

미래병사체계를 위한 휴대형 연료전지 기술개발 동향 및 발전방안

이유화
국방기술품질원

R&D Trends and Technology Development Plan on Portable Fuel Cell for Future Soldier System

Yu Hwa Lee
Defense Agency for Technology and Quality

요약 병사용 휴대형 전원은 전투원의 작전 수행 능력을 해치지 않는 범위의 휴대 하중을 지닐 수 있고 동시에 전투장비의 소비전력에 대응하는 전기에너지를 공급할 수 있어야 한다. 특히 미래병사체계의 경우 전투장비의 고성능화에 따라 장비의 총 요구전력이 증가하고 있으므로 경량 고효율 특성을 가지는 휴대형 전원 개발이 필수적이다. 연료전지는 군용 전원으로 주로 적용되던 종래의 리튬 전지에 비해 중량 대비 에너지밀도가 높아 경량 소형화가 가능하여 휴대형 전원 시스템으로 활발한 연구개발이 진행되고 있다. 본 논문에서는 휴대형 전원으로 적용되는 연료전지의 특성을 살펴보고, 국내·외 군용 휴대형 연료전지 개발 현황을 조사한 후, 국외 선진 기술국의 개발 수준 대비 국내 기술 현황에 대해 분석한다. 또한, 미래병사체계용 전원으로서의 적용을 위한 휴대형 연료전지 개발 시 고려해야 할 주요 요소를 전력 공급 안정성, 휴대용이성, 비용 절감 세 가지로 분류하고, 이와 관련된 기술을 중심으로 발전방안을 제시하여 향후 연료전지 기반 개인병사체계용 휴대형 전원 기술 발전방안 수립 시 활용할 수 있도록 한다.

Abstract A portable power supply system for soldiers must be able to supply electric energy corresponding to the power consumption of combat support troops, and have a carrying load in a range that does not impair the combatant's ability to execute operations. In particular, as the total required power of combat equipment increases with the advances in the future soldier system, a portable, lightweight power supply system with high efficiency is essential. A fuel cell has a high energy-to-weight density compared to lithium batteries, which are used mainly as a military power source system. Therefore, it is capable of miniaturization and lightweight, making active R&D to a portable power supply system. In this paper, the characteristics of the fuel cell applied as a portable power supply system, and the R&D trends of domestic and foreign military portable fuel cell systems were investigated. The current status of domestic technology compared to the level of foreign development was analyzed. In addition, future technology development plans are presented based on the consideration factors when developing a portable fuel cell (power supply stability, portability, and cost reduction) so that it can be used when establishing a plan on the development of a portable fuel cell system for the future soldier system.

Keywords : Fuel Cell, Military Portable Fuel Cell System, Direct Methanol Fuel Cell, R&D Trends, Technology Development Trends

*Corresponding Author : Yu Hwa Lee(Defense Agency for Technology and Quality)

email: yhlee@dtaq.re.kr

Received May 6, 2020

Accepted June 5, 2020

Revised May 28, 2020

Published June 30, 2020

1. 서론

미래 전장은 과학기술의 발전에 따라 재래식 전쟁과 첨단전쟁이 복합적으로 병행되어 다차원 영역에서의 동시 통합전투 형상을 나타내는 것으로 표현된다. 특히, 감시정찰, 지휘통제, 화력체계 등의 무기체계를 하나의 네트워크로 연결함으로써 실시간 전략 및 전술 정보를 공유하는 네트워크 중심전(Network Centric Warfare, NCW) 개념이 강조되고 있다.

미래 전장 환경에서는 병사 또한 하나의 체계로 고려한다. 즉, 전투원 개인 화기, 피복, 휴대품 등에 첨단기술을 적용하여 임무수행 능력을 극대화하고, 소부대 전술 네트워크와 연동하여 미래 NCW 환경 하에서 감시정찰 및 정밀타격 능력을 구축함으로써 전투원을 단위 무기체계화 하는 것이다[1,2].

한국군의 미래병사체계(이하 개인전투체계)는 화기, 지휘정보통신 장비, 생존/보호 장비로 구성되며[3], 운용 개념은 Fig. 1과 같다. 주야간 감시, 통신 등이 가능한 다기능 통합 헬멧, 고성능 개인화기, 화생방 보호 및 방탄위장, 생체신호 모니터링이 가능한 전투복, 임무수행 능력을 향상하기 위한 외골격 근력증강체계 등을 병사 개인이 착용하여 임무 수행에 필요한 구성장비와 탑재기술의 직접 운용을 목표로 한다.



Fig. 1. Conceptual Diagram for Future Soldier System[2]

이와 같은 미래 전투현장에서의 개인 휴대장비 고성능화 요구는 장비의 총 소비전력량 증가가 불가피함을 의미하며, 고효율 고에너지 휴대형 전원 개발 필요성으로 직결된다. 더불어, 미래병사의 전체 휴대 하중 및 휴대 용이성을 고려하여 경량 소형 전원체계의 개발이 요구된다. 본 논문에서는 현재 군용 전원으로 적용되고 있는 전

지 중 중량 대비 고효율의 에너지를 가지고 있어 개인전투 체계에 활용 가능성이 높은 연료전지 현황 및 국내·외 주요 군용 휴대형 연료전지 개발 현황에 대해 알아본다. 또한, 전력 공급의 안정성, 휴대 용이성, 저비용 고효율 등 휴대형 연료전지 개발 시 고려해야 할 핵심 요소 분석에 따른 개인전투체계 적용을 위한 연료전지의 향후 발전 방안을 제시한다.

2. 군용 휴대형 전원 현황

2.1 개요

휴대형 전원 공급 장치는 저장된 에너지로 전력을 공급하는 에너지 저장장치와 다른 형태의 에너지를 전기에너지로 변환하여 전력을 제공하는 에너지 변환장치로 구분할 수 있다. 에너지 저장장치로는 1, 2차 전지가 대표적이며, 에너지 변환장치로는 연료전지, 태양전지 등이 있다.

종래의 군용 전원에는 1, 2차 전지가 주로 사용되었으나, 근래에는 연료 재충전이 가능하며 저소음, 고효율 특성을 가지는 연료전지 또한 군용으로 사용되고 있다. 특히 휴대형 전원의 경우, 전원의 휴대 하중 감소를 위한 목적으로 중량 대비 에너지 밀도가 높은 연료전지가 적용되고 있다.

개인전투체계에서 휴대 하중의 증가는 병사의 기동성 및 임무지속성을 감소시키므로 병사가 휴대할 수 있는 전체 장비(전원 공급 장치 포함)의 중량은 제한적이다. 특히 작전기간이 길어질수록 임무장비의 전력소요량도 비례하여 증가하여 전지하중 증가가 불가피하므로 개인전투체계를 위한 경량 고에너지밀도 전원이 필요하다.

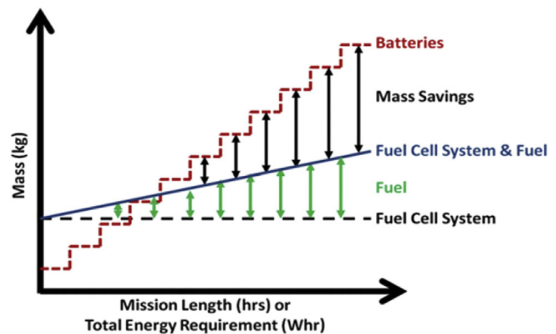


Fig. 2. Mass of Energy Storage and Conversion Materials as a Function of Mission Length, or Mission Energy Requirement[5]

Fig. 2에서 보듯이와 같이 연료전지의 기본 중량은 기존의 전지보다 높으나 작전기간 또는 총 전력소요량이 증가할수록 중량 이점을 가진다. 또한, 연료전지는 기존의 리튬 2차 전지에 비해 5~6배가량 높은 중량 대비 에너지밀도로 장시간 운용할 수 있으며[4], 경량 소형화가 가능하므로 휴대형 전원으로 활발한 연구개발이 진행되고 있다.

2.2 연료전지 개요 및 현황

연료전지는 연료의 화학에너지를 전기에너지로 직접 변환시키는 전지로서, 연료의 수소가 산소와 반응하여 전기를 생산하는 전기화학적 발전 장치이다. 이때 화학반응식은 Fig. 3과 같다.

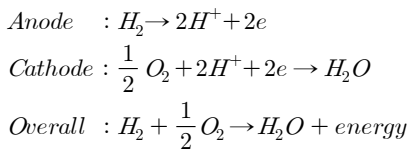


Fig. 3. Electrochemical Reactions of Fuel Cells

연료전지는 전해질의 종류에 따라 고분자 전해질 연료전지(PEMFC, Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell), 인산형 연료전지(PAFC, Phosphoric Acid Fuel Cell), 용융 탄산염 연료전지(MCFC, Molten Carbonate Fuel Cell), 고체 산화물 연료전지(SOFC, Solid Oxide Fuel Cell), 알칼리 연료전지(AFC, Alkaline Fuel Cell), 직접 메탄올 연료전지(DMFC, Direct Methanol Fuel Cell) 등으로 구분되며, 전해질 특성에 따라 작동온도 및 적용 가능 분야가 상이하다[6].

휴대형 연료전지는 수 W에서 수 kW 용량을 가지는 이동 가능한 연료전지로 DMFC와 일부 PEMFC가 대표적으로 적용되고 있다[7]. Table 1은 두 연료전지의 특성을 비교한 것이다.

DMFC는 저온형 연료전지로 메탄올의 직접 전기화학 반응으로 발전하여 개질기가 불필요하고 시스템의 간소화가 가능하므로 휴대형 전지로의 적용성이 높다. PEMFC 또한 100 °C 이하의 비교적 낮은 온도에서 작동하며 높은 에너지밀도와 빠른 응답특성을 가지므로 휴대형으로 적합한 것으로 사료되고 있다.

Table 1. Characteristics Comparison of PEMFC and DMFC[8]

Parameter	DMFC	PEMFC
Operating Temp. (°C)	~ 200	~ 100
System Output (kW)	0.001 ~ 100	< 1 ~ 250
Electrical Efficiency (%)	40	53 ~ 58
Combines Heat and Power(CHP) Efficiency	80	70 ~ 90
Applications	Computers and Other Portable Devices	Backup Power, Portable Power, Transportation

3. 군용 휴대형 연료전지 개발 현황

3.1 국외 개발 현황

군용 휴대형 연료전지 연구개발은 현재 북미에서 가장 활발히 이루어지고 있다. 특히 미국은 이라크전 당시 휴대형 전원 공급 장치로 주로 사용하던 리튬 1차 전지의 수요가 급증하여 본토 전지 재고량의 95 %를 전투 현장으로 수송해야만 했던 사례를 통해 전지의 수명 연장 필요성 및 기존 전지를 보완, 대체 가능한 소형 경량 전지 기술개발 필요성이 대두되었으며[9], 대체 전원로서의 적용을 위한 연료전지 개발이 더욱 가속화되었다.

미 육군 전자통신 연구개발 엔지니어링 센터(CERDEC, Communications-Electronics Research, Development and Engineering Center)는 군사용 휴대형 연료전지 시스템을 병사 전원 (<500 W), 센서 전원 (0-100 W) 및 보조 전원 장치(APU) (0.5-10 kW) 분야로 세부적으로 분류하고 수소 저장기술 및 생성기술을 중점으로 연구개발 프로그램을 수행하고 있으며, 병사용의 경우, 1000 Wh/kg 이상의 에너지밀도로 최대 100 W의 출력을 내기위해 충분한 수소를 공급하는 것을 목표로 하고 있다[10].

현재 미 육군 병사용 휴대형 전원으로 개발된 연료전지로는 대표적으로 Fig. 4와 같이 UltraCell사의 XX25DMFC와 XX55가 있다. XX25DMFC의 연속출력과 최대출력은 각각 25 W와 53 W이며, 연료 카트리지를 제외한 중량이 3.0 kg으로 기존 군용 전지 중량 70 % 수준인 경량 전원이다[11]. XX55는 XX25DMFC 대비 성능이 개선된 메탄올 개질형 연료전지(RMFC, Reformed Methanol Fuel Cell)로 50 W의 연속출력과 80 W의 최대출력을 가지며, 중량은 3.0 kg으로 XX25DMFC와 동일하다[12]. XX25DMFC와 XX55는

임무에 따라 현장 재충전이 가능한 연료 카트리지를 선택하여 사용할 수 있으며, 에너지용량 440 Wh인 550 mL(0.62 kg) 연료 카트리지로 각각 18시간, 11시간 운용이 가능하다[11,12].

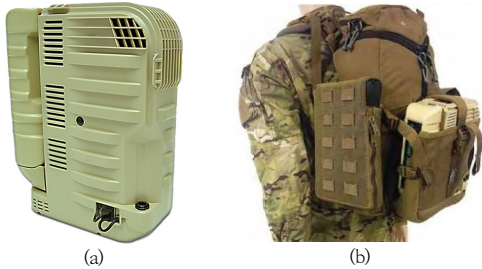


Fig. 4. (a) XX55(UltraCell) (b) Figuration of XX55 Equipped for Soldier System[12]

독일 SFC Energy사는 Fig. 5와 같이 군용 휴대형 DMFC인 Jenny 600S와 Jenny 1200을 개발하였다. Jenny 600S는 정격출력 25 W, 중량 1.7 kg이며, 하루에 600 Wh 충전이 가능하다. 350 Wh 에너지용량을 가지는 350 mL(약 0.37 kg) 메탄올 연료 카트리지를 사용시, 25 W급으로 14시간 운용할 수 있다. Jenny 1200은 정격출력 50 W로 Jenny 600S보다 2배 높은 출력을 가지며, 중량은 3.3 kg, 하루 충전가능 에너지용량은 1,200 Wh이다. 2.5 kWh 사양의 2.5 L(2.2 kg)의 순수 메탄올 연료카트리지로 50시간 운용이 가능하다[13].



Fig. 5. Jenny 1200 & Jenny 600S(SFC Energy)[13]

PEMFC를 병사용 휴대형 전원으로 적용한 예로는 싱가포르 HES(Horizon Energy Systems)사의 웨어러블 PFC(Personal Fuel Cell) Soldierpak 시스템이 있으며, Fig. 6과 같다. PFC Soldierpak은 연속출력 5 ~ 30 W, 최대출력 50 W로 설계되며, HES사 고유의 고체 연료 카트리지를 적용하여 운용하는 것으로 알려져 있다.[14].



Fig. 6. PFC Soldierpak(HES)[14]

현재까지는 미래 개인전투체계에 휴대형 연료전지를 적용하여 운용중인 예는 공개되지 않았다. 그러나 미국, 유럽 등 선진 기술국에서는 연료전지를 미래 개인전투체계용 전원으로 적용하기 위한 기술개발이 지속적으로 수행되고 있다. 그 예로 미 특수작전사령부(SOCOM)는 SOFIC 2017(Special Operations Forces Industry Conference)에서 향후 개인전투체계의 외곽력 근력증강체계 시제품에 연료전지 전력원 기술을 개발하여 적용할 것으로 발표한 바 있다. 또한, 프랑스는 현재 리튬 전지를 사용하고 있는 개인전투체계 FELIN의 통합전원으로 연료전지를 적용하기 위한 FELIN v2 개념 로드맵을 작성 중인 것으로 알려져 있다[2].

3.2 국내 개발 현황

국내에서 병사용 군용 휴대형 전원으로의 적용을 위해 개발된 연료전지로는 2009년 삼성 SDI와 삼성종합기술원에서 공개한 삼성 DMFC가 있으며, 형상은 Fig. 7과 같다[15]. 삼성 DMFC는 연속출력과 최대출력이 각각 25 W, 64 W, 중량은 1.79 kg으로 알려져 있으며, 군용 전원임을 고려하여 360° 전 방위 방향성을 가지도록 설계되었다. 연료는 순수 메탄올을 사용하며, 연료 카트리지 중량은 약 0.52 kg, 에너지용량은 600 Wh로 25 W급으로 24시간 운용이 가능하다. 또한, 미 육군 CERDEC를 통해 72시간 작전 운영을 위한 전지 성능 평가를 완료하였다[15].

한국에너지기술연구원(KIER)은 2009년 1월부터 2014년 12월까지 국방 차세대 군용전원 특화연구센터 사업(1,2단계)을 통해 저온 작동형 초경량 DMFC/배터리 파워팩을 개발하였다[16]. 개발된 파워팩은 DMFC와 2차 전지의 하이브리드 시스템으로 DMFC 시스템의 안정적인 동작을 위해 2차 전지를 시동 초기 전원 및 보조전원으로 활용하는 시스템이다. 정격출력과 최대출력은 각각 24 W와 30 W며, 중량은 약 1.18 kg을 달성하였다.



Fig. 7. Samsung DMFC(Samsung SDI)[15]

국내 개발 완료된 사례 외에도 군용 휴대형 전원 적용을 위한 기초연구 또한 활발히 수행되었다. 서강대학교는 2011년 국제공동기초연구 사업을 통해 휴대용 연료전지용 연료 및 산화제 공급 모듈을 개발했으며, 2017년에는 한양대학교에서 국제공동기초연구 사업으로 연료전지용 유/무기 복합체 전극소재를 개발하여 기존의 백금촉매에서 문제시되는 CO 피독현상 등을 해결 및 미래병사를 위한 전원 공급 장치에 적용하고자 하였다. 또한, 2019년 가천대학교는 미국 Auburn University와의 국제공동연구를 통해 전시장황에서 독자적인 전력 생산 또는 고립상황 등 위급 시 긴급 비상전원으로 활용을 위한 생체 요소(urea) 기반 연료전지를 개발하였다.

국내 주요 연구개발 현황에서 볼 수 있듯이 25 W급 삼성 DMFC 이후 병사용 휴대형 전원 적용을 위해 개발되어 국내 운용 중인 예는 없으나, 현재 휴대형 연료전지

적용 가능 기초 원천기술개발이 수행되고 있다. 또한, 미래 개인전투체계의 임무 지속성 제공을 위한 에너지원 기술개발의 일환으로 응용연구/시험개발 수준으로 연구개발이 진행 예정 중에 있다. 대표적인 예로 2021년부터 2023년까지 국방 핵심기술개발(시험개발) 사업으로 72시간 운용이 가능한 24 W급 개인전투체계용 초경량 파워팩 기술 개발이 있다.

4. 군용 휴대형 연료전지 발전 방안

4.1 군용 휴대형 연료전지 개발 시 고려요소

개인전투체계용 휴대형 전원 적용을 위한 연료전지 개발 및 발전방안 수립에 앞서 다음과 같은 사항을 고려할 필요가 있다.

우선, 전력 공급 안정성이다. 전원이 운용되는 환경조건을 충족함과 동시에 일정 시간동안 안정적으로 전력을 공급할 수 있는 연료전지의 개발이 필요하다. 이는 전지의 내구성 및 전투장비에서 요구되는 총 소비전력에 상응하는 충분한 출력을 가지는 연료전지 개발과도 관련이 있다. 다음은 휴대 용이성이다. 병사의 임무지속성 및 기동성을 보장할 수 있도록 개인전투체계 전체 하중을 고려한 전원 중량 설정 및 경량화 개발이 필요하며, 휴대 및 운용하기에 적합한 부피와 형상이어야 한다. 마지막으로 비용 경감이다. 장기적인 수요량을 고려하여 비용대 효과가 우수한 저비용 고효율 연료전지 개발을 위한 연구가 수행되어야 한다.

Table 2. Comparison of Major Military Portable Fuel Cells

	Foreign				Domestic	
	XX25DMFC	XX55	Jenny 600S	Jenny 1200	Samsung DMFC	DMFC/Battery Power Pack
Fuel Cell Type	DMFC	DMFC	DMFC	DMFC	DMFC	DMFC/Battery Hybrid
Nominal Power (W)	25	50	25	50	25	24
System Dry Weight (kg)	3.00	3.00	1.70	3.30	1.79	1.18
System Dimensions (inch)	10.7 × 8.1 × 3.9	10.7 × 8.1 × 3.9	7.2 × 2.9 × 9.9	8.4 × 3.8 × 10.4	9.2 × 4.8 × 3.0	8.3 × 3.9 × 7.1
Fuel Cartridge Weight (kg)	0.62	0.62	0.37	2.2	0.52	N/A
Run Time per Cartridge (hrs.)	~ 18	11	12 ~ 16	~ 50	24	N/A
Energy Density (Wh/kg) (72 hrs.)	321.2	419.6	562.6	649.4	530.0	720.0

*N/A: Not Available

4.2 군용 휴대형 연료전지 발전방안

개인전투체계를 구성하는 전체 장비의 요구 전력은 컴퓨터 15 W, GPS 15 W, 열상장비 6 W, Head-up 전시기 5 W 등 약 50 W에 달한다[17]. 앞서 살펴본 주요 국내·외 군용 휴대형 연료전지 현황을 정리한 Table 2에서 알 수 있듯이 미국 UltraCell사와 독일 SFC Energy사는 각각 50 W급 휴대형 DMFC인 XX55와 Jenny 1200을 개발완료 하였다. 이러한 추세에 맞춰 국내 또한 50 W급 연료전지 개발에 관한 연구가 필요하다. 그러나 국내 개발 휴대형 연료전지는 25 W급으로 국외 기술 수준에 비해 기술력이 부족한 것이 사실이다. 그러므로 앞서 살펴본 군용 휴대형 연료전지 개발 시 고려요소에 따라 발전방안 수립이 필요하며, 특히 휴대형으로 적용가능성이 높은 DMFC에 대한 기술개발이 우선시되어야 한다.

DMFC를 2차 전지 등 현 군용 전원을 대체하여 장기적으로 개인전투체계용 휴대형 전원으로 적용 운용하기 위해서는 현재 DMFC 시스템의 취약점 개선을 통한 성능 개선이 필요하다. DMFC의 가장 대표적인 문제점은 음극으로 공급된 메탄올 연료가 고분자 전해질막을 통해 양극으로 투과하는 크로스오버 현상이다. 메탄올의 크로스오버는 양극의 산소 환원반응을 방해하여 전기에너지 생산을 저해하고 전체 에너지 효율을 떨어뜨린다. 이는 전력 공급의 안정성 및 내구성과 직결되는 문제이므로 메탄올의 투과를 막을 수 있으면서도 이온전도도가 높은 전해질막의 개발이 필요하다. 전해질막에 도포하여 메탄올을 선택적으로 투과하지 못하도록 방어벽 역할을 할 수 있는 나노입자의 개발도 연구방안으로 고려해야 한다.

DMFC의 가격절감과 관련해서는 촉매 기술의 향상이 필수적이다. DMFC는 전기화학반응의 촉매로 귀금속인 백금을 적용하므로 비용측면에서 불리하다. 따라서 촉매의 성능 향상과 더불어 비용을 절감하기 위한 기술이 요구된다. 촉매 활성면적을 증가시켜 촉매의 사용량을 줄이면서도 성능을 향상시킬 수 있도록 백금 촉매의 구조 및 크기 제어기술 개발이 필요하다. 장기적인 관점에서는 백금을 대체하여 적용할 수 있도록 촉매 활성이 높은 고효율의 새로운 촉매에 대한 연구개발이 필요하다.

아울러 DMFC BOP 부품 관련 기술 또한 개발이 필요하다. BOP는 전기에너지를 생산하는 단위전지를 적층한 연료전지 스택(stack) 부분을 제외한 공기공급 부분, 전기화학반응 시 생성되는 열 및 물의 제거 및 회수 부분, 전력 변환 장치 등으로 연료전지 시스템의 안정적 운용뿐 아니라 스택과 비슷한 수준의 무게 및 부피를 차지

한다. 그러므로 전체 전원의 증량, 즉, 휴대 용이성에 영향요인으로 작용한다. 따라서 내구성이 높되 경량화 할 수 있는 BOP 부품의 개발도 필요할 것으로 사료된다.

종합해보면 메탄올 크로스오버 현상을 저하시킬 수 있는 전해질막과 백금 촉매의 고 활성 비용절감 기술개발 및 새로운 촉매의 개발, 연료전지 시스템을 안정적으로 운용하고 경량화하기 위한 BOP 관련 기술의 발전이 필요하다. 이러한 연료전지 핵심소재의 기술 발전은 미래 개인전투체계의 예상 요구 전력인 50 W를 만족하는 휴대형 연료전지 개발에 기여 가능할 것이다. 더불어 국외 선진 기술국의 50 W급 휴대형 연료전지와 유사 수준으로 기술을 발전함으로써 향후 개인전투체계용 휴대형 연료전지의 국산화 개발을 위한 기반 기술 확보 또한 가능할 것으로 전망된다.

5. 결론

미래 전장 환경에서 병사는 하나의 개인전투체계로 무기체계화되며, 작전을 수행하는 가장 기본적인 요소로서 그 역할을 수행한다. 이에 따라 개인 전투장비의 고성능화가 진행 중이며 장비의 총 요구전력 또한 증가하고 있다. 전원의 성능이 장비 소비전력에 못 미칠 경우 병사가 휴대해야 하는 전지의 수량 및 휴대 하중의 증가가 불가피하며, 이는 기동성 및 임무지속성의 감소 등 개인전투체계의 작전 수행 능력에 영향을 미치므로 증량 대비 에너지밀도가 높은 경량 고에너지밀도 휴대형 전원 개발의 중요성이 높아지고 있다.

본 논문에서는 기존 군용 전지에 비해 증량 대비 고에너지밀도로 미래 개인전투체계의 휴대형 전원으로 적용성이 높은 연료전지에 대해 알아보고 국내·외 개발 현황에 대해 조사·분석하였다. 또한, 조사·분석 결과를 바탕으로 휴대형 연료전지 개발 시 고려요소를 안정적인 전력공급, 휴대 용이성, 비용 절감 세 가지로 구분하여 연료전지 기반 개인병사체계용 휴대형 전원의 기술 발전 방안을 제시하였다. 제시된 기술은 전해질막, 촉매 등 연료전지 핵심소재 성능 향상과 관련된 기술로 휴대형 연료전지 획득을 위한 전략 수립에 활용 가능할 것으로 예상된다. 더불어 향후 미래 개인전투체계 전력화에 맞춰 휴대형 연료전지 시스템 또한 전력화가 가능하도록 기술로드맵 수립에도 활용할 수 있을 것으로 기대한다.

References

- [1] S. Kim, "Development Trends of the Future Soldier System", *Defense & Technology*, Vol.382, pp.76-87, Dec. 2010.
- [2] Defense Science & Technology Level Assessment by Country, Defense Agency for Technology and Quality, Dec. 2018, pp.328-350.
- [3] K. Lee, C. Lee, "A study on the acquisition strategy for the Future Warrior System in ROKA", *Institute of Control, Robotics and Systems*, Republic of Korea, Vol.1, No.1, pp.152-164, Jul. 2011.
- [4] D. Jung, N. Shin, S. Lee, "Research on Military Portable Power Source System I", *Defense & Technology*, no. 334, pp.48-57, Dec. 2006.
- [5] Tabbi Wilberforce, A. Alaswad, A. Palumbo, M. Dassisti, A.G. Olabi, "Advances in stationary and portable fuel cell applications", *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol.41, No.37, pp.16509-16522, Oct. 2016.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2016.02.057>
- [6] J. G. Oh, S. H. Baek, "Fuel Cell Technology Trends", *The proceedings of KIEE*, Vol.55, No.5, pp.22-25, 2006.
- [7] 2018 New & Renewable White Paper, Ministry of Trade, Industry and Energy, Republic of Korea, pp.240-242, Dec. 2018.
- [8] S. Mekhilef, R. Saidurb, A. Safari, "Comparative study of different fuel cell technologies", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol.16, No.1, pp.981-989, Jan. 2012.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.09.020>
- [9] Power Sources - Logistics Lessons Learned from Iraq 2003 [Internet]. Defense Update, c2005 [cited 2005 Oct. 14], Available From: https://defense-update.com/20051014_batteries-lessons-iraq.html (accessed Apr. 14, 2020)
- [10] Ashok S. Patil *et al.*, "Portable fuel cell systems for America's army: technology transition to the field", *Journal of Power Sources*, Vol.136, No.2, pp.220-225, Oct. 2004.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jpowersour.2004.03.009>
- [11] UltraCell, XX25DMFC Data Sheet [Internet]. [Rev 2019 Feb. 5] Available From: http://www.ultracell-llc.com/assets/XX25DMFC_Data_Sheet_SY011011-1_Rev_01.pdf. (accessed Apr. 16, 2020)
- [12] UltraCell, XX55 Data Sheet [Internet]. [Rev 2012 Dec. 2] Available From: http://www.ultracell-llc.com/assets/XX55_Data_Sheet_SY011011-1_Rev_01.pdf. (accessed Apr. 16, 2020)
- [13] SFC Energy, SFC JENNY series [Internet]. Available From: <https://www.sfc-defense.com/en/products/jenny/> (accessed Apr. 17, 2020)
- [14] Unravelling the energy tether: new power technologies take aim at the dismounted soldier, *Jane's International Defense Review*, United Kingdom, Jun. 2016.
- [15] Optimal Distributed Power Source, Fuel Cell [Internet]. Available From: https://www.hellot.net/new_hellot/magazine/magazine_read.html?code=203&sub=001&idx=20697 (accessed Apr. 20, 2020)
- [16] C. S. Kim *et al.*, Final Research Report of Next Generation Military Battery Technology Research Project (2nd Step), Korea Institute of Energy Research, Republic of Korea, pp.214-285.
- [17] D. Jung, N. Shin, S. Lee, "Research on Military Portable Power Source System II", *Defense & Technology*, No. 335, pp.72-81, Jan. 2007.

이 유 화(Yu Hwa Lee)

[정회원]



- 2015년 2월 : 성균관대학교 화학과 (이학석사)
- 2015년 9월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

<관심분야>

국방과학, 국방과학기술정책, 국방기술기획, 전기화학