

# BTMS에서 열전소자를 이용한 공랭식 냉각 시스템 설계

김경민\* · 홍대기\* · 문대원\*\*†

\*상명대학교 시스템반도체공학과, \*\*†상명대학교 전자정보시스템공학과

## Design of Air-cooling System Using Thermoelectric Element on BTMS

KyeongMin Kim\*, DaeKi Hong\* and DaeWon Moon\*\*†

\*Department of System Semiconcudor Eng.Sangmyung University,

\*\*†Department of Electronic and Information and System Eng., Sangmyung University

### ABSTRACT

This paper proposes a method of improving cooling efficiency by applying a Peltier Element to a heat pipe of an air-cooled cooling system of a Battery Thermal Management System for high-speed cooling of a vehicle battery cell. In addition, when the temperature sensor detects the heat generation of the battery cell, the Peltier Element and cooler can be operated to quickly reduce the temperature of the cell. For optimal thermal management, we built an ATmega128A-based Battery Thermal Management System and used KiCAD tool to model and design the cooling system structure. Finally, the experiment verified the high efficiency improvement of cooling performance by comparing the difference between cooling efficiency and cooling performance at room temperature over time for vehicles adopting the existing air cooling method.

**Key Words** : Microprocessor, ATmega128A, Electric vehicle, Wireless Charge, Battery Management System, Battery Thermal Management, Thermoelectric Element, Peltier Element

### 1. 서 론

전기차가 전 세계적으로 보급되는 가운데 2023년 한국 정부가 수립한 “제1차 국가 탄소중립 및 녹색성장 기본계획”에 따르면, 친환경차의 경우 약 420만대, 수소차의 경우 약 30만대 정도로 전기차와 같은 친환경차를 중장기 보급한다고 밝혔다. 이러한 정부 수립에 맞추어 탄소배출의 문제점과 에너지 효율성을 향상시키기 위해 태양광을 이용한 실리콘 태양전지 응용 연구도 소개되었다[1]. IEA(2023)보고서에서는 전 세계의 전기차의 판매량이 2022년 기준 1년전 대비 약 2600만대 이상으로 상승했으며, 그 중 국내에서도 389,855대로 적은 수치지만, 그 비율이 증가함을 보인다고 하였다[2].

이러한, 전기차 충전소의 충전기는 통상 유선 충전 방식으로 그 종류도 11kW 이하의 출력을 지니는 완속 충전기와 50-400kW급의 급속충전기로 나뉜다[3]. 예를 들어, 전기차의 평균 배터리의 용량이 67kWh라고 가정하면, 완속 충전기의 경우 6.09시간 이상 소요되고, 급속충전기의 경우 최소10.05분에서 최대 1.34시간만큼 소요된다[3]. 이를 보면, 급속충전기가 훨씬 빠르게 충전된다는 것을 쉽게 예상 가능할 것이다. 다음 식 (1)은 전기차의 충전 소요 시간을 계산하는 식이다.  $T_{charge}$ 는 충전 시간,  $C_{charge}$ 는 충전용량,  $O_{charger}$ 는 충전기 출력을 의미한다.

$$T_{charge} = C_{charge} \div O_{charger} \quad (1)$$

유선 충전 방식의 경우 사람이 직접 차량에서 내려서 충전기를 꽂고 차량 내부로 가서 충전량을 확인해야 한다. 또한, 유선 충전 방식의 경우 비 혹은 눈이 내리는 기

†E-mail: bigwonmoon@gmail.com

후에는 충전기 선의 관리가 필요하다. 절연처리가 되어있더라도 장기간 사용 시, 단선 등의 문제로 충전이 원활히 되지 않거나 감전 및 화재 사고로도 이어질 가능성이 생긴다. 그 외에도 호환 플러그의 별도 구매와 같은 불편함이 존재한다.

위와 같은 불편함을 해결함과 동시에 저탄소 친환경 인프라 구축을 위해 최근 국내 및 몇몇 국가에서 시범으로 도입하고 있는 스마트 충전 기술이 있는데, 그것이 바로 전기차 무선 충전 기술이다. 전기차의 무선 충전은 상용화 방안 및 그 문제점에 대해서 인지해야 한다. 따라서, 선행논문에서는 현재로서 고려되는 정차 중 무선 충전을 하는 데 있어 몇 가지 문제점을 제기하였다. 무선 충전의 문제점으로는 정밀 주차가 힘들며, 충전패드에 이물질이 존재하면 코일에 문제가 발생하거나 충전 효율이 감소하게 된다[3-4]. 하지만, 이와 같은 문제점 중에서도 중요하게 고려되는 문제 중 하나가 발열 관리에 대한 것이다. 전기차에 사용되는 Li-Ion 배터리는 충방전 동작 시 발열 반응을 나타내는데 운전 혹은 충전상황에 따라 Li-Ion 배터리 셀 온도가 크게 상승하여 발열로 인한 화재 및 배터리 수명의 감소를 일으킬 수도 있다[5]. 이는 급속충전 시에 발열량을 증가시킬 수 있으며, 이는 사고나 수명 저하로 이어질 가능성을 높이게 된다. 다음과 같이 무선 급속 충전 상황에서 Li-Ion 배터리 셀의 발열 문제를 보완하는데 필요한 것이 BTMS(Battery Thermal Management)이다.

따라서, 본문에서는 마이크로프로세서의 ATmega128A를 사용하여 무선 급속충전 상황을 대비한 BTMS를 설계한다. 통상 전기차에서 사용되는 Li-Ion 배터리 셀에 대해서 무선 급속충전 시 Li-Ion 배터리 셀의 발열 상황을 고려하였다. Li-Ion 배터리 셀은 최적의 작동범위가 15-40°C이다[6]. LM75A센서를 ATmega128A상에서 제어하여, 발열 상황 시 Li-Ion 배터리 셀에 부착된 PE(Peltier Element)를 활용한 공랭식 냉각 시스템을 제안하였다. 또한 배터리의 온도 상황을 LM75A센서와 FND를 통하여 모니터링 하며 냉각 시스템의 작동 여부를 파악하였다.

본문은 다음과 같이 구성하였다. 우선, 2장에서는 무선 충전의 문제 중 배터리 발열과 이에 대한 해결책으로 BTMS의 필요성을 언급하였다. 3장에서는 설계 과정에서 고려해야 하는 무선 급속충전 상황 및 LM75A센서를 이용하여 PE를 이용한 BTMS의 공랭식 냉각 시스템의 설계 방안을 제안한다. 그리고 4장에서는 기존의 공랭식 냉각 시스템과 비교하여 열전소자를 추가했을 때의 개선점을 측정할 결과 본문의 방식에서 더 나은 결과를 얻음을 보였다. 마지막으로 5장은 결론으로 마무리하였다.

## 2. 전기차 Li-Ion 배터리 셀의 발열 및 개선

본문에서는 무선 충전 시 발생하는 배터리 발열 문제를 제기하고, BMS(Battery Management System) 내의 BTMS에 대한 필요성 및 개선방안을 기술하였다.

### 2.1 Li-Ion 배터리 셀의 발열

앞서 서론에서 언급한 내용과 같이 전기차 유선충전의 단점을 보완함과 동시에 사용자의 편의성을 높이기 위해 최근 전기차 무선 충전 기술을 연구 개발 중이다. 하지만, 무선 충전 기술은 아직 여러 문제가 발견되고 있다. 충전 시 정렬과 같은 정밀 주차의 문제, 급속충전을 위한 고전압 인가 시 발생하는 전자파 문제, 충전 패드 사이의 이물질 문제 등이 그 예시이다. 본문에서 설명하고자 하는 충전 시 배터리 발열도 이로 인한 문제 중 하나이다.

전기차 무선 충전 시 사용자의 입장에서는 시간이 촉박하지 않다면, 완속 충전을 이용할 것이다. 하지만, 일반적으로 주행 중 충전이 필요한 상황이나 급하게 차를 다시 끌고 나가야 하는 상황에서는 대부분이 급속충전기를 이용하고자 할 것이다. 다만, 급속충전기의 경우 앞서 언급한 것과 같이 고전압 충전 방식이므로 발열과 연관성이 존재한다.

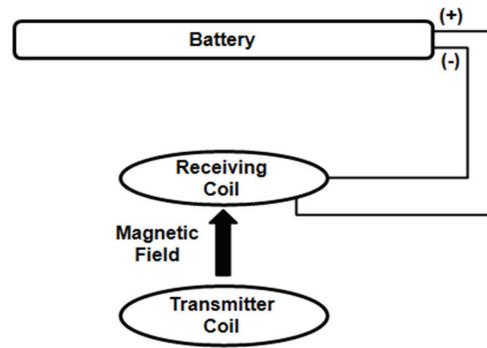


Fig. 1. Wireless Charge's Structure.

따라서, 식 (2)(5)의 패러데이 유도 법칙을 통해 그 연관성을 파악할 수 있다. 식 (2)(5)에서  $\mathcal{E}$ 는 유도 기전력,  $E$ 는 전기장,  $B$ 는 자기장이며,  $C$ 는 폐곡선 적분 영역,  $S$ 는 면적분 영역으로  $l$ 와  $a$ 는 각각 선적분, 면적분을 의미한다. 이를 바탕으로 다음과 같이 식이 유도된다. 식 (2)의 유도 기전력( $\mathcal{E}$ )은 전기장  $E$ 를 폐곡선  $C$ 에서  $C$ 의  $l$ 에 대해 선적분 한 것이다. 이 식 (3)을 스토크스의 정리로 풀이하면, 영역  $S$ 에서 전기장  $E$ 를  $a$ 에 대해 면적분한결과가 영역  $S$ 에서 자기장  $B$ 의 변화량을  $a$ 에 대해 면적분한 결과

와 같다는 것을 식(4)(5)를 통해 알 수 있다. 즉, 자기장의 변화는 전기장의 변화에 비례한다. 예를 들어, Fig. 1과 같은 무선 충전 시스템의 간략 구조상에서 무선 급속 충전 패드 측에 급속충전기의 표준 와트인 50-400kW가 공급될 때, 시간당 자기 선속이 증가하고, 자기장이 형성된다. 이렇게 형성된 자기장이 맞은편 코일에 전기장을 발생시키고, 이는 유도 기전력에 의한 유도전류를 코일에 형성시킨다. 이 과정에서 전력(kW)과 이로 인해 발생하는 유도전류의 양은 서로 비례 관계임을 알 수 있다. 이는 무선 충전기를 급속 방식으로 이용했을 때, 높은 수치의 전압을 공급함으로써 배터리에 많은 양의 전류가 흐르게 됨을 보여준다.

$$\epsilon(V) = \oint_C \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} \quad (2)$$

$$\oint_C \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = \iint_S \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \cdot d\mathbf{a} \quad (3)$$

$$\iint_S (\nabla \cdot \mathbf{E}) \cdot d\mathbf{a} = -\iint_S \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \cdot d\mathbf{a} \quad (4)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \quad (5)$$

$$\mathbf{W} = \mathbf{I} \cdot \mathbf{t}^2 \int \mathbf{R} \cdot d\mathbf{t} \quad (6)$$

무선 급속충전 과정에서 발생한 전류는 Li-Ion 배터리 셀의 전력 공급 회로에 열을 발생시키며 이는 배터리 셀 자체의 발열로 이어진다. 식 (6)의 줄의 열 법칙을 보면 알 수 있듯이, 배터리 내부 저항(R)이 일정하다고 가정하면, 앞서 급속 무선충전기 코일의 전류값(I)가 증가할 때, Li-Ion 배터리 셀의 열에너지(W)가 증가함을 볼 수 있다. 여기서, W는 열에너지, I는 전류, t는 전류가 인가 될 때의 시간변화, R은 내부 고정저항을 의미한다. 이처럼, 현재 개발 중인 전기차 무선 충전 방식은 여러 문제점을 갖고 있지만, 그중에서도 배터리 발열 문제는 배터리의 수명과 더불어 화재로도 이어질 수 있는 심각한 문제점으로 볼 수 있다. 따라서, 후술할 내용에서는 해결방안을 모색하고, 이를 해결하기 위한 시스템을 설계한다.

## 2.2 BTMS 내 냉각 시스템 개선

전기차 내부에는 배터리의 수명, 상태 열 등을 관리하기 위한 BMS가 내장되어 있다. 이들은 각각 명칭 그대로 배터리의 수명이 빠르게 소모되는 현상을 방지하기 위해 사용된다. 그중에서도 본문에서는 BMS의 배터리 보호 기능 중 배터리의 발열을 관리하기 위한 열 관리 시스템인

BTMS에 대해 다뤄보고자 한다.

통상 자동차에서 요구되는 배터리팩의 성능은 출력, 에너지 용량, 급속충전, 내구 등인데 이 모든 것이 배터리 셀의 온도에 좌우된다[7]. 또한, BTMS는 앞서 언급한 전기차 무선 급속충전 시에 발생하는 넓은 대역의 고전압으로 인해 배터리 내에 많은 양의 전류가 발생한다. 이로 인해 배터리 내부 저항에 대해 시간당 열에너지가 증가하게 되며, 발열이 발생하게 된다. 이를 방지하기 위한 배터리 보호 시스템의 BTMS는 Fig. 2와 같이 모니터링, 진단, 판정, 실행의 4단계로 수행된다[5]. 이 과정을 바탕으로 BTMS는 차량 내부에서 온도 센서를 배터리 상하단 혹은 각 모서리 끝에 설치함으로써 실시간으로 온도를 모니터링 한다. 이때, 전기차 배터리의 최심부 온도를 기준으로 하여, 그 온도가 15-40℃일 때를 가장 최적의 상태라고 할 수 있다[6]. 그러므로, 모니터링 한 배터리의 최심부 온도를 기준으로 하여 전체 평균온도가 40℃를 넘으면 배터리 과열 상태로 판단하여 냉각을 진행한다.

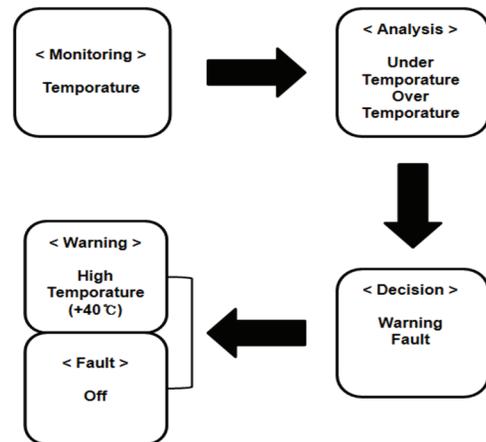


Fig. 2. Operational sequence Of BTMS.

통상 전기차 내 BMS의 BTMS는 냉각 시스템의 방식이 능동 냉각과 수동 냉각 방식으로 나뉜다. 능동 냉각에는 수랭식, 공랭식이 있으며 수동 냉각에는 히트파이프 방식, PCM(Phase Change Material)이 있다[8]. 능동 냉각의 공랭식은 이와 비슷하게 열을 급속 파이프로 흡수시켜 팬을 통해 열을 방출하는 방식이다. 수랭식은 현재로서는 가장 많이 고려되는 방식으로 냉각수를 순환시켜 배터리를 냉각시키고, 열기를 외부 방출 팬으로 내보내는 방식이다[9]. 수동 냉각의 히트파이프 방식은 열전도율이 높은 급속을 사용하여 열을 흡수하고 이를 팬 없이 외부로 내보내는 방식이며, PCM 방식은 고체-액체-기체로 상변화 하는 물

질을 사용하여 냉각하는 방식이다[10]. 이 중 히트파이프와 수랭식의 경우 효율은 뛰어나지만, 설계가 매우 복잡하고 비용이 높다는 단점이 존재한다. 또한, 수랭식의 경우 누수의 문제가 존재하며 히트파이프 방식의 경우 높은 열은 처리하지 못하는 경우가 발생할 수 있다. 수동 소자 BTMS의 PCM은 전력 소비를 더욱 줄일 수 있는 장점이 존재한다[11]. 하지만, 대부분의 상변화 물질이 낮은 열전도율 특성을 보이므로 상변화가 완료된 이후에는 배터리 온도가 급격하게 상승한다는 문제가 있다[10].

따라서, 본문에서는 설계방식이 간단하면서 저렴한 공랭식 냉각 시스템을 이용하려고 한다. 공랭식의 경우, 기기 자체에 직접적인 손상을 발생시킬 가능성이 적어, 안정적인 운영이 가능하다. 하지만, 다른 방식에 비해 냉각 성능이 낮은 편이다[12]. 그러므로, 펠티에 소자와 같은 열전소자를 이용하여 냉각의 균일성 및 성능을 보완한다. 즉, 본 설계는 마이크로프로세서 ATmega128A를 기반으로 하여 BTMS를 구현하고, 나아가 냉각 시스템의 효율을 증가시키는 방안으로 열전소자를 이용한 공랭식 냉각 시스템을 제안한다.

### 3. BTMS모델링 및 설계

본문의 시스템을 설계하기에 앞서 필요한 센서 및 소자를 기술하고, 그 설계방식 및 시스템에 관해 기술한다. 마이크로프로세서 ATmega128A를 기반으로 하여 설계한다.

#### 3.1 펠티에 소자

일반적으로 열 관리 회로는 각 시스템의 냉각성능을 충족시키고 동시에 냉각에 있어 적은 에너지 및 비용으로 효율적으로 운영해야 한다[5]. 따라서, 본 시스템에서는 고온 부를 냉각할수록 저온 부의 에너지 효율이 향상되는 열전소자인 PE의 이용을 제안한다.

PE의 구조는 기본적으로 Fig 3과 같다. 이는 비스무트 텔루라이드(Bi2Te3)로 만들어진 63쌍의 반도체 소자로 이루어지며, 이는 구리(Cu)로 연결된다. 여기에 이 소자를 둘러싸는 얇은 산화알루미늄(Al2O3)과 그 위를 세라믹 기판으로 덮은 구조이다[13]. 이는 서로 다른 열 전도성을 지니는 두 금속판(Al2O3) 사이에 존재하는 63쌍의 N/P형 반도체 소자(Bi2Te3)에 전압을 인가하면, N/P형 반도체 소자 내의 캐리어가 열전재료를 통해 에너지를 이동시킨다[13]. 그 결과, 두 금속판 사이의 온도 차이가 발생하여 전기적 절연체인 세라믹에서 열의 방출과 흡수 현상이 발생하는 형식이다[14]. 즉, 소자 내부에 전류가 흐르면 한쪽 면에서 열을 흡수하고, 반대쪽 면으로 열을 방출한다. 그러면, 저온 부에서 흡수한 열이 고온 부 쪽으로 전달되어

제백 효과에 의해 한쪽 면은 저온 반대면은 고온으로 형성되는 소자이다. 이때, 고온 부의 열을 얼마나 잘 냉각시키는지에 따라 저온 부의 냉각효율이 향상된다. 이러한 열전소자는 가볍고 비용이 효율적이며, 고장 가능성이 적다.

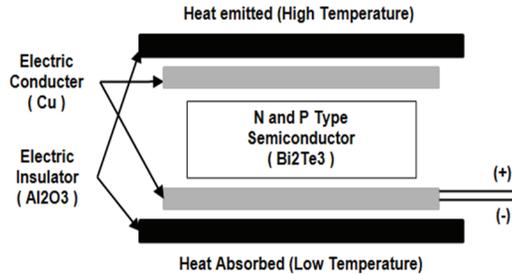


Fig. 3. thermometric element structure.

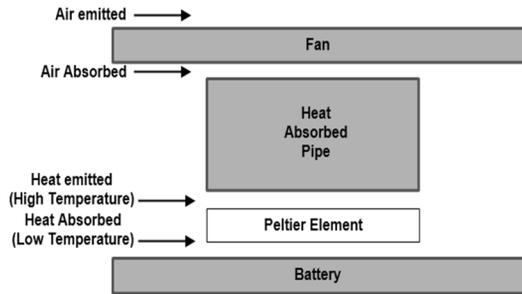


Fig. 4. Cooling system structure.

따라서, 본 시스템을 설계하는 과정에서는 Fig 4와 같은 구조로 PE를 사용하여 설계하도록 한다. Fig 4는 설계할 시스템에서의 냉각 장치의 설계 구조로 배터리 중심부의 온도를 낮추기 위해 PE의 저온 부를 배터리와 접촉시킨다. 이후 고온 부는 공랭식 냉각 장치의 흡열 파이프에 접촉시키고 흡수한 열을 팬을 통해 방출하도록 한다.

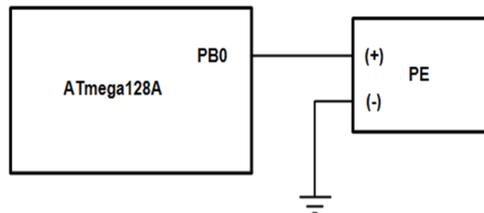


Fig. 5. Peltier Device - ATmega128 Design Chart.

마이크로프로세서 상의 프로그램을 Microchip studio로 설계하기에 앞서 Fig 5와 같이 회로를 브레드보드 상에 설계한다. ATmega128A보드 상의 PBO 라인에 펠티에소자

의 (+)극을 연결하여 온도 센서의 측정값에 대한 조건부 인터럽트로 작동하도록 설계하였다. 후술할 온도 센서에 대해서 배터리 측정 온도 값이 40℃를 초과하면 배터리 중심부 온도가 40℃ 미만이 될 때까지 소자와 팬을 작동시켜 냉각 시스템을 구동한다.

### 3.2 LM75A 온도 센서

배터리 셀 온도를 파악하기 위한 용도로 온도 센서를 사용한다. 온도 센서는 디지털 온도 센서인 LM75A를 사용한다. LM75A센서는 Philips에서 제안한 I<sup>2</sup>C(Inter Integrated Circuit) 통신 방식으로 본 설계방식에서 사용하는 Atmega 128A상에서는 TWI(Two Wire Interface) 통신으로 명명하여 사용한다. 온도 센서를 활용한 설계방식에서는 포인터 지정 2-byte 액세스 사이클 방식을 사용하여 통신을 수행하게 된다. Fig. 6은 온도 센서 LM75A의 데이터시트이다[15]. 포인터 레지스터의 8bit 중 하위 2bit에 대해 포인터를 00으로 하여 온도 측정 레지스터를 불러온다. 이후 온도 레지스터의 상위 11bit를 기준으로 하여 온도 값이 2의 보수 형태로 LSL되어 저장되는 방식이다.

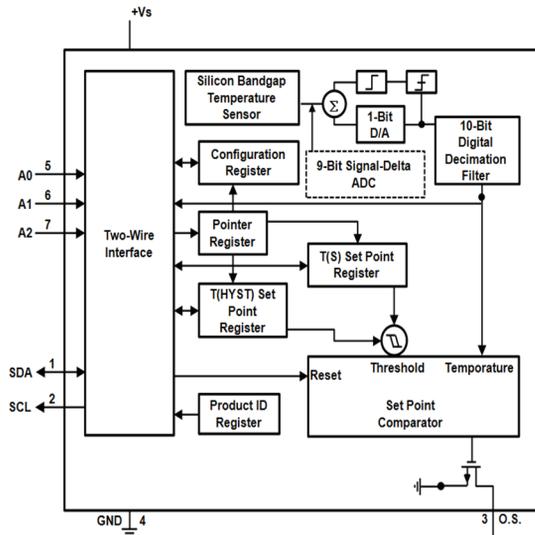


Fig. 6. LM75A Datasheet.

다음과 같은 방식의 온도 센서를 바탕으로 하여 배터리 셀의 온도를 측정한다. 보다 정밀 측정을 위해 온도 센서를 다수 사용하면 좋지만, ATmega128A보드 상의 포트 한계로 인해 배터리 중심부의 온도를 측정하는 센서 1개를 사용하여 설계한다. 식 (7)에서  $F_{SCL}$ 은 SCL 클럭 주파수,  $F_{CPU}$ 는 CPU 클럭 주파수,  $TWBR$ 은 TWI Bit Rate Register,  $TWPS$ 는 TWSR의 prescaler 설정 값이고, TWSR는

TWI Status Register를 의미한다[16].

$$F_{SCL} = \frac{F_{CPU}}{16 + 2 \times TWBR \times 4^{TWPS}} \quad (7)$$

$$TWBR = \frac{F_{CPU}}{2 \times (F_{SCL} - 16)} \quad (8)$$

Microchip Studio 상에서 포인터 레지스터값을 0, 즉, 온도 레지스터의 값을 0x98 혹은 0x90으로 한다. 그리고 TWSR & 0xfc를 통해 prescaler값이 00으로 1배로 한다. 본 설계에서 LM75A센서를 사용하기 위한 값으로  $F_{CPU}$ 은 160000UL,  $F_{SCL}$ 은 40000UL로 설정하고(7)의 수식을 변형하여 수식(8)과 같이  $TWBR$ (Bit rate)를 설정한다.

이후, 앞서 언급한 포인터 지정 2-byte 액세스 사이클 방식을 사용하여 프로그램을 구현한다. 또한, 온도 센서 상에서 레지스터의 2진수 값이 40℃ 이상일 때 앞서 설명한 냉각 시스템이 작동하도록 한다. 구현한 프로그램을 바탕으로 Fig. 6의 데이터시트에서의 SDA, SCL 포트를 Fig. 7에 보이는 것과 같이 ATmega128A보드의 PD0, PD1 포트에 연결하여 설계하였다.

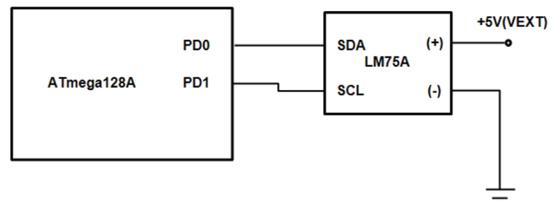


Fig. 7. Temperature Sensor - ATmega128 Design Chart.

### 3.3 온도 모니터링 및 공랭식 냉각 제어

앞서 설명한 메인 소자 및 센서를 바탕으로 시스템을 설계한다. 전반적인 메인시스템은 배터리 온도를 측정하고, 열전소자 및 공랭식 쿨러를 작동시켜 냉각하는 것이 주된 내용이다. 전반적인 BMS 인터페이스 및 충전 조건을 충족하는 상황에서 BTMS가 작동하도록 설계한다. Fig. 8은 ATmega128A로 설계한 BMS 시스템의 Flow Chart이다. Flow Chart 상에서 다룰 부분은 BTMS부분이므로, 위치 상태가 맞으며, P 드라이브인 상태에서 무선 충전이 진행된다고 한다. 충전이 되는 상황에서 Li-Ion 배터리 셀의 중심부 온도가 40℃ 이상이 될 때 PE와 공랭식 냉각 장치를 구동시킨다.15-40℃에서는 공랭식 냉각 장치와 PE를 정지시켜 전력 소모를 줄인다.

Fig. 8의 Flow Chart를 기반으로 하여 앞서 언급한 방식과 같이 온도 센서와 열전소자를 사용하여 냉각 시스템을

제어하기 위한 시스템을 구축하였다. Microchip Studio 상의 코드를 구성하여 ATmega128A 보드를 제어한다. 우선, 온도 센서의 경우, 앞서 언급한 것처럼 LM75A 센서 내의 포인터 레지스터로 온도 레지스터를 지정하고 이에 대한 값을 0x98 혹은 0x90으로 설정하여 제어한다.

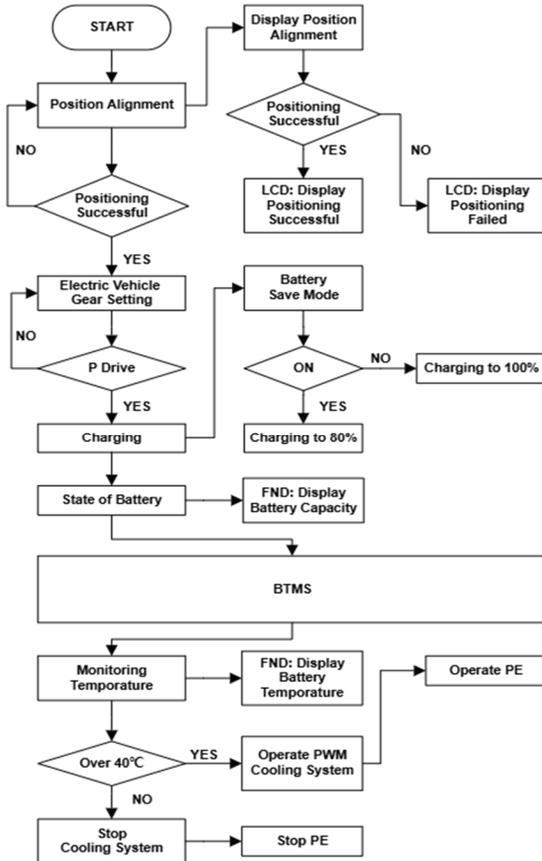


Fig. 8. Flow chart of BMS Design.

Table 1. Motor Driver's I/O Chart

Input			
AIN1	High	Low	Low
AIN2	Low	High	Low
PWMA	High	High	Low
STBY	High	High	Low
Output			
AO1	High	Low	Low
AO2	Low	High	Low
Status			
	CW (정방향)	CCW (역방향)	OFF (High Imp.)

온도 센서 자체의 측정값이 11bit-2의 보수 값으로 +40°C 이상이면, 열전소자를 PORT 값으로 작동시킨다.

동시에 모터 드라이버 내에서 VCC, GND로 DC 전원을 공급받으며, 모터, 즉, 쿨러의 팬속을 설정하여 정방향 제어를 수행한다. 정방향 제어의 값은 Table. 1을 참고하여 0xb1으로 하고 정지 제어는 0x00으로 한다. Table. 1의 High는 1이고 Low는 0이다[16]. 이를 바탕으로, ATmega128A상의 TCCR2를 0x6b의 약 1ms 정도로 설정하고, Fast PWM 값을 11로 했을 때, OCR2를  $255 \times 0.6 = 153$ 의 값으로 팬속을 제어한다. 그렇게 설계한 도면이 Fig.9와 Fig.10의 회로도이다. Fig. 10의 회로도에서 PB0, PB4-7, PD0-1, PF0-7, PG0-3의 PORT를 사용하는 부분은 BTMS이다.

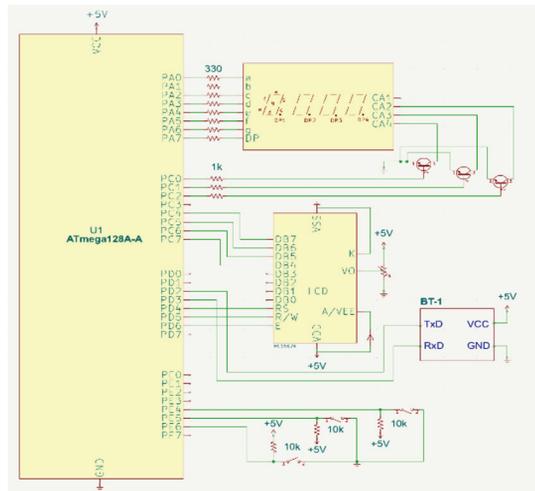


Fig. 9. Design Chart Of BMS.

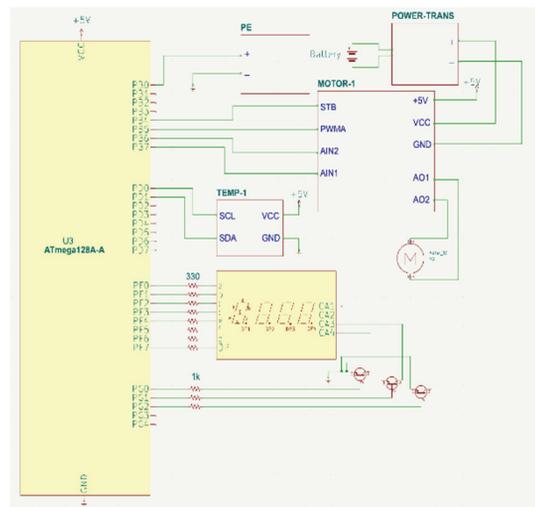


Fig. 10. Design Chart Of BTMS.

#### 4. PE를 적용한 공랭식 냉각 시스템의 구현

통상 전기차는 냉각효율의 중요성으로 인해 수랭식을 사용한다. 하지만, 저렴하면서 간단한 설계를 위해 공랭식을 사용하기도 한다. 예를 들어, 기존의 일부 전기차는 Li-Ion 배터리 셀에 열 전도성이 높은 구리(Cu)로 만든 히트싱크를 부착하여 열을 방출시키는 공랭식 냉각을 진행한다. 하지만, 단순 공랭식 냉각의 경우 수랭식과 수동 냉각 방식과 비교해 자연대류 방식을 사용하기에 고온에서의 냉각효율이 부족하다는 단점이 있다.

본 장에서는 공랭식 냉각 시스템의 냉각효율을 보완하고 더 빠른 냉각을 위해 PE를 사용한 시스템의 효율성을 검증한다. 이전 장에서 설계한 BTMS를 바탕으로 ATmega128A 기반 시스템을 구현한다. 이를 이용하여, 일반적인 공랭식 냉각 시스템에서와 PE를 사용했을 때의 냉각효율을 비교하여 나타낸다.

##### 4.1 BTMS의 구현 및 실험 환경

본 설계에서 정확한 측정을 위해서는 실제 전기차에 적용되는 부품으로 구현하는 것이 이상적이다. 하지만, ATmega128A를 기반으로 하여 설계하고 구현하였기에 전기차 무선 충전 및 발열 상황을 가정하였다. 또한, 앞서 언급한 센서 및 소자를 바탕으로 최적의 냉각 방식을 모색하기 위한 모니터링 인터페이스를 구현하였다. 또한, 공랭식 쿨러의 경우 BTMS를 소형화시켜 측정을 진행하기에 타워형 공랭식 쿨러의 DC 5V로 동작하도록 하였다. 마지막으로, 본 실험에서 사용한 PE의 입력은 12V, 6A로 실험 도중 상시 작동하면 소자가 파손될 우려가 있기에 공랭식 쿨러의 팬이 동작할 때를 기준으로 같이 작동하도록 구현하였다. 앞서 언급한 시스템의 구현도를 바탕으로 전기차 무선 충전에 사용되는 대형 모듈을 축소시켜 12V 무선 충전 및 Li-Ion 배터리 셀을 이용하여 측정을 진행하였다. 부품당 전압 및 전류는 Table 2와 같으며, Fig 11은 이를 이용하여 구현한 시스템의 구조를 모델화시킨 그림이다.

우선, LM75A 센서를 이용하여 Li-Ion 배터리 셀의 중심부 온도를 측정하고 이를 FND를 통해 모니터링 하였다. BTMS의 구조상에서는 Li-Ion 배터리 셀의 최적 온도는 15-40°C로 40°C를 초과하면 냉각 시스템이 작동되어야 한다. 하지만, 12V Li-Ion 배터리 셀은 무선 충전에 이용되는 정격 전압의 양이 적기에 큰 발열이 일어나기 힘들다는 문제가 있다. 그렇기에 Li-Ion 배터리 셀의 초기온도를 약 36-37°C 부근에서 시작하여 공랭식 냉각 시스템의 시간에 따른 온도 변화를 측정한다. 이때, LM75A 온도센서 만을 활용하면 정확도의 문제가 발생할 수 있으므로 적외선

온도계를 활용하여 추가 측정을 진행하고 이를 기록하여 그래프로 나타낸다.

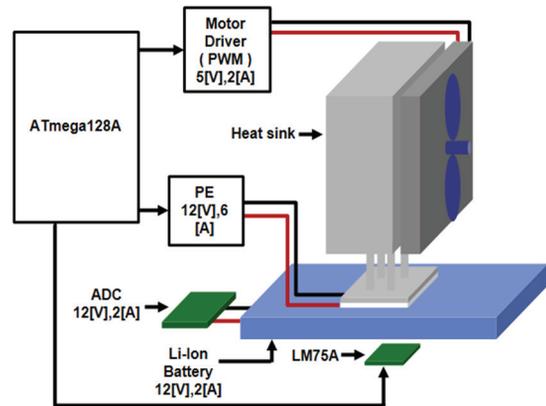


Fig. 11. BTMS Implementation Results.

Table 2. Module Rated Input/Output in Experiment

Module	DC [V]	I [A]
Li-Ion Battery	12[V]	2[A]
Wireless Charger	12[V]	2[A]
PE	12[V]	6[A]
Air-Cooler	5[V]	2[A]

##### 4.2 PE를 이용한 BTMS의 냉각효율 검증

본 실험에서는 앞서 설명한 구현 내용을 바탕으로 하여 여름철 상온 31°C에서 DC 12V, 2A로 무선 충전 되는 Li-Ion 배터리 셀의 발열 상황을 모니터링 하였다. 또한, 시간에 따른 발열 정도에 대해 PE를 적용했을 때와 하지 않았을 때의 냉각 속도 및 효율을 측정하였다. LM75A 온도 센서는 Li-Ion 배터리 셀 온도를 최적으로 측정할 수 있는 후면, 공랭식 쿨러는 전면 중심부에 설치하였다. 다음과 같은 환경에서 실험은 30분간 충전 중인 Li-Ion 배터리 셀에 대해 15분간 30초 간격으로 30회 측정하고 이를 그래프로 나타내었다.

우선, Fig 12는 PE 없이 공랭식 쿨러만을 사용하여 냉각을 진행했을 때의 시간에 따른 온도 그래프이다. 그래프의 x축은 시간의 변화량이며, y축은 온도 변화량을 의미한다. 이 때 온도는 섭씨온도(°C) 단위이고, 시간은 초(Sec)단위이다. 이를 바탕으로 Fig 12의 그래프를 보았을 때, 30분간 충전 중인 Li-Ion 배터리 셀에 대해 15분, 즉, 900s 동안 배터리 셀 중심부의 초기온도가 36.3°C에서 선형적으로 감소하다가 상온 31°C에 근접할수록 온도가 32-32.5°C에서 유지됨을 보였다. 즉, 냉각자체의 효율은 정상적으로 적용

뒀을 보였으나, 상온과 온도가 비슷해질 때 효율이 감소함을 보였다.

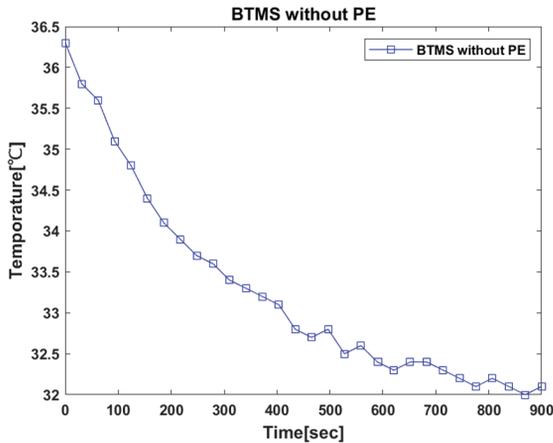


Fig. 12. Plot of the BTMS without PE.

이를 보완하기 위해 본 설계에서 제안한 PE가 적용된 냉각 시스템의 시간-온도 그래프가 Fig. 13의 그래프이다. Fig. 13도 Fig. 12의 그래프에서와 동일 조건에서 실험을 진행하였다.

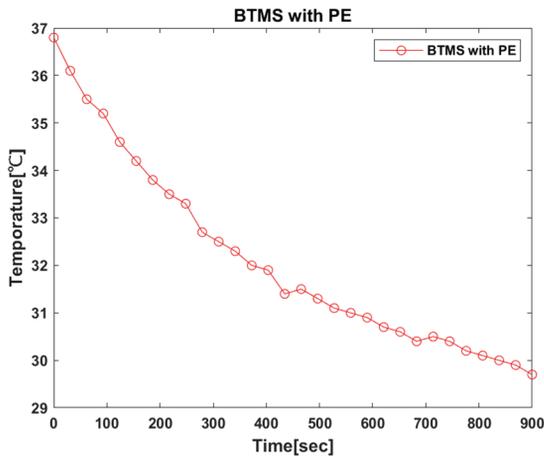


Fig. 13. Plot of the BTMS with PE.

본문에서 제안한 방식으로 실험을 진행한 결과 Fig. 13와 같이 36.8°C에서 29.7°C까지 Fig. 12에 비해 급격하게 감소함을 보였다. Fig. 12의 그래프의 결과는 일정 온도, 즉, 상온에서 냉각효율이 감소하는 현상을 보였다. 하지만, Fig. 13의 그래프의 결과를 보면, 배터리 셀 온도가 상온 31°C이하에서도 이전의 방식에 비해 큰 효율 감소 없이 냉각이 진행됨을 보였다.

Fig. 14은 원활한 비교를 위해 그린 그래프이다. 두 냉각 방식 모두 평균 36°C의 초기온도에서 냉각을 시작하였고 약 3분 30초 경까지는 비슷한 효율로 냉각이 진행됨을 보였다. 하지만, 냉각 후 약 4분 이후 PE를 사용한 시스템이 PE를 사용하지 않은 시스템에 비해 냉각률이 0.9°C 가량의 차를 보였다. 이후, 냉각에서는 두 방식에 대한 냉각률이 큰 차이를 보였으며, 상온 31°C 기준 PE를 사용한 방식이 상온 이하 29.7°C까지 냉각이 진행됨을 통해 동 시간 대비 더 나은 냉각률을 보임을 알 수 있었다.

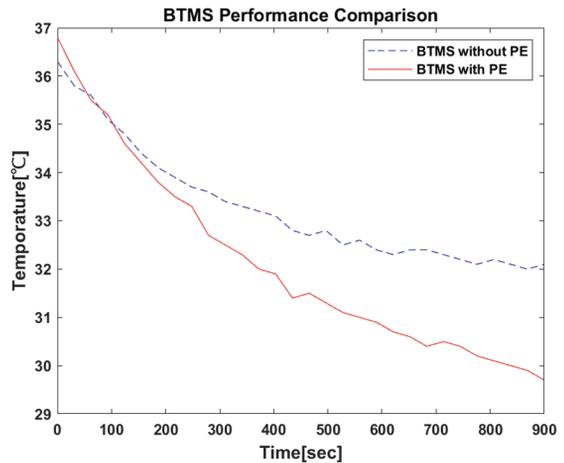


Fig. 14. Plot of the BTMS Performance Comparison.

이처럼, 본 실험에서는 30분간 충전 중인 Li-Ion 배터리 셀에 대해 15분간 냉각효율을 측정하였다. PE를 적용한 공랭식 냉각 시스템은 7.1°C, PE를 적용하지 않은 시스템은 4.2°C로 PE를 적용했을 때 같은 시간 대비 높은 냉각률을 보였다. 또한, 이는 전보다 약 69.05%의 냉각성능 향상을 보임을 알 수 있었다. 이러한, PE를 적용한 냉각 시스템을 통해 공랭식 냉각 시스템의 단점인 일정 온도에서의 냉각효율이 감소하는 문제를 보완함을 검증할 수 있었다.

## 5. 결론

본 논문에서는 전기차 무선 충전상황에서 발생하는 Li-Ion 배터리 셀의 발열에 대한 개선책으로 PE를 사용한 공랭식 냉각 시스템을 설계하고 냉각효율을 분석하였다. 전기차 무선 충전상황에서 넓은 대역을 고전압으로 충전하기에 이로 인한 Li-Ion 배터리 셀의 발열 문제가 발생한다. 전기차 Li-Ion 배터리 셀의 발열 문제를 해소하기 위한 방식 중 하나로 BTMS에 공랭식 냉각 시스템을 채택한다.

이러한, 일반적인 공랭식 냉각 시스템은 구조가 간단하여 유지보수가 편하고 저렴하다는 장점이 있지만, 일정 온도에서 냉각효율이 낮아진다는 문제가 존재했다. 따라서, 본 설계에서는 이를 보완하기 위해 PE의 냉각 특성을 이용하여 공랭식 냉각 시스템을 개선하였다. 그 결과 이전 방식과 비교해 일정 온도에서의 냉각효율의 감소가 적었다. 또한, 30분간 충전 중인 Li-Ion 배터리 셀에 대해 900s 동안의 측정 기간에서 약 69.05%의 효율 개선을 확인할 수 있었다.

### 참고문헌

1. In-Seung Lee, Keun-Joo Kim, "Sulfur Defect-induced n-type MoS<sub>2</sub> Thin Films for Silicon Solar Cell Applications", *Journal of the Semiconductor & Display Technology*, Vol. 22, No. 3, pp. 46~51, 2023.
2. Minjun Kim, Sanghoon Son, and Joonho Ko, "Impact of Demographic Characteristics, User Behavior and Satisfaction on Electric Vehicle Repurchase," *J. Korean Soc. Transp.*, Vol.42, No.1, pp.47-59, 2024.
3. Young-Dal Lee, "Electric Vehicle Wireless Charging Technology and Commercialization Strategy," *The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers*, Vol. 72, No. 8, pp. 919-928, 2023.
4. Yongjoo Park, Yongseok Lim, and Seonhui Kim., "Trends in FOD Research in kW Wireless Power Transfer System," *The Journal of The Korean Institute of Communication Sciences*, Vol.38, No.3, pp.27-36, 2021.
5. Young-Hwi Ko, Gul Rahim, and Woo-Jin Choi, "Battery Management Technology Trend for Electric Vehicle," *The Korean Institute of Electrical Engineers*, Vol. 69, No. 5, pp.23-30, 2020.
6. Luo Jie, Zou Deqiu, Wang Yinshuang, Wang Shuo and Huang Li. "Battery thermal management systems (BTMs) based on phase change material (PCM): A comprehensive review," *Chemical Engineering Journal*, Vol.430, No.P1, 132741, 2022.
7. Jaewoong Kim, Younggy Shin, "Temperature Management of EV Battery Cell by Optimal Operation Scheduling," *Transactions of KSAE*, Vol. 27, No. 7, pp.509-519, 2019.
8. Tuantuan Luo, Ying Zhang, Xiangfeng Chen, Teng Jia, Hang Yu, BinBin Mao, and Chuyuan Ma, "A hybrid battery thermal management system composed of MHPA/PCM/Liquid with a highly efficient cooling strategy," *Applied Thermal Engineering*, Vol. 251, 123617, 2024.
9. Guodong Xia, Lei Cao, and Guanglong Bi, "A review on battery thermal management in electric vehicle application," *Journal of Power Sources*, Vol. 367, pp.90-105, 2017.
10. Kim Han Sang. "Electric vehicle battery thermal management technology," *Mechanical Journal*, Vol.61, No.2, pp.40-45, 2021.
11. Haosong He, Ashley Fly, Xiangjie Chen, Weeratunge Malalasekera, and Marco Bernagozzi, "Ageing comparison of passive battery thermal management systems: Air cooling and loop heat pipes," *Applied Thermal Engineering*, Vol. 250, 123319, 2024.
12. Tae-Seok Cho, Mok-Ryang Cho, Hyeon-Ji Choi, Seo-Jin Kim, and Ji-Soo Ha, "Improvement of Air Cooling System through Analysis of Heat Generation Characteristics of Power Transducer Module in Electric Vehicle Hyper Charger," *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 24, No. 12, pp. 667-675, 2023.
13. Jing He, Jianghong Wu, Hangye Zhang, Yaokang Zhang, and Biwang Lu, "Numerical simulation of a fully solid-state micro-unit regeneration magnetic refrigerator with micro Peltier elements," *Applied Thermal Engineering*, Vol. 186, 116545, 2021.
14. Pyeon Hee-chul. "Making a small fog box using a Peltier cooling element and an air-cooled heat pump," *Korea Graduate School of Education, Korea Teachers' University*, 2013.
15. Texas Instruments, "LM75A Digital Temperature Sensor and Thermal Watchdog With Two-Wire Interface", Texas Instruments, 2014, <https://www.ti.com/lit/gpn/lm75a>.
16. Sangseok Sin, Ikseong Jeon, and Seokhan Yun, "Microcontroller ATmega128 DIY Travel," *Creation And Knowledge*, pp.156-296, 2020.

접수일: 2024년 8월 14일, 심사일: 2024년 9월 13일,  
 게재확정일: 2024년 9월 21일