

실선에서의 프로펠러 변동압력 성능 검증

송인행[†]*, 서종수*, 백광준*, 정재권*

삼성중공업(주) 조선해양연구소*

Verification of Propeller-Induced Fluctuating Pressure in Sea Trials

In-Haeng Song[†]*, Jongsoo Seo*, Kwangjun Paik* and Jaekwon Jung*

Marine Research Institute, Samsung Heavy Industries Co., Ltd.*

Abstract

Since a cavitation pattern in model scale can be different from that in full scale, it has been highly demanded to measure a fluctuating pressure induced by propeller in full scale. For the verification of the cavitation test for 105k tanker in the large cavitation tunnel in Samsung Ship Model Basin(SSMB), an effective pressure fluctuation measurement system was developed and a series of full scale measurements was carried out. These results were compared with those of cavitation tests in SSMB. The measured results in full scale gave good agreements to those in model tests. The fluctuating pressure at 2nd blade frequency in full scale seems to be highly dependent upon tip loading.

※Keywords : Propeller-induced fluctuating pressure(프로펠러 유기 변동압력), Cavitation pattern(캐비테이션 패턴), Model-full scale correlation(모형-실선 상관관계), Large cavitation tunnel(대형 캐비테이션 터널), Tip vortex cavitation(날개끝 보오텍스 캐비테이션)

1. 서론

프로펠러에서 발생하는 캐비테이션은 선체 변동압력 및 소음에 크게 영향을 주고 있음은 잘 알려진 사실이다. 그러나 프로펠러 캐비테이션에 의한 변동압력은 Sydney express 프로펠러를 대상으로 수행된 비교연구(19 차 ITTC 보고서 ; 1990)에 보인 바와 같이 공동수조 별로 차이가 크며, 또한

모형시험 결과는 실선 캐비테이션 관찰 및 실선 변동압력 계측 결과와도 많은 차이를 보인다. 이의 원인으로 모형과 실선 프로펠러 날개의 압력 차이와 핵(Nuclei)의 차이 등이 거론되고 있으나, (Weitendorf et al. ; 1987), 아직 명확히 밝혀지지 않은 실정이다. 이러한 차이 때문에 대부분의 공동수조에서는 변동압력의 실선계측 결과를 활용하여 독자적인 Scale effect를 확보하고 모형시험 결과의 실선 확장에 사용하고 있다.

한편 탱커선/LNG 선 프로펠러에서는 고차 진동이 발생하여 실선변동압력을 계측한 사례가 있으

†주저자, E-mail : inhaeng.song@samsung.com
Tel : 042-865-4731

며, 고차 변동압력의 과다가 주 원인으로 밝혀진 바 있다. 이러한 고차변동압력이 발생하는 원인으로 날개끝 보오텍스의 붕괴(bursting), 날개끝 보오텍스 캐비티의 fluctuation 등이 거론된 바 있다 (16 차 ITTC 보고서 ; 1981).

본 연구는 MISC 105k 탱커선을 대상으로 변동압력 시험 결과에 대한 실선에서의 검증은 목적으로 수행되었다. 프로펠러는 모두 2 종이며, 기존 프로펠러와 tip 부분의 부하(loading)를 감소시킨 신규 개념의 프로펠러가 있으며, 이들은 각각 대상선에 장착되어 모형시험 및 실선 변동압력 계측 시험을 수행하였다.

국내에서의 실선 변동압력 계측은 김기섭 외(1999)에서 컨테이너선을 대상으로 수행된 바 있으며 모형시험과 이론계산과의 비교는 김기섭 외(1996)에 수행한 바 있다. 한편 프로펠러 캐비테이션에 대한 추정기법에 관한 연구로는 이창섭(1980), 이창섭과 김영기(1992)가 있으나, 아직도 프로펠러 캐비테이션 및 변동압력에 대한 이론적인 추정은 모형시험이나 실선 계측 결과와는 다소 차이가 나며, 특히 고차 변동압력에 대한 추정은 무리가 있는 실정이다. 류민철 외(1996)은 PUF3-a 와 유효반류 추정기법을 사용하여 선체변동압력을 추정하였으며, 계산 결과 실선 계측 보다 다소 작은 경향을 보였다. 윤일성 외(2003)는 프로펠러 날개가 1 회전하는 동안 날개끝의 부하의 현저한 변화가 날개끝 보오텍스의 성장과 고차 변동압력의 증가에 영향을 준다는 사실을 규명하려고 시도한 바 있다.

본 연구에서는 실선 변동압력 계측을 위해 bottom plug 내부에 압력센서를 장착하여 선체 내부에서 변동압력을 직접 계측할 수 있는 실선 변동압력 계측 시스템을 개발하였다. 실선 계측은 design draft 에서 수행되었으며, 본 연구에서 개발한 실선 변동압력 계측 시스템은 실선 계측에 적용한 결과 계측 신호가 안정적이며, 계측 후 작업이 용이한 것으로 확인되었다.

날개 주파수에 따른 변동압력 실선 계측값은 대체로 SSMB 의 대형 공동수조에서 계측한 모형시험 결과와 잘 일치함을 보였으며, 특히 신규 설계 프로펠러에서는 기존 프로펠러 대비 2 차 변동압

력이 약 40% 감소하는 경향을 보였다.

2. 실선 변동압력 계측시스템

본 연구에서 채택한 실선 변동압력 센서의 설치 방법은 bottom plug 를 이용하는 방법으로 Fig. 1 에 보였다. 계측시에는 센서를 설치하는 용도로 제작된 plug 를 사용하고, 계측 후에는 센서 구멍이 없는 Permanent plug 를 교환하는 방식을 채택하여, 계측 전·후의 공정이 plug 작업을 위한 별도의 선급의 승인이 불필요하다는 장점을 가지고 있다. Bottom plug 의 소켓은 Stainless

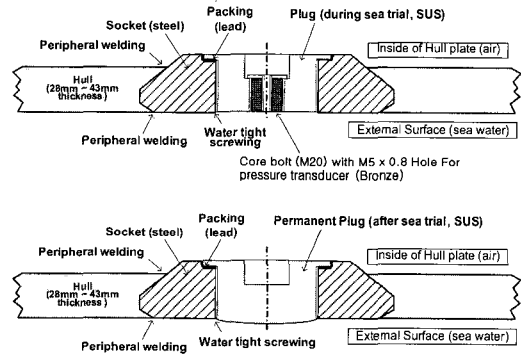


Fig. 1 Pressure sensor adapted in bottom plug

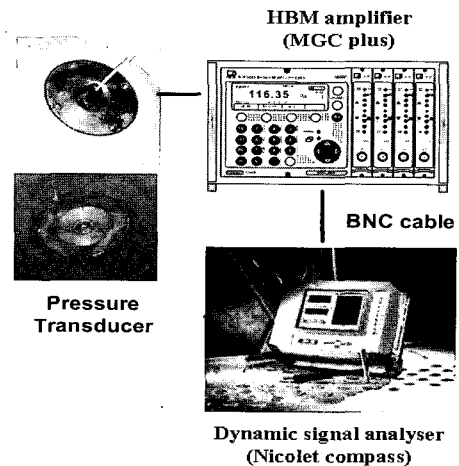


Fig. 2 Fluctuating pressure measurement system

steel 로 제작되어 있으므로 부식의 우려가 없으며, 선체 바깥쪽으로 불연속부가 생기지 않도록 설치하였다.

압력센서에서 계측된 신호는 Fig. 2 에서와 같이 증폭기를 거쳐 주파수 분석기로 전달되어 주파수 별로 분석된다. 한편 변동압력 센서는 최대용량이 3.5 bar 인 Kulite 제품을 사용하였다.

3. 실선 변동압력 계측 결과 및 비교

실선변동압력 계측에 사용된 선박은 105k Aframax 탱커선이며, 프로펠러의 기본제원은 Table 1에 보였다. 신규 설계 프로펠러는 기존 프로펠러에 비하여 직경이 1.8% 증가하였으며, 날개단면은 KH40을 사용하였다. KH40 단면은 캐비테이션 성능이 우수한 것으로 알려졌다 (송인행 외 ; 1998). 신규 설계 프로펠러는 기존 프로펠러에 비하여 tip 부분의 부하를 크게 감소시켜 기존 프로펠러에 비해 캐비테이션 성능이 우수하도록 하였다. 한편 프로펠러 단독시험 및 자항시험 결과로부터 두

프로펠러의 추진성능은 동등한 것으로 나타났다.

실선 변동압력 계측 위치는 Fig. 4 에 보인 바와 같이 P3 는 프로펠러의 직상방에, P2 와 P3 는 프로펠러 전방으로 향하도록 하여 모두 3 개가 우현측에 놓여있다. Design draft 에서는 3 곳에서 모두 변동압력이 계측되었으며, 본 연구에서는 P3 에서의 계측을 중심으로 살펴본다.

3.1 Design draft 에서의 실선 계측

두 프로펠러에 대한 변동압력의 실선 계측 이전에 SSMB 의 대형 공동수조에서 design draft 인 13.6 m 에서 캐비테이션 시험이 수행되었으며, 이때의 캐비테이션 시험조건은 기존 프로펠러 (SP039)와 신규 설계 프로펠러(SP238) 각각에 대하여 Table 2 에 보였다. 여기서 캐비테이션 수는 프로펠러 축 상부 0.7 반경 위치의 정력학적 압력에 맞추어 정의하였으며, oxygen content 는 당사 표준에 맞추어 조정하였다. 그리고 모형시험에서의 변동압력 센서위치는 Fig. 5 에 보였다.

Table 1 Principal particulars of the propellers

	Existing prop(SP039)	New design prop(SP238)
Scale Ratio	31.491	
No of Blade	4	
Diameter	6.928 m	7.05 m
Area ratio	0.524	0.512
(P/D)m	0.704	0.675
Section	NACA66	KH40

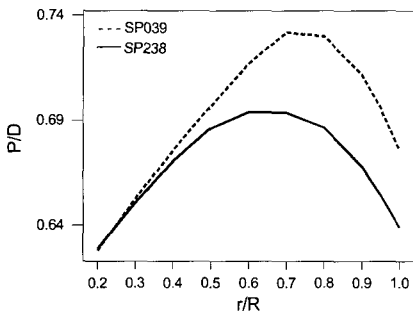


Fig. 3 Pitch distribution for Existing & New design propeller

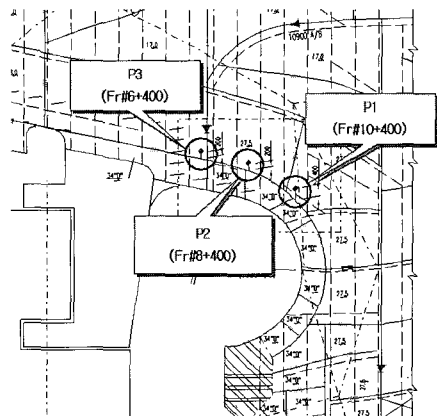


Fig. 4 Position of pressure sensors in ship

Table 2 Test condition at design draft

Design Condition	SP039	SP238
Kt	0.1775	0.1624
σ (+0.7R)	2.38	2.21
RPS(model)	35.85	35.72
Oxygen Content	52.3 %	52.3

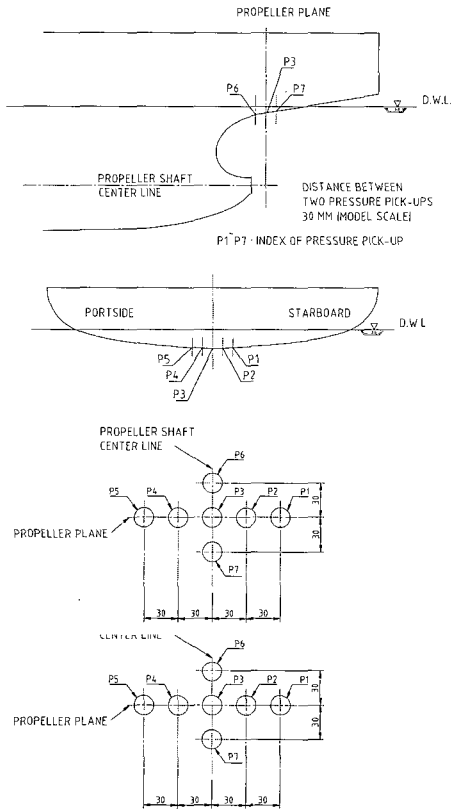


Fig. 5 Position of sensors in model tests

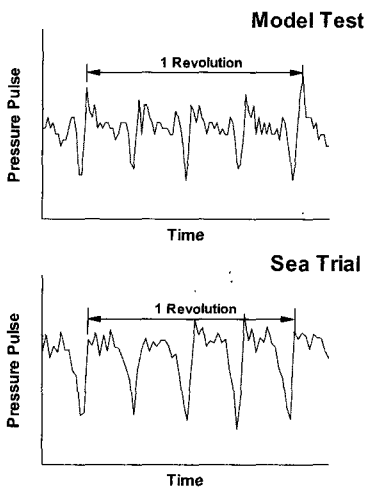


Fig. 6 Signal time history measured at full scale compared with that in model test (SP238)

프로펠러 캐비테이션에 의한 변동압력을 살펴보기 전에 먼저 계측신호를 살펴본다. Fig. 6 에는 신규 설계 프로펠러에 대하여 NCR 상태에서 P3 위치에서 계측된 신호를 보였으며, 모형시험에서 계측된 신호도 함께 보였다. 여기서는 프로펠러 날개수의 영향이 잘 나타나 있음을 알 수 있다.

이 계측신호를 프로펠러 회전수 별로 1 차 부터 3 차 날개주파수 까지를 분석하였으며, kPa 단위로 기존 프로펠러 및 신규 설계 프로펠러에 대하여 각각 Fig. 7, 8 에 보였다. 여기에는 프로펠러 회전수가 증가함에 따라 변동압력이 대체로 증가하고 있음을 알 수 있다.

선박이 가장 자주 운항하는 NCR 상태에서의 날개주파수 별 변동압력은 프로펠러 별로 Fig. 9, 10 에 모형시험 결과와 함께 보였다. 1, 2 차 날개주파수에서는 모형시험 결과 대비 실선계측이 다소 작음을 알 수 있다. 이러한 원인은 실선에서의

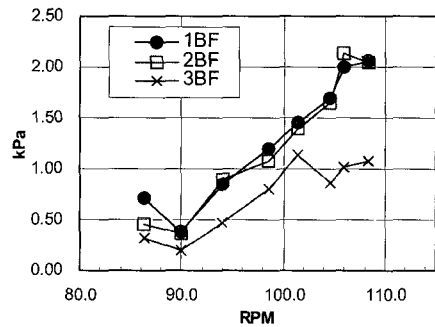


Fig. 7 Measured fluctuating pressure versus propeller RPM(P3, SP039)

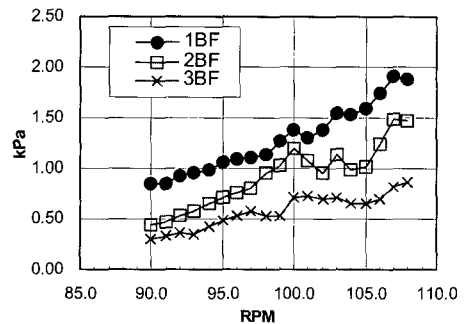


Fig. 8 Measured fluctuating pressure versus propeller RPM(P3, SP238)

반류의 구배가 모형선에서 보다 작기 때문에 추정된다. 한편 NCR 상태의 모형시험에서 관찰된 20° 및 30° 에서의 캐비테이션 발생모습은 Fig. 10, 11 에 보였다.

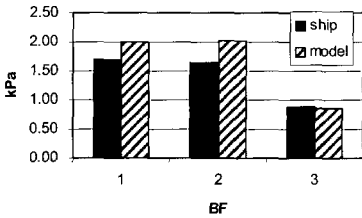


Fig. 9 Results of full scale measurements compared with those of model test (SP039)

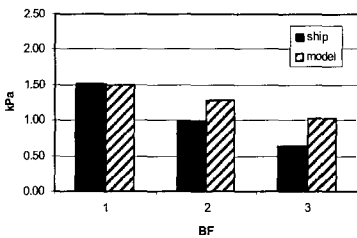


Fig. 10 Results of full scale measurements compared with those of model test (SP238)



a) 20° b) 30°

Fig. 11 Photographs of cavitation(SP039)



a) 20° b) 30°

Fig. 12 Photographs of cavitation(SP238)

Fig. 11 에 보듯이 기존 프로펠러에서는 전형적인 탱커선 프로펠러의 캐비테이션이 발생하고 있으며, tip 보오텍스 캐비티도 뚜렷이 나타나고 있다. 그러나 Fig. 11 에서의 신규 설계 프로펠러에서는 캐비테이션의 면적과 체적이 감소하고 있으며, 특히 tip 보오텍스 캐비티도 많이 감소하고 있음을 볼 수 있다.

3.2 프로펠러 차이에 대한 비교 분석

기존 프로펠러와 신규 설계 프로펠러에 대한 실선 변동압력에 대한 계측 결과는 모형시험 결과와 함께 Fig. 13 에 보였다. 신규 설계 프로펠러에 대한 실선 계측 결과는 기존 프로펠러에 비하여 모든 차수에서 변동압력이 감소하였으며, 특히 2 차 날개주파수에서 약 40%가 감소하였다. 이러한 경향은 모형시험에서와 대체로 일치하고 있다.

한편 두 프로펠러에 대한 캐비테이션 성능을 추정하여 Fig. 14 및 15 에 30° 에서의 캐비테이션 패턴 및 캐비테이션 체적을 보였다. 캐비테이션 추정에 사용된 기법은 양력면 이론에 입각한 캐비테이션 추정기법(이창섭, 1980)이며, 계산 결과는 대체로 모형시험에서의 캐비테이션 발생 범위와 유사함을 알 수 있다.

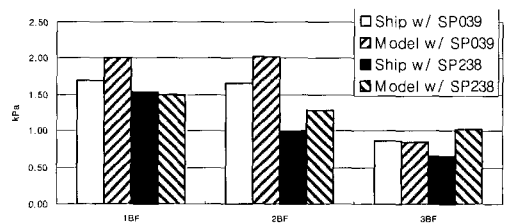


Fig. 13 Results of full scale measurements compared with those of model test (SP238)

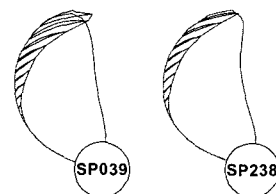


Fig. 14 Predicted cavitation patterns(30°)

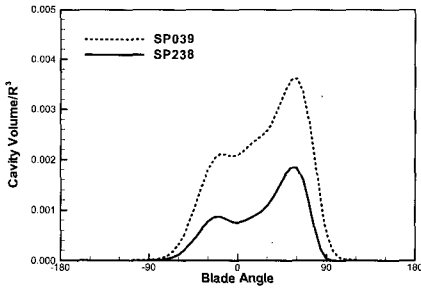


Fig. 15 Predicted cavitation volume

4. 결론

본 연구를 통하여 변동압력 성능에 대한 실선 검증이 수행되었으며, 캐비테이션 시험과의 상관 관계 자료도 함께 확보되었다. Bottom plug 를 사용하는 변동압력 계측 시스템은 실선 계측 결과 신호가 매우 안정적이며, 계측 후 사후처리도 매우 간편한 장점이 있다. 실선 계측에 사용된 대상선은 Aframax 탱커선이며, 실선 계측은 design draft 에서 수행되었으며, 다음과 같이 분석되었다.

변동압력 실선 계측치는 모형시험 결과와 비교하여 대체로 약간 감소하는 경향을 보이며, 이는 주로 실선에서 선체반류의 구배가 보다 작기 때문으로 추정된다. 또한 본 모형시험 및 실선계측을 통하여 2 차 날개주파수의 변동압력이 기존 프로펠러에 비하여 신규 설계 프로펠러에서 크게 감소하였다. 이의 원인은 신규 설계 프로펠러에서 tip 부분의 부하를 크게 감소시켜 tip vortex 캐비티의 감소와 2 차 변동압력의 감소에 영향을 미쳤을 것으로 추정된다. 그러나 이러한 차이에 대해서는 엄밀한 분석이 필요하며, 추후 실험과 이론을 포함하는 심도 깊은 연구가 필요하다.

후 기

본 연구에서 수행된 변동압력의 실선 계측은 말레이시아 선주인 Malaysia International Shipping Corporation(MISC)의 헌신적인 후원과 협조아래 수행되었으며, 이에 대해 깊이 감사드립니다.

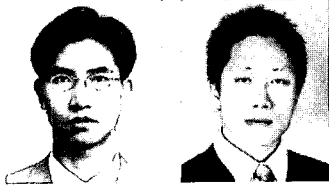
참 고 문 헌

- 김기섭, 문일성 외, 1999, “ 캐비티가 발생한 프로펠러의 변동압력 추정을 위한 실험적 연구,” 대한조선학회논문집, 제 34 권 1 호, pp. 47-52.
- 김문찬, 김기섭, 송인행, 1996, “ 선체변동압력에 관한 실험과 이론의 비교 연구,” 대한조선학회 논문집, 제 33 권 1 호.
- 김영기, 이창섭, 1992, “ 프로펠러에 의해 유기된 선체표면 기진력 해석,” 대한조선학회 논문집, 제 29 권
- 류민철, 황윤식 외, 1996, “ 프로펠러 Cavitation 및 선체 변동압력 계산,” 대한조선학회 춘계연구발표회, pp. 443-446.
- 문일성, 유용완 외, 2003, “ 날개끝 보오텍스 캐비테이션에 의한 고차 변동압력의 추정 및 적용,” 대한조선학회 춘계학술대회, pp. 363-371.
- 송인행 외, 1998, “ 새로운 날개단면 개발 및 프로펠러에의 적용 연구,” 대한조선학회 춘계연구발표회.
- ITTC-81, 1981, "Report of Cavitation Committee," 16th ITTC Conference.
- ITTC-90, 1990, "Report of Cavitation Committee," 19th ITTC Conference.
- Lee, C.-S., 1980, “ Prediction of the Transient Cavitation on Marine Propellers by Numerical Liftinf-Surface Theory,” 13st Sym. On Naval Hydrodynamics.
- Weitendorf, E.A. and Tanger, H., 1995, “ Pressure Fluctuation Investigations in Two Conventional Tunnels and the Hydrodynamics and Cavitation Tunnel HYKAT, PROCAV’ 95,



< 송 인 행 >

< 서 종 수 >



< 백 광 준 >

< 정 재 권 >