

방향 스펙트럼 파 해석을 위한 GUI 프로그램 개발

이진호[†]*, 최재웅*, 강윤태*, 하문근*

삼성중공업 조선플랜트연구소*

Development of GUI Program for Analyzing Directional Spectrum Waves

Jin Ho Lee[†]*, Jae Woong Choi*, Yun Tae Kang* and Mun Keun Ha*

Samsung Heavy Industry*

Abstract

GUI program for analyzing directional spectrum waves is introduced in this paper. Basically, MLM (Maximum Likelihood Method) was used for this program which was additionally consisted of performing spectral and time domain analysis for two dimensional irregular waves. Moreover, the directionality of directional spectrum waves generated by single summation and double summation method was investigated based on MLM. The directionality from each summation method has good agreement compared with that of target wave spreading function in the case of single wide directional spectrum waves. In addition to this, the resolution of directionality in double summation method was investigated as introducing coherence function between each wave component.

※Key words: Directional Spectrum Waves(방향 스펙트럼 파), MLM, Spectral Analysis(스펙트럼 해석), Time Analysis(시간영역해석), Single Summation(단일중첩), Double Summation(중복중첩)

1. 서론

방향 스펙트럼파에 관한 연구는 선박 해양 분야를 비롯하여 수리/해안/기상 분야까지 포함하는 아주 포괄적인 과제로 활발하게 진행되고 있다. 국내에서도 최근 건조되어지는 조파 수조의 대부분이 이러한 파를 재현 할 수 있도록 만들어 지고

있으며, 조파 성능에 관한 수치적, 실험적 연구 논문도 발표되어졌다(Lee/Hirayama 2000, 정용관 등 2001). 선박 해양 분야의 경우에 있어서 방향 스펙트럼 파의 중요성을 살펴보면, 운항 선박의 운동 성능 평가를 기존의 2차원 불규칙파 상태에서 벗어나, 방향 스펙트럼 파 상태로 그 범위를 확장하고 있으며, FPSO와 같은 부유식 해양 구조물의 해상 작업시 위치 유지를 위한 DP 시스템에 있어서도 방향 스펙트럼파를 통해 조우 파랑의 방향을 예측할 수 있다.

접수일: 2003년 6월 5일, 승인일: 2003년 12월 22일

[†]주저자, E-mail: jh1225.lee@samsung.com

Tel: 055-630-5354

일반적으로 방향 스펙트럼파를 해석하는 방법으로서 주파수 영역 해석법과 변분법에 기초를 둔 최소화 방법을 들 수 있는데, 이는 해석 영역 및 발생 파에 따라 각각 다른 해석법을 적용할 수 있다. 예를 들면, Radar 및 인공위성 등을 이용한 Remote sensing과 같은 광대 영역의 해석에 있어서는 FFT 이중 변환법이 유력하며, 그 외의 해상 부이(bouy) 및 파고계 센서 선상 탑재에 의한 파랑 계측 등의 국부적인 해석에 있어서는 고전 FFT방식에서 벗어나, Bayesian, MLM등의 변분법 등의 원리가 응용된 해석법이 이용되어 진다. 본 논문에서는 실험 조파 수조 및 부이 등에서의 방향 스펙트럼 파 해석을 위한 것으로서, 국부적인 해석 범위에 해당하며, 이 중에서도 MLM방법을 통한 GUI 프로그램을 구성했다. 또한, 2차원 불규칙파의 주파수 및 시간 영역 해석을 포함하고 있으며, FFT Size의 증가에 의한 해석 스펙트럼의 Roughness를 완화하기 위한 Hanning 윈도우 기능을 추가하였다.

본 논문의 구성은 먼저, 이러한 방향 스펙트럼 파 해석 GUI 프로그램을 소개한다. 그리고, MLM 방법의 특성을 파악하기 위해서 기존의 Double Summation법과 Single Summation법을 이용한 방향 스펙트럼 파를 생성하여 본 프로그램으로 해석한 결과를 고찰하도록 한다. 그 결과, 단일 광폭 방향 스펙트럼 파의 경우에는 Double Summation법 및 Single Summation법의 모든 방법이 파 방향 분해능을 올리고 있음을 알 수 있었다. 반면에 복수 협소 방향 스펙트럼파의 경우, Double Summation 법에 의해서는 파 주파수 성분간의 상관 함수가 낮을수록 방향 분해능이 올라감을 알 수 있었다.

2. 방향 스펙트럼 파 해석 GUI

본 논문에서의 GUI 프로그램은 2차원 및 3차원 파 해석을 위한 두 항목으로 나누어 진다. 이 중 2차원 해석에서는 주파수 영역 해석과 시간 영역 해석을 동시에 다루고 있기 때문에 상호 비교 분석이 가능하다. 3차원 해석은 MLM 방법을 이용하여 파 방향 및 파 주파수 분석이 동시에 이루어지

며, 3차원 형상 및 그때의 Contour 형상을 볼 수 있도록 하였다. 구체적인 설명 및 대표적인 화면을 다음 절에서 설명토록 한다.

2.1 2차원 불규칙파 해석

시계열 데이터를 입력하여 Zero Up Cross법에 의한 시간영역 해석을 수행하도록 되어 있으며 이로부터 최대 파고와 전체 파고 중 높은 파고 순의 1/10, 1/3, 평균 파고 및 주기에 관한 정보를 얻을 수 있다. 이와 병행해서 일반적인 FFT법에 의한 불규칙 파랑 데이터의 주파수 해석을 수행하여 유의 파고 및 Zero Up Cross 주기를 산정할 수 있으며, 이들을 통해 서로 비교 분석 가능토록 하였다. Fig. 1에 해석 GUI화면을 나타내고 있다. 기능 중 특징으로는 시계열 데이터 수가 수 만개가 될 경우, 일정 FFT 사이즈에 의해 해석된 스펙트럼은 Fig. 2에서의 노이즈와 같은 Peak 성분이 다수 발생하게 되어 주된 Peak를 파악하기가 힘들 수 있다. 이를 보완하기 위해서 해석된 스펙트럼에 Hanning Window를 수 회 정도 걸어 Smoothing을 할 수 있도록 하였다. Fig. 3에서 그 결과를 볼 수 있다. 또한 FFT SIZE가 결정되고 난 후, Overlap Percentage(%)를 정할 수 있도록 하여, 전체 해석 데이터를 적절하게 분할하여 평균할 수 있도록 하였다. 참고로, Overlap Percentage(%)가 높을수록 분할 평균수가 증가함을 의미한다.

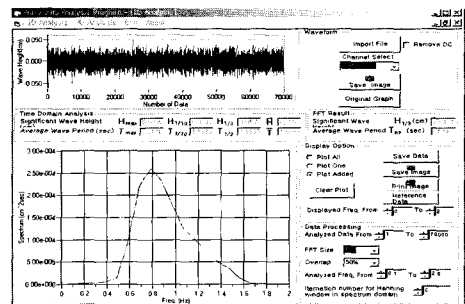


Fig. 1 Display on 2D analysis (2D Irregular wave analysis)

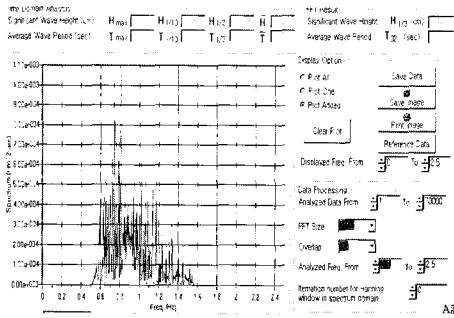


Fig. 2 Spectral analysis without hanning window

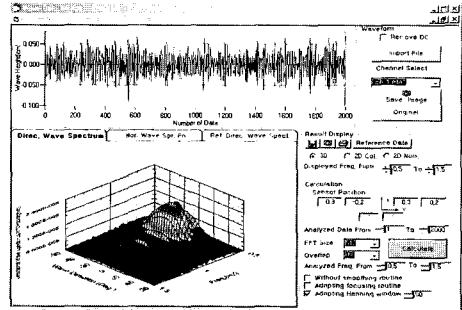


Fig. 4 Directional spectrum wave analysis

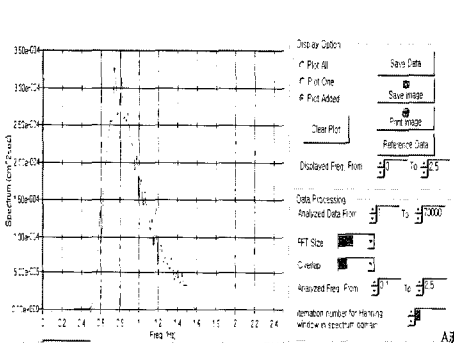


Fig. 3 Spectral analysis With hanning

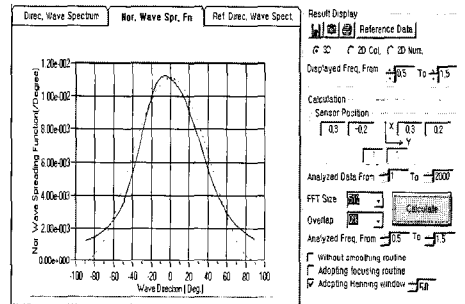


Fig. 5 Directional spreading function

2.1 3차원 불규칙파 해석

3차원 불규칙파, 일명 방향 스펙트럼 파 해석을 수행하기 위해서 MLM 방법을 도입하였다. MLM 법에 관한 구체적인 설명은 다음 절에 설명되어져 있다.

Fig. 4에 3차원 파 해석의 구성 GUI 및 방향 스펙트럼 파 해석 결과를 보여 준다. 2차원 해석 법과는 달리 파 방향성을 해석하기 위해서는 임의의 세 지점 이상에서의 파랑 시계열이 필요하다. 본 프로그램에서는 세 지점만 정의토록 하였으며, 계속 지점 수 증가의 해석이 필요한 경우, 다음 절에서 설명되어지는 MLM 알고리즘 중 역행렬 매트릭스를 파랑 계속 지점 수 만큼 증가시킨 알고리즘을 사용하여 간단하게 해결 할 수 있다.

Fig. 5에서는 파 방향 특성을 보여주는 파방향 함수(Wave Spreading Function)를 나타내며, Fig. 6에서는 그때의 방향 파 스펙트럼의 Contour 특성을 보여 주고 있다

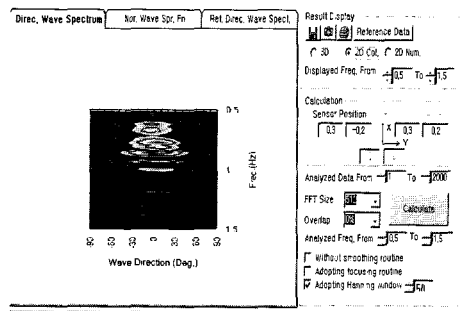


Fig. 6 Directional spectrum wave contour

을 보여 주고 있다

3. MLM 특성 분석

앞 절에서 언급한 프로그램의 해석 기법으로서 MLM을 사용하였다. 이 절에서는 MLM 해석 기법을 간단하게 소개한다. 또한, Double Summation 및 Single Summation법을 이용하여 방향 스펙트

럼 파를 생성시켜 본 프로그램을 이용한 해석을 수행하여 MLM 특성을 분석토록 하였으며, 파주파수 상호간의 상관함수에 의한 방향 분해능을 고찰하였다.

3.1 MLM 해석 기법

여러 문헌에서 MLM 해석 기법 자료를 찾아볼 수 있는데, 여기서는 畠田良實(1990)의 문헌을 참고하여 아래 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$D(\theta, \omega) = \frac{\alpha}{S(\omega)} \left[\sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 \Phi_{ij}^{-1}(\omega) \exp[-i(kX_{ij} \cos \theta + kY_{ij} \sin \theta)] \right]^{-1} \quad (1)$$

여기서 α 는 정규화를 위한 상수이고, $S(\omega)$ 는 스펙트럼 평균이다. 또한 Φ_{ij}^{-1} 는 계측된 시계열을 이용하여 얻은 상관 행렬의 역행렬을 의미하는 것으로서 다음 식과 같이 정의되어진다.

$$\Phi(\omega)^{-1} = \begin{bmatrix} \Phi(\omega)_{11}^{-1} & \Phi(\omega)_{12}^{-1} & \Phi(\omega)_{13}^{-1} \\ \Phi(\omega)_{21}^{-1} & \Phi(\omega)_{22}^{-1} & \Phi(\omega)_{23}^{-1} \\ \Phi(\omega)_{31}^{-1} & \Phi(\omega)_{32}^{-1} & \Phi(\omega)_{33}^{-1} \end{bmatrix} \quad (2)$$

3.2 Double Summation 법 및 Sinle Summation법에 의한 해석

방향 스펙트럼 파의 생성은 일반적으로 아래 식(3),(4)에 의해 이루어진다 (Takezawa et al. 1988). 식(3)은 Double Summation 법을 나타내며, 주파수 별 파 성분이 복수 파 방향으로 동시에 존재하게 되어 MLM의 파 방향 분해능에 영향을 줄 수도 있다. Fig. 7에서 이 방법에 의한 해석 결과를 볼 수 있지만, 주파수 상호간의 Randomness에 의해 목적 방향 함수에 잘 따라가고 있음을 알 수 있다. 또한 실험역에 가까운 물리적인 현상을 나타낼 수 있는 방법으로 현재 널리 사용되고 있는 방법이다. 식(4)는 Single Summation법을 나타내며, 주파수 별 파 성분이 단일 파 방향에 독립적으로 존재하여 MLM 파 방향 분해능에는 영향을 미치지 않을 것이다. 또한, 이 방법의 특징은 목적 방향 함수의 누적 함수를 도입하여 이 함수에 상응하는 파 방향각을 찾아내

며 이러한 파 방향각을 Random하게 순서를 정해서 목적파 주파수 성분과 일대일 대응시켜 식(4)에 대입하여 파랑 시계열을 생성시킨다. Fig. 8에서 이 방법에 의해 해석한 결과를 볼 수 있다. 파주파수와 파 방향각이 일대일 대응 관계이므로 파 방향 분해능의 정도가 보장됨을 알 수 있다.

$$\eta(x, y, t) = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J S(\omega_i, \theta_j) \cos(\omega_i t - k_x \cos \theta_j - k_y \sin \theta_j + \epsilon_{ij}) \quad (3)$$

$$\eta(x, y, t) = \sum_{i=1}^I S(\omega_i) \cos(\omega_i t - k_x \cos \theta_i - k_y \sin \theta_i + \epsilon_i) \quad (4)$$

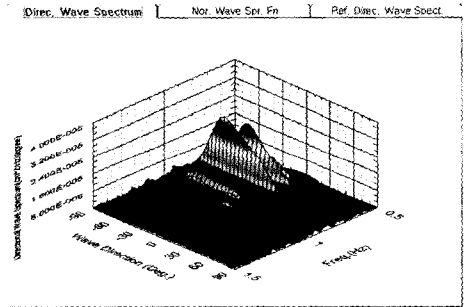


Fig. 7 Directional spectrum waves by double summation method($D(\theta)=\cos^2\theta, \omega \times \theta=57 \times 37$ 개)

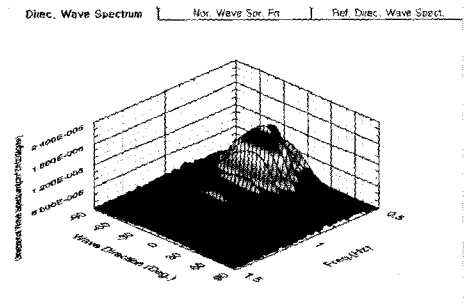


Fig. 8 Directional spectrum waves by single summation method($D(\theta)=\cos^2\theta, \omega=1257$ 개)

3.3 Coherence Function에 따른 방향 분해능 조사

본 절에서는 Double Summation법에 의한 MLM 파방향 분해능을 조사하기 위해서 상관 함수(Coherence Function)를 도입한다. 이 함수의 정도를 다르게 하여 MLM 분해능이 어떠한 결과를 보이는지 살펴보기로 한다. 상관 함수(Coherence Function)는 식 (5)와 같이 정의된다(Bendat/Piersol 1986).

$$\chi(f) = \left| \frac{S_{12}(f)}{\sqrt{S_1(f)S_2(f)}} \right| \quad (5)$$

$$\begin{aligned} S_1(f) &= H_1(f)H_1^*(f) \\ S_2(f) &= H_2(f)H_2^*(f) \\ S_{12}(f) &= H_1(f)H_2^*(f) \end{aligned} \quad (6)$$

$S_1(f), S_2(f)$ 는 Auto Spectrum을 나타내며, $S_{12}(f)$ 는 Cross Spectrum을 의미한다. 여기서, 상관 함수에 따른 MLM 분해능을 조사하기 위해서 다음과 같은 세가지 경우의 두방향의 Peak를 가지는 협소 방향 스펙트럼파를 Table 1에 나타내었다. Case 1과 2에서는 시계열의 파 주파수 개수를 다르게 해서 파 방향 해석을 수행할 것이며, Case 3에서는 주파수 대역을 다르게 해서 해석을 수행할 것이다.

Table 1 Condition of directional wave spectrum

Spec.	$S_1(f)$		$S_2(f)$		Num of f
	Peak f(Hz)	Main θ	Peak f(Hz)	Main θ	
case1	0.76	0도	0.76	80도	57
case2	0.76	0도	0.76	80도	326
case3	0.76	0도	0.38	80도	57

Fig. 9에서 Fig. 11은 각 경우의 상관 함수를 나타낸 결과이다. Case 2, Case3의 경우와 같이, 파 주파수 개수가 증가할수록 또는 상호 다른 주파수 대역에서의 상관 함수값은 낮아짐을 알 수 있다.

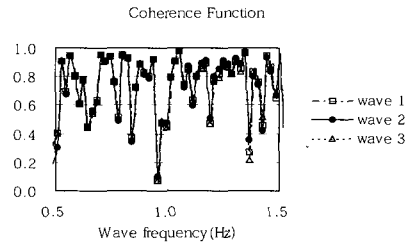


Fig. 9 Coherence function in wave frequency (Case 1)

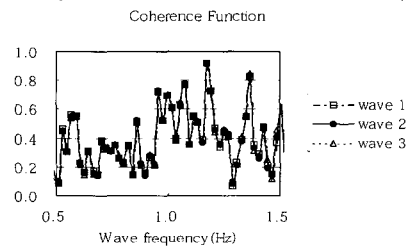


Fig. 10 Coherence function in wave frequency (Case 2)

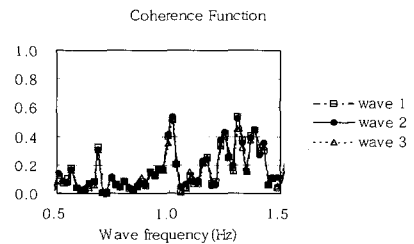


Fig. 11 Coherence function in wave frequency (Case 3)

각각의 경우에 대한 MLM을 이용한 파 방향성 분해 결과를 Fig. 12에서 Fig. 14에 걸쳐서 볼 수 있다. 먼저, Case 1, 2에서의 주파수 대역이 같은 경우, 상관 함수가 낮아짐에 따라 Fig. 13과 같이 파 방향 분해능이 올라감을 알 수 있다. Fig. 14와 같이 주파수 대역이 달라서 상관 함수가 낮은 Case 3의 경우에도 명확하게 0도와 80도에서의 주방향을 분해하는 해석 결과를 얻을 수 있다.

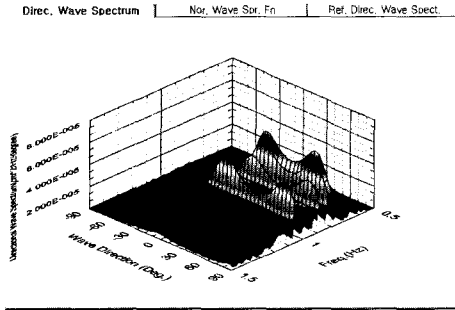


Fig. 12 Two peaks directional spectrum waves (Case 1)

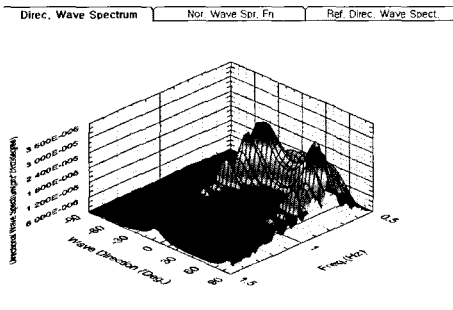


Fig. 13 Two peaks directional spectrum waves (Case 2)

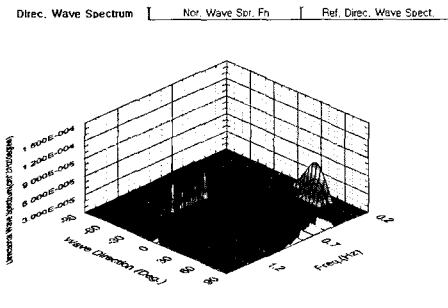


Fig. 14 Two peaks directional spectrum waves (Case 1)

4. 결론

이상의 연구 결과를 토대로 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

1. MLM법에 의한 방향 스펙트럼 파 해석 GUI

프로그램을 개발하였다.

2. Double Summation 법 및 Single Summation법에 의해 방향 스펙트럼 파를 생성하여 MLM방법으로 해석한 결과, 단일 광폭 방향 스펙트럼 파의 파방향 분해능은 두가지 방법에 상관 없이 정도가 올라감을 알 수 있다.

3. 두방향의 Peak를 가지는 협소 방향 스펙트럼 파의 경우 Double Summation법에 있어서는 상관 함수가 낮을수록 분해능이 올라감을 알 수 있다.

참 고 문 헌

- 정용관, 이진호, 전호환, 하동대, 2001, “예인수조에서 방향 스펙트럼파의 수치적 및 실험적 재현,” 대한조선학회 논문집, 제38권, 제2호 pp. 1-9.
- Lee, J. H., Hirayama, T., 2000, “Directional Spreading Characteristics in a Snake and Side-Wall-Reflection Type Wave Generator based on Numerical Simulation,” J. of SOTEC by SNAK, Vol. 4, No. 4, pp.28-36.
- Takezawa, S., Kobayashi, K. and Kasahara, A., 1988, “Directional Irregular Waves Generated in a Towing Tank” J. of the SNAJ, Vol. 163, pp. 222-232(in Japanese).
- Bendat, J. S. and Piersol, A. G., 1986, “Random Data -Analysis and Measurement Procedures-”, A Wiley-interscience Publication, New York.
- 습田良實, 1990, “항만 구조물의 내파 설계 -파랑 공학에의 서설-”, 鹿島出版回, 東京.



< 이 진 호 >



< 최 재 웅 >



< 강 윤 태 >



< 하 문 근 >