

# 선박의 연료품질 기반 군용선박의 연료품질 적용가능성 분석

황광택  
한국발명진흥회 전문위원

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

Gwang-Tak Hwang  
KIPA, Executive Advisor

**요약** 국제해사기구는 최근의 황함유량 규제강화에 따라 선상의 배출가스 오염문제를 최근 선제적 대응방침을 제시하고 있다. 물론, 연료유 품질향상 및 배출가스 저감에 대한 논의 또한 지속적으로 진행되고 있는 상황이다. 국제적으로 가장 큰 관심사 중 하나인 연료유 품질정보는 황 함유량 기준이 현행 3.5%에서 2020년까지 0.5%로 한층 더 강화된 규정을 적용하게 되면서 그 관심이 증가되고 있다. 선사 및 수급자 측면에서 고려해보면, 연료유의 기본품질은 국내외적인 연료유 정보, 기본성상, 실선 및 함정의 적용을 위한 특성간의 상관성 정보까지 확대된 개념이라고 볼 수 있다. 이와 관련하여, 본 논문에서는 ISO 8217에 의한 기본 연료유 품질분석 결과를 제시하고, 연료의 점화성, 분산성, 기타특성에 대해서 분석하였다. 또한, 선박용 연료유 샘플과 희석율에 따라 점화성, 분산성을 분석하였고, 군용 연료유의 기본품질을 인용자료와 실험실 내 산출값 내에서 확인하고자 하였다. 물론, 현재의 연료유의 기본품질에 대한 규격이 일반적으로 통용되고 있으나, 연료유의 성상과 조성이 매우 복잡한 상황이다. 즉, 그 기본품질에 대한 해석이 매우 어려운 것은 기본규격의 범위를 벗어나는 사례가 다수 존재하고 있기 때문이다. 연료유의 기본품질과 선박에서의 운항최적화, 군용연료에서의 연료효율이라는 측면에서 연료유의 기본품질에 대해서 다양한 인자분석은 매우 핵심이라고 판단하고, 희석에 따른 그 기준의 적용 범위에 대해서 가능성을 제시하고자 하였다.

**Abstract** The International Maritime Organization recently proposed a policy to establish a preemptive response strategy for exhaust gas pollution on board ships according to the recent strengthening of the sulfur content regulations. Discussions on improving the fuel oil quality and reducing emissions are also ongoing. Fuel oil quality information, which is one of the main concerns internationally, is increasing as the sulfur content standard is being applied from the current 3.5% to 0.5% by 2020. From the perspective of shipping companies and recipients, the essential quality of fuel oil is also requested for domestic and international fuel oil information, basic properties, correlation information between characteristics for application of solid ships and ships. The current standard for the basic quality of fuel oil is generally used, but the nature and composition of the fuel oil are very complex, and the interpretation of the basic quality is complicated because there are many cases outside the scope of the basic standard. Various factors were analyzed for the basic quality of fuel oil in terms of the basic quality of fuel oil, optimization of operation in ships, and fuel efficiency in ships. Moreover, the possibility of applying the standard according to the dilution was suggested.

**Keywords** : Basic Property, Combustion, Dispersion, Fuel Additive, System Engineering, Warship

---

\*Corresponding Author : Gwangtak, Hwang(KIPA)

email: hgtymin@gmail.com

Received January 20, 2021

Accepted April 2, 2021

Revised February 15, 2021

Published April 30, 2021

## 1. 서론

국제해사기구(IMO)는 2020년 1월 1일부터 전세계 모든 해역을 지나가는 선박을 대상으로 연료유의 황 함유량을 3.5%에서 0.5%로 강화하는 규제를 적용하고 있다. 스크션사는 초기에 저유황유를 사용해 황산화물 배출규제를 위한 설비를 구축해 나가고 있으며, 스위스의 해운선사인 MSC는 배출규제에 대응하기 위해서 스크러버 설치방식을 적용하고 있다. 프랑스의 해운선사인 CGM은 특히, 저유황유 사용을 위한 배출규제에 대응하겠다는 정책을 꾸준히 수립해 나가고 있다. 즉, 저유황유 사용은 연료유 품질, 세월호 선박사고와도 매우 밀접한 연관성이 있음을 반증해주고 있다. 그러나, 연료유 품질 분석 관련 기본인자, 선박의 연료소모율 및 배출가스와 운항최적화에 대한 검증은 매우 제한적인 상황으로 연료유 품질평가, 연료유 품질관리, 평가품질 등에 대한 정보까지도 중요한 정보로서 인식되고 있다[1]. 또한, 기존 상선, 선박, 함정에 사용되는 연료품질은 연료소비량, 연료절감, 유힬유 관리중심으로 연구되었으며, 연료의 기본품질 자체에 대한 연구는 물론, 군용선박의 연료와의 품질지표간의 연관성을 제시한 논문은 전무한 상황이다. 군용선박/함정용 연료품질 기준은 독일MTU社에서 제공하고 있는 기본규칙에 따른 시험을 준용하고 있으며, ISO 8217 및 한국선급, 한국화학시험연구원 시험절차를 일부 적용하고 있다. 본 시험에서는 연료품질의 상관성 정보를 포함하고 있는 시험기준 ISO 8217에 따라 우선적으로 기본분석을 진행하였고, 연료유의 기본품질과 상관평가를 제시하고자 하였다[2]. 핵심지표(Parameter)는 점화성 연소인자, 밀도와 점도, 연소지연, 최대열방출량 등이 해당되며, ASTM D-7061에 의한 분산안정화도 분석을 통해서 정량적 분석항목인 투과율, 흡수율, 이에 따른 슬러지 발생량의 증가, 슬러지 집적화 현상 등을 확인하였다. 수집된 기본 품질인자의 상관성 정보를 통해서 실험실 규모에서 검증된 분석자료를 함정용 연료유 분석에 필요한 운항 및 군용선박 연료 정보를 연료의 에너지 효율과 관련된 자료만 상관성 분석을 위한 자료로서 제시하고자 하였다[3].

## 2. 본론

### 2.1 연료유 분석 정의 및 개념도

연료유는 석유정제 과정에서 생성되는 잔사유(Residual

Marine Fuel)로 증유에 해당하며, 흑갈색의 증유가 나프타유분까지의 경질유를 제거한 증류유(distillates)와 잔사유(residual oils)의 혼합물 또는 증류 잔사유가 발생하게 된다. KS 규격의 증유에 해당하는 연료유는 증류 잔사유를 주성분으로 하여 정제과정에서 점도, 잔류 탄소분, 유힬분 또는 유동점 등을 조정하여 연료로서 제공되고 있다. 연료유 관련 품질기준은 ISO 8217 : 2017에 명시되어 있고, 연료유는 증류유(Distillate marine fuel)과 잔사유(Residual marine fuel)로 구분할 수 있으며, 증류유는 4종, 잔사유 11종을 바탕으로 각 시험지표는 Table 1과 같다.

Table 1. Representative Parameter for Fuel Oil

Parameter	Unit	Residual Oil	Me
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 <sup>3</sup>	x	ISO 12205
Cloud Point	℃	o	ISO 3015

또한, 주요 시험분석 절차는 연료품질지표 분석, 연료 점화성 분석, 분산안정성 분석, 선박 및 군용선박용 연료유 품질지표분석간 연관성 분석순으로 적용하였다. 주요 시험 개념도는 Figure 1과 같다.

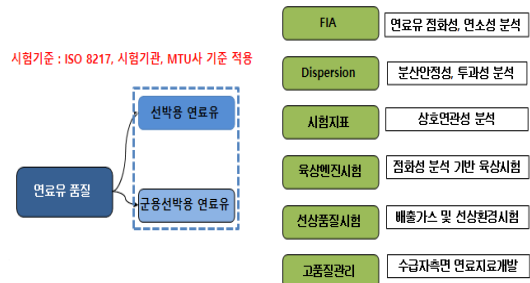


Fig. 1. The Procedure of Fuel Quality Analysis

### 2.2 연료유 품질을 위한 점화성 분석

연료유 점화성 분석은 Fuel Ignition Analyzer를 통해서 각 시험값을 도출하게 되며, 시간에 따른 연소성 인자를 산출하게 된다. 대상지표는 점화지연, 주점화지연 등이 해당하며, 점화지연(Ignition Delay)상태는 연료 분사시점에서 최대연소압력의 1%가 되는 지점이 해당되며, 점화지연은 CCAI와의 상관성 지표로서 활용되고 있

다. 주 점화지연(Main Combustion Delay)상태는 연료 분사 시점에서 최대연소압력의 10%가 되는 점이 해당되며, 주점화주기(Main Combustion Period)는 최대연소압력의 10%시점에서 90%까지를 가리킨다. 정상상태 시험 조건값은 Figure 2, 3과 같다.

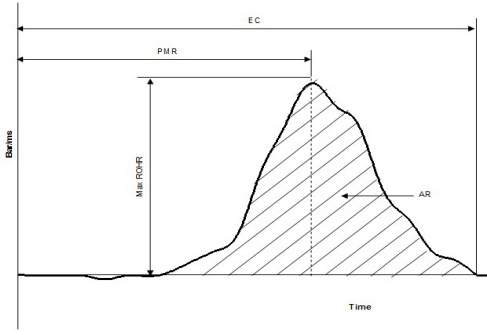


Fig. 2. Operation & Control Conditions  
\* Fueltech Solution AS

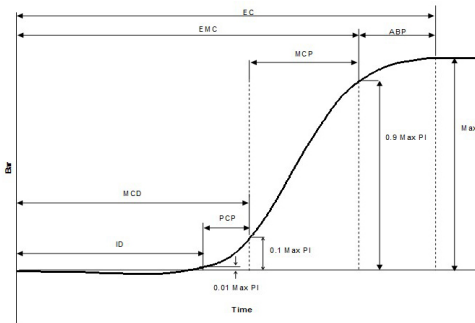


Fig. 3. Pressure Trace to Time by Fuel Ignition Analyzer  
\* Fueltech Solution AS

### 2.3 연료유 품질을 위한 분산성 분석

분산도 분석기(Stability Dispersion Analyzer)는 880nm인 근적외선을 광원으로 사용하여 투과도와 후방산란(Backscattering)을 측정하게 되며, 광자(Photon)가 입자들과 산란을 일으키는 동안의 평균자유경로(Mean Free Path Photon)를 고려하여 평균자유경로를 산출하게 된다. 분산된 입자의 크기(d)와 농도(PPM)에 따라 결정되며, 열광감지기(Backscattering Detector)를 통과하여 증류에 희석제를 첨가하였을 때 분리차수를 산출하게 되며, 이를 통해서 분리차수의 높낮이에 따라 연료유의 분산안정성을 분석하게 된다. 분산성 분석 원리는 Figure 4와 같다.

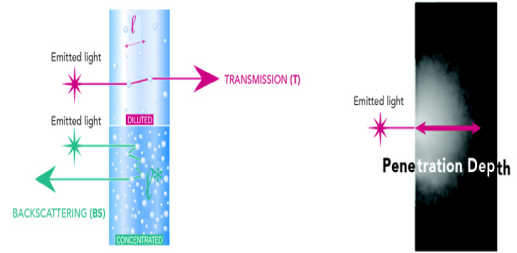


Fig. 4. Emission & Backscattering  
\* Turbiscan Homepage & Riontek

### 2.4 Port별 연료유 시험지표 분석

ISO 8217에서 제시한 시험 항목에 따라 기존품질 기본인자에 대한 시험을 진행하였고, 연료유 첨가제로 명시된 Additive 1, 2, 3, 4, 5를 실험실 규모에서 희석에 따른 품질결과를 수행하였다. 연료유 품질지표 외의 추가적인 분석항목으로 연료소모율, 배출가스 물질분석은 선상별 환경적, 계절적 변동지수를 포함하고 있어 제한적으로만 연구결과를 활용하여 분석하고자 하였다. 또한, 대표항구 Singapore(A), Rotterdam(B), Fujairah(C)에서 샘플링된 잔사유에서는 점도와 밀도, 그리고 CCAI 경향성을 분석하고, 탄화방향족성 지수는 오프스펙 내에서 적용된 값에서 연료유의 점화특성의 연계성을 적용하고자 하였다.

이와 관련하여, 점화분석 본 시험 전에 메틸사이클로헥산(Methylcyclohexane)보정시험 3회, 기준연료 1회, 그리고 희석 및 첨가에 따른 6회, 5회, 4회 시험을 별도로 수행하였으며, 권장 및 제안된 희석율을 반영하였으나 시험조건 외 별도의 희석시험은 본 자료에서 참고자료로만 활용하였다.

연소성을 판단지표 분석결과 MCD(Main Combustion Delay)와 ID(Ignition Delay), ID, PMR 외 ABP, MCP 값을 통해서 첨가제의 종류와 희석율에 따라서 점화지연(ID)값의 변화를 분석하였으며, 희석에 따른 ROHR, Pressure, 기타인자들에 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 없는 것으로 분석되었다[4].

Table 2. Analysis for Factor on Based & Diluted Fuel

Schedule	ID	MCP	ABP	max ROHR	PMR	ECN
Base Fuel	6.93	8.76	9.18	1.16	10.20	13.51
A(4000:1)	6.92	8.51	9.39	1.30	10.47	13.43
A(3500:1)	6.93	8.77	9.37	1.19	10.41	13.68
A(3000:1)	6.89	8.76	9.30	1.22	10.29	13.33
A(2500:1)	6.50	8.66	9.21	1.24	10.21	13.21
A(1000:1)	6.44	8.59	9.01	1.18	10.36	13.10
A(100:1)	6.41	8.59	9.08	1.19	10.11	13.19
B(5000:1)	6.81	8.77	9.21	1.16	10.29	12.51
B(4000:1)	6.79	8.71	9.19	1.19	10.38	12.72
B(3000:1)	6.79	8.34	9.24	1.34	10.21	12.55
B(2000:1)	6.60	8.23	9.30	1.23	10.32	12.99
Base Fuel	7.01	8.77	10.29	1.16	10.29	12.52
C(5000:1)	6.88	8.59	9.19	1.23	10.11	12.39
C(4000:1)	6.69	8.72	9.29	1.21	10.29	12.89
C(3000:1)	7.11	8.34	9.20	1.09	10.31	12.99
C(2000:1)	7.09	8.79	9.12	1.32	10.33	13.01
Base Fuel	7.01	8.76	9.10	1.34	10.33	12.5

### 2.5 분산 안정성 시험결과

분산안정화도 분석은 Figure 4와 같이 Turbiscan 분석기를 통하여 실온환경에서 진행된 투과율과 흡수율을 확인하게 되고, 일반적으로 통용화된 방법인 분리차수 산출을 통해서 투과율에 따른 산출값을 적용하였다. 다만, Turbiscan을 통한 추출값은 그림의 선명도를 고려하여 MATLAB PLOT에 적용하여 환산하였으며, 분석단계에서의 투과율과 흡수율 평균값을 적용하였다.

메틸사이클로헥산(Methylcyclohexane)을 사용한 보정시험 3회 시험과 기준연료 1회 시험, 그리고 희석 및 첨가에 따른 3회 시험을 적용하였다. 일반 시험에서 응집(Flocculation), 응고거대화(Agglomeration) 반응형태가 침적되어 나타났으며, 분리차수별로 분산 안정화도를 분석한 결과를 확인할 수 있다[5]. ASTM D-6801에 따른 분리차수의 범위는 5~10 사이에 적용되며, 반응이 안정화되어 있다고 할 수 있으며, 중간안정단계, 불안정 단계로 구분하게 된다. 샘플 A는 희석비율에 따라 점화 지연, 연소상태, 점화에 따른 열 방출비율, 최대 방출비율, 유도세탄가 등의 인자들에 대한 정량적 분석을 최적화 비율로서 분석되었다. 측정셀 높이에 따라 투과율의 관계는 희석율에 따라 분리차수를 분석하게 되었고, 그 결과는 Figure 5와 같다.

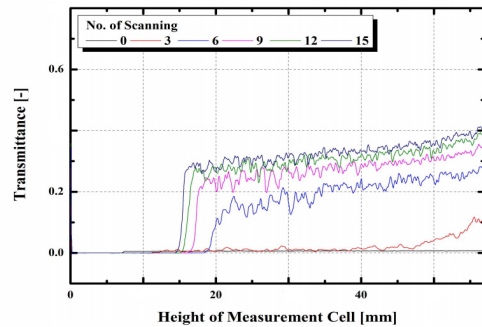


Fig. 5. Correlation between Measurement Cell and Transmission Rate(Sample A 1:1000~ 1:4000 Dilution Rate)

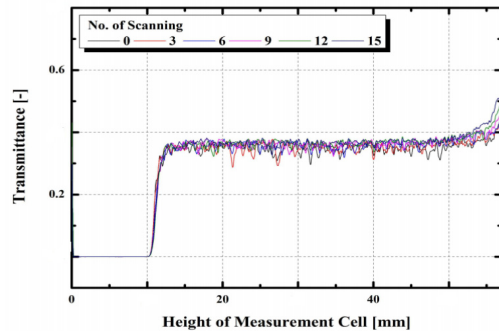


Fig. 6. Correlation between Measurement Cell and Transmission Rate(Sample B 1:2000~1:5000 Dilution Rate)

샘플 B의 희석율을 조정하여 침적에 따른 분리차수가 일정하게 나타나는 것으로 분석되었고, 다소 불안정성이 있는 것으로 확인되었다. 샘플 C의 희석율을 조정하여 침적에 따른 분리차수가 일정하게 나타나는 것으로 확인되며, 희석에 따른 불안정성의 차이가 크게 없는 것으로 분석되었다[5].

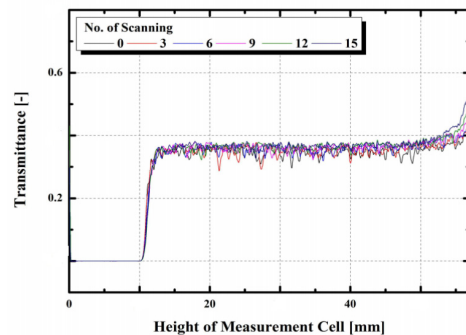


Fig. 7. Correlation between Measurement Cell and Transmission Rate(1:2000~1:5000 Dilution Rate)

## 2.6 군용선박 연료유 분석

군용선박은 특정장비 및 운용상 특수성으로 인하여 장비의 개별적 성능을 제시하는 것이 제한적이며, 군용선박 연료유 분석 관련 정보는 기밀사항으로 분류되어 연료유의 분석값을 일부 인용한 자료를 활용하였다.

MTU 고시된 시험 인자들을 적용하여 일부 인용된 성능 시험값을 도출하였고, 연료유 품질 값을 기존 자료를 활용하여 수정하였다. 군용선박용 연료유 수분기준의 경우 ISO와 CIMAC 자료에서 1.0%를 적용하고 있으며, 약 0.2%의 정상적인 값을 유지하도록 하고 있다. 기존 선박용 연료와는 다소의 차이가 있으나 성능 및 시험분석지표와의 대비자료는 대외비로 분류되어 검증이 제한되는 상황이다. 탄소잔류분의 경우 약 11~12%를 기본값을 적용하고 있으며, 최대 17%로 제한하고 있다.

현재, 군용선박에 사용되는 연료유 탄소잔류분이 증가하고 있는 상황으로 분석되며, 따라 연소불량이 발생할 수 있으며, 연소기간의 지연은 물론, 열부하를 증대시킬 수 있는 것으로 확인되고 있다. 물론, 저부하시에 연소불량을 초래하기도 하고, 피스톤 정부, 탄소 퇴적물의 증가, 노즐팁 내에 유막현상이 나타날 수 있다[6].

또한, 유허분의 경우에는 5.0% 이하를 적용하고 있으나, 약 2.7%로 선박의 화학적 메커니즘 등의 문제를 고려하여 사용하도록 권고하고 있다. 향후, 초고유허함유에 따라 부식마멸현상이 증가하게 되어 관련 대응책이 마련되어야 할 것으로 판단된다.

## 3. 결론

각 항구별로 샘플링된 연료유 샘플 A, B, C의 기본연료와 희석율 적용에 따른 결과분석은 아래와 같이 정리될 수 있다.

각 핵심지표별 특정경향성은 미미한 것으로 확인되었다. 연료의 분산안정성의 높고 낮음에 따라 점화성과 연관성을 가진 것으로 분석되었으나 일부의 샘플 중 희석을 제고시 점화성 지표의 검증은 제한되고 있다. 연료유의 분산성을 분리차수로 확인하여 슬러지 분석 관련 해석 메커니즘을 규명할 수 있을 것으로 판단되었으나, 슬러지 분석 관련 메커니즘 등 확장연구가 필요할 것으로 판단된다[7]. 본 논문에서 제시된 연료의 점화지연상태, 연소성, 최대열방출율(비율), 유도세탄가 등의 정량화 자료는 실험실 규모에서 검증된 결과가 선박운항과 관련된

엔진상태, 희석비율, 실선에서의 속도 대 비율 등과 직접적으로 적용 가능성을 분석하였으나 엔진시험 및 실선에서의 다양한 변수로 인해서 제한되는 점을 단계적으로 세분화할 필요가 있다는 점이 식별되었다. 다만, 향후 추가적인 환경적, 경제적, 실험적 인자들의 개발을 통해서 연관성 제시가 가능한 것으로 연구용 자료로는 제한적으로나마 가능하다고 판단된다. 군용선박 연료유의 운항, 연료효율성 검증을 기존의 물성분석 데이터를 통한 접근이 보다 원활하다면, 보다 세부적인 연구가 가능할 것으로 사료된다.

## 4. 시사점

환경적 관점에서, 2020년 1월 1일 이후 연료유의 황함유량에 제한과 함께 연료유의 품질에 대한 규제가 강화되고 있다. 국내외 선사에서 선박에서 적재되는 연료유의 품질현황과 정보, 공급자 관점에서 연료유에 대한 분석평가 정보, 저품질 연료유 사용시 선박기관의 문제를 포함한 상시적 가이드라인이 없으며, 현실적인 사고를 미연에 방지하기 위한 대응전략이 부재한 실정이다.

연료유 수급 관점에서, 연료유 시험 및 품질에 대한 정보수집은 각 항구별로 조사되어야 할 필요가 있으며, 이러한 사항들은 연료유 분석 기준 마련에 지침서가 될 것으로 판단된다. 현재, 연료유의 분석에서부터 운항, 선적 및 샘플링, 품질시험 및 평가, 이에 따른 해석을 통합적 관점에서 관리할 수 있는 통합지침을 개발하는데 기여할 수 있다고 전망되고 있다[8]. 향후, 연료유의 잔사유에 대한 항구별 자료들을 통해서 실선 및 군용선박에서의 운항에 따른 실제 연료유의 효율성 검증에 대한 자료구축은 물론, 생태적, 환경적, 지역적인 다수의 인자가 존재하여 실질적인 인과성을 검증할 수 있는 공정설계도 가능할 것이라고 판단된다[9].

## 5. 향후 연구방향

첫째, 선상 중 발생하는 대기오염물질 관련한 대책마련이 시급한 상황이며, 연료유의 품질 고도화를 통해서 하나의 해결책이 될 수 있다고 판단된다. 다만, 선박운항 중 배출현황, 이에 따른 대책수립을 위한 투자가 정책적으로 뒷받침된다면 접근은 가능할 것이라고 판단된다. 또한, 육상 및 실험실 규모에서 검증된 연료유 샘플 추출

을 통한 결과가 일부의 자료에서 그치는 것이 아니라 각 항구별 자료의 분산 안정성, 연소성 등을 확인할 수 있는 자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다. 또한, 저감 기술 개발에 박차를 가할 것으로 판단되며, 연료유 샘플 외 내 황분과 잔류탄소분, 바나듐과 회분, 니켈과의 상관성 분석자료로 활용할 수 있을것으로 판단된다.

둘째, 항구별 샘플유 관리를 통해서 제시할 수 있는 수많은 ISO, ASTM, 기타 시험기준이 존재함에도 다양한 종류의 연료유의 물성에 대해서 정량적으로 제시하는 것은 어려운 상황이다. 왜냐하면, 품질 기준이 통용된 범위 내에서 실제 적용되고 있는 수치와 상이하며, 실선 및 군용선박 연료유의 물리화학적 성분분석에서 기준과는 다르게 벗어나는 사례가 다수 발생하고 있다고 보고되고 있다. 그러나 현재까지는 실험실 내 산출값을 통해서 실선 규모에서의 산출값과의 일부 연관성을 제시하고는 있다. 실제 엔진 및 선박에서 운전하면서 품질관리 및 이를 통한 객관적인 성능검증을 할 수 있도록 데이터 구축 중이며, 가이드라인을 통한 상관성을 제시할 수 있을 것을 기대하고 있다[10].

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 스크러버와 LNG의 특징을 분석하고 주기적으로 연료유와 선박 및 함정 내 탑재 가능한 설비의 가격변동 추이를 가정하고 예측하는 데 매우 유용한 것으로 분석되고 있다.

## References

[1] Defense Industry Daily, "Spike Missiles for Spain", <http://www.defenseindustrydaily.com/spike-missiles-for-spain-04420> accessed 23 March 2012

[2] B. Ireland, "Jane's Battleships of the 20<sup>th</sup> Century", HarperCollinesPublishers, New York, USA, 1996

[3] NavWeaps.com, "Italy, 127mm/64 (5") LW", [http://www.navweaps.com/Weapons/WNIT\\_5\\_64\\_LW.htm](http://www.navweaps.com/Weapons/WNIT_5_64_LW.htm) accessed 16 April 2012

[4] The Ignition performance of fuel oils in marine Diesel engines, A.P. Zeelenberg et al, 15<sup>th</sup> CIMAC Conference, Paris June 1983

[5] CIMAC Guideline, The Interpretation of Marine Fuel Analysis Test Results

[6] American Bureau of Shipping, "Notes on Heavy Fuel Oil", 1984

[7] ASTM D7668 the Standard Test Method for Dermination of Derived Cetane Number (DCN) of Diesel Fuels Oils - Ignition Delay and Combustion Delay Using a Constant Volume Combustion Chamber Method

[8] K. Ragland and D. Aerts, "Properties of Wood for Combustion Analysis," Bioresource 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)

[9] Heywood, J., International Combustion Engine Fundamentals. McGraw-Hill, New York, 1988

[10] C. Westbrook, W. Pitz, M : Mehl, and H. Curran, "Detaild 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>

황 광 택(Gwang-Tak Hwang)

[정회원]



- 2008년 1월 : (독)아헨공대 Diploma
- 2012년 11월 : 국방과학연구소 (ADD) 연구원
- ~ 현재 : 방위사업연구소 자문위원 (해사분과 함정, 군용선박 자문위원)
- 2018년 6월 : 광운대학교 방위사업학/융합학 박사
- 2018년 8월 : 한국선급 선임연구원
- 2020년 10월 ~ 현재 : 한국발명진흥회 전문위원

<관심분야>

기술품질관리(화학, 조선/선박/운항), 방산기술평가, 군용연료, 선박사고분석, 함정 공정설계, 함정용 연료유, 기록물 기획 등