

연료유 공정설계를 통한 선박 및 함정의 기본품질 적용 가능성 연구

황광택^{1*}, 김도영²

¹광운대학교 방위사업학과

²광운대학교 전자바이오횰리학과

Feasibility Study of Fuel Property for Fuel Processing Design on Ship and Warship

Gwang-Tak Hwang^{1*}, Do-young Kim²

¹Defense Acquisition Program, Kwangwoon University

²Department of Electrical and Biological Physics, Kwangwoon University

요 약 국제해사기구를 통해서 연료유 품질향상 및 배출가스 저감에 대한 논의가 지속되어져 왔다. 국제적으로 가장 큰 관심사 중 하나인 연료유 품질에 대한 사항은 황 함유량 기준이 현행 3.5%에서 2020년까지 0.5%로 한층 더 강화된 규정을 적용하게 되면서 그 관심이 더 증폭되었다. 즉, 연료유의 기본품질은 국내외적인 연료유 정보, 기본성상, 실선 및 함정의 적용을 위한 특성간의 상관성을 포함한 정보사항까지 요구하게 되었다. 이와 관련하여, 국제사회는 연료유의 효율성과 경제성과 관련된 품질 가이드라인의 필요성을 요구하게 되었다. 이러한 흐름과 관련하여, 본 논문에서는 ISO 8217에 의한 기본 연료유 품질분석 결과를 제시하고, 연료의 점화성, 분산성, 기타특성에 대해서 분석하였다. 또한, 실험실 규모의 희석제의 전 후 데이터 결과값이 선박 및 함정의 운항에 적용 가능한 것인지, 기본품질의 상관성이 실선 및 함정에서의 연료의 효율성과 직접적으로 연관성이 있는지 정량분석을 통해서 찾고자 하였다. 물론, 현재의 연료유의 기본품질에 대한 규격이 일반적으로 통용되고 있음에도 불구하고, 연료유의 성상과 조성이 매우 복잡하여 그 기본품질에 대한 해석이 매우 어려운 것은 기본규격의 범위를 벗어나는 경우가 많이 존재하기 때문이다. 결론적으로, 연료유의 기본품질과 선박에서의 운항최적화, 함정에서의 연료 효율이라는 측면에서 연료유의 기본품질에 대해서 다양한 인자들을 분석하였고, 희석에 따른 그 기준의 적용 범위에 대해서 가능성을 제시하고자 하였다.

Abstract Environmental regulations, which are discussed through the International Maritime Organization, focus on two aspects: the economic supply of fuel oil and, ultimately, securing next-generation energy sources. At present, there are limitations in relation to the basic quality of fuel oil and the direct relation through basic quality when applied to ships and traps in relation to environmental regulations, and the standard for the basic quality of fuel oil is generally used. There are many cases where the composition is very complicated, and the interpretation and analysis of basic quality deviate from the range of the basic standard. In other words, it is difficult to classify and apply the problem when analyzing it in connection with fuel quality and ship operations. In this paper are various factors for the basic quality of fuel oil, and a proposed possibility for the scope of the standard.

Keywords : Consumption, Correlation Basic Property, Estimated Cetane Number, Fuel additive Engine, Military vessel

*Corresponding Author : Gwang-Tak, Hwang(Kwangwoon Univ.)

Tel: +82-10-8590-5180 email: hgtymn@gmail.com

Received January 30, 2018

Revised February 26, 2018

Accepted April 6, 2018

Published April 30, 2018

1. 서론

국제해사기구는 2018년부터 국제선박 연료 소비량 수집의무화를 이행하고 있고, 추가적으로, 환경오염을 예방하고 선박의 에너지 효율성 높이기 위한 기준을 강화하고 있다. 이와 관련하여, 산업계에서는 연료유의 효율성과 관련하여 ISO 기준에 의한 정량적 평가를 포함한 정성적 평가까지 정보사항을 요구하고 있다. 이러한 현실은 연료유의 기본품질이 선박의 운항 및 함정에서의 운항의 최적화 및 효율성에 매우 중요한 요소임을 반증해 주고 있다. 현재, 연료유 분석은 기본인자들에 대한 정량적 평가는 수행되고 있으나, 기본인자의 상관성을 바탕으로 선박의 연료소모율 및 배출가스와 운항에서의 효율성에 대한 접근은 매우 미흡한 실정이다[1].

이와 관련하여, 시험기준에 의해서 제시된 인자들을 분류하고, 이를 바탕으로 ISO 8217에 의한 상관성 지표 설계를 통해서 실선 및 함정에서 사용되고 있는 연료유의 기본품질 및 성상의 적용 가능성을 제시하고자 하였다[2]. 즉, ISO 에 의한 점화성 연소인자, 밀도 점도 등 기본물성을 분석하고, ASTM D-7061에 의한 분산안정화도 분석을 통해서 슬러지 발생량의 증가, 다양한 종류의 슬러지 집적화 현상, 반응성 등을 일차적으로 분석하고, 수집된 기본 품질인자간의 상관성을 통해서 실험실 규모에서 선박과 함정에 관련 데이터를 비교분석하여 회석에 따른 연료의 효율성과 소모율, 향후 연료의 에너지 효율과 관련된 최소한의 가이드라인을 제시하고자 하였다[3].

2. 연료유 기본품질을 위한 공정설계

2.1 연료유 기본품질에 대한 이해

연료유는 석유정제 과정에서 생성되는 잔사유(Residual Fuel Oil)인 갈색 또는 흑갈색의 증류가 해당된다. 증류 제조과정에서 나프타유분까지의 경질유를 제거한 증류유(distillates)와 잔사유(residual oils)의 혼합물 또는 증류 잔사유가 발생하게 된다.

일반적으로, KS 규격의 증류에 해당하는 연료유는 디젤연료유 또는 버너용 연료유로 규정하고 있으며, 이는 증류유라고 부른다. 증류는 증류 잔사유를 주성분으로 하여 정제과정에서 점도, 잔류 탄소분, 유황분 또는 유동점 등을 조정하여 연료로서 부적당한 불순물과 수분 등

의 혼입된 상태로 존재하기도 한다. 제공 가능한 연료유에 대한 국제 품질기준은 ISO 8217:2012에 명시되어 있고, 연료유는 증류유(Distillate marine fuel)과 잔사유(Residual marine fuel)로 구분할 수 있으며, 증류유는 4종, 잔사유 11종으로 세분화 한 값은 표 1과 같다.

Table 1. Representative Parameter for Fuel Oil

Parameter	Unit	Residual Oil	Method
Cetane index	-	x	Cetane Index
CCAI	-	o	Zeelenberg 193
Sulfur	mass %	o	ISO 8754
Flash Point	℃	o	ISO 279
Hydrogen Sulfide	mg/kg	o	IP 570
Oxidation Stability	g/m ³	x	ISO 12205
Cloud Point	℃	o	ISO 3015

2.2 연료유 분석을 위한 공정설계

연료유 점화성 분석을 위한 공정설계는 FIA 시험분석기를 통해서 시간에 따른 연소성 인자를 산출하게 된다. 점화지연, 주점화지연 등이 해당한다. 점화지연(Ignition Delay)는 연료 분사시점에서 최대연소압력의 1%가 되는 지점을 말하며, 점화지연은 연료유의 연소성 지표의 대표적 인자로서 CCAI와의 상관성 지표로서 활용된다. 주 점화지연(Main Combustion Delay)는 연료 분사 시점에서 최대연소압력의 10%가 되는 시점까지를 의미한다.

주 점화주기(Main Combustion Period)는 최대연소압력의 10%시점에서 90%까지를 가리킨다. 정상상태 시험 조건값은 그림 1과 같다.

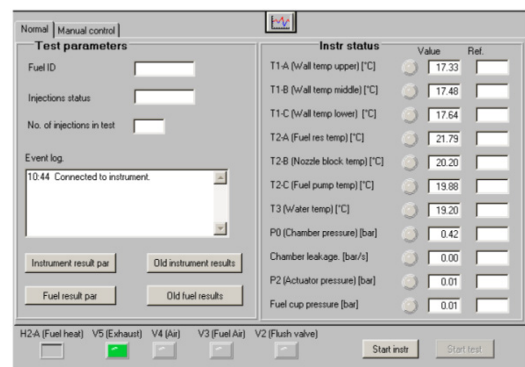


Fig. 1. Operation & Control Conditions

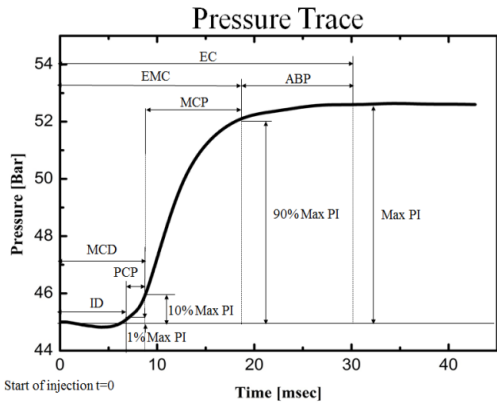


Fig. 2. Pressure Trace to Time by Fuel Ignition Analyzer

2.3 분산화도 분석을 위한 공정설계

분산안정화도 분석기(Stability Dispersion Analyzer)는 880nm인 근적외선을 광원으로 사용하여 투과도와 후방산란(Backscattering)을 측정하게 된다. 분석 과정에서는 광자(Photon)가 여러 개의 입자들과 산란을 일으키는 동안의 평균자유경로(Mean Free Path Photon)에 따라 달라지며, 이러한 평균자유경로는 궁극적으로 분산된 입자의 크기(d)와 농도(PPM)에 따라 결정된다. 투과광 열감지기(Transmission Detector), 후방산란열광감지기(Backscattering Detector)로 증유에 희석제를 첨가하였을 때 분리차수를 산출하게 되고, 분리차수의 높낮이에 따라 연료유의 분산안정성을 산출하게 된다. 공정설계도는 그림 3, 4와 같다.

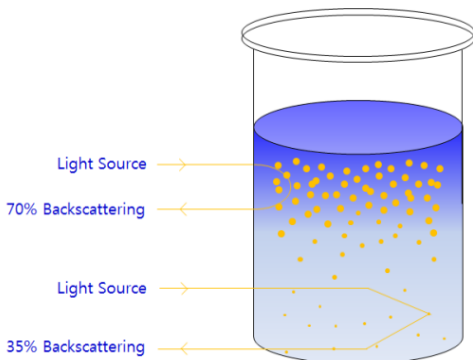


Fig. 3. Backscattering & Transmission

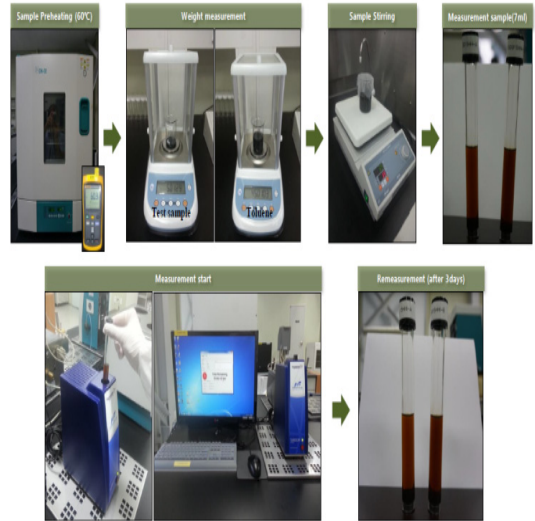


Fig. 4. Measurement for Stability Separability Number

2.4 실험실 및 실선 운항에 대한 공정설계

ISO 8217에서 제시한 시험 항목 이외의 기본인자에 대한 추가시험 설계에서 기본시험 인자 외에 실험실 규모에서의 희석에 따른 연료소모율, 배출가스 물질에 대한 분석을 수행하였다. 미립자 및 희석에 따른 5회차 중 3회차 진행부분에 대한 수행결과는 아래 표 2와 같다.

Table 2. Measurement of NOx emission

Schedule	1 st	2 nd	3 rd
Reference	805.68	805.42	812.28
additive 1	796.10	800.27	799.32
additive 2	801.68	802.35	801.18

NOx 방출량은 3회차 시험값 대비 첨가제 투입에 따른 미미한 저감값을 가지고 있다.

Table 3. Measurement of Fuel Consumption Rate

Schedule	1 st	2 nd	3 rd
Reference	64.60	64.50	64.58
additive 1	64.72	64.67	64.71
additive 2	64.69	64.68	64.68

연료소모율은 시험값 대비 첨가제 투입에 따른 값과 큰 차이가 없는 것으로 분석되었다.

Table 4. Measurement of Particulate Matter

Schedule	1 st	2 nd	3 rd
Reference	110.38	84.08	76.01
additive 1	90.39	78.15	77.88
additive 2	88.87	90.76	72.53

PM은 시험값 대비 첨가제의 투입에 따른 결과값이 현저하게 감소한 것으로 분석되었다.

Table 5. Measurement of THC

Schedule	1 st	2 nd	3 rd
Reference	94.93	97.05	97.66
additive 1	94.47	94.68	95.24
additive 2	94.58	94.84	95.76

THC는 시험값 대비 첨가제 투입에 따른 값과 큰 차이가 없는 것으로 분석되었다.

Y. Liu et al에 의해서 제시된 연료유의 실선 적용시 탑재된 엔진에서 유효성, 오염지수, 엔진출력, 연료 소모율을 적용한 사례를 바탕으로 설계를 하였고. DNV research & Innovation Piraeus의 선박의 기관설계 및 모델링에 대한 에너지 및 연료효율 분석한 결과를 바탕으로 실선에서의 연소성 및 소모율 설계에 적용하였다. 대상 선박명은 M/V HYUNDAI JAKARTA이다. 포트별 터미널 상세사항은 아래 그림 6과 같다.



Fig. 5. The Facility of Engine Room

해당 운항선박으로부터 계측수집된 데이터(1회/minute)는 위성통신을 통해 선사로 보내어져서 데이터를 일차적으로 축적하게 된다. 이후에는 가공되지 않은 데이터 형태(Raw data)의 기본 데이터를 On-line 파일형태로 보관 저장하게 된다. 송부된 Raw data를 각 부속장치(components part)별 일일(Daily)로 처리되어져 항차별로 보관하게 된다. 항차별로 정리된 데이터는 각 주요 구성부품에 대한 항차별 비교작업을 수행한다. 이와 같은 모든 정리 작업은 선박/선사들이 보내주는 Raw data에 대한 자동화 처리과정을 통해 일괄적으로 이루어진다.



Fig. 6. Movement to Local Position(Port)

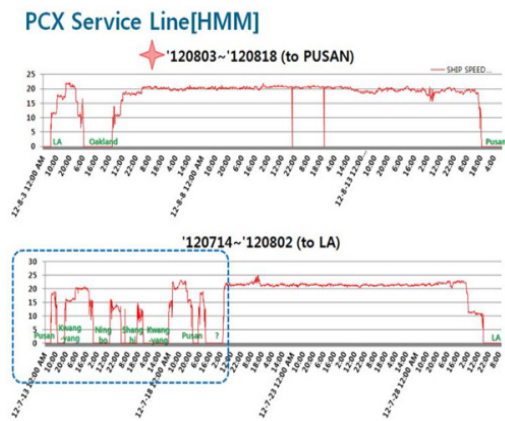


Fig. 7. Voyage information for PCX

항로별(LA, PUSAN) 측정데이터 값들은 위치정보에 따라서 상이하게 나타나는 것으로 분석되었다.

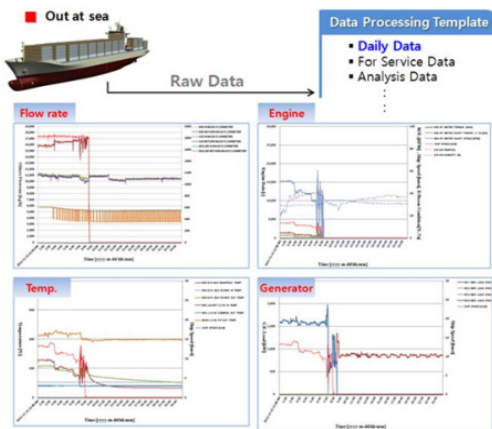


Fig. 8. Voyage information for PCX

2.5 함정용 연료유 분석을 위한 공정설계

함정은 특정장비 및 운용상 특수성으로 인하여 시험용으로 소개된 장비 및 관련 기자재 및 탑재되어 개별적 성능을 제시하지 못하며, 본 공정설계에서 군사적으로 적용하는 함정 연료유의 특성상 그 분석값을 일부 수정하여 산출하였다. MTU 고시된 시험 인자들을 적용하여 연료유에 대한 성능 시험값을 도출하였고, 연료유 품질 값을 기존 자료를 활용하여 수정하였다. 일반적으로, 함정용 연료유에 대한 정보는 부적합한 엔진을 비롯하여 엔진 구성품의 성능을 저감시키고 엔진의 위험성을 초래하는 원인인자에 대한 정보까지도 포함하고 있다. MTU 기본품질값에 적용한 개량형 엔진은 그림 9와 같다.

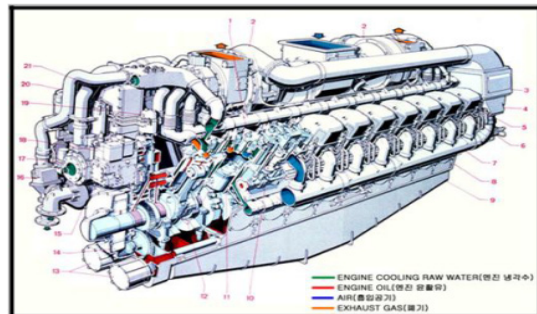


Fig. 9. MTU 956 RWDB Engine

* Revision Guidance of Fuel Quality for Warships

3. 공정설계 및 분석결과

3.1 연료유 기본품질을 위한 공정설계

일정한 밀도와 점도간의 관계를 통해서 탄화방향족성 지수(CCAI) 산출이 가능하며, 잔사유에서는 점도와 밀도, 그리고 CCAI 경향성을 분석하게 된다. 탄화방향족성 지수는 오프스펙 내에서 적용된 값에서 연료유의 점화특성을 나타내고 있으며, 세탄가의 경우에는 40-50이 일반적이다. 낮은 세탄가를 가진 연료유는 연소과정에서 더 많은 시간이 필요하게 되며, 알킬 니트레이트(2-ethylhexyl nitrate)와 di-tert butyl peroxide는 세탄가 향상제로 사용되고 있다. IUPAC 규칙에 따라 헥사데칸(Hexadecane)으로 적용되었다. 대표성 있는 탄화방향족성지수를 밀도와 점도로 산출하는 것이 공급자와 수급자라는 관점에서 품질의 규격을 100% 만족할 수 없는 상황이다.

이와 관련하여, 본 연구 설계에서는 메틸사이클로헥산(Methylcyclohexane)을 이용한 보정시험 3회, 기준연료 1회, 그리고 희석 및 첨가에 따른 3회와 추가시험에 대해서 첨가제 희석을 적용하였다. 또한, 점화·연소성 시험조건은 권장 및 제안된 희석율을 적용하였다.

Table 6. Analysis for Parameter on Diluted Fuel

Schedule	ID	MCD	PMR	max ROHR	AR	ECN
Base Fuel	6.82	8.61	10.39	1.24	7.94	13.0
A(4000:1)	6.39	8.51	10.2	1.16	7.47	13.4
A(1000:1)	6.96	8.59	10.28	1.18	7.36	13.1
A(100:1)	6.92	8.59	10.32	1.19	7.51	13.1
B(6000:1)	6.39	8.57	10.34	1.20	7.49	13.2
B(100:1)	7.01	8.77	10.29	1.16	7.33	12.5
C(8000:1)	6.98	8.67	10.31	1.12	7.39	12.8
C(100:1)	7.01	8.77	10.29	1.16	7.33	12.5

연소성을 판단지표 분석결과 MCD(Main Combustion Delay)와 ID(Ignition Delay), ID, PMR은 첨가제의 종류와 희석율에 따라서 점화지연(ID)값이 변화를 보이고 있으며, MCD에도 영향을 미쳤다고 할 수 있다. 따라서 특정 범위 내에서는 희석에 따른 ROHR, Pressure, 기타 인자들에 차이가 있다고 할 수 있다.

희석율을 다양하게 분석한 결과 상대적 인자들과의 상관성 분석은 제한값 내에서 대체로 유사한 유도세탄가를 가진 것으로 분석되었고, 시험 설정값에 따라서 최고 열방출율이 다소 상이한 것으로 분석되었다. 제조사 권장사항 및 자체 스펙의 범위 내 시험값은 큰 특이성이 없었다[4].

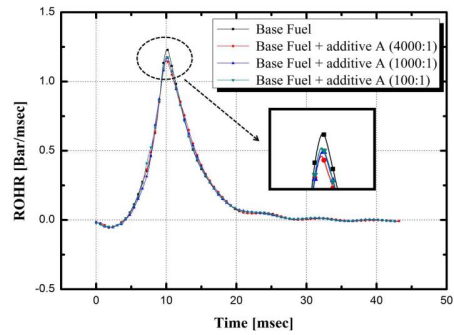
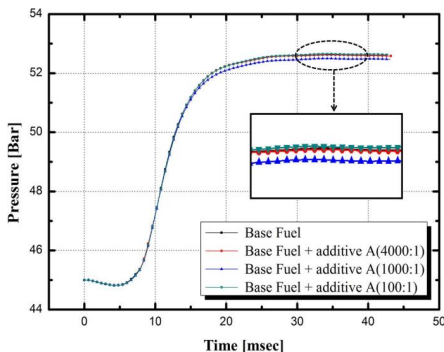


Fig. 10. Pressure & ROHR of Dilution Factor

3.2 분산 안정화도 분석의 공정설계 결과

분산안정화도 분석에 사용된 메틸사이클로헥산(Methylcyclohexane)을 사용한 보정시험 3회, 기준연료 1회, 그리고 희석 및 첨가에 따른 3회를 적용하였다. 일반 시험에서 응집(Flocculation), 응고 거대화(Agglomeration) 반응형태가 침적되어 나타났으며, 분리차수별로 분산 안정화도를 분석한 결과를 확인할 수 있다[5].

ASTM D-6801에 따른 분리차수는 5보다 작을 때에는 전체적인 반응이 안정화되어 있다고 할 수 있으며, 중간안정단계, 불안정 단계로 구분하게 된다. 안정화도를 5/5-10/10이상의 단계로 구분하여 점화지연, 연소상태, 점화에 따른 열 방출비율, 최대 방출비율, 유도세탄가 등의 인자들에 대한 정량적 분석을 최적화 비율로서 분석 되었다.

Fig. 11. Reaction Mechanism of Stability Phase

측정결과 투과율의 관계는 희석율에 따라 분리차수를 분석하게 되었고, 그 결과는 그림 12와 같다.

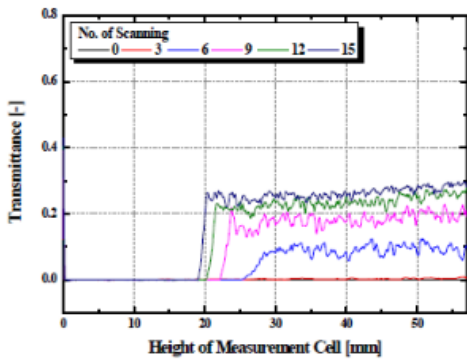


Fig. 12. Correlation between Measurement Cell and Transmission Rate(1:100 Dilution Rate, 7.9 Separability Number)

1:100 희석율을 조정하여 침적에 따른 분리차수 7.9로 분석되었고, 다소 불안정성이 있는 것으로 확인되었다.

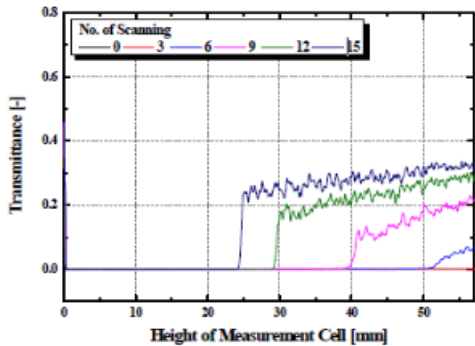


Fig. 13. Correlation between Measurement Cell and Transmission Rate(1:100 Dilution Rate, 8.4 Separability Number)

1:100 희석율을 조정하여 침적에 따른 분리차수 7.9보다는 더 불안정한 상태로 확인되었다.

3.3 실험실 규모에서의 공정분석 결과

기본 시험에서 엔진 설계 최적값인 20%(제조사에서 제시한 사양값)로 환산하여 적용하였고, CO와 THC는 시간이 경과함에 따라서 전반적으로 일정하게 유지되는 경향을 나타내고 있으며, NOx는 전반적으로 감소하는 것으로 분석되었다. 또한, CO, THC, NOx는 지속적으로 증가와 감소를 하고 있으며, 이에 따른 배기압력의 변화는 시간이 경과함에 따라서 압력이 증가하게 되어 엔진

에서 배출된 입자상 물질이 배기관 끝단내부에 축적된 상태로 분석되었다.

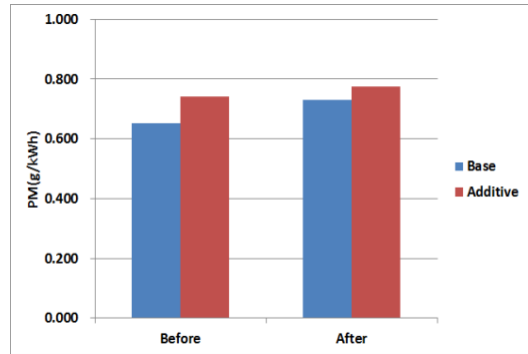


Fig. 14. Particulate Matter of Dilution Factor (1:6000, Dilution Factor)

1:6000 희석율을 조정한 PM값의 변화는 다소 증가한 것으로 분석되었다[6].

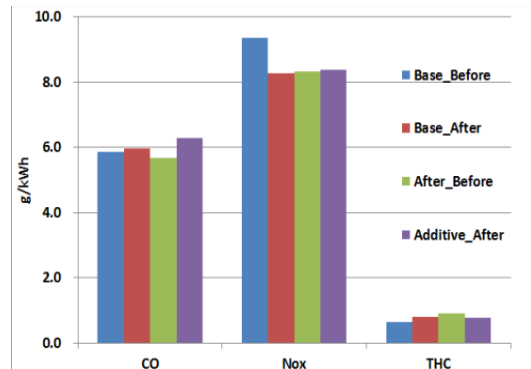


Fig. 15. The Phase of Emission Material Consumption Rate (1:6000, Dilution Factor)

기본 실험실 규모에서의 전후 배출가스 변화 경향을 분석한 결과 기본시험과 동일한 결과가 관찰되었으며, 별도의 시험장비를 통한 결과값에 영향을 미쳤다는 결과를 갖게 되었다[7]. PM이 지속적으로 증가하기 때문에 PMC에 유입되는 배출가스 온도를 기본시험에서 온도조건300℃로 조정하여 일반적인 온도조건보다 낮게 하여 재생이 원활하지 않게 된 것으로 판단된다.

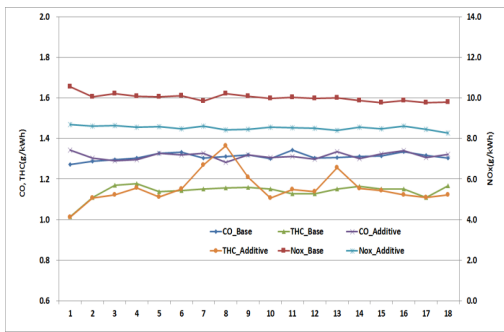


Fig. 16. The Phase of Emission Material Consumption Rate(1:6000, Dilution Rate)

CO와 THC의 증가와 NOx의 감소경향은 배기관 하단에 탑재되어 PMC 내부에 입자상 물질이 축적된 상태로 분석되었다

3.4 실선 데이터 공정해석 결과

시간영역으로 정리된 데이터는 특정최대비율 SMCR (Specific Maximum Continuous Rating)을 적용하여 시간영역의 세로축을 SMCR로 나타내어 평가하였다. 속도 데이터는 PCX 항로를 운항하는 해당 선박의 속도를 SMCR로 나타낸 것이다. Eastbound인 to LA 와 Westbound인 to PUSAN의 SMCR에 대한 선속도는 유사한 형상을 보이고 있다. 각각 SMCR 40% 이후에서 최고속도를 가지고 있으며, 출력이 증가할수록 속도는 증가하지 않는다. 희석제의 연료유가 투입된 시점에 따른 결과를 명확히 하기 위해서 “13_0216-0228”과 “13_0428-0521” 그리고, “13_7414-0427”과 “13_0522-05831” 결과를 참고했을 때 희석제의 연료유의 투입에 대한 속도 변화 및 영향이 특정범위 내에서 차이가 있는 것으로 분석되었다[8].

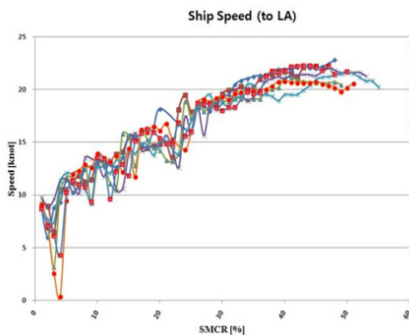


Fig. 17. Velocity to SMCR (LA)(1:1000 Dilution Rate)

LA 기준 속도 대비 PCX 항로를 운항하는 해당 선박의 속도를 SMCR로 확인했을 때, SMCR 별로 속도의 변화가 구간별로 크게 나타나고 있는 것으로 분석되었다.

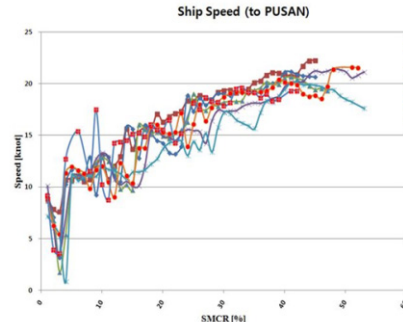


Fig. 18. Velocity to SMCR (PUSAN)

LA 기준 속도 대비 PCX 항로를 운항하는 해당 선박의 속도를 SMCR로 확인했을 때, SMCR 별로 속도의 변화가 구간별로 크게 나타나고 있는 것으로 분석되었다. SMCR을 SFOC로 구분하여 적용하였을 때 그림 19, 20과 같이 구간별로 변화는 확인 할 수 있으나 선상에서의 적용값들에 대한 다양한 변수는 제한적으로 적용하였다[9].

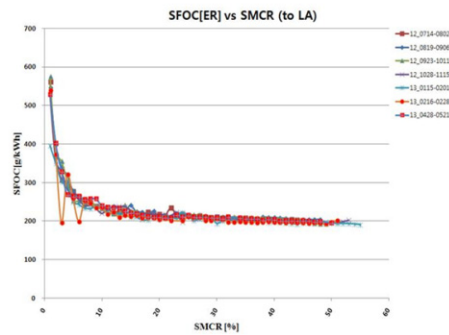


Fig. 19. Velocity to SMCR (LA)(1:1000 Dilution Rate)

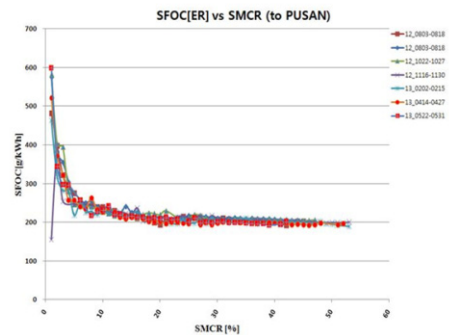


Fig. 20. Velocity to SMCR (PUSAN)

3.5 함정 기본 물성치 공정해석 결과

전투형 엔진은 좁은 기관실에서 잦은 속도 변경이 발생하여 해상과 기상조건에서 피칭, 롤링 등의 부하현상을 감당할 수 있도록 설계되어 있다. 엔진의 특성상 단위 면적당 출력이 매우 높으며, 출력 증가를 위해서 과급기 장치를 설치하여 많은 양의 공기를 실린더 내에 흡입시키고 있다. 또한, 엔진의 부품 재질은 특수강으로 이루어져 마력당 중량이 매우 가볍고 연료소모율이 적어 활용도가 높다. 상대적으로 엔진의 냉각수가 항상 예열되어 있어서 시동에서 최대 출력에 이르는 시간이 짧게 소요된다[10]. 점도의 경우 380cST를 선박 연료유에서 적용하여 500cST로 고점도화 됨에 따라서 엔진에서는 기계적 응력의 증가, 연소의 지연과 연소실에서의 구성 부품의 열응력이 발생하기도 한다. 이러한 온도의 불규칙 조건으로 인해서 청정기와 연료가열기에서 400cST의 고점도화로 인한 프로세싱이 안되는 경우도 존재한다.

한편, 함정에 적용 가능한 연료유는 시간 대비 속도의 비율을 최적화에 수분기준은 ISO와 CIMAC 자료에서 1.0%를 적용하고 있으며, 약 0.2%의 정상적인 값을 유지하고 있다. 잔류탄소분은 12%를 기본값으로 설정하여 17%로 제한하고 있다. 잔류탄소분의 증가에 따라 연소불량이 나타나기도 하며, 연소기간의 지연에 따라서 열부하를 증대시키기도 한다. 저부하시에 연소불량을 초래하기도 하고, 피스톤 정부, 탄소 퇴적물의 증가, 노즐팁 내에 유막현상이 나타나기도 한다. 유황분의 경우에는 5.0% 이하를 적용하고 있으며, 약 2.7%로 선박의 유황분을 사용하고 있다. 초고유황함유에 따라 부식마멸현상이 증가하게 되어 관련 대책이 요구되는 시점이다. 유황분의 기준은 MTU사에서 0.5%로 제한하고 있으며, 경유품질기준에서는 1.0%이하로 적용하고 있다.

4. 실험인자에 대한 결과분석

실험실 규모에서의 인자들을 연료의 분산화도의 높고 낮음이 점화성과 직접적인 연관성을 가진 것으로 분석되었고, 다소 열 방출율도 높게 나타난 것으로 확인되었다. 연료의 분산성을 분리차수로 확인하여 슬러지 분석 관련 해석 메커니즘을 규명할 수 있을 것으로 판단하고 있다 [11]. 본 논문에서 제시된 연료의 점화지연상태, 연소성, 열 방출비율, 유도세탄가 정량화 자료는 실험실 본 엔진

상태, 희석에 따른 비율, 실선에서의 속도 대 비율등과 직접적으로 적용 가능성을 분석하였으나 엔진시험 및 실선에서의 다양한 변수로 인해서 직접적인 적용 가능성을 세분화하기에는 다소 무리가 있는 것으로 판단되었다 [12]. 다만, 향후 추가적인 환경적, 경제적, 실험적 인자들의 개발을 통해서 연관성을 제시할 수 있다는 설계는 가능한 것으로 예측되었다. 전투용으로 설계된 함정에서의 적용가능성 판단은 무엇보다도 기존의 물성분석 데이터가 연료의 연소성은 물론, 효율성과도 매우 밀접한 연관성이 있다는 분석을 할 수 있었다. 향후 세부적인 연구가 필요할 것으로 확인되었다.

5. 제한사항 및 시사점

환경적 관점에서, 2015년 1월 1일 이후 배출통제지역에 적용되는 연료유의 황 함유량에 제한과 함께 연료유의 품질에 대한 논의가 지속적으로 진행되어 왔음에도 국내외 선사에서 선박에서 적재되는 연료유의 품질현황과 정보, 공급자 관점에서 연료유에 대한 분석평가 정보, 저품질 연료유 사용시 선박기관의 문제에 대한 상시적 가이드라인이 없는 상태이며, 현실적인 운항상의 운영방안에 대한 대책이 매우 미진한 실정이다[13].

경제적 관점에서, 고객은 연료유의 효율성을 극대화할 수 있는 연료정보를 획득하고자 하며, 이에 관련 시험 정보 및 인자들간의 상관성 지표, 운영상의 품질정보 등은 및 함정의 정상적인 운용과 관련 범위에 대한 정보까지 IMO 사무국을 통한 국제적 대응을 전사적으로 수행할 수 있도록 하고자 한다. 이를 통해서 연료유의 품질을 보다 적극적으로 모니터링을 할 수 있는 추진체 설립을 목표로 하고 있다[14].

해사 산업계 측면에서, 연료유 시험 및 품질에 대한 보고를 통해서 해사 안전지침 및 운항상의 위해 상황에 대한 전사적 활동은 어려움이 있으나 향후 선 지침수립이 가능하다고 할 수 있다. 연료유의 분석에서부터 운항, 선적 및 샘플링, 품질시험 및 평가, 이에 따른 해석을 통합적 관점에서 관리할 수 있는 통합지침을 개발하는데 기여할 수 있다고 전망하고 있다.

기술적 관점에서, 연료유의 잔사유에 대한 항구별 자료들을 통해서 실선 및 함정에서의 운항에 따른 실제 연료유의 효율성 검증에 대한 자료를 확충은 물론, 생태적,

환경적, 지역적인 다수의 인자가 존재하여 실질적인 인과성을 검증할 수 있는 공정설계도 가능할 것이라고 판단된다[15].

실험적 관점에서, 연료유 기본품질을 통한 인자간의 상관관계가 연료유의 희석에 따라 실선 및 실험실 규모에 적용했을 때에 일정한 상관성이 분석된다고는 할 수 있으나 실선 및 함정에서의 연료유의 희석에 따른 영향을 정량적 매커니즘을 통해서 분석하는 것이 어려운 것으로 분석되고 있다. 추가적인 연구에 대한 로드맵 수립 시 다양한 시험분석 인자를 반영하여 인자간의 상관성을 바탕으로 예측할 수 있도록 해야 한다[16].

싱가포르의 국제항의 경우 연료유의 공급과 수급에 관한 분쟁이 심화되고 있으며, 운항손실 및 기기손상을 통한 막대한 피해가 예상되고 있다. 연료유 공급과 수급에 관한 규정수립이라는 측면에서 기본 품질정보의 공유 확대라는 부분과 연계되어 지속적으로 관리 감독을 강화해 나아가야 할 것으로 판단된다.

6. 향후 연구방향

첫째, 대기환경 관점에서 연료유의 고품질 고도화를 비롯하여 비도로 오염원의 선박부분 배출현황 및 관리체계의 전문화에 집중적으로 투자를 할 것으로 판단되며, 대기오염 물질의 정책개발을 전략적으로 추진할 것으로 사료된다. 또한, 선박에서 배출되는 대기오염물질의 저감 기술 개발에 박차를 가할 것으로 판단되며, 저공해 및 황함유량 규제와 구축을 위한 로드맵 수립에 이러한 노력이 기여할 것으로 생각된다[17].

둘째, 항구별 샘플유 관리를 통해서 제시할 수 있는 수많은 ISO, ASTM, 기타 시험기준이 존재함에도 불구하고 다양한 종류의 연료유의 물성에 대해서 정량적으로 제시하기가 쉽지 않고, 품질 기준을 통용된 범위 내에서 실제 적용되고 있는 실선 및 함정의 연료유의 물리화학적 성상에 대한 부분을 기존 기준에서 제외 및 벗어나는 사례가 다수 발생하고 있으며, 이를 실험실 규모와 실선 규모에서의 성상을 직접적으로 연관성이 있는 상관성을 제시할 수 없는 상황이다. 실제 엔진 및 선박에서 운전하면서 객관적인 성능 검증을 할 수 있도록 현재 시도하고 있는 상태이며, 관련 기술 및 실제 가이드라인의 전체 상관성을 제시할 수 있을 것을 기대하고 있다[18].

셋째, 연료유의 기본 품질에 대한 분석은 유가변동을 고려한 경제성 분석, 선종 및 선령, 항해구역에 따른 경제성 평가를 수행하는 기본 자료가 되며, 배출가스물질에 효율적으로 대응할 수 있는 스크리버와 LNG의 특성을 분석하고 주기적으로 연료유와 선박 및 함정 내 탑재 가능한 설비의 가격변동 추이를 가정하고 예측하는 데 매우 유용한 것으로 분석되고 있다[19].

References

- [1] Yamdada Hideki, Miyabe Hiroaki & Saeki Aioichiro, 2011. "Energy Saving Technology of the Diesel Electric Propulsion System for Japanese Coastal Vessels", IHI Engineering Review, m, vol. 44, no. 1, pp. 12-16.
- [2] Dorado, M. P., E. Ballesteros, J. M. Arnal, J. Go mez, F. J. Lopez, Exhaust emission from a diesel engine fueled with transesterified waste olive oil, *Fuel* 82(2003), pp. 1311-1315.
DOI: [https://doi.org/10.1016/S0016-2361\(03\)00034-6](https://doi.org/10.1016/S0016-2361(03)00034-6)
- [3] Dwight Alexander, David Rummler, Aydin Mohtashmian, George Robinson, Mohamad Zahzah, Christopher T. Farr & Gregory E. Poole, 2010, Hybrid Electric Drive Evaluation for CG 47 Class Guided Missile Cruisers, American Society of Naval Engineers, pp. 67-77, 2010.
- [4] Williams, A.; USTRKM, R.; Luecke, J.; Geisselm ann, A.; Voss, K.; Hallstrom, K.; Leustek, M; P arsons, J.; Abi-Akar, H. (June 2011) "Impact of Biodiesel Impurities on the Performance and Dur ability of DOC, POC, DPF, and SCR Technologi es." SAE International Journal of Fuels and Lubricants (4:1) 2011; pp. 110-124
- [5] McNeill, G.P.; Borowitz, D.; Berger, R, G. "Select ive Distribution os Saturated Fatty Acids into th e Monoglyceride Fraction During Enzymatic Glycerolysis." *Journal of the American Oil Chemist's Society* (69), 1992; pp. 1098.
- [6] Kumar N. R.; Comparative evaluation of performance and emission characteristics of jatropha, karanja and polanga based biodiesel as fuel in tractor engine, *Fuel*, 88, 1698-1707, 2009.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2009.02.015>
- [7] Pradhan, A. K.; Non Edible Karanja Biodiel A S sustainable Fuel for C.I., *Engine*, 2, 6, 853-860, 2012.
- [8] S. Kausley and A. Pandit, "Modelling of solid fuel stoves," *Fuel*, vol. 89, pp. 782-791, 2010.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2009.09.019>
- [9] K. Ragland and D. Aerts, "Properties of Wood for Combustion Analysis," *Bioresourse Technology*, vol. 37, p. 161168, 1991.
DOI: [https://doi.org/10.1016/0960-8524\(91\)90205-X](https://doi.org/10.1016/0960-8524(91)90205-X)
- [10] S. Visakhmoorthy, T. Tzanetakis, D. Haggith, A. Sobiesiak, and J. Z. Wen, "Numerical study of a homogeneous charge compression ignition (hcci) engine fueled with biogas," *Applied Energy*, vol. 92, pp.

437-446, 2012.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.11.014>

- [11] C. Westbrook, W. Pitz, M. Mehl, and H. Curran, "Detailed chemical kinetic reaction mechanisms for primary reference fuels for diesel cetane number and spark ignition octane number," *Proc. Combust. Inst.*, vol. 33, pp. 185-192, 2011.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proci.2010.05.087>
- [12] T. M. Foong, K. J. Morganti, M. J. Brear, G. da Silva, Y. Yang, and F. L. Dryer, "The octane numbers of ethanol blended with gasoline and its surrogates," *Fuel*, vol. 115, pp. 727-739, 2014.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2013.07.105>
- [13] P. Obwald, H. Guldenberg, K. Kohse-Hoinghaus, B. Yang, T. Yuan, and F. Qi, "Combustion of butanol isomers - a detailed molecular beam mass spectrometry investigation of their flame chemistry," *Combustion and Flame*, vol. 158, no. 1, pp. 2-15, 2011.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.combustflame.2010.06.003>
- [14] S. Turns, *An Introduction to Combustion: Concepts and Applications*. McGraw-Hill International, 2ed., 2006
- [15] F. M. Haas, A. Ramcharan, and F. L. Dryer, "Relative reactivities of the isomeric butanols and ethanol in an ignition quality tester," *Energy and Fuels*, vol. 25, no. 9, pp. 3909-3919, 2011.
DOI: <https://doi.org/10.1021/ef2008024>
- [16] "Standard test method for determination of derived cetane number (DCN) of diesel fuel oils fixed range injection period, constant volume combustion chamber method," ASTM International, 2012.
- [17] G. Neely, S. Sasaki, Y. Huang, J. Leet, and D. Stewart, "New diesel emission control strategy to meet us tier 2 emission regulations," SAE 2005-01-1091, 2005.
- [18] Development of wall-climbing robots, Nishi A, *COMPUTERS & ELECTRICAL ENGINEERING* 22: (2) pp. 123-149, MAR 1996.
DOI: [https://doi.org/10.1016/0045-7906\(95\)00034-8](https://doi.org/10.1016/0045-7906(95)00034-8)
- [19] Fujiwara, M. Ueno, and Y. Ikeda. Cruising performance of a large passenger ship in heavy sea. In Proceedings of the Sixteenth (2006) International Offshore and Polar Engineering Conference, 2006.

황 광 택(Gwang-Tak Hwang)

[정회원]



- 2013년 1월 ~ 현재 : 한국선급 선임연구원
- 2013년 1월 ~ 현재 : 해사전문위원(간사)
- 2015년 8월 ~ 현재 : 광운대학교 방위사업학과 박사과정 수료
- 2012년 11월 : 국방과학연구소(ADD) 연구원
- 2009년 1월 : 포항공대 초분자연구단 연구원
- 2008년 1월 : (독) Rwth Aachen University

<관심분야>

국방, 미래전, 함정용 연료유, 비밀기록관리 등

김 도 영(Kim, Do-Young)

[정회원]



- 2009년 1월 ~ 현재 : 광운대학교 전자바이오물리학과 전임교수
- 2016년 1월 ~ 현재 : (사)사이버포렌식전문가협회 회장
- 2017년 1월 ~ 현재 : (사)한국신뢰성협회 회장
- 2010년 12월 : (사)국가발전전략연구소 소장
- 1995년 5월 : 미국 조지아대학교 물리학과 박사
- 1982년 2월 : 서울대 물리교육학 학사

<관심분야>

시뮬레이션 물리학, 국방, 안보, 융합과학, 사이버