

공학석사학위논문

태풍에 의한 연안재해의 특성을
고려한 사석제의 설계에 관한 연구

지도교수 류 청 로

이 논문을 위하여 사석제의 학위논문으로 제출함.



부경대학교 산업대학원

해양개발학과

임 정 현

임정현의 공학석사 학위논문을 인준함.

2004年 6月 16日

주 심 공학박사 윤 길 수
위 원 공학박사 윤 한
위 원 공학박사 류 청 로



目 次

List of Figures	ii
List of Tables	iii
List of Symbols	iv
Abstract	v

1. 서론	1
1.1 연구배경.....	1
1.2 연구목적.....	1
2. 태풍 “매미”에 의한 피해현황 및 원인분석	4
2.1 태풍.....	4
2.1.1 태풍의 정의.....	4
2.1.2 태풍의 발생원인.....	5
2.1.3 우리나라의 태풍 및 해일.....	5
2.1.4 태풍의 크기 및 강도 분류.....	5
2.2 태풍 “매미”의 특징.....	9
2.2.1 태풍 매미의 개요.....	9
2.2.2 태풍 “매미” 내습 시의 해상 및 기상.....	11
2.3 피해원인분석.....	19
2.3.1 사석경사제의 기본 파괴모드.....	19
2.3.2 태풍 “매미”의 피해.....	22
3. 해안구조물의 수리학적 특성 및 설계개념	41
3.1 모형이론 및 상사법칙.....	42
3.2 차원해석.....	45
3.3 실험방법 및 장치.....	51
3.4 부산신항 동방파제의 피해원인 검토.....	56
3.5 복합단면의 수리학적 특성과 설계개념.....	60
4. 요약 및 결론	65

참 고 문 헌

부록 1. 태풍 “매미” 내습이후 가덕도 해안사진

부록 2. 가덕도 인근 항공사진

부록 3. 가덕도 해안구조물의 피해

List of Figures

- Fig. 1.1 Schematic diagram of study.
- Fig. 1.2 Study flow.
- Fig. 2.1 The routes of typhoons.
- Fig. 2.2 Route of Typhoon "Maemi" (2003. 9. 10 ~2003. 9. 12).
- Fig. 2.3 Variation of water level (Yongwon, 2003. 9. 12 ~2003. 9. 13).
- Fig. 2.4 Sectional failure modes in the rubble mound breakwaters (CERC, 2002).
- Fig. 2.5 Waterlevel rising by the typhoon.
- Fig. 2.6 Failure modes in the rear side of head (CERC, 2002).
- Fig. 2.7 Failure modes in the head (Kim, 2000). †
- Fig. 2.8 Damage of coastal and coastal structures (Dongsun, Nulcha).
- Fig. 2.9 Damage of coastal and coastal structures (Dongdumal).
- Fig. 2.10 Damage of coastal and coastal structures (Doomun, East breakwater).
- Fig. 2.11 Damage of coastal and coastal structures (Janghang).
- Fig. 2.12 Spatial failure modes (Gadeokdo).
- Fig. 3.1 Irregular wave generating system.
- Fig. 3.2 Photo of wave generator and wave probes.
- Fig. 3.3 Experimental setup.
- Fig. 3.4 Flow of Study.
- Fig. 3.5 Schematic diagram of experiment.
- Fig. 3.6 Failed east breakwater in the new Busan port.
- Fig. 3.7 Experimental setup.
- Fig. 3.8 Photo of failed east breakwater head.
- Fig. 3.9 Development of new design concept for small fishery port.
- Fig. 3.10 Experimental setup (sectional shape).
- Fig. 3.11 Experimental conditions.
- Fig. 3.12 Variation of overtopping rate with relative wave height.
- Fig. 3.13 Variation of reflection rate with relative wave height.
- Fig. 4.1 Development plan and coastal damage.

List of Tables

- Table 2.1 Classification of typhoon by radius (1904~2003)
Table 2.2 Classification of typhoon by magnitude (1904~2003)
Table 2.3 Number of typhoon (KMA, 1904~2003)
Table 2.4 Classification with route of typhoon (KMA, 1904~2001)
Table 2.5 Return rate (%) with route of typhoon
Table 2.1 Classification of typhoon's radius (1904~2003)
Table 2.2 Classification of typhoon's magnitude (1904~2003)
Table 2.3 Number of typhoon (KMA, 1904~2003)
Table 2.4 Classification with route of typhoon (KMA, 1904~2001)
Table 2.5 Return rate (%) with route of typhoon
Table 2.6 Characteristics of storm surge with typhoon routes
Table 2.7 Typhoon "Maemi" (2003. 9)
Table 2.8 Wave parameters in the New Busan Port (typhoon "Maemi")
Table 2.9 Rainfall for typhoon Maemi and Rusa
Table 2.10 Rainfall (Day)
Table 2.11 Development projects of Kangseo-Gu coastal region
Table 2.12 The damage by typhoon "Maemi"
Table 3.1 Froude's similarity principal
Table 3.2 Specification of the instruments
Table 3.3 Experimental conditions

List of Symbols

H	: wave height
L	: wave length
T	: wave period
α	: incident wave angle
β	: seaside slope angle measured from the horizontal
W_T	: weight of Tetrapod
B	: width of core unit
W_c	: weight of core unit
Δ_T	: sharpe of Tetrapod
h_s	: height of berm
V_{\max}	: maximum water particle velocity on bottom
D	: percent damage to armor layer
ρ_w	: density of seawater
g	: gravitational acceleration
h	: water depth at the toe of the structure
e	: void ratio
d_{50}	: diameter of the sand at bottom
μ	: dynamic viscosity of water in vicinity of breakwater
β_B	: bottom slope seaward of the structure
l_s	: length of berm
Q	: overtopping rate
Q_{\max}	: maximum overtopping rate
Q_{mean}	: mean overtopping rate
q	: overtopping volume

A study on Design/Management of Rubble Mound Structures Considered Coastal Damages by Typhoon

Jung-Hyun Im

*Department of Ocean Science and Technology
Graduate School of Industry
Pukyong National University*

Abstract

Typhoon "Maemi" that is one of the strongest in Korea hit the South-Eastern coast of Korea include the New port and Kadeokdo. In this study, first all, the damage around the Kadeokdo was surveyed and characterized the damage modes.

The damage of rubble mound structures is one of the most important damages, and it is strongly requested that the applicable and soft measures. In the study, field survey and hydraulic model tests has been carried out to investigate the region why the damage by typhoon around the Gadeokdo. Through the results of comparative studies, we developed as the improved design conception of coastal structures(breakwaters) for the typhoon.

The hydrodynamic characteristics of rubble mound breakwater for typhoon can be summarized as follows:

1. Classified the spatial coastal failure modes in Gadeokdo by typhoon, and applicable measures are suggested. ;
2. It is better to use S-type coastal structures/breakwaters than to use uniform type breakwaters in the point of view of stability, reflection and overtopping. When design the structures to decrease energy of waves that it was needed to consider hydraulics characteristics by the sectional changes

as well as the cap-concrete height etc.

3. Developed the new design conception for coastal development project consider to coastal disaster, spatial failure modes of coastal structures and sectional characteristics of structures.

1. 서 론

1.1 연구배경

최근의 기상이변과 그에 따른 해상조건의 변화는 우리나라를 비롯한 각국 해안구조물 피해를 증가시켰으며, 매년 그 피해규모와 피해액이 증가하고 있는 추세이다.

이러한 해역조건의 변화는 대규모 항만에서 소규모 어항에 이르기까지 다양한 해역시설의 안정조건을 요구하고 있으며, 지금까지의 논의는 대부분 항만시설물을 중심으로 논의 된 것이 현실이다. 따라서 상대적으로 어항시설의 관리는 미흡하였으며 특히 소규모 어항에 대한 논의는 거의 전무한 실정이다. 해역의 실질적인 이용자인 어민의 산업현장이자 삶의 터전인 어항에 대한 해역시설의 관리와 안정성에 대한 연구는 중요한 과제이다.

우리나라의 경우 매년 태풍이라는 열대이동성 저기압의 영향을 받고 있다. 이러한 이동성 저기압은 우리나라에 엄청난 피해를 주며, 금번 내습한 태풍 “매미”의 경우 각종 재해기록을 갱신한 주요 사례가 되었다. 따라서 해양성재해 중의 하나인 태풍에 대한 좀 더 종합적이고 체계적인 연구가 필요하며, 이를 고려한 해안공학적인 측면에서의 연안개발을 위한 해안구조물 종합적 설계방향정립이 필요하다.

1.2 연구목적

본 연구에서는 태풍 “매미”가 내습한 이후 부산광역시 가덕도를 중심으로 소규모 어항 및 해안의 피해를 살펴보고, 외곽시설인 방파제의 피해와 그 원인을 분석하여 향후 해안개발계획과 해양성재해를 종합적으로 고려한 개발계획 수립의 필요성을 살펴보고자 한다.

이를 위해 먼저 가덕도 및 인근의 피해사례를 살펴보았으며, 그 중 가장 피해규모가 큰 부산신항 동방파제의 피해원인 분석을 통해 가덕도 일대의 태풍에 의한 피해 모드를 확인 하였다.

피해모드의 확인을 통해서 기존 해안구조물이 가지고 있는 구조적 약점/한계를 파악 하였으며, 이러한 구조적 약점을 극복하기 위해 향상된 경사제 단면형상인 복합단면 구조물의 수리학적 특성을 파악하였다. 이러한 결과는 가덕도 인근의 피해사례와 향후 개발계획의 수립에 있어서, 완충역을 갖는 새로운 설계개념의 하나로 도입된 복합단면 기능을 통한 해안구조물의 기능 강화에 대하여 검토하고자 하는 것이

다. 본 연구의 개요는 Fig. 1.1과 같다.

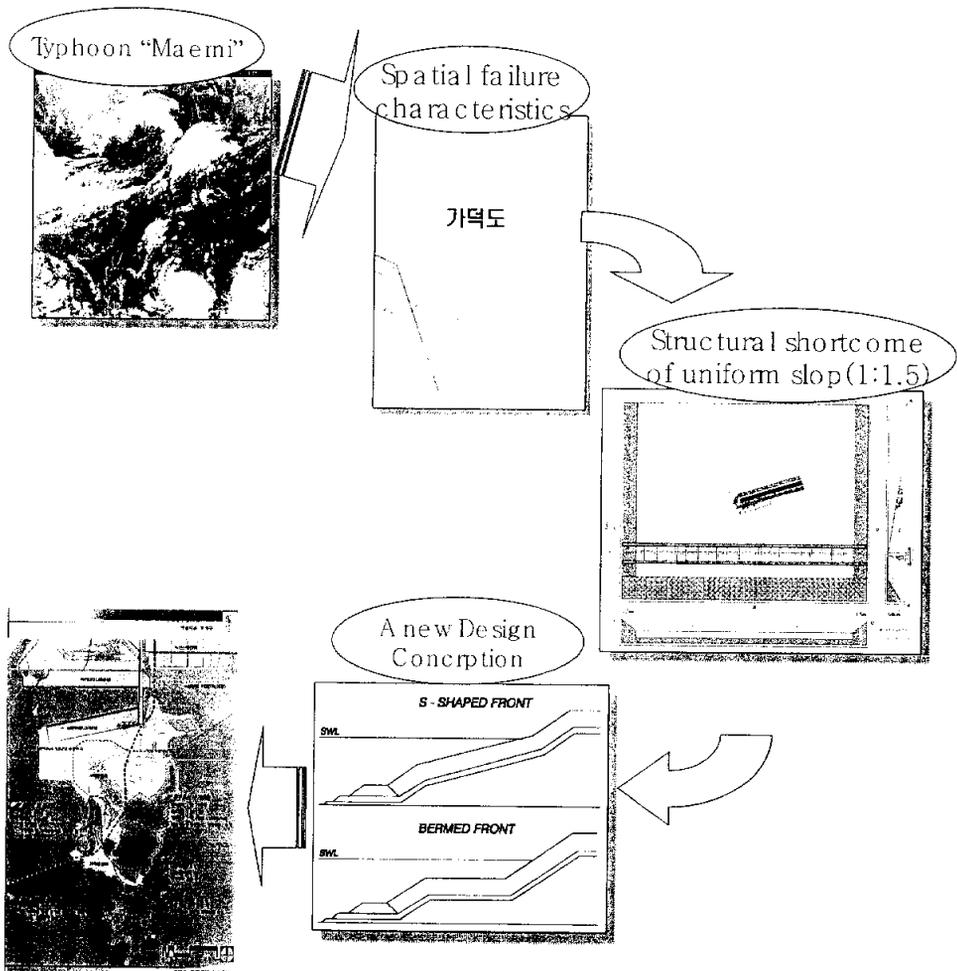


Fig. 1.1 Schematic diagram of study.

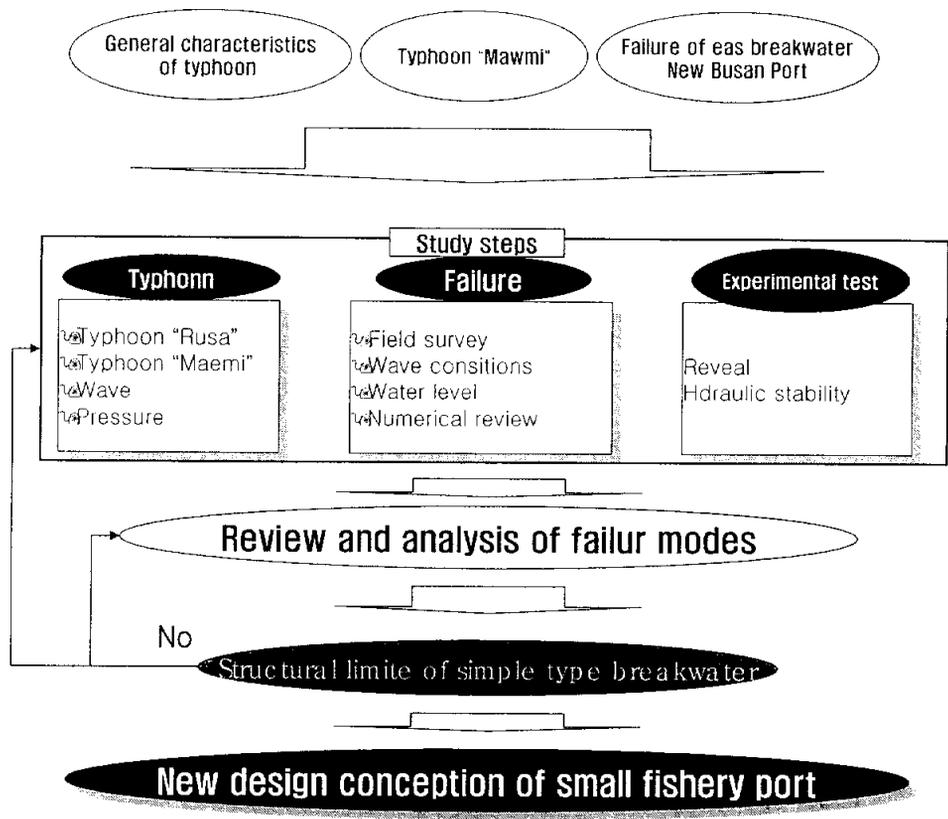


Fig. 1.2 Study flow.

2. 태풍 “매미”에 의한 피해현황 및 원인분석

2.1 태풍

2.1.1 태풍의 정의

일반적으로 태풍이라 함은 북태평양 서부에서 발생하는 열대저기압 중에서 중심 부근의 최대풍속이 17 m/s이상의 강한 폭풍우를 동반하고 있는 열대이동성 저기압으로 정의한다.

태풍의 대표적인 특징은 수온 27 ℃ 이상의 해면에서 태풍이 발생하며, 중심 부근에 강한 비바람을 동반한다. 온대저기압은 일반적으로 전선(前線)을 동반하지만, 태풍은 전선을 동반하지 않는다. 폭풍영역은 온대저기압에 비해서 대체로 작지만 그 강도는 강하다. 일반적으로 발생 초기에는 서북서진(西北西進)하다가 점차 북상하여 편서풍(偏西風)을 타고 북동진(北東進)한다.

2.1.2 태풍의 발생원인

현재까지의 발생설을 종합해 보면 태풍발생의 온상이 되고 있는 적도전선은 한대전선과는 다르게 양측의 기류 사이에 온도나 수증기 함유량의 차가 적으며, 저위도지방에서는 일반적으로 공기가 고온다습하여 대기는 조건부 불안정의 상태에 있기 때문에 적란운이 쉽게 발생하여 가끔 강한 스콜(squall)을 동반한다. 이 스콜이 처음으로 공기의 작은 소용돌이가 되며, 이것이 수렴기류로 인하여 적도 부근에 모이게 된다. 이 소용돌이가 북동무역풍대의 동풍 중에 발생한 수평 파동 때문에 한곳으로 모이게 되면 소용돌이가 크게 된다. 이것이 바로 태풍의 씨앗이다. 이 씨앗이 적도전선에서 기류의 수렴이 강해지면 크게 되어 마침내 태풍이 되는 것이다.

2.1.3 태풍의 크기 및 강도 분류

태풍의 크기 및 강도는 Table 2.1과 Table 2.2에서 나타내었다.

Table 2.1 Classification of the Typhoon by radius (1904~2003)

Class	Radius (wind speed > 15 m/s)
Small	300 km ~
Medium	300 km ~ 500 km
Large	500 km ~ 800 km
Extra Large	800 km ~

Table 2.2 Classification of the Typhoon by magnitude (1904~2003)

Class	Maximum wind speed
Low	17 m/s (34 kts) ~ 25 m/s (48 kts)
Medium	25 m/s (48 kts) ~ 33 m/s (64 kts)
High	33 m/s (64 kts) ~ 44 m/s (85 kts)
Very high	44 m/s (85kts) ~

2.1.4 우리나라의 태풍 및 해일

(1) 우리나라에 내습한 태풍 및 해일

여름철에 우리나라에서 발생하는 큰 해일은 태풍에 동반된 강한 바람이나 저기압에 의해 야기된다. 육지를 향해 부는 강한 바람에 의해 해수는 연안에 침적되어 해수면 상승을 초래하고 외해쪽으로 부는 경우 해수가 빠져나가 해수면이 하강하며, 태풍에 동반된 기압강하는 1 hPa 하강할 때 마다 약 1 cm의 해수면 상승을 초래하며, 강한바람으로 침적된 해수면을 더욱 높아지게 할 수 있다(Pugh, 1987). 태풍의 중심부근에서는 저기압에 의한 양의 해면이, 태풍 후면에서는 바람 응력에 의한 음의 해면이 나타난다고 하였다(오와 김, 1990).

- 한해에 3개 정도의 태풍이 우리나라에 영향을 미치며,
- 태풍내습의 최다 월은 8월, 7월, 9월의 순서
- 7월, 8월, 9월 석 달 동안에 내습한 태풍 수는 전체의 91%
- 정상경로: 발생기에는 북태평양 고기압의 연변을 따라 서진 내지 북서진하며 북위25° 부근에 도달한 다음 전향하면서 최성기에 달하며, 그 이후에는 포물선을 그리며 북동진하며 쇠약기에 접어드는 경우
- 이상경로: 경로가 포물선을 그리지 않고, 고리나 갈지자형의 진로로 가는 경우

Table 2.3 Frequency of Typhoon (KMA, 1904~2003)

month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total	Ave.
Frequency	-	-	-	-	2	18	89	115	78	8	-	-	310	3.1

Table 2.4 Classification of route of typhoon (KMA, 1904~2001)

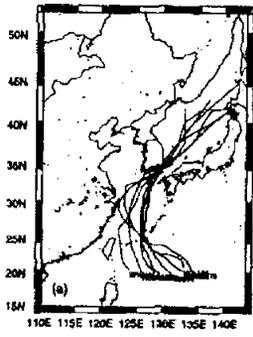
Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total	Ave.
General route	-	-	-	-	1	15	72	97	75	8	-	-	268	89
Extra route	-	-	-	-	-	2	14	16	2	-	-	-	34	11
Total	-	-	-	-	1	17	86	113	77	8	-	-	302	100

나. 태풍 경로에 따른 해일특성

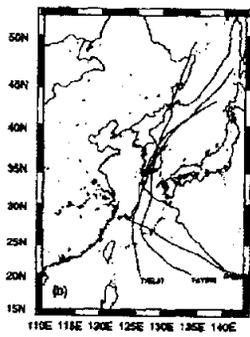
우리나라에 영향을 미친 태풍의 경로를 크게 4가지, 세부적으로는 7가지로 구분하였다. 각 특징은 다음 표와 같으며 각 TYPE의 경로는 그림과 같다. 태풍의 이동경로에 따른 기상 및 해일의 특성은 Table 2.5와 같다(윤과 김, 1998).

Table 2.5 Return rate(%) of route of typhoon

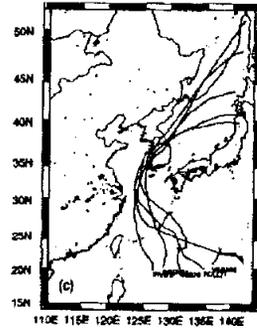
Type	route	Relative frequency (%)
01	East china sea - South sea - East sea	29
02		
03	yellow sea - North province	11
04		19
05	East china sea - Kaju(Japan)	17
06	East china sea - China - Yellow sea	10
07		15



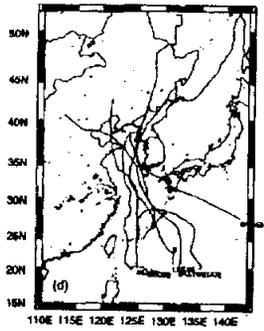
a) Type 01



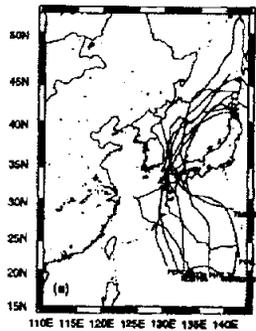
b) Type 02



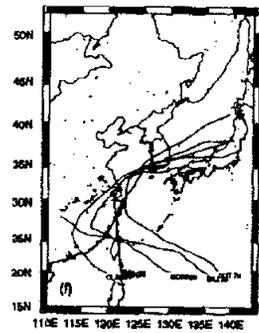
c) Type 03



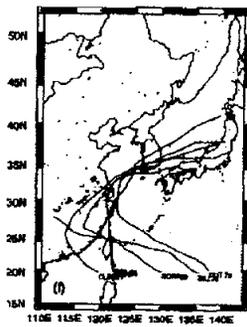
d) Type 04



e) Type 05



f) Type 06



g) Type 07

Fig. 2.1. The routes of Typhoons.

Table 2.6 Characteristics of storm surge due to the typhoon routes

Type	Characteristics
01	1. Negative storm surge (Incheon) 2. Strong wind speed (South sea)
02	3. Maximum storm surge height (100 cm) in the Yeosu with the route (Type 02)
03	1. Strong storm surge in the Yellow sea (Type 04, Type 03).
04	
05	1. More the strong storm surge in the south-west sea than the south east sea
06	1. Mild reduce of air pressure 2. Negative storm surge (Incheon, Anheung) (Type 06)
07	3. Wind direction(S): More strong storm surge in the yellow sea (Type 07)

2.2 태풍 “매미”의 특징

2.2.1 태풍 “매미”의 개요

한반도 남부지역을 강타를 시작으로 동해쪽으로 지나간 태풍 “매미”는 우리나라에 있어서 전형적인 9월 태풍이다(Type 02). 제14호 태풍 매미는 9월 6일 14시경 괌섬 북서쪽 약 400 km 부근 해상(16.0 N, 141.6 E)에서 저기압형태로 발생하였으며, 12일 18시경에 제주도 성산포 동쪽해상을 거쳐 동일 21시경에 경남 사천시 부근 해안으로 한반도에 상륙하였다. 태풍 “매미”는 북북동진하여 경남 함안을 거쳐 13일 03시경에 경북 울진을 거쳐 동해상으로 지나갔다. 태풍 “매미”는 중심 기압이 950 hPa 이었으며, 북제주군 기상대에서 순간 최대 풍속이 60 m/s 가 관측되어 우리나라 기록사상 최고치를 경신하였다. 태풍 “매미”에 의한 강우량은 경남 남해지역에서 453 mm로 가장 많은 양을 기록하였으며 최대 시간당 강우량은 9월 12일 20시~21시에 79 mm를 기록하였다.

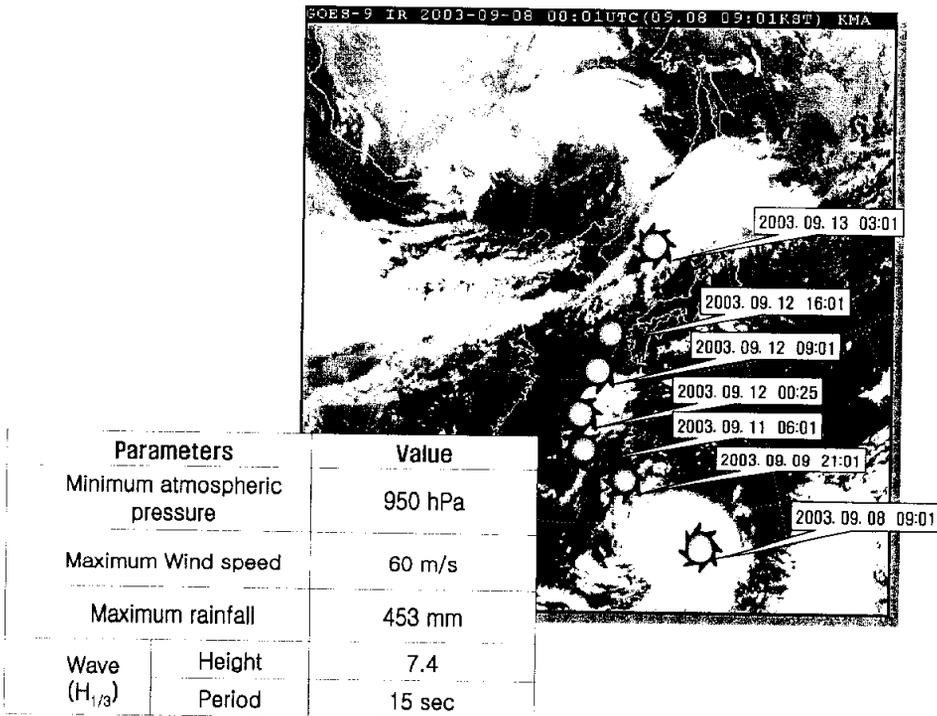


Fig. 2.2 Route of typhoon “Maemi” (2003. 9. 10 ~ 2003. 9. 12)

Table 2.7 Typhoon "Maemi" (2003. 9)

Time	Location	Direction (speed)	Pressure	Note
11. 10:00 (14-7)	25.3N, 125.1E	NNW, 8km/h	910 hPa	wind spped: 54m/sec, wave heght: 10~13m
11. 16:30 (14-8)	25.8N, 125.2E	N, 11km/h	915 hPa	wind spped: 54m/sec, wave heght: 10~13m
11. 22:30 (14-9)	26.8N, 125.8E	N, 20km/h	930 hPa	wind spped: 49m/sec, wave heght: 10~13m
12. 04:30 (14-10)	28.5N, 125.8E	N, 28km/h	935 hPa	wind spped: 46m/sec, wave heght: 10~13m
12. 07:30 (14-11)	29.5N, 126.1E	NNE, 32km/h	940 hPa	wind spped: 41m/sec, wave heght: 10~13m
12. 10:30 (14-12)	30.5N, 126.5E	NNE, 38km/h	945 hPa	wind spped: 41m/sec, wave heght: 10~13m
12. 13:40 (14-13)	31.6N, 126.7E	NNE, 40km/h	945 hPa	wind spped: 41m/sec, wave heght: 10~13m
12. 16:30 (14-14)	32.7N, 127.0E	NNE, 40km/h	950 hPa	wind spped: 41m/sec, wave heght: 10~13m
12. 19:30 (14-15)	33.8N, 127.5E	NNE, 40km/h	950 hPa	wind spped: 41m/sec, wave heght: 10~13m
12. 22:30 (14-16)	35.1N, 128.4E	NNE, 44km/h	955 hPa	wind spped: 41m/sec, wave heght: 10~13m
13. 01:30 (14-17)	35.8N, 128.7E	NNE, 42km/h	960 hPa	wind spped: 41m/sec, wave heght: 10~13m
13. 04:30 (14-18)	37.1N, 129.7E	NNE, 42km/h	970 hPa	wind spped: 31m/sec, wave heght: 6~9m
13. 07:30 (14-19)	37.8N, 130.7E	NE, 40km/h	970 hPa	wind spped: 31m/sec, wave heght: 6~9m
13. 10:30 (14-20)	38.6N, 131.7E	NE, 40km/h	975 hPa	wind spped: 28m/sec, wave heght: 6~9m
13. 16:30 (14-21)	40.5N, 134.5E	NNE, 46km/h	980 hPa	wind spped: 26m/sec, wave heght: 6~9m

2.2.2 태풍 “매미” 내습 시의 해상 및 기상

(1). 조위(조석)

부산항 검조소(N 35° 05′ 35″, E 129° 02′ 15″)는 부산광역시 영도구 대교동 3가 80번지 해상에 위치하고 있다. 관측개시일은 1956년 2월 1일이며 검조의 종류는 OTT형이며, 기준면은 평균해수면 아래 65 cm에 설치하였다.

제14호 태풍 “매미”에 의한 조석관측 기록은 부산항 검조소의 위치에서 관측된 기록을 보정한 결과 부산항에서의 이상고조는 생각했던 예상치 보다 크지는 않았다. 이 이유는 부산항의 검조소의 위치는 해수가 유입되어 일정한 곳에서 폐쇄만내의 수위가 어느 정도 높게 상승되었는지는 정확하게 기록할 수 없는 위치이기 때문에 이보다 높은 해수면의 상승이 있었다고 판단된다.

국립해양조사원 남해해양조사사무소에서 제시한 기록값에 의하면 Fig. 2.3과 같이 2003년 9월 12일 21:00에 가장 높은 기록을 가지고 있으며 이 값은 극고조(H.H.W) 174 cm보다 38 cm 높은 211 cm를 기록하고 있다.

부산신항이 건설되는 가덕도 검조소에서 관측된 값은 2003년 9월 12일 21시 40분에 373 cm로 기록되어 있다. 이 값은 기록지에 숫자로 기록되어 있는 값이지만, 한국컨테이너 부두공단의 신간만 및 자성대 부두 크레인 자체 붕괴조사에 따르면 이 보다 약간 높은 값을 제시하고 있다.

(2). 파랑

이번 태풍은 예상했던 과거의 기록값 보다 크기 때문에 설치했던(인근 주요공사 지점) 파고계의 유실이 있어 정확한 값을 제시하기 매우 어려운 문제를 제시하고 있다. 파장은 대체로 H_{max} , $H_{1/3}$, $H_{1/10}$, H_{mea} 등으로 구분하고 있지만 관측 시에 기록되는 자료는 없다. 단지 부산항 일원에 대하여 광안대로 해상관측탑을 바탕으로 추정하였다. 이때, 광안대로 관측지점의 H_{max} 는 7.2 m로서 유의파고 5.5 m로 광안대로 유지관리사무소에서 제보하고 있다. 이 값들은 오로지 추정값이며 실제로 관측기기의 기록값은 기록되어 있지 않았다. 즉, 측정범위를 넘어섰다고 볼 수 있다.

동시에 (주)한국연안개발기술에서는 Sarah등의 추정으로 인해 부산항 심해 유의파고는 10.4 m이고, 광안대로 해상관측탑 유의파고 $H_{1/3}$ 는 7.4 m로 제보하고 있다. 이렇게 값들이 약간 다르게 제시되는 이유

는 정확한 관측값이 없기 때문이다.

한국해양연구소에서 제시한 부산신항건설현장에서 관측된 비교적 정확한 자료는 2003년 9월 12일 21:00에 최대유의파고 $H_{1/3}=7.4$ m, $T_{1/3}=15.0$ sec 이며 최대파고 $H_{\max}=10.84$ m로 제시하고 있다.

Table 2.8은 부산신항 동방파제 전면에서 2003년 9월 12일에 관측된 파랑특성계수를 정리한 것이다.

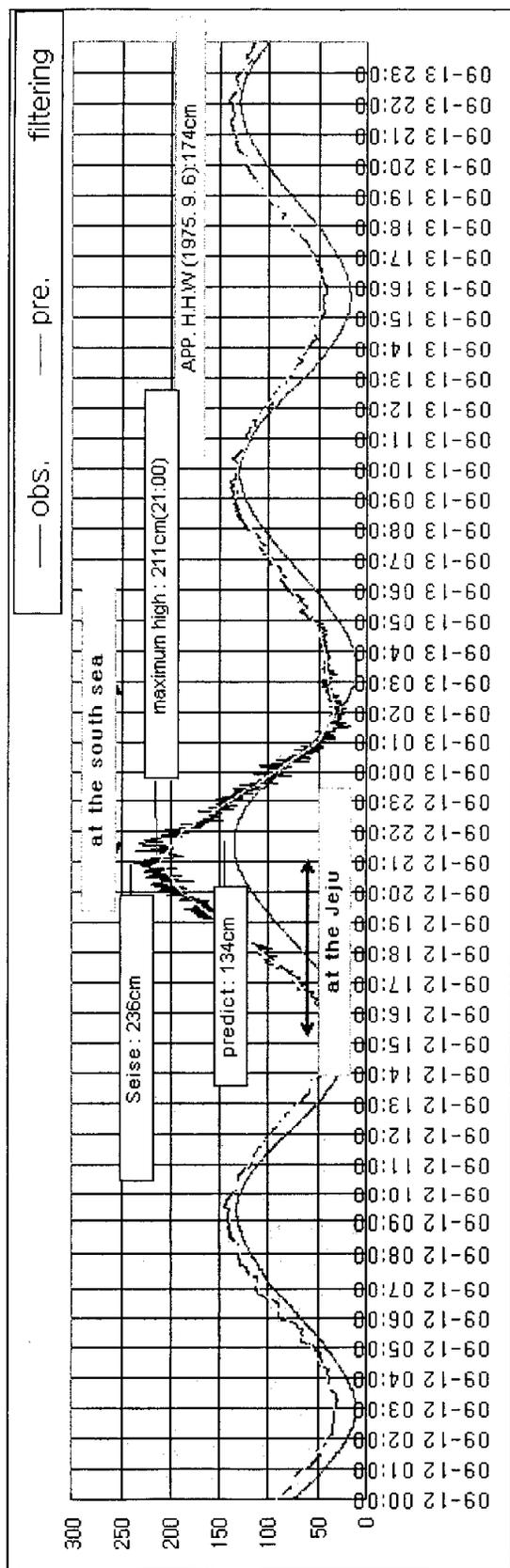


Fig. 2.3 Variation of water level at Yongwon (2003. 9. 12 ~ 2003. 9. 13).

Table 2.8 Wave parameters at the New Busan Port
(Typhoon "Maemi")

Time		H _s (m)	T _D (s)	T _Z (s)	H _{max} (m)	H _{rms} (m)	H _{1/3} (m)	H _{1/10} (m)	T _{max} (s)	T _{1/3} (s)	T _{H1/3} (s)	T _{Umax} (s)	θ (deg)	s (deg)
12D	0H	0.26	10.27	6.65	0.39	0.18	0.25	0.32	12.33	9.94	9.22	11.77	182.3	53.6
12D	1H	0.37	11.03	5.62	0.66	0.26	0.37	0.45	14.70	10.17	7.81	4.34	177.2	44.5
12D	2H	0.46	11.65	7.77	0.74	0.31	0.44	0.53	14.51	11.66	10.87	11.53	174.3	43.8
12D	3H	0.67	13.86	9.42	1.14	0.46	0.66	0.82	18.16	12.34	11.49	12.61	163.4	35.4
12D	4H	0.63	13.76	9.47	0.91	0.43	0.62	0.78	15.91	13.36	12.33	11.13	173.6	42.6
12D	5H	0.56	11.02	9.15	1.06	0.38	0.55	0.74	14.92	11.88	11.17	11.21	173.8	31.8
12D	6H	0.56	12.60	7.81	0.86	0.36	0.52	0.67	14.26	10.72	10.12	11.05	180.0	56.1
12D	7H	0.54	11.75	6.43	0.95	0.37	0.52	0.68	12.45	7.54	6.34	9.39	209.0	59.7
12D	8H	0.48	12.73	5.47	0.77	0.34	0.46	0.59	13.03	6.67	5.65	9.06	161.0	60.7
12D	9H	0.67	12.72	7.10	1.02	0.46	0.65	0.86	15.71	9.71	9.04	8.21	167.8	49.0
12D	10H	0.74	11.05	6.94	1.58	0.49	0.70	0.91	14.26	9.97	9.36	9.65	174.5	35.3
12D	11H	0.91	10.99	7.08	1.54	0.61	0.88	1.10	14.45	10.01	9.36	9.48	175.6	41.5
12D	12H	1.12	13.82	7.87	1.72	0.77	1.10	1.36	15.76	11.34	10.21	10.24	172.9	38.7
12D	13H	1.68	11.72	9.36	2.46	1.16	1.65	1.98	18.12	13.03	11.84	11.80	172.0	41.4
12D	14H	2.18	13.74	10.33	4.38	1.53	2.16	2.86	21.91	14.64	13.01	12.48	164.5	52.8
12D	15H	2.68	16.85	11.97	3.71	1.89	2.71	3.33	23.73	16.95	15.20	13.84	179.7	49.9
12D	16H	3.17	12.92	11.89	4.51	2.22	3.07	3.64	19.84	15.77	14.22	14.32	171.8	45.2
12D	17H	3.79	17.10	11.74	6.29	2.68	3.96	5.23	23.63	17.19	15.55	15.75	181.3	46.6
12D	18H	4.41	16.77	11.72	6.94	3.09	4.40	5.51	22.64	16.53	14.73	14.96	201.6	61.7
12D	19H	5.78	16.79	10.83	10.12	4.07	5.85	7.47	21.89	17.00	15.29	17.21	200.2	57.0
12D	20H	7.36	16.71	10.63	11.61	5.38	7.41	9.35	20.72	16.76	14.66	16.02	188.1	49.1
12D	21H	8.00	16.56	11.06	10.84	5.81	7.77	9.04	21.36	16.95	15.49	16.07	175.0	43.7
12D	22H	7.36	16.42	11.22	9.56	5.35	7.38	8.56	21.43	17.05	15.30	16.07	172.9	34.7
12D	23H	4.41	13.85	9.23	6.55	3.00	4.35	5.55	17.78	14.16	13.26	16.02	165.2	37.6

(3) 기압분포

기압분포는 이곳에 발생하는 바람의 세기를 알 수 있는 가장 기초적인 자료이다. 또한 기압분포는 태풍의 경로와는 밀접한 관계가 있다. 태풍이 발생하여 우리나라를 완전히 통과하였을 때까지의 기압을 날짜 및 시간별로 정리한 것은 Table 2.7이다.

이 태풍의 최대중심기압은 9월 11일 10시경에 910 hPa로써 대형에 속하는 태풍의 위력을 갖고 있었다. 이때 태풍의 위치는 일본 오카나와섬 나하 남서쪽 280 km 부근 해상이었다. 우리나라 남부지방인 부산, 마산, 거제지역을 통과할 때의 중심기압은 950 hPa이고, 여수지방의 중심기압은 955 hPa이다. 중심부최대풍속이 41m/s이었다. 이때 저기압에 의한 평균해수면의 상승이 지역에 따라서 약간 다르게 발생했다고 판단된다. 지금까지 알려진 바에 의하면 저기압이 통과될 때의 평균해수면의 상승이 가장 크게 작용하고 있다.

(4) 이상고조

조석은 천문조와 기상조로 나뉜다. 천문조는 각 항만이 위치하고 있는 지형에 따른 진폭과 지각을 가지고 수위의 증감을 진행하며 이러한 증감은 장기간의 관측결과를 이용하여 예측이 가능하며 실제로 한국 해양조사원에서는 조석예보를 실시하고 있다. 그러나 이상고조는 천문조는 달리 지역조건, 기상조건 그리고 해상조건 등의 여러 조건에 의해서 발생된다. 따라서 예측은 어려우며 단지 과거에 기록된 값들을 이용하고 있다. 우리나라에서는 해안지역의 구조물을 설계할 때 이상고조값을 고려하여 설계를 했다면 보다 적은 피해를 입었을 것이다. 따라서 구조물의 성격에 따라서 이상고조 값을 고려하는 설계방법이 검토되어야 한다. 일반적으로 이들 값들은 공학적으로 이용할 경우 두 가지 측면에서 검토되어야 한다.

첫째는 높게 예측할 경우 상당한 경제적 손실을 예상해야 하며, 둘째는 낮게 예측할 경우 재해의 영향을 크게 받아 재해 방지에 헛점을 들어낸다. 따라서 정확한 값을 예측해야 하지만, 실제로 값은 문제점을 가지고 있다. 이상고조를 발생시킬 수 있는 원인은 다음과 같다. 즉 이상고조는 바람에 의한 해면상승, 저기압 통과로 인한 평균해수면 상승은 약 60cm로 볼 수 있다($\Delta h = 0.99 \times 60 = 59\text{cm}$). 즉, Δh 의 값은 저기압의 통과로 인하여 각 항의 평균해수면이 평상시보다 59cm정도 상승하였다는 것이다.

이 값은 배후지의 침수에 큰 영향을 주는 값으로 지금까지 내습한 태풍 중에서 가장 큰 해수면을 상승시킨 것으로 생각된다.

바람에 의한 해면 상승고를 구할 수 있는 식이 제안되어 있지만 이 식의 사용한계 등으로 인하여 정확한 산정값을 제시할 수가 없다. 또한 각 지역에 대한 계수 등을 산정하여 사용하기 때문에 이 식을 사용하여 정확한 값을 산정하기는 매우 어렵다. 그러나 바람의 영향으로 인하여 만내의 수위상승이 있었다는 것은 기정사실이다. 아래 식은 바람이 장시간 취송하여 해면경사가 정상상태가 되었을 때의 수위상승고를 나타내는 식이다.

$$\Delta h = K \times 10^{-2} \cdot \frac{F}{h} V^2 \quad (2.1)$$

여기서

Δh : 바람에 의한 해면 상승고(cm)

F: 바람의 취송거리 또는 대안거리(km)

V: 풍속(m/sec)

h: 바람의 취송축방향으로 측정한 평균 수심(m)

θ : 풍향과 해안선이 수직을 이루는 각도

K: 일본에서 해면간척에서는 4.8을 사용하고 있다.

태풍의 기압분포는 그 중심으로부터 원형이며 대칭이다. 그리고 등압선(isobar line)은 대체로 동심원상이며 중심은 900~980 hPa이나 보통 980 hPa 정도인 것이 많고 제1외측의 등압선은 1,000~1,010 hPa 정도이다.

만의 부진동에 의한 평균수면의 상승은 폐쇄만 내의 장주기 파랑이 내습되면서 발생하는 현상으로 이를 관측하여 정확한 값을 제시하기는 매우 어렵다. 그러나 이번 태풍의 경우 주변 목격자의 진술에 의하면 하나의 파도가 도달되어 호안을 넘어서 밀려오는 파고에 의해서 일시에 침수가 되었다는 말들을 종합해보면 이 부분은 장주기의 파랑이 내습되어 일시적으로 수위가 상승되어 호안을 넘어 옴으로써 침수가 되었다고 생각할 수 있다. 특히, 부산지역과 마산만의 경우는 이러한 영향을 많이 받는 곳으로 월파가 발생할 때의 상황을 알 수가 있다. 다시 말해서 이런 현상은 비교적 만의 폭보다 만의 길이가 길어서 장주기의 영향을 많이 받는 폐쇄만에서 발생한다.

(5) 강수량

태풍 매미가 북상하면서 우리나라에서는 9월 11일부터 제주도를 비롯한 남해안 지방이 태풍의 영향권에 들어서면서부터 태풍이 빠져나가기 시작한 9월 13일 오전까지 비가 내렸다. 태풍 “루사” 및 “매미”로 인한 강수량은 주로 강릉일대와 남해안에 집중되는 양상은 비슷하게 나타났으나 양적인 면에서는 태풍 “매미”가 “루사”에 비해 훨씬 적게 나타났다. 태풍 매미로 인한 주요 지역별 강수량을 살펴보면 대관령 397 mm, 강릉 308 mm, 태백 209 mm, 고흥 304 mm, 남해 453 mm, 진주 271 mm, 대구 197 mm 등 최고 450 mm 안팎의 강수가 내렸다. 지역별 최대시우량을 살펴보면 남해 79 mm (9.12 20:00~21:00), 대관령 53 mm (9.13 01:00~02:00), 진주 51 mm (9.12 20:00~21:00), 강릉 44 mm (9.13 03:00~04:00)로 비교적 많은 양이 집중되었음을 알 수 있다. 하지만 작년 태풍 “루사”의 경우 강릉에서 100.5 mm (8.31 21:41~22:40)가 발생한 것과 비교하면 강우강도에서도 상대적으로 약했음을 알 수 있다. Table 2.9에는 태풍 “루사”와 “매미”가 우리나라에 영향을 미친 기간 동안 주요 지점에서 관측한 강수량을 나타내고 있다.

Table 2.9 Rainfall for typhoon (Maemi and Rusa)

	Middle (mm)	South (mm)	Max (mm)
Maemi	Daegoanryung 397	Yeosu 258	Namhae 79mm
	Kangreung 308	Namhae 453	(9.12 20:00~21:00)
Rusa	Kangreung 897	Hapcheon 303	Kangreung 100.5mm
	Donghae 336	Suncheon 266	(8.31 21:41~22:40)

태풍 매미로 인해 강원도 지역에서는 Table 2.9에서와 같이 9월 11일 00시부터 9월 13일 12시까지 대관령 397 mm, 강릉 308 mm, 태백 209 mm, 속초 207 mm, 동해 205 mm 등 주로 400 mm 이내의 강수량이 내렸는데, 대부분 산악지역으로 구성되어 있어 같은 유역 내에서도 지형적인 영향으로 지역에 따라 그 편차가 매우 크게 나타내고 있었다. 강원도 지역의 주요 시·군에서는 각 읍, 면, 동 별로 우량 관측소를 운영하고 있어 지역별 강수량상을 쉽게 살펴볼 수 있다. 강릉지역에 대한 강수량은 왕산면에서 358 mm로 가장 많은 양의 강우가 발생하였으며, 구정면 326 mm, 성산면 302 mm, 강릉시 299 mm 등 전반적으

로 200~358 mm의 비가 내렸으며 평균 280.4 mm가 발생하였다. 강수량 자료에서 나타나듯이 동일 유역 내 인접지역임에도 불구하고 약 160 mm 가량의 강수량 차이가 나타나 지역별 강수량의 편차가 큼을 알 수 있는데, 시간당 30 mm 이상의 강우가 내린 것은 9월 13일 02시에서부터 04시까지 집중되었음을 알 수 있으며 이 3시간동안 내린 비의 양은 전체 양의 약 33.5 %에 해당하는 집중호우가 내렸음을 확인할 수 있다. 특히, 왕사면의 경우 40 mm 이상의 호우가 약 6시간 정도 지속됨으로서 이 지역에 많은 피해가 발생하게 되었다.

삼척지역에서는 시청 257 mm, 근덕면 258 mm의 강수량을 보였으나 도계읍 458 mm, 노곡면 493 mm, 미로면 504 mm, 가고면 544 mm, 신기면 502 mm 등 주로 태백산맥을 중심으로 동해쪽으로 450 mm 이상의 집중호우가 발생하였으며, 지역 평균 401.9 mm로 강원도 지역에서 비교적 많은 강우가 내린 지역으로 나타났다. 또한, 삼척지역에서는 9월 13일 06시경에 전체적으로 비가 그쳤는데, 강우가 종료되기 직전인 9월 13일 00시부터 05시 정도까지 5~6시간 동안 50~86 mm에 이르는 폭우가 집중되었는데 이 시간동안 내린 비의 양은 전체 양의 65.0 %에 해당하는 양으로 집중호우로 인한 피해가 더욱 가중되었을 것으로 보인다.

정선지역에 대한 강우현황은 임계면에서 100~200 mm 정도의 강우가 내렸다. 이러한 양은 지역 평균 강수량의 배에 가까운 양이 임계면에 집중되었음을 알 수 있다.

일반적으로 저기압인 태풍이 통과할 때 비교적 많은 강수량을 보이고 있지만 이번 태풍의 특징 중 하나는 비교적 강수량이 적고 강한 바람이 장시간 불었다는 것이다.

Table 2.10은 태풍통과 전후의 기상청자료를 정리한 것으로 각 지역에 대한 일일 총 강우량이다.

Table 2.10 Rainfall (Day)

Rainfall	Busan	Masan	Geojedo	Yeosu
9. 11	40	20.0	24.5	42.5
9. 12	64	157.0	120.5	216.0
9. 13	0	1.0	0	0.1
total	104 mm	178 mm	145 mm	258.6 mm

이 표에 의하면 여수지역은 9월 12일 강우량이 가장 많이 발생하였다. 따라서 침수피해를 강우량에 의한 영향으로 생각할 수 있으나 그 외 지역은 강우량만의 영향으로 돌릴 수는 없다.

부산의 경우는 태풍 당일 64 mm로써 비교적 다른 태풍이 통과될 때보다 적은 강우량을 보였다. 따라서 부산지방과 마산지방, 거제도는 강수량의 영향에 의해서 침수피해보다는 해일로 인한 해수면 상승으로 인하여 침수피해가 컸다고 생각된다.

2.3 피해원인 분석

본 연구에서는 태풍에 의한 해안구조물의 피해를 파랑에 의한 파괴와 침수에 의한 파괴로 구분하여 조사하였으며 기본적인 단면 피해와 제두부에서의 평면피해는 다음과 같다.

2.3.1. 사석방파제의 기본 파괴모드

일반적인 사석방파제의 단면 파괴모드는 Fig. 2.4에서 나타내는 바와 같다.

- ① 피복석의 파괴, ② 월파, ③ 활동파괴, ④ 근고공의 유실, ⑤ 기부세굴, ⑥ 원호활동 파괴, ⑦ 중간피복석의 불안정, ⑧ 내부사석의 침하, ⑨ 상치콘크리트의 활동, ⑩ 지반의 침하, ⑪ 배후면 체체의 활동, ⑫ 피복석의 유실, ⑬ 상치콘크리트의 파괴·전도·활동

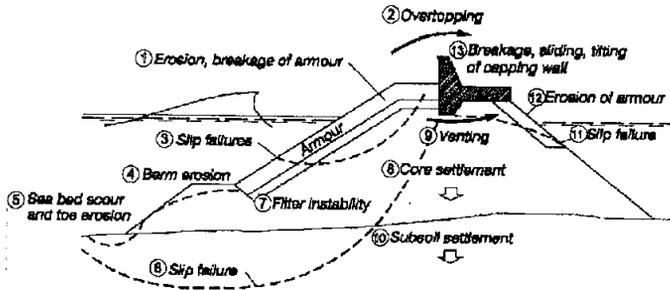
이러한 파괴모드는 일반적인 수면에 대해서 발생하는 파괴의 형식이며 입사하는 파랑과 자중으로 저항하는 사석 및 소파블록의 관계에서 발생한다. 또한 지반에 의한 파괴 또한 빈번하게 발생한다. 이외에도 폭풍해일이나 지진파에 의한 장주기 수면변동과 같은 비선형적인 파괴가 발생할 수 있다.

금번 태풍 “매미”로 인한 피해가 막대하였던 원인은 해수면의 상승을 동반한 해일로 인한 피해가 컸다. 부산신항 동방파제의 경우도 해수면의 상승이 발생하였으며, 금번 태풍 내습시의 해수면의 상승요인을 살펴보면 그림과 같다. 태풍의 우리나라 내습시간이 대조기 만조시였고, 태풍매미의 중심기압이 950 hPa이었으므로 해수면의 상승을 평균수면에 비해 50 cm가 넘는 상승을 가져왔으며, 수위상승으로 인한 고파랑의 내습은 쇄파에 의한 Wave Setup으로 인해 해수면상승을 증가시키고, 해상 바람에 의한 수위상승효과에 의해 해수면이 상승하였다. 그리고 현지인의 증언을 통한 체감 해수면 상승은 1.0 m 이상의

값을 나타낸다. 허나 실제 예측 및 수치모의를 통한 결과는 60~90 cm의 범위를 보인다.

사석경사제에서의 평면적인 파괴의 모드는 굴절에 의한 파랑집중, 제두부에서의 사면상의 쇄파와 진행파랑의 중첩, 경사입사파에 의한 제체의 파괴, 피복석 중량 변화구간에서의 파괴 등으로 크게 나눌 수 있으며, 제체 자체에서의 안정성도 있지만 주변지형의 영향도 직접적인 파괴원인이 되기도 한다.

Fig. 2.6, Fig. 2.7에서는 제두부주위에서의 파괴모드를 나타내고 있으며, 이러한 피복석의 파괴는 입사파향 및 파형경사에 직접적으로 영향을 받는다.



Overview of failure modes for rubble mound breakwaters

Fig. 2.4 Sectional failure modes in the rubble mound breakwaters(CERC, 2002).

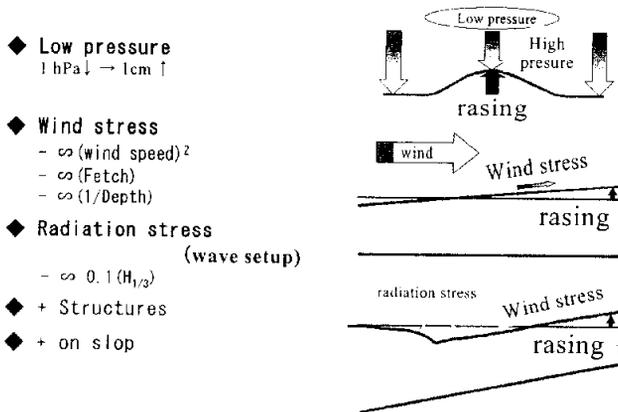


Fig. 2.5 Waterlevel rising by the Typhoon.

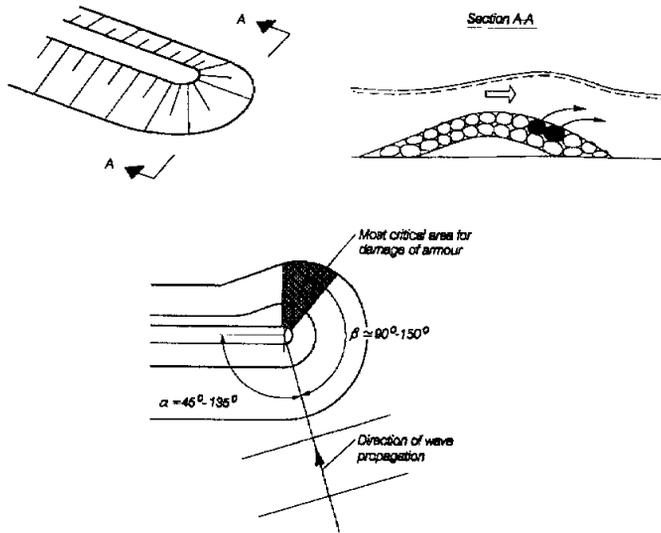


Fig. 2.6. Failure modes in the rear side of head(CERC, 2002).

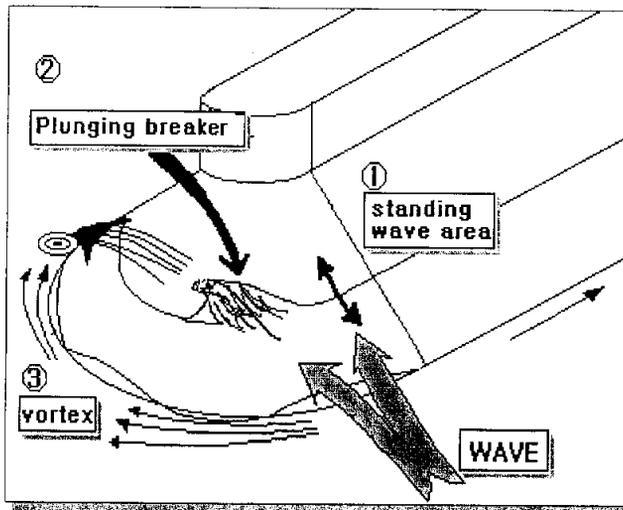


Fig. 2.7 Failure modes in the head(Kim, 2000).

2.3.2 태풍 “매미”의 피해

2003년 9월 6일 마리아나 제도의 괌섬 북서쪽에서 발생해 한반도에 막대한 피해를 입히고 14일 일본 삿포로 북동쪽 해상에서 소멸한 중형급 태풍인 “매미”는 처음 발생 시 996 hPa 중심최대풍속이 18 m로 열대성 폭풍에 지나지 않았으나 이후 서쪽으로 이동하면서 점차 태풍으로 발달해 중심기압이 910 hPa의 강력한 태풍으로 변모 하였다. 9. 12일 16시 제주도를 거쳐 20시에는 경상남도 삼천포 해안에 상륙하였고, 7시간 뒤에 영남 내륙지방을 지나 13일 03시 무렵에는 경상북도 울진을 거쳐 동해안에 진출하면서 약해지기 시작한 뒤, 14일 06시 일본 삿포로북동쪽 해상에서 태풍으로서의 일생을 마쳤다.

한반도에서 기상관측을 실시한 1904년 이래 중심부 최저기압이 가장 낮은 태풍으로 12일 경남 사천부근에 상륙했을 때의 최저기압은 1959년 9월 발생한 태풍“사라”(사망실종 849명)의 952 hPa보다도 낮은 950 hPa 이었다, 이는 5,000억원의 재산피해와 사망·실종 1,231명의 인명피해를 낸 1987년 7월의 켈마(972 hPa), 2002년 8월 30일~9월 1일 발생한 “루사” (970 hPa 사망실종 270명)보다도 훨씬 강한 것이었다. .

태풍“매미”의 피해규모는 인명피해 130명(사망117명, 실종 13명), 재산피해 4조 7,810억원이며, 4,089세대 1만 975명의 이재민이 발생하였고, 주택 2만7,547개소가 유실되거나 파괴 되었다, 이로 인해 2002년 14개 시도 156개 시군구, 1,657개 읍면동이 특별재해지역으로 선포 되었다,

강서구의 경우 급번 태풍“매미”는 해일을 동반한 태풍으로 가덕도 등 섬과 해안지대에 극심한 피해를 입혔으며, 녹산수문 일대 침수, 녹산국가공단 등 중요시설물 파괴 및 침수, 이에 따른 정전 등으로 피해가 확산되었으며, 피해현황을 보면 사망5명, 이재민 1,572세대, 주택침수 1,243동 농경지 670 ha 등 1,501억원에 이르고 있다, 또한 도로, 하천, 항만시설 등 30개소, 학교, 군사시설 등 65개소, 선박 612척 유실을 가져오기도 했다.

한편 행정기관이 관리하는 공공시설이나 피해복구대상인 사유시설을 제외한 해안이나 산지 등의 시설에 대하여는 피해액이나 복구계획이 수립되지도 않는 등 문제점이 노출되기도 하였다, 특히, 부산 신항만 공사가 한창 진행중이고, 가덕도 일원은 전에 없던 강한 태풍의 영향 등으로 침수피해 및 어항시설, 해안도로 유실 등의 피해가 발생 하였을 뿐

아니라 해안변 지역이 해일과 파도의 영향으로 수십년간 보존되어온 자연경관이 일시에 파괴되었고, 침식 정도도 매우 심해 중·장기적 관점에서 해안변의 침식방지 대책이 수립되어야 할 것으로 보인다,

따라서 본 연구에서는 2003년 9월에 내습한 태풍 “매미”의 피해정도를 분석하고, 이로 인한 피해 및 복구계획, 해안변 침식의 원인분석과 함께 향후 가덕도 개발계획 수립 시 고려사항, 연안역의 효율적인 이용 및 보존방안에 대하여 고찰 하고자 한다.

(1). 강서구 일원의 피해실태(해안역을 중심으로)

태풍 “매미”는 초저녁에 강력한 바람과 함께 해일을 동반 급습함으로 인해 미처 손도 쓰지 못하고 몸만 피신하는 21C 첨단사회를 살아가고 있는 국민들이 웃지못할 촌극을 연출하고 말았다, 이는 초유의 대형급 태풍이라는 사실에서 원인을 찾을 수도 있겠지만, 그동안 인간이 부분 별하게 지구환경을 파괴한 결과 이어지는 재앙이기도 하다, 강서구는 한반도의 남쪽 끝 부산의 서쪽에 위치해 있고, 낙동강이 끝나는 하구역으로 김해평야가 펼쳐진 분지형의 지형을 이루고 있으며, 해안에는 명지주거단지, 녹산국가산업단지, 부산신항만개발 등으로 480만평의 매립이 이루어진 곳이며, 하구일원은 부정형적 사주가 발달하여 낙동강 유출수의 해양 유달을 저해하고 있고, 김해지역의 공단 및 도시개발 등으로 새롭게 조성된 부지는 일시에 대량의 빗물이 땅속으로 스며들지 못하여 콘크리트 바닥이나, 도로 등을 통해 낮은 곳으로 이동함으로 인해 강서구 지역으로의 우수가 유입되어, 새로운 재해발생의 원인을 제공하기도 한다, 한편 대규모 매립으로 인해 해안은 리아스식의 부정형적 자연지형에서 일직선상의 매립지형으로 변했고 이로 인해 해양으로부터의 파랑이나 해일 등이 해안에 내습할 때 해수면의 상승을 초래하여, 육지로 바닷물이 넘치는 현상을 보인다.

개발론자들은 이러한 사실을 간과하여 녹산국가공단과 명지주거단지 등 해안변에 조성된 임해공업단지는 막대한 해일피해를 감수해야 했다. 또한 가덕도 지역은 태풍 “매미”의 진행방향과 직접 맞닿아 있어 강력한 바람과 이에 따른 파랑 및 해일로 인해 부산 신항만 북컨테이너 부두축조공간 구간과 접하는 서안 쪽이 낙동강 하구일원과 접하는 동안쪽보다 훨씬 심각한 피해를 가져왔다.

(2) 피해사례

태풍 “매미”로 인한 피해사례를 지역별로 구분해 보면 우선 명지주거단지과 녹산국가산업단지, 진우도 등 가덕도 동안의 육지쪽과 가덕도 동안과 가덕도 서안으로 크게 대별해 볼 수 있을 것이며 지역별로 피해사례를 살펴보면 다음과 같다.

① 해안 매립지 등 육지부 피해

강서구 지역에서 지난 1990년부터 2011년까지 조성 완료하였거나 조성 중인 공유수면 매립관련 사업을 보면 대규모적인 사업이 4개소에 총 투입사업비는 13조 3,210억원, 조성면적은 480만평(15,966천㎡)에 이르고 있다. 이는 역으로 말하면 동일면적의 해수면이 없어지고 육지로 변했다는 것이다. 이러한 해안매립은 생태계의 파괴는 물론 태풍이나 해일 등 대규모적인 재난 시 막대한 피해를 가져오고 있으며, 특히 기상이변 등에 따른 해일을 고려하지 못한 토지조성 구간에 대하여는 지난 태풍 “매미” 내습 시에 보여주었듯이 심각한 침수피해를 가져다 주었다.

특이한 것은 녹산국가공단과 마주하고 있는 놀차지구(항월, 정거, 선창)는 태풍의 진행방향과는 전혀 무관하나 해일로 인한 피해가 가덕도 지역중 가장 심각한 모습을 보이고 있으며, 이에 대한 원인분석도 여러 가지로 추정되나, 해일의 발생에 따른 각종 해수면 상승요인으로 인해 저지대 해안이 침수되었을 것으로 판단된다.

② 동선~놀차간 방조제 등 가덕도 동안지역

동선~놀차간 방조제 구간은 비교적 해면과 비슷한 높이의 지형을 보이고 있는 지역으로 지난 태풍 “매미” 내습 시 파도와 해일에 의한 피해를 상당히 입은 지역이며, 연래적으로 태풍에 의한 피해가 반복되는 지역이다, 이는 낙동강 하구지역의 태평양과 마주하고 있으나 파도를 막아줄 방파제가 없어 항상 피해에 노출되어 있기 때문이다. 한편 가덕도 동안지역의 천성부터 바다쪽인 대항 구간은 비교적 경사가 심하고 배후지가 없어 인가는 없고 해안침식도 미미했다. 이는 매미의 진행방향의 반대쪽에 위치 한 바도 있으나, 해저지형상 수심이 비교적 깊어 파랑에 의한 피해는 미미했던 것으로 추정되고, 가덕도의 끝단인 동두말(가덕도 등대)일원은 파도의 진행방향과 맞닿아 있어 해안침식이 비교적 많이 나타나고 있다.

③ 울리, 장항, 두문, 천성, 대항 등 가덕도 서안지역

동 지역은 가덕도의 서안지역으로 태풍 “매미”의 진행방향과 맞닿아 있으나 지리적 특성에 따라 피해정도가 차이가 나는 곳이다, 울리, 장항 지역은 부산 신항만공사로 인한 외곽방파제(동방파제)가 시공되어 있는 지역의 내측에 위치하고 있어 태풍의 직접적인 피해는 없었으며, 해일에 의한 가덕도 순환도로가 파손되는 정도에 그쳤다.

그러나 태풍의 진행방향이 같은 지역이지만 부산 신항만 외곽방파제가 위치한 바깥쪽지역인 두문, 천성, 대항지역은 침수와 해안파괴가 함께 일어났고, 그 피해규모도 훨씬 크게 나타났다. 특히 주목할 부분은 수십년간 절경을 이루고 있던 해안 암반지형이 지난 태풍 “매미”로 인해 심각하게 훼손되었고, 바다와 인접한 산지나 전답은 해일과 파도에 의한 침식현상이 뚜렷하게 나타났으며, 해안 산지는 강풍과 해일에 의한 수목의 유실이 많았고, 해안일대는 붉게 변할 정도가 염수피해가 심했다, 또한 T자형 방파제 시설이 있었던 대항항은 일자형 방파제시설이 설치되어있는 천성이나 두문 지역에 비해 피해정도가 미미했으며, 특히, 해일이나 파도에 의한 침수 및 주택파손정도는 상대적으로 미약했다.

이는 태풍의 진행방향이 가덕도 서안을 따라 경남 진해시 용원 방향으로 진행되었고, 일반적으로 파랑의 회절을 생각할 때, 방파제 시설이 태풍의 피해를 완전히 막을 수는 없더라도 그 시설형태나 구조에 따라 피해를 최소화 할 수 있다는 사실을 알 수 있다.

Table. 2.11 Development projects of Kangseo-Gu coastal region

Projects Terms	Noksan	Myongji	Shinho	New Busan Port
Time (years)	'90~2001	'90~'2003	'93~'2005	'97~2011
Area (m ²)	6,972,000m ²	1,884,000 m ²	3,120,000 m ²	3,990,000
Budget (won)	$9,687 \times 10^9$	$4,483 \times 10^9$	$7,040 \times 10^9$	1.12×10^{14}

Table 2.12 The damage by typhoon "Maemi"

Location	Damage	Value (10 ³)	repair fare (1,000 won))
total	2,475 m	4,675,531	6,951,254
Chunsung	Breakwater(2EA) : L=200 m Seawall : L=300 m	817,154	817,154
Daehanghang	Wharf: L=50 m Breakwater: L=50 m	654,432	929,856
oeiyangpo	Wharf: L=33 m Breakwater: L=11 m Seawall: L=5 6m	197,942	1,000,000
Dongsun~ Nulcha	Tidal embankment : L= 525 m	706,003	1,904,244
Chunsung~ Nulcha	Coastal road: L= 1,250 m	2,300,000	2,300,000

(3). 피해지역별·유형별 원인분석 및 복구계획

① 해양 쓰레기

발생실태:

태풍 “매미”에 따른 해일로 발생한 해안 쓰레기는 3만 여톤이 발생하여 복구비용만 81억원에 이르렀다, 지역별 발생량을 보면 가덕도 지역이 8,600톤, 연안 및 진우도 등 도서지역 21,400톤이 발생하였다, 유형별로 분석해 보면 폐 어구(로프, 어망)12,621톤, 폐 부자(스치로폼) 458톤, 혼합폐기물 9,086톤 기타(폐목, 초목류) 7,835톤을 차지하였다, 금번 태풍“매미”는 해안변 일대를 쓰레기로 뒤덮었으며, 녹산국가공단, 명지주거단지, 신호지방산업단지일대를 비롯한 해안도로변은 해양 쓰레기로 인해 한동안 몸살을 앓았다, 일시에 대량 발생한 해양쓰레기는 장기간 방치 시 도시미관을 저해함은 물론, 교통에도 지장을 초래할 우려가 있어 신속한 대처가 필요했으며, 특히, 녹산지역과 가덕도 놀차지역(항월, 정거, 외놀이, 내놀이)선창일원은 주택침수가 많아 해양쓰레기와 함께 생활쓰레기, 주택침수에 따른 가전제품, 주택파손 잔재물, 그간 처리곤란으로 주택에 보관중이던 잡재 쓰레기 등 막대한 양의 쓰레기가 계속적으로 발생하였다,

수거처리방법:

강서구 해안변은 부산시 전체 해안변 길이의 30%인 82.5km에 이르며 일시에 모든 연안변에 광역적으로 발생한 해양쓰레기는 수거처리에 문제점이 많았으나, 해양쓰레기처리 기획단을 구성 분야별로 전담임무를 부여하여 체계적으로 처리하였다. 우선 처리비용확보를 위해 중앙부처 관련공무원의 현장 확인 시 충분한 자료와 설명으로 42억원의 국비, 부산시에 대하여는 긴급복구비로 3억원 그리고 환경부에서도 긴급복구비로 3억을 지원받는 등 총 48억원의 쓰레기처리 예산을 확보 하였고, 지역별로 수거쓰레기의 처리 보관장(임시 적환장)을 마련 신속히 처리하였으며, 수거쓰레기의 적환장 보관 시 발생할 수 있는 전염병 예방을 위해 수시방역팀을 가동 하였다. 또한 5만 여명의 자원봉사자를 동원도로변 및 주택가 일대의 쓰레기를 긴급 수거 공공기능을 신속이 회복하는데 중점을 두었다.

아울러 해안변 쓰레기에 대하여는 동원 가능한 장비를 최대한 동원하여 적기수거에 만전을 기하였으며, 태풍으로 인해 실의에 빠진 주민들

의 생계지원을 위해 도서지역은 인력을 투입하여 수거하는 방법을 사용했다. 아울러 수거된 쓰레기의 조기처리를 위해 부산경남일원은 물론 전남지역의 폐기물 처리업체를 동원 하는 등 그 처리에 만전을 기하였다.

시사점 및 향후계획:

우리나라에서 관측된 태풍 가운데 가장 강력한 바람과 해일을 동반했던 태풍 “매미”는 초유의 대량 해양쓰레기를 발생시켰으며, 이의 복구비용 및 인력지원 등 행정력 낭비는 계산할 수 없는 피해를 입혔다. 하지만 지난 태풍 “매미”로 인해 발생한 해양 쓰레기가 시사하는 문제점을 분석해 보면 대부분의 해양 쓰레기가 육지로부터의 유입 및 양식어장 시설물의 잔재, 어구 등 이었다는 것이다. 이는 자연속에 있던 폐기물이 아니라, 인간이 사용하던 잔재물이 해양에 방치되거나 투기되어 있던 것이 태풍으로 인한 해일로 육역부로 이동 하였다는 것이다.

수년 또는 수십년간 연안지역에 방치되어 있던 쓰레기가 일시에 육지로 떠밀려와 그 모습을 드러낸 것이다. 바다의 입장에서 보면 가슴에 묻어 두었던 귀찮은 쓰레기를 떨쳐버려 해양환경정화라는 효과를 볼 수도 있었지만 그간 물속에서 산화·분해되면서 끼친 해양환경악화는 계산 할 수 없는 막대한 피해를 계속하여 입혀 왔다는 것이다. 이러한 눈에 보이지 않는 장기간에 걸친 해양쓰레기의 해역환경악화는 결국 해양생태계를 파괴 시켜 어족자원의 감소와 함께 수질악화를 가져왔다고 볼 수밖에 없으며 이의 예방이나 근절방안 모색이 없이 단편적인 전시적 쓰레기 수거대책은 항구적인 해양오염 예방방안이 될 수 는 없을 것이다. 따라서 1차적으로 해양유입 쓰레기의 차단대책이 신속히 마련되어야 할 것이며, 동 대책에는 유형적인 쓰레기의 유입방지방안과 함께 무형적해양오염 인자의 유입방지 방안이 함께 고려되어야 할 것이다.

2차적으로는 1차적으로 유입을 최소화 하되 동 방안으로도 막을 수 없는 쓰레기에 대하여는 수거방안을 마련 일회성 단편적 수거가 아닌 지속적 체계적 수거처리방안의 도출을 민·관·학 등 관련기관이 망라된 해양쓰레기 최소화 방안을 조속히 수립해야 할 것이며, 단기적으로는 지자체 등에 해양쓰레기 수거 처리비용을 국비 등을 통해 지속적으로 지원해야 할 것이다.

② 동선 ~ 놀차 방조제

피해개요:

동선방조제는 강서구 가덕도 동선부락과 놀차동을 연결하는 호안이나 호안도로 또는 방조제로 불리고 있으며, 부산 신항만 공사 구간 중 남컨테이너 배후에 위치하고 있으며, 태풍 “매미” 내습 시 ‘02년 태풍 “루사” 피해복구 중이었다. 피해규모는 방조제(도로)유실 525m로 피해액 706 백만원에 복구비 1,900백만원이다.

피해원인 및 특이점:

피해의 주 원인은 태풍 “매미”로서 태풍 “루사”로 인한 피해복구공사가 한창 마무리단계에 있었으나, 해일과 파도에 의해 복구구간 중 놀차구간을 중심으로 크게 파손되고 말았다. 지형을 보면 동선지역은 돌출된 산지형의 지형으로 파도의 진행방향과 엇비슷하게 위치하고 있으며 놀차지역은 파도의 진행방향과 맞닿아 있는 형태로서 지난 태풍 “매미”의 진행방향과 해저지형 등에 의한 파의 진행과 회절 등의 영향인 것으로 추정된다. 또한 복구공사의 공정상 동선지역이 마무리 단계였던 반면 놀차지역은 호안사석 공사와 파라펫 공정이 이루어지고 있는 단계로서 피해전경 사진을 보아도 그 피해정도가 다르다는 것을 알 수 있다. 특이한 점은 파라펫 시공 및 도로포장 구간 즉, 놀차지역 피해형상에 있어 파라펫과 도로의 쇄굴과 함께 공사구간을 따라 길게 수로가 형성되었다는 것이다. 동 구간은 당초부터 해안으로 밀려온 모래가 도로의 상부까지 맞닿아 있었던 곳으로 지난 태풍 내습 시 파도가 모래사장을 따라 밀려왔다가 정점을 지나 부서지면서 긴 수로를 만든 것이 아닌가 추정된다. 여기서 지나칠 수 없는 중요한 사실은 동선~놀차간 방조제로 인해 놀차만 내해쪽인 선창, 외놀이, 내놀이지역이 침수피해에 그쳤고, 다른지역에 비해 피해규모도 작았다는 것이다. 즉, 동선~놀차간 방조제가 해일과 파도를 1차적으로 막아 주었다는 것이다.

시사점 및 향후계획:

태풍 “매미”로 인한 동선~놀차지역 피해가 준 사실에 기초해 시사점 및 문제점을 검토해 보면 우선 놀차만을 중심으로 형성된 자연부락들이 태풍이나 해일에 안전하지 않다는 사실이다. 현재의 방조제는 자연적으로 형성된 지형을 따라 기초사석과 파라펫을 거치하고 내측에 시멘트포장을 하는 정도의 복구에 거치고 있기 때문이다. 이러한 복구방법은

비슷한 규모의 또 다른 태풍 내습 시에는 비슷한 유형의 피해를 발생시킬 수 밖에 없다는 것이다. 따라서 방조제의 외곽에 외해로 부터의 파도를 막을 수 있는 규모의 방파제 시설을 하든지, 그도 아니면 선창, 놀차, 동선지역의 주민들이 살고 있는 거주공간을 높이는 방법, 그도 아니면 재해 위험지에 항시 노출되어 있는 주민들을 안전지대로 이주 시키는 방법 등을 검토해야 할 것이다.

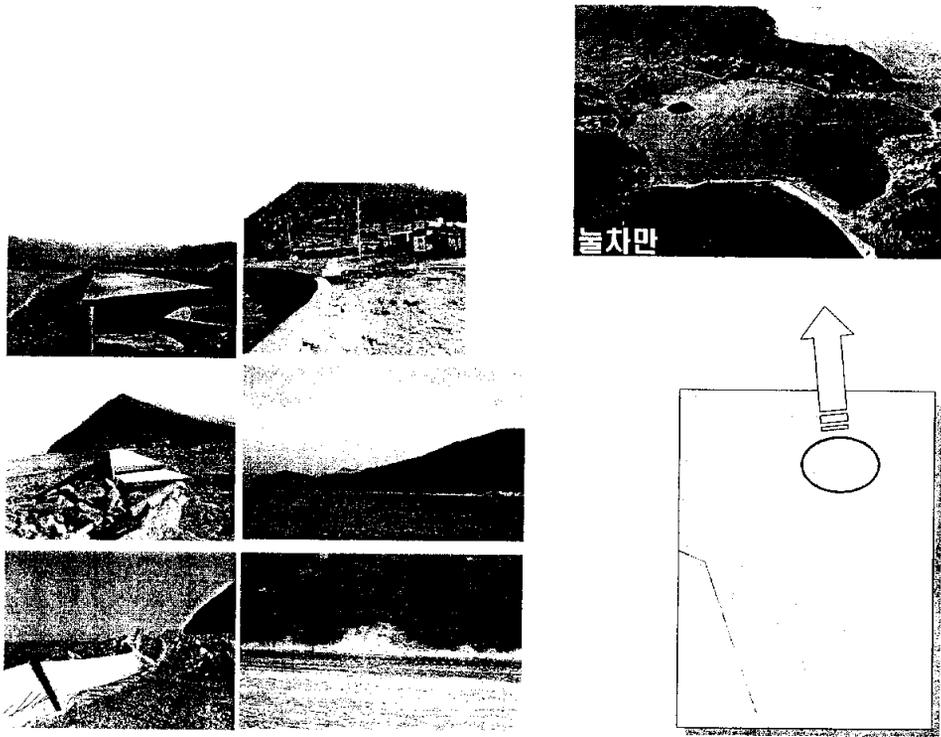


Fig. 2.8 Damage of coastal and coastal structures (Dongsun, Nulcha).

③ 가덕도 동안지역

피해개요:

가덕도 동안지역은 동선부락에서 동두말 까지의 구간으로 이지역은 태풍진행방향의 반대편에 위치하여 그다지 피해가 크지는 않았으나 해일과 지속적 파도에 의한 해안면 침식이 일부 나타났다, 아울러 이지역은 산지지형에 따른 급경사로 인해 주거지가 없는 지역으로 민간부문의 피해는 발생하지 않았다,

시사점 및 향후계획:

태풍의 진행방향에 따라 얼마든지 피해가 발생할 우려는 있으나 공공 시설물이나 자연부락 등 인간이 이용하는 공간이 아닌 집을 생각 한다면 적극적으로 방재대책을 세울 필요는 없을 것으로 보인다. 다만, 최근 부산광역시 등에서 거론하는 해상 신공항 건설을 검토 한다면 이를 제외해 볼 필요가 있을 것이다, 일부 개발론자 들이 말하는 수심이 얕아서 공사비를 절감 할 수 있다고 하나, 외해와 직접 접하고 있기 때문에 구조물의 안전성을 보장하기 위해 막대한 비용을 투입하여 엄청난 규모의 안전시설을 구축해야 하기 때문이다, 더욱이 낙동강 하구지역은 연간 1,300억원의 어업생산고를 올리고 있는 지역이며, 갯벌이 회복시켜주는 생태계의 역할과 기능까지 생각 한다면 더 이상의 해안매립을 통한 개발을 중단하여야 할 것이다.

④ 동두말 대항구간

피해개요:

동두말에서 대항까지의 구간은 태풍“매미”의 진행방향과 직접 맞닿은 지역으로 해안변과 어항시설 등의 피해가 많았다, 특히, 동 지역의 해안 변은 높은 파도와 대규모의 해일에 의해 침식이 많았으며, 그 정도가 심해 수십년간 유지되어오던 암반지대가 파손되는가 하면 어항 시설의 파손도 많았다, 외양포의 경우 기존의 중앙 선착장은 쇠굴이 되었고, 진행방향과 직각으로 시설되어 있던 선착장은 흔적도 없이 사라졌으며, 1930년대에 조성되었던 방풍림이 모두 전복되고 훼손되어 흙물로 변하고 말았다, 공공시설의 피해를 보면 대항항이 선착장 및 방파제 100m 유실로 654백만원의 피해를, 외양포가 선착장, 방파제, 호안 등 100m 유실로 197백만원의 피해를 입었다, 연안변의 침식에 따른 피해액은 산출할 수가 없을 정도로 피해가 심각하나, 복구는 엄두도 내지 못하고 있다.

피해원인:

동 지역 피해는 태풍“매미”의 내습에 따른 강력한 바람과 해일, 높은 파도가 지속적으로 피해를 입힌 것으로 보인다, 태풍의 진행방향 전면 에 위치하여 파도와 해일의 우측면이 육지부의 좌측면을 스쳐 지나가면서 해안침식과 방파제 파손 등을 가져왔다,

시사점 및 향후계획:

태풍의 진행방향과 강도 해일 등으로 보아 가덕도 지역에서 가장 피해가 많아야 하는 지역이나 해안변의 침식을 제외하면 상대적으로 침수 피해 등 자연부락의 피해는 적었다, 외양포 지역은 방풍림 시설이 잘 갖추어져 있던 관계로 인가의 피해는 거의 없었으나, 선착장과 방파제 피해는 대체로 심했다, 대항은 해안변 일부주택의 침수를 제외하면 태풍으로 인한 피해는 경미 했으며, 중앙 방파제의 안쪽부분, 즉, T자형 방파제의 육지부 끝단부분이 일부 파손되었다, 이는 외곽쪽에서 T자형 방파제가 강력한 파도와 해일을 막아 주었기 때문이며, 내측 일부 파손은 굴절된 파도가 해안변을 따라 움직이며 일부 구간을 파손 시킨 것으로 보인다, 또한 20여년 전에 만들어 졌던 선착장은 파도의 진행방향과 직각으로 마주하고 있어 막강한 위력의 태풍을 견디지 못하였다, 이러한 피해사항을 보면 해안변 등의 침식은 불가항력으로 보이며, 대항의 경우 인근지역에 비해 피해정도가 작았던 것은 주민들 스스로 T자형 방파제 시설의 영향이라고 말하고 있을 정도로 방파제가 큰 역할을 한 것으로 보인다.

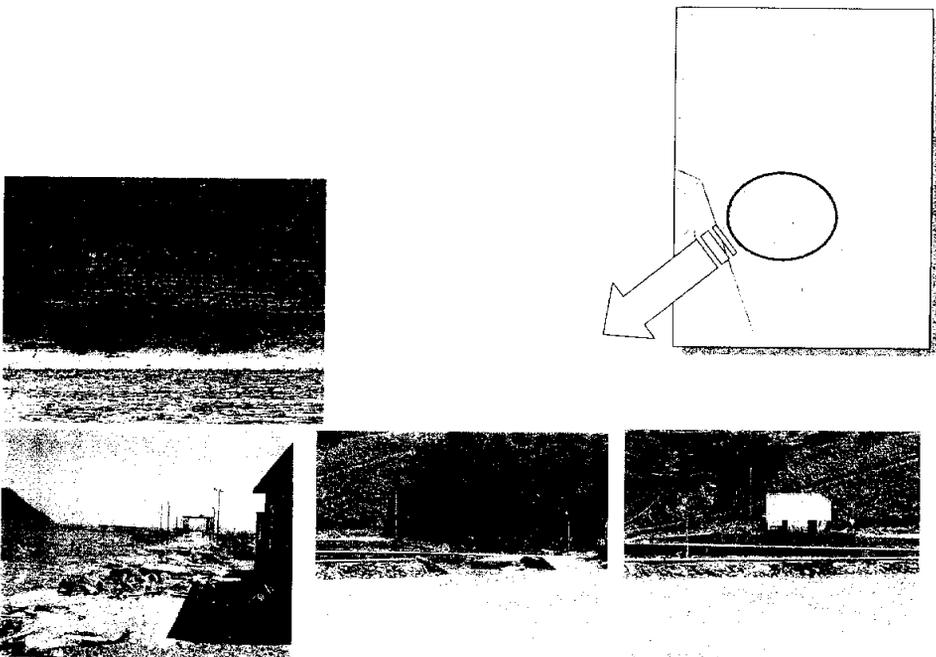


Fig. 2.9 Damage of coastal area and coastal structures (Dongdumal).

⑤ 천성, 두문지역

피해개요:

천성, 두문지역은 대항과 마찬가지로 태풍“네미”의 진행방향과 직접 맞닿아 있었던 지역으로 해안침식의 정도가 심하고 선착장 등의 피해도 많았다. 아울러, 천성지역은 해일로 인한 침수가 심각하여 가옥 50 여채가 파손되어 금번 태풍으로 인한 주택피해가 가장 많았던 지역이다. 어항시설의 경우 방파제와 호안 등 500 m가 파손 또는 유실되어 817백만원의 피해를 입혔고, 두문지역은 방파제의 피해보다는 해안도로만 파손되는 특이한 현상을 보였다.

피해원인:

천성, 두문지역의 피해원인을 두 가지로 정리해 보면 우선 태풍의 진행방향과 일치하는 불가항력적인 부분과 주민들의 주장에 의한 부산 방향 방파제 축조로 인한 반사파의 영향으로 구분할 수 있다, 태풍 진행방향 전면에 위치함으로 인해 피해를 입은 것은 대항의 경우와 비슷하나, 지역에 따라 피해내용이 조금 다르는데 주목해볼 필요가 있다, 우선 천성지역은 방파제의 파손이 있었으나, 중앙방파제는 일체 피해가 없었고, 서쪽과 남쪽부분에 있는 방파제가 전부 파손되었다는 것이다, 또한 두문 지역은 선착장의 피해는 없었으나, 해안도로가 모두 유실되었다는 점이다.

시사점 및 향후계획:

피해원인에서 보았듯이 천성지역의 피해내용과 두문지역의 피해내용이 서로 다르는데 의문을 가질 수밖에 없는 것이 똑같은 규모의 태풍이 같은 시간대에 통과 하였는데, 피해 규모와 정도, 성향이 다르다는 데 있다. 우선 천성지역의 경우를 보면 천성만을 중심으로 양쪽의 방파제는 모두 파손된 반면, 중앙방파제는 일체의 피해가 없었다는 것이다. 태풍의 진행방향 우측에 가덕도가 위치하였고, 파도의 진행방향 또한 태풍의 진행방향과 같다고 본다면, 중앙방파제가 파손되지 않은 것을 이해할 수 없으며, 남중과 서중방파제가 파손된 것도 이해할 수 없다. 하지만, 천수말이란 지형이 파도의 진행방향을 막아 주어 중앙방파제의 피해가 없었던 것으로 추정해 볼 수 있으나, 서중방파제와 남중방파제의 파손은 태풍의 진행방향과 같은 방향으로 설치되어 있으나, 심각하게 파손된 것을 보면 파도가 진행되면서 천성만을 지날 때 마을을 곧바

로 향해 진행 하였거나, 회절로 인해 해안변을 따라 움직이다가 양쪽 해안에 설치된 방파제를 파손한 것으로 추정할 수 있다.

두문지역의 경우 방파제의 파손은 없었으나, 해일에 의한 호안도로가 모두 유실되는 피해를 입었다. 이는 태풍에 의한 파도와 해일만이 피해를 입힌 것 보다는 반사파 등에 의한 불안정한 회절파가 해안침식과 함께 호안도로의 파손을 약기 하였을 것이라고 추정할 수 있다.

시사점 및 향후계획:

천성지역의 경우 대항보다는 규모가 훨씬 큰 만을 가지고 있으나, 외곽방파제 등 재해예방시설은 미비 되어 있었기에 피해규모가 크다고 말할 수도 있으나, 이번 피해처럼 중앙방파제는 피해가 없이 만의 양 끝단에 위치한 방파제가 모두 파손된 점을 보면 피해의 원인과 향후대책 수립 시 시사하는 바가 크다고 하겠다, 즉, 단순히 대항의 경우처럼 T자형 방파제 설치보다는 보다 근본적인 원인 분석과 다양한 재해위험요인을 종합 검토하여 천성만을 재해로부터 막아줄 수 있는 외곽방파제 시설과 함께, 저지대에 위치한 주거지의 이주 보다는 호안지역의 확장을 통해 완충지대를 구축해 줄 필요가 있다고 보인다. 두문지역의 경우 호안도로의 유실 붕괴는 천성과 비슷한 지역에 위치하고 있지만 전혀 다른 피해양상을 보이고 있어 더욱더 관심을 가질 필요가 있다, 이것이 단순한 해일에 의한 피해인지, 반사파 등에 의한 피해인지 명확하게 구분할 수는 없지만, 대다수의 주민들은 신항만 동방파제 축조에 따른 피해라 여기고 있으므로 이에 대한 원인분석 및 호안도로 보호방안이 검토 되어야 할 것이다.

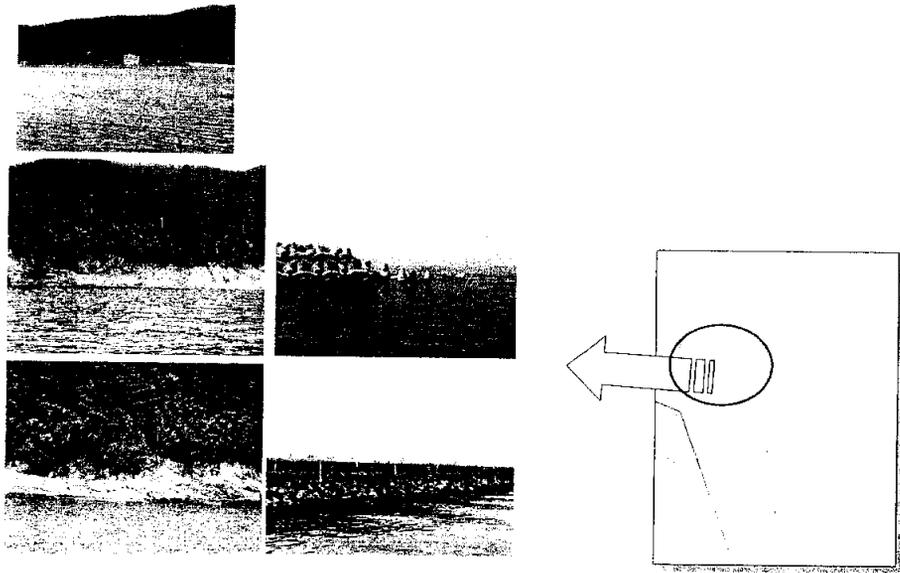


Fig. 2.10 Damage of coastal and coastal structures (Doomun, East breakwater).

⑥ 울리, 장항, 선창지역

피해개요:

동 지역은 부산 신항만 동방파제가 시공되어있는 내측의 해안부락으로 타 지역에 비해 피해는 미미했으나, 이 지역 역시 두문지역처럼 호안 및 도로가 상당히 유실되는 형태의 피해를 입혔다,

피해원인:

일반적으로 피해원인을 태풍 “매미”에 의한 해일 때문이라고 생각하나 단순히 해일 때문이라고 하기에는 몇 가지 의문이 남는다, 우선 부산신항만 외곽방파제 축조로 인해 파랑에 의한 직접적인 피해는 예방되었다고 보이지만, 북컨테이너 부두 등 건설을 위한 진해만 일대의 매립은 파도나 해일의 진행을 막아 엄청난 규모의 바닷물이 미쳐 빠져나가지 못하고 회절되어 반대편 두문, 울리, 장항, 선창지역으로 밀려왔을 가능성이 많다는 것이다,

시사점 및 향후계획:

이러한 피해원인을 놓고 본다면 부산 신항만공사 중 남 컨테이너 부두가 들어설 동 지역은 부두축조 공사로 현재의 해안면 높이보다 훨씬

높은 배립이 이루어질 것이므로 이 지역에 대한 대책 없이 남컨테이너 부두를 축조한다는 것은 전면 재검토 되어야 할 정도로 심각하다고 보인다. 다행히 해양수산부에서는 동 지역을 남컨 배후지로 개발할 계획으로 추진중이나 동 지역에 대한 이주대책이나 안전대책에 대하여는 공식적으로 알려진바 없으므로, 이 부분은 분명히 동 남컨 공사 시 고려 되어야 할 것이다.

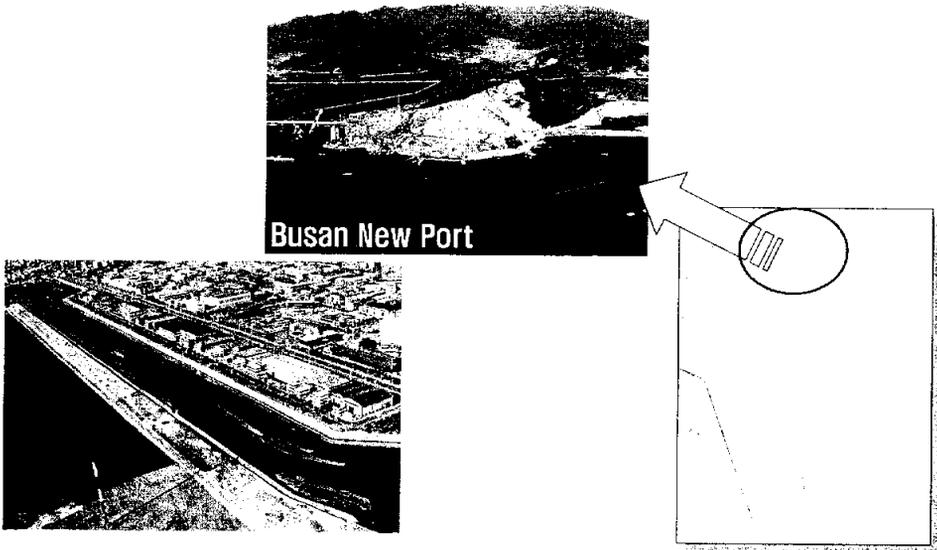


Fig. 2.11 Damage of coastal and coastal structures (Janghang).

(4) 피해의 종합검토:

지난 2004년 9월 12일부터 13일까지 우리나라 남부지방을 휩쓸고 지나간 태풍“매미”는 1904년 우리나라 기상관측이후 가장 큰 태풍으로 기록 되었고, 그 피해액도 가장 많았다, 영남지방과 부산지방에 주로 피해를 입혔으며, 부산지방 중에서도 강서 구에 막대한 피해를 입혔다.

지금까지 태풍“매미”가 강서구에 미친 영향을 해안을 중심으로 어항 및 연안침식, 해일피해 등에 대하여 고찰해 보았다. 이러한 자료정리 및 추론을 통하여 우리는 그냥 지나칠 수 없는 심각한 자연의 경고와 재해 예방대책을 심각하게 고려하지 않을 수 없음을 발견할 수 있었다.

먼저, 녹산국가공단 등 임해지역에 위치한 주거 및 공업지대의 해일에 대한 안전성 문제이다, 지난번 태풍“매미”는 강한 바람과 해일을 동반한 150년 이상 주기의 초 대형 태풍이기도 하였지만, 이러한 해일이

나 태풍을 고려하지 않고 조성된 인공적 시설물이 얼마나 자연의 힘 앞에 미약한지를 알 수 있었다. 녹산국가공단의 경우 900여개 입주업체 중 주로 해안변 200 m 이내에 위치한 대부분의 공장이 침수피해를 입었으며, 그중에 50 % 정도는 공장가동을 멈추어야 했다. 또한 조성은 완료되었으나, 분양이 안 된 명지주거단지도 해안변 200 m 지점까지 침수피해가 있었다. 미 분양상태로 있었기에 피해가 없었지만, 분양이 완료되어 해안변 일대에 아파트 단지나, 다가구 주택 등이 있었다면 그 피해는 공장지대의 피해보다는 훨씬 심각했을 것이다. 르노-삼성자동차 공장이 위치한 신호지역의 경우 이주대책이 세워져 대부분의 가구가 이주를 하였으나, 기존 부락에서 이주를 미루던 2세대 5명이 목숨을 잃은 것을 보면, 새롭게 조성되는 신호주거단지 또한 안심할 수 없다는 것이다.

이러한 곳보다 문제가 더욱 심각한 곳은 부산 신항만 공사가 한창 진행중인 인근 해안변 일대이다, 경남지역의 경우 진해시 용원동 일대 중저지대와 안골만 인근 등지가 해일로 인한 피해가 상습적으로 발생 할 우려가 높은 지역이고, 가덕도 지역은 용원지역보다 훨씬 그 피해정도가 심각할 것으로 우려된다, 가덕도 지역의 울리, 선창, 장항지역은 부산 신항만의 남 컨테이너 부두 건설예정지로 편입되기 때문에 육지부의 피해는 더 이상 없을 것이나, 조선단지 등이 들어설 두문지역부터, 천성대항지역과 눌차지구(항월, 외늘, 내늘, 정거), 동선의 해안지대는 해일로 인한 심각한 재해위험에 노출되어 있다는 것이다, 따라서 대규모 매립에 의한 국책사업인 부산 신항만 공사는 부두축조나 물류부지확보 등의 외형적 조성사업과 함께 이러한 사업으로 인해 발생 할 수 있는 해양 생태계 변화나, 대형 태풍이나 해일 내습 시 인근지역에 어떠한 영향을 미칠 수 있는지, 영향을 미친다면 어떠한 대비책을 수립하여야 하는지에 대한 심각한 고민과 반성, 늦었지만 그 대응방안을 강구하는 것이 필요하다고 본다. 항만시설은 선박의 대형화 추세에 따라 안벽의 높이를 스스로 조정하여 평균수심보다 5 m 이상 높이 축조하고 있어 웬만한 파도나 해일에도 피해를 예방 할 수 있지만, 자연지형을 따라 형성된 가덕도 일대의 주민들은 전통적으로 어업을 영위하여 생활을 해 온 관계로 가급적 바다와 가까운 평균수심의 1 m 이내에 부락을 형성 생활을 영위하고 있기 때문이다.

아울러, 부산광역시에서 구상중인 가덕도 개발계획에서도 인근 대형 공공사업과 대규모적인 태풍이나 해일에 따른 환경영향 등을 종합고려할 때 해안순환도로는 적어도 항만시설의 레벨과 같거나 비슷하게 설계 시공하여야 할 것이다. 아울러, 천성지역 등 재해 빈번 지역에 대하여는 그 원인을 분명히 하여 그 원인이 인근의 대형 국책사업과 연계된다면 그 대책을 강구해 주도록 요청하여야 할 것이며, 국가는 최대한 배려하여 국책사업으로 인해 피해가 발생하지 않도록 하여야 할 것이다.

이러한 피해예방조치의 방법은 대학이나 전문적인 연구기관, 중앙정부 및 지방정부인 부산광역시는 물론, 강서구청과 당사자인 주민 등이 함께 참여하는 협의체 구성을 통해 해결할 수 있을 것으로 본다.

아울러, 현재 검토 중인 놀차만 매립사업의 경우도 이러한 재해예방조치가 함께 검토될 때 미래의 재난을 미리 막는 효과를 거둘 수 있을 것이다.

Fig. 2.12는 대상해역의 피해 발생을 정리한 것이다. 피해영역을 통해서 가덕도를 3권역을 구성하였으며 북측 영역, 남서측 영역, 남동측영역으로 구분하여 공간적인 피해를 확인 할 수 있었다. Section 1영역의 경우 직접적으로 입사하는 파랑의 에너지는 적으로 부산신항의 분컨테이너 부두로 인한 반사파로 인해 피해가 있었으나 내부분 침수에 의한 피해였으며, 향후 남컨테이너 부두의 축조 시 이러한 파랑에 의한 피해는 저감될 것으로 생각된다. 허나 Section 2에서는 입사하는 파랑에 의해 대부분의 해안시설물이 치명적인 피해를 입었으며, 파랑과 침수의 피해가 동시에 발생하는 경우가 많았다. 특히 이 구역은 이용도가 가장 높고 향후에도 개발계획이 수립되어있는 만큼 해안구조물의 설치 시 중요한 불안정요소를 가지고 있는 지역이다. Section 3의 경우 절벽 및 해안을 포함해서 많은 피해가 발생하였으나, 이용도가 비교적 낮은 영역이므로 시설물의 피해 및 침수의 피해는 구체적으로 산정되지 못하였다. 따라서 이러한 해양성재해를 고려한 권역별 해안구조물의 위해요소를 종합적으로 검토하여야 할 것이며 이를 통해 향후 가덕도의 개발에서 중요한 기준이 되어야 할 것이다.

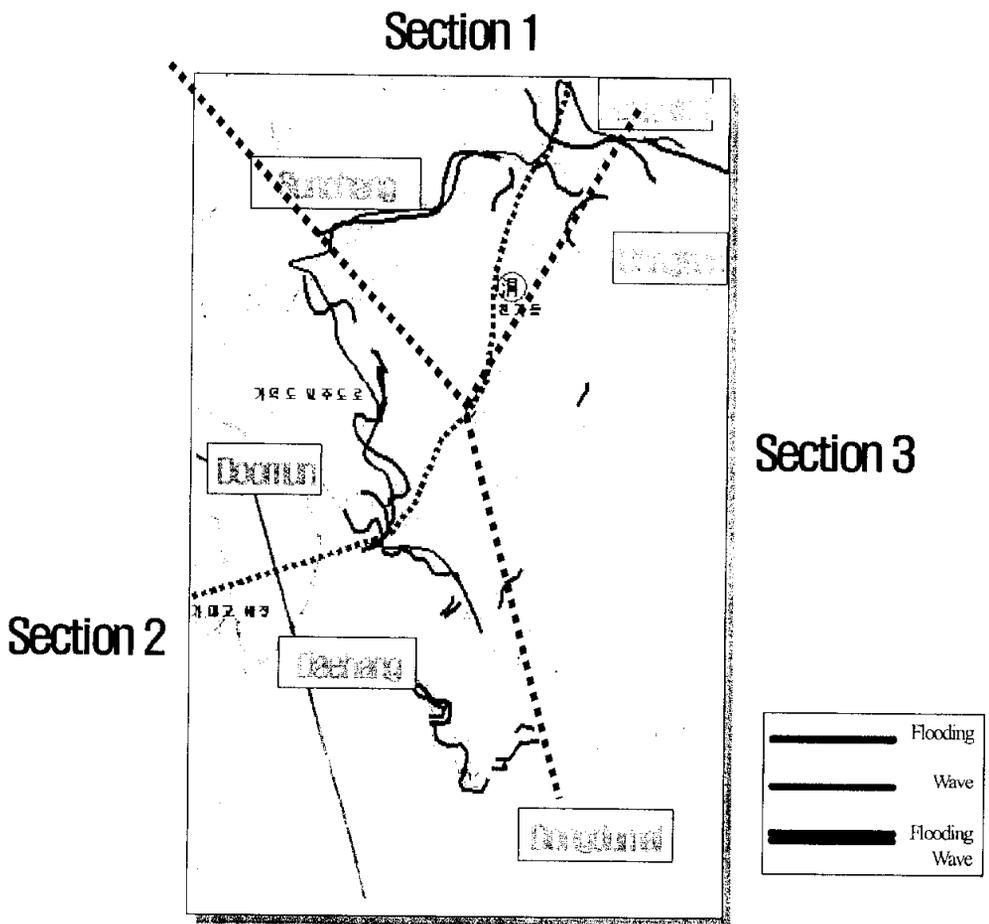


Fig. 12. Spatial failure modes (Gadeokdo).

3. 해안구조물의 피해원인 및 수리학적 특성

본 연구에서 대상으로 하고 있는 구조물의 형식은 단순 사석경사제이다. 일반적인 해안구조물의 설계 시 월파량 산정에서 문제가 되는 것은 적절한 천단고의 결정이다. 허나 대상해역의 지반 강도가 약하여 설치지역의 지반조건에 따른 방파제의 자중을 제한해야 하는 경우에 대해서는 적절한 허용월파량을 계획하기 위한 월파량 제어 방법에 대한 연구를 수행하여 구조물의 기하학적인 특성과 입사파랑과의 상호작용을 확인하는 것이 필수적이다. 또한 최근의 연안공간을 친수공간으로 활용할 경우 경관자원을 이용한 저천단 방파제의 개발이 필요함을 생각할 때 천단고의 감소방법과 이에 따른 월파량의 제어대책이 필요하다.

본 연구에서 대상으로 하는 방파제의 형식은 구조물의 자중을 억제하며 파랑제어효과를 증대할 수 있도록 구조물전면에 압사석을 설치하여 파랑에너지와 월파량을 제어하는 공법이며, 이러한 소단의 설치하는 구조물 전면에서의 수심감소 및 지반에 대한 재하하중의 역할을 하게 된다.

본 연구에서는 위의 소단을 설치한 저천단방파제의 구조형식과 입사파랑과의 상호관계 통한 월파량의 제어방법을 확인하고자 한다. 이를 위해 역학적인 물리인자들과의 관계를 살펴보면 일반적인 소단 방파제에서 고려하는 물리량들은 다음과 같은 항으로 고려할 수 있다. 전술한 바와 같이 소단방파제와 입사파랑의 상호관계는 다음의 세가지로 생각하였다.

$$\begin{aligned}
 F_D = & f_w(T, H, k, i, K_r, W_a, \alpha_w, \dots) \\
 & + f_b(H, T, i, B, W_a, \nabla_a, \alpha_w, \dots) \\
 & + f_s(T, H, V, D_{50}, f_s, K_r, i, \alpha_w, \dots) \\
 & + f_o(h_c, H, T, q, V, K_r, i, \alpha_w, Q_{\max}, Q_{\text{mean}}, \dots)
 \end{aligned} \tag{3}$$

여기서, F_D 는 파피의 함수, T 는 입사파랑의 주기, H 는 입사파고, k 는 파수, K_r 은 반사계수, 피복석의 중량, 구조물로 입사하는 파향, B 는 이안제의 폭, ∇ 는 피복석의 형상계수, i 는 사면의 경사, f_s 는 저면 마

찰계수 D_{50} 은 기부 저면모래의 통과중량백분율이 50인 크기, V 는 유속이다. 각 항들이 전체 파괴에 미치는 크기는 서로 다르다. f_w 은 주로 입사하는 파랑에 대해 직접적으로 변형하는 요소이고, f_b 은 사면상의 파랑의 쇄파로 인한 2차적인 변형요소이며, f_s 은 반복되는 외력에 의해 장기적으로 변형하는 기부세굴에 영향을 주는 요소이다. 그리고 f_c 는 구조물에서 발생하는 월파에 영향을 주는 요소들이다. 이러한 구조물과의 역학관계를 검토 하기위한 요소 중에서 본 연구에서는 태풍 “매미”에 의한 동방파제의 피해원인을 살펴보고, 구조적인 약점을 가지고 있는 기존의 사석경사제의 향상방법으로서 복합단면의 수리학적 특성을 살펴보고자 한다.

3.1 모형이론 및 상사법칙

(1) 고정상 모형이론

본 실험과 같이 원형의 특성을 사진에 파악하고 가장 우수하고 경제적인 원형의 구조와 크기를 결정하고자 할 때 원형을 축소시켜 만든 축소 모형 통한 현상의 예측방법이 널리 사용되고 있다. 그러나 올바른 모형실험과 실험자료의 해석을 위해서는 해당 모형을 지배하는 수리학적 이론에 대한 깊은 이해가 전제되어야 한다.

원형과 모형에서의 역학적인 관계는 수리학적 상사성이 보장되어야 하며 이를 수리학적 상사법칙이라 한다. 따라서 수리모형실험은 이를 근거로 하여 실행되고 분석되어야만 올바른 의미를 가지게 된다. 물론 모형과 원형의 크기 차, 즉 축척의 영향으로 인해 모형과 원형간의 완전한 상사를 유지한다는 것은 불가능하나, 모형을 가능한 한 크게 만듦으로써 축척의 영향은 어느 정도 극복할 수 있으며, 또한 흐름을 지배하는 힘의 요소에 따라 특정한 상사법칙으로 실험결과를 분석함으로써 원형에서의 흐름의 거동을 더욱 정도 높게 예측할 수 있는 것이다.

수리학적 상사는 원형과 모형간의 기하학적 상사, 운동학적 상사 및 동역학적 상사가 모두 만족될 때에 비로소 달성된다. 완전한 기하학적

상사를 위해서는 길이와 면적 및 체적뿐만 아니라, 원형과 모형의 표면 조도도 상사성을 가져야 한다. 동역학적 상사를 이루기 위해서는 필연적으로 기하학적 상사와 운동학적 상사가 이루어져야 한다. 결국 수리학적 상사란 원형과 모형의 수리현상에서 대응점에 작용하는 모든 힘 성분의 크기비와 방향이 같을 때 성립된다.

일반적인 유체의 흐름문제에 포함되는 힘의 성분은 유체의 기본질량으로 인한 관성력, 압력, 중력, 점성력, 표면장력 및 탄성력 등이며 이들 힘의 크기 비가 원형과 모형에서 전부 동일하면 동역학적 상사가 성립된다. 모형과 원형에서 흐름의 완전한 상사를 얻는다는 것은 실질적으로는 불가능하다고 할 수 있다. 그러나 실제의 수리현상에서는 하나 혹은 몇 개의 성분력이 작용하지 않거나 혹은 무시할 정도로 작은 경우가 대부분이며 흐름을 주로 지배하는 힘 하나만을 고려해도 충분한 것이 보통이다. 이와 같은 전제조건 때문에 실제적인 수리현상에 대한 모형실험을 통한 해석이 가능한 것이며, 현상을 지배하는 힘이 무엇인가를 정확하게 판단하여 그 힘에 대한 상사법칙을 해당실험의 모형제작 및 자료분석의 기준으로 선정하게 되는 것이다. 수리 현상을 주로 지배하는 힘이 점성력이면 Reynolds 모형법칙, 중력이면 Froude 모형법칙, 표면장력이면 Weber 모형법칙, 그리고 탄성력이면 Cauchy 모형법칙을 따르게 되며, 수리현상에 따라서는 1개 이상의 지배력을 고려해야 할 경우도 있다.

본 실험에서는 물의 점성과 표면장력의 역할은 크지않고, 관성과 중력이 지배력인 요소로 작용한다. 이 경우에 대한 상사법칙은 Froude 상사법칙이며 이것은 시간과 속도의 축척이 길이 축척의 평방근과 같아야 한다는 것을 의미한다.

Froude 법칙에서는 다음 식이 성립한다.

$$F_{r_r} = F_{r_M} \quad (4)$$

여기서 F_r 은 Froude수로서, $F_r = \frac{V}{\sqrt{gL}}$ 로 주어진다. 여기서 V는

유속, g 는 중력가속도, 그리고 L 은 거리의 차원이다. 따라서

$$\frac{V_p}{\sqrt{g_p L_p}} = \frac{V_m}{\sqrt{g_m L_m}} \quad (5)$$

이므로 다음식이 성립한다.

$$V_r = \frac{V_p}{V_m} = L_r^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

Froude 법칙에 의해 시간비, 가속도비, 유량비, 힘비 등을 나타내면 Table 3.1과 같다.

Table 3.1 Froude's similarity principal

parameters	scale	
Time	T_r	
Speed	V_r	
Acceleration	a_r	
Flow	Q_r	
Power	F_r	
Pressure	P_r	
Friction	n_r	

나. 모형의 축척

모형의 축척을 결정할 때에는 우선 과업의 목적을 충실히 달성 할 수 있도록 모형을 충분히 크게 만들어야 하며, 실험실의 제반 조건(펌프 용량, 실험수조의 크기 등)을 고려하여 적절한 모형의 크기를 결정하게 된다. 본 실험에서는 이러한 조건들을 고려하여 수평축척과 연직축척 모두 각 구조물의 크기에 최대한의 축척을 적용하여 모형의 축척을 결하였다.

3.2 차원해석

수리실험에 있어서 차원해석은 실험에서 논의하고자 하는 물리량들의 상호관계를 무차원화하여 비교하고, 변수간의 상호관계를 예측하기 위해 사용된다. 현상 및 환경에 대한 물리적인 관계는 물리량들의 차원해석을 통한 상사법칙을 만족하는 검증이 필수적이다. 먼저 상사법칙에는 관성력항이 지배적일 때 사용하는 Froude 상사법칙, 점성항을 고려하는 Reynolds 상사법칙, 표면장력이 클 경우에 사용하는 Weber 상사법칙, 그리고 압축성유체의 경우에는 Cauchy의 상사법칙 등을 사용한다. 본 연구에서는 점성항의 영향보다 관성항의 영향이 지배적인 중력식 방파제에 대한 수리실험에 적용되는 Froude 상사법칙을 적용하고, 버킹검 π 정리에 따라 차원해석을 하고자 한다. 차원해석을 위한 본 연구에서의 물리량들은 다음과 같이 고려하였다.

$$f [H_{1/3}, L_{1/3}, T_{1/3}, f_p, \beta, \Delta_T, \xi, B, h_s, h_c, l_s, \theta, T, V_{\max}, g, \rho_w, \mu, e, D, d_{50}, Q_{\max}, Q_{\text{mean}}, q, \beta_B] = 0 \quad (7)$$

입사파랑 조건에 대한 변수

$H_{1/3}$: 파고(wave height)

$L_{1/3}$: 파장(wave length)

$T_{1/3}$: 주기(period)

f_p : 피크 주파수(peak frequency)

구조물의 기하학적 특성에 관한 변수

β : 사면경사(seaside slope angle measured from the horizontal)

W_t : 피복 Tetrapod의 중량(weight of Tetrapod)

B : 구조물의 폭(width of core unit)

W_c : 내부사석의 대표중량(weight of core unit)

Δ_T : Tetrapod의 형상계수(sharpe of Tetrapod)

ξ : 쇄파지수(surf similarity parameters)

h_c : 천단고(crest height)

l_s : 기초부의 길이(length of berm)

h_s : 기초부의 높이(height of berm)

수리현상에 대한 변수

h_s : 최대세굴깊이(maximum scouring depth)

V_{\max} : 저면 최대수립자 속도(maximum water particle velocity on bottom)

D : 파괴율(percent damage to Tetrapod layer)

Q_{\max} : 최대월파량(maximum overtopping rate)

Q_{mean} : 평균월파량(mean overtopping rate)

q : 월파량(overtopping volume)

기타 물리적 성질 및 외력환경을 표현하는 변수

ρ_w : 물의 밀도(density of seawater)

g : 중력가속도(gravitational acceleration)

h_s : 구조물의 toe에서의 수심(water depth at the toe of the structure)

e : 공극률(%) (void ratio)

μ : 동점성 계수(dynamic viscosity of water in vicinity of breakwater)

β_B : 해저면 경사(bottom slope seaward of the structure)

위의 변수들을 버킹검 π 정리를 사용하여 차원해석을 하면 다음과 같다. 여기서 반복변수는 일반적으로 수리학에서 사용되는 반복변수인

입사파랑의 특성을 나타내는 파고(H)와 저면 수립자 속도(V), 밀도(ρ)를 사용하였고, 종속변수의 지수는 1을 사용하였다.

$$f \left[\frac{L_{1/3}}{H}, \frac{T_{1/3} V^2}{H}, \frac{f_p h}{V^2}, \beta, \Delta_T, \xi, \frac{B}{H}, \frac{h_s}{H}, \frac{h_c}{H}, \frac{l_s}{H}, \theta, \frac{V^2 T}{H}, \right. \\ \left. V_{\max}, g, \rho_w, \mu, e, D, \frac{d_{50}}{H}, Q_{\max}, Q_{\text{mean}}, \frac{q}{H^3}, \beta_B \right] = 0 \quad (8)$$

각 무차원량들은 관성력이 지배적이므로 Froude 상사법칙을 만족한다.

$$\begin{aligned} \left[\frac{B}{H} \right]_M &= \left[\frac{B}{H} \right]_P \\ \left[\frac{L}{H} \right]_M &= \left[\frac{L}{H} \right]_P \\ \left[\frac{h_s}{H} \right]_M &= \left[\frac{h_s}{H} \right]_P \\ \left[\frac{h}{H} \right]_M &= \left[\frac{h}{H} \right]_P \\ \left[\frac{l_T}{H} \right]_M &= \left[\frac{l_T}{H} \right]_P \\ \left[\beta \right]_M &= \left[\beta \right]_P \\ \left[\frac{W_T}{H^3 \rho} \right]_M &= \left[\frac{W_T}{H^3 \rho} \right]_P \\ \left[\frac{W_c}{H^3 \rho} \right]_M &= \left[\frac{W_c}{H^3 \rho} \right]_P \\ \left[\frac{V_{\max} T}{H} \right]_M &= \left[\frac{V_{\max} T}{H} \right]_P \end{aligned}$$

(9)

$$\begin{aligned} \left[\frac{Hg}{V_{\max}^2} \right]_M &= \left[\frac{Hg}{V_{\max}^2} \right]_P \\ \left[\frac{\mu}{HV_{\max} \rho} \right]_M &= \left[\frac{\mu}{HV_{\max} \rho} \right]_P \\ \left[e \right]_M &= \left[e \right]_P \end{aligned}$$

$$[D]_M = [D]_P$$

$$[d_{50}]_M = [d_{50}]_P$$

$$[Q]_M = [Q]_P$$

$$\left[\frac{h_c}{H_0}\right]_M = \left[\frac{h_c}{H_0}\right]_P$$

$$[Q_{\max}]_M = [Q_{\max}]_P$$

$$[Q_{\text{mean}}]_M = [Q_{\text{mean}}]_P$$

$$\left[\frac{R}{H_{1/3}}\right]_M = \left[\frac{R}{H_{1/3}}\right]_P$$

본 연구의 주된 목적은 기초부를 설치한 저천단 방파제에서의 월파 특성을 파악하고자 한다. 이에 따른 주요 무차원수는 다음과 같다.

$$\frac{(h-h_s)}{H_{1/3}}, \frac{l_s}{L_0}, Q, \frac{h_c}{H_0} \quad (10)$$

위의 무차원수를 이용하여 소단형상에 따른 월파량 발생특성을 다음과 같이 파악하고자 한다.

$$Q = \phi\left\{\frac{(h-h_s)}{H_{1/3}}, \frac{l_s}{L_0}, \frac{h_c}{H_0}\right\} \quad (11)$$

3.3 실험방법 및 장치

(1) 실험장치

본 실험은 부경대학교 해양수리실험소 2차원 수조에서 수행되었으며 Fig. 8에서 보는 바와 같이 수조의 제원은 길이 36 m, 폭 1 m, 높이 1 m이며, 한 쪽 면에 진기서보모터를 이용한 피스톤식 조파기 시스템이 설치되어 있으며, 최대수심 0.7 m, 최대파고 0.3 m, 주기 0.3 sec ~ 3.0 sec 의 파랑을 재현할 수 있으며, 일방향 규칙파 및 불규칙파를 조파할 수 있다. 실험에 사용된 수조는 ABS Servo motor에 의해 가동되는 피스톤형 조파기로 기존의 조파시스템과는 달리 조파기의 제어기 스스로가 초기 조파판의 위치를 기억하여 조파판의 초기 위치 설정시의 오류를 최소화 하였다.

Table 3.2 Specification of the instruments

Instrument	Specification	
Wave probe	Model name	CH-401A (KENEK)
	Measuring range (mm)	500
	Measuring error	0.5% full scale
2D-wave generating system	Dimension (m)	1.0×1.0×35
	Makable waves	Regular wave, Irregular wave
	Generating range (Irregular wave)	$H_{1/3} = 25 \text{ cm}$ $T_{1/3} = 0.7 \sim 3.5 \text{ sec}$

조파기의 배후와 끝단에는 금속 용수철을 이용한 경사형 소파제가 설치되어 반사파에 의한 파랑장의 교란을 최소화하도록 되어있다.

불규칙 파랑의 조파는 구조물을 설치하지 않은 경우에 가장 양호한 재현 조파영역을 파악하여 유효영역을 결정하였으며, 이 영역에서 구조물을 설치하지 않은 조건에 대해서 입사파랑을 재현하였다. 이때의 조파된 입사파랑의 변수를 확인하여 구조물 설치 후에 적용하였으며 이러한 파랑의 재현 및 검증을 위해서 Goda의 삼점법을 이용한 입사파랑과 반사파랑을 분리하여 확인하였다. 본 실험에 사용된 관측 기기들은 다음과 같다. 파고계는 KENEK사의 용량식 파고계를 사용하였으며, 수조는 불규칙 파랑이 조파 가능한 2차원 불규칙파랑 조파수조이다.

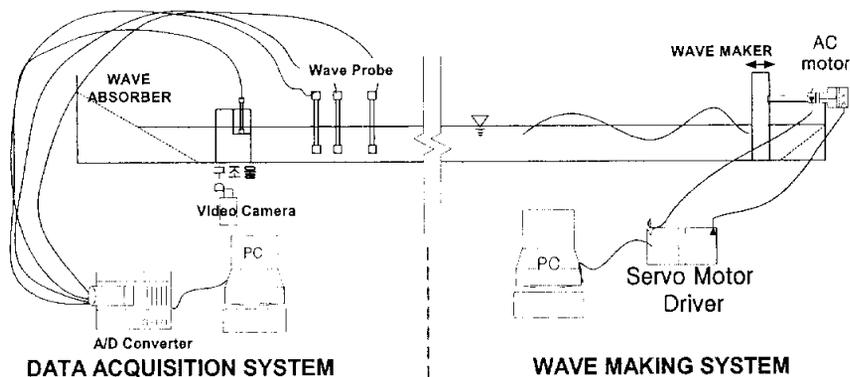
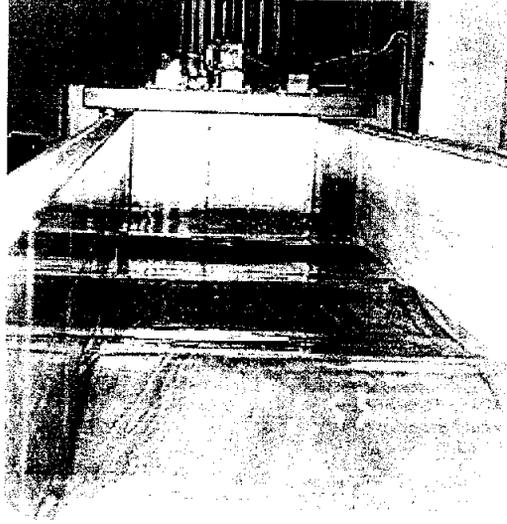
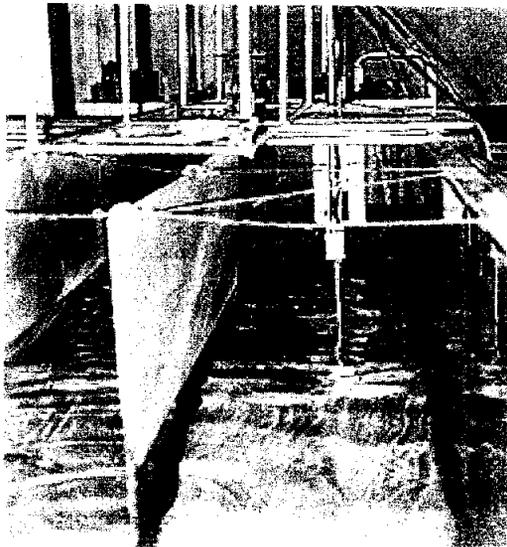


Fig. 3.1 Irregular Wave generating System.



a)



b)

Fig. 3.2 Photo of wave generator and wave probes.

(2) 실험의 순서

본 연구는 기본적으로 일반적인 수리모형실험의 기준을 따른다. 따라서 수리실험의 전체 순서는 Fig. 3.4과 같다.

먼저 본 실험의 대상이 사석경사제의 기초부 형상에 따른 수리학자 규 안정성이므로 일반적인 연안역 방파제의 설치수심인 20 m를 대상으로 실험조건을 구성하였다.

실험데이터의 정확도를 위해서 우선 조파기 및 실험장치들의 보정을 실시하여 보정값을 획득, 입력하였다. 실험의 정도를 높이기 위해서 먼저 유효영역실험을 통하여 실험 최적영역을 확인하였다. 실험은 조파수조 내에서 조파방향으로 1 m 간격으로 파고계를 이동하여 대상파랑의 재현성을 검토하였으며, 이를 통해 조파판 전면 16 m 지점을 실험좌표로 원점을 결정하였다.

입사하는 파랑의 조건을 재현하기 위해서 구조물을 설치하지 않은 조건에서 수로내에 파고계를 설치하여 이를 구조물로 입사하는 파랑 조건으로 결정하였다. 반사파에 의한 파랑장의 교란을 막기 위해서 끝단에 소파제를 충분히 설치하였다.

불규칙파랑의 조파를 위해서 목표스펙트럼을 구성하였으며 본 실험에 사용된 목표스펙트럼은 JONSWAP 스펙트럼을 이용하여 20개의 주파수를 조합하여 구성하였다. 생성된 조파신호는 D/A 간격을 50 msec으로 신호를 구성하였으며 이는 피스톤형 ABS 스크류 모터를 통하여 조파판을 구동하여 파랑을 조파하게 된다. 검출된 조파신호는 스펙트럼 분석을 통해서 목표스펙트럼과의 비교를 통해 재현파랑의 특성을 확인하였다.

일반적으로 수리모형실험에서는 수로분할법을 이용하여 입사파랑의 성분을 검토하나 본 실험에서는 수조의 폭이 1 m이며 분할 격벽을 설치할 경우 수로 내 측면 조도의 영향으로 파랑장의 교란이 예상되므로 구조물 설치 전에 입사파랑의 재현을 완료한 후 구조물 설치 후에 입·반사 분리에 의한 입사파랑성분의 검토를 통해서 입사파랑을 적용하였다.

월파량의 측정은 배후면의 안정성까지 함께 고려하여야 하므로 동일 조건에서 월파량 측정과 안정성 관측실험이 실행 되었다. 월파량의 관측시에는 월류장치와 월수조를 설치한 후, 월류저수조 내에 용량식 수위계를 설치하여 월파에 의해 월류량을 저수조 내의 수위증가로 측정하였다. 월류수조의 보정은 메스실린더를 이용하여 월류 저수조 내에 첨가하면서 수위의 변동을 측정하여 보정값을 획득한 후 이 값을 A/D 변화 시에 환산값으로 적용하여 각 시간에 따른 월파량 시계열을 측정하여 평균 월파량과 최대 월파량을 검출하였다.

파고계의 설치는 조파 시의 입사파량을 측정하기 위해서 조파관 전면 5 m 지점에 1개의 파고계를 설치하였고, 기부전면 4 m 지점에 3점의 파고계를 설치하여 입사파량과 반사파량을 분리하였으며 파고계의 간격은 Goda의 3점법 적용한계를 만족하는 범위에 파고계를 설치하였다. 압사석 상부에서의 수위변화를 측정하기 위해서 2개의 파고계를 설치하였으며 이는 모형구조물에 의한 구조물전면의 반사파를 고려하여 구조물 전면 1 m에 설치하였다. 소단 상부의 파고계는 반사파와 파랑변형의 비선형 요소가 많이 발생하는 영역이므로 파고계 설치 위치에서의 수위증감을 측정하였으며 입·반사파량의 검출은 실시하지 않았다. 구조물 배후의 전달파는 측정하지 않았으며, 구조물 전면의 Run-up 및 Run-down 현상은 화상을 이용하여 기록하여 전면 피복석의 안정성과 월파현상에 참고하기로 한다.

월파 및 파랑관측시간의 작용파수는 수조내의 충분한 불규칙 파랑의 발달 및 파수에 따른 파과의 진행을 검토하기 위해서 유의파 주기를 기준으로 할 때 1000파 이상을 측정하였으며 파랑의 추출간격은 Goda의 3점법 적용시 최적 검출 간격을 고려하여 0.1초로 하였으며 검출데이터의 수는 4096개를 검출하였다. 각 실험은 디지털 화상녹화기(VX-2000, IP5)를 이용하여 월파현상을 녹화하였으며, 이와 함께 디지털카메라(F-707)를 이용하여 각 실험전후의 사진을 촬영하여 구조물의 기하학적인 안정성을 평가하였다.

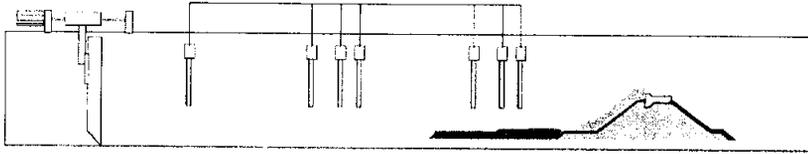


Fig. 3.3 Experimental setup.

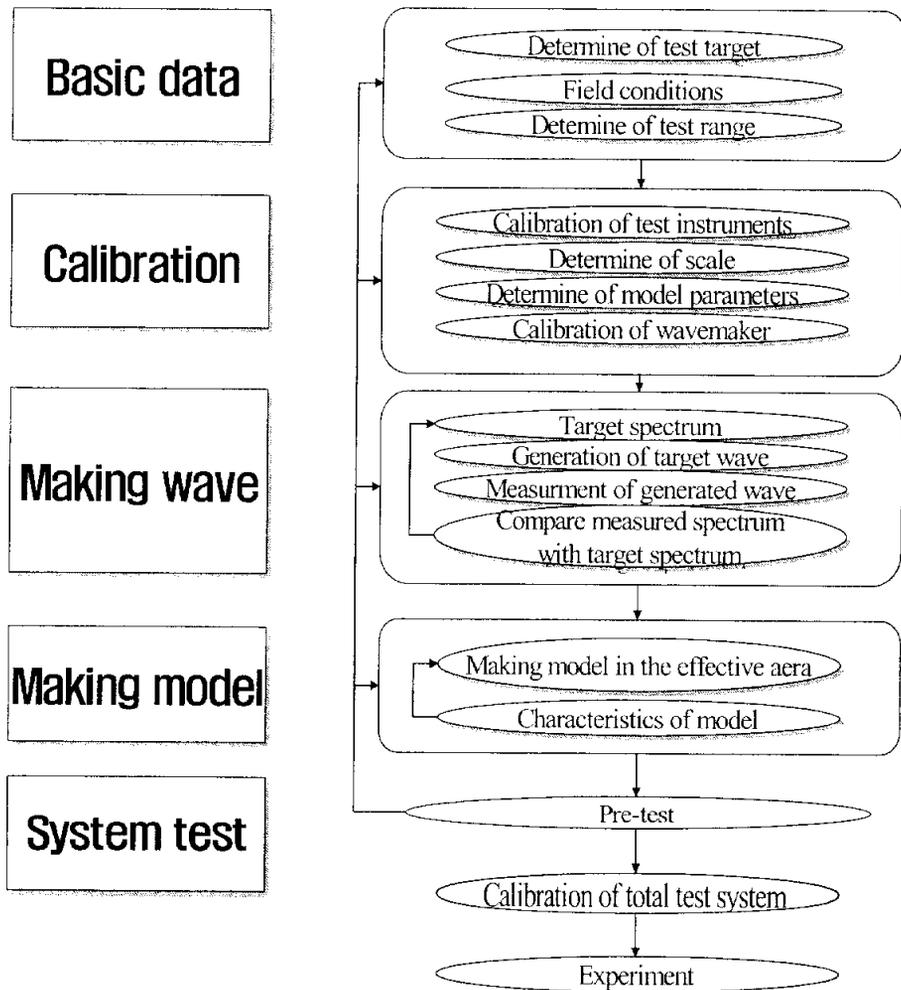


Fig. 3.4 Flow of Study.

(3) 실험조건

본 실험의 조건은 크게 구조물의 조건, 입사파랑의 조건, 저면의 조건으로 구성할 수 있다. 먼저 구조물의 조건은 저천단 방파제이다. 본 실험에서 대상을 저천단 방파제로 결정한 이유는 월파의 영향이 구조물의 안정성 및 기능성에 직접적인 영향을 주는 구조물이며 이에 따른 기초부의 효과가 중요한 조건이므로 실험의 대상을 저천단 기초부 방파제로 결정하였다. 구조물의 조건에서 저천단 방파제의 경우 실제 현장의 재현성을 높이기 위해서 대상 구조물을 선정하였으며, 대상구조형식은 실제 연약지반에 설치된 저천단 방파제인 부산 신항 방파제의 단면을 대상으로 적용하였다.

구조물의 세원은 현장의 조건을 기준으로 구조물의 기부 수심은 20m이며, 전면 피복석은 T.T.P.를 이용하여 정적 두발걸이 2층 쌓기를 하였다. 전면 피복석의 경사는 1 : 1.5이며 내부 사석의 크기는 $0.03 m^3$ 이며 내부피복석의 경우 $0.4 m^3$ 의 입경을 가지고 있다. 배후면은 이형블록으로 피복하지 않고 $0.4 m^3$ 의 사석으로 피복하였다. 구조물 전면의 기초부는 상대 기초부 높이를 세 가지, 길이를 두 가지로 구성하였다. 입사하는 파랑의 조건은 모형으로 하는 대상해역의 설계 파랑인 주기 12 sec~14 sec, 파고 4.0 m ~ 5.5 m에 대해 Froude 상사법칙을 적용하여 구성하였다. 불규칙 파랑은 비쇄파 조건을 적용하였으며 소단의 길이는 일반적인 소단의 연구결과에서 파장의 1/4인 길이 이상일 때 유효한 소파효과가 나타난다는 기존의 연구결과를 이용하여 입사파랑의 1/4 파장을 대상으로 결정하였다. 불규칙 파랑의 조파를 위해서 JONSWAP스펙트럼을 목표스펙트럼으로 하여 불규칙파랑 신호를 작성하였으며 이러한 불규칙 파랑의 재현성은 계측 스펙트럼과의 비교를 통해 확인 하였다. 실험조건은 Table 3.3와 같으며 각 물리량에 대한 무차원수의 관계는 Fig. 3.5와 같다. 또한 각 실험 케이스에서 사용된 물리량은 Table 3.4와 같다.

Table 3.3 Experimental conditions

	Physical parameters	Value
Wave conditions (Irregular wave)	H1/3 (cm)	6~17
	T1/3 (sec)	1.5~2.5
	Spectrum Depth (cm)	JONSWAP 45
Structure conditions	Armor	Tetrapod (500 g)
	Core	Riprap (3~10 g)
	Slope	1 : 1.5
	Depth (toe) Berm (height/length)	45 cm 5~10 cm /7~14 cm
Bottom conditions	Still	Smooth
	Slope	1 : 30
	Tested wave number	1000

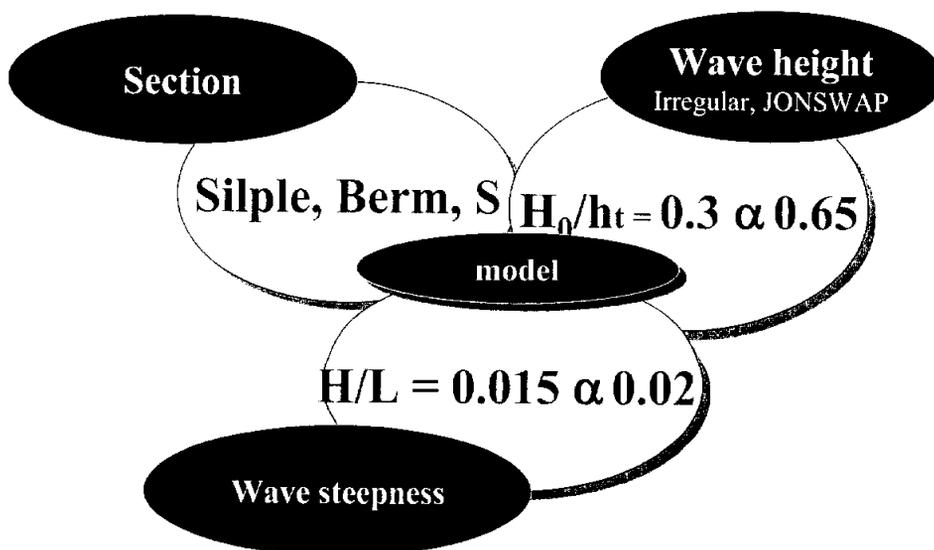


Fig. 3.5 Schematic diagram of experiment.

3.4 부산신항 동방파제의 피해원인검토

부산신항 동방파제는 가덕도 서안에 위치하고 있으며 총연장 600 m의 사석식 경사제이다. 상부에는 상치콘크리트가 타설되어 있고 제체부에는 20 ton, 제두부에는 32 ton의 T.T.P.가 피복되어 있다. 천단고는 서측 D.L. 8.7 m에서 동측 8.9 m 까지이며, 방파제 주위에 지반강화를 위한 폭 60, 높이 3m의 압사석이 설치 되어있다.

금번 동방파제의 피해는 주로 제두부에 집중되었으며, 제두부의 T.T.P (32 ton)와 상치콘크리트 1개 구간이 침하하였다. 이는 금번 태풍 “매미”가 주기 15 sec의 장주기 이고 동방파제 전면 파고계에서 계측된 값이 7.4 m임을 고려할 때 장주기 고파랑이 내습하였으며 입사파향은 구조물에 15° 경사를 가지고 입사하는 조건으로 보고되고 있다. 동방파제의 제두부는 장주기 고파랑의 내습에 따른 대표적인 파괴모드를 모이며, 해일에 의한 수위상승으로 인해 제두부 상치콘크리트의 파괴가 심각하게 발생 하였다.

제체부의 경우 배후면 피복석의 일부 파괴가 발생되었고 전면 T.T.P의 경우 교란이 발생되었을 뿐 이탈의 파괴는 발생하지 않았다.

금번 피해원인 검토실험을 위해 실험수심은 서측기부수심을 만조시에 해일고를 고려한 14.5 m를 적용하였으며, 3차원 수조내에 1:100 모형을 설치하여 재현실험을 실시하였다.

Fig. 3.6은 동방파제의 피해 구간을 나타내고 있다. Fig. 3.7은 평면수조내의 동방파제의 설치모식도이며 서측두부구간의 피해를 재현하기 위해 서측두부구간에 관측기기를 설치하였다.

Fig. 3.8은 재현 실험장면이며 실험을 통해서 해일에 의한 수위상승은 상치콘크리트 하부와 T.T.P의 상호간섭을 가져오며 초기에 고파랑으로 파괴된 T.T.P 아래의 중간피복석이 유실되어 상치콘크리트의 침하파괴를 야기 하였다. 동방파제 전면의 파고계에서 관측된 자료에 따르면 고파랑(7.4 m ~ 8.0 m)의 지속시간은 1시간 가량이며 장주기 파랑의 경우 3시간 ~ 4시간의 지속시간을 가진다. 이를 고려할 경우 수위는 만조시를 경과하여 감소하게 될 것이며 이러한 수위의 감소는 입사파랑의 입사위치의 감소를 가져온다.

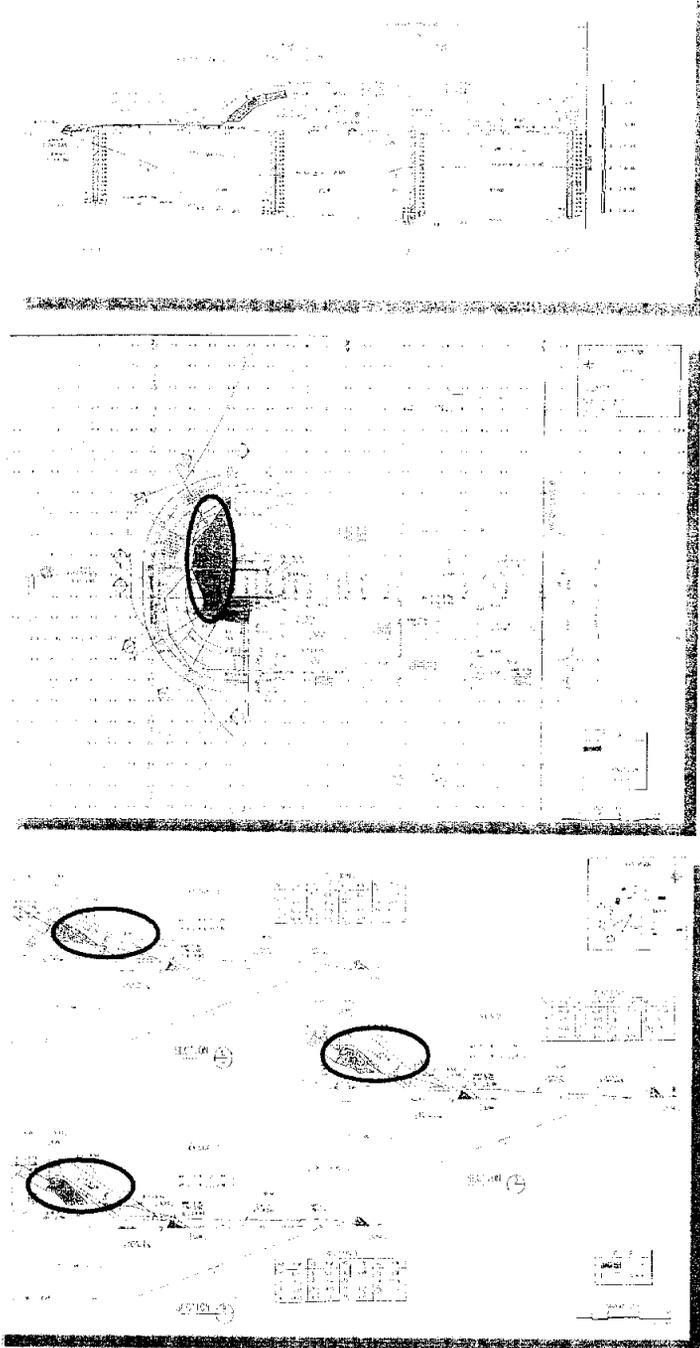


Fig. 3.6 Failed east breakwater in the new Busan port.

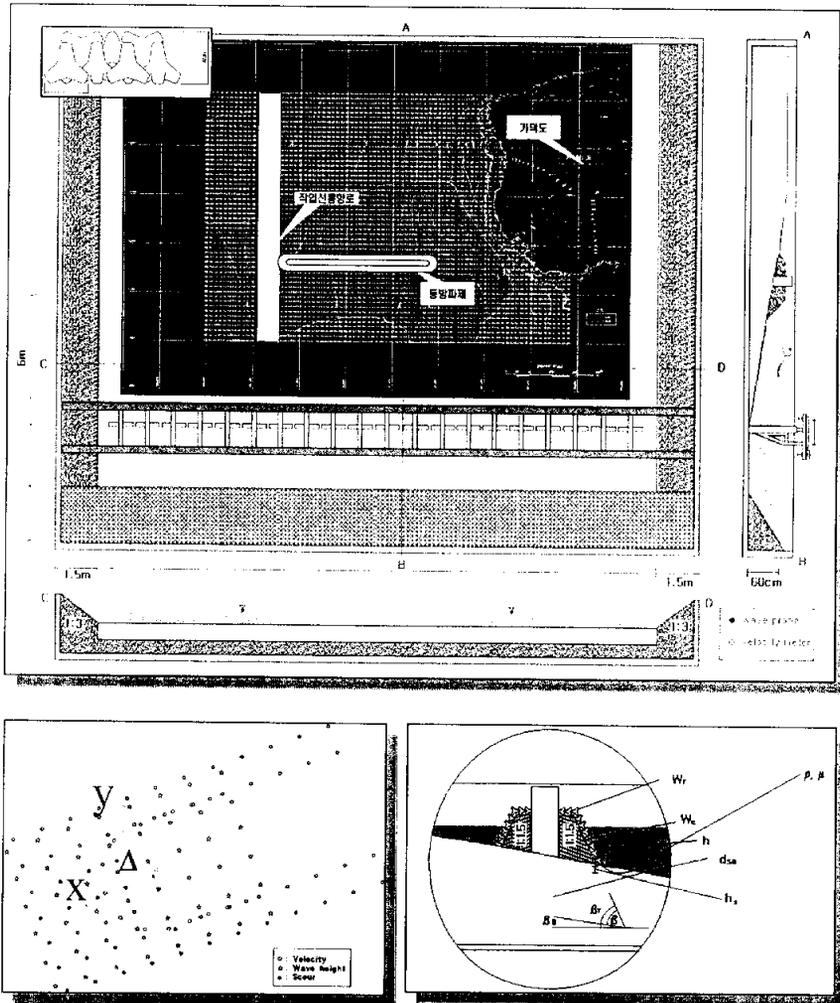
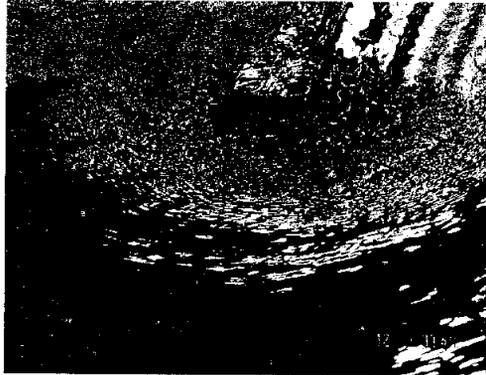
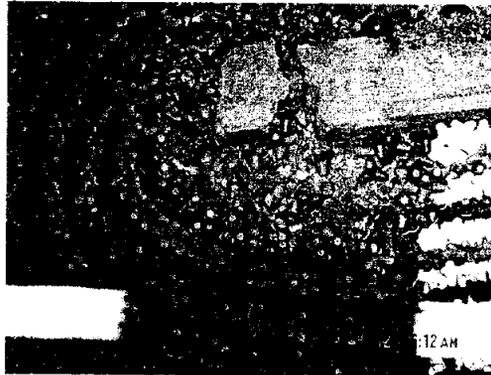


Fig. 3.7 Experimental setup.



a. Failed head area.



b. Failed T.T.P.



c. Failed cap concrete.

Fig. 3.8 Photo of failed east breakwater head.

3.5 복합단면의 수리학적 특성 실험

부산신항 동방파제의 피해원인 검토실험을 통해서 제체부의 20 ton에 비해 제두부의 경우 32 ton의 중량에도 불구하고 급변 태풍 “매미” 이후의 동방파제 피해는 제두부에 국한되어 피해가 발생하였다. 이를 통해서 우리는 대상해역의 해안구조물의 기존설계식에서는 극복하지 못하는 한계를 파악할 수 있었다. 따라서 기존의 중량산정식(허드슨 공식)에서 제안하는 피복석의 중량과 제두부의 중량은 조정되어야 하며, Fig. 3.9는 이러한 피복석 중량산정식의 한계를 극복한 해안구조물의 설계를 위해 복합단면형식을 제안하기 위한 모식도이다. 일반적으로 복합단면의 경우 단면이 기존 단순경사식에 비해 단면이 증대된다는 약적을 가지고 있으나 본 연구에서 대상 해역으로하는 가덕도 인근의 해안구조물이 소규모형식임을 고려하면 복합단면형식의 적용은 경제성과 안정성을 어느 정도 만족하는 효과적인 대안이 될 것이다.

이러한 복합단면의 특징을 파악하기 위하여 기존의 단순경사제(uniform type)와 소파공을 설치한 berm type 경사제 그리고 복합단면 경사제에 대하여 구조물의 설치수심과 입사하는 파랑조건을 조정하여 월파량과 반사율의 발생 특성을 파악하였다.

일반적으로 반사율은 구조물 특히 경사제의 전면피복석의 파괴에 중요한 영향을 미치며, 월파량은 배후면 및 상치콘크리트의 안정성에 중요한 영향을 미친다.

Fig. 3.10은 2차원 단면수로에 설치된 각 기본 단면의 배치도를 나타낸다. Fig. 3.11은 실험조건이며, 사용된 파랑은 상당심해파랑이다.

실험방법은 전술한 실험방법과 같으며, 각 단면은 공사비의 과도한 설계를 방지하기 위하여 기본적으로 5% 이내의 단면적의 범위를 가지고 있다.

Fig. 3.12는 각 단면에서 계측된 월파량과 상대파고의 관계를 나타내고 있다. 그림에서 단순경사제의 경우 월파량이 상대파고가 0.4에서 0.5의 구간에서 피크를 보이며, 상대파고의 증가에 따라 월파량이 감소한다. 일반적으로 파고의 증가는 월파량의 증가를 야기하나 상당심해파고의 증가는 천수영역에서의 쇄파의 발생을 증가시키며, 사면상의 처오름 높이에도 영향을 미쳐 월파량이 감소하는 경향을 보인다. 또한 소단형식 경사제의 경우 단순경사제보다는 월파량의 편차가 크지 않다. 복합단면

의 경우 상당심해파고의 변화에 따라 큰 월파량의 변화는 보이지 않고 있으며, 이는 구조물설계 시 중요한 안정성 검토요소가 된다. 따라서 복합단면에서의 월파량의 균일한 발생은 구조물에서 월파량이 감소하는 효과와 함께 구조물의 안정적인 설계를 고려할 수 있다는 장점을 알 수 있다. Fig. 3.13는 상대파고에 따른 반사율의 변화를 나타내고 있으며 복합단면에서 현저한 반사율의 감소를 보이고 있다. 이러한 복합단면에서의 반사율 감소는 제체 피복석의 안정성을 도모할 수 있음은 물론 방파제 건설에 따른 인근 시설물에 미치는 반사파의 영향도 저감할 수 있으므로 복합단면의 장점을 잘 나타내고 있다.

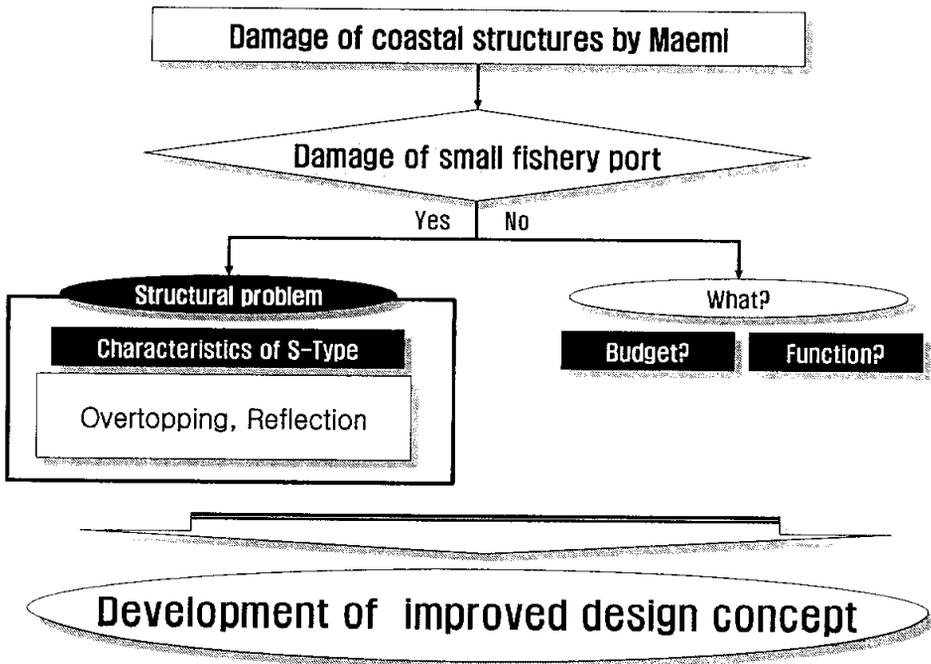


Fig. 3.9 Development of new design concept for small fishery port.

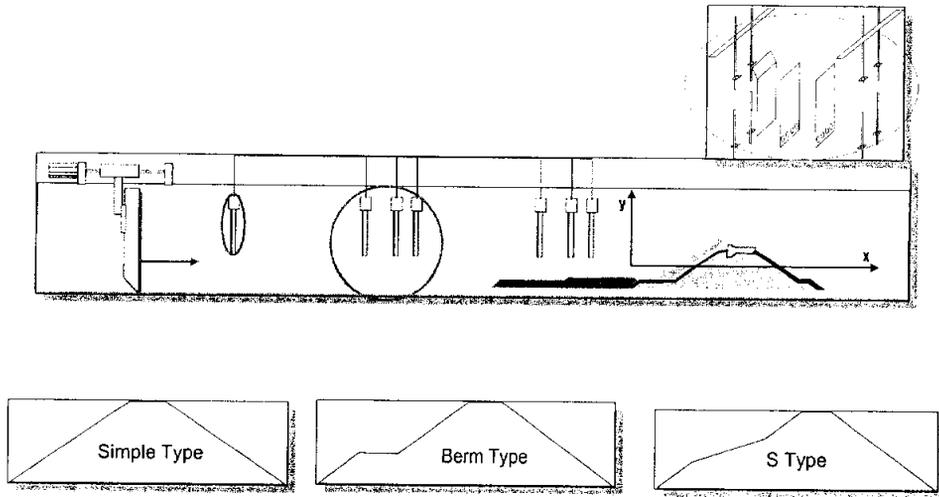


Fig. 3.10 Experimental setup(sectional shape).

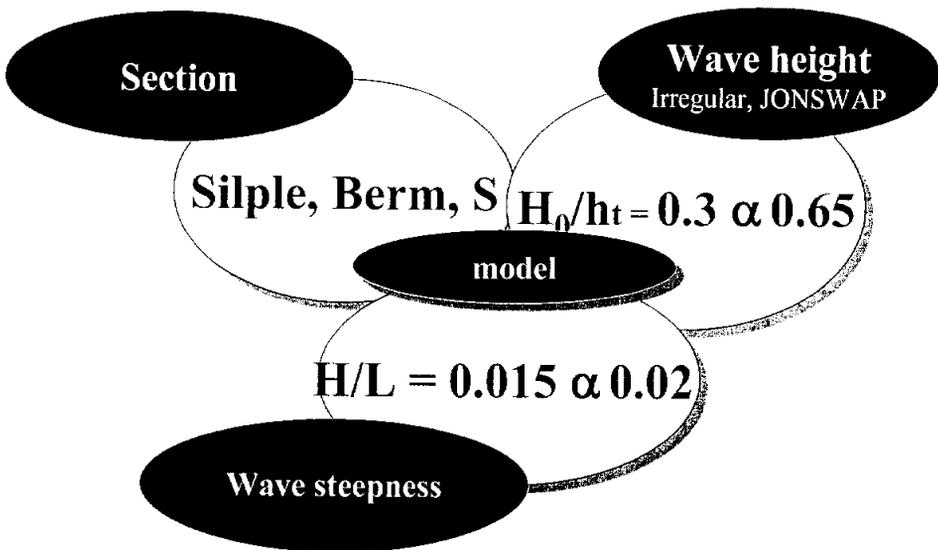


Fig. 3.11 Experimental conditions.

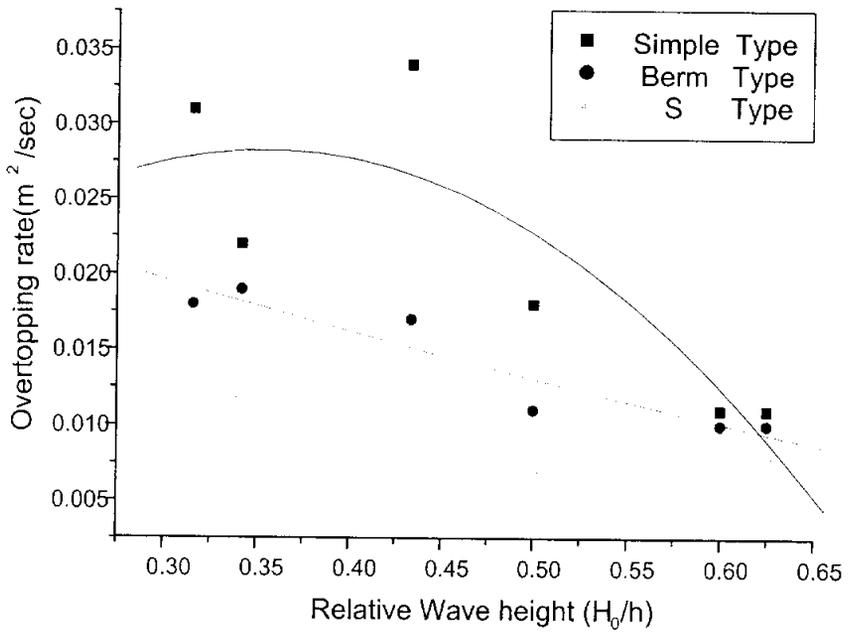


Fig. 3.12 Variation of overtopping rate with relative wave height.

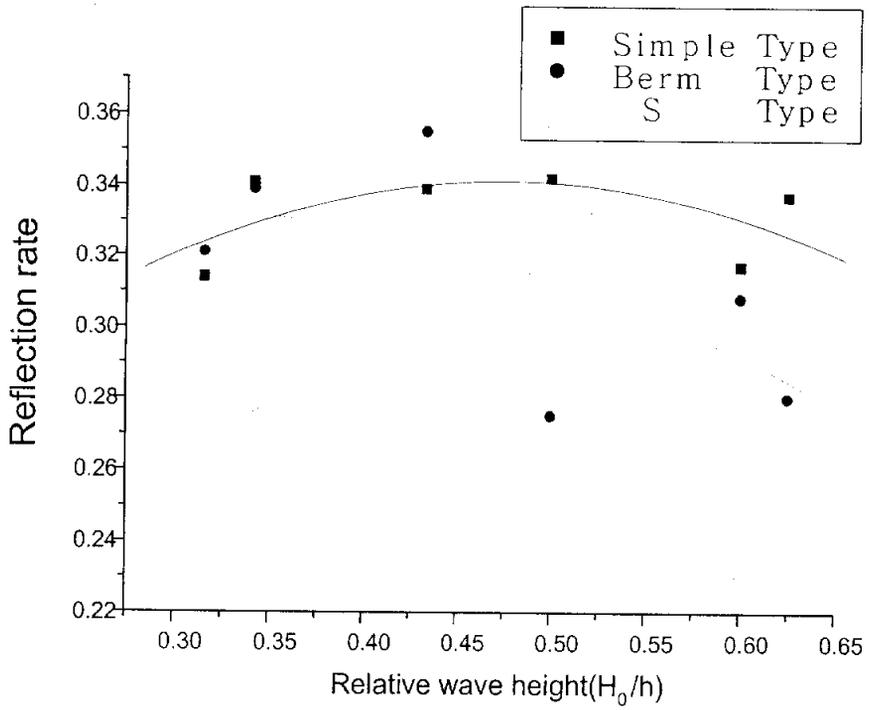


Fig. 3.13 Variation of reflection rate with relative wave height.

4. 요약 및 결론

이상으로 해양성재해인 태풍에 의한(태풍 “매미”) 가덕도 지역의 피해 특성을 분석하고 해안시설물의 피해원인분석을 통해 구조물 설계시 안정성 확보를 위한 단면의 한계를 파악하였으며, 결과로 완충역을 갖는 설계개념인 복합단면의 장점과 응용가능성을 확인할 수 있었다.

Fig. 4.1은 가덕도 종합개발계획과 본 연구를 통해 얻어진 권역별 해양성재해의 피해형태를 동시에 나타낸 결과이다. 본 그림을 통해서 향후 가덕도의 개발계획 수립 시 대부분의 주요 거점 단지가 금번 태풍 “매미”의 직접적인 피해영역이었으며 이들 재해특성을 고려한 장기적인 합리적인 해안구조물의 설계개념이 반영되어야 함을 강조할 수 있다.

이상의 연구를 통해 얻어진 주요 결과를 정리하면 다음과 같다.

1. 태풍 “매미”로 인한 해안구조물 피해사례를 통해 가덕도 지역의 공간적이 피해모드를 정리하면, 전체 세 개의 권역으로 구분되며, 북측권역은 침수에 의한 피해, 남서측 권역의 경우 파랑에너지에 의한 해안 및 구조물의 파괴와 침수피해가 함께 발생하여 피해가 컸으며 그리고 남동측 권역의 경우 파랑에 의한 피해로 특징지을 수 있다.
2. 부산신항 동방파제의 피해원인분석을 위해 수리모형실험을 실시 하였으며, 이를 통해 기존 해안구조물의 중량산정식에 따른 단면설계의 한계(고조, 제두부)를 파악할 수 있었으며, 이로 부터 단면형식의 개선 및 설계개념의 재정립이 필요함을 강조할 수 있었다.
3. 경사제의 단면형식에 따른 수리학적 특성을 통해서 같은 피복석의 중량조건에서 반사율 감소와 월파랑 특성에서 복합단면의 적용가능성을 파악하였다.
4. 가덕도 종합개발은 국가적으로 중요한 사업이며 이러한 사업의 추진에 있어서 해양과 인근한 지역의 해양성 재해 고려는 필수적이다. 따라서 권역별 피해모드를 고려한 장기적이고 종합적인 해안공학적인 개발계획의 수립과 완충역을 확보하는 공간계획과 함께 구조단면에서도 이와 같은 설계개념을 확장한 복합단면 등을 응용하는 것이 중요함을 강조할 수 있었다.

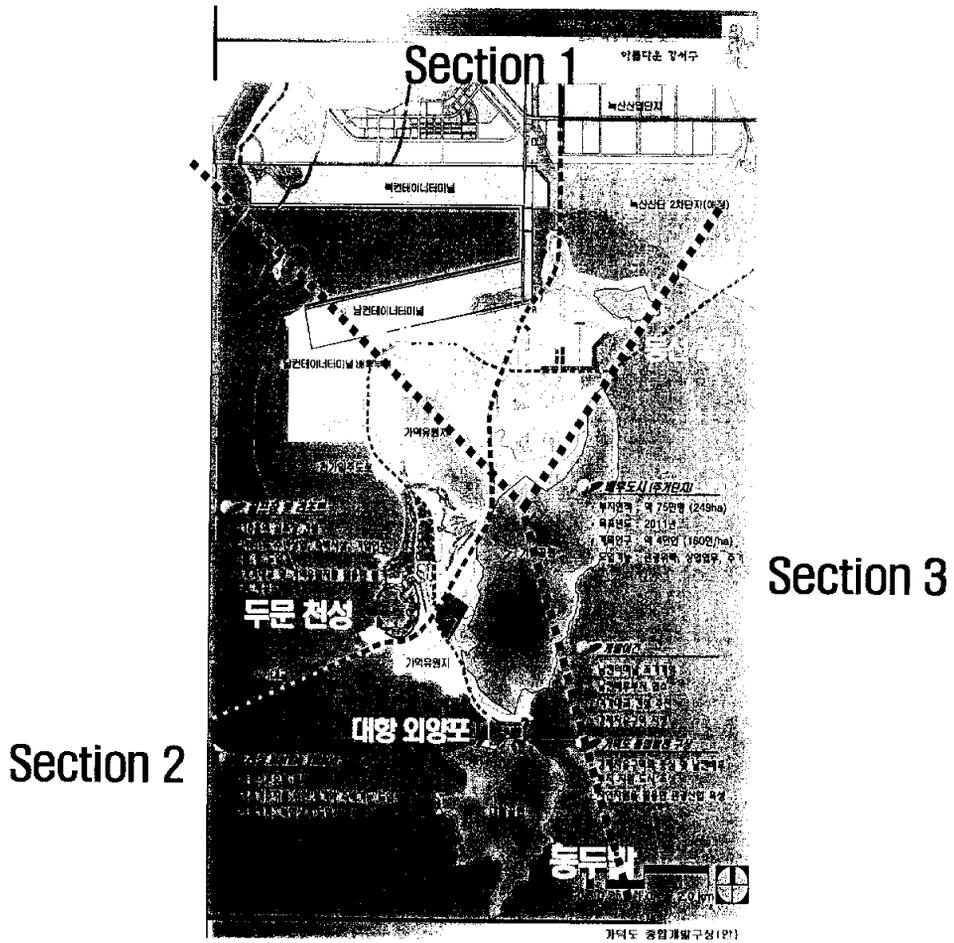


Fig. 4.1 Develop plan and coastal damage modes.

참 고 문 헌

- Arnskov, M. M., J. Fredsøe and B. M. Sumer, 1993. Bed shear stress measurements over a smooth bed in three-dimensional wave-current motion. *Coastal Eng.*, 20: 277-316.
- Biesel, F., 1954. Wave machines. *Proc. 1st Conf. on Ships and Waves*: 288-304.
- Deigard, R. and J. Fredsøe, 1989. Shear stress distribution in dissipative water waves. *Coastal Eng.*, 13: 357-378.
- Fredsøe, J. and B. M. Sumer, 1997. Scour at the round head of a rubble mound breakwater. *Coastal Eng.*, 29: 231-262.
- Fredsøe, J., 1984. Turbulent boundary layer in wave-current motion. *J. Hydraul. Eng. ASCE*, 110(8): 1103-1120.
- Fredsøe, J., 1993. Modelling of non-cohesive sediment transport processes in the Marine Environment. *Coastal Eng.*, 21: 71-103.
- Foti, E. and P. Blondeaux, 1995. Sea ripple formation: the heterogeneous sediment case. *Coastal Eng.*, 25: 237-253.
- Nelson, R. C., 1995. Wave bed friction damping over shoaling, movable beds. *Coastal Eng.*, 25: 65-80.
- Goda, Y., 1985. *Random seas and design of marine structures*. Univ. of Tokyo Press: 110-149.
- Heder, P. A., 1986. Stability of rock fill breakwaters. *Proc. J. Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, ASCE*, 112(3).
- Hughes, S. A., 1993. *Physical models and laboratory techniques in coastal engineering*. World Scientific: 169-332.
- Iribarren, R. C., 1938. A formular for the caculation of rock-fill dikes. *Revista de Obras Publicas, Madrid*.
- Kroon, A., P. Hoekstra, K. Houwman and G. Ruessink, 1994. Morphological monitoring of a shoreface nourishment nourtec experiment at terschelling, The Netherlands. *Coastal Eng.*, 161: 2222-2236.
- Losada, M. A. and L. A. Gimenez-Curto, 1979. The joint effect of

- the wave height and period on the stability of rubble mound breakwaters using irribarren ' s number. *Coastal Eng.* 3: 77-96.
- Pedersen, C., R. Deigaard, J. Fredsøe and E.A. Hansen, 1992. Numerical simulation of sand in plunging breakers. *Coastal Eng.*, 180: 2344-2357.
- Purandare, M. M. and P. A. A. Narayana, 1987. Wave power variation in the near-shore regions. *Coastal Eng.* 11: 381-390.
- Ranasoma, K. I. M. and J. F. A. Sleath, 1992. Velocity measurements close to rippled beds. *Coastal Eng.* 183: 2383-2396.
- Ryu, C. R., 1984. A study on the hydraulic optimal design of the rubble mound breakwaters, Doctorial Thesis, Osaka Univ. (in Japanese) : 64-134.
- Ryu, C. R. and T. Sawaragi, 1986. A new design method of rubble mound structures, *Proc. 20th ICCE, ASCE*: 2188-2202.
- Saito, E. and T. Shibayama, 1992. Local scour around a large circular cylinder on the uniform bottom slope due to waves currents. *Coastal Eng.* 214: 2799-2810.
- Sumer, B. M., T. S. Laursen and J. Fredsøe, 1993. Wave boundary layers in a convergent tunnel. *Coastal Eng.* 20: 317-342.
- Tompson, D. M. and R. M. Shuttler, 1975. Riprap design for wind wave attack. A laboratory study in random waves. Willingford, EX. 707.
- Toue, T., H. Katsui and K. Nadaoka, 1992. Mechanism of sediment transport around large circular cylinder. *Coastal Eng.* 2(219): 2867-2878.
- Van der Meer, J. W. and K. W. Pilarczyk, 1984. Stability of rubble mound slopes under random wave attack. *Proc. 19th Coastal Eng. Conf., Huston*: 2620-2634.
- Van der Meer, J. W., 1988. Rock slopes and gravel beaches under wave attack. Doctorial Thesis Delft Univ. : 11-92.
- Van der Meer, J. W. and J. J. Vedman, 1992. Singular points at berm breakwater: scale effects, rear, round head longshore

- transport. Coastal Eng. 17: 153-171.
- Voulgaris, G., S. Wallbridge, B. N. Tomlinson and M. B. Collins, 1995. Laboratory investigations into wave period effects on sand bed erodibility, under the combined action of waves and currents. Coastal Eng. 26: 117-134.
- Wu, Y. and R.A. Dalrymple, 1987. Analysis of wave fields generated by a directional wavemaker. Coastal Eng. 11: 241-261.
- 榎木 亨 著 , 金南亨 譯, 1996. 漂砂斗 海岸侵蝕., 清文閣: 37-76.

부록 1. 태풍 “매미” 내습이후 가덕도 해안 사진



App 1. 태풍“매미”이후 진우도 모습(‘04. 5 촬영) 동측전경.



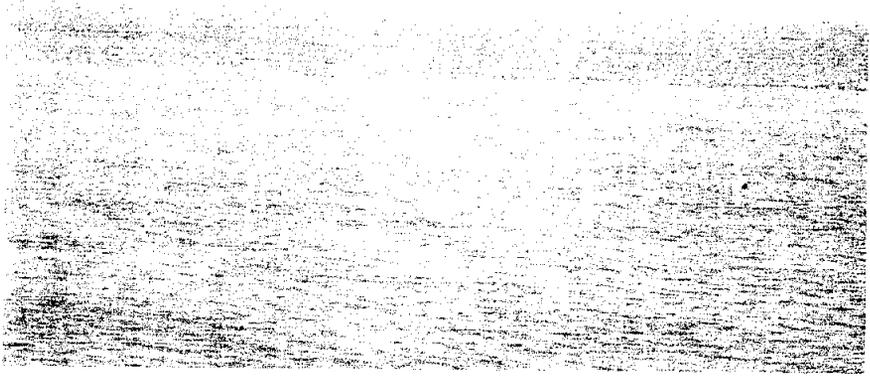
App 2. 태풍“매미”이후 진우도 모습(‘04. 5 촬영) 남동측 전경.



App 3. 진우도 진변에 새롭게 발생한 사주의 모습이 보인다.



App 4. 넓게 발달한 진우도 전면 사주('04. 5. 촬영).



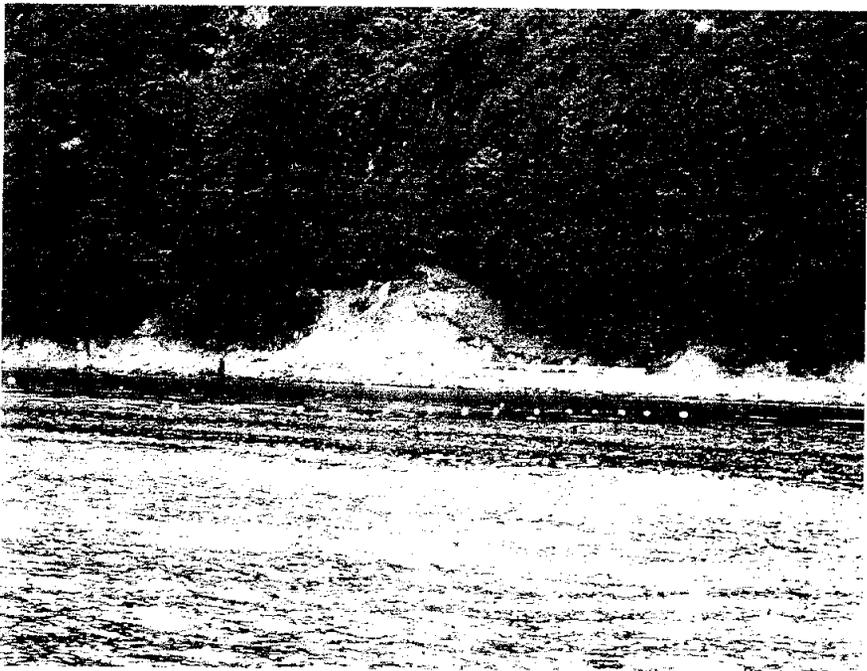
App 5. 진우도 전면 사주와 향로를 사이에 두고 발달하고 있는 사주가 수면위에 서서히 나타나고 있다.



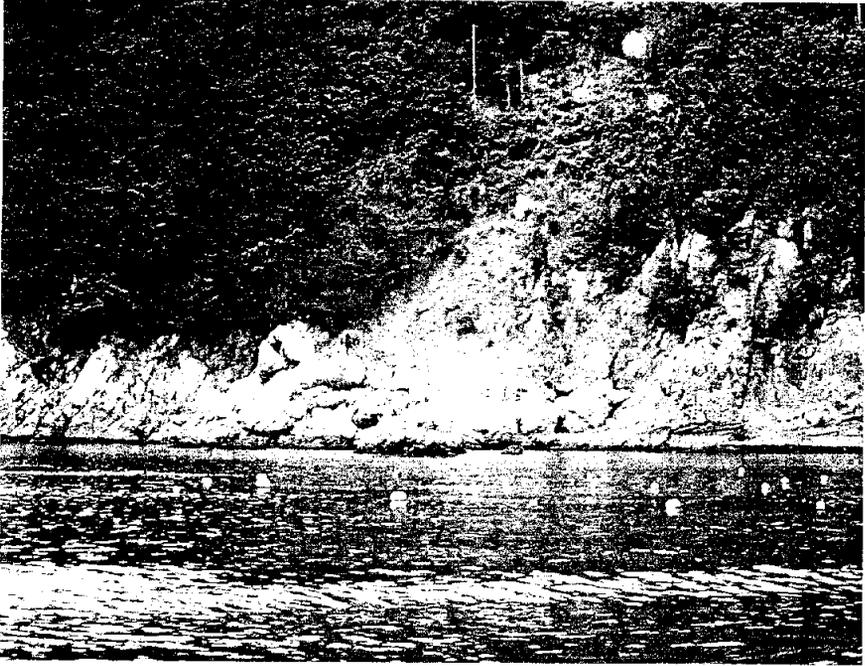
App 6. 진우도에서 바라본 가덕도 전경.



App 7. 놀차 공원 일원의 해변침식 현상(붉게 변환모습).



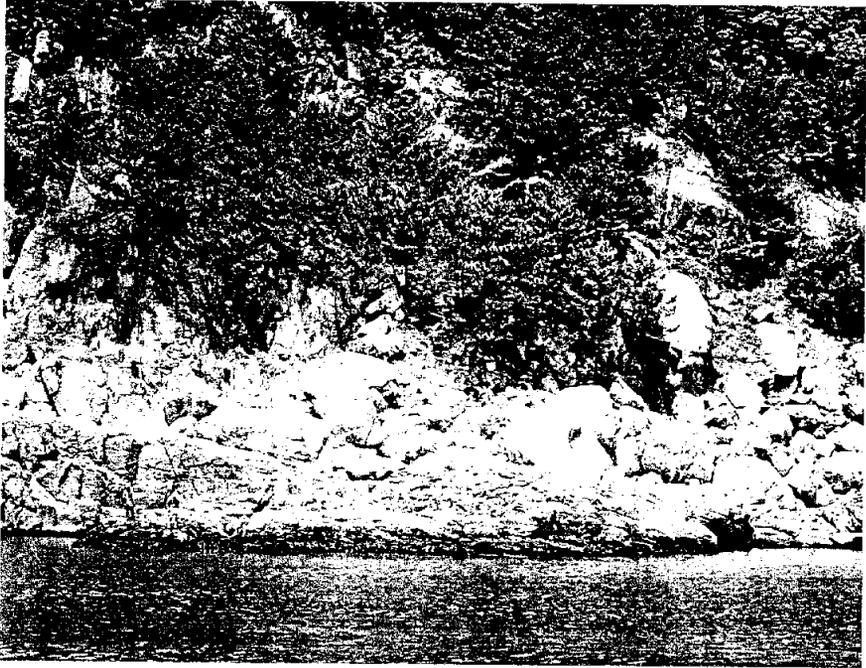
App 8. 동선 기도원 인근의 해안침식.



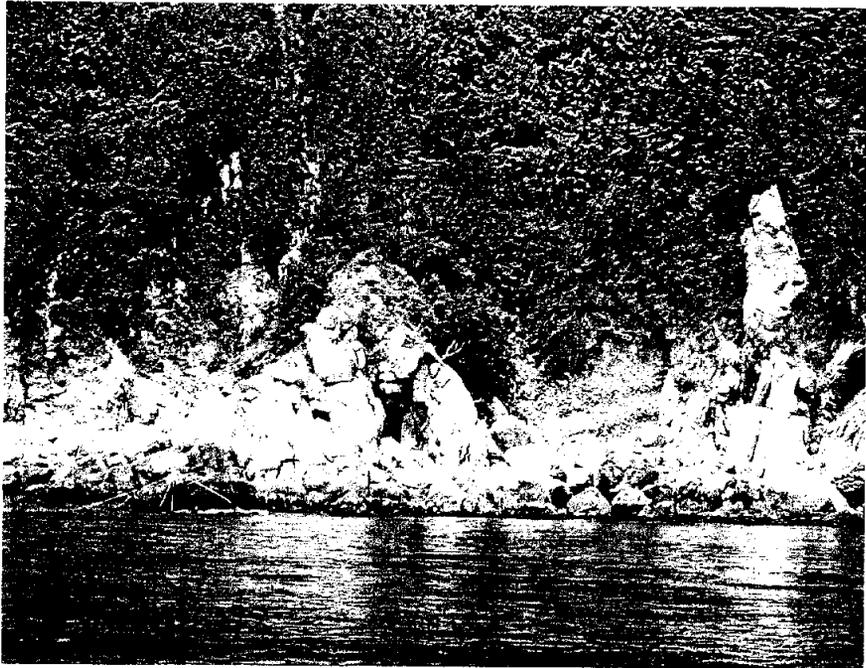
App 9. 가덕도 서안의 해안선 피해.



App 10. 태풍“매미”의 영향으로 해안변 소나무가 붉게 변해 있다.



App 11. 파랑에 의한 해안절벽의 붕괴.



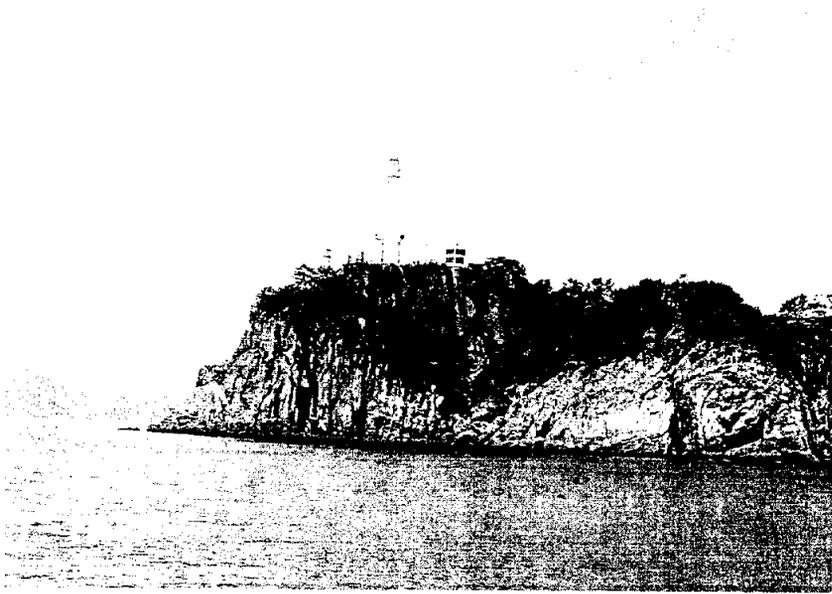
App 12. 파도에 의한 해안침식.



App 13. 가덕도 남측 호안.



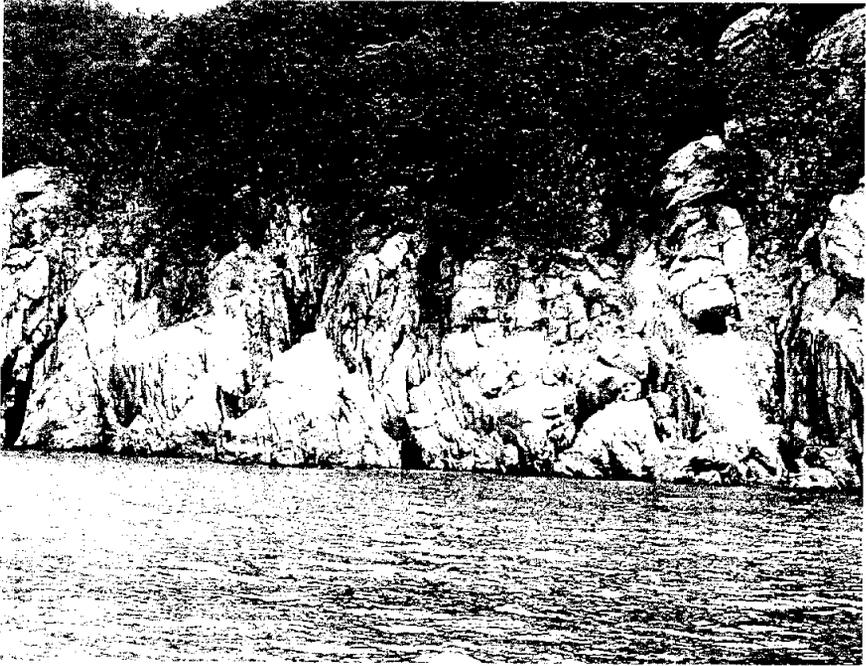
App 14. 가덕도 동두말 등대 아래쪽에 태풍“메미”로 심하게 침식된 바위.



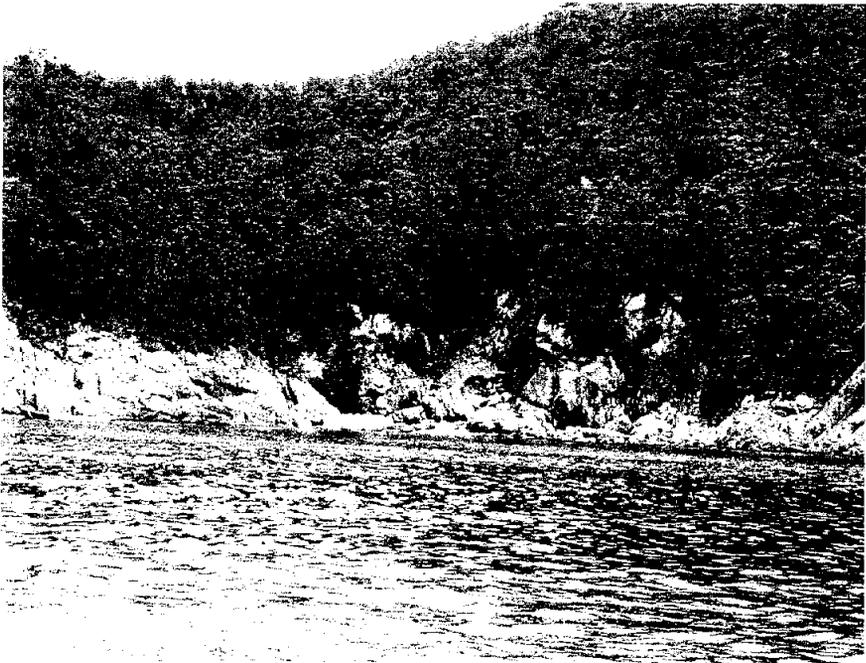
App 15. 가덕동대 인근까지 파도가 튀어올라 소나무들이 벌정계 말라죽어가고 있다.



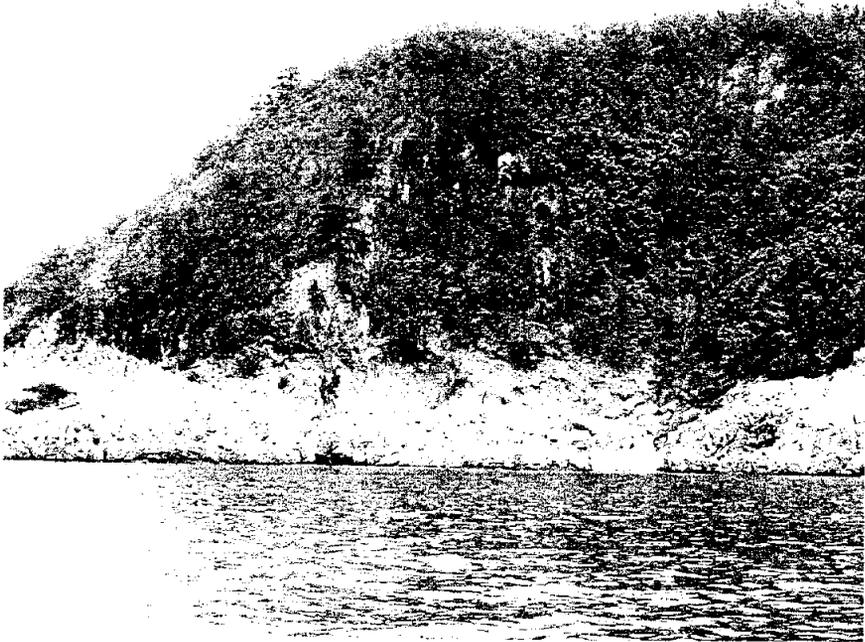
App 16. 가덕도 동두말 등대 모습이 애처롭다 등대가 있는 곳까지 파도가 튀어올라 인근에 있는 소나무 들이 시벨정계 말라죽어 가고 있다.



App 17. 태풍에 의해 침식현상이 뚜렷이 보이는 동두말 인근 해안진경.



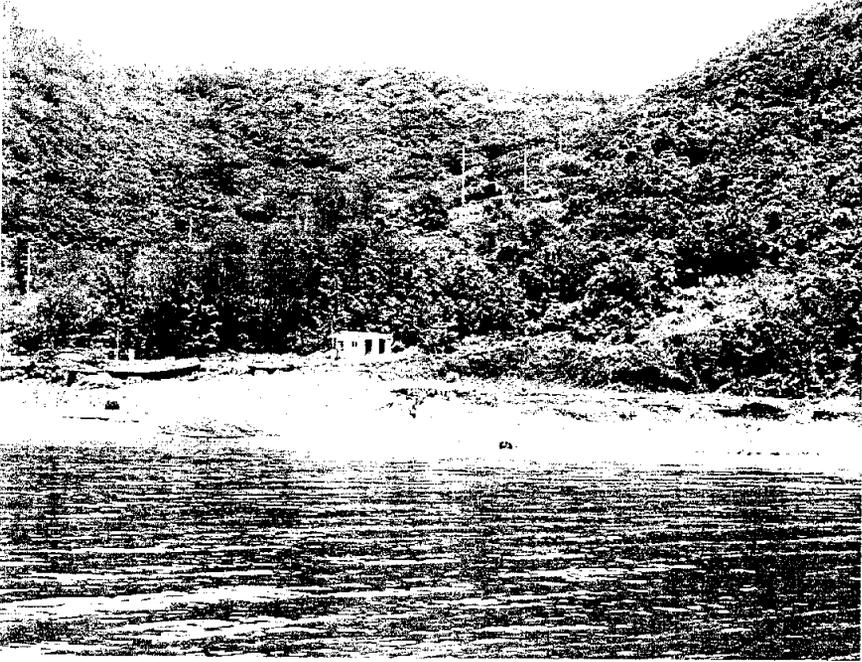
App 18. 대항 송어들이 조업지역 인근의 해안침식 모습. 인근의 거대한 바위가 물속에 빠져있어 ,04년도 조업은 극심하게 부진했다.



App 19. 화도에 의한 침식으로 커다란 구덩이가 파였고, 해안에는 굴러 떨어진 바위가 무수히 보인다.



App 20. 해일로 인해 해안선이 크게 훼손되어 있다.



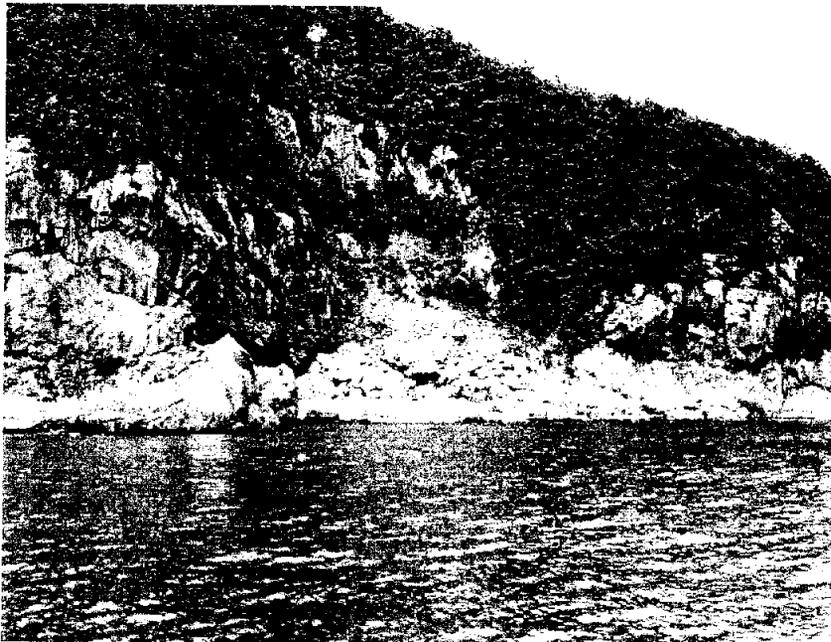
App 21. 외양포 지역의 해안유실 모습.



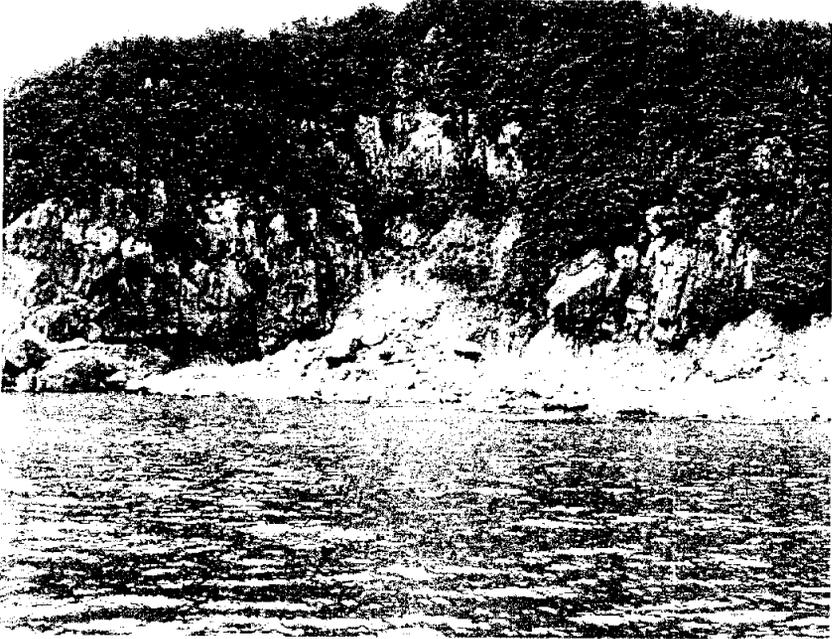
App 22. 일제시대 만들어졌던 방풍림이 해일로 인해 심하게 훼손되어 있는 모습.



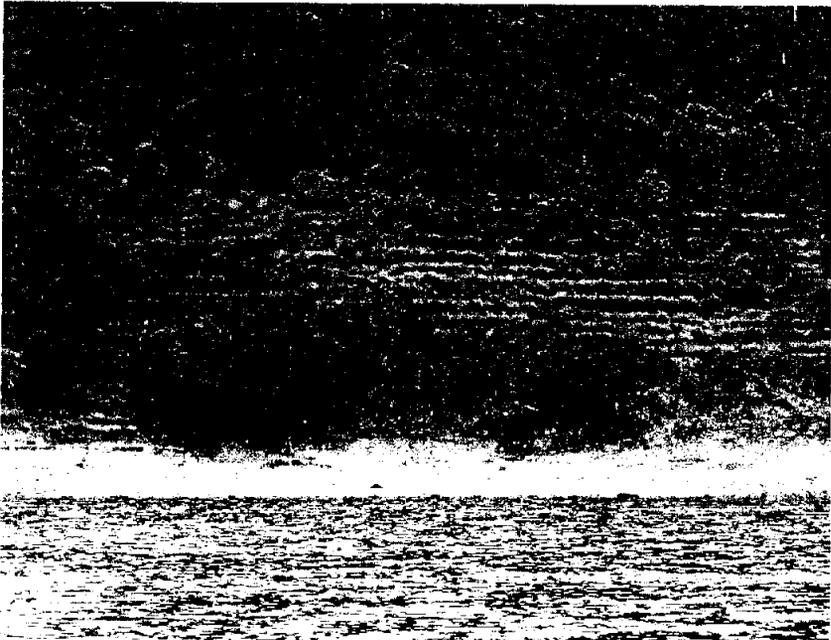
App 23. 외양포 해안변의 침식모습 특이한 것은 나무나 잡초의 방향이
 진해쪽에서 동두말쪽으로 넘어져 있다, 이는 파도는 태풍방향과 달리
 이곳에서 회절한 것으로 보인다.



App 24. 해안환경은 해일로 인해 심각하게 훼손 되어 있으나, 복구대책은
 현재 전무하다.



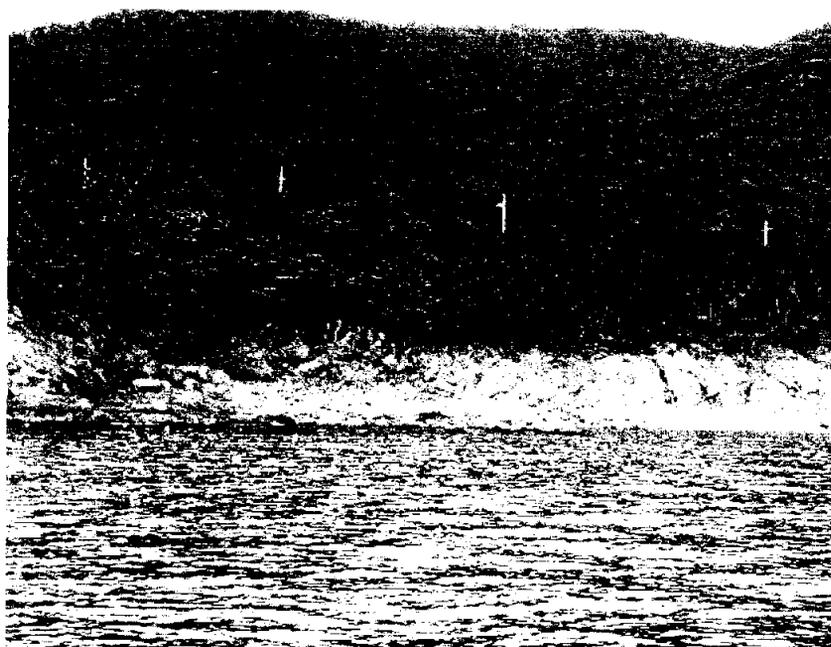
App 32. 자연을 훼손하지 않는 범위의 연안정비사업이 필요하나, 기본계획 반영과 함께, 예산의 지원이 뒤따라야 하나, 심각성을 알릴방법이 쉽지 않다.



App. 26. 대항지역의 해안변 토사가 대량 유실되어 불게 변해있는 모습 이러한 상태로 방치 한다면 경관저해는 물론, 산지나 농지의 유실이 심각할 것이다.



App. 27. 두문지역의 해안변에 축조된 건축물, 이번 태풍으로 붕괴될 지경에 이르렀다.



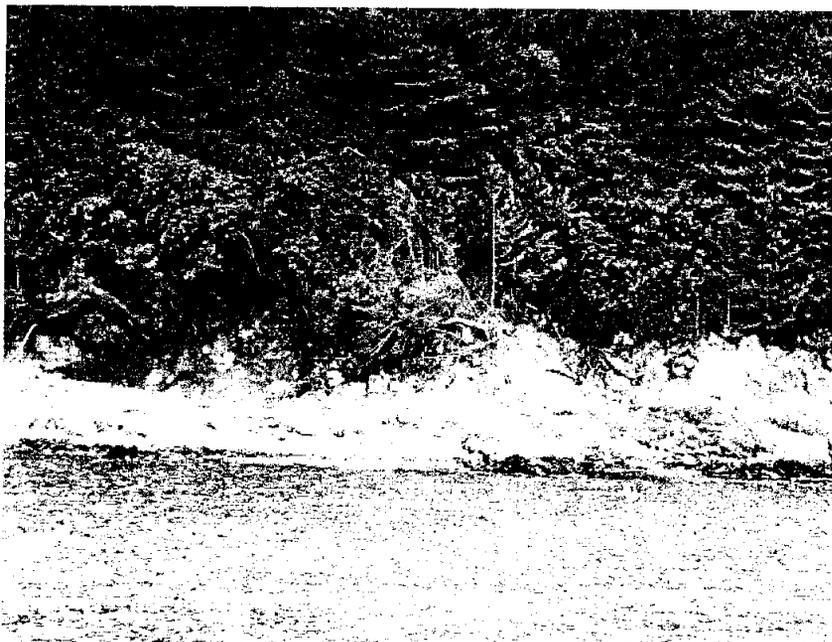
App. 28. 두문지역의 해안변 침식전경, 뒤편에 전주가 보이는 곳이 가덕도 해안순환도로 구간이다.



App. 29. 훼손이 심각한 두문지역(연안정비사업 등에 반영 침식방지사업이 필요한 구간).



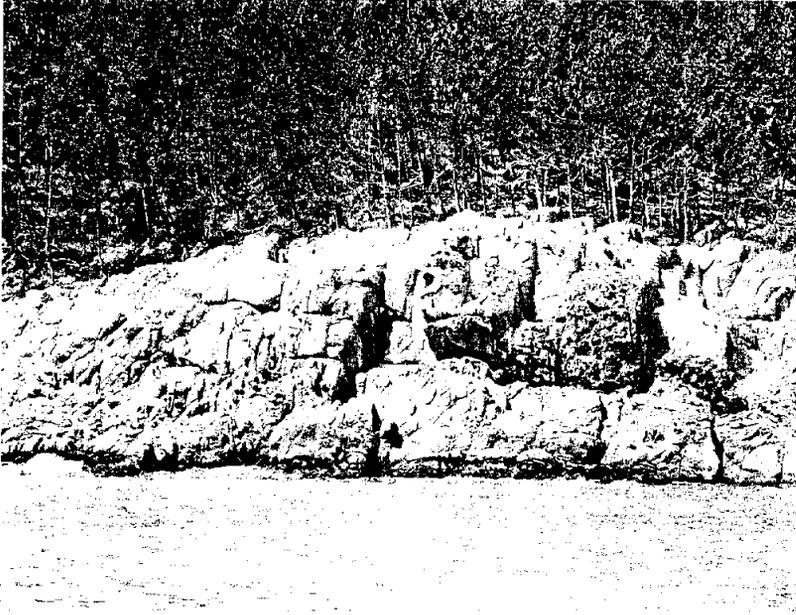
App. 30. 해일로 인해 토사가 유실된 곳에 소나무가 애처롭게 버티고 있다 (해일이 미친 범위는 실제 토사유출지점 보다 훨씬 위쪽이다).



App. 31. 이러한 곳은 신속히 정비해 주지 않을 경우 침식으로 아름다운 해안을 다시는 볼 수 없을 지도 모른다.

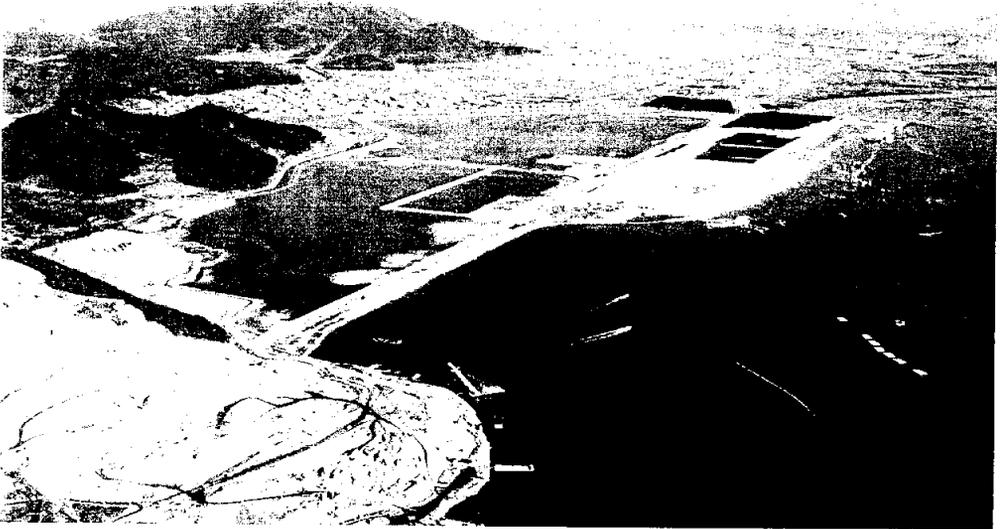


App. 32. 파도에 의해 해안변 소나무 들이 붉게 죽어가고 있는 모습.

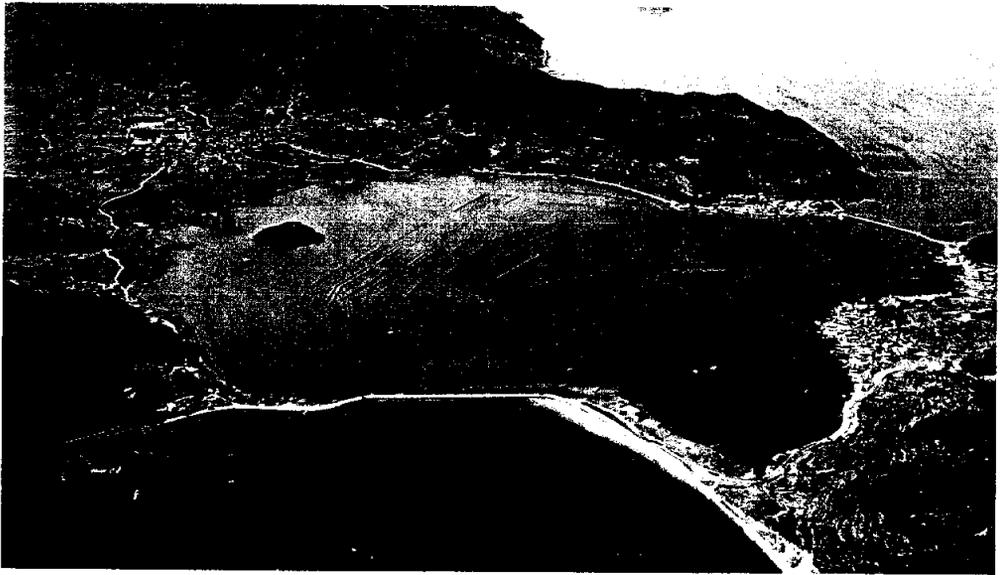


App. 33. 대개의 경우 암반지대 까지만 파도가 비치나 태풍“메피”는 30여 미터 까지 영향을 미쳐 해안 일대의 소나무 등은 대부분 말라죽었다.

부록 2. 가덕도 인근 항공사진



App. 34 부산 신 항만 북컨테이너 부두 및 육방산 토취장(석산)전경으로 멀리 녹산공단이 보인다.



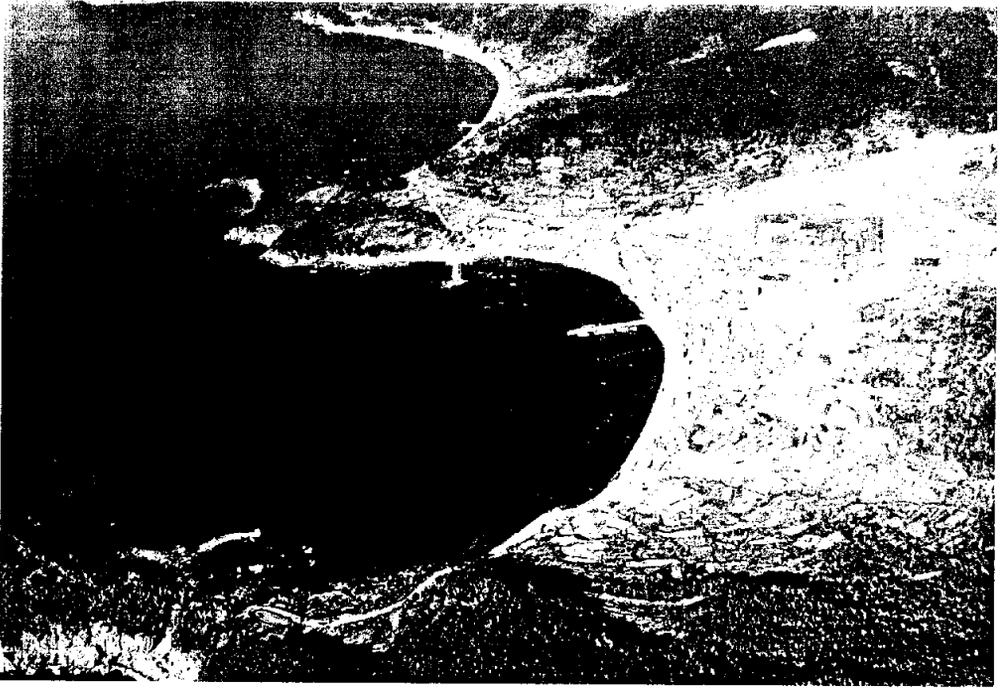
App. 35 부산 신 항만 남컨 부두 후면에 위치한 늪차만 42만평에 이르고 강서구청 주관의 매립계획이 있음[심도(深到)는 약 13m, 갯벌의 가치상실, 유용 해양생물 진부].



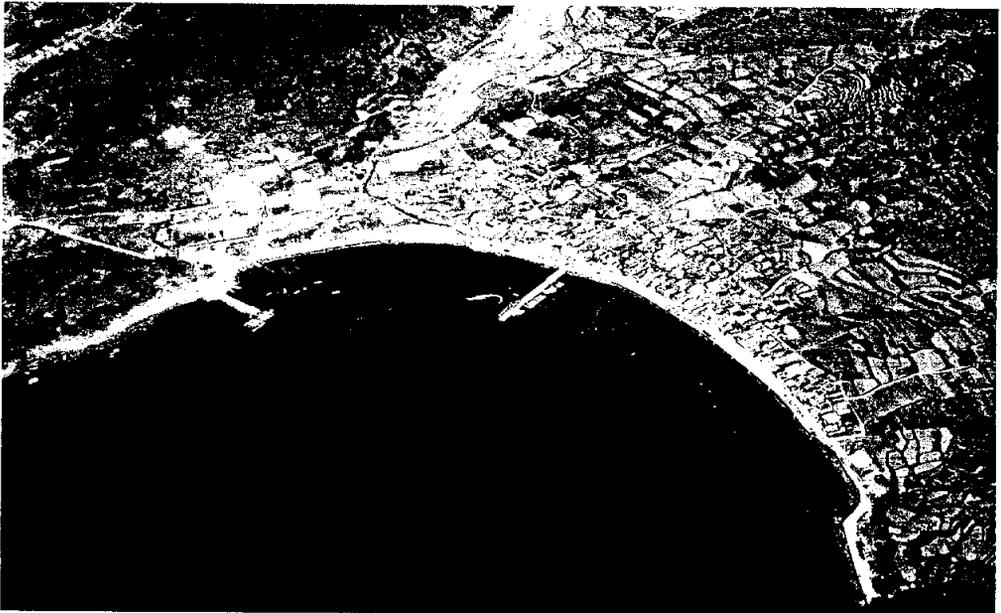
App. 36. 대항 외양포의 전경으로 지난 태풍“매미”내습 이후의 모습으로 방풍림과 좌측 방파제가 완전 유실된 모습을 보이고 있다(중앙의 인가 가운데 일본군의 포진지 모습이 보인다).



App. 37 대항항 모습이 선명하다 중앙에 위치한 T자형 방파제는 태풍“매미”로부터 마을을 완벽하게 보호하였고, 어촌체험관광마을 사업이 한창 추진 중이다, 좌측에 보이는 장비는 외곽방파제를 추가 축조중인 모습이다.



App. 38 천성만의 항공사진으로 중앙과 좌우측에 방파제가 보이며, 지난 태풍“매미”내습 시 좌우 방파제가 유실 되었다, 중앙방파제 인근 주택들은 침수피해를 많이 입었다.



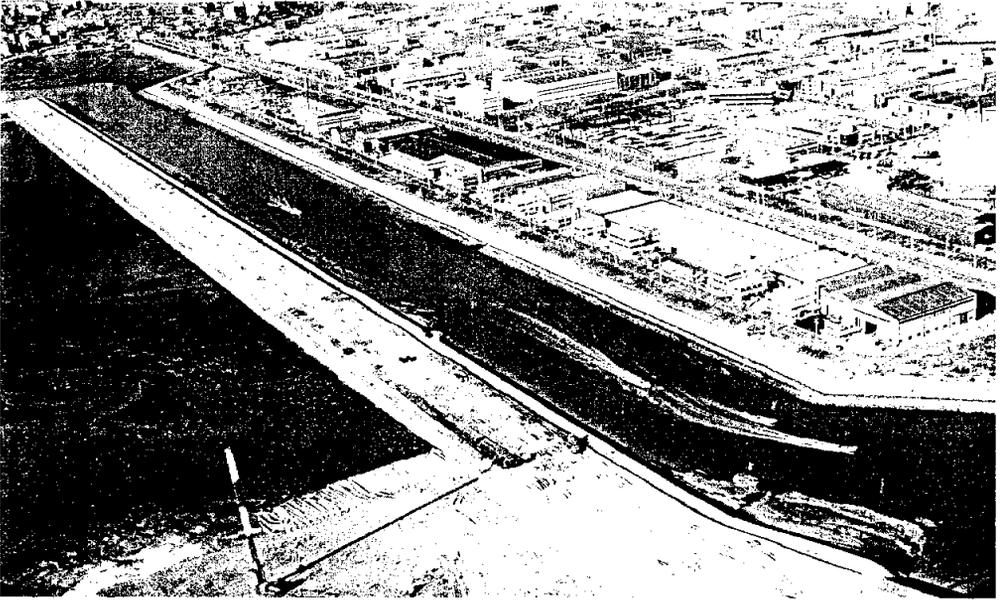
App. 39 대항부락에 비해 바다와 완전 개방된 형태의 모습을 볼 수 있다, 외곽방파제 시설이 요구되며, 호안을 따라 일정부분 매립을 통해 안전지대를 구축할 필요가 있다.



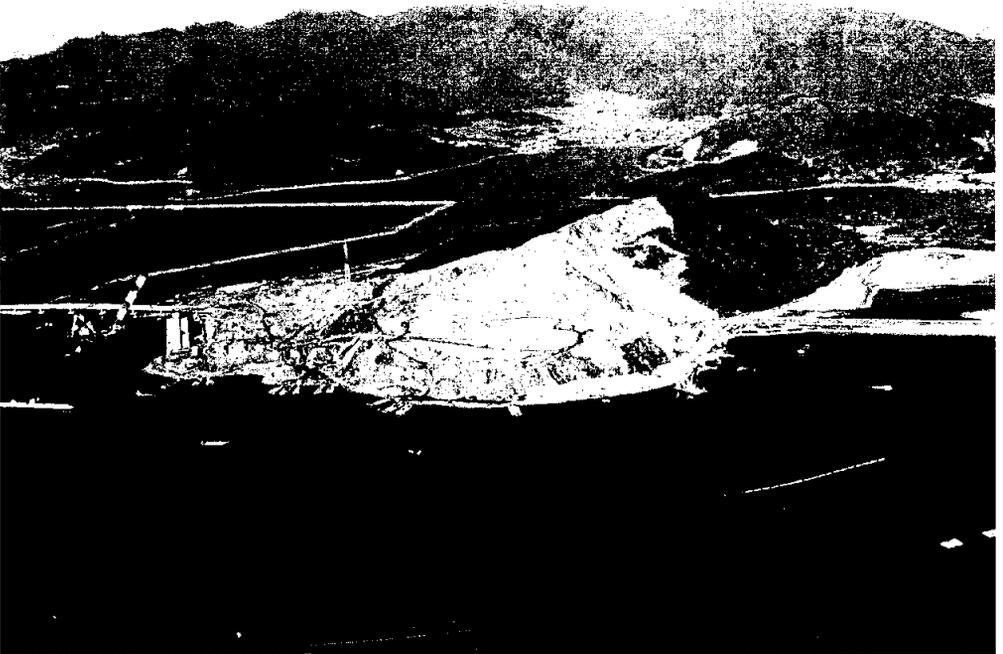
App. 40 두문지역의 모습으로 방파제 파손은 없었으나, 호안도로가 유실되었고, 침식현상이 심하게 나타났으며, 천성부락과 함께 외해쪽으로 방파제는 없어 개방되어 있다.



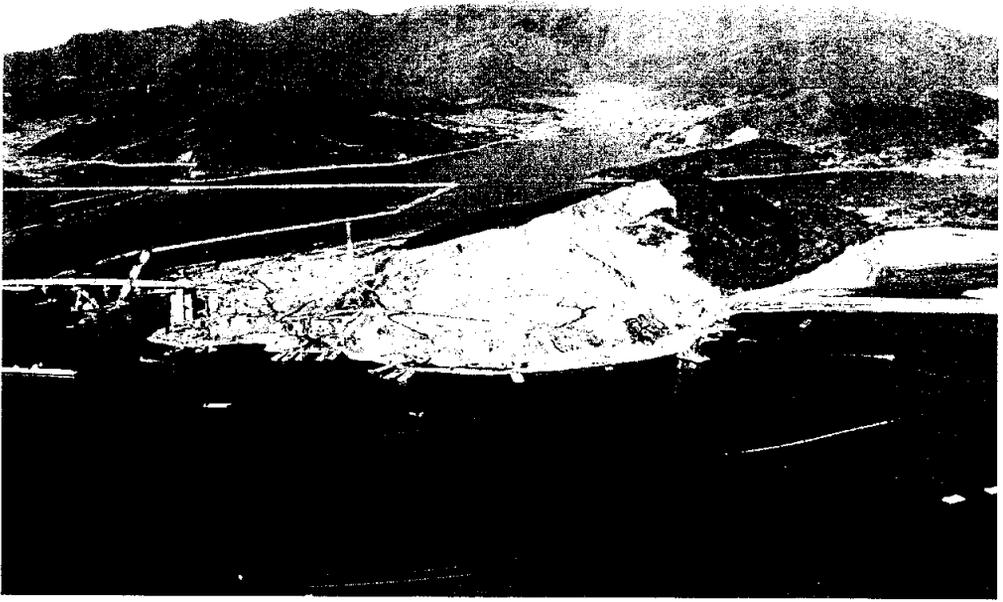
App. 41 울리,장항 지역의 모습으로 멀리 신항 방파제가 보인다, 이곳은 남컨테이너 부두가 들어설 곳으로 향후 매립이 될 곳으로 별도의 방제시설은 필요 없을 것이나, 매립 이후 외곽쪽의 영향에 대하여 검토할 필요가 있을 것이다,



App. 42 북천과 녹산공단 사이의 용원수로로서 지난 태풍“매미” 내습 시 수로를 따라 해일이 용원지역 까지 영향을 미쳐 일대의 전 상가가 침수되는 피해를 입었었다. 우수 등 배수를 위한 수로가 해일이 밀고 올라가는 통로역할을 했던 것이다



App. 43 옥망산 골재채취장의 원경으로 멀리 준설토 투기장이 보인다 일대는 해일로 인해 침수피해가 많았다.



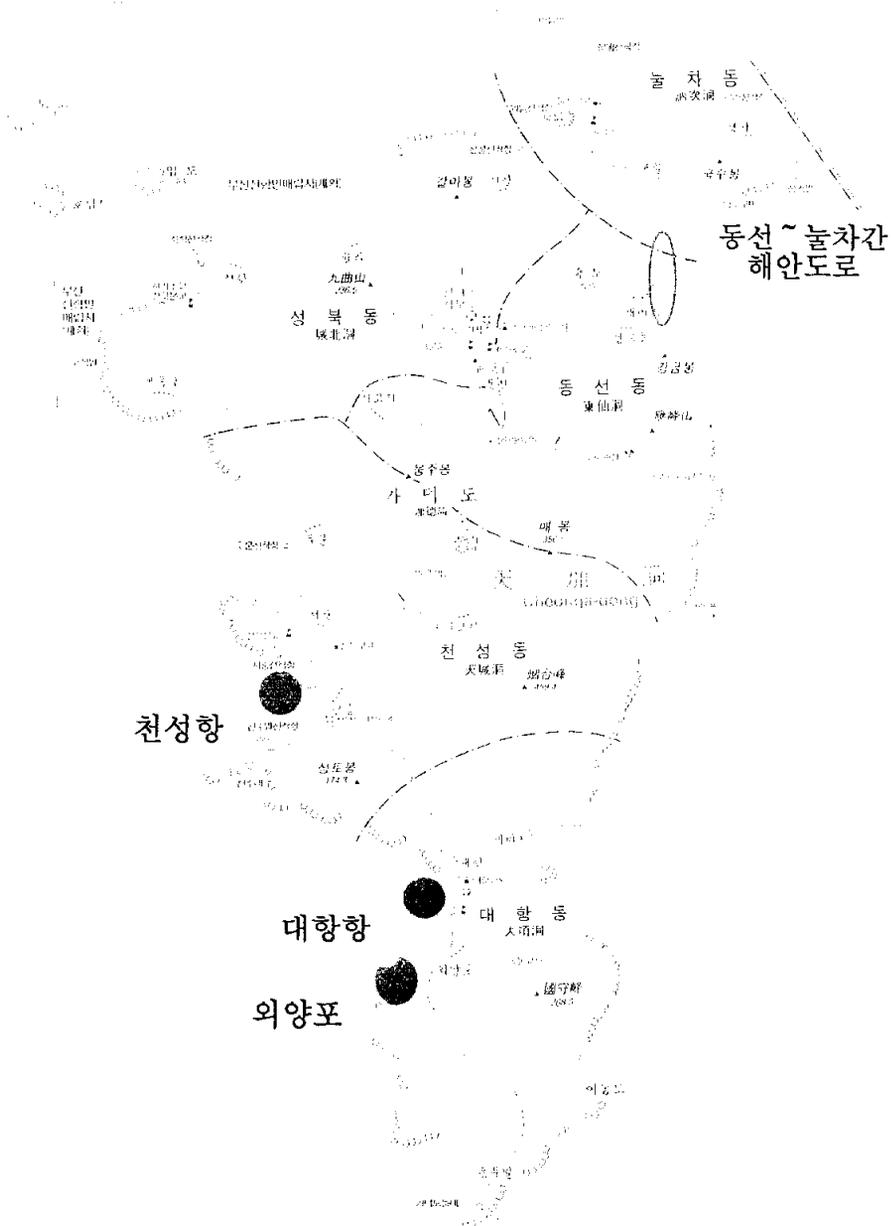
App. 44 옥방산과 준설토 투기장 전경.



App. 45 진해지역의 준설토 투기장 이곳을 모두 매립했을 때 부지확보는 용이할 것이나 이로 인한 방재대책 등의 재검토가 필요할 것으로 보인다.

부록 3. 가덕도 해안구조물의 피해

위 치 도



천성항 피해전경

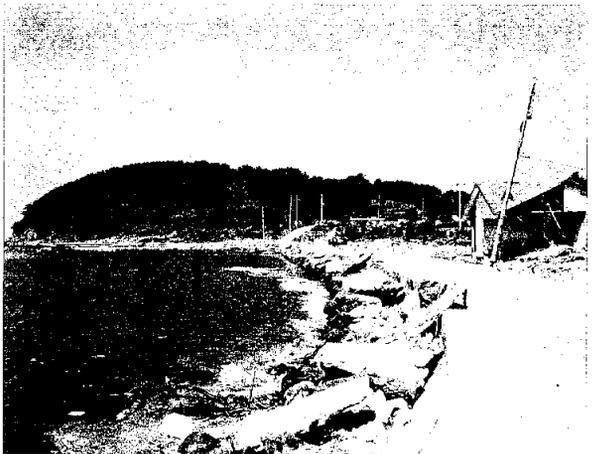
서중방파제
유실전경



남중방파제
유실전경



호안CON'C
유실전경

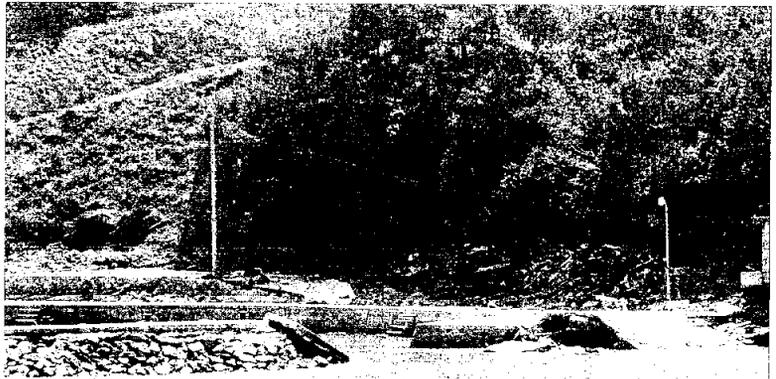


대항항 피해전경

선착장
피해전경



방파제
유실전경



외양포 피해전경

선착장
유실전경



방파제
유실전경



동선 ~ 눌차간 해안도로 피해전경

CON'C포장
파손 및
노체유실

