

# 선박 배기가스 활용에 따른 SOFC 시스템 공급가스의 온도특성에 관한 연구

박상균<sup>†</sup>

(원고접수일 : 2013년 8월 6일, 원고수정일 : 2013년 10월 30일, 심사완료일 : 2013년 11월 15일)

## A study on temperature characteristic of the gases supplied to SOFC system by utilizing the ship exhaust gas

Sang-Kyun Park<sup>†</sup>

**요약:** 고체산화물형 연료전지는 운전온도가 고온이기 때문에 연료전지 시스템으로 공급되는 가스의 열 관리 문제가 중요하다. 본 연구에서는 선박 배기가스의 폐열을 선박 전원용 500kW급 SOFC 시스템으로 공급되는 연료, 가스 및 물을 가열하는 열원으로 활용한 경우에 연료전지 애노드 및 캐소드로 공급되는 가스의 온도특성에 관하여 검토하였다. 본 연구에서 제안한 연료전지 시스템에서는 선박의 배기가스를 활용하지 않고 연료전지에서 배출되는 배기가스만으로 연료전지 시스템으로 공급되는 가스의 가열원으로 활용한 경우의 애노드 및 캐소드로 공급되는 가스의 온도가 963K로 가장 높음을 알 수 있었다. 또한 엔진의 출력(배기가스의 유량)은 연료전지 스택으로 공급되는 가스의 온도에 큰 영향을 미치지 않음을 알 수 있었다.

**주제어:** 선박, 고체산화물형 연료전지, 이코노마이저, 열관리, 배기가스

**Abstract:** Since the operating temperature of Solid Oxide Fuel Cell (SOFC) is high, the heat management of the gases supplied to fuel cell system is important. In this paper, the temperature characteristic of the gases supplied to the anode and the cathode of the fuel cell is studied in case of utilizing the waste heat contained in the ship exhaust gas as a heat source to heat up the fuel, gas and water supplied to a 500kW SOFC system for a ship power. For the fuel cell system proposed in this paper, the temperature of gases supplied to the anode and the cathode was the highest temperature at 963K when the exhaust gas of the fuel cell was utilized as the heat source for gases supplied to fuel cell system instead of utilizing the ship exhaust gas. In addition, the engine power did not effect on the temperature of gases supplied to the fuel cell stack.

**Keywords:** Ship, Solid oxide fuel cell, Economizer, Heat management, Exhaust gas

## 1. 서론

국제해사기구(International Maritime Organization : IMO)에서는 선박에서 배출되는 온실가스를 저감하기 위한 다양한 논의를 진행하고 있다[1]. 산적액체 및 가스 전문위원회(Bulk Liquids & Gases Sub-Committee : BLG)에서는 가스화 저인화점 연료를 사용하는 국제 가스연료 안전코드(IGF Code)

의 제정 작업을 진행하고 있으며 그 내용 중에 연료전지도 포함되어져 있다[2]. 미래 친환경 선박의 전원으로 주목 받고 있는 선박용 연료전지 시스템에 대한 연구 및 개발은 2000년도 초반부터 유럽을 중심으로 활발하게 진행되어지고 있다[3]-[5].

선박용으로 적용이 가능한 연료전지로는 고체고분자형 연료전지(PEMFC), 용융탄산염 연료전지

<sup>†</sup> Corresponding Author: Department of Power System Engineering, College of Ocean Science & Technology, Kunsan National University, 558 Daehak-ro, Gunsan, Jeonbuk, Korea, E-mail: skpark@kunsan.ac.kr, Tel: 063-469-1846

기호설명		
A	면적	(m <sup>2</sup> )
C	열용량을	(kW/K)
Cp	비열	(kJ/kg·K)
h	엔탈피	(kJ/kg)
H	총엔탈피	(J)
m	질량	(kg/s)
NTU	전달단위수	(-)
P	기계적 출력	(kW)
pos	밸브열림정도	0~1
Q	열전달량	(kJ)
T	온도	(K)
u	내부에너지	(kJ/kg)
U	열관유율	(kW/m <sup>2</sup> ·K)
W	동력, 출력	(kW)
ε	열전달유용도	(-)
η	효율	(-)
v	속도	(m/s)
ρ	밀도	(kg/m <sup>3</sup> )
하첨자		
c	압축기	
ci	저온부 입구	
hi	고온부 입구	
in	입구	
min	최소값	
max	최대값	
out	출구	
p	펌프	
t	터빈	

(MCFC) 및 고체산화물형 연료전지(SOFC)가 있다. PEMFC는 상온에서의 기동이 가능하고 부피가 작기 때문에 레저보트, 어선, 유람선 등의 중·소형 선박의 적용이 가능하다. 반면 MCFC와 SOFC는 운전온도가 고온이고 부피가 크기 때문에 중대형 선박의 전원으로 적용이 가능하다. 상기의 연료전지 중에서 SOFC의 운전온도가 가장 높고 고온의 배기가스를 활용하여 높은 효율을 얻을 수 있는 특징이 있어 향후 고온형 연료전지 시장을 주도할 것으로 기대되어지고 있다. 현재의 SOFC 기술수준으로는 선박에 탑재하기 위한 고출력의 시스템을 개발하기는 어려운 단계이기 때문에 저출력 시스템의 선박 실증[3] 및 시스템 모델링의 관점에서 연구개발이 진행되어 지고 있다[6]-[9]. SOFC 시스템은 고온에서 운전되기 때문에 안전한 운용성을

확보하기 위하여 SOFC 스택뿐만 아니라 전체 시스템의 열관리 문제가 특히 중요하게 고려되어야 한다[10].

본 연구에서는 선박 배기가스의 폐열을 선박 전 원용 500kW급 SOFC 시스템으로 공급되는 연료, 가스 및 물을 가열하는 열원으로 활용한 경우의 연료전지 애노드 및 캐소드로 공급되는 가스의 온도특성에 관하여 검토하였다. 연료전지 단독 시스템의 배기라인을 선박의 이코노마이저로 연결하여 연료전지 배기가스만으로 연료전지로 공급되는 가스의 가열원으로 활용한 경우와 연료전지의 배기가스에 추가적으로 선박 엔진으로부터 배출되는 배기가스를 활용한 경우에 대하여 엔진 배기가스 유량 및 온도에 따른 연료전지 공급가스의 온도특성에 관하여 검토하였다.

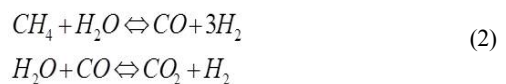
## 2. 해석 모델 및 조건

### 2.1 해석 모델

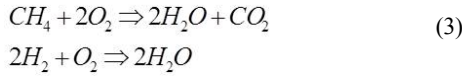
본 연구에서는 Matlab/Simulink 상용프로그램을 활용하여 연료전지, 열교환기, 블로워, 압축기, 펌프, 버너 및 터빈 등의 개별 모델을 개발하여 연료전지 시스템을 구축하였다. 연료전지 시스템의 개별 기기들의 질량과 에너지 보존은 다음과 같이 정의된다[11].

$$\begin{aligned} \frac{dm}{dt} &= \sum \dot{m}_{in} - \sum \dot{m}_{out} \\ \frac{du}{dt} &= \sum \dot{H}_{in} - \sum \dot{H}_{out} + \sum \dot{Q} + \sum P \end{aligned} \quad (1)$$

연료전지 내부에서의 개질 반응에 따른 수소 생성은 다음의 화학 평형식에 의해서 이루어지며 열생성이 동시에 계산되어진다.



연료전지 스택 내부에서 반응되지 않고 배출되는 메탄과 수소는 다음의 평형식에 의해서 연소기에서 연소되어지게 된다.



$$\sum \dot{m}_{in} h_{in} = \sum \dot{m}_{out} h_{out} + \dot{Q} \quad (4)$$

열교환기는 NTU법을 기반으로 두 유체사이에서의 최대 열전달을 대향류로 설정하여 계산을 수행하였다[12].

$$\begin{aligned} \dot{Q} &= \varepsilon \cdot \dot{Q}_{max} \\ \varepsilon &= \frac{1 - \exp[-NTU \cdot (1 - C)]}{1 - C \cdot \exp[-NTU \cdot (1 - C)]} \\ NTU &= \frac{U \cdot A}{C_{min}} \\ C &= \frac{\dot{C}_{min}}{\dot{C}_{max}} \\ \dot{C}_{min} &= \min(\dot{m}_1 \cdot c_{p1}, \dot{m}_2 \cdot c_{p2}) \\ \dot{C}_{max} &= \max(\dot{m}_1 \cdot c_{p1}, \dot{m}_2 \cdot c_{p2}) \\ \dot{Q}_{max} &= C_{min} (T_{hi} - T_{ci}) \end{aligned} \quad (5)$$

블로어와 압축기는 연료전지로 공급되는 공기와 메탄을 공급하며 각기기의 효율 특성곡선을 활용하여 유량을 계산하였다[11].

$$\dot{W}_c = \dot{m}(h_{out} - h_{in}) = \dot{m}C_p(T_{out} - T_{in}) \quad (6)$$

펌프는 메탄의 개질반응에 필요한 물을 공급하는 역할을 하며 펌프의 효율 특성곡선을 활용하여 유량을 계산하였다[11].

$$\begin{aligned} \dot{m}(h_{in} + \frac{1}{2}v_{in}^2) &= \dot{m}(h_{out} + \frac{1}{2}v_{out}^2) + \dot{W}_p \\ \frac{\dot{W}_p}{\dot{m}} &= \frac{h_{out} - h_{in}}{\eta} = \frac{p_{out} - p_{in}}{\eta \cdot \rho} \end{aligned} \quad (7)$$

터빈에서는 연소에서 배출되는 고온 고압의 가스가 터빈을 통과하여 발전을 하고 저온 저압의 가스로 배출된다[11].

$$\dot{W}_t = \dot{m}(h_{in} - h_{out}) \quad (8)$$

3-Way 밸브에서는 밸브로 들어오는 가스의 유량을 밸브의 열림 정도로 분배하는 기능을 한다.

$$\begin{aligned} \dot{m}_{out1} &= pos \cdot \dot{m}_{in} \\ \dot{m}_{out2} &= (1 - pos) \cdot \dot{m}_{in} \\ \dot{m}_{in} h_{in} &= \dot{m}_{out1} h_{out1} + \dot{m}_{out2} h_{out2} \end{aligned} \quad (9)$$

혼합기에서는 두 배관에서 들어온 가스를 혼합하여 내보내는 기능을 한다.

$$\dot{m}_1 h_1 + \dot{m}_2 h_2 = \dot{m}_{out} h_{out} \quad (10)$$

## 2.2 시스템 구성

Figure 1은 본 연구에서 제안된 메탄올을 연료로 사용하는 내부개질형 500kW급 고체산화물형 선박용 연료전지 단독 시스템의 구성도를 보여주고 있다. 연료전지에서 배출된 배기가스는 최종적으로 열교환기 3을 통과해서 외기로 배출되게 된다.

Figure 2는 연료전지 단독 시스템의 배기가스라인에 이코노마이저를 추가하여 설치한 경우의 시스템 구성도를 보여주고 있다. 공기 블로어에서 공급된 공기는 이코노마이저와 열교환기 1을 통과하여 연료전지 스택의 캐소드 측으로 공급된다. 연료인 메탄과 개질반응에 필요한 물도 이코노마이저와 각각의 열교환기 2와 3을 통과하여 믹스 2에서 혼합되어지고 열교환기 4를 통과하여 연료전지 스택의 애노드 측으로 공급되어진다. 애노드와 캐소드 측으로 공급되어진 가스는 연료전지 스택 내부의 화학반응에 의해서 소비되고, 화학반응이 이루어지지 않은 메탄과 개질반응으로 발생된 수소 중의 미반응 가스는 스택 출구에서 합쳐져서 연소기로 공급된다. 연료전지 스택에서 배출되는 미연소 가스인 메탄과 수소는 연소에서 전부 연소가 이루어진다. 연소에서 연소된 가스를 이용하여 터빈을 구동하여 전력을 얻고 고온의 가스는 3-Way 밸브로 이동한다. 3-Way 밸브에서는 애노드 및 캐소드 공급가스를 가열하기 위한 열원으로 사용되어지는 가스의 유량을 조절한다. 밸브의 위치가 0의 경우에는 가스가 전부 OUT 2 방향으로 흘러가서 열교환기 4번으로 공급되어 애노드 공급가스를

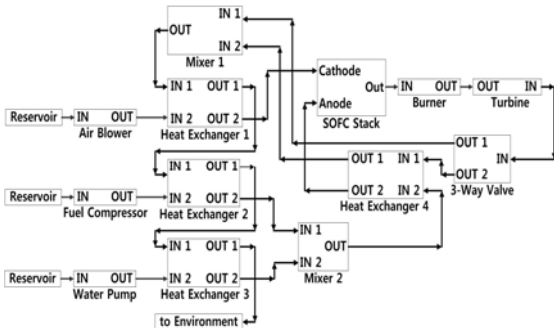


Figure 1: Layout of SOFC system

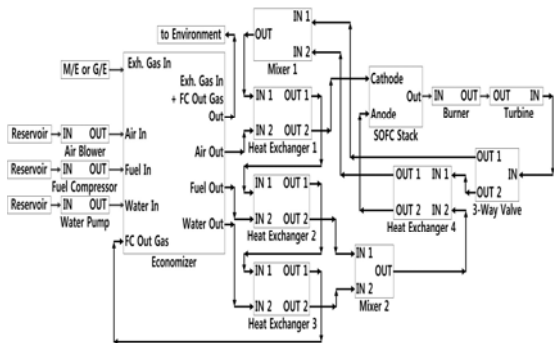


Figure 2: Layout of SOFC+Economizer system

먼저 가열하고 믹스 1을 통과한 후, 열교환기 1, 2,3번으로 공급되어 이코노마이저에서 가열된 공기, 연료 및 물을 가열하는 열원으로 사용되어진다. 반대로 밸브 위치가 1일 경우에는 가스가 전부 OUT 1 방향으로 흘러서 믹스 1을 통과하고 열교환기 1, 2, 3번에서 공기, 연료 및 물을 가열하는 열원으로 우선적으로 사용이 된다. 3-Way 밸브의 열림 정도는 애노드 및 캐소드로 공급되는 가스의 온도가 동일하게 유지되도록 자동적으로 조절되어 지도록 모델을 개발하였다. 열교환기 1, 2, 3을 통과한 연료전지 배기가스는 이코노마이저에서 엔진의 배기가스와 혼합되어져 연료전지 스택으로 공급되는 공기, 연료 및 물을 가열하는 열원으로 활용되고 외기로 배출되는 시스템이다.

### 2.3 해석 조건

본 연구에서의 연료전지 시스템 운전의 기본적인 조건은 SOFC 시스템에서 500kW의 출력을 얻기 위하여 메탄 공급유량은 0.024(kg/s), 공기 공급

Table 1: Exhaust gas data of engine

Engine power (%)	Engine power (kW)	Exhaust gas temperature at T/C outlet (K)	Exhaust gas flow (kg/h)	Exhaust gas flow/Engine power (kg/h)/kW	
M/E	100	80123	549	655565	8
	75	60100	535	499143	8
	50	40079	591	304403	8
	25	20039	585	171459	9
	100	68493	546	573389	8
	75	51371	530	463814	9
	50	34246	560	319911	9
G/E	25	17120	572	164084	10
	100	3470	591	26770	8
	75	2602	593	21115	8
	50	1735	627	14368	8
	25	867	616	9138	11
	10	347	549	6698	19
	100	3135	617	22133	7
Average value	75	2351	636	16971	7
	50	1567	648	11906	8
	25	783	618	7754	10
	10	313	543	5793	18
Average value				10	

유량은 0.6(kg/s), 물 공급유량은 0.07(kg/s), 메탄과 공기 및 물의 공급 온도는 298.15(K), 압력은 320(kPa)이고 터빈의 출구 압력은 101(kPa)로 가정하여 계산을 수행하였다[10].

Table 1은 선박의 주기관(Main Engine) 및 발전기(Generator Engine)의 엔진 출력에 따른 배기가스 유량의 샘플을 보여주고 있다. 현재 선박에 탑재되어 운전되고 있는 엔진의 사양 및 운전범위가 다양하기 때문에 본 연구에서는 선박 엔진의 출력에 따른 배기가스 유량의 평균치를 사용하여 출력 1kW당 엔진 배기가스의 유량을 10(kg/h)로 가정하였다. 또한 선박 엔진의 배기가스 온도는 엔진의 운전 상태에 따라 변동이 가능하기 때문에 이코노마이저로 공급되는 엔진 배기가스의 온도를 543K, 583K, 623K로 가정하여 계산을 수행하였다. 계산 결과는 전체 시스템이 안정화되어 온도변화가 없는 상태에서의 값을 나타내고 있다.

### 3. 해석결과

### 3.1 이코노마이저 설치에 따른 영향

Figure 3은 연료전지 단독시스템(Figure 1)과 연료전지 단독시스템에서 외기로 버려지는 가스(to Enviro.)의 열원을 활용하기 위하여 이코노마이저를 설치(Figure 2)한 경우에 대하여 외기로 배출되는 가스온도(to Enviro.), 연료전지 스택으로 공급되는 애노드(An\_Inlet) 및 캐소드 (Ca\_Inlet)로 공급되는 가스온도의 계산 결과를 보여주고 있다.

이코노마이저가 없을 경우(w/o Eco., Figure 1) 외기로 배출되는 가스(to Enviro.)의 온도는 438K, 애노드 및 캐소드 입구로 공급되는 가스의 온도는 830K임을 알 수 있다. 이코노마이저를 활용(w Eco., Figure 2)하여 연료전지 단독시스템에서 외기로 버려지는 438K의 열원을 연료전지로 공급되는 가스의 가열원으로 활용한 경우 애노드 및 캐소드 입구로 공급되는 가스의 온도는 963K까지 증가하고 외기로 배출되는 가스 온도는 373K가 됨을 알 수 있다. 본 연구에서 제안된 연료전지 시스템에서는 연료전지로 공급되는 가스를 가열하기 위하여 히터나 버너 등의 추가적인 열원을 설치하지 않고도 이코노마이저를 활용하여 이코노마이저로 공급되는 연료전지 배기가스의 유량을 적절히 조절함으로써 연료전지 스택으로 공급되는 가스를 가열하는데 충분히 활용 될 수가 있음을 알 수 있다. 또한, 선박이 정박 중이거나 엔진의 사용이 없는 경우에는 373K의 연료전지 배기가스를 기존의 선박 보일러 운전과 연계하여 활용할 경우 보일러에서 사용되는 연료유와 저장에도 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

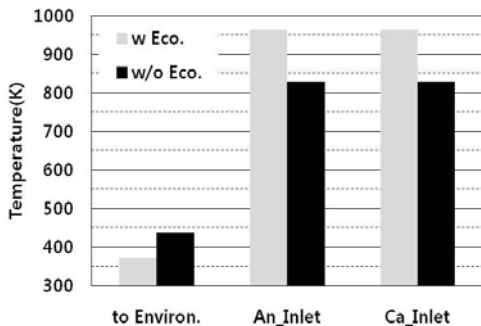


Figure 3: Temperature characteristic in case of utilizing the economizer

### 3.2 엔진 배기가스 온도 및 출력의 영향

본 절에서는 이코노마이저가 설치된 연료전지 시스템(Figure 2)에 선박의 엔진으로부터 배출되는 배기가스가 공급되는 경우, 엔진의 배기가스 온도 및 출력에 따른 외기로 배출되는 가스온도 및 연료전지 스택으로 공급되는 가스온도에 대하여 검토하였다. 연료전지 스택으로 공급되는 가스온도는 연료전지 출구측에 위치한 3-Way 밸브에서 애노드 및 캐소드 온도가 동일하게 유지되도록 제어되기 때문에 연료전지로 공급되는 애노드 및 캐소드의 가스 온도를 의미한다. 선박 엔진의 배기가스 온도는 각각의 엔진 출력(1MW, 3MW, 5MW, 10MW, 30MW, 50MW)에 대하여 엔진의 운전 상태에 따라 변동이 가능하기 때문에 543K, 583K, 623K로 가정하여 계산을 수행하였다.

Figure 4는 본 연구의 계산 조건에서 연료전지로 공급되는 가스 온도가 가장 높게 계산되어진 엔진 출력 1MW의 경우, 엔진 배기가스의 온도에 따른 외기로 배출되는 가스온도(Eco. Outlet) 및 연료전지 스택으로 공급되는 가스 온도(FC Inlet)의 계산 결과를 보여주고 있다. 엔진의 배기가스 온도가 높을수록 연료전지로 공급되는 가스온도가 높아지고 이코노마이저 출구온도도 높아진다. 이러한 경향은 다른 엔진 출력 조건에서도 동일하였다. 연료전지로 공급되는 가스의 최고 온도는 엔진 출력이 1MW이고 엔진 배기가스 온도가 623K인 경우에 942K이다. Figure 3에서 엔진의 배기가스 폐열을 이용하지 않고 연료전지 배기가스만을 활용한 경

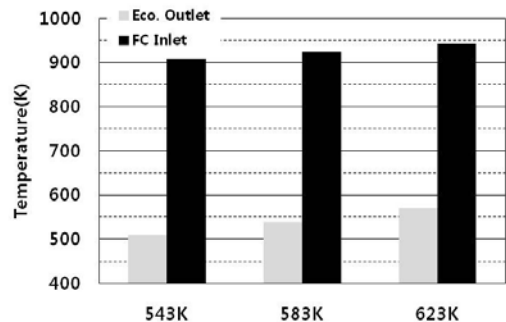
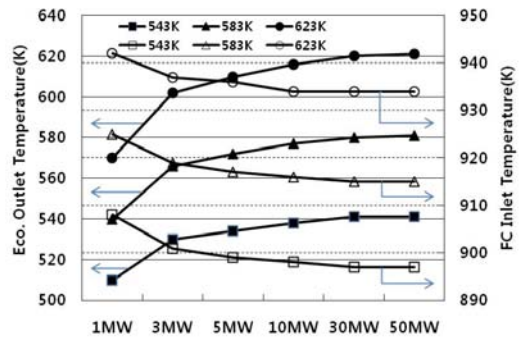


Figure 4: Temperature characteristic in case of utilizing the engine exhaust gas

우의 애노드 및 캐소드로 공급되는 가스온도 963K 보다 낮음을 알 수 있다. 이는 엔진의 배기가스를 활용하지 않았을 경우의 이코노마이저 입구에서의 연료전지 배기가스 온도가 730K로 엔진의 배기가스 온도 623K보다 높기 때문에 엔진의 배기가스와 혼합되어 온도가 오히려 낮아지기 때문이다.

본 연구에서 제안된 고온형 SOFC 시스템의 경우에는 선박의 배기가스 폐열을 활용한 경우에 오히려 연료전지로 공급되는 가스의 온도가 낮아지기 때문에 연료전지 시스템의 운전온도에 맞추어 이코노마이저의 적절한 활용이 필요할 것으로 판단된다. 본 결과는 향후 연료전지 시스템이 저온형인 PEMFC인지 고온형인 MCFC 및 SOFC인지에 따라서 이코노마이저의 배기라인 연결시 고려되어야 될 중요한 요소로 판단된다. 또한, 현존 선박의 이코노마이저에 연료전지로 공급되는 가스를 가열하기 위한 추가적인 배관(열교환기)을 설치할 경우에는 추가적으로 설치되는 배관의 영향에 따른 이코노마이저 가스 입·출구의 차압 증가분을 충분히 고려하여 엔진 배기가스의 배압이 증가되지 않는 범위에서 이루어지면 엔진 성능에는 큰 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다.

**Figure 5**는 선박 엔진의 출력(배기가스의 유량) 및 배기가스 온도에 따른 외기로 배출되는 가스온도(Eco. Outlet Temperature) 및 연료전지 스택으로 공급되는 가스 온도(FC Inlet Temperature)의 계산 결과를 보여주고 있다. **Figure 4**에서 기술한 바와 같이 엔진의 출력에 관계없이 배기가스 온도가 높은 경우에 연료전지로 공급되는 가스의 온도가 높고 이코노마이저 출구의 온도도 높은 것을 알 수 있다. 동일한 엔진의 배기가스의 온도(엔진상태가 일정하게 유지)에서 엔진의 출력(배기가스의 유량)이 변화한 경우에는 출력이 높아질수록 외기로 배출되는 가스의 온도는 높아진다. 엔진의 출력이 낮은 경우가 출력이 높을 경우보다 이코노마이저의 입·출구 가스 온도차가 높고, 엔진출력이 50MW의 경우 이코노마이저 입·출구 가스의 온도차가 2K 정도로 거의 변화가 없음을 알 수 있다. 이는 연료전지의 배기가스와 엔진의 배기가스 폐열로부터 연료전지 스택으로 공급되는 가스로 일정량의 열



**Figure 5:** Temperature characteristic in case of utilizing the engine exhaust gas

이 손실되어도 배기가스의 유량이 증가하는 영향을 받아 이코노마이저 입·출구 가스의 온도차는 작아지기 때문이다.

동일한 엔진의 배기가스의 온도에서 엔진 출력이 높아질수록 연료전지 스택으로 공급되는 가스의 온도는 낮아지고 엔진 출력이 10MW 보다 높은 출력에서는 거의 일정하게 유지됨을 알 수 있다. 이는 이코노마이저에서 연료전지의 배기가스와 엔진의 배기가스 폐열이 합쳐질 때 연료전지의 배기가스 온도보다 낮은 엔진의 배기가스 유량이 증가함으로써 이코노마이저에서 혼합된 가스의 온도가 낮아지기 때문이다. 본 연구에서 제안된 시스템에서 연료전지 스택으로 공급되는 가스의 온도는 계산이 이루어진 엔진의 출력(배기가스 의 유량) 범위에서 최대 10K정도로 큰 차이를 보이지 않음을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 선박 배기가스의 폐열을 선박 전 원용 500kW급 SOFC 시스템으로 공급되는 연료, 가스 및 물을 가열하는 열원으로 활용한 경우의 연료전지로 공급되는 가스의 온도특성에 관하여 검토하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- (1) 연료전지 스택으로 공급되는 가스를 가열하기 위하여 히터나 버너 등의 추가적인 열원을 설치하지 않고 이코노마이저를 활용함으로써 연료전지의 애노드 및 캐소드로 공급되는 가스에 대하여 약 133K의 온도 상승효과를 얻을 수 있었다.

(2) 고온형 SOFC의 경우 연료전지 시스템의 배기가스만을 활용한 경우보다 선박 엔진의 배기가스 폐열을 같이 활용한 경우가 오히려 연료전지로 공급되는 공급 가스의 온도가 낮아지기 때문에 연료전지 시스템의 운전 온도가 고온인지 저온인지에 따라서 엔진 배기가스의 적절한 조합이 필요함을 알 수 있었다.

(3) 각각의 엔진 배기가스 온도에 대하여 엔진 출력(배기가스의 유량)의 변화에 따른 연료전지 스택으로 공급되는 공급 가스의 온도차는 최대 10K 정도로 엔진 출력에 큰 영향을 받지 않음을 알 수 있었다.

## 후 기

이 논문은 2013학년도 군산대학교 신입교수 연구비 지원에 의하여 연구되었으며, 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

- [1] International Maritime Organization(IMO), Report of the marine environment protection committee on its 65th session, 2013.
- [2] International Maritime Organization(IMO), Sub-committee on bulk liquids and gases 16th session, Development of international code safety for ships using gases or other low flashpoint fuels, Report of the correspondence group, 2011.
- [3] E. Fontell, "Wärtsilä fuel cell development program", The 8th annual Green Ship Technology Conference, 2011.
- [4] Fellowship project: [www.vikinglady.no](http://www.vikinglady.no) Accessed May 12, 2013.
- [5] e4ship project: [www.e4ships.de](http://www.e4ships.de) Accessed May 12, 2013.
- [6] F. Zabihian, and A. Fung, "A review on modeling of hybrid solid oxide fuel cell systems", International Journal of Engineering(IJE), vol 3, no. 2, pp. 85-119, 2009.
- [7] C. Strazza, A. Del Borghi, P. Costamagna, A.Traverso, and M. Santin., "Comparative LCA of methanol-fuelled SOFCs as auxiliary power systems on-board ships" Applied Energy, vol. 87, pp. 1670-1678, 2010.
- [8] L.-K Chung Tse, S. Wilkins, N. McGlashan, B. Urban, and R. Martinez-Botas, "Solid oxide fuel cell/gas turbine trigeneration system for marine applications" Journal of Power Sources, vol. 196, pp. 3149-3162, 2011.
- [9] W. Jiang, R. Fang, J.-A. Khan, and R.-A. Dougal, "Parameter setting and analysis of a dynamic tubular SOFC model" Journal of Power Sources, vol. 162, pp. 316-326, 2006.
- [10] S.-K. Park and M.-E. Kim, "A study on thermal management of stack supply gas of solid oxide fuel cell system for ship applications," Journal of the Korean Society of Marine Engineering, vol. 35, no. 6, pp. 765-772, 2011 (in Korean). [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.5916/jkosme.2011.35.6.765>
- [11] EUtech Scientific Engineering, Simulation Toolbox for the Design and Development of Thermodynamic System in MATLAB/Simulink, 2009.
- [12] Yinus A. Cengel, "Heat Transfer : A practical Approach", Korean Language Edition Copyright © 1999 by McGraw-Hill Book Co.-Singapore, 1999.