

인공리프에 관한 연구 A Study On Artificial Reef

안경수¹·신문섭²·유대성³·박종현⁴

Kyung Soo Ahn¹, Moon Seup Shin², Dae Sung Yoo³, Jong Hyun Park⁴

1. 서 론

최근 항구 및 해안지역의 오염과 대규모 준설 매립으로 인하여 습지 및 환경생태계 파괴가 심각한 문제로 대두되고 있다. 또한 파도와 조수의 이동으로 인한 해안침식, 태풍이나 폭풍 등의 자연재해로 인한 해안 및 항만구조물의 파괴가 빈번히 발생되고 있다. 이에 지오텍스타일 공법을 해안생태계를 복원 및 보전하고 해안 및 항만구조물로 활용하기 시작했다. 1970년대 초기 미국 Texas의 Galveston 만의 습지복원공법으로 처음 시도되었으며, 본격적인 연구는 1980년대 이후부터 활성화되었다. 다양한 현장 적용을 위해 설계 및 시공방법에 대한 분석적이고 실험적인 연구가 진행되어 그 활용이 더욱 확대되고 있다. 이와 같이 토목섬유를 활용하여 해안에 설치할 경우, 해안에 작용하는 파력을 감소시켜 해안침식방지 및 배후 해안의 안정성에 대한 검토가 필요하다. 본 연구에서는 실제 국내에서 시공사례가 있는 지오텍스타일 공법에 대하여 수리모형실험을 실시하여 유의파고에 따른 연구, 지오투브의 채움비율에 따른 연구, 지오투브 설치수심(천단고)에 따른 연구로 나누어 불규칙파를 수행하여 지오투브 구조물의 안정성을 검토하였다. 또한 소파성능을 파악하기 위해 전달율을 구하여 상호비교 분석하였고, 각각의 유의파고와 지오투브 부위에 따른 변형율과 파압을 동시에 측정

하여 인공리프의 기능 및 특성을 확인하였다.

2. 실험 조건

본 실험에서는 150cm×700cm×3000cm의 수로에서 지오텍스타일 튜브를 활용하여 이안제로서의 해안구조물로 설치할 경우에 대한 2차원 수리모형실험을 실시하였다. 채움비율에 따른 지오텍스타일 유효 높이를 달리한 3가지 조건을 동시에 실험할 수 있도록 폭 7m의 수로를 3개의 채널로 재구성하였다. Fig. 1은 재구성된 채널구성도를 나타낸 것이다. 유의파고 재현을 위한 스펙트럼은 스펙트럼의 형태를 다양하게 재현할 수 있는 실험인 WS(Wave Synthesizer)를 통하여 B retshneider-Mitsuyas 형태의 스펙트럼을 재현하였으며, 입사파랑은 입사파의 시계열을 목표파랑의 유의파고 및 유의파주기에 맞도록 반복하여 조정하였다. 이러한 모형시험에 대한 상사는 규정되어 있는 상사율을 적용하여 실시하며, 가장 일반적인 파에 관한 상사는 중력이 지배적이기 때문에 Froude의 상사율을 적용하고, 실험파의 제원, 수로의 크기, 조파장치의 성능 등을 고려하여 정상모형의 1/50으로 선정하였다.

¹ 인천대학교 토목환경시스템공학과 교수 (Associate Professor, Dept. of Civil & Environmental system Eng., University of Incheon)

² 군산대학교 토목환경공학부 교수 (Dept. of Civil & Environmental Eng., Kunsan University)

³ 군산대학교 토목환경공학부 석사과정 (Dept. of Civil & Environmental Eng., Kunsan University)

⁴ 인천대학교 토목환경시스템공학과 석사과정 (Ms. Student, Dept. of Civil & Environmental system Eng., University of Incheon)

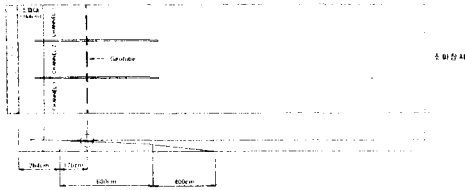


Fig. 1. 수리모형실험 채널 구성도.

다음의 Table 1 은 채널 1,2,3 에 각각 채움비 85%, 90%, 95%의 지오투브를 설치한 것을 나타내며, 이때 지오투브의 설치수심을 $H_i=a$ 인 경우(천단고 없음)와 $H_i=1.5a$ 인 경우(천단고 있음)로 구분하여 조석변화에 대한 영향을 고려하였다. 이와 함께 구조물의 안정성과 소파성능 및 변형률의 비교 분석을 통하여 다음과 같이 실시하였다.

- 1) 지오텍스타일 채움비율에 따른 특성분석
- 2) 유의파고 변화에 따른 특성
- 3) 설치수심 변화에 따른 특성 분석

Table 1. 채널별 지오투브의 제원 및 실험 조건

	φ (채움비)	a(cm)	b(cm)	w(kg)	$H_i = a$	$H_i = 1.5a$
					(천단고가 없는경우)	(천단고가 있는경우)
CHANNEL1	0.85	3.66	8.34	4.74		
CHANNEL2	0.90	4.14	7.86	4.90		
CHANNEL3	0.95	4.58	7.32	5.24		

3. 2차원 수리모형실험

3.1 파랑제어효과

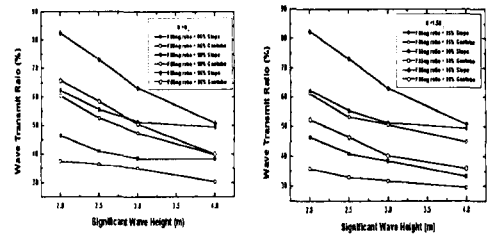
파랑제어란 항만 및 해안에 설치된 소파구조물이 파도에 대하여 어떻게 반응하며, 파고를 작게 하는가에 대하여 분석하는 수리모형 실험으로써 월파량, 월파높이등을 측정하여 분석한다. 일반적으로 소파성능은 사면 경사와 관계가 깊다. 본 연구의 대상인 지오투브 구조물은 소파성능을 가지고 있으나, 주요한 기능은 해안선 침식방지와 토사퇴적을 유도할 수 있도록 비교적 해안에서 가까운 낮은 수심에 설치되는 구조물이므로 지오투브가 연안에 설치되는 경우를 고려하여 상대적인 소파성능을 측정하는 것이 목적이라 할 것이다.

따라서, 본 실험에서는 지오투브 구조물이 없는 경우의 사면에 의한 소파성능을 측정하여, 지오투브 구조물이 있을 경우 구조물에 의한 소파성능을 측정하여 비교 분석하였다. 지오투브의 소파성능은 유입파와 전달파의 파고자료를 수집하여, 유의파고에 따른

전달율의 변동특성을 각각의 채움비율로 분석하기 위하여 전달율을 구하여 판단하였으며, 그 식은 다음과 같다. 여기서, R_{WTR} 는 전달율(Wave Transmit Ratio)이며, H_T 는 전달파고, H_I 는 유입파고를 나타낸다.

$$R_{WTR} = \frac{H_T}{H_I}$$

Fig.2는 유의파고의 증가와 채움비율의 변화에 따른 전달율의 양상을 그림으로 나타낸 것이다.



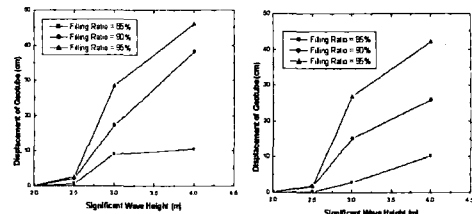
(a) 천단고가 없는 경우 (b) 천단고가 있는 경우

Fig. 2. 유의파고와 전달율 관계(case 2).

3.2 안정성 실험

지오투브의 안정성 실험은 유의파고 재현 후, 지오투브의 변위를 계측하여 안정성을 검토하였다. 지오투브의 각 부분의 변위량을 관찰하기 위하여 바닥에 쉬를 설치하여 계측하였으며 지오투브 상부에 기준선을 표시하고 10cm 간격으로 초기 위치점을 설정하여 계측하였다. 고성능 디지털 카메라와 사진판독을 이용하여 각 시간에 따른 변위를 관찰하였다.

Fig. 3.와 Fig. 4.는 유의파고와 채움비율에 따른 변위량중, 지오투브의 중앙점을 이용하여 거동을 나타낸 것이다. 그림에서 볼 수 있듯이 유의파고 2.0m 까지는 변위량이 없어, 안정성을 유지하였으며, 유의파고 2.5m 부터 미세한 변위량이 발생하기 시작하였다.



(a) 천단고가 없는 경우 (b) 천단고가 있는 경우

Fig. 3. 유의파고에 대한 변위 관계도(case 2).

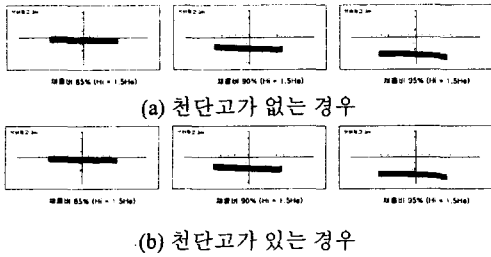


Fig. 4. 유의파고와 채움비율에 따른 변위량(case 2).

3.3 변형률 측정

안정성 실험 및 소파성능실험과 동시에 지오투브의 재질인 지오택스타일에 발생하는 변형률을 측정하였다. 상사된 유의파 재현시, 지오택스타일의 변형률을 분석하여 유의파 작용시의 지오택스타일에 발생하는 응력분포를 분석하였다. 또한 지오택스타일 변형률 측정과 동시에 지오택스타일에 작용한 파압을 측정하기 위하여 파압계를 설치하였다. 변형률 측정은 앞에서 언급한 특성분석 3 가지와 더불어 개이지 설치 부위를 다르게 하여 변형률을 측정하였다. 즉, 파각각 방향으로 작용하는 90°위치와 45°위치에 각각 설치하여 각각 X 방향과 Y 방향의 변형률을 측정하였다. 한 개의 채널에 튜브의 45°와 90°위치에 수평과 수직으로 각각 설치하여 전체 3 개 채널에 12 개가 설치되었다. 다음의 Fig.5는 채움비율에 따른 변형률을 나타낸 것이다.

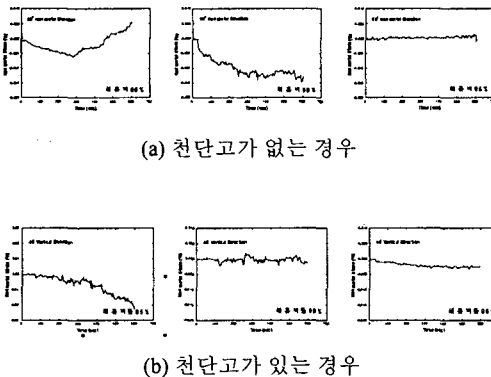


Fig. 5. 채움비율에 따른 변형률(case 2).

4. 실험 결과

4.1 파랑제어효과

지오투브의 파랑제어효과 시험은 사면에 지오투브를 설치하여 파랑 감쇄 효과를 파고의 전달율을 계산하여 비교 분석하였다.

(1) 천단고가 없는 경우의 파랑제어 성능

전달파고의 분석을 통하여 도출한 천단고가 없는 경우의 파랑제어 성능시험 결과 유의파고가 증가함에 따른 전달율은 채움비율이 클수록 급격히 감소하며, 채움 비율이 작을수록 점진적으로 감소하는 것을 알 수 있었다. 지오투브의 채움 비율에 따른 파랑제어 성능은 유효높이가 가장 높은 경우인 채움비율이 95%일 때 가장 크게 나타났다. 그러나 채움 비율이 가장 작은 85% 경우가 90%의 경우에 비하여 파랑제어 성능이 우수한 것으로 나타났다. 따라서, 지오투브 구조물에 의한 파랑제어 성능은 채움 비율에 따른 천단고 변화와 파의 진행방향의 지오투브 폭과 상관 관계가 있음을 알 수 있다.

(2) 천단고가 있는 경우의 파랑제어 성능

천단고가 있는 경우의 파랑제어 성능시험 결과는 천단고가 없는 경우의 시험결과와 유사하게 나타났다. 유의파고가 증가함에 따른 전달율은 채움비율이 클수록 크게 감소하였다. 또한, 지오투브의 채움비율에 따른 파랑제어 성능은 천단고 없는 경우와 마찬가지로 채움비율이 95%일 때가 가장 크게 나타났으며 채움비율이 가장 작은 85% 경우가 90%의 경우에 비하여 파랑제어 성능이 우수한 것으로 나타났다.

4.2 안정성 실험 결과

유의파고 2.0m까지는 변위량이 없이 안정성을 유지하였으나 유의파고 2.5m부터 미세한 변위량이 발생하기 시작하였다. 천단고가 있는 경우가 변위량이 더 작게 발생하는 것으로 나타났다. 지오투브의 채움비율에 따른 안정성은 채움비율 95%인 경우가 가장 변위량이 많이 발생하였다. 그리고 자중이 가장 작은 채움비율 85%인 경우가 변위량이 가장 적게 발생하여 안정적인 것으로 나타났다. 그 이유는 채움비율 95%의 지오투브는 자중에 비하여 하부의 접지면적이 상대적으로 작아지는 반면, 파압이 작용하는 투영

면적이 크기 때문에 채움비율이 85%인 지오투브에 비하여 안정성이 떨어지는 것으로 판단된다.

4.3 변형을 측정 결과

지오투브의 부위와 채움비율에 따른 변형률 분석 결과 직각방향에 비하여 수평방향의 변형률이 크게 발생되는 것으로 나타났다. 또한 각각의 채움비율에서 직각방향의 변형률은 일정 값이 탄성영역에서 변형률이 회복되는 경향을 보였다. 지오투브의 채움비율에 따른 변형률 변화는 채움비율이 가장 작은 85% 채움을 실시한 지오투브가 가장 크게 발생되며, 채움비율이 가장 큰 95% 채움을 실시한 지오투브가 가장 작은 값을 나타내었다. 또한 유의파고의 증가에 따른 변형률 변화는 유의파고가 증가함에 따라 변형률 계이지의 부착위치에 관계없이 증가하는 경향을 나타내었다. 지오투브의 부위에 따른 변형률은 파의 진행 방향에 직각인 90° 방향의 변형률이 45° 방향의 변형률보다 큰 변화를 나타내었고 수평방향의 경우는 45° 부위의 변형률 변화량이 크게 발생되었다. 또한 지오투브 상부에 천단고가 있는 경우의 변형률이 천단고가 없는 경우에 비하여 변형률이 작게 발생되었다.

5. 결 론

태풍이나 폭풍등의 자연재해로부터 국토손실과 인명피해를 막는 것을 목적으로 토목섬유를 활용하여 해안에 인공리프를 설치할 경우 수리모형실험을 실시하여 유의파고의 변화에 따른 지오투브의 채움비율과 천단고 변화에 대하여 지오투브 구조물의 안정성을 검토하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 지오투브의 파랑제어 효과를 알아보기 위하여 사면에 지오투브를 설치하여 파랑 감쇄 효과를 파고의 전달율로 계산하였다. 전달율은 채움비율이 클수록 급격히 감소하며 채움비율이 작을수록 점진적으로 감소하는 것을 알 수 있었다.
2. 지오투브의 변위량은 유의파고 2.0m까지는 안정성을 유지하였으나 2.5m부터 미세한 변위량이 발생하기 시작하였다. 천단고가 있는 경우가 천단고

가 없는 경우 보다 변위량이 더 작게 발생하는 것으로 나타났다

3. 지오투브의 부위와 채움비율에 따른 변형률 분석 결과 직각방향에 비하여 수평방향의 변형률이 크게 발생되는 것으로 나타났다. 지오투브의 채움비율에 따른 변형률 변화는 채움비율이 가장 작은 85% 채움을 실시한 지오투브가 가장 크게 발생되며, 채움비율이 가장 큰 95% 채움을 실시한 지오투브가 가장 작은 값을 나타내었다. 지오투브의 부위에 따른 변형률은 파의 진행방향에 직각인 90° 방향의 변형률이 45° 방향의 변형률보다 큰 변화를 나타내었고 수평방향의 경우는 45° 부위의 변형률 변화량이 크게 발생되었다.

참고문헌

- 군장 신힘만 북방파제 수리모형 실험용역 보고서.
Armstrong, J, M. and Kureth, C, L., 1979. "Some Observation on the Longard Tube as a coastal erosion protection structure," *Proceedings of Coastal Structures*, ASCE, Alexandria, pp. 250~269Hedges.
Kiyoshi Horikawa, *Coastal Engineering*.