

깎은 사면체형 소파블록의 안정성 평가

조홍동 · 배우석^{**} · 김명균^{*} · 이호진

충북대학교 토목공학부 · ^{*}청주대학교 토목환경공학과
(2009. 6. 16. 접수 / 2009. 10. 12. 채택)

Investigation of Stability of Truncated Tetrahedron Type Armor Block

Hong Dong Cho · Woo Seok Bae^{**} · Myeong Kyun Kim^{*} · Ho Jin Lee

School of Civil Engineering, Chungbuk National University

^{*}Department of Civil and Environmental Engineering, Cheongju University

(Received June 16, 2009 / Accepted October 12, 2009)

Abstract : Armor block is used to reduce wave energy. To do this, the stability of coastal structure is enhanced. It is very expensive to develop a new type armor block. So, the research of new type armor block is very short. We develop truncated tetrahedron type armor block(new type block) which have a hole in center part. In this study, the stability of new type armor block is investigated by hydraulic model test. In the result, the stability coefficient(K_D) of new type armor block is 11.8. this value is more superior than value of tetrapod.

Key Words : armor block, wave energy, truncated tetrahedron type armor block, hydraulic model test, stability coefficient, tetrapod

1. 서론

파랑은 연안구조물을 파괴시키고 해상공사를 어렵게 하는 매우 위협적인 자연현상이다. 연안개발을 위한 인류의 역사는 파랑을 이기기 위한 노력의 역사라고도 할 수 있다. 파랑에 의한 피해를 최소화하기 위해 방파제와 같은 연안구조물을 설치할 때, 파가 갖는 에너지를 감소시키기 위한 여러 가지 방법들을 적용시키고 있다.

이와 같은 방법 중 가장 대표적인 방법은 소파블록(armor block)을 사용하는 것이다. 소파블록은 파의 에너지를 흡수하여 파고를 감소시키는 콘크리트 블록으로 그 중 가장 대표적인 것은 테트라포드(tetrapod ; TTP)이다.

소파블록은 개발에 많은 비용이 소요되기 때문에 새로운 형태의 소파블록은 개발하기 위한 연구는 매우 부족한 실정이다. 비교적 최근에 개발된 소파블록은 홍근희와 전인식¹⁾, 전인식 등²⁾이 개발한 옥토퍼스 블록으로, 테트라포드에 비해 경제성은 우수하지만, 월파가 다소 증가하는 단점을 가지고

있다.

본 연구에서는 소파블록의 파 에너지 흡수효과를 극대화하기 위해서, 중심부에 공극을 설치한 깎은 사면체형 소파블록의 안정성을 평가하기 위해서 수리모형 실험을 실시하여, 가장 많이 사용되고 있는 소파블록인 테트라포드와 비교하였다.

수리모형 실험은 방파제 전면 경사가 1:1.5, 1:1.33인 경우에 대해, 소파블록을 정적인 경우와 난적인 경우에 대해 수행하였다.

파력에 의한 블록의 이동거리를 측정하여 블록 사면의 변형을 평가하고, 피해계수를 산정하였다.

2. 수리모형실험

2.1. 깎은 사면체형 소파블록

깎은 사면체형 소파블록은 인공어초 겸용으로 개발된 다기능 블록으로서, Fig. 1과 같이 서로 일정한 각도를 유지하면서 정사면체의 꼭지점을 향해 방사상으로 형성되는 4개의 다리로 구성되어 있고, 중앙부에 4방향을 향해 개방되어 있는 유입구멍이 있다.

^{*} To whom correspondence should be addressed.
wsbae@cju.ac.kr

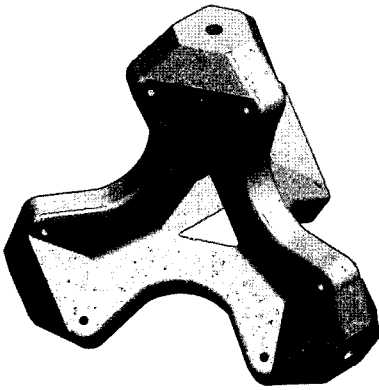


Fig. 1. Truncated tetrahedron type armor block.

2.2. 실험장치의 구성

실험에는 길이 53.15m, 높이 1.25m, 폭 1.0m인 2차원 조파수조를 사용하였다. 파를 발생시키는 조파기는 유압펌프에 의해 작동되는 피스톤형으로 최대 이격 거리가 ±50cm이며 조파기의 후면과 수조의 하류 쪽 끝에는 경사식 소파장치가 설치되어 있다.

소파블록의 수리특성 및 안정성을 검토하기 위하여 Fig. 2와 같이 6개의 파고계 설치하였고, 캠코더, 디지털카메라 등을 이용하여 실험과정을 모니터링 하였다.

2.3. 모형제작 및 설치

모형 소파블록은 수조의 폭을 고려하여 축척을 1/50으로 결정하였다. 모형 소파블록을 제작할 때 Froude 상사법칙을 적용하였으며, 이 경우 시간(T)와 속도(V)의 상사율은 다음과 같다.

$$\frac{T_m}{T_p} = \frac{V_m}{V_p} = \left[\frac{L_m}{L_p} \right]^{1/2} = \frac{1}{\sqrt{S}} \tag{1}$$

여기서, 첨자 ‘m’은 모형의 값을, 첨자 ‘p’는 원형의 값을 의미하고, L은 길이차원, S는 축척을 나타낸다.

소파블록의 수중포화상태에서의 중량의 평균값은 200g이었으며, 이를 현장 조건으로 환산하면 약 25톤에 해당한다.

모형이 놓이게 될 해저면은 콘크리트 불투과면으로 제작하였으며, 그 위에 중간 피복석, 소파블록 및 상치콘크리트를 거치하여 방파제 단면을 완성하였다.

방파제 전면경사는 1:1.5 및 1:1.33 두 가지에 대해 실험을 수행하였고, 방파제 후면 항내 측에는 별도의 소파공을 설치하지 않았다.

2.4. 실험조건

실험은 불규칙 파를 사용하여 수행되었으며, 불규칙 실험파는 우리나라 연안해역의 파랑을 잘 대표한다고 평가되는 Goda³⁾에 의해 수정된 Bretschneider-Mitsuyasu 스펙트럼을 사용하였다.

$$S(f) = 0.205 H_s^2 T_s^{-4} f^{-5} \times \exp[-0.75 (T_s f)^{-4}] \tag{2}$$

여기서, S(f)는 파랑에너지 밀도, f는 주파수를 나타내며, H_s 및 T_s은 각각 유의파고 유의파 주기를 나타낸다.

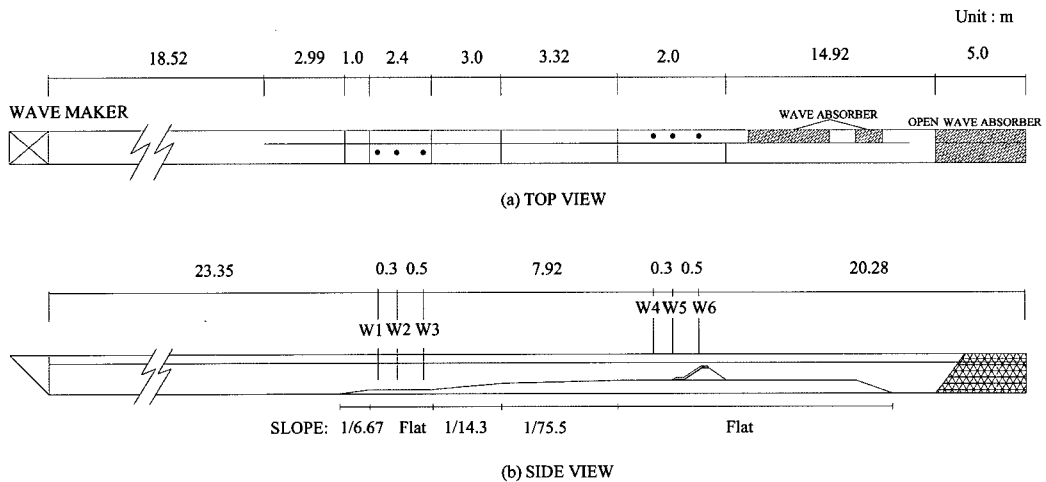


Fig. 2. Configuration of hydraulic model.

Table 1. Wave condition

Lab	T_s	H_s (cm)						
	2.12s	12	13	14	15	16	17	18
Field	T_s	H_s (m)						
	15s	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9

소파블록의 안정성을 검토하기 위해서 Table 1 과 같이 실험파를 결정하였다. 실험 수위는 현장에서 시공되는 방파제를 고려하여 소파블록으로 피복된 방파제 전면에서 48cm로 하였다. 본 실험에서 소파블록이 현장의 1/50 축척으로 제작된 점을 고려하면 현장의 수심은 24m에 해당한다.

실험단면은 소파블록의 종류, 거치방법, 사면경사 등을 변화시켜서 5가지 단면에 대해서 실험을 수행하였다. 실험단면별 조건은 Table 2에 제시하였으며, 표에서 소파블록의 개수는 사면 전체에 걸쳐 설치된 총 개수이다.

3. 실험결과 및 분석

실제 해역에서 소파블록의 최종 피해는 일반적으로 소파블록이 제자리를 이탈하거나 파괴되는 현상을 말한다. 수리모형실험에서는 사면의 안정성을 검토할 때 일반적으로 블록의 파괴는 고려하지 않고 단지 블록이 제자리에서 이탈한 양으로 피해량을 검토한다.

본 논문에서는 해양수산부⁴⁾에 의해 제시된 안정성 평가항목에 근거하여 방파제를 피복하고 있는 소파블록의 안정성을 검토하였다.

3.1. 사면변형

본 연구에서는 소파블록의 미끄러짐을 정량적으로 평가하기 위하여 사면상에 걸쳐서 7개의 기준점을 설정하고, 실험파를 조파하였을 때, 소파블록이 사면을 따라 미끄러져 내려간 누적 거리를 측정하였다.

Table 2. Section condition

Section	Slope	Armor block		
		Placement	Number	Prosity
1	1 : 1.50	Regular	378	61.5%
2	1 : 1.50	Random	327	66.7%
3	1 : 1.50	Regular	391	48.0%
4	1 : 1.33	Random	317	65.0%
5	1 : 1.50	Random	348	64.5%

Fig. 3은 Table 2에 제시된 5개의 단면에 대한 미끄러짐 양을 나타낸 것이다. 그림에서 가로축은 작용시킨 파의 파고(H_s)를 나타내고, 세로축은 사면의 7개 기준점에서 측정된 소파블록 미끄러짐 양의 평균값(ΔL)을 소파블록의 특성길이(l_c)로 나누어 무차원화한 값을 나타낸다.

본 실험의 경우 소파블록의 평균 중량은 200g, 비중은 2.25였으므로 특성길이는 $(200/2.25)^{1/3} \approx 4.5$ cm이다.

Fig. 3에서 단면 1은 소파블록을 1:1.5 사면에 정적(regular)으로 2단 피복한 단면이다. 단면 2는 소파블록을 1:1.5 사면에 난적(random)으로 2층 피복한 단면이다. 단면 3은 소파블록과의 비교를 위해 테트라포드를 정적으로 2층 피복한 단면이다. 단면 4는 소파블록을 1:1.33 사면에 정적으로 2단 피복한 단면이다. 단면 5는 소파블록의 표면 마찰력을 줄이기 위해 표면에 페인트를 두껍게 칠한 후 1:1.5 사면에 난적으로 2층 피복한 단면이다.

5가지 단면 중 사면 미끄러짐이 가장 작은 것은 소파블록을 정적으로 피복한 단면 1이었다. 테트라포드를 정적으로 피복한 단면 3의 경우에는 최종 미끄러짐 양이 단면 1과 유사하였다. 다만, 소파블록에 비하여 최초 미끄러짐이 더 낮은 파고에서 발생하였으며, 파고가 증가함에 따라 미끄러짐 양도 거의 선형적으로 증가하였다.

소파블록을 난적으로 피복한 단면 2의 경우 사면 미끄러짐이 가장 크게 발생하였다. 특히, 실제해역 파고 $H_s = 6.0$ m에서의 최초 미끄러짐 양이 매우 컸으며, 그 이후에도 지속적으로 미끄러짐 발생하였다. 소파블록을 난적으로 피복한 경우에는 설치 직후의 공극률이 더 크기 때문에 정적일 때에 비해서 더 낮은 파고에서 최초 미끄러짐이 발생하며, 미끄러짐 양도 더 크게 나타나는 것으로 판단된다.

단면 3에서 테트라포드는 단면 1의 소파블록과 유사한 변화양상을 보이고 있다. 단면 1에 비해서 초기 및 최종 미끄러짐 양은 크게 나타났지만, 파고 7~8m 구간에서는 미끄러짐 양이 더 적게 나타났다. 그러나, 사용된 테트라포드의 중량이 소파블록에 비해 24% 더 크를 감안할 때 같은 조건에서 소파블록의 미끄러짐 양이 더 작다고 할 수 있다.

단면 4의 경우에는 사면의 경사가 1:1.33으로 더 급경사인 경우인데, 사면의 경사가 1:1.5로 유지된 단면 5의 결과와 비교해 볼 때 미끄러짐 양이 더 적었다. 이러한 차이가 나타나는 것은 단면 4의 경우 사면의 경사가 더 급하여 초기 설치시에 블록이 더

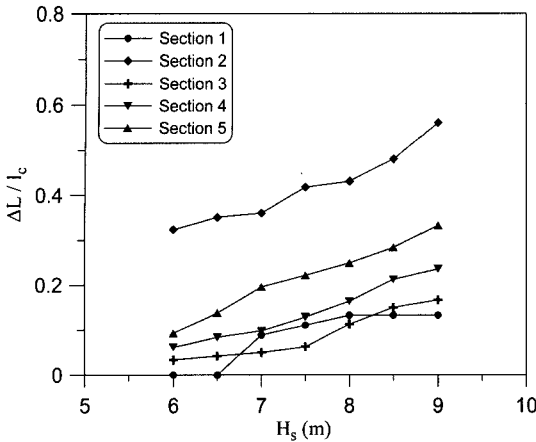


Fig. 3. Displacement of armor block due to wave.

잘 짜맞춰지게 놓여짐으로써 미끄러짐 양이 더 적게 발생하는 것으로 보인다. 그러나 이를 입증하기 위해서는 추가적인 실험을 통한 세밀한 분석이 필요할 것으로 보인다.

단면 5는 단면 2와 마찬가지로 소파블록을 난적으로 피복한 경우인데, 이 때에는 단면 2에 비해서 최소 미끄러짐 양이 적게 발생하였고, 파고의 증가에 따라서 미끄러짐 양이 선형적으로 증가하는 비율은 유사하게 나타났다. 이와 같은 현상이 발생한 이유는 단면 5의 공극률이 단면 2에 비해 작기 때문에 최초 미끄러짐이 양이 적은 것으로 판단된다.

3.2. 피해계수

피해계수 K_D 는 주어진 파고에서 피복층의 피해를(damage level)이 5% 보다 작게 발생하는 피복재의 소요 중량에 상응하는 Hudson 식의 계수를 의미한다⁵⁾. 따라서 피해계수 값이 클수록 주어진 파에 대하여 안정한 피복재의 중량은 작게 된다. 피해계수는 식 (3)과 같다.

$$K_D = \frac{\gamma_r H^3}{W(S_r - 1)^3 \cot \alpha} \quad (3)$$

여기서, W 는 소파블록의 소요중량, γ_r 는 소파블록의 단위중량, S_r 는 소파블록에 대한 해수의 비중, H 는 파고, α 는 사면이 수평면과 이루는 각도이다.

Table 3은 소파블록의 누적 피해량을 파고별로 제시한 것이다. 표에 제시된 것처럼 단면 1의 경우에는 소파블록의 피해가 전혀 발생하지 않았는데, 이것은 소파블록이 정적으로 거치되어 각 블록이 최초 설치 때부터 상하좌우로 완벽하게 서로 맞물

Table 3. Damage of armor block due to wave

H_s		Section				
Field	Lab	1	2	3	4	5
6.0m	12cm	0	0	0	0	0
6.5m	13cm	0	0	0	0	0
7.0m	14cm	0	1	1	0	0
7.5m	15cm	0	1	2	1	1
8.0m	16cm	0	2	3	2	2
8.5m	17cm	0	4	5	3	4
9.0m	18cm	0	5	7	6	5

려 있기 때문에 피해가 발생하지 않은 것으로 보인다. 나머지 4개의 단면의 경우 모두 $H_s = 7.5m$ 의 파부터 피해가 발생하였으며, 이후의 피해 양상은 각 단면별로 차이를 나타내었다.

피해량을 판정할 때에는 소파블록이 파 작용 종료 후에 특성길이 이상 완전히 이탈한 개수는 물론, 제자리에서 회전 및 록킹(Rocking, 제자리에서 약간 회전하거나 흔들리는 현상)이 심하게 발생한 소파블록 및 원래 위치에서 이탈되었다가 다시 복원된 소파블록의 개수를 모두 포함하였다.

각 단면의 피해계수를 살펴보면, 단면 1의 경우 실제 해역에서는 소파블록의 설치가 이렇게 이상적으로 이루어지기 어렵기 때문에 단면 1에 대해서는 피해계수를 산정하지 않았다.

단면 2의 경우 피해가 $H_s = 7m$ 부터 발생하기 시작하였기 때문에, 식 (3)에 의해 피해계수를 산정하면 W 는 25톤, γ_r 는 2.25ton/m^3 , $S_r = 2.25$, $\cot \alpha = 1.5$ 이므로 $K_D = 10.5$ 의 값을 얻는다.

단면 3의 경우 피해가 파고 7m부터 발생하였기 때문에 피해계수를 산정하면, W 는 31톤, γ_r 는 2.24ton/m^3 , $S_r = 2.24$, $\cot \alpha = 1.5$ 이므로, $K_D = 8.7$ 의 값을 얻는다.

단면 5의 경우 피해가 $H_s = 7.5m$ 에서 발생하여 피해계수를 산정하면 $K_D = 13.0$ 의 값을 나타냈다.

단면 4의 경우 피해계수를 산정하면 단면 5의 경우와 동일하나 실험에 따라 편차가 심하게 나타났기 때문에 피해계수 산정에 포함하지 않았다.

실제해역의 작업조건을 고려할 때 작은 사면체형 소파블록의 피해계수는 난적으로 설치된 단면 2와 단면 5의 결과를 산술평균한 11.8을 사용하는 것이 합리적일 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 작은 사면체형 소파블록의 안정

성을 평가하기 위해서 수리모형실험을 실시하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

정적으로 쌓은 경우를 제외하고는 테트라포드에 비해서 최초의 사면 미끄러짐 양이 다소 크게 나타났다. 이것은 소파블록의 구조형식상 공극률이 테트라포드에 비해서 더 높기 때문에 파가 작용함에 따라 블록끼리 서로 짜맞춤을 형성하는 과정에서 사면 아래쪽으로 미끄러짐 거리가 테트라포드에 비해 더 길기 때문인 것으로 판단된다.

본 연구에 사용된 소파블록을 실험역에 시공할 경우, 블록 특성상 제자리에서의 회전 및 록킹현상이 실험실 환경에서 보다 더 큰 영향을 줄 수 있으므로, 안정성을 확보하기 위해 피해계수 값을 11.8 보다 다소 작게 사용하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

참고문헌

- 1) 홍근희, 전인식, “신 소파블록 Octopus의 성능평가 실험”, 대한토목학회 논문집, 제19권, 제III-3호, pp. 359~374, 1999.
- 2) 전인식, 홍근희, 박현주, “신 소파블록 OTP의 율파 특성에 대한 실험적 고찰”, 대한토목학회 논문집, 제20권, 제2-B호, pp. 261~267, 2000.
- 3) 合田良實, “數値シミュレーションによる波浪の標準スペクトルと統計的性質, 第34回 海岸工學講演會論文集, pp. 131~135.
- 4) 해양수산부, “경사식 방파제의 최적설계기술개발(1), 2001.
- 5) CERC, “Shore protection manual”, Coastal engineering research center, US Army Corps Engineers, Waterway experiment station, Vicksburg, MS., 1984.