

토목섬유를 활용한 인공리프의 기능에 관한 연구

A Study on Function of Artificial Reef by Using Geotextile Tube

안경수¹⁾, 신문섭²⁾, 신은철³⁾, 박종현⁴⁾

1. 서 론

최근 항만 및 해안지역의 오염과 대규모 준설 매립으로 인하여 습지 및 환경생태계 파괴가 심각한 문제로 대두되고 있다. 또한 파와 조류속으로 인한 해안침식, 태풍이나 폭풍등의 자연재해로 인한 해안 및 항만구조물의 파괴가 빈번히 발생되고 있다. 따라서 지오텍스타일 공법은 해안생태계를 복원 및 보전하고 해안 및 항만구조물을 활용하기 시작했다. 1970년대 초기 미국 Texas의 Galveston만의 습지복원공법으로 처음 시도되었으며, 본격적인 연구는 1980년대 이후부터 활성화되었다. 다양한 현장적용을 위해 설계 및 시공방법에 대한 분석적이고 실험적인 연구가 진행되어 그 활용이 더욱 확대되고 있다. 그러나 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 유의 파고의 변화에 따라, 지오텍튜브의 채움비율 변화에 따라, 지오텍튜브 설치수심(천단고)에 따른 연구로 나누어 지오텍튜브 구조물의 안정성을 검토하였다. 그리고 소파성능을 파악하기 위해 전달율을 구하여 상호비교 분석하는 한편, 각각의 유의파고와 지오텍튜브 부위에 따른 변형율과 파압을 동시에 측정하였다.

2. 실험 조건 및 조파제어

본 실험에서는 150cm×700cm×3000cm의 수로에서 지오텍스타일 튜브를 활용하여 이안제로서의 해안구조물로 설치할 경우에 대한 평면 2차원 수리모형실험을 실시하였다. 채움비율에 따른 지오텍스타일 유효높이를 달리한 3가지 조건에 대하여 동시에 실험할 수 있도록 폭 7m의 수조를 3개의 채널로 구성하였다. 그림 1.은 폭7m의 수조를 3개의 채널로 구성한 구성도이다. 유의파고 재현을 위한 스펙트럼은 스펙트럼의 형태를 다양하게 재현할 수 있는 WS(Wave Synthesizer)를 통하여 Bretschneider-Mitsuyasu 형태의 스펙트럼을 재현하였으며, 입사파랑은 입사파의 시계열을 목표파랑의 유의파고 및 유의파 주기에 맞도록 반복하여 조정하였다. 이러한 모형시험에 대한 상사는 Froude의 상사율을 적용하고, 실험파의 제원, 수로의 크기, 조파장치의 성능 등을 고려하여 축척은 정상모형의 1/50로 하였다. 조파제어에 의한 유의파 재현과정은 파랑 통계분석에서 Zero-Up-Cross방법에 대한 파고자료를 사용하였으며, Bretschneider-Mitsuyasu형태로 파랑을 발생시켰다. 또한 수리모형시험장치를 통한 유의파고재현은 목적 유의파의 자료를 입력하여 조파제어를 통한 파를 재현한 후, 파고계의 자료를 수집하여 목적유의파가 재현될 때까지 스펙트럼분석을 통한 시산법에 의한 반복적인 보정을 실시하였다.

1) 인천대학교 토목환경시스템공학과 교수
3) 인천대학교 토목환경시스템공학과 부교수

2) 군산대학교 공과대학 토목환경공학부 교수
4) 인천대학교 토목환경시스템공학과 석사과정



그림 1. 수리모형실험 채널구성도

<표 1>에서 보는 바와 같이 채널 1, 2, 3에 지오투브 채움비를 85%, 90%, 95%에 대하여 설치 수심이 $H_i = a$ 인 경우(천단고 없음)와 $H_i = 1.5a$ 인 경우(천단고 있음)로 구분하여 조석변화에 대한 영향을 고려하였고, 또한 구조물의 안정성과 소파성능 및 변형율의 비교 분석을 통하여 지오텍스 타일 채움비율에 따른 특성분석과 유의과고 변화에 따른 특성 분석 및 설치수심 변화에 따른 특성분석을 실시하였다.

표 1. 채널별 지오투브의 제원 및 실험 조건

	ψ (채움비)	a(cm)	b(cm)	w(kg)	$H_i = a$ (천단고가 없는경우)	$H_i = 1.5a$ (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 수리실험

3.1 소파성능 실험

소파성능 실험은 항만 및 해안에 설치된 지오투브 소파구조물이 파랑에 대하여 어떻게 반응하는가를 월파량, 월파높이등을 측정하여 분석하는 수리모형 실험을 말한다. 본 연구의 대상인 지오투브 구조물의 주요한 기능은 해안선 침식방지와 토사퇴적을 유도할 수 있도록 비교적 해안에서 가까운 낮은 수심에 설치되는 구조물이므로 지오투브가 연안에 설치되는 경우를 고려하여 상대적인 소파성능을 측정하였다. 일반적으로 소파성능은 사면 경사와 구조물 설치 여부에 대하여 주요관련이 있다. 따라서 지오투브의 소파성능을 지오투브 구조물이 없는 경우의 사면에 의한 전달율과 지오투브 구조물이 있을 경우 구조물에 의한 전달율을 비교하여 분석하였다. 그 결과, 사면에 의한 전달과보다 구조물을 설치한후의 전달과가 작게 나타내는 것을 발견할 수 있다. 유의과고 변화에 따른 전달율의 변동특성을 각각의 채움비율로 분석하였으며, 그 식은 다음과 같다. 여기서, R_{WTR} 는 전달율(Wave Transmit Ratio)이며, H_T 는 전달과고, H_I 는 유입과고를 나타낸다.

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

그림 2와 그림3은 유의파고의 증가와 채움비율의 변화에 따른 전달율의 양상을 그림으로 나타낸 것이다. 그림을 비교하여 보면 채움비율 90%일 때 유의파고가 커짐에 따라 소파성능이 크게 나타났으며, 채움비율이 85%일 때 천단고가 없는 경우 소파성능은 커지지만 천단고가 있는 경우에는 소파성능이 감소하는 경향을 볼 수 있었다.

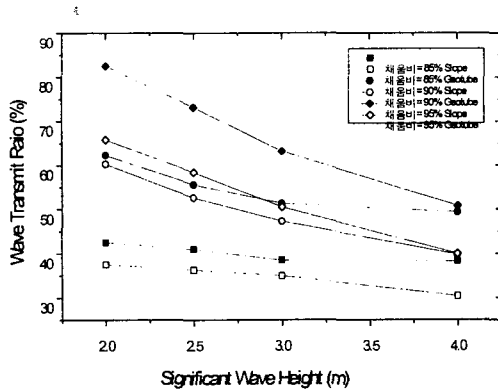


그림 2. 유의파고와 전달율 관계 ($H_i = a$)

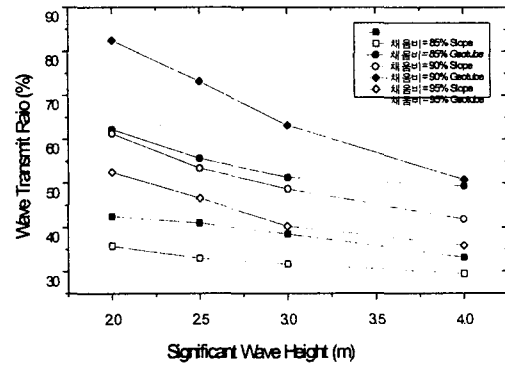


그림 3. 유의파고와 전달율 관계 ($H_i = 1.5a$)

3.2 안정성 실험

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

그림 4와 그림5는 유의파고와 채움비율에 따른 변위량 중, 지오투브의 중앙점을 이용하여 거동을 나타낸 것이다. 그림에서 볼 수 있듯이 유의파고 2.0m까지는 변위량이 없어, 안정성을 유지하였으며, 유의파고 2.5m부터 미세한 변위량이 발생하기 시작하였다.

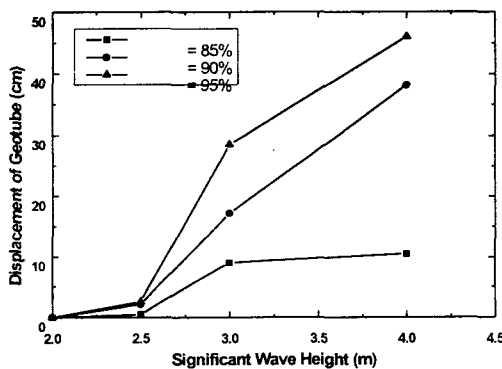


그림 4. 유의파고에 대한 변위관계도($H_i = a$)

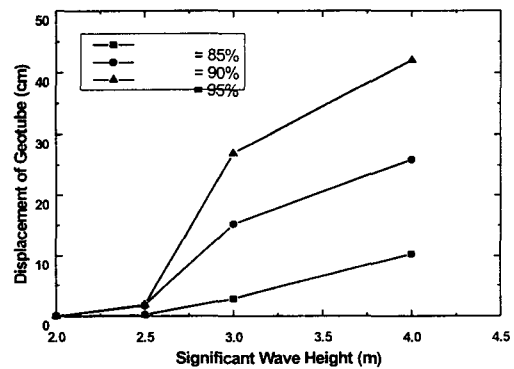


그림 5. 유의파고에 대한 변위관계도($H_i = 1.5a$)

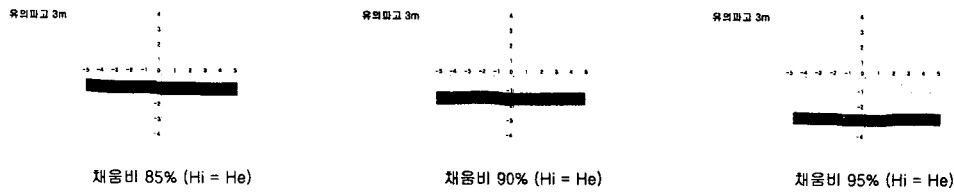


그림 6. 유의파고와 채움비율에 따른 변위량 ($H_i = a$)

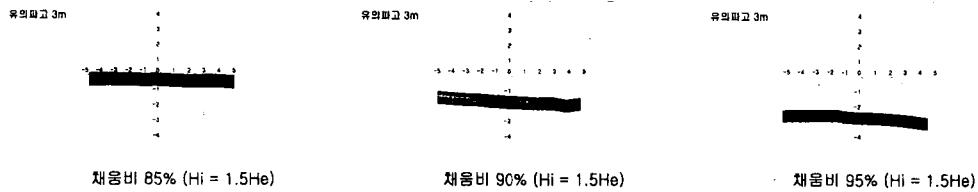


그림 7. 유의파고와 채움비율에 따른 변위량 ($H_i = 1.5a$)

3.3 변형을 측정

안정성실험 및 소파성능실험과 동시에 지오투브의 재질인 지오텍스타일에 발생하는 변형을 측정하였다. 상사된 유의파 재현시, 지오텍스타일의 변형을 분석하여 유의파 작용시의 지오텍스타일에 발생하는 응력분포를 분석하였다. 또한 지오텍스타일 변형을 측정과 동시에 지오텍스타일에 작용한 과압을 측정하기 위하여 과압계를 설치하였다. 변형을 측정은 앞에서 언급한 특성분석 3가지와 더불어 게이지 설치 부위를 다르게 하여 변형을 측정하였다. 즉 파가 직각방향으로 작용하는 90° 위치와 45° 위치에 설치하여 각각 X방향과 Y방향의 변형을 측정하였다. 한 개의 채널에 튜브의 45° 와 90° 위치에 수평과 수직으로 각각 설치하여 전체 3개 채널에 12개가 설치되었다. 다음의 그림 8.과 그림 9.는 채움배율에 따른 변형을 나타낸 것이다.

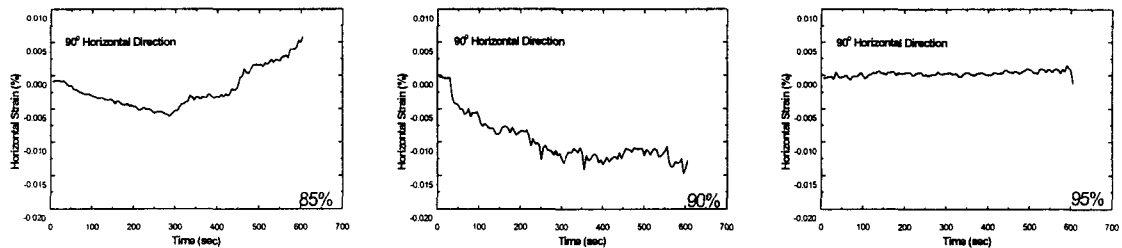


그림 8. 채움비율에 따른 변형율 ($H_i = a$)

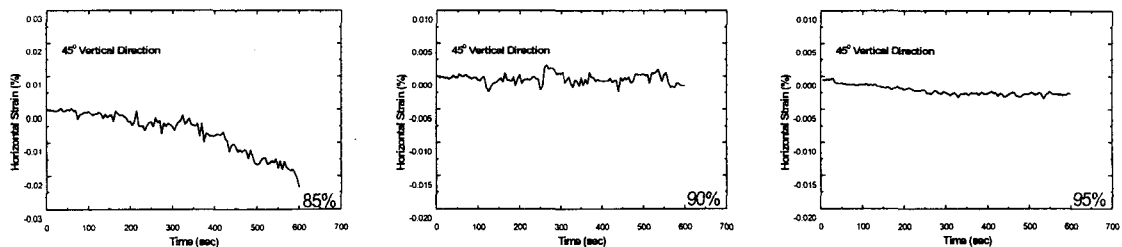


그림 9. 채움비율에 따른 변형율 ($H_i = 1.5a$)

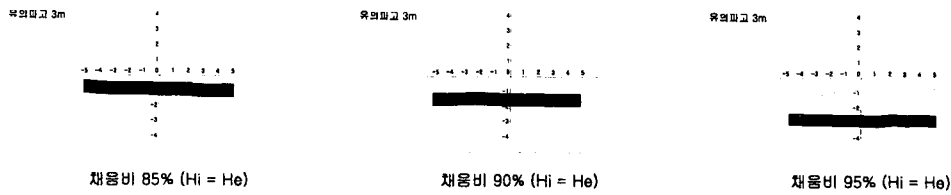


그림 6. 유의파고와 채움비율에 따른 변위량 ($H_i = a$)

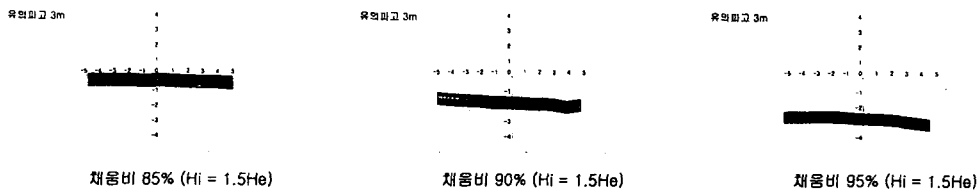


그림 7. 유의파고와 채움비율에 따른 변위량 ($H_i = 1.5a$)

3.3 변형을 측정

안정성실험 및 소파성능실험과 동시에 지오투브의 재질인 지오텍스타일에 발생하는 변형율을 측정하였다. 상사된 유의파 재현시, 지오텍스타일의 변형율을 분석하여 유의파 작용시의 지오텍스타일에 발생하는 응력분포를 분석하였다. 또한 지오텍스타일 변형율 측정과 동시에 지오텍스타일에 작용한 파압을 측정하기 위하여 파압계를 설치하였다. 변형율 측정은 앞에서 언급한 특성분석 3가지와 더불어 게이지 설치 부위를 다르게 하여 변형율을 측정하였다. 즉 파가 직각방향으로 작용하는 90° 위치와 45° 위치에 설치하여 각각 X방향과 Y방향의 변형율을 측정하였다. 한 개의 채널에 튜브의 45° 와 90° 위치에 수평과 수직으로 각각 설치하여 전체 3개 채널에 12개가 설치되었다. 다음의 그림 8.과 그림 9.는 채움배율에 따른 변형율을 나타낸 것이다.

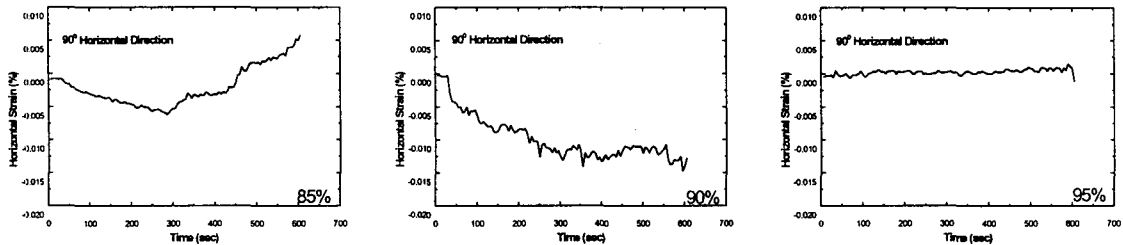


그림 8. 채움비율에 따른 변형율 ($H_i = a$)

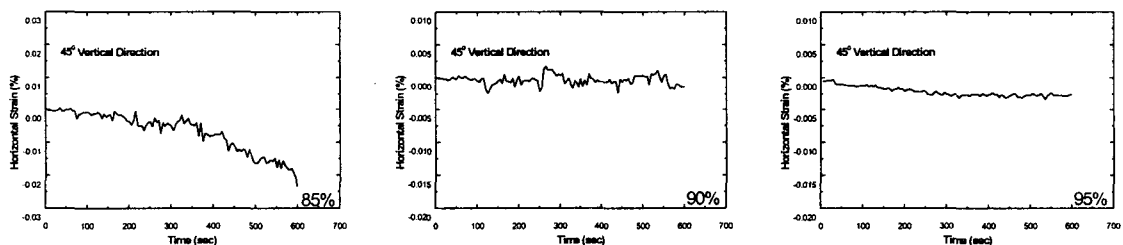


그림 9. 채움비율에 따른 변형율 ($H_i = 1.5a$)

4. 실험 결과

토목섬유를 활용한 지오텍스타일 튜브공법의 적용분야는 해안 구조물 분야는 물론이며, 환경 및 습지 보존 등의 다양한 적용가능성을 가지고 있으며, 공법의 실용성은 이미 선진외국에서 검증이 이루어졌다. 삼면이 바다로 둘러싸여 있어 대규모 해안공사와 하천공사가 이루어지는 국내현실을 볼 때 본 공법에 대한 많은 연구와 현장실험을 통하여 국내적용이 이루어져야 할 것이다.

본 연구에서는 토목섬유를 활용한 지오투브에 대하여 이안제의 역할과 안정성을 검토하였으며, 소파성능은 유의과 재현시 발생하는 파괴자료를 가지고 전달률을 구하여 비교검토 하였다. 그리고 안정성 실험과 동시에 변형율에 대해서 분석하였으며 그 결과는 다음과 같다.

4.1 소파성능시험 결과

채움비율이 큰 경우 전달율은 유의과고가 증가함에 따라 급격히 감소하며, 채움비율이 작아질수록 점진적으로 감소하는 양상을 나타냈다. 그림 2의 경우 지오투브의 설치하고 채움비율이 95%인 경우 최대 16.7%의 전달율이 감소하여 소파성능이 우수한 것으로 밝혀졌다. 또한 채움비율이 85%, 90%는 유의과고가 증가할수록 전달율의 감소폭이 크게 나타났다. 따라서, 지오투브 구조물에 의한 소파성능은 채움비율에 따른 유효높이와 파의 진행방향의 지오투브 폭과도 상관관계가 있음을 알 수 있다.

4.2 안정성 시험결과

천단고의 유무에 따른 안정성은 천단고를 확보한 경우가 변위량이 더 작게 발생하는 것으로 나타났다. 천단고가 있는 경우의 지오투브는 해안선에서 더 멀리 위치하므로 상대적으로 쇄파가 적게 일어난 파에 접하지만, 상부의 천단고가 확보되어 상재하중으로 작용하며, 구조물 배면에도 수심이 확보되어 변위량이 적게 발생된 것으로 판단된다. 지오투브의 채움비율에 따른 안정성은 채움비율 95%인 경우가 가장 변위량이 많이 발생하였으며, 자중이 가장 작은 채움비율 85%인 경우가 변위량이 가장 적게 발생하여 안정적인 것으로 나타났다. 자중이 가장 무거운 채움비율 95%의 지오투브는 자중에 비하여 하부의 접지면적이 상대적으로 작으며, 파압이 작용하는 투영면적이 크기 때문에 채움비율이 85%인 지오투브에 비하여 안정성이 떨어지는 것으로 판단된다. 즉, 채움비율이 85%인 지오투브는 자중은 가장 작으나, 투영면적이 작고, 바닥의 접지면적이 넓어 변위량이 작게 발생된 것이다.

전체적인 안정성 시험결과, 지오투브의 안정성은 천단고가 확보된 경우가 천단고가 없는 경우에 비하여 안정적이며, 채움비율에 따른 안정성은 채움비율이 증가할수록 안정성이 감소하는 것으로 도출되어, 지오투브의 안정성은 내부 채움을 통한 자중확보와 바닥접지면적의 확보가 복합적으로 작용하는 것으로 판단된다.


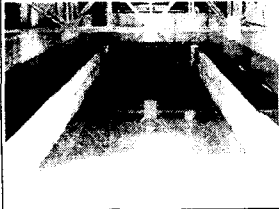
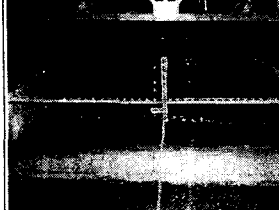

4.3 변형율 측정 결과



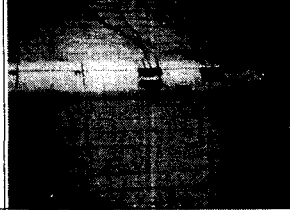

지오투브의 부위 및 채움비율에 따른 변형율 분석 결과, 직각방향에 비하여 수평방향의 변형율이 크게 발생하는 것으로 나타났다. 또한 각각의 채움비율에서 직각방향의 변형율은 일정 값이 탄성영역에서 변형율이 회복되는 경향을 보이며, 수평방향의 변형율은 유의과의 지속시간에 따라 누적 변형율이 발생되었다. 지오투브의 채움비율에 따른 변형율 변화는 채움비율이 가장 작은 85% 채움을 실시한 지오투브가 가장 크게 발생되며, 채움비율이 가장 큰 95% 채움을 실시한 지오투브가 가장 작은 값을 나타내었다. 즉, 채움비율이 큰 경우는 내부토사의 채움으로 지오투브의 재질인 지오텍스타일에 응력이 가해져 팽팽하게 유지되어 유의과 재현에 따른 변형율이 작게 발생하는 것으로 판단된다. 또한 유의과고에 따른 변형율 변화는 유의과고가 증가함에 따라 변형율 계이

지의 부착위치에 관계없이 증가하는 경향을 나타내었다. 지오투브의 부위에 따른 변형율은 90° 직각방향의 변형율이 45° 직각방향의 변형율보다 큰 변화 폭을 보이며, 수평방향의 경우는 45° 부위의 변형율 변화량이 크게 발생되었다. 또한, 지오투브의 설치시 천단고의 확보 유무에 따른 변형율 변화는 지오투브 상부에 천단고를 확보한 경우의 변형율이 천단고가 없는 경우에 비하여 변형율이 작게 발생되었다. 유의파 재현에 따른 파압측정 결과, 일차적으로 초기 정수압에 의한 압력이 발생하며, 유의파고가 증가함에 따라 파압이 증가하는 경향을 나타내며, 천단고가 있는 경우가 상부수심에 의한 정수압과 해안선에서 더 멀어지므로 쇄파가 작은 파가 작용하게 되어 큰 파압이 측정되었다.

5. 참고 문헌

- 1) Kiyoshi Horikawa : Coastal Engineering
- 2) 군 · 장 신항만 북방파제 수리모형실험용역 보고서
- 3) Armstrong, J. M. and Kureth, C. L. (1979), "Some Observations on the Longard Tube as a coastal erosion protection structure," Proceedings of Coastal Structures, 1979, ASCE, Alexandria, pp. 250~269

	사 진	설 명
a		자료수집 및 제어장치
b		물채움작업
c		사면에 의한 전달과구현
d		구조물에 의한 전달과구현

	사 진	설 명
a		조과장치
b		파고계설치
c		변형율게이지
d		변위량계측