

MIKE 21 모형을 이용한 목포해역 해일/범람모의 Numerical Simulations of Storm Surge/Coastal Flooding at Mokpo Coastal Zone by MIKE21 Model

문승록* · 박선중** · 강주환** · 윤종태***

Seung-Rok Moon*, Seon-Jung Park**, Ju Whan Kang** and Jong-Tae Yoon***

요 지 : 목포시는 낮은 도시기반시설, 하구언 및 방조제 건설에 따른 해양환경 변화 및 지구온난화에 의한 해수면 상승 등에 기인하여 태풍과 같은 악기상 조건을 수반하지 않더라도 해수범람에 의한 저지대 침수피해가 발생하고 있다. 이에 본 연구에서는 MIKE21 모형을 이용하여 해일/범람 모형을 수립하고, 목포지역에 침수피해를 발생시킨 태풍에 대해 적용하였다. 모의는 최근 10년간 내습한 태풍 중 가장 높은 해일고(59 cm)를 발생시킨 태풍 'RUSA(0215)'가 약최고고조위의 조위상황에 내습할 경우 발생할 수 있는 기상상황에 대해 수행되었다. 이때의 조위는 545 cm로 금호방조제 건설이후 목포항 10년 빈도의 고극조위(544 cm)에 해당하는 조위이다. 해일/범람모의 결과, 범람이 발생할 경우 내항부근에서 단시간에 넓은 지역의 피해가 예상되고 있어, 이에 대한 방재대책 마련이 요구된다.

핵심용어 : 폭풍해일, 해안범람, MIKE21, 목포해역

Abstract : The city of Mokpo suffers lowland inundation damages by sea water flooding even without harsh weather like a typhoon, due to the low level urban infrastructure facilities, oceanic environmental changes by constructions of seadike/seawall and sea level rise caused by global warming. This study performs constructing the simulation system which employs the MIKE21 software. And the system is applied to several typhoon-induced surges which had resulted in inundation at Mokpo. Virtual situation of flooding is simulated in case 59 cm of surge height, which had been occurred actually by RUSA(0215), coincides with Approx. H.H.W. Then the water level of 545 cm corresponds to the extreme high water level(544 cm) for 10 year return period after the construction of Geumho seawall. The results show rapid and broad inundation at Inner-Port, requiring additional preparations for flood protections.

Keywords : storm surge, coastal flooding, MIKE 21, mokpo coastal zone

1. 서 론

최근 전세계적으로 쓰나미, 태풍, 허리케인 등에 의한 연안재해가 빈번히 발생하고 있는데, 이러한 연안재해 방지를 위한 연구는 재해의 위험을 예측하고 재해 발생시 적절한 방재대책에 중점을 두고 있다(USACE, 1996; Reeve, 1998; Voortman, 2002; Hall et al., 2003). 일례로 우리나라

서해안 일대는 지난 1997년 백중사리기간 중 태풍 'WINNIE (9713)'의 간접적인 영향으로 범람이 발생하여 2,027 ha의 침수면적과 220억원 이상의 재산 피해를 초래한 바 있다. 이에 따라 해안재해의 체계적 조사 필요성이 대두되면서 우리나라에서도 서해안 해수범람 흔적조사와 종합대책 수립을 위한 분석이 이루어진 바 있다(행정자치부, 1998). 이를 바탕으로 국내에서도 해안범람에 따른 재해방지, 재해 경

*(주)지오시스템리서치(Corresponding author : Seung-Rok Moon, GeoSystem Research Corporation, #306 HanLim Human Tower, 1-40, GeumJeong-dong, GunPo, GyeongGi-do 435-824, Korea, moonst@GeoSR.com)

**목포대학교 건설공학부 토목공학전공(Division of Construction Engineering, Mokpo National University, Mokpo 534-729, Korea)

***경성대학교 건설/환경공학부 토목공학전공(Department of Civil and Environmental Engineering, KyungSung University, Pusan 608-736, Korea)

감 및 재해 복구의 기준이 될 해안재해에 대한 과학적 조사가 추진되고 있으며 범람상황 및 범람예상도 작성과 자료기반화 기준 등이 수립되고 있다.

연안에서 발생하는 범람과 같은 피해는 파랑과 해일의 복합적인 요인에 의한 것으로 그 현상을 모의코자 Li et al. (1997)과 Ozer et al.(2000)은 파동모형과 해일모형의 양방향 결합을 시도하였고, Bao et al.(2000)과 Cheung et al. (2003)은 3차원 바람구조와 해류, 그리고 표면파의 모의를 위해 MM5, POM, WAM 및 SWAN모형 등에 대한 결합모형을 개발하였다. 우리나라에서는 해일, 조석, 파랑 등의 상호작용을 고려하기 위한 복합모형을 통해 문 등(2003)과 Choi et al.(2003)이 태풍에 의한 해일모의를 수행한 바 있다. 또한 2003년 9월 마산만을 강타한 태풍 ‘MAEMI(0314)’의 극심했던 해일피해를 입은 이후 국내에서도 여러 연구자(강, 2004; 최 등, 2004; 이, 2004)에 의해 해일발생 및 범람에 관한 이론적 연구와 각종 연안재해 방지 시스템 구축 등과 관련된 연구가 활발하게 진행되고 있다.

하구언 및 방조제 건설에 따라 저지대 침수가 심각한 문제로 대두되고 있는 목포해역에서는 최근 지구온난화에 따른 평균해수면 상승과 조석 및 해일환경 변화에 따라 이상고조가 빈번하게 발생함으로써 기왕최고조위위가 경신되고 있는 실태이다. 이에 따른 대책마련을 위해 목포시에서는 관련 연구용역(목포시, 2005)을 수행하는 동시에 각종 침수대책사업이 시행 또는 계획 중에 있다. 본 연구의 적용대상인 목포해역은 2003년 이전까지 최근 10년간 태풍으로 인한 해일이 대조기 고조시에 발생한 적은 없었으나, 2004년 태풍 ‘MINDULLE

(0407)’와 ‘MEGI(0415)’에 의해 발생한 해일은 각각 29 cm, 27 cm로서 대조기 고조시에 발생하여 다른 태풍에 비해 낮은 해일고에도 불구하고 해수범람 피해가 발생한 바 있다.

이러한 배경하에 본 연구에서는 기존연구(Madsen et al., 2004; 강 등, 2004)에서 활용된 Mike 21을 이용하여 해일모형을 수립하였는데, 목포해역은 파랑의 영향은 매우 미미하므로 해일모의시 조석의 영향만을 고려한 모형을 수립하였다. 또한 조건대 모의가 가능한 Mike 21의 활용성이 범람모의에까지 확장 가능한지 검증하기 위하여 최근 발생한 태풍에 대한 해일모의를 수행하였다. 이를 토대로 높은 해일고가 대조기 고조와 중첩될 경우에 대한 목포 내항 및 북항에서의 범람모의를 수행하였다.

2. 목포해역 해수범람

영산강 하구언 건설이전에는 목포구의 tidal choking 효과(Kang, 1999)에 의해 외해에서의 해일파가 목포항에 미치는 영향성을 다소 완충시키는 기능이 있었으나 하구언 및 방조제 건설에 따라 그 기능이 소멸된 이후에는 외해의 해일파가 아무런 장애 없이 목포항에 직접적인 영향을 미치고 있다(강 등, 2006). 이에 따라 목포시에서는 D.L.(+)500 cm였던 해안시설물 일부에 대해 30 cm 증고한 바 있었으나, 1997년 목포를 비롯한 서해안 많은 해역의 범람이 발생한 후, 시설물 표고가 현재 D.L.(+)550 cm로 증고되었다. 그러나 2004년 태풍 ‘MINDULLE(0407)’내습시, 2002년 태풍 ‘RUSA(0215)’ 내습시 발생했던 59 cm 해일고의 50% 수준

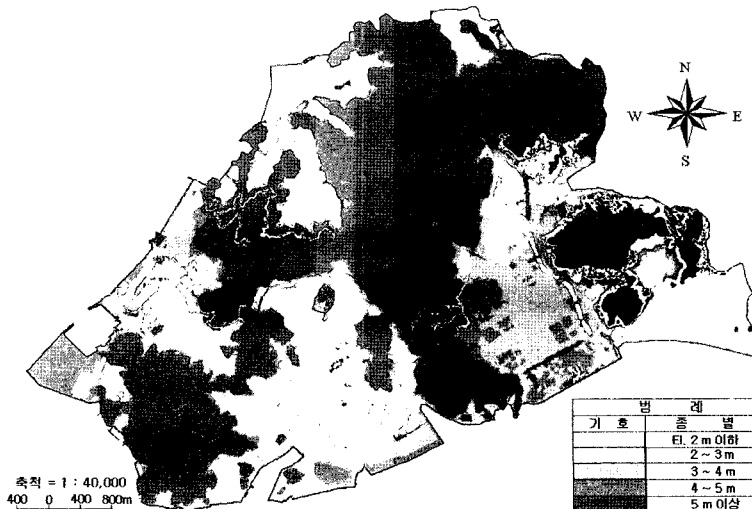


Fig. 1. Topography of the Mokpo City(EL.m).

에 해당되는 29 cm의 해일고가 대조기 고조와 겹쳐 목포항 기왕최고극조위인 550 cm가 관측되었으며, 목포의 북항 및 내항 일부 지역에서는 침수피해를 초래한 바 있다. 과거 태풍 발생시 대조기 고조와 겹친적이 없어 큰 피해는 발생하지 않았으나, 목포시의 지형특성상 도시기반이 Fig. 1과 같이 낮게 조성되어 있는 상태에서 이상기후에 따른 태풍발생 및 이동 양상의 변화 및 전지구적 평균 해수면 상승 등 기상학적 요소 뿐 아니라, 조석확폭과 조간대 효과 등의 고극조위 상승 요인(강 등, 2006)으로 인해 이상고조가 빈번히 관측되고 있는 등 향후 심각한 해일 피해가 우려되는 실정이다.

3. 해일모형의 적용

3.1 해일모의

해일모의를 위한 격자체계는 Table 1과 같이 광역, 중간역으로 구분하여 수립한 후 대상지점의 해일고를 산정할 수 있도록 구성하였다. 광역 및 중간역 수심도 생성을 위해 국립해양조사원에서 발행되는 수치해도와 일본의 해도, NOAA의 National Geophysical Data Center의 자료 등을 수집하였다. 수집된 자료는 500만개 이상의 수치해도상의 객체 정

Table 1. Grid specification

Classification	Wide area	Intermediate area
Computational domain	115.0°~145.0°E 20.0°~50.0°N	125.0°~130.0°E 32.5°~37.5°N
Grid spacing	$\Delta X=\Delta Y=1/20^\circ$	$\Delta X=\Delta Y=1/120^\circ$
Grid number	601×601	601×601

보로 이루어져 있는데, 이 자료는 모두 WGS84 좌표계로 동일하게 변환하는 작업을 통해 강등(2005)이 활용한 방법으로 수심도를 생성하였다. 광역은 격자간격 1/20°로 Fig. 2(a)와 같이 한반도는 물론 일본과 대만까지 포함시키는 광역으로 태풍의 이동경로를 충분히 포함할수 있도록 하였다. 광역의 해일모의 결과로부터 중간역(격자간격 1/120°)에 해당하는 외해경계조건을 재생성하여 중간역의 해일모의를 수행하였으며, 중간역은 Fig. 2(b)와 같이 우리나라 전해안을 대부분 포함시켰다. 이러한 해일모의 결과는 후술되는 범람모의의 180 m 간격의 세부역의 외해경계조건으로 활용되며, 범람모의시 수심도 구성은 Mike 21의 nesting 기법 활용을 위해 격자간격을 1/3씩 축소하여 180 m 세부역, 60 m 상세역과 20 m의 내항과 북항의 정밀역으로 구성하였다. Mike 21의 동수역학모듈에 대한 자세한 내용은 강 등(2005)에 수록되어 있다.

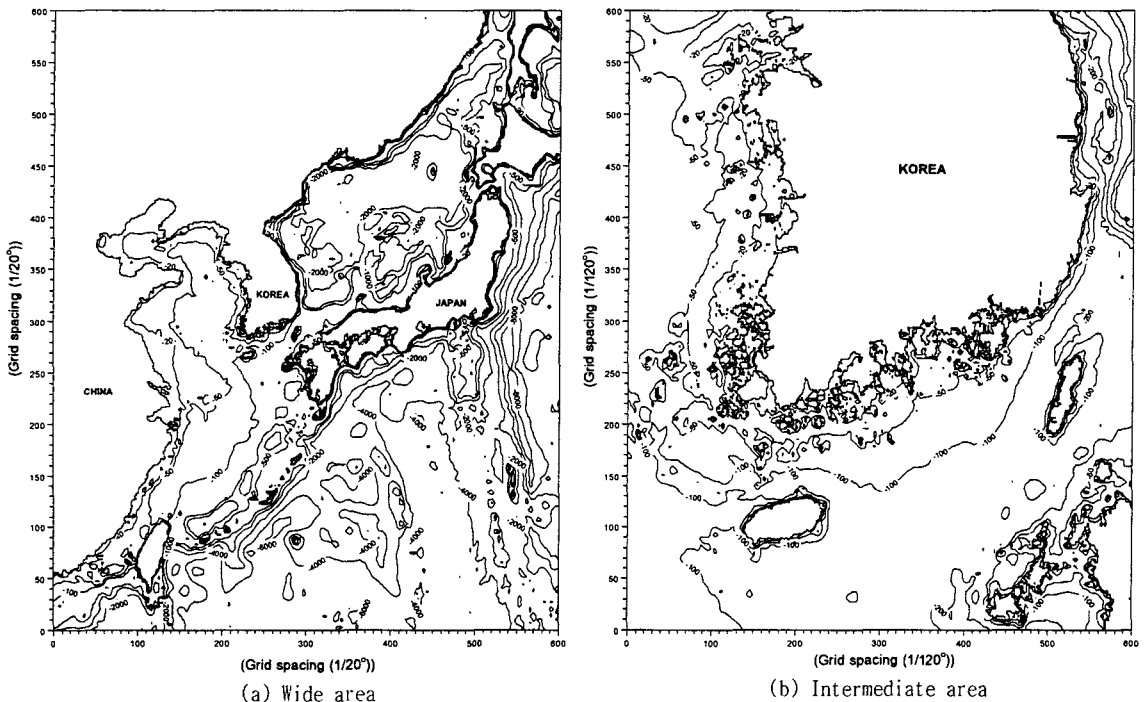


Fig. 2. Bathymetry of the neighboring seas of Korea.

태풍진로에 의한 중심기압, 최대풍반경, 주변기압과 중심기압의 차이 등에 관한 정보를 활용하여 30분 간격으로 폭풍해일 수치모형의 각 격자점에서 압력과 바람을 계산하였다. 이러한 태풍에 의해 생성되는 바람과 압력장은 태풍이 거의 원형을 가질때 몇 개의 파라메타로 표시할 수 있다. 이러한 요소들은 기상 자료로부터 얻어지고 MIKE 21의 CYWIND를 이용하여 태풍 진행시간에 따라 모든 격자점에서의 압력 및 풍속장이 계산되며, 계산된 압력 및 풍속장을 HD 모듈에 적용하여 태풍에 의한 해일고를 계산하게 된다. 다음은 태풍에 의한 압력 및 풍속장의 입력자료를 생성하는 이론적 배경 및 과정이다(DHI Water and Environment, 1995).

바람의 최대 반경(R_m), 최대 풍속(V_{max}), 태풍 궤도, 선형 속도(V)와 방향 등 요소들은 풍속장을 수치적으로 모의하는데 필요하고, 중심압력(P_c)과 증립압력(P_n)은 압력장의 계산에 이용된다. 바람장은 회전적인 요소와 병진운동의 요소로 구성되어 있다. 태풍 중심으로부터 만큼 떨어진 거리에서의 회전속도는 다음과 같이 계산된다.

$R < R_m$ 일 경우

$$V_r = V_{max} \cdot (R/R_m) \cdot \exp\{7(1-R/R_m)\} \quad (1a)$$

$R > R_m$ 일 경우

$$V_r = V_{max} \cdot \exp((0.0025 \cdot R_m + 0.05)(1 - R/R_m)) \quad (1b)$$

여기서, R 과 R_m 의 단위는 km이다.

병진운동에 의한 풍속 V_t 는 다음과 같이 계산된다.

$$V_t = -0.5 \cdot V_r \cdot (-\cos(\phi)) \quad (1c)$$

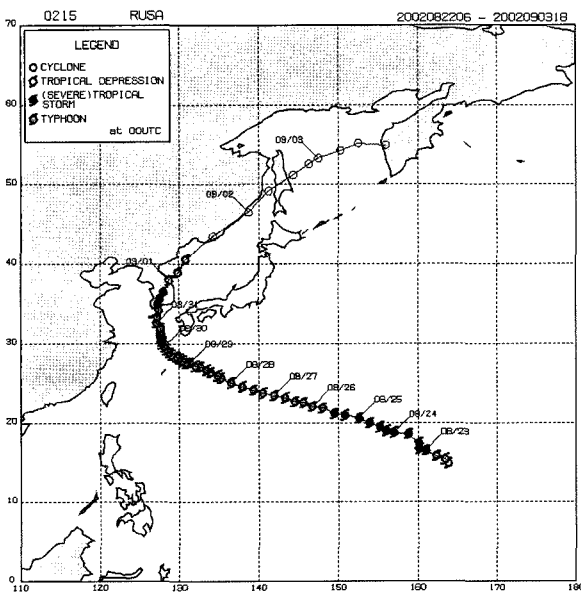
여기서, ϕ 는 방사지점과 최대 바람 라인 사이의 각이다. 따라서 총 풍속 V 는

$$V = V_r + V_t \quad (1d)$$

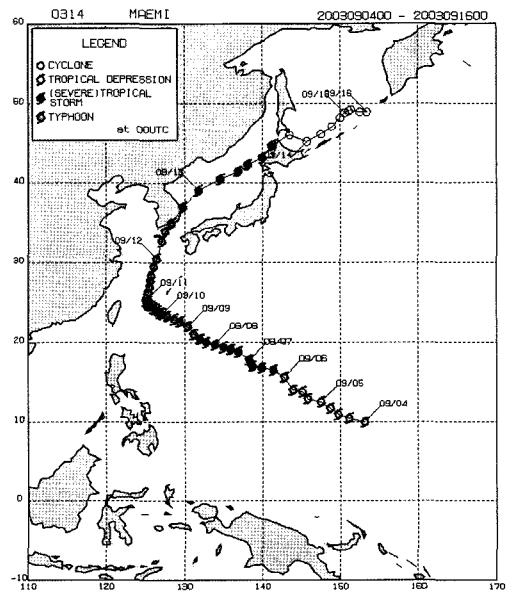
이다. 어느 한 위치에서 압력 P 는 다음의 식으로 계산된다.

$$P = P_c + (P_n - P_c) \cdot \exp(-R_m/R) \quad (1e)$$

Fig. 3은 해일모의 대상 태풍 중 ‘RUSA(0215)’와 ‘MAEMI(0314)’의 경로를 나타낸 것이다. 각 태풍의 상세한 경로, 중심기압 및 최대풍속 등은 일본기상청(www.jma.go.jp)과 태풍연구소(www.typhoon.or.kr)의 자료를 활용하였다. 본 연구에서는 과거 10년간 9개 태풍의 해일모의를 수행하였는데, 태풍 ‘RUSA(0215)’와 태풍 ‘MAEMI(0314)’를 제외하고는 모두 목포 및 군산이 태풍의 위험반경에 속하고 있는 것을 선택하였으며, 태풍 ‘RUSA(0215)’와 태풍 ‘MAEMI(0314)’의 경우는 규모가 매우 큰 태풍으로 우리나라 전역에 걸쳐

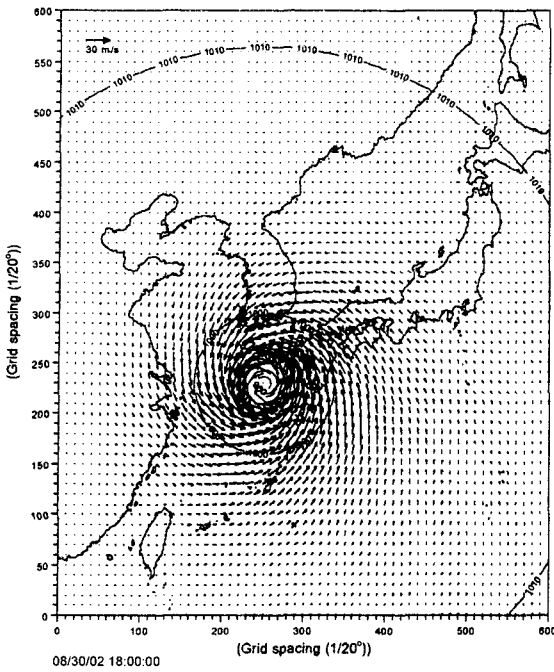


(a) RUSA(0215)

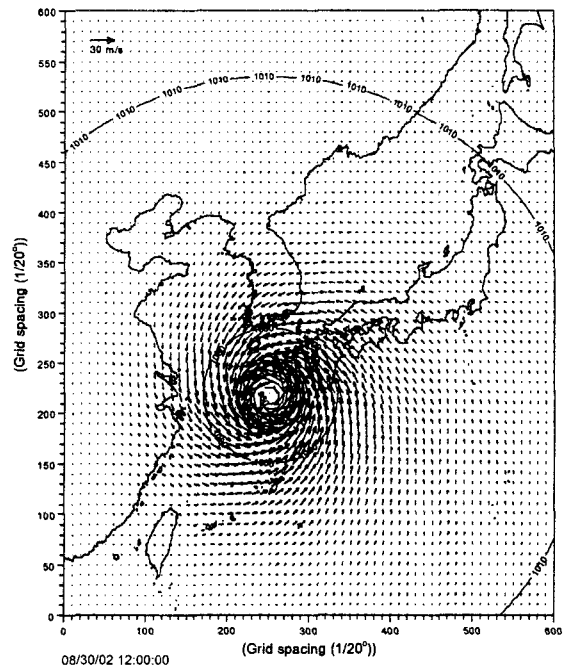


(b) MAEMI(0314)

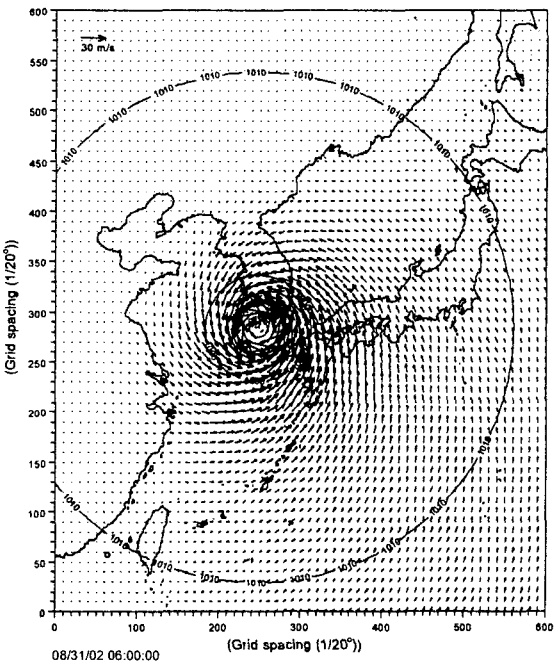
Fig. 3. Typhoon Track.



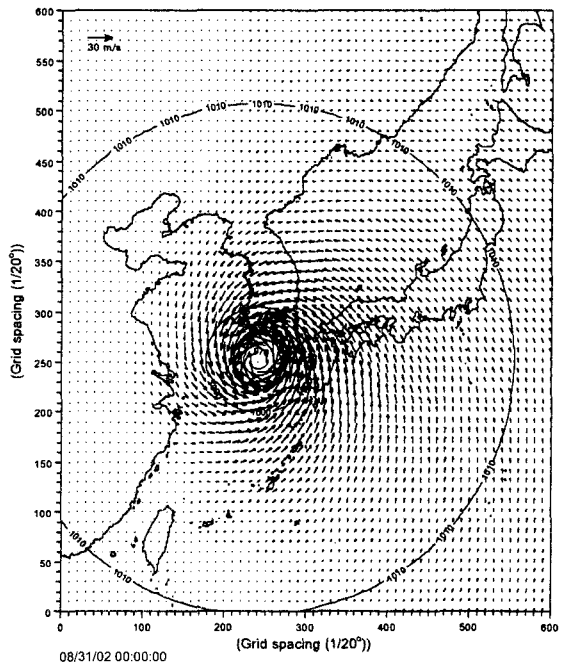
(a) 2002. 8. 30 12:00



(b) 2002. 8. 30 18:00



(c) 2002. 8. 31 00:00



(d) 2002. 8. 31 06:00

Fig. 4. Wind and pressure fields of the typhoon 'RUSA(0215)'.

영향을 미친 것으로 모의대상에 포함시켰다. Fig. 4는 목포 해역에 가장 큰 영향을 미친 태풍 'RUSA(0215)'에 대한

시간대별 모든 격자점에서 계산된 압력분포 및 바람장을 나타낸 것이다.

Table 2. Target typhoons

Typhoon	Start time	Complete time	Duration(hr)
9713 WINNIE	1997. 8. 13 12:00	1997. 8. 22 00:00	204
9905 NEIL	1999. 7. 25 06:00	1999. 7. 28 12:00	78
9907 OLGA	1999. 7. 30 12:00	1999. 8. 5 00:00	132
0012 PRAPIROON	2000. 8. 26 18:00	2000. 9. 2 00:00	150
0205 RAMMASUN	2002. 7. 2 06:00	2002. 7. 7 00:00	114
0209 FENGSHEN	2002. 7. 21 12:00	2002. 7. 27 18:00	150
0215 RUSA	2002. 8. 24 18:00	2002. 9. 1 12:00	186
0314 MAEMI	2003. 9. 8 06:00	2003. 9. 13 12:00	126
0407 MINDULLE	2004. 6. 30 18:00	2004. 7. 5 18:00	120

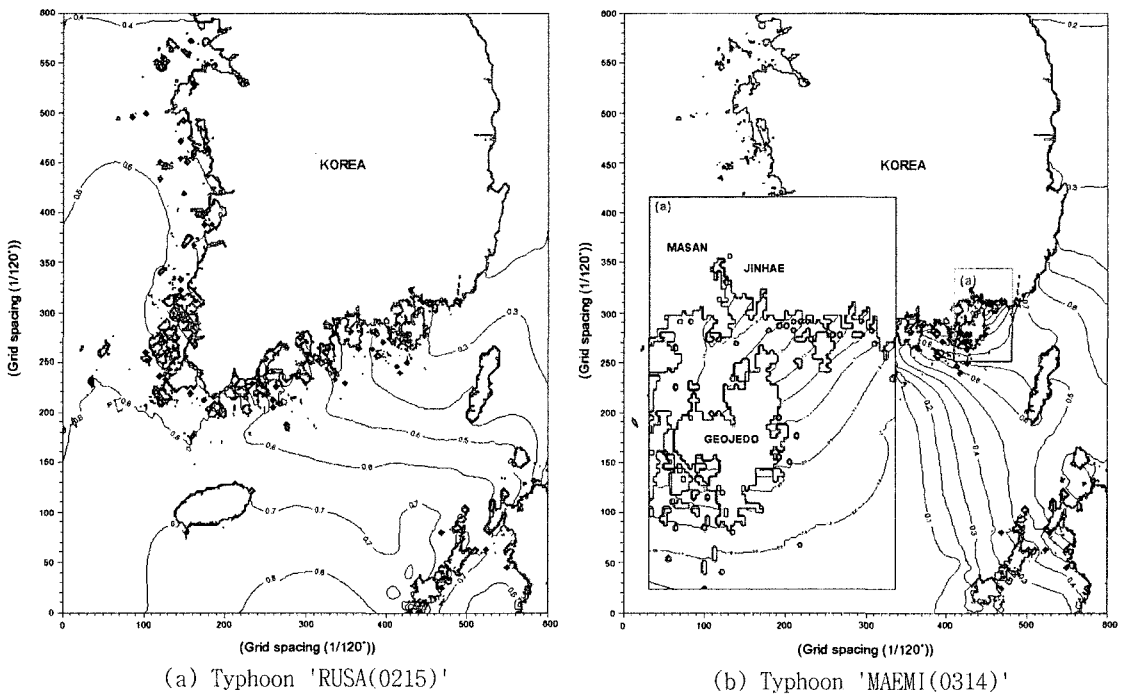


Fig. 5. Surge elevations.

3.2 과거 태풍의 해일고

최근 30년 동안 연평균 26.7개의 태풍이 발생하여 그 중 3.4개가 우리나라에 직접적인 영향을 미치고 있다. Table 2는 최근 10년간 서남해안에 영향을 미친 태풍 중 주요해역에서 비교적 높은 해일고를 발생시킨 태풍을 나타낸 것으로 이들 태풍에 대한 모의를 각각 수행하였다.

Fig. 5(a)는 태풍 'RUSA(0215)'에 의해 목포항의 해일고가 가장 높은 시점에서 해일고 분포도를 나타낸 것으로 관측된 해일고가 목포항에서 59 cm인데, 해일고 분포도에서도 서남해안 일대가 50~60 cm의 해일고를 보이고 있다. 또

한 태풍 'MAEMI(0314)'는 목포항의 해일고가 최대일때 여수일대에서 높은 해일고를 보이고 있으나, Fig. 5(b)과 같이 마산항에서 최대 해일고를 보일때 모의결과 마산항에서는 206 cm로 나타나고 있다. 이때 관측값에 의한 마산항에서 최대 해일고가 215 cm(마산시, 2004)이며, 모의결과 해일고 분포와 유사한 경향을 보이고 있다.

해일고의 관측치는 조위 예측치와 관측치의 차이인 조위 편차를 활용하는 것이 일반적이지만, 국립해양조사원에서 공개하는 조위 예보치 자료는 직전년 이전의 자료로부터 조화분석을 통해 추출한 조화상수를 사용하여 예측한 것으로

Table 3. Comparison of computed and observed surges

	Site	Computed-1	Computed-2	Observed		Site	Computed-1	Computed-2	Observed
	9713 WINNIE	Incheon	0.66	-		0.63	9905 NEIL	Incheon	0.14
Gunsan		0.44	0.47	0.58	Gunsan	0.10		0.27	0.29
Mokpo		0.38	0.39	0.37	Mokpo	0.38		0.25	0.18
Jeju		0.30	0.18	0.32	Jeju	0.30		0.35	0.45
Yeosu		0.31	0.19	0.25	Yeosu	0.51		0.33	0.44
Wando		0.35	0.25	0.31	Wando	0.56		0.47	0.63
Busan		0.26	0.16	0.15	Busan	0.10		0.10	0.13
9907 OLGA	Site	Computed-1	Computed-2	Observed	0012 PRAPI- ROON	Site	Computed-1	Computed-2	Observed
	Incheon	0.70	0.83	0.27		Incheon	1.44	1.18	1.20
	Gunsan	0.81	0.79	0.62		Gunsan	0.74	1.06	0.69
	Mokpo	0.75	0.35	0.24		Mokpo	0.49	0.48	0.30
	Jeju	0.44	0.32	0.49		Jeju	0.35	0.33	0.61
	Yeosu	0.45	0.39	0.48		Yeosu	0.28	0.24	0.35
	Wando	0.55	0.72	0.58		Wando	0.33	0.41	0.40
Busan	0.15	0.13	0.13	Busan	0.15	0.12	0.21		
0205 RAMMA- SUN	Site	Computed-1	Computed-2	Observed	0209 FENG- SHEN	Site	Computed-1	Computed-2	Observed
	Incheon	0.33	0.26	0.21		Incheon	0.38	0.23	0.41
	Gunsan	0.40	0.16	0.40		Gunsan	0.33	0.17	0.51
	Mokpo	0.31	0.24	0.50		Mokpo	0.30	0.23	0.37
	Jeju	0.21	0.23	0.38		Jeju	0.27	0.25	0.52
	Yeosu	0.18	0.21	0.26		Yeosu	0.29	0.18	0.28
	Wando	0.20	0.31	0.49		Wando	0.31	0.26	0.43
Busan	0.11	0.07	0.14	Busan	0.09	0.13	0.07		
0215 RUSA	Site	Computed-1	Computed-2	Observed	0314 MAEMI	Site	Computed-1	Computed-2	Observed
	Incheon	0.45	0.39	0.34		Incheon	0.25	0.18	0.25
	Gunsan	0.41	0.38	0.52		Gunsan	0.27	0.33	0.50
	Mokpo	0.55	0.59	0.59		Mokpo	0.28	0.26	0.28
	Jeju	0.90	0.78	1.00		Jeju	0.65	0.34	0.37
	Yeosu	1.45	1.20	1.33		Yeosu	1.39	1.25	0.43
	Wando	0.94	0.90	1.06		Wando	0.72	0.52	0.68
Busan	0.46	0.51	0.63	Busan	0.59	0.72	0.77		
0407 MINDULLE	Site	Computed-1	Computed-2	Observed					
	Incheon	0.28	0.23	0.19					
	Gunsan	0.33	0.28	0.41					
	Mokpo	0.23	0.29	0.36					
	Jeju	0.19	0.28	0.58					
	Yeosu	0.19	0.38	0.30					
	Wando	0.19	0.41	0.54					
Busan	0.08	0.23	0.24						

서 해당연도의 천문조를 정확히 구현했다고는 보기 어렵다. 따라서 조위편차 빈도분석을 위해 활용한 방법(강 등, 2006)인 관측된 조위로 조화분석을 실시하고 당해연도를 다시 예

측하는 사후추정 방법을 통해 해일고를 재산정한 결과와 국립해양조사원에서 제공하는 조위편차 등 두 종류의 관측결과를 모의결과와 함께 Table 3에서와 같이 비교하였다. 이

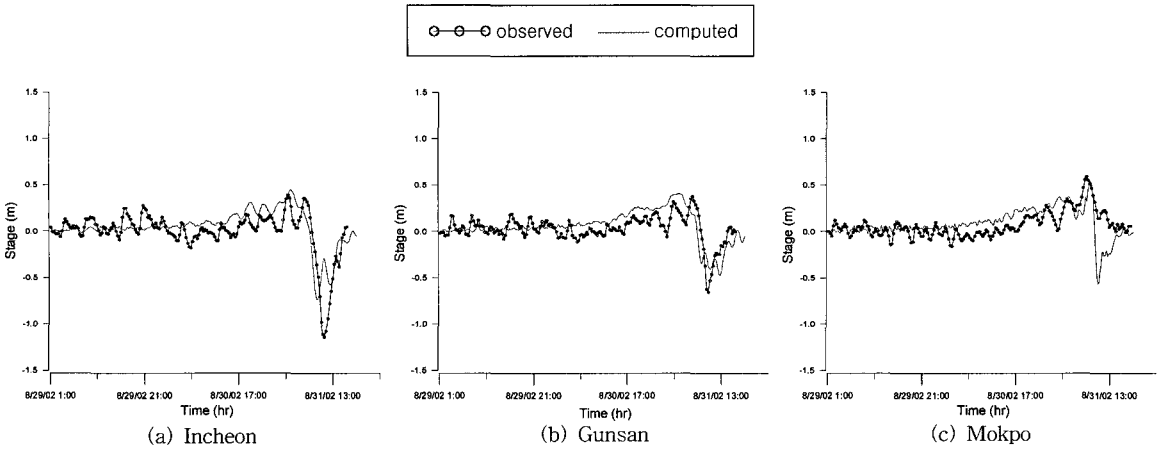


Fig. 6. Time series of the observed and computed surges induced by the typhoon 'RUSA(0215)'.

를 보면 모의결과(Computed-1)가 관측결과와 대체적으로 부합하고 있으며 사후추정치(Computed-2)와 좀더 부합하는 결과를 보이고 있다. 이들 태풍 중 목포항에 가장 큰 영향을 미친 태풍 'RUSA(0215)'에 의한 인천, 군산, 목포 해일고 비교는 Fig. 6과 같다.

사후추정을 통해 해일고를 산정한 Table 3의 결과에서 보듯이 과거 10년동안 서남해안에서 발생한 태풍에 의한 해일고 중에서 1m 이상인 것은 태풍 'RUSA(0215)'에 의해 여수에서 1.20 m, 태풍 'PRAPIROON(0012)'에 의해 인천과 군산에서 1.18 m, 1.06 m의 해일고이다. 이외에 2003년 태풍 'MAEMI(0314)' 내습시 마산에서 2.15 m의 국내 최대 해일고가 발생된 바 있다. 목포항에서 해일고는 태풍 'WINNIE(9713)' 통과시 39 cm, 태풍 'PRAPIROON(0012)' 48 cm 그리고 가장 높은 해일고는 태풍 'RUSA(0215)' 통과시에 59 cm를 기록한 바 있다.

4. 해수 범람모의

4.1 수치모델 및 수심도 생성

본 연구에서 사용한 Mike21 수치모델은 조건대 모의가 가능하며 'dried out'된 지점에 수심이 저장되어 다시 'flooded' 되었을 때 재사용되어 flooding과 drying 과정동안 연속방정식을 만족시킨다(강 등, 2004).

범람모의를 위한 해안의 수심 및 표고자료의 생성은 연안해역기본도와 관측자료의 정보가 추가된 수치해도에 수치지형도를 포함시키는 Fig. 7과 같은 방법을 이용하였다. 수치해도의 수심은 약최저저조위를 기본면으로 하고 좌표체

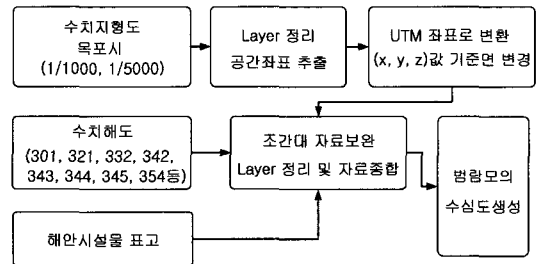


Fig. 7. Generation process of bathymetry.

계는 UTM-52 좌표계로 구성되어 있는 반면, 수치지형도의 표고는 평균해수면을 기준으로 TM(중부원점) 좌표계로 구성되어 있다. 따라서 대상영역인 목포시에 해당하는 수치지형도(1/1,000, 1/5,000)로부터 표고의 정보를 반영하는 Layer를 정리한 후, 공간좌표(x, y, z)를 추출하여 (z)값은 약최저저조위면으로 환산하고, (x, y)값도 수치해도와 동일한 UTM-52 좌표계로 변환하였다. 이렇게 변환된 수치지형도의 공간좌표를 수치해도에 포함시켜 육지의 변환된 표고값이 포함된 수심도를 생성하였다. 해안시설물의 표고는 목포시청, 목포지방 해양수산청의 자료를 이용하여 보완한 후 수치지형도의 정보를 수치해도에 포함시키는 과정에서 반영하였다. Fig. 8은 전송된 방법을 통해 생성한 범람모의를 위한 목포해역 수심도이다.

해일모의 중간역(Fig. 2(b))의 모의 결과로부터 'transfer boundary'를 활용하여 Fig. 8(a)와 같이 목포해역 세부역 ($\Delta X = \Delta Y = 180\text{ m}$) 격자의 경계조건을 생성하였다. 또한 Mike 21의 'nested grid 기능'을 활용하여 목포해역 세부역과 상세역

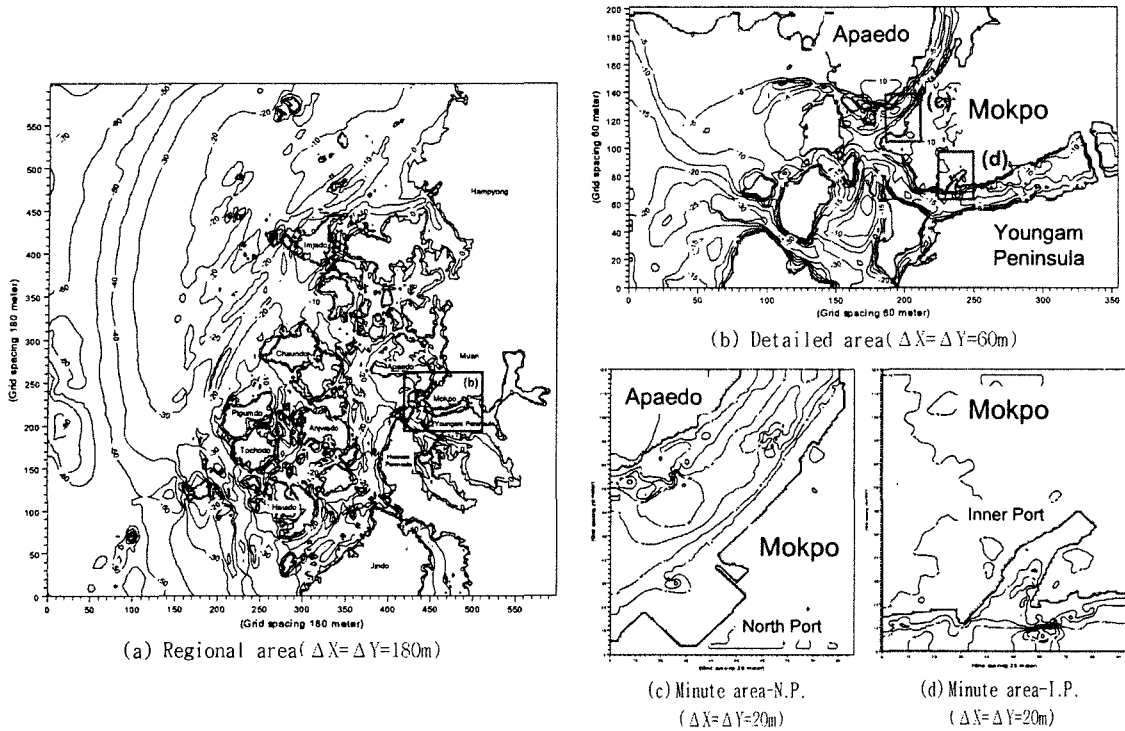


Fig. 8. Bathymetry of Mokpo coastal zone for the simulation of coastal flooding.

($\Delta X = \Delta Y = 60\text{ m}$), 그리고 북항과 내항의 정밀역($\Delta X = \Delta Y = 20\text{ m}$) 격자에 대한 수심도를 동시에 결합시켜 모의를 수행하였다. 결합된 모형은 수치적 안정을 고려하여 시간간격을 5 sec로 하였으며, 10분 간격으로 결과를 추출하여 해안범람 과정을 모의하였다.

4.2 목포해역 범람모의

2002년 태풍 ‘RUSA(0215)’에 의한 해일이 목포항의 약 최고고조위와 결합된 가상적인 경우에 대하여 범람을 모의하였다. 당시의 해안시설물 표고는 530 cm였고, 조위는 소조기로 실제로 당시에는 해수범람 피해가 발생하지 않았지만 태풍 ‘RUSA(0215)’는 목포에서 최근 10년간 태풍에 의한 해일고 중 가장 높은 해일고(59 cm)가 발생한 태풍이다. 목포항 기준검조소의 약최고고조위 486 cm와 해일고 59 cm가 동시에 발생할 가상상황의 조위는 545 cm로 금호방조제 건설후 10년 빈도(강 등, 2006)의 고극조위 544 cm에 해당 하는 조위이다.

Fig. 9와 Fig. 10은 북항과 내항에 대한 범람모의의 결과를 나타낸 것으로 범람이 발생되고 있는 지역은 행정자치부(1998)의 피해지역 조사결과와 해안시설물 증고에 따른 차

이를 제외하면 잘 일치하고 있다. 북항의 경우 여러 차례 보강공사로 1997년과는 달리 항내의 범람은 다소 감소할 것으로 예상되는 반면 내항 부근의 저지대에 위치한 주택 및 상가는 여전히 침수피해가 우려되고 있다.

Bates et al.(2000)은 범람모의시 Chow(1959)와 Acrement et al.(1984)이 제시한 Manning 계수를 반영하여, 수로는 0.02와 조간대는 0.06의 값을 각각 부여하였으며 적절한 Manning 계수의 선택이 중요함을 기술한 바 있다. 그러나 본 연구에서는 Mike 21의 nesting 기법과 조간대 모의 기능을 동시에 활용하여 범람모의를 수행하여 조간대에서 Manning 계수를 다른 값으로 부여하는데 어려움이 있었다. 조간대 및 육지부의 Manning 계수 선정 및 분리 뿐만 아니라 범람속도를 포함한 전반적인 범람기구 재설정 요구되지만 상용모형이 갖고 있는 한계 때문에 Mike21 모형을 이용한 범람해석은 상당히 제한적인 상황하에서만 가능한 것으로 판단된다.

목포해역은 과거 잦은 범람피해에도 불구하고 인명 및 재산피해 등의 조사 이외에 범람으로 인한 침수면적 및 침수심 등의 자료는 전무한 상태이다. 1997년 서해안 해수범람이 발생했을 때에도 서해안 전체를 대상으로 조사가 이루어

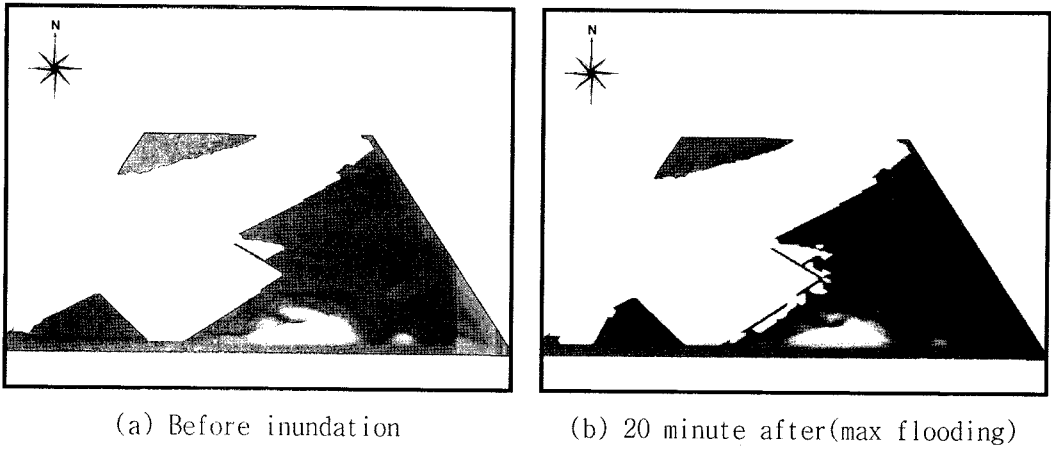


Fig. 9. Inundation zone induced by the virtual surge at Mokpo North Port.

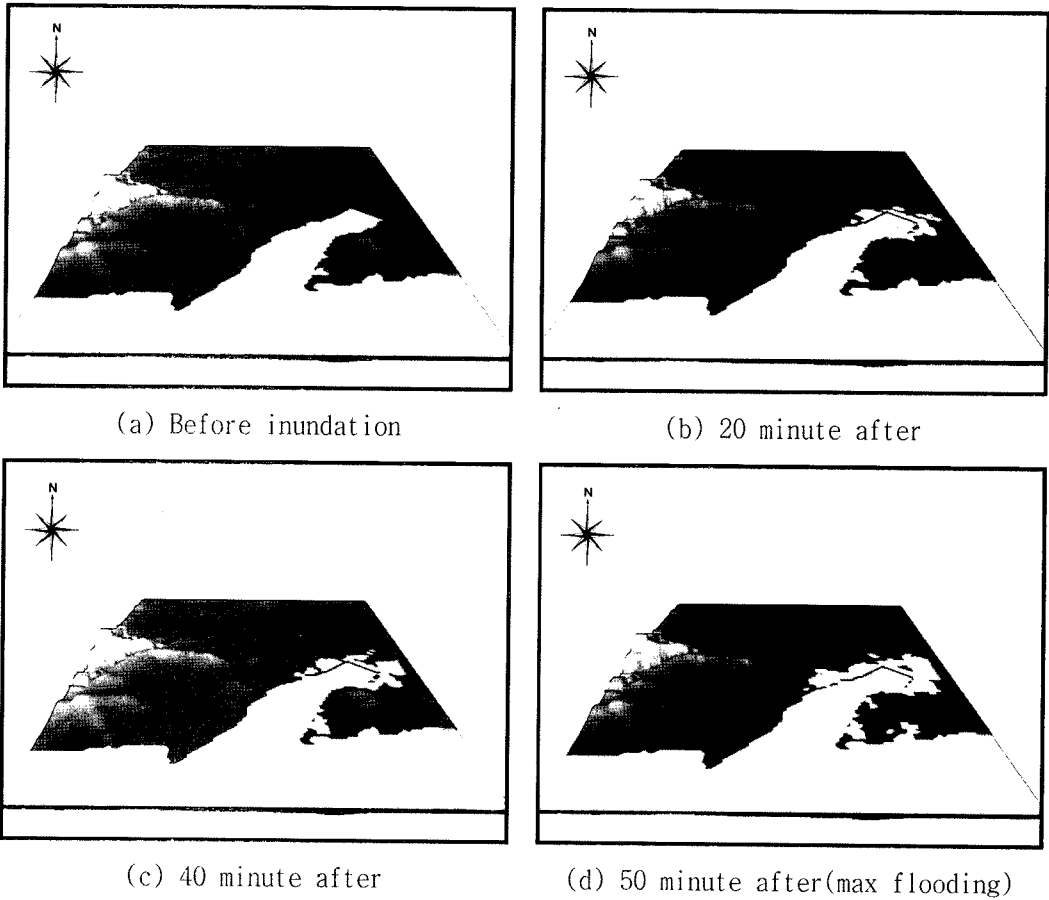


Fig. 10. Inundation zone induced by the virtual surge at Mokpo Inner Port.

어짐에 따라 목포해역만의 자세한 침수정보가 포함되어 있는 아아 향후 범람피해 방지를 위해서는 해수범람에 대

한 다양한 조사방법을 활용한 자료 확보 등의 기초자료 수집 및 분석이 절실히 요구된다. 또한 범람모의시 해수범람

이 우려되는 도로, 주택 및 상가 등의 정도 높은 각종 입력정보와 홍수 및 집중호우 등에 의한 저지대의 침수 등의 정보와 결합하면 방재대책의 수립 및 연안개발계획에 반드시 필요한 최대범람도 구축의 기본적인 틀을 마련할 수 있을 것이다.

5. 결 론

목포해역은 태풍과 같은 기상해일의 영향이 없는 해에도 해수범람이 나타나고 있는데, 이러한 해수범람 피해는 목포시의 낮은 도시기반과 함께 외해 고조위상승에 기인하여 발생하고 있다. 더불어 과거에 비해 해일의 위험성이 증대되고 있어 적절한 대책의 수립이 시급한 상황이다. 본 연구에서는 서해안에 높은 해일고를 발생시킨 태풍의 모의와 함께 그 결과와 결합하여 범람을 모의할 수 있는 도구로서 Mike21 모형을 목포해역에 적용한 것으로서 다음과 같은 결론을 도출하였다.

(1) 해일모의를 위한 수심도는 한반도와 대만 및 일본을 포함한 $1/20^\circ$ 격자의 광역과 우리나라 전해안을 대부분 포함한 $1/120^\circ$ 격자의 중간역으로 구성하였다. 광역 수심도 내부의 500만개 이상의 수치해도상의 객체 정보를 확보하여 광역내부의 추가적인 세부격자 수심도 생성이 용이하도록 하였다. 또한 범람모의를 위한 수심도는 수치지형도의 정보를 동일한 좌표체제로 변환하여 수립하였으며 20 m 격자 간격의 정밀역까지 구성하여 침수방재대책에 활용토록 하였다.

(2) 과거 10년간 목포해역에 큰 해일고를 발생시킨 9개 태풍에 대한 모의를 통해 모형의 검증을 수행하였고, 목포해역과 서남해안의 주요지점에 대한 해일고를 비교하여 양호한 결과를 얻었다. 이러한 모의체계는 태풍에 대한 진로 및 정보가 예측된 후 해당해역에서 해일고를 예측하는 데 활용될 수 있을 것이다.

(3) 태풍 ‘RUSA(0215)’가 약최고고조위의 조위상황에서 59 cm의 해일고가 발생할 가상상황에 대한 범람을 모의하였다. 이때의 조위는 545 cm(약최고고조위 486 cm+해일고 59 cm)로 금호방조제 건설이후 목포항 10년 빈도의 고극조위(544 cm)에 해당하는 조위이다. 범람결과에서 보듯이 목포시는 도시기반이 낮아 범람이 발생할 경우 특히 내항부근에서 빠른시간내에 넓은 지역의 피해가 예상된다.

(4) 목포해역은 하구언과 방조제 건설로 인한 조석환경변화로 시설물 표고가 500 cm~530 cm로 증고된 이후, 1997년 서해안의 범람피해가 발생함에 따라 시설물 표고가 550 cm로

추가 증고되었다. 그러나 2004년 7월 태풍 ‘MINDULLE(0407)’ 내습시 550 cm의 조위가 관측된 바 있고, 여기에 전지구적 해수면 상승 및 목포해역의 해일에 대한 취약성 등을 감안하여 추가적인 해일에 대한 구조적 대책과 비구조적 대책이 함께 빠른 시일내에 수립되어야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부 지역특성화연구개발사업의 연구비 지원(C105E1020001-06E020200210)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- 강용균 (2004). 태풍 ‘매미’ 통과시의 해일공명. 한반도 해역의 고파, 폭풍해일, 한국해양공학학회 특별 Workshop, pp. 57-62.
- 강주환, 문승록, 박선중 (2004). 해수유동모형에서 조건대 모의의 필요성. 대한토목학회논문집, 24(3-B), pp. 259-265.
- 강주환, 문승록, 박선중 (2005). 조석확폭에 수반되는 조건대 영역 확대의 영향성. 한국해양해양공학회지, 17(1), pp. 47-54.
- 강주환, 문승록, 박선중 (2006). 조석/해일 환경변화를 감안한 고극조위 빈도분석, 대한토목학회논문집, 26(1-B), pp. 99-106.
- 마산시 (2004). 태풍 ‘매미’에 의한 해일피해 원인조사 및 재해방재대책.
- 목포시 (2005). 목포시 지역방재계획 학술연구용역(폭우해일 침수대책) 보고서.
- 문일주, 오임상 (2003). 파랑-해양순환 접합모델을 이용한 폭풍해일에 대한 파랑과 조석의 영향 연구. 한국기상학회지, 한국기상학회, 39(5), pp. 563-574.
- 이동영 (2004). 연안 해일재해 예측 시스템 구축 및 연안 재해방지. 한반도 해역의 고파, 폭풍해일, 한국해양해양공학회 특별 Workshop, pp. 63-66.
- 최병호, 엄현민, 김현승, 정원무, 심재설 (2004). Wave-tide-surge coupled simulation for typhoon Maemi. 한반도 해역의 고파, 폭풍해일, 한국해양해양공학회 특별 Workshop, pp. 121-144.
- 행정자치부 (1998). 서해안 해수범람 흔적조사 및 종합대책 수립 보고서.
- Acement, G.J. and Schneider, V.R. (1984). Guide for Selecting Manning's Roughness Coefficients for Natural Channels and flood plains. Federal Highways Administration, US department of Transportation, Report No. FHWA-TS-84-204, Washington, pp. 66.

- Bao, J.W., Wilczak, J.M., Choi, J.K. and Kantha, L.H. (2000). Numerical simulation of air-sea interaction under high wind conditions using a coupled model: A study of hurricane development. *Monthly Weather Review*, 128(7), pp. 2190-2210.
- Bates, P.D. and De Roo, A.P.J. (2000). A simple raster-based model for flood inundation simulation. *Journal of Hydrology*, 236, pp. 54-77.
- Cheung, K.F., Phadke, A.C., Wei, Y., Rojas, R., Douyere, Y.J.-M., Martino, C.D., Houston, S.H., Liu, P.L.-F., Lynett, P.J., Dodd, N., Liao, S. and Nakazaki, E. (2003). Modeling of storm-induced coastal flooding for emergency management. *Ocean Engineering*, 30(11), pp. 1353-1386.
- Choi, B.H., Eum, H.M. and Woo, S.B. (2003). A synchronously coupled tide-wave-surge model of the Yellow Sea. *Coastal Engineering*, 47, pp. 381-398.
- Chow, V.T. (1959). *Open channel hydraulics*, Mc-Graw Hill, New York.
- DHI Water and Environment (1995) *User guide and Reference manual*, Pre and Post Processing Module.
- Hall, J.W., Dawson, R.J., Sayers, P.B., Rosu, C., Chatterton, J.B. and Deakin, R. (2003). A methodology for national-scale flood risk assessment. *Water and Maritime Engineering*, 156(3), pp. 235-247.
- Madsen, H. and Jakobsen, F. (2004). Cyclone induced storm surge and flood forecasting in the northern Bay of Bengal. *Coastal Engineering*, 51, pp. 277-296.
- Kang, J.W. (1999). Changes in tidal characteristics as a result of the construction of sea-dike/sea-walls in the Mokpo coastal zone in Korea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 48(4), pp. 429-438.
- Li, Y.S. and Zhang, M.Y. (1997). Dynamic coupling of wave and surge models by Eulerian-Lagrangian method. *Journal of Waterway, Port, Coastal & Ocean Engineering*, ASCE, 123(1), pp. 1-7.
- Ozer, J., Palilla-Hernandez, R., Monbaliu, J., Fanjul, E.A., Albiach, J.C.C., Osuna, P., Yu, J.C.S. and Wolf, J. (2000). A coupling module for tides, surges and waves. *Coastal Engineering*, 41(1-3), pp. 95-124.
- Reeve, D.E. (1998). Coastal flood risk assessment. *Journal of Waterway Port, Coastal and Ocean Engineering*, 124(5), pp. 219-228.
- USACE (1996). *Risk-based Analysis for Flood Damage Reduction Studies*, Report EM1110-2-1619. United States Army Corps of Engineers, Washington.
- Voortman, H. G. (2002). *Risk-based design of large-scale flood defence systems*, PhD Thesis, Delft University.

Received September 27, 2006

Accepted December 5, 2006