
 論 文

大韓造船學會論文集
 第 33 卷 第 2 號 1996年 5月
 Transactions of the Society of
 Naval Architects of Korea
 Vol. 33, No. 2, May 1996

초고속 쌍동선에 대한 내항성능 해석 방법 비교 (스트립 방법과 3-D Panel 방법)

이호영*, 송기종*, 염덕준*

The Comparison of Seakeeping Performance Analysis Methods for a High Speed Catamaran (Strip and 3-D Panel Method)

Ho-Young Lee*, Ki-Jong Song* and Deuk-Joon Yum*

요 약

고속선의 내항성능 해석 방법으로 스트립 방법, 통합이론(Unified theory), 3차원 판넬 방법등이 널리 사용되고 있다. 스트립 이론은 2차원적 해석 방법으로 전진속도가 빠른 경우나 추파중 저주파수 영역에서 유체력 계수와 운동응답이 정확하지 않으며, 통합이론은 내부영역에서는 2차원적 해석을 사용하고 외부영역은 세장체 이론을 사용하여 해석하는 방법으로 수학적으로 복잡한 단점이 있다. 3차원 판넬 방법을 이용한 해석은 계산 시간이 오래 걸리지만 고속인 경우에 모든 주파수 영역에서 정확한 해를 주는 것으로 알려져 있고, 전산기의 급속한 발달과 더불어 가장 권장되는 방법이다.

본 논문에서는 고속선의 해석에 전통적으로 사용되고 있는 스트립 법에 의한 해석과 3차원 판넬 방법을 이용한 해석법을 비교한다. 3차원 판넬 방법에 의한 해석은 쏘오스 분포법과 전진하면서 동요하는 그린 함수를 사용하고, 그린 함수의 수치 계산은 Hoff의 방법을 이용하였고, 그린 함수는 중축에 대한 대칭 관계를 이용하여 계산 시간을 줄였다.

계산에 사용된 선종은 카타마란(Catamaran) 형태의 고속선이며 상기 두 방법에 의해 구해진 유체력 계수, 파강제력과 주파수 응답함수 등을 비교하였고, 또한 불규칙파중 운동응답의 계산 결과를 비교 검토해 보았다.

발 표 : 1995년도 대한조선학회 춘계연구발표회 ('95. 4. 20)

접수일자 : 1995년 4월 20일, 재접수일자 : 1996년 4월 29일

*정회원, 현대중공업 선박해양연구소

Abstract

The strip method, unified theory and 3-D panel method are commonly used methods for the seakeeping analysis of high-speed vessels. The strip method which is basically 2-dimensional method is known to give incorrect hydrodynamic coefficients and motion responses for the cases of high speed and low frequency region. And the unified theory which uses two dimensional approach in inner domain and slender body theory in outer domain is very complicate in computational modelling. Though the 3-D panel method requires comparatively long computation time, it is believed that the method gives good results without any limitation in ship speed and range of frequency for computation. In the 3-D panel method the source singularity representing translating and pulsating Green function is used and Hoff's method is adopted for the numerical calculation of the Green function. The computation time can be reduced by using the symmetry relationship with respect to longitudinal axis.

In this paper the strip method and the 3-D panel method are compared for the seakeeping analysis of a high-speed catamaran. The compared items are the hydrodynamic coefficients, wave exciting forces, frequency response functions and short-term responses in irregular waves.

1. 서 론

고속선의 수요가 날로 증가하고 있으며 항로가 길어지고 그에 따른 항해 해상상태가 거칠어짐에 따라 내항성능의 신뢰성 있는 추정이 중요성을 더해 가고 있다. 최근 고속선의 개발열기와 더불어 여러가지 형태의 고속선형이 개발되고 있으며 그 중 SES, 쌍동선 및 foiled/foil assisted 쌍동선 등이 급속도로 확대되는 고속선 시장을 지배하고 있다. 고속선의 선형으로 카타마란 형태의 장점은 넓은 갑판 면적과 좋은 횡적 안정성에 있다. 또한 카타마란선형은 가느다란 두개의 선체, 즉 길이/폭 비가 큰 선형, 이므로 최적의 저항성능을 얻을 수 있다. 쌍동선의 내항성능 해석에는 쌍동선체의 상호작용을 고려한 스트립 이론이 널리 이용되어 왔으며, Lee et al[1]은 단동선에 유효한 Salv esen et al[3]의 이론을 횡방향의 쌍동 선체 사이의 유체동역학적 간섭을 고려함으로써 스트립 이론을 개량하였다. 후에 Lee & Curphey[4]는 이 방법을 전진속도를 가진 사파중의 SWATH선의 운동응답 계산과 wave load 계산에 적용하였다.

그들은 또한 실험과 비교하였고 조우 주파수가 매우 낮은 주파를 제외하고 일반적으로 실험과 일치하였다.

스트립 방법에 의한 계산은 선수파와 추파 상태에서 피치 모멘트 값이 맞지 않는 것으로 보고된 바 있는데[5], 이를 개선하기 위해 Hong[6]은 Unified Slender body 이론을 사용하여 SWATH 선에 대해 계산을 수행한 바 있는데 선수파나 추파중에서 실험과 스트립법과의 제한된 비교에서 특별한 향상은 보이지 않는다. 이와는 달리 Chan[7]은 전진하면서 동요하는 그린함수를 사용한 3차원 판넬 방법을 이용하여 카타마란선에 대한 운동 해석과 파에 의한 선박에 작용하는 하중 계산을 수행하였다.

본 논문에서는 현대선박해양연구소에서 설계한 카타마란 선형에 대해 스트립법과 3차원 판넬 방법을 사용하여 내항성능 해석을 수행하였다. 3차원 판넬 방법은 전진하면서 동요하는 3차원 그린함수를 이용한 쏘오스 분포법을 사용하였다.

위의 두 방법에 의해 규칙파중에서의 운동응답을 구하고, 불규칙파중에서 운동응답을 구하기 위해 ITTC 파 스펙트럼을 이용하여 단기 예측을 수행하여 비교 검토해 보았다.

2. 문제의 정식화

물체는 입사파에 의해 ω_c 주파수로 동요하고, 이상유체중의 자유표면상에서 U 속도로 전진한다. 0-xyz는 움직이는 물체의 속도와 같은 방향으로 전진하는 우수좌표계라 하자. x축방향은 물체의 종평면에 평행한 upstream 방향으로 향하고, z축은 Fig.1에 보여진 것처럼 물체 중심위의 평균 자유표면에 원점이 놓이며 위쪽으로 향한다. 물체는 강체라고 생각하고 복소진폭 ξ_j 로 평균위치에서 6자유도 운동을 하고 있다.

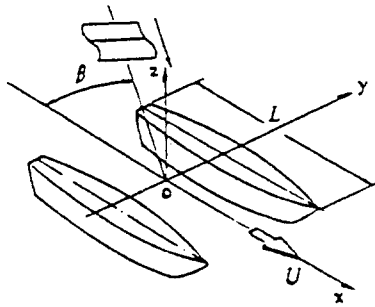


Fig. 1 Coordinate system

입사파, 산란파와 물체의 전진동요에 기인된 총 포텐셜 $\Phi(x;t)$ 은 선형화 절차에 의해 다음과 같다.

$$\Phi(x;t) = -Ux + \bar{\phi}(x) + \left[\zeta(\phi_0 + \phi_7) + \sum_{j=1}^6 \xi_j \phi_j \right] e^{i\omega t} \quad (1)$$

$\bar{\phi}$ 는 전진 운동에 기인된 정상 포텐셜이고, ϕ_0 는 입사 포텐셜, ϕ_7 은 산란 포텐셜, ϕ_j 는 j방향의 강제동요 포텐셜이고 ξ_j 는 진폭이다. 실수부는 $e^{i\omega t}$ 에 관련하여 표현된다.

총 포텐셜 Φ 는 라플라스 방정식($\Delta\Phi=0$)과 무한원방의 방사조건을 만족한다. 입사파의 진폭이 작고 선체의 형태가 가늘기 때문에 정상 포텐셜은 무시할만큼 작다고 가정하면 강제동요 포텐셜과 산란포텐셜은 다음의 경계조건을 만족한다.

$$\left\{ \left(i\omega_c - U \frac{\partial}{\partial x} \right)^2 + g \frac{\partial}{\partial z} \right\} \phi_j = 0 \quad (2)$$

$$j=1,2,\dots,7 \quad \text{at } z=0$$

$$\frac{\partial \phi_j}{\partial n} = i\omega_c n_j + U m_j, \quad (3)$$

$$j=1,2,\dots,6 \quad \text{on } S_0$$

$$\frac{\partial \phi_7}{\partial n} = -\frac{\partial \phi_0}{\partial n} \quad \text{on } S_0 \quad (4)$$

$$\frac{\partial \phi_j}{\partial n} = 0 \quad j=1,2,\dots,7 \quad \text{at } z=-\infty \quad (5)$$

n_j 는 $(n_1, n_2, n_3) = \vec{n}$ 과 $(n_4, n_5, n_6) = \vec{r} \times \vec{n}$ 의 방향 코사인이다. \vec{n} 은 선체표면에서 바깥으로 향하고, \vec{r} 은 선체표면의 위치 벡터이다. $m_j = 0$ for $j = 1,2,3,4$; $m_5 = n_3$; $m_6 = -n_2$.

본 논문에서 포텐셜은 아래와 같이 3차원 쏘오스 분포법에 의해 얻어진다.

$$\phi(p) = \frac{1}{4\pi} \int \int_{S_c} \sigma(q) G(p; q) ds(q) + \frac{U^2}{4\pi g} \oint_{C_p} \sigma(q) G(p; q) n_1 dy \quad (6)$$

$$G = \frac{1}{R} - \frac{1}{R'} + (I_{01} + I_{02}) + (I_{11} + I_{12}) - (I_{21} + I_{22}) + (I_{33} + I_{34}) - (I_{43} + I_{44}) \quad (7)$$

$$I_{01} = \frac{K_0}{\pi} \int_0^\gamma \frac{K_{1c} \exp(K_{1c} \chi_1)}{i\sqrt{4r \cos \theta - 1}} E_p(K_{1c} \chi_1) d\theta - \frac{K_0}{\pi} \int_0^\gamma \frac{K_{2c} \exp(K_{2c} \chi_1)}{i\sqrt{4r \cos \theta - 1}} E_q(K_{2c} \chi_1) d\theta$$

$$I_{02} = \frac{K_0}{\pi} \int_0^\gamma \frac{K_{1c} \exp(K_{1c} \chi_2)}{i\sqrt{4r \cos \theta - 1}} E_p(K_{1c} \chi_2) d\theta - \frac{K_0}{\pi} \int_0^\gamma \frac{K_{2c} \exp(K_{2c} \chi_2)}{i\sqrt{4r \cos \theta - 1}} E_q(K_{2c} \chi_2) d\theta$$

$$I_{jk} = \frac{K_0}{\pi} \int_{\theta_1}^{\theta_2} \frac{K_j \exp(K_j \chi_k)}{\sqrt{1 - 4r \cos \theta}} E_r(K_j \chi_k) d\theta$$

$$E_p(z) = \begin{cases} E_1(z) & \text{if } \text{Re}(z) \geq 0 \text{ or } \text{Im}(z) \geq 0 \\ E_1(z) - 2\pi i & \text{if } \text{Re}(z) < 0 \text{ and } \text{Im}(z) < 0 \end{cases}$$

$$E_q(z) = \begin{cases} E_1(z) & \text{if } \text{Re}(z) \geq 0 \text{ or } \text{Im}(z) \geq 0 \\ E_1(z) - 2\pi i & \text{if } \text{Re}(z) < 0 \text{ and } \text{Im}(z) < 0 \end{cases}$$

for $j = 1, 3, 4$

$$E_{\eta_j}(z) = \begin{cases} E_1(z) & \text{if } \text{Im}(z) \geq 0 \\ E_1(z) + 2\pi i & \text{if } \text{Im}(z) < 0 \end{cases}$$

for $j = 2$

$$E_{\eta_j}(z) = \begin{cases} E_1(z) + 2\pi i & \text{if } \text{Im}(z) \geq 0 \\ E_1(z) & \text{if } \text{Im}(z) < 0 \end{cases}$$

for $j = 1, 2$

$$\theta_1 = \gamma, \quad \theta_2 = \pi/2$$

for $j = 3, 4$

$$\theta_1 = \pi/2, \quad \theta_2 = \pi$$

$$K_{i,c} = \left[\frac{1 \mp i\sqrt{4r\cos\theta - 1}}{2r\cos\theta} \right]^2, \quad i = 1, 2$$

$$K_i = \left[\frac{1 - i\sqrt{1 - 4r\cos\theta}}{2r\cos\theta} \right]^2, \quad i = 1, 3$$

$$K_i = \left[\frac{1 + i\sqrt{1 - 4r\cos\theta}}{2r\cos\theta} \right]^2, \quad i = 2, 4$$

$$x_i = (z + \zeta) + i\{-(x - \zeta)\cos\theta + (y - \eta)\sin\theta\}, \quad i = 1, 3$$

$$x_i = (z + \zeta) + i\{-(x - \zeta)\cos\theta - (y - \eta)\sin\theta\}, \quad i = 2, 4$$

$$\tau = \frac{U\omega_e}{g}, \quad K_0 = \frac{g}{U^2}$$

$$\gamma = \begin{cases} 0 & \text{for } \tau < 0.25 \\ \cos^{-1}1/4\tau & \text{for } \tau \geq 0.25 \end{cases}$$

그린함수 $G(p;q)$ 는 쏘오스 점 q 에서 미지강도 σ 의 쏘오스에 기인된 p 점의 쏘오스함수이며, $\Phi(p)$ 는 그 위치에서 속도포텐셜이다. 전진하면서 동요하는 그린함수 $G(p;q)$ 는 라플라스 방정식, 무한원방 조건, 식 (2)와 식 (5)를 만족한다.

$\sigma(q)$ 는 식 (3)과 식 (4)를 적용하면 식(6)으로부터 아래의 식을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} & \frac{1}{2} \sigma(p) + \frac{1}{4\pi} \int \int_{S_0} \sigma(q) \frac{\partial G(p;q)}{\partial n} \partial s(q) \\ & + \frac{U^2}{4\pi g} \oint_{C_r} \sigma(q) \frac{\partial G(p;q)}{\partial n} dy = \frac{\partial \Phi(p)}{\partial n} \end{aligned} \quad (8)$$

식 (8)에서 $\sigma(q)$ 를 구하면 연이어 식 (6)으로부터 $\Phi(p)$ 를 구할 수 있다. 물체 표면의 수학적 표현의 어려움과 그린함수의 복잡성 때문에 식 (8)의 경계적분 방정식은 평균 선체 표면 S_0 를 N 개의 요소로 이산화 시킨다. 전진하면서 동요하는 그린함수 G 의 수치적분 방법은 Hoff[8], Lee & Yum[9]에 자세히 제시된다. 라플라스 방정식, 자유표면조건, 식 (2), 해저면 경계조건, 식(5),를 만족하는 단위 진폭 입사파 포텐셜은 다음과 같다.

$$\phi_0 = \frac{ig}{\omega} \exp x(z + ix \cos \beta + iys \sin \beta) \quad (9)$$

$$\omega_e = \left| \omega - \frac{U\omega^2}{g} \cos \beta \right| \quad (10)$$

ω : 파 주파수

β : 파 입사각 (180° at head seas)

동유체력과 모멘트는 베르누이 방정식에 포텐셜을 대입하여 평균 선체표면 S_0 전체에 걸쳐 적분함으로써 얻어진다.

$$F_j = F_j^\delta + F_j^R + F_j^E \quad (11)$$

$$\begin{aligned} F_j^\delta &= \rho g \int \int (\alpha \cdot k) n_j ds \\ &= - \sum_{k=1}^6 C_{jk} \xi_k e^{i\omega t} \end{aligned} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} F_j^R &= -\rho \sum_{k=1}^6 \xi_k \int \int_{S_0} (i\omega_e - Um_j) \phi_k e^{i\omega t} n_j ds \\ &= (\omega_e^2 A_{jk} - i\omega_e B_{jk}) \xi_k e^{i\omega t} \end{aligned} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} F_j^E &= -\rho \sum_{k=1}^6 \int \int_{S_0} (i\omega_e - Um_j) \\ &\cdot (\phi_0 + \phi_7) e^{i\omega t} n_j ds \end{aligned} \quad (14)$$

식 (12) ~ 식 (14)은 복원력, 강제동요에 기인된 유체력과 파강제력을 나타낸다. α 는 선체 운동에 의한 변위 벡터이며, A_{jk} , B_{jk} 와 C_{jk} 는 부가 질량계수, 감쇠계수 그리고 복원력계수이다.

동적 평형에 대해서 파에 기인된 총 힘은 관성력과 같고 강제 운동의 연성된 선형 방정식은 다음과 같이 표현된다.

$$\sum_{k=1}^6 \{ (M_{jk} + A_{jk}) \ddot{\xi}_k + B_{jk} \dot{\xi}_k + C_{jk} \xi_k \} = F_j^E \quad (15)$$

$\ddot{\xi}_k$ 와 $\dot{\xi}_k$ 는 운동가속도와 속도이고, M_{jk} 는 선박의 질량행렬이다. 여기에서 점성효과에 기인된 cross-flow 효과는 무시되었다. 일반적으로 질량 중심이 (0,0, Z_G)에 있는 선박의 질량행렬 [M]과 복원력 행렬 [C]는 다음과 같다.

$$[M] = \begin{bmatrix} M & 0 & 0 & 0 & MZ_G & 0 \\ 0 & M & 0 & -MZ_G & 0 & 0 \\ 0 & 0 & M & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -MZ_G & 0 & I_{44} & 0 & -I_{46} \\ MZ_G & 0 & 0 & 0 & I_{55} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -I_{64} & 0 & I_{66} \end{bmatrix} \quad (16)$$

- M : 배의 질량
- Z_G : 질량중심의 z축 좌표
- I_{jj} : j축에 대한 선체 관성 모멘트
- I_{jk} : k방향의 운동에 의한 j방향의 원점에 대한 교차 관성 모멘트

$$[C] = \rho g \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & A & 0 & -A_y & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \nabla GM_T & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -A_y & 0 & \nabla GM_L & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (17)$$

- ρ : 물의 밀도, g : 중력 가속도
- A : 수선면적

- A_y : y축에 대한 수선면적의 1차 모멘트
- ∇ : 배의 용적
- GM_T : 횡 메타센터 높이
- GM_L : 종 메타센터 높이

3. 단기 통계 해석

해양파는 특성상 불규칙하고 그들의 성질은 통계적 의미의 차수를 가진다. 파 특성의 확률론적 추정을 위해 해상의 스펙트럴 밀도함수를 정할 필요가 있다. Stochastic 해석을 사용하면 시간영역의 불규칙 과정은 주파수 영역으로 전환되어서 불규칙한 해상에 대한 스펙트럴 표현이 가능하여 스펙트럴 밀도함수는 파성질과 응답특성의 예측에 대한 확률함수로 귀결된다. 파 기록에 대한 스펙트럴 분석은 파가 weakly steady-state ergodic과 정규과정이라는 가정하에 대부분 성립된다.

대양에서 관측된 파 스펙트럼의 형태는 해상 상태가 동일하다고 해도 관측위치, 시간, 바람, 폭풍의 성장과 쇠퇴, swell의 존재에 의존하기 때문에 상당히 변한다. 따라서 가능한 실제 해상 스펙트럼을 이용해야 된다. 완전하게 혹은 부분적으로 바람에 의해 발생된 해상을 표현하기 위해 유의파고 (H_w)_{1/3}과 zero-crossing 주기 T_0 로 표현되는 ITTC 스펙트럼은 다음과 같다.

$$S_{H_w}(\omega) = \frac{124(H_w)_{1/3}^2}{\omega^5 T_0^4} \exp\left(\frac{-496}{\omega^4 T_0^4}\right) \quad (18)$$

장파정 응답분산, σ_{LC}^2 ,은 주어진 배속도 U와 해상상태에 대하여 주파수 영역 계산으로부터 얻어진다.

$$\sigma_{LC}^2 = \int_0^{\omega^*} \left(\frac{\xi}{\zeta}\right)^2 S_{H_w}(\omega) d\omega \quad (19)$$

ω^* 는 운동응답이 무시될 수 있는 파주파수이다. 또한 운동응답의 유의 진폭값은 다음과 같이 얻어진다.

$$m_{1/3} = 2\sqrt{\sigma_{LC}^2} \quad (20)$$

4. 계산 결과 및 고찰

본 논문에서 대상선박은 현대선박해양연구소에서 설계된 카타마란 선박이고 기본제원은 Table 1에 나와있다. 포텐셜, 유기속도계산과 판넬의 면적분은 Lee & Yum[9]에 제시되며, 동유체력, 운동응답 및 주파수의 무차원화는 Table 2에 나타내었다. 요소의 분할은 y 축의 대칭조건을 이용하여 한쪽선체에 142개의 판넬을 분포하고 계산을 수행하였다. 또한 수렴성을 확인하기 위해 $Fn=1.01$ 인 경우의 계산에서 한쪽 선체에 252개의 판넬을 분포하여 판넬수의 변화에 따른 유체력 계수와 운동응답을 비교하였다. Fig.2는 판넬수가 142개인 경우에 카타마란 선박에 판넬을 분포한 형태를 보여주고 있다.

Fig. 3 ~ Fig. 6은 상하동요와 종동요의 부가질량과 감쇠계수를 보여주고 있다. Fig. 3, 4는 A_{33} , B_{33} 에 대해 3차원 판넬법에 의한 계산치와 스트립법에 의한 계산치를 비교하는데 두드러진 특징은 3차원 판넬에 의한 계산값은 속도에 따라 값이 변하는 것을 보여주고 있으며, 스트립법에 의한 계산치는 속도에 관계없이 값이 일정하다. $Fn=0.0$ 에서 두 계산치가 모두 횡방향의 standing wave에 의한 symmetric 공진현상을 보여주고 있으며 경향은 비슷한 것을 알 수 있다.

Fig. 5, 6은 A_{55} , B_{55} 에 대해 3차원 판넬법과 스트립법에 의한 계산치를 보여주고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 두 계산치가 경향은 비슷하지만 저주파수에서의 값은 상당히 차이가 나는 것을 알 수 있다. 즉 A_{55} 는 저주파수에서 스트립법에 의한 계산치가 3차원 판넬법에 의한 계산치보다 훨씬 큰 것을 알 수 있다. 위에서 알 수 있듯이 3차원 판넬법에 의한 계산 결과는 $Fn=0.0$ 에서는 횡방향의 공진현상이 일어나지만 전진속도가 있으면 공진현상이 일어나지 않았다. Fig. 3, 4, 5-a, 6-a로부터 판넬수의 변화에 따른 유체력 계수의 차이는 보이지 않는다.

Fig. 7은 종동요에 대한 종동요 파강제력을 파입사각도에 대해 3차원 판넬법과 스트립에 의한 계산치를 비교하고 있다. 파입사각 90° 에 대해

서는 서로 일치하는 경향을 보여 주지만 파입사각 180° , 120° , 60° , 0° 에서 값이 서로 맞지 않고 있다. 이와 같은 현상은 스트립법이 선미 근처에서 3차원 효과에 기인한 힘을 잘못 계산한다는 결과와 일치한다.

Fig. 8 ~ Fig. 13은 $Fn=0, 0.51, 1.01$ 와 파입사각에 대해 카타마란 선박의 운동응답(상하동요, 종동요)이 L/λ 에 의해 보여진다. 두드러진 특징은 pitch에서 스트립법에 의한 결과는 저주파수에서 1로 가는 경향이 보이거나 3차원 판넬법에 의한 결과는 상당히 큰 값을 주고 있다. 그 이유는 Fig. 5, 6에서 알 수 있듯이 저주파수에서 A_{55} 가 3-D Panel 방법에서 계산된 값이 Strip 방법에 의해 계산된 값보다 작게 계산이 되고 B_{55} 는 $\tau < 1/4$ 인 경우에 3-D Panel에 의해 계산된 값은 감소하나 Strip 방법에 의해 계산된 값은 계속 증가한다. Fig. 7로부터 파에 의한 피치 모멘트는 두 방법에 의한 값이 비슷한 것을 알 수 있으므로 식 (15)로부터 좌변의 값이 3-D Panel 방법에 의한 절대치가 Strip에 의한 값보다도 작기 때문에 저주파수에서 피치 운동응답 값이 크게 계산된다.

Fig. 8~13으로부터 판넬수의 변화에 따른 계산 결과는 공진 주파수 근처에서 계산치의 차이를 볼 수 있으나 선수파, 횡파 및 추파 상태에서는 두 계산이 잘 일치함을 알 수 있다.

Fig. 14는 해상상태 3, 4, 5에서 ITTC 파스펙트럼을 보여주고 있으며, Fig. 15 ~ 17은 장파정 중에서 상하동요, 종동요와 횡동요 운동응답의 RMS (Root Mean Square) 값을 파각도, 배속도에 따라 보여주고 있다. 선수파상태에서 운동응답은 전반적으로 일치하나 추파중에서 운동응답은 일치하지 않고 3차원 판넬법에 의한 계산치가 스트립법에 의한 계산치보다 크다.

5. 결론

초고속선에 대한 규칙파중에서 운동응답과 장파정 불규칙파중에서의 운동응답을 전진하면서 동요하는 그림함수를 이용한 3차원 판넬 방법과 스트립 방법에 의한 계산 결과와 비교하였다.

Table 1 Main Particulars of Catamaran

Designation	Symbol	Unit	Catamaran
Length(between perpendiculars)	L	m	42.00
Breadth	B	m	11.40
Hull spacing between the central lines	B ₀	m	8.2
Beam of each hull at W.L.	b ₀	m	3.2
Draught	T	m	1.60
Displacement	∇	m ³	263.41
Block Coeff.	C _B		0.61
Vertical centre of gravity above base	KG	m	4.20
Transverse metacentric height	GM _T	m	11.12
Longitudinal metacentric height	GM _L	m	97.30
Inertia radius in pitch	k _{yy}	m	0.25L
Inertia radius in roll	k _{xx}	m	0.35B
Inertia radius in yaw	k _{zz}	m	0.25L
L.C.B. after F.P.		%	57.00



Fig. 2 Panel arrangement of catamaran (142 panels)

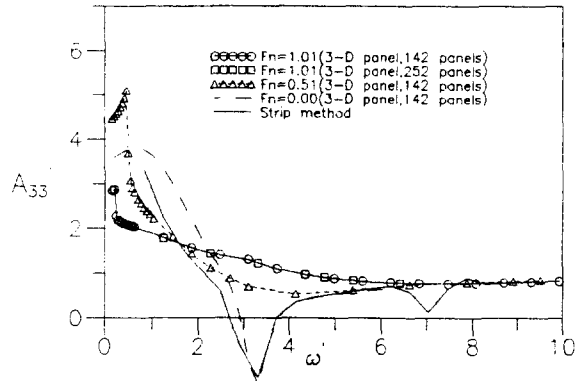


Fig. 3 Heave added mass coefficient for catamaran

Table 2 Non-dimensional forms of hydrodynamic forces and ship responses

Added mass coefficient A_{ik}	$A_{jk} / \rho \nabla$...j,k=1,2,3
	$A_{jk} / \rho \nabla L^2$...j,k=4,5,6
Damping coefficient B_{jk}	$B_{jk} / \rho \nabla \sqrt{g/L}$...j,k=1,2,3
	$B_{jk} / \rho \nabla L^2 \sqrt{g/L}$...j,k=4,5,6
Wave exciting forces F_i	$ F_j L / \rho g \zeta \nabla$...j,k=1,2,3
	$ F_j / \rho g \zeta \nabla$...j,k=4,5,6
Response amplitude operator H_k	$ H_k / \zeta$...j,k=1,2,3
	$ H_k / x \zeta$...j,k=4,5,6
Frequency ω'	$\omega_c \sqrt{L/g}$	

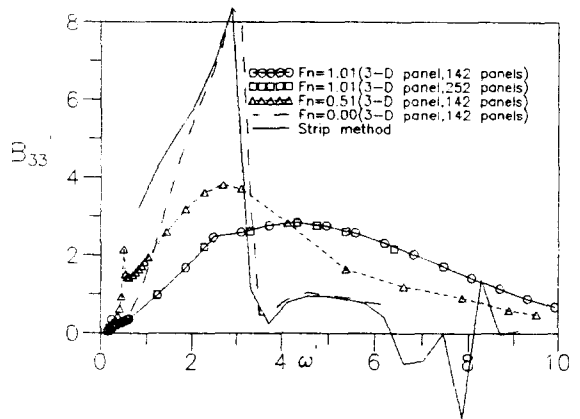


Fig. 4 Heave damping coefficient for catamaran

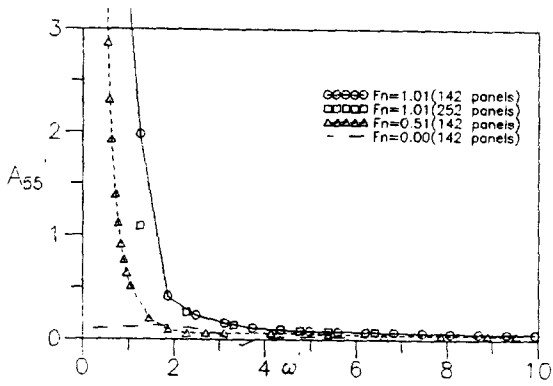


Fig. 5-a Pitch added mass coefficient for catamaran(3-D panel)

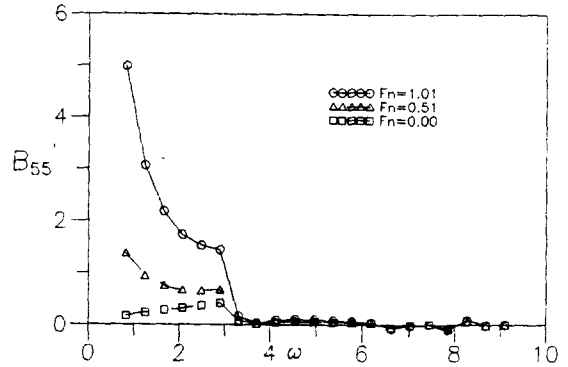


Fig. 6-b Pitch damping coefficient for catamaran(Strip)

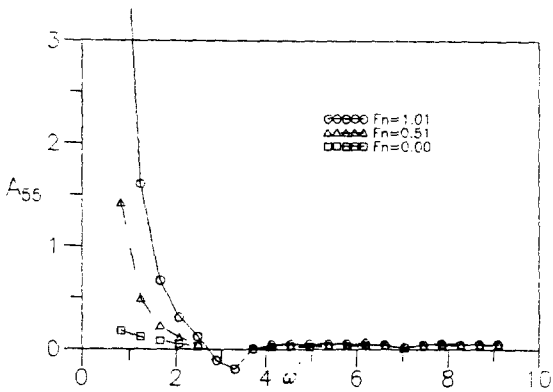


Fig. 5-b Pitch added mass coefficient for catamaran(Strip)

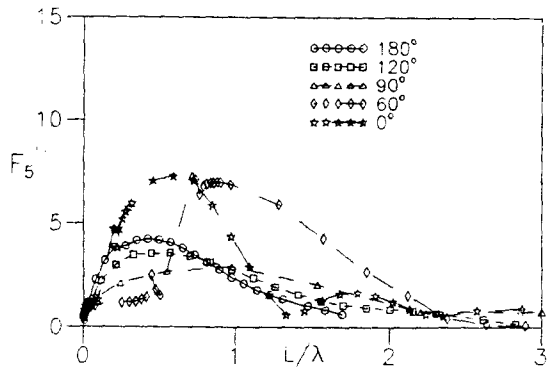


Fig. 7-a Pitch wave exciting moment for catamaran at Fn=1.01(3-D panel)

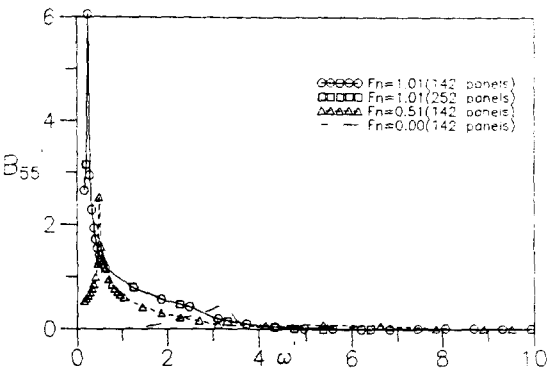


Fig. 6-a Pitch damping coefficient for catamaran(3-D panel)

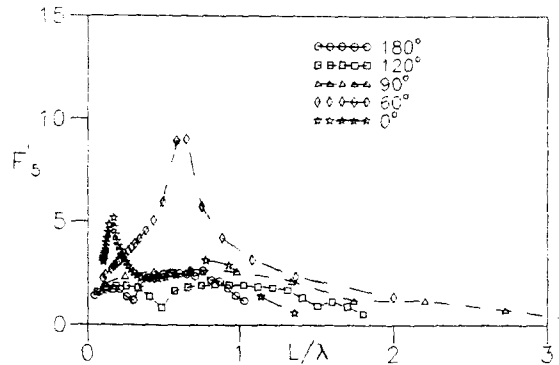


Fig. 7-b Pitch wave exciting moment for catamaran at Fn=1.01(Strip)

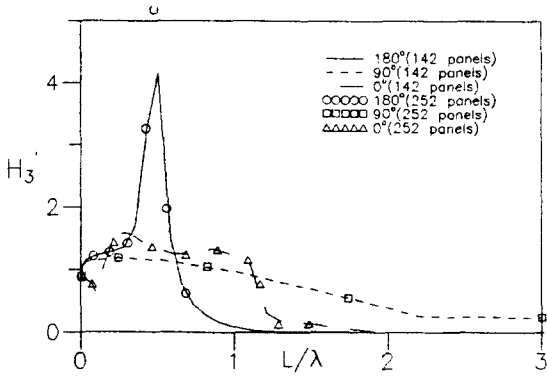


Fig. 8-a Heave response for catamaran at $F_n=1.01$ (3-D panel)

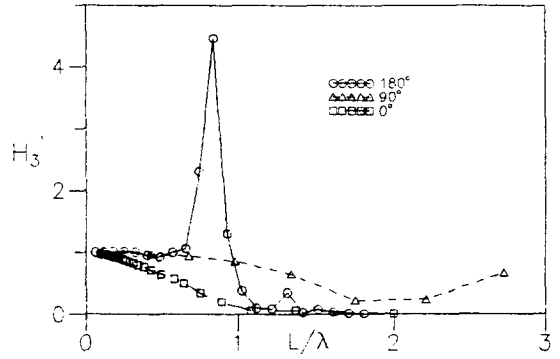


Fig. 9-b Heave response for catamaran at $F_n=0.51$ (Strip)

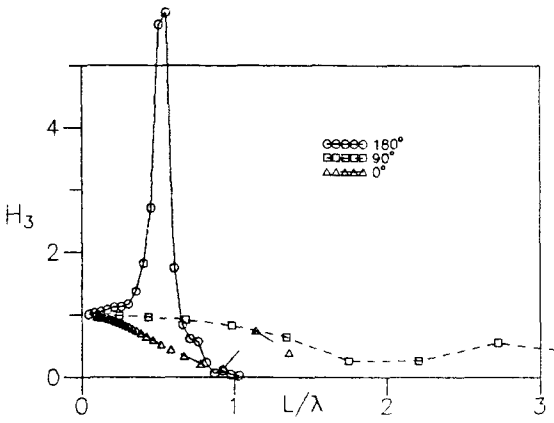


Fig. 8-b Heave response for catamaran at $F_n=1.01$ (Strip)

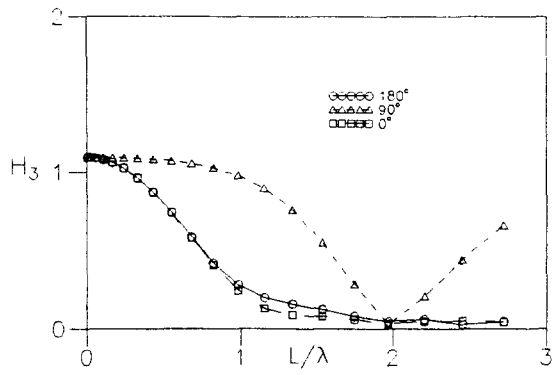


Fig. 10-a Heave response for catamaran at $F_n=0.00$ (3-D panel)

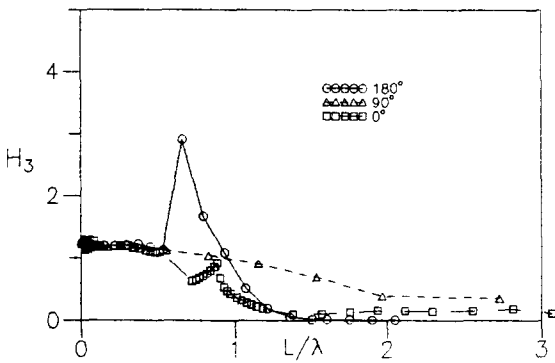


Fig. 9-a Heave response for catamaran at $F_n=0.51$ (3-D panel)

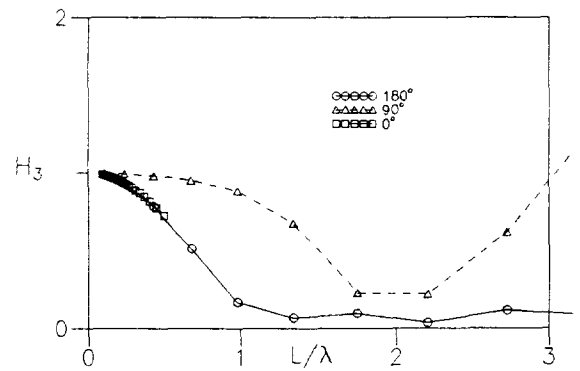


Fig. 10-b Heave response for catamaran at $F_n=0.00$ (strip)

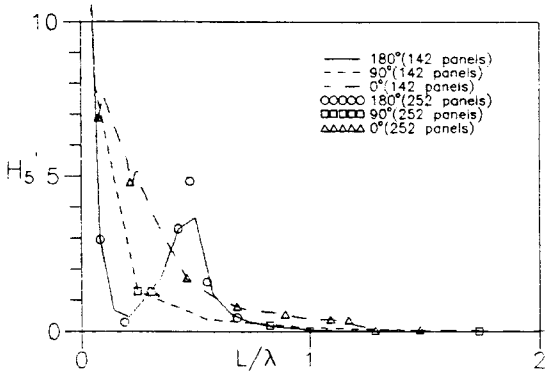


Fig. 11-a Pitch response for catamaran at $Fn=1.01(3-D \text{ panel})$

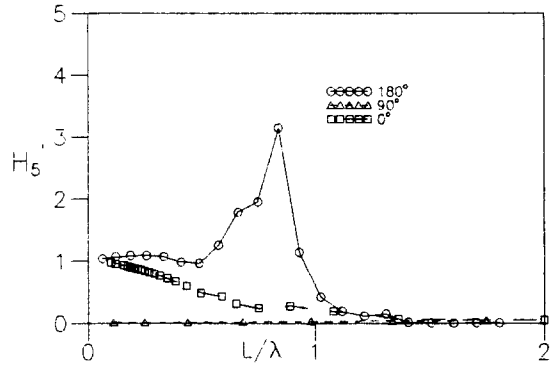


Fig. 12-b Pitch response for catamaran at $Fn=0.51(\text{Strip})$

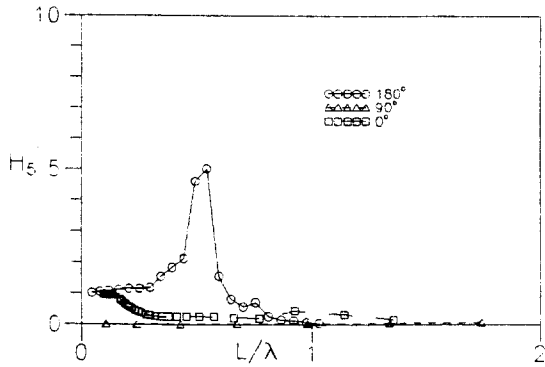


Fig. 11-b Pitch response for catamaran at $Fn=1.01(\text{strip})$

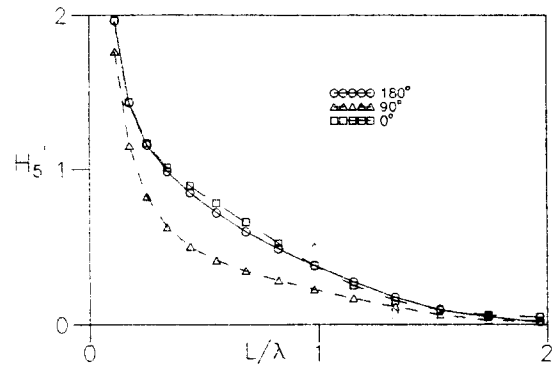


Fig. 13-a Pitch response for catamaran at $Fn=0.00(3-D \text{ panel})$

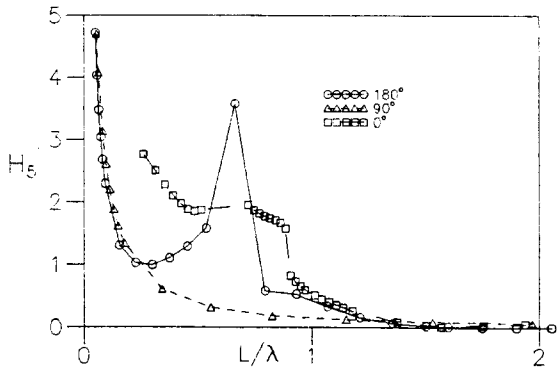


Fig. 12-a Pitch response for catamaran at $Fn=0.51(3-D \text{ panel})$

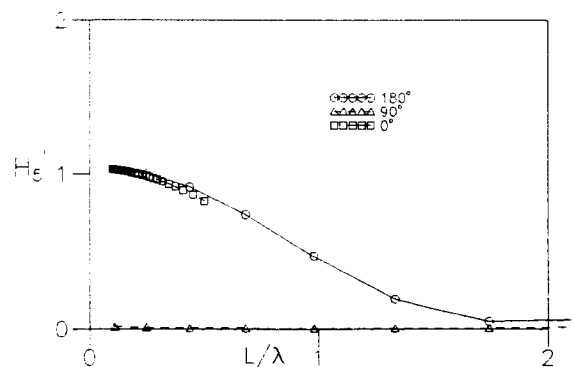


Fig. 13-b Pitch response for catamaran at $Fn=0.00(\text{strip})$

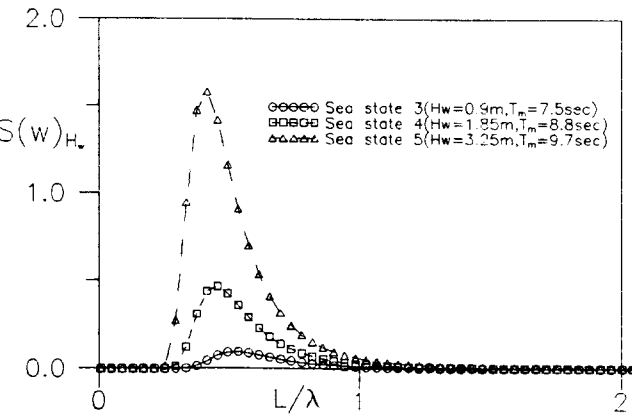


Fig. 14 Representation of ITTC spectrum

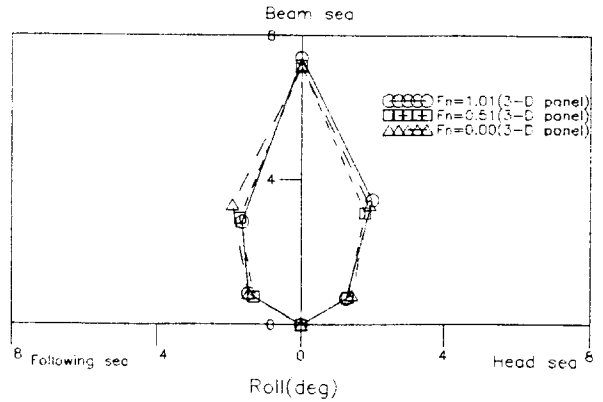


Fig. 17 Significant motion of C.G. at sea state 5

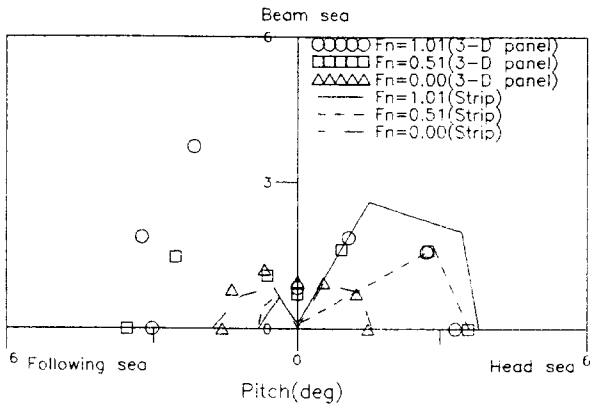


Fig. 15 Significant motion of C.G. at sea state 3

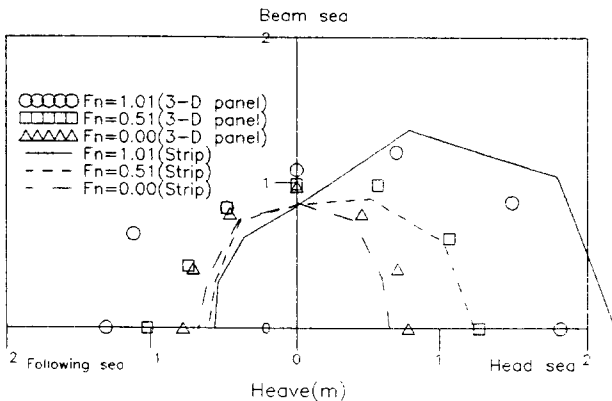


Fig. 16 Significant motion of C.G. at sea state 4

(1) 3차원 판넬법의 결과와 스트립 방법에 의한 결과는 낮은 주파수 지역을 제외하고 대체로 일치하였다. 선속이 없을 때의 결과는 거의 일치하고 있으나 선속이 커질수록 두가지 방법에 의한 결과는 차이가 커짐을 알 수 있다.

(2) 3차원 판넬법의 결과에 의하면 전진속도가 있는 경우에는 유체동역학 계수에 공진현상이 발생하지 않았다.

(3) 불규칙파 중에서의 운동응답은 두 방법에 의한 결과가 선수파에서는 대체로 일치하고 있으나 추파중의 중동요 응답은 차이가 났다.

(4) 앞으로 모형시험과 실선 시운전과의 비교연구가 필요하며 초고속선의 구조적인 경량화를 실현하기 위해 파에 기인된 하중 계산과 슬래밍관련 연구가 추가로 요구된다.

참고 문헌

- [1] Lee, C.M., Jones, H.D. and Curphey, R.M., 'Prediction of Motion and Hydrodynamic Loads of Catamarans', Marine Technology, Vol. 10, No. 4, Oct. 1973
- [2] Kim, C.H., 'Motion and Loads of a Catamaran

- Ship of Arbitrary Shape in a Seaway', *Journal of Hydronautics*, Vol. 10, No. 1, Jan 1976
- [3] Salvesen, N., Tuck, E.O. and Faltinsen, O.M., 'Ship Motions and Sea Loads', *Trans. SNAME*, Vol.78, 1970
- [4] Lee, C.M. and Curphey, R.M., 'Prediction of Motion, Stability and Wave Load of Small-Waterplane-Area, Twin-Hull Ships', *Trans. SNAME*, Vol. 85, 1977
- [5] Fein, A.J. and Lamb, G.R., 'The Developing Technology of SWATH Ship Dynamics', OTC paper 4432, Huston, May, 1983
- [6] Hong, Y.S., 'Heave and Pitch Motions of SWATH Ships', *Journal of Ship Research*, Vo. 30, 1986
- [7] Chan, H.S., 'Seakeeping Performance and Sea Loads on a High-Speed Catamaran', The Department of Naval Arch. and Ocean Eng., Univ. of Glasgow, Report No. NAOE-94-13, 1994
- [8] Hoff, J.L., 'Three-Dimensional Green Function of a Vessel with Forward Speed in Waves', Ph. D. Thesis, The Norwegian Institute of Technology, 1990
- [9] 이호영, 염덕준, '파랑중에서 전진 동요하는 선박의 특이파수 억제에 관한 연구', *대한조선학회 논문집*, 제31권, 제4호, 1994