



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

碩士學位論文

**E-bike 응용을 위한 충전 기능 통합형 Dual
배터리 전력 변환/저장/보상 회로**

**Dual Battery Power Conversion/Storage/Compensation
Circuit with Integrated Charging Function
and It's E-bike's Application**



國民大學校 一般大學院

電子工學科

金 다 숨

2016

**E-bike 응용을 위한 충전 기능 통합형 Dual
배터리 전력 변환/저장/보상 회로**

**Dual Battery Power Conversion/Storage/Compensation
Circuit with Integrated Charging Function
and It's E-bike's Application**

指導教授 盧 政 煜

本 論文을 碩士學位 請求論文으로 提出함

2016年 10月 28日

國民大學校 一般大學院

電子工學科

金 다 숨

2016

金 다 숨 의

碩士學位 請求論文을 認准함.

2017年 01月 06日

審査委員長	韓 翔	主 印
審 查 委 員	盧 政	煜 印
審 查 委 員	張 炳	竣 印

國民大學校 一般大學院

감사의 글

26년의 인생 중에서 가장 최선을 다했던 순간을 말하라 하면, 망설임 없이 대답할 수 있는 순간이 연구실 생활 기간 입니다. 석사 과정을 통하여 최선을 다한다는 의미를 알게 되었고, 기쁠 때나 힘들 때나 항상 옆에서 든든한 힘이 되어 주어 연구실 선배, 후배와 동기들의 소중함을 느낄 수 있었습니다. 졸업을 앞두고 석사 과정 동안 든든한 힘이 되어준 분들에게 감사의 인사를 드립니다.

먼저 학부생 시절 전공과목에 큰 흥미가 없던 저에게 회로라는 학문에 관심을 가지게 해주신 노정욱 교수님께 감사의 말을 전합니다. 이 관심으로 전력전자 전공으로 석사 과정까지 마무리 할 수 있었습니다. 또한 무엇을 하든지 재미있다고 생각하면, 재미있게 할 수 있다는 말씀처럼 이를 항상 마음에 새기며 연구했기 때문에 이 만큼 성장한 제 자신이 있을 수 있다고 생각합니다. 그리고 배움의 길로 인도해 주시고, 전력전자에 대해 관심을 가지게 해주신 홍성수 교수님, 한상규 교수님께도 감사의 말을 전합니다. 또한 학문의 길을 넓혀주신 장병준 교수님, 정일엽 교수님께도 감사의 마음을 전합니다. 마지막으로 항상 반갑게 인사를 받아 주시고, 많은 관심을 가져주신 오정현 교수님께도 감사의 말을 전합니다. 아울러 전자공학부 모든 교수님께도 감사드립니다.

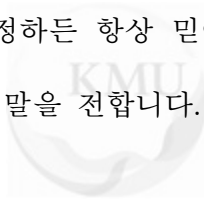
2년 6개월의 연구실 생활 동안 많은 도움을 주신 윤오빠, 문환오빠, 상수오빠, 원선오빠, 강타오빠, 현수오빠, 철완오빠, 정우오빠, 형익오빠, 수산오

빠, 주영오빠에게 감사의 말을 전합니다. 산학 과제 당시에 많은 도움을 주시고, 많은 것을 배우게 해주신 송동하 사장님, 김지태 차장님, 상근오빠, 상갑오빠께도 감사의 말을 전합니다. 함께 운동과 수다로 스트레스를 풀었던 유진이, 성권오빠, 지훈이, 창민오빠에게 감사의 말을 전합니다. 첫 연구실 생활부터 함께하고 많은 도움을 주신 상연오빠, 경수오빠, 병석오빠, 윤민언니, 소영언니에게 감사의 말을 전합니다. 계속해서 연구실을 잘 이끌어 나갈 성재, 헤미, 태철, 주나에게도 감사의 말을 전합니다. 그리고 기쁠 때나, 힘들 때나 항상 옆에서 든든한 버팀목이 되어준 세민오빠, 같이 연구하면서 많은 지식을 함께 쌓을 수 있었던 상연오빠, 연구실 생활 동안 누구보다 통하는 점이 많아서 의지가 된 정준오빠에게도 감사의 말을 전합니다.

또한 학부생부터 함께 행복한 시간을 보내고, 좋은 일이 있으면 같이 축하하고 슬픈 일이 있을 때는 같이 슬퍼해주며 언제나 함께해준 위수지, 다은, 대현, 명곤, 은정, 은진, 하늘, 현영오빠, 경훈오빠, 효훈오빠, 정민오빠, 민권오빠에게도 감사의 말을 전합니다. 힘든 재수생 시절에 만나 열심히 사는데 무엇인지 알게 해주고, 지금까지도 열심히 살자며 항상 파이팅 하라고 응원해주는 승연, 민영, 지민, 준희, 세진, 세형언니, 시현오빠에게도 감사의 말을 전합니다. 연구실 생활 동안 많은 시간 함께하지 못해도 항상 곁에 있는 것처럼 느껴지고 힘이 되어주는 우리 여덟들 혜운, 윤지, 은혜, 경민, 보임, 연두, 진아에게도 감사의 말을 전합니다. 힘들 때

면 더 잘되려고 그렇다며 힘이 되는 말을 해주고, 항상 싫다면서 다해주는 우리 춘테레 다희에게도 감사의 말을 전합니다. 20년 동안 한결같이 옆에 있어주며 석사 생활 동안 많은 위로와 격려를 해준 우리 원이에게도 감사의 말을 전합니다.

어렸을 적부터 자신감 있는 손녀로 키워주시고, 항상 최고보다는 최선을 다하는 손녀가 되길 바란다고 응원해주시는 외할머니, 외할아버지, 할아버지, 할머니께도 감사의 말을 전합니다. 마지막으로 석사 과정 동안 많이 만나지 못한 동생이지만 소소한 감동으로 큰 힘이 되어 주었던 우리 오빠에게도 감사의 말을 전합니다. 마지막으로 26년 동안 철 없는 딸 뒷바라지 해주시고, 무엇을 결정하든 항상 믿어주시며 응원해주신 우리 사랑하는 부모님에게도 감사의 말을 전합니다.



목 차

목차	i
표 목차	iv
그림 목차	v
국문 요약	ix
I. 서 론	1
1.1 연구배경 및 목적	1
1.2 기존 E-bike 구조 및 문제점	4
II. 제안 E-bike 응용을 위한 충전 기능 통합형 Dual 배터리 전력 변환 /저장/보상 회로	8
2.1 충전 기능 통합형 Dual 배터리 전력 변환/저장/보상 회로의 구성 및 동작 원리	8
2.1.1 충전 기능 통합형 Dual 배터리 전력 변환/저장/보상 회로의 구성	8
2.1.2 충전 기능 통합형 Dual 배터리 전력 변환/저장/보상 회로의 동작원리	11
2.2 배터리 충전 회로 트랜스 턴 비 설정 및 제어 구성	15
2.2.1 배터리 충전 회로 트랜스 턴 비 설정	16
2.2.2 배터리 충전 제어 회로의 구성	17

2.2.3 배터리 충전 제어 동작 원리	19
2.3 Dual 배터리 전력 변환/저장/보상 회로	22
2.3.1 Dual 배터리 전력 변환/저장/보상 회로의 동작원리	23
2.3.2 Dual 배터리 전력 변환/저장/보상 회로 제어 원리	26
2.3.3 배터리 보호를 위한 입력 전류 제한 제어 기법	29
2.3.4 과도 상태의 Load Profile을 고려한 Dual 배터리 용량 선정	32
2.4 제안 회로의 Protection 기능	35
III. 제안 회로 실험 결과	39
3.1 제안 회로의 모의실험	39
3.1.1 60W급 배터리 충전 모의실험 결과	39
3.1.2 260W급 Dual 배터리 전력 변환/저장/보상 회로 모의실험 결과	41
3.2 제안 회로의 Prototype 제작 및 실험결과	43
3.2.1 제안 회로 실험 결과	45
3.2.2 제안 회로의 Load Profile 구현 실험 결과	47
3.2.3 제안 회로의 E-bike 연동 실험 결과	49
IV. 결 론	51
V. 향후계획	52
참고문헌	54

Abstract	56
Appendix. i E-bike 응용을 위한 충전 기능 통합형 Dual 배터리 전력 변환/저장/보상 회로	58



표 목차

표 2.1 배터리 충전을 위한 CCCV 제어 동작 구분	21
표 3.1 배터리 충전 시뮬레이션에 사용된 주요 파라미터	40
표 3.2 Dual 배터리 전력 변환/저장/보상 회로 시뮬레이션 주요 파라미터	41
표 3.3 배터리 충전, 방전 동작 실험 조건	43
표 3.4 제안 회로의 시제품 제작 주요 파라미터	44
표 3.5 Dual 배터리 전력 변환/저장/보상 회로 적용 Load Profile 구현을 위한 파라미터	47



그림 목차

그림 1.1 세계 전기자전거 시장 전망 및 규모	1
(a) 전기자전거 세계시장 전망	
(b) 국가별 시장규모 비중	
그림 1.2 다양한 개인용 이동수단	2
그림 1.3 세계 E-bike 용 배터리 시장규모	2
그림 1.4 기존 E-bike의 구성요소	4
그림 1.5 기존 E-bike의 동작	5
그림 1.6 기존 E-bike의 구성 회로도	5
그림 1.7 기존 E-bike 기동 및 정상 주행 시 필요 전류	7
그림 1.8 배터리 충방전 cycle과 방전 전류에 따른 배터리 셀 용량 변화 그래프	7
그림 2.1 제안 충전 기능 통합형 Dual 배터리 전력 변환/저장/보상 회로	9
그림 2.2 배터리 충전 모드의 도통 경로	11
(a)배터리 충전 모드, 주 스위치 Sc ON	
(b)배터리 충전 모드, 주 스위치 Sc OFF	
그림 2.3 Dual 배터리 전력 회로 도통 경로	13
(a)Dual 배터리 전력 회로 모드 주 스위치 Sb ON	

(b)Dual 배터리 전력 회로 모드 주 스위치 Sb OFF	
그림 2.4 배터리 충전을 위한 CCCV 제어 구성 회로도	18
그림 2.5 배터리 충전을 위한 CCCV 동작 모드	19
(a)배터리 충전을 위한 CC동작 모드	
(b)배터리 충전을 위한 CV동작 모드	
그림 2.6 모터 기동 및 정상 동작 시, Dual 배터리 전력 회로 도통 경로	23
(a) 모터 기동 시 Dual 배터리 전력 변환/저장/보상 회로 도통 경로	
(b) 모터 정상 동작 시 Dual 배터리 전력 변환/저장/보상 회로 도통 경로	
그림 2.7 Dual 배터리 전력 변환/저장/보상 회로의 제어 기능 블록도 ..	26
그림 2.8 Dual 배터리 전력 변환/저장/보상 회로 제어 기능 동작 구분 블록도	28
그림 2.9 Dual 배터리 전력 변환/저장/보상 회로의 입력 전류 제한 제어 기법 블록도	29
그림 2.10 입력 전류 제한 제어 회로도	29
그림 2.11 TL494 차동증폭기 출력 단과 톱니파 비교 파형	30
그림 2.12 기존 배터리 Load Profile 분석	32
(a) 기존 배터리 조건에서 Load Current Profile	

(b) 기존 배터리 조건에서 전류 제한 설정

그림 2.13 Dual 배터리 전력 변환/저장/보상 회로 Load Profile	33
그림 2.14 E-bike START와 220Vac에 따른 동작 구분	36
그림 2.15 제안 회로의 배터리 충전, 방전 동작 알고리즘	37
그림 3.1 제안회로의 배터리 충전 모의실험 회로도	39
그림 3.2 제안회로의 배터리 충전 모의실험 주요 파형	40
그림 3.3 260W급 Dual 배터리 전력 변환/저장/보상 회로 모의실험 회로도	41
그림 3.4 Dual 배터리 전력 변환/저장/보상 회로 전류 제한 실험 주요 파 형	42
그림 3.5 Dual 배터리 전력 변환/저장/보상 회로 전압 제어와 전류 제 한 모드 구분	42
그림 3.6 제안 회로 모델 PBA 제작품	44
그림 3.7 Dual 배터리 모델 PBA 제작품	44
그림 3.8 주배터리 및 Dual 배터리 충전 실험 및 주요 파형	45
그림 3.9 Dual배터리 전력 변환/저장/보상 회로 전류 제한 실험 주요 파형	45
그림 3.10 Dual 배터리 전력 변환/저장/보상 회로의 전압 제어와 전류 제 한 모드 구분	46
그림 3.11 기동 구현을 통한 Dual 배터리의 전류 보충 실험 결과	47

그림 3.12 12인치 바퀴 외발형 E-bike 및 외발형 E-bike 장착 휠체어 .	49
그림 3.13 12인치 바퀴 E-bike 연동 실험 결과	49
(a) 12인치 바퀴, 평지 실험결과	
(b) 12인치 바퀴, 6도 경사 실험결과	
그림 5.1 Modified Dual 배터리 전력 변환/저장/보상 회로	52
그림 A. 제안된 E-bike 응용을 위한 충전 기능 통합형 Dual 배터리 전력 변환/저장/보상 회로도	58



국문 요약

기존 E-bike 동작을 위해서 36V 배터리, 외장형 Adapter, 정격 24V BLDC 모터와 모터 드라이버가 필수적이다. BLDC 모터 구동은 36V 배터리를 BLDC 모터에 연결하여 가능하다. 36V 배터리 충전은 36V 배터리를 E-bike에서 분리한 상태로 외장형 Adapter와 36V 배터리를 연결하여 수행한다. 외장형 Adapter는 상용전원을 입력으로 하므로, 전자파EMI 규제, 고조파 규제(역률보상), 안전규격 등 전기용품 인증규격을 만족하게 구현된다. 이에 따라 부피가 크고, 무거워 사용자가 항상 휴대하기에 불편함이 큰 문제가 있다. 또한 전기자전거 응용을 위한 모터 구동은 통상 강압형 인버터 방식 채용으로, 모터 정격 전압(24V)보다 배터리 전압을 높게(36V) 설정해야 한다. 따라서 높은 전압의 배터리 사용이 필수적이므로 배터리 셀의 직렬연결 개수가 증가하고 이는 부피와 무게 증가의 문제가 있다. 또한 배터리는 직렬연결의 경우에 셀 균형이 꼭 필요하며, 셀 균형이 맞춰지지 않을 경우 배터리 파손 문제 및 짧은 수명의 문제가 발생한다. 모터는 기동 시 순간 큰 전류가 필요한데, 이에 따라 배터리 방전 전류를 높게 설정해야한다. 리튬이온 배터리는 순간 큰 전류 공급이 가능하지만, 이를 반복적으로 오랜 시간동안 사용할 시에는 결국에 배터리 셀의 용량이 감소하는 문제가 발생한다.

본 논문에서는 위의 문제를 해결하기 위해 E-bike 응용을 위한 충전 기

능 통합형 Dual 배터리 전력 변환/저장/보상 회로를 제안한다. One-board에 하나의 트랜스로 배터리 충전과 방전이 가능하다. 배터리 충전과 방전이 통합되어 있으므로 배터리 충전을 위해서 큰 부피의 외장형 Adapter 휴대가 불필요하여 사용자 휴대성이 극대화된다. 배터리 방전은 모터 구동 동작으로 12V 배터리(주배터리), 부스트 컨버터와 Dual 배터리(부스트 컨버터 출력 단)를 하나의 Dual 배터리 전력 변환/저장/보상 회로를 통하여 구현된다. 주배터리를 입력으로 한 부스트 컨버터의 출력 단을 모터에 연결하여 동작하므로 배터리 셀의 직렬연결 개수 감소가 가능하다. 또한 모터 기동 시 큰 순간 전류를 주배터리 전류는 일정하게 제한한 상태에서 나머지 전류를 Dual 배터리가 보조한다. 이로 인하여 배터리의 방전 전류를 높게 설정할 필요가 없고, 배터리를 반복적으로 오랜 시간 사용하는 경우에 배터리 셀의 용량이 감소하는 문제 방지가 가능하다.

따라서 본 논문에서는 기존의 문제점을 해결하기 위하여 제안회로의 동작 원리 분석과 PSIM 모의실험을 통해 이론적 분석을 수행하였다. 또한 60W급 배터리 충전과 260W급 Dual 배터리 전력 변환/저장/보상 회로를 One-board에 통합한 시작품 제작 및 실험 결과를 통해 제안회로의 타당성을 검증하였다.

I. 서론

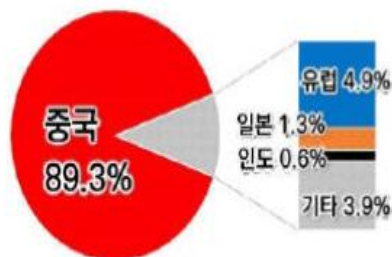
1.1. 연구 배경 및 목적

최근 석유, 석탄, 천연가스와 같은 화석 연료의 무분별한 사용으로 인해 많은 환경문제가 발생하고 있으며 전 세계적으로 이슈가 되고 있다. 이를 해결하기 위해 전 세계적으로 친환경 에너지에 대한 정책이 활성화 되고 있으며, 국가뿐만 아니라 산업계에서도 친환경 녹색산업에 집중적으로 투자하고 있다.

특히, 핵가족화, 1인 가구 증가, 고령화에 따른 노인인구 증가 같은 사회적인 트렌드에 따라 소형 및 개인 이동수단에 대한 관심이 증가하고 있다. 그중에서도 친환경적이고, 주행 편의성이 높으며, 경제적 효율성이 높은 전기자전거(E-bike)에 대한 시장 및 수요가 크게 증가하고 있다.



(a) 전기자전거 세계시장 전망



(b) 국가별 시장규모 비중

그림 1.1. 세계 전기자전거 시장 전망 및 규모.

일반 자전거는 인간의 동력을 이용하여 주행하는 이동수단이기 때문에 운전자의 많은 체력이 요구된다. 하지만 E-bike는 전기를 동력으로 사용하여 움직이는 이동수단이기 때문에 작은 힘으로도 주행이 가능하다. 따라서 E-bike는 일반 자전거에 비해 운전자의 체력소모가 작으며, 경사와 같은 많은 체력을 요구하는 곳에서도 쉽게 주행할 수 있는 장점이 있기 때문에 그림1.2와 같이 최근 젊은 사람들에게는 레저용으로 관심을 받고 있으며 노인과 같이 거동이 불편한 사람들에게는 유용한 이동수단으로 각광받고 있다.[1],[2]



그림 1.2. 다양한 개인용 이동수단.



그림 1.3. 세계 E-bike 용 배터리 시장규모.

또한 그림 1.3 그래프에서 알 수 있듯이 E-bike 수요의 증가로 E-bike 용 배터리 시장 규모도 증가함을 알 수 있다. 하지만 기존 E-bike의 배터리팩은 부피가 크고 무거우며 E-bike를 고가의 가격으로 책정되게 하는 문제점을 가진다. 이러한 문제점을 보완하기 위해서 배터리팩의 부피를 줄이는 연구가 필요하다.



1.2. 기존 E-bike 구조 및 문제점

그림 1.4는 기존 E-bike의 구성요소를 나타낸다. 자전거를 동작시키기 위한 구성은 36V 배터리를 내장한 배터리팩, 배터리를 충전을 위한 외장형 Adapter(배터리 충전기), 자전거 구동을 위한 BLDC 모터와 BLDC 모터 제어를 위한 모터 드라이버이다. 그림 1.5에 나타낸 것처럼 기존 E-bike는 동력원인 배터리에서 모터 구동 인버터를 통해 구동원인 모터로 전력이 전달되면 모터의 회전력으로 E-bike의 바퀴를 구동하여 운전이 가능한 구조이다. 또한 기존 E-bike 운전에 따라서 방전된 배터리는 충전이 필요하며, 이를 위해서는 배터리를 자전거로부터 분리하거나 자전거에 장착한 상태에서 별도의 충전기를 연결하여 충전한다.



그림 1.4. 기존 E-bike의 구성요소.

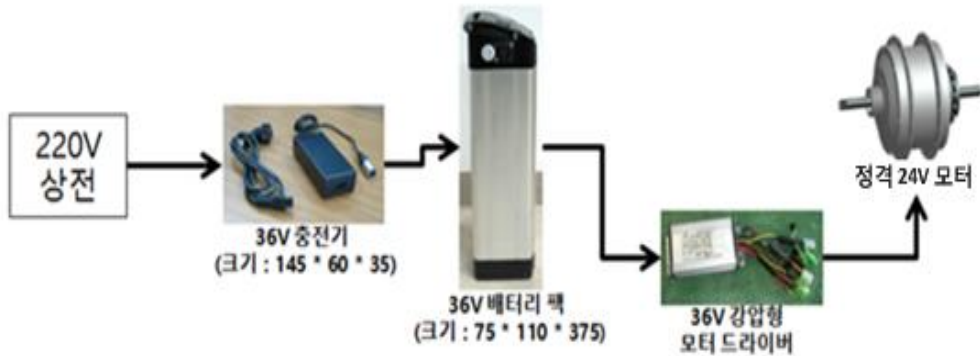


그림 1.5. 기존 E-bike의 동작.

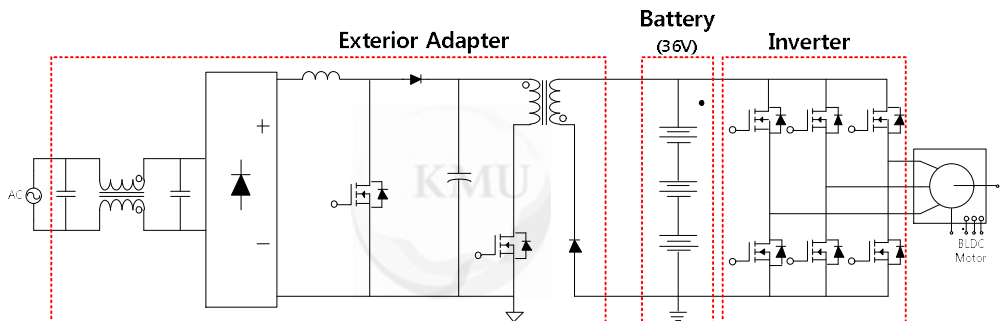


그림 1.6. 기존 E-bike의 구성 회로도.

그림 1.6은 기존 외장형 Adapter와 인버터 전력단 회로 구성을 나타내는 것이다. 기존은 배터리 충전을 위하여 외장형 Adapter를 항상 휴대해야 하는데, 외장형 Adapter는 220Vac 상용전원에서 사용하므로 전기용품 인증규격을 만족해야하고, 이를 위해 전자파 EMI 규제, 안전규격, 고조파 규제(역률보상) 등이 필요하다. 따라서 외장형 Adapter의 부피가 크고, 무거운 사용자가 휴대하기에 불편한 단점이 있다.

또한 기존 E-bike의 모터는 통상 강압형 인버터 방식 채용으로, 모터

정격전압(24V)보다 배터리 전압을 높게(36V) 설정해야한다. 이에 따라서 리튬이온 배터리를 사용하는 E-bike는 높은 배터리 전압(36V)으로 인해 3.6V 리튬이온 배터리 셀 10개를 직렬 연결해야 한다. 하지만 배터리의 직렬연결 개수 증가는 배터리 셀 간의 균형 맞추기 힘들고, 균형이 쉽게 손상되어 배터리의 신뢰성이 저하되는 문제가 발생한다. 또한 배터리의 직렬연결 증가로 배터리의 부피가 크고($75 \times 110 \times 375$), 무거우며, 개인용 이동 수단을 고가의 가격(40만원 내외)로 책정되게 하는 문제점을 가진다.

그림 1.7은 모터 기동 및 정상 주행 시, 기존 E-bike 구동을 위해 필요한 전류와 각각 속도를 나타낸다. 이와 같이 모터는 기동 시에 순간 큰 전류가 필요한데, 이를 배터리에서 모두 부담해야한다. Li-ion 배터리 셀은 순간 큰 전류 공급이 가능하지만, 이를 지속할 경우 큰 손상을 입는다.

기존 E-bike는 통상 리튬이온 배터리를 채용하고 있고 리튬이온 배터리는 내부에 양극과 음극 간 리튬이온 이동을 통하여 충전, 방전이 이루어진다. 리튬이온 배터리의 과방전이 발생할 경우, 음극에 손상을 입고 배터리 수명에 영구적 손상을 입을 수 있다. 배터리 특성상 지속적으로 과전류 방전이 이루어지면 배터리의 과방전이 빠르게 되므로, 이를 해결하기 위한 방안이 필요한 실정이다. 그림 1.8은 배터리 충방전 cycle과 방전 전류에 따른 배터리 셀의 용량 변화 그래프를 나타낸다. 모터는 기동 시 순간 방전 전류가 높은 상태로 그림 1.8과 같이 배터리 충방전 cycle이 오

랜 시간 지속될 경우에 배터리 셀 용량이 크게 줄고, 배터리의 빠른 수명 저하가 문제가 발생한다. 따라서 오랜 시간 동안 배터리의 셀 용량을 감소시키지 않으면서, 휴대성 및 무게와 원가 저감을 가능하게 하는 연구가 필요하다. [3],[4],[5]

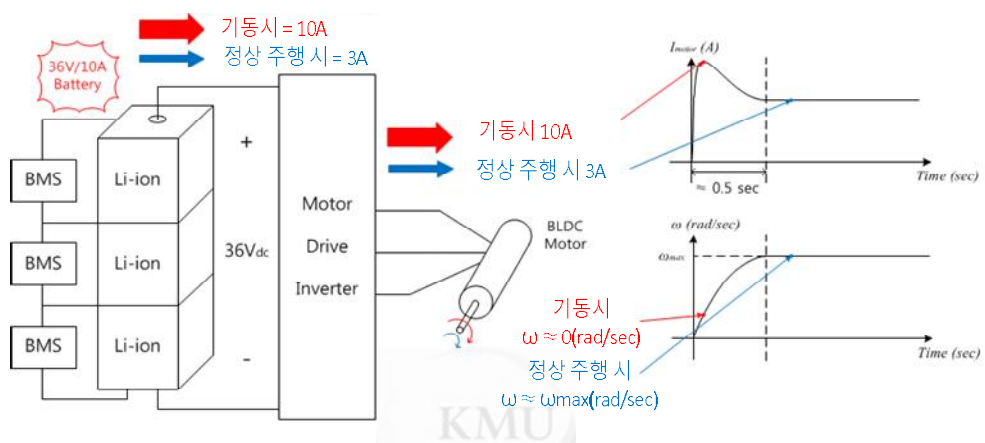


그림 1.7. 기존 E-bike 기동 및 정상 주행 시 필요 전류.

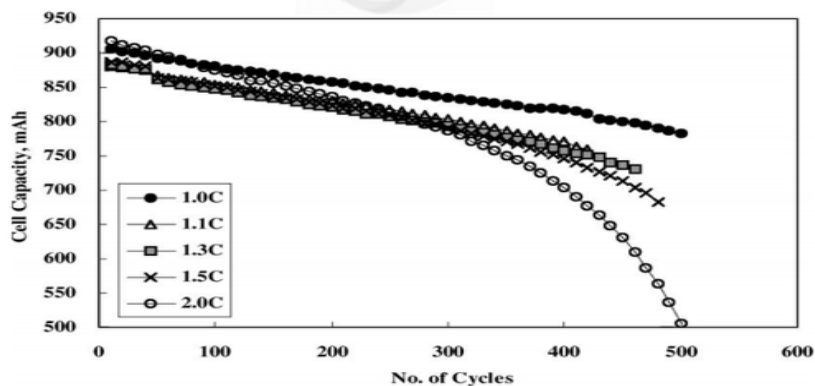


그림 1.8. 배터리 충방전 cycle과 방전 전류에 따른 배터리 셀 용량 변화 그래프.

II. 제안 E-bike 응용을 위한 충전 기능 통합형

Dual 배터리 전력 변환/저장/보상 회로

2.1. 충전 기능 통합형 Dual 배터리 전력 변환/저장 회로 구성 및 동작 원리

본 절에서는 기존 E-bike의 문제점인 휴대성과 배터리의 무게 및 원가를 해결하기 위한 제안 충전 기능 통합형 Dual 배터리 전력 변환/저장 회로에 대해서 서술한다. 제안 회로의 구성과 동작 원리는 다음과 같다.

2.1.1. 충전 기능 통합형 Dual 배터리 전력 변환/저장/보상 회로 구성

그림 2.1은 제안된 충전 기능 통합형 Dual 배터리 전력 변환/저장/보상 회로에 인버터를 나타낸다. 제안은 One-board에 배터리 충전회로와 모터 구동을 위한 Dual 배터리 전력 변환/저장 회로가 통합되어 구성된다. 이는 기본 Flyback 회로 2차 측에 다이오드와 스위치를 추가하고 출력 캐패시터(Dual battery)를 공유함으로써 가능하다. 충전 동작 모드에서 주 스위치 S_c , 충전 다이오드 D_c 와 Dual 배터리 전력 장치 다이오드 D_{b1} 이 동작한다. 이때 스위치 S_b 는 동작하지 않는다. Dual 배터리 동작 모드에서는 충전 회로의 주스위치 S_c 와 다이오드 D_c 는 동작하지 않는다. Dual 배터리 전력 장치는 스위치 S_b 와 다이오드 D_{b1} 의 도통에 의해서 동작한다.

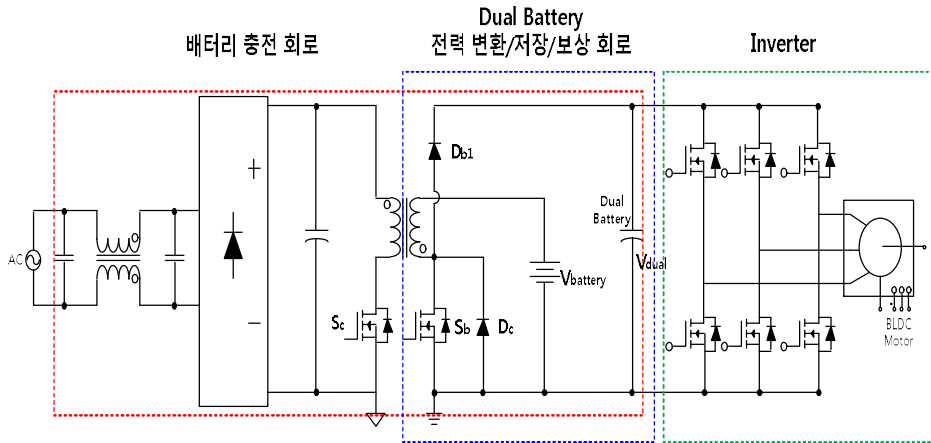


그림 2.1. 제안 충전 기능 통합형 Dual 배터리 전력 변환/저장/보상 회로.

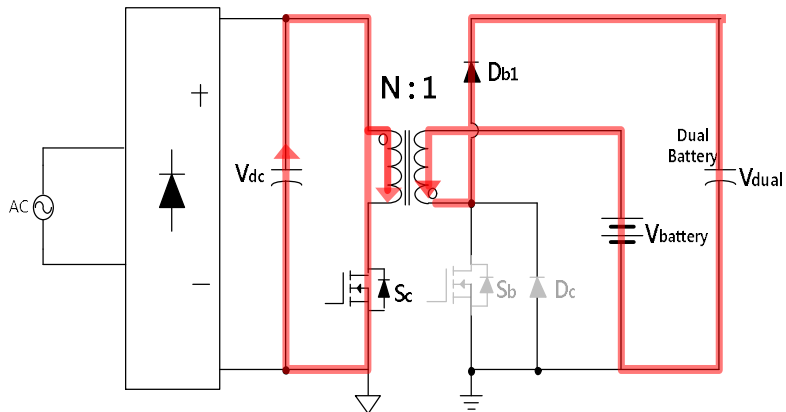
배터리 충전 회로는 안전 인증 규제에 통과하기 위한 퓨즈, 낙뢰와 EMI 필터를 입력 단에 포함시킨 플라이 백 컨버터로 구성된다. 배터리 충전 동작 구간에서는 3.6V 리튬이온 배터리 셀 4개를 직렬 연결한 배터리(주 배터리)와 10F/2.7V Super cap.을 16개 직렬 연결한 Dual 배터리를 동시에 충전한다.

모터는 Dual 배터리 전력 변환/저장 장치는 주배터리, 부스트 컨버터와 Dual 배터리(Super cap.)으로 구성된다. 이때 부스트 컨버터의 인덕터는 Flyback 컨버터의 2차 측 인덕터로 사용한다. 모터 구동을 위한 부스트 컨버터를 채용하여 입력 전압(주배터리)를 승압한 출력 전압(41V)을 인버터에 병렬로 연결하여 구동시킨다. 또한 배터리의 빠른 수명 저하를 막는 기법은 부스트 컨버터 주배터리의 전류 제한 기법을 적용하면서, 주 배터

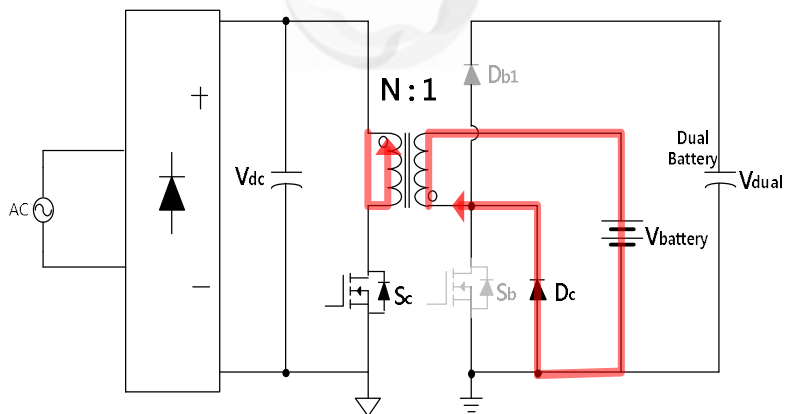
리를 보조하는 역할인 Dual 배터리로 Super cap.을 사용하여 가능하다. 부스트 컨버터 출력단에 Super cap.을 병렬로 연결하여 Dual 배터리를 구현한다. 모터 기동 시 주배터리는 제한한 전류 만큼 공급하며, 나머지는 Dual 배터리가 주 배터리를 보조한다. 이로써 주배터리와 Super cap. 부스트 컨버터로 구성된 Dual 배터리 전력 변환/저장/보상 회로 구현이 가능하다. [6]



2.1.2 충전 기능 통합형 Dual 배터리 전력 변환/저장/보상 회로



(a) 배터리 충전 모드, 주 스위치 S_c ON



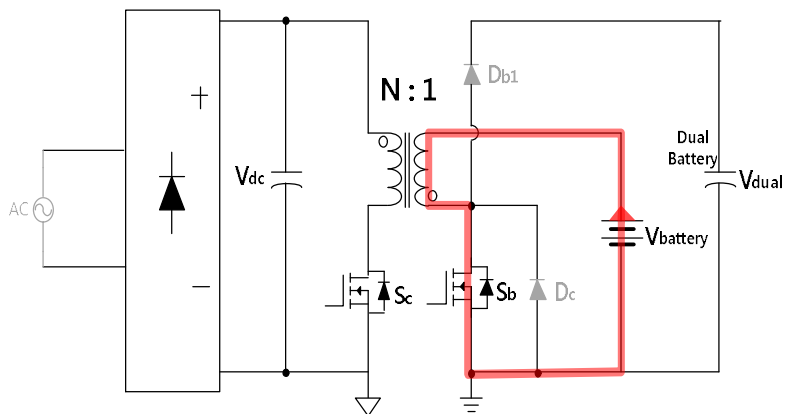
(b) 배터리 충전 모드, 주 스위치 S_c OFF

그림 2.2. 배터리 충전 모드의 도통 경로.

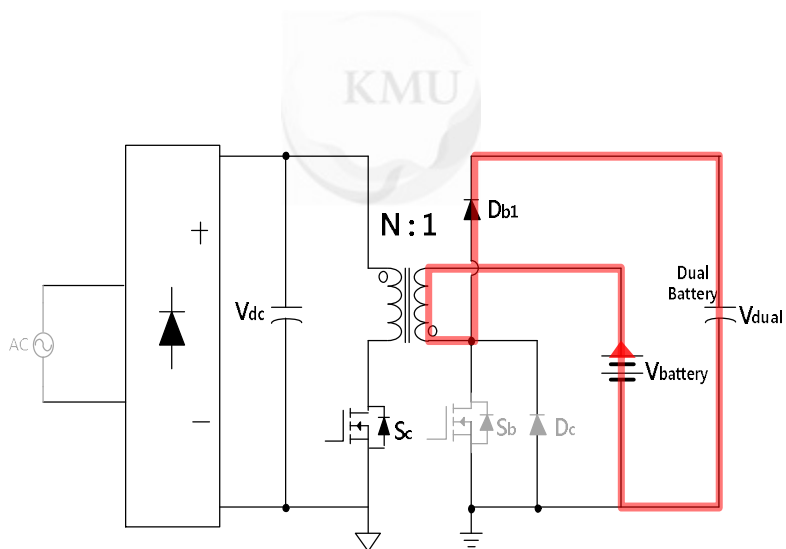
그림 2.2는 배터리 충전 동작에서 스위치 Sc의 도통 상태에 따른 도통 경로를 보이고 있다. 이때 Dual 배터리 전력 장치 스위치 Sb는 Turn off 상태이다. 스위치 Sc이 Turn-on되면 다이오드 Db1이 on에 의하여 Dual 배터리가 충전되고, Dc는 off상태로 그림 2.2의 (a)와 같은 도통경로가 형성된다. 이때 Dual 배터리에 충전되는 전압Vdual은 상용전원을 정류한 전압 Vdc를 턴 비 N만큼 나눈 값과 주배터리 Vbattery를 더한 값과 같으며, 식 (1)에 나타낸다. 스위치 Sc가 Turn-off되면 다이오드 Db1이 off되고 다이오드 Dc가 on이 된다. 이때 다이오드 Dc에 의해서 Vbattery와 Vdual이 충전되며, 그림 2.2의 (b)와 같은 도통경로가 형성된다. 이 구간에서 Vbattery는 플라이백의 DCM(Discontinuous Conduction Mode) 동작을 위한 입출력 관계식에 의해 충전된다. 이를 식 (2)에 나타낸다.

$$V_{dual} = \frac{V_{dc}}{N} + V_{battery} \quad \text{식 (1)}$$

$$\frac{V_{battery}}{V_{dc}} = D \cdot \sqrt{\frac{R_o T_s}{2Lm}} \quad \text{식 (2)}$$



(a) Dual 배터리 전력 회로 모드 주 스위치 Sb ON



(b) Dual 배터리 전력 회로 모드 주 스위치 Sb OFF

그림 2.3. Dual 배터리 전력 회로 도통 경로.

그림 2.3은 상용전원 220Vac가 배터리 충전 회로 입력 전원이 아닌 경우로 Dual 배터리 전력 변환/저장 장치의 도통 경로를 나타낸다. 이때 Dual 배터리 전력 변환/저장 장치의 인덕터는 충전 회로(플라이백)의 2차 측 인덕터 값을 공유한다. 스위치 Sb가 주스위치로 동작하며, 스위치 Sc와 다이오드 Dc는 Turn-off 상태이다. 그림 2.3의 (a)는 주스위치 Sb가 Turn-on 상태의 도통 경로이며, 다이오드 Db1은 off로 인덕터에 에너지를 저장하는 구간이다. 그림 2.3의 (b)는 스위치 Sb가 Turn-off 상태이며, 다이오드 Db1은 on 상태로 인덕터 에너지를 방전하는 도통 경로를 나타낸다. 부스트 컨버터인 Dual 배터리 전력 변환/저장 장치는 부스트 컨버터의 CCM(Continuous Conduction Mode)동작 입출력 관계식을 갖고, 식 (3)에 나타낸다.

$$\frac{V_{dual}}{V_{battery}} = \frac{1}{1-D} \quad \text{식 (3)}$$

2.2. 배터리 충전 회로 트랜스 턴 비 설정 및 제어 구성

기존 E-bike 구동의 주축인 배터리를 충전하기 위하여 외장형 Adapter 휴대는 필수적이다. 이는 사용자의 불편함을 야기하고 이를 해결하기 위하여 One-board에 배터리 충전 기능과 Dual 배터리 전력 변환/저장/보상 회로를 구현하였다. 그 결과 무거운 외장형 Adapter를 휴대할 필요가 없어져 사용자의 휴대성 극대화가 가능하다. 제안회로의 배터리 충전 동작은 주배터리와 Dual 배터리를 동시에 충전한다. 이에 따라서 배터리 충전 회로의 트랜스 턴 비가 결정되고, 그 설정 방법을 이 장에서 설명한다. 또한, 주배터리 충전을 위한 제어 구성 및 동작 원리에 대해서 알아보도록 한다.



2.2.1. 배터리 충전 회로 트랜스 턴 비 설정

배터리 충전 회로의 트랜스 턴 비는 Dual 배터리 충전 전압에 의해 결정된다. Dual 배터리에 충전되는 전압 V_{dual} 은 식 (1)과 같고, 이는 Dual 배터리 최대 내압을 견딜 수 있어야 한다. Dual 배터리 내압은 Super cap. 내압을 말하며, 10F/2.7V Super cap. 16개를 직렬 연결하므로 43.2V 내압이다. 따라서 트랜스 턴 비는 식 (4)에 의해서 결정되고, V_{dual} 을 Super cap. 최대 내압으로 충전된다면, 최소 턴 수가 나온다. 하지만 최대 내압까지 충전된다면 Super cap. 파손의 문제가 발생할 수 있으므로 10%의 허용 범위 안의 Dual 배터리 충전 전압으로 턴 비를 구한다.

$$N = \frac{V_{dc}}{V_{dual} - V_{battery}} \quad \text{식 (4)}$$

Dual 배터리 충전 중에 스위치 ON인 경우 2차 측으로 1차 측 입력전압이 넘어갈 때, 2차 측이 전압원으로만 연결되어 무한대 전류가 흐르는 문제가 발생할 수 있다. 따라서 이 경우에는 트랜스와 주배터리 사이에 인덕터를 연결하여 문제를 해결해야 한다. 하지만 제안회로는 Dual 배터리 내압의 한계로 트랜스 턴 비 N 이 다소 커지게 되고, 이는 트랜스의 기생 인덕턴스 값이 커지게 되어, 이를 활용하여 따로 인덕터 추가 없이 2차 측 회로 단락 문제 해결이 가능하다.

2.2.2. 배터리 충전 제어 회로의 구성

배터리 충전 회로는 안전 인증 규제에 통과하기 위한 바리스터와 EMI 필터를 입력 단에 포함시킨 65W 급 플라이 백 컨버터으로 3.6V 리튬이온 배터리 셀 4개를 직렬 연결한 14.4V 배터리(주배터리)를 충전한다. 배터리는 CCCV(Constant Current Constant Voltage) 제어 방식을 채용하여 과전압 충전을 방지한다. CCCV 제어 방식은 정전류(Constant Current)구간과 정전압(Constant Voltage)구간으로 구분된다. 정전류 구간은 충전 시작부터 원하는 전압에 도달할 때까지 배터리로 정전류를 공급하는 구간이다. 정전압 구간은 배터리가 완전히 충전되고 전압이 변하지 않는 구간을 말한다. 이때 출력에 흐르는 전류는 점차 감소되어 Cut-off 전류에 이르게 된다. 제안하는 충전 회로는 3.5A의 정전류로 16.8V 정전압까지 충전하도록 설계하였다.

그림 2.4는 CCCV 제어 방식으로 배터리를 충전하기 위한 배터리 충전 제어 회로도를 나타낸다. CCCV 제어를 위하여 bjt와 제너 다이오드를 축하였고, 플라이 백 PWM 제어를 위하여 80W급 스위치 통합형 Peak Current 제어 IC인 FSL176MRT를 사용하였다. 또한 플라이백 1차 측과 2차 측 절연 제어를 위하여 Photo Coupler(OPTO)를 사용하였다. CCCV 제어를 위하여 플라이백 2차 측에 정전류 값을 정하는 저항 R_{CC} 를 사용하며, 정전압은 제너 다이오드의 제너 전압 V_Z 으로 제어하였다. R_Z 는 제너 전압에 도달하기 위해 필요한 제너 전류 값을 정하며, R_d 는 플라이백의

원하는 시비율을 위한 전류 값을 2차 측에서 OPTO의 CTR(Current Transfer Ratio) 비를 통해 전달한다. 배터리 충전을 위한 플라이백의 시비율은 OPTO에 의해 2차 측에서 1차 측으로 전달된 전류로 인한 V_{fb} 전압과 1차 측 Peak Current 값을 받아오는 V_{Rs} 전압을 비교를 통하여 정해진다.[7]

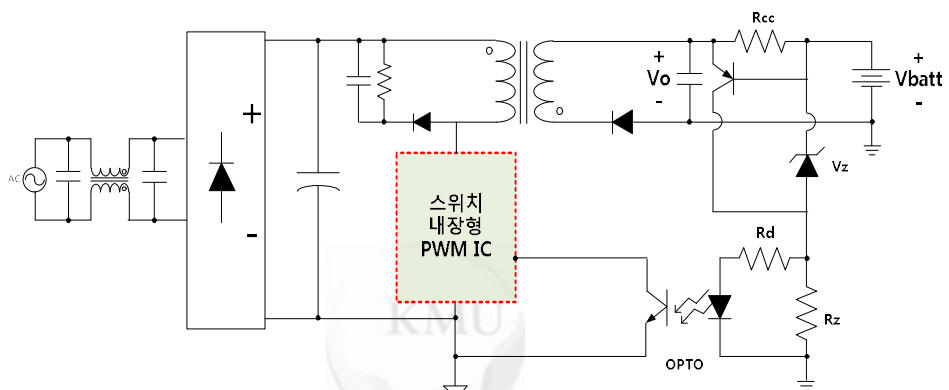
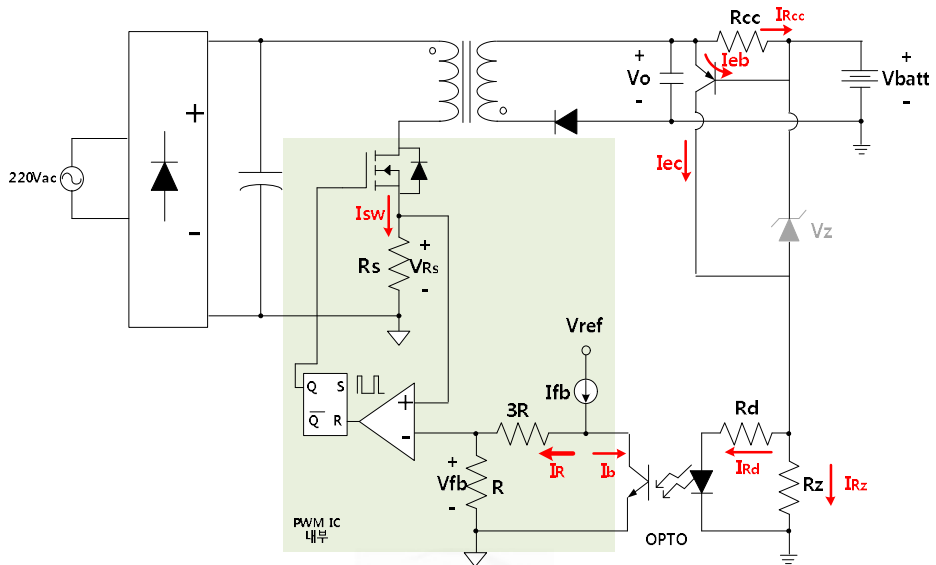
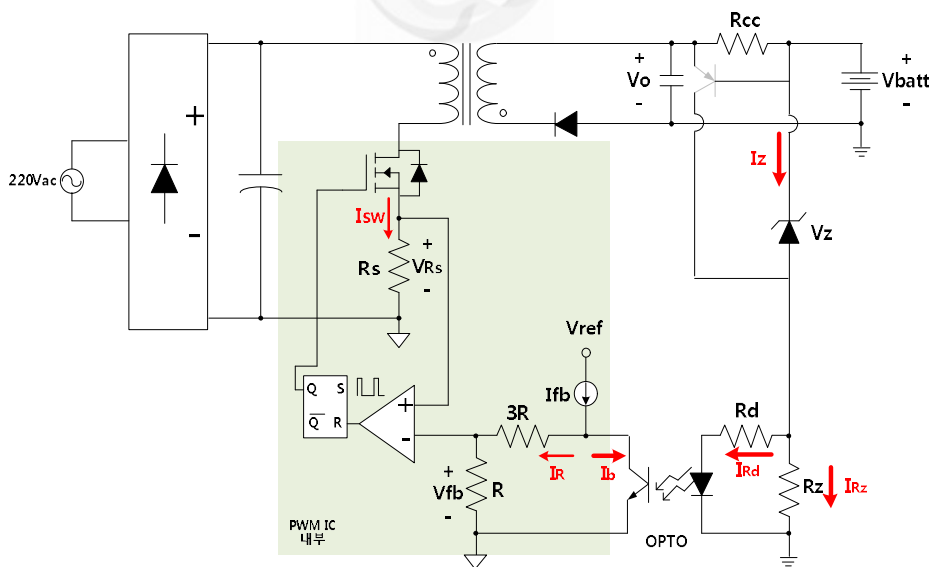


그림 2.4. 배터리 충전을 위한 CCCV 제어 구성 회로도.

2.2.3. 배터리 충전 제어 동작 원리



(a) 배터리 충전을 위한 CC동작 모드



(b) 배터리 충전을 위한 CV동작 모드

그림 2.5. 배터리 충전을 위한 CCCV동작 모드.

그림 2.5의 (a)와 (b)는 배터리 충전을 위한 CCCV 제어 동작 중에서 각각 CC모드와 CV모드 시에 bjt와 제너 다이오드 도통에 의한 경로를 나타낸다.

CC모드는 배터리 전압 V_{batt} 이 완충되지 않았으므로, 배터리 완충 전까지 플라이백 출력 전압 V_O 와 전압 차가 존재한다. 이에 따라 R_{CC} 와 bjt의 에미터 단과 베이스 단의 전압 차가 생기고, bjt가 ON으로 도통 상태이고 제너 다이오드는 원하는 V_Z 값에 도달하지 못했으므로 OFF 상태이다. 이때 R_d 에 흐르는 전류 I_{Rd} 의 전류는 매우 작기 때문에 OPTO를 통해 전달된 I_b 도 작다. 따라서 대부분의 I_{fb} 는 I_R 로 흐르므로, V_{fb} 와 V_{Rs} 를 비교했을 때 V_{fb} 전압이 크다. 이는 SR Latch에서 Reset에 Low 신호를 보내므로 플라이백은 CV 모드가 될 때까지 CC 모드 배터리를 정전류로 충전한다.

CV모드는 배터리 전압 V_{batt} 이 완충된 상태이며, 플라이백 출력 전압 V_O 와 전압 차가 존재하지 않는 상태이다. 이에 따라 R_{CC} 와 bjt의 에미터 단과 베이스 단의 전압 차가 없고, bjt가 OFF 상태이며 제너 다이오드는 원하는 V_Z 값에 도달했으므로 ON으로 도통한다. 이때 R_d 에 흐르는 전류 I_{Rd} 의 전류는 매우 크기 때문에 OPTO를 통해 전달된 I_b 도 크다. 따라서 대부분의 I_{fb} 는 I_b 로 흐르므로, V_{fb} 와 V_{Rs} 를 비교했을 때 V_{Rs} 전압이 크다. 이는 SR Latch에서 Reset에 High 신호를 보내므로 플라이백은 스위칭을 거의 하지 않고, CV 모드 유지로 정전압을 유지한다.

표 2.1. 배터리 충전을 위한 CCCV 제어 동작 구분.

	$V_{batt} - V_O$	bjt	Zener Diode	V_{Rs} vs V_{fb}	Reset	SR Latch
CC Mode	0.7V	ON	OFF	<	Low	Set
CV Mode	0V	OFF	ON	>	High	Reset

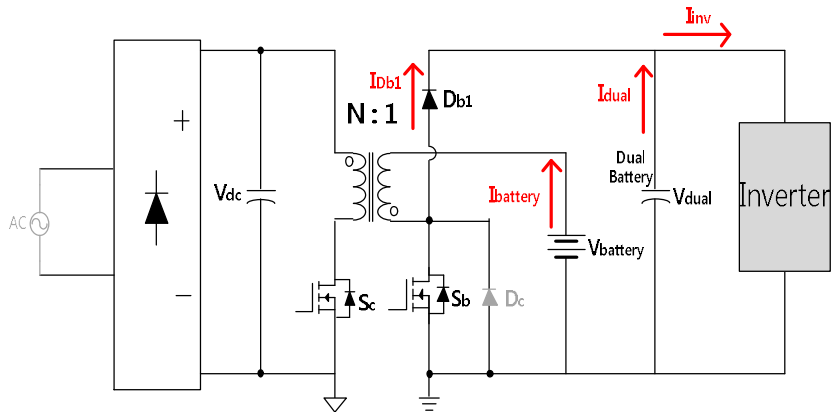
표 2.1에 CC모드와 CV모드에서 각각 배터리 충전 제어 동작 원리를 나타내었다. 배터리 충전 제어 동작을 더 정확하게 알기 위하여, CCCV제어 동작을 위한 설계 과정을 상세하게 다음 절에서 설명하였다.



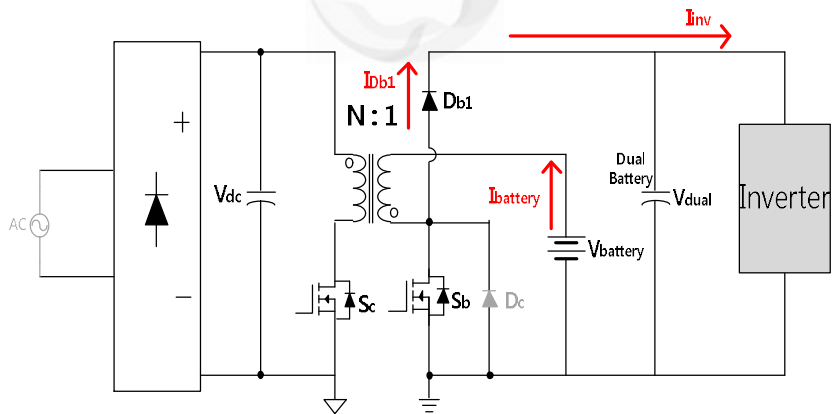
2.3. Dual 배터리 전력 변환/저장/보상 회로

Dual 배터리 전력 변환/저장/보상 회로는 주 배터리, Boost 컨버터와 Dual 배터리인 Super Cap.으로 구성된다. 모터는 기존 36V 배터리가 아닌 16.8V 배터리를 41V로 약 3배 승압하여 구동한다. 이는 배터리 셀의 직렬 연결 개수가 감소하여 배터리 셀의 균형을 높이고 배터리의 신뢰성을 증가시키는 장점이 있다. 또한 Dual 배터리 기술은 주 배터리 전류를 제한하고 기동 시 모자라는 전류를 Dual 배터리에서 공급하는 것으로 주 배터리 전류를 제한하기 위하여 Boost 컨버터의 입력 전류 제한 제어 기법을 적용하였다. 이는 주 배터리의 전류를 제한하여 기동 시 큰 순간 전류를 주배터리가 모두 부담하는 것을 막고, Boost 컨버터 출력단에 연결된 Dual 배터리(Super cap.)로 나머지 전류를 보충하는 동작으로 주배터리를 보호한다. 따라서 이 장에서는 Dual 배터리 전력 회로 동작 원리, Dual 배터리 전력 변환/저장/보상 회로의 제어원리와 과도 상태의 Load Profile을 고려하여 Dual 배터리 용량 선정하는 방법에 대하여 알아보도록 하겠다.[8],[9],[10]

2.3.1. Dual 배터리 전력 변환/저장/보상 회로의 동작원리



(a) 모터 기동 시 Dual 배터리 전력 변환/저장/보상 회로 도통 경로



(b) 모터 정상 동작 시 Dual 배터리 전력 변환/저장/보상 회로

도통 경로

그림 2.6. 모터 기동 및 정상 주행 시, Dual 배터리 전력 장치 도통 경로.

그림 2.6은 모터 기동 및 정상 주행 시 Dual 배터리 전력 변환/저장/보상 회로의 도통 경로를 나타낸다.

그림 2.6의 (a)는 모터 기동 시의 도통 경로로 주배터리에서 공급된 전류인 I_{Db1} 과 Dual 배터리에서 공급되는 I_{dual} 이 동시에 모터로 공급된다. 따라서 순간 큰 전류를 주배터리에서만 공급하는 것이 아닌, 주배터리는 제한된 전류만큼 공급하고, 나머지 전류는 Dual 배터리에서 보충해주는 동작으로 도통한다. 그림 2.6의 (b)는 모터 정상 동작 시로 순간 큰 전류를 필요로 하지 않는다. 따라서 Dual 배터리에서 공급되는 전류는 없으며, 주배터리만으로 모터에 공급된다.

모터 기동 시와 정상 동작 시 공급되는 전류는 다음과 같다.

$$V_{battery} \times I_{battery} = V_{dual} \times I_{Db1} \quad \text{식 (5)}$$

$$\frac{I_{Db1}}{I_{battery}} = \frac{1}{1-D} \quad \text{식 (6)}$$

$$\therefore I_{Db1} = \frac{I_{battery}}{1-D} \quad \text{식 (7)}$$

● 모터 기동 시 : I_{dual} 전류 공급

$$I_{inv} = I_{Db1} + I_{dual}$$

$$= \frac{I_{battery}}{1-D} + I_{dual}$$

$$\therefore I_{inv} = \frac{I_{battery}}{1-D} + I_{dual} \quad \text{식 (8)}$$

● 모터 정상 동작 시 : Idual 전류 = 0A

$$I_{inv} = I_{Db1}$$

$$\therefore I_{inv} = \frac{I_{battery}}{1-D} \quad \text{식 (9)}$$

식 (3)과 식 (5)에 의하여 식 (6)과 같이 IDb1이 주배터리 전류 Ibattery와 연관이 있음을 확인하였으며, 전류 IDb1은 식 (7)과 같다. 이에 따라서 모터 기동 시와 정상 주행 시 모터에 흐르는 전류는 식 (8) 및 식 (9)와 같음을 알 수 있다.



2.3.2 Dual 배터리 전력 변환/저장/보상 회로 제어 원리

그림 2.7은 본 논문에서 제안한 Dual 배터리 전력 변환/저장/보상 회로의 제어 기능 블록도로 Boost 컨버터 제어 단 구성을 나타낸다. 부스트 컨버터 제어를 위하여 PWM IC로 TL494를 사용하였다. 입력 전류 제한 구간(Input Current Limit Mode)과 출력 전압 제어 구간(Voltage Control Mode)를 위하여 TL494 내부 두 개의 OP-amp를 각각 차동 증폭기(D-amp)와 비반전 제어기로 동작하였다.

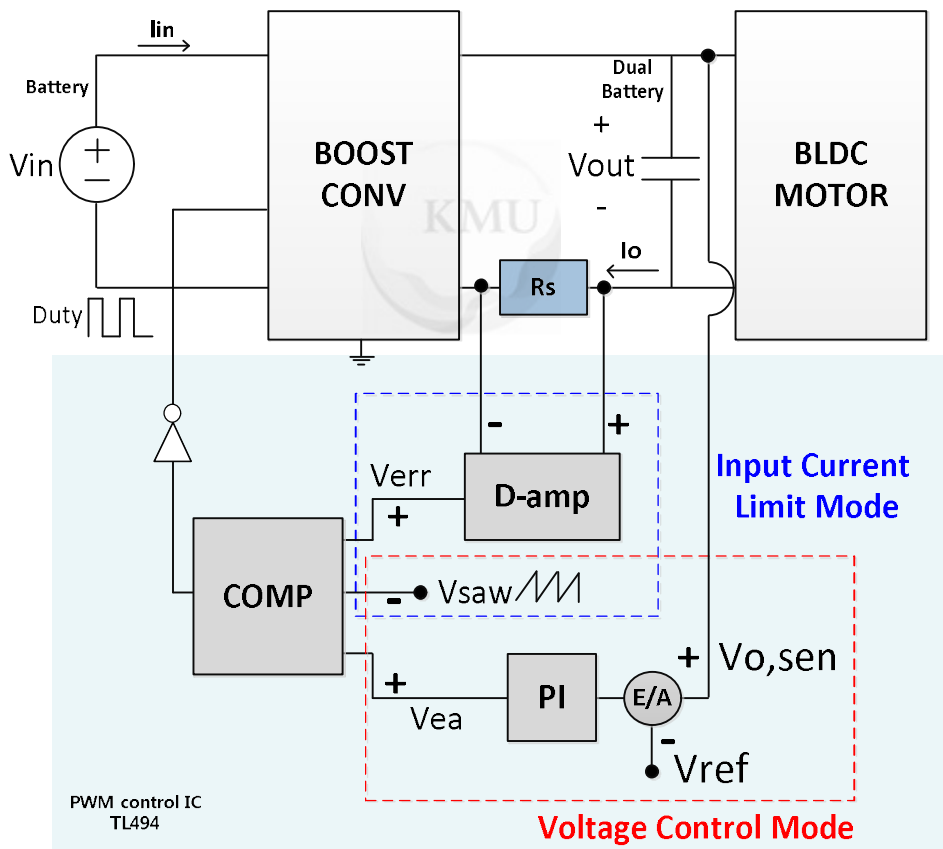


그림 2.7. Dual 배터리 전력 변환/저장/보상 회로의 제어 기능 블록도.

모터 정상 동작 시, 일정한 속도로 동작하므로 인버터에 연결된 Boost 컨버터 출력 단은 일정한 출력 전압으로 제어해야 한다. 따라서 모터 정상 동작 구간은 입력 전류가 제한 값에 도달하지 못한 상태이다. 출력 전압을 값을 받은 $V_{o, sen}$ 과 기준 값 V_{ref} 를 비교한 OP-amp 출력 값 V_{ea} 와 시비율을 결정하기 위한 TL494 내부의 톱니파 V_{saw} 가 비교되어 Boost 컨버터의 시비율 만큼 일정한 출력 전압으로 제어된다.

모터 기동 시 혹은 최대 부하가 입력 전류 제한 값만큼 도달했을 때, 입력 전류 제한 제어가 이루어진다. 이 구간에서는 Boost 컨버터 출력 전압 제어는 이루어지지 않는다.

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{I_{in}}{I_{out}} = \frac{1}{1-D} \quad \text{식 (10)}$$

식 (10)은 Boost 컨버터의 CCM(Continuous Conduction Mode) 입출력 관계식을 나타낸다. 이를 통하여 입력 전류는 출력 전류와 입출력 관계식의 곱으로 표현할 수 있으므로 입력 전류 제한을 위해 출력 전류 값을 저항 R_s 를 통해 받아온다. 입력 전류가 아닌 출력 전류를 받아오는 것은 Boost 컨버터는 입력 전류가 출력 전류보다 크므로 같은 저항으로 전류 값을 받아올 때 입력 전류를 받아오는 경우가 효율이 더 감소하기 때문이다. 또한 입력 전류 제한 제어를 위해 차동 증폭기를 선택한 이유는 간편한 제어가 가능하고 필요 시 쉽게 전류 제한 변동이 가능하기 때문이다. 차동 증폭기는 증폭기 입력의 차를 증폭하는 원리로, 증폭 비를 단순히 증폭기

회로의 저항 값만으로 변경 가능하고, 이는 전류 제한 값을 증폭기 회로의 저항 값만으로 변경이 가능하다는 의미이다.

그림 2.8은 Dual 배터리 전력 변환/저장/보상 회로의 출력 전압 제어와 입력 전류 제한 제어의 동작을 구분한 블록도이다. 입력 전류 제한 구간이 아닌 경우에는 출력 전압 제어가 이루어지고, 입력 전류 제한 구간인 경우에는 출력 전압 제어가 이루어지지 않는 동작을 구분한다.

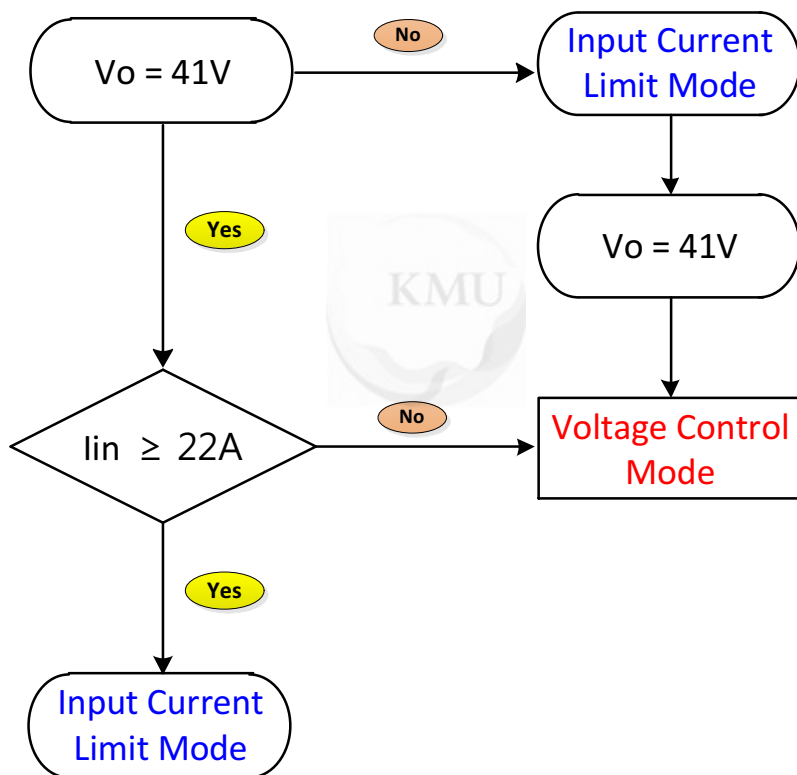


그림 2.8. Dual 배터리 전력 변환/저장/보상 회로 제어 기능 동작 구분 블록도.

2.3.3. 배터리 보호를 위한 입력 전류 제한 제어 기법

본 절에서는 입력 전류 제한 제어를 위해 차동 증폭기의 증폭 값을 선정하는 R_1 과 R_2 저항 값 선정에 대하여 설명한다.

그림 2.9는 Dual 배터리 전력 변환/저장/보상 회로의 제어 중 입력 전류 제한 제어만 블록도로 나타낸 것이다. 2.10은 그림 2.9 블록도 중에서 R_s 와 D-amp를 회로도도로 나타낸다. 입력 전류 제한을 위해 출력 전류 값을 받아온 $I_O R_s$ 전압 값을 원하는 증폭 값 V_{err} 만큼 증폭시킨다. 그림 2.11는 TL494 내부에서 시비율 선정을 위해 차동 증폭기 출력 단 V_{err} 과 톱니파 V_{saw} 를 비교한 파형으로 그림 2.9에서 COMP의 입력 단을 나타낸다. 톱니파의 0.7V 띄어져 있는 것은 시비율 제어는 노이즈에 취약하므로 TL494 내부에 자체적으로 노이즈 방지를 위해 구성되어 있는 것을 나타내었다.

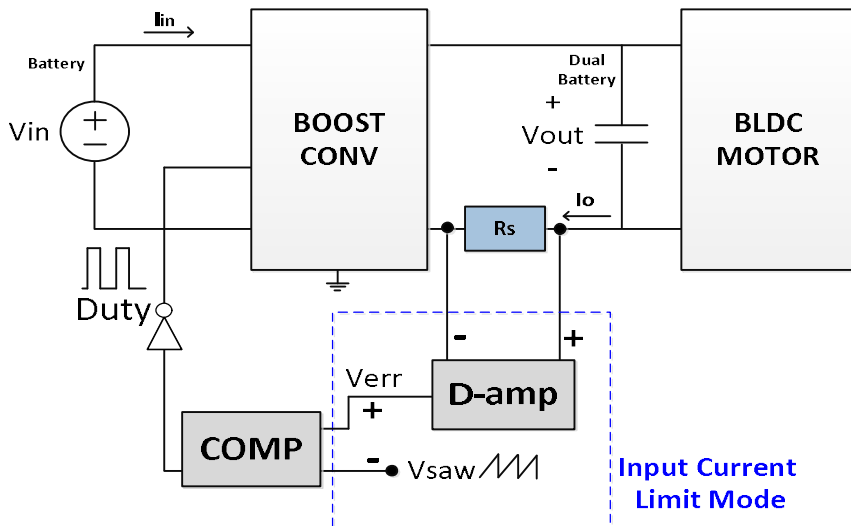


그림 2.9. Dual 배터리 전력 변환/저장/보상 회로의 입력 전류 제한 제어 기법 블록도.

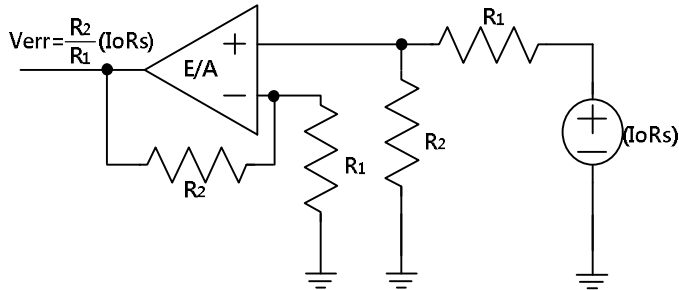


그림 2.10. 입력 전류 제한 제어 회로도.

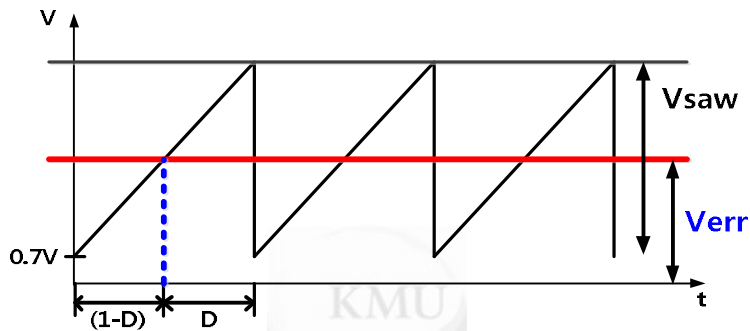


그림 2.11. TL494 차동증폭기 출력 단과 톱니파 비교 파형.

차동 증폭기 원리에 의해서 V_{err} 값은 식 (11)과 같다. 또한 증폭시킨 차동 증폭기 출력 값 V_{err} 과 톱니파 V_{saw} 를 비교한 경우, V_{err} 이 식 (12) 와 식 (13)에 의해서 정의된다. 따라서 식 (11)과 식 (13)을 같다고 두면, R_1 , R_2 에 관하여 식 (14)의 결과가 도출되고, 이때 R_2 을 일정한 값으로 가정하면, R_1 값 변화에 따라서 입력 전류 제한 제어가 가능하다.

$$V_{err} = \frac{R_2}{R_1} \cdot (I_o R_s) \quad \text{식 (11)}$$

$$(1-D) : V_{err} - 0.7V = 1 : V_{saw} \quad \text{식 (12)}$$

$$V_{err} = \frac{I_o}{I_{in_limit}} V_{saw} + 0.7V \quad \text{식(13)}$$

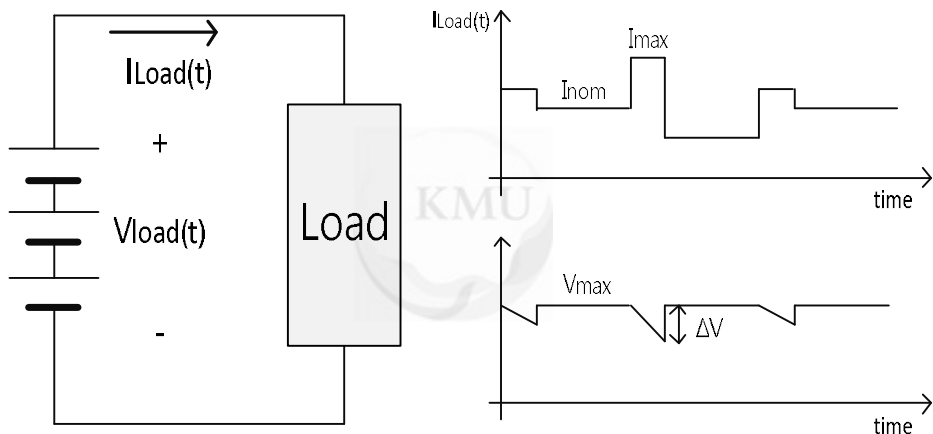
$$\begin{aligned} \frac{R_2}{R_1} &= \frac{1}{(I_o R_s)} [V_{saw}(1-D) + 0.7] \\ &= \frac{1}{I_{in_limit}(1-D)R_s} [V_{saw}(1-D) + 0.7] \\ &= \frac{1}{(I_{in_limit} R_s)} \left[V_{saw} + \frac{0.7}{1-D} \right] \end{aligned} \quad \text{식(14)}$$

위를 토대로 설계한 R1, R2 값을 적용한 실험을 토대로 다음 2.3.4에서는 Dual 배터리 전력 변환/저장/보상 회로의 주배터리를 보조하는 Dual 배터리의 용량 선정 기법에 대하여 알아보도록 한다.

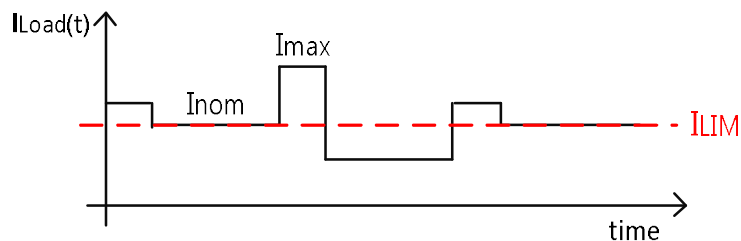


2.3.4. 과도 상태의 Load Profile을 고려한 Dual 배터리 용량 선정

과도 상태(기동) 시에 필요한 큰 전류로부터 주배터리의 손상을 방지하기 위한 주배터리 전류 제한 기법은 2.3.3에서 알아보았다. 제한된 전류 외에 모터에서 필요한 전류는 Dual 배터리에서 보조한다. 따라서 필요한 전류를 보조하기 위한 Dual 배터리의 적정 용량을 구하기 위해서 기존 배터리의 과도 상태 동작 조건에서의 Load Profile을 분석한다. 이에 맞추어 Dual 배터리의 용량 선정 방법에 대하여 알아보도록 하겠다.



(a) 기존 배터리 조건에서 Load Current Profile



(b) 기존 배터리 조건에서 전류 제한(I_{LIM}) 설정

그림 2.12. 기존 배터리 Load Profile 분석.

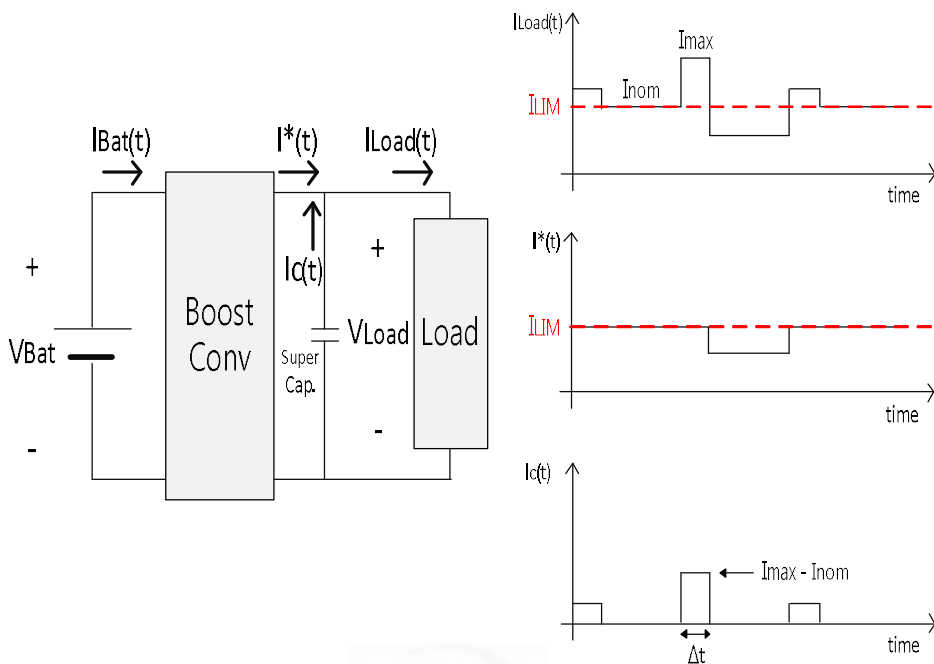


그림 2.13. Dual 배터리 전력 변환/저장 장치 Load Profile.

그림 2.12는 기존 배터리 조건에서 Load current Profile을 배터리에서 모터로 공급하는 전류 $I_{LOAD}(t)$ 와 모터 전압 $V_{LOAD}(t)$ 로 나타낸다. 그림 2.12의 (a)는 이 조건으로 과도 상태 시 모터에 필요한 최대 전류 I_{max} , 평균 전류 I_{nom} , 최대 전압 V_{max} 와 전압 변화량 ΔV 을 결정하는 것을 나타낸다. 전압 변화량 ΔV 는 배터리에서 전압을 방전하면서 전류를 공급하기 때문에 발생하는 현상이다. 그림 2.12의 (b)는 Dual 배터리 전력 변환/저장/보상 회로의 전류 제한 값을 설정하는 것을 나타낸다. 위의 값들을 통하여 Dual 배터리 전력 변환/저장/보상 회로의 전류 제한 값을 I_{LIM}

으로 두면, Dual 배터리가 보조하는 전류는 I_{\max} 에서 I_{LIM} 을 뺀 값이 되고, 보조하는 전류를 통하여 Dual 배터리 용량을 구할 수 있다.

그림 2.13은 Dual 배터리 전력 변환/저장/보상 회로의 Load profile로, 과도 상태 시에 주배터리와 Dual 배터리의 합이 부하에 공급되는 것을 나타낸다. $I_C(t)$ 는 과도 상태로 Super cap.(Dual 배터리)을 통해 부하에 공급되는 전류이고 $I^*(t)$ 는 정상 상태로 (부피 저장된)배터리에서 Boost 컨버터를 통해 부하에 공급되는 전류이다. 이를 통하여 과도 상태 시에 Super cap.에서 공급되는 전류는 식 (15)와 같고, 캐패시터 전하량의 법칙 식 (16)에 따라서 Super cap. 용량을 식 (17)처럼 구할 수 있다. 이때 ΔV 는 배터리의 전압 변화량, ΔI 는 $I_C(t)$, Δt 는 과도 상태 구간을 나타낸다.

$$I_C(t) = I_{\max} - I_{nom} \quad \text{식 (15)}$$

$$Q = C \times \Delta V = \Delta I \times \Delta t \quad \text{식 (16)}$$

$$\therefore C = \frac{\Delta I \times \Delta t}{\Delta V} \quad \text{식 (17)}$$

2.4. 제안 회로의 Protection 기능

본 절에서는 배터리 충전과 Dual 배터리 전력 변환/저장/보상 회로의 Protection 기능에 대해서 알아보도록 한다. 두 회로를 One-board에 통합하는 경우, 두 동작이 겹쳐 오작동의 문제가 발생한다. 이를 해결하기 위해서 보호회로를 적용하고, 동작의 충돌이 발생하지 않도록 해야 한다. 또한, 회로 동작 시에 저전압, 과전압과 과전류에 의한 보호회로 동작에 대해서도 알아보도록 한다.



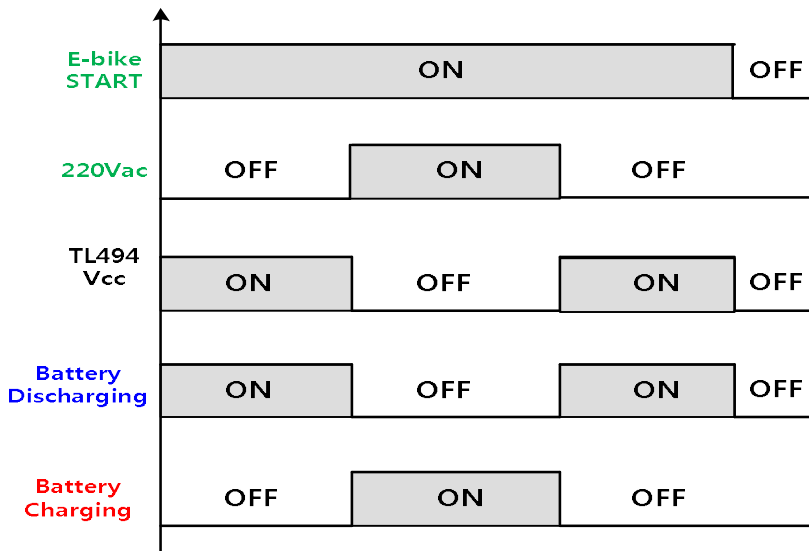


그림 2.14 E-bike START와 220Vac에 따른 동작 구분

그림 2.14는 E-bike START 신호와 220Vac에 따른 배터리 충전(Battery Charging)과 Dual 배터리 전력 장치(Battery Discharging)의 동작 구분을 나타낸다. E-bike START 신호는 배터리와 제안회로를 연결시켜주는 역할을 한다. 따라서 E-bike START 신호를 받으면 바로 Dual 배터리 전력 장치 동작을 시작한다. 이는 배터리와 회로 연결과 함께 TL494 Vcc(전원)가 ON 되어 가능하다. Dual 배터리 전력 장치 동작 도중에 상용전원 220Vac가 배터리 충전 회로에 입력 전원으로 공급되는 경우, TL494 Vcc는 차단 되어 Dual 배터리 전력 장치는 동작은 OFF되고 배터리 충전 동작이 ON 된다. 상용전원 220Vac 연결이 OFF인 경우에는 배터리 충전 동작은 OFF 되고, TL494 Vcc가 ON되어 다시 Dual 배터리 전력 장치 동작이 ON된다. 또한 E-bike START 신호가 OFF 되는 경우에는 배터리 충전과 Dual 배터리 전력 장치 기능 모두 OFF 된다.

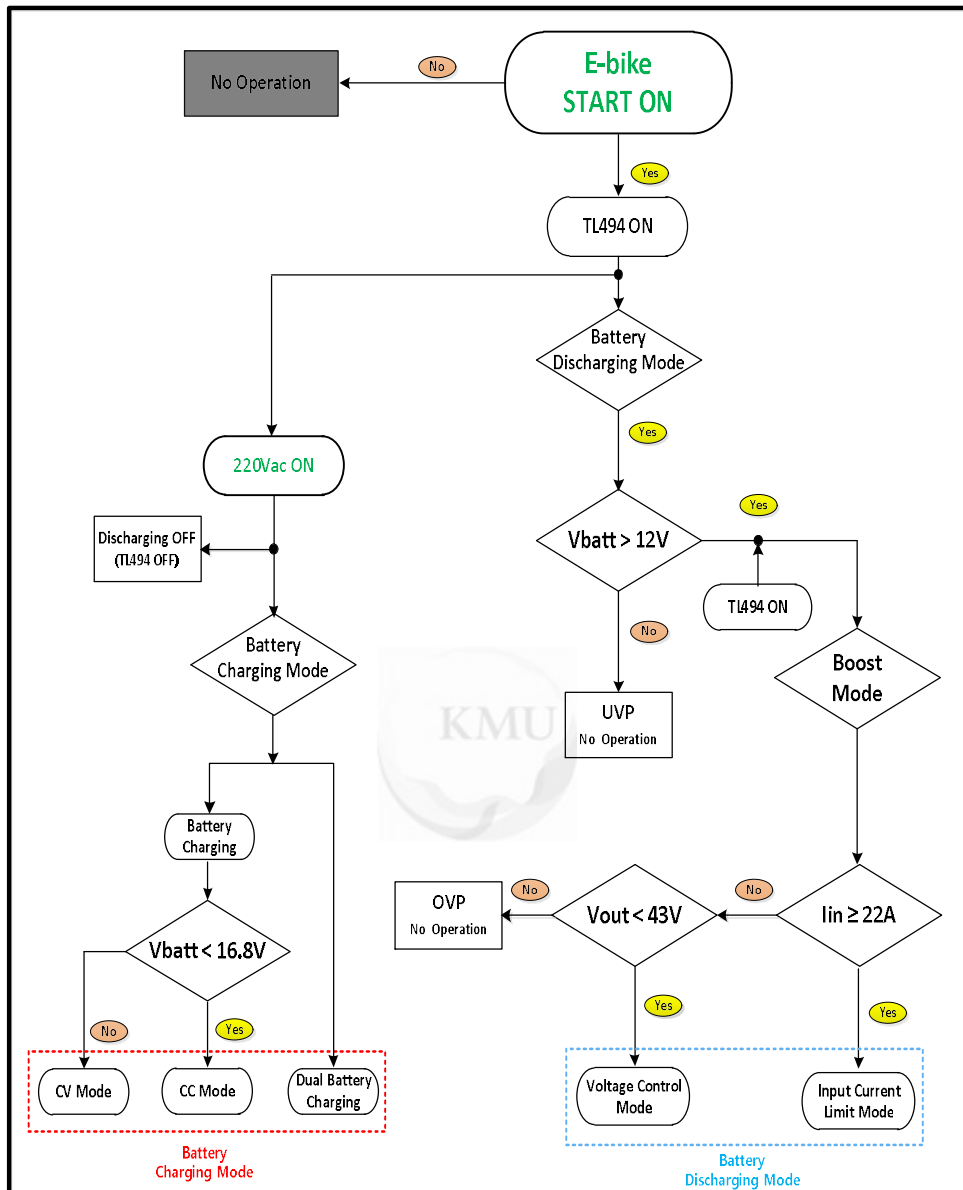


그림 2.15. 제안 회로의 배터리 충전, 방전 동작 알고리즘.

그림 2.15는 제안 회로의 전체 동작 구분을 알고리즘으로 나타낸 것이다. E-bike START ON이 되면, 배터리 방전 모드로 Dual 배터리 전력 변환/저장/보상 회로가 동작한다.

상용전원 220Vac이 플라이백 입력 전원으로 연결되면 Dual 배터리 전력 변환/저장/보상 회로의 IC인 TL494의 전원이 OFF되고, 배터리 충전이 시작된다. 배터리 충전은 CCCV동작으로 배터리 전압이 16.8V보다 작은 경우에는 정전류(CC) 제어를 하고, 배터리 전압 16.8V에 도달한 경우에는 정전압(CV)제어를 한다.

상용전원 220Vac이 플라이백 입력 전원으로 연결되지 않은 경우, 연결 해제된 값을 받은 후, 배터리 전압의 저전압(Under Voltage Protection) 보호회로가 동작한다. Li-ion 배터리는 저전압에서 최대 전력을 내지 못하는 특성이 있고, 저전압 상태가 지속된다면 배터리 손상의 원인이 될 수 있다. 따라서 하나의 Li-ion 배터리의 저전압이 3V 이므로 4개 질력 연결했을 때, 저전압은 12V이므로 배터리가 12V가 될 때, TL494 전원을 차단하여 Boost 컨버터가 동작을 안하고 배터리 보호가 가능하다. 배터리가 12V보다 큰 경우에는 TL494 전원이 ON되고 Boost 컨버터는 정상 동작을 한다. Boost 컨버터는 입력 전류 제한인 경우와 아닌 경우인 출력 전압 제어로 나뉜다. 입력 전류 제한에 도달한 경우 입력 전류 제한 제어를 수행한다. 출력 전압이 43V보다 작은 경우 41V로 출력 전압 제어를 한다. 반면에, 43V보다 큰 경우 과전압(Over Voltage Protection) 제어를 수행한다. 이는 Dual 배터리로 사용한 Super cap.의 전압 용량이 10F/2.7V의 Super cap. 16개를 직렬 연결하여 전압 용량이 43.2V이므로 과전압에 의한 Super cap. 손상을 막기 위해서 동작한다.

Ⅲ. 제안 회로의 실험 결과

3.1. 제안 회로의 모의실험

본 절에서는 앞서 실시한 이론적 분석을 바탕으로 제안된 배터리 수명 연장 기법을 적용한 충전 기능 통합형 부스트 컨버터의 모의실험을 수행하였다. 모의실험을 PSIM 프로그램을 사용하였으며, 배터리 충전과 Dual 배터리 전력 변환/저장/보상 회로의 기능을 각각 모의실험 하였다.

3.1.1. 60W급 배터리 충전 모의실험 결과

그림 3.1은 제안회로의 배터리 충전 모의실험 회로도로서 CCCV 제어 기법으로 배터리를 충전한다. 배터리 충전 모의실험의 주요 파라미터는 표 3.1에 나타내었다.

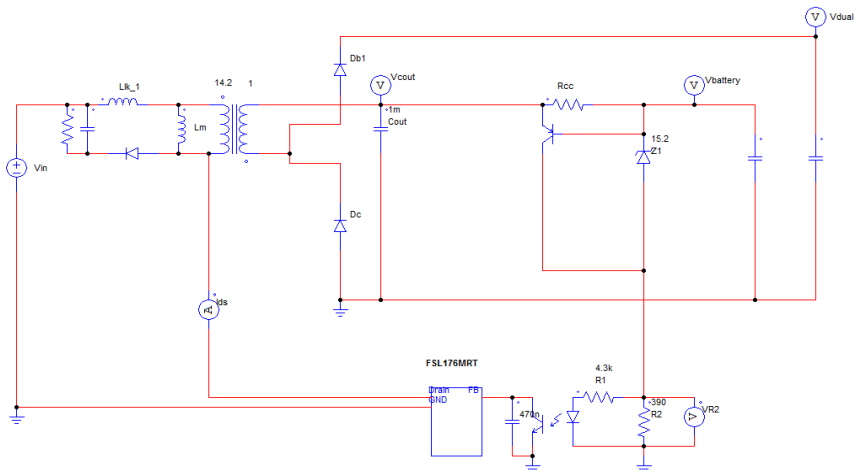


그림 3.1. 제안회로의 배터리 충전 모의실험 회로도.

표3.1. 배터리 충전 시뮬레이션에 사용된 주요 파라미터.

Components	Battery Charging Parameters
Input voltage (VIN)	315VDC
Maximum Output Power	60W
Battery Voltage	Max 16.8V
Dual Battery Voltage	Max 39V
Battery capacitance	0.1F
Dual Battery capacitance	1mF
Transformer	<ul style="list-style-type: none"> - Turn ratio 14.2 : 1 - Magnetic Inductance : 1780uH - Leakage Inductance : 57uH
Switching frequency	65kHz

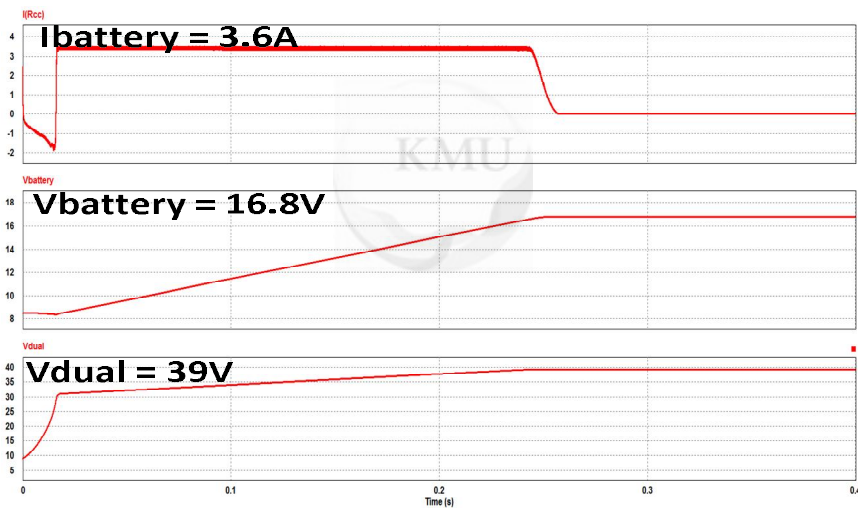


그림 3.2. 제안회로의 배터리 충전 모의실험 주요 파형.

그림 3.2는 제안회로의 배터리 충전 모의실험 주요 파형이다. 배터리는 3.6A 전류로 16.8V까지 충전됨을 확인하였다. 또한 V_{dual} 은 Dual 배터리 단으로 39V까지 충전된다. 이는 1차 측에서 턴 비로 넘어온 2차 측 트랜스양단 전압 22.2V와 배터리에 충전되는 16.8V가 합쳐진 전압이 충전됨을 확인하였다.

3.1.2. 260W급 Dual 배터리 전력 변환/저장/보상 회로 모의실험 결과

그림 3.3은 제안회로의 260W급 Dual 배터리 전력 변환/저장/보상 회로 모의실험 회로도이다. 배터리 수명 연장 기법으로 입력 전류 제한 제어와 과도 상태 시 주배터리를 보조하는 Dual 배터리를 적용하여 모의실험을 수행하였다. 모의실험의 주요 파라미터는 표3.2에 나타내었다.

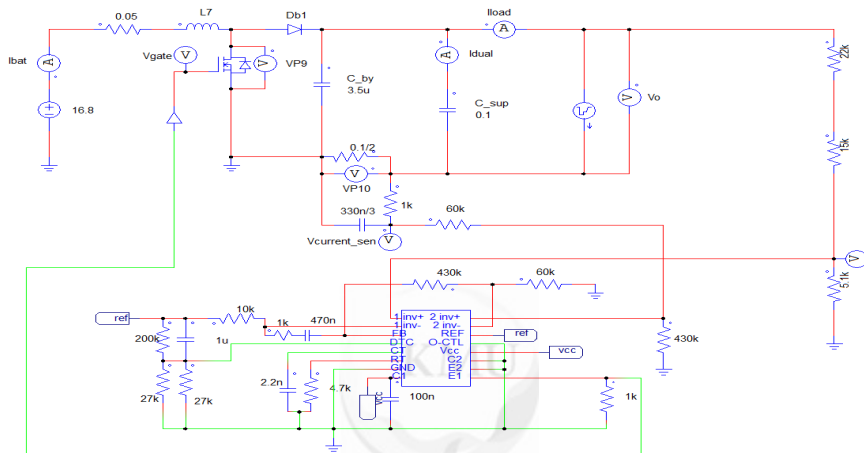


그림 3.3. 260W급 Dual 배터리 전력 변환/저장/보상 회로 모의실험 회로도.

표3.2. Dual 배터리 전력 변환/저장/보상 회로 시뮬레이션 주요 파라미터.

Components	Battery Discharging Parameters
Input voltage V_{in} : Battery Voltage	12~16.8VDC
Input Current Limit	15.5A
Maximum Output Power	260W
Output Voltage	41V
Output capacitance : Dual Battery	0.1F
Inductance	8.43uH
Switching frequency	100kHz

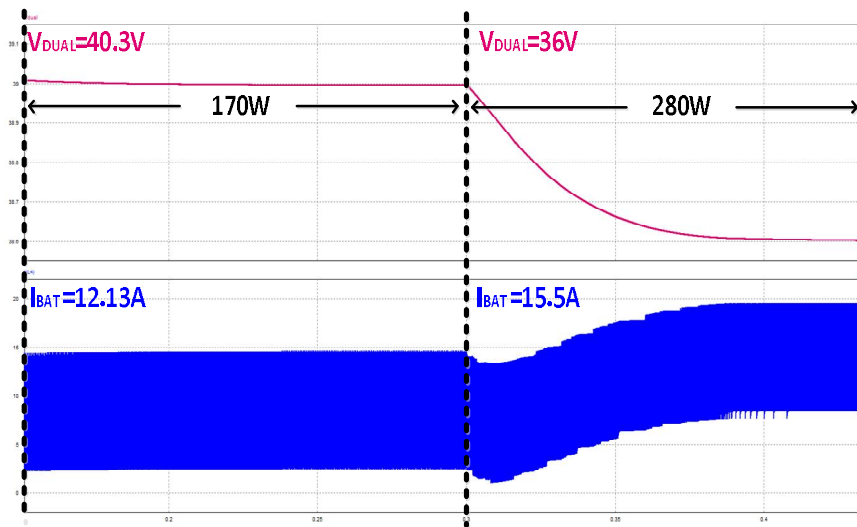


그림 3.4. Dual 배터리 전력 변환/저장/보상 회로 전류 제한 실험 주요 파형.

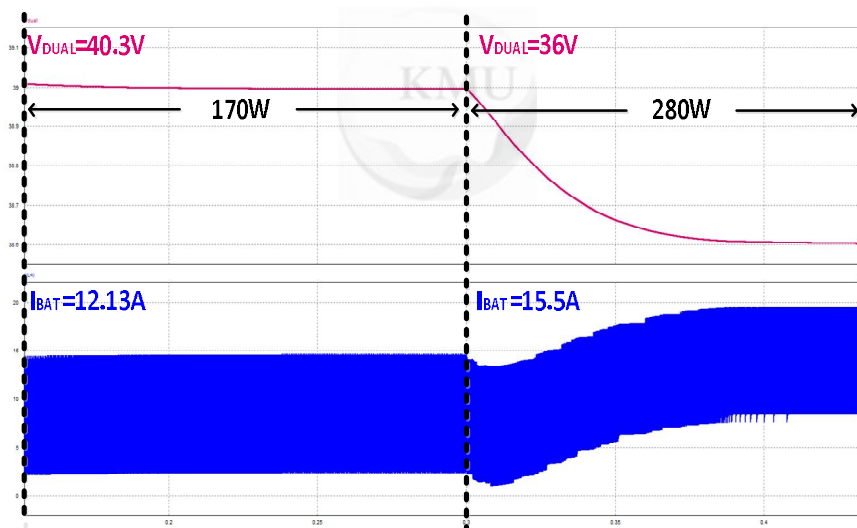


그림 3.5. Dual 배터리 전력 변환/저장/보상 회로의 전압 제어와 전류 제한 모드 구분.

3.2. 제안회로의 Prototype 제작 및 실험결과

제안된 배터리 수명 연장 기법을 적용한 충전 기능 통합형 부스트 컨버터의 타당성을 확인하기 위해, 60W급 배터리 충전 회로와 260W급 Dual 배터리 전력 변환/저장/보상 회로를 One-board에 통합한 시작품을 제작하였다. 그림 3.6은 실제 통합한 회로 모델 PBA이고, 그림 3.7은 Dual 배터리 적용을 위한 0.625F/43V Super Cap.을 나타낸다. 제안회로 실험을 위한 주요 파라미터들은 표3.3과 같다.

표 3.3. 배터리 충전, 방전 동작 실험 조건.

Components	Battery Charging Parameters	Battery Discharging Parameter
Input Voltage	220Vac	Li-ion Battery 3.6V/2700mAh*(4S4P)
Maximum Output Power	60W	260W
Output Voltage	16.8V	41V
Switching Frequency	65kHz	100kHz
Battery capacitance	5F/54V (100F/2.7V * 20ea)	-
Dual Battery capacitance	10mF/100V (100mF/100V * 10ea)	0.625F/43V (10F/2.7V * 16ea)
Transformer	turn ratio 14.2 : 1 Lm : 1700uH Llk : 57uH	Inductance : L : 8.43uH
Battery Current	3.6A	-
Input Current Limit	-	15.56A



그림 3.6. 제안 회로 모델 PBA 제작품.



그림 3.7. Dual 배터리 모델 PBA 제작품.

표 3.4. 제안 회로의 시제품 제작 주요 파라미터.

Components	Battery Charging Parameters	Battery Discharging Parameter
Switch MOSFET	FSL176MRT	FDP075N15A
Output Diode	MBR20150CT	STRS30100ST
Control IC	FSL176MRT	TL494
Core	EER4954S	

3.2.1. 제안 회로 실험 결과

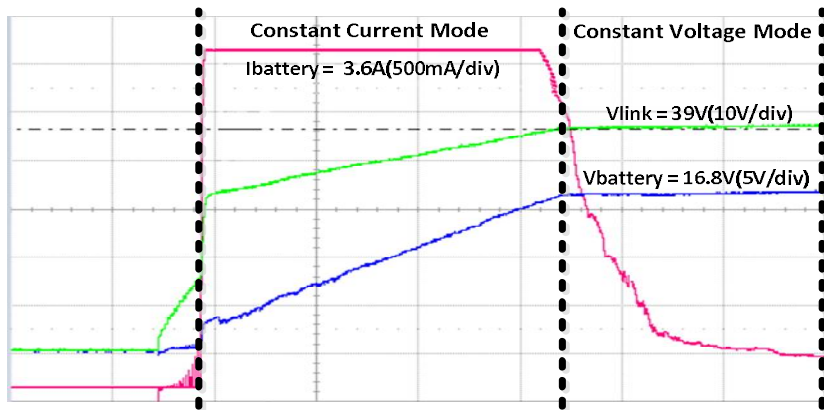


그림 3.8. 주배터리 및 Dual 배터리 충전 실험 주요 파형.

그림 3.8은 제안 회로의 주배터리 및 Dual 배터리 충전 실험 결과를 나타낸다. 주배터리로 5F super cap은 16.8V/3.6A로 충전되고, Dual 배터리 10mF Dual 배터리는 39V로 충전하여 모의실험과 같은 결과를 확인하였다.

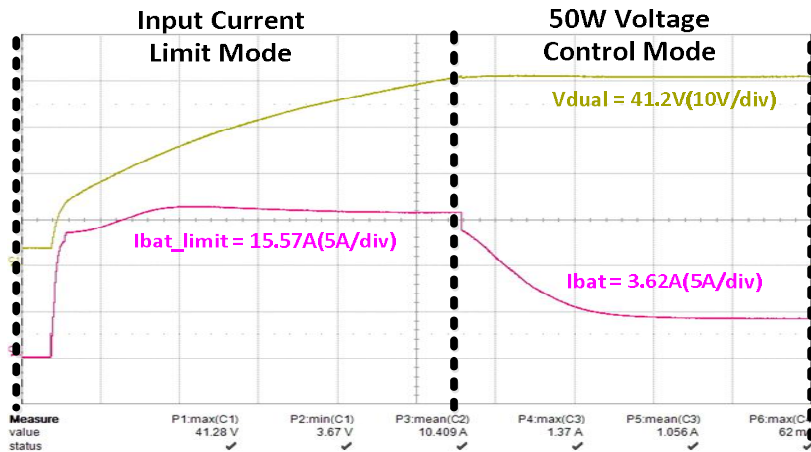


그림 3.9. Dual 배터리 전력 변환/저장/보상 회로 전류 제한 실험 주요 파형.

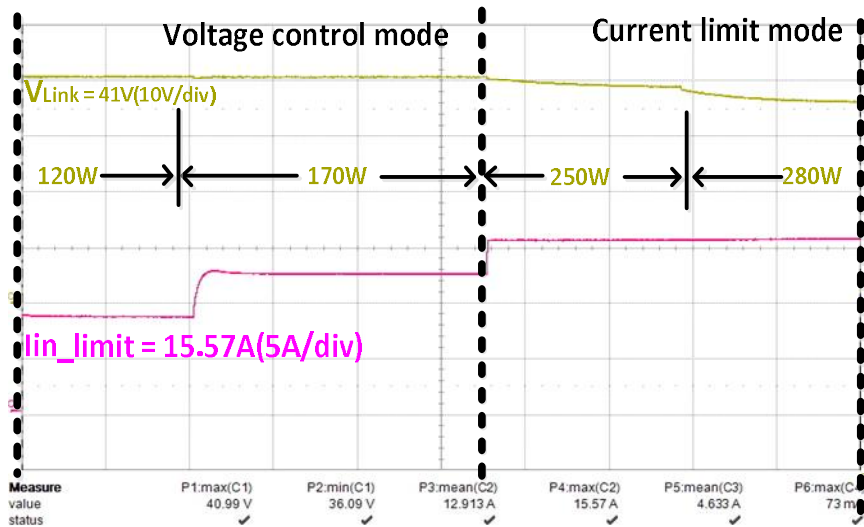


그림 3.10. Dual 배터리 전력 변환/저장/보상 회로의 전압 제어와 전류 제한 모드 구분.

그림 3.9는 제안 회로의 Dual 배터리 전력 변환/저장/보상 회로의 초기 입력 전류 15.57A 제한 실험 파형이다. 모터 기동 시, 큰 전류를 일정한 전류로 제한하여, 배터리의 손상을 방지할 수 있음을 확인하였다. 그림 3.10은 입력 전류를 15.57A로 제한한 260W급 Dual 배터리 전력 변환/저장/보상 회로의 Light Load부터 Heavy Load까지의 실험파형으로, Load 단은 저항 부하를 사용하여 실험하였다. 실험 결과를 통하여 Light Load에서는 출력 전압 제어로 동작하고, Heavy Load에서는 15.57A로 전류 제한 제어 동작만 이루어지면서 출력 전압 제어를 하지 않음을 확인하였다.

3.2.2. 제안 회로 Load Profile 구현 실험 결과

이 절에서는 Dual 배터리 전력 변환/저장/보상 회로의 모터 기동 시를 저항 부하로 구현한 Load Profile 실험 결과를 확인한다. 이를 통하여 주 배터리 전류를 제한한 상태에서 Dual 배터리가 전류를 순간적으로 공급함을 검증하였다.

표 3.5. Dual 배터리 전력 변환/저장/보상 회로 적용 Load Profile 구현을 위한 파라미터.

Components	Load Profile Parameters
주기(T_s)	1sec
스위치 On 주기(Δt)	0.1sec
배터리 제한 전류	9.65A
Dual 배터리 보조 전류	3.66A
Load 공급 전류	2.94A - 6.602A

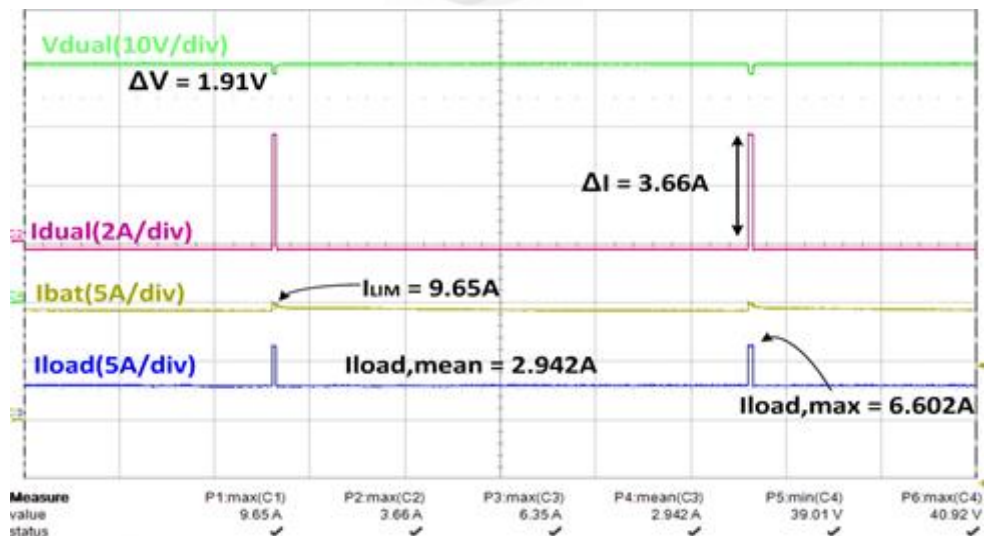


그림 3.11. 기동 구현을 통한 Dual 배터리의 전류 보충 실험 결과.

그림 3.11은 제안회로에 저항 Load Profile을 적용한 실험 결과이다. 주 배터리 전류 I_{bat} 은 9.65A로 제한되며, 기동 시 순간 3.66A는 Dual 배터리에서 I_{dual} 만큼 공급한다. 따라서 Dual 배터리 전력 변환/저장/보상 회로 출력 단 평균 전류 $I_{load,mean}$ 은 2.942A, 최대 전류 $I_{load,max}$ 는 6.602A를 공급함을 확인하였다. 실험 결과를 통하여 기동 시인 Δt 동안 주배터리의 공급 전류는 제한된 상태에서, 나머지 필요한 전류를 Dual 배터리에서 공급함으로써 큰 전류에 의한 주배터리 손상을 막을 수 있음을 확인하였다.

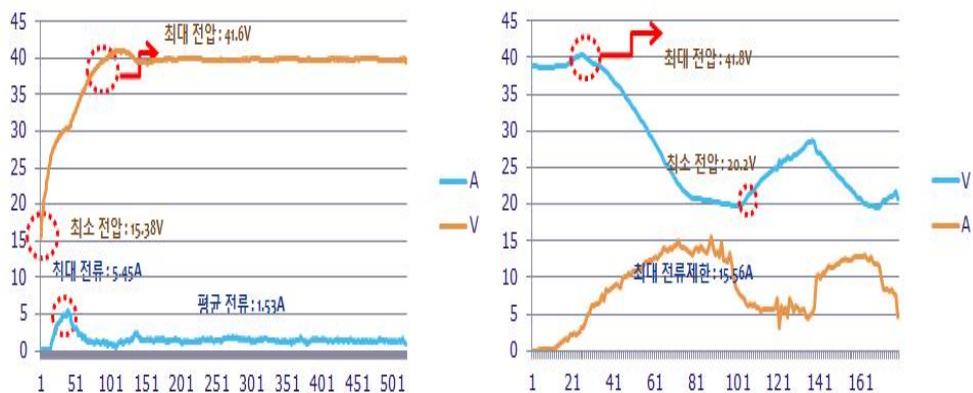


3.2.3. 제안 회로 E-bike 연동 실험 결과

그림 3.12는 12인치 외발형 E-bike에 제안회로를 실장한 배터리팩을 장착한 외발형 E-bike와 이를 연결한 휠체어를 나타낸다.



그림 3.12. 12인치 바퀴 외발형 E-bike 및 외발형 E-bike 장착 휠체어.



(a) 12인치 바퀴, 평지 실험결과

(b) 12인치 바퀴, 6도 경사 실험결과

그림 3.13. 12인치 바퀴 E-bike 연동 실험 결과.

그림 3.13은 제안회로를 외발형 E-bike 휠체어와 연동한 실험 결과로 Dual 배터리 전력 변환/저장/보상 회로의 Dual 배터리(출력) 전압과 주배터리(입력) 전류를 나타낸다. 제안 회로의 입력 전류 제한은 15.6A로 제어한다. 그림 3.13의 (a)는 평지 실험으로 입력 전류 제한이 아닌 상태에서 출력 전압 제어를 하는 결과를 확인하였다. 그림 3.13의 (b)는 6도 경사 등판 실험으로 모터에서 Load를 많이 필요로 하는 상태에서 주배터리는 15.5A로 전류 제한 제어 상태로 6도 경사 등판한 결과이다. 따라서 제안 Dual 배터리 전력 변환/저장/보상 회로는 주배터리를 보호하면서 Load가 많이 필요한 6도 경사 등판이 가능함을 확인하였다.



IV. 결론

본 논문에서 E-bike 응용을 위한 충전 기능 통합형 Dual 배터리 전력 변환/저장/보상 회로를 제안한다. 하나의 트랜스로 배터리 충전과 방전이 가능한 회로를 구현으로 외장형 아답터가 불필요하여 사용자의 휴대성 극대화가 가능하다. 모터 구동을 위한 Dual 배터리 전력 변환/저장/보상 회로 적용은 승압형 방식으로 배터리 셀의 직렬 연결 수가 감소한다. 또한 기존 배터리에서 기동 시 순간 큰 전류를 모두 감당하여 배터리의 용량이 감소하는 문제가 발행하는데, 이는 주배터리 전류를 일정하게 유지한 상태에서 나머지 필요한 전류는 Dual 배터리에서 보조함으로써 큰 전류의 반복적인 공급으로 인한 배터리 셀의 용량 감소 문제를 해결한다.

제안회로의 동작 원리 분석과 PSIM 모의실험을 통해 이론적 분석을 하였으며, 60W급 배터리 충전과 260W급 Dual 배터리 전력 변환/저장 회로 시작품을 제작하여 충전, 260W 저항 부하 및 260W 외발형 E-bike 연동 실험을 수행하고 동작 성능을 확인하였다.

따라서 제안 회로를 적용한 배터리 팩 응용을 통하여 E-bike, 세그웨이 및 초소형전동차량의 상용 및 보급화에 기여 가능할 것으로 기대된다.

V. 향후계획

본 논문에서는 E-bike 응용을 위한 충전 기능 통합형 Dual 배터리 전력 변환/저장/보상 회로를 제작 및 제안 회로의 해석을 통해 타당성 검증 및 우수성을 확인하였다. 제안회로는 모터 기동 시 순간 큰 전류를 공급하기 위해서 승압형 컨버터 출력단에 Dual 배터리를 적용하여 주배터리 전류를 공급하였다. 하지만 이때 Dual 배터리로 10F/2.7V Super cap. 16개를 직렬 연결하므로 Dual 배터리 용량이 작아지는 문제가 있다. 이로 인하여 모터 기동 시 순간 큰 전류를 장시간 공급하지 못하게 된다. 이를 해결하기 위하여 Dual 배터리의 용량을 증가시키는 방안에 대한 연구가 추가적으로 필요할 것으로 판단된다.

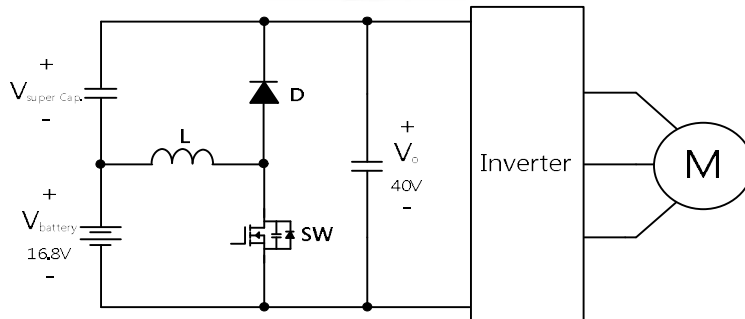


그림 5.1. Modified Dual 배터리 전력 변환/저장/보상 회로.

그림 5.1은 Dual 배터리 전력 변환/저장/보상 회로의 Dual 배터리의 용량을 늘리기 위해 Dual 배터리를 출력단에 연결하는 것이 아닌, 주배터리의 위에 올리는 기법을 적용한 회로도이다. 이 방안을 통하여 10F/2.7V

Super cap. 9개 직렬 연결한다. 이는 Super cap. 개수 7개 감소와 Dual 배터리가 1.1F으로 상승이 가능하여 모터 기동 시 순간 큰 전류를 장시간 공급이 가능해질 것으로 기대된다.



참 고 문 헌

- [1] Geoffrey Rose, “E-bikes and urban transportation : emerging issues and unresolved questions:”, Springer Science+Business Media, LLC, 2011, March, 2011
- [2] Jonathan weinert, Chaktan Ma, Christopher Cherry, “The transition to elctric bikes in china : history and key reasons for rapid growth” , Journal of Transportation, vol 34, Issue 3, pp 301-318, May. 2007.
- [3] T. C. Jeong, C. S. Jin, S. J. Kim, J. H. Han, J. Lee “A study on High Performance through Improvement of PWM Commutation method for E-bike BLDC motor” The Korean Institute of Electrical Engineers, Nov. 2012. pp 71-73.
- [4] C. C. Hua, M. Y. Lin. “A Study of Charging Control of Lead-Acid Battery for Electric Vehicles” IEEE Trans. Industrial Electron, vol. 1, pp. 135-140, 2000
- [5] Gang Ning, Bala Haran, Branko N. Popov, “Capacity fade study of lithium-ion batteries cycled at high discharge rates“, Journal of Power Sources 117, 2003, pp 160-169.
- [6] Y. M. Lee, B. S. Kim, C. W. Roh. “Boosting two-way about battery

- charge and discharge circuit” Power Electronics Annual Conference, Jul. 2014, pp. 423-424
- [7] S.S. Park, J. H. Kim, K. B. Lee, “Performance Improve of Transient State in CC-CV Mode Change for PV Battery Chargers” Power Electronics Annual Conference, Jul. 2013. pp 206-207.
- [8] C. Sreekumar, V. Agarwl. “A Hybrid Control Algorithm for Voltage Regulation in DC-DC Boost Converter” IEEE Trans. Power Electron. Vol. 55, No. 6, June. 2008. pp. 2530-2538.
- [9] Donghwa Shin, Younghyun Kim, Jaeam Seo, and Naehyuck Chang, “Battery-Supercapacitor Hybrid System for High-Rate Pulsed Load Application“, Automation & Test in Europe Conference & Exhibition, March, 2011, pp14-18
- [10] R.A. Dougal, Senior Member, IEEE, Shengyi Liu, Member, IEEE, and Ralph E.White, “Power and Life Extension of Battery-Ultracapacitor Hybrids“, IEEE Transactions on components and packaging technologies, VOL 25, NO.1, Mar 2002. pp 120-131
- [11] Curtis F. Gerald, Applied Numerical Analysis: Second Edition, Addison-Wesley Publishing Company, Inc. pp.

Abstract

Dual Battery Power Conversion/Storage/Compensation Circuit with Integrated Charging Function and It's E-bike's Application

By Da-som, Kim

Department of Electronics Engineering,

Graduate School, Kookmin University,

Seoul, Korea



In the conventional E-bike, 36V/10A Li-ion battery drive 24V/10A BLDC motor via the 6 switches PWM DC/AC inverter. To charge the battery, an external battery charger(Adapter) is required, which degrades the portability of E-bike user. Most of all, high voltage battery(36V) requires a complex battery management system(BMS), which degrades reliability of the battery pack. Also momentary large current is necessary from Li-ion battery when starting the motor. The Li-ion battery can be supplied with large current at the moment, but if it is

used repeatedly for a long time, the capacity of the battery cell eventually decreases.

In this paper, Dual Battery Power Conversion/Storage/Compensation Circuit with Integrated Charging Function and Its E-bike Application is proposed. This circuit can charge and discharge Li-ion battery in one transformer on One-board. Therefore, E-bike user does not need to carry an External Adapter by integration battery charging and discharging circuit. Dual battery Power Conversion/Storage/Compensation Circuit is composed of 12V Li-ion battery, Boost converter and Dual battery for battery discharging. The number of Li-ion battery cells can be reduced by employing a boost converter for motor drive. In addition, a large instantaneous current can be assisted by the dual battery while the main battery current is constantly limited while the motor is started. Therefore, it is not necessary to set the discharging current of the battery to be high, and it is possible to prevent the capacity of the battery cell from decreasing when the battery is repeatedly used for a long time.

Finally, Simulation and experimental results for a prototype are presented to verify the proposed circuit. The prototype shows the operation, validity and features of proposed circuit.

Appendix. i 제안 E-bike 응용을 위한 충전 기능 통합형 Dual 배터리 전 력 변환/저장/보상 회로

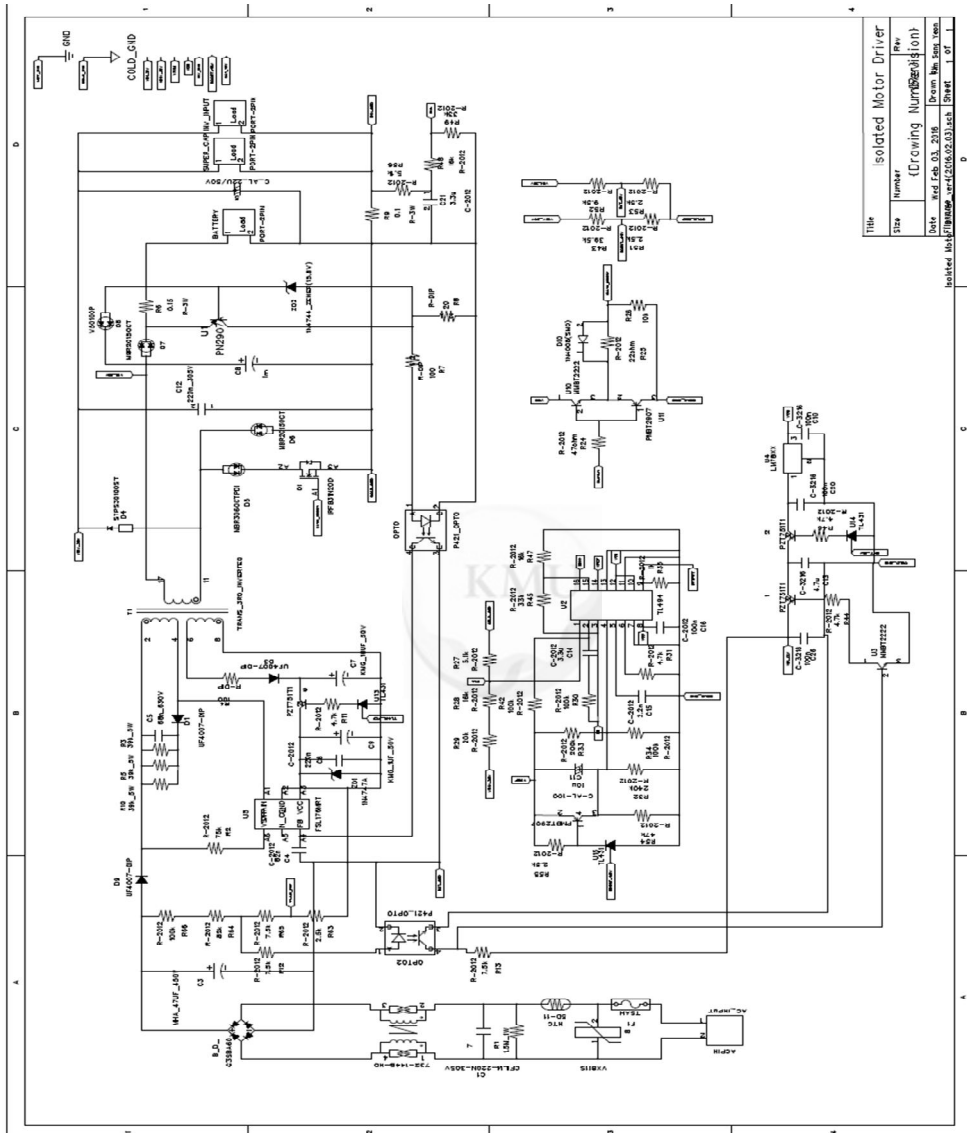


그림 A, E-bike 응용을 위한 충전 기능 통합형 Dual 배터리 전력
변환/저장/보상 회로도