
Technical Note

大韓造船學會誌
 第19卷 第2號 1982年 6月
 Journal of the Society of
 Naval Architects of Korea
 Vol. 19, No. 2, June 1982

海洋波의 運動學에 대한 重力波理論과 Stream Function Method의 比較研究

方潤奎* · 張仁和** · 崔恒洵***

A Study on the Kinematics of Ocean Waves by Gravity Wave Theory and Stream Function Method

by

Y.K. Bang* · I.H. Chang** · H.S. Choi***

Abstract

It is one of the basic problems of naval architecture and ocean engineering how to describe the wave kinematics normally under the assumption of an ideal fluid. At present, there are many wave theories available for design purposes. These can be classified into two groups: One is the analytic theory and the other is the numerical theory.

This paper briefly introduces the stream function method of R.G. Dean which belongs to the latter group and shows its numerical evaluations exemplified for two cases: One is applied to observed waves and the other is for design waves.

In the former case, the wave profiles are calculated by the stream function method and compared with those of the observed waves and also with the results of R.G. Dean. They show good agreement. In the latter case, the wave kinematics and wave loads on a column of diameter 1m are calculated by the stream function method and these are compared with those resulted from the 5th-order gravity wave theory.

As a result of comparison the values by the stream function method are slightly larger than those by the 5th-order gravity wave theory but the differences are negligible. From this it is concluded that the stream function method is very useful. And as characteristics of the numerical theories, the stream function method of R.G. Dean can be easily extended to the higher order terms and can include easily the current velocity and the pressure distribution on the free surface. In addition, when the data of observed wave profile are given, this method can reproduce the observed wave profile as closely as possible so that this method seems to describe the ocean wave more realistically. And from standpoint of a mathematical principle the stream function method exactly satisfies the kinematic free-surface boundary condition.

接受日字：1982年 6月 8日

* 學生會員, 서울大學校 大學院 造船工學科

** 正會員, 서울大學校 大學院 造船工學科

*** 正會員, 서울大學校 工科大學 造船工學科

1. 서 론

파도의 운동특성을 정확히 기술하는 것은 조선공학이나 해양공학에서 가장 기본적인 문제의 하나이다. 그러나 자유표면 경계조건의 비 선형성에 기인한 어려움 때문에 정통적인 해석방법(perturbation method)에 의한 Stokes 이론의 해는 5차까지 밖에 전개되지 않았다[1].

그러나 고속의 계산능력을 가진 대형 전산기의 출현으로 비교적 간단한 이론으로 상당히 정확한 결과를 얻을 수 있는 수치적인 접근방법이 가능해졌으며 J.E. Chappellear[2]에 의해 이미 그러한 접근방법의 가능성이 입증되었다.

R.G. Dean의 Stream Function Method[3]도 이러한 수치적인 접근방법의 한 예이다. 이러한 방법의 일반적인 특징은 필요에 따라 고차항의 계수들을 포함할 수 있으며, 조류의 속도나 자유표면의 압력분포도 고려할 수 있다는 점이다. J.E. Chappellear는 속도 포텐셜을 사용하여 유체입자의 속도를 정의하고 파형에 관한 식을 별도로 정의하였기 때문에 두 종류의 계수가 필요하였다. 한편 R.G. Dean은 stream function을 도입하여 이들을 유도함으로써 한 종류의 계수만을 사용하여 표현을 간략화하고 계산량도 줄일 수 있었다. 더구나 stream function method는 운동학적 자유표면조건을 항상 만족하므로, 만일 자유표면조건이 파이론에서 가장 중요한 인자라면[4] stream function method는 이미 상당한 정당성을 획득하고 있다고 볼 수 있다.

본 논문에서는 이러한 stream function method를 간략히 소개하고 실측파와 선계파에 대해서 stream function method와 5차중력파이론을 이용하여 계산한 결과를 비교 검토함으로써 stream function method의 유용성을 확인하였다.

2. Stream Function Method

파도의 운동은 3차원운동이지만 실용의 목적으로나 수학적 간략화를 위하여 2차원 평면 주기파로 가정한다. 바닥은 평평하다고 간주하여 자유표면의 압력분포 $p(x)$ 와 조류의 속도 U 도 고려한다. 파계를 기술하기 위한 좌표계와 용어는 Fig.1에 정의되어 있다.

유체가 비점성, 비압축성이라고 유체운동은 비회전성이라 가정하면 속도 포텐셜 ϕ 와 stream function

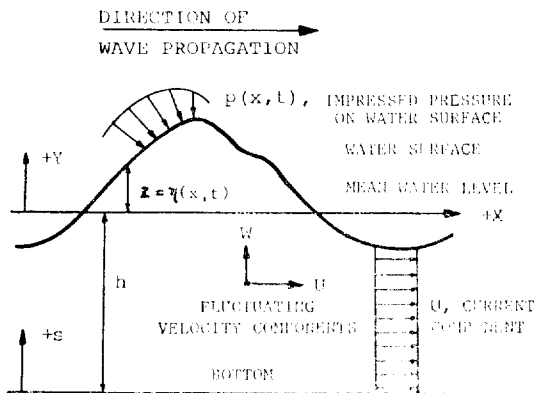


Fig. 1. Definition sketch of wave system

ϕ 가 존재하며 이들은 Laplace equation을 만족하게 된다.

연속 방정식

$$\nabla^2 \phi = 0 \tag{1}$$

$$\nabla^2 \phi = 0$$

여기에서 ϕ 와 ψ 의 관계는 다음과 같다.

$$\phi ; \begin{cases} u + U = -\phi_x \\ w = \phi_z \end{cases}$$

$$\psi ; \begin{cases} u + U = -\psi_x \\ w = -\psi_z \end{cases}$$

이들은 다음과 같은 경계조건을 만족해야 한다.

해지면 경계조건

$$\phi_z = -\psi_x = w = 0 \tag{2}$$

운동학적 자유표면 경계조건

$$-\frac{\partial \eta}{\partial t} + (u + U) \frac{\partial \eta}{\partial x} = 0 \tag{3}$$

동역학적 자유표면 경계조건

$$-\frac{p(x)}{\rho g} + \frac{1}{2g} [(u + U)^2 + w^2] + \eta - \frac{1}{g} \phi_t = 0 \tag{4}$$

여기에서 ρ 는 물의 밀도, g 는 중력가속도를 나타낸다. Laplace equation은 linear homogeneous equation이므로 무수히 많은 일련의 해를 갖는다. 이들 해중에서 경계조건을 만족하는 항들의 1차 결합으로 경계치 문제를 풀 수 있다. 그러나 2차원 중력파 문제에서는 식 (3), 식 (4)와 같은 경계조건의 비 선형성 때문에 해석적으로 정확한 해를 구한다는 것은 불가능하다. 따라서 stream function method에서는 해지면 경계조건과 운동학적 자유표면조건을 만족하는 함수들의 1차 결합으로 일반해를 만들고 최소 자승법에 의해 특정한 경계조건에 가장 적합한 해를 근사시켜 나가는 방법을 쓴다.

2.1. 실측파의 경우

측정된 파형의 모양이 변형됨이 없이 일정한 속도로 전파한다고 가정한다. 이제 파의 전파속도로 움직이는 좌표계를 생각하면 파의 모양이 고정되므로 정상류의 문제로 풀 수 있다. 따라서 파의 전파속도를 C 라하면 두개의 자유표면 경계조건은 다음과 같다.

$$\frac{\partial \eta}{\partial x} = w / (u + U - C) \quad (5)$$

$$\frac{p(x)}{\rho g} + \frac{1}{2g} [(u + U - C)^2 + w^2] + \eta = \text{const} = Q \quad (6)$$

그리고 Laplace equation의 일반해는 x 축의 대칭성에 따라 변수 x 에 관해서 삼각주기함수로 가정할 수 있고, z 축은 바닥조건을 고려하여 지수함수를 가정할 수 있다. 이들의 결합으로 이루어진 기본조화함수와 고차조화함수를 일련의 급수로 나타내고 좌표축의 이동과 조류의 일정한 속도를 고려하여 다음과 같은 형태의 일반해를 가정할 수 있다.

$$\begin{aligned} \phi(x, z) = & \left(\frac{L}{T} - U \right) z + \sum_{n=4,6,8}^{N-1} \sinh(n-2) \frac{\pi}{L} (h+z) \\ & \cdot \left[X(n) \cos(n-2) \frac{\pi}{L} x + X(n+1) \cdot \right. \\ & \left. \sin(n-2) \frac{\pi}{L} x \right] \quad (7) \end{aligned}$$

윗 식에 $z = \eta_p$ 를 대입하면 예상되는 파형에 관한 식을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} \eta_p = & \frac{\phi(x, \eta_p)}{[(L/T) - U]} - \frac{1}{[(L/T) - U]} \\ & \cdot \sum_{n=4,6,8}^{N-1} \sinh(n-2) \frac{\pi}{L} (h + \eta_p) \\ & \cdot \left[X(n) \cos(n-2) \frac{\pi}{L} x \right. \\ & \left. + X(n+1) \sin(n-2) \frac{\pi}{L} x \right] \quad (8) \end{aligned}$$

위에서 $\phi(x, \eta_p)$ 는 자유표면에서의 stream function의 값이며 움직이는 좌표계에서는 자유표면이 바로 유선이기 때문에 상수이다. 표현의 간략화를 위하여 L, T, ϕ_p 를 각각 $X(1), X(2), X(3)$ 로 나타내기로 한다.

식 (7)은 어떤 $X(n)$ 들에 대해서도 Laplace equation과 해저면 경계조건 그리고 운동학적 자유표면 조건을 만족하므로 남은 문제는 예상된 파형과 실측된 파형을 가장 잘 일치시키고 동역학적 자유표면 조건을 만족시키도록 $X(n)$ 의 계수들을 최소자승법으로 결정하는 것이다. 이를 위하여 다음과 같이 오차를 정의하면

$$\begin{aligned} E_1(L, T, \phi_p, X(4), \dots, X(N)) \\ \equiv \frac{1}{I} \sum_{i=1}^I (Q_i - \bar{Q})^2 \quad (9) \\ E_2(L, T, \phi_p, X(4), \dots, X(N)) \end{aligned}$$

$$\equiv \frac{1}{I} \sum_{i=1}^I (\eta_{mi} - \eta_{pi})^2 \quad (10)$$

$$\text{여기에서 } \bar{Q} = \frac{1}{I} \sum_{i=1}^I Q_i$$

$$E_T = E_1 + \lambda E_2$$

여기에서 λ 는 E_1 과 E_2 의 상대적인 강도를 정한다. 본 논문에서는 $\lambda=1$ 로 놓았으나 보다 합리적인 계산을 위해서는 E_1 과 E_2 의 상대적 크기가 같도록 λ 값을 정할 수 있다.

이제 E_T 를 최소로 하는 $X(n)$ 들을 구하기 위해서는 초기치를 상정해야 한다. $T(=X(2))$ 는 관측에 의해 구하고 $L(=X(1))$ 은 선형층력과 이론으로부터 결정한다. $X(3), \dots, X(N)$ 들은 최소자승법에 의해 E_2 오차를 최소화 시킴으로써 결정한다. 이렇게 결정된 초기치 $X(1), \dots, X(N)$ 으로 부터 작은 변화량 $\delta X(1), \dots, \delta X(N)$ 을 조정하면서 E_T 를 최소로 하면서 점점 개선된 $X(n)$ 들을 구할 수 있다.

j 번째 근사해를 가지고 $j+1$ 번째 근사해를 결정하는 과정은 다음과 같다. $j+1$ 번째 과정에서 전체오차 E_T 는

$$\begin{aligned} E_T^{(j+1)} = & \sum_{i=1}^I \left\{ \left[(Q_i^{(j)} + \sum_n \frac{\partial Q_i^{(j)}}{\partial X(n)} \delta X(n)^{(j+1)}) \right. \right. \\ & \left. \left. - (\bar{Q}_i^{(j)} + \sum_n \frac{\partial \bar{Q}_i^{(j)}}{\partial X(n)} \delta X(n)^{(j+1)}) \right]^2 \right. \\ & \left. + \lambda \left[(\eta_{pi}^{(j)} + \sum_n \frac{\partial \eta_{pi}^{(j)}}{\partial X(n)} \delta X(n)^{(j+1)}) - \eta_{mi} \right]^2 \right\} \quad (11) \end{aligned}$$

윗식은 N 개의 미지수 $\delta X(n)$ 을 가지고 있다. 여기에 최소자승법을 사용하여 적절한 $\delta X(n)$ 들을 결정할 수 있는 N 개의 연립방정식을 얻을 수 있다.

$$\text{즉 } \begin{cases} \frac{\partial E_T}{\partial \delta X(1)} = 0 \\ \frac{\partial E_T}{\partial \delta X(N)} = 0 \end{cases} \quad (12)$$

윗 식들로부터 결정된 $\delta X(n)$ 들을 j 번째 $X(n)$ 들에 더함으로써 개선된 $X(n)$ 들을 얻을 수 있다.

2.2. 설계파의 경우

실측된 파형을 얻을 수 없을 때나 설계목적상 파의 특성치(파고, 주기, 수심등)를 추정하는 것이 필요할 때 이 추정된 특성치를 바탕으로 파형과 기타 운동학적 특성을 결정할 경우가 있다. 이렇게 특성치에 따라 결정되는 파를 이론파(theoretical wave)라 하며 설계에 이용되는 이론파는 대개 breaking wave에 가까운 파도가 된다. 실측파의 경우와 마찬가지로 파형이 변하지 않는다고 가정하고 움직이는 좌표계를 사용한다. Laplace equation이나 경계조건은 실측파와 같으나 보

통 파고(H), 주기(T), Bernoulli 상수(Q), 물의 깊이(h), 조류의 속도(U), 압력분포($p(x)$)등이 알려져 있다고 가정한다. 따라서 stream function이 약간 다른 모양으로 나타내진다.

$$\phi(x, z) = \left(\frac{L}{T} - U \right) z + \sum_{n=2,4,6}^{N-1} \sinh \frac{\pi n}{L} (h+z) \cdot \left[X(n) \cos \frac{\pi n}{L} x + X(n+1) \sin \frac{\pi n}{L} x \right] \quad (13)$$

$$X(1) = L$$

$$X(N+1) = \phi_\eta$$

윗 식은 어떤 $X(n)$ 의 값에 대해서도 Laplace equation과 해치면 경계조건, 운동학적 자유표면 경계조건을 만족하므로 문제는 동역학적 자유표면 조건을 가장 잘 만족하고 평균수면의 위와 아래의 물의 양이 같도록 하는 $X(n)$ 들을 결정하는 것이다. 이들을 구하는 과정은 먼저와 같이 초기치를 얻을 수 있다고 가정하고, 이 초기치로 부터 작은 변화량 $\delta X(n)$ 들을 결정하면서 원하는 조건을 가장 잘 만족시키는 $X(n)$ 들을 구하는 것이다. 먼저 E_1 을 최소로 하기 위하여 \bar{Q} 가 알려지면 문제가 간단해진다.

$$E_1 = \frac{1}{T} \sum_{n=1}^J \left[\left(Q_i + \sum_n \frac{\partial Q_i}{\partial X(n)} \delta X(n) \right) - \bar{Q} \right]^2 \quad (14)$$

여기에 최소자승법으로 $\delta X(n)$ 들을 결정할 수 있고 $(j+1)$ 번째의 반복으로

$$X^{(j+1)}(n) = X^{(j)}(n) + \delta X(n) \quad (15)$$

이제 $(j+1)$ 번째 파형은 식 (13)에 $x=\eta$ 를 넣음으로써

$$\eta^{(j+1)} = \frac{\phi_\eta^{(j)}}{\left[\left(\frac{L}{T} - U \right) \right]} \cdot \frac{1}{\left[\left(\frac{L}{T} - U \right) \right]} \cdot \sum_n \sinh \frac{\pi n}{L} (h + \eta^{(j+1)}) \cdot \left[X^{(j+1)}(n) \cos \frac{\pi n}{L} x + X^{(j+1)}(n+1) \sin \frac{\pi n}{L} x \right] \quad (16)$$

을 얻는다.

$\eta^{(j+1)}$ 이 결정되면 이제 평균수면 위와 아래의 물의 양이 같아질 조건에 따라 식 (16)을 사용하여 $\phi_\eta^{(j+1)}$ 을 결정할 수 있다.

즉

$$\phi_\eta^{(j+1)} = \frac{1}{L} \int_0^L \sum_n \sinh \frac{\pi n}{L} (h + \eta^{(j+1)}) \cdot \left[X(n) \cos \frac{\pi n}{L} x + \right]$$

$$+ X(n+1) \sin \frac{\pi n}{L} x \cdot dx$$

위의 적분은 Simpson 공식에 의해 행해진다. 이제까지의 과정에서 ϕ_η 와 η 가 각각 다른 단계에서 결정되므로 위의 결과는 정확한 최소자승법의 해라고 할 수 없다. 그러나 몇번의 수치계산으로 좋은 결과를 얻을 수 있다. 또한 이론파는 breaking wave에 가까운 특성치를 가정하는 경우가 많으므로 반복과정에서 해가 불안정하게 진동할 수 있으므로 작은 변화 $\delta X(n)$ 들에 감쇠상수 $\alpha (0 < \alpha < 1)$ 을 곱하여 사용할 필요가 있다.

3. 수치계산 및 토론

3.1. 실측파의 경우

실측된 파형의 자료는 R.G. Dean의 논문에서 사용한 4개의 파형에 관한 자료를 사용하였다. 실측된 파형에 관한 특성치들이 Table 1에 주어져 있다.

계산한 결과는 실측된 파형 및 R.G. Dean의 결과와 함께 Fig. 2, Fig. 3, Fig. 4, Fig. 5에 각각 나타내었다. 각 경우 모두 계산의 간략화를 위하여 큰 중요성이 없는 자유표면의 압력분포 $p(x)$ 와 조류속도 U 를 무시하였다. 또한 계수들은 5차의 항($N=13$)까지 계산하였으나 필요에 따라 어렵지 않게 확장할 수 있을 것이다. 계산결과 실측된 파형 및 R.G. Dean의 결과와 매우

Table 1. Observed wave particulars

Wave no.	파고(H) (ft)	주기(T) (sec)	수심(h) (ft)	입력자료수
1	7	7.2	33	16
2	15	9.0	33	18
3	19	10.8	33	21
4	39	14.0	98	27

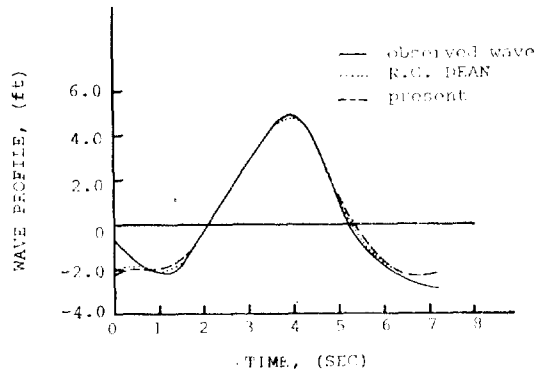


Fig. 2. Wave no. 1

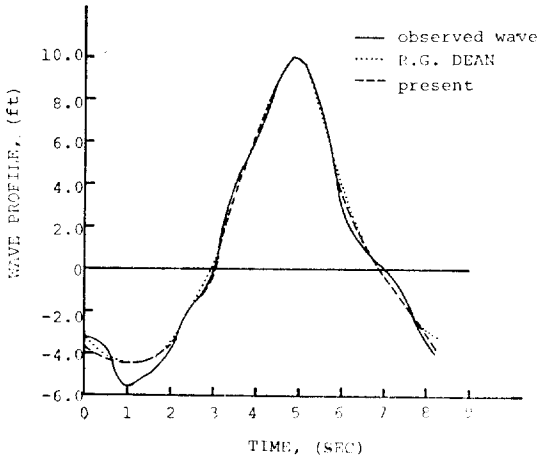


Fig. 3. Wave no. 2

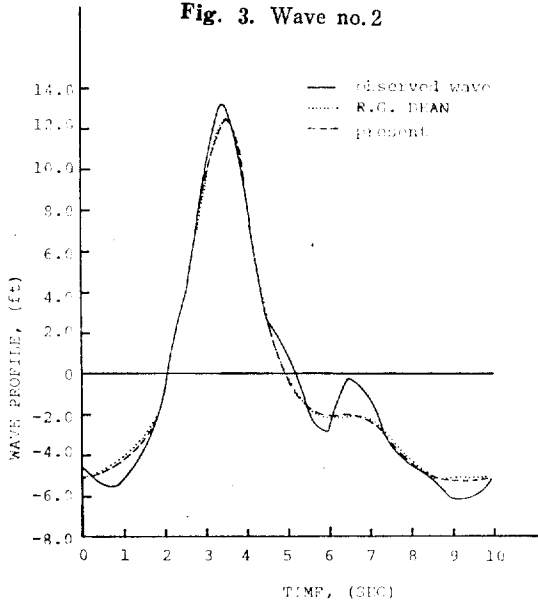


Fig. 4. Wave no. 3

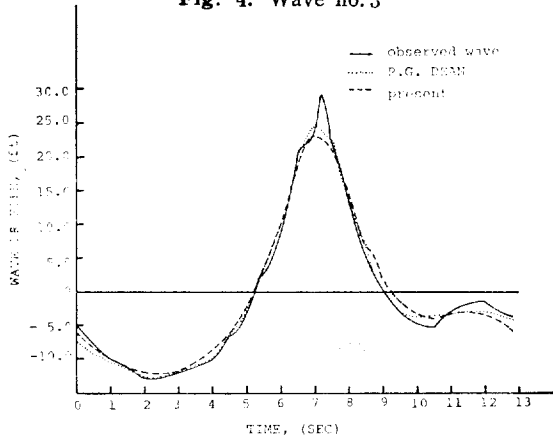


Fig. 5. Wave no. 4

잘 일치하였다. 그러나 Wave no. 1의 경우 4번째 수차 과정까지는 점차 수렴하였으나, 그 이후 급속히 발산하기 시작했다. 이에 대해서는 첫째로 입력자료의 부족(16개)으로 파형의 변화를 충실히 나타내지 못하였고 둘째로 E_1 과 E_2 를 동시에 극소화 시키려는 데서 오는 상반성등이 그 원인이 될 수 있으리라 생각된다. 그러므로 입력자료를 충분히 주고 적절한 λ 의 값을 선택하던 개선된 결과를 가져올 수 있으리라 기대된다. 나머지 Wave no. 2, Wave no. 3, Wave no. 4의 경우는 3~4회의 수차 계산으로 R.G. Dean의 결과와 거의 완전한 일치를 보여 주었다.

3.2. 설계파의 경우

설계 파도의 예로서 Table 2에 주어진 특성치를 갖는 6가지 경우에 대하여 stream function method와 5차 중력파 이론으로 각각 파의 운동학(속도, 가속도)을 계산하고 직경이 1m인 파일에 대하여 Morison's formula에 의한 파랑하중(힘, 모우멘트)를 계산하여 그 결과를 비교 검토하였다. 여기에서 5차 중력파에 대한 이론적 전개 및 수식은 Skjelbreia-Hendrickson [1]의 논문을 이용하였다.

특성치를 가지고 stream function method를 이용하는 경우 초기치 $X(1), X(2), \dots, X(N)$ 을 구하고 E_1 의 오차계산에 필요한 \bar{Q} 의 값을 산정하기 위하여 5차 중력파이론의 파형을 이용하였다.

Table 2. Design wave particulars

Wave no.	파고(H) (m)	Steepness	수심(h) (m)
5	10	0.05	100
6	10	0.10	100
7	10	0.14	100
8	20	0.05	100
9	20	0.10	100
10	20	0.14	100

계산결과는 2~3회의 수차계산으로 곧 수렴하였으며 5차 중력파이론의 결과와 잘 일치하였으나 Wave no. 7의 경우는 stream function method와 5차 중력파 이론이 모두 전산기의 overflow로 인하여 결과를 비교할 수 없었다. 이들중 대표적인 Wave no. 8과 Wave no. 9의 결과를 Table 3과 Table 4에 나타냈다.

Table 3. Wave no.8(파고 20m, 수심 100m, steepness 0.05)의 운동특성과 파랑하중(직경 1m인 파일에 대하여)

높이 (m)		최대수평속도 (m/S)		최대수평가속도 (m/S ²)		단위길이당 힘 (N/m×10 ⁵)		단위길이당모우멘트 (N×10 ⁷)	
S.F.M.	5 차	S.F.M.	5 차	S.F.M.	5 차	S.F.M.	5 차	S.F.M.	5 차
111.14	111.13	5.08	5.08	1.90	1.88	0.13570	0.13573	0.15081	0.15083
100.0	100.0	4.24	4.24	1.60	1.59	0.09378	0.09578	0.09578	0.09578
80.0	80.0	3.12	3.12	1.19	1.18	0.05345	0.05343	0.04276	0.04274
60.0	60.0	2.37	2.37	0.91	0.91	0.03223	0.03221	0.01934	0.01933
40.0	40.0	1.88	1.88	0.73	0.73	0.02169	0.02168	0.00867	0.00867
20.0	20.0	1.62	1.62	0.63	0.63	0.01682	0.01682	0.00336	0.00336
0.0	0.0	1.53	1.53	0.60	0.60	0.01541	0.01541	0.0	0.0

힘의 총합 (N×10 ⁶)		모우멘트의 총합 (N.m×10 ⁵)		모우멘트의 중심 (m)	
S.F.M.	5 차	S.F.M.	5 차	S.F.M.	5 차
0.47732	0.47715	0.36671	0.36657	76.82675	76.82378

Table 4. Wave no.9(파고 20m, 수심 100m, steepness 0.10)의 운동특성과 파랑하중(직경 1m인 파일에 대하여)

높이 (m)		최대수평속도 (m/S)		최대수평가속도 (m/S ²)		단위길이당 힘 (N/m×10 ⁵)		단위길이당모우멘트 (N×10 ⁷)	
S.F.M.	5 차	S.F.M.	5 차	S.F.M.	5 차	S.F.M.	5 차	S.F.M.	5 차
111.69	111.60	7.40	7.40	3.93	3.89	0.28785	0.28806	0.32149	0.32148
100.0	100.0	5.22	5.23	2.80	2.80	0.14710	0.14717	0.14710	0.14717
80.0	80.0	2.90	2.90	1.58	1.58	0.05024	0.05015	0.04020	0.04012
60.0	60.0	1.65	1.64	0.91	0.90	0.02015	0.02011	0.01209	0.01206
40.0	40.0	0.98	0.97	0.54	0.54	0.00997	0.00995	0.00399	0.00398
20.0	20.0	0.65	0.65	0.36	0.36	0.00621	0.00619	0.00124	0.00124
0.0	0.0	0.55	0.55	0.31	0.31	0.00520	0.00519	0.0	0.0

힘의 총합 (N×10 ⁶)		모우멘트의 총합 (N.m×10 ⁵)		모우멘트의 중심 (m)	
S.F.M.	5 차	S.F.M.	5 차	S.F.M.	5 차
0.54300	0.54094	0.49116	0.48900	90.45265	90.39925

4. 결 론

본 논문에서는 stream function method를 소개하고 실측파와 설계파에 대한 운동특성을 수치 계산하였다. 실측파의 자료가 주어진 경우에 대해서는 R.G. Dean의 논문으로부터 취한 실측파형에 대하여 계산한 결과를 실측파형 및 R.G. Dean의 결과와 비교한 바 대체로 일치하였다.

실측자료가 아닌 설계파에 대한 특성치들이 주어진

경우에 대하여 stream function method와 5차 증력파 이론으로 각각 파의 운동학을 계산하고 직경 1m인 파일에 대한 파랑하중을 Morison's formula에 의해 계산하여 비교한 바 stream function method에 의한 결과가 조금씩 큰 값을 보였으나 그 차이는 매우 작은 정도였다.

Stream function method는 수치적 방법으로 계수들을 구해야 하는 점은 있으나 이 점이 바로 이 이론의 장점이기도 하다. 왜냐하면 실제에서 요구되는 임펠도에 따라 임의의 교차이론을 사용할 수 있기 때문이다. 한편 이 이론은 운동학적 자유표면 경계조건을

자동적으로 만족하고 동역학적 자유표면 경계조건도 일반적으로 중력과 이론보다 잘 만족시키므로 자유표면 조건에 관한 한 stream function method가 매우 우수하다 할 수 있다. 특히나 실측 파랑자료가 주어졌을 때에는 실측파의 파형을 충실히 재생할 수 있으므로 stream function method는 해양파를 좀 더 사실적으로 기술한다고 볼 수 있다.

참고문헌

[1] L. Skjelbreia & J. Hendrickson, "Fifth Order

Gravity Wave Theory" Proc. 7th Conf. Coastal Eng., 1961

[2] J.E. Chappellear, "Direct Numerical Calculation of Wave Properties", J. Geophys. Res., Vol. 66, No. 2, 1961

[3] R.G. Dean, "Stream Function Representation of Nonlinear Ocean Waves," J. Geophys. Res., Vol. 70, No. 18, 1965

[4] R.G. Dean, "Relative Validities of Water Wave Theories," J. Waterways & Harbors Div., ASCE, Vol. 96, No. WW1, 1970.

科學技術者倫理要綱

現代的 國家發展에 미치는 科學技術者의 役割의 重要性에 비추어 우리들 科學技術者는 우리들의 行動의 指針이 될 倫理要綱을 아래와 같이 制定하고 힘써 이를 지킴으로써 祖國의 近代化에 이바지할 것을 깊이 銘心한다.

1. 우리들 科學技術者는 모든 일을 最大限으로 誠實하고 公正하게 處理하여야 한다.
2. 우리들 科學技術者는 恒常 專門家로서의 權威를 維持하도록 努力하며 自己가 所屬하는 職場 또는 團體의 名譽를 昂揚하여야 한다.
3. 우리들 科學技術者는 法律과 公共福利에 反하는 어떠한 職分에도 從事하여서는 안되며, 의아스러운 企業體에 自己의 名稱을 빌려주는 것을 拒絕하여야 한다.
4. 우리들 科學技術者는 依頼人이나 雇傭主로부터 取得 또는 그로 因해 얻어진 科學資料나 情報에 對하여는 秘密을 지켜야 한다. 또는 他人의 資料情報을 引用할 때는 그 出處를 밝혀야 한다.
5. 우리들 科學技術者는 誇張 및 無根한 發言과 非權威的 또 眩惑的 宣傳을 삼가야 하며 또 이를 制止하여야 한다. 特히 他人의 利害에 關係되는 評價報告 및 發言에는 慎重을 期하여야 한다.
6. 우리들 科學技術者는 어떠한 研究가 그 依頼者에게 利益이 되지 않음을 아는 경우에는 이를 미리 알리지 아니하고는 어떠한 報酬를 위한 研究도 擔當하지 않는다.
7. 우리들 科學技術者는 祖國의 科學技術의 發展을 위하여 最大限으로 奉仕精神을 發揮하여야 하며 또한 이를 위한 應分의 物質的 協助을 아껴서는 안 된다.