

파랑의 분석에 관한 2점법의 적용성 검토

Applicability of Two Point Method for Wave Decomposition

이성재* · 정태화** · 조용식***

Lee, Sung-Jae · Jung, Tae-Hwa · Cho, Yong-Sik

Abstract

The decomposition of incident and reflected wave on the two-dimensional experimental flume is very important to elucidate the phenomena between waves and coastal structure such as submerged breakwater or rubble-mound breakwater. In generally, two or three point methods are widely used to decompose waves. Even though three point method gives more accurate result, it requires more wave gauge to install than two point method. Sometimes, this causes economic or measurement problems. In this study, therefore, the applicability of two point method was investigated by using Eigenfunction expansion method

key words : two point method, three point method, Mitsuyatsu-Bretschneider spectrum, Eigenfunction expansion method

1. 서 론

2차원 단면수리실험에서는 연안 구조물이나 수중방파제에 의한 파의 감소효과 등을 해석하기 위하여 주로 2점법이나 3점법을 사용해 입사파, 반사파를 분리 및 해석한다. 2점법은 3점법에 비해 파고계가 적게 필요하여 간편하고 경제적이지만 파고계 간격에 따라 특정 주파수에서는 해가 발산하는 문제점이 있어서 3점법에 비하여 그 사용빈도가 적은 현실이다. 따라서 본 연구에서는 고유 함수 전개법을 사용하여 수중방파제가 존재하는 지형에 대하여 2점법과 3점법에 의한 입사파, 반사파 및 투과파의 스펙트럼을 분석하여 2점법의 적용성에 대해 검토해 보았다. 수치모의시 사용한 스펙트럼은 Goda(2000)가 제시한 Mitsuyatsu-Bretschneider 스펙트럼이다.

2. 지배방정식 및 경계조건

본 연구에서는 고유 함수 전개법을 이용하여 그림 1과 같은 수중방파제가 있는 지형에 대한 모의를 하였다. 그림 1에서 각각의 영역에서의 지배 방정식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{(Region 1)} \quad \Phi_1 = \{A_1^+ e^{ik_1 x} \cosh k_1 (h_1 + z)\} + \{A_1^- e^{ik_1 x} \cosh k_1 (h_1 + z)\} \quad (1)$$

$$\text{(Region 2)} \quad \Phi_2 = \{A_2^+ e^{ik_2 x} \cosh k_2 (h_2 + z)\} + \{A_2^- e^{ik_2 x} \cosh k_2 (h_2 + z)\} \quad (2)$$

$$\text{(Region 3)} \quad \Phi_3 = \{A_3^+ e^{ik_3 x} \cosh k_3 (h_3 + z)\} \quad (3)$$

여기서 A_1^+ 는 입사파, A_1^- , A_2^- 는 반사파, A_2^+ , A_3^+ 는 투과파의 진폭을 나타내고 k_m 은 파수로 식 (4)

* 한양대학교 토목공학과 · 석사과정 · E-mail : leesj98@hanyang.ac.kr

** 한양대학교 토목공학과 · 박사후과정

*** 정회원 · 한양대학교 토목공학과 · 교수 · 교신저자 · E-mail : ysc59@hanyang.ac.kr

를 통하여 구할 수 있다.

$$\omega^2 = gk_m \tanh(k_m h_m) \quad (m = 1, 2, 3) \quad (4)$$

식 (1) ~ (3) 의 반사파 및 투과파의 진폭을 구하기 위하여 다음과 같은 경계 조건을 사용하였다.

$$\Phi_m = \Phi_{m+1} \quad \text{at } x_m \quad (m = 1, 2) \quad (5)$$

$$\frac{\partial \Phi_m}{\partial x} = \frac{\partial \Phi_{m+1}}{\partial x} \quad \text{at } x_m \quad (m = 1, 2) \quad (6)$$

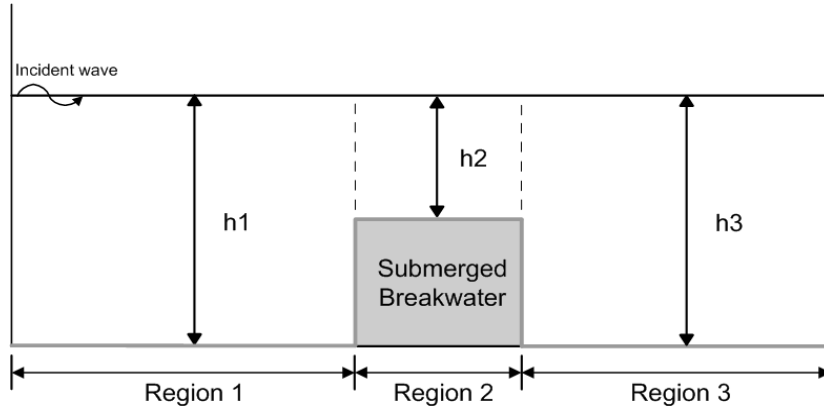


그림 1. 수치모의 대상 지형

3. 수치모의 및 결과

수치모의를 위한 대상 지형은 그림 1과 같다. 여기에서, 수심 $h_1 = h_3 = 0.5m$, $h_2 = 0.1m$ 로 고정하고 수중 방파제의 크기는 $0.40m \times 0.50m$ (세로×가로)로 설정하였다. 입사파의 유의 주기는 1.0, 1.5, 2.0, 3.0 초로 준비하였고 각각의 주기에 대하여 파고계 간격은 0.10m부터 0.05m단위로 1.95m까지 변화를 주어 총 72개의 경우에 대하여 수치모의를 수행하였다. 입사파의 스펙트럼은 Goda(2000)가 제안한 Mitsuyatsu-Bretschneider 스펙트럼을 사용하였으며

$$S(f) = 0.205 H_{1/3}^2 T_{1/3}^{-4} f^{-5} \exp[-0.75(T_{1/3} f)^{-4}] \quad (7)$$

입사파의 진폭은 다음의 식을 통하여 계산하였다.

$$A_I = \sqrt{2 \cdot S(f) \cdot \Delta f} \quad (8)$$

여기서, $f(=1/T)$ 는 주파수, Δf 는 주파수의 간격, $H_{1/3}$ 은 유의파고이며 $T_{1/3}$ 은 유의주기이다. 각각의 입사파에 해당하는 반사파 및 투과파의 진폭을 고유 함수 전개법을 이용하여 구한 후 반사율 및 투과율은 다음의 식을 이용하여 구하였다.

$$K_R = \sqrt{E_R / E_I} \quad (9)$$

$$K_T = \sqrt{E_T / E_I} \quad (10)$$

여기서, E_I , E_R 및 E_T 는 각각 입사파, 반사파 및 투과파의 에너지를 의미하며 다음과 같이 정의된다.

$$E_I = \int_{f_{\min}}^{f_{\max}} S_I(f) df \quad (11)$$

$$E_R = \int_{f_{\min}}^{f_{\max}} S_R(f) df \quad (12)$$

$$E_T = \int_{f_{\min}}^{f_{\max}} S_T(f) df \quad (13)$$

3점법의 경우 주파수의 제약이 없기 때문에 스펙트럼을 충분히 고려하기 위하여 f_{\min} 및 f_{\max} 는 각각 0.01, 6.00으로 설정하였고, 2점법의 경우에는 파고계 간격에 따라 다음과 같은 식을 사용하여 f_{\min} 및 f_{\max} 를 계산하였다.

$$f_{\min} : \Delta l / L_{\max} = 0.05 \quad (14)$$

$$f_{\max} : \Delta l / L_{\min} = 0.45 \quad (15)$$

그림 2는 유의주기 1.5 및 3.0초에 대하여 입사파, 반사파 및 투과파의 스펙트럼을 계산하여 나타낸 그림이다. 입사파의 유의주기가 클수록 침투 스펙트럼의 크기가 증가하고 스펙트럼 폭이 좁아지는 것을 관측할 수 있다.

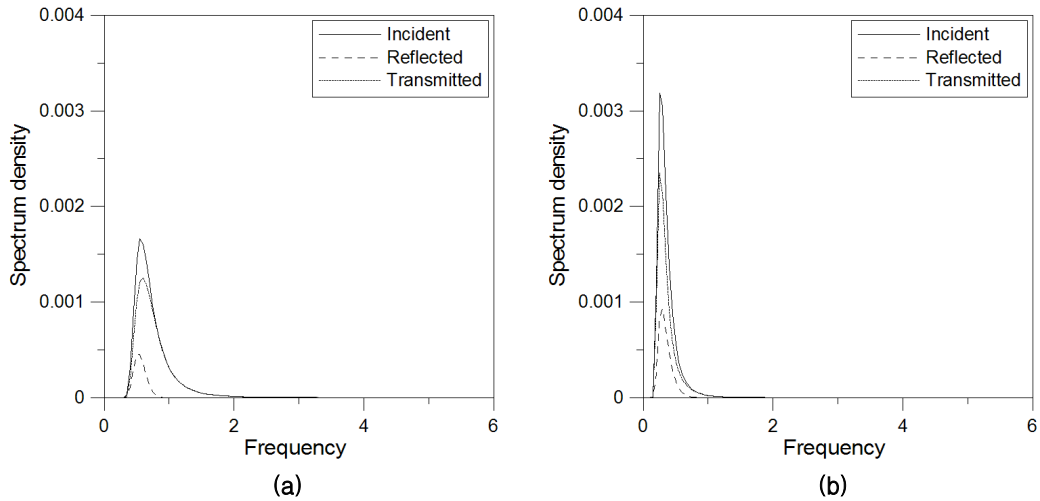


그림 2. 주기에 따른 입사파, 반사파, 투과파의 스펙트럼 밀도 :
(a) T= 1.5 sec; (b) T= 3.0 sec

그림 3은 서로 다른 입사파의 유의주기에 대하여 파고계 간격에 따른 2점법 및 3점법의 반사율 및 투과율을 비교한 그림이다. y축의 값은 2점법으로 구한 값을 3점법의 결과로 나눈 값이다. 주기가 작은 경우(그림 3 - (a))는 게이지의 간격이 40cm를 넘어서면서 2점법의 결과가 3점법의 결과와 큰 차이를 보이는 현상을 발견할 수 있었으며, 주기가 점차 커지면서(그림 3 - (b)) 그림 3 - (a)의 오차가 점점 감소하여 주기가 3.0초인 경우 25cm이하 구간을 제외하고 전체적으로 2점법과 3점법의 결과가 잘 일치하는 것을 알 수 있었다.

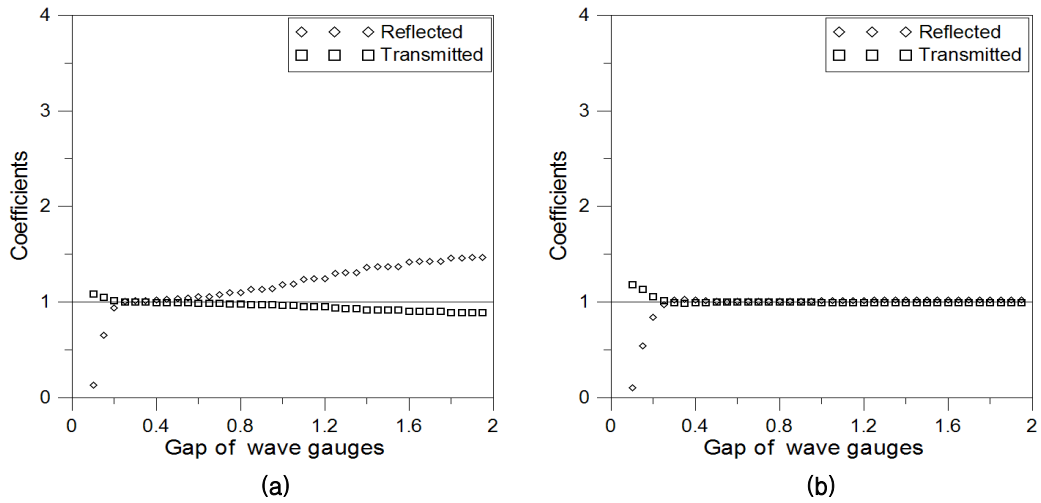


그림 3. 파고계 간격에 따른 2점법 및 3점법의 반사율 및 투과율 비교 :
(a) T= 1.5 초; (b) T= 3.0 초

4. 결 론

본 연구에서는 고유 함수 전개법을 사용하여 2점법과 3점법으로 불규칙파에 대한 반사율 및 투과율의 비를 비교해 보았다. 그 결과 적절한 게이지 간격을 선정하여 파고값을 측정할 경우 2점법으로도 3점법의 결과값에 근접하는 신뢰성 있는 결과를 얻을 수 있음을 알 수 있었다. 하지만 주기의 변화에 따라 3점법의 정확도에 준하는 결과를 얻을 수 있는 적정 게이지 간격이 다르기에 사전에 수치모의를 실시하여 2점법 적용시 최적의 게이지 간격을 파악한 뒤 실험에 착수할 필요가 있다.

감사의 글

본 연구는 해양수산부 해양한국발전프로그램에 의해 재정적 지원을 받았습니다.

참고문헌

1. 강규영, 정태화, 조용식, (2007) 다양한 함몰지형 위를 통과하는 파랑의 반사율 해석, 한국수자원학회논문집, 제40권, 제11호, pp. 899-908
2. Goda, Y. and Suzuki, Y. (1976) Estimation of incident and reflected waves in random wave experiments, Proc.15th Int Coastal Eng. Conf., American Society of Civil Engineers, Reston VA, USA. pp. 828-845.
3. Goda, Y. (2000) Random seas and design of maritime structures, 2nd edition, World Scientific, Singapore.