

차량용 열전 소자 최대 발전전력 추종 기법 비교 조사 연구

장요한¹, 정승훈², 배성우^{1*}

¹한양대학교, ²연암공과대학교

Comparative Survey on Thermoelectric Generator Maximum Power Point Tracking Methods for Vehicle Applications

Yohan Jang¹, Seung H. Choung², Sungwoo Bae^{1*}

¹Dept. of Electrical Engineering, Hanyang University, Seoul, Korea

²School of IT Engineering, Yonam Institute of Technology

ABSTRACT

최근 차량에 적용 가능한 에너지 하베스팅 연구가 활발히 이루어지고 있다. 차량 폐열을 활용하는 열전 소자의 경우 급격한 온도 변화 특성이 있는 내연기관, 배기관 등의 전장 부품에 적용될 수 있다. 이러한 전장 부품에서 가능한 많은 열에너지를 회수하기 위해 빠르고, 정확한 최대 발전전력 추종 기법이 필수적이다. 본 논문은 이러한 열전 소자 발전의 차량 적용을 위한 최대 전력 추종 기법을 살펴보고 비교 조사 분석한다.

1. 서론

차량에 적용 가능한 에너지 하베스팅 기술에는 태양광 발전, 열전 소자 발전, 진동 발전 등이 있다. 그 중에서도 열전 소자 발전은 폐열을 활용하여 열에너지 일부를 직접 전기에너지로 변환한다. 또한, 발전 동작 시 소음이 없고, 계절에 관계없이 열원만 있으면 발전할 수 있다. 그러나, 앞서 언급한 장점들에도 불구하고 발전 효율이 낮은 단점을 가지고 있어 Maximum Power Point Tracking (MPPT)은 필수적이기 때문에 열전 소자의 다양한 MPPT 기법들이 연구되어 왔다. 본 논문에서는 열전 소자 발전의 차량 적용을 위해 Open Circuit Voltage (OCV), Perturb and Observe (P&O), Linear Extrapolation Based MPPT (LEMPPT) 3가지 MPPT 기법에 대해 비교 조사 분석한다. 이들 3가지 MPPT 기법에 대한 비교 분석 표를 제시하고, 차량의 내연기관, 배기관과 같이 급격한 온도 변화 특성을 가지는 전장 부품에 적합한 기법에 대해 논의 한다.

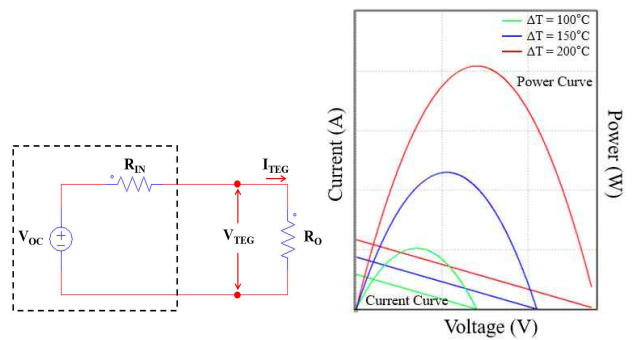
2. 열전 소자 발전 특성

열전 소자는 양면에 온도차가 존재할 때, Seebeck 효과에 의해 열에너지를 전기에너지로 직접 변환한다. 열전 소자 발전에 의한 유도 기전력은 수식 (1)과 같다.

$$V_{OC} = \alpha \times \Delta T \quad (1)$$

V_{OC} 는 개방 전압, α 는 Seebeck 계수, ΔT 는 온도차이다.

열전 소자의 전기적 등가회로는 그림 1(a)와 같고, 개방 전압 V_{OC} 와 직렬 연결된 내부저항 R_{in} 으로 구성된다. 온도차에



(a) 전기적 등가 회로 (b) 발전 특성
그림 1. 열전 소자 전기적 등가회로와 발전 특성

따른 발전 특성은 그림 1(b)와 같다. 그림 1(b)와 같이 열전 소자의 발전 특성은 선형적인 전압-전류 특성을 가지며, 개방 전압 또는 단락 전류의 절반인 지점에서 최대 전력점을 가진다.

3. 열전 소자 MPPT 기법 검토

3.1 Open Circuit Voltage (OCV)

OCV는 최대 전력 지점 전압이 개방 전압의 절반인 지점에 형성되는 열전 소자의 발전 특성을 활용하는 방법이다[1]. 개방 전압을 측정하고, 그 값의 절반인 값으로 열전 소자 출력 전압 V_{TEG} 를 제어한다. 열전 소자의 최대 전력 지점 전압과 개방 전압의 관계식은 수식 (2)와 같다.

$$V_{MPP} = 0.5 \times V_{OC} \quad (2)$$

V_{MPP} 는 최대 전력 지점 전압, V_{OC} 는 개방 전압이다.

이 방법은 최대 전력 지점에서의 진동으로 인한 전력손실이 없으며, 최대 전력 추종을 위해 하나의 전압 센서만 필요하다. 그러나, 개방 전압 측정을 위해 열전 소자를 부하와 분리시켜야 하고, 이 기간 동안 발전이 되지 않는 문제가 있다. 또한, 회로 개방을 위해 스위치와 같은 추가적인 소자가 필요하다.

3.2 Perturb and Observe (P&O)

P&O MPPT 기법은 전압의 변화량과 전력의 변화량에 따라 열전 소자의 출력 전압을 조절하여 최대 전력 지점을 찾는 방법이다[2]. P&O 알고리즘 순서도는 그림 2에 나타내었다. 이

방법은 가장 널리 사용되는 MPPT 기술로 구현이 쉽고, 측정을 위한 분리나 추가적인 부품이 필요 없다. 그러나, 최대 전력 지점을 step size에 의존하여 점진적으로 찾아가기 때문에 OCV 방법에 비해 추종 속도가 상대적으로 느리다. 또한, MPPT 중단에 대한 기준이 없기 때문에 최대 전력 지점에서 진동이 발생하고, 이로 인해 전력 손실이 발생할 수 있다.

3.3 Linear Extrapolation-Based MPPT (LEMPPT)

LEMPPT 기법은 열전 소자의 선형적인 발전 특성을 활용하여, 개방 전압 또는 단락 전류를 직접 측정하지 않고, 간접적으로 계산하는 방법이다. 개방 전압 또는 단락 전류는 특정 두 지점의 전압, 전류 데이터와 선형 외삽법을 기반으로 계산된다 [3]. LEMPPT의 순서도는 그림 3에 나타내었다. 이 방법은 다른 두 지점(A, B)에서의 측정 기간과 최대 전력 지점으로 이동하는 3단계의 샘플링 주기 만에 MPPT를 수행할 수 있다. 따라서, P&O 기법보다 동적 응답성이 더 우수하며, 최대 전력 지점에서의 진동이 없다. 또한, 개방 전압이나 단락 전류를 측정하기 위해 열전 소자를 부하와 분리할 필요가 없어 추가적인 전력 손실이 없다.

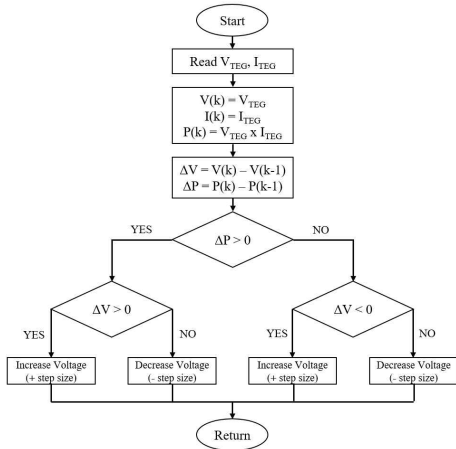


그림 2 P&O 기법 순서도 [2]

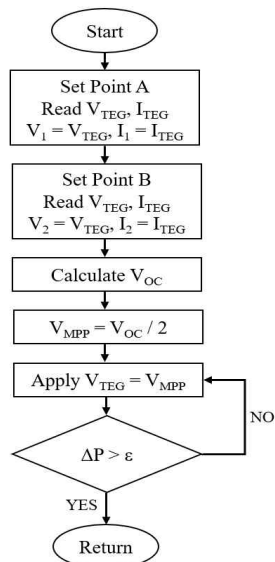


그림 3 LEMPPT 기법 순서도 [3]

표 1. MPPT 기법 비교 분석

| | Sensor | Speed | Stability |
|-----------|--------|-------|------------|
| OCV[1] | V | Fast | Stable |
| P&O[2] | V & C | Slow | Not Stable |
| LEMPPT[3] | V & C | Fast | Stable |

4. MPPT 기법 비교 분석

본 논문에서 검토한 열전 소자 MPPT 기법의 비교 분석을 표 1에 정리하였다. Sensor는 최대 전력 추종을 위해 필요한 센서로 V는 전압 센서, C는 전류 센서를 나타낸다. Speed는 최대 전력 지점 추종 속도, Stability는 최대 전력 지점에서의 안정도이다. 차량의 내연기관 및 배기관과 같이 급격한 온도 변화를 가지는 전장 부품에 열전 소자를 적용시키기 위해서는 최대 전력 지점의 추종 속도를 우선적으로 고려해야 한다. 따라서, P&O 보다 상대적으로 추종 속도가 빠른 OCV, LEMPPT 기법이 적합할 수 있다. OCV 기법의 경우 하나의 센서만 필요하기 때문에 구현의 용이성이나 가격적인 측면에서 유리하다. LEMPPT 기법의 경우 개방 전압 측정이 필요 없어 발전 전력 손실 저감 측면에서 유리하다.

5. 결론

본 논문에서는 열전 소자의 차량 적용을 위해 최대 전력 추종 기법들에 대한 검토 및 비교 조사 연구를 진행했다. 전통적인 기법인 OCV, P&O와 열전 소자의 선형적인 발전 특성을 활용한 LEMPPT의 세 가지 기법에 대해 검토하였으며, 필요 센서, 추종 속도, 정상상태의 안정도에 따라 기법들을 비교 분석하였다. 비교 분석 결과 급격한 온도 변화를 특징으로 하는 전장 부품에서는 P&O 기법 보다 상대적으로 추종 속도가 빠른 OCV 또는 LEMPPT 기법이 적합할 것으로 사료된다.

이 연구는 2020년도 산업통상자원부 및 산업기술평가관리원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임(20002777)

참고 문헌

[1] A. Montecucco and A. R. Knox, "Maximum Power Point Tracking Converter Based on the Open-Circuit Voltage Method for Thermoelectric Generators," in *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 30, no. 2, pp. 828-839, Feb. 2015

[2] H. Mamur and R. Ahiska, "Application of a DC-DC boost converter with maximum power point tracking for low power thermoelectric generators," *Energy Conversion and Management*, vol. 97, 2015, pp. 265-272

[3] B. Bijukumar, A. G. K. Raam, S. I. Ganesan and C. Nagamani, "A Linear Extrapolation-Based MPPT Algorithm for Thermoelectric Generators Under Dynamically Varying Temperature Conditions," *IEEE Trans. Energy Conversion*, vol. 33, no. 4, pp. 1641-1649, Dec. 2018