

摩擦과 屈折이 波高에 미치는 影響

The effects of Bottom Friction and Refraction
on the Wave Height

仁荷大學校 大學院 教授 (工博) 姜 瑄 沅

仁荷大學校 大學院 博士課程 咸 慶 宰*

1. 서 론

삼면이 바다로 둘러싸인 우리나라는 국토면적에 비하여 해안선이 긴 편이며 이 때문에 많은 항만이 개발 되어있다. 앞으로의 경제발전에 따라 국내의 화물 수송량이 더욱 더 늘어날 것이며 이로인한 항만의 증설 또는 확장공사가 불가피할 것으로 사료된다. 따라서 각종 항만 구조물 설계에 있어 기본자료가 되는 각 수심에 따른 정확한 파고가 필요할 것이다.

본 연구에서의 파고계산 방법은 일종의 스펙트럼법이며 이론적으로 다른 방법의 파고계산보다 우수하지만 계산의 정도가 높아짐에 따른 계산시간의 증대와 바람의 영향을 고려할 경우 난점이 있다.

지금까지의 파고계산의 경우 격자망을 설치하는 경우가 많으나 이는 컴퓨터에서 커다란 기억용량을 요구하게 되며 따라서 그 적용에 제한을 받게 된다.

그러나 여기에서는 파의 진행점에서 직접 필요한 값을 계산하기 때문에 대응량의 컴퓨터가 필요하지는 않으나 바닥의 지형을 수식화할 필요가 있다. 실제 지형의 적용으로는 바닥의 기울기를 해도상의 수심을 이용하여 최소자승법으로 구한 후에 파고변화를 계산하였다.

그리고 지금까지의 대부분의 파고변화를 추적하는 방법들의 계산은 심해로부터 시작 되는 것이 보통이나 여기에서의 방법은 어떠한 수심에서도 계산의 시작이 가능한 것이다.

본 연구에서는 파의 거동을 검토하기 위한 예로서 해저 동심선이 직선이면서 서로 평행한 경우 중, 해저 바닥이 수평일 경우와 기울기를 갖는 경우, 그리고 SINE곡선일 경우에 대하여 파의 진로와 이에 따른 파고의 변화를 계산한 후에 이 결과를 도시 (automatic plot)하였는데 이는 단조로운 해저경사의 경우와 해저경사를 수식화할 수 있을 경우의 적용 가능성을 뜻한다.

그리고 본 연구에서는 조류의 영향을 고려하지 않았으며 실제 지형의 적용은 간만의 차가 작은 동해안의 포항, 삼척 그리고 제주도의 한림항에 대하여 계산 하였다.

2. 이 론

2.1 기본가정

여기에서는 미소진폭파를 다루었으며 다음과같은 가정하에 연구를 진행하였다.

i) 조류와 바람 및 침투에 의한 영향은 무시하며 바닥의 마찰에 의한 영향은 고려한다.

ii) 굴절과 잔수에 의한 영향은 파의 초기 입사각과 수식화된 해저지형만을 고려하여 계산한다.

iii) 진행파가 서로 교차할 경우, 교차하기 전까지의 파의 거동을 고려한다.

i v) 수면의 곡률은 무시한다.

2.2 이론식의 전개

여기에서는 c 가 파속이고, k 가 파수, T 가 주기, g 는 중력가속도일때 다음과 같이 나타내어지는 파를 다룬다.

$$c = \sqrt{\frac{g}{k} \tanh kh} \quad \text{또는} \quad c = \frac{gT}{2\pi} \tanh \frac{2\pi h}{cT} \quad \text{----- (1)}$$

그림 1에서 파의 진행방향 및 파봉선 방향의 미소거리를 각각 Ds , Df 라 할때 파 진행속도 c 와 파의 미소진행거리 Ds 의 상관 관계는 식(2)와 같다.

$$Ds = c \cdot dt \quad \text{----- (2)}$$

그림 1에서 A 를 파 진행방향(파향선)과 x 축이 이루는 각이라 하면 다음과 같은 기본식이 성립하게된다.

$$\frac{dx}{dt} = c \cdot \cos A \quad \text{----- (3)}$$

$$\frac{dy}{dt} = c \cdot \sin A \quad \text{----- (4)}$$

$$\frac{dA}{dt} = \frac{\partial c}{\partial x} \sin A - \frac{\partial c}{\partial y} \cos A \quad \text{----- (5)}$$

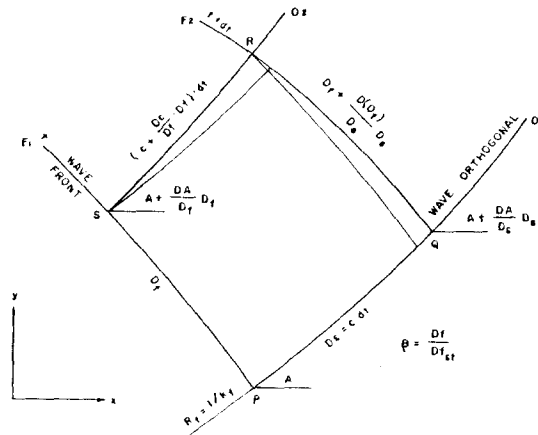


FIG. 1. ADJACENT WAVE ORTHOGONALS & FRONTS

또 Munk와 Arthur는 파봉선 거리비(Wave orthogonal separation factor) β 를 독립변수인 파의 진행거리 s 로 표시한 2계 상미분 방정식을 유도하였다.

$$\frac{D^2 \beta}{Ds^2} + P_s \frac{D\beta}{Ds} + Q_s \beta = 0 \quad \text{----- (6)}$$

$$P_s = -\frac{1}{c} \left(\frac{\partial c}{\partial x} \cos A + \frac{\partial c}{\partial y} \sin A \right) \quad \text{----- (7)}$$

$$q_x = \frac{1}{c} \left(\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} \sin^2 A - \frac{\partial^2 c}{\partial x \partial y} \cdot 2 \sin A \cdot \cos A + \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} \cos^2 A \right) \quad \text{----- (8)}$$

$$\beta = \frac{D_x^2}{D_x^2 + D_y^2} \quad \text{----- (9)}$$

이 미분 방정식을 독립변수 t 를 사용하는 식으로 바꾸어 주면 다음과 같이 된다.

$$\frac{d^2 \beta}{dt^2} + P_x \frac{d\beta}{dt} + q_x \beta = 0 \quad \text{----- (6-a)}$$

$$P_x = -2 \left(\frac{\partial c}{\partial x} \cos A + \frac{\partial c}{\partial y} \sin A \right) \quad \text{----- (7-a)}$$

$$q_x = c \left(\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} \sin^2 A - \frac{\partial^2 c}{\partial x \partial y} \cdot 2 \sin A \cdot \cos A + \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} \cos^2 A \right) \quad \text{----- (8-a)}$$

식 (1)로부터 $\frac{dc}{dh}$, $\frac{d^2c}{dh^2}$ 를 구하면

$$\frac{dc}{dh} = \frac{c}{h} \frac{\frac{2kh}{\sinh 2kh}}{1 + \frac{2kh}{\sinh 2kh}} \quad \text{----- (10)}$$

$$\frac{d^2c}{dh^2} = -\frac{dc}{dh} \frac{2g}{c \left(1 + \frac{2kh}{\sinh 2kh} \right)^2} \quad \text{----- (11)}$$

이며 식 (5), (7-a), (8-a)는 다음과 같이 된다.

$$\frac{dA}{dx} = \frac{dc}{dh} \left(\frac{\partial h}{\partial x} \sin A - \frac{\partial h}{\partial y} \cos A \right) \quad \text{----- (5-b)}$$

$$P_x = -2 \frac{dc}{dh} \left(\frac{\partial h}{\partial x} \cos A + \frac{\partial h}{\partial y} \sin A \right) \quad \text{----- (7-b)}$$

$$q_x = c \frac{dc}{dh} \left(\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} \sin^2 A - \frac{\partial^2 h}{\partial x \partial y} \cdot 2 \sin A \cdot \cos A + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} \cos^2 A \right) + c \frac{d^2c}{dh^2} \left(\frac{\partial h}{\partial x} \sin A - \frac{\partial h}{\partial y} \cos A \right)^2 \quad \text{----- (8-b)}$$

식 (6-a)를 두개의 1계 상미분 방정식으로 바꾸면 다음과 같다.

$$\frac{d}{dt} (\beta) = \frac{d\beta}{dt} \quad \text{----- (12)}$$

$$\frac{d}{dx} \left(\frac{d\beta}{dt} \right) = -P_x \frac{d\beta}{dt} - q_x \beta \quad \text{----- (13)}$$

파봉선의 단위 길이당 에너지 전달량 P 는 반사를 무시할 경우 다음과 같다.

$$P = \rho \cdot g \cdot \frac{H^2}{8} \cdot c \left(1 + \frac{2kh}{\sinh 2kh} \right) \quad \text{----- (14)}$$

여기서 초기치에 대한 에너지 전달량의 비를 구하여 파고비를 구하면 다음과 같이 된다.

$$\frac{H}{H_{st}} = K_s \cdot K_r \cdot K_f \quad \text{----- (15)}$$

여기서 K_s 는 잔수계수 (shoaling coefficient), K_r 은 굴절계수 (refraction coefficient), K_f 는 마찰계수 (friction coefficient)

efficient)라 부르고 있다.

바닥의 마찰에 의한 단위 시간당 단위 수평면적에서의 평균 에너지 손실을 E_f 라 하면 식(16)과 같이 쓸 수 있다.

$$\frac{D}{D_0} (P D_f) = -E_f \cdot D_f \quad \text{----- (16)}$$

그리고 초기치인 $P_{s1} D_{f_{st}}$ 은 일정하다고 볼 수 있으므로 다음과 같이 된다.

$$\frac{d}{dt}(K_f) = -\frac{c}{\sigma} \cdot E_f \cdot \frac{1}{P} \cdot K_f \quad \text{----- (17-a)}$$

여기서 바닥의 마찰에 의한 에너지 손실은

$$E_f = \frac{2}{3\pi} \cdot \rho \cdot f_e \cdot U_{bm}^2 \quad \text{----- (18)}$$

이며 U_{bm} 은 바닥에서의 수입자의 최대 수평속도, f_e 는 에너지 손실계수이다. 미스진족과 이론에 의하면 U_{bm} 과 바닥에서의 수입자의 최대진폭 a_{bm} 은 다음과 같다.

$$U_{bm} = \frac{\pi H}{T \cdot \sin h kh} \quad \text{----- (19)}$$

$$a_{bm} = \frac{H}{2 \cdot \sin h kh} \quad \text{----- (20)}$$

따라서 식(19), (20)을 이용하면 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$E_f = \frac{4}{3} \cdot \rho \cdot f_e \cdot a_{bm} \frac{\pi^2 H^2}{T^3 \sin h^2 kh} \quad \text{----- (21)}$$

식(14)와 (21)을 이용하여 식(17-a)를 다시 정리하면 다음과 같은 비선형 미분 방정식이 된다.

$$\frac{d}{dt}(K_f) = -\frac{8}{3cT} \cdot f_e \cdot a_{bm} \cdot \frac{dc}{dh} \cdot K_f \quad \text{----- (17-b)}$$

2.3 에너지 손실계수와 바닥의 조도

파 마찰인자(wave friction factor) f_w 는 바닥의 최대 전단응력에 대한 다음과 같은 식으로부터 정의된다.

$$\tau_{wm} = f_w^{1/2} \cdot \rho \cdot U_{bm}^2 \quad \text{----- (22-a)}$$

$$\tau_{wm} = \frac{1}{2} \cdot f_w \cdot \rho \cdot U_{bm}^2 \quad \text{----- (22-b)}$$

파 마찰인자 f_w 에 대한 반경험적인 공식으로서, k_N 을 Nikuradse의 조도계수라 할때 Jonsson은 f_e 를 다음과 같은 관계식으로 나타내고 있다.

$$\frac{1}{4\sqrt{f_e}} + \log \frac{1}{4\sqrt{f_e}} = -0.08 + \log \frac{a_{bm}}{k_N} \text{ ----- (23)}$$

여기서 극한값은 $a_{bm} / k_N = 1.986757$ 이며 이 값보다 적을 때는 f_e 가 0.24로 일정하다.

일반적으로 자연상태의 해저지형에서는 $1 \text{ cm} < k_N < 20 \text{ cm}$ 이며, 여기에서는 $k_N = 0.5 \sim 25 \text{ cm}$ 에 대해 검토하였다.

3. 수치계산의 방법

수치계산은 TRS-80 Microcomputer를 사용하였다. 프로그램중 SUBROUTINE은 IBM SYSTEM/360 SCIENTIFIC SUBROUTINE PACKAGE의 DRTWI, DRTNI, DHPCG를 이용하였다.

파동의 계산은 단계별로 반복하여 행하게 되며 식(1)의 파속과 식(23)의 에너지 손실계수는 따로 SUBROUTINE을 두어 계산하였다. 파속은 Wegstein방법으로, 에너지 손실계수는 Newton방법으로 각각 계산 하였는데 두 방법 모두 구하려는 근으로의 수렴 속도가 빠르기 때문에 다른 방법에 비하여 계산시간이 적게돈다.

파동을 지배하는 식(3), (4), (5), (12), (13), (17-b)는 모두 1계 상미분 방정식이다. 이 식들은 같은 조건에서 동시에 계산 되어져야 하며, 각 미분 방정식의 계산은 Hamming의 예측 정정 방법(Hamming's modified predictor-corrector method)를 이용하였다. 진행파의 계산은, 주어진 초기치를 가지고 시작하며 그 다음 단계 부터는 바로 전 단계 에서의 근을 사용하는 방법을 반복하면서 행하여지며 다음과 같은 조건을 만족하도록 하여야 한다.

- (1) 파가 고려하는 영역의 경계에 도달 하였을 경우 계산을 정지한다.
- (2) 파가 쇄파영역에 도달하였을 경우 계산을 정지한다.
- (3) 두개의 인접 진행파가 교차할경우 교차하기 직전에 계산을 정지한다.
- (4) 파가 잔해영역에 도달 하였을 경우에도 계산을 정지한다.

4. 결 과

4.1 해저지형의 형태에 따른 파고변화

여기에서는 간단한 바닥 형태의 예로서 해저지형이 수평인 경우, 경사진 평면인 경우, SINE곡선인 경우의 각각에 대하여 진행파의 경로및 이에 따른 파고를 계산하였다.

표 1, 2, 3은 각 해저지형에 대하여 시간(t)에 따른 파의 진행위치(x, y) 및 중심(h), 파속(c), 파고(H), 파봉선 거리(Df)를 계산한 것이며 그림 2, 3, 4는 표 1, 2, 3과 굴절각 및 파봉선 거리의 변화를 이용하여 진행파의 거동을 그림으로 나타낸 것이다.

그림 2, 3, 4에서 중앙부분은 진행파와 이에 인접한 파($Df = 100 \text{ m}$)의 진행경로를 나타내며 하단부분은 해저지형의 형태를 나타낸다. 그리고 상단과 우측부분은 x 및 y방향에 따른 파고 변화를 나타내고 있는데 그림 3, 4에서의 점선은 Kf를 고려하지 않았을때의 파고 변화를 나타내며, 따라서 점선과 실선과의 차는 해저 마찰에 의한 에너

지 손실이 된다. 그리고 그림 2의 경우 파고 변화는 K_f 에 의하여 계산된 것이다. 여기에서, 세가지 해저지형에 대한 파동의 계산은 초기파고 1m, 주기 8초, 조도 0.1m이고 파의 입사각이 60° 일때 구하여진 것이다.

4.2 실제 지형에의 적용

실 지형에의 적용으로 동해안의 포항, 삼척 그리고 제주도의 한림항에 대하여 계산하여 보았다. 해저경사 표시식은, 이들 각항의 파랑 굴절도에서 굴절이 가장적인 진행파의 경로를 선택하여 각 진행경로에 대한 수심을 이용하여 최소 자승법으로 구하였다.

표 4.5.6은 심해파의 파고 H_0 및 주기 T_0 를 사용하여 각 수심 h 에 대한 추적법 및 Wilson법에 의한 파고 H_1 과 각 조도 조건에 대하여 본 연구에서 계산한 파고 H_2, H_3, H_4 를 나타내고 있다. 그리고 *가 표시된 것은 쇄파고 임을 나타낸다.

표 4.5.6에서의 파고 H_1 은 굴절의 영향이 고려된 추정치이며, H_2, H_3, H_4 의 계산은 가장 굴절이 적은 파의 경로를 선택 하였으며, H_2 는 바닥의 마찰을 고려하지 않은 계산치인 반면 H_3 및 H_4 의 계산은 마찰력이 고려되었다.

TABLE 1. WAVE ORTHOGONAL PATH AND WAVE HEIGHT VARIATION DUE TO FRICTION OVER HORIZONTAL BOTTOM.

t(sec.)	x(m)	y(m)	h(m)	c(m/sec.)	H(m)	Df(m)
0	0.00	0.00	45.00000	12.4029	1.000000	100.000
10	62.01	107.41	45.00000	12.4029	0.999962	100.000
20	124.03	214.82	45.00000	12.4029	0.999924	100.000
30	186.04	322.24	45.00000	12.4029	0.999886	100.000
40	248.06	429.65	45.00000	12.4029	0.999848	100.000
50	310.07	537.06	45.00000	12.4029	0.999810	100.000
60	372.09	644.47	45.00000	12.4029	0.999772	100.000
70	434.10	751.88	45.00000	12.4029	0.999734	100.000
80	496.12	859.30	45.00000	12.4029	0.999697	100.000
90	558.13	966.71	45.00000	12.4029	0.999659	100.000
100	620.14	1074.12	45.00000	12.4029	0.999621	100.000
110	682.16	1181.53	45.00000	12.4029	0.999583	100.000
120	744.17	1288.94	45.00000	12.4029	0.999545	100.000
130	806.19	1396.36	45.00000	12.4029	0.999507	100.000
140	868.20	1503.77	45.00000	12.4029	0.999469	100.000
150	930.22	1611.18	45.00000	12.4029	0.999431	100.000
160	992.23	1718.59	45.00000	12.4029	0.999393	100.000
170	1054.24	1826.00	45.00000	12.4029	0.999355	100.000
180	1116.26	1933.41	45.00000	12.4029	0.999317	100.000
190	1178.27	2040.83	45.00000	12.4029	0.999279	100.000
200	1240.29	2148.24	45.00000	12.4029	0.999242	100.000
210	1302.30	2255.65	45.00000	12.4029	0.999204	100.000
220	1364.32	2363.06	45.00000	12.4029	0.999166	100.000
230	1426.33	2470.47	45.00000	12.4029	0.999128	100.000
240	1488.34	2577.89	45.00000	12.4029	0.999090	100.000
250	1550.36	2685.30	45.00000	12.4029	0.999052	100.000
260	1612.37	2792.71	45.00000	12.4029	0.999014	100.000
270	1674.39	2900.12	45.00000	12.4029	0.998976	100.000
280	1736.40	3007.53	45.00000	12.4029	0.998939	100.000
290	1798.42	3114.95	45.00000	12.4029	0.998901	100.000
300	1860.43	3222.36	45.00000	12.4029	0.998863	100.000
310	1922.44	3329.77	45.00000	12.4029	0.998825	100.000
320	1984.46	3437.18	45.00000	12.4029	0.998787	100.000

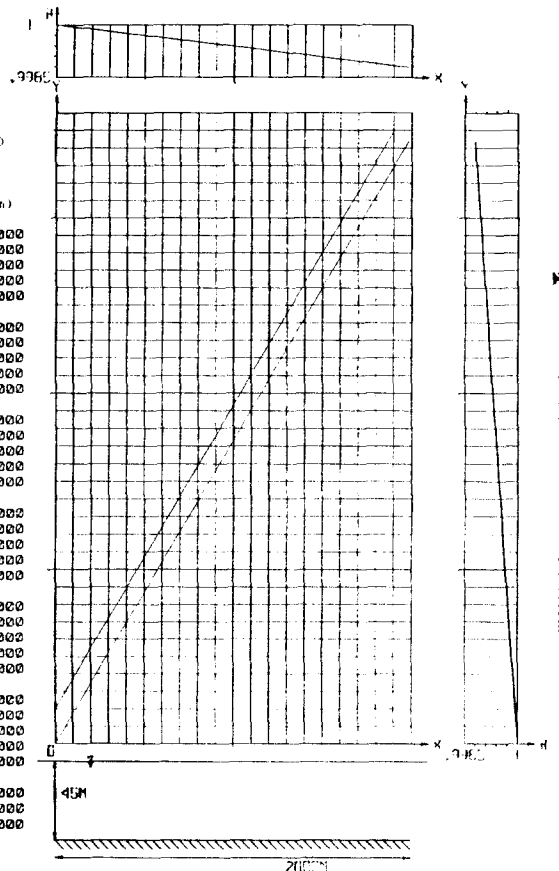


FIG. 2 TWO WAVE ORTHOGONALS OVER HORIZONTAL BOTTOM

TABLE 2. WAVE ORTHOGONAL PATH AND WAVE HEIGHT VARIATION DUE TO FRICTION, REFRACTION AND SHOALING OVER PLANE SLOPING BOTTOM.

t(sec.)	x(m)	y(m)	h(m)	c(m/sec.)	H(m)	Df(m)
0	0.00	0.00	45.00000	12.4029	1.000000	100.000
10	62.08	107.30	43.75840	12.3893	0.996455	100.327
20	124.31	214.34	42.51390	12.3736	0.992460	100.705
30	186.70	321.10	41.26610	12.3554	0.988001	101.140
40	249.28	427.51	40.01450	12.3343	0.983008	101.641
50	312.07	533.53	38.75860	12.3098	0.977439	102.217
60	375.11	639.10	37.49770	12.2815	0.971266	102.879
70	438.43	744.15	36.23130	12.2498	0.964425	103.636
80	502.07	848.59	34.95860	12.2110	0.956879	104.503
90	566.06	952.35	33.67890	12.1674	0.948600	105.492
100	630.44	1055.30	32.39120	12.1169	0.939537	106.617
110	695.26	1157.34	31.09480	12.0588	0.929682	107.896
120	760.56	1258.32	29.78880	11.9917	0.919021	109.343
130	826.40	1358.10	28.47210	11.9145	0.907542	110.977
140	892.80	1456.50	27.14400	11.8256	0.895277	112.817
150	959.82	1553.32	25.80360	11.7233	0.882249	114.879
160	1027.49	1648.35	24.45020	11.6058	0.868532	117.184
170	1095.83	1741.34	23.08350	11.4708	0.854189	119.747
180	1164.85	1832.00	21.70300	11.3160	0.839346	122.566
190	1234.54	1920.05	20.30930	11.1387	0.824159	125.713
200	1304.86	2005.15	18.90290	10.9358	0.808875	129.140
210	1375.73	2088.94	17.48540	10.7041	0.793523	132.873
220	1447.04	2165.03	16.05930	10.4400	0.778965	136.910
230	1518.59	2239.01	14.62810	10.1396	0.764902	141.243
240	1590.16	2308.46	13.19690	9.7991	0.751886	145.855
250	1661.40	2372.96	11.77210	9.4143	0.740309	150.717
260	1731.89	2432.10	10.36220	8.9812	0.730600	155.787
270	1801.12	2485.49	8.97764	8.4960	0.723259	161.006
280	1868.45	2532.80	7.63093	7.9555	0.718817	166.304
290	1933.16	2573.81	6.33680	7.3572	0.717892	171.593
300	1994.40	2608.37	5.11193	6.6994	0.721109	176.769

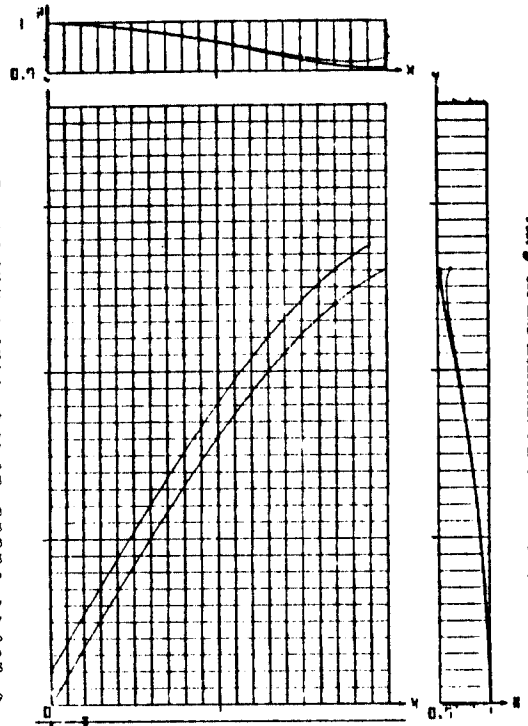


FIG. 3 TWO WAVE ORTHOGONALS OVER PLANE SLOPING BOTTOM

TABLE 3. WAVE ORTHOGONAL PATH AND WAVE HEIGHT VARIATION DUE TO FRICTION, REFRACTION, AND SHOALING OVER SINUSOIDAL THRESHOLD.

t(sec.)	x(m)	y(m)	h(m)	c(m/sec.)	H(m)	Df(m)
0	0.00	0.00	45.00000	12.4029	1.000000	100.000
10	62.03	107.39	44.66880	12.3994	0.999049	100.003
20	124.12	214.66	43.68630	12.3885	0.996191	100.347
30	186.37	321.66	42.08510	12.3676	0.990962	100.847
40	248.89	428.19	39.91740	12.3325	0.982631	101.683
50	311.84	533.93	37.25280	12.2756	0.970151	103.018
60	375.44	638.43	34.17460	12.1850	0.952311	105.094
70	440.01	740.99	30.77870	12.0434	0.928064	108.231
80	505.91	840.59	27.17500	11.8278	0.897302	112.772
90	573.48	935.85	23.49580	11.5134	0.861663	118.948
100	642.84	1025.14	19.90770	11.0834	0.824890	126.664
110	713.68	1106.94	16.61490	10.5468	0.792061	135.302
120	785.23	1180.36	13.83470	9.9562	0.767149	143.766
130	856.53	1245.72	11.74780	9.4073	0.751062	150.803
140	927.00	1304.73	10.45810	9.0125	0.741591	155.434
150	996.77	1360.22	10.00090	8.6807	0.735562	157.126
160	1066.50	1415.54	10.38050	8.9872	0.731755	155.719
170	1136.89	1474.09	11.59360	9.3625	0.732084	151.345
180	1208.13	1538.77	13.60960	9.9018	0.740050	144.497
190	1279.69	1611.40	16.33210	10.4931	0.757963	136.116
200	1350.64	1692.45	19.58640	11.0376	0.784941	127.441
210	1420.15	1781.11	23.15610	11.4785	0.817155	119.605
220	1487.89	1875.88	26.83440	11.8031	0.849684	113.274
230	1553.94	1975.14	30.45110	12.0269	0.878404	108.588
240	1618.61	2077.47	33.87120	12.1743	0.901413	105.335
250	1682.29	2181.83	36.98310	12.2688	0.918516	103.175
260	1745.29	2287.48	39.68990	12.3283	0.930552	101.783
270	1807.84	2393.95	41.90680	12.3651	0.938625	100.909
280	1870.11	2500.91	43.56310	12.3870	0.943717	100.383
290	1932.22	2608.16	44.60470	12.3988	0.946534	100.099
300	1994.24	2715.55	44.99720	12.4028	0.947517	100.001

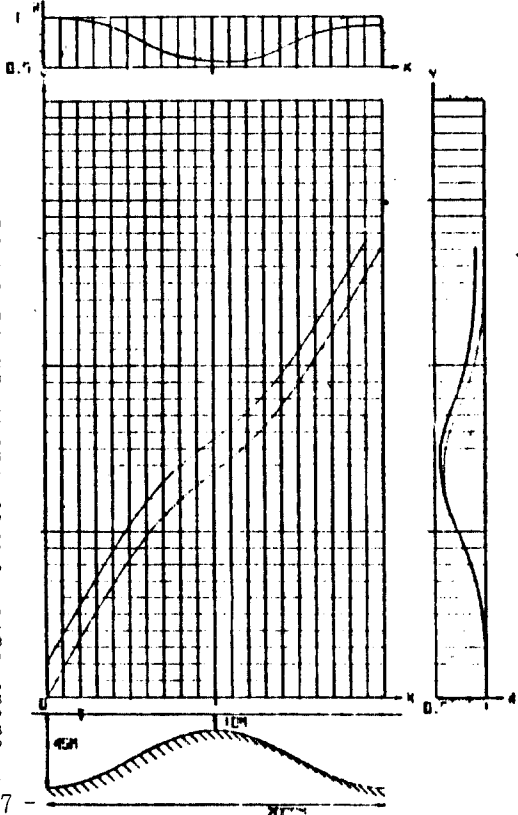


FIG. 4 TWO WAVE ORTHOGONALS OVER SINUSOIDAL BOTTOM

Table 4. Pohang

$H_0(m)$	$T_0(sec.)$	$h(m)$	$H_1(m)$	$H_2(m)$	$H_3(K_N=.02)(m)$	$H_4(K_N=.2)(m)$
7	12	6	3.941*	5.913*	4.367	3.388
		8	4.165	5.581	4.566	3.815
		10	4.288	5.354	4.671	4.110
		15	4.480	5.015	4.782	4.558
		20	4.830	4.830	4.830	4.830

Table 5. Samchuck

$H_0(m)$	$T_0(sec.)$	$h(m)$	$H_1(m)$	$H_2(m)$	$H_3(K_N=.02)(m)$	$H_4(K_N=.2)(m)$
8	14	6	8.104*	9.439*	8.780*	8.305*
		8	8.032*	8.876*	4.471*	8.161*
		10	7.920*	8.482*	8.222	8.014
		15	7.712	7.867	7.788	7.719
		20	7.520	7.520	7.520	7.520

Table 6. Hanlim

$H_0(m)$	$T_0(sec.)$	$h(m)$	$H_1(m)$	$H_2(m)$	$H_3(K_N=.02)(m)$	$H_4(K_N=.2)(m)$
6	12	6	4.464	5.256*	4.788	4.396
		8	4.326	4.961	4.671	4.408
		10	4.242	4.760	4.572	4.392
		15	4.236	4.459	4.399	4.338
		20	4.302	4.302	4.302	4.302

5. 결론

여러 인자들의 복합적인 상관 관계로 인하여 이루어지는 파고의 변화를 정확하게 계산한다는 것은 어려운 문제이나 파고변화에 큰 영향을 미치는 바닥의 마찰을 고려하기 위하여 바닥 형태를 주는 식을 이용하였으며 실제로 적용시키는 방법을 검토한 결과는 다음과 같다.

(1) 바닥이 수평인 경우를 제외하고는 수심이 얕아지면서 굴절이 파고에 미치는 영향은 커진다.

(2) 해저지형에 따라 정도의 차이는 있으나 마찰계수는 파가 진행 함에따라 계속 감소한다. 그러므로 파가 진행 함에따라 마찰을 고려했을 경우와 고려하지 않았을 경우와의 파고차는 점차 증대된다.

(3) 파가 진행하면서 수심이 계속 감소한다면, 굴절과 마찰이 파고에 미치는 영향은 점점 커지게 된다. 특히 해저경사가 완만한 곳에서는 파의 진행 거리가 길어 지므로 마찰에 의한 영향은 더 커지게 된다.

(4) 해저지형의 수직화는 등심선이 서로 평행인 경우를 취급 하였으나 평행이 아닌 경우도 적용 가능하다. 이경우 실제 지형에의 응용 범위가 좀더 늘어날 수 있을 것으로 믿어지며 이점에 대하여는 계속 연구할 것이다.