

I. 서 언

해안, 특히 어항에 건설되는 시설물은 자연적인 조건들 즉 해상(海象)이나 지반여건 등에 대하여 안전하도록 설계하고 이에 맞추어 축조되어 왔다.

그럼에도 불구하고 피해가 반복되고 있는 현실은 우리의 가슴을 아프게 함과 동시에 이들 자연으로부터 닥쳐오는 재해를 극복하려는 의지를 더욱 새롭게 하는 계기도 되고 있다.

근년 전국 연안에 산재한 어항들이 태풍 및 폭풍 내습시 발생하는 파랑으로 시설물의 피해가 빈번함에 따라 그 피해의 원인을 분석하여 불 필요성이 대두되었고, 원인분석의 일환으로써 각 해상 및 각 항에 대한 설계파의 재검토 및 파랑 추정사업이 착수 되었으며, 그 다음 단계로서 시설물의 안전도 진단 사업이 시작된 것이다.

II. 안전도 진단의 목적

어항에 빈번하게 발생하는 시설물의 피해는 어민들의 생업(生業)을 위협하여 불안하게 할뿐만 아니라 국가경제에도 막대한 손실을 끼치고 있다.

이들 피해의 대부분이 파랑(波浪)에 의한 것으로 분석되어 전국 어항의 설계파에 대한 재추정이 진행되고 있으며, 이를 근거로 각 어항의 외곽시설을 대상으로 설계파에 대하여 기 축조된 시설물과 기본조사시 계획된 시설물들의 안전여부를 검토하여 기존시설의 보강방안과 계획시설물의 보완계획을 수립함으로써 안정성을 제고하고 피해를 최소화하여 경제적이고

企·劃·特·輯 調查報告

漁港施設物の安全度診斷

天端高 등檢討

丁 烜 一

(株式會社 大永엔지니어링
專務理事)

합리적인 어항이 개발되어 어민의 생활향상을 기하는 것이 안전도 진단의 목적이라 할 수 있다.

III. 안전도 진단의 방향

안전도 진단은 각 어항의 대상 시설물에 대하여 설계단면(設計斷面), 시공단면(施工斷面), 시공후(試工後)의 변형상태 등을 조사하고 새로이 추정되는 설계파를 근거로 기존 시설물에 대한 안전도 검토와 보강방안 강구 및 장래 시설계획 단면의 적정성을 검토하여 시설물의 안정성을 제고함으로써 항내에 정박하는 어선의 안전을 도모하는 것이 주요 목적으므로 다음과 같은 방향으로 추진되어야 한다.

· 기설 및 계획시설물이 이미 적용되고 있는 설계파와 새로이 추정되는 설계파에 대하여 구조적으로 안전도가 충분한가의 여부검토

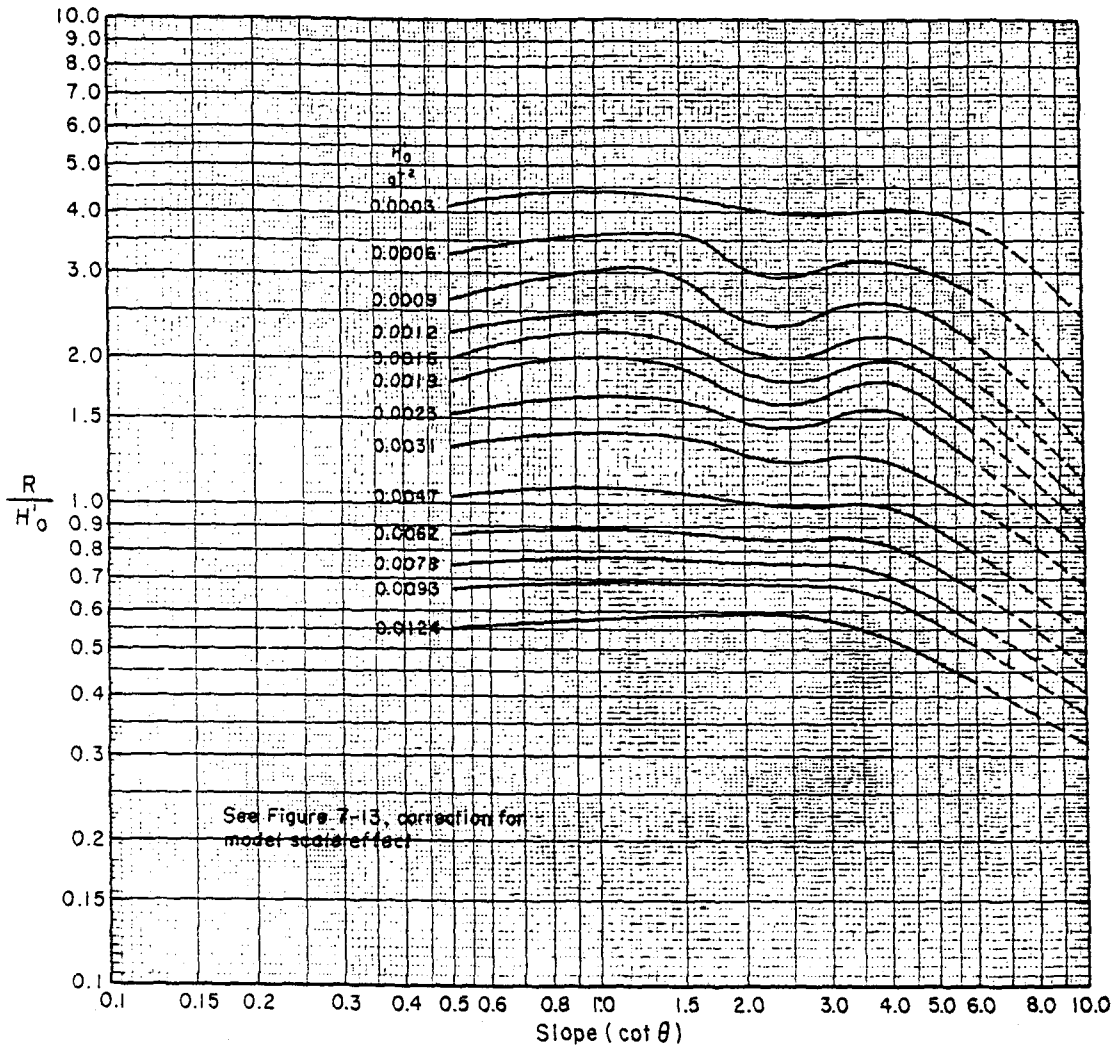
· 대상시설물이 설계파에 대하여 항내정온도 확보에 충분한가의 여부검토

· 시설물의 설치목적이 불합리할 경우 이에 대한 보강방안의 강구

IV. 시설물 안전도의 진단방법

안전도 진단방법은 “진단의 방향”에서 설정한 바와같이 시설물의 구조적 안정성과 항내정온도에 미치는 영향을 검토하고 보강방안을 강구하는 일에 초점을 맞추어 시행하되 이와 관련된 다음 사항을 검토하여야 한다.

· 방파제의 천단고(天端高); 월파로 인하여 항내 정온에 미치는



〈도-1〉 Wave runup on smooth, impermeable slopes when $d_s/H_0 = 0$ (structures fronted by a 1:10 slope).

영향을 기준으로 하여 검토

· 방파제 피복재의 규모; 피복재의 종류에 따른 설계파에 대하여 안정성 여부를 검토

· 방파제의 제체(堤體)안정성; 파압에 대한 상치(上置) 콘크리트의 滑動, 轉倒와 제체 경사부의 직선활동 여부를 검토

이상의 사항을 검토하는 세부적인 방법을 정리하면 다음과 같다.

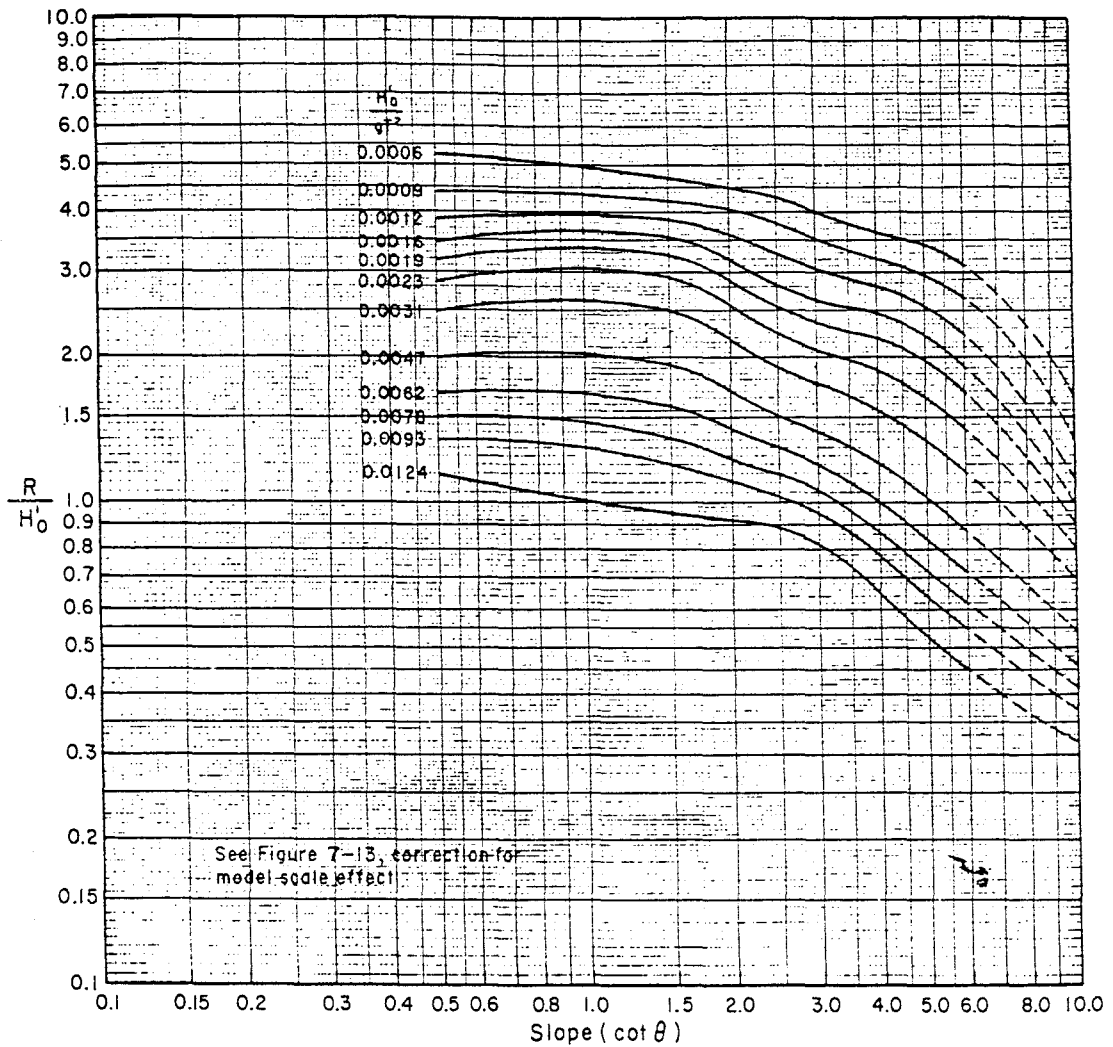
1. 천단고 검토 방법

월파고 및 항내 전달(傳達)파고를 Shore Protection Manual에 의거 검토하여 월파고를 고려한 방법과 항만 설계기준과 어항구조물 표준설계(일본전국어항협회)의 천단고 산정기준으로 계산한 결과를 상호 비교하여 이미 완공, 또는 설계된 구조물 천단고의 적정성 여부를 판단한다.

가. 월파고에 의한 천단고 검토 기본식, $CH(\text{天端高}) = H.W.O.S.T(\text{大潮平均滿潮位}) + R(\text{越坡高}) + \alpha(\text{餘裕高})$

R (월파고): 〈도 1〉~〈도 5〉로부터 계산하고 補正계수 K (堤體사면경사도와 관련, 〈도 6〉참조) 및 r (堤體斜面的 표면특성과 관련, 〈표 1〉 참조)를 곱하여 보정한다.

〈도 1〉~〈도 5〉로부터 R 을 구하



(도 - 2) Wave runup on smooth, impermeable slopes when $d/H_0 \approx 0.45$ (structures fronted by a 1:10 slope).

기 위하여 계산하여야 할 사항

Slope(cot θ): 전면 해저지형의 경사로부터 계산

H_0'/gT^2 , 여기서

H_0' : 환산심해파고
= $H_0 \times$ 굴절계수

g : 중력가속도 = 9.8

T : 파랑의 주기

$H_s(t)$ (傳達파고) = H_s (설계파고)

\times KTO(전달률)

KTO(전달률): <도 7>~<도 8>

로부터 계산, <도 7>~<도 8>로부터 KTO를 구하기 위하여 계산하여야 할 사항

F/R_s : 수상(水上)부분의 제체(堤體)높이와 월파고와의 비

B/h : 천단폭과 제체높이의 비

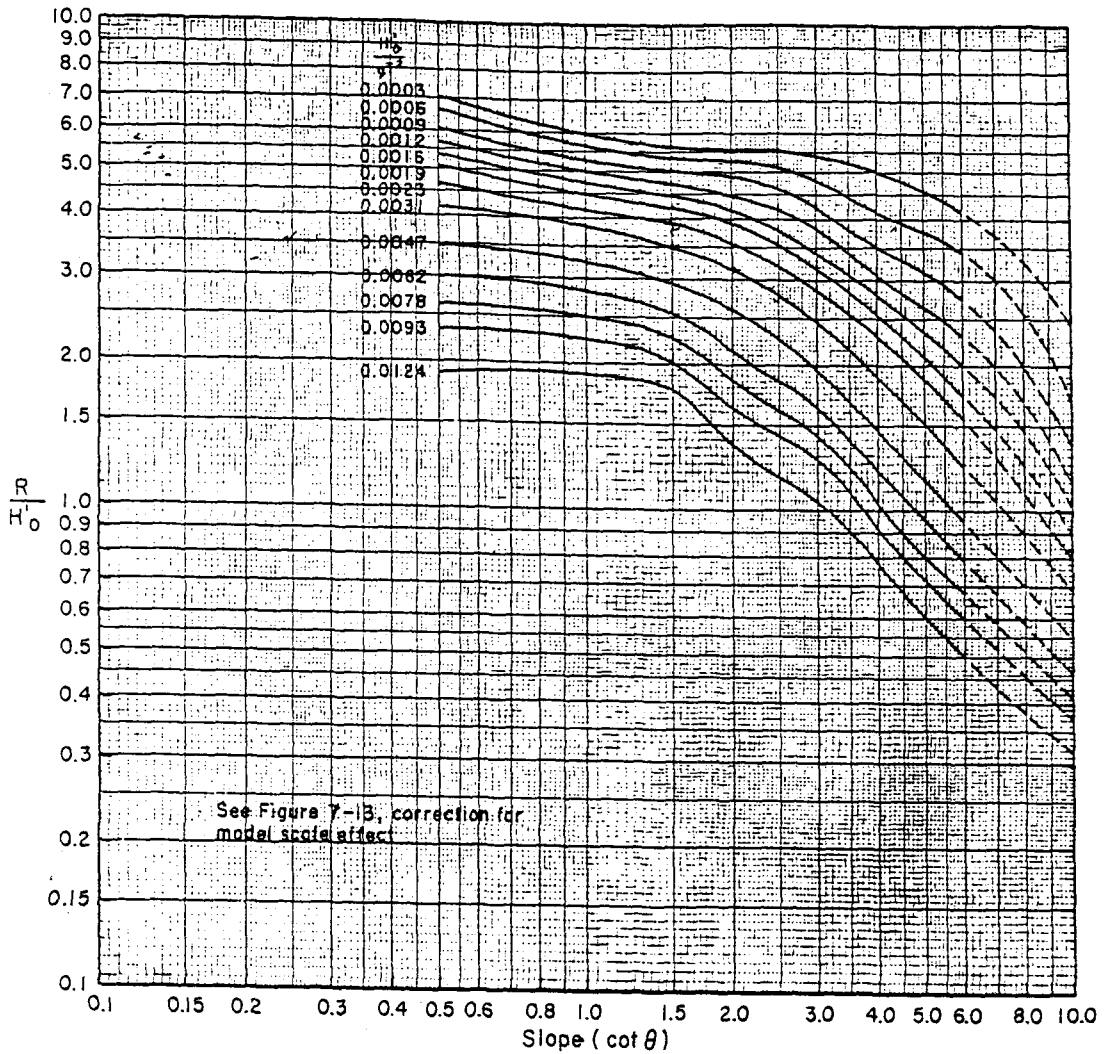
나. 항만설계기준(건설부)에 의한 천단고검토

· 월파사용시

$CH = H.W.O.S.T + 0.6H_1/3$

· 현저한 월파를 방지하는 경우 제내(堤內)쪽을 계선(繫船)에 이용하려는 경우, 또는 제내박지(堤內泊地)의 정박선박이 소형이고 수역면적이 좁은 경우 등 월파를 저지하려는 경우에 적용

$CH = H.W.O.S.T + 1.25H_1/3$



(도-3) Wave runoff on smooth, impermeable slopes when $d/H' = 0.80$ (structures fronted by a 1:10 slope).

라. 어항구조물 표준설계법 (일본 전국어항협회)에 의한 천단고검토
 · 월파허용시
 $CH = H.W.O.S.T + 0.6H_1/3$
 · 현저한 월파를 방지하는 경우
 $CH = H.W.O.S.T + 0.9H_1/3$ 이상
 · 선박면적이 좁고 특히 월파를 방지하는 경우
 $CH = H.W.O.S.T + 1.25H_1/3$

2. 피복재 규모검토방법

피복재 소요규모산정은 일반적으로 널리 사용되고 있는 Hudson 공식을 적용하여 검토하며 피복재의 안정계수(Kd)는 항만설계기준과 Shore Protection Manual-1977 년판과 1984년판을 참고하여 기존 피복재의 안정성을 검토한다.

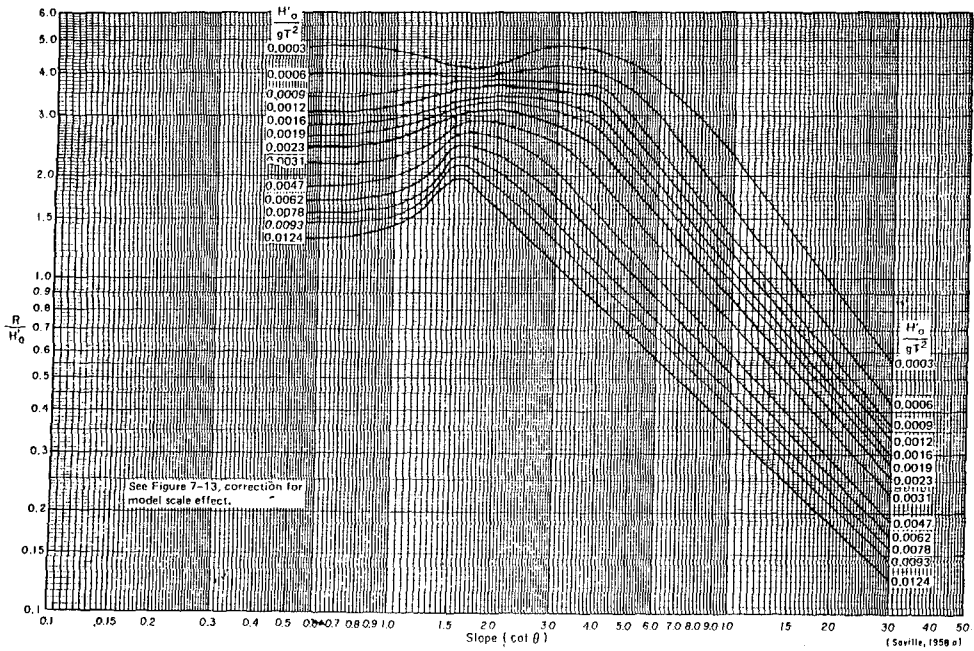
가. 피복재 검토공식

$$W = \frac{W_r \times H^3}{K_d(S_r - 1)^2 \cot \alpha}$$

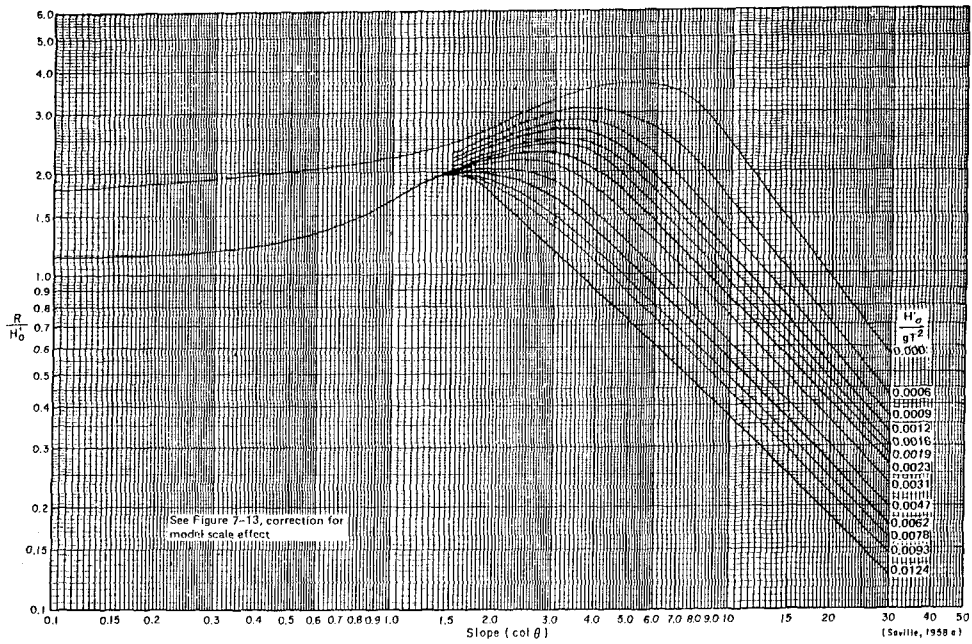
W : 피복재의 소요중량(Ton)

Kd : 피복재에 따라 정하는 계수
 Sr : 피복재의 해수에 대한 비중
 $S_r = 2.30/1.03$ (콘크리트블럭)
 $S_r = 2.60/1.03$ (석재)
 α : 斜面이 수면과 이루는 각
 Wr : 피복재의 공기중 단위중량
 H : 설계고
 나. 피복재의 안정계수 (Kd)
 · 항만설계기준

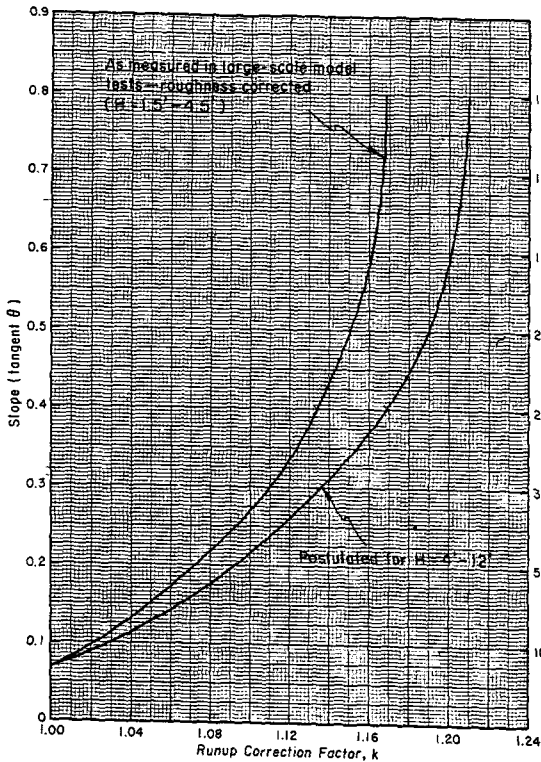
3. 제체 안정설계
 항만설계기준에 따라 파압에 대



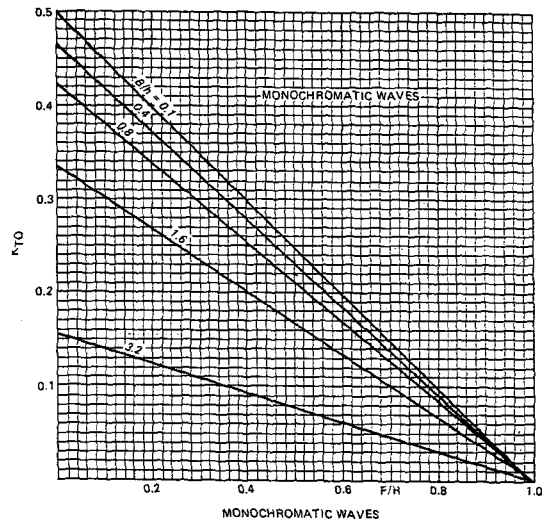
(E-4) Wave runup on smooth, impermeable slopes when $d_g/H_0 = 2.0$



(E-5) Wave runup on smooth, impermeable slopes when $d_g/H_0 = 3.0$



(도-6) Runup correction for scale effects.



(도-7) Wave transmission by overtopping.

한 상치(上置)콘크리트의 활동(滑動), 전도 및 제체사석부(捨石部)의 경사직선 활동(滑動)의 안정성을 검토한다.

가. 제체 상치(上置)콘크리트의 활동계수

$$\text{활동(滑動)} = \frac{\mu \cdot W}{P} \geq F$$

μ : 제체와 기초 사이의 마찰계수

W: 부력 및 양압력을 뺀 제체 중량

P: 제체에 작용하는 파압의 합력

F: 안전율(1.2 이상)

여기서 파압 P는 소파공 설치

시와 미설치에 따라 적용,

· 소파공 설치시

$$\text{파압}(P) = 1.0 \times W_0 \times H_1/3$$

· 소파공 미설치시

$$\text{파압}(P) = 1.5 \times W_0 \times H_1/3$$

W_0 : 해수 단위 중량(1.03t/m³)

$H_1/3$: 설계파

나. 제체상치 CONC의 활동 검토

$$\text{전도} = \frac{W \cdot t}{P \cdot L} \geq F$$

W: 부력 및 양압력을 뺀 제체 중량(t/m)

t: 제체 저면 후단에서 직립부 중량의 작용점까지 거리(m)

L: 제체 하단에서 파압 합력의 작용점까지 거리(m)

다. 제체 사석의 경사부 직선활동(滑動)검토

$$\text{활동(滑動)} = \frac{(W \cos \theta - P \sin \theta)}{W \sin \theta + P \sin \theta} \times \mu \geq F$$

W: 직립부와 사석부의 부력 및 양압력을 뺀 중량(t/m)

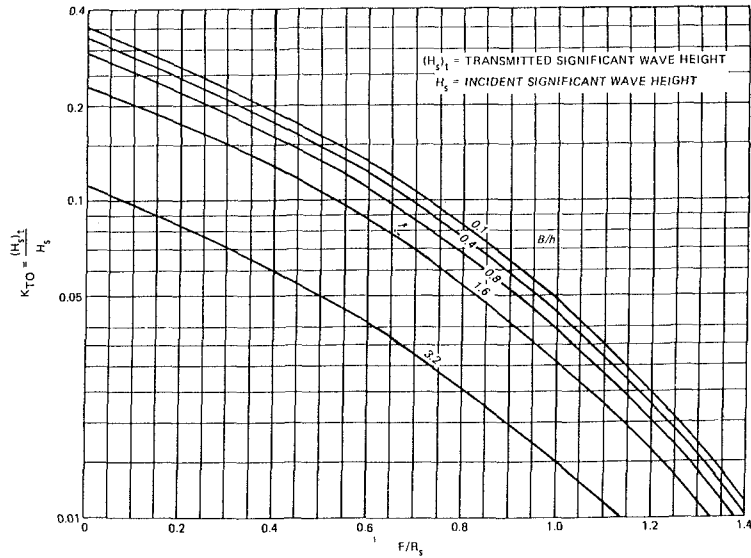
θ : 활동경사면과 수평면이 이루는 각

μ : 사석부의 사석 사이의 마찰계수 (0.8)

F: 안전율(1.2 이상)

4. 기 타

노후 및 파손된 시설물에 대하여는 재반여건에 부합되는 안정계산 실시.



(도-8) Transmitted wave height/incident significant wave height versus relative freeboard for wave transmission by overtopping due to irregular waves.

(표-1) Value of r for various slope characteristics (after Battjes, 1974).

Slope Surface Characteristics	Placement	r
Smooth, impermeable	-----	1.00
Concrete blocks	Fitted	0.90
Basalt blocks	Fitted	0.85 to 0.90
Gobi blocks	Fitted	0.85 to 0.90
Grass	-----	0.85 to 0.90
One layer of quarystone (impermeable foundation)	Random	0.80
Quarystone	Fitted	0.75 to 0.80
Rounded quarystone	Random	0.60 to 0.65
Three layers of quarystone (impermeable foundation)	Random	0.60 to 0.65
Quarystone	Random	0.50 to 0.55
Concrete armor units (~ 50 percent void ratio)	Random	0.45 to 0.50

The use of the figures to estimate wave runup is illustrated by the following example.

표-2 Hudson의 실험결과 K_d

구 분	K_d 값		층 수	쌓는 방법
	$h < 1.5H$	$h > 1.5H$		
조 석 (粗石)	28	35	2	난적(亂積)
	34	43	3이상	"
데트라포드	6.6	8.3	2	"
드라이바	8.0	10.0	2	"
핵사포드	7.2	9.0	2	"
수정입방블록	6.0	7.5	2	"

○ SHORE PROTECTION MANUAL

- 1977년 판 -

표 3. Suggested K_D Values for Use in Determining Armor Unit Weight

No - Damage Criteria and Minor Overtopping							
Armor Units	n*	Placement	Structure Trunk		Structure Head		Slope Cot θ
			K_D §		K_D		
			Breaking Wave	Nonbreaking wave	Breaking Wave	Nonbreaking wave	
Quarrystone							
Smooth rounded	2	random	2.1	2.4	1.7	1.9	1.5 to 3.0
Smooth rounded	>3	random	2.8	3.2	2.1	2.3	
Rough angular	1	random †	†	2.9	†	2.3	
Rough angular	2	random	3.5	4.0	2.9	3.2	1.5
					2.0	2.3	3.0
Rough angular	>3	random	3.9	4.5	3.7	4.2	
Rough angular	2	special ‡	4.8	5.5	3.5	4.5	
Tetrapod and Quadripod	2	random	7.2	8.3	5.9	6.6	1.5
					4.0	4.4	3.0
Triabar	2	random	9.0	10.4	8.3	9.0	1.5
					7.0	7.7	3.0
Dolos	2	random	22.0	25.0	15.0	16.5	2.0 #
					13.5	15.0	3.0
Modified Cube	2	random	6.8	7.8	-	5.0	
Hexapod	2	random	8.2	9.5	5.0	7.0	
Triabar	1	uniform	12.0	15.0	7.5	9.5	
Quarrystone(K_{RR})							
Graded angular	-	random	2.2	2.5			

* n is number of units comprising the thickness of the armor layer.

† The use of single layer of quarrystone armor units subjects to breaking waves is not recommended, and only under special conditions for nonbreaking waves. When it is used, the stone should be carefully placed.

‡ Special placement with long axis of stone placed perpendicular to structure face.

§ Applicable to slopes ranging from 1 on 1.5 to 1 on 5.

|| Until more information is available on the variation of K_D Value with slope, the use of K_D should be limited to slopes ranging from 1 on 1.5 to 1 on 3. Some armor units tested on a structure head indicate a K_D slope dependence.

Stability of dolosse on slopes steeper than 1 on 2 should be substantiated by site specific model tests.

표 4. Suggested K_D Values for Use in Determining Armor Unit Weight¹

No-Damage Criteria and Minor Overtopping							
Armor Units	n^3	Placement	Structure Trunk		Structure Head		
			K_D^2		K_D		Slope
			Breaking Wave	Nonbreaking wave	Breaking Wave	Nonbreaking wave	Cot θ
Quarrystone							
Smooth rounded	2	random	1.2	2.4	1.1	1.9	1.5 to 3.0
Smooth rounded	>3	random	1.6	3.2	1.4	2.3	⁵
Rough angular	1	random ⁴	⁴	2.9	⁴	2.3	⁵
Rough angular	2	random	2.0	4.0	1.9	3.2	1.5
					1.6	2.8	2.0
Rough angular	>3	random	2.2	4.5	1.3	2.3	3.0
					2.1	4.2	⁵
Rough angular	2	special ⁶	5.8	7.0	5.3	6.4	⁵
Parallelepiped ⁷	2	special ¹	7.0~20.0	8.5~24.0	—	—	
Tetrapod and Quadripod	2	random	7.0	8.0	5.0	6.0	1.5
					4.5	5.5	2.0
Tribar	2	random	9.0	10.0	3.5	4.0	3.0
					8.3	9.0	1.5
Dolos	2	random	15.8 ⁸	31.8 ⁸	7.8	8.5	2.0
					6.0	6.5	3.0
Modified Cube	2	random	6.5	7.5	8.0	16.0	2.0 ⁹
					7.0	14.0	3.0
Hexapod	2	random	8.0	9.5	—	5.0	⁵
Toskane	2	random	11.0	22.0	—	—	⁵
Tribar	1	uniform	12.0	15.0	7.5	9.5	⁵
Quarrystone(K_{RR})							
Graded angular	—	random	2.2	2.5	—	—	

¹ CAUTION : Those K_D values shown in italics are unsupported by test results and are only provided for preliminary design purposes.

² Applicable to slopes ranging from 1 on 1.5 to 1 on 5.

³ n is the number of units comprising the thickness of the armor layer.

⁴ The use of single layer of quarrystone armor units is not recommended for structures subject to breaking waves, and only under special conditions for structures subject to nonbreaking waves. When it is used, the stone should be carefully placed.

⁵ Until more information is available on the variation of K_D value with slope, the use of K_D should be limited to slopes ranging from 1 on 1.5 to 1 on 3. Some armor units tested on a structure head indicate K_D -slope dependence.

⁶ Special placement with long axis of stone placed perpendicular to structure face.

⁷ Parallelepiped-shaped stone : long alab-like stone with the long dimension about 3 times the shortest dimension(Markle and Davidson, 1979).

⁸ refers to no-damage criteria(<5 percent displacement, recking, etc.) ; if no rocking(<2 percent) is desired, reduce K_D 50 percent(Zwamborn and Van Niekerk, 1982).

⁹ Stability of dolosse on slopes steeper than 1 on 2 should be substantiated by site-specific model tests.