



工學碩士 學位論文

해저파이프라인/케이블 매설용

복합방호블록의 개발

Development of Hybrid Protection Block for Buried Submarine Pipelines and Cables



2018年 2月 韓國海洋大學校 大學院 土木環境工學科

李相憲

本論文을 李相憲의 工學碩士 學位論文으로 認作



2018年 2月

韓國海洋大學校 大學院

土木環境工學科

李相憲



Development of Hybrid Protection Block for Buried Submarine Pipelines and Cables

Sang-hun Lee

Department of Civil and Environmental Engineering Graduate School of Korea Maritime and Ocean University

Abstract

The construction, maintenance and prevention of disaster related damage on the structures are major upcoming task in the era, due to the facts of reduction of national economy expenses on securement of energy source and other communication infrastructures. Increased construction of various domestic ocean plants and terminal facilities for Oil, LPG, LNG, and other chemical products, it is necessary to protect submarine pipelines to these facilities. However, as time goes, the damages on submarine pipeline, communication and power cable are increased due to various factors such as fishing and anchoring of illegal fishing boats, or shark attacks on exposed lines and cables. This study suggests designing of hybrid protection blocks for burying submarine pipelines, power and communication cables, with various modification process on module design carried to stabilize the buried blocks at the bottom.

Due to enormous damage on coastal facilities caused by natural external forces, or erosion to the ocean bottom, the protection of the



new or operating plants and terminal facilities are inevitable. Dredging could be a solution, however it could cause environmental pollution, with this limitation hybrid block have major advantage. Each block unit size have been deduced its optimum size for efficient field placement and working conditions with introduction of sockets which can be assembled to mat form for maximize stability.

To support the research, investigation of preceding cable protection method have been analyzed, with other survey of theoretical background for design development. Until the final unit have been produced, many modifications were taken. The design have been depicted from traditional Korean roof unit "Giwa" and the assembled mat unit could fit on curvature or sea bottom slopes with support of polypropylene rope on each units. The units have mid-hole which reduce uplift pressure forces and many other advantages. Before actual field analysis, numerical calculations to extract the proper block weight under design wave condition at the selected field (Ulsan) were carried out.

Results show the socket structure on the unit block could assemble to larger blocks with mat structure is much simpler for block placement, and this leads to time and expense reduction up to 25% than riprap mound for burying pipes. Although the reduced block size might lower stability, polypropylene rope connection had overcome the problem.

This study contributes not only to reduce the amount of riprap mound, but also to speed up the whole building process. Another major advantage is that this block can be placed whether its trenched or not. Also the block has wing units which can be extended horizontally for secure stability and the group of blocks can fit well in



various sea bottom topography

For erosion protection field, utilization of blocks as method to control directly lead to the reduction of applied forces by scattering of wave forces at eroding area. These are capable of protection media for buried pipeline and bottom at the river and lakes, too. Hybrid unit are also eco-friendly, and the developed hybrid blocks are helpful to the new ocean industries for marine eco restoration such as natural kelp and coral farming. This blocks might be not only capable to fill the industrial demand and supply for disaster prevention, but also proper to eco restoration with lowered budget.





ABSTRACT ·····	·i
LIST OF TABLES	• vi
LIST OF FIGURES	• vi

제1	장 서론…	••••••	•••••	•••••	••••••	
1.1	연구개발의	의 배경	•••••			
1.2	연구개발의	의 필요성…			••••••	······5
1.3	연구개발	내용 및 범]위			

제2장	국내외	기술기	ㅐ발 현	<u>년</u> 황		•••••	11
21	여구개별	박 혀황.					11
2.2	주요 기	0 숙개박(혀화				· 14
2.2		2/112	L 0	1945	7		11

제3장 연구 수행 내용 및 결과	20
3.1 디자인의 배경	20
3.2 실형 설계 및 제작	•25
3.2.1 최종디자인의 강재거푸집 제작	25
3.3.2 최종디자인의 실형블록 제작	32
3.3 복합방호블록의 시공방법	38
3.3.1 Rope형 시공방법	38
3.3.2 Hook형 시공방법	- 39

제4장 현장적용을 위한 블록중량 계산	•• 42
4.1 적용 수치모델	•• 43
4.2 수치계산 및 분석	••53
4.2.1 파랑해석 입력조건 및 모델구성	• 53
4.2.2 파랑모델 적용 및 결과 분석	·• 55
4.2.3 복합방호블록의 안정중량계산	·• 57
4.3 현장거치 및 시공	··· 53

제5	장	결혼	2	및	제언·	•••••	•••••	••••••	••••••		······ 62
5.1	결	론	••••	••••	•••••			<u></u>	•••••	•••••	······ 62
5.2	제여	건	••••	••••							
참	卫	문	헌	••••			1945 양 V		AST A		



LIST OF TABLES

Table. 1.1 Type of protection method of submarine pipe and cable 8
Table 2.1 Related research status 14
Table 2.2 Analysis of submarine pipe and cable protection $blocks(1) \cdots 15$
Table 2.3 Analysis of submarine pipe and cable protection $blocks(2) \cdots 16$
Table 2.4 Analysis of submarine pipe and cable protection $blocks(3) \cdots 17$
Table 2.5 Analysis of submarine pipe and cable protection $blocks(4) \cdots 18$
Table 2.6 Analysis of submarine pipe and cable protection $blocks(5) \cdots 19$
Table 3.1 Concrete mixing plan for prototype hybrid protection block \cdots 32
Table 3.2 Amount of concrete mixing materials for prototype hybrid
protection blocks ····································
Table 4.1 Input data for offshore design waves
Table 4.2 Formulation of numerical model system54
Table 4.3 Summary of unit block weights (S)58
Table 4.4 Summary of unit block weights (SE)59
Table 4.5 Summary of unit block weights (SSE)59
07 0F CH

LIST OF FIGURES

Fig.	1.1	General view of submarine pipeline installation $\cdots \cdots 2$
Fig.	1.2	Map of the worldwide undersea submarine cable network $\cdots\!$
Fig.	1.3	Map of the North-east Asia undersea submarine cable
		network ······3
Fig.	1.4	Analysis of the cause of accidents submarine cable (Kordahi
		and Shapiro, 2004)4
Fig.	1.5	Damages of submarine pipeline and cable
Fig.	1.6	Cross section view of bottom trench and buried pipes(Oil line,
		gas line, oil & gas lines)5
Fig.	1.7	Conceptual diagram of submarine pipeline from the ocean LNG
		station ······6
Fig.	1.8	Field installation of ocean power and communication cables $\cdots 7$
Fig.	1.9	Protection method of submarine pipeline and cable
Fig.	2.1	General arrangement of deep ocean water intake pipeline ···· 12
Fig.	2.2	Standard construction diagram of deep ocean water intake
		pipeline 13
Fig.	2.3	External natural forces on submarine pipeline 13
Fig.	3.1	Shape and scale of fixed bed ripples (after Irie, 1994) 20
Fig.	3.2	Conceptual design approach for protection blocks 21
Fig.	3.3	Center block (Block A & B) without the trench for submarine
		pipeline burial 22
Fig.	3.4	Common wing block (Block C) 23
Fig.	3.5	Hybrid protection block types (1, 3 & 5 lanes) 24
Fig.	3.6	Placement type of hybrid protection blocks (3 lanes) with or
		without trench 24
Fig.	3.7	CAD drawing for the final hybrid protection blocks 25

Fig. 3.8 CAD drawing for the center block mould absence of trench \cdots	26
Fig. 3.9 Manufactured iron center block mould absence of trench case	27
Fig. 3.10 CAD drawing for the center block mould with of trench \cdots	28
Fig. 3.11 Manufactured iron center block mould with trench case	29
Fig. 3.12 CAD drawing for the wing block mould	30
Fig. 3.13 Manufactured iron wing block mould	31
Fig. 3.14 Concrete test pieces	34
Fig. 3.15 Compressive strength test of concrete test pieces	34
Fig. 3.16 Result of compressive strength test of concrete test pieces	34
Fig. 3.17 Preparation for hybrid protection block manufacturing	35
Fig. 3.18 Concrete placement to the hybrid protection block mould \cdots	36
Fig. 3.19 Disassemble of hybrid protection block mould	37
Fig. 3.20 Placement method (Rope type)	38
Fig. 3.21 Placement method (Hook type 1)	39
Fig. 3.22 Placement method (Hook type 2)	40
Fig. 3.23 Placement method of the prototype hybrid protection blocks	41
Fig. 4.1 Submarine pipeline shifting plan at Onsan port, ULSAN	42
Fig. 4.2 Grid of wide area & narrow area	· 54
Fig. 4.3 Calculated design waves for SE, SSE, S wave	55
Fig. 4.4 Calculated design waves for SE, SSE, and S waves	56
Fig. 4.5 Comparison of wave heights for at the station	· 56
Fig. 4.6 Proposed installation site at the existing coastal maintenance	
project ·····	· 60
Fig. 4.7 Field linking of the unit blocks	· 60
Fig. 4.8 Movement of the protection blocks by barge crane	· 61
Fig. 4.9 Field installation of the linked protection blocks	.61
Fig. 5.1 Possible alternatives on artificial reefs	· 64

Fig.	5.2	Recommended revetment installation for bank and bed armor
		blocks ······65
Fig.	5.3	Application of hybrid protection blocks to revetment for bank
		and bed





제1장서론

1.1 연구개발의 배경

지속적인 해양공간의 개발로 인해 해안에서의 활동은 하나의 집단에 국한 되지 않고 해양 레저 스포츠 및 위락, 주거지, 생산, 교통 등으로 다양하게 나 타난다. 특히 최근 들어 해양으로부터의 에너지 확보가 각 나라의 국가경제에 중요시 작용하게 되며 이를 위한 인프라 구축, 시설의 건설 및 유지는 시급한 과제로 대두되고 있다. 여기서 가장 중요한 부분은 해안 활동에 제한을 가져 다주는 자연재해를 경감시켜 해안선의 활용도를 높임과 동시에 해안역에 위 치한 해양에너지, 산업단지를 보호하는 기법의 제시이며 이는 방재의 관점에 서 의미가 크다. 또한 파랑 및 흐름 등 외력의 억제로 인프라를 보호하는 것 은 물론 해양생태계에 악영향을 가져오지 않도록 하여야 할 것이다.

해양에너지 개발이 지속적으로 증가함에 따라 해저 파이프라인이 적용되는 사업 역시 증가하는 추세를 보이고 있으며 해저 파이프라인 매설의 목적은 천해에서는 개발된 원유나 컨텐세이트, 가스 등을 주로 육상의 석유화학 플랜 트로 연속적으로 직접 운송하기 위한 것이며, 심해에서는 해상 플랫폼의 숫자 를 줄이는 대신 해저 생산 시스템과 해저 파이프라인 건설을 통해 여러 광구 에서 동시에 생산을 가능하게하기 위함이다. 이의 원활한 목적달성을 위해서 는 파이프라인의 적절한 강성과 단면이 요구되며, 운영 시 해수의 압력을 충 분히 견딜 수 있어야 한다. 또한 해상에서 작업이 이루어지는 만큼 시공이 안 전하고 신속하게 이루어져야 한다. Fig. 1.1은 해저가스 또는 유전시설에 매설 된 해저 파이프라인의 개념적 단면도를 나타낸 것이다.

국내에서도 이미 석유는 물론 LPG, LNG, 케미컬프로덕트 등 에너지수급을 위한 다양한 해양플랜트 및 터미널 시설들이 건설되고 있으며 이러한 단지에



- 1 -

작용하는 자연력 역시 기후변화에 따라 점차 커져, 현재 해안을 점유하고 있 는 제반시설은 태풍, 해일 등의 재해에 쉽게 노출되어 있다. 또한 전 세계적 으로 인터넷 보급률 상승과 스마트폰 등장에 따른 데이터 트래픽이 급증해 해저통신케이블 신규투자수요가 증가하였고 과거에 설치된 대규모 해저통신 케이블의 노후화가 시작돼 교체수요도 늘어날 것으로 전망하고 있다. 아울러 국내외 전력공급망 구축에 초고압직류(HVDC) 송전사업이 국가적으로 활발 하게 진행되고 있어 이들 해저 케이블 망의 보호가 중요한 과제로 떠오르고 있다(Fig. 1.2 및 Fig. 1.3 참조).



Fig. 1.1 General view of submarine pipeline installation.



Fig. 1.2 Map of the worldwide undersea submarine cable network



Fig. 1.3 Map of the North-east Asia undersea submarine cable network

최근 태풍이 남해안을 강타함에 따라 연안시설의 피해 및 해수욕장의 사빈 침식에 의해 해저케이블의 인입부가 돌출되고 손상되는 피해가 발생하고 있 다. 이를 극복하기 위해서는 저면부근의 흐름과 파랑의 안정성을 꾀하기 위 한 복합단위블록설계에 적용될 새로운 기술개발이 필요하다. 기존 기술의 보 호방법 (상부에 모래, 자갈 또는 사석의 채움)은 현재 트롤어선의 어로행위 및 묘박, 또는 준설작업 등으로 인해 해저파이프 라인 동력선 및 통신선의 손상이나 단락되는 사례가 발생하고 있으며 통항이 빈번한 해역에서는 특별 한 보호조치가 필요한 설정이다(Fig. 1.4, Kordahi and Shapiro, 2004). 또한 최근 중국의 불법어로행위에 따른 손상들(울릉도-육지 간, 서해안 도서-육지 간 통신케이블 등 관로 손상), 상어의 공격에 의한 손상도 나타나고 있다 (Fig. 1.5).





Fig. 1.4 Analysis of the cause of accidents submarine cable (Kordahi and Shapiro, 2004)



Fig. 1.5 Damages of submarine pipeline and cable

본 연구의 목표는 준설을 통한 기존해저관로 매설법의 문제점을 해소하는 방안과 현장거치 및 작업 요건을 고려한 단위블록의 규격과 단위블록들의 일 체화 방안을 모색하는 것이다. 또한 기존 준설공법이 가지고 있는 매설 사석 의 저감으로 공기 및 공기단축을 고려하였고, 이의 거치방법과 파랑에 대한 안전중량을 수치모델실험을 통해 분석하여 디자인을 보완하고자 한다.





Fig. 1.6 Cross section view of bottom trench and buried pipes(Oil line, gas line, oil & gas lines)

1.2 연구개발의 필요성

Collection @ kmou

해저 관로의 매설 방법은 해저 면을 굴착하고 관이나 케이블을 설치한 뒤,

준설토나 준설한 암석 또는 다른 재료원에서 구해온 토사, 암석 또는 피복재 로 되며 우는 것이 일반적이나 굴착해야 할 관로는 폭이 좁고 또 수심이 얕 은 곳에서 공사를 시행하여야 하기 때문에 공사장비의 구조적 특성과 관련된 간섭 문제에 봉착되어 설계 시에 장비의 특성 및 해역의 외력 특성을 염두에 두고 신중하게 설계하여야 한다.

방호블록의 관련 시장으로는 해저케이블 제작 및 매설, 해저 가스관 및 오 일관 부설, 콘크리트 매트리스 제조, 강관 및 콘크리트 관로 및 배관 업계, 준설 및 트렌치 업, 수중 시공업, 오탁방지막 제조 등 다양한 분야로 확장되 고 있으며 아울러 해안 침식 및 방재분야에서도 geotextile membrane을 활용 한 세굴을 저감하기 위한 매트리스 등 그 활용도가 높아질 전망이다. 방호블 록이 필요한 해안플랜트의 대표적인 시설은 외해 원유부이에서 유류비축기 지, 가스비축기지에 이르는 해저파이프라인의 매설구간을 들 수 있다. Fig. 1.7은 우리나라 동해가스전 LNG 이송관로의 개념도를 나타낸다. 또한 Fig. 1.8과 같이 해저통신 및 파워 케이블의 보호를 위한 블록의 경우도 유사한 경우이며, 이들은 외력에 노출되어 파손되거나 손상을 가져와 치명적인 상태 가 되기도 한다.



Fig. 1.7 Conceptual diagram of submarine pipeline from the ocean LNG station



Fig. 1.8 Field installation of ocean power and communication cables

국내외 해저케이블 및 파이프라인의 보호공법으로는 Table 1.1 (안과 김, 2009)과 같이 돌을 쌓는 형태, 유연한 매트리스 형태, 철근콘크리트구조, 케이 블을 감싸는 형태, 단단한 매트리스 형태, Bag 구조, 매설하는 형태 및 기타 형태로 분류할 수 있다.

주 방식은 매설하지 않고 상부에 돌을 쌓거나 덮는 형태 (i.e 유연형, 콘크 리트형 의 매트리스 나 bag) 와 철근 콘크리트관이나 주철관으로 감싸는 형 태를 취하지만, 도랑(trench)을 파서 매설하는 형태도 나타난다. Fig. 1.9은 관 로 및 케이블을 보호하기 위해 채택한 방호공법의 사례로 각각 rock berm, Flexible Concrete Mattress(FCM), U-duct, cast iron pipe, concrete bag, artificial reef 등을 나타낸다 (류와 조, 2015).



구분	보호공법	구분	보호공법
도으 싸느	Rock Berm	단단한	Concrete mattress
	Side Stone Dumping	매트리스	Seamat
영태	Precision Rock Building	형태	W-mattress
	A.C.M.		Stone bag
	F.C.M	Bog 구ス	Concrete bag
	Flexweight	Dag 1 5	Mortar bag
유연한	S-F.C.M.		Grouting bag
매트리스	As-F.C.M.		Burying(Plough)
형태	Pole-mattress		Trenching(Water
0 1	Tole mattress	매석하느	Jetting)
		처리	Trenching(Wheel
	A.S.F.	영태	Cutter)
최근-코기	P.C.U	CEAN /	Trenching(Chain Cutter)
7 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	A-duct		Trenching(Dredging)
리트 구소	U-duct	기타	Underwater Barriers
케이블을	Cast Iron Pipe	형태	전주-인공어초 구조물
감싸는			W
형태	Uraduct		

Table 1.1 Type of protection method of submarine pipe and cable





Fig. 1.9 Protection method of submarine pipeline and cable

1.3 연구개발의 내용 및 범위

본 연구는 우수한 경제성, 높은 안정성을 병행한 새로운 중공형의 방호블록 을 개발하고자 한다. 전통 한옥 기와의 수려한 모습으로부터 방호 블록의 디 자인을 본 떠(이, 2013) 이를 해저관로 및 케이블 보호공의 구조에 알맞게 다 양한 변형을 시도하였다. 해저지반의 경사와 굴곡에 대해 방호 블록의 안정 적인 거치를 위하여 polypropylene rope 소재의 케이블을 이용한 매트형 복 합구조물 형식으로 구상하였다. 이 디자인은 기존의 블록보다 중공 (perforated)의 형식이 양압력을 줄이면서 콘크리트재료의 절감을 꾀하고 있 으며 전통양식의 한옥에서 기와의 활용사례를 파랑저감 및 구조물 기초부 세 굴방지용으로 응용하고 있다. 또한 터파기의 유무에 따른 블록의 디자인 형 태를 보완함과 동시에 터파기를 했을 경우 매설에 사용되는 사석량을 저감시 키기 위한 디자인을 도입하고자 한다.

대상해역은 현재 해저 송유관과 가스관이 이설되고 있는 해역을 참고하기 로 하고, 방호 블록의 중량 산정을 위한 파랑해석을 수행하였다. 수치모델 계 산을 통하여 도출된 파고의 크기를 각각 파향별로 분석하고 적용할 수 있는 방호 블록의 중량산정을 산정하였으며 개략적 중량계산은 Hudson 공식 및 이를 해저에 변형하여 적용하였다.

본 논문의 연구과정은 Fig. 1.10과 같으며 해저 파이프라인 및 케이블 부설 산업체 실태조사, 관련 디자인 기술 문헌조사, 단위블록 및 복합블록의 설계, 모형제작 및 거치, 실증용 블록제작 및 시험 거치, 상용화 대비를 위한 기술 보완의 과정을 거치고자하였다. 먼저 국내외 문헌조사를 통해 해저케이블 보 호를 위한 다양한 보호공의 실태를 파악하고 인공블록의 형상과 위치를 이론 적 접근으로 추출한 뒤, 디자인한 초기 블록에 대해 모형제작과 블록의 중량 산정을 위한 수치실험을 통해 최적설계에 이르고자 한다.



- 9 -



Fig. 10 Schematic flow of research

제2장 국내외 기술개발 현황

2.1 연구개발 현황

현재 에너지개발의 많은 관심은 해저 석유 및 천연가스의 개발로 이루어지고 있으며 자연스럽게 해저 파이프라인이 적용되는 사업도 점차적으로 늘어나고 있 다. 앞으로 해저 석유 및 천연가스를 비롯한 해양에너지, 해저광물자원 개발용 해양플랜트의 설치 및 해수심층수 취수용 관로부설이 계속 증가할 것으로 예측 되며 국내 해양 플랜트산업의 발전을 위해서는 이와 관련된 다양한 연구가 추진 되어야 한다.

전 세계적으로 해양 플랜트 사업은 이미 기업화단계와 기술 안정화 단계가 진 행되고 있다. 국내에서도 해안역의 해저매설물에 대한 손상 및 단락 실태조사, 외력조건에 대한 조사는 해당되는 기업을 중심으로 이루어져 왔으며 이와 함께 해저 매설물 보호를 위한 보호공에 대한 관심도 점차 늘어나고 있는 추세이다. 대상기술의 산업화나 기술이전보다는 기존의 건설업체가 발주기관의 요청에 따 르거나 국가 사업비를 수주하여 시공에 임한 수준이며 세계에너지산업의 경쟁강 화와 국내산업안정화를 위한 에너지플랜트의 안정성 확보에 관한 관심이 확대되 고 있는 현재, 해저심층수 이용 분야, 해안플랜트단지의 에너지 수송 및 통신 인 프라 유지관리 등 에서 그 역할이 대두되고 있지만 체계적인 대책은 부족한 실 정이다.

국내의 통신 및 케이블 부설공사는 KT Submarine사가 대규모로 수행하고 있 으며 부설한 케이블의 보호기술을 과업의 중요한 분야로 다루고 있다. 도시가스 관로의 경우도 남, 서해안의 해저횡단관로 매설 및 안정적인 전용공급관로 구축 작업을 통한 도시가스 설비가 진행되고 있다.

현재 국내에서도 해저심층수 산업에 있어 해수담수화 및 심층수 바이오산



업이 활발히 진행 중이며, 해양수산부에서도 2025년까지 강원도 동해안 해양 심층수 산업을 1조 5000천억 원대의 산업으로 육성하여 다양한 천연 미네랄 을 함유한 식품과 기능성 제품, 의약품소재와 농수산업 등에 확장해 나가겠 다는 정책을 발표(해양수산부, 2016)하였고, 도서지역 또는 물 부족 지역의 담수화사업 지원을 위한 해저관로공사 및 이의 보호에 대한 관심도 높아지고 있다. 이미 해외의 OTEC플랜트 및 심층수 이용은 산업화 및 상업화의 궤도 에 올라 다양한 응용분야로 진행되어 있고 이에 따른 관로 건설 분야도 시장 성이 있다. Fig. 2.1과 Fig. 2.2는 심해수 취수용 관로의 표준 형식과 배치도 를 나타낸다(일본해양개발협회, 1997).



Fig. 2.1 General arrangement of deep ocean water intake pipeline



Fig. 2.2 Standard construction diagram of deep ocean water intake pipeline

한편 세계에너지산업의 경쟁강화와 국내산업안정화를 위해 에너지 플랜트 산업의 안정성 확보에 관심이 확대되었고 해안플랜트단지의 해저파이프라인 안정에 관심이 커지고 있다. 본 연구에서 제안한 공법 (Fig. 1.10 참조)은 전 통적 한국 건축을 응용한 것으로 유연성과 해저지반의 경사와 굴곡에 대하여 안정적인 거치와 자연외력(Fig. 2.3 참조)에 대해 충분한 안정성을 지니며 또 한 경제적 측면의 우위를 지닌다는 점에서 기존의 공법과는 차이를 나타낸 다.



Fig. 2.3 External natural forces on submarine pipeline

2.2 주요 기술개발 현황

현재 진행 중인 연구들을 바탕으로 해저케이블제작 및 매설, 준설 및 트렌 치 업, 해저가스관 및 오일관 부설, 심층수 취수관 부설, 강관 및 콘크리트 관로 및 배관업계, 콘크리트 매트리스 제조, 수중 시공업, 오탁방지막 제조 등 시장현황 역시 다양한 분야로 확장되고 있으며 해안 침식 및 방재분야에 서도 geotextile membrane등을 사용하여 세굴저감을 위한 매트리스 등 그 활 용도가 높아질 전망이다. 연구수행의 측면에서는 관련보호공의 충격안정실험 및 수치해석, 디자인 및 재료의 보완, 거치기술개발 등 안정성 및 경제성을 위한 설계기술의 확보로 건설시장을 지원하는 실정이다. Table 2.1은 국내외 의 연구개발현황을 정리한 것이며 Table 2.2~Table 2.6 은 특허기술로 보호 되고 있으면서도 현장에서 활용중인 주요 블록의 사례와 이들이 가진 기술적 문제점, 해결방안 및 해결수단을 비교 분석하였다.

여그스체 기고		연구개발성과의 활용		
연구구행 기관	연구개별의 내용	현황		
친구거려고시	인공어초를 활용한 해저케이블 보	송전선로 해양분야정		
안곡산덕호자	호공법 개발	비공사		
(지친구케아기스	해상풍력발전을 위한 해저케이블	해상풍력발전 송전선		
(귀안녹예장/기물	보호공법개발	로 보호		
Subcon	ACM(Articulated Concrete	관로 및 송전선로 보		
Subcon	Mattress)	호		
CUDMAT	Pipeline Protection & Stabilization	체저과근 비충		
	system	애시컨노 보오		
CRP Marine		케이브 민 과근비중		
		게이는 것 인포포포		
WASCO	Sea-Struct Seamat (Portable	해저오일 가스 관로		
WASCO	Concrete Mattress)	보호		

1015

Table 2.1 Related r	research	status
---------------------	----------	--------

도면 비교 및 기술 비교 분석	
10-2006-0111339 (Korea)	10-2008-0042465 (Korea)
$\begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 $	$\frac{4}{2}$
 중래기술 문제점 - 해상의 경우 조류와 하천의 경우 유속에 따른 저항으로 인해 매설된 관로가 노출 되는 우려가 발생 또한 사석으로 포설할 경우 시공품질이 균일할 수 없어 하자의 요인이 되며 사석의 자중이 직접적으로 해저관로에 충 돌로 인하여 관로가 파괴되는 현상 도 비일비재함 해결과제 - 관로보호블록을 설 치하여 관로가 파괴되거나 유실되 는 것을 방지 해결수단 - 관로보호블록의 주 변에 하상 또는 해저가 쇄굴되는 것을 방지하기 위하여 설치되는 쇄 굴방지공, 쇄굴방지블록을 포설하 여 관로를 보호하도록 한 	 중래기술 문제점 - 해저케이블 을 외부의 위험요소 (예를들어, 대 형선박의 닻 투하 또는 닻 끌림, 쇠말목 등) 으로 문제점이 발생함 해결과제 - 외부의 위험요소로 부터 해저케이블을 안전하게 보호 할 수 있는 해저 케이블 보호덮개 를 제공함 해결수단 - 해저케이블의 기존 보호설비인 콘크리트 매트리스 상 부에 사다리꼴 역채널 홈을 가진 철근 콘크리트 덮개를 연속적으로 연결 시공하여 해저에 설치된 해저 케이블을 외부 위험손상 요소로부 터 보다 안전하게 보호

Table 2.2 Analysis of submarine pipe and cable protection blocks(1)

도면 비교 및 기술 비교 분석	
10-2007-0006655 (Korea)	10-2013-0116800 (Korea)
• 종래기술 문제점해저케이블	• 중래기술 문제점 - 태풍이나 파
은 해저에 부설되기 때문에 어업활	랑 등의 영향으로 주철관 및 덕트
동이 활발한 지역에서는 선박의 닻	등 해저케이블 보강설비가 파손되
이나 어구 등에 의해 케이블이 손	거나 이탈되는 현상이 발생. 보강
상되기 쉽고, 해류나 파랑에 의한	설비 파손은 해저케이블을 그대로
해풍사태, 해저와의 마찰 등 자연	해수면에 노출시켜 안정적인 전력
현상에 의해서도 손상될 수 있음	> 공급에 문제를 발생, 안전에도 문
또한 선박의 닻이나 그물에 의해	제가 있음
밀리기 쉬우며, 심할 경우 전도되	• 해결과제 - 해저케이블을 태풍
는 문제점도 있음	이나 파랑 등의 영향으로부터 안전
• 해결과제 - 해저케이블을 외력	하게 보호할 수 있도록 태풍이나
으로부터 보호	파랑의 영향에 대해 구조적 안정성
• 해결수단 - 해저케이블 보호용	을 유지할 수 있는 해저케이블 보
덕트의 반위 본체는 일 방향으로	호장치를 제공
소정의 길이를 가지며 폭방향 단면	• 해결수단 - 해저면의 바닥을 파
이 아치형으로 형성되는 덮개부 및	서 형성한 트렌치의 상측 해저면에
상기 덮개부의 양측 선단에서 연장	안착되며 상기 트렌치의 상부를 덮
되는 고정부를 포함.	는 상부몸체와, 하부몸체를 포함

Table 2.3 Analysis of submarine pipe and cable protection blocks(2)

도면 비교 및 기술 비교 분석	
10-2014-0142653 (Korea)	10-2007-0022263 (Korea)
	• 종래기술 문제점 - 종래의 폐전
 종래기술 문제점 - 종래의 덕트 방식의 해저케이블 보호덮개는 작 업자가 직접 해저로 들어가 시공해 야하므로 설치가 어렵고 작업시간 도 상당히 오래 걸리는 근본적인 문제가 있다. 해결과제 - 해저에 가설된 케이 블에 쉽고 간편하게 설치할 수 있 으면서도 케이블의 직경에 구애받 지 않고 법용적으로 사용이 가능한 시공성 및 안정성이 향상된 해저케 이블용 보호덮개 제공 해결수단 - 상면 또는 하면 길 이바향은 따라 형서되 스파이크를 	 중래기술 문제점 - 종래의 폐전 주를 이용한 해저케이블 보호 인공 어초는 종간, 횡간, 사간들 사이에 공극이 많아 선박의 닻이나 어구가 쉽게 걸릴 수 있으며, 이에 의하여 인공어초가 전도 및 전복될 우려가 있다. 또한 공극을 통해 들어오는 선박의 닻이나 어구가 케이블과 직 접 접촉할 경우 케이블을 손상시키 는 문제가 있다. 해결과제 - 폐전주를 이용하여 제작함으로써 친환경적임과 동시에 경제적이며, 선박의 닻 또는 어구 에 의해 파손되거나 전도 및 전복 되는 것은 바지한 수 이는 비효자
갖추고서. 케이블의 가설 방향에	치 제공
직교되는 방향을 따라 일정간격으 로 떨어져 배치된는 콘크리트 블록 과 상기 콘크리트 블록을 상호 연	• 해결수단 - 다수의 단위 폐전주 가 수평방향으로 다열 배치되는 폐 전주 어셈블리와, 상기 단위 폐전
결하는 줄을 포함하여 구성되어, 해저에 가설된 케이블을 덮어 보호	수 및 폐전수 어셈블리를 서로 연 결하기 위한 연결수단을 포함하여 구성

Table 2.4 Analysis of submarine pipe and cable protection blocks(3)

도면 비교 및 기술 비교 분석	
10-2015-0188911 (Korea)	10-2006-0097488 (Korea)
 중래기술 문제점 - 종래의 기술 에서는 설치비용이 많이들고 공기 가 긴 문제점이 있다. 또한 쇠말목 또는 어구 등으로부터 해저케이블 이 손상될 가능성이 높아지는 문제 점이 있다. 해결과제 - 폐타이어를 이용한 해저케이블 보호구조에 대한 것으 로, 선박의 닻, 쇠말목 및 어구로부 터 해저케이블을 효과적으로 보호 하는 것을 목적으로 한다. 해결수단 - 탄성재질을 지닌 복 수의 폐타이어 및 복수의 폐타이어 의 적어도 일부를 감싸도록 해저케 이블의 길이방향을 따라 연장배치 된 고정부재를 포함하고, 폐타이어 는 탄성재질을 가지고 있어 외부의 충격으로부터 해저케이블을 보호 	 중래기술 문제점 - 콘크리트 때 트사이의 공간 사이로 어구가 투입 되면서 해저케이블을 손상시키거나 파손시키는 문제점이 있다. 해결과제 - 닻이나 어구 등이 직 접적으로 충격 해결수단 - 해저면에 설치되는 해저케이블을 보호하기 위한 매트 리스의 중앙블록을 중심으로 날개 블록을 대칭되게 연결하여 구성함으로써, 매트리스의 중앙블록에 닻 이나 어구가 직접적으로 충격이 가 해질 때 충격을 분산 시켜 충격에 의한 해저케이블의 손상을 미리 방지할 수 있고, 또한 날개 블록의 양 단에 각각 닻이 걸려 해수에 의해 닻 끌림이 발생하더라도 중앙블록 은 움직이지 않고 상부로 날개블록 이 젖혀지면서 닻을 쉽게 이탈시킬 수 있게 하였기 때문에 해저케이블

Table 2.5 Analysis of submarine pipe and cable protection blocks(4)

도면 비교 및 기술 비교 분석	
10-2011-0073272 (Korea)	10-2013-0052271 (Korea)
 중래기술 문제점 - 경사 및 요철 지형, 대형케이블 상에 설치 시 블 록사이에 공간이 이격되어져 틈새 가 발생, 조립된 매트리스의 연결고 리 터짐으로 인한 문제점 해결과제 - 매트리스블록이 서로 경사각을 이루도록 설치시에도 들 뜸현상이 방지되면서 연결부사이가 견고하게 맞물려 해저케이블의 노 출 및 닻, 어구의 걸림현상이 방지 되고, 특히 매트리스 구조물을 운반 시 매트리스 블록간의 결속하중이 아치형 돌기와 홈의 이중 맞물림 구조에 의해 분산되어 체결고의 터 짐현상이 방지되는 효과가 있다. 해결수단 - 체결구에 의해 전후, 좌우 방향으로 연결되어 매트리스 구조물을 형성하는 블록 본체는 서 로 대응하는 측면에 아치형 홈을 축으로 선회되도록 아치형 돌기가 맞물리게 형성하는 것이 특징 	 중래기술 문제점 - 어업활동이 활발한 지역에서는 선박의 닻이나 어구 등에 의해 손상되기 쉽고, 해 류나 파랑에 의한 해풍사태, 해저와 의 마찰 등 자연현상에 의해서도 손상될 수 있다. 해결과제 - 닻, 어구, 조류, 해류, 세굴 등의 위험요소로부터 해저케 이블을 안정적으로 보호할 수 있는 해저케이블 보호 장치를 제공하는 데 그 목적이 있다. 해저에서 해수 를 통과시켜 수압의 영향을 완화시 킬 수 있는 해저케이블 보호장치를 제공하는데에도 목적이 있다. 또한 해저의 표면이 고르지 못한 구간이 나 굴곡된 구간에서도 안정적으로 정착될 수 있는 해저케이블 보호장 치를 제공 해결수단 - 해저 케이블 보호장 치를 제공 해결수단 - 해저 케이블 보호 장 치는, 내부에 해저 케이블이 수용될 수 있는 수용공간이 형성된 보호부, 상기 보호부의 양측에 각각 결합되 며 상기 보호부를 해저에 정착시키 는 고정부를 포함한다.

Table 2.6 Analysis of submarine pipe and cable protection blocks(5)

제 3 장 연구 수행 내용 및 결과

3.1 디자인의 배경

기본적인 복합방호블록 디자인 개념은 Fig. 1.9에서 제시한 바와 같으나 이 러한 형상은 근본적으로 해안선 부근의 해저에는 적합하지 않다. 해저 또는 하저형상에 대한 영향은 유사이동률에 좌우되며 사련(ripples)은 표사이동률 또는 유속이 평탄한 해저면일 때보다 작은 경우로 표사가 직경 0.6mm 보다 크면 거의 나타나나지 않는다.

해안부근에서는 Fig. 3.1과 같이 요철(Ripple)을 성향을 나타내는데 (해저 형상과 관련한 최적조건), 이 성향은 흐름과 해저부근의 퇴적물의 이동을 제 어하면서 나타나는 양상이다. 이때 λ는 파장, η는 파고를 나타내는데 이는 해저에서 일련의 리플(ripple) 군이 가지는 길이와 높이와 같다(Irie et al., 1994 & 1998).



Fig. 3.1 Shape and scale of fixed bed ripples (after Irie, 1994)

본 연구의 디자인은 Fig. 3.1 전통양식의 한옥의 기와 모양을 본 떠 파랑저 감 및 구조물 기초 세굴방지용으로 응용하고자 하였으며, 이 디자인은 피복

블록에서의 중공의 형식이 양압력을 줄이며 또한 재료 절감을 꾀하고 있다. 개별의 블록의 연결구조 개량 및 중공부분에서 들고리 대용으로 거치 로프의 통과를 허용하였다.



Fig. 3.2 Conceptual design approach for protection blocks

단위블록은 중앙, 좌우 윙블록으로 세 가지 형태로 구분되며, 중앙블록 전 후면은 소켓구조로 연장 가능하게 하였다. 좌우 윙블록 역시 같은 구조로 출 발하였으나, 결합 및 구조물의 유연성을 고려하여 로프로 연결하는 방식으로 진행하였다. 따라서 시공 시 거치안정성을 동시에 고려하여 용이한 작업 개 선을 목표로 하였다.

구조물의 안정성 확보 및 안정적인 거치를 위하여 케이블로 여유 폭을 반 영하여 매트형 구조물 형식으로 적용하였다. 또한 준설 유무 관계 역시 고려 하여 파이프라인의 상부 피복 블록을 나누어 새로운 디자인에 고려하였다.

단위블록은 시공형태의 동일한 형상으로 진행하였으며 블록의 여러 개의 시리즈 형태로 연결을 위하여 polypropylene rope 소재의 케이블을 거푸집에 설치 후 진행하였다. 이는 콘크리트 타설 이후 거푸집 제거 시에 블록과 케이 블의 일체형을 도모하여 높은 효율성을 갖기 위함이다.

1) 상부 보호공(Center unit)

아래 Fig. 3.3은 상부보호공의 모양이며 한옥 기와의 모양을 반영하였다. 또 한 관로매설을 위한 터파기 유무에 따른 상이한 파이프라인 상부피복블록을 고려하였으며, 시공 시 수압조절 및 거치 시 들고리로 대체 할 수 있는 모형 으로 제작하였다. 안정화를 위하여 소켓형식에 따른 기본단위 구조로 일체화 를 가능케 하였으며 다른 형태의 해저 지반을 위하여 Polypropylene rope 소 재의 케이블을 이용한 매트 형 복합구조물 형식도 반영하였다.



Fig. 3.3 Center block (Block A & B) without the trench for submarine pipeline burial



2) 연결 단위블록(Wing unit)

Fig 3.4는 연결 단위블록이며, 블록의 디자인은 한옥 기와의 모양을 반영 하였고 시공형태에 따른 두 가지 중앙블록형태를 고려하여 그 형태를 단순화 시켜 제작하였다. 이 역시 시공 시 수압조절 및 거치 시 들고리를 대체하는 방안을 포함하였으며 Polypropylene Rope 소재의 케이블을 이용한 매트형 복 합구조물 형식에 적용 가능하게 하였다. 해저지반에 따라 더욱 강력한 결속 이 필요할 때를 대비하여 중앙블록 과 같이 연결 가능한 결속구간을 도입하 였다. Fig 3.5 & Fig 3.6 들은 위 모형들의 실제로 반영될 모습을 나타낸 것 이며, 세분화 하면 총 5가지 방식으로 나누어진다. 터파기가 있는 경우와 터 파기가 없는 경우, 좌우 윙블록을 하나만 거치한 경우와 2개 이상 거치하는 경우로 나타낸다.



Fig. 3.4 Common wing block (Block C)





Fig. 3.5 Hybrid protection block types (1, 3 & 5 lanes)



관로매설 터파기 없는 경우



관로매설 터파기 적용시 (복관로형태)

Fig. 3.6 Placement type of hybrid protection blocks (3 lanes) with or without trench


3.2 실형 설계 및 제작

3.2.1 최종디자인의 강재거푸집 제작

강재거푸집 및 블록제작 시 곡면부를 여러 개의 직선부로 처리하여 초기의 정통기와 형식을 가능한 최대로 유지하도록 하였으며, Fig. 3.7은 이와 같은 이유로 매트형 복합블록에서 강재거푸집으로 제작하기 위한 도면의 변경을 나타낸 것이다.



변경 디자인 - 관로매설 터파기 없는 경우



해저 거치 시 블록간의 체결을 강화하기 위하여 중앙블록 전후부에 소켓을 도입, 그리고 중앙블록과 좌우연결블록의 매트형 결속은 polypropylene 계열 의 rope를 4개씩 추가시켰다. Fig.3.8~3.13은 블록의 실형제작을 위한 중앙블 록 및 연결블록의 강제 거푸집 상세 캐드도면과 제작한 거푸집의 사진이다.

1) 중앙블록의 제작

가) 관로매설 터파기가 없는 경우



Fig. 3.8 CAD drawing for the center block mould absence of trench





Fig. 3.9 Manufactured iron center block mould absence of trench case



나) 관로매설 터파기를 적용한 경우



Fig. 3.10 CAD drawing for the center block mould with of trench





Fig. 3.11 Manufactured iron center block mould with trench case



2) 연결블록 (wing block)의 제작





Fig. 3.13 Manufactured iron wing block mould



3.2.2 최종디자인의 실형블록 제작

항만 및 어항 설계기준 (2014)에서는 '해수 또는 해수 물보라에 직접적으로 노출되는 콘크리트 구조물의 콘크리트 설계기준압축강도는 철근콘크리트의 경우 35MPa 이상으로 하여야 한다.

Table 3.1 Concrete mixing plan for prototype hybrid protection block

	1) 설계기준 압축강도	35MPa
1 서게ㅈ기	2) 목표슬럼프치	150mm
1. 결계조신	3) 굵은골재 최대 치수	25mm
	4) 공기량	5%
	1) 시멘트 밀도	$0.00315 g/mm^{3}$
이 게크 트셔	2) 잔골재의 표건밀도	$0.0026g/mm^3$
2. 세뇨 특성	3) 굵은골재의 표건밀도	$0.00265g/mm^3$
	4) 잔골재의 조립률	2.7
3. 배합강도	1) f _{cr} 1945	43.5MPa
4. 물-결합재비	1) 물-결합재비 <i>W/B</i>	37%
5. 잔골재율 및 단위수	1) 잔골재율 <i>S</i> /a	40.9%
량	2) 단위수량 <i>W</i>	$203 kg/m^3$
	1) 단위시멘트량	548.65 kg
	2) 시멘트 절대용적	174.17L
	3) 공기량	50L
	4) 골재의 절대용적	572.83L
6. 단위량 계산 (<i>m</i> ° 당)	5) 잔골재의 절대용적	234.29L
	6) 단위 잔골재량	609.14 kg
	7) 굵은골재의 절대용적	338.54L
	8) 단위굵은 골재량	897.13 kg

다만, 공사현장의 여건상 콘크리트의 품질이 관리되기 어려운 경우에는 현 장 여건을 고려하여 콘크리트의 설계기준 압축강도를 결정할 수 있다.'라고 명시되어 있으며 본 연구는 시방서의 기준에 적합하게 진행되었다. 방호 블 록의 제작에는 Table 3.1-2의 콘크리트의 배합설계를 적용하였다. 소요 재료 는 시멘트, 모래, 자갈, 물, 와이어매쉬가 있으며 복합블록으로 매트를 구성 시 ploypropylene rope를 4본씩 추가하였다.

Table 3.2 Amount of concrete mixing materials for prototype hybrid protection blocks

	1) 중앙블록 (Block A)	$0.08m^3$
1. 체적	2) 중앙블록 (Block B)	$0.14m^3$
	3) 연결블록 (Block C)	$0.019m^{3}$
	1) 시멘트	43.85 kg
2 Plock A	2) 물	16.22 kg
2. DIUCK A	3) 잔골재량	48.68 kg
	4) 굵은골재량	71.70kg
	1) 시멘트 1945	77.03 kg
3 Block B	2) 물	28.50 kg
J. DIUCK D	3) 잔골재량	85.52 kg
	4) 굵은골재량	125.96kg
	1) 시멘트	10.20 kg
4. Block C	2) 물	3.78 kg
	3) 잔골재량	11.33 kg
	4) 굵은골재량	16.69 kg

제작과정에서 콘크리트 압축강도 시험을 위하여 공시체를 제작, 소요양생기 간을 거쳐 강도시험을 행하였다(Fig. 3.14 & Fig. 3.15 참조). 시험결과 설계 기준 압축강도 35MPa을 초과하여 최대 38MPa을 기록하였다 (Fig. 3.16 참 조).



Fig. 3.14 Concrete test pieces



Fig. 3.15 Compressive strength test of concrete test pieces



Fig. 3.16 Result of compressive strength test of concrete test pieces

Fig. 3.17 ~ Fig. 3.19은 일련의 복합방호블록의 제작과정과 제작 후 거치 형상을 나타낸 것이다.



강재 거푸집 준비 (중앙블록 A) / 강재 거푸집 준비 (중앙블록 B)



강재 거푸집 준비 (연결블록 C) 와이어 매쉬 설치 및 Rope 연결







골재 및 재료 준비



콘크리트 배합

콘크리트 타설 - A Block



콘크리트 타설 - B Block 콘크리트 타설 - C Block

Fig. 3.18 Concrete placement to the hybrid protection block mould



거푸집 해체



A Block - 중앙블록 (터파기를 적용않은 경우)



B Block - 중앙블록 (터파기를 적용한 경우)



C Block - 연결블록 (wing block)

Fig. 3.19 Disassemble of hybrid protection block mould



3.3 복합방호블록의 시공방법

3.3.1 Rope형 시공방법

Rope형 시공방법은 Fig. 3.20과 같으며 상세한 설명은 아래와 같다.

(1) 단위블록의 전후, 좌우로 여러 개의 시리즈 형태로 연결하기 위하여 Polypropylene Rope 소재의 케이블을 거푸집에 먼저 설치한다.

(2) 콘크리트 타설로 복합블록을 제작 후 바지에 탑재한다. (들고리 반영 대신 중공을 인양 Rope로 연결)

(3) 시공 시 인양작업을 위해 초기 반영된 중공을 통하여 블록간의 인양 Rope를 이용하여 인양 및 거치한다.

(4)현장거치완료시에는 인양Rope 선단을 다이버가 훅에서 벗긴 후 크레인 으로 Rope를 감아 들인다.



Fig. 3.20 Placement method (Rope type)

3.3.2 Hook형 시공방법

Hook형 시공방법은 Fig. 3.21과 같으며 상세한 설명은 아래와 같다.

(1) Rope법과 마찬가지로, 단위블록의 전 후, 좌우로여러 개의 시리즈 형태로 연결하기 위하여 Polypropylene Rope 소재의 케이블을 거푸집에 먼저 설치한다.

(2) 콘크리트 타설로 복합블록을 제작 후 바지에 탑재한다.

(3) 다이버와 함께 거치장소로 인양한다.

(4) 거치장소에 거치 완료 - 후크의 자중에 의하여 크레인에서 줄을 늘여뜨릴 때 벗겨지게 된다.



Fig. 3.21 Placement method (Hook type 1)

(5) 다이버가 Hook를 푸는 과정 - 후크의 자중에 의해 벗겨지지 않는 경우 에는 블록거치 보조 다이버가 벗긴다.

(6) 크레인이 Hook를 감아 들인다. 벗긴 후크는 다이버나 선상 작업자의

지시에 따라 다시 선상으로 이동한다.



Fig. 3.22 Placement method (Hook type 2)

이상 2가지의 시공형태에 따른 방법을 소개를 하였다. 블록중앙의 개구부로 현장거치를 위해 들고리 부착대신 중앙개구부를 통해 거치용 Rope로 해결한 Rope형과 Hook형으로 두어 현장의 조건에 맞게 인양작업의 편리성을 꾀하였 다. Fig. 21은 대상해역의 상황에 따라 단일블록식, 복합블록 1식, 복합블록 2 식을 터파기를 적용하지 않은 경우와 터파기를 적용한 경우를 재현하였다.





터파기를 적용한 경우 - 단일블록식



터파기를 적용않은 경우 - 단일블록식





터파기를 적용않은 경우 - 복합블록 1식





터파기를 적용않은 경우 - 복합블록 2식 터파기를 적용한 경우 - 복합블록 2식



Hook 형 시공예상 - 터파기 없는 경우

Hook 형 시공예상 - 터파기 적용시

Fig. 3.23 Placement method of the prototype hybrid protection blocks



제 4 장 현장적용을 위한 블록중량 계산

블록의 중량산정을 위해 수치모의를 실행할 해역은 현재 해저가스관과 오 일관의 매설이 진행되고 있는 온산항으로 정하고 대상 해역의 파랑해석을 위 해 파랑작용 평형방정식 모델을 사용하였다. 수치 모델계산을 통한 도출된 파고의 크기를 각각 파향별로 분석하여 적용할 수 있는 방호블록의 중량산정 을 산정하였으며, 계략적 중량계산은 Hudson 공식을 이용 및 변형하여 적용 하였다.



Fig. 4.1 Submarine pipeline shifting plan at Onsan port, ULSAN

4.1 적용 수치모델

파랑변형 수치해석에 사용된 SWAN(Simulating Wave Nearshore) 모형은 네 덜란드 델프트 공과대학(Delft University of Technology, 2008)에서 개발한 파 랑수치모델이며, 이모델의 특징은 주어진 입사경계에서의 파 스펙트럼, 바람과 해저면 및 해류 조건으로부터 연안역, 호수 및 하구의 파랑을 계산이 가능하다.

SWAN 모델에서 고려되는 전파과정(propagation processes)은 지리적 공간 상의 전파, 수심과 흐름에 의한 굴절 현상(refraction), 수심과 흐름에 의한 천 수 현상(shoaling), 방해물에 의한 전달 및 차단·반사(blocking and reflection), 지형과 공간에 대한 회절(diffraction)이다. 또한 모델은 바람에 의 한 파랑에너지 생성, 백파에 의한 파랑에너지 소산, 수심 감소에 따른 쇄파에 의한 파랑에너지 소산, 저면 마찰에 의한 파랑에너지 소산, 파랑 상호작용(4 파 또는 3파 비선형 상호작용)을 고려한다.

쇄파대에서는 비선형성이 강하지만 SWAN 모델에서 파랑은 2차원 작용스 펙트럼으로 표현된다. 강한 비선형 조건에서도 스펙트럼을 사용하는 이유는 스펙트럼이 비선형 조건의 파랑을 통계적으로 충분히 서술할 수는 없지만 파 랑의 2차 모멘트 스펙트럼 분포는 예측이 가능하기 때문이다. 여기서 고려되 는 스펙트럼은 에너지 밀도 스펙트럼(energy density spectrum) *E*(σ,θ)가 아 니고 파작용 스펙트럼(wave action spectrum) *N*(σ,θ)를 의미한다.

파작용 스펙트럼과 에너지 밀도 스펙트럼의 관계는 다음과 같다.

$$N(\sigma,\theta) = \frac{E(\sigma,\theta)}{\sigma}$$
(4.1)

여기서, σ는 각주파수(intrinsic angular frequency)이고, 절대 각주파수 (absolute angular frequency) w와 다음과 같은 관계가 있다.

- 43 -

$$w = \sigma + \vec{k} \cdot \vec{U} \tag{4.2}$$

여기서, \vec{k} 와 \vec{U} 는 각각 파수와 유속 벡터이다.

가) 지배방정식

파랑 스펙트럼의 발달은 파작용 평형방정식에 의해 기술된다.

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial c_x N}{\partial x} + \frac{\partial c_y N}{\partial y} + \frac{\partial c_\sigma N}{\partial \sigma} + \frac{\partial c_\theta N}{\partial \theta} = \frac{S}{\sigma}$$
(4.3)

위 식에서 좌변의 1항은 파작용 스펙트럼의 시간 변화량, 2항과 3항은 지리 적 공간에서의 파동의 전파, 4항은 수심과 흐름의 변화에 의한 상대주파수의 천이, 그리고 5항은 수심과 흐름에 의한 굴절을 나타낸다.

선형파 이론에 의한 파랑의 전파속도는 아래와 같다.

$$c_x = \frac{dx}{dt} = \frac{1}{2} \left[1 + \frac{2kd}{\sinh 2kd} \right] \frac{\sigma k_x}{k^2} + U_x \tag{4.4}$$

$$c_y = \frac{dy}{dt} = \frac{1}{2} \left[1 + \frac{2kd}{\sinh 2kd} \right] \frac{\sigma k_y}{k^2} + U_y$$

$$(4.5)$$

$$c_{\sigma} = \frac{d\sigma}{dt} = \frac{\partial\sigma}{\partial d} \left[\frac{\partial d}{\partial t} + \vec{U} \cdot \nabla d \right] - c_g \vec{k} \cdot \frac{\partial \vec{U}}{\partial s}$$
(4.6)

$$c_{\theta} = \frac{d\theta}{dt} = -\frac{1}{k} \left[\frac{\partial \sigma}{\partial d} \frac{\partial d}{\partial m} + \vec{k} \cdot \frac{\partial \vec{U}}{\partial m} \right]$$
(4.7)

여기서, s와 m은 각각 파향선(wave ray)과 파향선에 직각인 좌표를 의미

- 44 -

한다.

평형방정식의 우변은 원천항(source and dissipation)을 나타내며, 이는 파 랑의 생성, 소산 및 비선형 상호작용에 의한 에너지 전달을 포함한다.

$$S = S_{in} + S_{ds} + S_{nl} (4.8)$$

여기서, S_{in} 은 바람에 의한 에너지 유입, S_{ds} 는 파랑에너지의 소산, S_{nl} 은 비선형 파랑 상호작용을 나타낸다.

나) 바람에 의한 에너지 유입

수치모델에 바람조건을 적용하였고, 바람에 의한 파랑의 생성은 다음과 같 이 표현된다.

$$S_{in}(\sigma,\theta) = A + BE(\sigma,\theta)$$
(4.9)

여기서, A는 선형파의 성장을 의미하며, BE는 파의 지수적 성장이다. 바람에 의한 파의 선형 성장을 계산하는 A는 Phillips(1967)에 의한 공진기 구를 반영하는 것으로, Pierson-Moskowitz(PM) 주파수 보다 낮은 저주파의 성장을 제한하기 위하여 Cavaleri and Malanotte-Rizzoli(1981)의 식을 사용 한다.

$$A = \frac{1.2}{2\pi g^2} \frac{\rho_a}{\rho_w} \{ U_* \max[0, \cos(\theta - \theta_w)] \}^4 H(\sigma)$$
(4.10)

$$H = e^{-\left(\frac{\sigma}{\sigma_{PM}^{*}}\right)^{-4}}, \quad \sigma_{PM}^{*} = \frac{0.13g}{28U_{*}}2\pi$$
(4.11)

- 45 -



모델에 적용되는 마찰속도(friction velocity)는 다음과 같이 정의된다.

$$U_*^2 = C_D U_{10}^2 \tag{4.12}$$

여기서, 풍속 U_{10} 은 해면상 10m의 풍속이며, C_D 는 마찰계수(drag coefficient)로 다음과 같이 정의된다.

$$C_D(U_{10}) = \begin{cases} 1.2875 \times 10^{-3} & \text{for } U_{10} < 7.5 \ m/s \\ (0.8 + 0.06 \ U_{10}) \times 10^{-3} & \text{for } U_{10} \ge 7.5 \ m/s \end{cases}$$
(4.13)

 θ_w 는 풍향, *H*는 필터, σ_{PM}^* 는 Pierson-Moskowitz에 따른 완전히 발달한 해 상상태(fully developed sea state)에서의 첨두 주파수(peak frequency)이다.

Komen et al.(1984)의 식은 Snyder et al.(1981)의 식에 근거를 두고 있으며 다음 식으로 나타낼 수 있다.

1015

$$B = 0.25 \frac{\rho_a}{\rho_w} max \left[0, \frac{28U_*}{c} cos(\theta - \theta_w) - 1 \right] \sigma$$

$$(4.14)$$

여기서, c는 위상속도(phase speed), ρ_a와 ρ_w는 각각 공기와 해수의 밀도이 다. 이 식은 WAM 모델에서 채용되고 있는 식으로 Janssen(1991)은 경계층 효과와 해면의 조도에 의한 바람과 파랑의 상호작용을 고려하여 다음과 같이 나타낸다.

$$B = \beta \frac{\rho_a}{\rho_w} max \left[0, \ \frac{U_*^2}{c^2} cos^2 (\theta - \theta_w) \right] \sigma$$
(4.15)



여기서, β는 Miles 상수로서 무차원 임계고(λ)를 사용하여 다음 식으로 계 산된다.

$$\beta = \frac{1.2}{\kappa^2} \lambda \ln^4 \lambda \quad \text{for } \lambda \le 1$$

$$\beta = 0 \quad \text{for } \lambda > 1$$
(4.16)

$$\lambda = \frac{gz_e e^r}{c^2}, \quad r = \frac{\kappa c}{|U_* \cos(\theta - \theta_w)|}$$
(4.17)

여기서, κ는 von Karman 상수로서 0.41을 취하며, z_e는 해면의 유효 조도 이다.

풍속의 분포를 다음과 같이 간주하면

$$U(z) = \frac{U_*}{\kappa} ln \left[\frac{z + z_e - z_o}{z_e} \right]$$
(4.18)

유효조도길이는 다음 식으로 계산된다.

$$z_e = \frac{z_o}{\sqrt{1 - \frac{\tau_w}{\tau}}} \tag{4.19}$$

여기서, *т*는 총응력(total stress)이며, 조도 길이는 다음의 관계식으로 주어 진다.

$$z_o = \hat{\alpha} \frac{U_*^2}{g} \tag{4.20}$$

여기서, $\hat{\alpha}$ = 0.01이며, 파랑 응력(wave stress)은 스펙트럼으로부터 계산된 다.

$$\vec{\tau_w} = \rho_w \int \int \sigma BE(\sigma,\theta) \frac{\vec{k}}{k} d\sigma d\theta \qquad (4.21)$$

SWAN 모델에서는 위에서 언급한 일련의 식과 z = 10 m 상공에서의 풍속 U_{10} 을 사용하여 반복법으로 B를 구한다.

다) 회절

흐름이 없다고 가정하고 지리적 공간과 스펙트럼 공간상에 회절이 없는 상 태에서의 전파속도를 $C_{x,0}, C_{y,0}$ 와 $C_{\theta,0}$ 로 정의한다. 이들은 다음과 같이 주어진 다.

$$C_{x,0} = \frac{\partial \omega}{\partial k} \cos\left(\theta\right) \tag{4.22}$$

$$C_{y,0} = \frac{\partial \omega}{\partial k} \sin(\theta) \tag{4.23}$$

$$C_{\theta,0} = -\frac{1}{k} \frac{\partial \omega}{\partial h} \frac{\partial h}{\partial n}$$
(4.24)

여기서 k는 파수이고 n은 파향선에 직각인 법선 벡터이다.

다음과 같이 eikonal방정식을 적용하면

$$K^2 = k^2 (1+\delta) \tag{4.25}$$

여기서 &는 다음과 같이 정의되는 회절계수이다.

$$\delta = \frac{\Delta (cc_g \Delta H_s)}{cc_g H_s} \tag{4.26}$$

회절에 의한 전파속도는 다음과 같다.

$$C_x = C_{x,0}\overline{\delta}, \ C_y = C_{y,0}\overline{\delta}, \ C_\theta = C_{\theta,0}\overline{\delta} - \frac{\partial\overline{\delta}}{\partial x}C_{y,0} + \frac{\partial\overline{\delta}}{\partial y}C_{x,0}$$
 (4.27)
여기서 $\overline{\delta} = \sqrt{1+\delta}$ 이다.
타) 구조물에 의한 파랑의 전달 및 반사

본 모델의 파랑에너지의 전달과 반사를 표현하기 위한 방법으로 다음과 같 이 표현하였다. 구조물에 의한 반사는 두 가지 방법으로 표현된다. 첫째는 경 상반사(specular reflection)로 반사각이 입사각과 동일하다고 가정한다. 두 번 째는 확산(diffuse)과 발산(scattered) 반사로 반사각이 입사각과 일치하지는 않는다. 확산과 발산 반사는 코사인의 멱함수의 형태로 표현된다.

파랑의 전달은 구조물을 잠제로 가정, 전달계수 K_t 는 파고와 해면으로부터 구조물 천단까지 거리의 함수이다(Goda et al., 1967).

$$K_t = 0.5 \left[1 - \sin\left(\frac{\pi}{2\alpha} \left(\frac{F}{H_i} + \beta\right) \right) \right] \text{ for } -\beta - \alpha < \frac{F}{H_i} < \alpha - \beta \qquad (4.28)$$

여기서, F=h-d는 방파제의 여유고, H_i 는 입사파고, h는 구조물의 높이, d는 평균해면, α와 β는 구조물 형상에 따른 계수로 기본적으로 2.6과 0.15를 사용한다(Seelig, 1979).

마) 저면에 의한 에너지 소산

저면에 의한 에너지 소산은 저면 마찰(bottom friction), 저면운동(bottom motion), 침루(percolation) 및 불규칙 저면상의 산란(bottom scattering) 등에 의하여 발생하며(Shemdin et al., 1978), 모래로 구성된 육붕에서의 에너지 소 산은 주로 마찰에 의하여 발생한다.

JONSWAP 실험에서 스펙트럼 파랑 모델에 사용할 수 있는 마찰 소산식이 유도되었는데(Hasselmann et al., 1973), 이 식은 선형 모형으로서 마찰계수의 선택이 적당한 경우 여러 조건 특히 너울과 폭풍에 대해서 좋은 결과를 주는 것으로 알려져 있다.

Hasselmann and Collins(1968)는 항력 마찰(drag friction)에 기초하여 저면 마찰 소산의 비선형 모형을 제안하였으며, Madsen et al.(1988)과 Weber(1991b)는 보다 복잡한 와류 이론에 근거한 모형을 고안하였다. SWAN모델에서는 Weber(1991b) 의 식을 사용하여 저면마찰 소산을 계산한 다.

$$S_{ds,b}(\sigma,\theta) = -C_{bottom} \frac{\sigma^2}{g^2 \sinh^2 k d} E(\sigma,\theta)$$
(4.29)



여기서, C_{bottom} 은 저면마찰계수로서 다음 식으로 정의되는 rms저면 유속으로부터 구해진다.

$$u_{rms}^2 = \int \int \frac{\sigma^2}{\sinh^2 k d} E(\sigma, \theta) d\sigma d\theta \qquad (4.30)$$

JONSWAP에서 사용된 경험적인 모형에서는 $C_{bottom} = 0.038 \text{ m}^2 \text{sec}^{-3}$ 을 사용하였는데 이 값은 너울에 대해서도 적용할 수 있다. 일반적으로 저면마찰 계수는 파랑 조건에 의존하지만 Bouws and Komen(1983)이 풍파에 대해서 제안한 $C_{bottom} = 0.067 \text{ m}^2 \text{sec}^{-3}$ 은 많은 경우에서 유효한 것으로 보고되고 있 다(Luo and Monbaliu, 1994). Collins(1972)의 항력마찰 모형에서는 다음 식에 서 유도된다.

$$C_{bottom} = c_{fw} g \, u_{rms} \tag{4.31}$$

여기서, $c_{fw} = 0.015$ 이며(Collins,1972), Madsen et al.(1988)의 와점성 모형에 서는 다음 식을 사용한다.

1945

$$C_{bottom} = \frac{g}{\sqrt{2}} f_{wr} u_{rms} \tag{4.32}$$

여기서, fwr은 Johnson(1966) 공식으로부터 구해지는 무차원 마찰계수이다.

$$\frac{1}{4\sqrt{f_{wr}}} + \log_{10}\left[\frac{1}{4\sqrt{f_{wr}}}\right] = m_f + \log_{10}\left[\frac{a}{K_N}\right]$$
(4.33)

여기서, $m_f = -0.08$ (Johnson and Carlsen, 1976), a는 저면 부근에서 수립자 운동의 진폭(excursion amplitude), K_N 은 저면의 조도이다.

$$a^{2} = 2 \int \int \frac{1}{\sinh^{2}kd} E(\sigma,\theta) d\sigma d\theta \qquad (4.34)$$

여기서, a/K_N 이 1.57 보다 작으면, 무차원 마찰계수 f_{wr} = 0.30으로 한다 (Johnson, 1980).

바) 쇄파에 의한 에너지 소산

임의의 파랑장에서 수심에 의하여 발생하는 쇄파에 의한 파랑 에너지 소산 의 계산에는 단파(bore) 모형이 적용될 수 있다(Battjes and Janssen, 1978; Thornton and Guza, 1983). 쇄파 소산의 스펙트럼 분포 특성을 Battjes and Beji(1992)와 Vincent et al.(1994)의 실험으로부터 유추해 보면 쇄파가 파랑 스펙트럼의 형상에는 영향을 주지 않는 것으로 생각된다. 이에 근거하여 Eldeberky and Battjes (1995)는 파랑 스펙트럼에 비례하는 쇄파 소산 공식을 도출하였으며, 이것이 SWAN 모델에서 사용되는 쇄파 소산 공식이다.

$$S_{ds,br}(\sigma,\theta) = -\frac{\alpha_{BJ} Q_b \sigma H_m^2}{8\pi} \frac{E(\sigma,\theta)}{E_{tot}}$$
(4.35)

여기서, α_{BJ} 는 경험상수로서 통상 1.0을 사용한다. Q_b 는 다음 식으로 계산 되는 쇄파율이다.

$$\frac{1-Q_b}{\ln Q_b} = -8\frac{E_{tot}}{H_m^2}$$
(4.36)

여기서, σ는 평균주파수로서 아래와 같이 계산된다.

$$\bar{\sigma} = E_{tot}^{-1} \int \int \frac{1}{\sigma} E(\sigma, \theta) d\sigma d\theta$$
(4.37)

SWAN 모델에서 최대파고 $H_m = \gamma d \vec{z}$ 계산되며, γ 의 계산에는 Nelson(1987)의 식을 사용한다.

1945

$$\gamma = 0.55 + 0.88e^{-0.012\cot\beta}$$
 for $0 < \beta < 0.1$ (4.38)

여기서, β는 해저면의 경사이다.

4.2 수치계산 및 분석

4.2.1 파랑해석 입력조건 및 모델구성

50년 재현 빈도 심해설계파의 선정 시 온산항 일대로 내습할 N계열의 파랑 은 울산만 내부에서의 차단이 되어 그 영향이 미소할 것으로 판단이 되어, 파랑의 영향이 가장 클 것으로 예상되는 S계열(SE, S, SSE)의 파랑을 검토 하였다(Table 4.1). 광역 및 세역의 Nested 모델 계산영역은 광역

14.0km×20.0km (간격 100m), 상세역 5.0km×4.0km (간격 20m)으로 구성하였으며, 등방격자로 하여 울산항 약최고만조위 (Approx. H.H.W)인 0.61m을 기 준해면을 적용 하였다(Fig. 4.2 & Table 4.2).



Fig. 4.2 Grid of wide area & narrow area

1945

Table	4.1	Input	data	for	offshore	design	waves
i abio		mpac	aala	101	011011010	acoign	maroo

<u></u> H	파향			
1 군	SE	SSE	S	
파고(m)	10.09	10.66	9.54	
주기(s)	12.08	13.44	13.16	

구분		실 험 내 용		
		광역	세역	
人	용모형	파랑작용평형방정식 모형		
ㅁ청	모형범위	14km×20km	5km×4km	
도 3 그 서	격자구성	dx=dy=100m	dx=dy=20m	
5178	격자수	140×200	250×200	
7]준해면	울산 약최고고조위 D.L.(+) 0.61m		



4.2.2 파랑모델 적용 및 결과 분석

수치 모델계산을 통한 파고의 크기 값은 실제 해저가스관과 오일관의 매설 및 이설 구간으로부터 도출하였다(Fig. 4.3 참조). 광역으로 내습하는 파랑은 SSE가 우세한 반면, 세역으로 진입시 SE가 파랑의 회절, 굴절 및 방파제의 반사로 인하여 역전하는 형상을 나타내고 있다. Fig. 4.4는 각각의 심해설계 파 파향별로 광역 및 세역의 결과를 도식화한 것이다. 파향별 이설구간은 해 안선부터 300m까지 파고 8m로 선형적 증가하나, 약 1500m에서 2000m까지는 SEE보다 SE가 높이 계산되었다(Fig. 4.5 참조).



Fig. 4.3 Calculated design waves for SE, SSE, S wave





Fig. 4.4 Calculated design waves for SE, SSE, and S waves



Fig. 4.5 Comparison of wave heights for at the station



4.2.3 복합방호블록의 안정중량계산

블록의 중량을 구하기 위해 경험식 또는 실험식으로서 Hudson 공식을 적 용하였다.

$$W = \frac{\gamma_r H^3}{K_D (S_r - 1)^3 \cot \theta} \tag{4.39}$$

여기서, W는 사석 또는 콘크리트 블록의 최소중량(t), γ_r는 사석 또는 콘크 리트 블록의 공중단위체적중량(t/m³), S_r는 사석 또는 콘크리트 블록의 해수 에 대한 비중, H는 방파제의 설치위치에서의 내습파랑(m), θ는 사면이 수평 면과 이룬 각도(도)이다.

Hudson공식은 파랑이 사면상의 부서질 쇄파대에 대한 안정 중량 계산값으 로 해저면의 케이블 매설용 보호공의 안전중량의 경우 기존 Hudson공식의 H의 값을 H'으로 적용하여 저면 수심의 깊이를 고려하여 Hudson식을 아래 와 같이 사용하였다.

$$W = \frac{\gamma_r (H')^3}{K_D (S_r - 1)^3 \cot \theta}$$
(4.40)

$$H' = \frac{\pi H^2}{L_0 \sinh^2 kh} \tag{4.41}$$

여기서, H'은 설치위치에서의 내습파랑, z는 설치위치에서의 수심, k는 수 심에 따른 분산관계식의 도출된 파수이며 적용한 K_D값은 8, 사면의 경사는 1:3을 적용하였다. 중량계산에 적용한 K_D는 수리실험을 통하여 도출하여야

- 57 -

하나 본 연구에서는 SPM (1984)에 제시되어있는 Armour Concrete unit의 평균수치인 8을 반영하였다.

Table 4.3~4.5는 천해설계파를 바탕으로 Hudson 공식으로부터 파향별 각 구역의 추정유의파고에 대한 블록의 개략적인 중량이다. 해저관로매설구간을 거리별로 안전중량에서 해안선에서부터 거리 100m 까지는 0.3톤 이내의 중량 으로 가능하며 쇄파, 처오름 등 가변적인 외력으로 인해 수심에 따라 복합방 호블록의 중량을 조정할 수 있으나 이외에 사석매립형태의 보호공법, 케이블 을 감싸는 형태의 보호공법 등 다른 공법과 비교가 수반되어야 할 것이다. 또한 해안역에서 300m가 넘어갈 시에 해저 면에서는 파랑의 영향을 크게 받 지 않아 70kg 보다 작은 무게로 사용할 수 있는 결과를 나타냈다.

Wave Direction : S					
거리(m)	파고 (m)	파고보정(m)	표면중량(kg)	저면중량(kg)	
5	1.94	1.49	203.84	92.19	
30	1.95	1.28	207.01	58.63	
50	2.88	1.97	666.91	213.21	
100	4.46	1.69	2476.8	135.68	
200	5.61	1.31	4929.19	62.27	
300	5.70	0.68	5170.25	8.72	
400	5.86	0.55	5617.97	4.68	
500	6.01	0.49	6060.53	3.27	
1000	6.42	0.52	7387.41	3.82	
1500	7.17	0.66	10290.69	8.13	

Table 4.3 Summary of unit block weights (S)

Wave Direction : SE				
거리(m)	파고 (m)	파고보정(m)	표면중량(kg)	저면중량(kg)
5	1.43	0.75	81.64	11.99
30	1.62	0.82	118.69	15.61
50	2.34	1.21	357.71	49.5
100	5.05	2.01	3595.51	225.83
200	7.1	1.91	9992.22	195.39
300	7.81	1.14	13299.64	41.46
400	8.12	0.94	14947.03	22.99
500	8.24	0.81	15619.55	14.69
1000	8.72	0.83	18511.28	16.01
1500	9.32	0.98	22601.36	26.31
	JAC NO NE		RS	

Table 4.4 Summary of unit block weights (SE)

Table 4.5 Summary of unit block weights (SSE)

Wave Direction : SSE					
거리(m)	파고 (m)	파고보정(m)	표면중량(kg)	저면중량(kg)	
5	1.51	0.84	96.12	16.73	
30	1.92	1.16	197.6	43.58	
50	3.04	2.05	784.35	240.44	
100	5.38	2.3	4347.44	339.39	
200	7.55	2.2	12015.11	298.41	
300	8.23	1.31	15562.75	63	
400	8.42	1.05	16665.69	32.61	
500	8.52	0.91	17266.55	20.92	
1000	8.87	0.91	19483.09	20.89	
1500	9.28	1.03	22311.61	30.07	

4.3 실형복합방호블록의 현장거치

개발블록의 중량산정시 대상 해역은 온산항으로 정하였지만, 온산항의 전 면관로 이설사업은 본 연구 이전에 기존 설계에 따른 공법으로 진행되고 있 는 관계로 현장거치는 불가능하였다. 그러나, 부산시 기장군에서 죽성 연안정 비 사업(Fig. 4.7)이 추진되고 있는 현장이 있어서 Fig. 4.8~4.10과 같이 추가 적으로 복합방호블록의 실형을 수심이 6m~8m의 현장에 시험 거치하였으며 추후 모니터링을 수행할 예정이다.



Fig. 4.6 Proposed installation site at the existing coastal maintenance project



Fig. 4.7 Field linking of the unit blocks




Fig. 4.8 Movement of the protection blocks by barge crane



Fig. 4.9 Field installation of the linked protection blocks



제 5 장 결론 및 제언

Collection @ kmou

5.1 결론

세계 각국에서 해양플랜트단지 및 천해에서 트롤어선의 어로행위 및 묘박 작업등으로 해저 파이프 라인, 통신선 등이 손상 또는 단락되는 경우가 빈번 하게 일어나고 있다. 또한 불법어로 행위에 따른 관로손상, 심지어 상어의 공 격에 따른 손상도 비일비재하다. 아울러 태풍, 해일 등 자연력의 증가로 연안 시설에 막대한 피해를 입혀 기후변화에 따른 해양에너지 증가에 대응이 필요 하다. 이러한 시기에 다양한 공학적 접근방법을 조사하여, 해안지역의 침식 으로 매립한 해저케이블의 인입부가 돌출되는 것을 보호하고 저면부근의 외 력에 안정성을 꾀하기 위한 복합단위블록의 설계를 수행하였다. 또한 현장적 용성을 파악하기 위하여 수치모델 계산을 병행하고 복합방호블록의 기초적인 분석를 수행하였다.

연구과정을 통해 도출된 결론은 다음과 같이 요약 할 수 있다.

(1) 단위블럭을 중앙블록 좌우로 여러 개를 시리즈로 연결하고 블록중앙의 개구부가 블록에 작용하는 양압력을 대폭 저감시켜서, 과거의 피복 블럭에 비하여 안정성이 비약적으로 향상시키는 것을 목표로 하였으며, 해저면에 유 연하게 피복할 수 있도록 복합블록 매트형 구조물로 해저침식방지에도 상당 한 효과를 가져 올 것으로 기대된다. 중앙블록의 경우 해저관로의 노출 정도 에 따라 곡률을 변경할 수 있도록 하여 해저관로가 바닥면에 단순히 놓인 경 우에도 블록의 현장 적용성을 높였다. (2) 디자인을 변형하여 현장의 조건에 맞는 Rope형과 Hook형의 현장시공 방법을 고안하였으며, 기존 갈고리 대신 중앙블록의 개구부를 이용하여 복합 블록 인양 시 편리함을 꾀하였다.

(3) 디자인한 복합방호블록의 강제 거푸집을 제작하고 항만 및 어항 설계기 준에서 제시한 설계기준압축강도를 기준으로 콘크리트 배합 및 강도실험을 통하여 실형제작을 진행하여 복합블록의 시공과정을 재현하였다.

(4) 최종으로 디자인한 복합방호블록의 적정중량선정을 위해 해저가스관과 오일관의 매설이 진행되고 있는 온산항을 대상해역으로 하여 수치모델로 설 계파랑을 산출하고 현장 적용할 블록의 범위를 도출하였다. 해저관로매설구 간을 거리별로 안전중량을 계산한 결과 해안선에서부터 거리 100m까지는 0.3t 중량까지 필요한 것으로 나타났으나 연안역에서 300m 이상의 거리에서 는 해저면에서 파랑의 영향을 크게 받지 않아 70kg 보다 작은 무게를 적용할 수 있는 것으로 나타났다. 다만, 후속연구로 수리모형실험과 현장시공을 통해 해저관로 및 해저 케이블매설에 미치는 쇄굴 및 침식의 여부를 분석하여 상 세한 블록의 안정성 및 중량의 계산이 필요한 것으로 사료된다.

5.2 제언

본 논문에서 해안플랜트단지에 인입하는 통신 및 전력공급을 위한 해저 케 이블, 송유관 및 가스관과 같은 파이프라인을 보호하기 위한 방호블록을 설계 하여 실형블록을 완성하였다. 관련시장으로는 콘크리트 매트리스 제조, 강관 및 콘크리트 관로 및 배관업계, 준설 및 트렌치 업, 수중시공업, 오탁방지막제 조 등 다양한 분야로 확장되고 있으며, 아울러 해안 침식 및 방재분야에서도

- 63 -

Collection @ kmou

geotextile membrane을 활용한 세굴 저감용 매트리스 등 그 활용도가 높아질 전망이다. 또한, 콘크리트 특성상 해양 생태계를 위협하는 요소가 포함될 수 있어서 친환경적인 콘크리트 재료의 개발에 관한 연구도 진행되고 있어서 추 후 그 활용도가 높아질 것으로 본다. 검토한 다른 분야에의 적용은 하천과 호 소에서 호안공으로 사용하거나 용수취수관로 및 교각 주위의 세굴방지용과 해저에서의 해조류나 산호의 식생조성용 인공리프에의 적용을 들 수 있다.

1) 인공리프 조성

개발한 복합방호블록은 해저관로 및 케이블의 보호용으로 활용되는 것이 1 차적 목표이나 산호 및 kelp 등과 결합하여 단순히 모래바닥으로 된 빈약한 해역에 해저 식생군을 조성함으로써, 해저생태환경의 복원은 물론 친환경 해 양공간의 개발에 기여할 수 있다. 이는 국가적 사업으로 진행되고 있는 어초 투입사업에도 기여하게 된다. 인공리프의 적용사례는 Fig. 5.2와 같이 해저산 호 및 해조류의 복원을 위한 사업과 연계하는 것이다.



Fig. 5.1 Possible alternatives on artificial reefs

2) 하천 및 호소 보호공

개발한 방호블록은 동일한 연결단위블록을 시리즈로 연결하거나 중앙-연결 블록으로 복합으로 하여 하천 및 호소의 호안재로 활용할 수 있다. 매트형 블

Collection @ kmou

록군은 수면하 또는 수상 사면에 적용할 수 있으며 등고선 및 등심선을 따라 곡면을 보호하는 피복공으로 적용이 가능하다. 당연히, 해상에서와 같이 하천 과 호소에서 용수관로나 케이블의 보호공으로도 손색이 없어서 응용하여 적 용할 수 있을 것이다. 특히, 하천 흐름이 존재하는 곳에서는 표사 이동이 수 반되므로 호안침식은 필연적이고, 교량이나 관로가 통과하는 수역에서는 세굴 방지를 안전성과 경제적인 관점에서 고려하여야 한다. 이 경우 적정규모로 매 트형 블록으로 현장거치시 효과적인 보호공법이 될 것으로 본다.



Fig. 5.2 Recommended revetment installation for bank and bed armor blocks



Fig. 5.3 Application of hybrid protection blocks to revetment for bank and bed



참고문헌

류연선, 조현만, 김서현 (2015), "재료모델에 따른 유연 콘크리트 매트리스의 충 돌 거동 평가", 한국해양공학회지, 제29권 제1호, pp. 70-77.

안승환, 김동선 (2009), "해양환경특성에 따른 해저케이블 설치 및 보호방안", 해양환경안전학회지, 제15권(1), pp. 25-32.

이중우 (2013), "해안플랜트단지 침식방호블록 개발", 2012 LINC R&D 공동연 구과제, 한국해양대학교.

한국석유공사 (2015), "한국석유공사 원유부이 이설(동해-1 가스전배관이설 포 함) 환경영향평가서"

한국전력공사 (2007), "HVDC 송전선로 보호설비 적정성 검토 및 보강용역 최 종보고서", pp. 479-481.

해양수산부(2014), "항만 및 어항 설계기준"

해양수산부(2016), "해양심층수 융·복합 산업 육성방안"

한국해양연구원 (2005), "전해역 심해설계파 추정보고서 Ⅱ"

日本海洋開發建設協會 海洋工事技術委員會 (1997), わが國の海洋土木技術.

Battjes, J. A., and J. P. F. M. Janssen, (1978). "Energy loss and set-up due to breaking of random waves", Proc. 16th Int. Conf. Coastal Engineering, ASCE, pp. 569–587.

Battjes, J. A., and S. Beji (1992), "Breaking waves propagating over a shoal", Proc. 23rd Int. Conf. Coastal Engineering, ASCE, pp. 42–50.

Bouws, E. and G. J. Komen. (1983), "Breaking waves propagating over a shoal", Proc. 23th Int. Conf. Coastal Engineering, ACSE, pp. 42–50.

Cavaleri, L., P. Malanotte-Rizzoli. (1981), "Wind wave prediction in shallow water. Theory and applications", J. Geophys. Res., Vol. 86, No. C11, 10, pp. 961–1000.

Collins, J. I. (1972), "Prediction of shallow water spectra", J. Geophys. Res., Vol. 77, No. 15, pp. 2693–2707.

Delft University of Technology. (2008), "SWAN Technical documentation"

Eldeberky, Y. and J. A. Battjes. (1995), "Parameterization of triad interactions in wave energy models". Proc. Coastal Dynamics Conf. '95, Gdansk, Poland, pp. 140–148.

Goda, Y., H. Takeda, and Y. Moriya. (1967), "Laboratory Investigation of Wave Transmission over Breakwaters", Rep. port and Harbour Res. Inst., No.13.

Hasselmann, K., T. P. Barnett., E. Bouws., H. Carlson., D. E. Cartwright., K. Enke., J. A. Ewing., H. Gienapp., D. E. Hasselmann., P. Krusema., A. Meerburg., P. Muller., D. J. Olbers., K. Richter., W. Sell, and H. Walden. (1973), "Measurements of wind-wave growth and swell decay during the Joint North Sea Wave Project (JONSWAP)", Dtsch. Hydrogr. Z. Suppl., Vol. 12, A8.



Hasselmann, K., and J. I. Collins. (1968), "Spectral dissipation of finite-depth gravity waves due to turbulent bottom friction", J. Mar. Res., Vol. 26, pp.1–12.

Irie, I., Ono, N., Hashimoto, S., Nakamura, S., and Murakami, K. (1994), "Control of Cross-shore Sediment Transport by a Distorted Ripple Mat", Proc. of 24th ICCE, ASCE, pp. 2070–2084.

Irie, I., S. Takewaka, N., Ono, K., Murakami, H., Sakamoto., and O. Shimada (1998), "Retaining beach sand by a distorted ripple mat", Proc. Coastlines, Structures & Breakwaters''98, ICE, pp. 264–265.

Janssen, P. A. E. M. (1991), "Quasi-linear theory of wind-wave generation applied to wave forecasting", J. Phys. Oceangr., 21, pp. 1631-1642.

Johnson, I. G. (1966), "Wave boundary layers and friction factors", Proc. 10th Int, Conf. Coastal Engineering, ASCE, pp. 127–148.

Johnson, I. G. and N. a. Carlsen. (1976), "Experimental and theoretical investigations in an oscillatory turbulent boundary layer", J. Hydraulic Research, Vol. 14, pp. 46–60.

Johnson, I. G. (1980), "A new approach to rough turbulent boundary layers", Ocean Engineering, 7, pp. 109–152.

Komen, G. J., S. Hasselmann., and K. Hasselmann (1984), "On the existence of a fully developed wind-sea spectrum", J. Phys. Oceanogr., Vol. 14, pp. 1271–1285.

Kordahi, M. E. and Shapiro, S., 2004. Worldwide trends in submarine cable systems. Proceedings SubOptic 2004, Monaco; paper We A2.5.



Luo, W., and J. Monbaliu (1994), "Effects of the bottom friction formulation on the energy balance for gravity waves in shallow water", J. Geophys. Res., Vol. 99, No. C9, 18, pp. 501–511.

Madsen, O. S., Y. K. Poon., and H. C. Graber (1988), "Spectral wave attenuation by bottom friction: Theory", Proc. 21th Int. Conf. Coastal Engineering, ASCE, pp. 492–504.

Nelson, R. C. (1987), "Design wave heights on very mild slopes. An experimental study", Civil. Eng. Trans., Inst. Eng., Aust., Vol. 29, pp. 157–161.

Phillips, O. M. (1967), "On the generation of waves by turbulent wind", J. Fluid Mech., 2, pp. 417–445.

Snyder, R. L., Dobson, F. W., Elliott, J. A., and Long, R. B. (1981), "Array measurement of atmospheric pressure fluctuations above surface fravity waves", J. Fluid Mech., 102, pp. 1–59.

Seelig, W. N. (1979), "Effects of Breakwaters on Waves: Laboratory Tests of Wave Transmission by Overtopping", Proc. Conf. Coastal Structures, Vol.79, No. 2, pp. 941–961.

Shemdin, P., K. Hasselmann., S. V. Hsiao., and K. Herterich (1978), "Non – linear and linear bottom interation effects in shallow water in Turbulent Fluxes through the Sea Surface wave dynamics and prediction", NATO Conf. ser., Vol. 1, pp. 347–372. Thornton, E. B., and R. T. Guza (1983), "Transformation of wave height distribution", J. Geophys. Res., Vol. 88, C10, pp. 5925–5938.

Vincent, C. L., J. M. Smith., and J. Davis (1994), "Parameterization of wave breaking in models", Proc. of Int. Sy,p.. Waves-Physical and Numerical Modelling, Univ. of British Columbia, Vancouver, Canada, M. Isaacson and M. Quick (Eds.), Vol. II, pp. 753–762.

Weber, S. L. (1991a), "Bottom friction for wind sea and swell in extreme depth-limited situations", J. Phys. Oceanogr., 21, pp. 149–172.

Weber, S. L. (1991b), "Eddy-viscosity and drag-law models for random ocean wave dissipation", J. Fluid Mech., 232, pp. 73-98.





감사의 글

연구실에 들어온 지 3년이란 시간이 지나고, 벌써 이렇게 논문을 적고 졸업 을 하게 되었습니다. 부족한 점이 항상 너무 많았지만, 많은 도움을 주신 분 들에게 감사의 말을 전합니다.

우선적으로, 많은 부분이 부족한 저를 항상 신경써주시며 저의 졸업에 가장 큰 도움을 주신 지도교수이신 이중우 교수님께 진심으로 감사한 말씀을 전해 드립니다. 교수님의 지도 덕에 아직 부족한 점이 많지만 이렇게 석사 논문 까지 적게 되었습니다. 그리고 부족한 저의 논문을 심사 해주신 김태형 교수 님, 이재하 교수님께도 진심으로 감사드립니다.

선후배 관계에 항상 신경 써주시는 김강민 이사님께도 감사의 인사를 드립 니다. 항상 모임을 계획하시고, 좋은 인연을 소개해 주셔서 감사합니다.

연구실에서 항상 부족한 저를 그래도 형이라고 항상 신경써주며, 자신의 시 간을 써가며 저를 도와준 문승효, 그리고 권성민 에게도 고맙다는 말을 전합 니다.

금년에 결혼을 하게 된 나의 사랑하는 아내 노현엽 에게 신경써주고 도와 줘서 너무 고맙고, 장모님과 장인어르신, 그리고 할머니 할아버지께서 항상 신경 써 주셔서 감사했습니다. 그리고 회사에 제가 없어서 더욱 바쁘게 일한 우리 삼촌과 누나에게 진심으로 감사의 말을 전합니다.

그리고 항상 저를 걱정해주시고 아껴주신 저의 부모님의 도움에 항상 감사 하단 말을 마지막으로 이 논문을 바칩니다. 아버지 어머니 사랑합니다.

> 2018년 2월 이상허 드림

