

불규칙파랑 효과를 고려한 평형단면의 특성

이철응* · 최한규** · 한춘호***

Characteristics of Equilibrium Beach Profile under Random Waves

Cheol-Eung Lee* · Han-Kyu Choi** · Chun-Ho Han***

ABSTRACT

The equilibrium beach profiles with the effects of random waves and nonuniform grain size in the surf zone are derived from the Thornton and Guza(1983)'s energy dissipation model. The derived beach profiles are the functions of the breaking wave strength, the frequency of the incident wave, and the wave induced-energy dissipation at breaking point. It is not confirmed that the equilibrium beach profiles are better agreement with the measured profiles than the classical profiles. However, the characteristic of the changes of the beach profiles with respect to the breaking wave strength and the frequency of the incident wave can be analyzed which has not been studied by the classical model.

* 강원대학교 토목공학과 박사후 연구원

** 강원대학교 토목공학과 교수

*** 강원대학교 토목공학과 부교수

1. 서 론

해안선의 단면 형상은 표사의 입경이나 그와 관련된 기타 특성, 그리고 폭풍해일이나 평상파 등의 외력조건 등과 다양하게 관련되어 있어, 일반적인 단면식의 유도가 어렵다. 비록 일반적인 단면식을 구하더라도 실제 적용은 앞에서 언급된 많은 관측 자료들, 특히 표사의 정확한 입경분포와 쇄파 특성에 관한 자료를 토대로 수행되어야 한다.

지금까지 많은 단면식들이 제시되어 왔다. 그중 가장 고전적인 단면식은 Dean (1977)이 제시한 해안선으로 부터 거리에 따른 지수함수 형태의 단면식으로, 많은 관측자료와 에너지 소산 이론을 이용하여 유도된 식이다. 이 단면식은 단순파랑(monochromatic wave)이 입사할 때 쇄파대내에서 쇄파후의 파고는 수심에 따라 일정한 비율로 형성되며, 표사의 입경은 평균 입경(median grain size)으로 전 단면에 걸쳐 일정하다는 가정하에 유도되었다. 이후 많은 연구자들에 의하여 이 단면식의 타당성이 확인되었다. 최근에는 축척된 많은 관측자료를 이용하여, 고전적인 단면식으로 고려할 수 없었던 해안선 단면을 따른 표사의 입경변화 효과와 불규칙 파랑(random wave)의 효과를 고려할 수 있는 단면식에 관하여도 연구되고 있다. Larson (1991)은 고전적인 평형상태의 단면식으로 는 고려할 수 없었던 단면의 위치에 따른 표사의 입경변화 효과를 고려할 수 있는 식을 제시하였다. 이와 같이 제시된 단면식은 해안선 부근에서의 표사입경이 일반적으로 외해 영역의 표사입경보다 크며, 그 중간 영역에서는 지수함수로 변한다는 실제 관측된 자료에 의하여 검증된 가정하에 유도된 식이다. 또한 이철웅(1995)도 동일한 입경변화 방정식을 사용하여 해안선 부근에서 발생하는 문제점을 해결할 수 있으면서 해안선 단면을 따른 표사의 입경변

화를 고려할 수 있는 평형 단면식을 제시하였으며, 기존의 평형 단면식들을 상호 비교하여 적용의 편의를 도모하였다. 그러나 이상에서 언급된 단면식들은 모두 단순 파랑을 고려하여 쇄파대내에서 쇄파후의 파고가 수심의 일정한 비율로 형성된다는 가정하에 유도되었다. 따라서 쇄파대내에서 좀더 정확히 파고를 고려할 수 있는 단면식들이 요구된다. Creed 등(1992)은 Bailard(1981)의 해안선 수직방향의 표사 이동을 방정식을 사용하여 좀더 정확하면서 일반적인 평형 단면식을 구하려고 하였다. 그러나 표사 이동을 방정식은 파랑의 유속, 표사 입자 사이의 내부 마찰각도 등 쇄파대내에서 정확하게 구하기 어려운 함수들로 구성된 식이기 때문에, 실제 적용 시에는 많은 어려움이 발생할 수 있다. 또한 이들은 에너지 소산이 쇄파를 통하여 직접적으로 쇄파대내의 파고와 관련된다는 사실을 확인한 후, 좀더 정확한 파고를 정의하기 위하여 Thornton과 Guza(1983)의 파랑에 의한 에너지 소산 방정식을 이용하였다. 이와 같이 정의된 쇄파대내의 파고는 기존의 단면식에 사용되었던 처럼 단순히 수심에 비례하는 것이 아니라 주기, 쇄파의 형태 그리고 쇄파점의 에너지 소산 등과 관련되어 있다. 위에서 정의된 파고를 이용하여 고전적인 평형 단면식을 수정하였다. 그러나 수정된 단면식은 기존의 단면식보다 평형상태의 해안선의 기울기를 더 급하게 형성시킨다는 일반적인 특성 이외의 현상, 즉 쇄파의 크기나, 입사파의 주기에 의한 단면의 변화특성 등에 대하여는 자세히 연구되지 못하였다.

본 연구에서는 해안선 단면을 따른 표사의 입경변화와 불규칙 파랑 효과를 고려할 수 있는 평형상태의 해안선 단면식을 유도하고자 한다. 또한 이와 같이 유도된 단면식들을 기존의 단순파랑을 사용하여 제시된 평형상태의 단면식들과 비교·검토하여 그에 따른 여러가지 특성을 살펴보았다.

2. 불규칙 파랑에 의한 에너지 소산

심해에서 천해역으로 진행되는 파랑은 일정 수심하에서 쇄파하게 된다. 이때 파고가 큰 파랑은 상대적으로 파고가 작은 파랑보다 더 심해쪽에서 쇄파된다. 따라서 쇄파대내에는 쇄파된 후의 변형된 파랑과 쇄파되지 않은 파랑이 함께 존재하게 된다. Thornton과 Guza(1983)는 이와 같은 개념에 근거하여 에너지 소산 방정식을 유도하였다. 이때 심해에서의 파고분포는 다음 식 (1)과 같은 Rayleigh 분포를 갖는다고 가정하였으며,

$$p(H) = \frac{2H}{H_{rms}^2} \exp\left(-\left(\frac{H}{H_{rms}}\right)^2\right) \quad (1)$$

일정 파고하에서 파랑이 쇄파될 확률은 관측자료를 근거로 Rayleigh 분포에 가중함수(weighting function)를 곱한 형태의 다음 식 (2)와 같이 정의하였다.

$$p_b(H) = W(H)p(H) \quad (2)$$

여기서 $W(H) = (H_{rms}/\gamma h)^n$ 로 정의된 가중함수이며, $\gamma=0.42$, n 은 관측자료에서 결정될 상수이다. 이때 식 (2)는 다음의 세가지 제약조건들을 만족하여야 한다. 첫째는 $p_b(H)$ 가 관측자료와 잘 일치할 것, 둘째는 $p_b(H)$ 는 $p(H)$ 의 종속집단(subset)일 것, 그리고 마지막으로 분포식 아래의 면적이 쇄파대내에서 쇄파된 후의 파랑이 차지하는 비율과 동일할 것이다.

또한 평균 에너지 소산율은 파고 H 를 갖는 하나의 파랑에 의한 에너지 소산에 각각의 파고에서 쇄파될 확률을 곱한다는 개념으로 다음 식 (3)과 같이 정의하였다.

$$\overline{D_*} = \frac{B^3}{4} \rho g \frac{f}{h^2} \int_{\infty}^0 H^3 p_b(H) dH \quad (3)$$

여기서 B 는 쇄파의 크기 및 형태와 관련된 쇄파계수(breaker coefficient)이고, f 는 입사파 주기의 역수이다. 따라서 $n=4$ 를 갖는 식 (1)과 (2)를 식 (3)에 대입하면 다음 식 (4)를 얻을 수 있다(Thornton & Guza, 1983).

$$\overline{D_*} = \frac{3\sqrt{\pi}}{16} \rho g \frac{B^3 f}{\gamma^4 h^6} H_{rms}^7 \quad (4)$$

따라서 평균 에너지 소산율은 쇄파의 크기 및 형태, 주기, 파고 그리고 수심과 관련이 있으며 하상의 표사특성과는 관련이 없다. 만약 식 (4)에서 $\overline{D_*}$ 가 전술한 바와 같이 하상에 있는 표사의 특성과 관련이 없이, 쇄파점에서의 파고, 수심, 쇄파의 형태 및 크기와 입사파의 주기에 의하여 결정된 상수라고 가정하면, 쇄파후 쇄파대내에서의 에너지 소산은 순수하게 하상에 있는 표사의 입경분포의 변화에 의하여 이루어진다고 가정할 수 있다.

3. 불규칙 파랑에 의한 평형 단면식의 유도

해안선에 수직으로 입사하는 파랑의 쇄파대내에서 하상의 표사분포에 의한 에너지 소산을 고려한 에너지 보존식은 다음 식 (5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{1}{h} \frac{\partial F}{\partial x} = D_{eq} \quad (5)$$

여기서 F 는 에너지 束(energy flux)이며, D_{eq} 는 표사의 입경에만 의존하는 평형상태의 에너지 소산이라고 가정한다. F 를

구하기 위하여 필요한 파고의 정의를 지금까지 사용한 $H = xh$ 의 정의를 사용하지 않고 식 (4)의 H_{rms} 를 사용하게 되면 불규칙 파랑에 의한 효과를 포함할 수 있다. 식 (4)에서 얻은 H_{rms} 를 식 (5)에 대입하면 다음 식 (6)을 얻을 수 있다.

$$\frac{31}{112} \rho g^{3/2} \left(\frac{16\gamma^4 D_*}{3\sqrt{\pi} \rho g B f} \right)^{2/7} h^{3/14} \frac{\partial h}{\partial x} = D_{eq} \quad (6)$$

따라서 D_{eq} 가 평균입경(median size)으로 일정하다는 가정과 해안선에서의 경계조건을 이용하여 식 (6)을 적분하면 다음 식 (7)을 얻을 수 있다.

$$h(x) = B_m x^{14/17} \quad (7)$$

여기서 B_m 은 표사의 평균입경, 쇄파의 크기 및 형태, 주기 그리고 쇄파점에서 순수하게 파랑에 의하여 발생하는 에너지 소산과 관련된, 다음 식 (8)과 같다.

$$B_m = \left(\frac{136 D_m}{31 \rho g \sqrt{g}} \left(\frac{3\sqrt{\pi} \rho g B^3 f}{16\gamma^4 D_*} \right)^{2/7} \right)^{14/17} \quad (8)$$

여기서 D_m 은 표사의 입경이 평균입경으로 일정하다고 가정했을때의 D_{eq} 이다. 따라서 식 (7)은 기존의 Dean(1977)의 고전적인 방법에서 나타나지 않았던 쇄파의 크기, 주기 그리고 쇄파점에서 파랑의 에너지 손실과 직접적인 관계를 갖게 되었다. 그리고 고전적인 방법보다 x 의 지수가 약간 커졌다. 즉, 고전적인 방법에서는 2/3였으나 식 (7)에서는 14/17이다. 이는 고전적인 방법보다 단면의 기울기가 크다는 것을 의미한다.

한편 Larson(1991)에 의하여 처음으로 제시되었고 이철웅(1995)이 표사의 입경분포에 대한 관측자료를 이용하여 이미 그

타당성을 확인한 바 있는 표사의 입경변화를 고려한 평형상태의 에너지 소산율을 나타내는 식, $D_{eq} = D_\infty + (D_o - D_\infty)e^{-\lambda x}$ 을 이용하여, 식 (7)을 구하는 과정과 동일하게 적분을 하면 다음 식 (9)를 얻을 수 있다.

$$h(x) = B_\infty \left(x + \frac{1}{\lambda} \left(\frac{D_o}{D_\infty} - 1 \right) (1 - e^{-\lambda x}) \right)^{14/17} \quad (9)$$

여기서 D_o 는 해안선에서 평형상태의 에너지 소산이고, D_∞ 는 외해영역의 평형상태의 소산이므로, $D_o \geq D_\infty$ 의 관계를 갖는다. 또한 λ 는 해안선 단면의 표사 입경변화에 따른 평형상태의 에너지 소산의 변화를 나타내는 경험상수이다. B_∞ 은 표사의 입경에 의한 에너지 소산의 영향만 다르고 나머지는 식 (8)과 동일한 형태를 갖는 식 (10)과 같이 정의된다.

$$B_\infty = \left(\frac{136 D_\infty}{31 \rho g \sqrt{g}} \left(\frac{3\sqrt{\pi} \rho g B^3 f}{16\gamma^4 D_*} \right)^{2/7} \right)^{14/17} \quad (10)$$

단순파랑이 입사할때 쇄파대내에서 표사의 입경이 평균입경으로 일정하다는 가정하에서 유도된 단면식이 내재하고 있는 해안선에서의 기울기가 무한대로 커지는 문제점을 해결하기 위하여 Larson과 Kraus(1989), Dean(1991)에 의하여 제시된 평형상태의 에너지 보존식은 다음 식 (11)과 같다.

$$\frac{\varepsilon}{K} \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{1}{h} \frac{\partial F}{\partial x} = D_{eq} \quad (11)$$

여기서 ε 은 이동율 계수(transport rate coefficient)이고, K 는 Kriebel과 Dean(1985)이 평균입경을 사용하여 정의한 이동율 계수이다. 따라서 식 (7)을 구하는

과정을 동일하게 적용하면 다음 식 (12)를 얻을 수 있다.

$$x = \frac{\epsilon}{KD_m} h + \left(\frac{h}{B_m}\right)^{17/14} \quad (12)$$

마지막으로 식 (7)이 가지는 기울기의 문제점을 해결할 수 있으면서 표사의 입경 변화와 불규칙 파랑의 효과를 고려할 수 있는 단면식은 식 (11)을 이용하여 식 (9)를 구하는 과정과 동일하게 전개하면 다음의 식 (13)을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} & \frac{\epsilon}{KD_\infty} h + \left(\frac{h}{B_\infty}\right)^{17/14} \\ & = x + \frac{1}{\lambda} \left(\frac{D_o}{D_\infty} - 1\right) (1 - e^{-\lambda x}) \quad (13) \end{aligned}$$

이상과 같이 불규칙 파랑의 효과를 고려할 수 있는 평형 단면식, (7), (9), (12) 그리고 (13)을 구하였다. 이와 같은 단면식들은 비록 불규칙 파랑의 효과를 고려할 수 있지만, 기존의 단순파랑이라는 가정하에 구한 단면식들에 비하여 결정해야 할 많은 상수들로 구성되어 있다. 따라서 상수들이 관측자료에 근거하여 결정되어야 한다는 어려움을 동시에 내포하고 있다. 특히 해안선 단면을 따른 표사의 입경분포 영향을 고려할 수 있는 단면식인 식 (7)과 (13)을 실제에 올바르게 적용하기 위해서는 표사의 입경분포와 입사파랑에 관한 충분한 자료가 확보되어야 한다.

4. 평형 단면식의 비교·검토

3절에서 유도된 불규칙 파랑에 의한 효과를 포함하여 유도된 평형 단면식들을 기존의 단순파랑이라는 가정하에 구한 단면식들의 결과 및 관측자료와 비교하여 불규칙 파랑의 효과를 포함한 평형 단면식의 특성을 살펴보고자 한다.

식 (7)을 이용하여 기존의 단면식으로는 해석할 수 없었던 쇄파의 크기, 입사파의 주기 그리고 쇄파점에서 파고와 수심의 함수로만 정의된 파랑 에너지 소산의 변화에 따른 평형 단면식의 거동특성을 해석하였다. 먼저 Fig. 1은 쇄파의 크기에 따른 평형 단면의 거동 특성이다. 그림에서 실선으로 나타낸 것이 고전적인 단면식에 의한 결과이다. 이때 사용된 다른 변수들은

$\overline{D}_* = 22 \text{ kg/m sec}^3$, $f = 0.1 \text{ Hz}$ 그리고 $A_m = 0.2 \text{ m}^{1/3}$ 이다. 그림에서 볼수 있는 것처럼 쇄파의 강도가 클수록 고전적인 단면식과 많은 차이를 보이고 있다. 이는 실제 평형상태의 단면식이 쇄파의 형태 및 그에 따른 크기에 의하여 많은 영향을 받기 때문이라고 생각된다. 따라서 단순파랑이 입사할때 일정한 장소에서 일정한 크기로 쇄파한다고 가정하여 해석한 고전적인 단면식에서는 해석할 수 없었던 쇄파에 의한 영향을 고려할 수 있다고 판단된다. 또한 Fig. 2는 입사파의 주기에 의한 영향을 살펴본 그림이다. 사용된 변수로 $\overline{D}_* = 22 \text{ kg/m sec}^3$, $B = 0.15$ 그리고 $A_m = 0.2$

$\text{m}^{1/3}$ 이다. Fig. 1과 동일하게 실선으로 고전적인 단면식의 결과와 비교하였다. 평형 단면식은 임의의 외력조건이 발생하였을때 해안선 단면의 표사가 어떻게 이동(유실 및 퇴적)되는가 하는 현상을 간단히 예측할 수 있다는 목적으로 사용된다고 볼때, Fig. 2에 나타난 결과는 매우 흥미롭다. 파랑의 주기가 길수록 동일한 위치에서 평형 상태의 해안선 단면의 수심이 낮아지고 있다. 일반적으로 주기가 작은 파랑은 주로 해안선 단면의 유실을 유발하는 반면, 상대적으로 주기가 긴 파랑(예로 파군에 의하여 유발되는 장주기파 등)은 표사의 퇴적을 유발시킨다고 알려져 왔다. 이와 같은 관점에서 볼때 Fig. 2는 개략적이거나 입사파의 주기에 의한 평형상태의 해안선 단면에 미치는 영향을 잘 나타내준

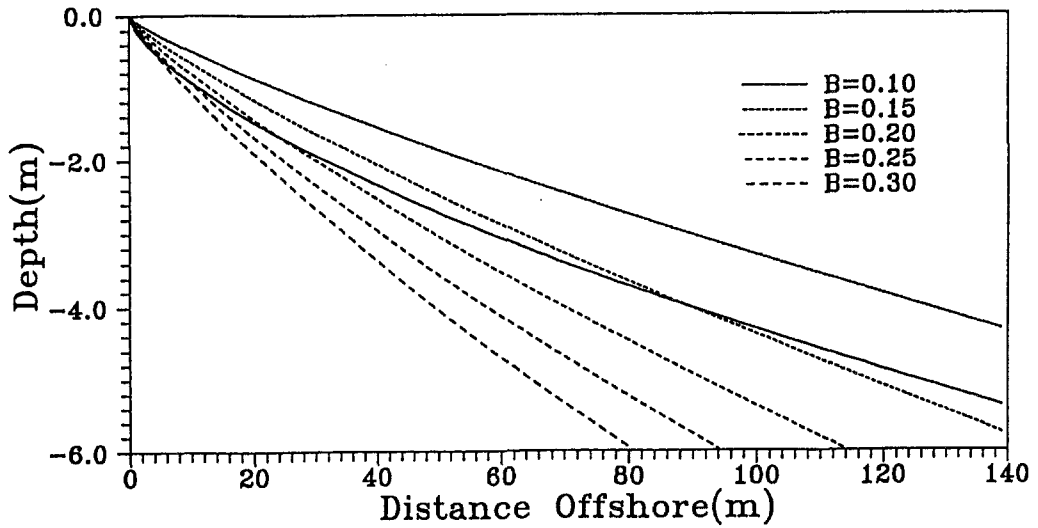


Fig. 1 Characteristic of equilibrium beach profile under random waves with respect to the breaker coefficient(B)

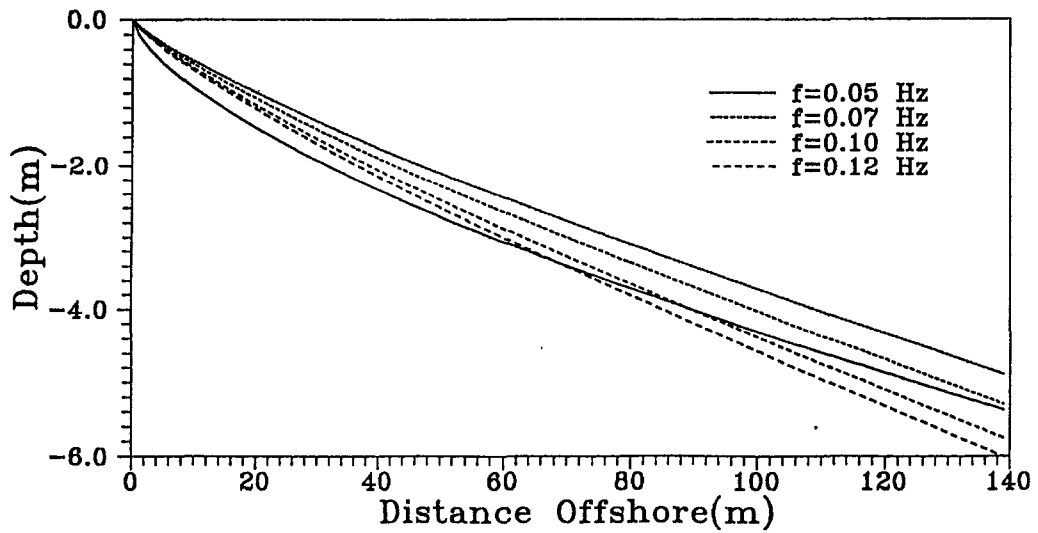


Fig. 2 Characteristic of equilibrium beach profile under random waves with respect to the frequency of incident wave(f)

다고 생각된다. Fig. 3은 일정한 주기와 일정한 크기의 쇄파조건에서 식 (4)에 의하여 쇄파점에서 정의된 에너지 소산의 크기에 따른 결과이다. 이때 $B=0.15$, $f=0.1 \text{ Hz}$ 그리고 $A_m=0.2 \text{ m}^{1/3}$ 로 부여하였다. 즉 쇄파대내에서 표사의 입경에 의한 하상에서의 에너지 소산, D_{eq} 에 의하여 고려되며, 그의 쇄파점에서의 에너지 소산은 파고와 수심의 관계로 정의된 \overline{D}_* 에 의하여 고려된다고 가정하였다. 이와 같이 생각할때, Fig. 3의 결과는 당연하다고 판단된다. 왜냐하면 일정 조건하에서 발생하는 총 에너지 소산량에서 쇄파점에서 발생하는 에너지 소산, \overline{D}_* 가 차지하는 소산량이 크면 하상에서 표사의 입경과 관련되어 발생하는 에너지 소산, D_{eq} 의 크기가 작아지기 때문이다. 표사의 이동은 직접적으로 표사의 입경과 관련된 D_{eq} 에 의하여 유발되기 때문에 \overline{D}_* 가 작을 수록, 쇄파대내에서 상대적으로 많은 에너지 소산이 발생하여 동일한 위치에서 많은 유실이 발생하는 것으로 생각할 수 있다. 즉 쇄파점에서의 에너지 소산이 적게 발생하며, 나머지는 쇄파대내의 영역에서 하상의 표사와 관련되어 발생된다고 해석할 수 있다.

지금까지의 결과는 해안선 단면을 따른 표사의 입경이 평균입경으로 일정하다는 가정하에서 계산된 것이다. 따라서 식 (5)의 지배 방정식에 표사의 입경변화와 단순파랑이라고 가정하여 유도된 Larson(1991)의 평형 단면식과 본 연구에서 유도된 불규칙 파랑의 효과와 표사의 입경변화를 고려한 단면식 (9)의 결과를 미국 New Jersey주의 Point Pleasant해안의 관측자료와 비교하였다. 본 관측자료는 Larson(1991)에 의하여 처음으로 사용되었으며, 이철웅(1995)에 의하여 평형 단면식들의 비교 연구에 사용되기도 하였다. 먼저 Larson(1991)의 평형 단면식을 계산하기

위하여 필요한 제반 변수값으로 $A_\infty=0.1 \text{ m}^{1/3}$, $D_o/D_\infty=5$, $A_m=0.2 \text{ m}^{1/3}$, $\lambda=0.007 \text{ m}^{-1}$ 이며, 본 단면식에 필요한 변수들은 $\overline{D}_*=28 \text{ kg/m sec}^3$, $f=0.08 \text{ Hz}$, 그리고 $B=0.14$ 로 부여하였다. 특히 후자의 변수값들은 본 적용지역의 쇄파의 특성을 포함한 파랑 관측자료를 구할 수가 없어서 관측자료로부터 직접 구한 값들이 아니라 많은 수치실험을 통하여 해안선 단면의 관측치에 제일 가깝게 일치하는 값으로 선택된 것들이다. Fig. 4의 적용결과에 의하면 식 (9)의 결과가 표사의 입경변화를 고려하지 않은 단순파랑의 가정하에 유도된 고전적인 단면식 보다는 관측자료에 더 잘 일치하나, Larson(1991)의 단면식 결과가 제일 잘 관측자료와 일치하고 있다. 이와 같은 이유로는 본 단면식에 필요한 제반 변수들의 정확한 결정이 선행되지 못하였기 때문이다. 따라서 본 단면식을 올바르게 사용하기 위하여는 파랑 및 표사의 관측자료에 근거한 정확한 변수들의 결정이 선행되어야 한다고 생각된다. 또한 두 단면식(단순파랑과 불규칙 파랑)들간에 가지는 특성을 자세히 검토하고자 Fig. 1~Fig. 3의 방법과 동일하게 쇄파의 크기, 입사파의 주기, 그리고 식 (4)에 의하여 정의된 쇄파점에서의 에너지 소산의 변화를 주어 계산하였다. 그 결과를 Fig. 5~Fig. 7에 나타내었다. 먼저 Fig. 5의 쇄파의 크기에 의한 결과를 살펴보자. 이때 사용된 변수들은 $A_\infty=0.1 \text{ m}^{1/3}$, $D_o/D_\infty=5$, $\lambda=0.007 \text{ m}^{-1}$ 이며 $\overline{D}_*=28 \text{ kg/m sec}^3$, $f=0.08 \text{ Hz}$ 이다. Fig. 5에서 실선은 단순파랑하에서 Larson(1991)에 의해 유도된 단면식의 결과이다. Fig. 5에서도 Fig. 1에서 이미 살펴봐왔던 쇄파의 크기에 의한 영향이 동일하게 나타나고 있다. 즉, 쇄파의 크기가 클수록 많은 표사의 유실이 발생하는 것으로 나타났다. 그리고 Fig. 1에서 나타나지 않았던 해안선 단면을 따른 단면의 기울기가 직선적으로 변하지 않고, 해안선 부근에서

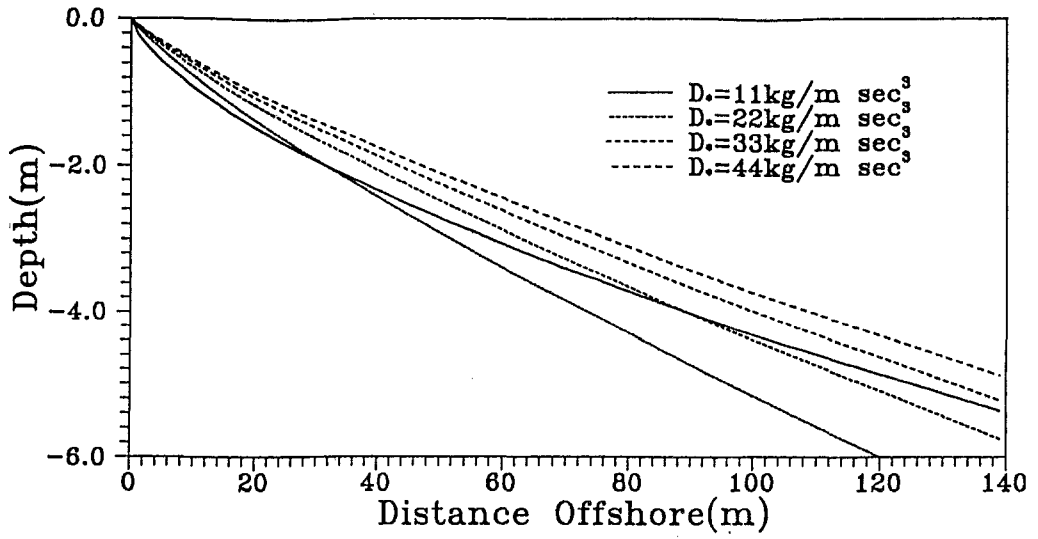


Fig. 3 Characteristic of equilibrium beach profile under random waves with respect to the wave-induced energy dissipation (\overline{D}_*) at breaking point.

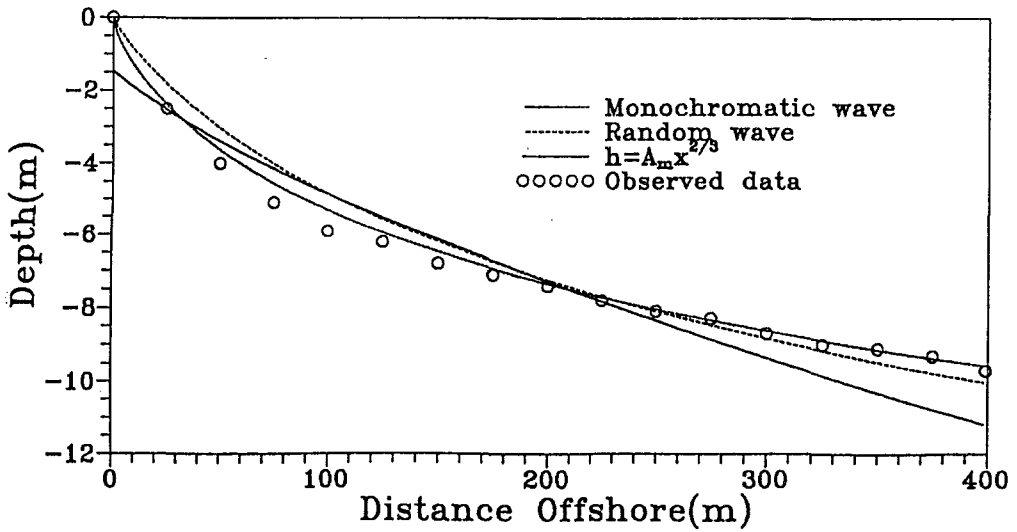


Fig. 4 Comparison of equilibrium beach profiles due to monochromatic and random waves for Point Pleasant, New Jersey.

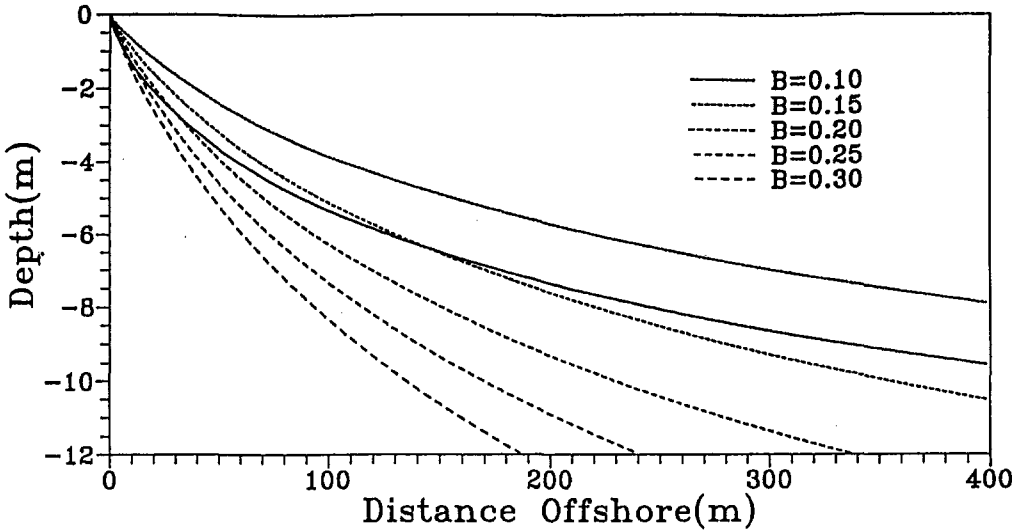


Fig. 5 Characteristic of equilibrium beach profile under varying-grain size and random waves with respect to the breaker coefficient(B)

왜해영역의 기울기보다 크게 나타나고 있다. 따라서 해안선 단면을 따른 표사 입경 변화에 의한 영향이 식 (9)에 의하여 올바르게 반영되고 있음을 알 수 있다. 주기 변화에 따른 결과를 나타낸 Fig. 6과 \overline{D}_* 의 변화에 따른 결과를 나타낸 Fig. 7의 특성은 입경변화 효과를 고려하여 나타나는 특성을 제외하고 나머지 특성들은 Fig. 2와 Fig. 3에서 살펴보았던 것과 동일하게 나타나고 있다. 특히 이와 같은 제반 변수들의 변화에 따른 특성변화에서 쇄파의 크기에 의한 영향이 제일 크게 나타나고 있다. 이와 같은 현상은 단면식 (8)과 (12)에서 쉽게 확인할 수 있다.

Fig. 8에 나타낸 결과는 식 (12)를 이용하여 구한 평형상태의 해안선 단면이다. 앞에서와 마찬가지로 단순파랑에 의해 유도된 단면식의 결과를 실선으로 나타내었다. 사용된 변수들은 $A_m=0.1 m^{1/3}$, $K=2.2$

$\times 10^{-6} m^4/N$, $\epsilon=0.003$, $\overline{D}_*=22 kg/m sec^3$, $B=0.2$, 그리고 $f=0.1 Hz$ 이다. 그림에서 알 수 있듯이 두 단면식들에 의한 결과에 약간의 차이를 보이고 있다. 특히 불규칙 파랑의 효과를 고려한 단면식의 기울기가 더 급하게 형성되고 있다.

마지막으로 식 (13)에 의한 적용 결과를 Fig. 9에 나타내었다. 적용 대상지역은 Caribbean의 Baie Rouge해안이다. Fig. 4와 동일하게 단순파랑에 의한 결과 및 관측자료와 비교하였다. 사용된 제반 변수값들은 $A_m=0.29 m^{1/3}$, $A_\infty=0.22 m^{1/3}$, $K=3.9 \times 10^{-5} m^4/N$, $\epsilon=0.0001$, $\lambda=0.038$, $\overline{D}_*=30 kg/m sec^3$, $B=0.155$, 그리고 $f=0.09 Hz$ 이다. 그림에서 알 수 있듯이 단면식들의 결과가 관측자료와 비교적 잘 일치하나 그 중에서도 단순파랑에 표사의 입경변화를 고려한 단면식의 결과가 상대적으로 제일 잘 일치하고 있다. 그러나 표사의 입경변화를 고려하지 않은 단순파랑에 의한 결과

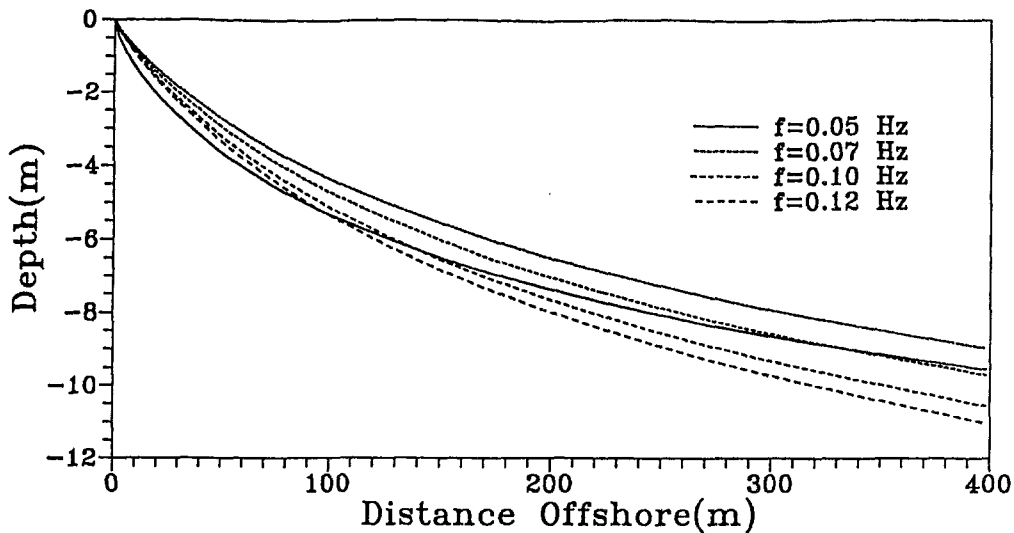


Fig. 6 Characteristic of equilibrium beach profile under varying-grain size and random waves with respect to the frequency of incident wave (f)

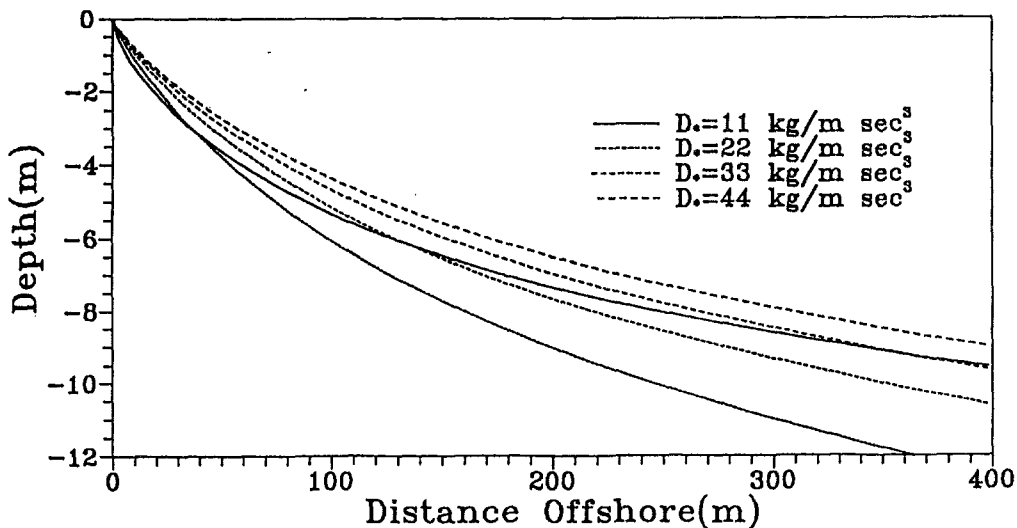


Fig. 7 Characteristic of equilibrium beach profile under varying-grain size and random waves with respect to the wave-induced energy dissipation (\overline{D}_*) at breaking point.

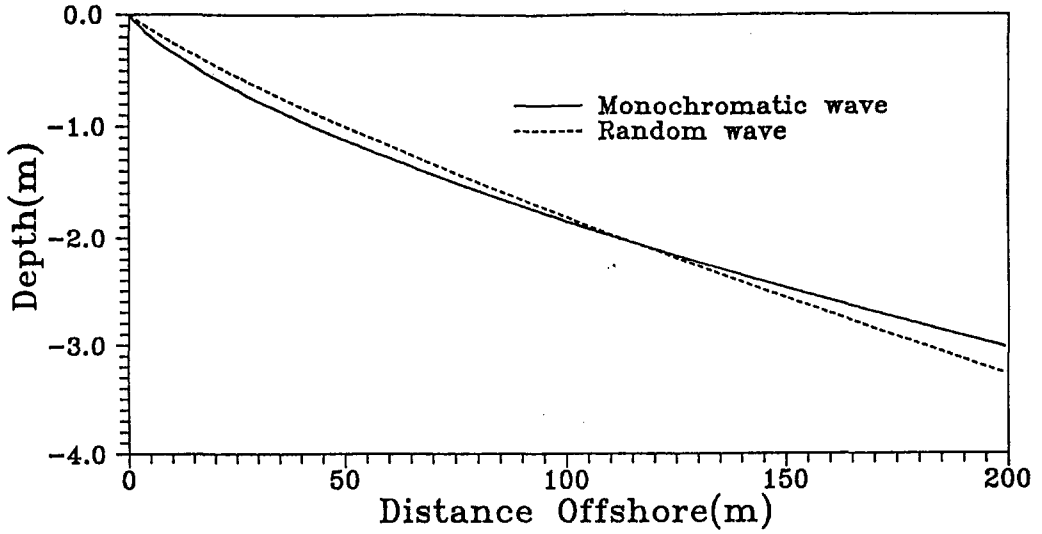


Fig. 8 Comparison of equilibrium beach profiles due to monochromatic and random waves.

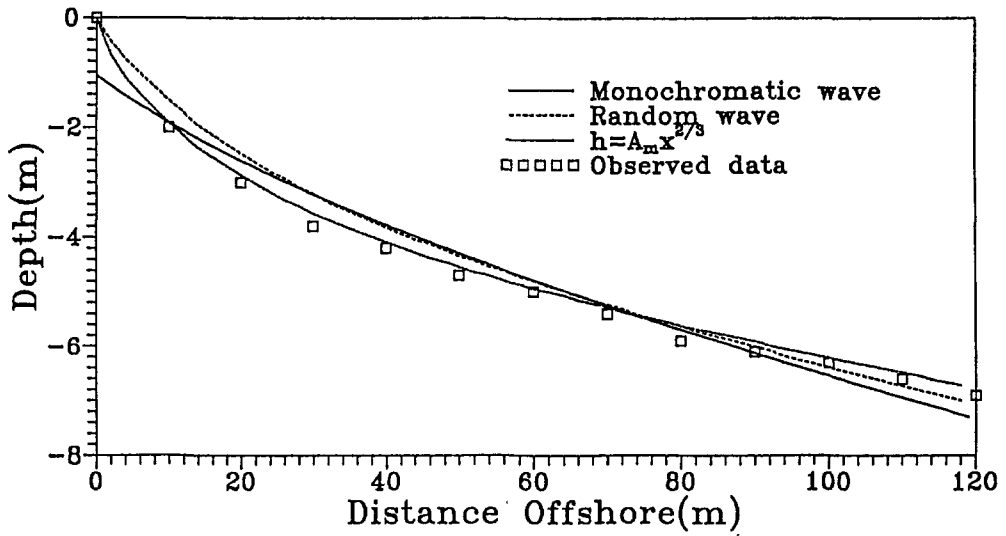


Fig. 9 Comparison of equilibrium beach profiles due to monochromatic and random waves for Baie Rouge, Caribbean.

보다는 더 잘 관측자료와 일치하고 있다. 그러나 불규칙 파랑의 효과를 고려한 단면식들에 의한 결과는 공통적으로 단순파랑하에서 유도된 단면식들의 결과보다 더 급한 기울기를 나타내고 있다.

5. 결론 및 토의

불규칙 파랑의 효과를 고려한 평형 단면식의 특성을 해석하기 위하여 단순파랑의 가정하에 유도된 단면식들 및 관측자료와 비교하였다. 비교 결과에 의하면 오히려 불규칙 파랑의 효과를 고려한 단면식의 결과가 단순파랑하에 표사의 입경변화를 고려한 단면식의 결과보다 관측자료와 잘 일치하지 않는 것으로 나타났다. 이와 같은 이유로 불규칙 파랑의 효과를 포함한 단면식에 필요한 쇄파의 크기, 주기 그리고 쇄파점에서 에너지 소산의 크기를 정확히 결정하지 못하였기 때문이라고 생각할 수도 있으나, 전반적인 단면식의 특성이 일반적으로 관측자료에서 나타나는 특성과는 거리가 있는 것으로 판단된다. 즉 단순파랑에 의하여 유도된 지수가 2/3인데 반해 불규칙 파랑에 의한 단면식의 지수값은 14/17이었다. 따라서 단면의 기울기가 상대적으로 더 급하게 나타난다는 의미이다. 이와 같은 현상은 표사의 입경변화를 고려하지 않은 단면식에서 특히 두드러지게 나타났다. 표사의 입경변화를 고려한 경우에도 그 영향은 여전히 남아 있었다. 그러나 불규칙 파랑의 효과를 고려한 단면식을 이용하면 단순파랑의 단면식에서는 해석할 수 없었던 특성들을 대략적이지만 해석할 수 있었다. 즉, 쇄파의 형태 및 크기 그리고 입사파의 주기에 의한 영향들을 해석할 수 있었다.

결론적으로 불규칙 파랑의 효과를 고려한 단면식의 사용은 반드시 파랑 및 표사에 관한 관측자료에 근거하여 결정판 변수

를 사용하였을 때만 그 결과를 어느 정도 신뢰할 수 있지만, 여전히 평형 단면의 일반적인 특성과는 거리가 있는 것으로 판단된다. 따라서 불규칙 파랑의 효과를 고려한 단면식을 사용하는 것 보다는 표사의 특성에 관한 관측자료만 있어도 간단히 그리고 정확하게 적용할 수 있는, 표사의 입경변화를 고려한 단순파랑에 의한 단면식을 사용하는 것이 바람직하다고 생각된다.

참 고 문 헌

- [1] 이철웅, "해안선 수직방향의 표사이동에 관한 평형 단면식의 비교," 대한토목학회논문집, 제15권 제6호, pp.1803-1810, 1995.
- [2] Bailard, J. A., "An Energetics Total Load Sediment Transport Model for a Plane Sloping Beach," *Journal of Geophysical Research*, Vol. 86, No. C11, pp. 10938-10954, 1981.
- [3] Creed, C. G., Dalrymple, R. A., Kriebel, D. L. and Kaihatu, J. M., "Equilibrium Beach Profiles with Random Seas," *Proceeding of 23rd ICCE*, ASCE, pp.1973-1986, 1992.
- [4] Dean, R. G., "Equilibrium Beach Profiles: US Atlantic and Gulf Coasts," Technical Report No. 12, Ocean Engineering Program, Department of Civil Engineering, University of Delaware, 1977.
- [5] Dean, R. G., "Equilibrium Beach Profiles: Characteristics and Applications," *Journal of Coastal Research*, Vol. 7, No. 1, pp.53-84, 1991.

- [6] Kriebel, D. L., and Dean, R. G.,
"Numerical Simulation of Time-
Depen- dent Beach and Dune
Erosion," *Coastal Engineering*, Vol.9,
pp.221-245, 1985.
- [7] Larson, M., "Equilibrium Profile of a
Beach with Varying Grain Size,"
Coastal Sediment '91, pp. 905-919,
1991.
- [8] Larson, M. and Kraus, N. C.,
"*SBEACH: Numerical Model to
Simu- late Storm Induced Beach
Change*," Technical Report
CERC-89-9, Coastal Engineering
Research Center, US Army Engineer
Waterway Experiment Station,
Vicksburg, 1989.
- [9] Thornton, E. B., and Guza, R. T.,
"Transformation of Wave Height
Distri- bution," *Journal of Geophysical
Rese- arch*, Vol. 88, No. C10,
pp.5925-5938, 1983.