

몬테카를로방법을 이용한 V2B(Vehicle to Building) 운용 제로에너지빌딩의 액티브 요소 예측 연구

김영일 · 김인수[†]

가천대학교 에너지IT학과

(2017년 9월 4일 접수, 2017년 10월 30일 수정, 2017년 11월 10일 채택)

Forecast study for active factor of V2B(Vehicle to Building) operation zero energy building using monte carlo method

Youngil Kim · Insoo Kim[†]

Gachon University, Dept. Energy IT

(Received 4 September 2017, Revised 30 October 2017, Accepted 10 November 2017)

요 약

제로에너지빌딩의 요소는 크게 액티브 요소와 패시브 요소 두 가지로 나뉘며, 패시브 요소의 경우 단열, 창호, 차양, 외부분 등 건물의 단열, 열교 성능 등을 나타내는 요소들을 지칭하며, 액티브 요소의 경우는 에너지생산량 및 효율 계수 등을 나타내는 요소이다. 액티브 요소의 에너지생산량은 일반적으로 신재생에너지 발전을 통해 이루어진다. 본 연구에서는 신재생에너지 발전이 아닌 V2B(Vehicle to Building)라는 전기차의 양방향 충전 기술이 제로에너지빌딩에 액티브 요소로 적용될 경우 어느 정도의 영향을 미칠지에 대해 예측하였다. 신재생발전의 경우 지리, 기후환경에 따라 발전량이 예측될 수 있지만 V2B의 경우 전기차 이용자의 방전의사, 가용 충전기의 대수 등 여러 가지 입력변수를 고려하여 예측하여야 한다. 예측한 결과에 따라 V2B가 제로에너지빌딩의 액티브 요소에 얼마나 기여할 수 있는지 확인 할 수 있으며, 해당 예측은 통계자료가 부족한 실정하기에 확률적 방법을 이용하여 예측해야한다. 본 연구에서는 해당 확률적 방법 중 몬테카를로 방법을 이용하여 DR(Demand Response)발령 시간대를 기준으로 충전 패턴의 변화를 예측하였다.

주요어 : 몬테카를로방법, V2G(Vehicle to Grid), V2B(Vehicle to Building), 제로에너지빌딩, DR(Demand Response), 액티브 요소

Abstract - Factors of Zero-Energy Building are divided into active and passive factor. Passive factor means insulation, heat bridge of building like insulation, windows and doors, awning, outside etc. and active factor means energy output and efficiency coefficient. Energy output of active factor is achieved by new generating energy. This study anticipated how many effects will be produced when not new generating energy but Vehicle to Building; V2B, bi-directional charging and discharging technology, is applied to Zero-Energy Building. In new generating energy, power generation will be anticipated by geography and climate, but in V2B, several input variable like user's discharging intention and number of usable charger etc. should be considered. We can check how much V2B contribute to the Zero-Energy Building by anticipated results, and that results should be anticipated by using probabilistic method because there is few statistical data. This study anticipate change of charging and discharging pattern, based by Demand Response slot, by using monte carlo method among the probabilistic methods.

Key words : Monte carlo method, V2G, V2B, Zero energy building, active factor

[†]To whom corresponding should be addressed.

Tel : 031-750-8560 E-mail : kis0103@gachon.ac.kr

1. 서론

현재 수송수단의 대부분을 차지하는 내연기관차량에서 환경, 에너지 관점에 대한 문제로 인해 전기자동차로 대체하려는 움직임이 전 세계적으로 활발한 추세이다. 최근 우리나라에서도 미세먼지문제 해결에 대한 정책 중 하나로 전기차 보급을 확대하는 방안을 발표했다. 정부는 친환경차량 중 전기차 20만대를 2020년까지 확보하기로 했던 계획을 25만대로 확대하였으며, 충전인프라 구축 또한 기존 1,400기 구축 목표에서 3,000기로 확대했다. 이러한 상황들로 인해 전기자동차의 활성화는 빠르게 진행될 것으로 예상된다. 이에 따라 전기자동차의 보급 활성화를 위한 여러 가지 노력의 일환으로 전기차 서비스 모델에 대한 연구가 활발히 진행 중이며, 전기자동차의 서비스 모델 중 하나로 전기자동차의 배터리를 전력저장장치로 사용하여 전력공급원으로 이용함으로써 전력계통의 수요와 주파수 유지에 기여하는 서비스 모델인 V2G(Vehicle to Grid)가 있다. 본 연구는 이러한 V2G 서비스 모델이 제로에너지빌딩의 액티브 요소로 작용할 경우 빌딩의 에너지 생산량 및 소비량에 어떠한 영향을 미칠지에 대해 예측한 연구이다.

현재 우리나라는 제로에너지건축물 인증제를 실시하고 있으며, 제로에너지 건축물이란 ‘녹색건축물 중 효율적인 설계를 통하여 건축물에 필요한 에너지 부하를 최소화하고, 신재생에너지를 활용하여 연간 에너지 사용량과 생산량이 최대한 균형을 이루는 건축물’이라 정의되어 있다. 제로에너지건축물의 인증 기준은 첫 번째로 건축물 에너지효율등급 1++이상의 조건을 만족해야 하며, 해당 조건은 주거용 건축물의 경우 1차 에너지 소요량($\text{kWh}/\text{m}^2, \text{년}$)이 90미만인 건물에 해당하고 주거용 이외의 건축물은 140미만인 건물이 해당된다. 두 번째 제로에너지건축물 인증기준으로는 에너지 자립률에 대한 기준이며, 이는 1차에너지 생산량($\text{kWh}/\text{m}^2, \text{년}$)에 1차에너지 소비량($\text{kWh}/\text{m}^2, \text{년}$)을 나눈값으로 산정한다. V2B의 경우 양방향 충전이 가능하기 때문에 1차에너지 생산량과 1차에너지 소비량 모두에 해당할 수 있다.[1] 이러한 특성 때문에 V2B가 제로에너지빌딩의 액티브 요소로 작용될 경우 충전 패턴의 예측이 가장 중요한 요소로 작용된다. 해당 예측에 따라 제로에너지건축물의 인증기준에 더 명확히 적용될 수 있을 것이다.

2. 시뮬레이션 모델링

2-1. V2B 시뮬레이션

전기자동차의 배터리를 전력저장장치로 사용하여 방전 시 빌딩의 에너지생산량으로 작용하여 제로에너지건축물 기준에 기여할 수 있다. 이는 신재생 발전과 같이 기후의 영향이 아닌 전기차량 소유주의 대응방식, 차량의 SOC(State of Charge) 등의 여러 가지 요소에 따라 결정되므로 이에 대한 통계자료를 기반으로 예측할 수 있을 것이다. 하지만 현재 전세계적으로 V2B에 대한 상용화가 미비한 실정임으로 실증 통계자료를 기반으로 예측하는 것은 무리가 있다. 때문에 확률적인 시뮬레이션을 통해 충전패턴에 대해 예측하였다.

시뮬레이션은 충전출력이 6.6kW, 방전출력이 3.3kW인 양방향충전기가 20기 구비된 빌딩에서 진행된다고 가정하였으며, 일반적인 피크시간대 오후1시부터 오후3시까지 방전을 연결된 차량에게 요구하여 이에 응할 경우 차량의 방전이 진행되는 방식으로 진행하였다.

2-2. 몬테카를로방법

시뮬레이션 진행을 위한 확률적 모델링은 몬테카를로 시뮬레이션 방법을 이용하였다. 시뮬레이션이란 복잡한 상황이나 문제를 분석하거나 예측하기 위해 상황에 맞추어 수행하는 작업이며, 실제로 실험을 하는 것이 불가능하거나 너무 많은 비용이 소요되는 경우 적은 비용으로 결과값을 도출해내기 위해 사용한다.

몬테카를로 시뮬레이션 방법은 시뮬레이션을 수행하기 위해 필요한 입력변수 등을 확률분포로부터 임의적으로 선택하여 시뮬레이션을 수행하는 방법이다. 몬테카를로 시뮬레이션 방법은 불확실한 입력변수를 정하고, 입력변수의 모수를 반영하여 확률분포를 결정 후 샘플링 방법을 선정하여 샘플링을 수행하고, 결과를 분석하는 과정으로 이루어진다. 몬테카를로 시뮬레이션 방법은 4가지 단계로 이루어지며 첫 번째 단계는 불확실한 입력변수를 선정, 두 번째 단계는 입력변수의 모수를 반영한 확률분포 결정, 세 번째 단계는 샘플링방법 선정과 샘플링수행, 마지막 단계는 결과분석으로 이루어진다. 이 단계들을 수행하기 위해선 샘플링을 통한 난수 추출, 모수 추정, 민감도 분석이 이루어져야 한다.[2]

2-3. 샘플링, 모수 추정, 민감도 분석

시뮬레이션 진행을 위해서 진행 단계에 따라 어떠한 방법을 사용할지에 대한 설정이 필요하다. 몬테카를로 시뮬레이션 방법을 이용하여 시뮬레이션을 진행함에 따라 결정해야할 사항은 샘플링 방법과 모수 추정 방법, 민감도 분석 방법이 있다.

샘플링은 적절한 난수를 추출하여 입력변수들의 확률분포를 바탕으로 시뮬레이션의 케이스와 수행 횟수를 결정하는 것을 의미하며, 샘플링을 통한 난수 추출 방법은 단순무작위 추출 방법(Simple Random Sampling), LHS 방법(Latin Hypercube Sampling), 준 랜덤 추출 방법(Quasi Random Sampling) 등이 있다.

단순무작위 추출 방법의 경우 수열을 이용하여 균등 난수를 추출하는 표본추출방법으로 이 방법의 경우 모집단에 대한 상세한 정보가 필요 없으며, 가장 일반적으로 사용되는 샘플링 방법이다. 단순무작위 추출 방법의 장점은 방법이 단순하고 다른 샘플링 방법에 비해 상대적으로 자료 분석이 쉽다. 하지만 개체들의 추출 확률이 동일하여 실현 가능성이 적고 개체들이 넓게 분산되어 추출될 수 있어 집단의 속성을 반영하기 어렵다는 단점이 있다.

준 랜덤 추출 방법은 hypercube 단위 내에서 균일한 난수들을 생성하는 방법으로 단순무작위 추출방법과는 달리 높은 차수의 샘플링에 대해 균제성이 뛰어나고 신속한 수렴비율 획득이 가능한 샘플링 방법이다.

LHS방법은 다차원 분포로부터 매개 변수 값을 무작위로 샘플링하는 통계적 방법으로 매개 변수의 값을 추출할 때 균등한 분포빈도로 추출되도록 각 입력 변수의 범위를 n 개의 영역으로 나누어 추출하는 방법이다.[3] LHS 방법의 경우 0과 1사이의 임의의 입력변수에 대해서 입력범위를 구간으로 구분하여 각 구간에서 난수를 추출하는 방법으로 난수를 적게 추출해도 충분히 유의한 결과를 얻을 수 있다는 장점이 있으며, 복잡한 비선형 모델에도 적합하다. 본 연구에서는 샘플링 방법 중 LHS방법을 사용하였다.

모수 추정 방법은 시뮬레이션 결과값의 평균, 표준편차 등을 이용하여 모집단을 추정하는 방법으로 모수적 방법과 비모수적 방법이 있으며, 모수적 방법은 모

집단 분포가 특정 확률분포에 속한다는 가정하에 추정하는 방법이므로 비모수적 방법은 실제 수집된 데이터를 이용하여 통계량 분석을 통해 모수를 추정하는 방법이다. V2B의 특성상 현재 관련 통계자료가 부족하기 때문에 모수적 방법을 사용하였다.

민감도 분석의 경우 입력변수가 많아 시뮬레이션에 대한 구성이 복잡해질 경우 민감도가 낮은 입력변수들을 배제시켜 시뮬레이션의 과정을 간단히 만들기 위해 사용된다. 하지만 본 연구에서는 입력변수가 적어 시뮬레이션의 복잡도를 줄이기 위해 입력변수를 배제시킬 필요가 없기 때문에 입력변수를 줄이기 위한 민감도 분석은 진행하지 않았다.

2-4. 입력변수

시뮬레이션을 진행하기 위해서 입력변수를 어떻게 설정할지에 대한 고민이 필요하다. 본 연구에서 V2B 시뮬레이션의 입력변수는 총 4가지로 설정하였으며, 충전기와 차량의 접속여부, 차량의 충전기 접속 유지 시간, 차량의 SOC(State of Charge), 접속차량의 충전 전 의사이다.

충전기와 차량의 접속여부는 시뮬레이션이 진행되는 3시간 동안 충전기에 차량이 접속되어 있는 여부를 판단하기 위한 입력변수이며, 차량의 충전기 접속 유지시간은 충전기에 차량이 접속되어 있을 경우 시뮬레이션 중간에 빠져나갈 경우도 있으므로 해당 차량이 시뮬레이션이 진행되는 동안 얼마나 머무를지에 대해 판단하는 입력변수이다.

차량의 SOC의 경우 충전기와 접속되어 있는 차량의 SOC를 나타내는 입력변수로 차량의 SOC가 20% 이하로는 방전이 불가능하고 100%이상으로 충전이 불가능하다는 제약조건에 따라 충전이나 방전이 진행된다. 마지막으로 접속차량의 충전 전 의사는 접속되어 있는 차량의 소유주의 의사에 따라 충전이나 방전이 실행되어야 하는데 이 경우 소유주가 방전에 응하는지에 대해 판단하기 위한 입력변수이다.

차량의 SOC를 제외한 모든 입력변수는 LHS방법에 따라 0과 1사이의 난수를 발생시켜 구간에 따라 결과값이 도출되게 설정하였다. 차량의 SOC의 경우 균일한 분포를 가지지 않기 때문에 이항분포에 따라 결정

된다고 가정하였으며, 이항분포는 사건의 확률을 이산 변량으로 나타낸 분포도로 한 사건이 독립적으로 되풀이될 때 사건이 k 회 일어날 확률을 나타낸 그래프이다. 이항분포에서 각 사건이 발생할 횟수에 따른 확률은 다음과 같다.

$$P(X = k) = {}_n C_k p^k (1 - p)^{n - k}$$

n 은 사건이 총 발생하는 횟수를 의미하며, p 는 사건의 발생 확률을 의미한다. 본 시뮬레이션에서 사용한 SOC분포는 다음 그래프와 같다.

2-5. 시뮬레이션 방법

시뮬레이션 진행방법은 충전기와 차량의 접속여부가 결정된 후 접속여부에 따라 충전기와 차량이 연결되어 있지 않다면 두 번째 시간까지 충전과 방전이 모두 이루어지지 않으며, 첫 번째 시간대 시뮬레이션에 대한 결과값은 0kWh가 된다. 충전기와 차량이 연결되어 있다면 이후 시뮬레이션을 진행한다. 충전기와 차량이 접속되어 있다면 차량이 해당 충전기에 얼마나 머무는지 유지시간에 대해 결과값이 도출되고 이후 차량의 SOC가 정해지며, 마지막으로 차량 소유주의 DR 반응여부에 대한 결과가 결정된다. 이후 SOC제약 조건을 고려하여 충전, 충전제어 또는 방전이 진행되는 방식으로 시뮬레이션을 진행하였다.

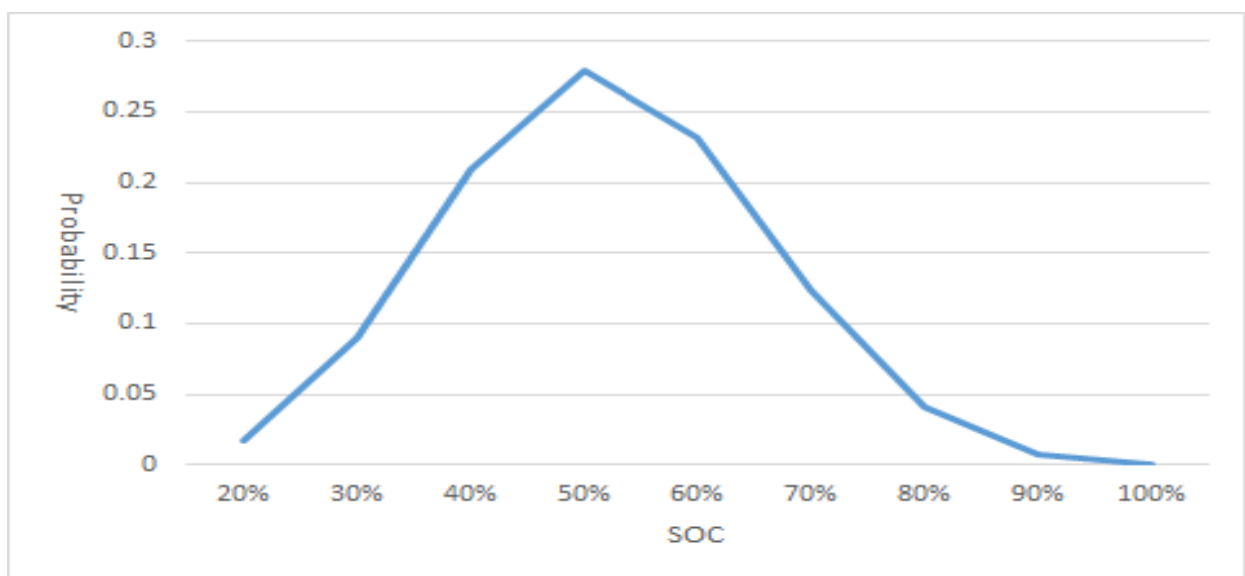
첫 번째 시간에 대한 시뮬레이션이 진행된 후 충전기와 차량이 접속되어 있지 않았거나 접속된 차량의 유지시간이 1시간으로 결정된 경우 두 번째 시간은 첫 번째 시간과 마찬가지로 다시 충전기와 차량의 접속여부를 결정하여 첫 번째 시간과 동일한 방식으로 시뮬레이션이 진행된다. 첫 번째 시간에 충전기와 차량이 접속되어 있고 유지시간이 2시간이나 3시간으로 결정되었을 경우는 첫 번째 시간과 동일하게 유지시간동안 충전, 충전제어, 방전이 진행된다.

시뮬레이션은 첫 번째, 두 번째, 세 번째 시간으로 나뉘어 3번 진행되며, 해당방식으로 3시간동안의 양방향 충전기의 충전량이 결정된다. 시뮬레이션을 1,000번 반복하여 결과값에 대한 모수를 추정하였다.

3. V2B 시뮬레이션

3-1. 입력변수 확률분포

입력변수 중 충전기와 차량의 접속여부는 일반적으로 피크시간대 빌딩 내에는 차량이 충분히 주차 중 일거라 예상하여 접속되어 있을 확률은 80%, 미접속되어 있을 확률은 20%로 설정하였다. 차량이 충전기에 얼마나 머무는지에 대한 확률은 각 시간별로 33.3%로 균등한 확률을 갖도록 설정하였다. 접속차량의 충전방전의사는 일반적으로 피크시간대 차량이 많이 운행하지 않을 것으로 예상하여 방전에 대해 충분히 수용할거라



[그림 1] Base case 이외의 SOC 분포도

예측하여 충전을 진행할 확률이 20%, 방전에 응할 확률이 80%로 설정하였다. 차량의 SOC의 경우 앞서 설명한 바와 같이 특정 이항분포를 따라 결정되게 설정하였다.

충전기와 차량의 접속여부, 차량의 접속 유지시간, 접속차량의 충전방전 의사에 대한 샘플링 방법은 모두 LHS방법을 사용하였으며, 0과 1사이의 난수를 추출한 뒤 구간에 따라 나누어 결과가 도출되도록 설정하였다. 차량의 SOC는 이항분포에 따라 샘플링 되도록 설정하여 시뮬레이션을 진행하였다. 시뮬레이션 진행 3시간을 첫 번째, 두 번째, 세 번째 시간에 대해 1,000 번씩 시뮬레이션 진행하였으며, 도출된 결과값의 평균과 표준편차를 통해 빌딩 내 충전량의 모수를 추정하였다.

3-2. V2B 시뮬레이션

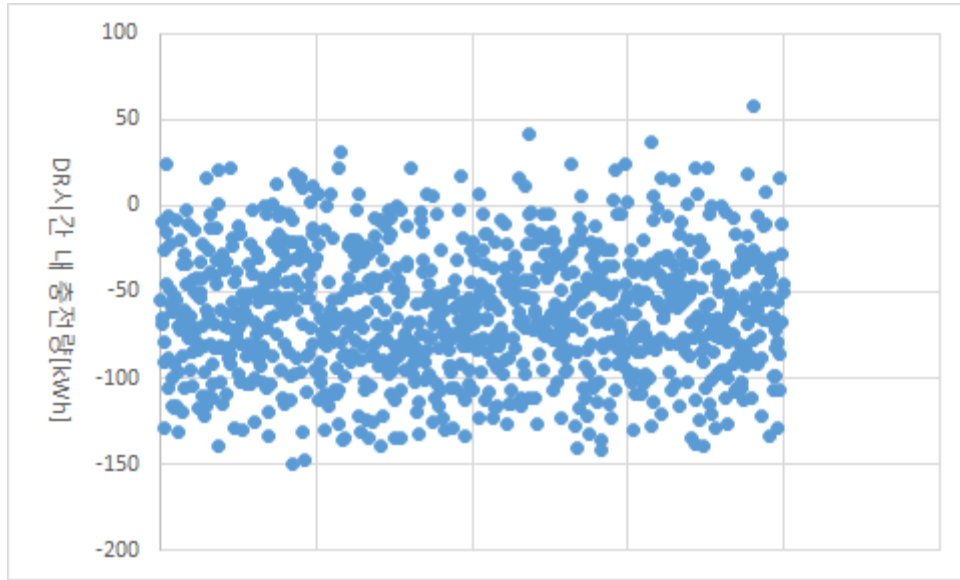
시뮬레이션의 결과는 3시간 동안 20기의 충전기의 총 충전량의 합으로 도출되며, 충전량이 양수인 경우

빌딩의 에너지 소요량으로 결정되고 음수인 경우 빌딩의 에너지 생산량으로 결정된다. 시뮬레이션은 앞서 설명한바와 같이 각각의 시간에 대해 총 1,000번의 시나리오로 진행 되었으며, 해당 결과값의 모수를 추정하여 평균과 표준편차를 추정하였다.

다음 표는 첫 번째 시간의 시뮬레이션의 예시로 차량의 접속여부가 결정된 후 미접속일 경우 충전량에 아무런 영향을 미치지 않으며, 접속되어 있을 경우 차량의 접속 유지시간이 결정되어 해당 차량이 얼마나 충전기와 접속되어 있을지가 결정된다. 이후 충전과 방전의사와 차량의 SOC가 결정되고 제약조건에 따라 실제 충전과 방전이 진행되어 시행 후의 차량의 SOC가 결정된다.

해당 시뮬레이션을 거쳐 충전기 20기에서 1시간동안 총 충전량이 결정되며, 해당 방식으로 두 번째, 세 번째 시간에 대한 시뮬레이션이 진행되어 결과값이 도출된다.

시뮬레이션 첫 번째 시간							
충전기번호	차량접속여부	유지시간[h]	충전, 방전 의사	시행 전 차량 SOC[kWh]	실제 총방전량[kW]	시행 후 차량 SOC[kWh]	총 충전량[kWh]
1	차량접속	2	충전	18	6.6	24.6	-25.8
2	차량접속	3	방전	15	-3.3	11.7	
3	차량접속	3	방전	18	-3.3	14.7	
4	차량미접속	0	-	0	0	0	
5	차량미접속	0	-	0	0	0	
6	차량접속	1	방전	15	-3.3	11.7	
7	차량접속	1	방전	18	-3.3	14.7	
8	차량미접속	0	-	0	0	0	
9	차량미접속	0	-	0	0	0	
10	차량접속	2	방전	12	-3.3	8.7	
11	차량접속	3	방전	18	-3.3	14.7	
12	차량접속	3	방전	18	-3.3	14.7	
13	차량미접속	0	-	0	0	0	
14	차량접속	1	방전	9	-3	6	
15	차량미접속	0	-	0	0	0	
16	차량접속	2	방전	18	-3.3	14.7	
17	차량접속	3	충전	12	6.6	18.6	
18	차량접속	2	방전	21	-3.3	17.7	
19	차량접속	3	방전	9	-3	6	
20	차량접속	2	방전	15	-3.3	11.7	



3-3. 결과분석

첫 번째 시간의 충전량은 -20.3241kWh이며, 표준편차는 15.77이 결과값으로 도출되었으며, 두 번째 시간의 충전량은 -21.6204kWh, 표준편차는 16.10, 세 번째 시간의 충전량은 -20.3043kWh, 표준편차는 14.73이 도출되었다. 해당 결과를 종합할 때 3시간 동안의 총 충전량은 -62.2488kWh, 표준편차는 36.31로 나타났다.

본 연구에서 정한 확률에 따라 V2B가 제로에너지빌딩에 도입될 경우 방전이 요청된 3시간 동안의 에너지 생산량은 결과값인 62.2488kWh가 될 것이다.

4. 결론

V2B 기술이 제로에너지빌딩에 적용될 경우 상황에 따라 액티브 요소의 에너지 생산량으로 작용할 수 있을 것으로 예상되며, 본 연구의 시뮬레이션 결과에 따라 일정 수준의 에너지 생산량이 결과값으로 도출되는 것을 확인할 수 있었다.

계약조건이나 확률적 가정에 따라 결과값이 다르게 도출될 수 있으며, 이후 관련 통계자료가 확보 된다면 좀 더 신뢰성 있는 연구가 가능할 것으로 전망된다. 해당 연구는 V2B에 대한 부분만 시뮬레이션 하였으며, 실제 건물에너지 생산량을 심층적으로 분석하여 V2B 단독적인 관점이 아닌 신재생 발전과의 연계방안을 연

구한다면 제로에너지빌딩의 액티브 요소에 크게 기여할 수 있을 것으로 생각된다.

감사의 글

본 연구는 과제번호 20162010104270 ‘제로에너지빌딩 요소기술 패키지 (패시브&액티브) 융복합화 및 실증연구’ 연구의 일환으로 수행되었습니다.

References

1. Korea Energy Agency, <http://zeb.energy.or.kr/introduce/certification.aspx>
2. Choi, J. Y., Park, E. S., A Study on the V2G Application using the Battery of Electric Vehicles under Smart Grid Environment, KIEE, P. 63(1), 40-45.
3. Kim, Y. J., Park, C. S., Kim, I. H., Sampling Methods and Stochastic Inference in Monte Carlo Building Simulaion, AIK, 28(6). 2012.6, 227-236