韓國水資源學會論文集
第36卷 第4號 · 2003年 8月
pp. 623~631

토목섬유를 활용한 인공리프의 기능에 관한 연구

A Study on Function of Artificial Reef by Using Geotextile Tube

신 문 섭* / 안 경 수** / 신 은 철**
Shin, Moon Seup / Ahn, Kyung Soo / Shin, Eun Chul

Abstract

A large scale hydrological laboratory model tests for the geotextile tube were conducted to investigate the stability of geotextile tube and the capability of breakwater with variations of significant wave height, percentage of soil filling, and the water level above geotextile tube.
The sliding displacement of geotextile tube is measured to check the stability of geotextile tube for given the various significant wave heights. The marked mash was laid out at the bottom of water channel to measure the displacement of geotextile tube. The bench mark was furnished in the upper part of water channel and the initial location was marked every 10cm interval to measure the displacement of geotextile tube. The wave transmit ratios are analyzed with the variations of soil filling of tube and of the top crown height wave above the geotextile tube in order to study the performance of brekwater before and after the installation of geotextile tube.

Keyword : Stability of geotextile tube, Capability of breakwater, Significant wave height, Transfer wave height, Crown height.

요 지

본 연구에서는 유의파고별, 지오 튜브의 채움비, 지오 튜브 천단고의 변화에 따라 지오 튜브의 안정 및 소파성능에 관한 실험을 실시하였다. 축척은 1/50로 하여 조파 수로내에 모형을 설치하였다. 안정성 시험은 유의파고를 재현하여 지오 튜브의 변위를 계측하여 검토하였다. 지오 튜브의 각 부분의 변위량을 관찰하기 위하여 바닥에 메쉬를 설치하여 계측하였으며 지오 튜브 상부에 기준선을 표시하고 10cm 간격으로 초기 위치점을 설정하여 계측하였다. 소파성능은 지오 튜브의 설치전과 설치후의 각각의 채움비에 따라 천단고가 있는 경우와 없는 경우 파고전달율 해석하여 비교 분석하였다.

핵심용어 : 지오 튜브의 안정성, 소파성능, 유의 파고, 파고 전달율, 천단고

* 군산대학교 공과대학 토목환경공학부 교수
professor Dept. of Civil Engineering, Kunsan National University, Kunsan,Korea
(E-mail : seup@kunsan.ac.kr)
** 인천대학교 공과대학 토목환경시스템공학과 교수
professor Dept. of Civil Engineering, University of Incheon, Republic of Korea
(E-mail : ahnkyung@lion.inchon.ac.kr
*** 인천대학교 공과대학 토목환경시스템공학과 교수
professor Dept. of Civil Engineering, University of Incheon, Republic of Korea
(E-mail : ecshin@incheon.ac.kr

1. 서 론

태풍이나 폭풍 등의 자연재해로 인한 해안 및 항만 구조물의 파괴가 빈번히 발생되고 있다. 특히 파와 고조 등에 의한 해안침식으로 인하여 국토가 손실되고 인명과 재산피해가 자주 발생되고 있다. 자연재해로부터 국토손실과 인명피해를 막는 것을 목적으로 해안보전을 위한 대책이 요구되고 있다. 이러한 목적을 달성하기 위해 과거부터 해안제방과 호안을 축조하여 고조에 의해 발생되는 피해를 경감시키고 있으며 해안침식 방지를 위해 돌제와 이안제 등 선적방어공법이 자주 사용되어져 왔다. 선적방어공법은 해안 보전을 위한 기능적 측면에서는 적합하지만 바다와 육지를 분리하고 해안경관과 해안생태계를 악화시키는 등의 문제를 일으키고 있다. 이러한 문제의 해결을 위해 토목섬유를 이용한 지오튜브를 이용한 인공리프 공법 등 면적방어공법이 고안되게 되었다. 지오튜브공법은 1970년대 초기 미국 Texas의 Galveston만의 습지복원공법으로 처음 시도되었으며 본격적인 연구는 1980년대 이후부터 활성화되었다. 국외 연구동향을 살펴보면 Koerner와 Welsh (1980), Charlton(1984)의 연구를 시작으로 가장 최근 Heibaum(1999)까지 각 분야에서 많은 연구들이 진행되었다. 각 분야별로 살펴보면 Hausemann (1990)이 작은 크기의 샌드백(Sandbags)을 군사방어용으로 활용하는데 대한 연구를 수행하였다. 대형크기의 샌드백과 샌드매트를 활용한 해안침식방지에 대한 연구에는 Botzan(1982)과 Harris(1987, 1989, 1994)등의 연구가 있다. 다양한 현장적용을 위해 설계 및 시공방법에 대한 분석적이고 실험적인 연구가 진행되어 그 활용이 더욱 확대되고 있다. Shin 등(1998, 2000,2002)은 동해안 주문진 해안에 그림 1과 같은 지오 튜브를 설치하여 해안침식을 예방 할 수 있다는 결과를 얻었다. 또한 신문섭(2002)은 3차원 조파수조에 지오 튜브를 설치하여 안정성시험을 하였다. 그러나 이와 같이 토목섬유를 활용하여 해안에 인공리프를 설치할 경우 인공리프의 설치 목적 및 설계 조건의 설정을 명확히 하여 인공리프의 어느 효과를 이용할 것인가를 결정할 필요가 있다. 본 연구에서는 실제 국내에서 시공사례가 있는 지오튜브를 이용한 인공리프 공법에 대한 수리모형실험을 실시하고 유의 파고의 변화에 따른 지오 튜브의 채움 비

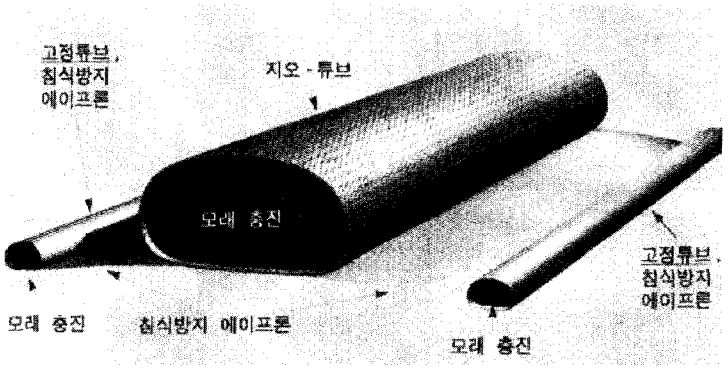

그림 1. 지오튜브공법 구성

표 1. 불규칙 조파기의 제원

구 분	제 원
수로 크기	길이(30M), 너비(7M), 깊이(1.5M)
조파판의크기	7.0(W) x 1.4(H)m App.
최대 수심	1.0m
최대 파고	0.3m
주 기	0.5 ~ 5 sec
구동 방식	AC Servo Motor
조파 형식	Piston Type Regular & Irregular

율과 천단고 변화에 대한 지오 튜브의 안정성을 검토하였다.

2. 재료 및 실험

2.1 조파기성능 및 제원

실험에 사용된 수로는 군산대학교 공과대학 토목환경공학부 해안공학실험실에 보유하고 있는 3차원 평면 조파수로를 이용하였다. 3차원 평면 불규칙 조파수로의 제원은 표 1과 같다. 구동 방식은 반사파 흡수방식을 사용하였다. 반사파 흡수방식은 파가 방파제로부터 반사되어 조파판에 도달한 반사파를 조파판 전면에 부착된 파고계가 감지하여 조파판에서 재 반사를 억제하여 에너지 누적현상을 저감시켜 장시간 불규칙파를 발생하는 방식이다.

2.2 모형제작

지오 튜브의 안정성 및 소파성능시험을 위하여 모형은 지오 튜브의 채움 비율에 따른 유효높이와 폭에 대해 그림 2 와 같이 제작하였다.

2.3 모형축척의 선정과 상사법칙

모형이 크면 클수록 모형에 전해지는 파압은 축척의 3제곱에 비례하기 때문에 축척을 약간 만 변화시켜도 상당히 큰 파압을 재현시킬 수 있어 축척영향을 피할 수 있는 실험을 수행하기 위해 시험시설의 용량이 허용하는 범위 내에서 모형을 대형화 할 수록 좋다. 그러나 모형축척은 실험파 제원, 수로의 크기, 조파기 성능을 고려하여 정상모형의 1/50으로 선정하였다. 축척 1/50 일 때의 관계는 Froude 상사법칙에 따라 다음 식 (1)과 같다.

$$\frac{t_m}{t_p} = \frac{V_m}{V_p} = \left(\frac{L_m}{L_p}\right)^{\frac{1}{2}} = \frac{1}{7.071} \qquad (1)$$

여기서 t 는 시간, V : 속도, L : 길이를 나타낸다.

또 m 및 p는 각각 모형(model) 및 원형(prototype)에 있어서의 물리량을 나타내는 기호이다. 한편 힘 및 구조물의 무게는 다음 식(2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{F_m}{F_p} = \frac{W_m}{W_p} = \left(\frac{L_m}{L_p}\right)^3 = 1 \,/\, 125{,}000 \qquad (2)$$

여기서 F 는 힘, W : 무게를 나타낸다.

식 (2)에서와 같이 모형축척의 비를 약간 크게 하여도 이에 따른 힘의 비는 상당히 크다. 모형실험에서는 해수가 아닌 담수를 이용하기 때문에 이에 의한 영향도 고려하여 모형의 중량을 검토하였다. 축척 1/50 일 때

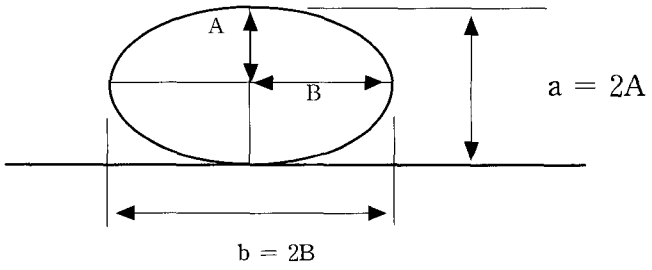

그림 2. 지오 튜브의 유효높이와 폭

표 2. 지오튜브 수리모형시험 조건

Ψ (채움비)	원 형				모 형			
	D(m)	a(m)	b(m)	W_s(ton)	D(cm)	a(cm)	b(cm)	W_s(kg)
0.85	3	1.83	4.17	587.36	6	3.7	8.3	4.73
0.90	3	2.04	3.96	621.79	6	4.1	7.9	4.89
0.95	3	2.31	3.69	656.01	6	4.6	7.4	5.24

의 지오튜브 수리모형시험 조건은 표 2와 같다. 표2에서 a와 b는 각각 지오 튜브의 채움 비율에 따른 유효 높이와 폭을 나타내고 D는 지오 튜브의 직경을 나타낸다. 실험파랑조건은 표 3과 같다. K. Horikawa(1997)의 해안공학을 참고하여 유의파 주기는 유의파고로부터 유의파 주기($T_{1/3} = 3.86\sqrt{H_{1/3}}$)를 산출해 냈다.

2.4 모형상의 제작 및 실험조건

본 실험는 150cm×700cm×3000cm의 수로에 지오튜브를 설치하여 평면 3차원수리모형실험을 실시하였다. 채움비에 따른 지오 튜브의 유효높이를 달리한 3가지 조건을 동시에 실험할 수 있도록 폭 7m의 수조를 3개의 채널로 재구성하였다. 재구성된 채널 구성도는 그림 3과 같다.

그림 4는 채널 1, 2, 3에 각각 채움비 85%, 90%, 95%의 지오튜브를 설치한 것을 나타낸 것이며, 이때 지오튜브의 설치수심을 h = a인 경우(천단고 없음)와 h = 1.5a인 경우(천단고 있음)로 구분하여 구조물의 안정성과 소파성능 및 변형율 실험을 실시하였다.

표 3. 실험 파랑조건

원형 파랑		모형 파랑	
유의파고(m)	유의파주기(sec)	유의파고(cm)	유의파주기(sec)
2	5.46	4	0.77
3	6.69	6	0.95
4	7.72	8	1.09
5	8.63	10	1.22

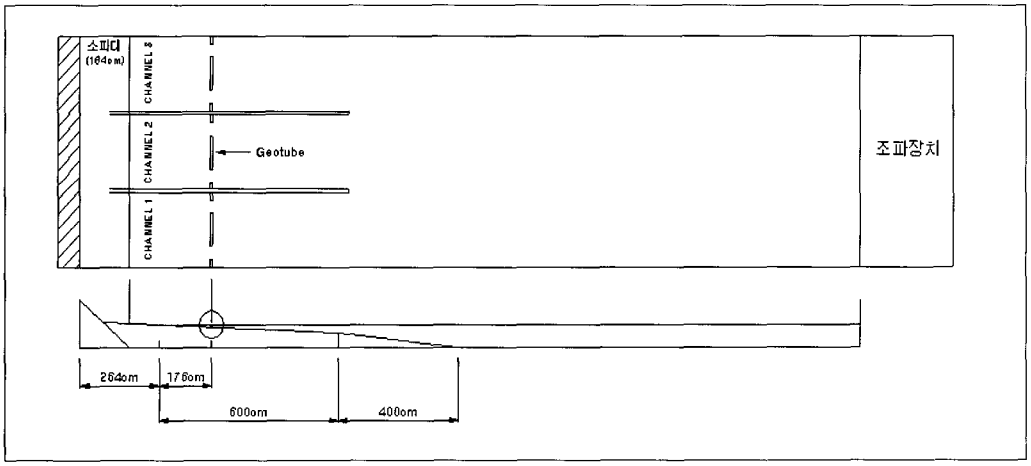

그림 3. 채널구성도

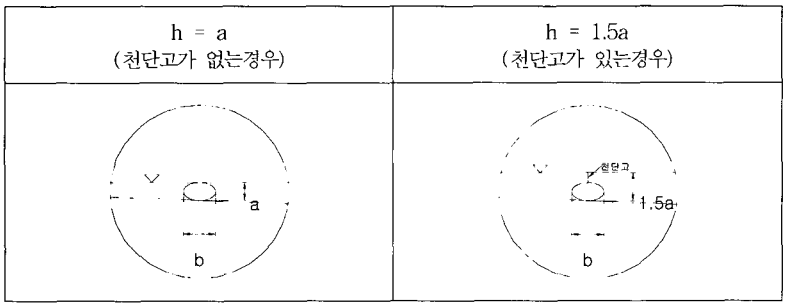

그림 4. 지오튜브의 설치방법

3. 실험방법 및 고찰

3.1 파랑제어 효과

인공 리프의 여러 원인과 파랑 감쇄 효과를 조사하기 위해 유의파고와 주기를 표 3과 같이 발생시켜 실험을 했다. 인공 리프의 파랑 감쇄 효과는 파고 전달율(전달파고 HT/입사파고 HI)로 대표하여 나타내었다. 전달 파고는 인공 리프(지오튜브)설치 후면에 고정된 파고계를 설치하여 파고를 측정했다. 실험에서는 유의파고의 변화에 따른 지오 튜브의 채움비와 천단고 변화에 대하여 전달율을 측정하였다. 그림 4와 그림 5는 각각 천단고가 없을 경우와 있을 경우에 대한 유의파고와 채움 비율의 변화에 따른 파고 전달율의 변화를 나타낸 그림이다.

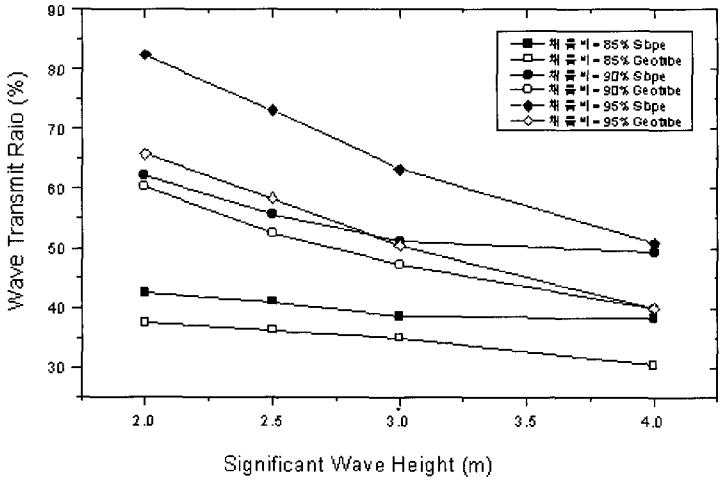

그림 4. 천단고가 없을 경우 유의파고의 증가와 채움비율에 따른 전달율 변화

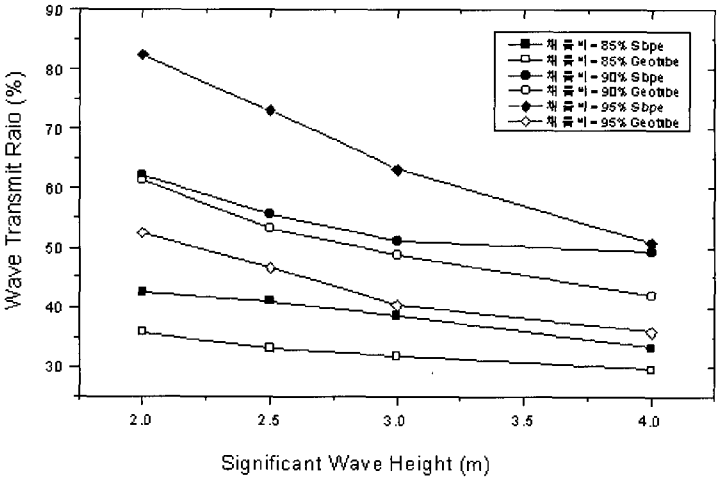

그림 5. 천단고가 있을 경우 유의파고의 증가와 채움비에 따른 전달율 변화

3.2 안정성 실험

지오 튜브의 안정성은 지오 튜브의 자중, 바닥접지면적, 투영면적, 지오 튜브와 해저면의 접촉마찰 등 여러 고려사항이 있지만 본 실험에서는 지오 튜브의 자중과 바닥접지면, 투영면적, 파에너지에 관한 사항만을 고려하여 수리모형실험을 하였다. 실험은 유의파고 재현 후 지오 튜브의 변위를 계측하여 안정성을 검토하였다. 지오 튜브의 각 부분의 변위량을 관찰하기 위하여 바닥메쉬를 사진 1과 같이 설치하여 계측하였다. 사진 1에서와 같이 지오 튜브 상부에 기준선을 표시하고 10cm 간격으로 초기 위치점을 설정하여 계측하였다. 고성능 디지털 카메라와 사진판독을 이용하여 각 시간에 따른 변위를 관찰하였다.

그림 6은 유의 파고별 천단고가 없는 경우 채움 비율에 따른 변위량을 나타낸 그림이다. 그림 7은 유의 파고별 천단고가 있는 경우 채움 비율에 따른 변위량을 나타내고 있다. 변위량은 지오튜브의 중앙점을 중심으로 하여 거동을 나타내었다.

3.3 변형율 측정실험

지오 튜브의 재질인 지오텍스타일에 발생되는 변형율을 측정하기 위하여 사진 2와 같이 파압계를 설치하였다. 변형율 측정은 파의 진행방향에 직각방향으로 작용하는 90°와 45°위치에 설치하여 각각 X방향과 Y방향의 변형율을 측정하였다. 한 개의 채널에 지오 튜브

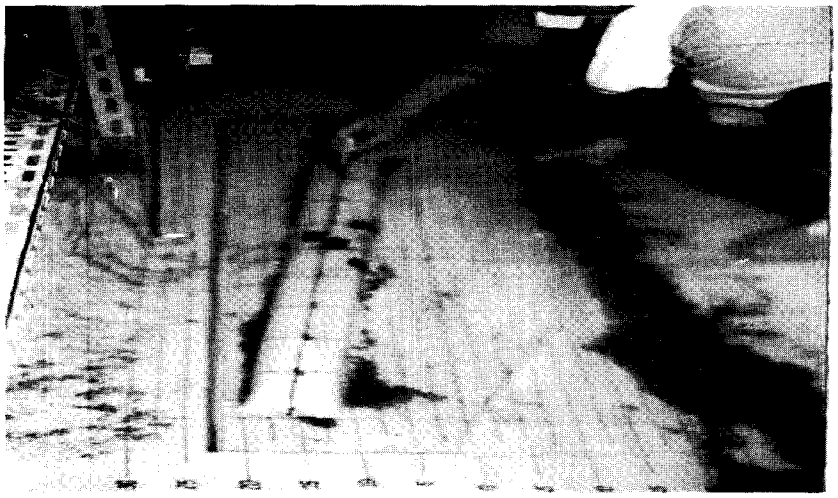

사진 1. 안정성 분석용 바닥매쉬

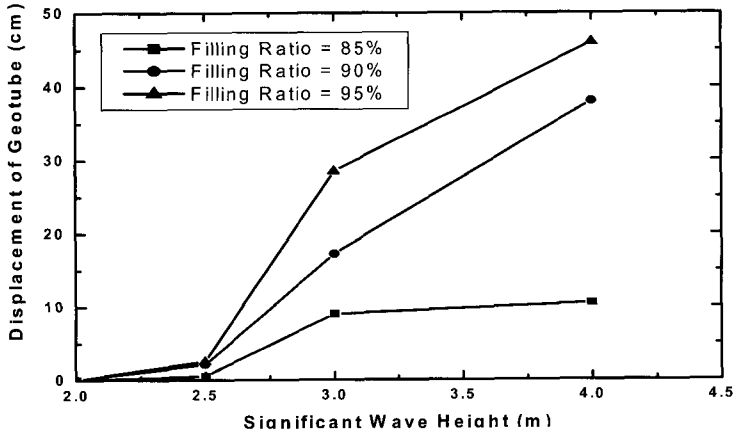

그림 6. 천단고가 없는 경우 채움비율에 따른 변위량

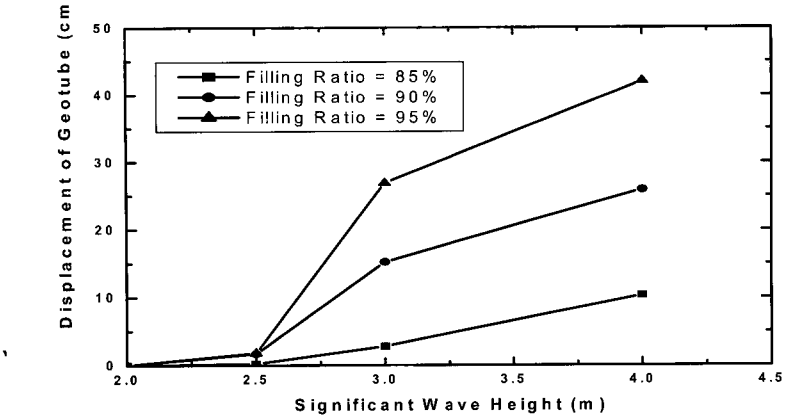

그림 7. 천단고가 있는 경우 채움비율에 따른 변위량

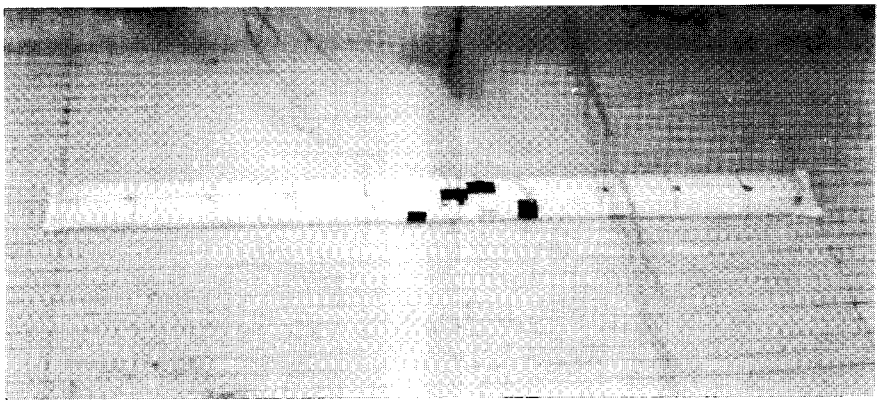

사진 2. 안정성 분석용 바닥매쉬

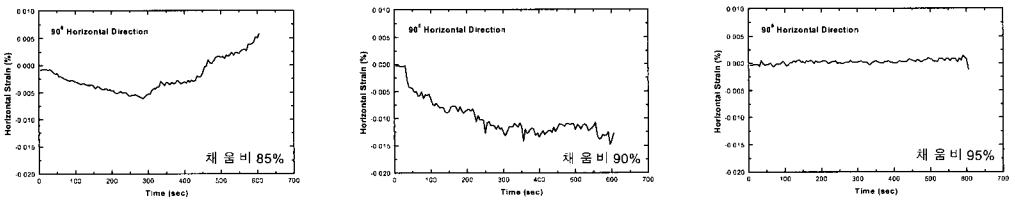

그림 8. 채움비율에 따른 변형율 (Hi = a)

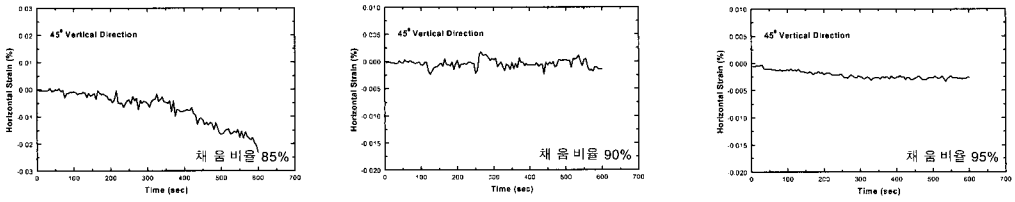

그림 9. 채움비율에 따른 변형율 (Hi = 1.5a)

의 45°와 90°위치에 수평과 수직으로 각각 설치하여 전체 3개 채널에 12개가 설치되었다. 그림 8은 유의 파고별 천단고가 없는 경우 채움 비율에 따른 평면 변형율이고 그림 9은 유의 파고별 천단고가 있는 경우 채움 비율에 따른 평면 변형율을 나타내고 있다.

4. 고 찰

4.1 파랑제어 효과 고찰

지오 튜브의 파랑제어효과시험은 사면에 지오 튜브를 설치하여 파랑 감쇄 효과를 파고의 전달율(전달파고 HT/입사파고 HI)을 계산하여 비교 분석하였다.

(1) 천단고가 없는 경우의 파랑제어성능

전달파고의 분석을 통하여 도출한 천단고가 없는 경우의 파랑제어성능시험 결과 유의파고가 증가함에 따른 전달율은 채움 비율이 클수록 급격히 감소하며, 채움 비율이 작을수록 점진적으로 감소하는 것을 알 수 있었다. 지오 튜브의 채움 비율에 따른 파랑제어성능은 유효높이 가장 높은 경우인 채움비율이 95%일 때 가장 크게 나타났다. 그러나 채움 비율이 가장 작은 85% 경우가 90%의 경우에 비하여 파랑제어성능이 우수한 것으로 나타났다. 따라서 지오 튜브 구조물에 의한 파랑제어성능은 채움 비율에 따른 천단고 변화와 파의 진행방향의 지오 튜브 폭과 상관관계가 있음을 알 수 있다.

(2) 천단고가 있는 경우의 파랑제어성능

천단고가 있는 경우의 파랑제어성능시험 결과는 천단고가 없는 경우의 시험결과와 유사하게 나타났다. 유의파고가 증가함에 따른 전달율은 채움 비율이 클수록 크게 감소하였다. 또한, 지오 튜브의 채움 비율에 따른 파랑제어성능은 천단고 없는 경우와 마찬가지로 채움비율이 95%일 때가 가장 크게 나타났으며 채움 비율이 가장 작은 85% 경우가 90%의 경우에 비하여 파랑제어성능이 우수한 것으로 나타났다.

4.2 안정성 실험 고찰

그림 6과 7에서 볼 수 있듯이 유의파고 2.0m까지는 변위량이 없이 안정성을 유지하였으나 유의파고 2.5m부터 미세한 변위량이 발생하기 시작하였다. 천단고가 있는 경우에 변위량이 더 작게 발생하는 것으로 나타났다. 지오 튜브의 채움 비율에 따른 안정성은 채움 비율이 95%일 때 변위량이 가장 많이 발생하였다. 그리고 자중이 가장 작은 경우로써 채움 비율 85%일 때 변위량이 가장 적게 발생하여 안정적인 것으로 나타났다. 그 이유는 채움 비율 95%의 지오 튜브는 자중에 비하여 하부의 접지면적이 상대적으로 작아지는 반면 파압이 작용하는 투영면적이 크기 때문에 채움 비율이 85%인 지오 튜브에 비하여 안정성이 떨어지는 것으로 판단된다.

4.3 변형율 실험고찰

지오튜브의 부위와 채움 비율에 따른 변형율 분석 결과 직각방향에 비하여 수평방향의 변형율이 크게 발생되는 것으로 나타났다. 또한 각각의 채움 비율에서 직각방향의 변형율은 일정 값이 탄성영역에서 변형율이 회복되는 경향을 보였다. 지오 튜브의 채움 비율에 따른 변형율 변화는 채움비율이 가장 작은 85% 채움을 실시한 지오튜브가 가장 큰 값을 나타냈으며, 채움 비율이 가장 큰 95% 채움을 실시한 지오 튜브가 가장 작은 값을 나타내었다. 유의파고의 증가에 따른 변형율 변화는 유의파고가 증가함에 따라 변형율 게이지의 부착위치에 관계없이 증가하는 경향을 나타내었다. 지오 튜브의 부위에 따른 변형율은 파의 진행방향에 직각인 90°방향의 변형율이 45°방향의 변형율보다 큰 변화를 나타내었고 수평방향의 경우는 45°부위의 변형율 변화량이 크게 발생되었다. 또한 지오 튜브 상부에 천단고가 있는 경우의 변형율이 천단고가 없는 경우에 비하여 변형율이 작게 발생되었다.

5. 결 론

태풍이나 폭풍등의 자연재해로부터 국토손실과 인명피해를 막는 것을 목적으로 토목섬유를 활용하여 해안에 인공 리프를 설치할 경우 수리모형실험을 실시하여 유의 파고의 변화에 따른 지오 튜브의 채움 비율와 천단고 변화에 대하여 지오 튜브 구조물의 안정성을 검토하였다. 표2와 3의 수리조건에서 수리모형 실험에 의한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 지오 튜브의 파랑제어 효과를 알아보기 위하여 사면에 지오 튜브를 설치하여 파랑 감쇄 효과와 파고의 전달율(전달파고 HT/입사파고 HI)을 검토하였다. 전달율은 채움 비율이 클수록 급격히 감소하며 채움 비율이 작을수록 점진적으로 감소하는 것을 알 수 있었다.
2. 지오 튜브의 변위량은 유의파고 2.0m까지는 안정성을 유지하였으나 2.5m부터 미세한 변위량이 발

생하기 시작하였다. 천단고가 있는 경우가 천단고가 없는 경우 보다 변위량이 더 작게 발생하는 것으로 나타났다.

3. 지오 튜브의 부위와 채움비율에 따른 변형율 분석 결과 직각방향에 비하여 수평방향의 변형율이 크게 발생되는 것으로 나타났다. 지오 튜브의 채움 비율에 따른 변형율 변화는 채움 비율이 가장 작은 85% 채움을 실시한 지오 튜브가 가장 크게 발생되며, 채움 비율이 가장 큰 95% 채움을 실시한 지오튜브가 가장 작은 값을 나타내었다. 지오 튜브의 부위에 따른 변형율은 파의 진행방향에 직각인 90°방향의 변형율이 45°방향의 변형율보다 큰 변화를 나타내었고 수평방향의 경우는 45°부위의 변형율 변화량이 크게 발생되었다.

감사의글

본 논문은 인천지역환경기술개발센터 2001년도 환경정책 연구개발사업의 연구과제로 수행되었습니다. 연구비지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

Koerner, R.M. and Welsh, J.P. (1980), "*Construction and Geotechnical Engineering Using Synthetic Fabrics*", J. Wiley & Sons, pp. 160~229.

Charlton, F.G. (1984), "*Geotextiles for bank protection in relation to causes of erosion, Flexible Armoured Revetments*", Thomas Telford Ltd., London, pp. 165~177.

Hausemann, M.T. (1990), "*Engineering Principles of Ground Modification*", McGraw-Hill, pp. 573~578.

Botzan, D., Kellner, L., and Moisa, C. (1982), Construction elements for river bank defense structures using woven geotextiles, *Proceedings of the Second International Conference ofn Geotextiles*, Las Vegas, pp. 223~227.

Harris, L.E. (1987), Evaluation of sand-filled containers for beach erosion control, an update of the technology, *Proceedings of Coastal Zone '87*, pp. 2479~2487.

Harris, L.E. (1989), Developments in sand-filled container systems for coastal erosion control in Florida, *Proceedings of Coastal Zone '89*, ASCE, pp. 2225~2233.

Harris, L.E. (1994) Dredged material used in sand-filled containers for scour and erosion control, *Proceedings of Dredging '94*, ASCE, pp. 537~546.

E.C Shin, Y.I. Oh (1998), "Development of Environmentally Sound Dredged Backfill Technology by Utilizing Geotextile", Proceedings of The KGS Fall '98 National Conference, Vol II, pp. 132-135.

E.C. Shin, Y.I. Oh, H.J. Lee(2000), "Development of Geotube for Practical Use", Proceedings of The KGS Fall '98 National Conference, pp. 504-511.

E.C. Shin, K.S. Ahn, Y.I. Oh, B.M. Das,(2002) "Construction and Monitoring of Geotubes", Proceedings of International Offshore and Polar Engineering Conference, Kitakyushu, Japan, pp. 469-473.

안경수, 신문섭, 신은철, 박종현(2002), "토목섬유를 활용한 인공리프의 기능에 관한 연구" 2002년 한국수자원학회 학술발표회논문집, pp.1062-1068.

K. Horikawa(1997),"해안공학",pp.93.

(논문번호:02-42/접수:2002.07.10/심사완료:2003.06.25)