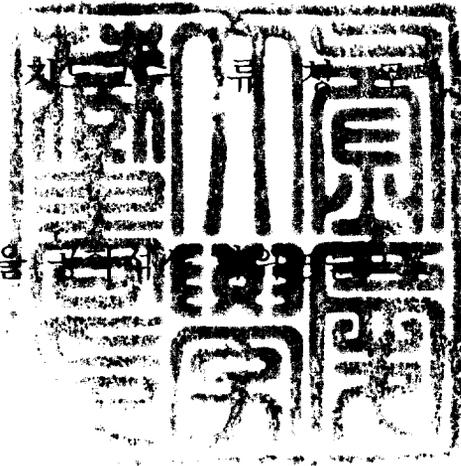
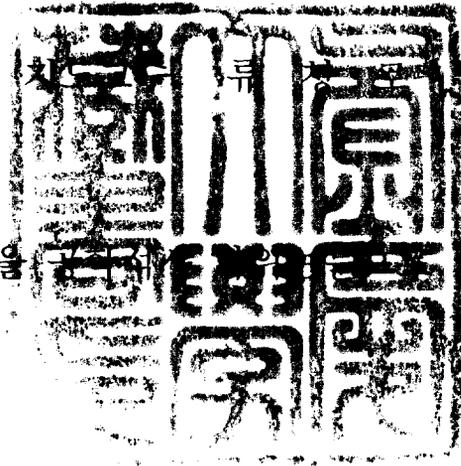


공학석사 학위논문

영일만 연안 개발에 따른  
해빈 지형변화



이 논문을  에 출함.

2006년 2월

부경대학교 산업대학원

해양개발학과

한 경 록

이 논문을 한경록의 공학석사  
학위논문으로 인준함

2005년 12월 일

주 심 공학박사 김 헌 태



위 원 공학박사 이 인 철



위 원 공학박사 류 청 로



# 目 次

List of Figures .....	iv
List of Tables .....	viii
List of Symbols .....	ix
Abstract .....	xii
<b>1. 서 론</b> .....	1
1.1 연구배경 및 목적.....	1
1.2 연구방법 및 내용.....	2
<b>2. 해역의 환경</b> .....	3
2.1 기상.....	4
2.2 파랑.....	9
2.3 조석 및 조류.....	10
2.4 지형.....	11
2.4.1 하계.....	10
2.4.2 동계.....	14
2.4 해역의 개발.....	17
<b>3. 해빈지형변화</b> .....	20
3.1 해안선 변화관측.....	20
3.1.1 태풍 '매미'.....	27
3.1.2 태풍 '나비'.....	32
3.2 구조물 설치에 따른 해수유동변화.....	38
3.2.1 수치실험구성.....	38
3.2.2 수치실험결과.....	40
3.3 구조물 설치에 따른 파랑변화.....	53
3.3.1 수치실험구성.....	53
3.3.2 수치실험결과.....	56
<b>4. 요약 및 결론</b> .....	60
<b>참고문헌</b> .....	62

## List of Figures

- Fig. 1-1. Schematic flow of study.
- Fig. 2-1. Study area.
- Fig. 2-2. Meteorological characteristics in the Pohang region.
- Fig. 2-3. Seasonal variation of wind direction and speed at Yeong-il Bay.
- Fig. 2-4. Annual variation of Hyeong-san river discharge (2001).
- Fig. 2-5. River basin of Yeong-il Bay and location of the selected stations.
- Fig. 2-6. Distribution of the crust sedimentary in young-il bay (in summer, KORDI).
- Fig. 2-7. Distribution of the crust sedimentary facies in Young-il bay (in summer, KORDI).
- Fig. 2-8. Distribution of the crust sedimentary in young-il bay (in winter, KORDI).
- Fig. 2-9. Distribution of the crust sedimentary facies in Young-il bay (in winter, KORDI).
- Fig. 2-10. Annual variation of coastline distance of Pohang song-do beach.
- Fig. 2-11. Environmental problems and parameters of oastal waters/bay area: Yeong-il Bay area.
- Fig. 3-1. Change of coastline through field monitoring (2001~2005).
- Fig. 3-2. The passage of typhoon "Maemi".
- Fig. 3-3. Comparison of coastal line in Dong do beach before and after typhoon 'Maemi'.
- Fig. 3-4. Comparison of coastal line in Buk bu beach before and after typhoon 'Maemi'.
- Fig. 3-5. Variation rate of coastal line in Young il bay before and after typhoon 'Maemi'.

- Fig. 3-6. The passage of typhoon 'Navi'.
- Fig. 3-7. Comparison of coastal line in Song do beach before and after typhoon 'Navi'.
- Fig. 3-8. Comparison of coastal line in Buk bu beach before and after typhoon 'Navi'.
- Fig. 3-9. Comparison of coastal line in Yong han-ri beach before and after typhoon 'Navi'.
- Fig. 3-10. Variation rate of coastal line in Young il bay before and after typhoon 'Navi'.
- Fig. 3-11. Classification of grid system.
- Fig. 3-12. Grid system of computation area.
- Fig. 3-13. Maximum flood tidal current in spring.
- Fig. 3-14. Maximum ebb tidal current in spring.
- Fig. 3-15. Maximum flood tidal current in neap.
- Fig. 3-16. Maximum ebb tidal current in neap.
- Fig. 3-17. Maximum flood tidal current in spring(2001).
- Fig. 3-18. Maximum ebb tidal current in spring(2001).
- Fig. 3-19. Maximum flood tidal current in neap(2001).
- Fig. 3-20. Maximum ebb tidal current in neap(2001).
- Fig. 3-21. Maximum flood tidal current in spring(2003).
- Fig. 3-22. Maximum ebb tidal current in spring(2003).
- Fig. 3-23. Maximum flood tidal current in neap(2003).
- Fig. 3-24. Maximum flood tidal current in neap(2003).
- Fig. 3-25. Maximum flood tidal current in spring(2005).
- Fig. 3-26. Maximum ebb tidal current in spring(2005).
- Fig. 3-27. Maximum flood tidal current in neap(2005).
- Fig. 3-28. Maximum ebb tidal current in neap(2005).
- Fig. 3-29. Residual current(before).
- Fig. 3-30. Residual current(2001).
- Fig. 3-31. Residual current(2003).

Fig. 3-32. Residual current(2003).

Fig. 3-33. Study on wave variation area.

Fig. 3-34. Comparison of wave variation rate in Song do beach before and after construction.

Fig. 3-35. Comparison of wave variation rate in Buk bu beach before and after construction.

## List of Tables

Table 2-1. Total seasonal wind direction, speed of wind data from 1992 to 2002 year

Table 2-2. River discharge of each area (2001 year)

Table 2-3. Appearance distribution of significant wave and period

## List of Symbols

$\theta$	Wave direction
$H_{m(0)}$	Estimated significant wave height
$m_o$	Spectrum moment
$T_p$	Spectrum peak frequency
$T_z$	Spectrum average frequency
$\epsilon_i$	Spectral width parameter
$Q_p$	Spectral peak parameter
$C_g$	Group velocity
$d$	Water level
$g$	Gravitational acceleration
$S(f)$	Spectrum density function

# The Change of Beach Profile caused by the Coastal Area Development in Young-il Bay

Kyung-rok, Han

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

## Abstract

In this study, wished to analyze field monitoring about change of profile and grasp effect of change of profile about external force argument of and so on do typhoon and construction. First, through field monitoring, it grasped change of coastline by typhoon. And it grasped tidal current by north breakwater construction and change of wave through a numerical simulation in Young-il bay. It could pigeonhole pabulum of change of profile by underwear typhoon attack and construction setup in Young-il bay. A study can be summarized as follows:

- (1) Seasonal change was unprepared as result that analyze change of profile through field monitoring and change by external force of typhoon and so on showed.
- (2) Change of coastline was unprepared but showed that is coastline change more than maximum 60% at 'Navi' attack when attack 'Maemi' through coastal profile change of field monitoring in case typhoon 'Maemi' and 'Navi' attacked in Young-il bay.
- (3) It was expose that beach monitoring is no change before typhoon in north (No . More than 11) area Young-il bay, and effect of typhoon happened in southern(No . 3 ~ 10). Change of profile appeared by 62% variation of coastal line length is maximum and area that happen is Song-do beach northern(No . 5).
- (4) Effect by northern breakwater construction is feeble in Young-il bay. This appears being built for tidal current direction such as that construction

passes.

(5) Effect of wave by northern breakwater construction was expose that decrease to maximum 95% in Young il bay. In case attacked wave of NE direction in a wave numerical simuation, Pohang breakwater that decrement of wave is high. This is judged by thing which is disappeared in northern breakiwater that enter a company to Song-do beach and Buk-bu beach.

# 1. 서 론

## 1.1 연구배경 및 목적

일반적으로 해변에서 저질의 이동현상, 또는 저질 자체를 표사(sand drift, drifting sand)라고 정의하고 있다. 이 표사는 수위의 변동, 파랑 및 흐름의 작용에 의해 일어나는 현상이며, 넓은 의미로는 바람에 의한 비사 까지도 포함한다. 해변에서의 표사는 파랑이 쇄파되지 않는 영역에서도 일어나고 있지만 대부분이 쇄파대 및 소상파대에서 일어나며 이 두 영역에서의 표사량은 전 표사량의 80%이상이라고 알려져있다.

해빈(Beaches)이란 연안환경(coastal environments)들 중에서 가장 잘 알려져 있고, 비고화되어 투수성이 좋고 유동성이 있는 사질과 자갈로 구성되어 있으며, 거칠은 폭풍과 파랑 등이 해안에 끊임없이 영향을 미치고 있는 환경이다. 사질과 자갈은 매우 유동적이어서 파랑에너지에 조화롭게 그들의 형태를 변형하며 해변에 지속적으로 존립하고 있다. 특히 연안의 단단한 구조물들은 외부 파랑으로부터 영향을 받고, 침식되고 있으나. 해변은 형태를 변형시키면서 침식되지 않고 파랑과 조화롭게 공존하는 환경이다(Haslett, 2003). 해변은 구성퇴적물에 따라 사질해빈, 자갈해빈 및 생물유해해빈으로 분류될 수 있고, 세계적으로 사질해빈이 많고 다음으로 자갈해빈이 많이 분포한다.

한반도는 년중 하기에 수회에 걸쳐 태풍이 지나가는 지역으로서, 이러한 태풍은 해변의 퇴적환경에 중요한 요인으로 작용하는 것으로 알려져 있다(Moutzouris and Kypraios, 1987).

따라서 본 연구에서는 영일만 연안의 대표적 개발과 해변 변형에 대한 장기적인 모니터링을 통하여 태풍 등 극치외력에 의한 단기적 변형 특성과 구조물 설치 등에 의한 장기적 해변변형의 기본특성을 파악하고자 하였다.

## 1.2 연구방법 및 내용

전술한 연구목적을 달성하기 위하여 장기 현장 모니터링을 통한 해빈변형과 구조물 설치에 따른 해역환경 변화를 파악하고 수치실험(조석, 파랑)에 의한 기초적인 환경변화의 검증과 재현을 통해 그 원인을 검토하고자 한다. 그 단계적인 연구·검토 내용은 다음과 같다.

- (1) 장기모니터링을 통한 해빈변형
- (2) 장기모니터링을 자료를 통한 태풍 내습 전·후의 해빈변형
- (3) 구조물 설치에 따른 해수유동 변화
- (4) 구조물 설치에 따른 파랑의 변화

이들 연구를 조합하여 그 흐름을 모식적으로 나타내면 Fig. 1-1과 같다.

각 연구단계별로 적용한 연구방법은 장기적인 해안선 모니터링과 수치실험을 통한 분석으로 진행하였으며, 상세한 것은 관련 각장에서 논의하기로 한다.

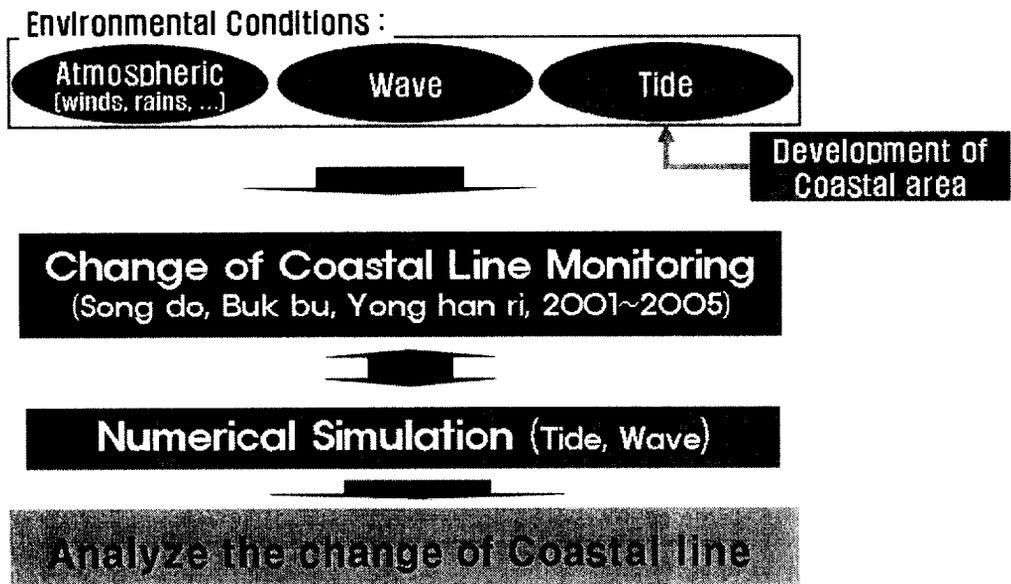


Fig. 1-1. Schematic flow of study.

## 2. 해역의 환경

영일만은 북동방향으로 동해와 인접한 길이 약 13km, 폭 약 10km, 수면적 약 115km<sup>2</sup>의 포켓형 내만이다. 만입구 부근에서 수심 약 30m, 만내로 갈수록 수심이 얕아져 평균수심이 25m이나, 만외수심은 약 200m이고, 외해로 갈수록 수심경사가 매우 급한 해저지형을 나타낸다(Fig. 2-1).



Fig. 2-1. Study area.

## 2.1 기상

연구 대상 해역에서 가장 인접한 위치의 포항기상대 10년간(기상청, 1992-2001)의 기온, 강우량, 증발량, 바람 관측자료를 사용하여 영일만 자연환경 특성에 대해 살펴보기 위해 Fig. 2-2와 같이 나타내었다.

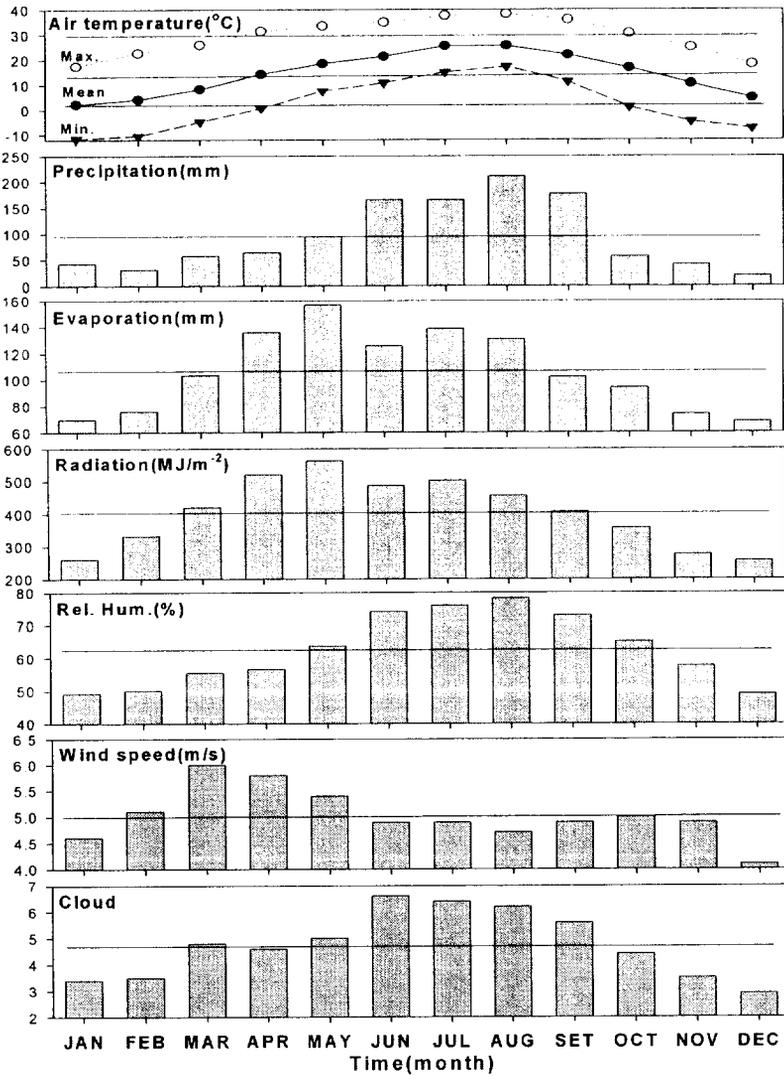


Fig. 2-2. Meteorological characteristics in the Pohang region.

일반적으로 기온의 변화는 해수로 전달되는 열량 즉, 접촉면의 열교환으로 인하여 수온의 변화를 유발시켜 해양생태계에 영향을 미친다(김, 1992). 영일만의 월평균 기온은 1월의  $-11.6^{\circ}\text{C}$ 가 최저이고 8월의  $38.2^{\circ}\text{C}$ 가 최고인데, 봄에 급상승하고 가을에 급강하하는 포물선을 나타내며, 계절별 기온의 최고, 최저에 대한 편차는 춘계가 가장 크고(약  $30^{\circ}\text{C}$ ), 여름이 가장 작다(약  $22^{\circ}\text{C}$ ). 또한 하계와 동계의 기온차는  $28.9^{\circ}\text{C}$ 이다.

강우량은 6~9월에 연간 평균치  $94.3\text{mm}$ 를 상회하며, 8월에  $211.2\text{mm}$ 로 최대값을 나타낸다. 또한 증발량은 4~8월에 평균치  $106.3\text{mm}$ 를 초과하며 5월에 최대  $156.5\text{mm}$ 를 나타내었는데 이는 춘계에 강우량이 적으므로 습도가 낮고 이 기간동안 건조한 남서풍(SW)이 우세하기 때문으로 생각된다.

수평면의 일사량은 식물성 플랑크톤의 광합성을 비롯한 해양생물의 생활 환경에 지대한 영향을 미치는 기상인자로, 영일만 일사량은 3~8월이 평균치  $403.1\text{MJ}/\text{m}^2$ 을 초과하며 5월에 최대  $564.0\text{MJ}/\text{m}^2$ 를 나타낸다. 이는 7, 8월에 장마나 태풍의 영향을 많이 받는데 비해, 5월에는 강우량이 적고 청명한 날씨가 계속되기 때문이다. 상대습도는 6~9월이 대체로 높고 연간 평균치는  $62.5\%$ 이며, 운량은 춘계가 평균치 4.7에 가깝고 집중강우와 태풍시기인 7~10월의 하계에 평균치를 상회하며 6월에 최대 6.6을 나타내었다.

영일만 바람장의 경년변동을 살펴보면 풍속은 대체로 2~5월이 크고 연평균 약  $5.0\text{m}/\text{sec}$ 를 나타내었다. 구체적으로 계절별 풍향·풍속을 나타내면 Table 2-1 및 Fig. 2-3과 같다. 탁월풍향의 경우 춘계는 SW~W방향( $43.7\%$ )과 N~NE( $25.2\%$ )방향이 우세하고 평균 풍속은 각각  $8.1$ ,  $6.5\text{m}/\text{sec}$ 를 나타내었다. 또한 하계에는 SW~WSW( $25.6\%$ )와 N~NE( $39.9\%$ ), 추계에는 SSW~WSW( $44.7\%$ )와 NNW~NNE( $24.4\%$ ), 동계에는 SW~W( $66.4\%$ )방향이 우세한 것으로 나타났다. 이상의 결과를 통해 영일만에 출현하는 바람은 동계를 제외하고 대체로 SW와 NE방향의 왕복성 풍향을 나타내며 동계의 경우에는 SW방향의 풍향이 주로 출현함을 알 수 있다. 일별 강우량과 증발량의 계절별 분포특성을 살펴보면 2001년의 경우 대상해역인 영일만의 강우량은 연중 6월과 9월, 10월에 높은 수치를 나타내었으며, 증발량의 경우 5월부터 8월 사이에서 크게 나타났다. Fig 2-4와 Table

2-2는 2001년도에 관측되어진 형상강의 연중 하천유량이다. Fig. 2-5는 유역별 구간을 표시한 것이다.

Table 2-1. Total seasonal wind direction, speed of wind data from 1992 to 2002

Season (month)	Dominant wind Dir. (%)	Wind Speed (m/sec)
<b>Spring</b> (3~5)	N~NE (25.2)	6.5
	SW~W (43.7)	8.1
<b>Summer</b> (6~8)	N~NE (39.9)	6.0
	SW~WSW (25.6)	5.5
<b>Autumn</b> (9~11)	NNW~NNE (24.4)	5.9
	SSW~WSW (44.7)	5.0
<b>Winter</b> (12~2)	SW~W (66.4)	6.8

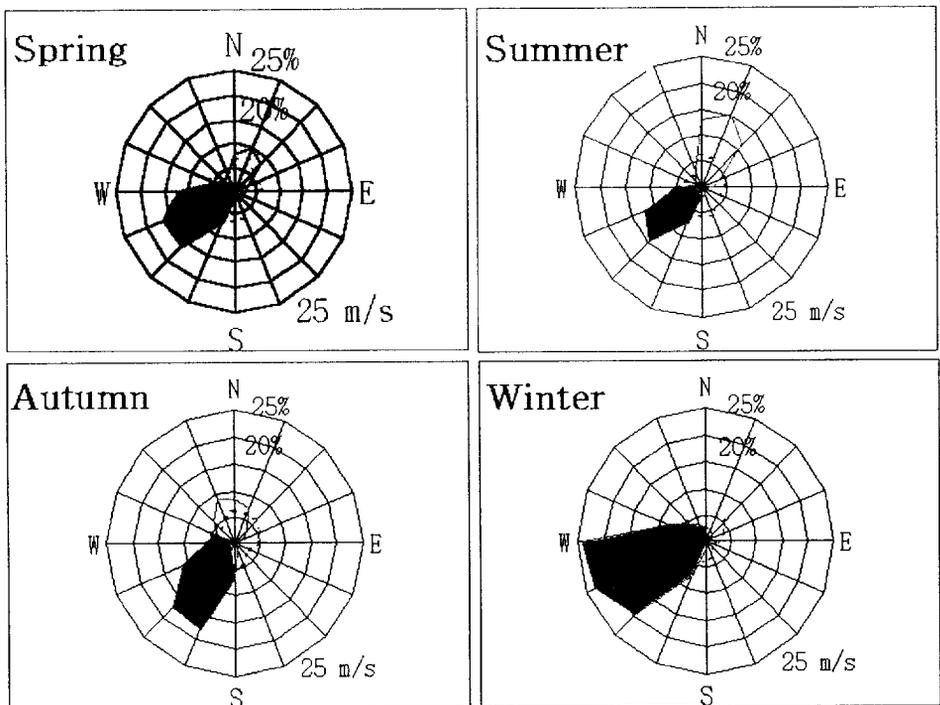


Fig. 2-3. Seasonal variation of wind rose at Yeong-il Bay.

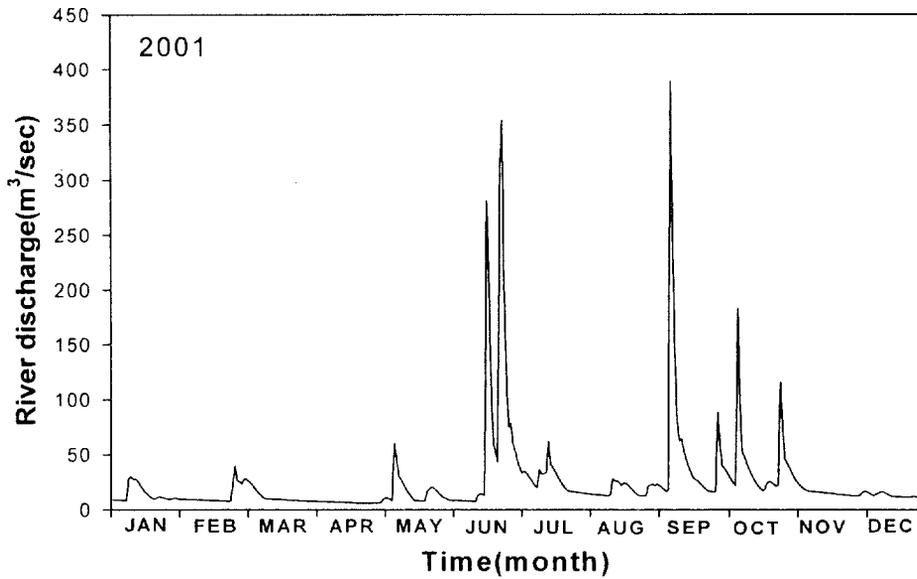


Fig. 2-4. Annual variation of Hyeong-san river discharge (2001 year).

Table 2-2. River discharge of each area (2001)

Month	River discharge of each area ( $\times 10^6 m^3$ )					
	I	II	III	IV	V	VI
JAN	0.45	0.23	0.52	38.20	3.14	1.39
FEB	0.35	0.18	0.40	29.81	2.45	1.09
MAR	0.41	0.20	0.46	34.15	2.81	1.24
APR	0.21	0.11	0.24	17.79	1.46	0.65
MAY	0.53	0.27	0.61	44.70	3.67	1.63
JUN	2.19	1.10	2.51	184.76	15.19	6.73
JUL	1.00	0.50	1.15	84.59	6.95	3.08
AUG	0.56	0.28	0.64	46.84	3.85	1.71
SEP	1.67	0.83	1.91	140.67	11.56	5.13
OCT	1.44	0.72	1.65	121.48	9.99	4.43
NOV	0.60	0.30	0.69	50.54	4.15	1.84
DEC	0.43	0.22	0.49	36.48	2.99	1.33
Total	9.84	4.94	11.27	830.01	68.21	30.25

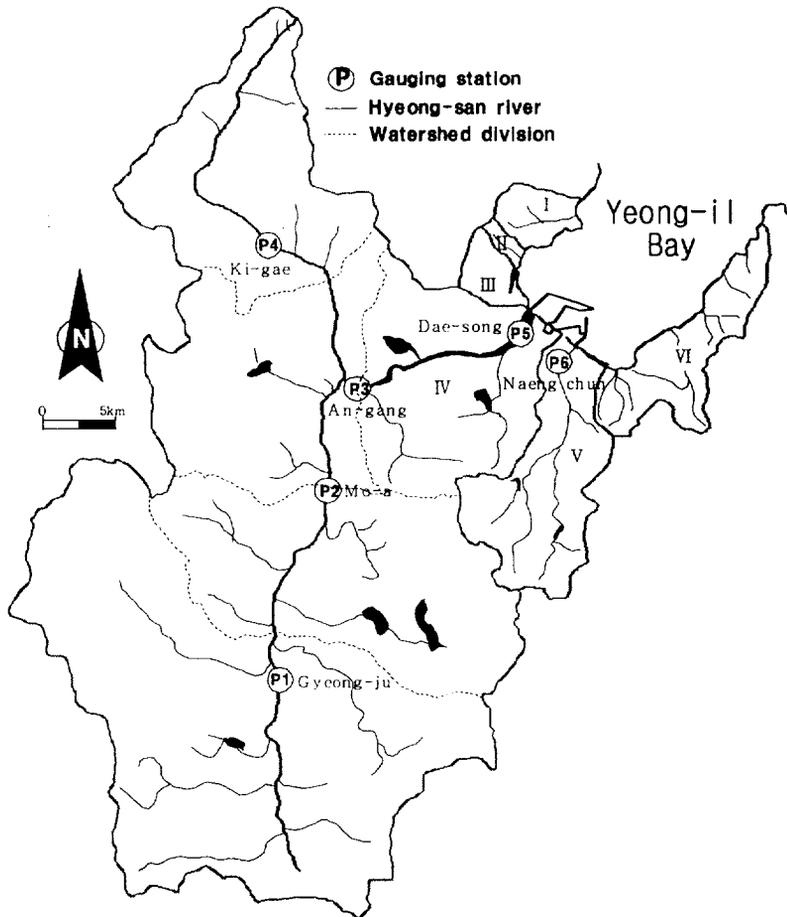


Fig. 2-5. River basin of Yeong-il Bay and location of the selected stations.

## 2.2 파랑

연안역에서 일어나는 해수순환 현상은 천해역에서 파랑이 복잡한 과정을 거치면서 변형됨에 따라 나타나는 현상으로 파랑이 변형되면서 radiation stress가 발생하게 되고 이 radiation stress가 경사에 의해 연안류(longshore current)가 생성된다. 이렇게 발생된 연안류는 해저면 마찰, 혼합 등의 과정을 통해 연안 표사이동을 일으키고 평균해면 상승(set-up)과 강하(set-down) 현상을 불러오기 때문에 파랑자료는 해안의 지형 변형을 분석·예측하는데 있어서 기본적인 자료이다.

본 연구에서는 해운항만청(1992년) 자료를 분석하여 2003년에 내습한 태풍 '매미'와 2004년에 내습한 태풍 '나비'에 의해 발생한 해빈변형의 특성을 파악하고자 하였다.

해운항만청(1992년)에서는 포항구항 방파제의 시점에서 동쪽으로 약 1.9 km 떨어진 지점(평균해면기준 수심 약 12 m)에서 1971년 3월 ~ 1981년 10월까지 파랑관측을 실시한 바 있다. 관측기간 중 목측으로 구해진 파향은 대부분 NE방향으로 나타났으며, 1976년 9월 13일 10시에 유의파고 4.5 m, 주기 10.0 sec, 파향 NE의 최대파가 출현하였다. 관측된 자료를 유의파고와 주기에 대하여 각각 등급을 정하고 출현율을 구한 결과를 Table 2-3에 나타내었다.

Table 2-3. Appearance distribution of significant wave and period

Period (sec)	Significant wave, $H_{1/3}$ (m)						Total
	< 0.5	0.5~1.5	1.5~2.0	2.0~2.5	2.5~3.0	3.0 >	
3~4	0.47	0.95					1.42
4~5	1.63	3.28					4.91
5~6	1.94	5.48	0.90	0.04	0.09		8.45
6~7	4.78	7.12	1.08	0.47	0.09		13.54
7~8	5.95	10.92	1.47	0.73	0.35		19.42
8~9	8.07	14.07	1.68	0.73	0.22	0.26	25.03
9~10	2.04	10.87	1.68	1.08	0.39	0.30	16.36
10~11	0.26	2.46	1.29	1.38	0.30	0.35	6.04
11~12	0.08	1.12	0.82	0.39	0.43	0.26	3.10
12~13		0.26	0.13	0.26	0.26	0.30	1.21
13~14				0.04	0.04	0.09	0.17
14~15		0.09			0.04	0.09	0.22
15 <		0.04			0.04	0.04	0.12
Total	25.22	56.66	9.05	5.12	2.25	1.69	100.00

### 2.3 조석 및 조류

일반적으로 동해안의 조석은 매우 작아 조차가 약 0.3m 내외에 불과하며, 일조부등은 매우 현저하여 1일 1회조가 되는 경우가 있다. 조시의 부등은 고조에 크고, 조고의 부등은 저조에 크나 고고조 다음에 저저조가 일어나며, 평균고조간격은 연안 대부분의 지역에서 약 3시간이나 남단 부근에서는 남쪽으로 갈에 따라 급격히 증가하여 부산항 부근에서는 약 8시간이 된다(국립해양조사원).

대상지역의 해역에 대한 조석자료는 수로국에서 1963년과 1968년에 각각 2개월, 1개월 관측한 자료와 1973년~1975년까지 관측한 기록이 있다. 최근에 측정된 자료로는 영일만 주변 구룡포(35° 59' 19" N, 129° 34' 54" E)와 구기항(36° 17' 27" N, 129° 34' 54" E)에서 측정한 자료가 있다.

대상해역인 영일만 내에서 관측된 흐름은 20.6 cm/s 미만으로 약한 편이며 조류보다는 해류가 우세한 지역이라 할 수 있다. 항류는 달만갑에서 10.3 cm/s로 영일만 내로 유입되어 POSCO앞에 이르러 형산강 유출수와 합류하여 호미곶 방향으로 편향하여 10.3 cm/s으로 유출된다(국립해양조사원).

## 2.4 지형

### 2.4.1 하계

영일만 지역의 퇴적상을 5가지 유형으로 대분한 퇴적상의 공간 분포 특성을 각 지점별로 Fig. 2-6(2003, KORDI)에 나타내었다. 하계동안 분포하는 표층퇴적물의 퇴적상은 주로 사질퇴적상, 니질사 퇴적상, 니질 퇴적상이 우세하게 나타나며, 지역에 따라 역질 퇴적상과 사니질 퇴적상이 제한적으로 나타나고 있다.

사질, 역질사, 약역질사 퇴적물로 그룹화된 사질 퇴적상은 영일만 북동부 일부를 포함하여 송도해빈을 비롯한 북부해빈 및 남부 도구해빈을 중심으로 양쪽연안에서 주로 나타나고 있다(Fig. 2-8(2003, KORDI)). 그리고 평균 25.6%의 니질 퇴적물을 함유하고 있는 니질사 퇴적상은 점토질사, 니질사, 실트질사, 역니질사, 약역니질사 퇴적물로 이루어져 있으며, 연구해역의 북서쪽에 우세하게 분포하는 가운데 마신동 전면해역에서 주로 나타나고 있다. 특히 니질 퇴적상의 분포지역은 영일만 천부질 구조 참사에서 기술된 음향혼탁지역과 잘 일치하고 있다(최 등, 1993). 한편, 사질니퇴적상은 연구해역의 중앙부에서 주로 나타나며 포항 구항과 형산강 입구에 제한적으로 분포하고 있다. 마지막으로 역질 퇴적상은 환호동 연안과 포스코 방파제 인근해역 및 마신동 연안역에서 부분적으로 분포하는데, 환호동연안의 역질 퇴적물은 제 3기 퇴적암이 노출된 결과(최 등, 1993)로 해석되며, 포스코 매립지 인근해역에 분포하는 역질퇴적물은 방파제 건설시 떨어져 나온 역질 퇴적물로 판단된다(한국해양연구원, 2003).



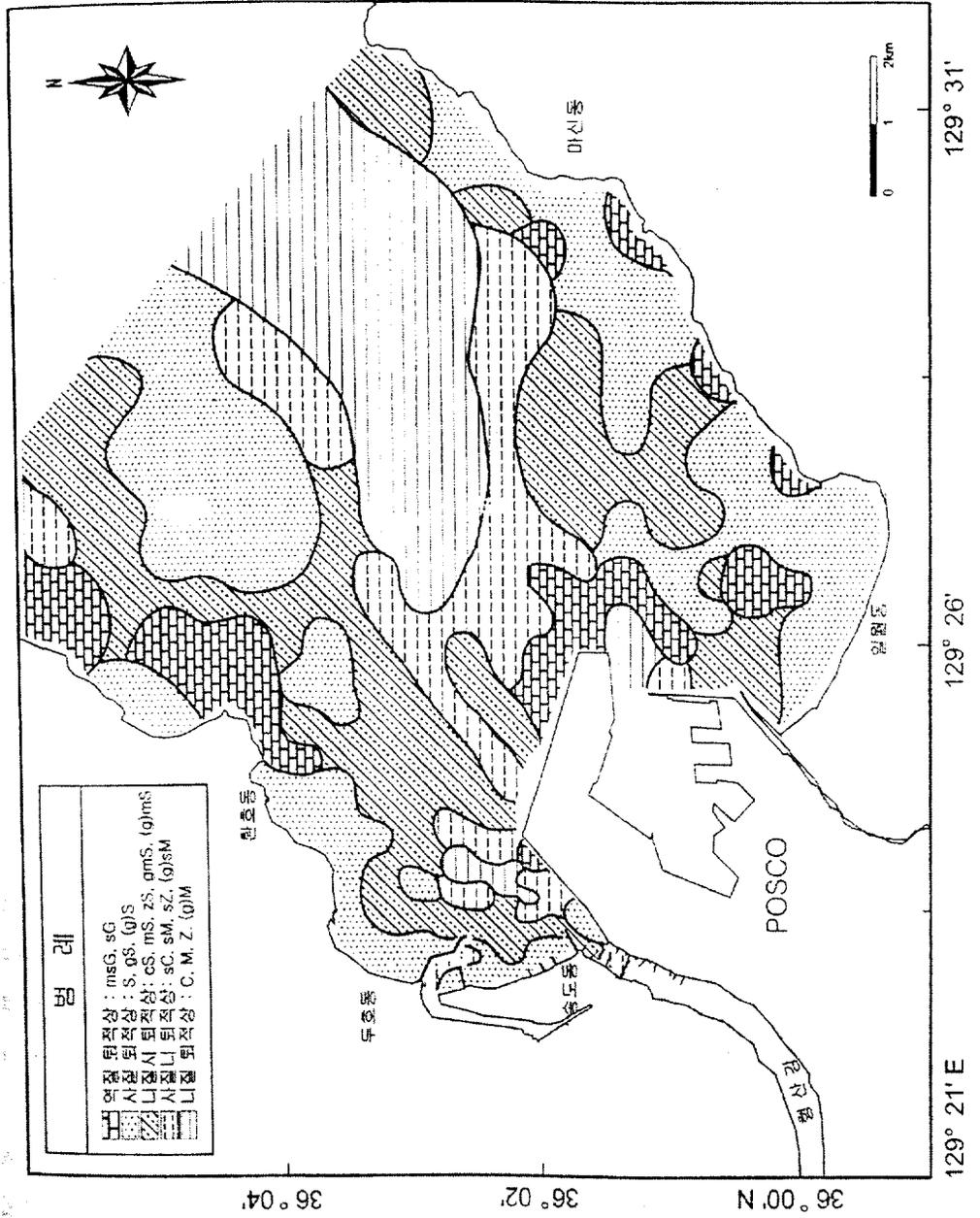


Fig. 2-7. Distribution of the crust sedimentary facies in Young-il bay (in summer, KORDI).

## 2.4.2 동계

동계 표층퇴적물의 각 정점별 퇴적상은 사질, 역질사, 실트질사, 니질사, 실트, 사질실트, 니질 등 12가지의 다양한 퇴적상으로 나타난다. 이를 다시 5가지의 다양한 퇴적상으로 크게 대분하여 Fig. 2-8(2003, KORDI)에 도시하였다.

전체적인 퇴적상 분포양상은 하계와 유사하게 포스코를 중심으로 양쪽 연안에서 조립한 퇴적상이 본포하고 만의 중앙으로 갈수록 세립한 퇴적상이 분포하고 있다. 사질 퇴적상은 사질, 역질사, 약역질사 퇴적물로 구성되어 있으며 하계와 유사하게 각각 환호동과 마신동 양쪽연안에 주로 분포한다(Fig. 2-9,(2003, KORDI)). 그리고 니질, 실트질, 약역니질 퇴적물로 구성되어 있는 니질 퇴적상도 하계와 유사하게 북동-남서 방향성을 보이면서 마신동 전면해역에서 나타나고 있다. 또한, 사질니 퇴적상 및 역질 퇴적상의 분포 양상도 하계와 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 이와 달리 니질사 퇴적상은 하계와 다소 다른 분포양상을 보이고 있다. 즉, 하계동안 니질사 퇴적상은 사질니 퇴적상의 분포지역을 기준으로 북서해역(환호동 인근해역)에 주로 분포하고 있는데(Fig. 2-7), 동계에는 북서해역을 비롯하여 남동해역에서도 우세하게 분포하고 있다(Fig. 2-9). 하계동안 남동해역에 분포하던 사질 퇴적상은 동계 니질사 퇴적상으로 대체되면서 그 분포면적이 일월동 연안까지 확장되어 퇴적상의 세립화 현상이 나타나고 있다. 이와 같이 동계에 퇴적물이 세립해지는 현상은 동계에 조립화 하계에 세립화 특성을 갖는 서해 연안의 일반적인 퇴적환경(박, 2002)과는 반대되는 현상이며, 이는 지역에 따른 수리역학적 조건의 차이에 의한 결과로 해석된다.





## 2.5 해역의 개발

우리 나라 동남해역에 위치한 영일만은 청정해역인 동해 남동부 해역과 인접한 경북 포항시 흥해읍 달만갑과 대보면 호미곶(구 장기갑) 사이의 약 10 km에 달하는 개구부로 이루어진 장방형 내만으로, 심층해수의 출몰에 따른 수괴의 이동, 난류·한류의 상충현상 등 심해성 또는 원양성 해수의 영향으로 미묘한 변화가 생성, 소멸되는 지역이다.

일반적인 하구역의 경우 하천수 유출, 부유토사, 오염부하량의 유출 등의 작용과 외해측으로부터의 조석, 파랑, 조류(연안류), 표사 등의 작용이 더해져, 수위, 유속의 주기적 변화, 밀도류의 발생, 부유토사 또는 오염물질의 침전·퇴적 등의 수리현상이 일어난다. 이러한 제현상은 하구역의 유황, 물질의 수송에 큰 영향을 준다. 따라서 하구와 인접한 연안역의 수리특성을 취급함에 있어 하천 및 해역 두 영역에 관한 고찰이 필요하며 각각의 성격을 체계적이고 과학적으로 분석/검토해야할 당위성이 강조되어지고 있다.

최근 영일만 포항신항 건설이후 포항시 송도동 및 환호동 해빈의 해안선 변형 및 백사장 유실이 심각한 사회문제로 대두되고 있다.

구체적으로 살펴보면 한동대(2000)의 연구결과에 따르면 포항시 송도동 송도해수욕장의 경우 백사장 유실의 주요원인이 포항제철 건설시 도류제설치로 인한 형산강 하천수의 외해로의 직강화와 주변해안의 모래준설 및 포항제철의 투기장 건설에 따른 것으로 주장한 바 있다. 즉, 포항제철 건설을 위한 준설과 함께 투기장의 신설은 해안선에 평행한 방향으로의 유사이동에 의한 점진적 침식을 증가시켜 백사장 유실을 강화한 것으로 평가하고, 1978년 이후 단계적으로 시행된 포항제철의 공유수면 매립에 의한 부지확장 및 제3투기장의 건설이 형산강 하구 우안의 도류제 역할을 하게 됨으로써, 형산강으로부터 홍수시 공급되는 유사가 수심 8m이상의 해저에 이송되어 퇴적되어, 백사장으로 공급되던 유사가 차단되어 장기적으로 송도백사장의 75% 지역이 평균 1.26m/year의 비율로 침식되는데 기여한 것이라고 주장한 바 있다. Fig. 2-10는 포항 송도 해수욕장의 해안선 경년변동을 나타낸 것이다.

한편, 환호동 해변의 해안선변형에 대해서는 이 등(1993)이 반사파를 고려한 해안선변형모형을 개발하고 장기간의 지형변화를 검토한 바 있다.

이상과 같이 포항신항 건설 이후 영일만 내측 해변의 해안선 변형 및 백사장 유실에 대한 원인제공은 공유수면 매립을 통한 포항제철의 부지확장과 투기장 건설이며, 영일만의 해안변화와 연안의 생태계 파괴에 직·간접으로 영향을 주었음은 분명한 사실인 것으로 판단된다.

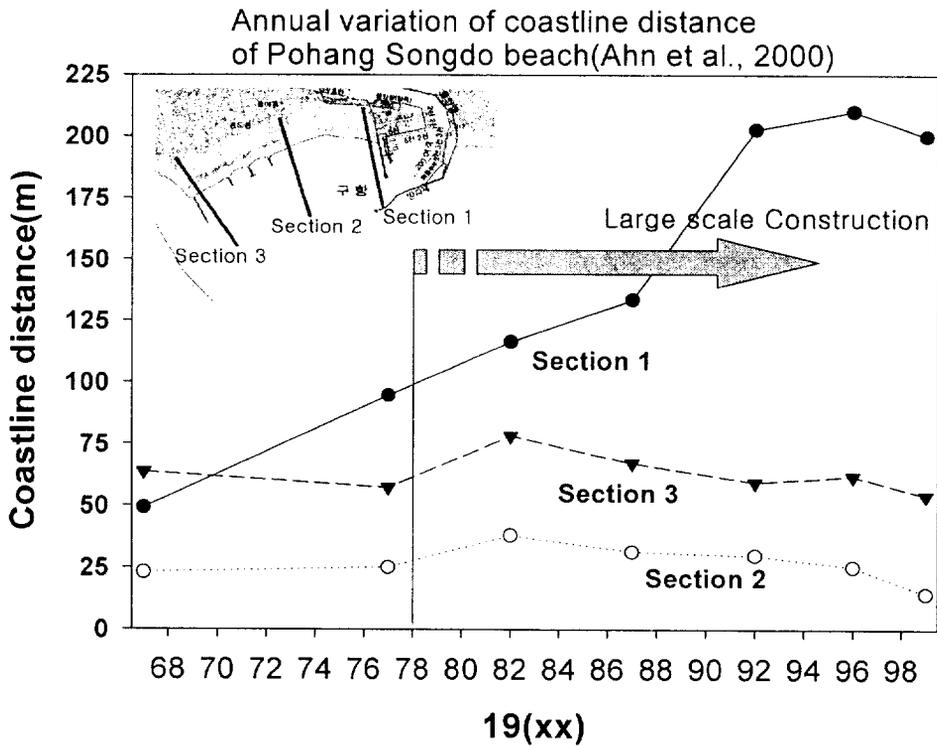


Fig. 2-10. Annual variation of coastline distance of Pohang song-do beach.

그러나 기존의 연구결과가 육상으로부터의 유사 유입의 감소, 외해로의 유출을 유도하는 구조물의 배치/건설에 중점을 두었다고 한다면, Fig. 2-11와 같이 외해로부터의 입사하는 해양파랑 외력조건에 따라서 해안매립 등으로 인해 인공적으로 건설되어진 해양구조물이 해당 피해영역으로의 에너지

지 집중을 야기시킬 가능성이 크다. 이로 인해 입사파고의 증대가 육상유입 유사의 퇴적을 제어하게 되고 외해로의 유출을 유도하였을 것으로 생각된다.

이는 해안 및 해양공학적 측면에서의 해양환경영향평가와 아울러 만내수질의 정화기능을 담당하는 해수의 이동, 물질순환의 거동특성 등 해양수환경적 특성이 인공적으로 조성되어진 해안선 지형 조건과 복합적으로 작용한 것으로 생각되어진다.

그러나 이러한 만내 해역특성을 심도 있게 검토하지 않은 상황에서는 상술한 바와 같은 많은 해안 및 해양공학, 해양환경적 제문제들이 복합적으로 연관되어 발생할 것으로 판단된다.

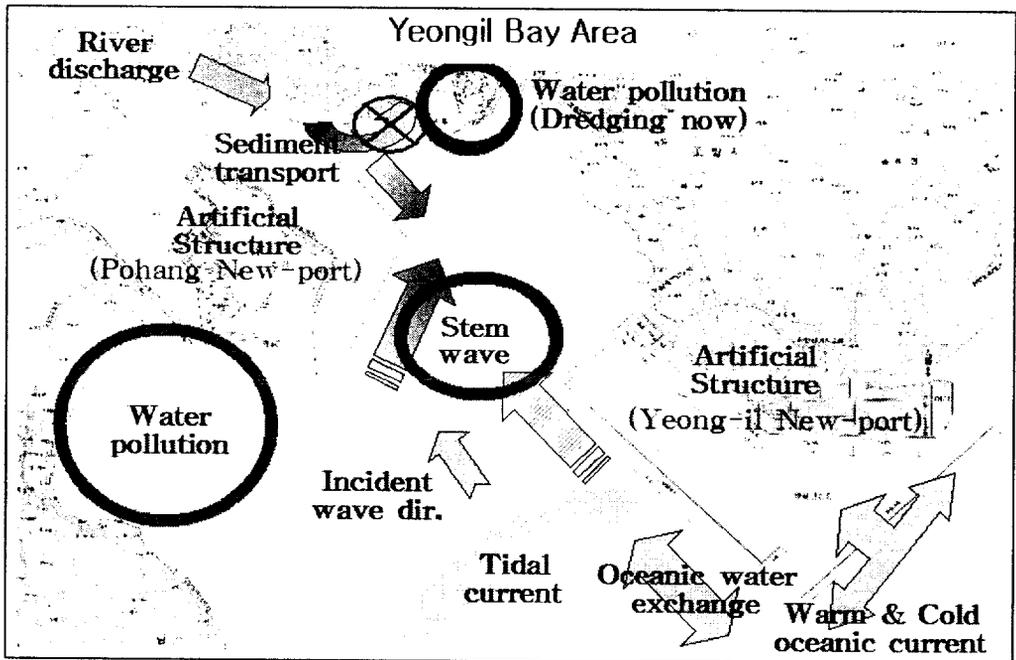


Fig. 2-11. Environmental problems and parameters of coastal waters/bay area: Yeong-il Bay area.

### 3. 해빈지형변화

#### 3.1 해안선 변화관측

본 연구에서는 해빈의 해안선 및 단면의 변화를 파악하기 위하여 2001년~2005년 까지 각 분기별로 측정하였다. 해빈의 폭은 해안에 범선 방향으로 측량하였으며, 송도해변에 6곳(No. 1~6), 북부해변에 5곳(No. 7~11) 그리고 용한리에 4곳(No. 12~15) 등 총 15곳을 측정하였다(Fig. 2-1). 각각의 결과를 도시한 것이 Fig. 3-1에 나타나있다. 그림에서 사각형 그림이 있는 곳이 2003년 태풍 '매미' 전·후와 2005년 태풍 '나비' 내습전·후의 해안선 길이 변화를 표시한 것이다. 태풍 '나비' 이후의 그림에서 보다 많은 변화가 나타남을 알 수 있다.

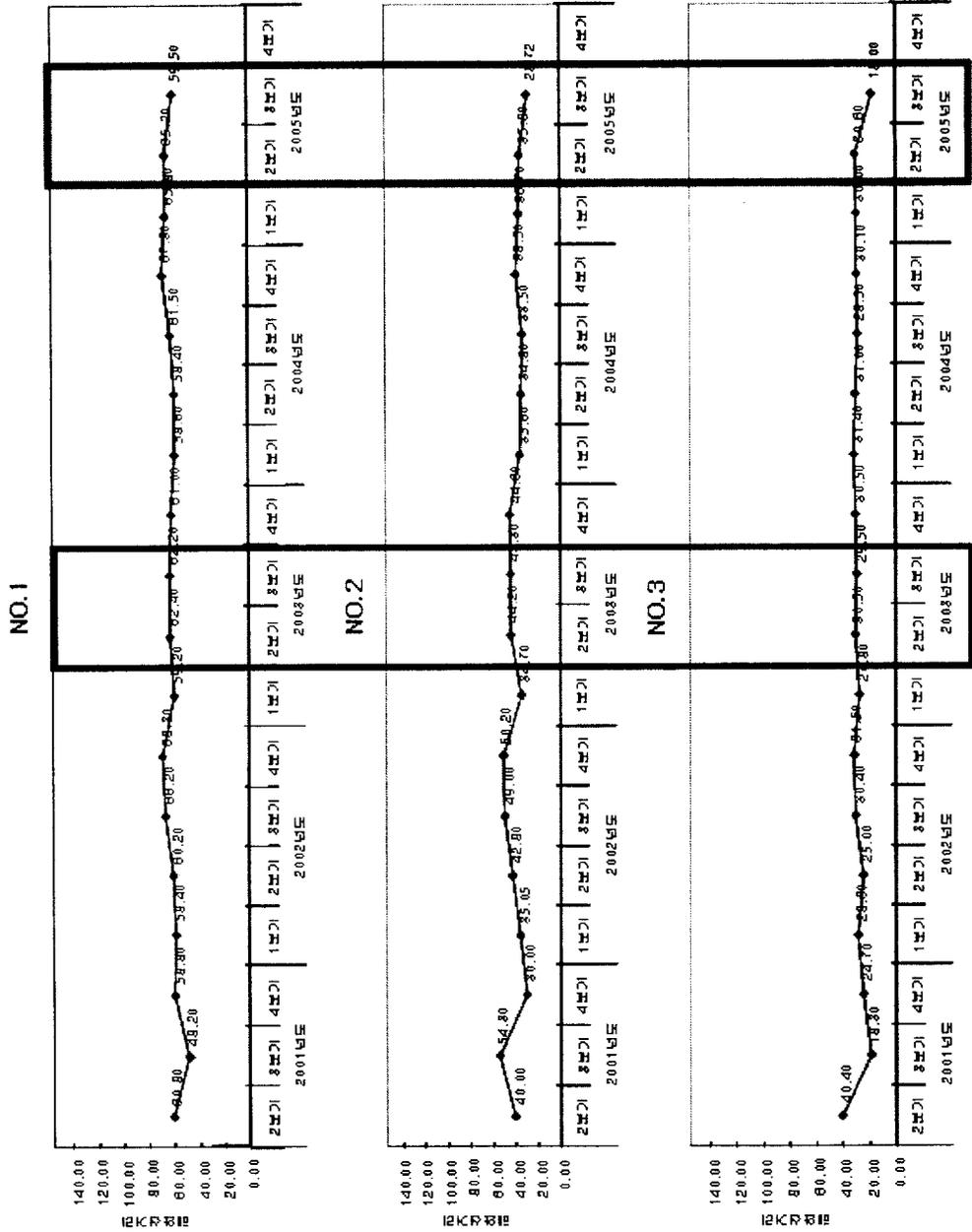
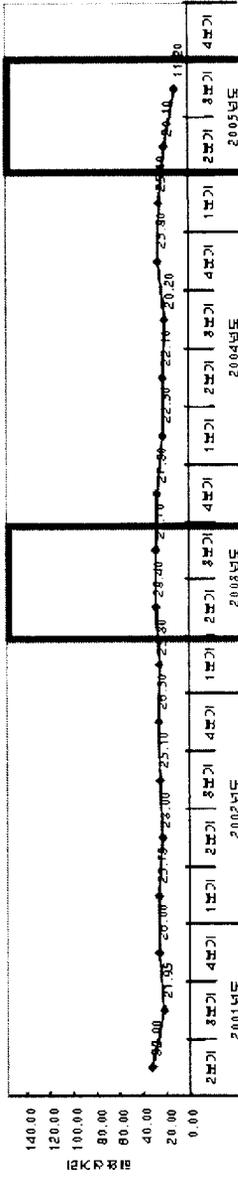
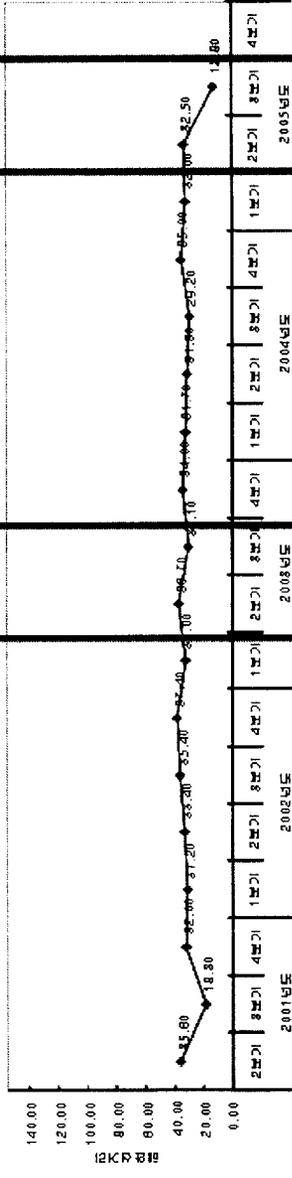


Fig. 3-1. Change of coastline through field monitoring (2001 ~ 2005).

NO. 4



NO. 5



NO. 6

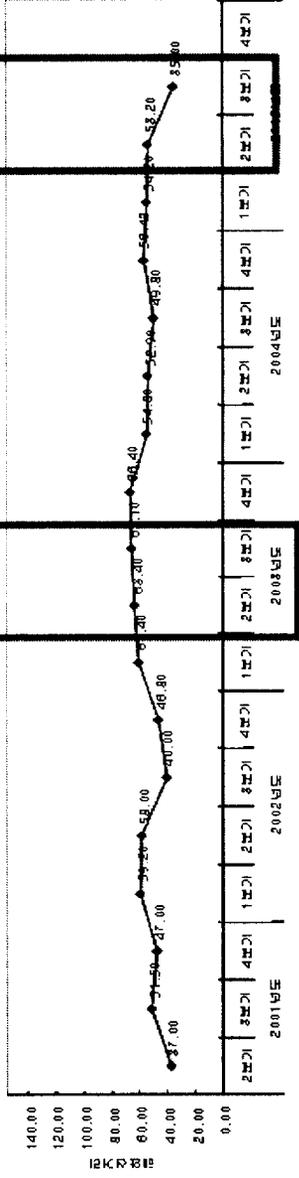
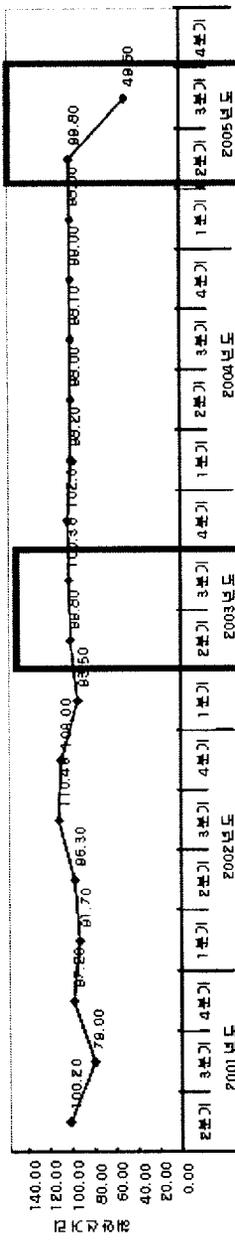
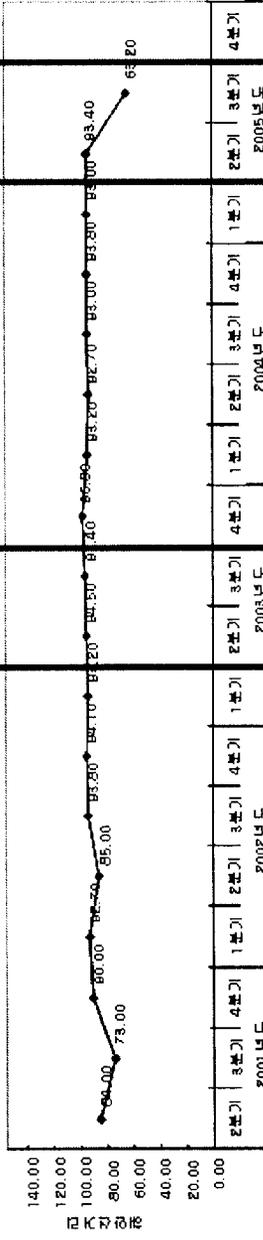


Fig. 3-1. Continued.

NO. 7



NO. 8



NO. 9

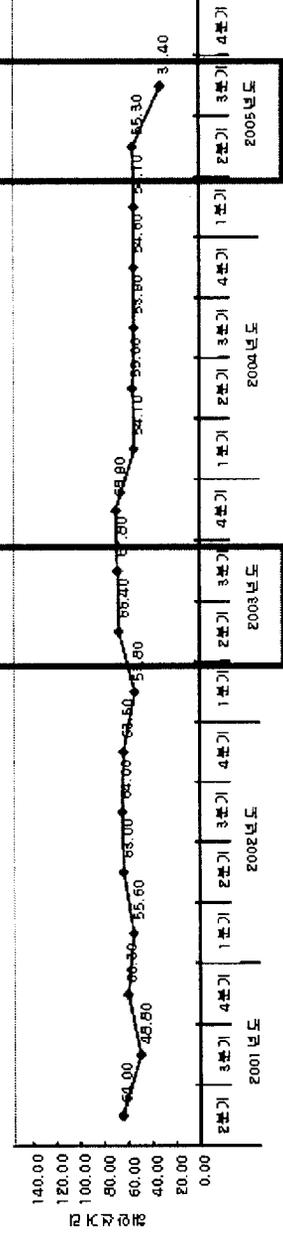


Fig. 3-1. Continued.

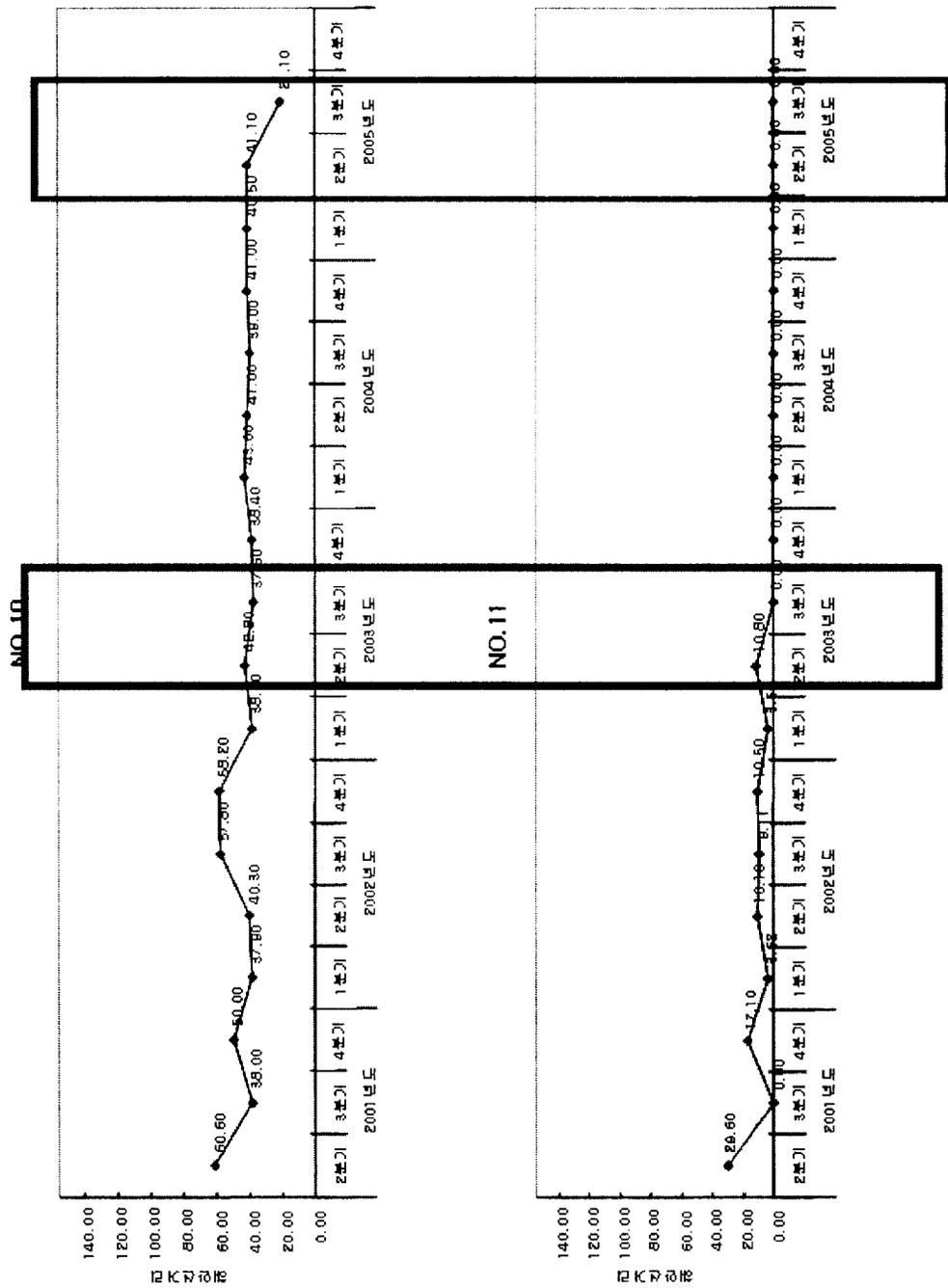


Fig. 3-1. Continued.

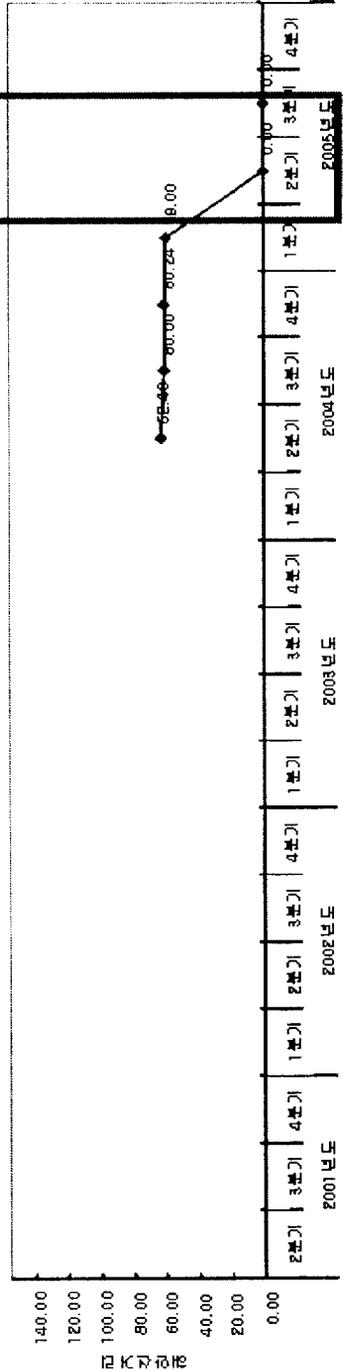
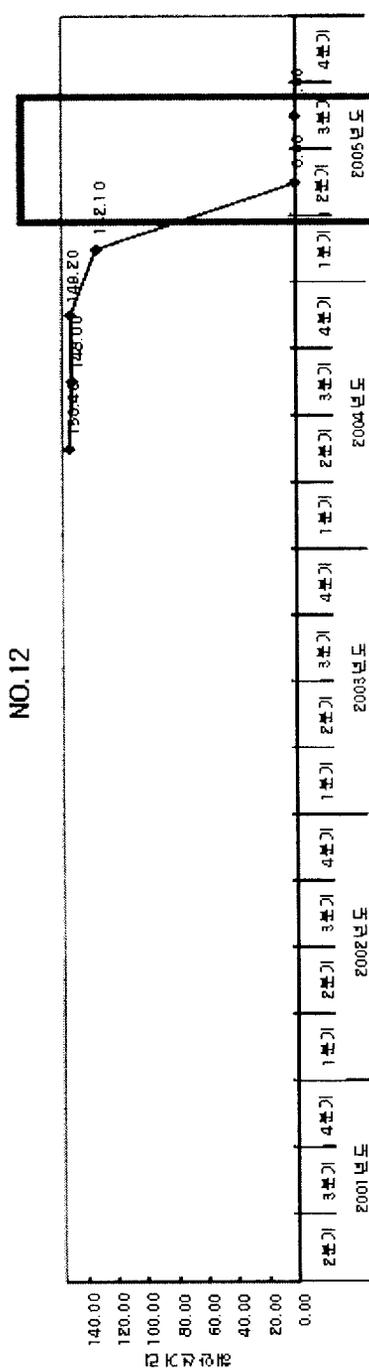
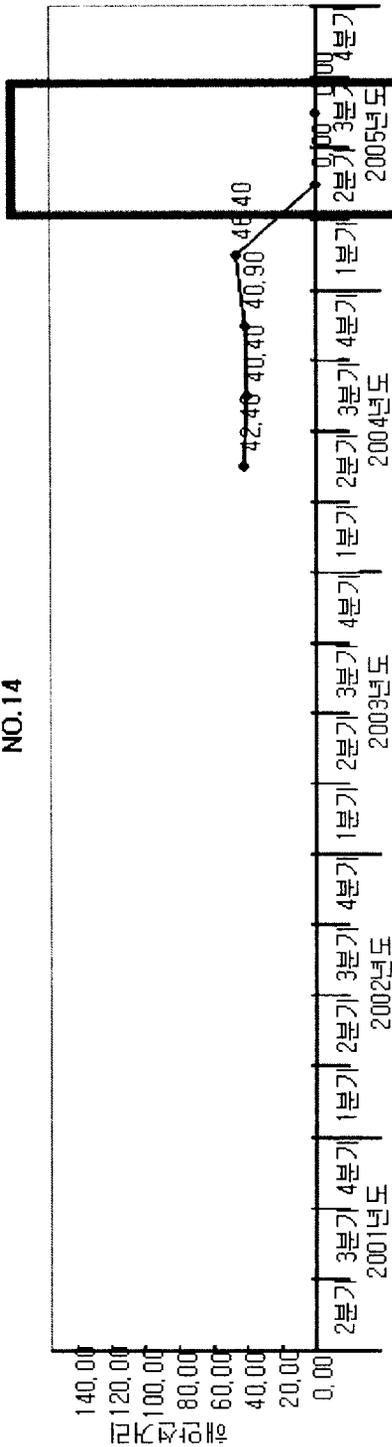


Fig. 3-1. Continued.

NO.14



NO.15

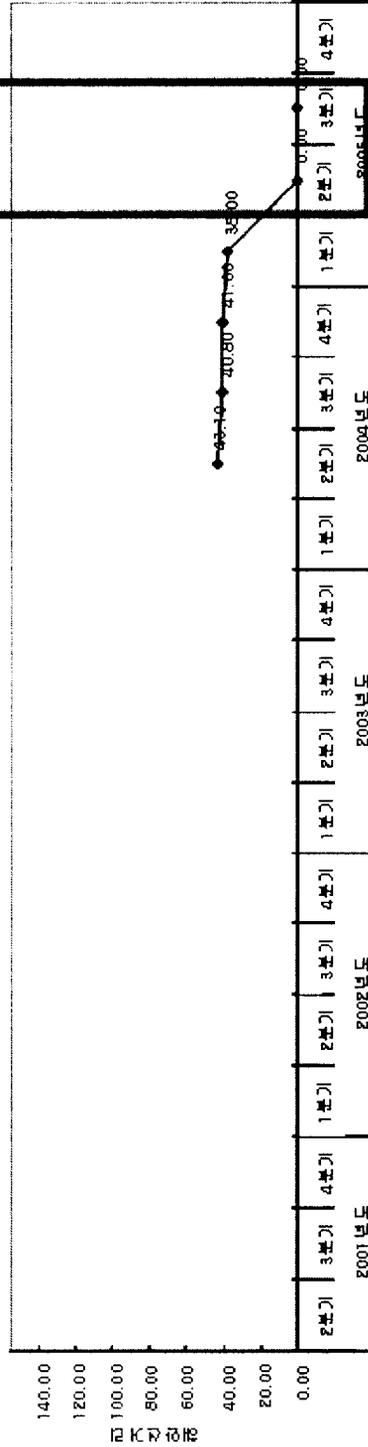


Fig. 3-1. Continued.

### 3.1.1 태풍 ‘매미’와 지형변화

#### (1) 태풍 ‘매미’

최근 우리나라 남해안의 구조물에 큰 피해를 주었던 태풍 ‘매미’는 괌섬 북서쪽 해상에서 발달하여 제주도 성산포 동쪽해상을 거쳐 우리나라 남동부 지역을 관통하는 경로를 보였다(Fig. 3-2). 이때, 그 중심기압의 최저값이 950 hPa이었으며, 북제주군 기상대에서 순간최대 풍속이 60 m/s로 관측되어 우리나라 기상관측 기록사상 최고치를 보였다.

각 기상관측소의 관측횟수별 최고풍속(기상청, 2002: 기상연보)을 초과하는 시점부터 관측지점이 태풍의 영향을 받기 시작한다고 판단하면, 대상해역 근방에서는 마산, 거제, 부산, 포항의 순서로 태풍의 풍역이 도달한 것으로 보인다. 관측위치가 비교적 내륙에 있는 기상관측소의 데이터는 해안부근에 위치한 관측소의 데이터보다 지형적 이유로 풍속이 작게 나타나기도 한다. 또한, 풍향은 태풍영향권 진입시에는 E방향이 주를 이루다가 SE, S, SW의 방향으로 바뀌며, 이러한 영향은 북반구에서 태풍중심을 향해 반시계방향으로 부는 경도풍의 영향과 태풍의 진행속도에 의한 영향을 동시에 받는 것으로 판단된다.

태풍의 통과시간별 풍향의 변화는 태풍중심이 북북동 방향으로 대상해역의 좌측을 통과하여 이동함에 따라 E→SE→S→SSW→SW로 변화한다. 그리고, 풍속은 대상해역과 태풍중심간의 상대적인 위치에 따라 10~40 m/s의 범위로 추정되었다.

#### (2) 지형변화

태풍 ‘매미’ 내습 전·후의 해안선 변화는 Fig. 3-3~3-4에 나타내었다. Fig. 3-3은 송도해변, Fig. 3-4는 북부해변을 나타내었다. 송도해변과 북부해변의 경우를 살펴보면, 송도해변 남측에서는 태풍 ‘매미’의 내습을 전·후해서 길이가 늘어남을 보이나, 송도해변의 북측과 북부해변의 경우는 해변의 길이가 감소하였다. 이는 태풍의 내습시 파향이 N방향으로 해안선에 간접적으로 영향을 미쳤음을 알 수 있다. 해변 길이 변화에 대한 수치적인 값을 Fig. 3-5에 나타내었다.



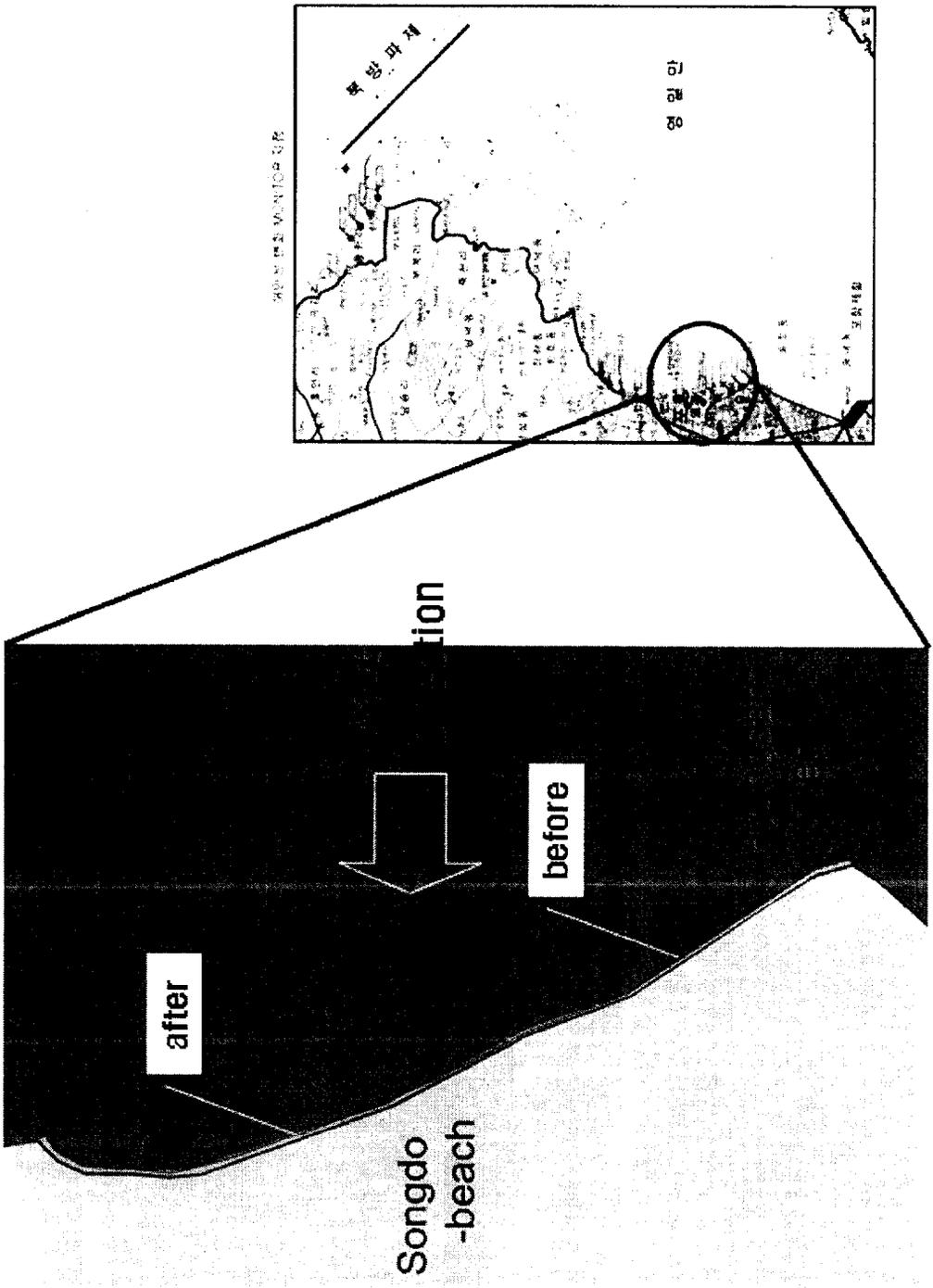


Fig. 3-3. Comparison of coastal line in Song do beach before and after typhoon 'Maemi'.

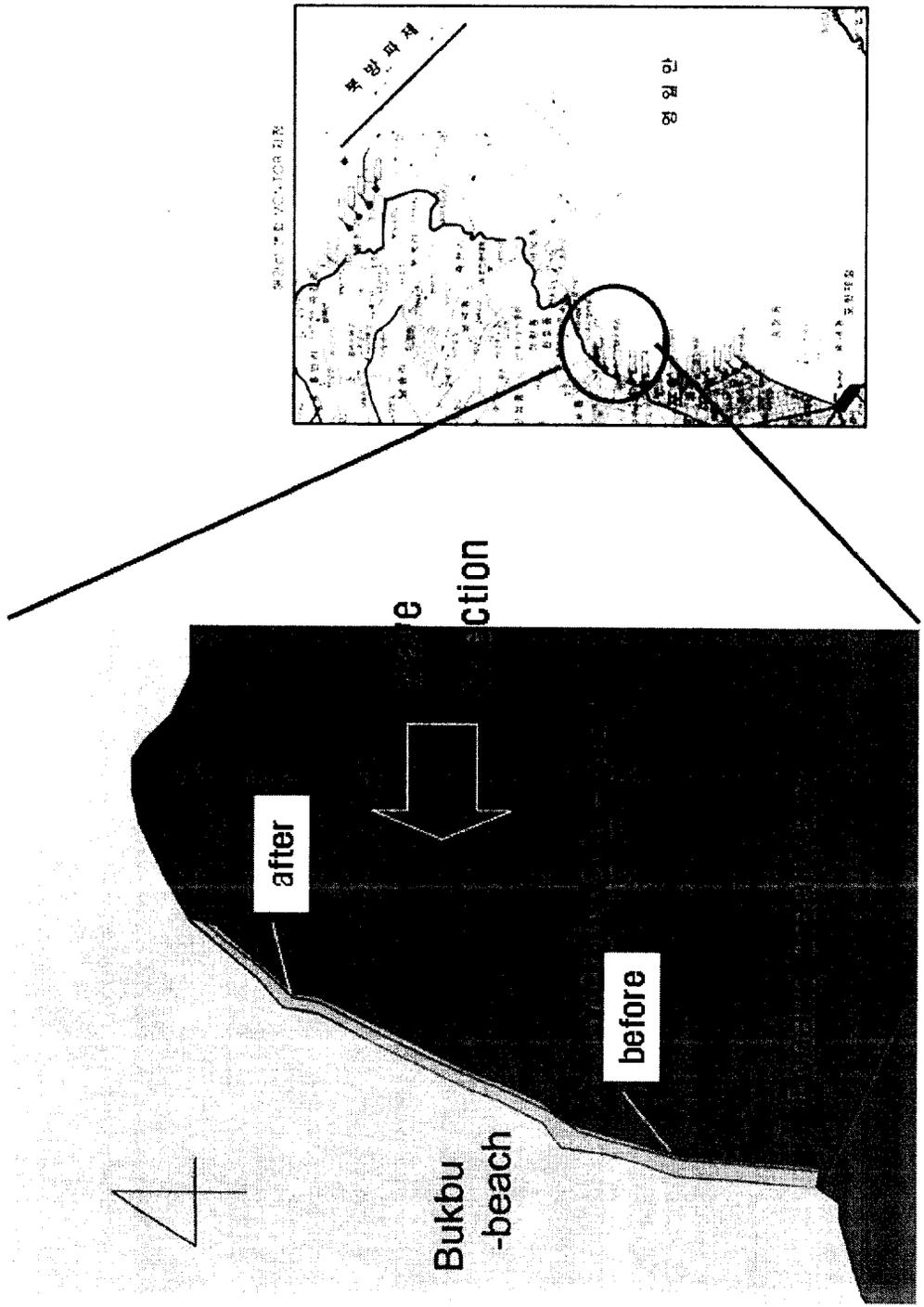


Fig. 3-3. Comparison of coastal line in Buk bu beach before and after typhoon 'Maemi'.

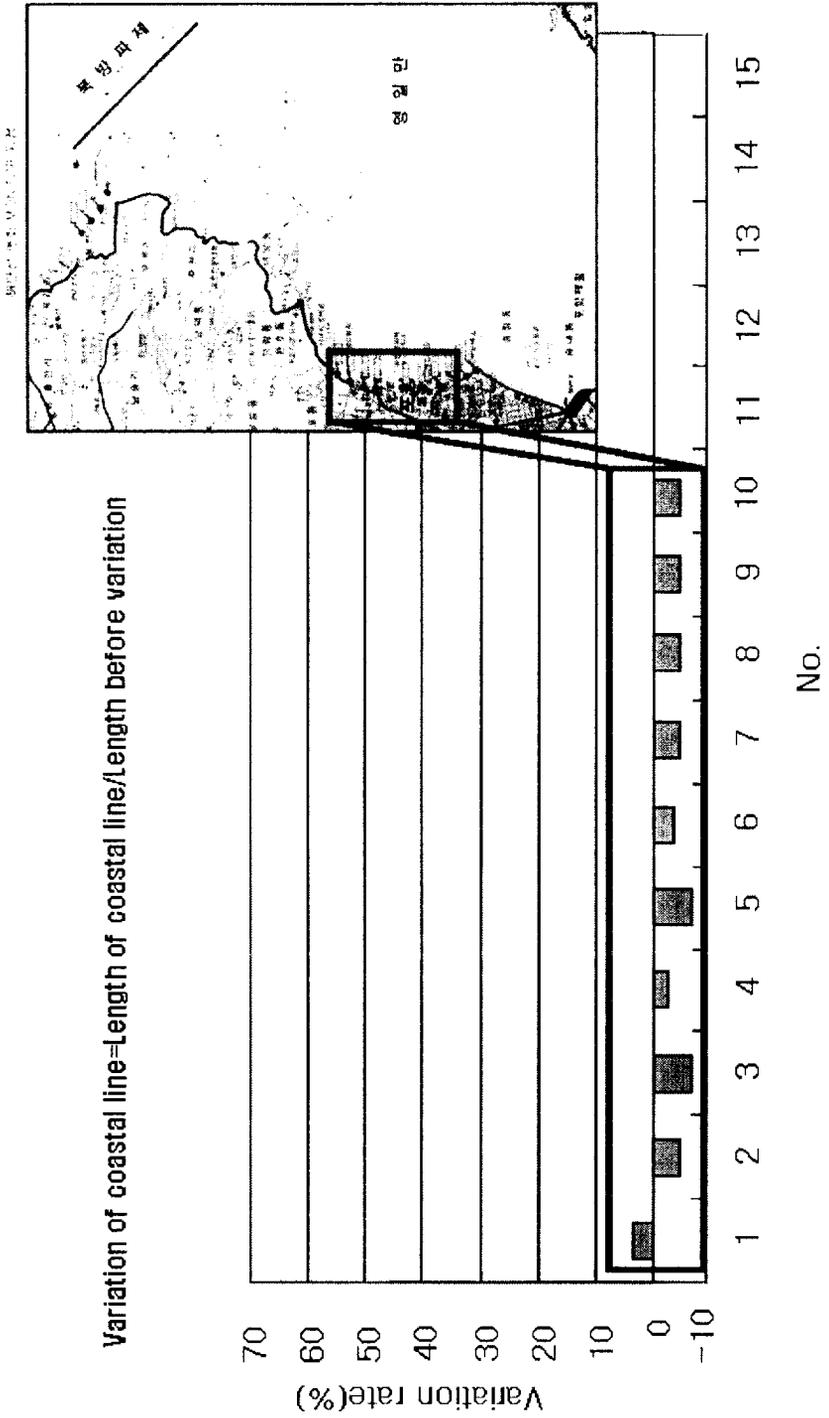


Fig. 3-5. Variation rate of coastal line in Young il bay before and after typhoon 'Maemi'

### 3.1.2 태풍 ‘나비’와 지형변화

#### (1) 태풍 ‘나비’

2005년 8월 29일 12시에 발생한 나비는 일본 가고시마 북북서쪽 해상에서 발달하여 부산 동쪽해상을 거쳐 우리나라 남동부 지역을 관통하는 경로를 보였다(Fig. 3). 이때, 그 중심기압의 최저값이 994 *hPa*이었으며, 순간 최대 풍속이 15 *m/s*로 관측되었다. 또한 태풍의 중심반경이 약 150 km 이내로 나타났다. 발생초기에는 대형태풍이었으나 발생후 부산 동부를 지나는 시점에서 중형으로 변화되었다.

각 기상관측소의 관측횟수별 최고풍속(기상청, 2002: 기상연보)을 초과하는 시점부터 관측지점이 태풍의 영향을 받기 시작한다고 판단하면, 대상해역 근방에서는 마산, 거제, 부산, 포항의 순서로 태풍의 풍역이 도달한 것으로 보인다. 관측위치가 비교적 내륙에 있는 기상관측소의 데이터는 해안부근에 위치한 관측소의 데이터보다 지형적 이유로 풍속이 작게 나타나기도 한다.

영일만의 경우 태풍 “나비”의 강풍반경에 약 18시간동안 영향권에 위치하여 통과하였다.

#### (2) 지형변화

태풍 ‘나비’ 내습 전·후의 해안선 변화는 Fig. 3-7~3-9에 나타내었다. Fig. 3-7은 송도해변, Fig. 3-8은 북부해변을 나타내었고, Fig. 3-9는 용한리해변의 해안선 변화를 나타낸 것이다. 송도해변과 북부해변의 경우를 살펴보면, 송도해변에서는 태풍 ‘매미’의 내습을 전·후해서 길이가 늘어남을 보였다. 송도해변의 남측에서 북측으로 갈수록 해변의 길이가 최대 60 % 이상 증가하였다. 북부해변의 경우 전체적으로 35 %~50 %내외로 해변길이가 증가하였다. 태풍 ‘매미’와 비교하여 ‘나비’의 경우는 태풍 내습시 파향이 NE방향으로 해안선에 직접적으로 영향을 미쳤음을 알 수 있다. 해변길이 변화에 대한 수치적인 값을 Fig. 3-10에 나타내었다

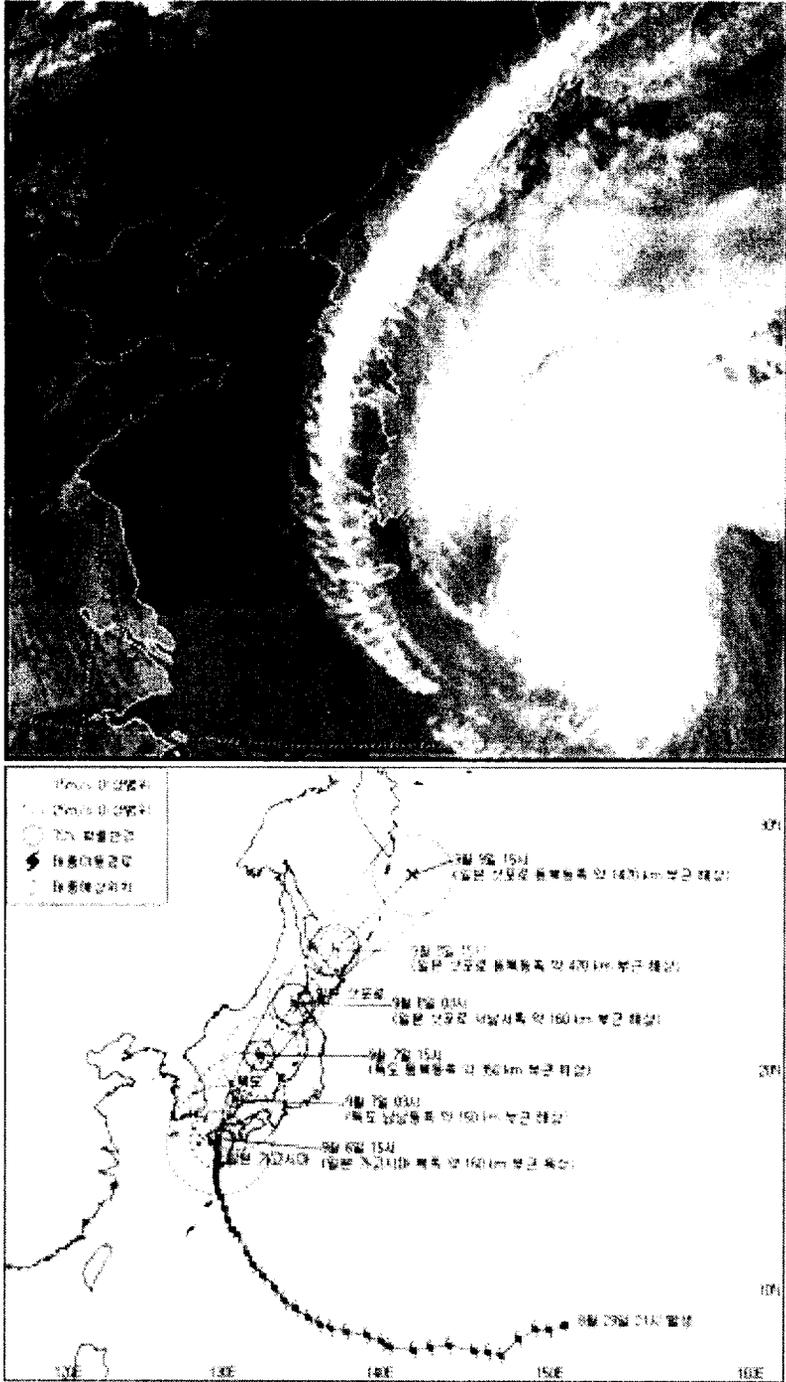


Fig. 3-6. The passage of typhoon "Navi"

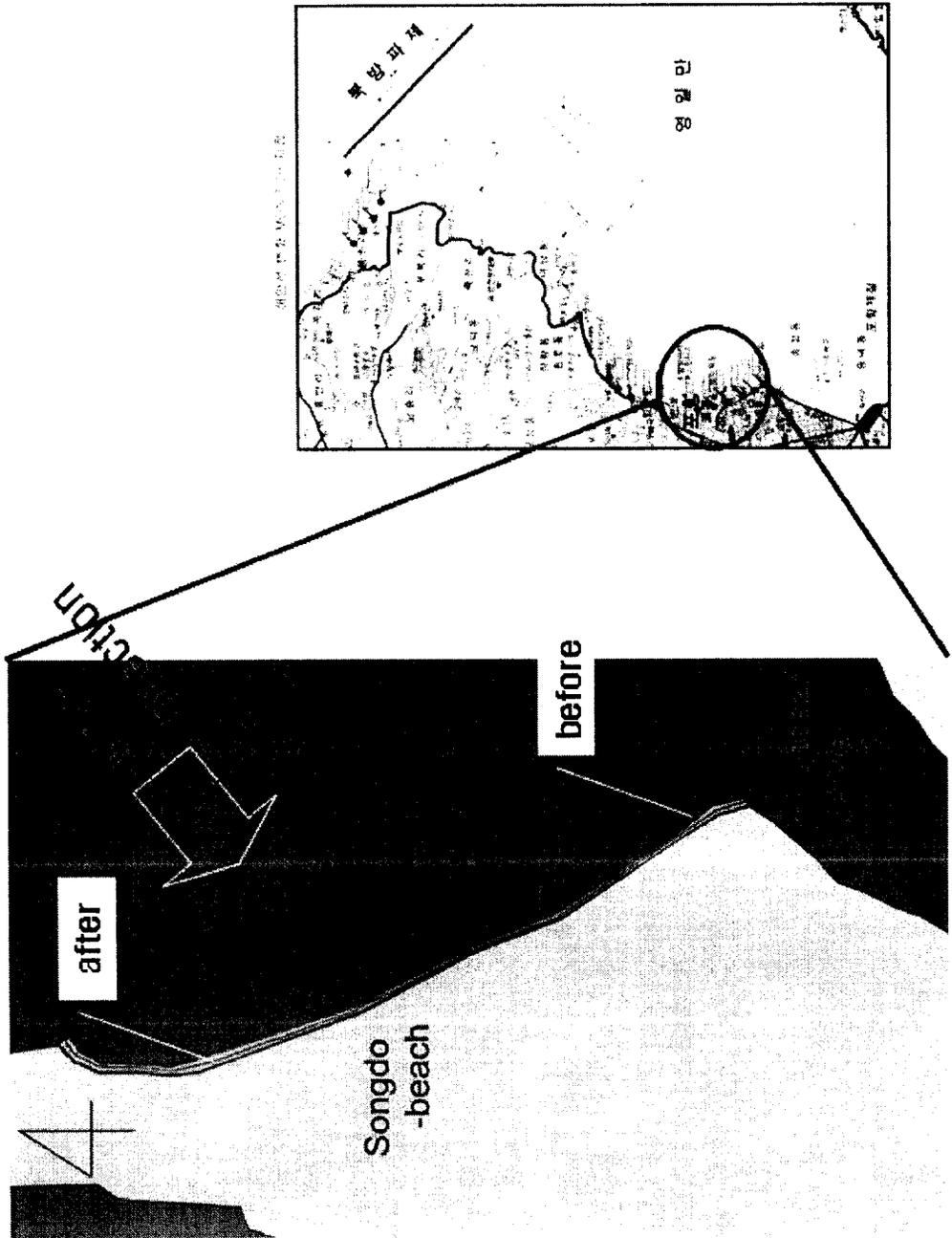


Fig. 3-7. Comparison of coastal line in Song do beach before and after typhoon 'Navi'.

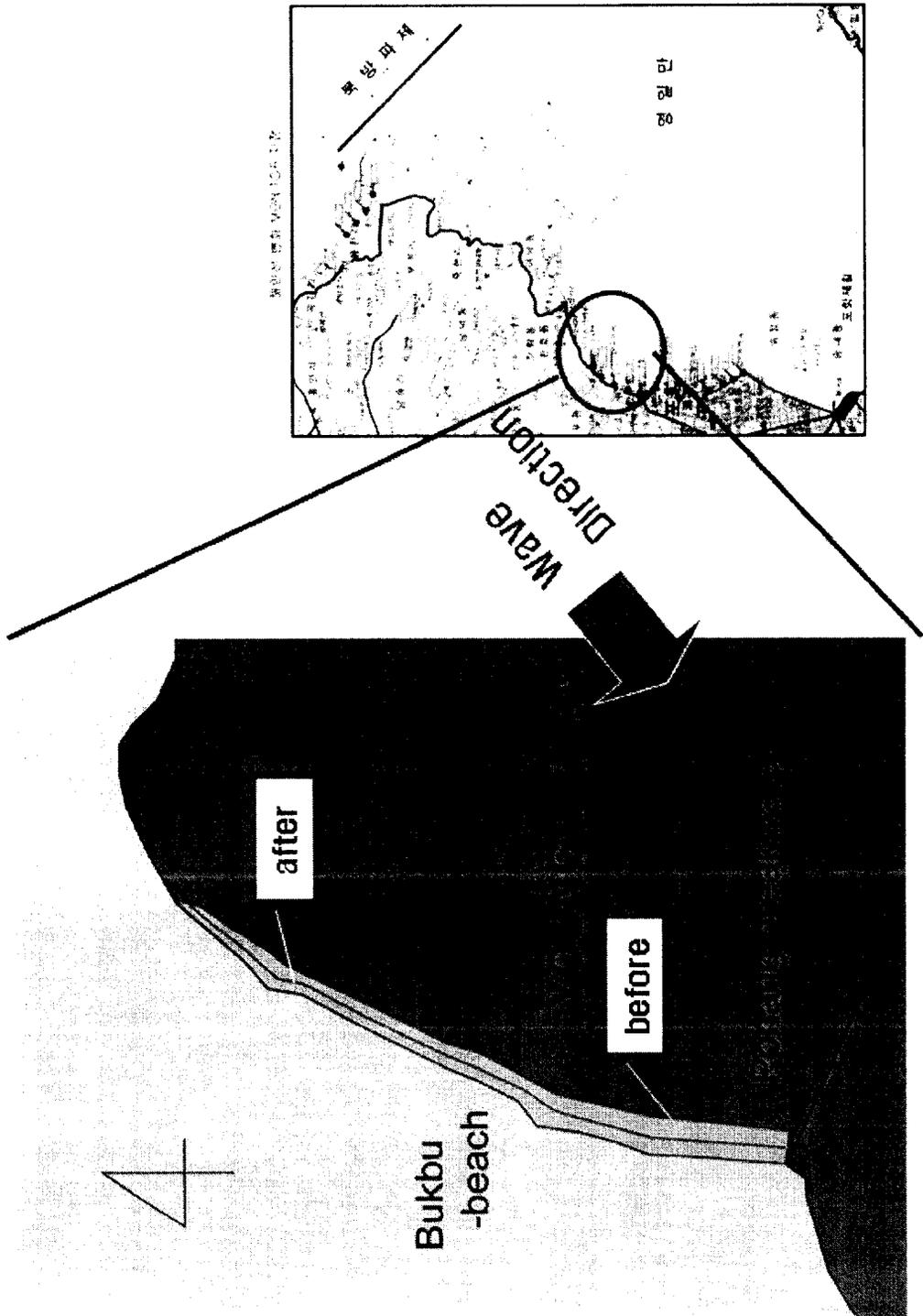


Fig. 3-8. Comparison of coastal line in Buk bu beach before and after typhoon 'Navi'.

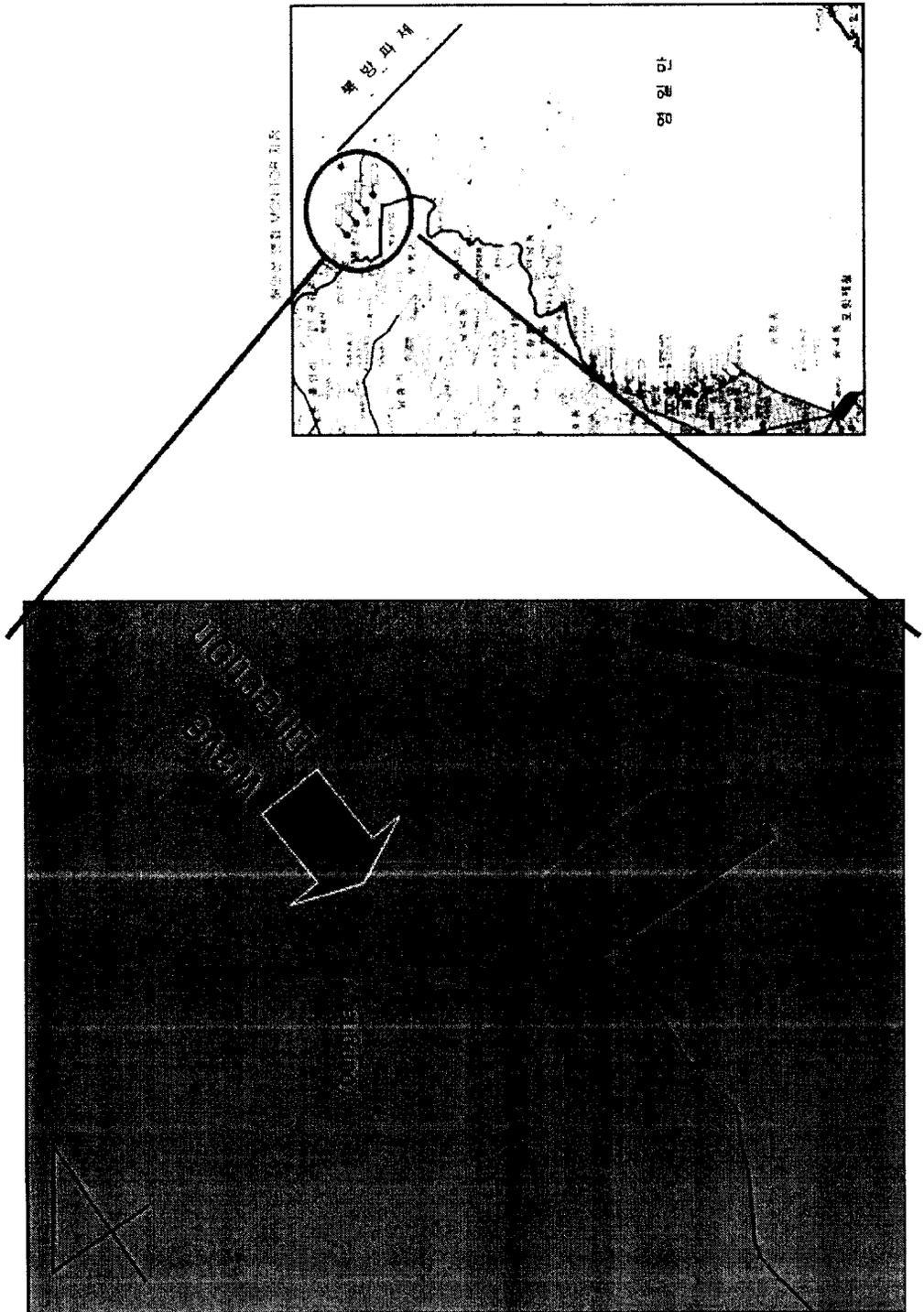


Fig. 3-9. Comparison of coastal line in Yong han-ri beach before and after typhoon 'Navi'.

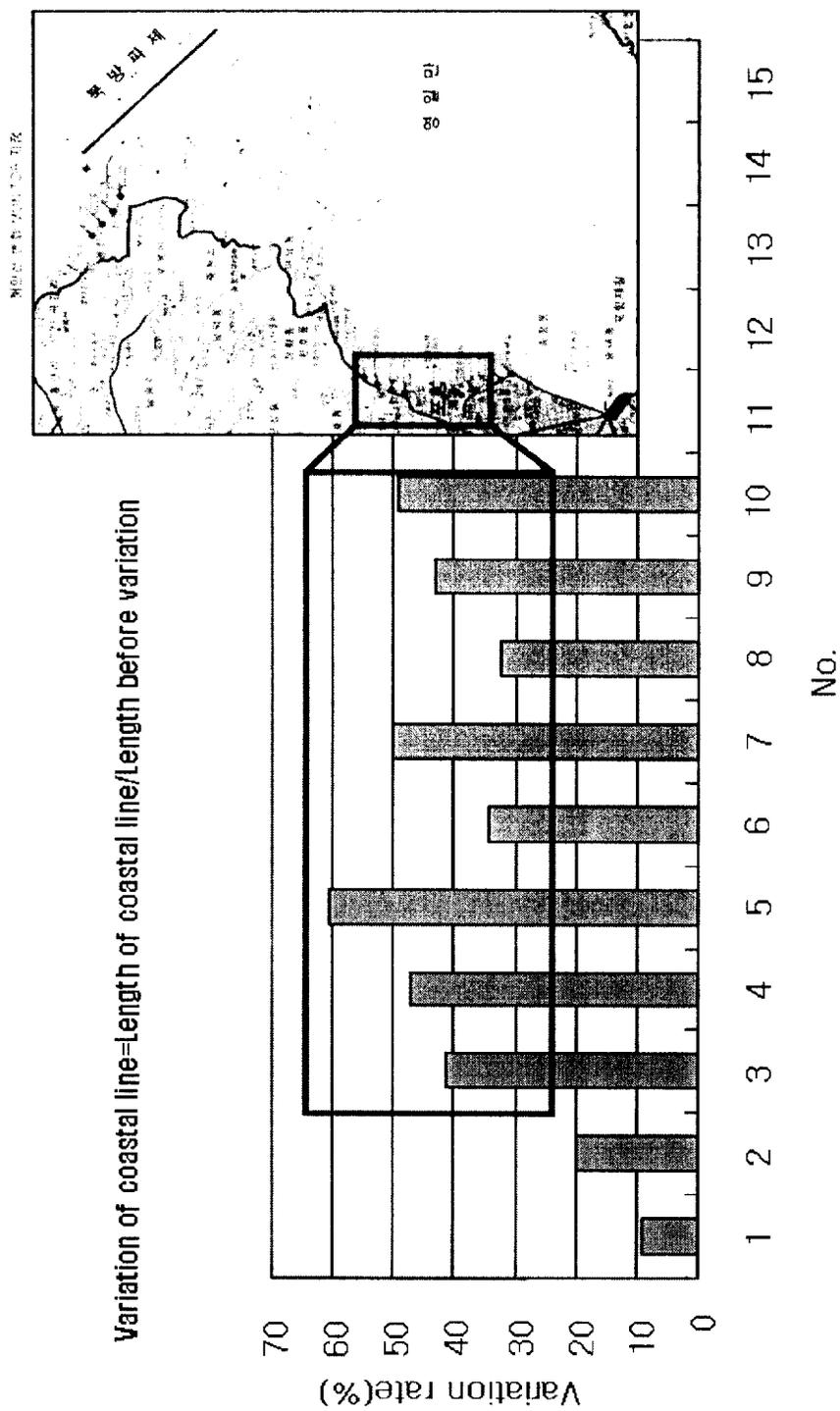


Fig. 3-10. Variation rate of coastal line in Young il bay before and after typhoon 'Navi'.

## 3.2 구조물 설치에 따른 해수유동변화

### 3.2.1 수치실험의 구성

연안해역의 유동은 Fig. 3-2(a)과 같이 평균해면을 원점으로 하는 연직방향으로  $z$ 축을 취하고, 수면상에  $x, y$ 축을 취한 좌표상에서의 비압축성 유체에 대한 운동방정식 및 연속방정식으로 나타낼 수 있다. 여기에 해면( $z = \zeta$ ) 및 해저( $z = -h$ )의 조건을 도입하여 전체 해면하 측, ( $-h \leq z \leq \zeta$ )의 범위에 대해 적분함으로써, 다음과 같이 수심방향으로 평균화된 2차원 유동의 방정식으로 변환할 수 있다. 이를 2차원 단층유동모델의 기본방정식으로 사용하였다.

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\zeta}{\partial X} [(\zeta + h)u] + \frac{\partial}{\partial y} [(\zeta + h)v] = 0 \quad (3-1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} - f v + g \frac{\partial \zeta}{\partial x} - A_h \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + \frac{g u \sqrt{u^2 + v^2}}{(\zeta + h) C^2} = 0 \quad (3-2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + f u + g \frac{\partial \zeta}{\partial y} - A_h \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + \frac{g v \sqrt{u^2 + v^2}}{(\zeta + h) C^2} = 0 \quad (3-3)$$

여기서  $u, v, A_h$ 는  $-h \leq z \leq \zeta$  사이에서 평균화된  $x, y$  방향의 유속성분과 수평와동점성계수를 각각 나타내며,  $C$ 는 Chezy의 조도 계수,  $f$ 는 Coriolis 계수,  $\rho$ 는 해수 밀도,  $g$ 는 중력 가속도,  $t$ 는 시간,  $h$ 는 평균해면하의 수심이다.

식(3-1) ~ 식(3-3)으로 나타내어지는 연속량을 차분법에 의해 적당한 이산량으로 변환함으로써 수치해를 구할 수 있다. 이에 대한 많은 해법 중 해의 수렴성과 연산시간의 경제성 등이 탁월하여 조류 및 확산 계산에 최근 널리 이용되고 있는 ADI(Alternating Direction Implicit) Method를 사용한다..

우선 대상해역을 평면적으로 Fig. 3-2(b)에서 나타내는 바와 같이 격자분할하여, 수위( $\zeta$ ), 유속( $u, v$ ), 수심( $h$ ) 등을 정의하고, 점 ( $i, j$ ), ( $i+1/2, j$ ) 및 ( $i, j+1/2$ )에 대하여 식(3-1) ~ 식(3-3)을 각각 차분

화한다. ADI법에서는 시간 step을 2등분하여, 전반시간 step  $(n+1/2)\Delta t$ 에서는 식(3-1)의 좌변 제 1항의  $\zeta$ , 제2항의  $u$ , 그리고 식(3-2)의 좌변 제 2항의  $u$ (미분항은 제외), 제 5항의  $\zeta$ 를 음형식으로 나타내고 나머지 항을 양형식의 이전 step값 또는 기지량으로 나타내는 다음 식과 같은 형태의 차분식을 도입하여, x방향의  $i$ 의 큰 쪽에서 작은 쪽으로  $\zeta$ 와  $u$ 를 순차적으로 구하고, 이들 값을 이용하여 식(3-1)로부터  $j$ 의 작은 쪽에서 큰 쪽으로 양형식으로  $v$ 를 구한다.

$$\zeta_{i,j}^{(n+(1/2))} = -P_{i,j} u_{i+(1/2),j}^{(n+(1/2))} + Q_{i,j} \quad (3-4)$$

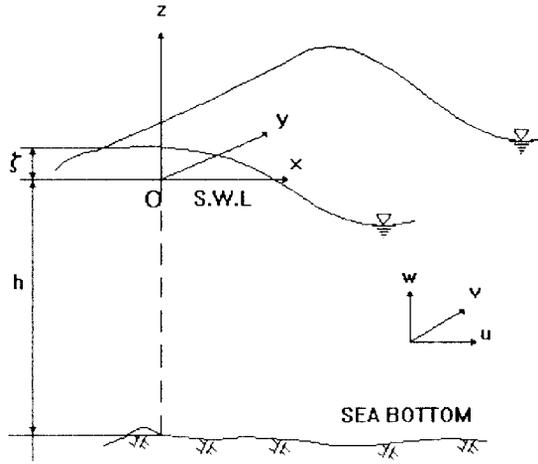
$$u_{i-(1/2),j}^{(n+(1/2))} = -R_{i-1,j} \zeta_{i,j}^{(n+(1/2))} + S_{i,j} \quad (3-5)$$

다음 후반의 시간 step인  $(n+1)\Delta t$ 에서는 식(3-1)의 좌변 1 항의  $\zeta$ , 제 3 항의  $v$  및 식(3-3)의 제 3 항의  $v$ (미분항은 제외) 및 제 5 항의  $\zeta$ 를 음형식으로 나타내어 다음 식과 같은 형태의 차분식을 유도함으로써,  $\zeta$ ,  $v$ 를 y방향에 따라  $j$ 의 큰 쪽에서 작은 쪽으로  $\zeta$ 와  $v$ 를 순차적으로 구하고, 이들 값을 사용하여  $u$ 를 양형식으로 구한다.

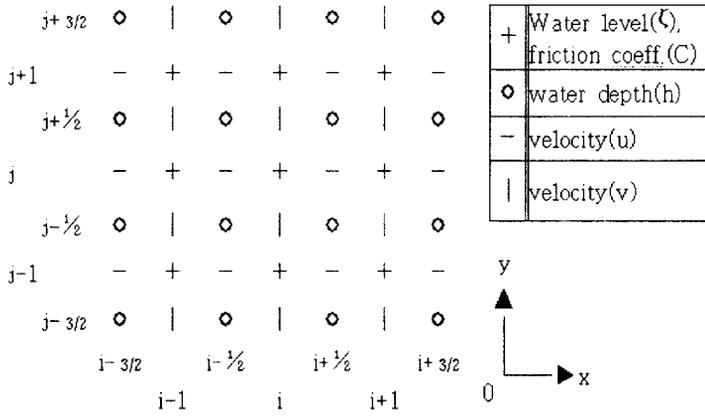
$$\zeta_{i,j}^{(n+1)} = -p_{i,j} v_{i,j+(1/2)}^{(n+1)} + q_{i,j} \quad (3-6)$$

$$v_{i,j-(1/2)}^{(n+1)} = -r_{i,j-1} \zeta_{i,j}^{(n+1)} + S_{i,j-1} \quad (3-7)$$

여기서  $P_{i,j}$ ,  $Q_{i,j}$ ,  $R_{i-1,j}$ ,  $S_{i,j}$ ,  $p_{i,j}$ ,  $q_{i,j}$ ,  $r_{i,j-1}$ ,  $s_{i,j-1}$ 은  $(n+(1/2))\Delta t$  또는  $(n+1)\Delta t$  시간 step보다 앞 단계 시각에서 결정된 기지량이다. 이러한 계산과정을 반복하여 시행한다. Fig 3-12는 계산격자를 나타낸 것이다.



(a)



(b)

Fig. 3-11. Classification of grid system.

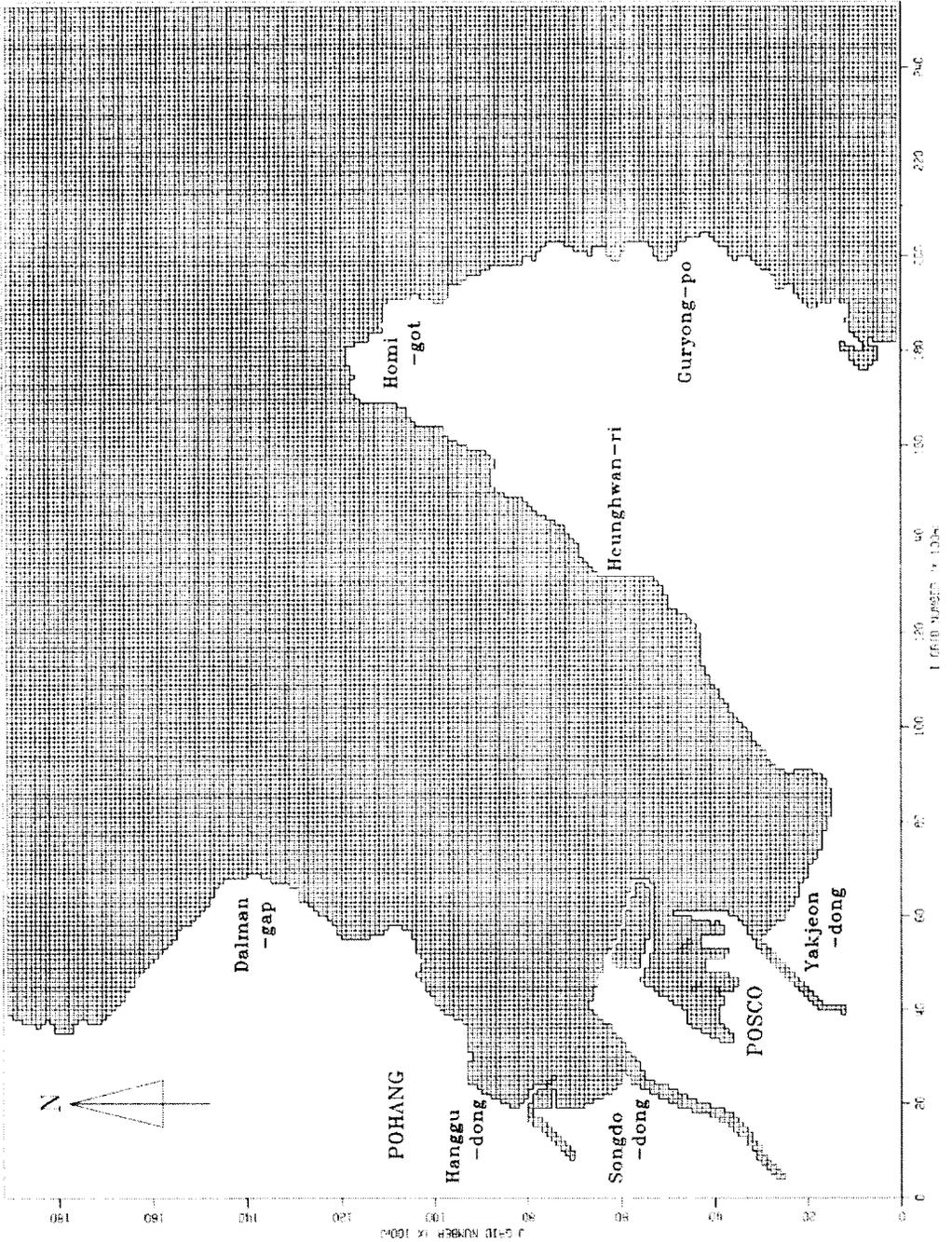


Fig. 3-12. Grid system of computation area.

### 3.2.2 수치실험의 결과

해수유동 수치실험에 대한 결과를 Fig. 3-13~3-28에 도시되었다. 계산의 경우는 북방파제 건설 전, 5차(2001년), 7차(2003년) 및 9차(2005년)에 대하여 수치실험을 실시하였다. 2001년까지 건설된 북방파제의 길이는 달만갑에서 호미곶방향으로 1,620 m 건설되었다. 2003년까지는 2,388 m 및 2005년까지 3,100 m 건설되었다. Fig. 3-13과 3-14는 대조기 최강 창·낙조류를 나타내고 있다. 창조시에는 흐름이 최대 13 cm로 나타나며, 호미곶을 지나 달만갑으로 흘러간다. Fig. 3-15~3-16은 소조기 최강 창·낙조류를 나타내고 있다. 최대 7 cm로 나타나고 있으며 창조류와 반대로 달만갑을 지나 호미곶으로 흐르는 흐름이 발생한다. Fig. 3-17~3-18은 2001년 1,620 m 건설 후의 대조기 최강창·낙조류를 나타내고 있다. Fig. 3-19~3-20은 소조기 최강창·낙조류를 나타내고 있다. Fig. 3-21~3-22과 Fig. 3-23~3-24는 2003년 1,620 m 건설 후 각각의 대조기 최강 창·낙조 및 소조기 최강 창·낙조류를 나타내고 있다. Fig. 3-25~3-26과 Fig. 3-27~3-28는 2003년 1,620 m 건설 후 각각의 대조기 최강 창·낙조 및 소조기 최강 창·낙조류를 나타내고 있다. Fig. 3-29~3-32는 각각의 경우에 대한 잔차류를 나타내고 있다. 잔차류의 방향 및 크기가 영일만내에서 변화가 없는 것으로 나타났다. 이는 북방파제 건설로 인한 송도해변과 북부해변의 해안선의 변화는 미흡하다고 판단된다.

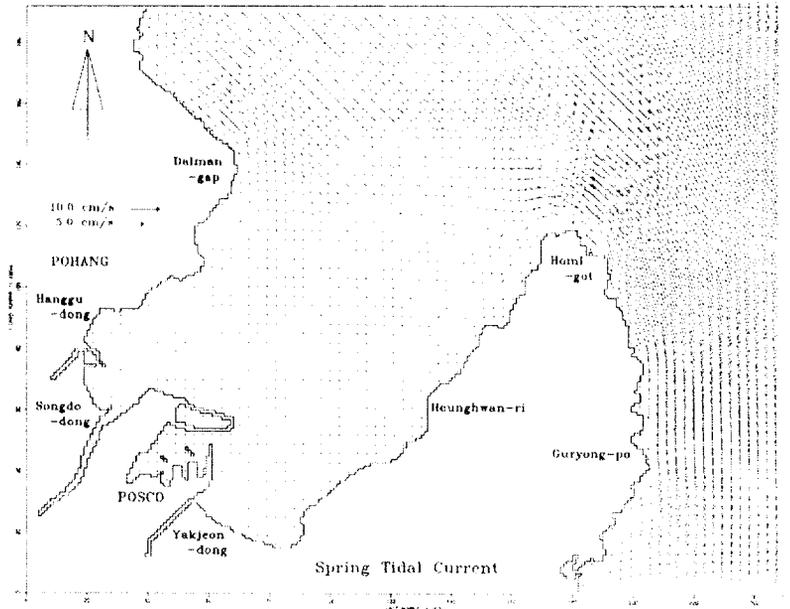


Fig. 3-13. Maximum flood tidal current in spring.

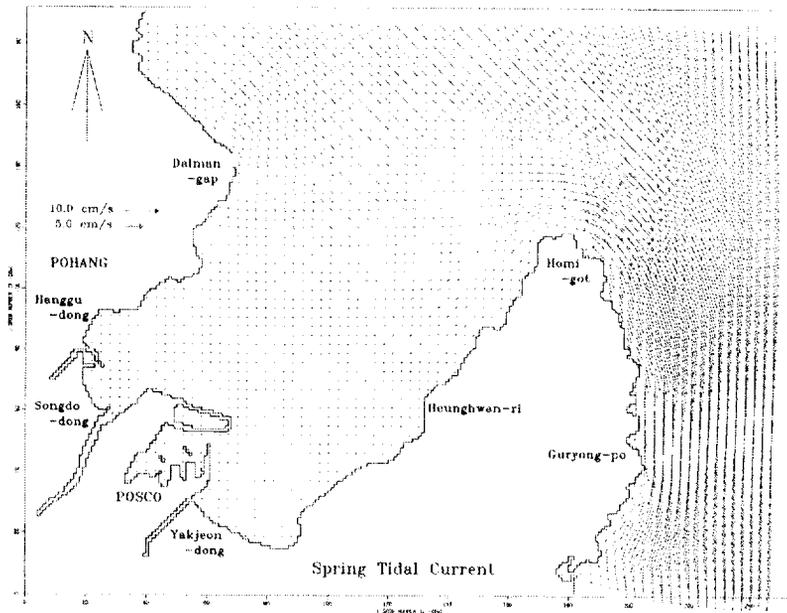


Fig. 3-14. Maximum ebb tidal current in spring.

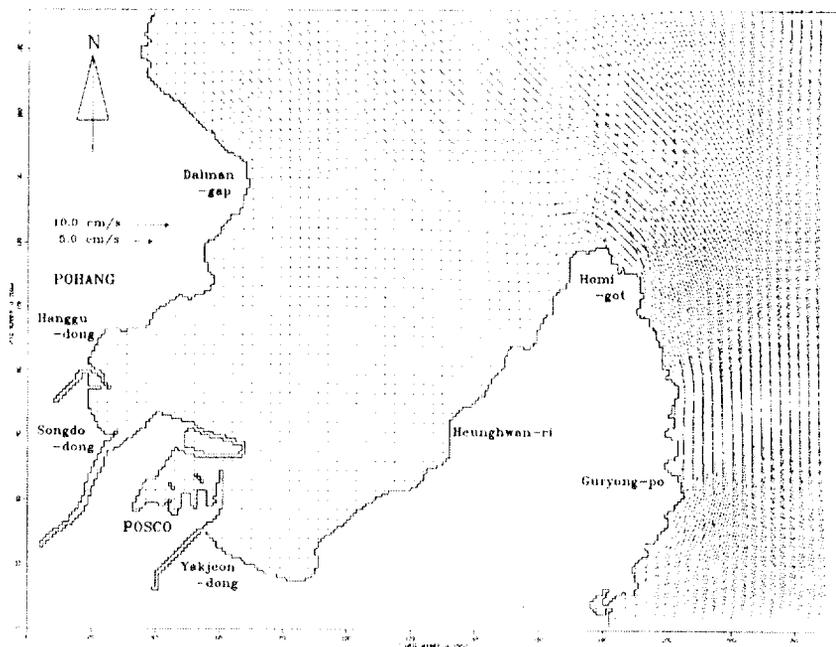


Fig. 3-15. Maximum flood tidal current in neap.

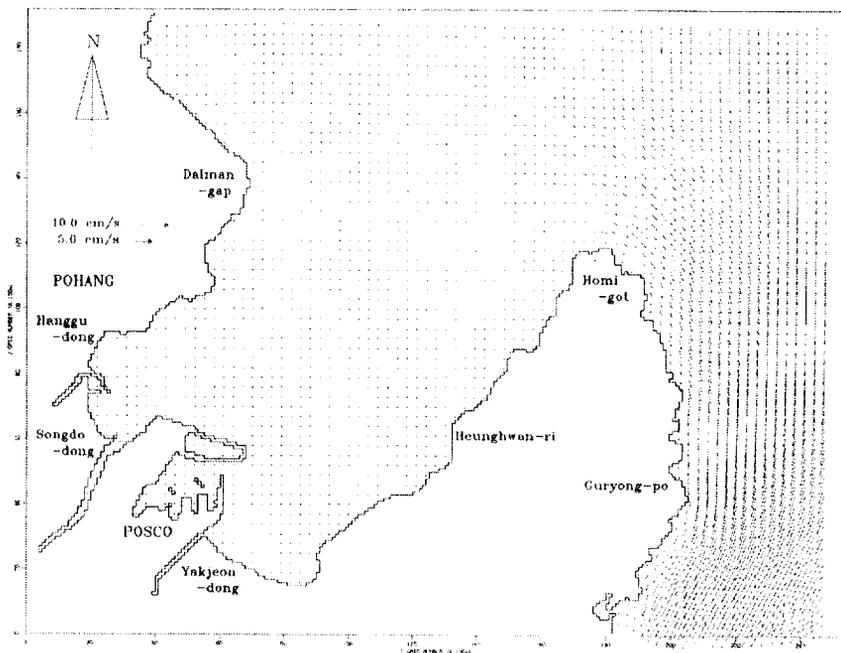


Fig. 3-16. Maximum ebb tidal current in neap.

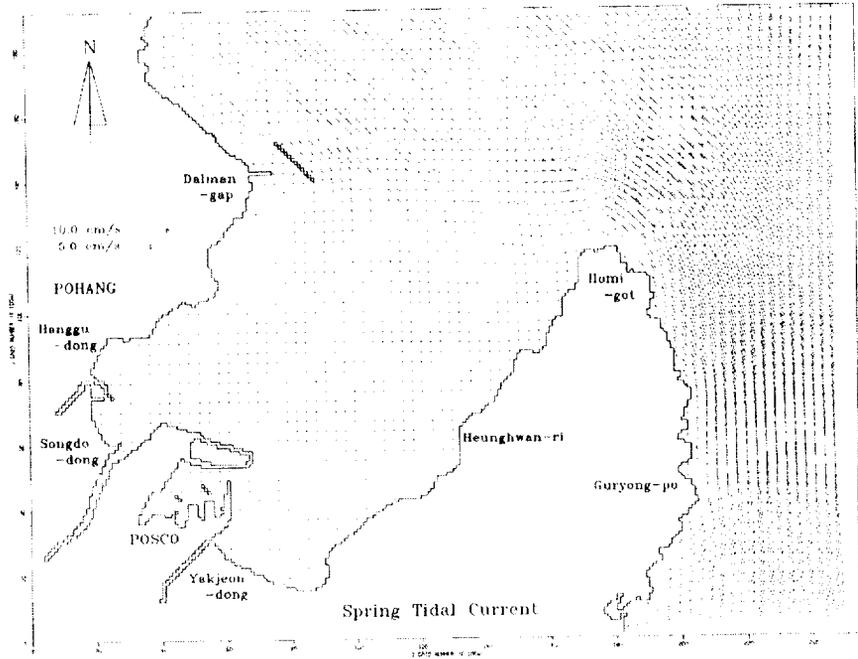


Fig. 3-17. Maximum flood tidal current in spring(2001).

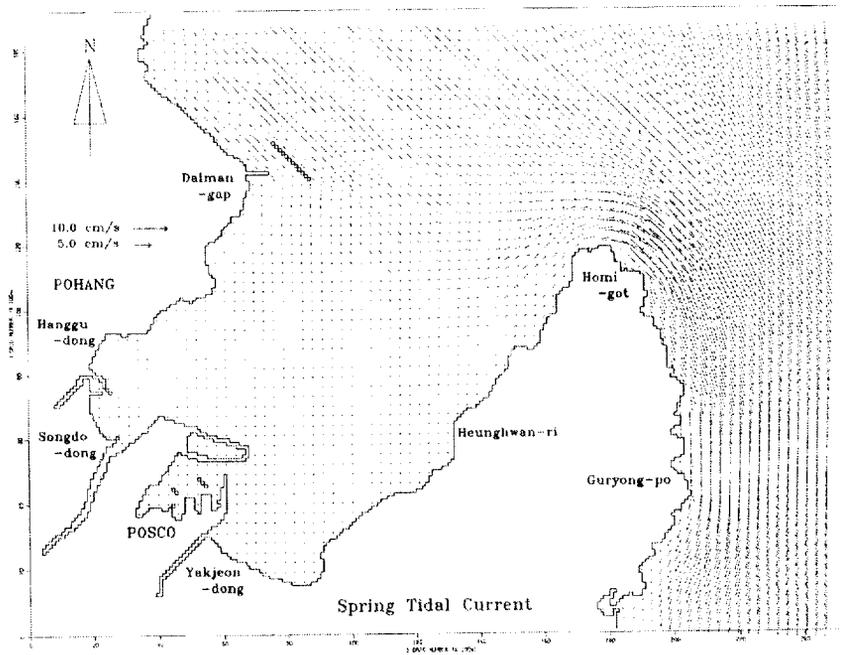


Fig. 3-18. Maximum ebb tidal current in spring(2001).

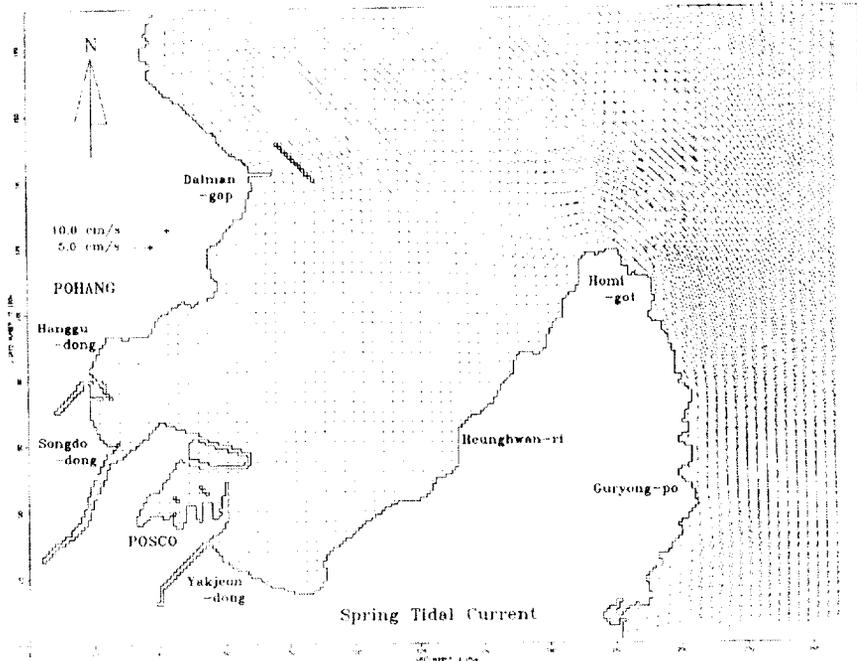


Fig. 3-19. Maximum flood tidal current in neap(2001).

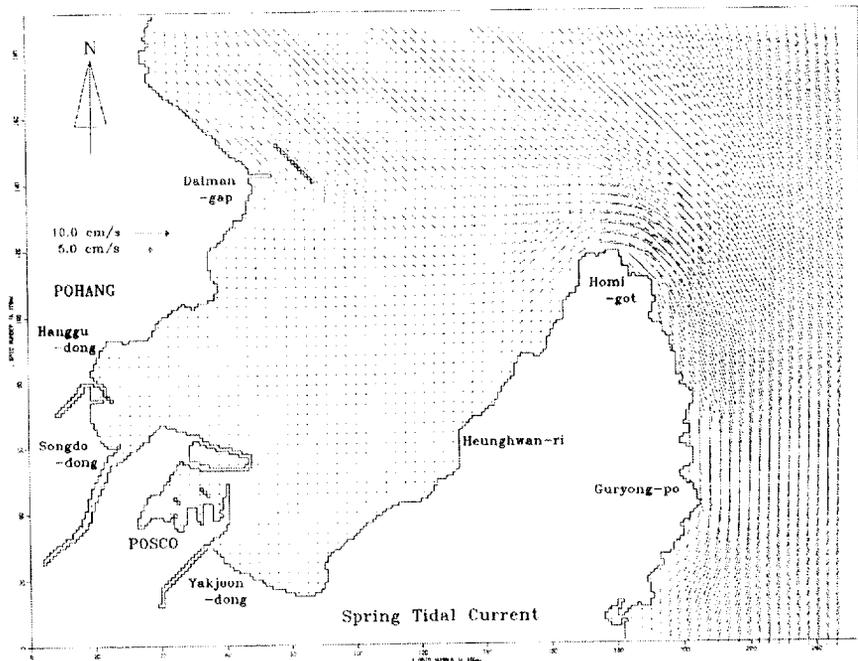


Fig. 3-20. Maximum ebb tidal current in neap(2001).

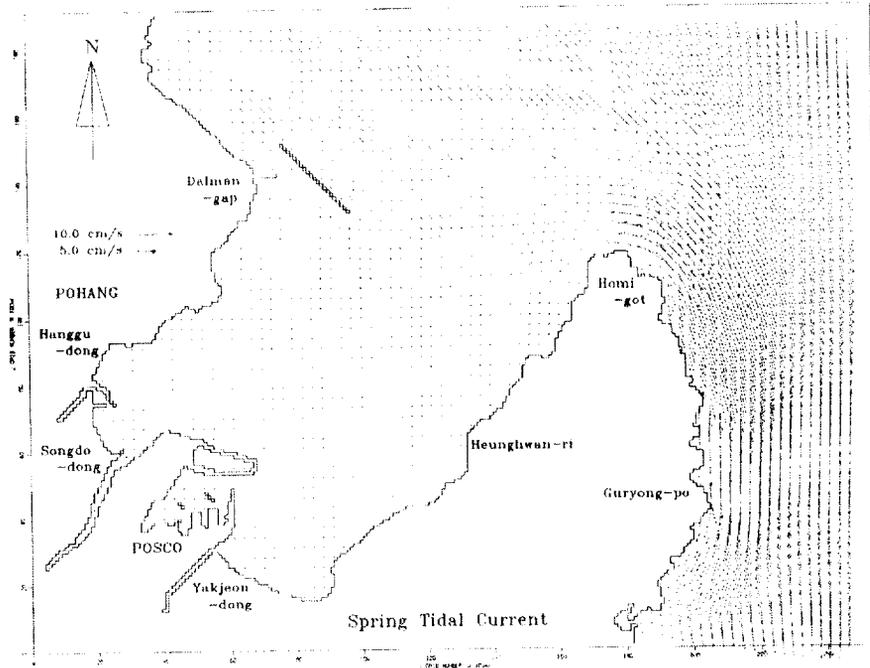


Fig. 3-21. Maximum flood tidal current in spring(2003).

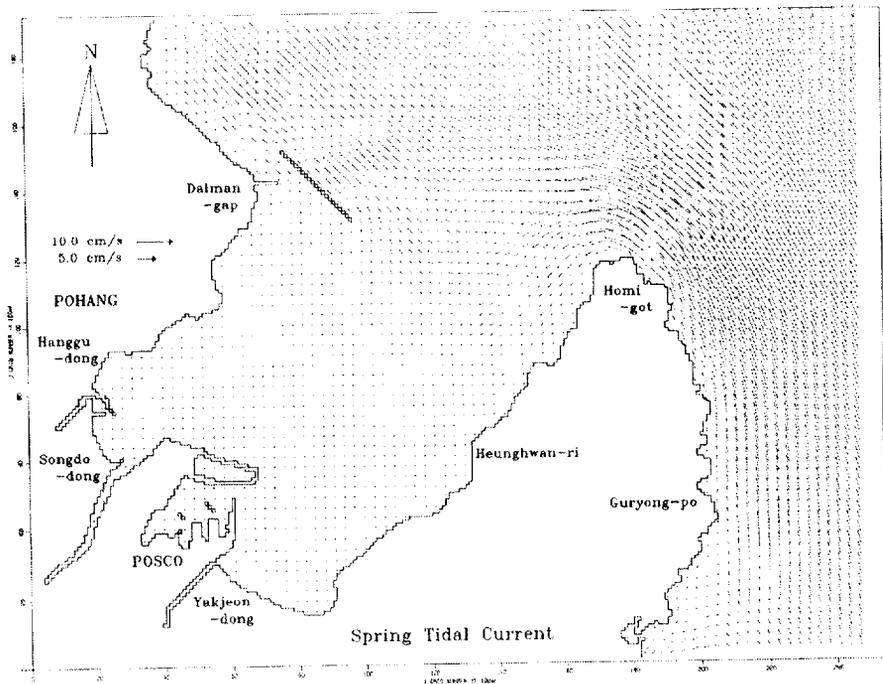


Fig. 3-22. Maximum ebb tidal current in spring(2003).

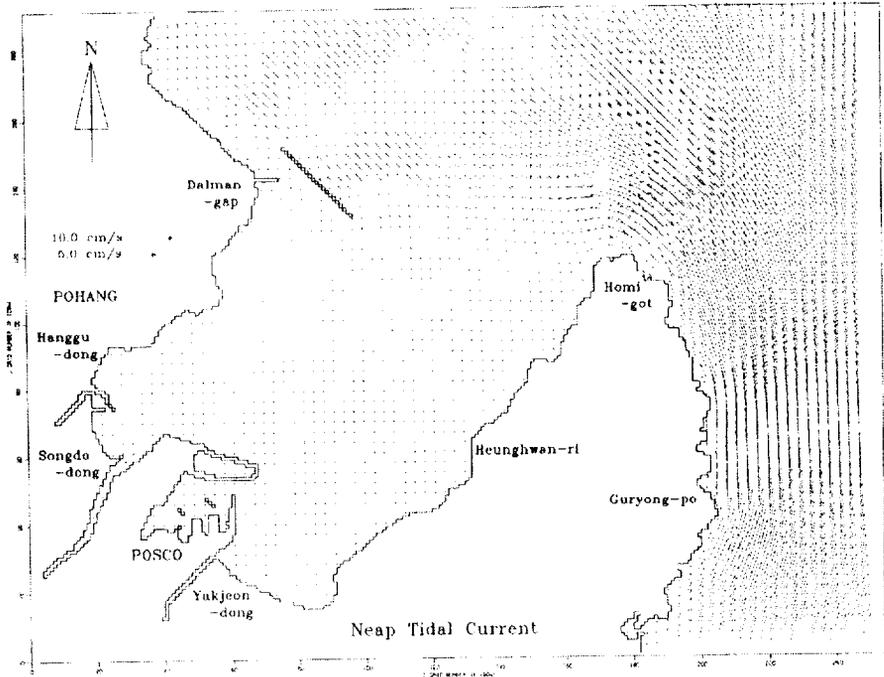


Fig. 3-23. Maximum flood tidal current in neap(2003).

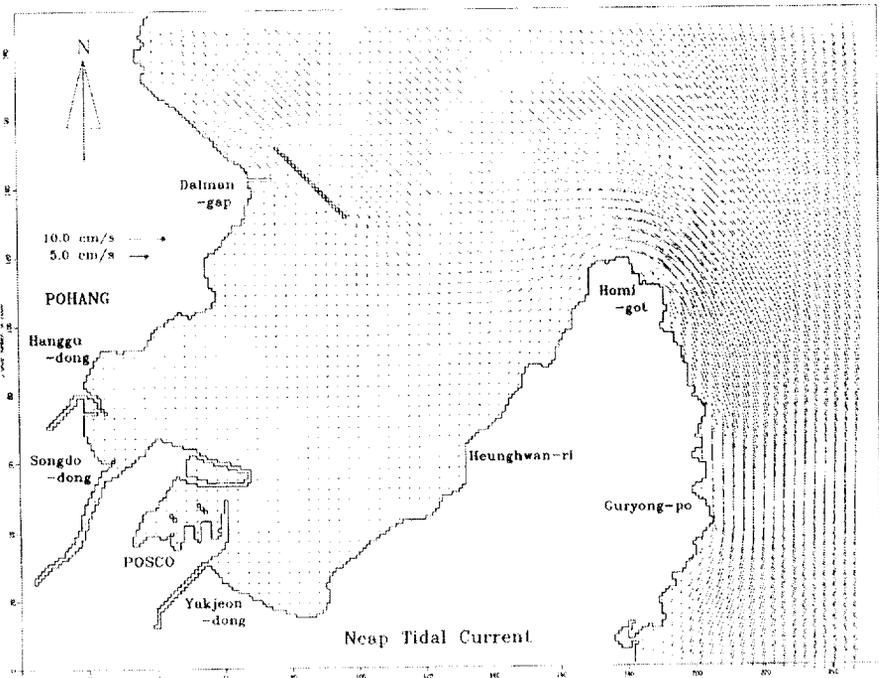


Fig. 3-24. Maximum flood tidal current in neap(2003).

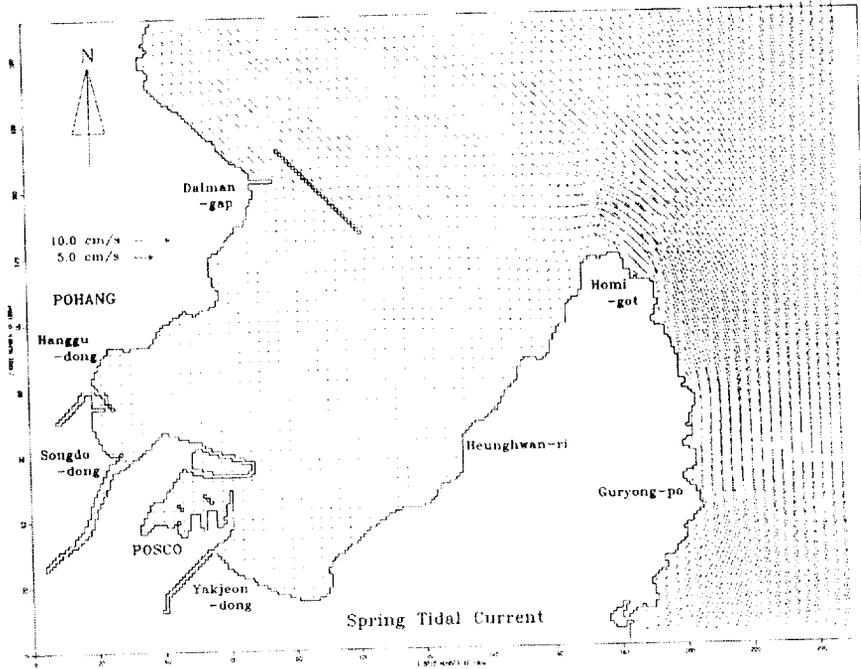


Fig. 3-25. Maximum flood tidal current in spring(2005).

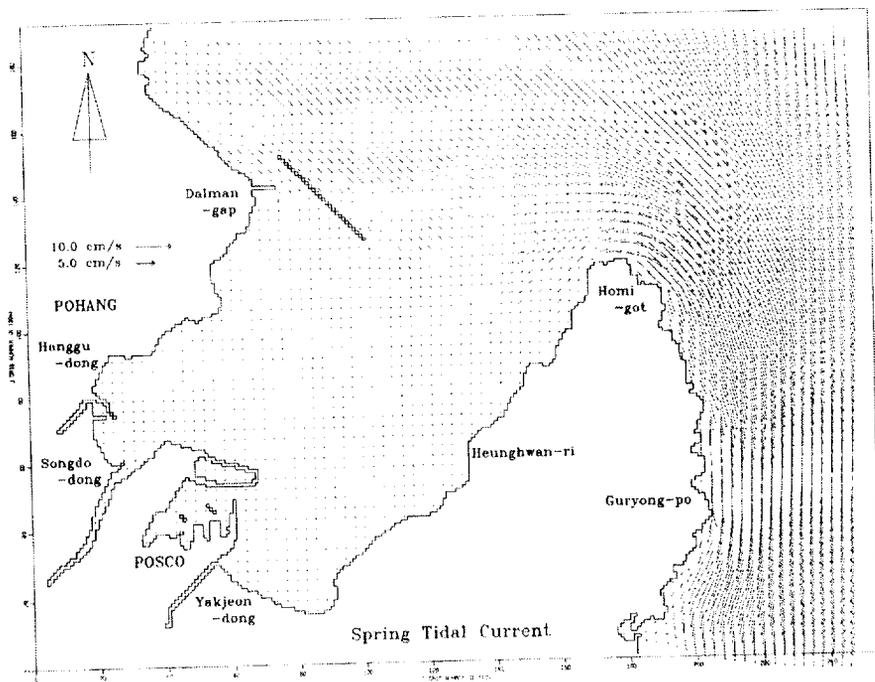


Fig. 3-26. Maximum ebb tidal current in spring(2005).

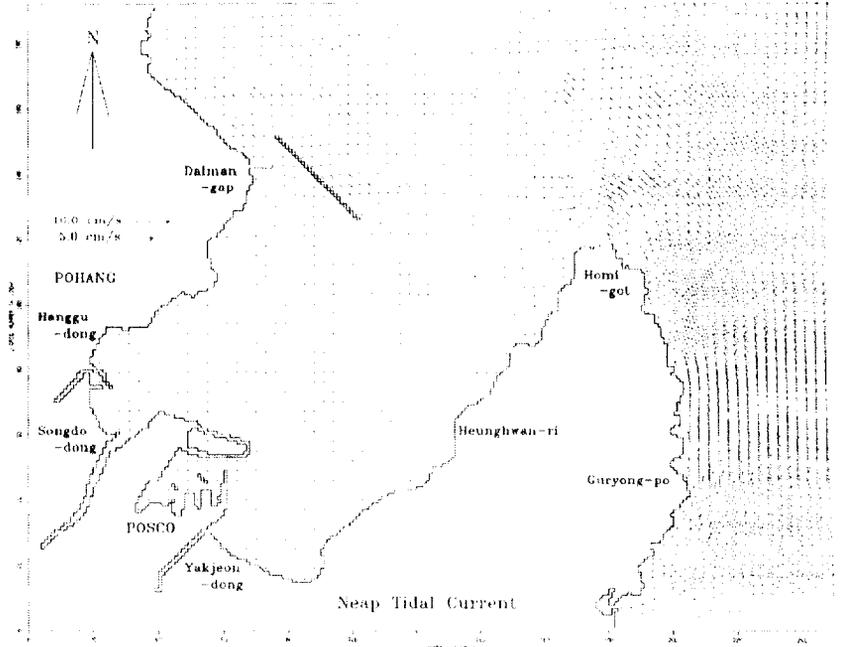


Fig. 3-27. Maximum flood tidal current in neap(2005).

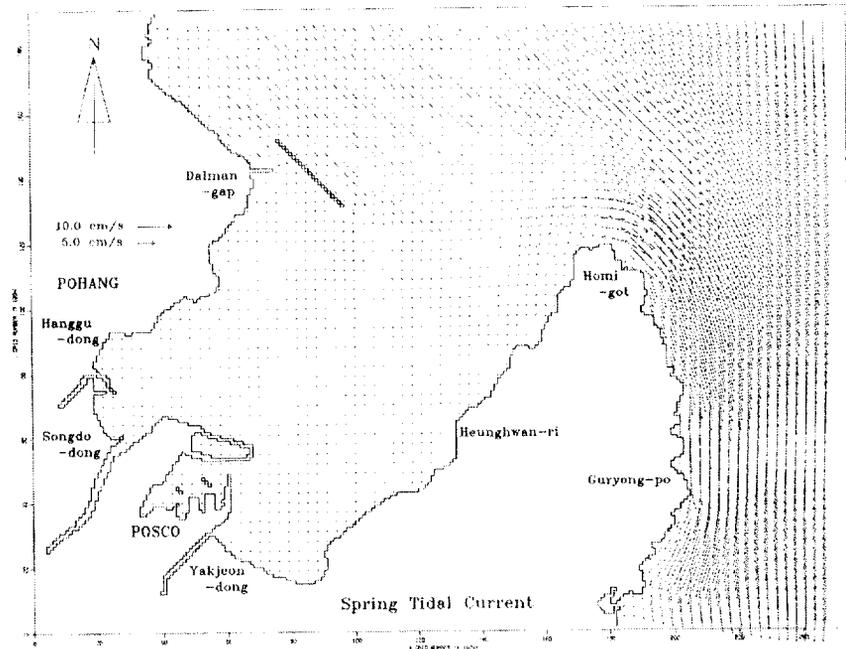


Fig. 3-28. Maximum ebb tidal current in neap(2005).

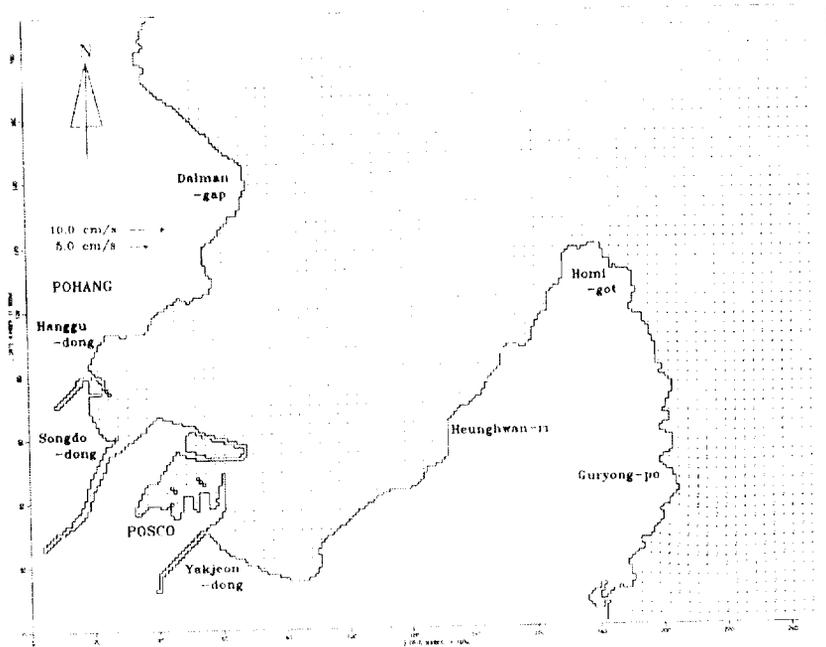


Fig. 3-29. Residual current(before).

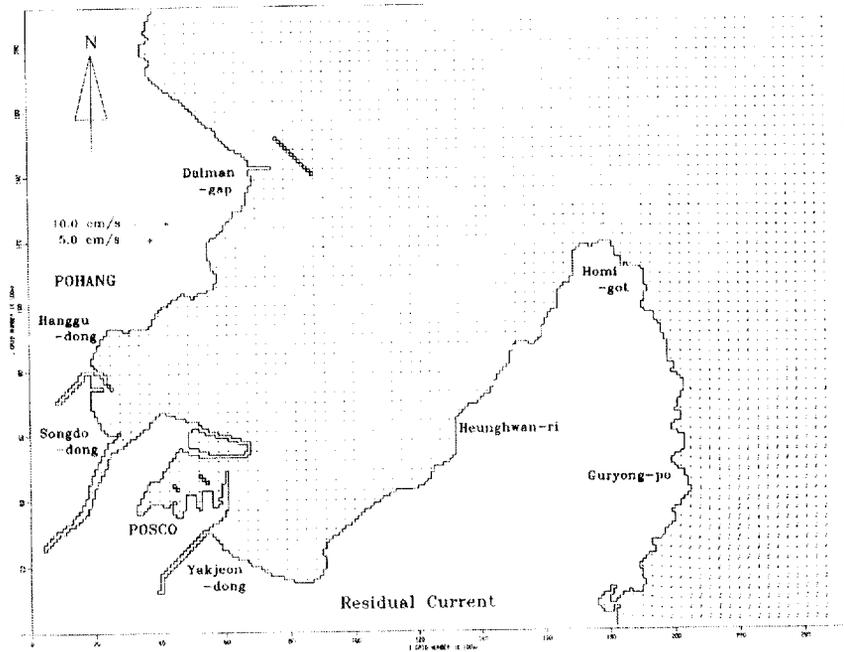


Fig. 3-30. Residual current(2001).

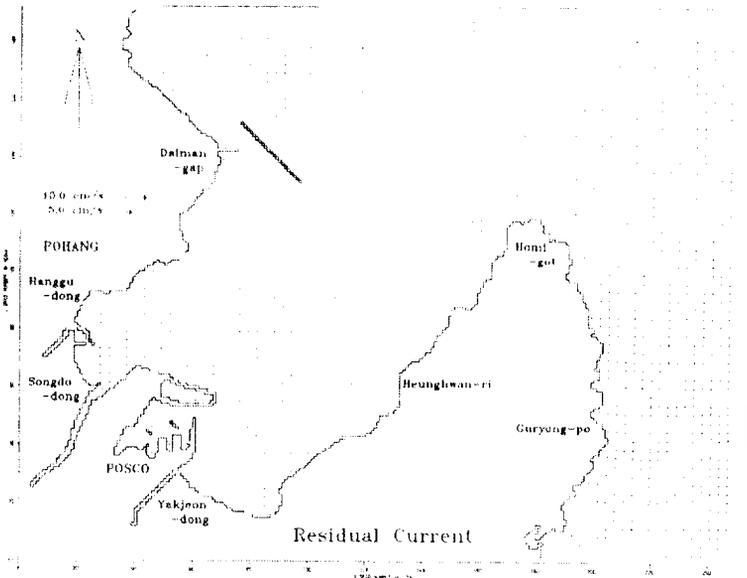


Fig. 3-31. Residual current(2003 year).

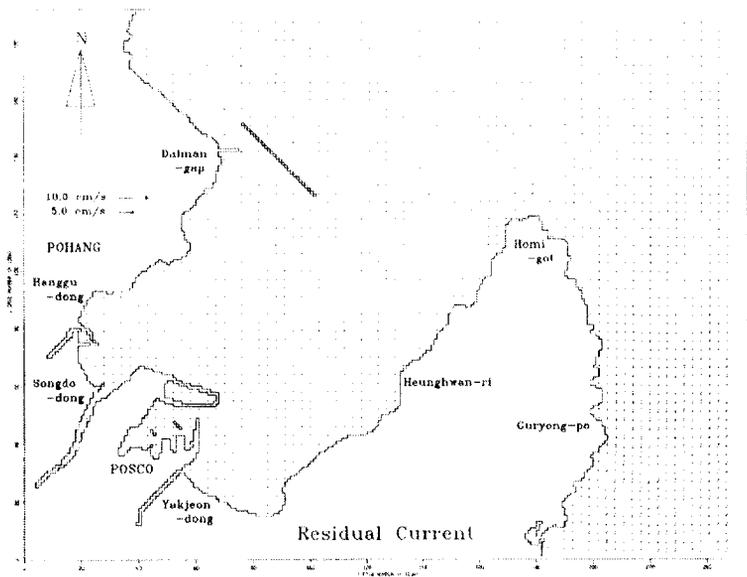


Fig. 3-32. Residual current(2003).

### 3.3 구조물 설치에 따른 파랑변화

#### 3.3.1 수치실험구성

파랑의 변형을 계산하는 규칙파 모형은 해석 대상 파랑에 따라 다양한 모형이 선택될 수 있으나 수로형 해역에 내습하는 파랑은 천수, 굴절, 쇄파 변형 뿐만 아니라 주변 지형과 구조물의 영향으로 회절, 반사 변형도 겪게 될 것으로 판단되므로 이를 모두 고려할 수 있는 쌍곡형 방정식의 일종인 시간의존 완경사방정식(Time Dependent Mild Slope Equation)모형을 사용하였다.

이 모형의 기본방정식은 쇄파대 외측과 쇄파대 내측의 경우에 있어서 각각 다음과 같은 형태를 갖는다.

- 쇄파대 외측

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + C^2 \nabla n = 0 \quad (3-8)$$

$$\frac{\partial n}{\partial t} + \frac{1}{n} \nabla \cdot (nQ) = 0 \quad (3-9)$$

- 쇄파대 내측

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + C^2 \nabla n + f_D Q = 0 \quad (3-10)$$

$$\frac{\partial n}{\partial t} + \frac{1}{n} \nabla \cdot (nQ) = 0 \quad (3-11)$$

여기서,  $Q$ 는 선유량 벡터,  $C$ 는 파의 위상속도,  $n$ 는 수면변동,  $n$ 는 파의 위상속도에 대한 군속도의 비 ( $= C_g/C$ ),  $C_g$ 는 파의 군속도,  $t$ 는 시간,  $f_D$ 는 쇄파 및 해저면 마찰에 의한 에너지 감쇠계수를 나타낸다.

상기 식(3-10), (3-11)가 적용되는 쇄파영역은 식(3-12)에 의하여 결정되며, 이 때 쇄파후의 에너지 감쇠를 나타내는 감쇠항의 계수  $f_D$ 는 식(3-13), (3-14)에 의해 평가한다.

$$H_b = 0.78h_b \quad (3-12)$$

$$f_D = a_D \tan \beta \sqrt{\frac{g}{h} \left( \frac{\hat{Q}}{\hat{Q}_r} - 1 \right)} \quad (3-13)$$

$$\hat{Q} = \sqrt{\hat{Q}_x^2 + \hat{Q}_y^2}, \quad \hat{Q}_r = \sqrt[3]{gh^3} \quad (3-14)$$

여기서,  $H_b$ 는 쇄파파고,  $h_b$ 는 쇄파수심,  $\tan\beta$ 는 쇄파점 근방에서의 평균 저면경사,  $g$ 는 중력가속도,  $h$ 는 수심,  $\bar{Q}_x, \bar{Q}_y$ 는 선유량  $x, y$ 성분의 진폭,  $\bar{Q}_r$ 는 파의 재생한계를 나타내는 선유량의 진폭 ( $\bar{Q} / \bar{Q}_r < 1, f_D = 0$ ),  $a_D$ 는 상수( $\doteq 2.5$ ),  $\gamma'$ 는 상수( $\doteq 0.25$ )를 나타낸다.

그러나 이상과 같이 성분파의 쇄파변형을 모의하게 되면 성분파들의 파고가 작아서 불규칙파의 쇄파변형을 적절히 재현하지 못하게 되므로 여기서는 식(3-15)으로 표현되어지는 Goda(1975)의 쇄파한계식을 도입하여 최종 계산된 파고(성분파 계산결과를 중첩한 파고)가 한계파고( $H_b$ )보다 크지 않는 것으로 처리하였다.

$$H_b/L_o = A[1 - \exp[-1.5\pi(h_b/L_o)(1 + K(\tan\beta)^s)]] \quad (3-15)$$

여기서,  $H_b$ 는 쇄파파고,  $L_o$ 는 심해파장,  $A$ 는 0.12~0.18,  $K$ 는 15,  $s$ 는 4/3,  $h_b$ 는 쇄파수심,  $\tan\beta$ 는 해저경사를 나타낸다.

### 1) 성분파 분할

불규칙파인 입사파를 성분파로 분할하는 방법으로는 입사파 조건에 대응되는 방향스펙트럼을 구하고 이를 바탕으로 주기 및 방향 간격과 분할수를 적절히 설정하여 주기-방향별 성분파를 도출하는 방법이 일반적으로 사용된다.

본 연구에서는 실용상 타당성이 인정되고 있는 Goda (1985)의 방법으로 성분파 분할을 시도하였다. 이 방법은 우선 식(9)에 의해 성분파 주기(주파수)를 결정하고 식(10)에 의해 주기-방향 성분별 에너지 비율을 할당한다.

$$f_i = \frac{1.007}{T_o} [\ln \{2m/(2i-1)\}]^{\frac{1}{4}}, \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad (3-16)$$

$$(\Delta E)_{ij} = \frac{1}{m} D_j, \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (3-17)$$

여기서,  $f_i$ 는 성분파 주파수,  $T_o$ 는 입사파의 주기(유의파 주기),  $i$ 는 주

기성분 번호,  $m$ 은 주기(주파수) 분할수,  $(\Delta E)_{ij}$ 는 각 성분파의 에너지 비율,  $D_j$ 는 전에너지에 대한 방향별 에너지 비,  $j$ 는 방향성분 번호,  $n$ 은 방향 분할수를 나타낸다.

이 때 방향별 에너지 비는 방향 분할수에 따라 달라지며 16방향분할 또는 8방향분할의 경우는 Table1. Directional energy ratio of the individual wave components.에 제시한 바와 같다. 이상과 같이 각 성분파의 에너지 비율이 결정되면 각 성분파의 입사파고는 식(3-18)과 같이 결정된다.

$$H_{ij} = H_o \sqrt{\frac{1}{2}(\Delta E)_{ij}} \quad (3-18)$$

여기서,  $H_{ij}$ 는 각 성분파의 입사파고,  $H_o$ 는 입사파의 파고(유의파고)를 나타낸다.

## 2) 성분파 중첩

입사경계에서 입력된 모든 성분파들의 수심변화 및 구조물 등에 의한 변형계산이 완료되면 각 격자점에서 얻어진 성분파의 파고로부터 유의파고가 구해지는데 이는 식(12)과 같이 결정된다.

$$H_{1/3} = \sqrt{2 \sum_{i=1}^N H_i^2} \quad (3-19)$$

여기서,  $H_{1/3}$ 은 성분파들의 합성된 결과치,  $N$ 은 성분파의 총 개수,  $H_i$ 는 성분파의 파고를 나타낸다.

계산 영역은 Fig 3-3 에 나타나있는 해수유동 영역과 일치한다.

### 3.3.2 수치실험결과

파랑 수치실험은 해수유동 수치실험과 같은 경우에 대한 해빈주변의 파랑 변화를 분석하였다. 북방파제 건설로 인한 송도해변과 북부해변의 파랑의 변화를 분석하고자 하였다. 실험의 조건은 Fig. 2-1에서 영일만에서 NE 방향으로 계산하였다. Fig. 3-33은 해변 전면의 파고 변화를 알아보기 위하여 송도해변(A-A'), 북부해변(B-B')를 나타낸 것이다. 계산결과는 Fig. 3-34~3-35에 나타내었다. Fig. 3-34는 송도해변 전면의 북방파제 건설전·후에 대한 파고 변화율을 나타낸 것이다. 그림을 보면 약 40%의 변화율이 나타났다. 최대 변화율은 송도해변의 북부지역이며 최대 57 %정도 감소하는 것으로 나타났다. Fig. 3-35는 북부해변 전면의 북방파제 건설전·후의 파고 변화율을 나타낸 것이다. 북부해변 북쪽의 경우는 파고의 변화가 거의 없으나 남쪽은 최대 95 %이상의 변화가 나타났다. 이는 송도해빈 및 북부해빈으로 입사하는 파랑이 북방파제에서 소산되는 것으로 판단된다. 또한 북방파제 건설로 인하여 해변 전면의 쇄파 후의 잉여응력이 변화하므로 해변변형에 영향을 미칠 것으로 판단된다. 파랑의 변화율로 판단하면, 북방파제 건설로 북부해변의 남쪽에 해변의 변화가 클 것으로 판단된다.

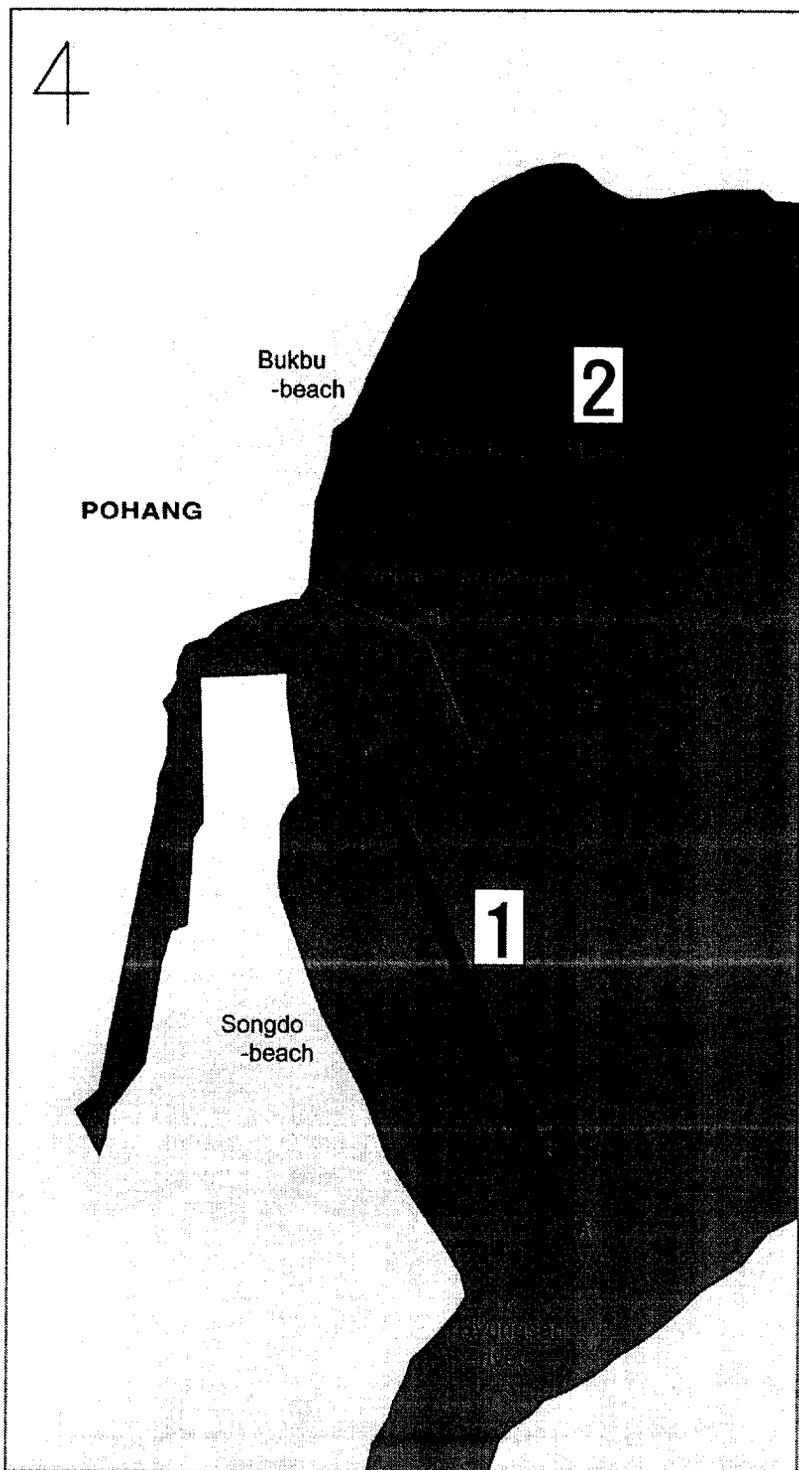


Fig. 3-33. Study on wave variation area.

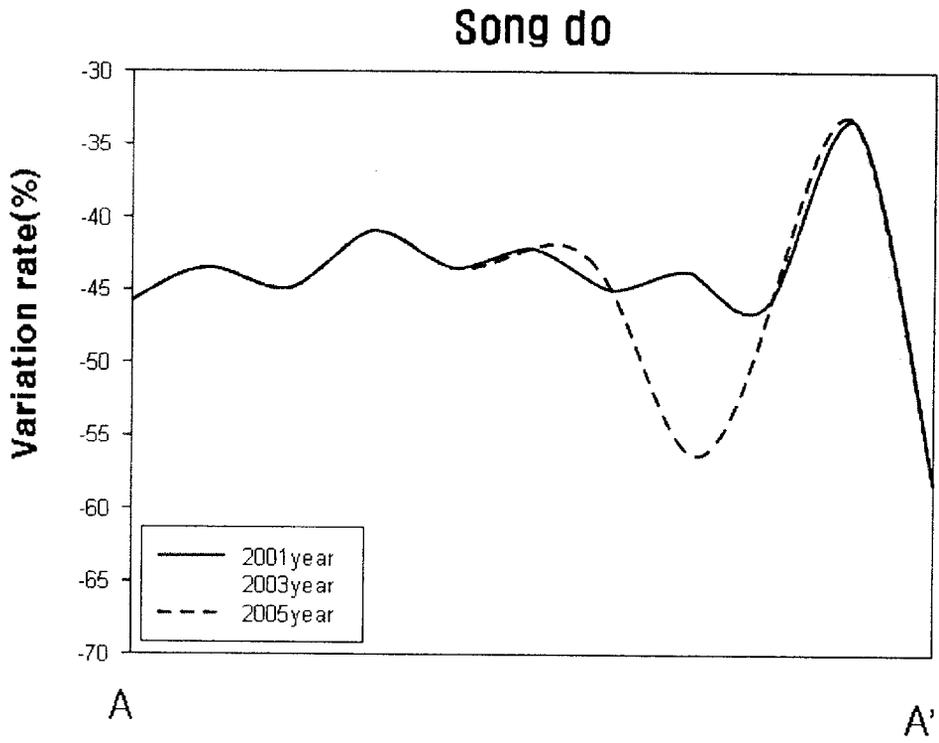


Fig. 3-34. Comparison of wave variation rate in Song do beach before and after construction.

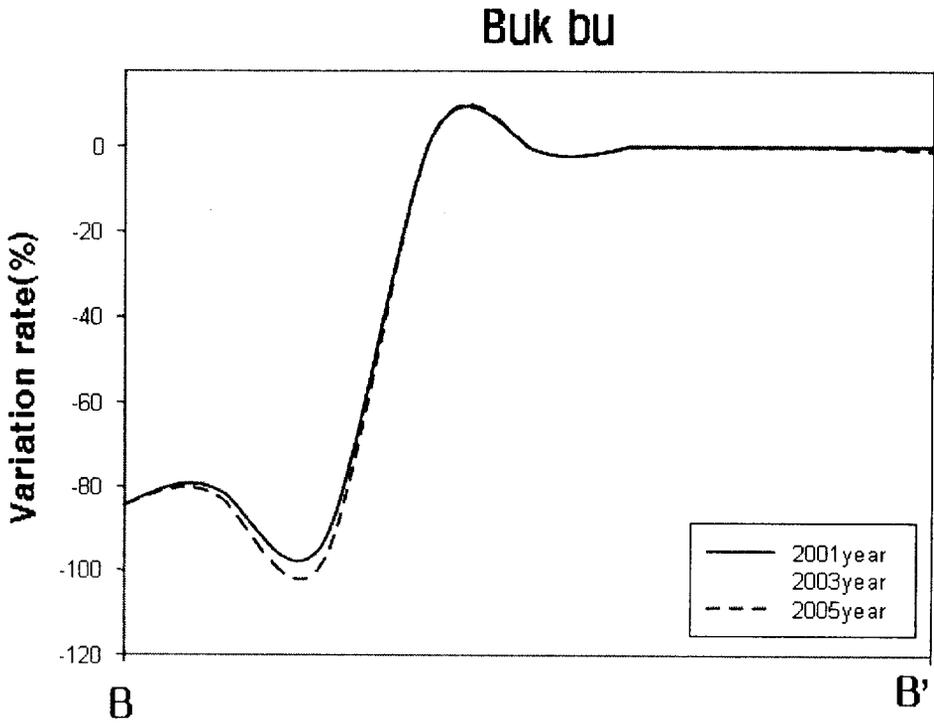


Fig. 3-35. Comparison of wvae variation rate in Buk bu beach before and after construction.

#### 4. 요약 및 결론

본 연구에서 해빈변형에 대한 장기 현장모니터링을 분석하고, 태풍 및 구조물설치 등의 외력인자에 대한 해빈변형의 영향을 파악하고자 하였다. 먼저 현장모니터링을 통하여 태풍 내습에 따른 해안선의 변화를 파악하였다. 그리고 영일만 북방파제 건설로 인한 해수유동 및 파랑의 변화를 수치실험을 통하여 파악하였다. 이를 통하여 영일만 내의 태풍 내습 및 구조물 설치에 따른 해빈변형의 기초자료를 정리할 수 있었다. 이러한 일련의 연구로부터 도출된 주요 결론은 다음과 같다.

(1) 현장 장기 모니터링을 통하여 해빈의 변형을 분석한 결과 계절적인 변동은 미비하였고, 태풍 등의 외력에 의한 변화가 나타났다.

(2) 태풍 ‘매미’ 및 ‘나비’가 영일만에 내습하였을 경우의 해빈 지형 변화 모니터링을 통하여 ‘매미’ 내습시는 해안선의 변화가 미비하였으나 ‘나비’내습시에는 최대 60%이상의 해안선 변화가 있음을 보였다.

(3) 해빈은 영일만 북측(No. 11 이상) 지역에서 태풍 전후의 변화가 없는 것으로 나타났고, 폭풍의 영향은 남측(No. 3~10)에서 발생하였다. 해빈길이 변형률이 최대로 발생한 지역은 송도해변 북측(No. 5)이며 62 %로 나타났다.

(4) 영일만내에서 북방파제 건설로 인한 영향은 미약하였다. 이는 구조물이 흐름과 같은 방향으로 건설되어서 나타나는 것이다.

(5) 영일만내에서 북방파제 건설로 인한 파랑의 영향은 최대 95%까지 감소하는 것으로 나타났다. 파랑 수치 실험에서 NE방향의 파랑이 내습하였을 경우 포항 방파제를 중심으로하여 파랑의 감소율이 큰 것으로 나타났다. 이는 송도해빈 및 북부해빈으로 입사하는 파랑이 북방파제에서 소산되

는 것으로 판단된다.

## 5. 참고문헌

- 국립해양조사원 (2004, 2005). 조석표
- 기상청 (2002). 기상연보
- 김인철, 편종근. (1995). “시간의존 환경사방정식을 이용한 파랑변형 수치 모형의 측방입사경계의 처리”, 한국해안·해양공학회, 제7권, 제2호, pp 141-147.
- 류청로, 김현주, 김종육. (1989). “해양파랑의 통계적 변동성 해석”, Korean Fish. Soc., 22(1), pp 41~47.
- 류청로. (1984). “사석방사제의 수리학적 최적설계에 관한 기초적 연구”, 오사카대학교공학부 토목공학과 박사학위논문, pp 162.
- 류청로, 윤희주, 박종화, 김현주. (1993). “한국연안의 극치 파랑환경과 Freak Wave의 특성에 관한 연구”,
- 안수한, 이상주, 박인보. (1976). “우리나라 연안의 태풍시의 파랑 계산에 대하여”, 대한토목학회지, 제24권, 4호, pp 101~110.
- 유명진, 황충현. (1971). “울산만의 파랑추정”.
- 전기천, 강시환, 박광순, 김상익. (1990). “태풍 Vera통과시 남해에서의 파랑 추정”, Inst. Environ. Res., Kyungnam Univ., Vol.12, pp 79~94.
- 최 호, 정창희. (1979). “동해에서 발생하는 태풍에 관한 파랑의 산정에 관한 연구”, Kor. Met. Soc, Vol. 15, No. 1, pp 35~42.
- 해양수산부 (1999). “항만 및 어항 설계기준(하권)”
- 해양수산부 (1999). “해상파랑 관측 및 조사”
- 해양수산부 (1997). “부산신항 방파제 실시설계 보고서”
- 해양수산부 (2003). “부산신항 남컨테이너부두(1차) 기본 및 실시설계 용역 보고서(기본계획 재검토)”
- 정원무, 박우선, 채장원, 서경덕. (2002). “목호항에서의 저충력과 부진동의 저감대책”. 대한토목학회논문집. 제22권 제2-B호. pp 213-226.

- 추교승. (1976). “포항항의 해면부진동 현상”. The Journal of the Oceanological Society of Korea. Vol. 11, No. 2, pp 51-56. December.
- 박한일, 충종열, 임상호. (1986). “영일만과 포항신항의 해면부진동에 관한 수치실험”. The Journal of the Oceanological Society of Korea. Vol. 21, No. 4, pp 245-258, December.
- 정원무, 정경태, 채장원. (1993). “동해항의 부진동 특성(1. 현장관측)”. 대한토목학회논문집. 제 13권 제 3호 pp 173-183.
- 정원무, 정경태, 채장원. (1993). “동해항의 부진동 특성(2. 수치계산)”. 대한토목학회논문집. 제 13권 제 3호 pp 185-192.
- 한국과학기술원. (1986) “항만 부진동 해석을 위한 기초 연구” .
- Berger, U. and Kohlase, S. (1976) “Mach reflection as a diffraction problem” , Proc. 25th conf. Coastal Eng., ASCE, Vol. 1, pp 796-814.
- Chen, T. G., (1961) “Experimental Studies on the solitary wave reflection along a straight sloped wall at oblique angle of incidence” , U.S. Beach Erosion Board Tech Mem. Vol. 124
- Kirby, J. T. and Dalrymple, R. A. (1983) “A parabolic equation for the combined refraction-diffraction of Stokes waves by mildly varying topography” . J. Fluid Mech., Vol. 136, pp 453-466.
- Nielsen, A. H. (1962) “Diffraction of periodic waves along a vertical breakwater for small angles of incidence” . Univ. of California, Berkely, IER Tech. Rep. HEL-1-2.
- Perroud, P. H. (1957) “Solitary wave reflection along a straight vertical wall at oblique incidence” , University of California-Berkely IRE Technical Report 99-3.
- Wiegel, R. L.(1964a) “Oceanographical engineering” , Prentice-Hall.
- Wiegel, R. L.(1964b) “Water wave equivalent of Mach reflection” , Proc. 9th Conf. Coastal Eng. ASCE, Vol. 6, pp 82-102.

Yue, D. K. P. and Mei, C. C.(1980) "Forward diffraction of Stokes waves by a thin wedge" , J. Fluid Mech, Vol. 99, part 1, pp 33-52.