

# 파랑 통계자료의 특성과 신뢰성 검토 The Characteristics of Wave Statistical Data and Quality Assurance

박종헌  
J. H. Park

(접수일 : 2009년 3월 16일, 수정일 : 2009년 4월 10일, 채택확정 : 2009년 4월 18일)

**Key Words** : Seagoing Qualities(항해성능), Wave Characteristics(파랑특성), Long-term Prediction(장기예측), Ship Response(선체응답)

**Abstract** : This paper discusses the influence on long-term predictions of the ship response in ocean by using the Global Wave Statistics data, GWS, and wave information from the remote sensing satellites. GWS's standard scatter diagrams of significant wave height and zero-crossing wave period are suggested to be corrected to a round number of 0.01/1000 fitted with a statistical analytic model of the conditional lognormal distribution for zero-crossing wave period. The GEOSAT satellite data are utilized which presented by I. R. Young and G. J. Holland (1996, named as GEOSAT data). At first, qualities of this data are investigated, and statistical characteristic trends are studied by means of applying known probability distribution functions. The wave height data of GEOSAT are compared to the data observed onboard merchant ships, the data observed by measure instrument installed on the ocean-going container ship and so on. To execute a long-term prediction of ship response, joint probability functions between wave height and wave period are introduced, therefore long-term statistical predictions are executed by using the functions.

## 1. 서론

대양을 항해하는 선박이 안전하게 효율적으로 운항하기 위해서는 배 주위의 격한 자연환경에 대하여 심도 있게 검토할 필요가 있다. 기상학, 해양학 등의 해양 과학적 지식과 조선학, 박용기관공학, 항해운용술, 선박관계법규 등에 관련된 해사과학기술 등의 종합적 지식이 요구된다. 선박의 기본요건은 부양성, 적재성, 이동성으로 이러한 요건을 만족하는 선박으로서 갖추어야 할 주된 성질은 어떠한 기상과 해상에서도 화물과 승객을 안전하게 목적지까지 운송하는 것이며, 이와 같은 성질을 항해성능(seagoing qualities)이라고 한다<sup>1)</sup>. 항해성능은 선박의 크기, 운항상태, 항해해역에 따라 선박에 다른 레벨이 요구된다. 폭풍과 격한 해상상태를 항해하는 선박과 파도가 잔잔한 연안이나 내해를 항해하는 선박은 서로 요구

되는 레벨이 다르다. 선박의 기능을 나타내는 적재성, 이동성과 더불어 선박으로서 갖추어야 할 주된 조건인 복원성과 견고함, 적재화물의 하역에 필요한 의장시스템 등의 성능은 선박의 가격을 결정짓는 주된 요소이다. 교통, 운송기계 중의 하나인 선박을 시스템으로 만들어가는 과정이 선박설계·계획작업이다. 계획, 추진, 운동, 구조, 재료, 의장, 설계 등은 개별의 전문작업으로 구성되지만, 각 작업이 유기적으로 연결됨으로써 요구되는 레벨의 항해성능을 갖는 선박을 설계 및 건조할 수 있다<sup>2)</sup>.

항해성능을 보증하는 방법 등을 도입함에 있어서 방해가 되는 주된 원인 중의 하나는 대양의 기상, 해상의 장기특성에 관한 통계자료가 충분하지 않다는 것이다. 항해성능을 추정하기 위해서는 여러 가지 선체응답을 통계적으로 예측할 필요가 있다<sup>3)</sup>. 따라서 장기간에 걸쳐 취항하는 해역에서 배가 우연히 만날 수 있다고 생각되는 해상상태, 특히 파랑의 장기적 특성을 명확하게 예측할 필요가 있다. 하지만 주어진 파에 대한 선박의 응답특성은 이론적, 실험적으로도

박종헌(책임저자) : 동명대학교 조선공학과  
E-mail : parkjhss@tu.ac.kr, Tel : 051-629-1655

아주 상세하게 해석·설명되고 있는 반면에 해상정보 데이터는 충분히 누적되어 있지 못하다. 선체응답의 장기예측의 경우, 외부조건인 파랑의 통계적 특성은 아직 충분한 해석이 이루어지지 못하고 있는 실정이다<sup>4)</sup>.

해상정보를 얻기 위한 방법으로서 종래에는 일반상선에서 눈으로 직접 관측하는 방법이 주된 것이었으나 근래에 들어서 해양계측 부이(buoy), 계산기에 의한 파랑의 추정계산, 실선에 설치된 계기에 의한 계측, 인공위성을 이용한 리모트 센싱(remote sensing)에 의한 관측 등이 주목을 받고 있다. 이 중에서도 리모트 센싱에 의한 관측은 새로운 기술로 균질한 데이터를 얻을 수 있고, 앞으로 아주 유력한 방법이 될 것으로 생각된다. 따라서 본 논문에서는 파랑 통계데이터의 장기특성과 신뢰성에 관하여 인공위성에 의한 리모트 센싱의 파랑데이터와 비교·검토해보았다.

본 논문에서는 리모트 센싱의 파랑데이터로서 GEOSAT 데이터에 근거한 Young & Holland<sup>5)</sup>의 데이터(GEOSAT data)를 사용하여 데이터의 질을 검토하였고, 확률분포를 적용하여 통계적 성질을 조사하였다. 특히 북태평양(NPO)과 일본-대만-싱가포르-홍콩-북미서안항로에 따른 해역(ANAW)에 대하여, GEOSAT 데이터의 파고에 관한 결과와 일반상선에 의한 관측데이터(GWS: global wave statistics)의 일부를 이용하였다. 또한 동등한 상관관계와 경향을 가지고 있는 일반상선에 의한 관측데이터에 근거한 渡辺 등의 파랑통계도표<sup>6)</sup>, 桑島 등에 의한 정기 컨테이너선을 이용한 실험해계측의 계기 계측데이터<sup>7)</sup>와 비교·검토하였다. 그리고 GEOSAT 데이터의 파고와 파주기의 결합확률밀도함수를 설정하여 선체응답의 장기예측에 적용하였고, 그 결과로부터 파랑 통계데이터의 장기특성과 신뢰성을 검토하였다.

## 2. 파고 데이터의 확률분포함수의 적용

어떤 기간 연속하여 측정된 데이터에 대해서 기본적으로 통계처리에 의해 해역별 파랑의 성질을 명확하게 하는 것이 가능하지만, 각 지점 간의 해상정보 데이터의 특성을 비교하고 파고가 높은 해역의 통계학적 성질을 추정함에 있어서는 파고의 확률분포함수를 정할 필요가 있다. 일단 확률분포함수가 정해지면 내삽(interpolation)과 외삽(extrapolation)을 통해 필요한 파랑 제원의 통계적 특성치를 추정할 수 있

다. 먼저 본 논문의 조사대상인 GEOSAT 데이터에 대하여 통계처리를 하였다. 이 GEOSAT 데이터는 Fig. 1과 2에 나타난 바와 같이 각 해역에 따른 데이터의 분포가 다름을 알 수 있다. 이는 작은 섬들과 유빙의 영향으로 생각된다. 여기서 GEOSAT 데이터의 파고에 관한 데이터에 Weibull 분포, Gumbel 분포를 적용하고 각 분포의 매개변수(parameter)를 추정하여 파고의 확률분포함수, 누적분포함수를 결정하였다. Weibull 분포와 Gumbel 분포의 모든 수식은 문헌<sup>8,9)</sup>에 의한 것이며, 수식의 간략화를 위하여 파고(유의파고)  $H$ 를 “ $x$ ”로 표기하였다.

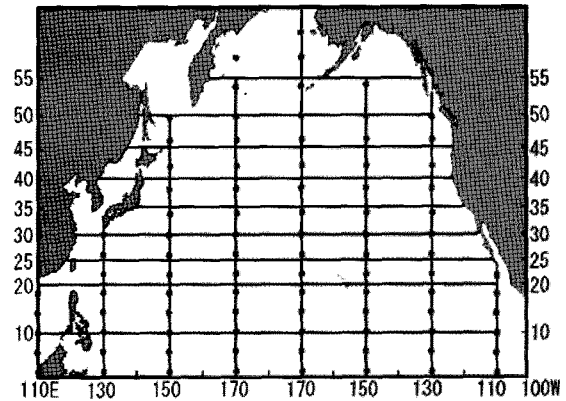


Fig. 1 Map of calculation sea area  
(The North Pacific Ocean, NPO)

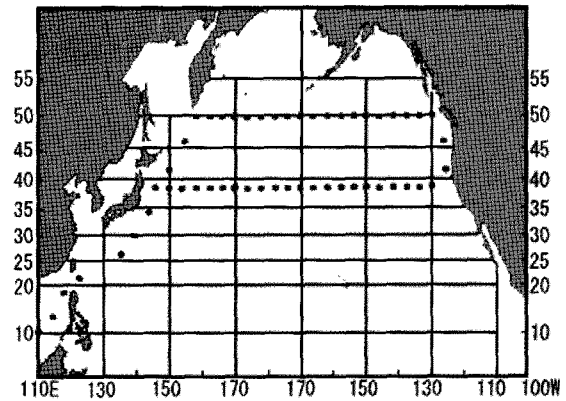


Fig. 2 Map of calculation sea area  
(ANAW route)

밀도함수를  $f(x)$ , 누적분포함수를  $F(x)$ 로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

Weibull 분포:

$$f(x) = \frac{k \left(\frac{x}{A}\right)^{k-1} \exp\left[-\left(\frac{x}{A}\right)^k\right]}{A} \quad (A, k, x > 0) \quad (1)$$

$$F(x) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{x}{A}\right)^k\right] \quad (x > 0) \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \text{mean value} &= A\Gamma(k^{-1} + 1) \\ \text{variance} &= s^2 = A^2[\Gamma(2k^{-1} + 1) - \Gamma(k^{-1} + 1)^2] \\ \Gamma(\cdot) &= \text{Gamma function} \end{aligned}$$

여기서  $A$ 와  $k$ 는 매개변수이다.  $x$ 를  $x-B$ 로 바꾸면 매개변수가 3개인 Gumbel 분포가 된다.

Gumbel 분포:

$$f(x) = \frac{\exp\left\{-\frac{x-B}{A} - \exp\left(-\frac{x-B}{A}\right)\right\}}{A} \quad (A > 0) \quad (3)$$

$$F(x) = \exp\left\{-\exp\left(-\frac{x-B}{A}\right)\right\} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \text{mean value} &= B + \gamma A \quad (\gamma = 0.5772: \text{Euler's constant}) \\ \text{variance} &= \frac{A^2 \pi^2}{6} \end{aligned}$$

여기서  $A$ 와  $B$ 는 매개변수이다.

데이터를 누적분포함수에 적용하기 위한 방법으로는 확률지를 사용하는 방법, 모멘트법 등이 있으며 이러한 방법을 문헌<sup>9)</sup>을 참고하여 수치 계산하였다. GEOSAT 데이터의 파고에 관한 데이터를 가지고 확률지를 사용하는 방법은 데이터의 확률지 결과로부터 최소자승법에 의해 매개변수를 추정하고, 모멘트법은 데이터의 평균치와 분산을 산출하여 그 결과로부터 분포의 매개변수를 추정한다.

조사대상인 GEOSAT 데이터의 해석은 북태평양(NPO)과 일본-대만-싱가포르-홍콩-북미서안항로에 따른 해석(ANAW)으로 각각의 해석을 간략한 해도로 Fig. 1과 2에 나타내었다. 그림에서 기호 ●는 GEOSAT 데이터를 통계처리하기 위한 대상을 표시한 것이다. 각 수치처리방법에 의해 매개변수를 결정한 GEOSAT 데이터의 파고에 관한 누적분포(GEOSAT data)의 결과를 Fig. 3~8에 나타내었다. GEOSAT 데이터의 전 데이터 수치를 기준으로 원데이터의 평균빈도확률을 표현한 다음 수식의 결과도 표시하였다.

$$F(x) = \frac{m}{n+1} \quad (m = 1, 2, \dots, n) \quad (5)$$

그림에서 GEOSAT의 원 데이터 결과는 연속으로 표현되어 굵은 선으로 보이게 되었다.

Fig. 3과 4는 Weibull 분포에 적용하여 각 수치처리방법에 대한 결과를 나타낸 것이다. Fig. 5와 6은 Gumbel 분포에 적용한 경우로 각 수치처리방법의 차이로 인한 결과를 비교하여 나타낸 것이다. Weibull 분포에서는 일반적으로 확률지에 의한 결과가 모멘트법에 의한 것보다도 GEOSAT의 원 데이터의 결과에 근접하고, 어떤 경우에도 3개의 매개변수 결과가 2개의 매개변수 결과보다 약간 정도가 좋을 수 있다. Gumbel 분포에서는 대체적으로 확률지의 결과가 모멘트법의 결과보다도 GEOSAT의 원 데이터의 결과와 거의 비슷하고, 그 정도는 Weibull 분포의 것보다도 더 우수함을 알 수 있다. Fig. 7과 8은 확률지 결과에 관하여 Weibull 분포와 Gumbel 분포를 비교하여 나타내고 있다. NPO와

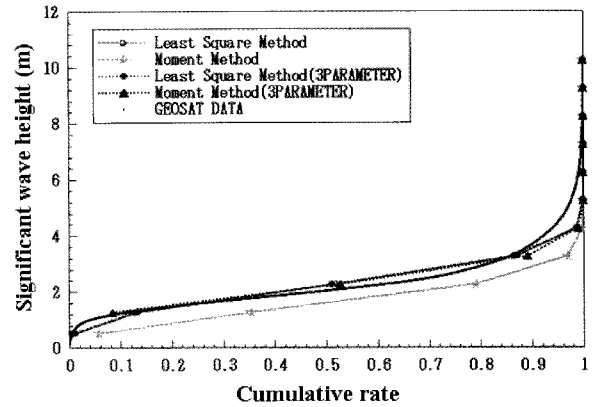


Fig. 3 Probability expression functions of significant wave height (Weibull distribution functions estimated by the Least Square Method, the Moment Method etc.; NPO)

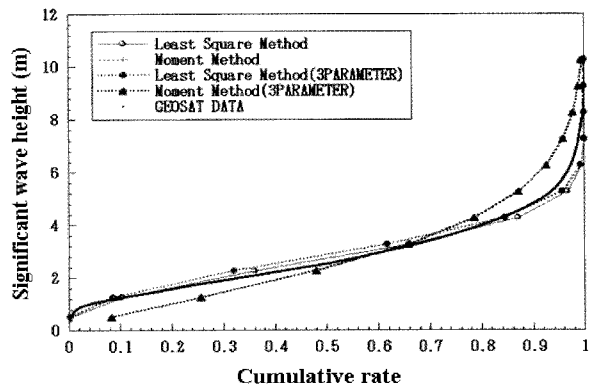


Fig. 4 Probability expression functions of significant wave height (Weibull distribution functions estimated by the Least Square Method, the Moment Method etc.; ANAW)

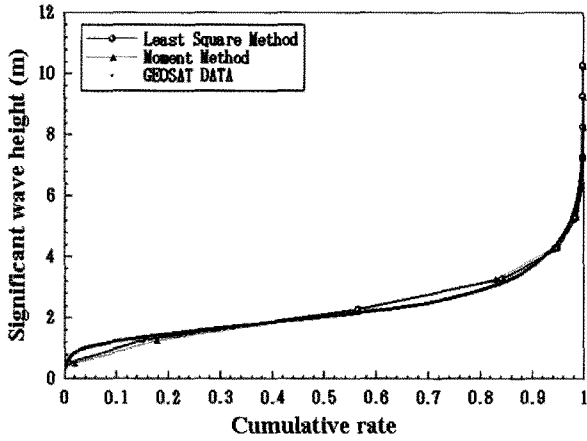


Fig. 5 Probability expression functions of significant wave height (Gumbel distribution functions estimated by the Least Square Method and the Moment Method ; NPO)

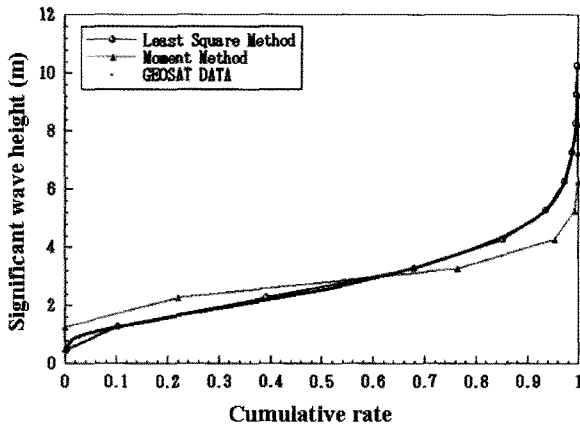


Fig. 6 Probability expression functions of significant wave height (Gumbel distribution functions estimated by the Least Square Method and the Moment Method ; ANAW)

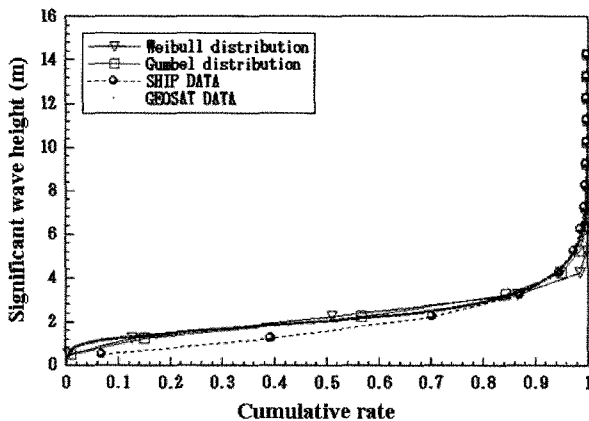


Fig. 7 Comparison between cumulative rate and probability distributions (Sea area: NPO)

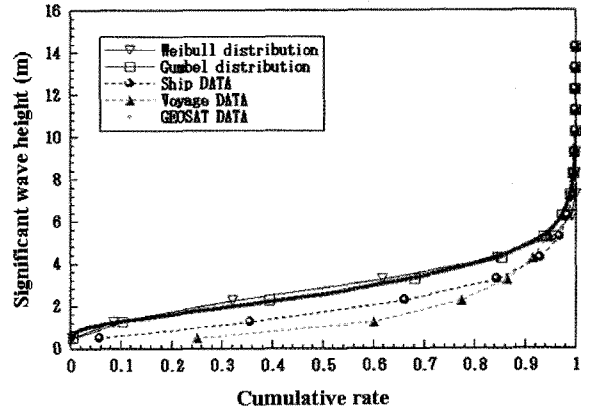


Fig. 8 Comparison between cumulative rate and probability distributions (Sea area: ANAW)

ANAW의 해역에 대한 비교 결과로서 일반상선의 관측데이터(ship data)<sup>6)</sup>, 桑島 등의 실항해계측 데이터(voyage data)<sup>7)</sup>에 근거한 결과와 GEOSAT 데이터의 전 데이터 수치를 기준으로 원 데이터의 평균빈도확률을 나타낸 식(5)에 근거한 결과(GEOSAT data) 등을 나타내고 있다.

### 3. 선체응답 장기예측의 적용

#### 3.1 파고와 파주기의 결합확률밀도함수

선체응답의 장기예측에 적용하기 위해서는 파고와 파주기의 동시확률분포가 필요하다.<sup>3)</sup> 그러나 리모트 센싱에 근거한 GEOSAT 데이터에는 파주기에 관한 정보가 없다. 따라서 Bitner-Gregersen & Cramer<sup>10)</sup>의 정점관측결과를 참고하여 파주기의 확률분포함수로서 대수정규분포를 가정하고, 파고에 관해서는 파고의 확률분포함수를 적용하였다. 이러한 확률분포함수를 조합하여 파고와 파주기의 장기결합확률밀도함수를 근사적으로 구하였다.

파고(유의파고)  $H$ 와 파주기(0-crossing 주기)  $T$ 의 동시확률분포는 다음 식으로 구할 수 있다.

$$P(H, T) = P(H)P(T|H) \quad (6)$$

$P(H)$ : marginal probability distribution of wave height

$P(T|H)$ : conditional probability of wave period given the height  $H$

여기서 파고  $H$ 에 대한 파주기의 조건부확률은 몇 개의 매개변수를 가지는 다음 식과 같이 대수정규분포로 얻어진다.

$$P(T|H) = f_T = \frac{1}{T\sqrt{2\pi}\sigma(H)} \exp\left[-\frac{(\log T - u(H))^2}{2\sigma^2(H)}\right] \quad (7)$$

$$\begin{cases} u(H) = E(\log T(H)) \\ \sigma^2(H) = Var(\log T(H)) \end{cases} \quad (8)$$

여기서 매개변수는 파고 등의 통계데이터를 해석하여 결정되는 것이지만 다음에 나타난 근사식을 이용하여  $u(H)$ ,  $\sigma(H)$  를 추정하였다.

$$\begin{cases} u(H) = a + a_1 \log H \\ \sigma(H) = b_1 \exp b_2 H \end{cases} \quad (9)$$

여기서  $H$ 는 유의파고이고  $a, a_1, b_1, b_2$ 는 각 해역의 정수이다. 본 논문에서는 Shinkai & Wan<sup>11)</sup>이 제안한 북태평양 항로에 따른 매개변수  $a, a_1, b_1, b_2$ 을 이용하였다.

식(6)~(9)로 얻어진 파고에 대한 파주기의 조건부 확률분포가 대상해역으로 가정한다면 파고의 주변 확률분포로 Weibull 분포와 Gumbel 분포를 이용하여 장기의 파고와 파주기의 결합확률밀도함수가 다음 식으로 얻어질 수 있다.

주변 Weibull 분포와 조건부 대수정규분포:

$$P(H, T) = \frac{1}{T\sqrt{2\pi}\sigma(H)} \exp\left[-\frac{(\log T - u(H))^2}{2\sigma^2(H)}\right] \frac{k\left(\frac{H}{A}\right)^{k-1} \exp\left[-\left(\frac{H}{A}\right)^k\right]}{A} \quad (10)$$

주변 Gumbel 분포와 조건부 대수정규분포:

$$P(H, T) = \frac{1}{T\sqrt{2\pi}\sigma(H)} \exp\left[-\frac{(\log T - u(H))^2}{2\sigma^2(H)}\right] \frac{\exp\left\{-\frac{H-B}{A} - \exp\left(-\frac{H-B}{A}\right)\right\}}{A} \quad (11)$$

또한 GEOSAT 데이터의 파고에 관한 원 데이터는 파고의 상관표로부터 발현빈도를 구하고, 그 결과로부터 구할 수 있는 확률 식(5)을 파고의 주변 확률분포  $P(H)$ 로서 파주기의 조건부 확률 식(7)과 조합하여 파고와 파주기의 동시확률분포를 추정하였다. 이것으로 GEOSAT DATA와 조건부 대수정규분포는 다음 식으로 구할 수 있다.

$$P(H, T) = P(H) \frac{1}{T\sqrt{2\pi}\sigma(H)} \exp\left[-\frac{(\log T - u(H))^2}{2\sigma^2(H)}\right] \quad (12)$$

한편, 파랑 통계데이터를 선박설계 등에 적용하기 위해서는 형식의 통일이 필요하다. 渡辺 등의 파랑통계도표<sup>6)</sup> 형식에 맞추어서 파고와 파주기 각각의 등급을 일치시키고, 확률 수치를 1000 분율로 0.01 단위까지 하여 파고와 파주기의 동시발현확률을 산출

하였다. ANAW 해역에서 파고와 파주기의 동시발현 확률을 등고선 표시로 Fig. 9~12에 나타내었다. Fig. 9는 Weibull과 조건부 대수정규분포의 결과를, Fig. 10과 11은 Gumbel과 GEOSAT 원 데이터의 결과를 나타내고 있으며, Fig. 12는 渡辺 등의 결과를 나타낸 것이다. 북태평양(NPO) 해역에서 파고와 파주기의 동시발현확률을 등고선 표시로 Fig. 13과 14에 나타내었으며, Gumbel과 GEOSAT 원 데이터의 결과이다.

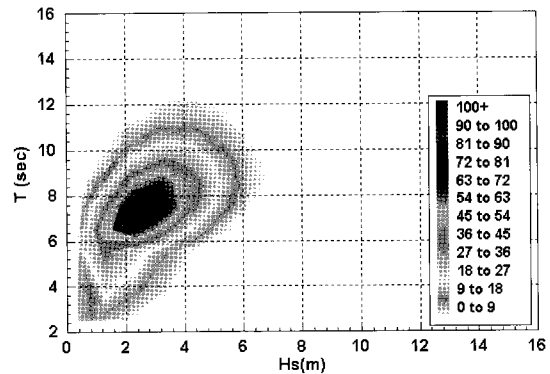


Fig. 9 Weibull and conditional log-normal distribution (Sea area: ANAW)

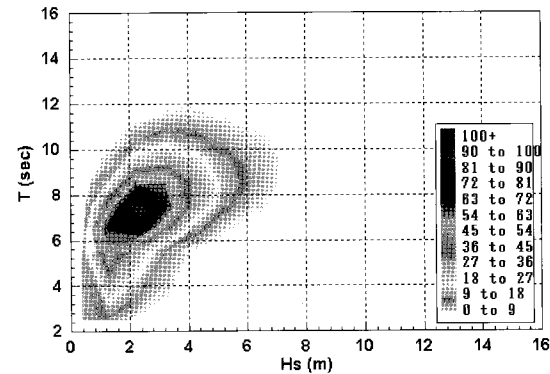


Fig. 10 Gumbel and conditional log-normal distribution (Sea area: ANAW)

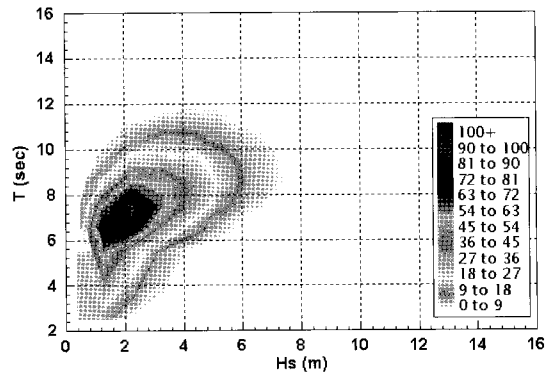


Fig. 11 Frequency (GEOSAT DATA) and conditional log-normal distribution (Sea area: ANAW)

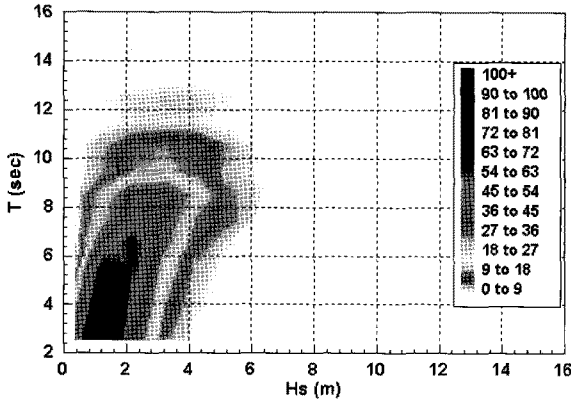


Fig. 12 Joint probability of significant wave height and period (Sea area: ANAW, Ship DATA)

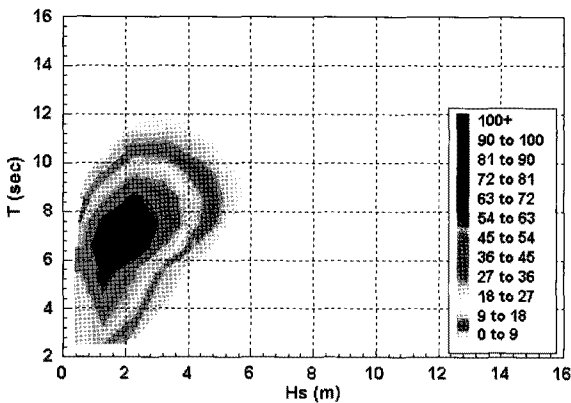


Fig. 13 Gumbel and conditional log-normal distribution (Sea area: NPO)

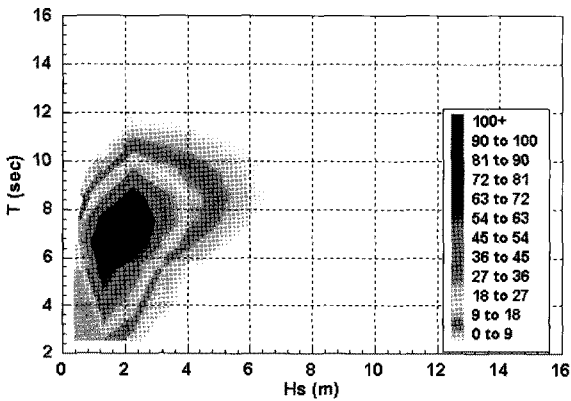


Fig. 14 Frequency (GEOSAT DATA) and conditional log-normal distribution (Sea area: NPO)

3.2 장기 파랑발현빈도의 신뢰성 검증

파고와 파주기의 동시발현확률을 선체응답 장기예측에 적용하여 장기 파랑발현빈도의 신뢰성을 검증하였다. 대상선박의 선체응답함수를 스트립(strip)법

으로 구하고, ISSC 스펙트럼(spectrum)을 적용하여 스펙트럼을 계산하였다. 선체응답의 표준편차  $\sigma_\gamma$ 을 계산하여 어떤 적당한 허용한계를 초과하는 단기의 확률을 구하였다.<sup>3)</sup> 단기확률의 결과와 함께 파고와 파주기의 동시발현확률을 조합하여 선체응답의 장기예측을 수행하였다.

파고와 파주기의 결합확률밀도함수  $P(H, T)$ 가 얻어지면 선체응답이 어떤 한계치  $\gamma$ 을 초과하는 장기의 누적확률은 다음 식으로 구할 수 있다.

$$Q(x) = \int_0^\infty \int_0^\infty \exp\left(-\frac{\gamma^2}{2\sigma_\gamma^2}\right) P(H, T) dHdT \quad (13)$$

$Q(x)$ 는 파도와 배가 만나는 각도  $x$ 의 함수이다. 배와 파도가 만나는 각도의 확률밀도함수가 방향에 상관없이 일정하다면 모든 각도(all headings)를 고려한 장기초과확률은 다음 식으로 얻어진다.

$$Q = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} Q(x) dx \quad (14)$$

桑島 등<sup>7)</sup>이 실항해계측을 실시한 배 길이 230.0m의 컨테이너선을 대상선박으로 선체응답 장기예측을 계산하였다. 대상선박인 컨테이너선의 선도(lines)를 구할 수 없어서 주요치수를 일치시켜 배 길이 175m의 SR-108 1축 컨테이너선의 선도를 참고하였고, 스트립법의 입력데이터를 가정하여 6자유도의 선체운동을 계산하였다. 계산조건으로서, 선속은 23노트(knot), 파도의 평균 각도는 22.5도씩 16방향으로 하였다. 선체운동 결과를 이용하여 각종 선체응답함수를 구하고, 스펙트럼과 표준편차, 장기예측을 계산하여 그 결과를 Fig. 15~18에 나타내었다.

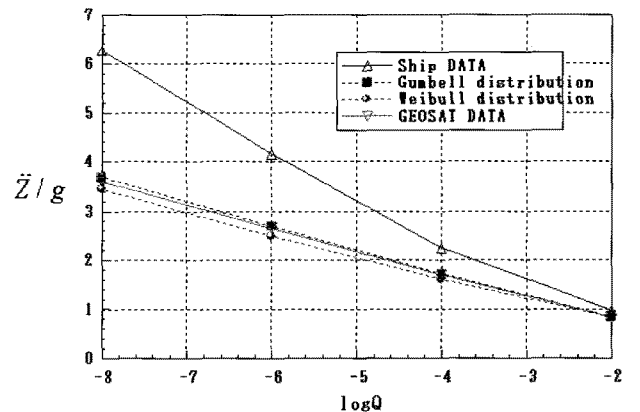


Fig. 15 Long-term distribution of Z component of acceleration at bow (Sea area: ANAW)

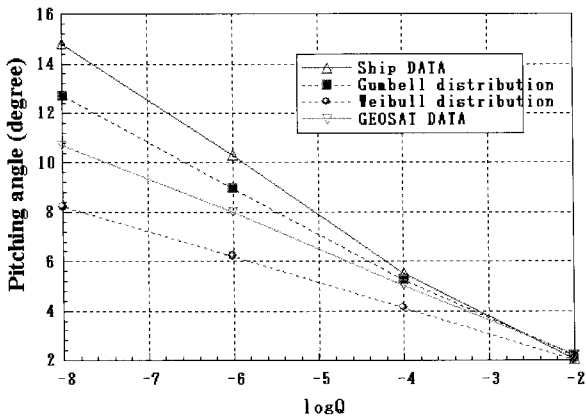


Fig. 16 Long-term distribution of pitching angle (Sea area: ANAW)

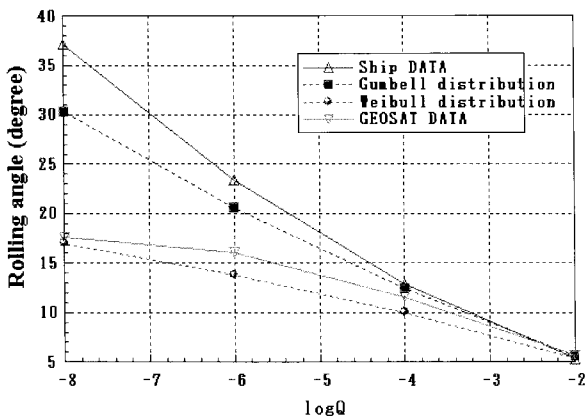


Fig. 17 Long-term distribution of rolling angle (Sea area: ANAW)

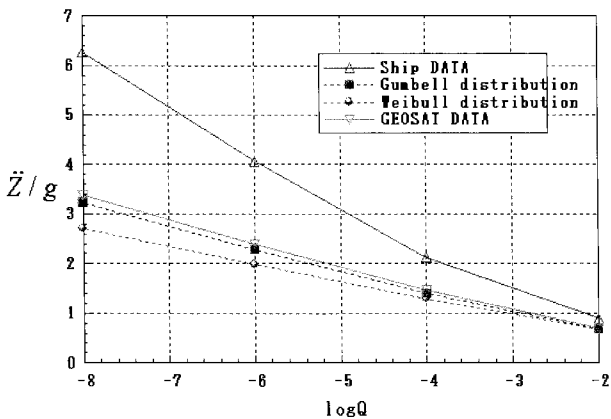


Fig. 18 Long-term distribution of Z component of acceleration at bow (Sea area: NPO)

Fig. 15~17은 ANAW 해역에서의 선수상하가속도, 종동요와 횡동요 각도의 장기예측 결과를 나타낸 것이다. 그림에서 각 응답의 장기예측치는 파고와 파주기의 동시발현확률로서, 주변 Weibull 분포와 조건부 대수정규분포, 주변 Gumbel 분포와 조건부 대수

정규분포, GEOSAT 원 데이터와 조건부 대수정규분포의 모든 식들을 이용한 경우와 渡辺 등의 파랑통계도표<sup>6)</sup>를 이용한 경우를 비교하여 나타내고 있다. Fig. 18은 북태평양(NPO)에서 선수상하가속도의 장기예측치를 같은 형식으로 나타낸 것이다.

ANAW 해역에서의 결과를 살펴보면, 어떤 선체응답에 대해서도 渡辺 등의 파랑통계도표에 의한 장기예측치(ship data)가 가장 크고, 주변 Gumbel 분포와 조건부 대수정규분포, GEOSAT 원 데이터와 조건부 대수정규분포, 주변 Weibull 분포와 조건부 대수정규분포의 순으로 장기예측치가 작아지고 있다. 선수상하가속도의 경우, Ship DATA를 제외한 나머지 값들이 서로 근접해있고, 渡辺 등의 파랑통계도표에 의한 장기예측치인 Ship DATA가 다른 3개의 값에 비해 차이를 보이면서 크게 나타나고 있다. 그 이유는 渡辺 등의 데이터에 평균파주기 10초 부근에 아주 높은 파고의 빈도가 존재하고, GEOSAT 데이터에 10m 이상의 높은 파도가 누락되어 상승효과에 의한 것으로 생각할 수 있다. 종동요와 횡동요의 장기예측의 경우는 Ship DATA를 제외한 나머지 값들이 서로 떨어져 있지만 같은 응답치에 있어서 파고  $H$ 에 대한 파주기의 조건부 확률로 가정한 대수정규분포가 과도하게 반응하고 있음을 알 수 있다. 북태평양(NPO) 해역에서의 선수상하가속도 장기예측치는 ANAW 해역의 경우와 거의 비슷한 경향을 보이고 있다.

#### 4. 결 론

인공위성 리모트 센싱에 의한 파고 정보데이터에는 높은 파도의 값이 포함되어 있지 않으며 파주기에 대한 정보도 없다. 이는 리모트 센싱 시스템 중의 데이터 처리알고리즘, 센서 기기 등의 개선 방법밖에는 다른 도리가 없다. 따라서 높은 파도에 대한 데이터의 부족은 확률분포함수를 적용함으로써 어느 정도 보충할 수 있으며, 파주기 정보에 대한 부족은 파고  $H$ 에 대한 파주기의 조건부 확률분포를 대수정규분포로 가정함으로써 선체응답의 장기예측이 가능함을 보였다. 리모트 센싱에 의한 파랑정보의 예측결과는 시각관측에 의한 것보다 과소평가되어 있으므로 지금 단계에서는 시각 관측데이터에 근거한 장기예측이 안전하고 바람직하다고 생각한다. 파고에 대한 파주기의 조건부 확률로 가정한 대수정규분포가 타당한지를 검토해야 할 과제로 남아있지만, 시각에 근거한 파랑발현자료의 치우침은 이전부터 지적되어

왔다. 파랑 통계데이터의 질을 검증하기 위해서는 균질한 데이터를 얻는 수단으로서, 인공위성 리모트 센싱에 의한 데이터가 앞으로 많이 이용될 것으로 보이며, 이러한 분야의 연구가 계속적으로 이루어져야 할 것으로 생각한다.

Transactions of the West-Japan Society of Naval Architects, No. 89, pp. 223~231.

## 참고 문헌

1. H. E. Saunders, 1965, "Hydrodynamics in Ship Design Author's notes for volume three on maneuvering and wave going", The Society of Naval Architects and Marine Engineers, New York.
2. 富田哲治郎, 1982, "船舶基本設計論", 丸善出版サービスセンター.
3. J. Fukuda, 1969, "Statistical Prediction of Ship Responses(in Japanese)", Symposium on Seakeeping Qualities, SNAJ, pp. 99~119.
4. 新開明二, 1998, "長期波浪統計と應答, 船舶海洋工學における波浪情報の諸問題(波浪評価検討専門委員会成果報告)", 日本造船學會, 運動性能委員會, 海洋工學委員會性能部會, pp. 99~124.
5. I. R. Young and G. J. Holland, 1996, "Atlas of the oceans(Wind and wave climate)", Pergamon.
6. 渡辺巖, 富田宏, 谷澤克治, 1992, "北太平洋の波と風(1974年~1988年)", 船舶技術研究所報告, 別冊14号.
7. 桑島進, 萩原秀樹, 岩崎直人, 1997, "船舶の航行自動記録装置の開発研究", 平成6年度~平成8年度科學研究費補助金(基礎研究(c), (2)), 研究成果報告書.
8. E. J. Gumbel, 1957, "Statistics of extremes", Columbia University Press, New York.
9. 磯崎一郎, 鈴木埴, 1999, "波浪の解析と豫報", 東海大學出版會.
10. E. M. Bitner-Gregersen and E. H. Cramer, 1994, "Accuracy of the global wave statistics data", Proceedings of the Fourth, International Offshore and Polar Engineering Conference, Osaka, Japan.
11. A. Shinkai and S. Wan, 1995, "The Statistical Characteristics of Wave Data and Long-term Predictions of the Ship Response(in Japanese)",