

〈학술정보〉

內海域에서의 波浪豫測 電算프로그램

A Computer Program for Wave Forecasting in Sheltered Water Bodies

金 泰 麟*

우리나라 서·남해안은 근래 진행되고 있는 간척, 임해공업단지조성과 함께 가까운 장래에 본격화될 해양개발과 더불어 활발한 산업 및 경제활동의場이 될 것으로 보인다. 서·남해 연근해의 이용도와 해상 활동이 증가됨에 따라 방조제, 해안보호 및 이용시설, 항만, 갑문 및 연안정박시설, 저유 및 송유시설, 해상공원, 교량 및 해저터널, 해상도시 등의 건설소요도 크게 증가할 전망이다. 이러한 구조물의 설계에 긴요한 것이 합리적인 設計波浪 (Design Wave)의 결정이다.

우리나라 서·남해안 및 연안해역은 많은 섬들과 반도로 外海와 격리되어 있는 지역이 많다. 이러한 內海에 건설되는 구조물에 대한 설계파랑은 급격히 이동하는 풍역 (태풍 등)에 대해 수치해석적 방법을 사용하거나 (1), 定常상태의 풍역에 대해 Bretschneider의 淺海波浪추산모델 (2)로 부터 구하고 있다. 태풍이 서·남해안을 통과하는 경우 지상관측소에서의 풍향은 대체적으로 최대풍속발생시각 부근의 5~6시간동안 동일한 취송역으로 취급할 수 있는 22.5° 미만의 것으로 알려져 있다. (3) 따라서 태풍에 대하여 內海에서의 설계파랑을 예측할때도 Bretschneider의 모델을 사용할 수 있을 것이다.

현재 Bretschneider法에 의한 淺海에서의 파랑추산은 美육군공병단에서 제시한 일정수심에서의 계산

도표 (4)를 이용하여 근사적으로 구하거나, 취송역을 수심에 따라 여러 구간으로 나누어 파랑의 발달 과정을 手計算에 의해 추적하고 있다. 본고에서는 이러한 불편을 해소하고 신속하고 보다 정확한 계산을 수행할 수 있는 간단한 전산프로그램을 소개하고자 한다.

1. 理論的 배경

1954년에 Bretschneider(5)는 Svedrup과 Munk (6)가 제안한 심해파랑모델과 淺海에서의 마찰에 의한 파랑에너지의 감쇄이론을 연결하여 淺海에서의 파랑발달모델을 세웠으며 이는 淺海에서의 파랑예측의 시초가 되었다. 이들 모델들은 1970년대까지 실측자료에 맞게 修正되었으며 이를 요약하면 다음과 같다.

(1) S-M-B의 심해파랑모델

Svedrup과 Munk (6)의 최초심해파랑모델은 Bretschneider (2)에 의해 개선되어 S-M-B 법으로 불리어지게 되었으며, 1976년에 북해에서의 대규모 파랑관측사업의 결과를 이용한 Hasselmann 등 (7)의 修正을 거쳐 다음과 같은 관계식이 정립되었다. (4)

$$\frac{gH_s}{U_A^2} = 1.6 \times 10^{-3} \left(\frac{gF}{U_A^2} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

*陸軍士官學校 土木工學科 副教授

$$\frac{gT_m}{U_A} = 0.2857 \left(\frac{gF}{U_A^2} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (2)$$

$$\frac{gt}{U_A} = 68.8 \left(\frac{gF}{U_A^2} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (3)$$

여기서 H_s = Spectral 有意波高, T_m = 파랑스펙트럼의 peak에 해당하는 週期, F = 吹送거리, $t = F$ 내에서 온전히 풍파가 발달하는데 소요되는 최소취송시간, U_A = 마찰인수 (Wind Stress Factor), 그리고 g = 중력가속도이다.

有意波의 주기 T_s 와 스펙트럼의 peak주기 T_m 과는 다음과 같은 관계가 있다.

$$T_s = 0.95 T_m \quad (4)$$

식 (1)-(3)에서 마찰인수 U_A 는 해상에서 해상풍과 해수표면과의 마찰효과 (Drag Meffect)를 고려한 조정된 풍속을 말하며 해면상 10m에서의 해상풍속 U_w 와 다음과 같은 관계가 있다.

$$U_A = 0.71 U_w^{1.23} \quad (U \text{의 단위는 m/s}) \quad (5)$$

(2) Bretschneider의 淺海파랑모델

Bretschneider는 淺海에서의 波浪의 발달을 바람으로부터의 에너지 공급에 의한 波浪의 成長과 해저마찰에 의한 減衰의 과정으로 생각하였다. 吹送域의 어느 區間에서의 波浪의 成長은 S-M-B 심해파랑모델에 의해 예측할 수 있고, 마찰에 의한 波浪의 減衰는 다음 식에 의해 계산하도록 제안되었다. (5)

$$K_r = \frac{H_2}{H_1} = \left[1 + \frac{64\pi^3}{3g^2} \frac{5H_1 \Delta X}{T^4} \frac{K_s^2}{\sinh^3(2\pi d/L)} \right]^{-1} \quad (6)$$

여기서 H_1 과 H_2 는 區間の 始點과 終點에서의 波高이고 ΔX 는 區間の 길이, 그리고 T , d , L 은 區間에서의 平均 週期, 水深, 波長이다. 마찰계수 $f=0.01 \sim 0.02$ 의 값을 가지며 淺水條數 K_s 는 다음식으로 주어진다.

$$K_s = \left[\left(1 + \frac{4\pi d/L}{\sinh(4\pi d/L)} \right) \tanh(2\pi d/L) \right]^{-1/2} \quad (7)$$

Bretschneider는 해저마찰계수의 값을 파랑의 실측치와 비교계산에 의해서 $f=0.01$ 로 제안하였다. 그는 이 방법을 전산기에 의해 수행하여 일정수심의 경우 및 해저가 일정경사로 알아지는 경우에 대한 취송거리와 파고관계의 도표를 작성하였다. Bretschneider (2)의 이 최초의 도표들은 S-M-B법 (5)의 초기관계식들에 기초를 둔 것이었으나 미 육군 공병단 (4)에서는 Hasselmaun등 (7)에 의해 수정된 S-M-B법의 취송거리-풍속-파고-주기간의 관계식 (1)-(3)을 이용하여 Bretschneider의 곡선들을 수정하였으며, 일정수심의 경우의 계산도표는 그림1과 그림2에 보인바와 같다.

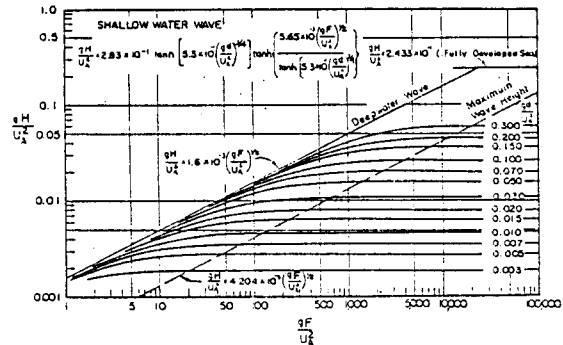


그림 1 일정수심에서 취송거리에 따른 유의파의파고예측곡선

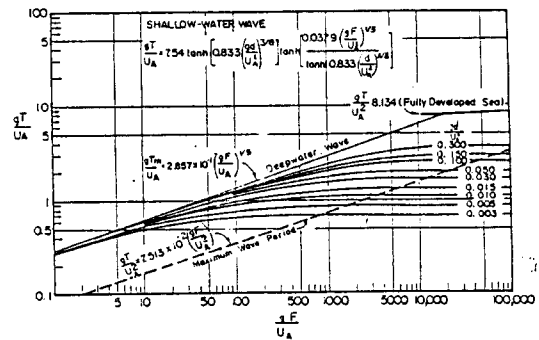


그림 2 일정수심에서 취송거리에 따른 유의파의 주기 예측

그림1과 그림2는 일정수심에서 일정한 바람이 불 때 취송거리에 따른 파랑의 발달을 보여 준다. 취송

거리가 일정한 값에 이르면 파랑의 발달과 마찰에 의한 감쇄가 평형을 이루어 파고 및 주기는 일정한 값을 갖게 되는데 그림1과 그림2의 점선으로 나타낸 직선들은 이 정상상태(Steady-state)가 되는 경계값을 나타내고 있다. 정상상태에서 <그림1과 그림2에서 경계값 오른쪽의 직선 부분> 유의파의 파고와 주기, 그리고 취송거리와 수심, 풍속간의 관계식은 다음과 같다.

$$\frac{gH_s}{U_A^2} = 0.283 \tanh \left[0.530 \left(\frac{gd}{U_A^2} \right)^{\frac{3}{4}} \right]$$

$$\tanh \left\{ \frac{0.00565 \left(\frac{gF}{U_A^2} \right)^{\frac{1}{2}}}{\tanh 0.530 \left(\frac{gd}{U_A^2} \right)^{\frac{3}{4}}} \right\} \quad (8)$$

$$\frac{gT_s}{U_A} = 7.54 \tanh \left[0.833 \left(\frac{gd}{U_A^2} \right)^{\frac{3}{8}} \right]$$

$$\tanh \left\{ \frac{0.0379 \left(\frac{gF}{U_A^2} \right)^{\frac{1}{3}}}{\tanh \left[0.833 \left(\frac{gd}{U_A^2} \right)^{\frac{3}{8}} \right]} \right\} \quad (9)$$

$$\frac{g_s}{U_A} = 5.37 \times 10^2 \left(\frac{gT_s}{U_A} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (10)$$

여기서 H_s =유의파고, T_s =유의파랑의 주기, d =수심, U_A =조정풍속<식(5)>, 그리고 t =정상상태에 도달하기 위해 소요되는 최소 취송시간이다. 미 육군의 Shore Protection Manual (4)에는 수심 15m~90m의 일정수심에 대하여 정상상태에서의 식(8)~식(10)에 의한 파랑 예측 곡선이 주어져 있다.

2. 内海 波浪豫測 전산프로그램 (BRESEA)

내해 파랑 예측 모델을 세움에 있어서 파랑은 바람으로부터의 에너지에 의한 파랑 발달과 해저 마찰에 의한 에너지 손실로 인한 파랑 감쇄의 결과로 본 Bretschneider의 방법을 따른다. 海床土의 透水性에 의한 마찰 손실은 무시하며, 파랑은 線風域을 따라 발달한다고 가정한다. 線風域을 따른 파랑의 掘折은 무시한다.

그림3은 분석하고자 하는 線風域의 전형적인 단면

이다. 해안구조물로부터 설계하고자 하는 강풍이 불어오는 쪽으로 線風域을 등간격 Δx 의 구간으로 나누고 구조물로부터 가장 먼 구간의 길이를 Δx_1 으로 한다. 각 구간의 수심은 구간내의 평균 수심으로 취한다. 구간길이 Δx 는 임의의 i 제 구간에서의 수심의 변화 Δd_i 가 그 구간의 평균 수심 d_{i-1} 의 $1/4$ 을 초과하지 않도록 정한다. 곧

$$\Delta d_i \leq 0.25 d_{i-1} \quad (11)$$

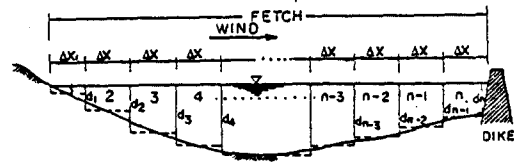


그림 3 내해 線風域의 단면 및 구간구분

(1) BRESEA 프로그램의 알고리즘

프로그램 BRESEA의 입력자료는 다음과 같다.

U_L = 지상 관측소에서의 설계풍속 (m/s)

n = 구간의 수

ΔX_1 = 처음 구간의 길이 (m)

ΔX = 등구간의 길이 (m)

θ = 구조물 축과 선취송역이 이루는 각 ($^\circ$)

AREA = 분석하고자 하는 지역명칭

d_i = i 번째 구간 종단에서의 수심 (m)

첫 구간 시점은 섬이나 해안선으로서 내해의 경계이므로 수심 $d_0=0$ 이다. 지상 관측소에서의 설계풍속 U_L 은 풍속비 0.9(참고문헌 (4), (8)에서 $U_L \geq 20$ m/s에 대한 값으로 취함)를 곱하여 해상풍속 U_w 로 환산하고 식 (5)에 의해서 조정풍속 U_A 로 환산된다. 곧

$$U_w = 0.9 U_L \quad (12)$$

$$U_A = 0.71 U_w^{1.23} \quad (5)$$

파랑 발달 및 감쇄의 추적은 첫구간 ($i=1$)으로부터 수행해 나간다. 먼저 바람에 의한 파랑의 발달은 식 (1)과 식 (2)로부터 다음과 같이 구해진다.

$$H = 5.112 \times 10^{-4} U_A F^{\frac{1}{2}} \quad (13)$$

$$T = 0.06238 (U_A F)^{\frac{1}{3}} \quad (14)$$

첫 구간에서의 $F_1 = \Delta X_1$ 이다.

파랑이 ΔX 거리를 진행하는 동안 파랑의 감쇄는 식 (6)을 변형하면 다음과 같다.

$$H_2 = \frac{K_s T^4 H_1}{f H_1 \phi \Delta X + K_s T^4} \quad (15a)$$

여기서,

$$\phi_1 = 6.8874 \left(\frac{K_s}{\sinh kd} \right)^3 \quad (15b)$$

이고 $f=0.01$ 로 취하며, T 및 d 는 각각 구간에서 시점과 종점에서의 주기 및 수심의 평균치로 취한다. 첫 구간에서 $T=T_1/2$, $\Delta X=\Delta X_1$ 이다. K_s 와 ϕ_1 의 계산을 위해서는 구간의 수심에서 평균주기 T 에 해당하는 波數 ($k=2\pi/L$)를 SUBROUTINE WVLEN에서 Newton-Raphson 방법에 의해 구하였다.

구간의 종단에서의 파고 H_2 가 계산되면 이 파고를 수심 d 에서 발달가능한 최대파고 H_{ms} 와 비교한다. 최대파고 H_{ms} 는 다음의 두 값중 작은 경우가 된다.

$$(1) H_{ms} = 0.78 d \quad (\text{쇄파한계}) \quad (16)$$

$$(2) \frac{gH_{ms}}{U_A^2} = 0.283 \tanh \left[0.53 \left(\frac{gd}{U_A^2} \right)^{\frac{3}{4}} \right]$$

$$\cdot \tanh \left\{ \frac{13.44 \left(\frac{gH_{ms}}{U_A^2} \right)}{\tanh \left[0.53 \left(\frac{gd}{U_A^2} \right)^{\frac{3}{4}} \right]} \right\} \quad (17)$$

파랑발달의 한계 곡선

식 (17)은 그림 1로부터 파랑발달의 한계 곡선식

$$\frac{gH_{ms}}{U_A^2} = 4.204 \times 10^{-4} \left(\frac{gF}{U_A^2} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (18)$$

을 식 (1)에 대입하여 F 를 소거한 것이다.

SUBROUTINE MAXHT에서는 식(17)에서의 H_{ms} 를 구하도록 프로그램 되었다. SUBROUTINE MAXHT의 계산과정은 다음과 같다.

$$X = \frac{gH_{ms}}{U_A^2}, \quad A = \tanh \left[0.53 \left(\frac{gd}{U_A^2} \right)^{\frac{3}{4}} \right]$$

으로 놓으면 식(17)은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$X = 0.283 A \tanh \left(\frac{13.44}{A} X \right) \quad (19)$$

식(19)는 초월함수의 식으로 직접 X 를 구할 수 없으므로 Newton Raphson의 반복근사해법을 적용한다.

$$F(X) = 0.283 A \tanh \left(\frac{13.44}{A} X \right) - X = 0 \quad (20)$$

으로 놓으면

$$F(X) = \frac{dF(X)}{dX} = \frac{3.8035}{\cosh^2 \left(\frac{13.44}{A} X \right)} - 1 \quad (21)$$

지금 X 의 i 번째 근사치를 X_i 라고 하면 $i+1$ 번째의 X 의 근사값 X_{i+1} 은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$X_{i+1} = X_i - \frac{F(X_i)}{F'(X_i)} \quad (22)$$

식(22)에 의해 계산을 반복하고 $|X_{i+1} - X_i| / |X_i|$ 가 0.001이 될 때 계산을 종료한다.

최초의 추정치 X_1 의 값으로는 $0.78 \left(\frac{gd}{U_A^2} \right)$ 의 값을 취한다.

H_2 가 H_{ms} 보다 큰 경우에는 H_{ms} 를 H_2 로 취한다. 다음에는 H_2 에 해당하는 유효취송거리(Effective fetch) F_e 를 구한다. F_e 는 식(13)으로부터 다음과 같이 주어진다.

$$F_e = 3.827 \times 10^6 \left(\frac{H_2}{U_A} \right)^2 \quad (23)$$

유효취송거리에 ΔX 를 더하여 새로운 취송거리 F 로 하여 다음 구간에서의 계산을 반복해 나간다. 곧,

$$F = F_e + \Delta X \quad (24)$$

한편 ΔX 구간에서의 소요취송시간(Minimum duration) Δt 는 다음 식으로 구할 수 있다.

$$\Delta t_i = \frac{\Delta X}{C_{s,i}} \quad (25)$$

여기서, C_g 는 T와 kd로 부터 계산되는 파랑의 群速度 (Group velocity)이다.

식 (13)으로 부터 식 (25)까지의 계산이 모든 구간에 대해 완료되면 파랑이 전취송거리 (Fetch)에 걸쳐 발달하는데 소요되는 최소 취송시간 t_{min} 이 결정된다. 곧,

$$t_{min} = \sum_{i=1}^n \Delta t_i \quad (26)$$

이상에서 설명한 계산과정을 유통도로 나타낸 것은 그림4와 같다.

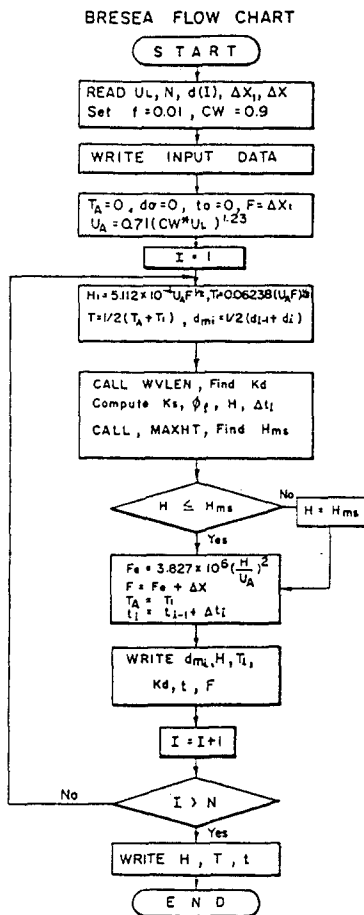


그림 4 BRESEA 프로그램 유통도 (Flow Chart)

(2) 프로그램 Listing 및 계산 예

프로그램은 FORTRAN V언어로 작성되었으며 계

산 예로는 서해안 옥구, 김제, 부안군 해안지역에 대규모 淡水湖 조성사업을 위해 건설되는 새 萬金지구 1번 防潮堤의 設計波浪을 결정하는데 적용하였다. 1번 방조제는 SSW방향의 線風域을 따라 위도 해안에 面해 있으며 이 방향으로의 취송거리는 22,960m이다. SW방향으로 재현기간 500년에 해당하는 설계 풍속은 24.16m/s로 취하였다. (3)

계산을 위한 입력자료는 다음과 같다.

AREA=SAEMANGUM DIKE NO. 1

$U_L=24.16\text{m/s}$

$N=23$

$DX1=960\text{m}$

$DX=1000\text{m}$

THETA=90°

DO=0. m

D(I)=17.0, 18.2, 18.1, 18.3, 20.2, 19.5,
19.0, 18.8, 18.3, 17.4, 17.5, 18.6,
19.8, 20.2, 14.7, 13.6, 11.0, 10.9,
10.5, 10.0, 9.2

```

C
C PROGRAM NAME : BRESEA
C
C -----
C THIS PROGRAM CALCULATES WIND WAVE HEIGHT AND PERIOD GENERATED
C IN A SHELTERED SHALLOW WATER BODY USING THE BRETSCHNEIDER METHOD.
C INPUT DATA ARE AS FOLLO:
C
C UL = DESIGN WIND SPEED (M/S) AT THE NEARSHORE LAND STATION
C N = NUMBER OF SEGMENTS
C D(I) = WATER DEPTH BELOW THE DESIGN SEA LEVEL IN EACH SEGMENT (M)
C DX1 = FIRST SEGMENT LENGTH (M)
C DX = SEGMENT LENGTH (M)
C THETA = ANGLE BETWEEN THE STRUCTURAL AXIS AND THE WAVE DIRECTION
C CF = FRICTION COEFFICIENT (=0.01)
C
C SEGMENTS MAY BE DIVIDED IN EQUAL LENGTH EXCEPT THE FIRST SEGMENT WHICH
C IS FARTHEST FROM THE STRUCTURE . SEGMENT LENGTH SHOULD BE DETERMINED SO
C THAT CHANGE IN DEPTH IN A SEGMENT IS LESS THAN 25 PERCENT OF THE MEAN
C DEPTH.
C THE DEEP WATER SWBS MODEL REVISED BY THE U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS
C (SHORE PROTECTION MANUAL VOL.1. CHAPTER3.1984) IS UTILIZED IN THIS
C PROGRAM.
C
C -----
C
C VARIABLES
C
C UW = WIND SPEED AT SEA (M/S)
C UA = WIND STRESS FACTOR (M/S)
C CW = CONVERSION COEFFICIENT
C UWT = AVERAGE WIND SPEED AT SEA DURING THE DURATION TIME
C TD = DURATION (SEC)
C DM(I)= MEAN DEPTH IN EACH SEGMENT
C SKD = WAVE NUMBER
C SKS = SHOALING COEFFICIENT
C CG = GROUP VELOCITY (M/S)
    
```

```

C   HMS = MAXIMUM SIGNIFICANT WAVE HEIGHT GENERATED AT WATER DEPTH DM(1)
C   FE = EFFECTIVE FETCH (M)
C   H = RESULTANT SIGNIFICANT WAVE HEIGHT (M)
C   TS = RESULTANT SIGNIFICANT WAVE PERIOD
C   FETCH = TOTAL FETCH LENGTH
C   DMD = MEAN WATER DEPTH OVER FETCH
C   TA = WAVE PERIOD AT THE BEGINNING OF SEGMENT
C   TI = WAVE PERIOD AT THE END OF SEGMENT
C
C-----
C
C   READ AND WRITE DATA
C
C-----
C   DIMENSION D(40),DM(40),TDO(40)
C   CHARACTER*20 AREA
C   COMMON PI
C   DATA PI/3.141592/6/9.8/
C
C   READ(2,10) UL,N,DX1,DX,THETA
10  FORMAT(F5.0,15.3F5.0)
C   READ(3,11) DO,(D(1),1=L,N)
11  FORMAT(F4.1,23F5.1)
C
C   CF=0.01
C   CW=0.9
C   DAD=0.5*(DO+D(1))*DX1
C   DD=0.5*D(1)
C   DAN=0.5*D(N)
C   NN=N-1
C   DO 12 J=1,NN
C   DD=DO-D(J+1)
12  CONTINUE
C
C   AREAV=DAD*(DD-DAN)*DX
C   FETCH=DX1*(N-1)*DX
C   DMD=AREAV/FETCH
C
C   WRITE(6,122) AREA,THETA,FETCH,DMD,N,DX1,DX,UL
122  FORMAT(/2X,'**** TITLE :',A20,'****'/)
1   5X,'THETA' : ',F10.1,'DEGREES'/
2   5X,'FETCH' : ',F10.0,'METERS'/
3   5X,'DMD' : ',F10.0,'METERS'/
4   5X,'N' : ',19/'
5   5X,'DX1' : ',F10.1,'METERS'/
6   5X,'DX' : ',F10.1,'METERS'/
7   5X,'UL' : ',F10.1,'METERS/SEC'////)
C
C   WRITE(6,123)
123  FORMAT(/2X,'**** DEPTH DATA ****'/)
C   WRITE(6,130) DO
130  FORMAT(5X,'DO=',F5.0//)
C   DO 133 I=1,N
C   WRITE(6,13) I,D(1)
13  FORMAT(5X,'D(',12,')=',F6.2)
133  CONTINUE
C
C-----
C   ANALYSIS OF THE FIRST SEGMENT
C-----
C   WRITE(6,333)
333  FORMAT(///)
C   TA=0.0
C   TD=0.0
C   F=DX1
C   UW=C*PI*UL
C   UA=0.71*UW**1.23
300  HI=0.0005112*UA**F**0.5
C   TI=0.06238*(UA*F)**(1./3.)
C
C   T=(TA+TI)/2.
C   IF(1.NE.1) GO TO 20
C   DM(1)=(DO+D(1))/2.
C   GO TO 21

```

```

20  DM(1)=(D(1-1)+D(1))/2.
21  W=DM(1)/(G**T**2./(2.*PI))
C   CALL WVLEX (W,SKD)
C   TKD=2.*SKD
C   IF(TKD.GE.20) TKD=20.
C-----
C**** WAVE ATTENUATION DUE TO BOTTOM FRICTION ****
C
C   SKS = (TANH(SKD)*(1.0 + TKD/SINH(TKD)))**(-0.5)
C
C   PF=6.8874*(SKS/SINH(SKD))**3.
C   TS=SKS**4.
C   H=TS*HI/(CF*HI*PF*DX+TS)
C   IF(1.EQ.1) H=TS*HI/(CF*HI*PF*DX1+TS)
C   CG=P1*DM(1)*(1.-TKD/SINH(TKD))/(T*SKD)
C   TD=DX1/CG
C   IF(1.NE.1) GO TO 22
C   GO TO 23
22  TD=TD+DX/CG
C-----
C   CHECK IF WAVE HEIGHT DOSE NOT EXCEED LIMIT.
C-----
23  GD=G*DM(1)/UA**2.
C   A=TANH(0.53*GD**0.75)
C   CALL MAXHT(GD,A,GH)
C   HMS=GH*UA**2/G
C   IF(H.GT.HMS) H=HMS
C   HMD=0.78*DM(1)
C   IF(H.GT.HMD) H=HMD
C   FE=(3.8266*10**6)*(H/UA)**2.
C-----
C   ANALYSIS OF THE SUCCEEDING SEGMENT
C-----
24  WRITE(6,301) I,DM(1),H,TI,SKD,TD,F
30  FORMAT(5X,15.4F10.3,3X,F10.2,10X,F10.2)
C   IF(1.EQ.N) GO TO 400
C   F=FE+DX
C   I=I+1
C   TA=TI
C   GO TO 300
400  CONTINUE
C
C   TS=TI
C   WRITE(6,460) H,TS,TD
460  FORMAT(///F10.3,3X,F10.3,3X,F10.3//)
C   STOP
C   END
C-----
C   THIS SUBROUTINE COMPUTES WAVE NUMBER FROM THE GIVEN WAVE PERIOD
C   AND WATER DEPTH.
C-----
SUBROUTINE WVLEN(W,PKH)
REAL INITIAL
COMMON PI
INITIAL=2*PI*W
N=1
IF(INITIAL-PI,GE.0.) GO TO 101
SKD=INITIAL
100  EPS=INITIAL-(SKD*TANH(SKD))
C   SLOPE=SKD/COSH(SKD)**2.+TANH(SKD)
C   AKD = SKD*(EPS/SLOPE)
C   IF(ABS(SKD-AKD).LE.1.E-5) GO TO 102
C   IF(M.GT.20.) GO TO 103
C   M=M+1
C   SKD=AKD
C   GO TO 100
103  WRITE(6,104)
104  FORMAT(5X,'NONCONVERGING KH')

```

```

STOP
101 AKD=INITIAL
102 PKH=AKD
RETURN
END
    
```

```

C.....
C THIS SUBROUTINE FINDS OUT THE MAXIMUM WAVE HEIGHT GENERATED IN A
C GIVEN DEPTH DM(1). COMPUTATION IS BASED ON FIG.3-21.SPM.1964.
C.....
    
```

```

SUBROUTINE MAXHT(GD,A,GH)
REAL INITIAL
COMMON PI
INITIAL = 0.78*GD
M=1
X=INITIAL
200 ARG=13.44*X/A
FX=0.283*A*TANH(ARG)-X
FDX=3.8035/COSH(ARG)**2.-1.
XA=X-FX/FDX
IF(ABS(X-XA).LE.0.001) GO TO 201
IF(M.GT.20) GO TO 202
M=M+1
X=XA
GO TO 200
202 WRITE(6,203)
203 FORMAT(5X,'NONCONVERGING HMS.')
```

```

201 GH=XA
RETURN
END

**** TITLE : SAEMANGUM DIKE NO 1 ****

THETA : 90.0 DEGREES
FETCH : 22960.0 METERS
DND : 16.4 METERS
N : 23
DX1 : 960.0 METERS
DA : 1000.0 METERS
UL : 24.2 METERS. SEC
    
```

```

**** DEPTH DATA ****
DO= 0.
D( 1)= 17.00
D( 2)= 18.20
D( 3)= 18.10
D( 4)= 18.30
D( 5)= 20.20
D( 6)= 20.2
D( 7)= 19.50
D( 8)= 19.00
D( 9)= 18.80
D(10)= 18.30
D(11)= 17.40
D(12)= 17.50
D(13)= 18.60
D(14)= 19.80
D(15)= 19.80
D(16)= 20.20
D(17)= 14.70
D(18)= 13.60
D(19)= 11.00
D(20)= 10.90
D(21)= 10.50
D(22)= 10.00
D(23)= 9.20
    
```

SEGMENT NO	MEAN DEPTH	H(M)	T(SEC)	KD	DURATION(SEC)	EFFECTIVE FETCH(M)
1	8.500	0.496	1.946	36.382	1268.83	960.00
2	17.600	0.709	2.461	14.637	1851.51	1959.99
3	18.150	0.872	2.824	10.469	2336.71	2959.97
4	18.200	1.008	3.112	8.324	2768.77	3959.93
5	19.250	1.129	3.354	7.419	3165.38	4959.88
6	20.200	1.237	3.566	6.797	3535.96	5959.82
7	19.850	1.337	3.755	5.967	3886.19	6959.75
8	19.250	1.430	3.972	5.256	4219.83	7959.66
9	18.900	1.517	4.085	4.744	4539.45	8959.56
10	18.550	1.599	4.232	4.321	4846.87	9959.42
11	17.850	1.677	4.369	3.888	5143.12	10959.16
12	17.450	1.752	4.498	3.577	5429.16	11958.52
13	18.050	1.824	4.620	3.499	5706.89	12957.08
14	19.200	1.893	4.735	3.535	5977.77	13955.27
15	19.880	1.959	4.846	3.476	6241.92	14953.60
16	20.000	2.024	4.951	3.358	6499.50	15951.62
17	17.450	2.085	5.052	2.830	6747.87	16948.85
18	14.150	2.142	5.149	2.241	6981.36	17936.11
19	12.300	2.190	5.236	1.919	7202.60	18963.72
20	10.950	2.226	5.310	1.697	7414.37	19674.60
21	10.700	2.258	5.366	1.633	7621.85	20305.32
22	10.250	2.282	5.414	1.554	7825.37	20857.08
23	9.600	2.295	5.451	1.460	8025.20	21285.05

```

**** THE RESULTANT WAVE IS H = 2.295 M TS = 5.451 SEC DURATION = 8025.196 SECOND
    
```

계산결과는 설계풍속 $U_L=24.16\text{m/s}$ 에 의해 $H_s=2.30\text{m}$, $T_s=5.45\text{sec}$ 의 풍파가 발생하며 이 파랑이 발달하는데 소요되는 최소취송시간은 2.2시간임을 보여준다.

3. 결론

內海域에서의波浪예측에 널리 쓰이고 있는 Brets chneider방법에 의해 임의 방향의 線風域에서의 소정의 설계풍속에 대한 파랑예측 전산프로그램이 제안되었다. 이 프로그램은 대규모 淡水湖에서의 프로그램의 檢證결과는 그림 1과 그림 2에 보인 값들과 일치한다. 본 프로그램의 알고리즘에 포함된 관계식들은 관측자료의 축적과 연구의 진전에 따라 개선될 수 있으며, 이에따라 프로그램 내용을 일부만 수정하면 쉽게 합리적인 파랑예측치를 얻을 수 있을 것이다.

참고 문헌

1. Ijima, T. and F.L.W. Tang. 1967. *Numerical Calculation of wind wave in shallow water*, [Proceedings of the 10th Conference on Coastal Engineering]. A. S. C. E., Chapter 4, p. 38-49.

로 해수를 양수시키게 하고 저수지엿 물을 낙하시켜 발전한 폐수를 다시 저장통에 유입된 해수를 부력통 (2)내로 유입되게 하여 부력통의 중량을 최대로 변환시켜 저장통 (14)과 부력통 (2)의 통로는 차단시키고 해수만을 저수지에 양수시키게 한 다음 브레이크 슈우를 해탈시키게 되면 부력통 (2)은 하강 하면서 양수기 (11)를 전술한 바와 같이 가동시키어 해수를 저수지에 계속 공급시키게 되고 이 간조 수위보다 최대로 침수된 지점에 부력통 (2)이 간조 수위에 이르러 정지가 될 때에는 양수기의 체인지 밸브 (12)는 그림7의 (에)에시한 바와 같이 전동 장치에 의하여 변환시켜 모든 방향의 통로를 차단시키게 되고 다시 상기에서와 같이 치차 (10)에는 전동장치에 의해 브레이크 슈우가 제동되고 이와 동시에 고동치차 (8)는 중립 위치에 형성되어 치차 (7)를 해탈 시키게 되고 수위 조절수문 (15)은 전동장치에 의해 폐쇄 시키고 이와 동시에 고동치차 (8)는 그림5의 (나)에 예시한

상태에서 전동장치에 의해 교체시키어서 치차 (7)와 교합되고 또한 브레이크 슈우는 치차 (10)를 제동시키고 만조시를 대기하게 되는 것이다.

미설명 부호 9는 추, 17은 송수관, 18은 통기관 그림 6은 동력전달장치예시도이다. 그림 2는 만조에서 간조를 대기하는 그림이고 그림3은 간조에서 만조를 대기하는 상태의 그림이다.

이상에서와 같이 본 발명은 부력통 (2)이 상하이동됨에 발생되는 부력통의 점점 줄어드는 부력과 하중의 운동에너지를 고동 치차 (8)로 변속조절되게 하여 부상력과 낙하력을 시종 균배하고 부력통의 수위조절 수문과 브레이크 슈우 및 체인지 밸브를 동력전달 전동장치에 의해 제어 작동되게 하여 따라서 균일하고도 큰 에너지를 얻게되어 양수는 물론 동력에너지 발생을 최대로 증대시키게 되는 효과가 있는 것이다.

→ 28p에서 계속

식의 축적효과와 더불어 수자원 관리에 경험이 많지 않은 초보자들도 전문가와 거의 동등한 수준에서 수자원 관리에 대한 분석과 계획을 수행 할 수 있게 되었으며 전문가의 문제 해결 방법을 습득함으로써 효율적인 지식 전달과 교육이 이루어 질 수 있을 것으로 기대 된다.

지금까지 살펴본대로 전문가 시스템은 다양한 유형의 문제에 성공적으로 적용되어왔다. 그러나, 많

은 전문가 시스템들이 개발되어 실제 업무에 사용되지 않고 사장되는 경우가 있었다. 그 가장 큰 원인으로서는 전문가 시스템 개발과정에 사용자들에 대한 충분한 연구와 고려가 없었기 때문이라고 지적되고 있다. 시스템 유용성을 재고시키기 위해서는 사용자의 필요와 수준에 부합되는 지식획득과 인터페이스 설계에 더욱 많은 관심과 노력이 경주되어야 하리라 사료된다.

→ 35p에서 계속

2. Bretschneider, C. L., 1958. *Revisions in wave forecasting, Deep and shallow water*, [Proceedings of the 6th Conference on Coastal Engineering]. A. S. C. E., pp. 30-67.
3. 김태인, 최한규, 전병호, 1987. 설계파에 의한 방조제단면결정, 농림수산부 농업진흥공사, p. 229.
4. U. S. Army Corps of Engineers, 1984. [Shore Protection Manual], Vol. 1, Chapter 3.
5. Brestschneider, C. L. and R. O. Reid, 1954. *Modification of wave height due to bottom friction, percolation and refraction*, U. S. Army Corps of Engineers, Beach Erosion Board, [Technical Memorandum No. 45], 36 pp.

6. Svedrup, H. U. and W. H. Munk, 1947. *Wind, sea, and swell: theory of relations for forecasting*, [Publication No. 601], U. S. Navy Hydrographic Office, Washington, D. C.
7. Hasselmann, K., D. B. Ross, P. Muller and W. Sell, 1976. *A parametric wave prediction model*, [Journal of Physical Oceanography], Vol. 6, pp. 200-228.
8. Resio, D. T. and Vincent, C. L., 1977. *Estimation of winds over Great Lakes*, [Journal of the Waterway, Port, Coastal and Ocean Division], Proceedings of the A. S. C. E., Vol. 103, No. WW3, p. 265-283.