

다기능 인버터의 손실저감을 위한 Buck-Type 충전기법

논 문
60-8-11

Buck-Type Charging Method for Loss Reduction of Multi-Function Inverter

김 동 희* · 우 동 균** · 이 병 국†
(Dong-Hee Kim · Dong-Gyun Woo · Byoung-Kuk Lee)

Abstract - This paper proposes buck-type charging method using motor inductance, 3-phase inverter and bi-directional converter without an additional charger in plug-in hybrid electric vehicles. The proposed system has advantages over the conventional system such as high charging efficiency, high power factor, and low total harmonic distortion. The validity of each methods are verified by theoretical analysis and simulation.

Key Words : Integrated battery charger, Multi-function inverter, Buck-PFC, Battery charging algorithm, PHEVs

1. 서 론

전 세계의 에너지 사용량이 급증함에 따라 2030년에는 2005년 대비 약 40%이상으로 증가될 것으로 예상되며, 이중 20% 이상이 수송 분야에서 소모될 것으로 예상된다 [1]. 이에 따라 온실 가스 감소 및 화석 에너지 고갈을 늦추기 위해 수송 차량의 연비 향상 및 온실 가스 배출 규제가 생성·강화되고 있는 실정이다. 이에 따라 세계 각국에서는 하이브리드 자동차 (Hybrid Electric Vehicles, HEVs), 플러그인 하이브리드 자동차(Plug-in Hybrid Electric Vehicles, PHEVs) 및 전기차 (Electric Vehicles, EVs)의 연구 및 보급이 활발히 진행되고 있다 [2], [3]. 이 중 PHEVs는 HEVs에 비해 차량 내부의 배터리 용량을 증대 시켜 순수 전기차 모드 (All Electric Range, AER)을 증대시킨 형태로, 배터리의 용량 증대에 따라 차량 내부의 발전기 및 모터의 회생 에너지만으로는 배터리를 완전히 충전할 수 없기 때문에 외부의 전원으로부터 전력을 공급받아 배터리를 충전하게 된다. 이때 배터리를 충전하는 충전기는 PHEVs 기술 중 핵심 기술로써 차량 내부에 추가적으로 탑재되어 충전하는 형태 (On-Board Charger, OBC)와 차량 구동모터의 중성점을 연결하여 인덕터로 활용하고 모터 구동용 인버터를 역방향으로 이용하여 배터리를 충전하는 방법 (Integrated Battery Charger, 다기능 인버터)으로 연구되었다 [4-7]. 이 중 추가적인 충전기가 없는 형태는 연구된 충전 방법들은 인버터를 Boost PFC 형태로 이용하여 교류전압을 직류전압으로 변환

하고 이를 다시 양방향 DC-DC 컨버터를 이용하여 배터리를 충전하는 형태로, 이에 따라 차량 내부에 추가 공간이 확보되며, 차량의 무게 및 단가를 줄일 수 있는 장점을 가지고 있어, 이에 따라 무게 감소로 인해 AER을 증가할 수 있는 효과를 가지게 된다. 하지만 기존에 제안된 다기능 인버터의 충전 방식은 충전 구조를 2-Stage로 제어하기 때문에 충전 효율이 떨어지며 모터의 인덕턴스를 부스트 인덕터로 사용하기 때문에 인덕턴스가 작을 경우 높은 수준의 충전을 기대하기 힘들다.

따라서 본 논문에서는 종래에 제안된 구동 모터 및 인버터를 이용한 충전 구조 중 2개의 모터와 구동용 인버터를 가진 구조에서 배터리 충전전압이 입력 전압보다 작을 경우 인버터를 다이오드 정류기로 이용하고 Buck PFC 형태로 배터리를 충전하여 전체 충전 구조를 1-Stage로 구성하여 충전할 수 있는 시스템을 제안하였다. 제안한 충전 시스템을 배터리 충전전압에 따라 각각의 충전 성능을 분석하여 기존의 충전 알고리즘과 비교, 분석하여 충전 시스템에 따른 장단점을 제시하였고, 제안한 충전기법과 기존의 충전기법을 조합하여 배터리 충전에 사용하여 향상된 충전 특성을 확인한다.

2. 다기능 인버터 배터리 충전기법

2.1 기존 충전기법

기존의 다기능 인버터의 충전 구조는 그림 1과 같이 구성 되어 동작한다. 두 개의 인버터는 추가적인 다이오드 정류기가 없는 AC-DC Bridgeless Boost PFC 동작을 위해 인버터의 스위치의 윗단은 항상 오프되어 다이오드로 동작하고 계통전압이 양인 구간에서는 위의 인버터의 아랫단 스위치가 동작하고 계통전압이 음인 구간에서는 아래 인버터의 아랫단 스위치가 동작하여 PFC 동작을 수행하여 DC-Link 전압을 유지한다. 양방향 DC-DC 컨버터 Buck Converter 역할을 하여 배터리를 충전한다.

* 정 회 원 : 성균관대학교 정보통신공학부 전자전기컴퓨터공학과 박사과정

** 준 회 원 : 성균관대학교 정보통신공학부 전자전기컴퓨터공학과 석사과정

† 교신저자, 시니어회원 : 성균관대학교 정보통신공학부 부교수
E-mail : bkleeskk@skku.edu

접수일자 : 2011년 5월 12일

최종완료 : 2011년 7월 13일

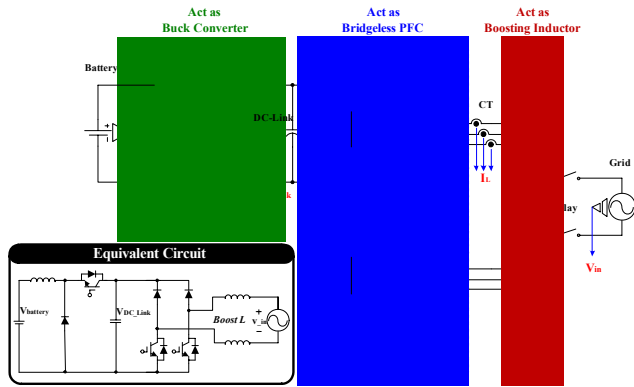


그림 1 기존 다기능 인버터의 충전 구조
 Fig. 1 Charging configuration of conventional multi-function inverter

기존의 충전 기법의 PFC 동작은 입력전류의 리플을 줄이기 위해 모터의 인덕턴스가 다음과 같은 수식 이상의 값을 만족해야 한다. 이때 모터의 인덕턴스가 직렬로 연결된 형태를 나타내기 때문에 분모에 2를 곱하였다.

$$L_{min} = \frac{\sqrt{2} \times V_{in} \times D}{2f_{sw} \times I_{o,min}} \quad (1)$$

따라서 이미 결정된 모터의 인덕턴스가 충전 시스템에 따라 Discontinuous Conduction Mode (DCM)으로 동작하는 상황이 발생 할 수 있고, 이에 따라 Continuous Conduction Mode (CCM)보다 역률 (Power Factor, PF) 및 전고조파왜율 (Total Harmonic Distortion, THD)의 성능과 시스템 효율이 저감 될 수 있으며 전체 시스템은 AC-DC-DC로 2-Stage 구조로 동작을 수행하게 된다. 이에 따라 CCM으로 제어하게 되면 충전 시스템의 PF, THD 및 충전전압의 DC-Regulation 성능은 우수하나, 전체 충전 효율은 1-Stage 구조의 효율 보다 상대적으로 낮고 모터의 인덕턴스가 작게 되면 높은 성능의 PFC 동작을 할 수 없는 단점을 갖는다.

2.2 제안한 Buck-Type 충전기법

기존의 충전기법보다 충전 효율 부분을 증대하기 위해 본 논문에서는 1-Stage로 시스템을 구성하여 그림 2와 같이 시스템을 구성하였다. Boost PFC로 동작하는 인버터를 다이오드 정류기로 이용하여 AC 전압을 DC 로 정류하고 정류된 전압을 이용하여 양방향 DC-DC 컨버터에서 출력 배터리 충전전압 제어 및 입력전류 제어를 하는 PFC 동작을 수행한다. 이때 PFC 동작을 위해 DC-Link 캐패시터는 작은 용량을 사용해야 하므로 Relay의 동작을 통해 작은 용량의 캐패시터로 절체하는 구조로 구성하였다.

PHEVs는 배터리 용량이 Electric Vehicles (EVs) 보다 작기 때문에 All Electric Range (AER)가 상대적으로 낮다. 이에 따라 배터리의 공칭 전압도 EVs 보다 상대적으로 낮게 된다. 따라서 계통 전압이 220Vrms 인 경우, 배터리 충전 전압은 이보다 항상 낮은 상태로 충전이 가능하다.

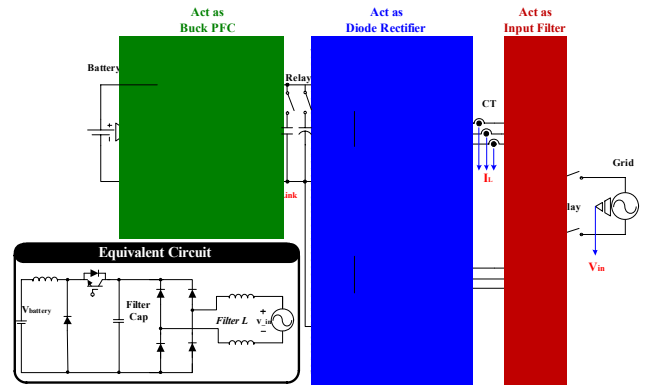


그림 2 제안한 다기능 인버터의 충전 구조
 Fig. 2 Charging configuration of proposed multi-function inverter

1-Stage로 Buck-Type 충전 구조를 가져가게 되면 충전전압의 DC-Regulation 및 THD의 성능이 저감되는 단점을 가지고 있다. 하지만 충전 시스템은 출력이 배터리이기 때문에 출력 쪽에 큰 캐패시터가 있는 구조가 되므로 출력 전압 Regulation은 만족 된다. THD 경우에는 Buck-PFC가 본질적으로 높은 값을 갖게 되므로 좋지 않은 영향을 미치지만, 충전효율이 높고 입력측의 모터 인덕턴스가 필터로 동작하기 때문에 EMI 필터 사이즈를 줄일 수 있는 장점을 가지고 있기 때문에 Trade-Off를 할 수 있다.

2.3 제안한 충전기법 분석 및 제어

그림 3은 제안한 충전기법의 구간별 전력 흐름을 나타낸다. 2개의 구동용 인버터는 각각 다이오드 정류기의 한 압이 되어 등가화 되고 양방향 컨버터는 벡 컨버터로 등가화 되어 표현 할 수 있다. 이에 따라 인버터에는 스위치의 구동신호를 인가하지 않고, 양방향 컨버터에도 다이오드 역할을 하는 스위치에는 게이팅 신호를 인가할 필요가 없어 제어가 간단해진다. 이에 따라 충전 단계는 1-Stage 구조를 가지고, 인버터를 다이오드 정류기로 사용하기 때문에 도통 손실만 발생한다. 이에 따라 기존의 구조에서 발생하는 각각의 인버터의 아랫단 스위치의 스위칭 손실은 발생하지 않

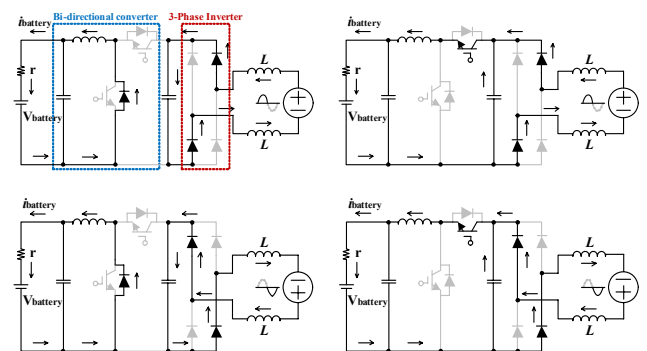


그림 3 제안한 충전 시스템의 구간별 전력 흐름
 Fig. 3 Power flow of proposed charging system

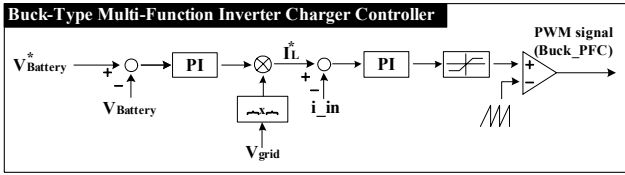


그림 4 제안한 시스템의 충전 알고리즘
 Fig. 4 Charging algorithm of proposed system

고 인버터의 윗단 스위치의 바디 다이오드의 스위칭 손실 또한 발생하지 않는다. 따라서 인버터에서는 60Hz 전압 정류시에 발생하는 역회복 손실 및 도통 손실만 발생하게 된다. 스위치 및 다이오드의 스위칭 손실은 각각 수식 (2)와 (3)과 같이 계산된다.

$$P_{sw} = (E_{on} + E_{off}) \times f_{sw} \quad (2)$$

$$P_{trr} = \frac{V_R \times I_{RRM}}{2} \times t_{rr} \times f_{sw} \quad (3)$$

HEVs 및 PHEVs는 높은 전류 정격을 가지는 IGBT 소자를 사용하므로 상대적으로 낮은 정격의 스위치보다 큰 E_{on} , E_{off} 및 t_{rr} 을 가지기 때문에 일반적인 On-Board 충전기보다 더 큰 손실이 발생한다.

그림 4는 제안한 시스템의 충전 알고리즘으로 배터리 충전 전압 지령치와 현재 배터리 전압과의 비교를 통해 PI제어기를 통해 직류 전류 지령치를 만들게 되고 실제 계통 전압 정보를 읽어 크기 1의 절대값으로 만들어 입력전류 지령치를 만든 뒤 다시 PI 제어기를 거쳐 반송파와의 비교를 통해 PWM 신호를 만든다. 이러한 제어기를 사용할 경우 IL의 전류를 사인파로 제어하기 때문에 인덕터에 흐르는 전류에는 교류성분이 인가 되지만 Buck 컨버터 구조 상 출력이 저역 통과 필터이며 교류 전류 성분이 캐패시터에 인가되어 전압 맥동이 커지지만 부하가 캐패시턴스가 큰 형태인 배터리이기 때문에 문제되지 않을 것으로 고려된다.

2.4 기존 충전기법 + 제안한 충전기법 분석

그림 5는 Buck-PFC 동작을 할 때 교류 입력전압의 크기와 출력 전압에 따른 입력 전류가 흐를 수 있는 구간을 나타낸 그림이며 전류 도통 구간은 다음과 같다.

$$\pi - 2\theta (\theta = \arcsin(V_{out}/V_{in})) \quad (4)$$

이는 출력전압이 입력전압보다 크게 되면 Buck-PFC 구조 상 입력 전류는 흐를 수 없기 때문에 일정 이상의 배터리 전압에서는 높은 성능의 PF 및 THD를 기대하기 힘들어 나타내며 배터리 전압이 낮을 경우에는 입력 전류 도통 구간이 넓어지기 때문에 상대적으로 높은 충전 성능을 기대할 수 있다 [8].

기존의 충전 기법은 모터 구동용 인버터가 Bridgeless PFC 형태로 구동되기 때문에 입력 전류가 입력전압 및 출력 전압에 관계없이 흐를 수 있다. 따라서 기존의 충전 기법 및 제안한 충전 기법을 충전 시스템에 하나만 적용하는

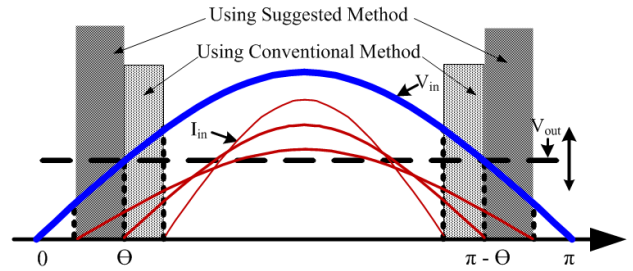


그림 5 제안한 충전기법의 출력 전압 크기에 따른 입력 전류 도통 구간
 Fig. 5 Current conduction interval of proposed charging method according to output voltage magnitude

것이 아니라 배터리 충전전압마다 충전성능이 상대적으로 뛰어난 기법을 적용하여 충전 알고리즘을 구현 할 수 있다. 이에 대한 설명을 그림 5의 영역과 같이 표현할 수 있고 각각의 충전 기법을 사용하는 범위는 모터의 인덕턴스 크기에 따라 결정되며 각각의 충전기법을 선행 테스트를 통해, 배터리 충전 전압에 대해 각각의 충전 성능을 Table화 한 후 사용되는 충전 기법을 선택적으로 적용할 수 있다. 예를 들어 100 - 130V 충전 구간에서는 제안한 기법이 충전 성능이 우수하고 130 - 140V의 충전 구간에서는 기존의 방법이 유리할 경우 130V 지점에서 충전 구조를 변화시키고 충전 알고리즘을 변경하여 배터리를 충전할 수 있다. 배터리 충전 시스템의 경우 충전을 짧은 시간 동안 멈추어도 충전 성능에 영향을 주지 않기 때문에 제어 방식의 절체가 크게 문제 되지 않는다.

3. 시스템 성능 비교 분석

제안한 충전 시스템 및 기존의 충전 시스템을 비교 분석하기 위해 표 1과 같은 파라미터를 선정하였다. 시뮬레이션 플랫폼은 종래에 개발된 시뮬레이션도 수행할 수 있는 구조로 구성하였으며 모터는 SPMSM을 적용하였다. 이에 따라 각각의 모터의 인덕턴스는 3개의 인덕터를 이용하여 구성하였다. 적용한 제어 방법은 종래의 제어 알고리즘 인 제로 벡터제어 방식 및 인터리빙 제어 방식 중 각 인버터의 각

표 1 시스템 파라미터

Table 1 System parameters

Parameter	Value [Unit]
입력 계통 전압	220 [Vrms]
충전 정격	3.3 [kW]
스위칭 주파수	20 [kHz]
DC-Link 캐패시턴스	5 [uF]
컨버터 인덕턴스	0.8 [mH]
배터리 공칭 전압	100 - 150 [V]
모터 상 인덕턴스	0.3 / 0.6 [mH]
배터리 캐패시턴스	22000 [uF]
IGBT	IKW40N60H3 (600V 40A)
모터 종류	SPMSM

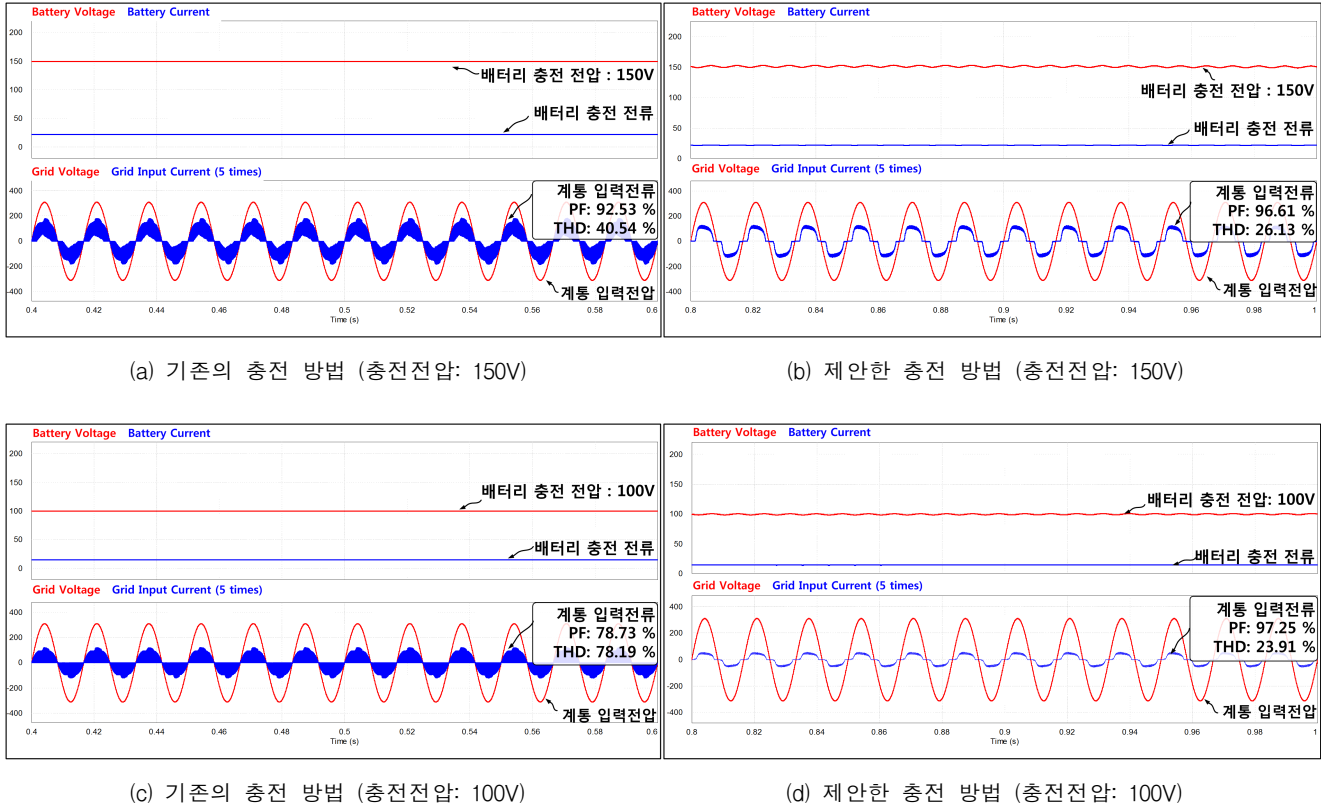


그림 6 충전 전압에 따른 시뮬레이션 결과
 Fig. 6 Simulation results according to charging voltage

암의 아랫단 스위치를 동시에 Turn-on/off 시킬 수 있는 제로 벡터 제어 방식을 적용하였다. 따라서 SPMSM의 경우에는 회전자의 위치에 따라 각상의 인덕턴스가 동일하기 때문에 모터의 각 상에 흐르는 전류를 동일하게 크기와 위상으로 만들기 때문에 모터에서 발생하는 토크가 0으로 만들 수 있다 [9],[10]. 시스템과 계통이 연결되는 지점에서 EMI 필터는 부착하지 않고 시뮬레이션을 수행하였다. 또한 종래의 충전 시스템과의 상대적인 효율 비교를 하기 위해 인버터에 사용된 IGBT는 Infineon社의 600V, 40A 정격의 IKW40N60H3로 선정하였고 Datasheet의 E_{on} , E_{off} 및 t_{rr} 정보를 참고 하였다. 시뮬레이션에서 수행한 전압 제어기의 PI 상수의 이득은 5 시상수는 0.01로 선정하였고, 전류 제어기의 PI 상수의 이득은 0.1 시상수도 0.1로 선정하여 시뮬레이션을 수행하였다.

3.1 기존 충전기법 및 제안한 충전기법 비교 분석

배터리의 공칭 전압에 따라 100V부터 150V까지 10V 단위로 시뮬레이션을 수행하였고, 기존의 충전기법과 PF, THD 및 효율을 비교 분석하였다. 그림 6은 기존의 충전 기법과 제안한 충전 기법의 시뮬레이션 결과 파형으로, (a) 와 (c)는 기존의 충전 시스템의 결과 파형이며, (b) 와 (d)는 제안한 충전 시스템의 결과 파형이다. 각각의 시뮬레이션은 배터리 충전 전압을 150V와 100V로 설정하였다.

기존의 충전 방법은 2-Stage 구조를 가지기 때문에 배터리 충전 전압 Regulation 성능이 우수하다. 하지만 모터의 인덕턴스가 CCM으로 Boost PFC 동작을 하기에는 충분하

크지 못하기 때문에 150V 충전 조건에서는 부분적인 DCM 구간이 발생한다. 이에 따라 입력 전류의 PF는 92.53%가 되며 THD는 40.54%의 결과가 나왔다. 100V 충전 조건에서는 충전 전류의 감소에 따라서 입력전류의 전 영역에서 DCM 구간이 발생하고 이때의 PF는 78.73%며 THD는 78.19%로 입력 측에 추가적인 필터 없이는 작은 인덕턴스를 가지는 모터 구조에서는 단독으로 사용할 수 없다.

제안한 충전 구조는 모터의 인덕턴스가 전체 충전 시스템 관점에서 필터 역할을 하기 때문에 Buck PFC의 기본적인 특징인 입력 전류가 불연속적인 현상을 제거 하는 장점을 가진다. 이에 따라 입력측에 작은 모터 인덕턴스를 가지고 도 계통 입력 전류의 리플이 기존의 방법보다 줄어든다. 충전

표 2 충전 방법에 따른 효율, PF 및 THD 비교 (모터 인덕턴스 = 0.3mH)

Table 2 Comparison of efficiency, PF, and THD according to charging method (motor inductance is 0.3mH)

충전 전압	효율 상승(%)		PF (%)		THD (%)	
	기존 방법	제안 방법	기존 방법	제안 방법	기존 방법	제안 방법
100V	0	0.76	78.73	97.25	78.19	23.91
110V	0	0.83	82.27	97.16	69.14	24.24
120V	0	0.91	85.51	97.05	60.70	24.61
130V	0	0.99	88.46	96.98	52.75	24.80
140V	0	1.06	90.75	96.90	46.86	25.12
150V	0	1.14	92.53	96.61	40.54	26.13

표 3 충전 방법에 따른 효율, PF 및 THD 비교 (모터 인덕턴스 0.6mH)

Table 3 Comparison of efficiency, PF, and THD according to charging method (motor inductance is 0.6mH)

충전 전압	기존 대비 효율 상승 (%)		PF (%)			THD (%)		
	제안 방법	기존+ 제안	기존 방법	제안 방법	기존+ 제안	기존 방법	제안 방법	기존+ 제안
100V	0.76	0.76	92.13	97.36	97.36	42.41	23.79	23.79
110V	0.83	0.83	94.27	97.26	97.26	35.52	23.72	23.72
120V	0.91	0.91	95.79	97.15	97.15	29.97	24.10	24.10
130V	0.99	0.99	96.86	97.03	97.03	25.57	24.53	24.53
140V	1.06	0	97.60	96.93	97.60	22.05	24.86	22.05
150V	1.14	0	98.14	96.62	98.14	19.23	25.89	19.23

전압이 150V 조건일 경우에는 Buck PFC 특성 상 출력 전압이 입력 전압보다 큰 구간이 상대적으로 많이 발생하므로 입력전원이 영점인 구간에서는 전류가 흐를 수 없다. 하지만 입력 측에 필터가 존재하기 때문에 PF는 96.61%, THD는 26.13%를 가진다. 100V 충전 조건일 경우에는 입력전원보다 출력전압이 큰 구간이 줄어들기 때문에 PF 및 THD는 향상되어 각각 97.26%, 23.91%를 가진다.

효율 측면은 식 (2)와 (3)을 바탕으로 기존의 토폴로지의 인버터에서 발생하는 손실을 IKW40N60H3을 적용하여 수식적으로 계산하였다. 기존의 충전 방식은 Boost PFC 동작을 수행하여 380V 정전압을 제어한다고 가정하였다. 이에 따라 발생하는 스위칭 손실은 각 스위치 하나에서 발생하는 손실은 4.53W이며 총 6개의 스위치에서 발생하는 총 스위칭 손실은 27.16W가 발생한다. 또한 하나의 다이오드에서 발생하는 손실은 1.73W의 손실이 발생하며 총 6개의 다이오드에서는 10.36W의 손실이 발생한다. 이에 따라 기존의 충전 방법을 사용하면 스위칭에 따라 총 37.52W의 손실이 발생한다. 이에 따라 3.3kW 충전기의 경우 최대 1.14% 충전 손실이 발생한다. 충전 전압을 100V에서 10V씩 증가 시켜 각각의 충전 방법의 성능 비교를 수행하였고 이는 표 2에 이를 작성하였다.

표 2의 결과는 기존의 방법의 경우에는 충전 전압이 낮아질수록 경부하가 되므로 입력 전류는 DCM 구간이 생기게 되면서 PF 및 THD가 악화되며, 입력 전류가 작아지기 때문에 효율의 저감은 줄어들게 된다. 제안한 충전기법의 경우에는 충전 전압이 낮아질수록 출력 전압이 입력전압보다 작아지는 구간이 증가하기 때문에 PF 및 THD가 전반적으로 좋아지는 결과가 발생한다. 또한 인버터에는 스위칭을 하지 않기 때문에 스위칭 손실이 발생하지 않으므로 기존의 충전 방법보다 높은 효율의 충전 시스템을 구현할 수 있다. 표 2의 결과는 모든 영역에서 제안한 방법이 우수하기 때문에 각각의 충전기법을 따로 적용할 필요가 없다. 다음 절에서는 모터 인덕턴스가 좀 더 큰 경우에서 각각의 충전 기법에 따른 성능을 비교하여 각각의 충전 기법을 충전 전압에 따라 적용하겠다.

3.2 두 가지 충전 기법을 적용한 결과

본 절에서는 모터의 인덕턴스가 0.3mH에서 0.6mH로 변할 경우 각각의 충전기법을 분석하여 배터리 충전전압마다

우세한 충전 기법을 적용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 표 3은 기존의 충전 기법과 제안한 충전기법을 배터리 출력 전압에 따라 유리한 기법을 각각 적용한 결과로 배터리 전압이 낮은 100 ~ 130V 구간에서는 제안한 충전 기법을 적용하여 충전효율, PF 및 THD를 성능을 향상 시킬 수 있고, 배터리 전압이 높아지는 구간인 140 ~ 150V 구간에서는 기존의 충전 기법을 적용하여 충전 효율은 향상 시키지 못했지만, PF 및 THD의 성능을 향상 시킬 수 있다. 이에 따라 모터의 인덕턴스가 Boost PFC 동작을 하기에 작을 경우에는 제안한 충전 기법을 사용할 수 있으며, 모터 인덕턴스의 크기가 기존의 충전기법 및 제안한 충전기법을 배터리 전압에 맞게 적용할 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 기존에 제안되었던 모터의 인덕턴스와 인버터를 이용한 배터리 충전 토폴로지에서 Buck PFC Type의 충전기법을 적용하여 기존의 충전 방법과 비교 분석하였다. 제안한 충전 방법은 모터의 인덕턴스가 입력 필터 역할을 하기 때문에 인덕턴스가 작아도 기존 충전기법과는 다르게 입력 전류 리플이 커지지 않는 장점을 가지고 있으며, 이 경우에 효율, PF 및 THD 등 모든 면에서 우수한 결과를 얻었다. 모터의 인덕턴스가 작지 않을 경우에는 각각의 충전 기법을 배터리 전압에 따라 적용하여 향상된 충전 성능을 확인하였다. 이에 따라 모터의 인덕턴스가 작은 다기능 인버터에는 제안한 충전기법을 독립으로 사용하고 그렇지 않은 경우에는 각각의 충전 기법을 병렬로 적용하여 기존의 충전기법만으로는 달성하지 못하는 충전 성능을 달성할 수 있을 것으로 예상된다.

참 고 문 헌

[1] ExxonMobil Corporation, "Outlook for Energy: A View to 2030," [Online]. Available: <http://www.exxonmobil.com/energyoutlook>.
 [2] J. S. Kim, G. Y. Choe, H. M. Jung, B. K. Lee, Y. J. Cho, and K. B. Han, "Design and implementation of a high-efficiency on-board battery charger for electric vehicles with frequency control strategy," *IEEE Vehicular Power and Propulsion Conference*

(VPPC 2010), Sep. 1-3, 2010.

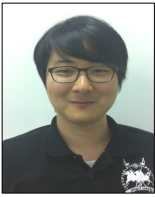
- [3] 홍정표, 허진, “차세대 자동차용 전동구동 시스템 개발 동향,” *대한전기학회, 전기의세계*, Vol. 59, No. 9, pp. 20-29, Sep. 2010.
- [4] 김종수, 최규영, 정혜만, 이병국, 조영진, “전기자동차용 3.3kW 탑재형 배터리 충전기 설계 및 제작,” *전력전자학회 논문지*, Vol. 15, No. 2, pp. 369-375, 2010.
- [5] L. Solero, “Nonconventional on-board charger for electric vehicle propulsion batteries,” *IEEE Trans. Veh. Tech.*, Vol.50, No. 1, pp. 144-149, Jan. 2001.
- [6] L. Tang and G. J. Su, “A low-cost, digitally-controlled charger for plug-in hybrid electric vehicles,” *IEEE ECCE, Conf.*, pp.3923-3929, Sept. 2009.
- [7] S.-K. Sul and S.-J. Lee, “An integral battery charger for four-wheel drive electric vehicle,” *IEEE Trans. Ind. Appl.*, Vol. 31, No. 5, pp. 1096-1099, Sep./Oct. 1995.
- [8] Laszlo Huber, Liu Gang, Milan M. Jovanovic “Design-oriented analysis and performance evaluation of buck PFC front end,” *IEEE Trans. on power electronics*, Vol. 25, No. 1, pp. 85-94, Jan. 2010.
- [9] 우동균, 최규영, 김종수, 이병국, 강구배, “인버터 및 모터 인덕턴스를 이용한 PHEV 배터리 충전 기법,” *전력전자학회 추계학술대회*, pp. 335-336, 2010.
- [10] 우동균, 최규영, 이병국, “IPM모터를 이용한 PHEV 충전 기법 문제점 분석,” *대한전기학회 춘계학술대회*, pp. 283-285, 2011.



이 병 국 (李 秉 國)

1968년생. 1994년 한양대학교 전기공학과 졸업. 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업 (석사). 2001년 Texas A&M University 전기공학과 졸업 (공학박). 2002년 1월 -2003년 1월 Postdoctoral Research Associate, Texas A&M University. 2003년4월 ~ 2005년 9월 한국전기연구원 산업전기연구단 전력전자그룹 선임연구원 (팀장). 2006년 3월 ~ 현재 정보통신공학부 부교수. 2004년 ~ 현재 IEEE Senior Member. 2007년 ~ 현재 Associate Editor, IEEE Industrial Electronics Society (IES), 2009년 ~ 현재 KIEE Senior Member, 현재 당 학회 영문지 간사, 전기역사전문위원회 간사, B부문 총무이사.
Tel : 031-299-4581
E-mail : bkleeskku@skku.edu

저 자 소 개



김 동 희 (金 東 熙)

1984년 5월 27일생. 2009년 성균관대학교 전자전기공학과 졸업 (학사). 2011년 동 대학원 태양광시스템협동과정 졸업(석사). 2011년 ~ 현재 동대학원 전기전자컴퓨터공학과 박사과정.
Tel : 031-299-4638
E-mail : mashia@skku.edu



우 동 균 (禹 東 均)

1984년 7월 29일생. 2009년 성균관대 전자전기공학과 졸업 (학사). 2009년~현재 동 대학원 전자전기컴퓨터공학과 석사과정.
Tel : 031-299-4964
E-mail : ilf0404@skku.edu