

---

 論 文
 

---

大韓造船學會論文集  
 第 33 卷 第 1 號 1996年 2月  
 Transactions of the Society of  
 Naval Architects of Korea  
 Vol. 33, No. 1, February 1996

## 선체 변동 압력에 관한 실험과 이론의 비교 연구

김문찬\*, 김기섭\*, 송인행\*

### A Study of a Correlation between Experiments and Calculations of Pressure Fluctuation on Hull Surface

by

Moon-Chan Kim\*, Ki-Sup Kim\* and In-Haeng Song\*

#### 요 약

프로펠러에 의한 선체변동압력을 추정하기 위해 3개의 선체에 7개의 프로펠러를 장착하여 실험과 계산치를 비교하였다. 변동압력의 계측은 KRISO의 공동터널에서 평판에 대하여 수행하였으며, 수치계산은 양력면 이론과 패널법을 사용한 수치프로그램(X-ForShip)을 사용하였다. 평판에 대한 실험값을 복잡한 선미형상에 적용하기 위하여 강체경계율(SBF)이 수정계수로 결정되었다. 실선 변동압력의 예측과 실험치의 수정을 위하여 복잡한 선미형상에서의 변동 압력을 계산하였다. 계산치와 수정된 실험치와의 좋은 일치성을 보였으며 수정계수로써 약 0.65-0.7의 값이 결정 되었다.

#### Abstract

An experimental and computational study of the pressure fluctuation induced by a propeller on a hull surface was carried out with three ship models and seven model propellers. The fluctuation of pressure on a flat plate was measured at KRISO cavitation tunnel and calculated by a panel and lifting surface method(XForShip code). To extend the measurement data on the flat plate into that on complex hull forms, the correction factor was determined as a ratio of the solid boundary factor(SBF). The computation of pressure fluctuation around complex hull forms was also performed to make the full scale prediction and compared with the corrected experimental data. The calculated values agreed well with the compensated experimental data and it was found that the correction factor was about 0.65 - 0.7.

---

발 표 : 1995년도 대한조선학회 춘계연구발표회('95. 4. 21)

접수일자 : 1995년 5월 11일, 재접수일자 : 1995년 11월 18일

\* 정회원, 선박해양공학연구센터

## 1. 서 언

선박의 고속·대형화에 따라 프로펠러에 작용하는 하중이 증대되어 캐비테이션의 양이 증가하고 근래에는 마력은 급격히 증가하는 반면 프로펠러와 선체는 여러가지 이유로 고정화되어 프로펠러와 선체 사이의 간격을 늘리지 못하는 실정이다. 이와 같은 현상은 특히 콘테이너선에서 두드러지게 나타난다.

이와 같은 경향은 필연적으로 선체표면, 특히 선미표면에 유기되는 프로펠러 기진력을 증가시켜서, 이로 인한 나쁜 영향을 제어할 수 있는 기술을 요구하게 된다. 또한 프로펠러 캐비테이션에 의한 선체표면 유기압력 추정에는 최적 프로펠러 설계의 관점에서도 절실히 요청되게 되었다.

선체 표면에 유기되는 프로펠러 변동압력이 프로펠러-선체 간격이 커질수록 적어지므로, 변동압력을 제어하기 위하여 간격을 넓히면 좋겠지만 추진효율에 좋지 않은 영향을 주고 있어 프로펠러 직경의 상한선을 높여가는 추세이므로 변동압력의 정확한 추정은 그 본래의 목적인 진동감소의 차원에서 더욱 발전하여 추진효율의 차원에서도 꼭 필요하게 되었다.

선체표면의 변동압력을 추정하는 데에는 실험에 의한 방법과 이론계산에 의한 방법이 있다 [1], [2], [3]. 두 방법은 아직 홀로 완벽한 결과를 보이고 있다고 생각할 수 없으나, 본 연구를 통하여 두 방법에 의한 결과를 비교하고 보완하여 보다 정도 높은 변동압력을 예측하여 보았다.

최근 관심이 높은 콘테이너선들에 대한 프로펠러에 의한 선체변동압력에 대하여 실험치와 이론치의 상관관계를 조사하여 이를 토대로 KRISO에서 실험하고 있는 변동압력에 관하여 생각해 보고자 한다. 계산에 사용된 XForShip 프로그램은 KRISO와 충남대가 공동개발한 프로그램으로 프로펠러 부분은 양력면 이론에 의해 캐비테이션을 계산하고 선체는 다이폴 분포에 의해 프로펠러에 의해 유기되는 포텐셜을 입력자료로 해석한다. 이에 대한 상세한 언급은 본 연구에서 생략하기로 한다[3][4].

먼저 실험과 이론의 비교를 위하여 KRISO에서 변동압력 실험시 배를 대신하여 사용하고 있는 사각형 평판을 재현하여 실험과 똑같은 상황에서 계산하였으며, 대상선들을 격자화하여 변동압력을 계산하고 실선에서의 변동압력치를 예측해 보았다. ITTC[5]에서 추천하고 있는 변동압력 상한기준계산에는 여러가지 방법들이 있으나 대체적으로 그 기준이 최근 KRISO에서 실험되고 있는 콘테이너선들의 변동압력값보다 낮아 이에 대한 검증이 필요하다고 생각된다. 특히 기준보다 높은 배들이 실선 시운전에서 변동압력에 문제가 없는 것으로 보고되고 있어 이에 대한 새로운 기준의 필요성이 대두되고 있으며 실선 시운전시 변동압력 계측자료를 축적함으로써 보다 정도 높은 기준이 마련될 수 있으리라 생각된다.

이와같은 연구가 보다 완벽하게 수행되어지기 위해서는 이론계산의 정도도 높여나가야 하겠으나 보다 중요한 것은 모형실험에 의한 선체변동압력 계측이 선행되어야 할 것이며 더 나아가서 실선 변동압력 측정이 선행되어야 하리라 생각된다. 일본에서는 실선 변동압력을 측정하는 것이 보고되고 있어 앞으로 이와같은 연구에 도움이 되리라 생각되며, 본 연구를 토대를 이 부분에 대한 더욱 활발한 연구가 있기를 기대한다.

## 2. 실험과 이론의 변동압력 비교

본 연구에 사용된 대상선 및 프로펠러에 대한 각각의 주요 항목에 관하여 Table 1에 정리하였다. 앞에서 언급한 바와 같이 배는 콘테이너선들이며 프로펠러는 A선에 3개, B선에 1개, C선에 3개로 모두 7개의 프로펠러가 계산에 사용되어졌다. 이를 각각 A1~A3, B, C1~C3로 명명하기로 한다. 계산점은 실선 상태와 동일하게 하였으며 Table 2에 정리하였다.

본장에서는 실험과 이론의 비교를 위해서 KRISO에서 모형시험을 수행하고 있는 압력계측판과 똑같은 Scale의 평판을 Fig.1에 보인 바와 같이 생성하여 똑같은 계측점에서 계산하여 계측된 값들과 비교하였다. 평판의 모델링은 선체와 마

참가지로 double body model을 사용했으며 자유표면 경계조건은 rigid wall 조건 ( $\frac{\partial \phi}{\partial n} = 0$ )를 사용하였다.

변동압력 계측실험은 반류를 재현한 황동망으로

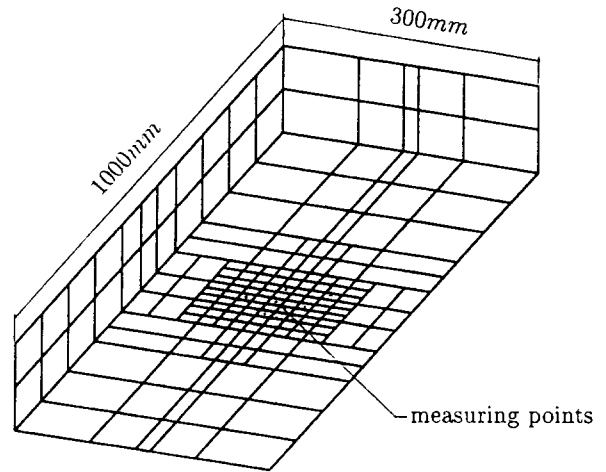


Table 1 Principal particulars of ships and propellers

Ship(model)		Propeller	
A	LPP : 7.2m B : 1.0m D : 0.6m C <sub>B</sub> : 0.63	A1	No. of Blades : 5 A <sub>E</sub> /A <sub>O</sub> : 0.65 (P/D) <sub>mean</sub> : 0.91
		A2	No. of Blades : 5 A <sub>E</sub> /A <sub>O</sub> : 0.70 (P/D) <sub>mean</sub> : 0.93
		A3	No. of Blades : 5 A <sub>E</sub> /A <sub>O</sub> : 0.75 (P/D) <sub>mean</sub> : 0.97
B	LPP : 8.5m B : 1.0m D : 0.6m C <sub>B</sub> : 0.68	B	No. of Blades : 6 A <sub>E</sub> /A <sub>O</sub> : 0.87 (P/D) <sub>mean</sub> : 1.07
C	LPP : 7.2m B : 1.0m D : 0.6m C <sub>B</sub> : 0.63	C1	No. of Blades : 5 A <sub>E</sub> /A <sub>O</sub> : 0.75 (P/D) <sub>mean</sub> : 0.99
		C2	No. of Blades : 5 A <sub>E</sub> /A <sub>O</sub> : 0.75 (P/D) <sub>mean</sub> : 0.99
		C3	No. of Blades : 5 A <sub>E</sub> /A <sub>O</sub> : 0.75 (P/D) <sub>mean</sub> : 0.97

Fig. 1 modeling of discretized flat plate for the calculation of pressure fluctuation at the same condition of the experiment at KRISO

Table 2 Conditions of the calculations for the pressure fluctuations

Propellers	J <sub>a</sub>	K <sub>T</sub>	σ <sub>n</sub>	F <sub>n</sub>
A1	0.6782	0.1653	1.773	2.357
A2	0.6939	0.1675	1.813	2.305
A3	0.7168	0.1864	1.859	2.248
B	0.7462	0.2264	2.040	2.072
C1	0.7150	0.1944	1.890	2.248
C2	0.7186	0.1992	1.890	2.248
C3	0.7200	0.1858	1.950	2.175

$$\sigma_n = \frac{(p_\infty - p_v)}{\frac{1}{2}\rho n^2 D^2}, \quad F_n = \frac{n^2 D}{g}$$

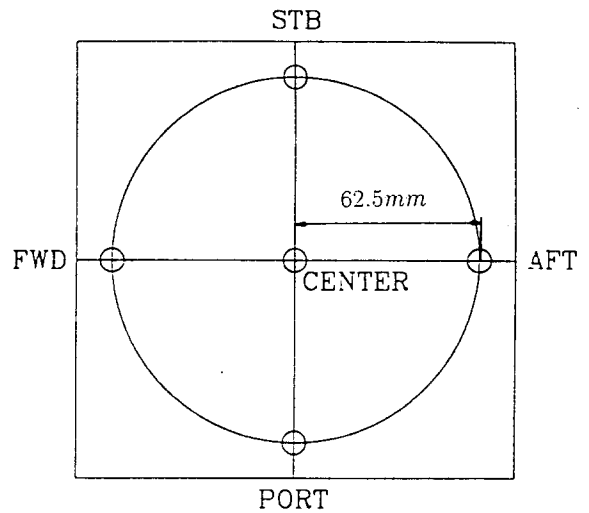


Fig. 2 Location of five pressure transducers on the flat plate

되어 있는 반류 스크린을 상류에 놓아 선체를 재현하고 프로펠러 날개끝에서 수직으로 선체와 가장 가까운 위치까지의 거리를 간극으로 보아 프로펠러 위에 간극만큼 떨어뜨려 변동압력 계측용 평

판을 놓고 Fig.2에 보인 바와 같이 5점의 위치에 압력변환기를 심어 계측하게 된다.

전체 변동압력값을 나타내는 데에는 여러가지 방법이 있으나 본 연구에서는 아래와 같이 ITTC[5]에서 추천하는 방법을 사용하였다.

$$\dot{P} = \sqrt{P_1^2 + 2P_2^2 + 3P_3^2 + 4P_4^2}$$

$\dot{P}$ : 전체 변동 압력

여기에서  $P_n$ 은  $n$ 차 날개조화계수치를 의미한다.

계산된 변동압력값과 실험치를 A선과 A1 프로펠러에 대하여 실험과 이론값을 Fig.3에 비교하였고 중앙점(center)을 제외하고는 이론치가 실험치보다 약간 크게 나타나고 있으나 중앙점의 경우 약간 작게 나타나고 있다. Fig.4는 중앙점(center)에서 프로펠러 7개의 변동압력값을 비교하였다. 그림에서 볼 수 있듯이 C선의 프로펠러들의 경우를 제외하면 이론치가 실험치에 비해 약간 작게 나타나고 있으며 C1~C3 프로펠러의 경우는 약간 높게 나타나고 있다. 이는 Fig.5에서 보인 바와 같이 C선의 경우 프로펠러의 캐비테이션 양이 다른 배에 비하여 다소 많게 계산되어지는 것으로 생각되며 이는 Fig.6에 보인 바와 같이 중앙점에서의 조화계수를 비교해 보면 A선과 B선의 경우  $P_1$  값이 상당히 비슷하나 C선의 경우 이론치가 다소 높게 나타났음을 통해서도 알 수 있다. 즉 전체 캐비테이션의 양이 이론에 의한 계산값 보다 실험치가 적음에도 불구하고 전체 변동압력 값이 크게 나오는 이유는 Fig.6에 보인 바와 같이  $P_1$  값 보다는 고차항의 값들이 크기 때문으로 생각된다. 또한 Fig.5에 보인 바와 같이 이론계산에 의해 얻어진 캐비테이션 양이 특히 허브부분에서 많이 차이가 나타나도 0.7R 이후에서 크게 차이가 나타나지 않으면  $P_1$  계수는 상당히 잘 일치함을 알 수 있다. 이는 차이가 많이 나타나는 허브부분이 변동압력 계측점으로부터 멀리 떨어져 있고 특히 캐비티 두께에 있어서도 작기 때문으로 생각되며 2~4차 계수의 실험값이 이론값에 비하여 대체적으로 큰 것은 실제 현상에서는 고차항 값의 증가에 기여되는 여러가지 현상이 있는 것으로 생각되며

실험치가 다소 높게 나오는 이유가 실험치의 고차항의 증가가 전체 변동압력의 증가에 기여했기 때문으로 생각된다.

A선과 C선의 경우는 각각 세개의 프로펠러를 바꾸어 가며 실험하였으며 Fig.4에서 보인 바와 같이 정량적으로도 상당히 근접할 뿐아니라 프로펠러의 변화에 따른 차이를 정성적으로 잘 보여주고 있어 프로펠러 설계시 선체변동압력에 대한 예측에 큰 도움이 되리라 생각된다.

강체 경계율은 선체를 정확히 표현하여 경계치 문제를 풀어서 얻은 선체에 유기된 압력과 선체가 없어진 상태에서 동일한 위치에 프로펠러에 의해 유기되는 자유공간 압력의 비로 정의된다. 즉

$$S.B.F. = \frac{(P)_{Hull}}{(P)_{F.S.}}$$

$(P)_{Hull}$ : Pressure on Hull

$(P)_{F.S.}$ : Pressure at Free Space

만약 선체가 프로펠러 위로 무한 평판이라면 강체 경계율은 2.0이 될 것이며 선체가 볼록한 경우에는 2보다 작고 오목한 경우에는 그보다 큰값을 갖게 될 것이다. KRISO에서 실험하고 있는 평판에 대하여 계산해 본 결과 강체 경계율은 1.85~1.89로써 무한 평판보다 약간 작은 값을 나타내고 있으며 Table 3에 결과를 보였다. 계산된 값은 중앙점을 기준으로 계산되어졌으나 다른 점의 경우도 거의 똑같은 값을 나타낸다. 실제 선체의 경우 프로펠러 중심으로 볼 때 볼록한 면이 대부분이므로 강체 경계율은 훨씬 적어지게 된다. 이를 고려하여 실선 변동압력을 예측하는 방법을 다음 장에서 보였다.

### 3. 실선 변동압력 추정

본장에서는 앞장에서의 평판에 대한 결과들을 토대로 실선변동압력을 예측하는 방법에 대하여 살펴 보기로 한다.

Fig. 7은 선체 변동압력 계산을 위하여 이산화된 선체 모습을 보여주고 있다. 그림에 보인 바와 같이 프로펠러에 의해 유기되는 선체 변동압력

Table 3 Calculated solid boundary factors(S.B.F.)

Propellers	$(S.B.F.)_{Plate}$	$(S.B.F.)_{Hull}$	$(S.B.F.)_{HP}$
A1	1.890	1.350	0.714
A2	1.890	1.350	0.714
A3	1.890	1.350	0.714
B	1.887	1.217	0.645
C1	1.892	1.521	0.804
C2	1.892	1.512	0.800
C3	1.891	1.514	0.800

$$(S.B.F.)_{HP} = (S.B.F.)_{Hull} / (S.B.F.)_{Plate}$$

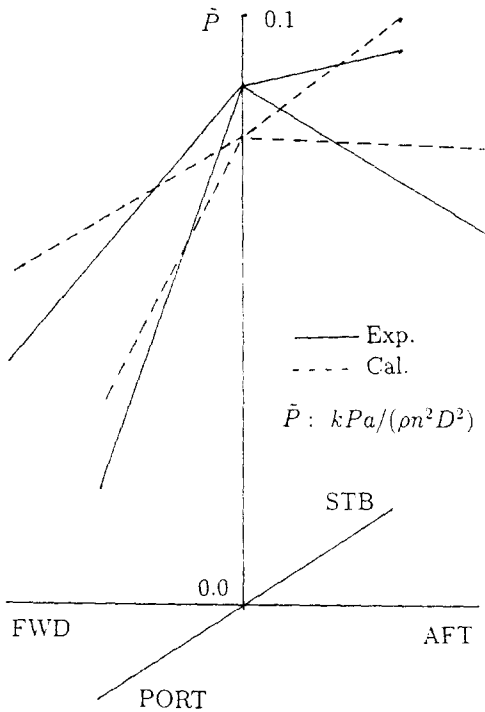


Fig. 3 Comparison of the pressure fluctuation at flat plate between experiment and calculation of A1 propeller

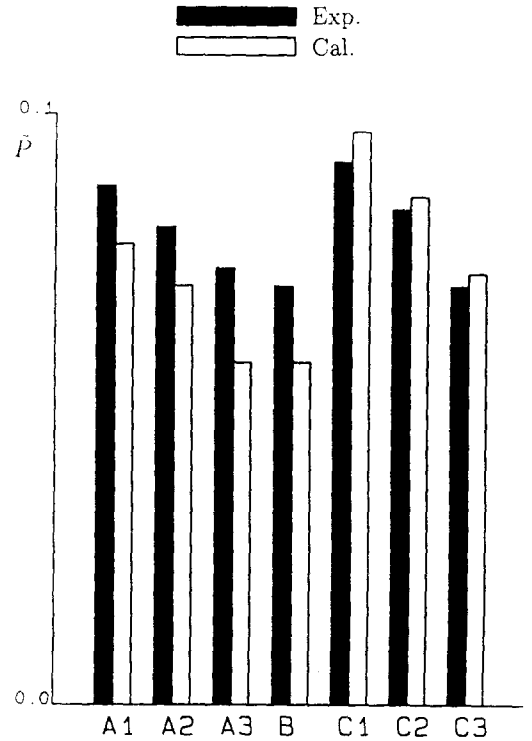


Fig.4 Comparison of the pressure fluctuation at flat plate(center) between experiment and calculation of the test propellers

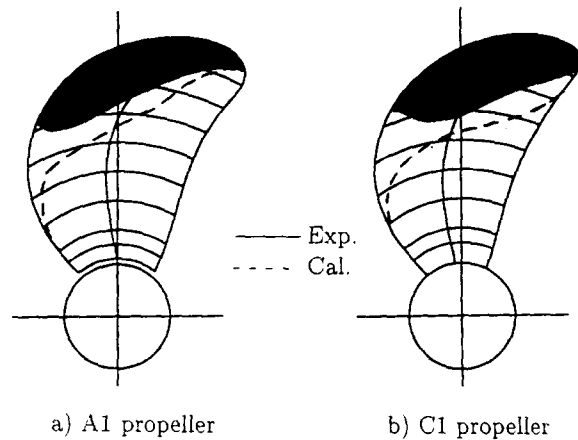


Fig. 5 Comparison of the cavitation between experiment and calculation of A1 propeller and C1 propeller

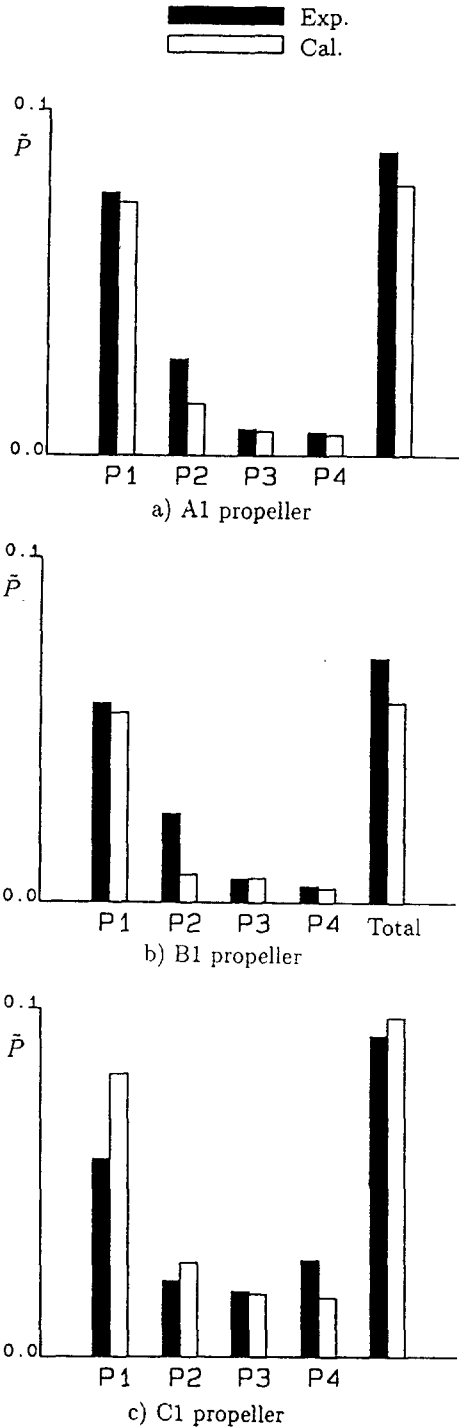


Fig. 6 Comparison of the harmonic coefficient between experiment and calculation of A1, B1 and C1 propeller

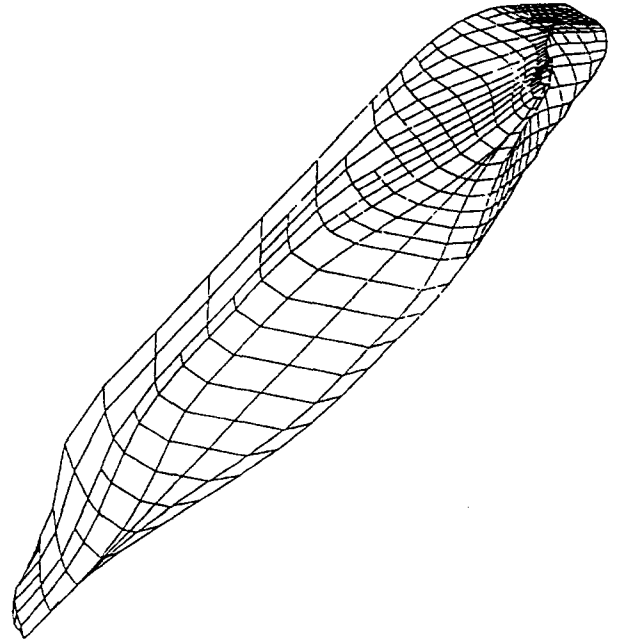


Fig. 7 Discretized representation of a ship for the calculation of pressure fluctuation

의 영향이 큰 선체 후미는 밀하게 나누고 영향이 적은 부분은 성글게 나누도록 하여 계산시간을 줄이고 정도를 높였다.

앞에서 언급한 바와 같이 선체에 대한 모형시험이나 실선값을 계측하지 못하였기 때문에 2장에서 언급한 강체 경계율과 평판에서 계측된 실험치를 이용하여 선체에서의 변동압력값을 예측하였으며 아래와 같은 식으로 계산하였다.

$$\begin{aligned}
 & (\text{Exp. Value})_{\text{Hull}} \\
 &= (\text{Exp. Value})_{\text{Plate}} * \frac{(S.B.F.)_{\text{Hull}}}{(S.B.F.)_{\text{Plate}}} \\
 &= (\text{Exp. Value})_{\text{Plate}} * (S.B.F.)_{\text{HP}}
 \end{aligned}$$

여기서  $(\text{Exp. Value})_{\text{plate}}$ 는 KRISO에서 평판을 이용하여 실험한 계측치이며  $(S.B.F.)_{\text{plate}}$ 는 앞에서 계산한 KRISO 실험용 평판에 대한 강체경계율 값으로 이때 자유표면 경계조건은 강체 벽 조건을 사용하여 터널에서의 조건과 비슷하게 하였고

(S.B.F.)<sub>HP</sub>은 선체모델링하여 계산하고 선체 표면에서 얻어진 강제 경계율 값으로 자유표면 경계조건은  $\phi=0$ 를 사용하여 실선 운항 조건과 같도록 하였고 (S.B.F.)<sub>HP</sub>는 본 연구에서 도입된 기호로 선체와 평판(KRISO 실험용 평판)의 강제 경계율 비를 나타낸다.

윗식에서 계산된 선체변동압력 추정값과 선체를 분할 격자화하여 XForShip 프로그램을 이용하여 계산한 변동압력값을 Fig.8에 비교하였다. 보다 정확한 비교를 위해서 비교점을 중앙점으로 국한하였으며 대체적으로 실험치를 보정하여 예측된

경향도 일치하므로 두 경우 모두 실선 변동압력을 어느정도 예측할 수 있는 방법이 될 수 있다고 생각된다. 여기서 계산된 (S.B.F.)<sub>HP</sub>는 KRISO에서 실험된 변동압력치에 대한 보정계수로 볼 수 있으며 이를 Table 3에 보았다. Table 3에서 볼 수 있듯이 (S.B.F.)<sub>HP</sub>는 대략 65%~80% 사이의 값을 알 수 있으나 앞에서 언급한 바와 같이 C선의 경우는 계산된 캐비테이션 양이 상대적으로 많게 추정된 것으로 비교적 실험값과 계산값의 상호관계를 잘 도출할 수 있다고 생각되는 A선과 B선의 경우를 생각해 보면 (S.B.F.)<sub>HP</sub> 값은 대략 65%~70%로 보아야 타당할 것으로 생각된다.

#### 4. 결 언

최근 관심이 많아지고 있는 선체 변동압력에 관하여 이론과 실험의 비교를 통해 고찰해 보았다. 앞으로 이와 같은 연구가 계속되어지면 보다 정도는 높은 선체변동압력 예측이 가능해 지리라 생각되며 본 연구를 통하여 얻어진 결론을 아래와 같이 정리하였다.

- KRISO에서 사용하는 변동압력판을 재현하여 계산한 이론치는 실험치와 비교적 잘 일치하고 있으며 무한 평판이 아니기 때문에 강제 경계율은 2.0이 아닌 1.85~1.90 사이의 값을 갖음을 알 수 있었다.

- 동일 선형에 대하여 프로펠러를 바꾸어 가며 실험하고 계산한 결과, 실험과 이론치가 정량적, 정성적으로 비교적 잘 일치하고 있어 본 연구가 프로펠러 설계에 큰 도움을 줄 수 있으리라 생각 된다.

- 변동압력판에서 계산된 강제 경계율과 선체와 프로펠러를 함께 풀어 계산되어진 강제 경계율을 이용하여 변동압력판에서 예측된 실험값을 실선 변동압력으로 확장시킬 수 있는 방법을 제안하였으며 이러한 방법은 변동압력판에서 얻어진 실험과 이론이 잘 맞는 점으로 미루어 예측방법이

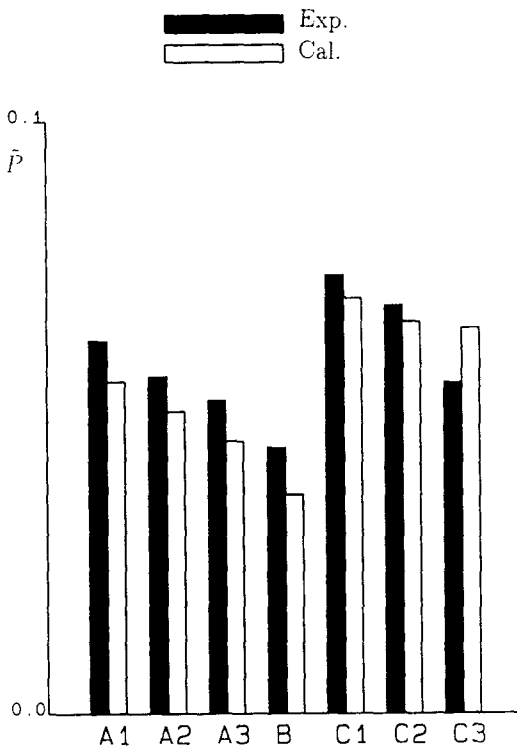


Fig. 8 Comparison of pressure fluctuation on hull surface between modified experimental values and calculated ones of the test propellers

선체 변동압력치가 크게 나타나고 있으나 그 차이가 크지 않고 평판에서와 마찬가지로 정성적인

타당함을 알 수 있다. 본 연구에서 계산된 보정 계수값은 약 0.65~0.7 정도로써, KRISO 변동압력 판에서 계측된 실험값에 이 보정계수를 곱함으로써 실선 변동압력값을 예측할 수 있겠다.

### 참 고 문 헌

- [1] 이창섭外, “프로펠러에 의한 선체표면 변동압력 추정법 개발”, 한국기계연구원 연구보고서 UDC629-11, 1983.
- [2] 이창섭, 김기섭, 서정천, 최종수, “프로펠러에 의한 선체표면 변동압력의 추정-실험적 연구”, 대한조선학회지 제22권 2호, 1985.
- [3] 김영기, 이창섭, 이진태, “프로펠러에 의해 유기된 선체 표면 표면 기진력 해석”, 대한 조선학회 논문집 29권, 1992. 3.
- [4] Lee, C.-S., “Prediction of the Transient Cavitation on Marine propellers by Numerical Lifting-Surface Theory”, Proceedings of 13th Symposium on Naval Hydrodynamics, Tokyo, Japan, Oct. 1980.
- [5] “Report of propeller committee (pressure criteria)”, 16th International Towing Tank Conference, Proceedings Vol.1, September 1981.