

# 비절연 LDC를 이용한 초소형 전기 상용차용 공조제어 장치 구현에 관한 연구

이정현, 김승한, 강다형, 서강진, 이광성, 최승규  
건양대학교 재난안전소방학과  
e-mail : skchoi@konyang.ac.kr

## A Study on the Implementation of Air Conditioning Control System for Ultra-Small Electric Commercial Vehicles Using Non-isolated LDC

Jung-Hyeon Lee, Seung-Han Kim, Da-Hyeon Kang, Kang-Gin Seo, Gwang-Sung Lee,  
Seung-Kyou Choi  
Department of Disaster Safety & Fire fighting, Konyang University

### 요 약

국내의 초소형 전기 상용차용 공조제어장치 제작사는 대부분 중소기업으로 완성차 제작 경험이 없어 대기업에 비해 공조제어장치의 제작기술이 미흡한 상황이다. 초소형 전기 상용차는 공조제어장치를 작동시키기 위해 많은 배터리 전력을 필요로 하며, 겨울철 공조제어장치를 작동시켰을 경우 약 50% 가까이 주행거리가 감소하는 문제점이 있다. 이에 본 논문에서는 기존의 다양한 형태의 공조 제어 장치 및 입력 전원의 범위 확대를 위해 전원 안정화 회로를 추가로 적용하여 입력 되는 전압의 품질 및 과전압, 저전압에 보다 효율적 대응이 가능한 비절연 LDC를 적용한 공조제어장치를 제안한다. 또한 제안한 공조제어장치를 구현하여 시험한 결과, 초소형 전기자동차의 냉방 및 난방을 위해 사용되는 전기에너지를 최소화하고, 배터리의 에너지 소비량을 줄여 주행거리를 향상시킬 수 있음을 확인하였다. 본 논문에서 구현한 공조제어장치가 장착된 초소형 전기 자동차가 상용화되면, 에너지절감과 친환경이라는 시대적, 사회적 요구에 부합하고 공조제어장치의 고효율화에 기여할 것으로 기대한다.

### 1. 서 론

최근 지구온난화와 같은 이상기후 현상으로 초소형 전기자동차에 대한 관심이 높아지고 있으며, 친환경 자동차에 대한 보급이 빠르게 증가하고 있다. 전기 상용차의 공조제어장치는 난방, 환기, 냉방 등을 통해 차량의 실내를 쾌적하게 유지해주는 공기 조절 시스템이다. 전기자동차의 1회 충전 주행거리는 매우 중요한 요소이다. 전기자동차는 내연기관차량과 달리 엔진 폐열이 없으므로 공조제어장치를 작동시키기 위해 많은 배터리 전력을 필요로 하며, 겨울철 공조제어장치를 작동시켰을 경우 약 50% 가까이 주행거리가 감소하는 문제점이 있다.[1] 전기차의 경우 구동계가 효율이 높아짐에 따라 차량 공조장치 작동에 따른 동력소모는 전기차 연비 악화에 큰 영향을 주고 있다. 따라서 전기차를 위한 차별화된 냉난방 공조제어시스템 기술개발은 전기차 보급 활성화를 위한 필수적인 요소이다.

초소형 전기 자동차용 공조제어장치의 제작사는 대부분 중소기업으로 완성차 제작 경험이 없어 대기업에 비해 공조제

어장치의 제작기술이 미흡한 상황이다.

본 논문에서는 초소형 전기자동차의 주행거리를 향상하고, 중소기업의 미흡한 제작기술을 보완하기 위하여 비절연 LDC(Low Voltage DC-DC Converter, 저전압 변환장치)를 적용한 공조제어장치를 제안하고, 시험하여 유용성을 확인한다. 제안한 초소형 전기 상용차용 공조제어장치는 기존의 다양한 형태의 공조 제어 장치 및 입력 전원의 범위 확대를 위해 전원 안정화 회로를 추가로 적용하여 입력 되는 전압의 품질 및 과전압, 저전압에 보다 효율적으로 대응 할 수 있다. 차량 실내의 냉방 및 난방을 위해 사용되는 전기에너지를 최소화하고, 배터리의 에너지 소비량을 줄여 주행거리를 향상시킬 수 있을 것으로 기대한다.[2]

### 2. 공조제어장치의 국내·외 기술현황 분석

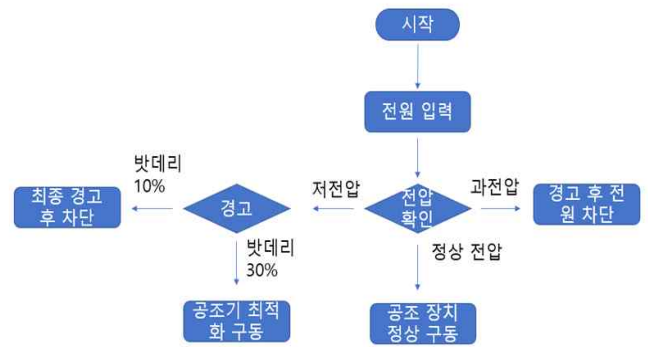
전기자동차는 인프라가 부족하고 여름철 및 겨울철에 냉난방 가동 시 주행거리가 급격하게 감소되는 단점이 있다. 따라서 기존의 자동차에서 냉매의 GWP(Global Warming

Potentials)를 낮추는 것을 시작으로 최종적으로는 GWP가 0인 전기자동차로 개발되어 나아가야 하므로 전기자동차에서 냉난방 시스템의 효율을 향상시키는 것은 필수적이다. 차량의 실내를 빠른 시간에 쾌적한 공간으로 만드는 것이 자동차 공조제어시스템의 가장 큰 목적이다. 현재 자동차 선진국에서 R744를 적용한 냉방 유닛의 개발이 활발히 이루어지고 있으나, 이 냉매가 갖는 고압 특성으로 인해 각종 부품(압축기, 열교환기 등)의 내압성 확보와 소형화가 상용화의 중요한 요소이다. 또한, 공조제어장치의 가동으로 승용차 연비가 저하되지 않도록 엔진 구동 압축기의 고효율화가 요구된다. 더불어 전기차와 같은 비연소식 차량의 보급이 확대될 것으로 보여, 이에 대비한 전동기 구동 공조제어장치의 선제적 기술개발이 필요할 것으로 전망 된다.[3] 국내에 관련 공조제어장치의 기술들은 HVAC Sensing and Control 국산화 확보 및 제어 원천 기술 개발 진행 중이고, 운전자 냉/난방 쾌적성 확보하여 탑승자 열 쾌적성 예측 모델 개발 및 개발 모델 검증 평가 기술, 냉난방 시스템 모듈화 최적화 기술 Low GWP 냉매 개발 및 냉매 상용화 기술 통합, 열에너지 관리 기술 탑승자 열 쾌적성 확보 및 통합 시스템 열관리 구현 기술 및 상용화 기술을 개발하고 있다. 또한, 고효율 모터기술 권선형 여자동기 모터 국산화를 통해 모터 경량화, 고효율화 배터리 온도제어 혹은 혹서 상황에서 배터리의 열제어 에너지소모 저감, 무급형 차체성형 경제적·효과적인 경량화를 위해 전기차용 차체성형 방식 개발 고효율 공조제어 에어컨/히터 작동시의 전기소모 최소화, 고전압 전장제어 전장부품 통합, 효율화를 통해 경량화, 소형화,, 냉각효율 증대, 주행거리 향상이 필요하다.[4]

### 3. LDC공조제어장치 구현

일반적인 전기 자동차의 공조제어장치는 LDC를 통하여 주전원의 입력을 받아 사용만 초소형 전기 자동차 및 농업용 등 특수한 차량의 경우 LDC를 사용하지 않고 배터리의 전압을 직접 사용하고 있다. [5] 본 연구에서는 입력되는 전압의 크기의 범위를 넓히고, 입력 전압을 감시하여 배터리의 상태에 따라 공조제어장치의 동작을 조정하여 배터리의 소손 및 충전량이 낮을 때 차량의 주행 거리를 최적화 할 수 있도록 제안한다. 제안한 공조제어장치는 기존의 공조제어장치에 전원 안정화 회로를 추가로 적용하여 입력 되는 전압의 품질 및 과전압 및 저전압에 보다 효율적으로 대응 할 수 있다. 전원 안정화 회로는 입력 전원의 상태를 감시하며, 이를 통하여 입력 전원의 상태에 따라 공조 제어 장치의 시스템을 효율적으로 제어 할 수 있다.[6] 공조제어장치의 시퀀스 제어 과정은 그림1과 같이 입력 전압이 낮을 때 저전압 경고를 발생하고 배터리의 상태를 최적화

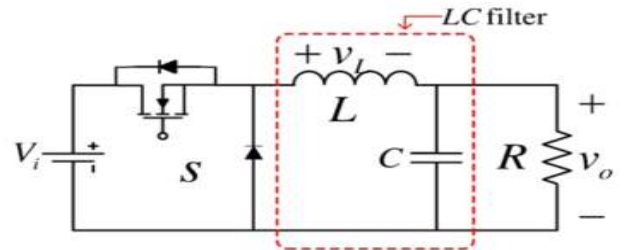
하기 위해 팬의 구동 및 컴프의 구동을 최적화 하여 동작 하도록 한다. 또한 입력 전압이 낮으며, 배터리의 방전 위험이 발생할 경우 배터리의 방전을 최대한 지연 시키기 위해 입력단의 전원을 차단하여 배터리의 상태를 최대한 유지 할 수 있도록 한다. 그리고, 입력 전압이 비정상적으로 높을 경우에는 과전압 경고를 발생하고 공조 제어장치의 동작을 일시적으로 차단한다. 이는 과충전 및 이상 과전압으로 인한 전압이 공조 장치로 유입되어 화재 및 소손의 위험을 차단하는 역할을 한다.[7]



[그림 1] 공조제어장치 시퀀스 제어 과정

본 연구의 공조제어장치는 전원 안정화 회로를 거치면서 전원을 분리하는 역할을 수행하게 되며 이를 통하여 팬, 컴프에서 발생하는 노이즈를 최대한 자동차 제어시스템으로 넘어가지 않도록 하는 역할을 할 수 있도록 한다.

한편, 입력 전압 정밀도 향상을 위하여 초소형 DC-DC컨버터 구현은 그림2와 같이 넓은 범위로 입력 되는 전압의 범위(36V-90V)를 입력받아 제어기 구동 전압 및 컴프레사 구동 전압인 24V로 변환 할 수 있는 DC-DC컨버터로 구현한다. 구현한 DC-DC컨버터는 출력되는 전류의 최대 값은 10A까지 기동 가능 하도록 하고 방열판을 적용하여 일원화 할 수 있도록 한다.



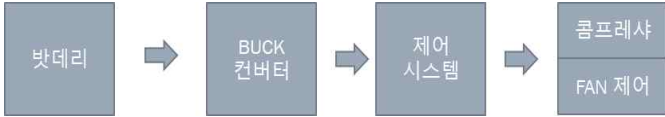
[그림 2] Buck 컨버터 회로도

본 연구에 있어서 입력 전압의 범위를 향상 시킬 수 있는 방안을 검토하기 위해 입력의 넓은 대역의 전압을 고정하여 출력 할 수 있는 시스템을 구성한다. 또한, 그림3과 같은 기존의 48V기준의 제어 시스템을 그림4와 같이 24V의 제어시스템으

로 구현하면 시스템의 부담을 최소화할 수 있다.

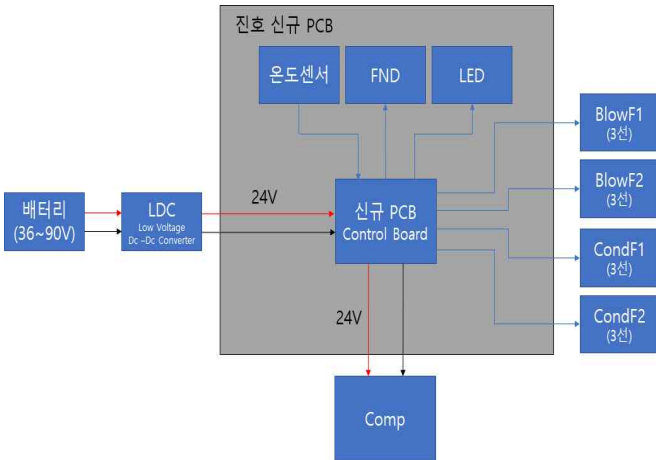


[그림 3] 기존의 공조제어장치 시스템



[그림 4] 제안하는 공조제어장치 시스템

본 연구에서 제안하는 공조제어장치의 시스템구성도는 다음 그림5와 같다.



[그림 5] 결과 구성도

#### 4. 비절연 LDC를 이용한 시험결과 및 분석

본 연구에서 초소형 전기 상용차용 공조 제어장치 구현을 위해 아날로그 회로 설계를 활용하여 LDC 회로 적용, 컴프레서 제어 펌웨어 적용, 시퀀스 프로그램을 보완하였다. 또한, DC-DC 컨버터는 Buck 컨버터를 적용하고 출력되는 전류의 최댓값이 10A까지 기동 가능하도록 하였으며 저역 통과 필터 (low pass filter)를 적용하여 스위칭 주파수보다 훨씬 낮은 값을 선정하여 출력 전압에서 스위칭 주파수로 인한 맥동률을 제거했다.

구현한 비절연 LDC를 이용한 초소형 전기 상용차용 공조 제어를 테스트하기 위해 정격 전류, 최대 전류측정, 제어 전압 범위, 팬 구동 범위 측정을 시험하였다. 정량적 목표는 제어전압 범위는 40V - 90V, 팬 구동 범위는 10%-100%, 정격 전류는 8A, 최대 전류는 10A이고 제어 방법은 아날로그 회로 제

어 및 디지털 시스템 제어로 시험한다.

구현한 공조 제어장치 중 임의로 선정한 7대의 공조 제어장치의 시험 측정 결과는 다음 표1과 같다.

[표 1] 공조 제어장치 측정된 시험결과

구분	항목	목표치	결과치
1	제어 전압 범위	40V ~ 90V	40V ~ 90V
	팬 구동 범위	10% ~ 100%	10% ~ 100%
	정격 전류	8A	7.8A
	최대 전류	10A	9.9A
2	제어 전압 범위	40V ~ 90V	40V ~ 90V
	팬 구동 범위	10% ~ 100%	10% ~ 100%
	정격 전류	8A	7.8A
	최대 전류	10A	10.1A
3	제어 전압 범위	40V ~ 90V	40V ~ 90V
	팬 구동 범위	10% ~ 100%	10% ~ 100%
	정격 전류	8A	7.9A
	최대 전류	10A	10.2A
4	제어 전압 범위	40V ~ 90V	40V ~ 90V
	팬 구동 범위	10% ~ 100%	10% ~ 100%
	정격 전류	8A	8.0A
	최대 전류	10A	9.8A
5	제어 전압 범위	40V ~ 90V	40V ~ 90V
	팬 구동 범위	10% ~ 100%	10% ~ 100%
	정격 전류	8A	8.1A
	최대 전류	10A	10.0A
6	제어 전압 범위	40V ~ 90V	40V ~ 90V
	팬 구동 범위	10% ~ 100%	10% ~ 100%
	정격 전류	8A	8.1A
	최대 전류	10A	10.0A
7	제어 전압 범위	40V ~ 90V	40V ~ 90V
	팬 구동 범위	10% ~ 100%	10% ~ 100%
	정격 전류	8A	7.9A
	최대 전류	10A	10.0A

상기 시험 측정값을 분석한 결과 구현된 공조 제어장치의 성능이 제시한 정량적 목표를 충족하였다.

## 4. 결 론

### 참고문헌

국내의 초소형 전기 상용차용 공조제어장치 제작사는 대부분 중소기업으로 완성차 제작 경험이 없어 대기업에 비해 공조제어장치의 제작기술이 미흡한 상황이다.

초소형 전기 상용차는 공조제어장치를 작동시키기 위해 많은 배터리 전력을 필요로 하며, 겨울철 공조제어장치를 작동시켰을 경우 약 50% 가까이 주행거리가 감소하는 문제점이 있다.

이에 본 논문에서는 초소형 전기자동차의 주행거리를 향상하고, 중소기업의 미흡한 제작기술을 보완하기 위하여 비절연 LDC를 적용한 공조제어장치를 제안하고, 시험하여 유용성을 확인하였다. 제안한 초소형 전기 상용차용 공조제어장치는 기존의 다양한 형태의 공조 제어 장치 및 입력 전원의 범위 확대를 위해 전원 안정화 회로를 추가로 적용하여 입력되는 전압의 품질 및 과전압, 저전압에 보다 효율적이다. 따라서, 초소형 전기자동차의 냉방 및 난방을 위해 사용되는 전기 에너지를 최소화하고, 배터리의 에너지 소비량을 줄여 주행거리를 향상시킬 수 있다.

본 논문에서 구현한 공조제어장치가 장착된 초소형 전기자동차가 상용화되면, 에너지절감과 친환경이라는 시대적, 사회적 요구에 부합하고 공조제어장치의 고효율화에 기여할 것으로 기대한다.

- [1] 김용철, 박성해, 장병무 외 2명 “전기자동차 공조 소모동력 축소 기술 연구”, 한국자동차공학회 춘계학술대회
- [2] 이태목, 배진석, 김동완 한국 “전기자동차 무선전력 전송 효율 향상을 위한 코일 오정렬 검출 기술에 관한 연구”, 정보기술학회 한국, 정보기술학회논문지 21(2) 2023.2111-121 (11pages)
- [3] 2022년 KOSEN-코센리포트
- [4] 2022년 중소벤처기업부 기술로드맵
- [5] 김원석, 정현영, 이해령, “전기자동차 수요의 가구유형별 분석”, 대한교통학회 학술대회지 2018.9 408-413(7pages) 학술대회자료
- [6] 남경훈, 정준봉, 금문환 외 1명 “넓은 입/출력 전압 이득 특성을 갖는 고효율 및 고전력밀도 전기자동차용 다중 모드 LDC”, 전력전자학회, 학술대회논문집, 2021.7 177-179(3pages)
- [7] 권병욱, 정재문, 최준일 외 2명, “전기차 공조 및 배터리 열관리를 위한 5kW급 경량 스마트 팽창밸브의 누설성능 향상(0.1lpm 이내) 및 냉매환경에서의 내구성능 확보”, 대한융접학회 특별강연 및 학술발표대회 개요집, 2021.5

### 감사의 글

본 논문은 교육부와 한국연구재단의 재원으로 지원을 받아 수행된 3단계 산학협력 선도대학 육성사업(LINC 3.0)의 연구 결과입니다(NTIS 과제번호: 1345356198).