

## 선박 동력발생용 연료전지시스템 기술개발의 전망에 대한 고찰

김 명 환 †

(원고접수일 : 2007년 8월 6일, 심사완료일 : 2007년 11월 2일)

### Analysis on the Technology R&D of the Fuel Cell Systems for Power Generation in Ships

Myoung-Hwan Kim†

**Abstract** : Now, there are two big issues threatening global society, which are the depletion of fossil fuels and the environmental disruption. Therefore, marine diesel engine, taking up over 95% share of the marine power market, has met the environmental and economical problems, too. These problems have caused a necessity of new, alternative power systems in ships and fuel cell systems has been playing a central role as one of the alternatives. This paper analyzes the characteristics of marine fuel cell systems, R&D trends of advanced countries, and mapping out R&D strategy of Korea.

**Key words** : Hydrogen energy(수소 에너지), Energy efficiency(에너지 효율), Environmental protection(환경 보호), Marine fuel cell(선박용 연료전지), R&D strategy(기술개발 전략)

#### 1. 서 론

최근 LNGC(Liquid Natural Gas Carrier)의 추진동력발생장치가 기존의 CST(Conventional Steam Tubine)에서 DFE(Duel Fuel Engine), DFEE(Duel Fuel Electric Engine) 또는 SSD(Slow Speed Diesel Engine)로 대체되면서 상선용 외연기관의 마지막 흔적이 사라지고 있다. 이제 ICE(Internal Combustion Engine)는 95% 이상의 선박용 동력발생장치 시장 점유율을 차지하며 독점적 시대를

열어가고 있다. 그러나 신고유가시대, 친환경적 요구 등은 ICE에 대한 도전적 요소로서 최근 크게 부각되고 있다. Fig. 1에서와 같이 유가는 70년대 중반에서부터 80년대 초반에 걸친 1, 2차 오일쇼크와 2000년 전후로 시작되는 신고유가시대를 거치면서 증가 일로에 있다. Table 1은 세계 주요 거점항의 선박유가를 2007년 7월 20일을 기준으로 나타낸 것이다. 유가 변동은 선박용 동력발생장치의 변화에도 큰 영향을 미치며 에너지효율이 낮은 외연기관은 1, 2차 오일쇼크를 거치면서 자취를 감추고 ICE가 그 자리를 대체해 왔다. 최근 신고유가 시대를 맞이하여 연료절감을 위한 선박용 고

† 교신저자(한국해양대학교 기관시스템공학부), E-mail:mhkim@hhu.ac.kr, Tel: 051)410-4267

효율 동력발생장치에 대한 요구가 증대되고 있으나 충분히 성숙된 기술이며 또한 카르노사이클의 효율에 지배를 받는 ICE로부터 획기적인 효율의 상승을 기대하기는 어렵다. 아울러 친환경적인 에너지 사용에 대한 요구는 NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> 등 다량의 오염물질을 배출하는 ICE로 하여금 새로운 변화를 강요하고 있다. 100 GT이상의 선박용 ICE에서 발생되는 대기오염물질 중 NO<sub>x</sub>는 전세계 배출량의 10~15%, SO<sub>x</sub>는 4~6%, CO<sub>2</sub>는 2%를 차지하고 있다(2000년 기준). IMO는 대기오염방지협약(MARPOL Annex VI)을 통하여 대기오염물질 배출규제치를 정하고 허용기준치 이상을 배출하는 400 GT이상의 선박에 대하여 단계적 운항금지 시행하고 있다. 또한 일부 지역에서는 지역규제에 따라 훨씬 강화된 규제치를 적용하고 있으며 IMO의 규제치도 점진적인 하향 조정이 불가피할 것으로 보인다. 현재의 규제치에 대한 연료유 탈황처리 및 ICE의 기계적 개선 등은 유가의 상승과 효율의 저하를 초래할 뿐만 아니라 무공해 실현의 근본적인 해결책이 되지 못하고 있다. 전술한 고유가시대 및 친환경적 요구에 대한 대응 방안으로 선형과 프로펠러 등과 같은 추진시스템의 기술개발을 통한 소요 에너지의 절감, 친환경적 대체연료사용, 고효율 및 친환경적인 ICE의 기술개발 등이 있으나 보다 근본적인 대책으로는 선박동력발생장치로서 연료전지시스템의 채용을 검토하는 것이다.

본 논문은 에너지효율이 높고 친환경적이며 지속 가능한 선박용 동력발생장치 연료전지(MFC, Marine Fuel Cells)시스템에 대한 특성 검토와 국제적 MFC 기술개발 동향에 대하여 설명하고 이

로부터 우리나라의 단계별 기술개발 전략에 대한 고찰을 통하여 미래의 우리나라 조선, 조선기자재 산업의 새로운 블루오션을 구축해 나가기 위한 방향과 비전을 제시하고자 한다.

**Table 1 Bunker prices on the basis of July 20, 2007 \$/MT**

Grade	Singapore	Rotterdam	Houston	Fujairah
IFO380	407.0	381.5	369.0	396.5
IFO180	419.5	399.5	380.0	403.5
MDO	658.5	588.0	607.5	700.0
MGO	663.0	655.5	-	698.5

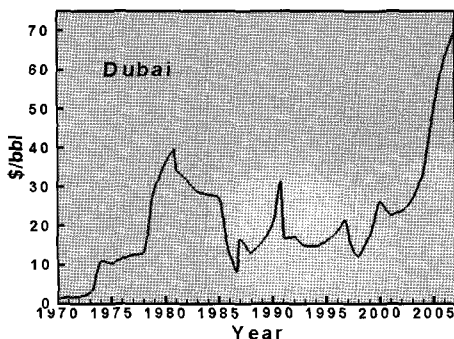
## 2. MFC의 특성 검토

### 2.1 검토 요소

선박 동력발생용으로 연료전지시스템의 가능성을 검토한 자료<sup>(1)-(4)</sup>는 많지 않다. 최근에는 LCA(Life Cycle Analysis) 기법을 이용하여 MFC시스템의 가능성을 ICE와 비교하여 검토하고 있다<sup>[5]</sup>. 연료전지시스템이 선박 동력발생장치로서 적합한지를 검토하기 위한 요소들로는 에너지 효율, 친환경성, 동력밀도, 비용, 신뢰성과 안전성, 과도부하 응답성, 해상환경 적응성 등이 있다.

#### 2.1.1 에너지효율

Table 2에 나타낸 바와 같이 연료전지의 효율은 기존의 선박용 S/T(Steam Turbine), G/T(Gas



**Fig. 1 Crude oil prices**

**Table 2 Types of fuel cells**

Fuel Cell type		Electrolyte	Operating Temp.	Efficiency
Low Temp.	AFC	Potassium Hydroxide	50~200°C	50~60%
	PEMFC	Proton Exchange Membrane	30~100°C	50~60%
Medium Temp.	PAFC	Phosphoric Acid	~220°C	70~80% with heat recovery
High Temp.	MCFC	Molten Carbonate	~650°C	70~85% with heat recovery
	SOFC	Solid Oxide	600~1000°C	70~85% with heat recovery

Turbine), ICE보다도 뛰어나며 특히 고온형 연료전지 하이브리드 시스템(MFC+S/T 또는 G/T)의 효율은 70%대에 이르고 있다. 이는 동일한 동력 발생에 대한 연료량의 감소를 의미하며 고유가시대에 있어서 MFC의 채용을 위한 중요한 긍정적 요소라 할 수 있다.

### 2.1.2 친환경성

수소와 산소를 연료로 하는 MFC시스템의 경우 배출물질은 물뿐이므로 대기오염물질의 배출은 없다고 할 수 있다. 그러나 과도기적으로 탄화수소계 연료의 개질로 수소를 생산하고 산소 대신 공기를 사용하는 경우 CO<sub>2</sub> 등 소량의 오염물질의 배출이 발생한다. 그러나 MFC시스템은 고효율로 인한 연료사용량의 감소 효과 뿐만 아니라 사용연료 질량당 배출되는 오염물질도 ICE와 비교하여 대단히 작으므로 친환경적 동력발생장치라 할 수 있다.

### 2.1.3 동력밀도

선박용 동력발생장치의 동력밀도(kW/kg, kW/m<sup>3</sup>)는 대략적으로 G/T, HSD > SSD > MFC 순이며 현재는 MFC가 가장 낮은 동력밀도를 가진다. 이것은 MFC시스템을 채용하는 기관실이 기존의 동력발생장치의 기관실과 비교하여 필요용적 및 전체 질량이 증대되어야 함을 의미한다. 그러나 MFC시스템은 현재 개발의 초기단계에 있으며 차후 기술개발의 진전에 따라 동력밀도의 현저한 감소가 기대된다. 한편 MFC시스템은 전기추진방식으로 장치의 배치가 자유로워 공간 활용도가 증가하므로 기존의 LNG선 외연기관보다 오히려 기관실의 소요 길이가 짧아진다는 보고도 있다<sup>[6]</sup>. 여기서 HSD는 고속디젤엔진(High Speed Diesel)을 SSD는 저속디젤엔진(Slow Speed Diesel)을 말한다.

### 2.1.4 비용

선박용 디젤기관의 단가를 150~200 \$/kW라 산정할 때 대략적인 MFC의 단가는 디젤기관과 비교하여 약 30~50 배 정도로 초기투자 비용이 대단히 크다. 현재의 비용적인 측면은 MFC시스템을 채용함에 있어서 선주를 망설이게 하는 증대한 부

정적 요소이다. 그러나 전술한 바와 같이 MFC시스템은 개발의 초기단계에 있으므로 짧은 시간 내에 비용적인 부담은 상당히 감소할 것으로 보이며 아울러 고유가의 지속과 MFC의 고효율 특성은 초기투자의 과대비용을 보상해 줄 것으로 예상된다. 더불어 운전 및 유지비용의 측면에 있어서 활동부가 없는 MFC시스템은 ICE와 비교하여 대폭적인 비용의 감소가 기대된다.

### 2.1.5 신뢰성과 안전성

기체연료는 액체연료와 비교하여 사용에 위험성이 증대하는 것이 사실이나 수소 자체가 다른 기체연료와 비교하여 특별히 위험하지는 않다. 이미 기체연료는 LNG선과 같은 선박에서 동력발생용 연료로서 안전하게 사용되고 있으며 이를 취급하기 위한 기술경험 또한 축적되어 있다. DNV 등에서는 장차 수소를 연료로 하는 선박의 출현에 대비하여 수소 사용의 안전성과 필요한 안전 설비 및 요건이 무엇인지를 검토한 바가 있다<sup>[6], [7]</sup>.

### 2.1.6 과도부하 응답성

에너지효율이 뛰어난 고온형 연료전지는 작동온도가 높기 때문에 급작스런 부하변동으로 인한 연료전지 스택의 온도변화에 대단히 취약하다. 그러나 대부분의 대형 선박들은 비상시를 제외하고 항해 중에 급격한 부하 변동이 없기 때문에 고온형 MFC를 채용함에 있어서 특별한 문제는 없다. 경우에 따라서는 기저부하를 담당하는 등 다양하게 활용될 수도 있다. 소형선박과 같이 신속한 기동성이 요구되거나 부하의 변동이 많은 선박의 경우에는 시동성과 부하 응답성이 양호한 저온형 MFC가 적합하다.

### 2.1.7 해상환경 적응성

공기의 높은 염분농도, 기관실의 고온다습, 선체운동과 진동 등과 같은 해상환경 속에서 MFC시스템이 정상적으로 작동되는지 그리고 성능의 저하는 없는지를 시험해 본 결과, 짧은 시험기간(수십 시간) 동안이지만 MFC시스템의 작동과 성능에는 별다른 문제가 없는 것으로 보고되고 있다<sup>[8]</sup>. 그러나 앞으로 MFC 설계 내구성 기간에 준하는 장기

간 동안의 시험 검증이 요구된다.

## 2.2 MFC시스템 채용의 장애물

MFC시스템의 많은 장점에도 불구하고 선주가 채용을 주저하는 큰 이유는 수소연료에 대한 인프라의 미비, 높은 초기비용, 낮은 동력밀도 및 내구성 등이다.

현재 수소를 석유연료 만큼이나 항내에서 편리하게 공급받을 수 없다는 점과 수소의 선내 저장에 위하여 대용량, 고압축 탱크가 필요하다는 점 등의 수소연료로 인한 문제가 MFC시스템의 빠른 채용의 기대를 어렵게 하고 있다. 그러나 장거리 항해를 주로 하여 연료 사용량이 많은 대형선박의 경우에는 액체상태의 연료저장이 필수적이므로 상압에서 약  $-253^{\circ}\text{C}$ 의 극저온인  $\text{LH}_2$ 보다는 상온에서 액체 상태인 메탄올, 경유 등의 HC(Hydrogen Carrier)를 연료로 사용하는 것이 바람직하다. 따라서 이 경우에는 HC에서 수소를 제조하기 위한 별도의 개질장치(Reformer)가 선내에 설치되어야만 하나 수소 연료를 직접 저장해야 하는 문제점은 해소될 수 있다. 한편 사용 연료량이 적고 연료의 공급기회가 많은 소형 및 단거리 항해 선박의 경우에는 수소연료를 직접 사용하는 것이 바람직할 것으로 보인다.

높은 초기비용, 낮은 동력밀도 및 내구성의 문제는 전술한 바와 같이 MFC시스템이 기술개발의 초기단계에 있기 때문으로 개발과 대량생산의 진전에 따라 서서히 해결될 것이다.

## 3. 국제적 기술개발 동향

### 3.1 미국

최근 ONR(Office of Naval Research)은 미 해군에 의해 집행되는 연료 예산을 절감하는 방법으로 그리고 전투력 증강을 도모하면서도 친환경적인 동력발생 시스템의 개발을 위하여 연료전지시스템, 전기추진방식의 채용을 검토하여 왔다<sup>[8], [9]</sup>. 앞서 언급한 것과 같이 고효율 MFC시스템은 대폭적인 연료절감의 실현을 가능하게 할 뿐만 아니라

또한 분산배치가 용이하기 때문에 전투시 동력발생 장치의 손상으로 인한 함정의 통제력 상실을 최소한으로 할 수 있는 장점을 가지게 된다. ONR은 단계적 기술개발 과정을 통하여 NATO F-76 연료의 개질기술, 2.5 MW급 MCFC시스템 개발, MFC시스템의 해상환경 적응성 평가, 시스템의 육상 및 해상 시운전 등 함점용 동력발생장치로서 MFC시스템의 가능성을 검토한 바 있다.

MARAD(US Maritime Administration)는 고효율, 친환경 선박 기술개발의 일환으로 내수역 및 연근해에서 항행하는 디젤-전기추진방식 434TEU Feeder선에 대한 MFC시스템의 채용 가능성을 검토한 바 있다. 연료로서 CNG를 적재한 컨테이너, 디젤기관 대신 MFC를 그리고 정박시에 소량의 컨테이너를 교환하여 연료를 공급하는 시스템으로 대기오염문제를 해결하면서도 연료를 절감할 수 있는 방법을 찾고 있다.

내수역 및 내항에서의 선박에 의한 대기오염물질 배출규제가 강화되면서 WTA(Water Transit Authority)는 고속여객페리선의 친환경적 측면에서 추진동력시스템으로 MFC시스템의 채용을 검토하고 있다<sup>[10]</sup>. 동력발생장치로는 PEMFC를 수소연료저장에는 메탈하이드라이드를 사용하는 방식을 채택하고 있다.

이 외에도 요트 등과 같이 친환경성을 요구하는 선박의 동력발생장치로 MFC시스템의 기술개발이 진행되고 있다.

### 3.2 유럽

1980년대 초 HDW사는 기존의 잠수함 설계기술을 바탕으로 MFC시스템을 채용한 차세대 잠수함 개발에 착수하여 2002년에 MFC를 채용한 최초의 잠수함(U212)을 진수하게 되었다<sup>[11]</sup>. PEMFC와 수소, 산소를 직접 사용하는 방식으로 AIP(Air Independent Propulsion)시스템이라 불리고 있다. 이후 업그레이드한 U214급 잠수함을 개발하여 자국용은 물론 한국과 그리스에 수출한 바 있다. 현재 HDW사는 Ballard사와 협력하여 축적된 기술력으로 상선용 동력발생장치의 개발을 검토하고 있다.

EU는 에너지 절약 및 지구온난화 대책의 일환으로서 연료절감과 친환경성을 구현하는 MFC시스템의 가능성과 향후 개발방향을 검토하기 위하여 EU의 프로젝트로서 조선소, 선주, 선급, 대학 및 연구기관이 참여하는 FCSHIP(Fuel Cell Technology in Ship) 프로젝트를 2002년에 추진한 바 있다<sup>[12]</sup>. 프로젝트에서는 대형선박의 전기동력 발생장치로 SOFC와 MCFC를 그리고 소형선박의 추진동력 발생장치로 PEMFC를 각각 검토하고 있다.

노르웨이를 중심으로 하는 다국적 프로젝트로 FellowSHIP 프로젝트가 2003년부터 3단계 사업으로 진행되고 있으며 1단계에서는 개념설계와 채용할 MFC 선정 작업을 진행하였다<sup>[13]</sup>,<sup>[14]</sup>. 2단계 사업에서는 Wärtsilä의 SOFC를 스택으로 하는 시스템의 설계, 제작, 시험 단계에 진입하여 있으며, 최종적으로 연료전지와 터빈을 결합하는 고효율 하이브리드 시스템<sup>[15]</sup> 까지 검토할 계획이다. 이 외에도 스위스, 이탈리아, 아이슬란드 등에서 해상 레저용, 어선에 대한 MFC시스템의 기술개발과 상업화를 위한 노력을 계속하고 있다.

### 3.3 일본

일본은 NEDO사업의 일환으로 IHI에서 NG와 MCFC를 채용한 LNG선, 나프타와 MCFC를 채용한 페리선, 메탄올과 PEMFC를 채용한 조사선 등 다양한 선박에 대한 MFC시스템의 채용 가능성을 검토한 바 있다<sup>[16]</sup>,<sup>[17]</sup>. 전술한 바와 같이 LNG선에 MFC시스템을 적용시킬 경우 전통적인 추진방식인 S/T시스템과 비교하여 기관실의 소요 길이가 줄어드는 장점 등을 설명하고 있다.

## 4. 우리나라의 대응 전략

### 4.1 기술개발 환경

MFC시스템을 채용한 선박의 기술개발을 위해서는 선박의 설계 및 건조 능력과 함께 연료전지 시스템에 대한 기술 및 생산 능력도 갖추어야 한다.

최근 로이드의 조사에 따르면 2006년도 건조량 기준 세계 조선시장 점유율은 한국 34.7%, 일본 28.1%, 유럽 13.7%, 중국 15.1%이며 수주량으로는 한국 39.2%, 일본 19.8%, 유럽 9.4%, 중국 22.7%로 집계되고 있다. 이 결과는 우리나라가 명실상부한 세계1위의 조선강국임을 분명하게 나타내고 있다. 1950년대에 유럽이 1970년대에는 일본이 그리고 2000년대에 이르러 우리나라가 조선시장 점유율 1위를 지키고 있는 것이다. 국내 조선산업의 연간 수출액은 2006년 220억\$ 규모이며 자동차, 철강, 반도체, 통신기기와 함께 조선산업은 우리나라의 주력산업 중의 하나이다. 선박동력 발생장치 등 선박을 구성하는 장비 및 재료가 속하는 조선기자재분야는 대략 선가의 65% 정도를 차지하며 70% 정도의 국산화율을 보이고 있다. 최근 중국은 건조능력의 확대, 저렴한 노동 원가 등을 바탕으로 시장점유율을 큰 폭으로 늘려 나가고 있으며 2015년에는 30%의 시장점유율을 가지게 될 것으로 전망하고 있다. 중국의 약진에 우리나라는 LNG선, 컨테이너선, VLCC, 해양플랜트, 여객선 등의 고기술, 고부가가치의 선박에 대한 건조비율을 높여가고 있다. 사용하는 연료의 측면에서 MFC시스템을 채용하기에 가장 적합한 선종인 LNG선의 경우 우리나라는 대략 75%의 세계시장 점유율을 가지고 있다. 현재 우리나라는 일부 특수선을 제외하고 뛰어난 설계 및 건조 능력을 보유하고 있으며 국력의 신장으로 자본력 또한 튼튼한 구조를 가지고 있다.

우리나라의 연료전지 및 시스템에 대한 기술개발은 1987년 대체에너지기술개발이용보급촉진법의 제정과 수소·연료전지 산업이 차세대 성장동력산업으로 지정되면서 비약적인 발전을 이루고 있으며 연료전지의 상업화를 목표로 산업자원부 및 과학기술부의 적극적인 지원 아래 대단위 사업들이 기술개발 로드맵에 따라 착실히 추진되고 있다. 최근 연료전지 상용화를 위한 첫걸음으로 포스코는 100MW 규모의 발전용 연료전지 생산공장을 2010년까지 건설한다는 계획을 발표한 바도 있다. 이렇듯 우리나라는 MFC시스템을 채용한 선박의 기술개발을 위하여 어느 국가 보다 좋은 개발 환경

을 보유하고 있다고 하겠다.

4.2 기술개발 전망

Table 3은 선박용 동력발생장치의 시대별 변화 추이를 전망해 본 것으로 현재는 기계 추진방식, 디젤기관 동력발생장치, 사용연료는 중유인 독점적 시대에 있다. 그러나 석유에너지 고갈의 위협과 고유가 및 친환경 시대를 맞이하여 가까운 미래에는 기계, 전기, 램젯 등 추진방식, 디젤, MFC, G/T 등의 동력발생장치, 중유, 경유, 등유, 메탄올, 바이오연료, LNG(NG), LH<sub>2</sub>(H<sub>2</sub>) 등의 연료를 사용하는 다양화 시대가 도래할 것으로 보이며, 좀 더 먼 미래에는 전기 추진방식, MFC 동력발생장치, LH<sub>2</sub>(H<sub>2</sub>)를 연료로 사용하는 수소시대가 구현될 것으로 예상된다. 정량적인 시기의 예측은 어렵지만 석유에너지 고갈, 고유가, 친환경 문제 그리고 연료전지 기술개발의 가속화에 따라 머지않아 수소시대가 도래할 것으로 보인다.

Table 3 Transition of marine power systems

현 재	독점적 시대	추진방식: 기계
		동력장치: 디젤
		사용연료: 중유
가까운 미래	다양화 시대	추진방식: 기계, 전기, 램젯 등
		동력장치: 디젤, MFC, G/T 등
		사용연료: 중유, 경유, 등유, 메탄올, 바이오연료, LNG(NG), LH <sub>2</sub> (H <sub>2</sub> ) 등
미 래	수소 시대	추진방식: 전기
		동력장치: MFC
		사용연료: H <sub>2</sub>

4.3 기술개발 전략

유럽은 극동 3국으로 인하여 조선산업이 침체일로를 걷고 있지만 여전히 고부가 핵심기자재 시장의 상당 부분을 점유하고 있으며 원천기술에 대한 막대한 로열티도 받고 있다. 예를 들어 우리나라는 LNG선의 건조 때마다 척당의 로열티를 지불하고 있고 선가의 15~20% 정도를 차지하는 선박용 디젤기관도 일부를 제외하곤 대부분 라이선스 생산이므로 적지 않은 기술료를 지불해야 하는 실정에 있

다. MFC시스템을 이용한 고효율, 친환경 선박용 동력발생장치의 기술개발에 대한 유럽 등의 실행적 노력에 우리나라가 관심을 가지고 적극적으로 대응하지 못한다면 장래에 막대한 기술료를 지불해야 하는 전술의 상황을 되풀이 해야만 할 것이다. 선박의 설계 및 건조 능력과 연료전지 및 시스템에 대한 기술력 그리고 자본력을 겸비하고 있는 우리나라가 MFC시스템을 채용하는 고효율, 친환경 선박용 동력발생장치의 기술개발에 앞장서야 할 것이며 이를 위한 기술개발 전략을 Fig. 2와 같이 제시한다.

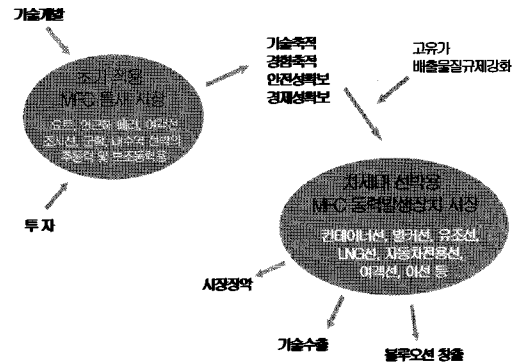


Fig. 2 R&D strategy of MFC system technology

수소연료에 대한 인프라의 미비, 높은 초기비용, 낮은 동력밀도 및 내구성 등의 문제들이 어느 정도 해소될 때까지는 컨테이너선, 벌커선, 유조선 등과 같은 선박의 동력발생장치로 MFC시스템의 일반적인 적용을 당장 기대하기는 어려울 것으로 보인다. 그러나 우선은 지금도 존재하는 틈새시장의 수요로서 경제성보다 환경성과 특수목적이 중시 되는 요트, 연근해 및 내항 페리, 여객선, 조사선, 군함, 내수역 선박 등에 대한 주동력 및 보조동력발생장치로서 MFC시스템의 적용을 고려하는 것이다. 마침 우리나라는 차세대 조선산업의 리더 선박으로서 여객선에 대한 많은 관심을 가지고 있으며 기존의 동력발생장치에 비교하여 보다 쾌적한 환경을 제공해 주는 MFC시스템의 기술개발과 채용은 새로운 차원의 여객선 사업 기술경쟁력을 제공해 줄 것으로 기대된다. 또한 군용의 경우 우리나라는 MFC 시스템을 추진동력발생장치로 채용한 두 번째 잠수

함(U214급)을 진수한 바 있으며 지속적인 잠수함의 건조와 정기적 관리를 위한 수요가 발생되고 있다. 아울러 수상함의 종합적 전투능력 향상을 위한 전기추진방식의 채택은 MFC시스템의 새로운 수요를 창출할 것으로도 보인다.

비록 수요는 적지만 이익의 창출이 큰 틈새시장의 동력발생장치로 MFC시스템을 채용하고 그로부터 얻어진 기술과 경험의 축적, 안전성과 경제성의 확보를 바탕으로 보다 광범위한 선박(상선 및 어선)의 동력발생장치로 개발과 사업영역을 확대해 나가는 것이다. 고유가의 진행과 배출물질규제 강화는 MFC시스템의 장점을 부각시키고 이의 일반적인 채용을 더욱 가속화하는 방향으로 작용할 것으로 보인다. MFC시스템 동력발생 본체 및 주변장치(BOP)의 구성요소들은 ICE시스템의 그것들과 대단히 상이하므로 MFC시스템의 일반적인 채용은 블루오션인 거대한 새로운 장치 및 부품 산업의 출현을 의미한다. 더불어 MFC시스템에 대한 앞선 기술개발과 채용은 미래의 수소시대에 부합하는 새로운 조선 및 조선기자재 산업의 세계시장 선점과 기술 수출의 길을 확보하는 것일 것이다.

## 5. 결 론

석유에너지의 고갈과 고유가 및 친환경성의 요구는 기존의 동력발생장치에 대한 큰 변화를 강요하고 있다. 본 논문은 에너지효율이 높고 친환경적이면서도 지속 가능한 선박용 동력발생장치로 MFC시스템의 가능성에 대하여 보고하고 MFC시스템의 국제적 기술개발 동향과 우리나라의 단계별 기술개발 전략을 기술하고 있다.

MFC시스템은 일부의 장애적인 요소에도 불구하고 선박용 동력발생장치로서 고효율성과 친환경성 등 긍정적인 측면이 대단히 크다. 초기 투자비용이 과다하고 동력밀도가 낮은 현재의 부정적 요소는 기술의 개발과 대량생산의 진척에 따라 빠른 시간 내에 상당히 개선될 것으로 보인다. 그럼에도 불구하고 부정적 요소가 어느 정도 해소될 때까지는 틈새시장을 제외하고 광범위한 MFC시스템의 채용을 당장 기대하기는 어렵다.

전통적인 해양강국인 미국, 유럽, 일본 등은 오래전부터 MFC시스템에 대한 기술개발에 착수해 있으며 해양 레저 및 군사적 목적이긴 하지만 일부 실용화 실적도 쌓고 있다. 세계 1위 조선강국의 선박 설계와 건조 능력, 선진국과 개발 경쟁하고 있는 연료전지 기술력, 아울러 자본력까지 갖춘 우리나라는 어느 국가보다도 MFC시스템 기술개발을 위한 좋은 환경을 가지고 있다. 이제 우리나라는 조선 및 조선기자재의 기술 수입국으로부터 기술 수출국으로 전환해야 할 시점에 있으며 MFC시스템의 기술개발은 새로운 블루오션의 창출과 조선 및 조선기자재 강국의 지위를 지켜나가기 위한 장지적인 포석이 될 것이다.

기술개발 전략으로서의 잠수함, 여객선 등 특수 목적의 틈새시장으로부터 기술력과 경험의 축적을 거쳐 광범위한 선박으로의 적용을 확대해 나가는 단계별 전략을 Fig. 2에 제시하였다.

## 참고문헌

- [1] W. H. Kumm, "Marine and Naval Applications of Fuel Cells for Propulsion: the Process Selection", *Journal of Power Sources*, Vol. 29, pp. 169-179, 1990.
- [2] V. W. Adams, "Possible Fuel Cell Applications for Ships and Submarines", *Journal of Power Sources*, Vol. 29, pp. 181-192, 1990.
- [3] G. Sattler, "Fuel Cells Going On-board", *Journal of Power Sources*, Vol. 86, pp. 61-67, 2000.
- [4] C. Bourne, T. Nietsch, D. Griffiths, J. Morley, "Application of Fuel Cells in Surface Ships", DTI/Pub URN 01/902, Rolls-Royce Strategic Systems Engineering, 2001.
- [5] M. Altmann, M. Weinberger, W. Weindorf, "Life Cycle Analysis Results of Fuel Cell Ships", EU Project

- Contract No. G3RD-CT-2002-00823, Report No. DTR-4.5-LBST-05.2004, 2004.
- [6] T. Tronstad, J. Byrknes, "Fuel Cells in Ships: Safety & Reliability", Proc. of the 1st European Hydrogen Energy Conference, 2004.
- [7] N. Rattenbury, E. Fort, "Development of Requirements for Fuel Cells in the Marine Environment - Performance and Prescription", Lloyd's Register Technical Papers, 2006.
- [8] R. M. Privette, T. J Flynn, M. A. Perna, R. Holland, R. Rahmani, C. Woodburn, S. W. Scoles, R. C. Watson, "PEM Fuel Cell System Evaluation for Navy Surface Ship Application", Proc. of the 34th Intersociety Energy Conversion Engineering Conference, Canada, 1999.
- [9] R. O'Rourke, "Navy Ship Propulsion Technologies: Options for Reducing Oil Use - Background for Congress", CRS Report for Congress, Code No. RL33360, 2006.
- [10] John J. McMullen Associates, Inc., Final Report, "Development of a Hybrid Fuel Cell Ferry", Water Transit Authority, 2003.
- [11] G. Sattler, "PEFCs for Naval Ships and Submarines", Journal of Power Sources, Vol. 71, pp. 144-149, 1998.
- [12] European Commission, "Fuel Cells in Ships - Synthesis of Open Problems and Roadmap for Future RTD", EU Project Contract No. G3RD-CT-2002-00823, Report No. DTR-5.2-06.2004, 2004.
- [13] Ø. Endresen, T. Tronstad, "Cost Calculations of Fuel Cells in Ships", FellowSHIP Project Report No. 1-1.3C-D-2003-01, 2003.
- [14] Ø. Endresen, T. Tronstad, "Emission Reductions by Fuel Cell Ships", FellowSHIP Project Report No. 1-1.3B-D-2003-01, 2003.
- [15] M. Reenaas, "Solid Oxide Fuel Cell Combined with Gas Turbine Versus Diesel Engine as Auxiliary Power Producing Unit Onboard a Passenger Ferry: a Comparative Life Cycle Assessment and Life Cycle Cost Assessment", Master Thesis of NTNU, Norway, 2005.
- [16] IHI, "Applications of Fuel Cells to Surface Ship Propulsion Systems", IHI Engineering Review, Vol. 26, No. 4, 1993.
- [17] T. Maeda, S. Ishiguro, K. Yokoyama, K. Hirokawa, A. Hashimoto, Y. Okuda, T. Tani, "Development of Fuel Cell AUV URASHIMA", Mitsubishi Heavy Industries, Ltd. Technical Review, Vol. 41, No. 6, 2004.

## 저 자 소 개



**김명환(金明煥)**

1959년생 1월생, 1981년 한국해양대학교 기관학과 졸업(공학사), 1983년 한국해양대학교 대학원 박용기관학과 졸업(공학석사), 1994년 일본 북해도대학 대학원 기계공학과 졸업(공학박사), 1984년~현재 한국해양대학교 해사대학 기관시스템공학부 교수