

## 복합사면에서의 도파고 산정 Determination of Wave Run-up Height on S-berm Breakwater

유동훈\* · 이대석\*

Dong Hoon Yoo\* and Dai Soek Lee\*

**요 旨** : 현재 실무에서 많이 적용되고 있는 Saville의 가상 구배법에 기초하여 복합사면에서의 도파고를 간단히 산정하기 위한 양해적 근사식을 개발하였다. 수심대 파고비, 사면경사, 파형경사 등과 도파고비와의 관계를 도출하였다. 또한 도파고 산정에 있어 정확도를 검증하기 위하여 양해적 근사식의 산정결과를 Saville의 관측결과와 네덜란드 Delft 공식의 산정결과와 비교하였다.

**핵심용어** : 복합사면 방파제, 도파고, 양해적 산정식, 가상 구배법, 파형경사, 사면경사

**Abstract** □ Explicit approximation has been developed to estimate the run-up height on S-berm breakwater on the basis of Saville's hypothetical slope method. For the explicit expression of run-up height several relations are developed to represent the ratio of run-up height against breakwater slope with various conditions of water depth and wave steepness. For the verification of explicit approximation the results are compared with Saville's measurement data and simple expression of Delft Hydraulic Laboratory.

**Keywords** : S-berm breakwater, wave run-up height, explicit approximation, hypothetical slope method, wave steepness, breakwater slope

### 1. 서 론

방파제의 사면 파괴는 파가 구조물에 도달하였을 경우 발생하는 도파가 주된 요인중의 하나로 작용한다. 도파란 파도가 해안구조물에 충돌하여 뛰어 오르거나 기어오르는 현상을 일컫는다. 뛰어오르는 파도의 정상까지의 수직거리를 도파고( $h_R$ )라 한다. 이러한 도파현상은 순간적으로 구조물에 격돌하기 때문에 아주 강력한 힘으로 작용하며, 제고결정에서 가장 중요한 요소중의 하나이다. 도파고는 파랑과 구조물의 조건으로부터 추정한다. 도파고는 계산상 파고( $H$ )의  $1.0H$ 이하일 때 모두  $1.0H$ 로 하고  $1.3H \sim 2.5H$  일 때는 제방 외측사면에 소단을 설치하던가 완경사 혹은 구조를 변경시켜 도파고를 억제하거나 또는 둑마루와 외측사면 피복공을 강화하여야 한다. 일반적으로 파도의 제방 월파를 완전히 방지하려면  $h_R = 1.5H \sim 2H$  이상이 필요하며, 명확하게 구분되지 않고 있는 비탈의 경우는 최고

높이가  $4.5H$ 까지도 실험으로 관측되었으므로 중요 제방에 대해서는 모형 실험을 통하여 확인하는 것이 타당할 것으로 본다(Shore Protection Manual, 1984).

도파고 산정에 있어 구조물 사면의 조건은 크게 단일사면과 복합사면으로 구분한다. 단일사면에서의 도파고 산정은 Takada, Sainflou, Miche, Hunt 등 많은 연구자들에 의해서 쇄파유무에 따라 양해적으로 도파고를 산정하는 식 등이 제시되었다. 제방이 육상에 있는 경우나 복합단면인 경우에는 일반적으로 Saville가 제시한 반복법을 적용한다. 그러나 이 방법은 1차로 도파고를 가정해서 사면경사와 파형경사를 고려하여 가상구배를 산정한 후 다시 반복해서 도파고를 구해야하는 번거로움이 있어 실무에서 광범위하게 이용되지 않고 있다.

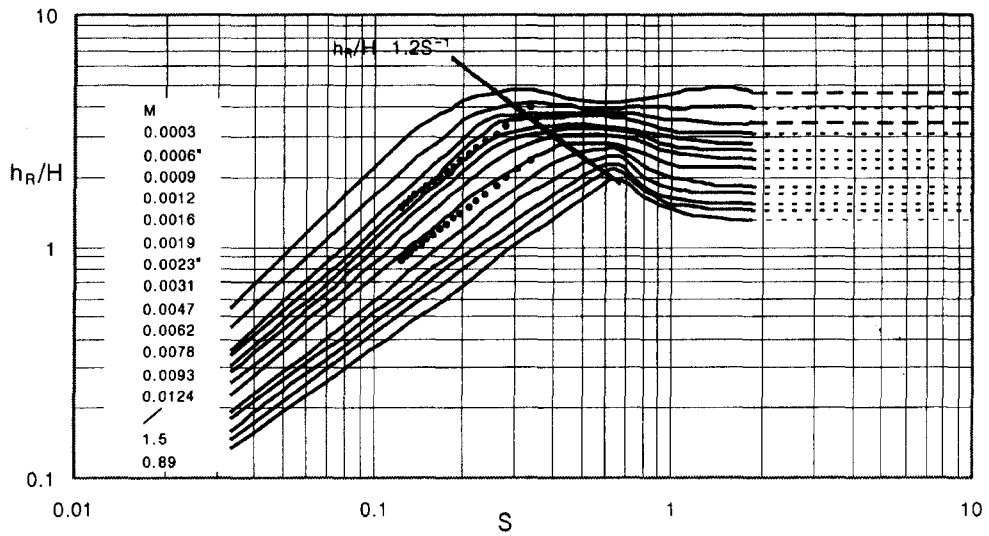
Saville은 도파고 산정시 수심비, 파형경사, 쇄파와 중복파의 영향등을 고려하여 식을 유도하였다. 그러나 네덜란드 Delft 실험식은 도파고 산정시 사면 조고의 영향만

\*아주대학교 환경도시공학부(Department of Civil Engineering, Ajou University, Suwon 442-749, Korea, dhyoo@madang.ajou.ac.kr)

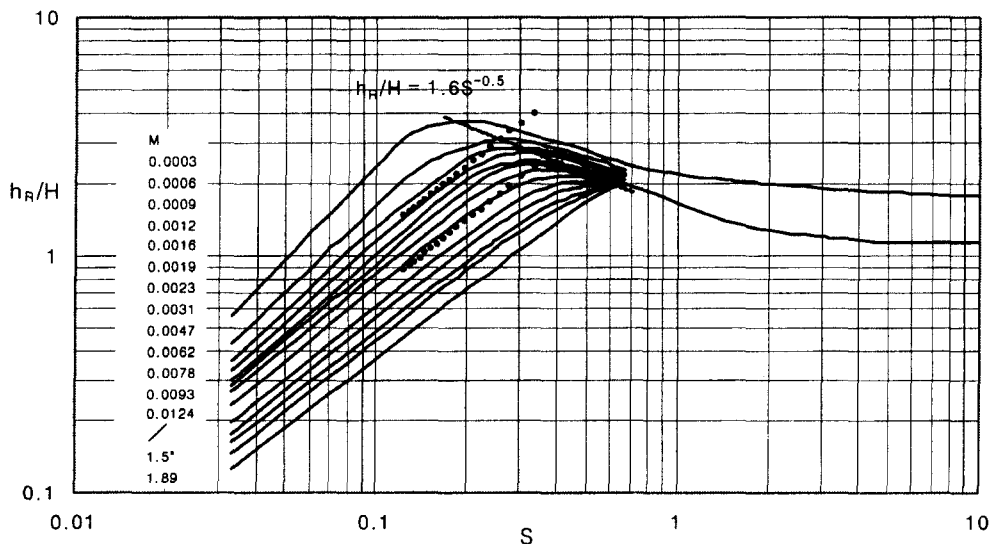
을 고려하였는데, 이는 수식의 간편성이라는 점에서는 잇점이 있으나 수식이 단순하여 도파의 주된 영향인 파랑의 조건을 고려치 않아 정확한 도파고 산정에는 미흡하다고 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 Saville의 관측방법에 기초하여 양해적으로 그 해를 구할 수 있는 방법을 제시하였다.

### 2. 조건별 도파고 산정식

Saville(1958)는 실험 관측으로부터 사면경사(S)와 파형경사(M)의 함수로 도파고비( $h_R/H$ )를 구하는 관계도표를 제시하였으며 Fig. 1에 제시된 바와 같다(Shore Protection Manual, 1984). 여기서  $h$ =수심,  $H$ =파고,  $S=\tan\theta$ ,  $M=H/gT^2$ ,  $T$ =주기,  $h_R$ =도파고이다. Saville는 수심비( $h/H$ ) 조건



(a)  $(1 < \frac{h}{H} < 3)$



(b)  $(\frac{h}{H} \geq 3)$

Fig. 1. Wave run-up height against breakwater slope with wave steepness (after Saville (1958)).

에 따라 도파고를 산정하는 두 개의 도표를 제시하였는데 Fig. 1(a)는  $1 < h/H < 3$  조건에 해당되고 Fig. 1(b)는  $3 \leq h/H$ 의 조건에 해당된다. 각 도표는 다시  $h_R/H$ 의  $S$ 에 대한 상관 관계로부터 두 개의 구간으로 나뉘어지는데  $h_R/H < \alpha S^\beta$ 인 경우 거의 역비례 관계가 성립하나  $h_R/H > \alpha S^\beta$ 인 경우에는 도파고비( $h_R/H$ )가  $S$ 와 무관하게 일정한 수치를 보이고 있다. 조건식의 비례상수  $\alpha$ 는  $1 < h/H < 3$ 인 조건에서 약 1.2이며  $3 \leq h/H$ 인 조건에서 약 1.6이다.

단일사면인 경우 파형경사(M)와 사면경사(S)가 주어지면 제시된 Fig. 1을 이용하여 도파고를 바로 산정할 수 있다. 그러나 복합사면인 경우에는 우선 도파고를 가정하여 이를 제방상에 연결한 후 가상경사(S)를 산정한 후 가정한 도파고와 일치할 때까지 반복한다. 이상 Saville의 가상구배법은 반복법으로 해를 구하여야 되는데, Saville가 제시한 도표를 이용하여 몇가지 전처리 과정을 거치면 양해적으로 해석이 가능하다.

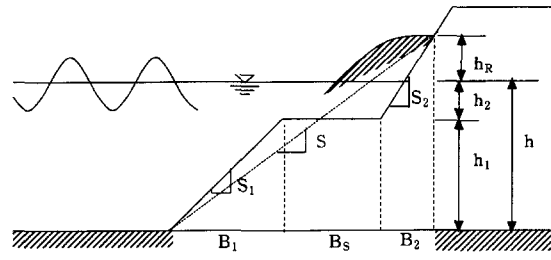
우선 복합단면 도파고의 양해적 산정식을 도출하기 위하여 도파고비를 사면경사의 지수형 산정식으로 도출하였으며 다음과 같다.

$$\frac{h_R}{H} = \alpha' S^{\beta'} \approx \alpha S \tag{1}$$

Table 1에는  $h_R/H < 1.2S^{-1}$ 이고  $1 < h/H < 3$ 인 조건에서의 Saville 실험결과를 지수형으로 산정하였을 때 파형경사(M)와 사면경사(S)에 따른  $\alpha'$ 와  $\beta'$ 의 값을 제시하였다. 또한  $\beta'$ 의 값이 전체적으로 1에 근접하므로  $\beta=1$ 로 고정하여 회귀분석으로 비례상수  $\alpha$ 를 구하였으며 그 수치가 마지막 열에 제시되어 있다. 상기식 (1)은  $h_R/H = 1.2S^{-1}$ 보다 작은 조건에서 성립한다. 따라서 이 조건은  $1.2S^{-1} > \alpha S$

**Table 1.** Variations of  $\alpha$  and  $\beta$  against  $M \left( S < \sqrt{1.2/\alpha}, 1 < \frac{h}{H} < 3 \right)$

$\frac{H}{T^2}$	$\frac{H}{gT^2} (=M)$	$\alpha'$	$\beta'$	$\alpha(\beta=1)$
0.003	0.0003	45.05	1.29	21
0.006	0.0006	27.55	1.23	16
0.009	0.0009	20.61	1.19	13.5
0.012	0.0012	17.06	1.16	11.5
0.016	0.0016	14.49	1.14	10.5
0.019	0.0019	12.86	1.12	9.9
0.023	0.0023	11.12	1.11	8.8
0.03	0.0031	8.18	1.05	7.3
0.046	0.0047	6.31	1.03	6.1
0.061	0.0062	5.28	1.01	5.2
0.077	0.0078	4.19	0.96	4.6
0.091	0.0093	3.67	0.95	4.1
0.122	0.0124	2.98	0.91	3.3



**Fig. 2.** Composite-slope breakwater.

또는  $S < \sqrt{1.2/\alpha}$  이 된다.

복합단면인 경우 가상경사 S는 제시된 Fig. 2를 참조하여 다음과 같이 산정된다.

$$S = \frac{h_R + h}{\frac{h_1}{S_1} + B_S + \frac{h_2 + h_R}{S_2}} \tag{2}$$

식 (2)에서 우변의  $h_R$ 은 사면경사 S의 함수이기 때문에 반복해서 해를 구하여야 한다. 그러나 Fig. 1의 분포선을 지수형 산정식으로 표기하면, Saville의 가상구배법과 같이 반복해서 해를 구해야 하는 번거로움 없이 도파고( $h_R$ )를 간단히 산정할 수 있다.

먼저 구간  $h_R/H < 1.2S^{-1}$ 인 경우에 대해서는  $h_R/H = \alpha S^\beta$ 로 가정한다. 여기서  $\beta$ 는 Table 1에 제시된 바와 같이 거의 1에 근접한 수치이다. 따라서  $h_R/H = \alpha S$ 로 가정하고 이를 식 (2)에 대입한다.

$$S = \frac{\alpha HS + h}{\frac{h_1}{S_1} + B_S + \frac{h_2 + \alpha HS}{S_2}} \tag{3}$$

식 (3)을 R의 함수로 표기하면 다음과 같은 이차방정식이 된다.

$$\left(\frac{\alpha H}{S_2}\right)S^2 + \left(\frac{h_1}{S_1} + B_S + \frac{h_2}{S_2} - \alpha H\right)S - h = 0 \tag{4}$$

근의 공식을 이용하여 식 (4)의 해를 구하면 다음과 같다.

$$S = \frac{S_2}{2\alpha} \left[ (\alpha - \eta) \pm \sqrt{(\alpha - \eta)^2 + 4\alpha \frac{h}{S_2 H}} \right] \tag{5}$$

여기서  $\eta = \left(\frac{h_1}{S_1} + B_S + \frac{h_2}{S_2}\right) \frac{1}{H}$  이고,  $S_1 = S_2$ 인 경우는  $\eta = (h/S_1 + B_S)/H$ 가 된다.

Table 2. Variations of  $\alpha$  and  $\beta$  against  $M$  ( $S > \sqrt{1.2/\alpha}$ ,  $1 < \frac{h}{H} < 3$ )

$\frac{H}{T^2}$	$\frac{H}{gT^2}(=M)$	$\alpha'$	$\beta'$	$\alpha(\beta=1)$
0.003	0.0003	4.65	0.04	4.8
0.006	0.0006	4.00	-0.01	4.2
0.009	0.0009	3.55	-0.09	3.8
0.012	0.0012	3.24	-0.15	3.7
0.016	0.0016	3.00	-0.16	3.4
0.019	0.0019	2.84	-0.19	3.3
0.023	0.0023	2.63	-0.21	3.1
0.03	0.0031	2.40	-0.21	2.9
0.046	0.0047	2.13	-0.37	2.7
0.061	0.0062	1.90	-0.32	2.5
0.077	0.0078	1.78	-0.40	2.3
0.091	0.0093	1.66	-0.33	2.2
0.122	0.0124	1.52	-0.34	1.9

구간  $h_w/H > 1.2S^{-1}$ 인 경우에 대해서는  $h_w/H = \alpha$ 로 가정한다. 여기서  $\beta$ 는 Table 2에 제시된 바와 같이  $\beta=0$ 으로 놓을 수 있다. 따라서  $h_w/H = \alpha$ 로 가정하고 이를 식 (2)에 대입하면 가상경사(S)를 바로 구할 수 있다.

$$S = \frac{\alpha H + h}{\frac{h_1}{S_1} + B_s + \frac{h_2 + \alpha H}{S_2}} \quad (6)$$

한편 도파고비 산정식(1)의 비례상수  $\alpha$ 는 구간  $1 < h/H < 3$ 인 경우에 Fig. 3에 제시된 바와 같이 M의 지수형으로 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\alpha = 0.42M^{-0.5} \quad (7)$$

식 (7)을 조건식  $S < \sqrt{1.2/\alpha}$ 에 대입하면  $S < 1.69M^{0.25}$ 의 조건이 되며 식 (7)을 식 (1)에 대입하면 다음과 같다.

$$\frac{h_R}{H} = 0.42M^{-0.5}S \quad \left( S < 1.69M^{0.25}, 1 < \frac{h}{H} < 3 \right) \quad (8)$$

상기식 (8)에서 가상구배 S는 식 (5)를 이용하여 반복과

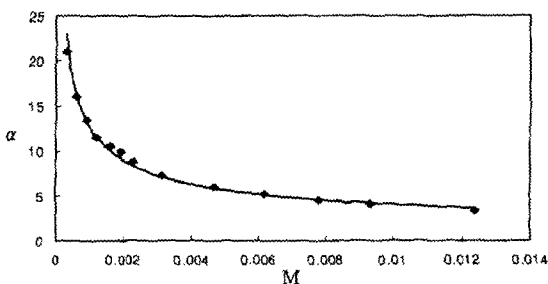


Fig. 3.  $\alpha$  against  $M$  ( $1 < \frac{h}{H} < 3$ ,  $S < 1.69M^{0.25}$ ).

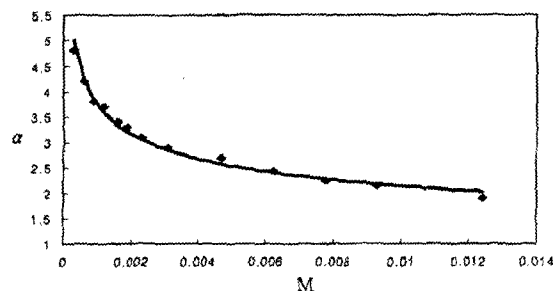


Fig. 4.  $\alpha$  against  $M$  ( $1 < \frac{h}{H} < 3$ ,  $S > 1.69M^{0.25}$ ).

정을 거치지 않고 바로 산정된다.

한편  $S > \sqrt{1.2/\alpha}$  또는  $S < 1.69M^{0.25}$ 인 경우에도 독립적으로 지수형 산정식을 추정하면  $\alpha$ 과  $\beta$ 은 Table 2에 제시된 바와 같다. 이 구간은 대체적으로 구배 S와 무관한 경향을 보이기 때문에 지수  $\beta=0$ 으로 놓고 산정한  $\alpha$ 값을 함께 제시하였다.

Fig. 4에 제시된 바와 같이  $\alpha$ 는 M의 지수형으로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{h_R}{H} = \alpha = 0.7M^{-0.24} \quad \left( S > 1.69M^{0.25}, 1 < \frac{h}{H} < 3 \right) \quad (9)$$

$h/H \geq 3$ 인 경우의 Saville 실험결과를  $1 < h/H < 3$ 인 경우처럼 지수형으로 산정하였을 때  $\alpha$ 과  $\beta$ 의 값을 각각의 M과  $h_w/H$ 에 따라 변하는 것을 도시하였다.  $h/H \geq 3$ 인 경우 또한 Table 3에 제시된 바와 같이  $\beta$ '의 값이 전체적으로 1에 근접하므로  $\beta=1$ 로 고정하여 회귀분석으로 비례상수  $\alpha$ 를 구하였으며 그 수치를 마지막 열에 제시하였다.

식 (1)은  $h_w/H$ 이  $1.6S^{-0.5}$ 보다 작은 조건에서 성립한다. 따라서 이 조건은  $1.6S^{-0.5} > \alpha S$  또는  $S < 1.37\alpha^{-0.67}$ 이 된다.

Table 3. Variations of  $\alpha$  and  $\beta$  against  $M$  ( $S > \sqrt{1.2/\alpha}$ ,  $1 < \frac{h}{H} < 3$ )

$\frac{H}{T^2}$	$\frac{H}{gT^2}(=M)$	$\alpha'$	$\beta'$	$\alpha(\beta=1)$
0.003	0.0003	49.89	-1.32	16.8
0.006	0.0006	26.06	-1.2	13.2
0.009	0.0009	19.13	-1.16	11.1
0.012	0.0012	13.85	-1.09	10.2
0.016	0.0016	14.99	-1.07	9.0
0.019	0.0019	11.42	-1.06	8.55
0.023	0.0023	10.49	-1.03	7.95
0.03	0.0031	7.71	-1.02	7.2
0.046	0.0047	6.05	-1.01	5.85
0.061	0.0062	5.25	-1.00	5.25
0.077	0.0078	3.77	-0.94	4.62
0.091	0.0093	3.52	-0.93	4.47
0.122	0.0124	2.97	-0.92	3.90

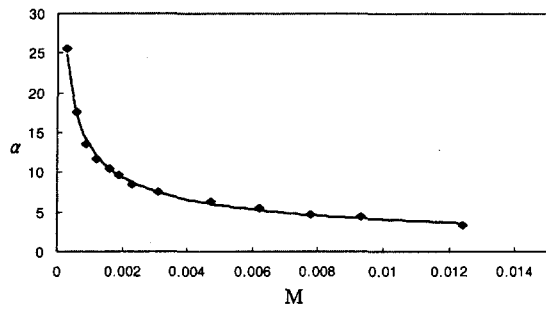


Fig. 5.  $\alpha$  against  $M$  ( $h/H \geq 3, S > 2.6M^{0.34}$ ).

Table 3에 제시된  $\alpha$ 값은  $M$ 에 따라 지수형으로 변이하는 것을 알 수 있는데 다음과 같다.

$$\alpha = 0.38M^{-0.5} \quad (10)$$

상기식 (10)을 조건식  $S < 1.37\alpha^{-0.67}$ 에 대입하면  $S > 2.6M^{0.34}$ 이 된다. 또한 식 (10)을 식 (1)에 대입하면 다음과 같다.

$$\frac{h_R}{H} = 0.38M^{-0.67}S \quad \left( S < 2.6M^{0.34}, \frac{h}{H} \geq 3 \right) \quad (11)$$

$S > 1.37\alpha^{-0.67}$  경우에는  $\beta = 0$ 으로 가정하여 전개할 수 있다. 이 경우의  $\alpha$ 는 Fig. 6으로부터  $M$ 의 지수형으로 유도되며 도파고는 식 (12)와 같이 바로 구할 수 있다.

$$\frac{h_R}{H} = 0.99M^{-0.16} \quad \left( S > 2.6M^{0.34}, \frac{h}{H} \geq 3 \right) \quad (12)$$

복합단면에서의 도파고 산정을 위한 이상의 결과를 정리하여 Table 4에 제시하였다. 주어진 조건으로부터 식 (5) 또는 (6)을 이용하여 가상구배  $S$ 를 바로 산정할 수 있으나  $h_R/H$  산정후  $S$  조건을 검토하여 최종 결과를 득하여야 한다. Table 4는 Saville의 관측결과를 회귀 분석하여 양해법 산정식으로 도출한 것이다.

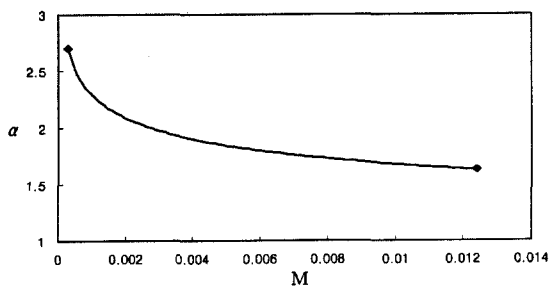


Fig. 6.  $\alpha$  against  $M$  ( $h/H \geq 3, S < 2.6M^{0.34}$ ).

Table 4. Explicit approximations of wave run-up height

$h_R/H$	R조건	$h_R/H$
$1 < \frac{h}{H} < 3$	$S < 1.69M^{0.25}$	$0.42M^{-0.5}S$
	$S > 1.69M^{0.25}$	$0.7M^{-0.24}$
$3 \leq \frac{h}{H}$	$S < 2.6M^{0.34}$	$0.38M^{-0.5}S$
	$S > 2.6M^{0.34}$	$0.99M^{-0.16}$

### 3. 양해식의 검토

Table 4에 제시된 양해적 산정식을 이용하여 Saville가 제시한 도해도와 비교하여 Fig. 7에 제시하였다. Fig. 7에서 점선으로 제시된 것이 양해식으로 표현된 것이다. 일반적으로 Fig. 7를 이용하여 Saville 반복법으로 구한 결과는 실제의 복합 단면에 관한 실험 결과를 비교하면, 일반적으로 10%이내의 오차에서 잘 일치한다.

그러나 해저 구배가 완만해지면, 양자가 일치되는 정도는 나빠지므로, Saville 반복법은 해저 구배가 1/30보다 가파른 경우에만 적용하는 것이 좋다(Horikawa, 1973). 따라서 Fig. 7에서 파형경사( $M$ )가 0.0003일 때 경사가 완만해질수록 오차가 커져 과대산정하는 경향을 보이므로 설계시 이점을 고려하여 설계해야 한다.

또한 Fig. 7(b)에서  $h/H \geq 3$ 이고  $h_R/H > \alpha S^{\beta}$ 인 구간에서 Saville 측정치는 두가지 수치만 제시되어 있는데, 본 논문에서는 파형경사에 따라서 그 중간값들을 예측하여 양해적 산정식을 도출하였다. 특히 Fig. 7에서  $h_R/H > \alpha S^{\beta}$ 인 구간에서의 양해법 산정식으로 계산된 결과는 전체적으로 과대산정하는 경향을 보이는데, 이는 경사가 급해질수록 사면은 직립에 가까워져 파가 사면에 입사할 때 반사파와 중복되어 도파고는 중복파의 파마루 높이와 같아지게 된다. 따라서 제체의 안정성을 고려하여  $h_R/H > \alpha S^{\beta}$ 인 구간에서 전체적으로 약간 과대산정하게 양해적 산정식을 도출하였다.

한편 Fig. 7에서는 네덜란드 Delft 실험식 산정결과와도 비교하였으며 그 실험식은 다음과 같다.

$$\frac{h_R}{H_{1/3}} = 8\lambda S \cos \delta \quad (13)$$

여기서  $H_{1/3}$ 는 유의 파고,  $\lambda$ 는 사면 조도계수,  $\delta$ 는 제체의 수직선과 파향이 이루는 각이며 적용 범위는  $0.125 < S < 0.33, 0.005 < M < 0.012$ 이다. 사면의 상태와 형태에 따른 사면 조도계수( $\lambda$ )의 대표 값을 Table 5에 제시하였다. 즉 Delft 실험식은 조도 조건을 고려하였으나 보다 중요한 요인으

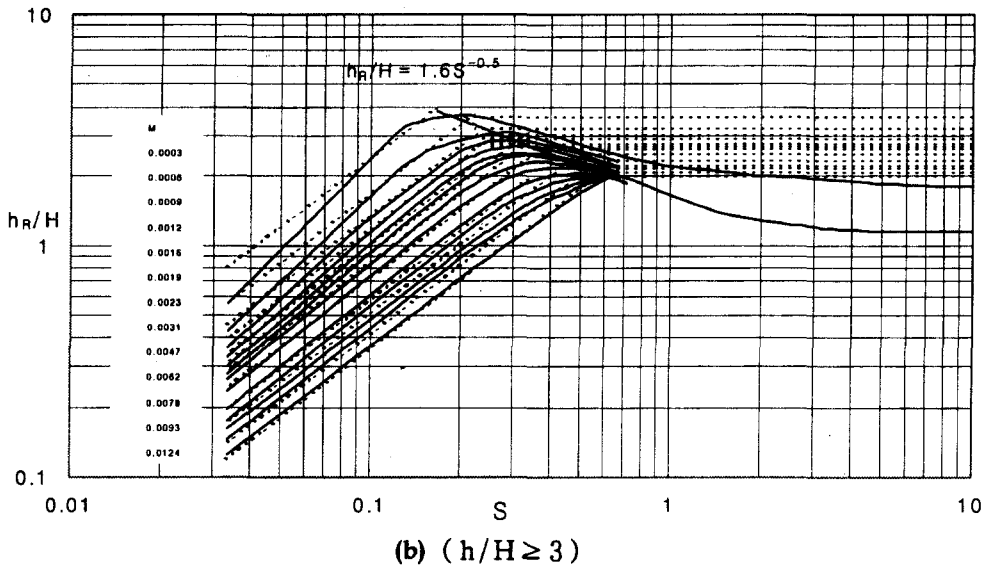
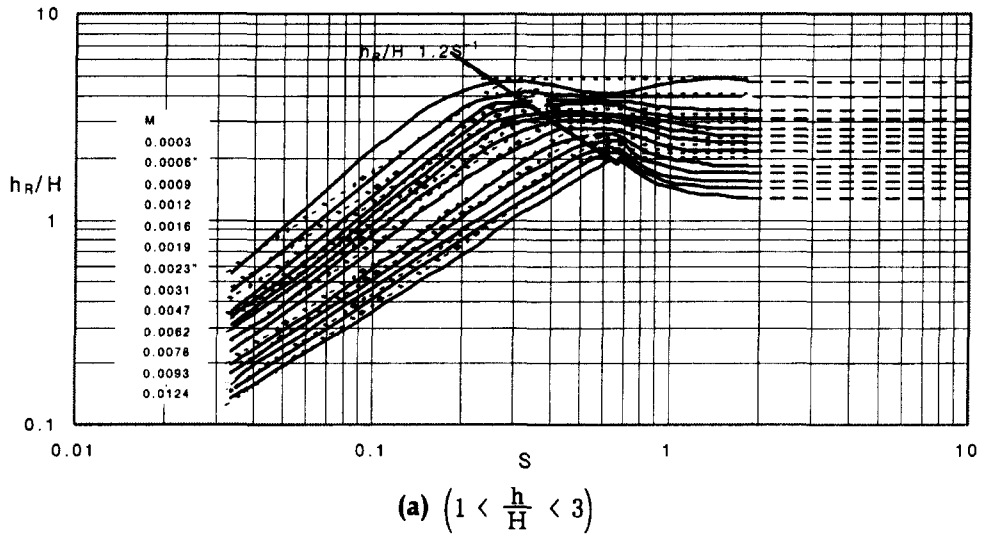


Fig. 7. Wave run-up height to use hypothetical single slope method (dashed line: explicit method solid line: Saville method dot line: Netherlands method).

Table 5. Roughness calculation

사면 조도 내용	$\lambda$ (조도 계수)
원활한 사면	1.1~1.5
잘 정돈해서 깔은 돌붙임	1.0
블록 모양 소단계 0.14×0.48 m	0.9
블록 모양 대단계 0.35×1.2 m	0.89

로 판단되는 파형경사를 고려치 않았으며 적용범위가 제한되어 있다. 반면에 Table 4에 제시된 바와 같이 Saville 실험결과를 정리하여 개발된 산정식은 적용범위가 확장되

어 있고 파형경사를 고려하여 보다 정확히 도파고를 산정할 것으로 기대된다.

Fig. 7에 제시된 바와같이 네덜란드 Delft 실험식은 사면경사(S)의 범위가 0.125~0.33이므로 도파고를 산정하기 위한 수식의 적용구간이 한정되어 있으며 분포범위도 조도 계수( $\lambda$ )의 범위가 0.89~1.5 정도로 되어있어 도파고를 구하고자 할 때 그 활용범위가 작다. 또한 Delft 공식은 파형경사가 고려되어 있지 않고 중복파인 경우 극심하게 과대산정할 가능성이 높다. Saville 실험 조건은 매끈한 면

으로 간주되고 사면 조도 조건에 따라 최대 0.6배까지 도파고가 줄어들 것으로 예상된다.

#### 4. 결 론

복합사면 방파제의 안정성 확보를 위해 Saville 가상구배법을 이용하여 양해적 산정식을 도출하였다. 도출된 관계식은 종합하여 Table 4에 제시된 바와 같다.

Saville의 도해도에서  $h_R/H < \alpha S^B$ 인 경우는 도파고와 파형경사와의 관계가 역비례하는 것을 이용하여  $h_R/H < \alpha S$ 와 같은 일반해를 유도하였다. 여기서 비례상수  $\alpha$ 는 파형경사의 함수로 표현하여 구간  $1 < h/H < 3$ ,  $3 \leq h/H$ 인 조건에서 각각 측정하였다. 이 구간에서 양해적 산정식으로 도출한 결과는 파형경사와 사면 경사가 완만할수록 오차가 커지는데 이는 도파고가 사면의 안정성에 영향을 미치는 경우가 사면이 급하고 파형경사 작아지는 경우이기 때문에 양해식을 도출할 때 이 구간을 중심으로 양해식을 산출하여 도출된 오차이다. 또한 양해식이 과소산정하게 되면 사면의 안정성에 문제가 생기지만 과대산정하면 사면의 안정성은 증가되어 안정된 설계를 할 수 있다.

$h_R/H > \alpha S^B$ 인 구간에서는 사면의 경사가 급할수록 중복파가 일어나 도파고가 커지는 경향을 고려하여 구간  $1 < h/H < 3$ ,  $3 \leq h/H$ 에서 관측된 가장 큰 값을 중심으로 양해식

을 산출하였다. 이 또한 경제성에는 큰 효과를 기대할 수 없지만, 직립벽에 가까운 사면일수록 안정성 확보가 주된 문제가 되기 때문에 안정성 확보라는 점에서는 큰 효과를 발휘할 수 있을 것으로 기대된다.

#### 감사의 글

본 연구는 2000년에서 2001년 까지 (주)대림 산업의 연구비 지원하에 수행된 “오탁 방지막의 기능 및 방파제 설계의 개선” 연구결과의 일부이며 연구비의 지원에 감사드립니다.

#### 참고문헌

- Delft Hydraulics Laboratory, 1967. Wave Runup Height.  
 Department of the US Army Corps of Engineers, 1984. Shore Protection Manual.  
 Horikawa, K., 1973. Coastal Engineering, Tokyo University Press.  
 Saville, T.J.R., 1958. Wave Runup on Composite Slope, *Proc. 6th Coastal Eng. Conf.*, ASCE, Council on Wave Research.

Received May 10, 2001

Accepted June 19, 2001