h), distance 6(m) between car and device

3.4 측정결과 분석

3.4.1 측정장치와 소음원(차량) 거리에 따른 측정 결과 분석

시속 100[km]인 동종의 승용차를 대상으로 측정 장치와의 이격거리만을 변화시키면서 측정한 것이다. 그림 12는 이격거리를 8[m]와 6[m]로 변경한 다음, 각각에 대하여 출력된 전력을 측정하였다. 미미한 전력을 발생하고 있지만, 그 크기는 분명하게 차이를 보이고 있다. 따라서 보다 많은 전력을 얻

기 위해서는 차량에 보다 접근하여 시설해야 한다는 것을 얻었다.

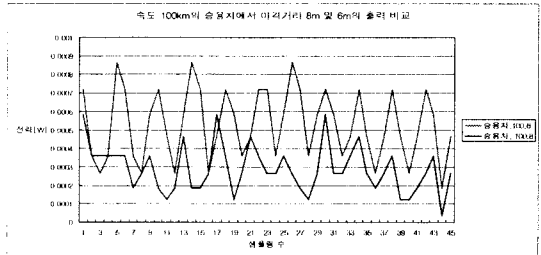


그림 12. 차량과의 이격에 따른 전력 발생량 비교
Fig. 12. Generated powers according to the distance between vehicles and sensor

3.4.2 차량의 종류(중량)에 따른 측정 결과 분석

그림 13은 차량의 종류(중량)에 따라 전력생산량이 달라짐을 비교한 것이다. 소형차량의 경우에는 전력 발생량이 극히 미미하였고, 트럭의 경우에는 소형차량에 비해 많은 전력량을 발생하고 있음을 알 수 있다. 이러한 차이는 차종(중량) 따라 발생하는 소음 주파수 대역의 차이에 따른 것으로 사료된다. 즉, 소형차의 경우에는 고역 주파수가 많이 발생하고, 트럭의 경우에는 저역 주파수와 주변에 발생한 바람의 영향에 기인된 것으로 사료된다.

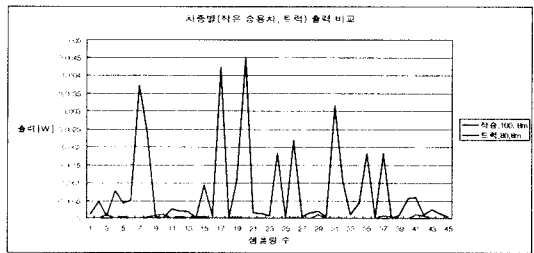


그림 13. 차량의 중량에 따른 전력생산량 비교
Fig. 13. Generated powers according to the weight of vehicles

3.4.3 차량속도에 따른 측정 결과 분석

동종의 차량(트럭)을 대상으로 차량의 속도 차에 따른 전력 발생량을 비교하였다. 그 결과를 그림 14에 나타내었다. 속력이 낮은 차량에 비해 속력이 빠른 차량일수록 전력 발생량이 현격하게 차이가 나는

것을 알 수 있다. 따라서 보다 많은 전력을 얻기 위해서는 일반국도 보다는 고속도로를 대상으로 하는 것이 효과적임을 알 수 있다.

차후에 본 연구가 계속되어 수행된다면 상기에서 언급한 문제점을 중심으로 연구되어야 할 것으로 예측된다.

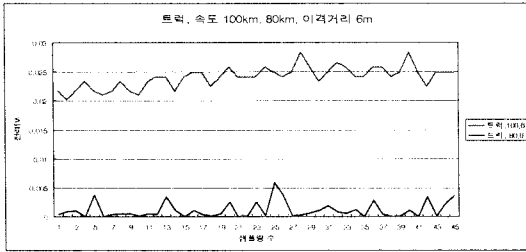


그림 14. 차량 속도에 따른 전력생산량 비교
Fig. 14. Generated powers according to the velocity of vehicles

4. 결 론

본 연구는 소음원을 이용하여 전력을 생산할 수 있는지에 대한 기초실험을 수행한 것이다. 실험결과에 따르면 소음원으로 전력 생산이 가능하다는 것을 알 수 있다. 그러나 아직 연구가 초기 단계이기 때문에 생산되는 전력량에 대하여서는 언급하기에는 미흡하지만, 풍력, 태양광, 연료전지와 마찬가지로 소음원도 전력을 생산할 수 있는 에너지원으로 인식하는 것이 가능하다는 것을 알 수 있다.

따라서 일반도로, 고속도로, 디스코텍, 터널 등과 같이 소음이 많이 발생하는 곳을 대상으로 한 소음을 이용한 전원발생장치를 개발하여 적용한다면 지금까지 환경오염원이라 여겨진 소음에너지를 전기에너지로 재생하여 사용할 수 있음을 알 수 있다.

그러나 이 방식은 차량 등에서 발생된 소음을 이용하기 때문에, 이를 전기에너지로 효율적으로 변환하기 위해서는 우선 소음원에 대한 주파수적인 분석이 이루어져야 한다. 그 이유는 소음에는 주파수가 다른 음원이 혼재되어 있기 때문에 이 소음원을 그대로 전기발생원으로 사용한다면 발생된 전원의 품질이 매우 거칠고 불규칙하여 실제 실용하기에는 어려울 것으로 판단된다. 이를 위하여 선행되어야 할 연구로, 진동판의 최적화, 고속도로 및 일반도로의 차량에 의한 소음 주파수 대역의 분석, 전원발생장치의 설치위치에 관한 연구 등을 들 수 있다.

감사의 글

이 연구 결과물은 2007학년도 위덕대학교 학술진흥연구비 지원에 의하여 이루어졌음 관계부처에 감사드립니다.

References

- [1] The Korea Institute of Electrical Engineers(KIEE), "The newest distribution systems engineering", Bookshil, 2006, 9, p 509.
- [2] Sung Tea Lee, "The theory and applications of Sounds", Cheong Moon Cak, 2004, pp 33, pp 199.
- [3] Seo Jin Oh, "A study on speaker's characteristics according to the thickness of polymer vibration plates", The Korean Physical Society, 2006, pp 536~541.
- [4] Nam Young Kang, Physics II, 2005.3, Bookshil, p653~659.

◇ 저자소개 ◇

박중신 (朴重信)

1956년 3월 3일생. 1980년 숭실대학교 전기공학과 졸업. 1982년 숭실대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2000년 숭실대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1979~1990년 한국전력공사 북부지점. 1990~1992년 한국전력공사 전력연구원 선임연구원. 1992~2002년 한국전력공사 중앙교육원 배전교육팀 교수. 2002~2005년 동해대학교 전기공학과 조교수. 2005년~현재 위덕대학교 에너지전기공학부 조교수.