

## 라디에이션 應力の 再評價 Re-estimation of Radiation Stress

김경호\* · 조재희\* · 유동훈\*\*

Kyong Ho Kim\*, Jae Hee Cho\* and Dong Hoon Yoo\*\*

**要 旨 :** 일반적으로 線形波動理論에 의해 산정된 라디에이션 應力은 碎波帶內 및 그 부근에서 과대 평가되는데, 이것이 平均水位變動의 계산치와 실험치와의 불일치의 원인이 된다. Oh(1995)는 Svendsen(1984)이 제안한 라디에이션 應力을 이용하여 平均水位變動을 산정하고 실험치와 비교한 결과, 波形傾斜가 작은 경우에는 잘 일치하고 있으나 波形傾斜가 큰 경우에는 실험치와 잘 맞지않는 것을 보였다. 본 연구에서는 Svendsen(1984)이 제안한 무차원 라디에이션 상수를 수정하여 碎波點에서의 相對水深 및 深海波 波形傾斜의 함수로 표현하여 계산하고, 그 결과를 線形理論, Stive(1984)모델, 碎波의 成分波高 스펙트럼에 기초한 Sawaragi 등(1984)의 모델 및 기왕의 실험 데이터와 비교하였다. 수정·제안된 Svendsen 모델의 결과는 실험치와 매우 양호한 일치를 보여 주었다.

**Abstract :** In general, the radiation stresses based on the linear wave theory are overestimated, which results in the discrepancy between the computed results and laboratory data of mean water level in the surf zone. Oh (1995) estimated the mean water level by using Svendsen's radiation stress model (1984) and compared with the experimental data. In his study, the computed results showed good agreements with the experimental data in the case of small wave steepness, while the results were overestimated in the case of large wave steepness. In this paper, the dimensionless radiation stress proposed by Svendsen (1984) is expressed in terms of relative water depth at breaking point and deep water wave steepness. The computed results are compared with the results calculated by a linear wave theory, Stive's model (1984), Sawaragi *et al.*'s model (1984) based on the spectrum of breaking wave components, and published laboratory data. The computed results of the modified Svendsen's model are favourably compared with the laboratory data.

### 1. 緒 論

일반적으로 碎波帶內的 波의 제원은 平均水位의 함수로 표현된다. 平均 水深은 靜水深과 水位 變動량의 합으로 표시하는데, 水位 變動량이 미지량이므로 결국 平均 水深 자체가 미지량이 된다. 따라서 碎波帶內的 水粒子 流速, 波速 및 波長 등 波動場을 究明하는 데는 平均 水位 變動량의 결정이 우선되어야 한다. 이러한 平均水位 變動은 결국 波高 分布에 영향을 주므로 碎波帶內的 波의 변형과도 유기적인 관계를 갖게 된다.

平均水位 變動을 산정하는데 있어서는 라디에이션 應力이 주 因子로 작용한다. Longuet-Higgins와 Ste-

wart(1962, 1964)는 쇄파에 의한 波의 減衰現象은 라디에이션 應力の 傾斜變化를 유발하고, 또한 그 결과로 平均水位의 變動이 나타난다고 보고하고 있다.

라디에이션 應力の 평가방법 또한 平均水位 變動의 산정에 있어서 중요한 요소이다. Stive와 Wind(1982)는 線形波 理論 및 非線形波 理論을 이용하여 라디에이션 應力을 평가하고 실험치와 계산치의 비교를 통하여, 線形波 理論을 적용할 경우 碎波帶內的 라디에이션 應力이 과대평가되고 있다고 지적하였다. Stive(1984)는 다수의 실험 데이터를 이용하여 라디에이션 應力을 재평가하였으며, Svendsen(1984)은 라디에이션 應力을 波動成分 水粒子 速度項과 變動 壓力項으로 분리하고 실험치를 이용하여 재평가하였

\*충북대학교 토목공학과 (Department of Civil Engineering, Chung-Buk National University, Cheongju, Korea)

\*\*아주대학교 토목공학과 (Department of Civil Engineering, Ajou University, Suwon 442-749, Korea)

다. 한편, Sawaragi 등(1984)은 성분波高 스펙트럼을 이용하여 라디에이션 應力を 재평가하고 있다. 또, 뮈트(1995)는 Svendsen(1984) 모델을 이용하여 라디에이션 應力を 재평가하고 라디에이션 응력 및 平均水位 變動에 대한 실험치와 비교하였다. 그 결과 波形傾斜가 작은 경우에는 Svendsen(1984) 모델에 의한 계산치와 실험치가 좋은 일치를 보였으나, 波形傾斜가 큰 경우에 대해서는 Svendsen(1984) 모델에 의한 계산치는 실험치보다 過大評價 되고 있는 것을 지적하였다.

본 연구에서는 平均水位 變動에 직접적으로 영향을 미치는 라디에이션 應력에 대한 기존의 모델들에 대해 검토하고 무차원 라디에이션 상수를 재평가한다. 이를 기초로 Svendsen(1984) 모델을 波形傾斜가 큰 경우에 대해서도 적용할 수 있도록 平均水位 變動에 대한 실험치를 이용하여 수정하고, 라디에이션 應력의 모델에 따른 平均水位 變動을 실험치와 함께 도시하여 검토한다.

## 2. 基本 方程式

### 2.1 波高分布

2차원 波動場에 대하여 定常狀態를 가정하면, 에너지 평형식은 다음과 같이 표현된다.

$$\frac{dEC_{gr}}{dx} = -D \quad (1)$$

여기서, E는 단위면적당 波動 에너지,  $C_{gr}$ 는 群速度이고, D는 波動 에너지 損失率이다.

상기 식으로부터 波高分布를 산정하는데 있어서 가장 큰 문제는 에너지 損失率에 대한 합리적인 평가방법이다. 波의 減衰 現象에 대한 要因으로는 크게 세 가지로 구분할 수 있다. 즉, 海底 摩擦에 의한 에너지 損失, 透水性 底面의 간섭으로 인한 에너지 損失, 그리고 碎波로 인하여 波動이 흐름 형태로 전환되는 과정에서 발생하는 亂流에 의한 에너지 損失이다. 上記 세 요인 중 透水性 底面의 간섭으로 인한 에너지 損失과 海底摩擦에 의한 에너지 損失은 亂流에 의한 에너지 損失에 비해서 무시할 수 있을 정도로 작다고 보고하고 있다(Izumya와 Horikawa, 1984).

碎波로 인한 波動에너지 損失率의 평가 방법에 물

리적인 의미를 부여한 첫 시도는 Le Méhauté(1962)를 들 수 있다. 그는 碎波後의 波를 진행하는 段波로 간주하고, 이 때 발생하는 에너지 損失率을 跳水現象(hydraulic jump)에 유사시켜 평가하고 있다. 또, Battjes와 Janssen(1978)은 Le Méhauté의 段波 모델을 적용하여 碎波帶内の 不規則波의 변형을 다루고 있으며, Mizuguchi(1980)는 Ijima 등(1956)의 渦粘性 모델을 수정하여 계단형 海底地形에 적용하였다. 한편, Dally 등(1985)과 Dally(1990)는 段波에 기초해서 이루어진 과거의 에너지 손실 모델에서 간과했던 波의 再生을 고려하여 에너지 損失率이 국부적인 에너지 플럭스와 再生波의 에너지 플럭스의 차에 비례한다고 가정하여 에너지 損失을 평가하였다.

본 연구에서는 波의 에너지 損失이 주로 碎波로 인한 亂流에 기인한다고 간주하고 碎波에 의한 波動 에너지 損失만을 고려하여, Battjes(1975)의 모델에 의해 쇄파후의 파고분포를 산정한다.

Battjes(1975)는 波가 汀線에 수직하게 入射하는 경우에 대해서, 식 (1)의 좌변을 波高와 波速 및 波向角의 함수로 다음과 같이 표현하였다.

$$\frac{d}{dx} \left\{ \frac{1}{8} \rho g H^2 \cdot n C \cos \theta \right\} = D \quad (2)$$

여기서,  $\rho$ 는 海水의 밀도,  $g$ 는 중력가속도,  $H$ 는 波高,  $n$ 은 波速과 群速度의 비,  $C$ 는 波速이고  $\theta$ 는 波向角이다. 식 (2)에서 波가 汀線에 수직하게 入射하면  $\cos \theta = 1$ 이고, 또 淺海에서 근사적으로  $n \approx 1$ ,  $C \approx \sqrt{gd}$ 이다. 또한 一定 海底傾斜面에서 波高는 平均水深에 비례하는 것으로 가정하면  $H = \gamma d$ 로서 표현 가능하다. 여기서,  $\gamma$ 는 水深에 대한 波高비,  $d$ 는 平均水深을 나타낸다. 따라서, 식 (2)를 재정리하면 波動 에너지 損失率은 다음과 같이 표현된다.

$$D \approx -\frac{d}{dx} \frac{1}{8} \rho g^{3/2} \gamma^2 d^{5/2} \approx -\frac{5}{16} \rho \gamma^2 g^{3/2} d^{3/2} \frac{dd}{dx}, \quad x \leq x_b$$

$$D = 0, \quad x > x_b \quad (3)$$

상기 식에서  $dd/dx$ 는 一定傾斜 海底인 경우는 修正 海底傾斜를 나타내는 값이고,  $x_b$ 는 碎波點을 나타낸다.

碎波 限界式에 대해서는 合田(1970)가 제안한 다

음식을 이용하였다.

$$\frac{H_b}{L_0} = A \left[ 1 - \exp \left\{ -1.5\pi \frac{d}{L_0} (1 + 15m^{4/3}) \right\} \right] \quad (4)$$

여기서,  $L_0$ 는 深海波長,  $m$ 은 海底傾斜, 첨자  $b$ 는 碎波点에서의 값을 나타내고,  $A$ 는 상수로서  $A=0.17$ 이다.

### 2.2 平均水位變化

傾斜海濱에 波가 入射하면, 라디에이션 應力の 경사변화에 수반해서 平均水位가 변화하게 된다. 一定傾斜를 갖는 直線海岸에 波가 汀線에 직각으로 入射할 경우,  $x$ 방향의 運動 方程式은 運動量 保存式으로부터 다음과 같이 표현된다.

$$\frac{dS_{xx}}{dx} = -\rho g d \frac{d\bar{\eta}}{dx} \quad (5)$$

위 식에서  $\bar{\eta}$ 는 平均水位 變化量이고,  $S_{xx}$ 는  $2x$ 축에 수직인 면의  $x$ 방향으로의 라디에이션 應力으로서, 그 傾斜變化가 平均水位變化에 직접적으로 기여하고 있는 것을 알 수 있다.

### 3. 라디에이션 應力の 再評價

식 (5)로부터 平均水位 變動량을 구하기 위해서는 먼저 라디에이션 應力の 산정이 필요하다. 2차 이상의 미소항을 무시하면 라디에이션 應力은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$S_{xx} = \int_h^{\bar{\eta}} (\rho u_w^2 + p) dz - \frac{1}{2} \rho g (h + \bar{\eta})^2 \quad (6)$$

여기서,  $u_w$ 는  $x$ 방향 水粒子 速度의 波動成分,  $p$ 는 壓力,  $h$ 는 靜水深이다. 식 (6)에 微小振幅波 理論을 적용하여 長波근사를 도입하면 다음식을 얻는다.

$$S_{xx} = \frac{3}{16} \rho g H^2 \quad (7)$$

Stive와 Wind(1982)에 의하면 상기식 (7)을 이용하여 라디에이션 應力을 산정했을 경우 실험치보다 碎波帶 전반에 걸쳐 계산치가 과대 평가되고 있음을 보였고, 또한 이것에 의한 平均水位 變化도 碎波點 부근과 汀線 근방에서 과대 평가되고 있음을 보였

다.

Svendsen(1984)은 라디에이션 應力  $S_{xx}$ 를 식 (6)으로부터 波動成分 水粒子 速度項과 變動 壓力項으로 분리하여 다음과 같이 정의하였다.

$$S_{xx} = F_m + F_p \quad (8)$$

$$F_m = \int_h^{\bar{\eta}} \rho u_w^2 dz \quad (9)$$

$$F_p = \int_h^{\bar{\eta}} \rho g \eta dz - \frac{1}{2} \rho g \bar{\eta}^2 = \frac{1}{2} \rho g \bar{\eta}^2 \quad (10)$$

위 식에서,  $F_m$ 은 波動成分 水粒子 速度에 의한 라디에이션 應力の 기여를 나타내는 것으로서 表面 渦(Surface roller)를 고려하면 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$F_m = \rho g H^2 \left( B_0 + \frac{A}{H^2} \frac{d}{L} \right) \quad (11)$$

여기서,  $A$ 는 碎波에서 表面 渦가 차지하는 단면적으로서 Duncan(1981)의 실험결과에 의하면 근사적으로  $0.9H^2$ 의 값을 갖는다. 또,  $B_0$ 는 波高에 대한 水面 變動의 자승 값에 대해 週期 平均한 값으로서 다음과 같이 정의된다.

$$B_0 = \frac{1}{T} \int_0^T \left( \frac{\eta}{H} \right)^2 dt \quad (12)$$

또,  $F_p$ 는 變動壓力에 의한 라디에이션 應力の 기여를 나타내는 것으로서,  $B_0$ 를 이용하면 다음과 같이 간단히 표현된다.

$$F_p = \frac{1}{2} \rho g H^2 B_0 \quad (13)$$

따라서, 식 (11)과 (13)을 결합하면 라디에이션 應力  $S_{xx}$ 은 다음과 같이 波長과 水深의 함수로 표현할 수 있다.

$$S_{xx} = \rho g H^2 \left( \frac{3}{2} B_0 + 0.9 \frac{d}{L} \right) \quad (14)$$

위 식에 무차원 라디에이션 상수를 도입하면

$$A_s = \frac{3}{2} B_0 + 0.9 \frac{d}{L} \quad (15)$$

로 된다.

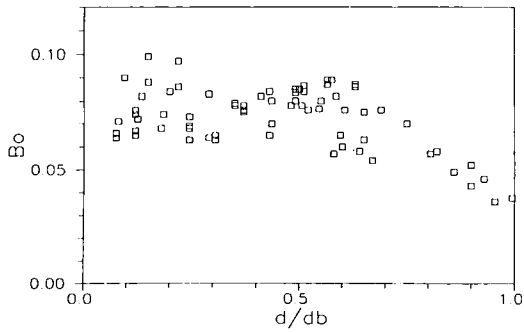


Fig. 1. Measured values of  $B_0$  (from Svendsen, 1984).

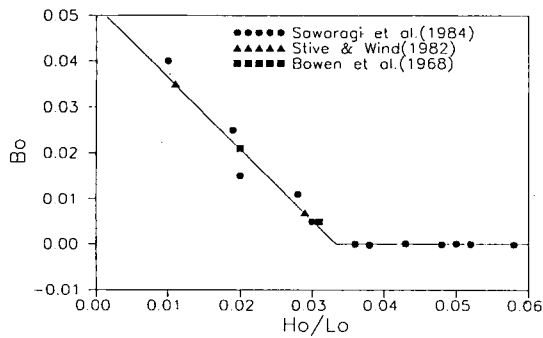


Fig. 2. Relationship between  $B_0$  and  $H_0/L_0$ .

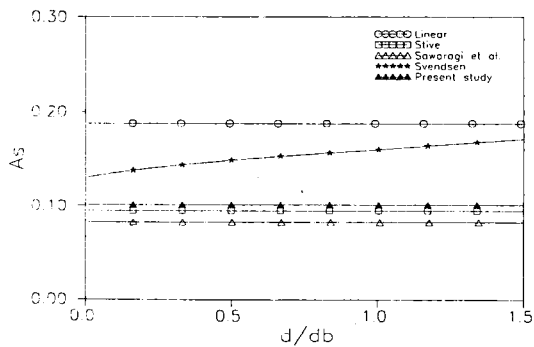


Fig. 3. Dimensionless radiation stress ( $H_0/L_0=0.01$ ).

식 (12)에서 라디에이션 應力을 산정하기 위해서는,  $B_0$  값을 적절히 결정해야 할 필요가 있다. Svendsen (1984)은 碎波帶内の  $B_0$ 에 대한 실험결과(Fig. 2)를 바탕으로  $B_0=0.075$ 의 일정한 값을 취할것을 제안했다. Fig. 2로부터  $B_0$ 의 값은汀線 부근에서는 상당히 흐트러져 있지만, 碎波点으로부터汀線 방향으로 증가하는 경향을 볼 수 있다. 그러나, 碎波帶 밖에서는  $B_0$ 에 대한 아무런 정보도 얻을 수 없다.

上記의 연구에서 Svendsen(1984)에 의한  $S_{\alpha}$ 의 표

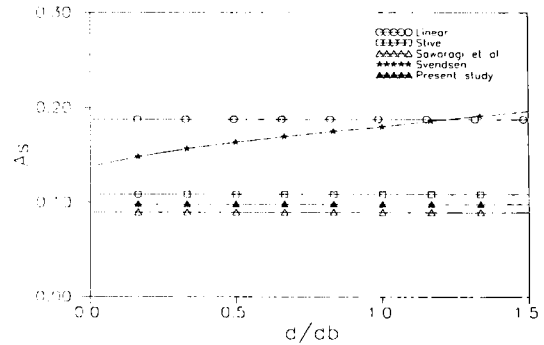


Fig. 4. Dimensionless radiation stress ( $H_0/L_0=0.02$ ).

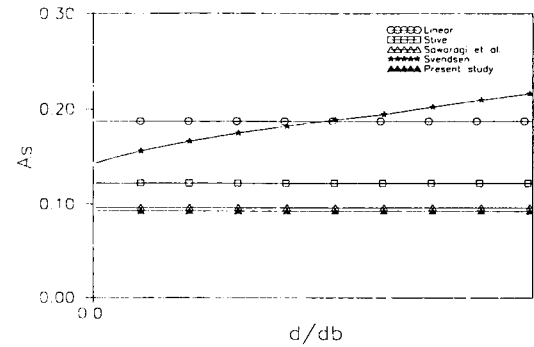


Fig. 5. Dimensionless radiation stress ( $H_0/L_0=0.03$ ).

현 방법은 波形傾斜가 작은 경우에는 비교적 잘 일치하나, 波形傾斜가 큰 경우에는 라디에이션 應力이 과대평가되고, 平均水位 變動도 실험치와 잘 맞지 않는 것으로 나타났다(金 등, 1993; 吳, 1995). 이것은 식 (14) 또는 식 (15)에서 相對水深  $d/L$ 을 碎波点에서의 相對水深  $d_b/L_b$ 으로 표현하지 않고,  $B_0$ 를 모든 波浪條件에 대해서 일정한 값을 준데 기인하는 것으로 생각된다.

上記한 문제점들을 보완하기 위하여, 본 연구에서는 平均水位 變動에 대한 실험치를 이용하여 波浪條件에 따른  $B_0$ 의 추정을 시도하였다. 碎波点에서의 相對水深을 이용하여 무차원 라디에이션 상수에 대한 식 (15)를 고쳐쓰면 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$A_s = \frac{3}{2} B_0 + 0.9 \frac{d_b}{L_b} \quad (16)$$

식 (16)을 이용하여 계산한 결과와 여러 연구자들의 실험결과와의 비교를 통하여 얻은  $B_0$ 를 深海波의 波形傾斜의 함수로 도식한 것이 Fig. 2이다. 波形傾斜가 대략 0.033 이하인 波浪條件에 대해서는  $B_0$ 가 波

Table 1. Wave conditions and bottom slopes

Condition Run	T (sec)	$H_0$ (cm)	$\theta_0$ (°)	$m$	$H_0/L_0$	Author	Remark
B1	1.14	6.45	180	0.083	0.032	Bowen <i>et al.</i> (1968)	wave height, set-down, set-up
B2	1.14	4.20	180	0.083	0.021		
S1	1.79	14.5	180	0.025	0.029	Stive & Wind (1982)	radiation stress, set-down, set-up
S2	3.0	14.5	180	0.025	0.010		
K1	1.64	7.91	180	0.033	0.019	Sawaragi <i>et al.</i> (1984)	wave height, set-down, set-up
K2	1.02	6.29	180	0.033	0.039		

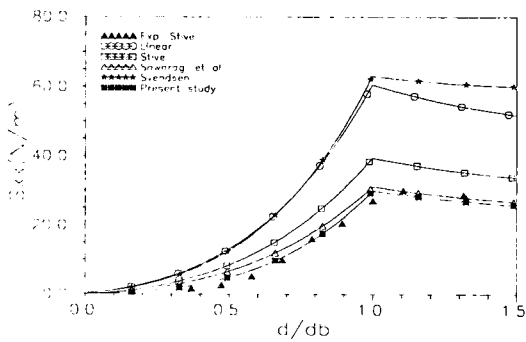


Fig. 6. Variation of radiation stress ( $m=0.025$ ,  $H_0/L_0=0.029$ ).

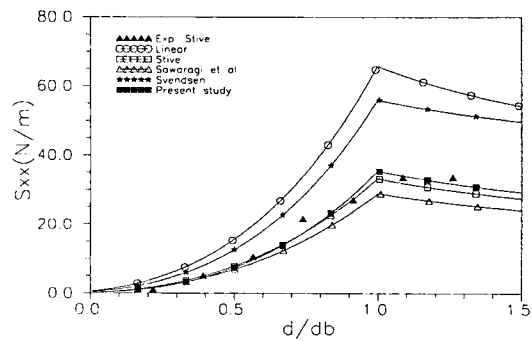


Fig. 7. Variation of radiation stress ( $m=0.025$ ,  $H_0/L_0=0.010$ ).

波形傾斜에 반비례하는 것을 알 수 있고, 波形傾斜가 0.033 이상인 波浪條件에서는  $B_0$ 가 0근방의 값을 갖게 되나,  $B_0$ 에 대한 정의식 (12)로부터  $B_0$ 가 陰의 값을 가질 수 없는 것이 명백하므로 波形傾斜  $H_0/L_0$ 가 0.033 이상인 경우는 근사적으로  $B_0=0$ 으로 간주하였다.

Fig. 2로부터,  $B_0$ 에 대한 식을 추정하면 深海波 波形傾斜의 함수로서 다음과 같이 표현된다.

$$B_0 = -1.56 \frac{H_0}{L_0} + 0.052, \quad H_0/L_0 \leq 0.033$$

$$B_0 = 0, \quad H_0/L_0 > 0.033 \quad (17)$$

위 식으로부터 무차원 라디에이션 상수  $As$ 는 波形傾斜가 0.033 이상인 경우 碎波点에서의 相對水深만의 함수로 표현됨을 알 수 있다.

#### 4. 計算 및 考察

線形波理論, Stive(1984), Svendsen(1984) 및 Sawaragi 등(1984)의 방법 및 본 연구에서 제시한 방법에 의한 무차원 라디에이션 상수  $As$ 의 변화를 알아보기

위하여, 같은 波浪條件에 대해 각각을 계산하고 그 결과를 Fig. 3~Fig. 5에 도시하였다. 그림에서 횡축은 碎波 水深에 대한 水深比를 나타내고 있고, 각각 波形傾斜  $H_0/L_0=0.01, 0.02$  및  $0.03$ 에 대한 것이다.

그림으로부터 알 수 있는 바와 같이, 線形波理論에 의한  $As$ 는 다른 것에 비해 전 영역에 걸쳐 상당히 크게 나타나고 있으며, Stive, Svendsen 및 Sawaragi 등의 방법에 의한  $As$ 는 波形傾斜가 클 수록 약간 증가하는 경향을 보인다.

그러나 본 연구에서 제시한 방법은 반대로 波形傾斜가 증가할 수록  $As$ 가 감소하고 있어 다른 결과들과 대조적이다. 이는  $B_0$ 가 波形傾斜에 반비례하는 것으로부터 쉽게 유추될 수 있는 것이다.

Svendsen 방법은 波形傾斜가 커질 수록 碎波帶 밖에서 線形波理論에 의한  $As$ 보다 과대 평가되고 있다. 또한, 다른 결과들이 전 영역에 걸쳐서 일정한  $As$ 값을 유지하고 있는데 반하여 汀線側으로 갈 수록 감소하는 경향을 보이고 있는데, 이는  $As$ 가 相對水深의 함수로 표현되고 있으므로 당연한 결과라 할 수 있다.

본 연구에서 제시된 修正된 Svendsen 모델은 波

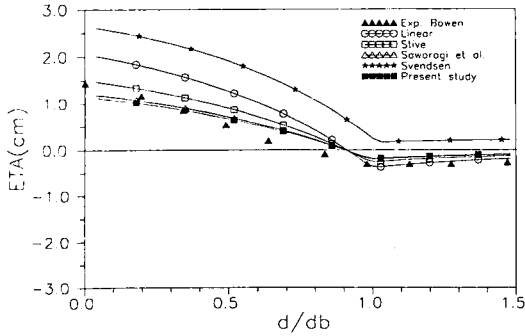


Fig. 8. Variations of mean water level due to radiation stress models(B1,  $m=0.083$ ,  $H_0/L_0=0.032$ ).

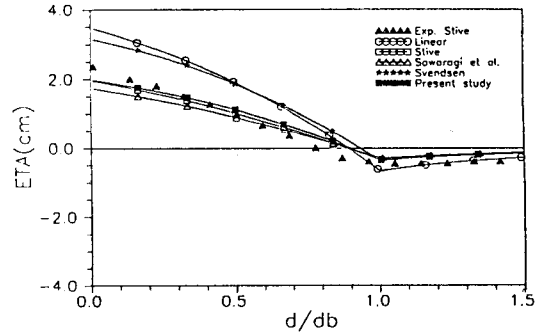


Fig. 11. Variations of mean water level due to radiation stress models(S2,  $m=0.025$ ,  $H_0/L_0=0.010$ ).

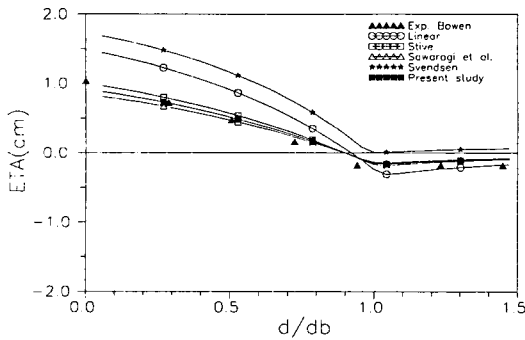


Fig. 9. Variations of mean water level due to radiation stress models(B2,  $m=0.083$ ,  $H_0/L_0=0.021$ ).

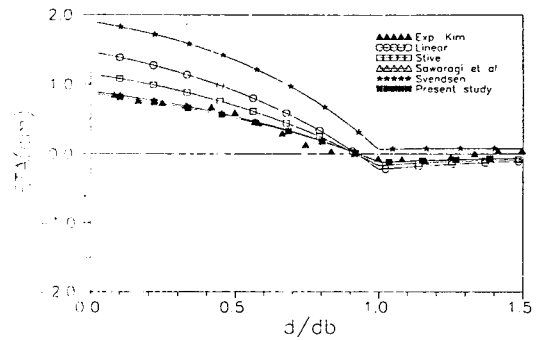


Fig. 12. Variations of mean water level due to radiation stress models(K1,  $m=0.033$ ,  $H_0/L_0=0.019$ ).

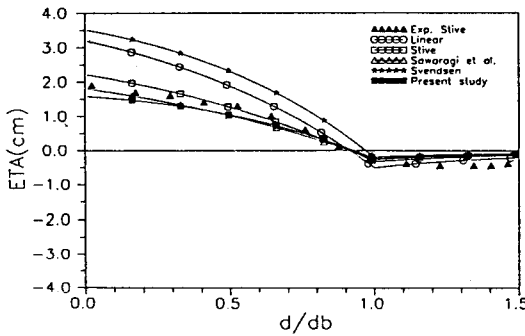


Fig. 10. Variations of mean water level due to radiation stress models(S1,  $m=0.025$ ,  $H_0/L_0=0.029$ ).

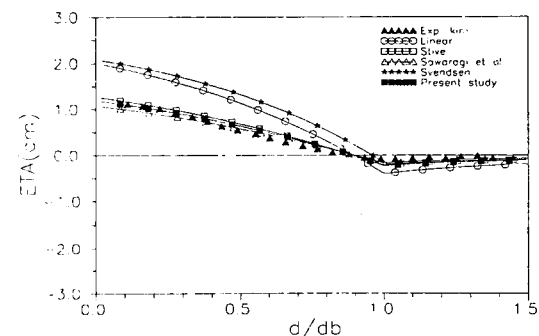


Fig. 13. Variations of mean water level due to radiation stress models(K2,  $m=0.033$ ,  $H_0/L_0=0.039$ ).

形傾斜가 작을 수록 Stive 방법에 의한 결과와 비슷하고, 波形傾斜가 증가할 수록 Sawaragi 등의 방법에 의한 결과와 일치하는 경향을 보이고 있다.

각 모델에 의한 라디에이션 應力 및 平均水位 變動의 계산 결과를 실험치와 비교를 통하여 평가하였다. Table 1은 실험 및 계산 조건을 나타낸다.

Fig. 6~Fig. 7은 Stive(1982)의 라디에이션 應력에

대한 실험치와 각각의 방법에 의한 계산 결과를 비교한 것으로서, 계산 조건은 Table 1의 S1, S2와 같다.

線形波 理論에 의한 것과 Svendsen 모델은 다른 모델들에 비해 전 영역에 걸쳐 과대 평가되고 있으며, 波形傾斜가 큰 경우 Svendsen 모델에 의한 라디에이션 應力은 線形波 理論에 의한 것 보다 오히려 커지고 있음을 알 수 있다. 이것은 무차원 라디에이션

應力の 검토 결과로서도 충분히 예측되는 결과이다.

波形傾斜  $H_0/L_0=0.029$ 일 경우, Sawaragi 등 및 본 연구에서 제시된 방법에 의한 라디에이션 應력이 실험치와 가장 근접한 것으로 나타났으며,  $H_0/L_0=0.010$ 인 경우에는 Stive 및 본 연구에서 제시된 방법이 실험치와 매우 근접한 결과를 보여주고 있다. 따라서 본 연구에서 제시된 모델이 波浪條件의 변화에 대한 適用性이 뛰어난 것으로 판단된다.

그러나, Fig. 6~7만으로는 실험 결과의 부족으로 각 모델에 대한 정확한 평가를 내리기가 곤란하다. 따라서, 라디에이션 應力の 결과로서 나타나는 平均水位 變動에 대한 실험 결과와의 비교를 통하여 각 모델들을 평가할 필요가 있다.

平均水位 變動에 미치는 각 모델들의 영향을 평가하기 위해 실험치와 계산 결과를 비교한 것이 Fig. 8~13이다. 線形波 理論에 의한 平均水位 變動은 最大 平均水位 下降이 크게 나타나고, 碎波帶內에서도 平均水位 上昇이 상당히 크게 나타나고 있다. Svendsen 모델은  $H_0/L_0=0.01$ 인 경우를 제외하고 線形波 理論에 의한 것 보다 크게 나타나고 있다.

Sawaragi 등의 모델과 Stive 모델에 의해 계산된 결과는 波形傾斜에 따라 변동이 있기는 하지만, 대체로 실험치와 비슷한 결과를 보이고 있다. 전반적으로 본 연구에서 제시된 모델이 전 영역에 걸쳐서 실험치와 잘 일치하고 있다.

## 5. 結 論

線形波 이론에 의해 과대 평가되고 있는 라디에이션 應力을 재평가하기 위해, Svendsen(1984)의 모델을 실험치를 이용하여 수정하였다. Svendsen은  $B_0$ 를 일정한 값으로 제안하였으나, 본 연구에서는  $B_0$ 를 기왕의 실험데이터를 이용하여 碎波點에서의 相對水深과 深海波 波形傾斜의 함수로 표현하였다.

실험치와 기준에 제안된 線形波 이론, Stive(1984), Svendsen(1984) 및 Sawaragi 등(1984)의 모델 및 본 연구에서 제시된 모델에 의한 계산 결과의 비교를 통하여 각 모델의 특성을 파악하였다. 線形波 이론 및 Svendsen 모델에 의한 계산치는 실험치에 비해 상당히 과대 평가되고 있으며, Stive와 Sawaragi 등의 모델에 의한 계산치는 波形傾斜에 따라 실험치와 차이를 보이고 있다. 그러나, 본 연구에서 제시된 모델에

의한 계산치는 波形傾斜의 변화에 무관하게 실험치와 좋은 일치를 보여주고 있다.

## 感謝의 글

본 연구는 1994년도 韓國科學財團 特定研究課題 ‘海岸 環境水理 綜合 數值模型 開發’의 일환으로 수행된 것으로 同 財團에 감사드립니다.

## 참고문헌

- 金京鎬, 車基旭, 曹在熙, 尹永鎬, 1993. 라디에이션 應力の 評價方法에 따른 平均水位 變化, 韓國 海岸·海洋工學會誌, 5(4), 263-270.
- 吳炳東, 1995. 碎波帶內의 水理現象에 미치는 波動에너지 損失, 忠北大學校 大學院 碩士學位 論文.
- 合田 良實, 1970. 碎波指標의 整理について, 日本土木學會論文報告集, 180, 39-49.
- Battjes, J.A., 1975. Computation of set-up, longshore current, run-up and overtopping due to wind-generated waves, *Commun. of Hydraulics*, Dep. of Civil Eng., Delft Univ. of Techn., Rep. No. 74-2, 244.
- Battjes, J.A. and Janssen, J.P.F.M., 1978. Energy loss and set-up due to breaking of random waves, *Proc. of 16th Conf. on Coastal Eng., ASCE*, 1, 569-587.
- Bowen, A.J., Inman, D.L. and Simons, V.P., 1968. Wave 'set-down' and 'set-up', *J. Geophys. Res.*, 73(8), 2569-2577.
- Dally, W.R., Dean, R.G. and Dalrymple, R.A., 1985. Wave height variation across beaches of arbitrary profile, *J. Geophys. Res.*, 90(c6), 11917-11927.
- Dally, W.R., 1990. Random breaking waves: A closed-form solution for planar beaches, *Coastal Eng.*, 14, 233-263.
- Duncan, J.H., 1981. An experimental investigation of breaking waves produced by a towed hydrofoil, *Proc. R. Soc. London, Ser. A*, 377, 331-348.
- Ijima, T., Takahashi, T. and Nakamura, K., 1956. Waves in the surf zone observed by a photographic method, *Proc. of 3rd Conf. on Coastal Eng., JSCE*, 99-116.
- Izumiyama, T. and Horikawa, K., 1984. Wave energy equation applicable in and outside the surf zone, *Coastal Eng. in Japan*, 27, 119-137.
- Le Méhauté, B., 1962. On non-saturated breakers and wave run-up, *Proc. of 8th Conf. on Coastal Eng., ASCE*, 77-92.
- Longuet-Higgins, M.S. and Stewart, R.W., 1962. Radiation stress and mass transport in gravity waves, with application to surf beat, *J.F.M.*, 13, 481-504.
- Longuet-Higgins, M.S. and Stewart, R.W., 1964. Radiation stress in water waves: A physical discussion with application, *Deep Sea Research*, 11, 529-562.
- Mizuguchi, M., 1980. An heuristic model of wave height distribution in surf zone, *Proc. of 17th Conf. on Coastal Eng., ASCE*, 278-289.
- Sawaragi, T., Deguchi, I. and Kim, K.H., 1984. Energy loss

- and wave set-up due to breaking waves. Tech. Report of Osaka Univ., **34**(1779), 329-338.
- Stive, M.J.F. and Wind, H.G., 1982. A study of radiation stress and set-up in the nearshore region. *Coastal Eng.*, **6**, 1-25.
- Stive, M.J.F., 1984. Energy dissipation in waves breaking on gentle slopes. *Coastal Eng.*, **8**(2), 99-127.
- Svendsen, I.A., 1984. Wave heights and set-up in a surf zone. *Coastal Eng.*, **8**, 303-329.