

ICE CLASS 프로펠러 최적화

임채성, 김현식, 하병인(현대미포조선), 문일성(한국해양연구원 해양시스템안전연구소)

1. 서 론

현재 ICE Class 선박 프로펠러의 설계에 대한 요구는 FMA Rule에 언급되어 있으며, 각 선급규정은 FMA Rule에 따라 세부적으로 명시되어 있다. 그러나 각 선급규정을 살펴보면 프로펠러의 지정된 환경에서 날개두께 및 날개끝 부위의 앞날과 뒷날에 대한 두께만 규정하고 있다.

특히 각 선급규정에 맞추어 프로펠러를 설계하려면 다음과 같은 3가지 문제점이 있다.

1) 날개뒷날 문제

프로펠러 반경 0.6R 이상의 날개뒷날 두께가 선급규정에 비하여 매우 얇다.

현재 거의 모든 프로펠러의 단면 형상은 NACA66 단면을 사용하는데 날개뒷날 부분의 두께가 상당히 얇다. 선급규정에서는 날개뒷날의 두께를 선급규정값의 50% 이상을 요구하므로 뒷날부분을 보강한 새로운 단면이 필요하다.

만약 단면의 수정 없이 프로펠러를 설계하면 날개 끝에서의 과도한 두께 증가로 인하여 프로펠러의 관성모멘트가 증가하여 축계에 필요 이상의 보강이 추가되어야 한다.

2) 스쿠각 감소 문제

빙해에서의 운항 시 주의해야 할 사항으로 프로펠러가 역회전할 때 스쿠각으로 인하여 프로펠러에서 강도가 가장 약한 날개뒷날 부분이 얼음에 의하여 손상될 가능성이 크다. 실제로 2002년 여러 척

의 선박이 Baltic Sea에서 운항 중 프로펠러 손상 사례가 발생되었는데 이는 모두 역회전으로 인한 것들이다.

이 사고 이후 DNV 선급은 Skewed ICE Class 프로펠러를 위한 Internal Note (MTPN O373)를 제정하여 적용을 요구하고 있다.

당사 검토 결과로는 Skew Angle을 10도 이하로 설계할 때 선급만족을 위한 추가적인 프로펠러 강도 보강이 필요 없음을 알 수 있었다.

3) CAVITATION 및 변동압력 문제

ICE Class 1A급의 중소형 선박에서는 ICE Required Power만족을 위해 선박의 크기에 비해 매우 큰 엔진마력을 가진 엔진을 채택하여야 한다. 이로 인하여 대직경의 프로펠러가 요구되고 프로펠러에 걸리는 고 부하로 인하여 가급적 진동 및 Cavitation에 의한 영향을 최소화 하도록 설계하여야 한다.

2003년 당사는 37K PC ICE Class 1A급 선박을 건조 중 DNV선급으로부터 Internal Note의 적용을 요청 받았다. 따라서 선급의 요구사항을 검토하여 적용하면서 ICE Class 프로펠러에 대한 최적화를 수행하였다.

2. 프로펠러 설계

ICE급 프로펠러 설계 최적화를 위하여 기존의 적용한 프로펠러 및 2차에 걸친 프로펠러를 설계하였으며 설계된 프로펠러의 기존 제원을 Table 1 및 Fig. 2, 3, 4에 비교 도시하였다.

Table 1. Particulars of propeller Geometry

	기존	1차	2차
직경	6.36		
Ae/Ao	0.56	0.58	0.58
P/D(mean)	0.63	0.65	0.65
Skew angle(deg)	24	16	7
변동압력(%)	100	140	66
Section	NACA66	NACA66mod.	

기존의 프로펠러는 축계 진동 및 캐비테이션을 고려하여 가급적 큰 스쿠각을 채택하였다. 또한 ICE Class Rule의 만족을 위하여 끝단 부위의 날개 최대두께를 약 20% 정도 보강하여 날개뒷날의 두께 요구를 만족시켰다.

그러나 선급 승인단계에서 선급의 요구에 의하여 Skewed 프로펠러 강도 보강을 위하여 두께를 다시 증가시켰다. 이로 인하여 최종적으로 프로펠러의 무게는 약 10% 정도 증가하였으며 관성모멘트 또한 약 20% 증가되었다. 따라서 축계의 보강이 추가적으로 수행되었다.

기존 프로펠러의 모형시험 및 수치계산결과를 바탕으로 1차 프로펠러의 설계방향을 설정하였다.

기존 프로펠러의 날개끝 캐비테이션의 불안정을 해소하기 위해 허브부분과 0.7 R에서부터 TIP방향으로 하중 분포를 증가시켰다. 그리고 전개면적비를 증가시켜 캐비테이션의 저감을 도모하였다. 또한 빙해 구역에서의 안전한 운항을 위하여 스쿠각

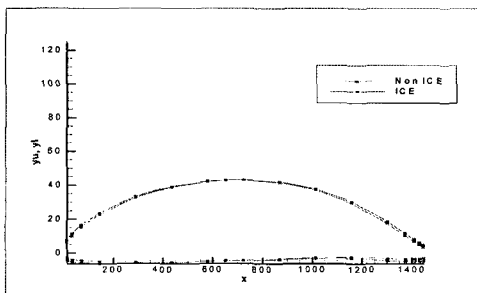


Fig. 1 Comparison of section

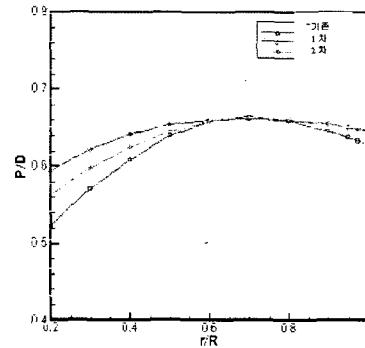


Fig. 2 Comparison of P/D (기존/1차/ 2차)

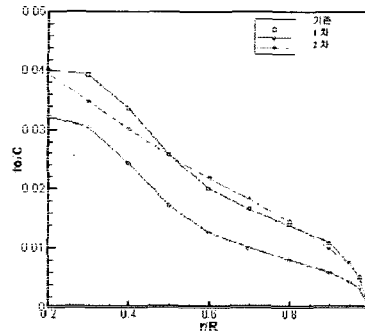


Fig. 3 Comparison of Camber (기존/1차/ 2차)

을 16도로 감소시켰다.

특히 1차 프로펠러의 경우 기존의 NACA66단면 형상을 수정하여 설계하였다. 수정된 단면은 날개 뒷날 및 날개앞날에서만 두께를 증가시켰다. 특히 날개최대두께는 유지 하면서 선급에서 요구하는 반

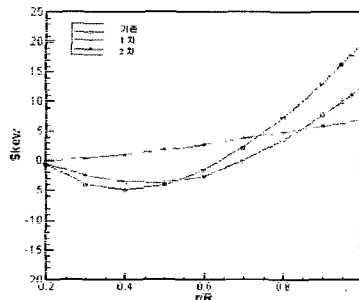


Fig. 4 Comparison of Skew (기존/1차/ 2차)

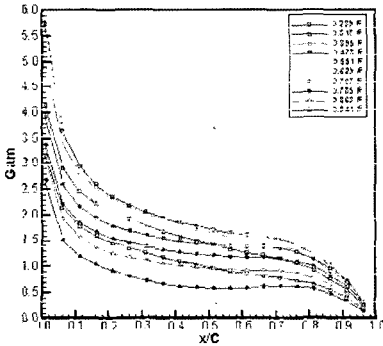


Fig. 5 Propeller loading for 1st propeller

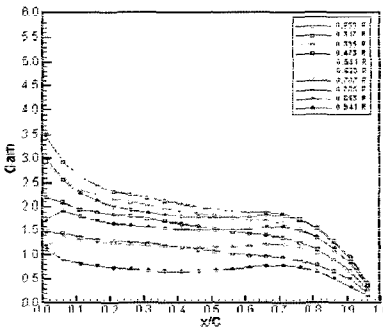


Fig. 6 Propeller loading for 2nd propeller

경에서만 날개 앞날과 뒷날의 두께를 만족하도록 설계하였다. Fig. 1에 설계된 프로펠러의 단면형상을 기존의 단면형상과 비교도시 하였다.

2차 프로펠러의 경우는 최대한 스쿠각을 적게 하여 설계하였으며 이로 인한 축계 진동 및 캐비테이션

션의 발생을 억제하기 위하여 노력하였다. 특히 캐비테이션의 저감 및 안정화를 위하여 1차 프로펠러에 비하여 허브부분 피치를 감소시키고 전체적으로 캠버를 증가시켜 날개 앞날에서의 하중분포를 1차 설계 프로펠러보다 감소 시켰다(Fig. 5, 6 참조).

3. 프로펠러 성능시험

기존 프로펠러의 모형시험 결과 캐비테이션은 날개 각 30도 근처에서 날개면의 약 10% 정도의 캐비테이션 면적을 관찰하였다. 발생된 캐비테이션의 양은 적절하다고 판단하였다. 그러나 캐비테이션의 거동이 약간 불안정하였고 특히 날개 끝 캐비테이션의 불안정 붕괴가 관찰되었다. 그러나 실선에 적용하는데 큰 무리가 없을 것으로 판단되어 실선 제작에 착수하였다.

1차 프로펠러의 모형시험은 두 가지 경우로 나누어 수행되었다. 첫번째는 단면의 수정을 가한 프로펠러에 대하여 모형시험을 수행하였으며, 두번째는 단면의 변화량을 제거하여 모형시험을 수행하였다.

단면의 두께변화에 따른 단독성능변화는 매우 작았다. 특히 추력의 변화는 없었으며, 토오크의 경우 약 0.7% 정도 증가하였다. 반면에 캐비테이션은 양은 오히려 줄어 들었으며 변동압력도 약 10% 정도 감소하였다. 변화된 캐비테이션의 차이를 Fig. 7에 비교도시하였다.

1차 프로펠러의 모형시험 결과 약간의 속도 감소가 있었다. 또한 캐비테이션은 날개 각 10도 근처

ICE CLASS 프로펠러 최적화



Fig. 7 Comparison of cavitation (NACA & Modified NACA for ICE rule)

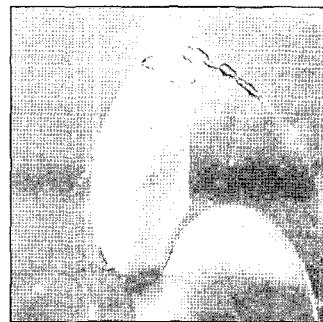


Fig. 8 Cavitation of prel. Propeller (30deg)

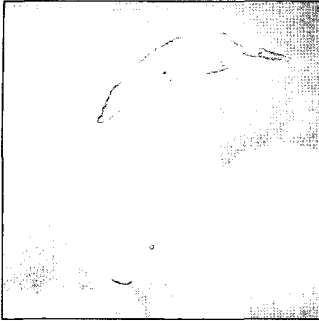


Fig. 9 Cavitation of 1st propeller (30deg)

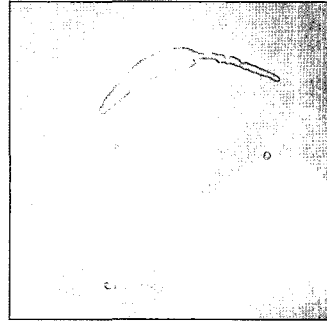


Fig. 10 Cavitation of 2nd propeller (30deg)

에서 약 15%의 캐비테이션 면적이 관찰되었다. 그러나 기존 프로펠러에 비하여 캐비테이션 양은 증가하였으나 거동은 안정적 이었다. 또한 다소 과도한 캐비테이션으로 변동압력은 기존 프로펠러에 비하여 1차 성분이 약간 증가 하였다.

2차 프로펠러의 경우 모형시험 결과 캐비테이션이 10도 부근에서 8%의 캐비테이션 면적이 관찰되었으며 변동압력도 1차 성분이 기존 프로펠러 보다 감소되었다. 더욱이 속도는 1차 프로펠러와 차이가 없었다.

4. 결 론

중 소형선의 경우 ICE Class, 특히 1A를 적용할 경우 선박의 크기에 비해 상대적으로 큰 엔진 및 프로펠러를 탑재하게 되고, 이로 인한 진동 관련 문제 또한 세심한 주의를 기울여야 하며 아울러 빙해 구

역에서의 항해를 고려하여 가능한 작은 Skew 각의 적용을 고려하여야 한다. 주된 결론은 다음과 같다.

1. 최종(2차) 프로펠러에서 캐비테이션 안정화, 감소 그리고 변동압력의 감소를 확인할 수 있었다.
2. ICE Zone에서의 안정된 운항을 위하여 Skew 각의 감소가 가능하게 되었다.
3. 반경 최대 두께의 증가 없이 프로펠러 뒷날의 두께를 증가 시키게 되었다.
4. 부수적인 효과로, 최종(2차) 프로펠러의 무게가 1 Ton 감소 하였고 Inertia Moment가 16% 이상 감소하였다.

참고 문헌

1. J.S. Calton, 1993, "Marine propeller and propulsion"
2. 이창섭, 이진태, 서정천, 김영기, 1992, "프로펠러에 의해 유기된 선체 표면 기진력 해석", 대한조선학회 논문집, 제 29권, 제 1호, pp. 81-92. ⚓