

빅데이터 분석을 통한 압전 하베스터 버스 정류장 개발

Team BIG.A

제출일 : 2020.12.11.(금)

제출인 : 2016011405 김형경

1. 서론

우리나라는 높은 전력 수요와 예상보다 빠른 수요 증가로 매년 에너지 문제가 발생하고 있다. 이에 신재생 에너지인 태양광 발전과 풍력 발전에 꾸준히 투자하고 있지만 에너지 생산에 환경 요소가 많은 들어가는 등의 여러 가지 문제점으로 인해 만족할만한 대안이 되지 못하고 있다. 이에 앞선 신재생 에너지들과는 달리 주변 환경에 영향을 덜 받으면서 주변에 버려지는 에너지를 수확한다는 의미를 가진 에너지 하베스팅이 최근 각광받고 있다. 하지만 아직은 상용화가 될 만큼의 기술력은 아니기에 세계적으로 여러 기업, 단체, 대학에서 에너지 하베스팅을 연구하고 있으며 이를 어떻게 활용할지가 중요한 문제로 떠오르고 있다. 또한 4차산업혁명으로 인공지능(AI), 사물인터넷(IoT), 로봇공학, 빅데이터 등의 분야가 떠오르고 있는 상황이다.

본 과제에서는 에너지 하베스팅과 빅데이터 분석을 결합하여 “에너지 하베스팅이라는 기술이 상용화 될 만큼 발전 했을 때, 우리나라에 어떻게 적용할 것인가”에 대한 방안을 빅데이터 분석과 간단한 실험을 통해 연구·제시하려고 한다.

연구에는 여러 가지 에너지 하베스팅 기술 중 압력을 이용하는 압전 하베스팅을 활용하였고, 이를 잘 이용할 수 있는 충분한 압력을 가지고 있으며, 매일 정차횟수가 동일하여 주변 환경의 영향을 덜 받는 대중교통 중 bus와 버스 정류장을 이용하기로 하였다.

본 과제에서는 압전 하베스팅에 관한 간단한 실험을 진행하고, 아직은 에너지를 수확하는 하베스터 부분의 기술력이 부족함을 감안하여 하베스터를 개발하려는 여러 논문 속 데이터를 활용하여 버스 정류장에 정차하는 버스 1대 당 얻는 전력량을 계산하였으며, 데이터를 분석하는 과정에서 너무 많은 데이터의 분석은 적절하지 않다고 판단하여 버스 정류장의 수가 약 800개로 적당한 수준인 포항시의 버스 정류장 별 정차횟수를 빅데이터 분석을 통해 도출 하는 방식으로 진행하였다. 또한 빅데이터 분석 기법 중 데이터 마이닝 기법을 활용하여 버스 정류장 주변의 시설과 정차횟수 간의 연관성이 있는지 의사결정나무(Decision Tree)규칙을 도출하였다. 이 후 타 지역의 정차횟수 표본을 추출하여 도출된 규칙을 타 지역에도 적용이 가능한가를 알아본 후, 축소모형을 만들어 압전 하베스터를 설치한 자가발전 정류장과 그 설치가 적절한 정류장을 제안하고 압전 하베스팅 기술이 상용화가 될 수 있을 만큼 발전했을 때, 본 과제에서 제안한 방안이 활용 가능성이 있는가를 확인하고자한다.

2. 관련연구

현재 압전 하베스팅에 관한 연구는 여러 기업, 대학 등에서 활발하게 진행 중에 있다. 이 중 조병완·황윤태의 압전효과를 이용한 에너지 하베스팅 기초연구(2010)는 차량 하중에 대한 변수를 두어 실내모형실험과 실외실험을 통한 연구를 진행하였다.

압전 하베스팅 분야에서 한국도로공사 연구원의 압전 하베스터 성능검증 및 운영전략 수집(2017)은 한국도로공사에서 개발한 압전하베스터를 실제 도로에 설치하여 실험하기 위해 방수, 내열, 축하중, 발전 성능을 테스트하고, 차량별, 속도별, 마지막으로 센서 주위 구성요소에 따른 전력량을 연구하였다.

빅데이터 분석 분야에서는 따로 버스 정차횟수에 관한 연구는 존재하지 않았다.

본 과제에서는 하베스터를 직접 개발하지 못하기 때문에 관련연구의 데이터를 사용하기로 했으므로 위 두 가지의 압전 하베스팅 관련연구 중 실제 설치 후 운영까지 해보고 본 과제에 사용될 버스의 무게와 비슷한 트럭이 변수로 들어가 있는 한국도로공사의 연구를 참고하여 그 관측치를 사용하고, 더 나아가 버스 정차횟수 도출이라는 빅데이터 분석을 통해 하베스터의 설치 장소까지 정해주는 방향으로 진행하고자한다.

3. 배경이론

3.1 압전 하베스팅

에너지 하베스팅이란 일상에서 버려지는 에너지(Energy)를 수확(Harvest)하여 전기 에너지로 저장하는 것을 뜻한다. 에너지는 항상 100% 쓰이지 못하고 많은 양이 버려지게 되는데, 이 버려지는 일상 속 에너지를 재활용하는 친환경적인 미래 기술이라 할 수 있다. 그 중 압전 하베스팅이란 어느 물질에 일정한 압력을 가했을 때 전류가 생기는 현상인 압전 효과를 이용해 에너지를 수확하는 기술이다. 압력이 가해지는 부분을 하베스터라고 하는데, 본 과제에서는 정류장에 설치한 압전 하베스터에 버스의 압력을 가해 전류가 생기는 원리를 이용하여 자가발전을 하는 압전 하베스터 버스정류장 설치방안 제안하려고 한다.

3.2 데이터 마이닝

빅데이터 분석 중 대규모로 저장된 데이터 안에서 체계적이고 자동적으로 통계적 규칙이나 패턴을 분석하여 가치있는 정보를 추출하는 기법인 데이터 마이닝(Data Mining)을 활용하였다. 인터넷에서 구한 가공되지 않은 데이터를 정제, 통합, 변환을 하여 분석에 용이하게 만드는 데이터 전처리(Data Preprocessing) 과정을 거친 후 정류장에 정차하는 버스의 정차횟수를 도출하고 직접 수집한 주변시설 데이터와 병합 후 분석을 진행하였다.

3.3 의사결정나무(Decision Tree)

데이터 마이닝의 데이터 분석 기법은 크게 군집분석, 연관분석, 분류분석으로 나뉘는데 본 과제에서는 분류분석 중 다수의 변수를 갖는 데이터 셋을 대상으로 특정 변수 값을 조건으로 지정하여 데이터를 분류하여 트리 형태의 모델을 생성하여 데이터 간의 규칙을 찾는 분석 방법인 의사결정 나무(Decision Tree)를 이용하여 “정류장 주변에 어떤 시설이 있을 경우 정류장에 정차하는 버스의 수가 많은가”에 대한 규칙을 찾고 시각화하는 분석을 진행하였다.

4. 개발 혹은 실험

4.1 실험 개발 개요

압전 하베스터의 개발은 힘들기 때문에 위에서 언급한 한국도로공사에서 진행한 압전하베스터 성능검증 및 운영전략 수집(2017)연구에서 도출된 결과데이터를 사용하기로 하였다.

결과데이터를 사용하기로 앞서 참고한 연구에서는 압전 하베스터로 얻는 전력량은 압력을 주는 변수의 무게와 속도에 비례한다는 것을 기본으로 하고 있어, 본 과제에서는 압전 하베스터가 변수의 무게와 속도에 따라 생산하는 전력량이 정말 비례하는가에 관한 실험을 진행한 후 질문이 옳다는 결과가 나오게 되면 참고연구의 결과데이터를 사용하기로 하였다.

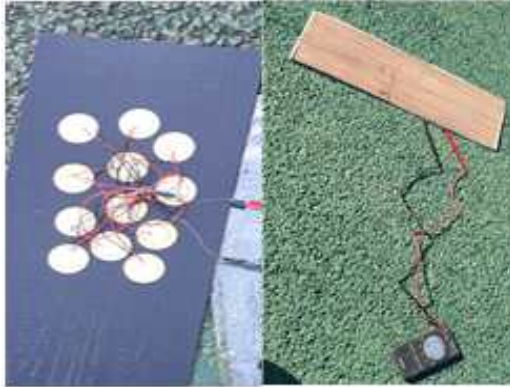
“무게와 속도가 증가함에 따라 압전 하베스터로 얻는 전압은 증가 하는가”와 “키패드로 얻을 수 있는 전력량은 어떻게 되는가”에 대한 결과를 얻기 위해 키패드와 압전소자를 이용해 실험을 진행하였다. 실험은 압전소자 12개를 병렬 연결하여 키패드의 바퀴 너비에 맞춰 판에 부착한 후, 전력량을 확인하기 위해 테스트기를 연결시킨 후 진행 되었다.

전력측정은 키패드 탑승자의 무게에 따라 속도를 다르게 하여 각각 5번씩, 총 45번 측정하였으며, 도출된 결과를 분석하여 질문에 대한 답을 얻어내는 과정을 진행하였다.

4.2 실험 개발 과정 상세 설명

경상대학교 대운동장에서 진행한 본 실험은 통제변수를 키패드에 탑승한 무게인 75kg, 독립변수를 속도(10km/h, 20km/h, 30km/h)로 종속변수를 전압(V)로 설정한 후, 간이 압전 하베스터를 바닥에 둔 채로 키패드를 운전하여 하베스터를 지나갈 때 얻는 전압을 속도 별 3회 반복 측정하였다.

이후 통제변수를 85kg, 90kg으로 설정하고 독립, 종속변수는 그대로 유지한 채 동일하게 실험을 진행하여 통제 변수 별 15회, 총 45회 전압을 측정하였다.



〈그림 1 실험에 사용한 간이 압전 하베스터〉



〈그림 2 실험 진행〉

4.3 실험 개발 결과 설명

무게와 속도가 전압에 영향을 미치는가를 분석하기 위해 〈그림 3〉의 실험을 통해 얻은 45회의 전압측정값 중 결측치 3개를 제외한 값을 통계분석 기법인 이원분산분석 중 교차설계로 가설검정을 진행하였다.

가설검정에 앞서 앞에서 언급했던 질문 중 첫 번째 질문인 “무게와 속도가 증가함에 따라 압전 하베스터로 얻는 전압은 증가 하는가”에 해당하는 가설을 세웠다.

〈1〉

귀무가설 : 무게는 측정되는 전압에 영향이 없다.

대립가설 : 무게는 측정되는 전압에 영향이 있다.

〈2〉

귀무가설 : 속도는 측정되는 전압에 영향이 없다.

대립가설 : 속도는 측정되는 전압에 영향이 있다.

〈3〉

귀무가설 : 속도와 무게의 상호작용은 측정되는 전압에 영향이 없다.

대립가설 : 속도와 무게의 상호작용은 측정되는 전압에 영향이 있다.

SPSS 프로그램을 이용하여, 유의수준을 0.05로 설정하고 이원분산분석 교차설계로 가설검정을 진행한 결과 〈그림 4〉처럼 유의확률이 유의수준보다 작아 〈1〉,〈2〉,〈3〉의 귀무가설 모두 기각하고 대립가설을 채택하는 결과가 나왔다. 즉 무게는 측정되는 전압에 영향이 있다고 말할 수 있고, 속도는 측정되는 전압에 영향이 있다고 말할 수 있으며, 속도와 무게의 상호작용은 측정되는 전압에 영향이 있다고 말할 수 있다는 것이다. 특히 속도보다는 무게가 하베스터로 얻는 전압에 영향을 더 끼치는 것으로 나왔다.

그리고 두 번째 질문인 "킵보드로 얻을 수 있는 전력량은 어떻게 되는가"에 대한 결과를 얻기 위해 전압(V)을 통해 전력량(W)을 도출하는 아래 공식을 사용하였다.

$$W = \int V * C \frac{dV}{dt} dt [W \cdot \text{Sec}]$$

$$W = C V^2 / 2 [W \cdot \text{Sec}]$$

공식을 통해 얻은 전력량 중 가장 높은 전력량은 $283.9 \mu W \cdot \text{Sec}$ 이다. 이는 두 번째 질문에 해당하는 결과는 얻었지만 사용하기에는 너무 적은 양의 전력인데 시중에 판매되는 압전소자의 한계와 무게·속도의 부족이라고 생각된다. 그렇기에 본 과제에서는 앞서 언급했듯이 관련연구의 값들을 이용하여 압전 하베스터 버스 정류장을 개발하는 것이 적절하다는 결과를 얻었다.

무게(kg)		75			85			90		
속력(km/h)		10	20	30	10	20	30	10	20	30
전압 (V)	1	12.0 9	11.5	12.5	0	19.2	22.4	25.7	10.3	35.5
	2	12.3	14.2	15.6	17.2	20.3	3.6	22.8	30.0 3	33.7
	3	13.4	12.3	16.4	20.2	21.8	26.1	28.2	25.7	31.4
	4	10.2	13.8	13.5	22.1	18.5	24.5	24.5	28.1	38.9
	5	9.96	15.6	14.7	18.5	23.6	23.3	26.1	23.6	32.9
	평균	11.5 9	13.4 8	14.5 4	19.5	20.6 8	24.0 75	25.4 6	26.8 575	34.4 8
전력량 ($\mu W \cdot \text{Sec}$)		29.8	40.3	46.9	84.4	94.9	128. 6	143. 9	160. 1	263. 9

〈그림 3 실험 결과표〉

개체-간 효과 검정

종속변수: 전압

소스		자유도	평균 제곱	F	유의확률
절편	가설	1	18928.746	19.977	.030
	오차	2.515	947.506 ^a		
속도	가설	2	125.977	9.009	.033
	오차	4.010	13.984 ^b		
무게	가설	2	837.156	59.785	.001
	오차	4.005	14.003 ^c		
속도 * 무게	가설	4	14.022	3.204	.025
	오차	33	4.376 ^d		

〈그림 4 가설검정〉

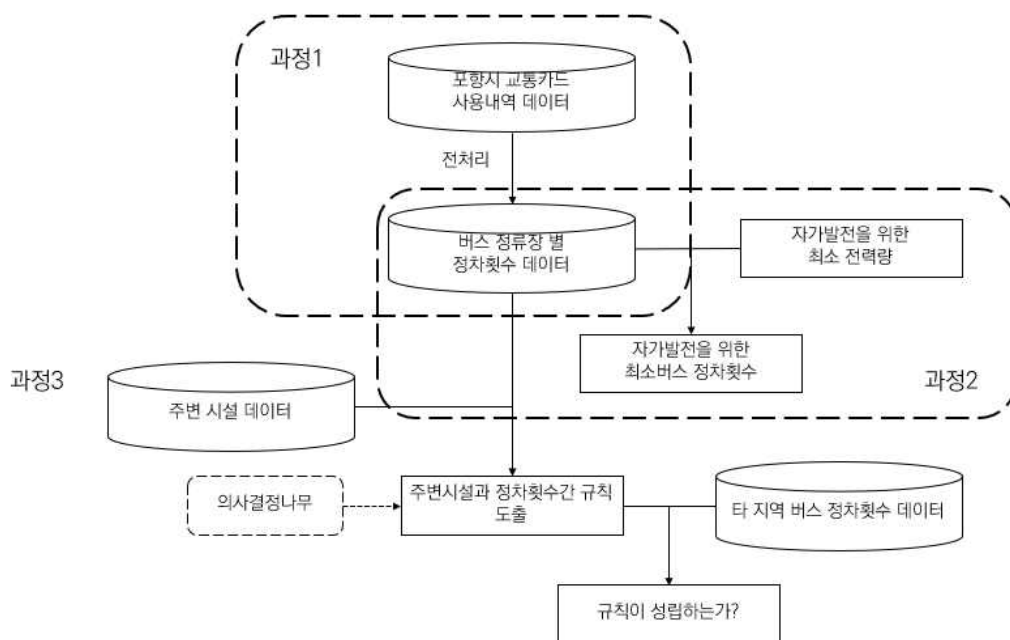
5. 빅데이터 분석

5.1 분석 진행 과정

본 과제 중 빅데이터 분석을 요약하면 <그림 5>와 같다. 먼저 ‘과정1’에서는 교통카드 내역으로 버스 정류장 별 버스 정차횟수를 도출하고자 한다. 이를 위해 전처리(preprocessing)를 진행하여 분석에 사용될 데이터를 만들어 내고 엑셀의 함수기능을 활용하여 결과 도출 후 ‘과정2’를 진행하고자한다.

‘과정2’에서는 몇 대의 버스가 정차해야 버스정류장의 BIS(버스정보안내단말기)와 전구를 자가발전으로 사용할 수 있는지를 분석하고자한다. 이를 위해 참고연구인 한국도로공사에서 진행한 압전하베스터 성능검증 및 운영전략 수집(2017)연구의 결과값을 사용하여 BIS와 전구를 사용하기 위한 최소 정차횟수를 도출할 것이고, 포항시의 어떤 정류장이 이를 만족하는지 알아보하고자한다.

‘과정3’에서는 포항시 버스정류장 주변시설 데이터를 직접 수집하여 목표변수를 ‘과정2’에서 최소정차횟수를 만족하는 정류장으로 설정하고 의사결정나무를 통해 규칙을 도출하여 타 지역에도 적용이 가능한가를 분석하고자 한다.



<그림 5 분석 과정>

5.2 분석 데이터

본 과제에서는 교통 빅데이터(한국교통연구원)에서 제공하는 포항시 버스 사용자 교통카드 사용 내역 데이터를 이용하였다. 데이터는 2020-01-01부터 2020-03-31까지의 데이터이며 기간 별 나누어진 데이터를 모두 다운로드한 후 하나의 CSV파일로 병합하여 승하차시각, 노선 명, 노선설명, 환승여부, 승차정류장, 하차정류장 정보가 있는 총 857,018개의 데이터를 만들고 분석을 진행하였다.

5.3 분석 과정 상세 설명

‘과정1’의 경우 버스 정류장 별 정차횟수를 얻어내기 위해 사용하지 않는 컬럼과 Null값을 삭제한 뒤, 엑셀의 함수를 활용하여 정류장, 버스 번호가 같고 시간차가 300미만인 경우는 같은 버스라 판단하여 bus 컬럼을 추가하여 같은 버스면 숫자가 동일하고, 다른 버스일 경우 +1이 되도록 설정하였다. 그리고 같은 버스에 승객이 여러 명 탑승할 수 있기에 같은 버스에 몇 명이 탔는지를 위해 bus_f 컬럼을 추가해서 같은 버스이면서 탑승시간의 차이가 300미만인 데이터를 같은 버스를 탄 승객으로 보고 카운트하였다. 이 때 버스가 달라지면 숫자는 1부터 리셋되어 다시 카운트하게 된다. 같은 버스, 같이 탑승한 승객을 중복데이터라 보고 중복데이터는 삭제를 진행하였고 이후 버스 정류장별로 정렬 후 how_stop 컬럼을 추가해서 누적카운트 방식으로 버스정류장에 정차한 버스의 횟수를 구하였다. 마지막으로 누적카운팅된 숫자가 다른 정류장으로 바뀌면서 1로 리셋되는 구간은 옆 컬럼에 직전 정류장의 버스 정차횟수를 알려주게 하였음. 이후 최종 정차횟수를 알려주는 레코드만 남기고, 중복된 정류장은 삭제시켜 총 727개의 정류장이름과 정류장 별 정차횟수를 도출하면서 과정1을 마무리하였다.

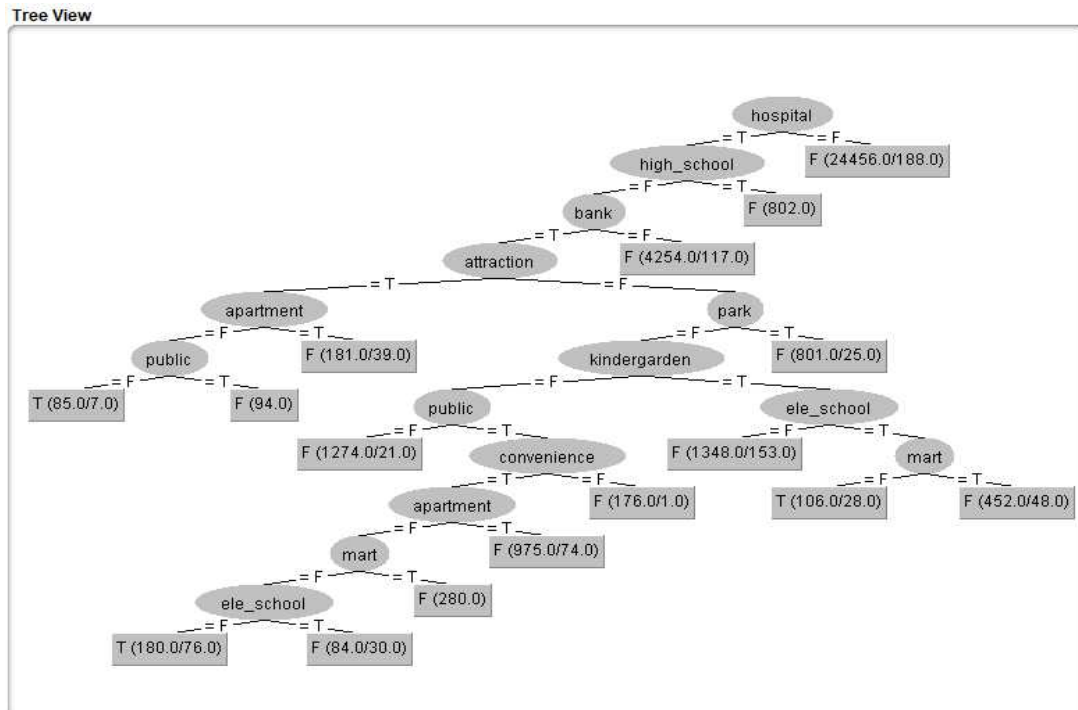
‘과정2’는 한 시간 당 전력 사용량 4W의 전구 4개와 300W의 BIS(버스정보안내단말기) 사용을 위해 전구의 경우 하루 6시간, BIS의 경우 17시간 사용하므로 $4W \times 4개 \times 6h + 300W \times 17h = 5196W$ 를 최소필요전력으로 설정하여 진행하였다. 압전 하베스팅을 이용하여 얻는 전력의 양은 콘크리트 포장 1cm 매설형 하베스터의 경우로 11톤 트럭 30km/h로 지나갈 때 1세트(발판 2개) 당 8.1W이다. 본 과제의 경우 버스에 적용을 시키기 위해 버스의 무게는 11톤 ~ 13톤이므로 최저 무게인 11톤을 기준으로 하베스터 7세트(14개)로 계산을 진행한 결과 버스 한 대당 56.7W의 전력을 얻을 수 있다는 것을 확인하였다.



〈그림 6. 11톤 트럭의 속도 별 얻는 전력량〉

이를 바탕으로 '과정2'에서는 일일 최소 전력인 5196W를 얻기 위해서는 91.64대를 반올림하여 92대가 정차 해야한다라는 결과를 얻을 수 있었다. 또한 과정3를 진행하기에 앞서 92대를 기준으로 92대를 넘으면 목표변수를 T, 그렇지 않으면 F로 정의하였다.

'과정3'는 '과정1'에서 얻은 727개의 정류장 반경150M이내 시설들의 존재 여부 데이터를 직접 수집하였다. 조사한 주변 시설들은 공공기관, 공장, 아파트, 유치원, 초등학교, 중학교, 고등학교, 대학교, 프랜차이즈매장, 종교시설, 대형마트, 편의점, 공원, 병원, 은행, 관광지·문화시설로서 존재하면 T, 존재하지 않으면 F로 정의하였다. 그리고 Weka 프로그램을 이용하여 학습데이터와 검증데이터는 70:30으로 지정하고 의사결정나무가 너무 커지지 않게 최소leaf node를 100으로 설정하여 의사결정나무 규칙을 도출하였다. 그리고 그 규칙이 다른 도시에서도 적용이 가능한지를 평가하기 위해 울산과 서울의 데이터도 '과정1'과 같이 전처리 과정을 거쳐 버스 정류장 별 정차횟수를 도출한 후 규칙이 적용되는지 확인하며 '과정3'을 마무리 지었다.



〈 그림 7 의사결정나무 〉

	주변 시설
1	병원, 은행, 관광지, 공공기관
2	병원, 유치원, 초등학교, 마트
3	병원, 공공기관, 편의점, 아파트

〈 그림 8 대표적인 규칙 〉

5.4 분석 결과 설명

과정1,2,3을 통해 포항시에서 압전 하베스터가 설치 가능한 버스 정류장은 <그림 7>과 같은 의사결정나무를 형성한다. 이 중 대표적인 규칙을 <그림 8>과 같이 도출하였고, <그림 8>의 규칙 중 하나라도 만족하는 버스 정류장은 적어도 포항시에서는 일일 버스 정차횟수가 92대 이상으로 압전 하베스터가 설치 가능하여 정류장 내부 전구와 버스정보안내단말기(BIS)를 충분히 자가발전 할 수 있다는 결과를 얻을 수 있다.

6. 결론

압전 하베스터로 얻는 전력량은 무게와 속도에 영향을 받으며 그 중 속도보다는 무게에 더 많은 영향을 받는다. 키크보드 실험으로 얻을 수 있는 가장 많은 전력량은 90Kg이고 속력이 30km/h일 때 $283.9\mu W \cdot Sec$ 이다. 이는 너무 적은 양의 전력인데 시중에 판매되는 압전소자의 한계와 무게·속도의 부족이라고 생각된다. 그렇기에 본 과제에서는 앞서 언급했듯이 관련연구의 값들을 이용하는 것이 좋다는 의견이다. 그리하여 관련연구인 한국도로공사에서 진행한 압전하베스터 성능검증 및 운영전략 수집(2017)연구에서 얻은 결과 값을 기반으로 했을 때 얻을 수 있는 전력량은 11톤을 기준으로 하베스터 7세트(14개)로 계산을 진행한 결과 버스 한 대당 56.7W이다. 일반적으로 버스 정류장 내에서 사용하는 전구 6시간과 버스정보안내단말기 17시간을 가동하려면 일일 5196W가 필요한데, 결국 버스 정류장에 92대 이상이 정차해야 얻을 수 있다는 것이다.

92대 이상의 버스가 정차하는 정류장을 찾기 위해 데이터 분석을 진행하였고, 포항시 727개의 정류장 중 31개의 정류장만이 92대 이상이 정차하여 압전 하베스터가 설치 가능하다는 결과를 얻었다. 그리고 포항시 버스 정류장들의 주변 시설 데이터를 직접 수집하여 분석한 결과, 압전 하베스터 설치가 가능한 정류장은 <1>병원, 은행, 관광지, 공공기관 <2> 병원, 유치원, 초등학교, 마트 <3> 병원, 공공기관, 편의점, 아파트 중 하나의 규칙을 만족한다는 결과를 얻었다.

마지막으로 타 지역의 정차횟수 표본을 추출하여 도출된 규칙을 타 지역에도 적용이 가능한가를 알아본 후, 축소모형을 만들어 압전 하베스터를 설치한 자가발전 정류장과 그 설치가 적절한 정류장을 제안하고 압전 하베스팅 기술이 상용화가 될 수 있을 만큼 발전했을 때, 본 과제에서 제안한 방안이 활용가능성이 있는가를 확인하고자 하였고, 그 결과 울산 지역 버스정류장에도 압전 하베스터 정류장을 설치하여 전구와 버스정보단말기를 충분히 운용 시킬 수 있다는 결과를 도출해낼 수 있었다. 또한 울산 시내버스 정류장은 포항 시내버스 정류장보다 통행량이 월등히 많아 압전 하베스터를 이용하여 얻을 수 있는 전력도 많아지므로 버스정류장의 전구, 버스정보단말기 뿐만 아니라 USB케이블 등 얻은 전력을 이용하여 다양한 서비스 제공을 할 수 있을 것이라 예측하였다.

하지만 서울의 경우 정확도가 10%(3/30) 밖에 되지 않았다. 그 이유를 1. 포항시, 울산시의 경우에는 대중교통 수단이 버스 밖에 없지만 서울시의 경우에는 지하철이 존재한다. 2. 포항시, 울산시와는 다르게 서울시는 서울 중심부에 기업들이 위치하여 기업 근처에는 아파트가 많이 없다. 3. 서울시의 경우에는 시외에서 출근하는 사람이 많다. 라고 추측을 할 수 있다.

추후 연구를 한다면 더 많은 지역의 버스 정류장 정차횟수 데이터를 표본이 아닌 전체 데이터를 활용하여 규칙을 적용시켜 보고, 지하철이 있는 도시의 경우는 지하철을 기준으로 주변시설을 조사해보고 싶다는 생각이다. 또한 압전 하베스팅의 기술력이 상용화 될 만큼 발전하게 되면 새로운 하베스터의 전력량을 통해 정류장 설치 방안을 보완해서 제안하는 등의 연구도 가능할 것이다.

관련문헌

조병완, 황윤태, 최지선, 김현, 김도, 박정훈(2010)

압전효과를 이용한 에너지 하베스팅 기초연구.

2010 대한토목학회 정기학술대회.

김기훈·이찬영·박준영·최영철·박민석·최현범(2017)

압전 하베스터 성능검증 및 운영전략 수립.

한국도로공사 도로교통연구원

권수안, 이재준, 문학룡, 류승기(2012)

압전세라믹 연결방식에 따른 전력생산 평가 연구

한국도로학회논문집

윤소남, 김동건 (2009년)

압전소자를 이용한 에너지 수확에 관한 연구

한국동력기계공학회지

최근호, 서용무, 유동희(2015)

산재근로자들의 고용안정과 건강한 삶을 위한 데이터 마이닝 기반의 규칙 도출 연구

한국직업재활학회