

황천 시 최소추진출력 관련 IMO 잠정 가이드라인의 진행 현황과 적용 결과 검토

성영재[†]·옥유빈
현대중공업, 선박연구소

Progress of the 2013 Interim Guidelines for Determining Minimum Propulsion Power to Maintain the Manoeuvrability of Ships in Adverse Conditions

Young Jae Sung[†]·Yu Bin Ock
Hyundai Maritime Research Institute (HMRI), Hyundai Heavy Industries, Co., Ltd.

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Literature survey was conducted on the 2013 Interim Guidelines for determining the minimum propulsion power to maintain the manoeuvrability of ships in adverse conditions. The International Maritime Organization (IMO) Marine Environment Protection Committee (MEPC) documents related with the Guidelines were reviewed. Compatibility of the present Guidelines can be checked by two different levels: (Level 1) minimum power lines assessment and (Level 2) simplified assessment. The IHS (Information Handling Services) sea-web data on the bulk carriers and the tankers, which were built after 2000, were used to examine the Level 1 assessment. KVLCC2 was used to examine the Level 2 assessment. Regarding the Level 2 assessment, effects of the adverse weather conditions, the added resistance due to waves, the wake fractions and the thrust deduction factors were discussed.

Keywords : Literature survey(문헌조사), Interim guidelines(잠정 가이드라인), Minimum propulsion power(최소추진출력), Adverse conditions(황천 조건), IMO(국제해사기구), MEPC(해양환경보호위원회), Minimum power line(최소출력선), Simplified assessment(Simplified 평가), KVLCC2(KVLCC2), Added resistance due to waves(파랑 부가저항), Thrust deduction factors(추력감 소계수), Wake fraction(반류비).

1. 서 론

국제해사기구(IMO, International Maritime Organization)는 온실가스 저감을 목적으로 선박에서 배출되는 탄소 가스를 규제하는 방안을 지속적으로 논의해왔다. 그 결과, 신조 선박에 대해 에너지효율 설계지수(EEDI, Energy Efficiency Design Index)를 채택하였다(Resolution MEPC.203(62), 2011; Re-resolution MEPC.231(65), 2013; MEPC.1/Circ.795/Rev.2, 2014). EEDI는 선박이 화물 1톤을 1해리 운송할 때 배출되는 CO₂의 양을 표시하는 지표이다. 이 지표가 단계 별로 정의된 기준을 만족하지 못하면 해당 선박의 운항이 금지된다. 금년(2019년)까지는 Phase 1(2015~2019년) 단계로 CO₂ 배출량을 기준 대비 10% 저감해

야 되며, 내년(2020년)부터는 Phase 2(2020~2024년)가 적용되어 20%까지 저감해야 된다. 최근에는 Phase 3의 조기(2022년) 시행 및 Phase 4의 도입 필요성을 검토하는 등 규제 강화의 논의가 이루어지고 있다(MEPC 71/17, 2017).

조선업계는 다양한 친환경기술(저항 저감, 추진효율 개선, 엔진효율 향상, 보조동력 활용, 복합연료 추진, 전력 효율화 등)을 적용해 신조 선박의 EEDI를 개선하고 있다(Park et al., 2016). 하지만, EEDI 도입 초기부터 선속 또는 주기관의 최대연속정격출력(MCR, Maximum Continuous Rating)을 낮추어, EEDI 규제를 만족시킬 가능성에 대해 우려가 있었다(MEPC 60/4/17, 2010). MCR이 지나치게 낮으면, 거친 해상에서 선박을 조종하기 위해 필요한 선속을 확보하기 어려워 안전에 큰 위험이 될 수 있다. 이에 MCR이 최소한의 적정수준 이상을 만족해야만 된다

는 최소추진출력에 관한 잠정 가이드라인이 65차 해양환경보호 위원회(MEPC, Marine Environment Protection Committee)에서 채택되었다(MSC-MEPC.2/Circ.11, 2012; MEPC 65/22, 2013). 현재까지도 최종 가이드라인의 확정을 위해 활발한 논의가 진행되고 있다(MEPC 73/5/1, 2018).

본 연구에서는 최소추진출력 잠정 가이드라인 채택과정에서 검토되었던 다양한 논의들을 요약 정리하고, 현재의 잠정 가이드라인을 적용하였을 때 나타나는 현상을 검토해 보았다. 현재의 잠정 가이드라인은 2단계 평가(최소출력선 평가, Simplified 평가)로 구성되어 있다. 최소출력선 평가는 재화중량 별 MCR 출력에 대한 규제로 IHS Sea-web 통계자료를 활용해 그 영향을 검토해 보았다. Simplified 평가는 황천에서 최소 전진속도를 유지할 때 필요한 마력을 추정하고, 주기권이 해당 조건에서 필요한 출력을 생성할 수 있는지를 검토하는 것이다. 선종과 무관하게 동일한 절차로 계산이 수행되므로, 조종성능연구의 대표적인 공시 선형인 KVLCC2를 활용해 현 가이드라인의 영향을 검토해 보았다.

2. 최소추진출력 잠정 가이드라인 관련 IMO MEPC의 주요 논의사항

최소추진출력 잠정 가이드라인은 2013년 65차 MEPC에서 채택되었다. 이후 Fig. 1과 같이 3차례의 개정이 있었다. 초안 대비 1단계 기준이 강화되었고, 적용기간이 Phase 2(2020~2024년)까지 연장되었다(MEPC 65/22, 2013; MEPC 67/42, 2014; MEPC 68/21, 2015; MEPC 71/17, 2017; Lee, 2018). 이 과정에서 평가 방법과 황천의 정의 등이 주요하게 논의되었다. 한편 최근에는 파랑 중 부가저항 추정법과 자항요소(반류비와 추력감 소계수) 추정법에 대한 의견이 제시되고 있다.

Resolution MEPC.232(65) 2013. Mar.	- Adopts the 2013 Interim Guidelines for determining minimum propulsion power applied ... during Phase 0 (~2014).
Resolution MEPC.255(67) 2014. Oct.	... applied ... during Phase 0 and Phase 1 (2015~2019).
Resolution MEPC.262(68) 2015. May.	Amendments to level 1 assessment: - Parameters a and b for determination of the minimum power line values were changed.
MEPC.1/Circ.850/Rev.2 2017. July	... extend the validity of the 2013 Interim Guidelines to EEDI phase 2 (2020~2024)....

Fig. 1 Revision of 2013 interim guidelines for determining minimum propulsion power to maintain the manoeuvrability of ships in adverse conditions.

2.1 평가 방법

국제선급연합회(IACS, International Association of Classification Societies) 등은 MEPC 62차 회의에 잠정 가이드라인 초안을 제

출하면서 2단계 평가를 제안하였다(MEPC 62/5/19, 2011; MEPC 62/INF.21, 2011). 1단계는 Simplified 평가로, 황천에서 일정한 선속으로 항해할 수 있는가를 검토하는 것이다. 2단계는 Comprehensive 평가로 황천에서 선회, 항로유지, 직진 등을 모형시험 또는 수치해석으로 평가하는 것이다. 이후 IACS는 파랑 중 부가저항에 대한 수치계산이 충분히 성숙되지 않았으므로, 경험식 또는 재화중량과 추진 출력의 상관관계를 이용하는 방법을 제안하였다(EE-WG 2/2/8, 2011). 이를 바탕으로 IACS 등은 MEPC 64차 회의에서 기존 2단계 평가 대신 3단계 평가를 제안하였다(MEPC 64/4/13, 2012; MEPC 64/INF.7, 2012). 1단계는 최소출력선 평가로 선종 별 배수량에 따른 최소 추진출력을 규정하는 것이다. 2단계와 3단계는 각각 MEPC 62/5/19에서 제안된 Simplified 평가와 Comprehensive 평가와 유사하다. 다만, Simplified 평가에서 파랑 중 부가저항을 규칙과 중 모형시험이나 경험식을 통해서 산정할 것을 제안하였다. 한편, Comprehensive 평가 방안으로 황천 중에 4 knots 선속으로 항로가 10도 이내로 유지되는지를 검토하는 것을 제안하였다.

그리스는 최소추진출력 논의의 초기부터 최소추진출력 보다는 최소설계속도에 대한 가이드라인 채택을 주장하였다(MEPC 63/4/15, 2012; MEPC 64/4/37, 2012). 하지만, 안전을 확보하기 위해 필요한 속도가 선박의 설계와 운항조건에 따라 달라지므로 일정하게 정의하기 곤란하고, 황천에서 조종성능과 명확한 상관관계 파악이 어렵다는 반론이 제기되었다(MEPC 63/4/11, 2012; MEPC 64/4/42, 2012).

한편, 그리스는 MEPC 64차에서 IACS 등이 제안한 최소 출력선 기준이 당시 건조되는 선박의 상용연속출력(NCR, Normal Continuous Rating)으로도 만족할 수 있으므로 실질적인 규제가 될 수 없기 때문에 강화를 주장하였다(MEPC 64/4/37, 2012). 이와는 반대로 일본과 한국은 완화를 주장하였는데, 해당 기준을 EEDI 적용 이전인 1999~2009년 건조 선박에 적용한 결과 10% 이상의 선박이 만족하지 못하는 결과를 제시하였다(MEPC 64/4/42, 2012). 일본과 한국은 1단계 기준은 EEDI 적용 이전의 모든 기존선이 만족할 수 있어야 하며, 2, 3 단계 기준도 일관성 측면에서 재검토되어야 한다고 주장하였다. 끝으로 Phase 0 기간 동안에는 기존의 정수 중 조종성 기준(Resolution MSC 137(76), 2002)을 사용하지는 의견도 제시하였다.

MEPC 64차에서는 이상의 제안을 검토하고, 2단계 평가(1단계: 최소출력선 평가, 2단계: Simplified 평가) 적용에 동의가 이루어졌다. 단, 최소출력선은 논의 시점에서 검토된 선박의 95%가 만족되는 수준으로 완화하기로 하였다(MSC-MEPC.2/Circ.11, 2012). 그 결과, MEPC 65차 회의에서 최초의 잠정 가이드라인인 Resolution MEPC.232(65)가 채택되었다.

그리스는 MSC-MEPC.2/Circ.11을 5척(30K, 57K, 79K, 176K 벌크선, 306K VLCC 1척)에 적용한 결과를 바탕으로 기준의 일관성 문제(1단계 평가는 모두 만족하지만, 2단계 평가는 일부만 만족)를 지적하였다. 이에 벌크선에 대해서 1단계 기준 강화를 주장하였다(MSC 93/21/5, 2014, MSC 93/INF.13, 2014). 덴마크 등은 1단계 기준의 타당성이 MEPC 64차와 65차에서 충

분히 논의되었으므로 개정 반대의 입장을 밝혔다(MEPC 67/4/16, 2014). 한편, IACS 등도 Phase 1(2015~ 2019년)에서는 기존 안을 유지하지는 의견을 제시하였는데, SHOPERA(Energy Efficient Safe SHip OPERATION)와 JASNAOE(Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers) 프로젝트 등 당시 진행 중인 연구결과를 바탕으로 한 Comprehensive 평가가 정립되기 전까지는 시간이 필요하다는 사유를 제시하였다(MEPC 67/4/25, 2014). 이에 MEPC 67차에서는 기존 안을 2019년까지 적용하는 것이 승인되었다 (Resolution MEPC.255(67), 2014).

덴마크와 일본은 MEPC 68차에서 그리스의 규제 강화 의견이 선박의 안전 확보 차원에서 도움이 된다는 점을 인정하고, 기존 강화 방안을 제시하였다(MEPC 68/3/7, 2015; MEPC 68/INF.32, 2015). 단, 그리스가 제안한 황천 기준을 2단계 평가에 적용할 경우, 기존 대비 1.5~5배 큰 출력의 주기관이 필요하므로, 1단계 평가인 최소출력선만 강화하는 의견을 제시하였다. 그리스도 이에 동의하여 개정된 Resolution MEPC.262(68)이 채택되었다. 그 결과 기존 대비 벌크선은 약 15~25%, 탱크선은 약 5~55% 가량 출력이 강화된 기준의 적용을 받게 되었다.

덴마크 등은 MEPC 69차에서 최소추진출력 가이드라인 개정에 관한 SHOPERA와 JASNAOE 연구의 진행상황을 소개하고, 최종 안은 MEPC 71차 회의에 제출 예정이라고 언급하였다(MEPC 69/INF.23, 2016). 한편 평가 방법은 3단계 평가(Comprehensive, Simplified, Simplest 평가)중 하나를 선택할 수 있는 형태라고 하였다. 이때 Simplest 평가는 기존 Simplified 평가와 유사한 형태이지만, 주기관 출력 이외에 추진이나 조타 특성까지 고려할 수 있는 간단한 수식에 의한 평가라고 언급하였다.

MEPC 70차에서 덴마크 등은 SHOPERA와 JASNAOE 연구 프로젝트의 진행 현황을 잠정 보고서를 제출하였다(MEPC 70/5/20, 2016; MEPC 70/INF.30, 2016; MEPC 70/INF.33, 2016; MEPC 70/INF.35, 2016). 평가 방법으로는 복잡성과 정확성이 증가하는 방식의 3단계 평가(최소출력선, 최소출력확인, 최소출력 평가)를 제안하였다. 최소출력선은 기존 잠정 가이드라인과 동일하다. 최소출력확인(Minimum power check)에 대한 세부 사항은 MEPC 71차에 제출 예정이며, 최소출력평가는 0~60 도 선 수 사파 조건에서 6 knots 선속을 유지하는가를 평가하는 방식이다. 덴마크 등의 제안에 대해 다양한 논의가 있었지만, 최종 문건이 제출되는 MEPC 71차 이후에 검토하는 것으로 결정되었다(MEPC 70/18, 2016).

덴마크 등은 MEPC 71차에서 SHOPERA와 JASNAOE 연구를 바탕으로 한 개정안을 제출하였다(MEPC 71/5/13, 2017; MEPC 71/INF. 28, 2017). 개정안에서는 2단계 평가(최소출력선, 최소출력평가)를 제안하였는데, 최소출력평가는 0~30 도 선 수 사파 범위의 외란 조건에서 전후방향 1자유도 방정식을 풀어 2 knots 선속을 유지하는지를 평가하는 형태이다. 하지만, 황천과 피항 조건 등에 대해 다양한 의견들이 있으므로, MEPC 71차에서는 개정 안을 확정하는 것은 시기상조라고 결정되었다.

2.2 황천의 정의

IACS는, 복수의 추진시스템을 가진 선박에서 1개의 시스템이 손상된 경우, 주어진 환경 조건에서 조종성능 확보를 위한 최저 선속 관련 선급 규정을 조사하였다(EE-WG 1/4, 2010). BV(Bureau Veritas)와 GL(Germanischer Lloyd)은 BF(Beaufort scale) 5에서 최소 7 knots(GL은 7 knots 또는 설계 선속의 절반), DNV(Det Norske Veritas)는 BF 8에서 최소 6 knots 유지를 규정하고 있었다. 이후 IACS는 선장과의 인터뷰를 바탕으로 황천을 해상상태 7~8(BF 9~10)로 제안하였다. 이는 각각 약 2%(1주일에 한번) 또는 약 0.5%(1달에 한번)의 확률로 조우할 수 있는 조건으로 평가되었다(MEPC 62/5/19, 2011; MEPC 62/INF.21, 2011).

이후, IACS 등은 추가적인 연구결과를 바탕으로 잠정 가이드라인 초안에 황천을 BF 8(유의파고 6 m, 평균풍속 19 m/s)로 제시하였다(MEPC 64/4/13, 2012; MEPC 64/INF.7, 2012). 덴마크와 일본은 MEPC 65차 회의에서 2단계 평가의 일관성을 확보하기 위해서 유의파고를 5.5m로 정의하자고 제안하였다. MEPC 65차에서 채택된 잠정 가이드라인은, 황천을 유의파고 5.5 m, 평균풍속 19 m/s로 정의하고, 선박의 길이에 따라 다르게 적용하도록 하였다(250 m 이상에서는 정의대로 적용, 200 m 이하에서는 유의파고 4.0 m, 평균풍속 15.7 m/s(BF 7수준), 200~250 m 길이의 선박은 선형 보간).

이에 대해 그리스는 BF 8은 일반적인 항해 조건이며, 운항 중에는 BF 9나 10도 만나기 때문에 황천 기준을 강화해야 한다는 입장을 밝혔다. 기존 강화의 또 다른 배경으로 비손상 복원성 코드(2008 IS code, 2008)에서 평균 풍속 26 m/s 이상의 조건을 상정하고 있는 점을 들어, 황천 기준을 최소 BF 9(유의파고 7 m, 평균풍속 23 m/s)이상으로 규정할 것을 주장하였다(MEPC 64/4/37, 2012; MSC 93/21/5, 2014; MSC 93/INF.13, 2014). 반면, 일본과 한국은 BF 8이상의 황천과 조우할 확률이 3% 이하이고, 실제 해상에서 자주 만날 수 있는 상황을 고려하는 것이 타당하다는 관점에서 BF 7(유의파고 4 m, 평균풍속 15.5 m/s) 수준을 제안하였다(MEPC 64/4/42, 2012).

덴마크 등은 2008 IS Code는 주기관의 사용 여부와 상관없이 안정성을 확보해야 한다는 관점의 기준이므로 최소추진출력에 적용하기는 과하다는 의견을 제시하였다(MEPC 67/4/16, 2014). 이후 덴마크와 일본은 BF 9의 황천 기준을 적용할 경우, 37K DWT와 45K DTW 벌크선에서 각각 기존 대비 3.2~5배, 1.5~2.3배 출력이 큰 주기관을 장착해야 하는 문제점도 지적하였다(MEPC 68/3/7, 2015; MEPC 68/INF.32, 2015). 덴마크 등은 SHOPERA와 JASNAOE의 연구 경과 보고를 통해 잠정 가이드라인의 황천 조건 유지를 주장하였다. 그 근거로는 SHOPERA에서 수행한 해상사고 통계분석 결과 많은 사고가 잠정 가이드라인에서 정의한 황천보다 좋은 조건에서 발생한 점을 언급하였다. 하지만, 잠정 가이드라인의 개정안을 제출한 MEPC 71차 회의에서는 추가적인 안전의 여유를 고려한다는 취지에서 길이 250 m 이상의 선박에서는 BF 9 수준(유의파고 6.0 m, 평균풍속 22.6 m/s),

200 m 이하에서는 BF 8 수준(유익파고 4.5 m, 평균풍속 19 m/s)의 조건을 제시하였다(MEPC 71/5/13, 2017; MEPC 71/INF.28, 2017; MEPC 71/INF.29, 2017). 이에 대해 지나치게 보수적이라는 의견이 제시되어 현행대로 황천 조건을 유지하는 것으로 의결되었다(MEPC 71/17, 2017).

2.3 부가저항과 저항요소 추정

IACS 등은 MEPC 62차에 제출한 잠정 가이드라인 초안을 통해 파랑 중 부가저항을 추정하는 방법으로 모형시험, 포텐셜 또는 점성 수치해석, 경험식을 제시하였다(MEPC 62/INF.21, 2011). 이후 IACS는 3가지 수치해석으로 부가저항을 계산해 보았는데, 각각의 결과에 상당한 차이가 있음을 발견하였다. 이를 바탕으로 파랑 중 부가저항을 수치해석으로 평가하는 것이 충분히 성숙되지 않았으며, 현 시점에서의 사용은 적절하지 않다고 주장하였다.

중국은 MEPC 71차 회의에서 반사파의 영향을 고려한 파랑 중 부가저항 추정법(규칙과 중 파랑 부가저항의 2차 전달함수를 계산하는 방법)을 제안하였다(MEPC 71/5/8, 2017). 이후 3척(90K BC, Aframax tanker, VLCC)의 선박에 대한 저속 파랑 중 모형시험 결과와의 비교를 바탕으로 제안한 추정법의 타당성을 주장하였다(MEPC 72/5/9, 2018). 하지만, MEPC 72차 회의는 중국이 제안한 추정법의 검증에 대해 보다 많은 실험결과와의 비교가 필요하다고 결론을 내렸다.

Simplified 평가에 사용되는 저항 요소인 추력감소계수와 반류비에 대해서, IACS 등은 모형시험 또는 경험식으로 구할 수 있다고 제안하였다. 단, 보수적인 추정 방법으로 반류비, w 는 Table 2와 같이 추정할 수 있으며, 추력감소계수, t 는 $t = 0.7w$ 로 추정할 수 있다고 하였다(MEPC 64/4/13, 2012). 이후 승인된 잠정 가이드라인에는 이 내용이 그대로 반영되었다.

중국은 MEPC 71차 회의에서 기존 추정식으로 구한 추력감소계수가 설계속도에서 구한 값이므로 저속에서는 달라질 필요가 있음을 주장하였다. 한편, 황천에서의 추력감소 계수는 Bollard pull에서의 값(단축선에서 약 0.04)보다는 크고 정수 중 설계속도에서의 값(단축선에서 약 0.2)보다는 작을 것으로 추정하였다. 이에 잠정적으로 0.1을 사용할 것을 주장하였다(MEPC 71/5/8, 2017). 이후 1척에 대한 모형시험 결과를 바탕으로 추력감소계수, t 는 0.1, 반류비, w 는 0.15로 사용할 것을 제안하였다(MEPC 72/5/9, 2018). 하지만, MEPC 72차 회의에서는 부가저항에 대한 제안과 마찬가지로 검증을 위해서는 보다 많은 시험 결과와의 비교가 필요하다고 결론을 내렸다.

Table 2 Recommended values for wake fraction, w

Block coefficient	One propeller	Two propellers
0.5	0.14	0.15
0.6	0.23	0.17
0.7	0.29	0.19
0.8	0.35	0.23

3. 최소출력선 평가 적용 결과 검토

본 장에서는 최소추진출력 잠정 가이드라인에 정의된 1 단계(Level 1) 평가인 최소출력선 평가를 IHS Sea-web 등록된 자료에 적용하고 결과를 검토해 보았다. Sea-web은 IMO의 선박 식별 번호를 발행하는 IHS Maritime & Trade가 제공하는 자료를 바탕으로 구성된 데이터베이스이다(<https://maritime.ihs.com/>). 이 데이터베이스에서 2000~2015년 사이에 건조된 1,517척의 벌크선과 874척의 탱크선에 대한 자료를 구해서 최소출력선 평가를 적용해 보았다. 검색된 선박을 건조 년도와 재화중량에 따라 구분하면 Fig.2와 같다.

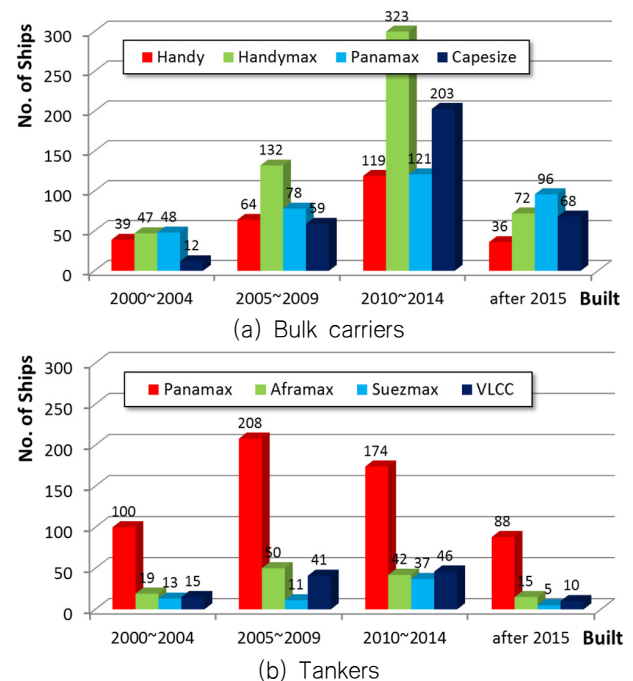


Fig. 2 Constitution of bulk carriers and tankers for the examination of minimum power line assessment.

Table 3 Parameters a and b for determination of the minimum power line values for the different ship types

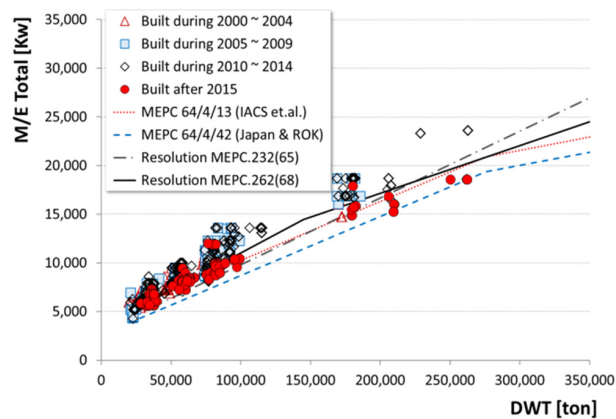
Reference	Ship Type	a	b
MEPC 64/4/13 (IACS et al.)	BC (DWT < 275,825 ton)	0.0606	4195.2
	BC (DWT ≥ 275,825 ton)	0.0273	13366.0
	Tankers	0.0603	5495.5
MEPC 64/4/42 (Japan & ROK)	BC (DWT < 275,825 ton)	0.0606	2648.0
	BC (DWT ≥ 275,825 ton)	0.0273	11818.8
	Tankers	0.0603	3294.0
Resolution MEPC.232(65)	BCs	0.0687	2924.4
	Tankers	0.0689	3253.0
Resolution MEPC.262(68)	BC (DWT < 145,000 ton)	0.0763	3374.3
	BC (DWT ≥ 145,000 ton)	0.0490	7329.0
	Tankers	0.0652	5960.2

최소출력선은 재화중량(DWT)에 따른 최소출력선을 식 (1)과 같은 형태로 규정하고 있다.

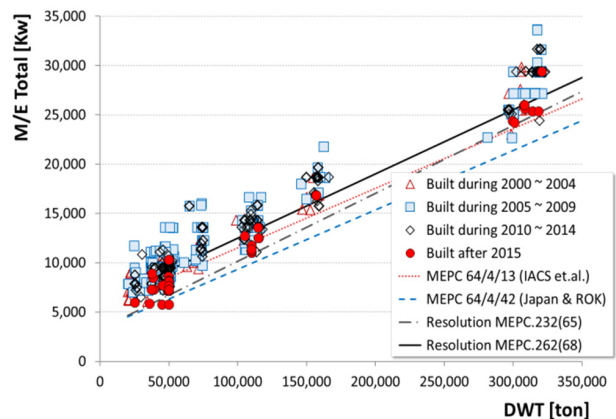
$$\text{Minimum power line value [kW]} = a \times (\text{DWT [tons]}) + b \quad (1)$$

여기서 a와 b는 선종과 크기에 따라 규정된 매개변수로 Table 3과 같이 변화되어 왔다.

Fig. 3은 IHS Sea-web에 등록된 2000년 이후 건조 선박에 대해 최소출력선을 적용한 결과이다. 분석을 위해 선박은 건조 년도에 따라 5년 단위로 구분해서 표시하였다(△: 2000~2004년, ■: 2004~2009년, ◇: 2010~2014년, ●: 2015년 이후).



(a) Bulk carriers



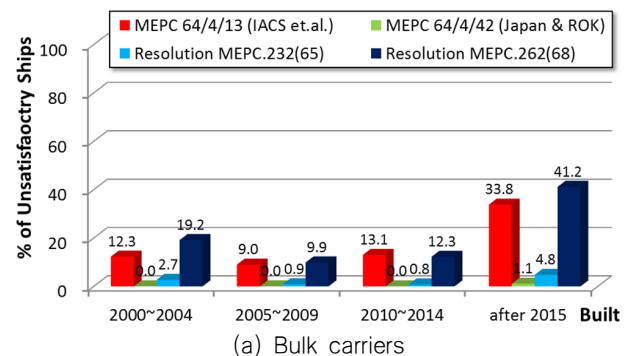
(b) Tankers

Fig. 3 Minimum power line assessment

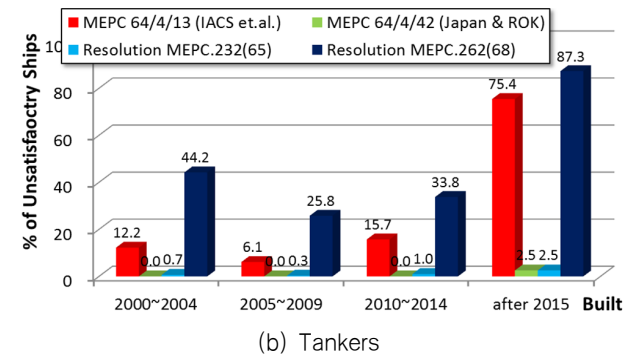
붉은 색 점선은 IACS 등이 제안한 기준이며, 파란 색 파선은 일본과 한국이 기준 완화를 주장하며 제안한 값이다. 검은 색 일점 쇄선은 Resolution MEPC.232(65)에서 정의한 기준이며, 검은 색 실선은 기준 강화 의견을 반영하여 MEPC.262(68)에서 정의한 선이다.

각각의 기준을 만족하지 못하는 선박의 비율은 Fig. 4와 같다. 동일한 기준을 적용할 경우, 최근 건조한 선박의 불만족 비율이 높아지는 것을 알 수 있다. 이는 지속적인 선형과 추진기 설계 개선 및 에너지 절감장치 적용 등을 통한 추진효율 증가와 EEDI Phase 1 적용으로 인한 주기율 출력 감소의 영향으로 추정된다. 한 가지 유의할 점은 Resolution MEPC.262(68) 적용 시, 2015년에 건조된

선박의 불만족 비율이 크게 증가하는 것처럼 보이는 점이다. 해당 기준은 2015년 5월에 채택된 후 6개월의 유예기간을 두기로 함에 따라 2015년 12월부터 적용되어야 하는 기준이다. 즉, 실질적으로는 2016년 이후 건조 선박부터 적용되는 기준으로 볼 수 있다. 하지만, 취합된 자료는 2015년도에 인도된 선박이 다수이므로 적용 시점에 다소 차이가 있는 점을 고려해야 한다. Resolution MEPC.262(68)을 2016년 이후 건조선에 적용하면, Fig. 4에 표시된 불만족 비율 보다는 낮아질 것으로 예상된다.



(a) Bulk carriers



(b) Tankers

Fig. 4 Ratio of unsatisfactory ships assessed by the minimum power lines.

2010년 이전의 자료만 검토하면, IACS 등의 안을 적용 시 불만족 선박이 약 10% 내외이고, 일본과 한국의 안은 모든 선박이 만족함을 알 수 있다. 이는 MEPC 64차 회의에서 논의된 것과 동일한 경향이다. 단, Resolution MEPC.232(65)가 5% 가량의 불만족율을 상정하고 만든 기준이지만, 실제 불만족율은 1% 미만으로 나타나는 점을 관찰할 수 있다. 이는 그리스 등에서 주장한 기준 강화 배경이 어느 정도 수긍 가능한 것이라는 것을 보여준다. 한편, Resolution MEPC.262(68)이 기존 대비 상당히 강화된 기준이라는 점도 확인할 수 있다. 특히 2000~2004년에 건조된 선박에 적용 시, 벌크선은 약 19%, 탱크선은 약 44%의 불만족율을 보이고 있다. 이는 최소추진출력 논의 과정에서 EEDI 적용 이전에 운항되는 대부분의 선박은 황천에서도 안전하게 운항하였기에 문제가 없었다는 기존의 관점과 상이한 결과로 판단된다.

4. Simplified 평가 적용 결과 검토

Simplified 평가는 황천 중 선수 파도/바람 조건에서 최소 전진

속도를 유지할 때 필요한 마력을 추정하고, 주기관이 해당 조건에서 필요한 출력을 생성할 수 있는지를 검토하는 것이다. 개략적인 계산 과정은 Fig. 5와 같다.

Simplified 평가 적용을 위해서는 선박의 제원과 성능 정보가 필요하다. 본 연구에서는 수치해석 및 조종성능 연구의 공시 선형으로 활용되는 KVLCC2를 이용하였다. KVLCC2는 선박해양 플랜트연구소(KRISO, Korea Research Institute of Ships and Ocean)에서 설계한 초대형 원유운반선으로 ITTC 조종성분과 위원회에서 주관하는 SIMMAN 워크샵 등을 통해서 선형과 모형시험 결과가 공개되어 있다(Kim et al., 2005; SIMMAN 2014).

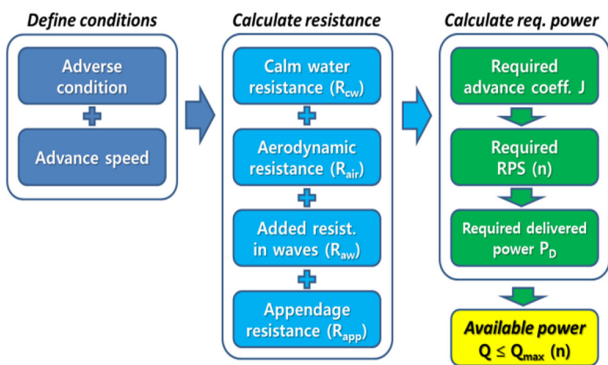


Fig. 5 Schematic procedure for the simplified assessment of 2013 interim guidelines for determining minimum propulsion power of ships in adverse conditions

Simplified 평가를 위해 추가적으로 필요한 주기관 출력은 Sea-web 자료에서 구한 2000~2004년 건조 VLCC의 평균값 (Fig. 6 참조)을 사용하였으며, 풍속중 면적(AFW: 수면 상부 정면 투영면적, ALW: 수면 상부 측면 투영면적) 등은 유사선의 값으로 Table 4와 같이 가정하였다.

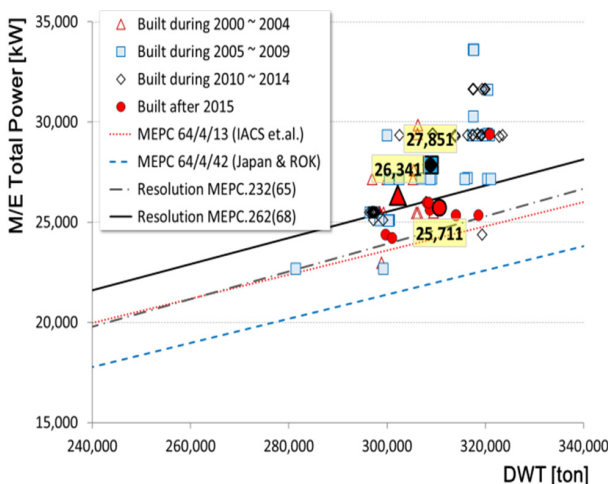


Fig. 6 DWT vs. M/E total power for VLCC (Averaged values during 2000~2004: 26,341 kW, 2005~2009: 27,821 kW, 2010~2014: 27,851 kW, and after 2015: 25,711 kW)

Table 4 Assumed parameters of KVLCC2 for the simplified assessment

Parameters	Value	Parameters	Value
AFW [m ²]	920	Deadweight [ton]	302,273
ALW [m ²]	3,300	MCR [kW]	26,341
		RPM [-]	81

(AFW: Frontal windage area, ALW: Lateral windage area)

4.1 황천의 정의에 따른 영향

2.2절에서 정리한 황천의 정의에 대한 논의를 길이 250 m 이상의 선박에 대해 정리하면 Table 5와 같다. 이 정의에 따라서 KVLCC 2를 대상으로 Simplified 평가를 수행하면 Fig. 7~8과 같은 결과를 얻을 수 있다. 이때, 자항요소는 MEPC.262(68)의 경험식을 사용하였고, 파랑 중 부가저항은 i-STAP을 사용해서 추정하였다. i-STAP은 KRISO에서 개발한 ISO 15016:2015 기반의 선속시운전 해석용 프로그램이다(Shin et al., 2016). 파랑 중 부가저항 계산은 Maruo 방법과 NMRI의 경험식으로 계산하는 옵션을 이용하였다.

Table 5에 기술된 황천 조건에서 각 저항 성분(정수, 공기, 파랑 중 부가저항)의 상대적인 크기는 Fig. 7에 비교하였다. (Resolution MEPC.262(68) 조건에서 추정된 전체 저항 대비 상대적인 크기이다). 기본 제원과 기준 선속이 동일하므로 정수 중 저항은 동일하다. 풍속과 유의파고가 증가하면 전체 저항이 증가하는데, 파랑 중 부가저항이 전체 저항의 70% 이상을 차지하는 가장 중요한 성분이라는 것을 알 수 있다.

각각의 황천 조건에서 필요한 마력과 공급 가능한 출력의 비는 Fig. 8에 비교하였다. 가장 나쁜 황천 조건인 MSC 93/21/5를 적용할 경우, 주기관 출력 대비 큰 출력이 요구되므로 Simplified 평가를 만족하지 못하는 것으로 나타났다. 다른 조건에서는 전체 저항이 유사한 크기이므로, 여유 마력도 6~14%의 유사한 크기로 가이드라인을 만족하는 것으로 나타났다. 해당 선박이 잠정 가이드라인에 따른 최소출력선 평가(Level 1)를 만족하므로(Fig. 6 참조) Simplified 평가(Level 2)도 만족하는 것이 일관성 측면에서 타당하다. 하지만, 그리스가 제안한 MSC 93/21/5안은 반대의 경향(Level 1은 만족하지만 Level 2는 불만족)이 나타나므로, 현재의 평가 체계에서는 적절하지 않다는 것을 확인할 수 있다.

Table 5 Adverse weather conditions for ship's with LPP>250 m

Reference	H _{1/3} [m]	T _P [s]	V _W [m/s]
Resolution MEPC.262(68)	5.5	7.0~15.0	19.0
MEPC 64/4/13 (IACS)	6.0	8.0~15.0	19.0
MSC 93/21/5 (Greece)	7.0	-	23.0
MEPC 71/5/13 (Denmark et al.)	6.0	8.8~12.2	22.6

(H_{1/3}: Significant wave height, T_P: Peak period, V_W: Mean wind speed)

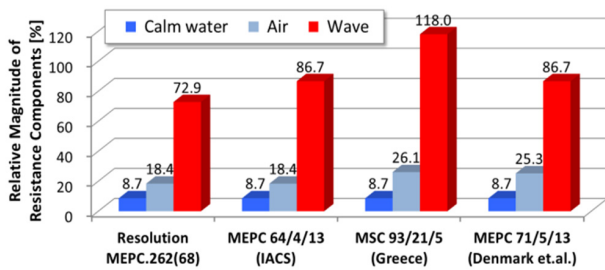


Fig. 7 Relative magnitude of resistance components under different adverse weather conditions (100%: Total resistance by the Resolution MEPC.262(68))

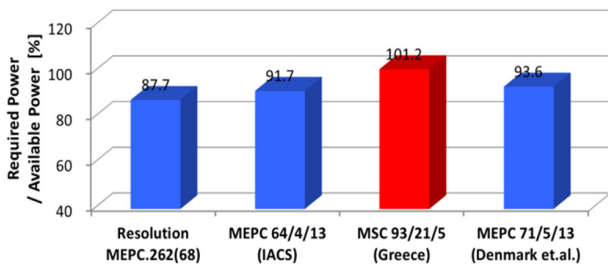


Fig. 8 Ratio of required vs. available power under different adverse weather conditions

4.2 파랑 중 부가저항 추정법의 영향

잠정 가이드라인에는 평가 대상 속도에서의 파랑 중 부가저항을 모형시험이나 기관(Administration)에서 인정하는 방법으로 추정할 것을 명시하고 있다. 모형시험은 선속이 4~6 knots로 매우 낮은 조건이므로, 폭이 좁은 예인수조에서 모형시험을 수행할 경우 반사 파의 영향에 각별히 주의를 기울일 필요가 있다(Lee et al., 2019). 조선소에서는 선급이 인정하는 경험식 또는 비점성 해석 기반의 부가저항 전달함수 추정법을 활용하고 있다. 점성 해석도 고려할 수 있지만, 계산 시간 및 선급 별로 인정 여부의 차이로 인해 활발히 사용되지는 않고 있다. 본 연구에서는 Table 6에 정리한 파랑 중 부가저항 추정식을 적용하였다(STAWAVE2는 선속이 적용 가능한 범위를 벗어나지만, 비교 목적으로 사용하였다).

Table 6 Estimation methods for the added resistance in waves

Type	Name	Motion induced	Reflection correction
Empirical	STAWAVE2 (Boom et al., 2013)	Jinkine's method	Experimental data
	MEPC 70/INF.33		
2D Strip	SLE (HMRI, 2009)	Maruo method	Faltinsen
	i-STAP (Shin et al., 2016)		NMRI empirical
	PrimeShip		
3D Panel	WISH (Park et al., 2014)	Pressure integration	

모형시험 결과가 있는 6 knots 선속에 대해 무차원화된 부가저항 전달함수를 비교하면 Fig. 9과 같다. MEPC 62차 회의와 Lee 등(2019)등이 논의된 바와 같이 추정법에 따라 파랑 중 부가저항 전달함의 크기에 유의미한 차이가 나타났다. 각각의 부가저항 추정법을 적용하였을 경우 계산된 소요 마력과 공급 가능한 출력의 비는 Fig. 11과 같다. KVLCC2의 경우에는 ClassNK의 Prime Ship에 의한 계산이 가장 보수적인 결과를 보이고 있으며, SHOPERA의 연구결과를 바탕으로 추정된 MEPC 70/INF.33이 상대적으로 여유 있게 만족하는 것으로 나타났다.

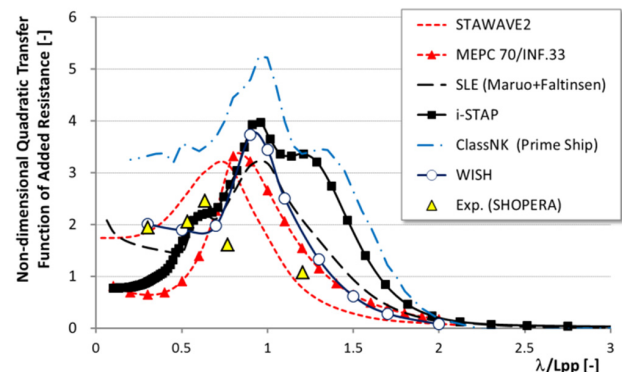


Fig. 9 Non-dimensional quadratic transfer function of the wave added resistance of KVLCC2 at 6 knots

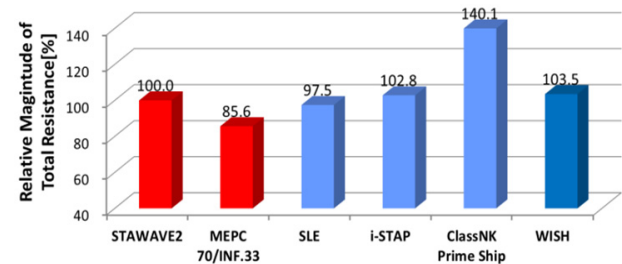


Fig. 10 Relative magnitude of total resistance by the various wave added resistance estimation.

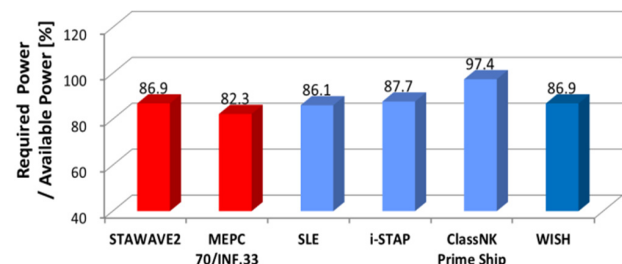


Fig. 11 Ratio of required vs. available power by the various wave added resistance estimation

모든 경우에 Simplified 평가를 만족하고 있는 것으로 나타나지만, 추정법에 따라 기준 대비 마진에 차이를 보이고 있다.

4.3 자항요소 추정법의 영향

자항요소도 경험식과 모형시험 등을 통해서 추정할 수 있다.

중국이 MEPC 71차 회의에서 언급한 바와 같이, 황천 중에 저속으로 운항하는 선박의 자항요소는 정수 중 설계 선속에서의 값과 차이가 있을 것으로 예상된다(MEPC 71/5/8, 2017). 최근 국내에서도 이를 고려해, 프로펠러 과부하 상태에서 시험을 수행하고 자항요소를 구한 경우가 있었다(Lim et al., 2019).

본 연구에서는 Table 7의 자항요소를 Fig. 5에서 언급된 Simplified 평가 절차에 적용하여 소요마력을 계산하고 결과를 검토하였다. 자항요소 변화에 따른 평가 결과를 비교하면 Fig. 12와 같다.

Table 7 Wake fraction and thrust deduction factors applied for KVLCC2

Reference	w [-]	t [-]
Resolution MEPC.262(68)	0.350	0.245
Calm sea at $Fn=0.141$	0.347	0.233
MEPC 71/5/8 (China)	0.350	0.100
MEPC 72/5/9 (China)	0.150	0.100

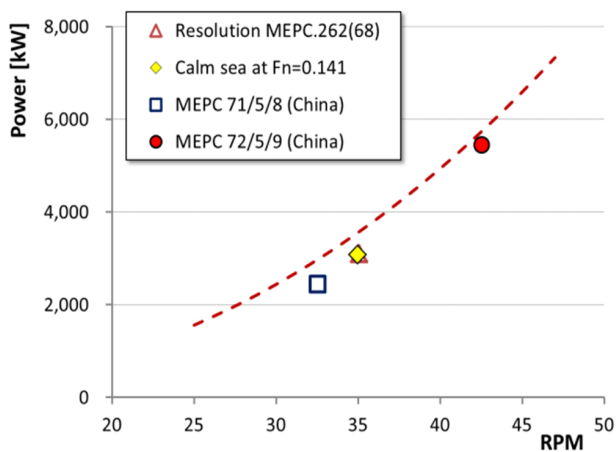


Fig. 12 Effects of wake fraction and thrust deduction factors

Fig. 12에서 점선은 주기관에서 구현할 수 있는 출력을 나타내고, 심볼은 Table 7의 자항요소를 적용했을 때 추정된 소요 마력이다. 잠정 가이드라인에서 제안하고 있는 자항요소 추정식을 적용할 경우(Δ) 정수 중 설계 선속에서 구한 값($\blacklozenge$)과 유사한 값이므로 소요마력에 차이가 보이지 않았다. 중국이 71차 회의에서 제안한 추력감소계수만 반영한 경우($\square$), 기존 경험식 대비 낮은 회전수에서 유사한 비율의 마진을 가지고 만족하는 것으로 나타났다. 72차 회의에서 제안한 반류비와 추력감소계수를 적용하면($\bullet$), 프로펠러 회전수가 증가하고, 주기관이 제공 가능한 출력 대비 마진이 줄어드는 결과가 나타났다. 이상과 같이 자항요소의 변화에 따라 평가 결과에 영향이 있으므로, 적절한 자항요소를 선정하는 방법에 대해서도 체계적인 검토가 필요하다.

5. 검토 결과

본 연구에서는 황천 시 최소추진출력 잠정 가이드라인 관련해

IMO MEPC 논의 내용을 살펴보고, 최소추진 출력선 평가와 Simplified 평가를 각각 통계자료와 KVLCC2에 대해서 적용해 보았다.

IACS 등이 최소추진출력 규제에 대한 초안을 제출한 이후, 그 리스를 중심으로 지속적인 기준 강화의 의견이 있었다. 하지만, 기존 운항 중인 선박에 대한 고려, 현실적으로 채택 가능한 주기 관 선정, 단계적으로 강화되는 기준의 일관성 등을 종합적으로 고려하여 의결된 Resolution MEPC.262(68)이 EEDI Phase 2(2020~2024년)까지는 적용될 예정이다. 이 가이드라인은 Level 1의 최소출력선과 Level 2의 Simplified 평가로 구성되어 있다. 최소출력선은 선종 별로 재화중량에 따른 최소추진출력을 규정하는 형태이고, Simplified 평가는 정해진 황천 조건을 정면으로 항해할 때 일정한 선속을 유지하는데 소요되는 마력을 주기 관이 감당할 수 있는지 평가하는 형태이다. 보다 현실적인 운항 시나리오를 고려하는 Comprehensive 평가의 도입도 지속적으로 제기되고 있으나, 관련 기관이 모두 동의할 수 있는 시나리오를 도출은 여전히 논의 중이다.

최소추진출력선 기준은 Resolution MEPC.262(68)이 채택되면서 Resolution MEPC.232(65) 대비 상당히 강화 되었다. 그 결과, 기존선인 2000~2010년 건조 선박에 해당 기준을 적용하면, 기존 안의 불만족 비율이 1% 미만인데 반해 강화된 안의 불만족 비율은 벌크선은 10% 이상, 탱크선은 25% 이상인 것으로 나타났다. 이는 EEDI 적용 이전에 운항되는 대부분의 선박은 황천에서도 안전하게 운행되었기에 문제가 없었다는 관점과는 배치되는 결과이다.

Simplified 평가에서는 황천 조건과 파랑 중 부가저항의 추정 이 기준 만족여부를 결정하는데 가장 중요한 요소이다. 황천 조건은 최소추진출력선 평가와의 일관성을 고려할 때, BF 8(유의 파고 5.5 m, 풍속 19 m/s) 수준의 현재 기준이 타당한 것으로 판단된다. 파랑 중 부가저항은 전체 저항의 70% 이상을 차지하는 중요한 성분이지만, 추정 방법에 따라서 편차가 있는 것으로 나타났다. KVLCC2를 대상으로 파랑 중 부가저항 추정 결과를 비교하면 최대 40% 가량의 차이를 보였는데, ClassNK의 Prime Ship 적용 시에 가장 보수적인 결과를 나타내었다. 모형시험을 통해 파랑 중 부가저항을 추정하는 것도 하나의 대안이 될 수는 있지만, 매우 낮은 선속에서 시험을 수행해야 하므로 일반적인 예인수조에서는 측면 반사파의 영향을 낮출 수 있는 방법에 대해서 주의를 기울여야 할 것이다.

반류비나 추력감소계수와 같은 자항요소도 일반적인 운항 선 속과는 다른 값을 가질 것으로 추정되지만, Simplified 평가에서 제안하고 있는 추정식은 설계 속도에서의 값과 유사한 결과를 주고 있다. 중국은 제한된 모형시험 결과를 바탕으로 반류비와 추력감소계수를 기존 대비 약 1/3 작은 값을 쓰는 것을 제안하였다. 하지만, KVLCC2에 적용한 결과 추력감소계수 감소량 대비 반류비의 감소량이 크기 때문에 주기관 출력 대비 마진이 감소하는 경향이 나타났다. 적절한 값을 선정하는 방법에 대해서도 향후 체계적인 검토가 필요하다고 판단된다.

2018년 말에 개최된 MEPC 73차 회의에서는 황천 시에 적용

가능한 Emergency MCR을 도입하여, 평상시에는 DMCR 이하에서만 운항 가능하도록 S/W적인 제한을 두자는 의견이 있었다. 이상과 같이 앞으로도 최종안 확정까지 활발한 논의가 진행될 것으로 예상되므로, 국내 조선업계에서는 진행상황을 예의주시 할 필요가 있다.

References

- 2008 IS Code, Resolution MSC.267(85), 2008, Adoption of the International Code on Intact Stability, 2008.
- Boom, H., Huisman, H. & Mennen, F., 2013, New guidelines for speed/power trials, *SWZ Maritime 134*, pp.18–22.
- EE-WG 1/4, 2010, Consideration of safety issues related to the EEDI: Minimum required speed to ensure safe navigation in adverse conditions.
- EE-WG 2/2/8, 2011, Further improvement of guidelines for determining minimum propulsion power and speed to enable safe manoeuvring in adverse weather conditions.
- Hyundai Maritime Research Institute (HMRI), 2009, Estimation on the added power and speed loss during sea trials, HMRI-08-AC-446, Ulsan, Korea, HMRI.
- Kim, J., Park, I.R., Kim, K.S. & Van, S.H., 2005. RANS simulations for KRISO container ship and VLCC tanker. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 42(6), pp.593–600.
- Lee, D.H., Choi, S.H., Oh, S.M., Kim, S.H. & Kim, T.Y., 2019, A study on the wave added resistance test in a towing tank for determining minimum propulsion power to maintain the manoeuvrability of ships in adverse conditions. *Korea Towing Tank Conference*, Spring Meeting, Siheung, Republic of Korea, 18–19, April, 2019.
- Lee, Y.Y., 2018, Discussion trends and outlook of IMO minimum propulsion power to maintain the manoeuvrability of ships in adverse conditions, *Research Project Planning Expert Meeting for EEDI Minimum Propulsion Power*.
- Lim, H.J., Kim, S.P. & Lee, S.H., 2019, EEDI MPP Level 2 assessment by the overload test, *Korea Towing Tank Conference*, Spring Meeting, Siheung, Republic of Korea, 18–19, April, 2019.
- MEPC.1/Circ.795/Rev.2, 2014, Unified Interpretations to MARPOL ANNEX VI.
- MEPC.1/Circ.850/Rev.2, 2017, 2013 Interim guidelines for determining minimum propulsion power to maintain the manoeuvrability of ships in adverse conditions (Resolution MEPC.232(65), As Amended by Resolution MEPC.255(67) and Resolution MEPC.262(68)).
- MEPC 60/4/17, 2010, Prevention of air pollution from ships; The energy efficiency design index (EEDI) and underpowered ships.
- MEPC 62/5/19, 2011, Consideration of the energy efficiency design index for new ships, minimum propulsion power to ensure safe manoeuvring in adverse conditions.
- MEPC 62/INF.21, 2011, Consideration of the energy efficiency design index for new ships, minimum propulsion power to ensure safe manoeuvring in adverse conditions.
- MEPC 63/4/11, 2012, Report of the second Inter-sessional meeting of the working group on energy efficiency measures for ships.
- MEPC 63/4/15, 2012, Minimum design speed for bulk carriers and oil tankers.
- MEPC 64/4/13, 2012, Consideration of the energy efficiency design index for new ships – minimum propulsion power to maintain the manoeuvrability in adverse conditions.
- MEPC 64/INF.7, 2012, Background information to document MEPC 64/4/1.
- MEPC 64/4/37, 2012, Minimum propulsion power to maintain the manoeuvrability in adverse conditions.
- MEPC 64/4/42, 2012, Comments on the proposed interim guidelines for determining minimum propulsion power to maintain the manoeuvrability of ships in adverse conditions.
- MEPC 65/22, 2013, Report of the marine environment protection committee on its sixty-fifth session.
- MEPC 67/4/16, 2014, Comments on documents MSC 93/21/5 and MSC 93/INF.13 and consideration on the requirement of minimum propulsion power needed to maintain the manoeuvrability of a ship under adverse conditions
- MEPC 67/4/25, 2014, Availability of information allowing further development of the guidelines for determining minimum propulsion power to maintain the manoeuvrability of ships under adverse conditions.
- MEPC 67/42, 2014, Report of the marine environment protection committee on its sixty-seventh session.
- MEPC 68/3/7, 2015, Consideration on the effect of the proposed revision of the 2013 interim guidelines for determining minimum propulsion power to maintain the manoeuvrability of ships in adverse conditions (summary).
- MEPC 68/INF.32, 2015, Consideration on the effect of the proposed revision of the 2013 interim guidelines for determining minimum propulsion power to maintain the manoeuvrability of ships in adverse conditions.
- MEPC 68/21, 2015, Report of the marine environment protection committee on its sixty-eighth session.
- MEPC 69/INF.23, 2016, Progress report of SHOPERA and JASNAOE projects for development of the revised minimum propulsion power guidelines.
- MEPC 70/5/20, 2016, Progress report of SHOPERA and JASNAOE projects and outline of draft revised Guidelines for determining minimum propulsion power to maintain the manoeuvrability of

- ships in adverse conditions.
- MEPC 70/INF.30, 2016, Supplementary information on the revised guidelines on the draft revised guidelines for determining minimum propulsion power to maintain the manoeuvrability of ships in adverse conditions.
- MEPC 70/INF.33, 2016, Results of research project “Energy Efficient Safe Ship Operation” (SHOPERA).
- MEPC 70/INF.35, 2016, Report of JASNAOE research project for determining minimum propulsion power.
- MEPC 70/18, 2016, Report of the marine environment protection committee on its seventy session.
- MEPC 71/5/13, 2017, Progress and present status of the draft revised guidelines for determining minimum propulsion power to maintain the manoeuvrability of ships in adverse conditions.
- MEPC 71/INF.28, 2017, Draft revised guidelines for determining minimum propulsion power to maintain the manoeuvrability of ships in adverse conditions.
- MEPC 71/INF.29, 2017, Supplementary information on the draft revised guidelines for determining minimum propulsion power to maintain the manoeuvrability of ships in adverse conditions.
- MEPC 71/5/8, 2017, Proposed amendments to the 2013 interim guidelines for determining minimum propulsion power to maintain the manoeuvrability of ships in adverse conditions.
- MEPC 71/17, 2017, Report of the marine environment protection committee on its seventy-first session.
- MEPC 72/5/9, 2018, Proposed amendments to the 2013 interim guidelines for determining minimum propulsion power to maintain the manoeuvrability of ships in adverse conditions.
- MEPC 73/5/1, 2018, Proposal for an option to limit the shaft power while ensuring a sufficient safety power reserve in adverse weather conditions.
- MSC 93/21/5, 2014, Safety evaluation of the interim guidelines for determining minimum propulsion power to maintain the manoeuvrability of ships under adverse weather conditions.
- MSC 93/INF.13, 2014, Safety evaluation of the interim guidelines for determining minimum propulsion power to maintain the manoeuvrability of ships under adverse weather conditions.
- MSC-MEPC.2/Circ.11, 2012, Interim guidelines for determining minimum propulsion power to maintain the manoeuvrability of ships in adverse conditions.
- Park, D.M., Seo, M.G., Lee, J., Yang, K.K. & Kim, Y., 2014, Systematic experimental and numerical added analyses on added resistance in waves. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 51(6), pp.459–479.
- Park, H.S., Lee, H.C., Lee, H.J. & Kim, B.R, 2016, A study on the policy for enlargement application of eco-friendly technology for Korean ships, *Basic Research 2016–10*, Korea Maritime Institute.
- PrimeShip, Available at: <http://www.classnk.or.jp/hp/ko/activities/primeship/index.html> [Accessed at 20 Dec. 2018].
- Resolution MEPC.137(76), 2002, Standards for ship manoeuvrability.
- Resolution MEPC.203(62), 2011, Amendments to the annex of the protocol of 1997 to amend the international convention for the prevention of pollution from ships, 1997, as modified by the protocol of 1978 relating thereto.
- Resolution MEPC.231(65), 2013, 2013 Guidelines for calculation of reference lines for use with the energy efficiency design index (EEDI), adopted 2013 and revoked resolution MEPC.215(63).
- Resolution MEPC.232(65), 2013, 2013 Interim guidelines for determining minimum propulsion power to maintain the manoeuvrability of ships in adverse conditions.
- Resolution MEPC.255(67), 2014, Amendments to the 2013 interim guidelines for determining minimum propulsion power to maintain the manoeuvrability of ships in adverse conditions (resolution MEPC.232(65)).
- Resolution MEPC.262(68), 2015, Amendments to the 2013 interim guidelines for determining minimum propulsion power to maintain the manoeuvrability of ships in adverse conditions (resolution MEPC.232(65), as amended by resolution MEPC.255(67)).
- Shin, M.S, Park, B.J., Lee, G.J. & Ki, M.S., 2016, Revision of ISO15016 for the EEDI and analysis program(i-STAP). *Bulletin of the Society of Naval Architects of Korea*, 53(1), pp.17–21.
- Sea-web Ships, Available at: https://maritime.ihs.com/entitlementportal/home/information/seaweb_ships [Accessed at 15 Nov. 2018].
- Workshop on Verification and Validation of Ship Manoeuvring Simulation Methods, Available at: <https://simman2014.dk/> [Accessed at 10 Oct. 2018].

