

해양예측 의사결정지원 데이터를 활용한 대한민국 연안의 해수범람 조기경보체계 구축

Early Warning System of Coastal inundation in South Korea's Coast Using Decision Support Data of Ocean Prediction

박정식* · 엄대용** · 이방희*** · 최원진****

Jeong Sik Park · Dae Yong Eom · Bang Hee Lee · Won Jin Choi

요약 우리나라 연안의 해수범람 조기경보체계를 구축하기 위해 국립해양조사원에서 관측자료 기반으로 산출한 해수범람 의사결정지원 임계치를 수치모델 예측정보에 적용하였다. 산출된 해수범람 임계치는 최근 10년간 우리나라에서 발생한 해수범람 사례와 해양 및 기상 관측자료에 대해 인공지능 기법을 활용하여 선정되었으며, 수치모델 예측정보는 국립해양조사원의 통합 해양예측정보를 활용하였다. 조기경보체계는 관측정보와 통합 해양예측정보의 데이터 최적화 과정을 통해 조기경보를 위한 임계치로 변환·산정하였고, 이를 통해 최대 48시간 이전에 해수범람 현상을 인지할 수 있도록 구축하였다. 2018년의 해수범람 사례 12건을 대상으로 조기경보체계의 정확도를 분석한 결과, 59.2%의 예측률, 22.7%의 적중률을 보였고, 인접권역 및 근접기간을 포함한 연관예측률은 77.2%를 보였다. 조기경보체계를 기반으로 2019년 침수 및 태풍 사례를 검증한 결과 2차례의 해수범람과 3회의 태풍으로 인한 범람위험을 예측하며 경보하며 높은 활용성을 보였다. 해양예보 지원을 위해 해양관측 기반의 분석정보와 예측정보를 동시에 활용한 의사결정지원 정보의 산출은 예측 능력 향상을 위해 필수적인 과정이며 앞으로 더 확대되어야 한다.

키워드 해수범람, 해양예측정보, 의사결정지원 정보, 조기경보체계

Abstract In order to set up an early warning system for coastal inundation on the coast of Korea, the coastal inundation threshold based on observational data calculated by the Korea Hydrographic and Oceanographic Agency(KHOA) apply to the numerical modeling prediction data. The coastal inundation threshold was calculated using Korea's coastal inundation cases and marine and meteorological observations data over the past 10 years, and the numerical modeling prediction data was used the KHOA Integrated Ocean Prediction System(KIOPS) of KHOA. The threshold of coastal inundation threshold was calculated by normalization between observation and KIOPS data, and based on this, an early warning system was set up to recognize the coastal inundation before 48 hours. The accuracy of the early warning system was verified in 12 cases of coastal inundation in 2018, with a prediction rate of 59.2% and a accuracy rate of 22.7%, and the associated prediction rate, including the prediction of the coastal inundation in the adjacent areas and close periods, was 77.2%, indicating the availability of the early warning system. As a result of verifying cases of flooding and typhoons in 2019 based on the early warning system, it showed high utilization by predicting the risk of flooding caused by two coastal inundation and three typhoons. The calculation of decision support information using both observation and forecasting data is an important process to support marine forecasts.

Key words Coastal Inundation, Ocean Predicting Data, Decision Support Data, Early Warning System

Received: 2021.05.10, Revised: 2021.07.02, Accepted: 2021.07.02

* (주)올포랜드 해양사업그룹(Ocean Business Group, ALLforLAND.CO.,LTD) (주저자)

** (주)올포랜드 해양사업그룹(Ocean Business Group, ALLforLAND.CO.,LTD) (교신저자)

*** (주)올포랜드 해양사업그룹(Ocean Business Group, ALLforLAND.CO.,LTD)

**** 국립해양조사원 해양예보과(Oceanographic Observation Division, Korea Hydrographic and Oceanographic Agency)

1. 서론

해수범람은 조석 및 조류에 의한 조위변화와 집중호우, 태풍 등 다양한 해양 및 기상현상이 연계하여 해수면이 상승할 때 바닷물이 내륙으로 월류하여 연안 저지대의 산업시설, 주택, 농경지, 각종 시설의 침수피해를 발생시키는 현상을 의미한다. 현재 전 세계적으로 평균 4천 6백만 명의 인구가 매년 폭풍 해일에 의한 피해를 겪고 있으며, 이는 지구온난화로 인한 해수면 상승에 의해 더욱 증가할 것으로 예상된다(IPCC WG II, 2001). 우리나라에서는 1997년 서해안 전역에서 해수범람이 발생하여 약 220억 원의 피해를 일으켰고(최, 2004) 2008년 보령에서는 비정상적인 해수범람으로 인해 23명의 인명피해가 발생하였다(윤, 2015) 이외에도 KMI (2015)의 연구에 따르면 해수범람 또는 침수와 같은 연안재해로 인한 피해금액이 총 4,323억 원(2009 ~ 2013)에 달한다고 한다.

이러한 피해를 예방하기 세계 각국은 해수범람 예방·대처 방안을 수립 및 시행중이다. 오스트리아는 범람위험지역을 나타내는 GIS기반의 1)Natural Hazard Overview & Risk Assessment Austria(HORA)를 개발하여 인터넷을 통해 정보를 제공하고 있고, 프랑스에서는 과거 최대 홍수발생범위와 발생 빈도에 따른 보험지도를 웹사이트를 통해 제공하며 일본은 연안 지역의 인프라 시설 유지 보호를 위해 매년 11조 5천 엔의 예산을 편성하고 있다(강, 2012). 미국 해양대기청인 National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)에서는 Decision Support System(DSS)을 구축하여 해수범람 및 기타 위험 해양현상에 대한 예보 정보를 제공하고 있다(Liu 등, 2013). 우리나라에서도 해수범람 피해 예방을 위해 다양한 노력을 기울이고 있다. 국립해양조사원에서는 연안침수 위험지역에 대한 기초자료 제공 및 연안 재해 예방 실무 활동을 위해 해안침수 예상도를 제작하였고, 예측조위 정보를 활용한 실시간 고조정보 서비스를 구축하여 실시간 및 예측 해수면 높이 정보를 제공한다. 또한, 문 등(2006)은 MIKE21 모형을 이용해 목포해역의 해수범람을 예측하였고, 조와 서(2001)는 이동경계를 활용하여 지진 해일의 최대범람구역을 추산하는 등 국가기관 및 연구기관에서 해수범람을 예측하려는 노력이 지속되고 있다.

본 연구에서는 기존의 예측 시스템 및 연구들은 조석 및 파랑과 같은 해수범람의 특정 주요 원인 인자에

대해서만 다뤘을 뿐, 해수범람의 유형과 각 유형에 따른 특징 및 원인 분석에 대한 연구는 미비한 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 국립해양조사원에서 2019년에 산정한 유형별 해수범람 관측 임계치(조 등, 2020)를 예측정보에 적용하여 조기경보체계 구축 방안을 제시하였고, 정확도를 검증하여 활용도를 제시하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 해수범람에 대한 해역별 관측 임계치

국립해양조사원은 2019년 관측정보를 데이터 마이닝 분석을 활용하여 해수범람에 대한 해역별 임계치를 산정하였다. 좀 더 자세히 살펴보면, 최근 10년(2009~2018)의 실제 해수범람 사례와 국립해양조사원의 해양관측자료를 다양한 기계학습 기법·기술을 통해 해수범람의 원인이 될 수 있는 요소와 항목별 임계치를 산정하였다. 이때, 해수범람 사례는 국립해양조사원의 침수조사 보고서와 한국국토정보공사의 침수흔적도를 기반으로 수집되었다. 수집된 사례는 국립해양조사원 해양예보구역도의 협역도에 따라 분류되었고(Fig. 1), 조석, 기압, 풍랑, 태풍 4가지 해수범람 원인을 조합하여 9가지 유형으로 분류되었다(Table 1).

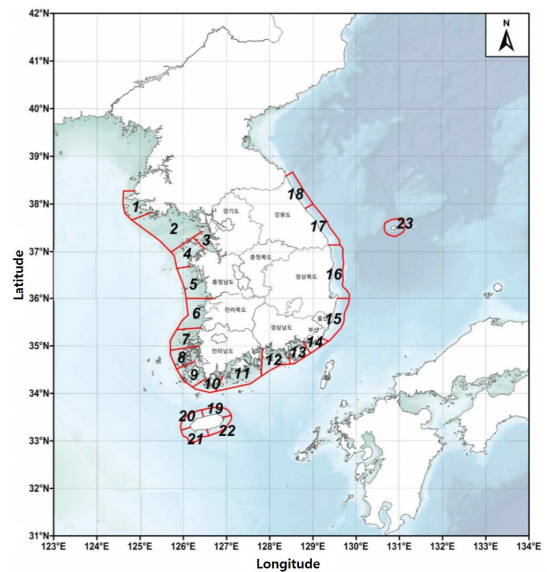


Figure 1. Division of the Korean coastal area by Marine Forecasting Map

데이터 마이닝으로 사용된 기계학습 기법은 의사결정나무(Decision Tree), 랜덤 포레스트(Random Forest), 서포트 벡터 머신(Support Vector Machine) 3가지이며

1) HORA(Natural Hazard Overview & Risk Assessment Austria) - 오스트리아의 모든 지역에 대해 8가지 자연 재해 및 예상 강도에 대한 정보제공 시스템

Table 1. Classification of coastal inundation types by area and ocean conditions

Classification of Area				Classification of inundation type	
Num.	Name	Num.	Name	Num.	details of type
1	Baengneong-do	13	Mid-GS	1	Tide/Press/Wind
2	Gyeonggi bay	14	East-GS	2	Tide/Press
3	IC-PT	15	South-GN	3	Tide/Wind
4	TA-DG	16	North-GN	4	Tide
5	CN	17	South-GW	5	Press/Wind
6	JN	18	North-GW	6	Press
7	North-JS	19	Northeast-JJ	7	Wind
8	Mid-JS	20	Northwest-JJ	8	Obscurity
9	South-JS	21	Southwest-JJ	9	Typhoon
10	West-JS	22	Southeast-JJ		
11	East-JS	23	Ulleng-do		
	Abbreviation of administrative district	IC-PT TA-DG CN JN JS GS GN GW JJ		Incheon - Pyengtaek Taejeon - Dangjin Chungcheongnam-do Jeollabuk-do Jeollanam-do Gyeongsangnam-do Gyeongsangbuk-do Gangwon-do Jeju-island	

각 기법의 결과를 도출한 뒤 종합하여 정리하였다. 의사결정나무와 랜덤 포레스트의 결과를 활용하여 상관성을 분석하였고, 서포트 벡터 머신을 통해 각 요소의 정확도와 해수범람에 미치는 영향 순위를 산출하였다. 산출된 해역별·요소별 해수범람 임계치는 Table 1에 나타내었다.

2.2 연구자료 수집

해수범람에 대한 해역별 임계치를 수치모델 예측정보에 적용하고, 그 정확도를 검증하기 위해 2018년의 관측정보와 예측정보, 발생 사례정보를 수집하였다. 관측정보는 해역별 관측 임계치 산정에 활용된 국립해양조사원 조위관측소, 해양관측부이, 기상청의 파고부이 자료 중 2018년의 1분 단위 자료를 수집하였다. 예측정보는 국립해양조사원의 통합 해양예측정보를 활용하였다. 통합 해양예측정보는 예측정보 사용자의 의사결정 지원을 위해 다양한 수치예측모델 정보를 표준화된 격자로 통합한 예측정보로서 2018년부터 생산되었다. 9km-3km-1km, 3가지 해상도의 예측정보를 생산하며, 해수면 높이, 해수유동(동방, 북방), 기온, 기압, 바람(풍향, 풍속), 파랑(유의파고, 파향), 총 8종의 정보에 대해 48시간 예측정보를 생산한다. 본 연구에서는 활용한 3km 해상도 통합 해양예측정보는 황동중

국해모델, 동해모델, 남해연안모델(이상 ROMS, The Regional Ocean Modeling System)과 연안유동모델(MOHID, Modelo Hidrodinacio)이 통합되었으며, 검증 결과에 따라 예측값의 변동성이 크지 않는 염분정보는 제외하였다. 해수범람 발생 사례정보는 국립해양조사원의 침수조사보고서와 한국국토정보공사의 침수흔적도 자료 중 2018년에 발생한 사례정보를 수집하였으며, 중복된 사례는 제외하였다.

2.3 연구방법

현장 관측정보와 수치모델 예측정보는 해양정보별, 수치모델별로 예측성과 변동성에서 차이를 보인다. 따라서, 수치모델 예측정보를 활용한 해수범람 임계치를 산정하기 위해서 국립해양조사원의 해역별 관측 임계치와 통합 해양예측정보와의 데이터 최적화 과정, 즉 의사결정지원 데이터 산출을 통해 예측정보 임계치로 변환하였다. 데이터 최적화를 위해 예측정보는 각 관측점의 위치에 해당하는 대상영역을 선정(0.5°x 0.5° 영역)하여 값을 추출하였고, 해당 영역의 평균을 대푯값으로 산출하였다. 대푯값으로 산출된 예측정보와 관측정보는 각 정보의 최대값과 최소값을 0 ~ 1의 구간으로 최적화 후, 관측정보 임계치에 해당하는 구간의 예측정보 값을 찾아 예측정보 임계치로 산정하였다.

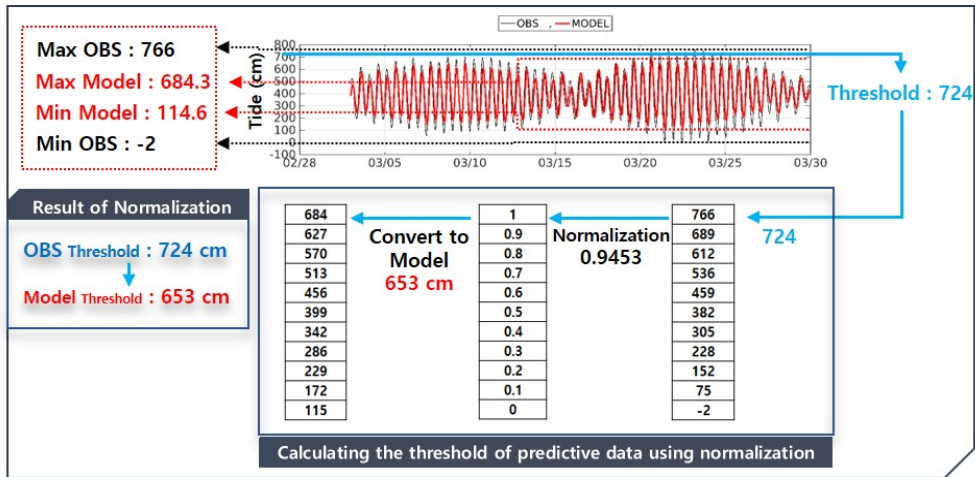


Figure 2. Example of optimization of coastal inundation threshold(water level)

충남 인근 해역의 조위정보 최적화 과정을 아래 Fig. 2에 나타내었다. 보령 조위관측소의 조위 임계치는 724 cm로 나타났고, -2 cm ~ 766 cm의 범위를 나타내었다. 해당 영역 수치예측정보의 공간 평균 값은 111.4 cm ~ 684.3 cm로 나타났고, 이 두 범위를 0~1 의 값으로 정규화하였다. 관측임계치 724 cm는 0.9453이 되고, 이 0.9453에 해당하는 수치예측정보 값인 653 cm를 예측정보 임계치로 산정하였다.

산정된 예측정보 임계치와 48시간 해양예측정보를 바탕으로 긴급도에 따른 2단계 조기경보 기준을 수립하였다. 1단계는 1 ~ 24시간 예측정보에서 임계치를 초과하는 경우이고, 2단계는 25 ~ 48시간 예측정보에서 임계치를 초과하는 경우이다. 수립된 조기경보의

기준에 따라 2018년에 발생한 해수범람 사례(Table 2)에 대해 예측 임계치의 정확도 분석을 수행하였으며, 검증 결과는 발생유무를 맞힌 ‘예측’과 맞지 못한 ‘오경보’로 분류하였다. ‘예측’은 해수범람의 발생을 예측한 ‘발생예측’과 해수범람의 미발생을 예측한 ‘미발생 예측’으로 하위 분류하였으며, ‘오경보’는 해수범람이 발생했지만 경보를 표출하지 않은 ‘미경보’, 해수범람이 발생하지 않았지만 경보를 표출한 ‘과경보’, 해당 협역이 아닌 광역 또는 인접 협역에서의 해수범람을 예측한 ‘인접 경보’와 해당 기간이 아닌 발생일 +2일 이내의 해수범람을 예측한 ‘기간내 경보’로 하위분류하였다(Table 3).

Table 2. Coastal inundation occurrence in 2018

Date of coastal inundation	The report of coastal inundation survey in 2018		
	11th August	12th August	13th August
Occurrence Area	West-JS : 2 South-GN : 1 Northwest-JJ : 1	Baengneong-do : 1 CN : 1 West-JS : 2 South-GN : 1 Northwest-JJ : 1	Baengneong-do : 1 CN : 1
The number of occurrence	4	6	2
Total		12	

Table 3. Classification of the verification for coastal inundation thresholds

Classification		Criteria for classification
True	occurrence	Predict the occurrence of coastal inundation
	non occurrence	Predict the non-occurrence of coastal inundation
False	non warning	Occur the coastal inundation, but warning didn't occur
	over warning	Not occur the coastal inundation, but warning occur
	near-area warning	Predict the occurrence of coastal inundation near area
	near-time warning	Predict the occurrence of coastal inundation near 2 days

3. 연구 결과 및 토의

3.1 해수범람 임계치 산정 결과

최적화를 통해 산정된 권역별 유형별 예측정보 해수 범람 임계치를 Table 8에 첨부하였으며, 인천-평택 협역의 산정결과를 대표로 나타내었다(Table 3~5) 인천-평택 협역의 해수범람은 조석/기압/바람 유형, 조석/기압 유형, 조석 유형, 총 3가지로 나타났다. 먼저, 조석/기압/바람 유형의 해수범람 임계치는 인천 조위관측소의 조위 932 cm 이상, 수온 25.8 °C 이상, 안산 조위관측소의 기온 22.7 °C 이상, 기압 1010 hpa 이하로 나타났고, 해당 유형의 임계치를 최적화를 통해 예측 정보 임계치로 변환한 결과를 Table 3에 나타내었다. 인천 조위관측소의 조위 932 cm는 최적화 구간 중 0.98에 해당하는 값으로, 예측정보 최적화 구간 중

0.98에 해당하는 974.8 cm가 예측정보 조위 임계치로 산정되었다. 25.8 °C 의 인천 조위관측소 수온 임계치는 0.92의 최적화 구간으로 동일 구간의 예측정보는 26.1 °C로 나타났고, 같은 방식으로 안산 조위관측소의 기온 22.7 °C 이상, 기압 1010 hpa 이하는 기온 20.4 °C 이상, 기압 1007 hpa 이하의 예측 임계치로 변환되었다(Table 4).

조석/기압 유형의 해수범람 임계 정보는 인천 조위 관측소의 조위 906 cm 이상과 수온 21.4 °C 이상, 안산 조위관측소의 기압 1005.3 hpa 이하이다. 먼저, 조위 임계치로 산정된 인천 조위관측소의 조위 범위는 앞선 조석/기압/바람 유형과 동일하며, 임계치인 906 cm를 0 ~ 1의 값으로 최적화하면 0.953로 나타났다. 통합 해양예측정보의 대상영역 조위값 중 0.953에 해당하는 값은 953.4 cm이므로 해당 유형의 예측정보 조위 임계치는 953 cm로 산정하였다. 수온과 기압 역

Table 4. Coastal inundation thresholds of Tide/Press/Wind type in Incheon-Pyengtak area

data sort	data type	Normal distribution											
tide	div.	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	0.98	1
	OBS	-35	62	161	264	359	458	556	656	754	853	932	952
	M	168	250	332	415	497	579	661	744	826	909	975	991
OBS 932.5 cm (0.98) -> Model 974.8 cm (0.98)													
sea temp	div.	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	0.92	1
	OBS	3.4	5.8	8.2	10.7	13.1	15.5	18.0	20.4	22.8	25.3	25.8	27.7
	M	1.6	4.2	6.9	9.5	12.2	14.9	17.5	20.2	22.8	25.5	26.1	28.1
OBS 25.8 °C (0.922) -> Model 26.1 °C (0.922)													
air temp	div.	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.64	0.7	0.8	0.9	1
	OBS	-1.3	2.4	6.2	9.9	13.6	17.4	21.1	22.7	24.9	28.6	32.4	36.1
	M	2.6	5.4	8.2	10.9	13.7	16.5	19.2	20.4	22.0	24.8	27.5	30.3
OBS 22.7 °C (0.64) -> Model 20.4 °C (0.64)													
press	div.	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.46	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
	OBS	991	995	999	1002	1006	1010	1010	1013	1018	1022	1026	1029
	M	991	994	999	1001	1005	1007	1008	1012	1015	1019	1022	1026
OBS 1010.4 hpa (0.456) -> Model 1006.7 hpa (0.456)													

Table 5. Coastal inundation thresholds of Tide/Press type in Incheon-Pyengtak area

data sort	data type	Normal distribution											
tide	div.	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	0.95	1
	OBS	-35	62	161	264	359	458	556	656	754	853	906	952
	M	168	250	332	415	497	579	661	744	826	909	953	991
OBS 906 cm (0.98) -> Model 953.4 cm (0.95)													
sea temp	div.	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.74	0.8	0.9	1
	OBS	3.4	5.8	8.2	10.7	13.1	15.5	18.0	20.4	21.4	22.8	25.3	27.7
	M	1.6	4.2	6.9	9.5	12.2	14.9	17.5	20.2	21.3	22.8	25.5	28.1
OBS 25.8 °C (0.922) -> Model 26.1 °C (0.922)													
air temp	div.	0	0.1	0.2	0.3	0.38	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
	OBS	991	995	999	1002	1005	1006	1010	1013	1018	1022	1026	1029
	M	991	994	999	1001	1004	1005	1008	1012	1015	1019	1022	1026
OBS 25.8 °C (0.922) -> Model 26.1 °C (0.922)													

Table 6. Coastal inundation thresholds of Tide type in Incheon-Pyengtak area

data sort	data type	Normal distribution											
tide	div.	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	0.95	1
	OBS	-35	62	161	264	359	458	556	656	754	853	906	952
	M	168	250	332	415	497	579	661	744	826	909	953	991
OBS 906 cm (0.98) -> Model 953.4 cm (0.95)													
sea temp	div.	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.61	0.7	0.8	0.9	1
	OBS	-3.6	0.3	4.3	8.2	12.2	16.1	20.1	20.6	24.0	28.0	31.9	35.9
	M	2.6	5.4	8.2	10.9	13.7	16.5	19.2	19.6	22.0	24.8	27.5	30.3
OBS 20.6 °C (0.613) -> Model 19.6 °C (0.613)													
air temp	div.	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.82	0.9	1
	OBS	5.7	8.0	10.3	12.7	15.0	17.3	19.7	22.0	24.3	24.7	26.7	29
	M	1.6	4.2	6.9	9.5	12.2	14.9	17.5	20.2	21.8	22.7	25.5	28.1
OBS 20.6 °C (0.640) -> Model 18.6 °C (0.640)													

시 같은 방식으로 최적화하였으며 수온은 21.3 °C 이상, 기압은 1003.9 hpa 이하로 나타났다(Table 5).

조석 유형의 해수범람 임계 정보는 인천 조위관측소의 조위 906 cm 이상과 기온 20.6 °C 이상, 안산 조위관측소의 수온 24.7 °C 이상이다. 세 임계정보의 범위는 모두 앞선 유형과 동일하고, 해당 임계치를 최적화하여 변환하면 조위 953.4 cm(0.95), 기온 19.6 °C (0.61), 수온 22.7 °C(0.82)로 나타났다(Table 6).

3.2 정확도 분석 결과

2018년 해수범람 발생 당시의 예측정보를 활용하여 임계치의 활용성을 검증한 결과를 아래 Fig. 3 ~ 6에 나타내었다. 경보협역의 변화는 Fig. 1과 Table 1에 나타난 해양예보구역도에 근거하며 결과분류는 Table 3와 같이 발생예측, 미발생예측, 미경보, 과경보, 인접경보, 기간내경보, 6가지로 구분하였다. 2018년의 해수범람은 8월 11일부터 13일까지의 기간 중에 발생하였으며, 48시간 이전 조기경보의 활용성을 파악하기 위해 2일 이전인 8월 9일 ~ 8월 12일의 예측정보를 활용하였다.

3.2.1 8월 9일

8월 9일 예측 결과는 총 7개 협역에서 24시간 내 발생, 9개 협역에서 48시간 내 경보가 발생하였고, 7개협역에서 24시간/48시간 내 중복 경보가 발생하였다. 이중 실제로 해수범람이 발생한 사례는 48시간 후(8월 11일)의 완도 회진항(10협역), 부산 대변항(15협역), 제주 이호동(19, 20협역)으로 총 46개의 협역 경보(23협역, 2일 경보) 중 발생예측 4회, 미발생예측 30회, 과경보 3회, 인접 경보 6회, 기간내 경보 3회를 나타냈다.

3.2.2 8월 10일

총 11개 협역에서 24시간 내 경보가 발생하였고, 19개 협역에서 48시간 내 경보가 발생하였다. 이중 실제 해수범람 발생 사례는 24시간 후(8월 11일)의 완도 회진항(10협역), 부산 대변항(15협역), 제주 이호동(19, 20협역)과 48시간 후(8월 12일)의 백령도 선진포(1협역), 충남 보령(5협역), 전남서부 완도(10협역), 제주 이호동(19, 20협역)으로 총 46개의 협역 경보 중 발생예측 10회, 미발생예측 16회, 과경보 6회, 인접 경보 14회를 나타냈다.

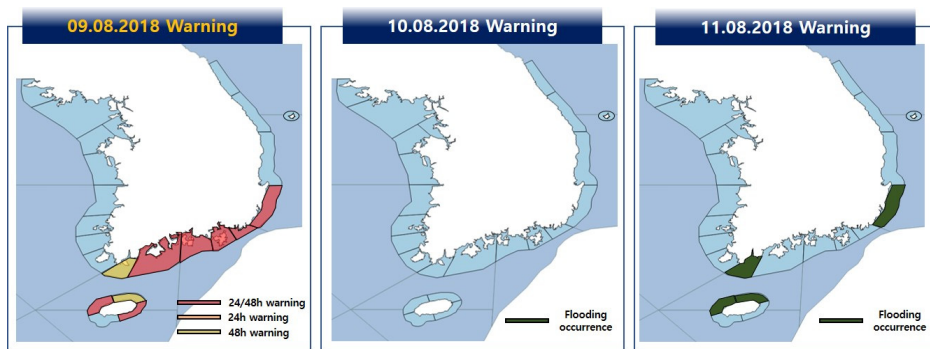


Figure 3. The diagram of coastal inundation prediction in 09-Aug.

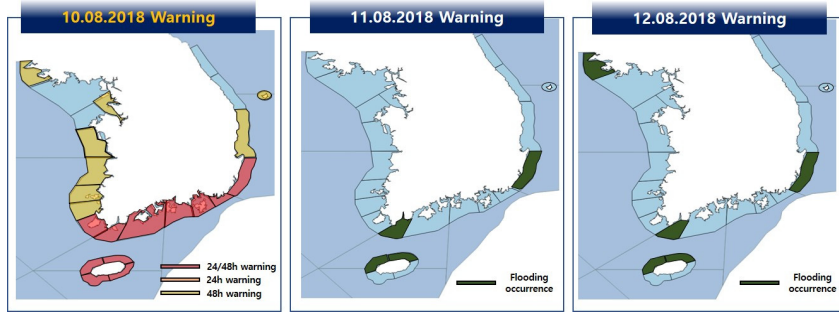


Figure 4. The diagram of coastal inundation prediction in 10-Aug.

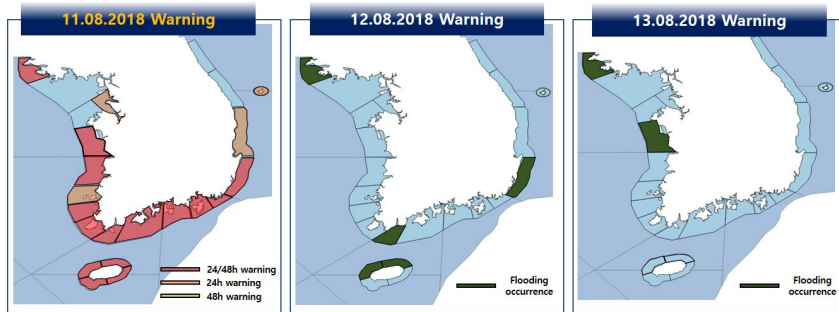


Figure 5. The diagram of coastal inundation prediction in 11-Aug.

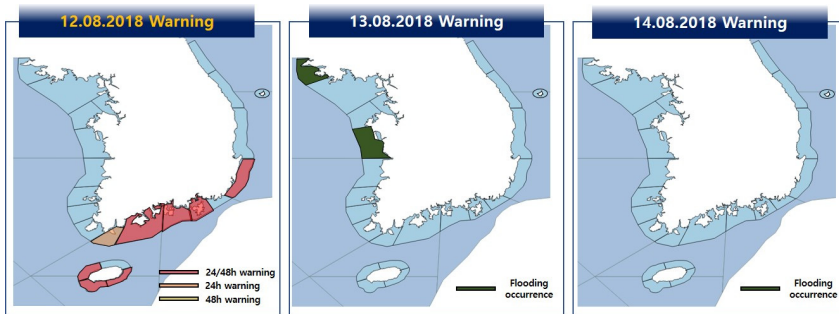


Figure 6. The diagram of coastal inundation prediction in 12-Aug.

Table 7. The results of coastal inundation prediction in 09-Aug(The bold text of the warning area is area where coastal inundation occurred).

Warning		Result of prediction		
prediction time	warning area	Occurrence area	classification of result	
in 24h	11, 12, 13, 14, 15, 20, 22	-	occurrence	0
			non occurrence	16
			non warning	0
			over warning	2
			near-area warning	2
			near-time warning	3
in 48h	10, 11, 12, 13, 14, 15, 19, 20, 22	10, 15, 19, 20	occurrence	4
			non occurrence	14
			non warning	0
			over warning	1
			near-area warning	4
			near-time warning	0

Table 8. The results of coastal inundation prediction in 10-Aug.

Warning		Result of prediction		
prediction time	warning area	Occurrence area	classification of result	
in 24h	9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 19, 20, 21, 22	10, 15, 19, 20	occurrence	4
			non occurrence	12
			non warning	0
			over warning	2
			near-area warning	5
			near-timewarning	0
in 48h	1, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 19, 20, 21, 22, 23	1, 5, 10, 15, 19, 20	occurrence	6
			non occurrence	4
			non warning	0
			over warning	4
			near-area warning	9
			near-timewarning	0

Table 9. The results of coastal inundation prediction in 11-Aug.

Warning		Result of prediction		
prediction time	warning area	Occurrence area	classification of result	
in 24h	1, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 19, 20, 21, 22, 23	1, 5, 10, 15, 19, 20	occurrence	6
			non occurrence	4
			non warning	0
			over warning	4
			near-area warning	9
			near-timewarning	0
in 48h	1, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 19, 20, 21, 22	1, 5	occurrence	2
			non occurrence	8
			non warning	0
			over warning	12
			near-area warning	1
			near-timewarning	0

Table 10. The results of coastal inundation prediction in 12-Aug.

Warning		Result of prediction		
prediction time	warning area	Occurrence area	classification of result	
in 24h	10, 11, 12, 13, 15, 20, 21, 22	1, 5	occurrence	13
			non occurrence	2
			non warning	8
			over warning	0
			near-area warning	0
			near-timewarning	0
in 48h	11, 12, 13, 15, 20, 21, 22	-	occurrence	0
			non occurrence	16
			non warning	0
			over warning	7
			near-area warning	0
			near-timewarning	0

3.2.3 8월 11일

해수범람 조기경보체계의 8월 11일 예측 결과는 총 19개 협역에서 24시간 내 경보, 15개 협역에서 48시간 내 경보가 발생하였다. 이중 실제로 해수범람이 발생

한 사례는 24시간 후(8월 12일)의 백령도 선진포(1협역), 충남 보령(5협역), 전남서부 완도(10협역), 경북남부 대변항 (15협역), 제주 이호동(19, 20협역)과 48시간 후(8월 13일)의 백령도 선진포(1협역), 충남 보령(5

Table 11. The total result of coastal inundation prediction in 2018

date		08/09		08/10		08/11		08/12		total
warning time		24	48	24	48	24	48	24	48	
True	occurrence	0	4	4	6	6	2	0	0	22
	non occurrence	16	14	12	4	4	8	13	16	87
False	non warning	0	0	0	0	0	0	2	0	2
	over warning	2	1	2	4	4	12	8	7	40
	near-area warning	2	4	5	9	9	1	0	0	30
	near-timewarning	3	0	0	0	0	0	0	0	3
Accuracy rate (%)		0.0	44.4	36.4	31.6	31.6	13.3	0.0	0.0	22.7
Prediction rate (%)		69.6	78.3	69.6	43.5	43.5	43.5	56.5	69.6	59.2
Associative prediction rate (%)		91.3	95.7	91.3	82.6	82.6	47.8	56.5	69.6	77.2

협역)로 총 8건의 해수범람이 발생하였다. 총 46개의 협역 정보 중 발생예측 8회, 미발생예측 12회, 과경보 16회, 인접 정보 10회를 나타냈다.

3.2.4 8월 12일

해수범람 조기경보체계의 8월 12일 예측 결과는 총 8개 협역에서 24시간 내 경보, 7개 협역에서 48시간 내 경보가 발생하였다. 예보 협역 중 실제 해수범람은 나타나지 않았고, 예보협역이 아닌 백령도 선진포(1협역), 충남 보령(5협역)에서 24시간 후인 13일에 해수범람이 발생하였다. 예측 결과는 총 46개의 협역 정보 중 미발생예측 29회, 미경보 2회, 과경보 15회를 나타냈다.

4일간(2018.08.09. ~ 12.)의 해수범람 예측결과는 23개 협역 총 184회의 정보 중 109회 예측(발생예측+미발생예측)에 성공하며 59.2%의 정확도를 보였다. 유의미한 예측결과인 인접정보와 기간내 경보를 포함한 연관예측률은 77.2%로 나타났다. 또한, 경보가 울리지 않은 미발생예측을 제외한 순수 해수범람 예측인 적중

률은 22.7%로 나타났다.

3.3 사례검증 결과

2019년의 해수범람 관련 자료를 바탕으로 조기경보체계의 활용성을 검증하였다. 2019년에는 해수범람 발생이력이 집계되지 않아, 언론에 발표된 2건의 해수범람 사례가 발생한 7월, 8월 대조기와 태풍 3건이 발생한 시기의 실시간 고조정보를 활용하여 검증하였다.

Table 12. The cases related coastal inundation in 2019

Classification	Date and case name
Real case	19. 07. 05 Ocheon-port in Chung-nam area
	19. 08. 03 Somuido in Incheon-Pyeongtaek area
Typhoon	19. 07. 20 No.5 - DANAS
	19. 09. 06 No.13 - RINGRING
	19. 10. 01 No.18 - MITAG

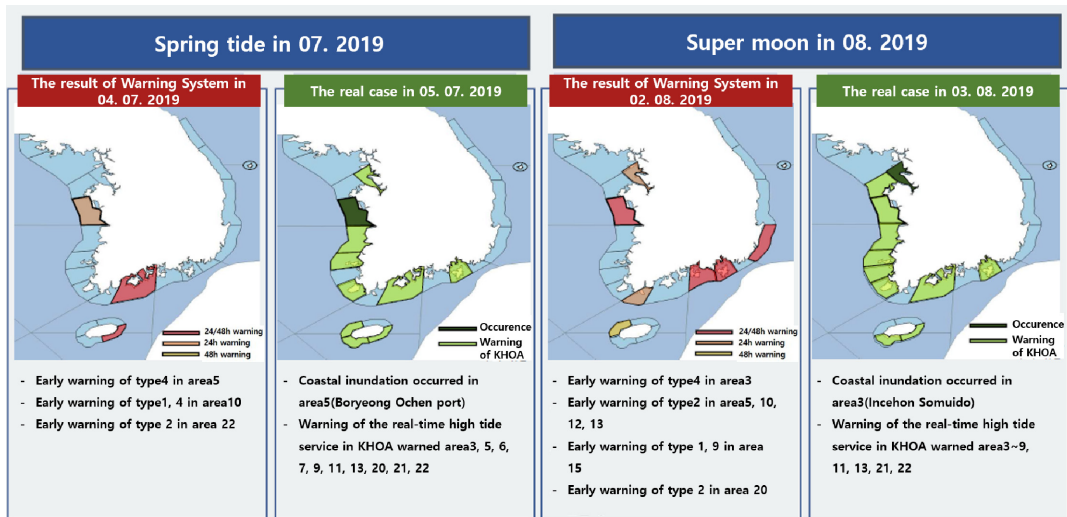


Figure 7. The diagram of coastal inundation prediction to real case in 2019

3.3.1 대조기

2019년 7월 5일 충남협역 보령 오천항과 8월 3일 인천평택협역 소무의도에서 해수범람이 발생하였다. 해당 시기는 모두 대조기로 발생 하루 전의 조기경보체계 정보결과를 검증하였다(Fig. 7).

충남협역의 보령 오천항에서 해수범람이 발생한 2019년 7월 5일의 1일 전인 7월 4일의 조기경보체계는 충남협역에서 24시간 이내에 해수범람이 발생하고, 전남동부와 제주남동 협역에서 1~48시간에 해수범람이 발생할 것이라고 예측하였다. 실제로 다음날인 7월 5일 충남협역에서 해수범람이 발생하였고, 국립해양조사원의 실시간 고조정보 서비스 역시 충남협역에서 위험경보를 전남동부와 제주남동협역에서 주의 경보를 울리며 조기경보체계와 유사한 결과를 나타내었다. 2019년 8월 3일에 인천-평택 협역 소무의도에서 해수범람이 발생했으며, 하루 전인 8월 2일의 조기경보체계 정보 결과를 검증하였다. 조기경보체계는 8월 2일 인천-평택 협역과 전남서부, 제주북서 협역에서 24시간 이내에 해수범람이 발생한다고 예측하였고, 경남서부, 경남중부, 경북남부에서 1~48시간에 해수범람이 발생한 것으로 예측하였다. 실제로 8월 3일 소무의도에서 해수범람이 발생하였고, 서남해안일대와 제주남쪽 해역에서 실시간 고조정보 서비스의 주의 경보가 발생하며 조기경보체계의 활용성을 나타내었다.

3.3.2 실제 위험사례(태풍)

해수범람이 발생유무는 확인되지 않았지만 발생가능성이 큰 3개의 태풍을 대상으로 조기경보체계의 활용성을 검증하였다. 2019년 제 5호 태풍인 다나스(2019년 7월 20일), 제 13호 태풍 링링(2019년 9월 6일)과 제 18호 태풍 미탁(2019년 10월 1일)을 대상으로 하였고, 정보결과와 태풍접근 및 실시간 고조정보 서비스 결과를 비교하였다(Fig. 8).

다나스가 접근한 7월 20일의 조기경보체계는 제주남동 협역에서 태풍으로 인한 경보가 발생되었고, 경

북북부 협역에서 조석, 기압, 파고에 의한 경보가 발생하였다. 이 경보는 다나스의 경로와도 일치하며, 해당일의 실시간 고조정보 서비스 역시 울산관측소의 위험경보를 나타내었다. 링링이 접근한 9월 6일에는 울릉도 협역에서만 조석, 기압, 강풍으로 인한 경보가 발생하였다. 태풍이 내습한 시기가 소조기로 일 최고위가 높지 않아 다른 해역에서는 경보가 발생하지 않은 것으로 나타났고, 실시간 고조정보 서비스 역시 거제도 지역에만 주의 경보를 나타내었다. 미탁이 접근한 10월 1일에는 전남서부, 경남동부 협역에서 조석, 기압, 강풍으로 인한 경보와 경남남부에서 조석, 기압, 강풍으로 인한 경보가 발생하였다. 또한, 경북북부, 울릉도 협역에서 태풍으로 인한 경보, 제주남동 협역에서 조석, 기압으로 인한 경보가 발생하였다. 태풍이 조위가 높은 대조기에 내습하며 태풍의 영향권에 있는 해역에서 해수범람 발생 경보를 나타내었고, 실시간 고조정보 서비스도 흑산도, 인천, 성산포, 군산에서 경계 이상의 경보를 나타내었다.

3.4 토의

2018년 8월 10일부터 13일 사이에 발생한 실제 해수범람 사례와 2019년의 대조기 및 태풍 상황에서의 조기경보체계의 정보결과를 분석하였다. 먼저, 실제 발생한 11일 4건, 12일 5건, 13일 2건의 실제 사례를 정확하게 예측하며, 높은 활용성을 보였다. 하지만 실제 해수범람이 발생하지 않은 지역에서의 경보가 2건, 인접한 지역에서의 경보(인접 경보)도 30건으로 나타나며 과경보하는 경향을 보였다. 해수범람의 원인 중 가장 큰 비중을 차지하는 해수면 높이는 조석의 영향에 의해 변동하는데 인접지역 간에는 조석의 위상 및 높이가 유사하므로 이는 유의미한 결과라고 볼 수 있다. 또한, 해수범람 발생 집계가 발표되지 않았지만 발생 위험이 높은 백중사리 대조기와 태풍의 조기경보결과도 해수범람이 발생할 위험이 있다고 예측하였다.

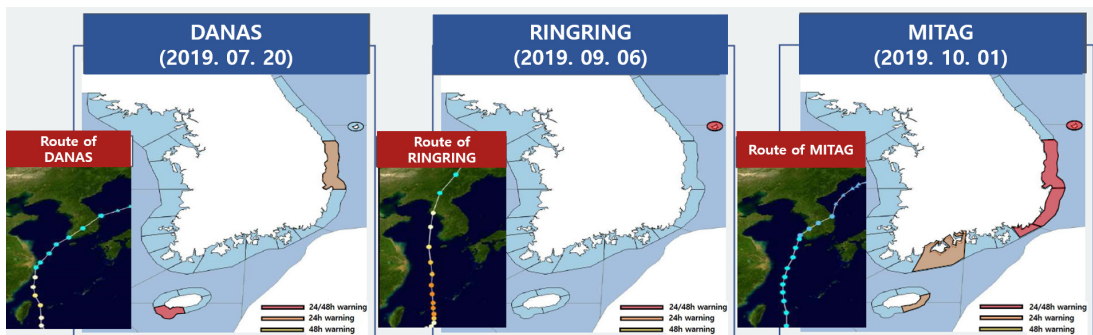


Figure 8. The diagram of coastal inundation prediction to typhoon case in 2019

이는 조기경보체계에 활용되는 수치예측정보가 해양 현상을 잘 재현하고 이를 통해 조기경보체계도 해황의 변화에 잘 반응한다고 볼 수 있으며, 실제 발생할 수 있는 해수범람의 위험성을 사전에 파악할 수 있을 것으로 나타났다.

4. 결론

국립해양조사원 해수범람 관측 임계치와 통합 해양 예측정보를 활용하여 48시간 전에 해수범람 현상을 인지할 수 있는 예측정보 임계치 산정 및 조기경보체계 구축 방안에 대해 제시하였고, 정확도 분석 및 사례 검증 등을 통해 조기경보체계의 활용도를 나타내었다. 그 결과 59.2%(적중률 22.7%)의 정확도와 77.2%의 연관 정확도를 나타냈다. 미발생 예측을 제외한 적중률은 22.7%로 상대적으로 낮게 나타났지만, 인접 기간 및 권역의 해수범람을 인지할 수 있는 연관정확도는 77.2%로 나타났다. 또한, 2019년 2건의 실제 해수범람 발생사례와 3건의 태풍시기의 조기경보체계 역시 해수범람이 발생한 해역에서 경보를 나타내고, 실제 태풍으로 인한 해수범람 위험성을 재현하며 해수범람 관련 의사결정에 높은 활용도를 보였다.

조기경보체계는 실제 해수범람이 발생하는 관측 임계치와 예측정보를 최적화한 값으로 해수범람을 예측하기 때문에 관측정보의 임계치 만큼이나 예측정보의 정확성이 매우 중요하다. 따라서 더 높은 정확도를 보일 수 있도록 예측정보를 생산·개선한다면, 조기경보체계의 활용성을 더 높일 수 있을 것으로 판단된다.

또한, 본 연구는 입력정보로 활용된 해수범람 사례가 국립해양조사원의 침수조사보고서와 한국국토정보공사의 침수흔적도 자료에 한정되어 있고, 이 역시 특정기간의 현장조사 결과만 포함되었다는 한계점을 담고 있다. 하지만 이를 보완하기 위해 입력정보로 활용할 수 있는 해수범람 사례 정보를 확대하고, 더 고도화된 분류기법을 활용하여 임계치를 개선한다면 더 높은 정확도의 조기경보체계의 구축하여 해수범람에 의해 발생하는 인적·물적 피해를 감소시킬 수 있을 것으로 판단된다.

References

1. Cho, Y. S., Seo, S. W. 2001. Estimation of Maximum Inundation Zone due to Tsunamis with Moving Boundary. *Journal of Korean Society of Coastal and Ocean Engineers*, 13(2), 100-108.
2. Cho, K. H., Eom, D. Y., Park, J. S., Lee., B. H., & Choi, W. J. 2021. Classification and Analysis of Korea Coastal Flooding Using Machine Learning Algorithm. *The Sea Journal of the Korean Society of Oceanography*, 26(1), 1-10.
3. Choi, B. H. 2004. The highest tide of the west coast of Korea. *Korean Society of Coastal and Ocean Engineers* (2004): 145-154.
4. Gang, O. R. 2012. "Review-Disaster mapping and utilization plan." *Disaster Prevention Review* 14.3 : 88-100.
5. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2001. *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Cambridge Univ. Press. 1032pp
6. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2013. *IPCC 5th Assessment report*.
7. KHOA (Korea Hydrographic and Oceanographic Agency). 2011. *Result report of developing a coastal disaster assessment system*
8. KMI (Korea Maritime Institute). 2015. *A study on coastal safety assessment measures against natural disaster*
9. Liu, G., Rauen Zahn, J. L., Heron, S. F., Eakin, C. M., Skirving, W. J., Christensen, T., ... & Li, J. 2013. NOAA coral reef watch 50 km satellite sea surface temperature-based decision support system for coral bleaching management.
10. Moon, S. R., Park, S. J., Kang, J. W., & Yoon, J. T. 2006. Numerical simulations of storm surge/coastal flooding at Mokpo coastal zone by MIKE21 model. *Journal of Korean Society of Coastal and Ocean Engineers*, 18(4), 348-359.
11. Moon, S. R., Kang, T. S., Nam, S. Y., & Hwang, J. 2007. A study on scenario to establish coastal inundation prediction map due to storm surge. *Journal of Korean Society of Coastal and Ocean Engineers*, 19(5), 492-501.
12. Ozer, J., Padilla-Hernández, R., Monbaliu, J., Fanjul, E. A., Albiach, J. C. C., Osuna, P., ... & Wolf, J. 2000. A coupling module for tides, surges and waves. *Coastal Engineering*, 41(1-3), 95-124.
13. Park, S., & Lee, S. R. 2013. Marine disasters prediction system model using marine environment monitoring. *The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences*, 38(3), 263-270.

14. Park, S. J., Kang, J. W., Moon, S. R., & Yoon, J. T. 2009. Applicability on Inundation for Hydrodynamic Models adopting Moving Boundary Scheme. *Journal of Korean Society of Coastal and Ocean Engineers*, 21(2), 164-173.
15. Park, S. J., Kang, J. W., Moon, S. R., & Kim, Y. S. 2011. Simulation of inundation at Mokpo City using a coupled tide-surge model. *Journal of Korean Society of Coastal and Ocean Engineers*, 23(1), 93-100.
16. Yoon, J. J. 2015. Boryeong Coastal Seawater Flood Damage Issues and Countermeasures. *Chungcheongnam-do Climate Information Briefing No. 7*

Table 13. The thresholds of coastal inundation by area and type (Type 1 - tide, press, wind / Type 2 - tide, press, type / Type 3 - tide, wind / Type 4 - tide / Type 5 - press, wind / Type 6 - press / Type 7 - wind / Type 8 - Unknown / Type 9 - typhoon)

area	type	1 st		2 nd		3 rd		4 th		5 th	
		OBS	Model	OBS	Model	OBS	Model	OBS	Model	OBS	Model
1	1	tide>932.5	> 749.9	press<1011	< 1012.7	w.speed>2.3	> 2.7				
	2	tide>932.5	> 749.9	press<1006.9	< 1008.5	175<w.dir<25	175<w.dir<25				
	4	tide>690	> 585.7	w.dir<286	< 286	w.speed>1.2	< 1.4	w.height>1.7	> 1.8		
2	4	tide>886	> 820	w.period<8	< 6.8	s.temp>19.8	> 17.3	w.dir<125.8	< 125.8	w.dir>260	> 260
3	1	tide>932.5	> 750.6	a.temp<22.7	< 17.7	s.temp>25.8	> 23.7	press<1008.4	< 1007.3		
	2	tide>886	> 719.1	press>1005.3	< 1004.3	s.temp>21.4	> 19.3	a.temp<26.8	< 20.2		
	4	tide>902.5	> 729.8	s.temp>24.7	> 22.7	a.temp>20.6	> 16.5				
4	1	tide>755	> 698	press<1014	< 1015.7	w.speed>2.5	> 1.9				
	2	tide>755	> 698	press<1007	< 1008.5	a.temp<24.7	< 18.9				
5	1	tide>708	> 638.18	w.speed>7.5	> 6.8						
	2	tide>690	> 617.85	press<1007.1	< 1008.7	tide>770.5	-				
	4	tide>690	> 617.85	press>1022.1	> 1023.7	a.temp<10.6	< 9.74				
	9	tide>764	> 689.15	s.temp>17.8	> 14.6	a.temp>18.1	> 12.57				
6	1	tide>725	> 681.5	s.temp>25	> 26.7	press<1011.3	< 1011.9	a.temp>22.8	> 22.1		
	2	tide>746.5	> 697.7	press<1001.6	< 1001.7	a.temp<25	< 23.9				
7	1	tide>755	> 698	press<1014	< 1015.7	w.speed>2.5	> 1.9				
	2	tide>755	> 698	press<1007	< 1008.5	a.temp<24.7	< 18.9				
8	1	tide>486	> 316.8	w.period<5.9	> 5.9	s.temp>24.3	> 25.5	w.period<4.5			
	2	tide>486	> 316.8	press>1007.5	< 1007.4	w.speed>2.7	> 2.5	s.temp>21.5	> 22.6		
9	1	tide>380	> 420.1	press<1008.9	< 1009.1	a.temp>22.6	> 21.75				
	2	tide>380	> 420.1	s.temp>21.8	> 21.9	salinity>31	*exception				
	9	press>994.6	< 994.2	salinity<29.6	*exception	w.speed>9.6	> 7.4	tide>360	> 400.5		
10	2	tide>401	> 434.7	s.temp>15.8	> 16.1	a.temp>16.7	> 17.5	press<1015.1	< 1016.3		
	3	tide>401	> 434.7	press<1016.6	< 1017.8	a.temp>21.8	> 20.2	w.speed>2.8	> 2.6		
	4	tide>401	> 434.7	a.temp>28.9	> 24.1	press>1015.4	> 1016.6				
11	2	s.temp>24.7	> 26.5	tide>376	> 383.7	press<1008.7	< 1008.7				
	9	press<991	< 990	tide>362	> 370.5						
12	1	w.period<3.5	< 3.5	tide>290.5	> 293.1	s.temp>25	> 25				
	2	tide>258	> 263.8	a.temp>20.4	> 23.7	s.temp>24.7	> 24.7	press<1012.3	< 1009.9		
	4	tide>256	> 262	s.temp>25	> 25	press>1010.75	> 1007.5				
	9	w.period<4.8	< 4.7	w.height>1	> 1.1	s.temp>23.8	> 23.8				
13	1	tide>226.5	> 203	press<1008.9	< 1008.6	w.speed>3.7	> 3.5	s.temp>26.1	> 26.8	a.temp>22.9	> 24
	2	tide>182	> 167.4	s.temp>22.1	> 22.4	press<1011	< 1010.9	a.temp>19.4	> 23.3		
	4	s.temp>27.3	> 27.5	tide>280	> 245.7	press>1010.6	> 1010.4				
	6	a.temp>27	> 26.7	tide>280	> 245.7	press<1005.9	< 1009.5				
	9	salinity<27.8	*exception	s.temp>25.1	> 25.6	tide>280	> 245.7	a.temp>21.9	> 24.4	w.speed>8.7	
14	2	tide>103	> 137.2	press<1005.6	< 1003.6	a.temp>20.4	> 22.7	s.temp>18.4	> 19		
	4	s.temp>25	>25.6	tide>103	> 137.2	press>1011	> 1009.5	a.temp>23.4	> 24.3	w.speed>0.4	
	9	salinity<30.1	*exception	press<1005.9	< 1003.9	s.temp>22.9	> 23.1	tide>103	> 137.2	w.speed>1.7	
	1	1016.5<hpa<1019.6	1014.1<hpa<1017.3	tide>60.8	> 82.7	w.speed>3.8	> 3.6				
15	4	s.temp>21	> 22.4	salinity<31.7	*exception	tide>60.8	> 82.7				
	9	s.temp>23.9	> 24.9	a.temp<22.8	< 23.0	tide>60.8	> 82.7	press<1012.4	< 1009.8	salinity<30.8	*exception
	1	press<1010	< 1007.4	w.speed>11.7	> 9.5	s.speed>12.8	> 12.8				
16	2	tide>60.8	> 82.7	press>1013.7	> 1011.2	w.height>1.4	> 1.5	s.temp>21.5	> 22.8		
	4	tide>60.8	> 82.7	w.height>1.1	> 1.2	w.speed>4.2	> 4.1				
	9	tide>60.8	> 82.7	press<1015.3	< 1012.8	w.height>3.1	> 3.2	w.speed>5.3	> 5.1		
	1	press<1010	< 1007.4	w.speed>11.7	> 9.5	s.speed>12.8	> 12.8				
17	2	tide>60.8	> 82.7	press>1013.7	> 1011.2	w.height>1.4	> 1.5	s.temp>21.5	> 22.8		
	4	tide>60.8	> 82.7	w.height>1.1	> 1.2	w.speed>4.2	> 4.1				
	9	tide>60.8	> 82.7	press<1015.3	< 1012.8	w.height>3.1	> 3.2	w.speed>5.3	> 5.1		
18	1	tide>71.5	> 132.9	w.speed>2.1	> 2.1	press<1000.7	< 9992.9	salinity<31.45	*exception		
19	2	tide>401	> 434.7	s.temp>15.8	> 16.1	a.temp>16.7	> 17.5	press<1015.1	< 1016.3		
	3	tide>401	> 434.7	press<1016.6	< 1017.8	a.temp>21.8	> 20.2	w.speed>2.8	> 2.7		
	4	tide>401	> 434.7	a.temp>28.9	> 24.1	press>1015.4	> 1016.6				
20	2	tide>401	> 434.7	s.temp>15.8	> 16.1	a.temp>16.7	> 17.5	press<1015.1	< 1016.3		
	3	tide>401	> 434.7	press<1016.6	< 1017.8	a.temp>21.8	> 20.2	w.speed>2.8	> 2.7		
	4	tide>401	> 434.7	a.temp>28.9	> 24.1	press>1015.4	> 1016.6				
	1	tide>223	> 241.3	press<1009	< 1011.7	s.temp>20.8	> 22.3	a.temp>20.3	> 22.3		
21	2	s.temp>26.3	> 28.6	tide>223	> 241.3	press>1009.9	> 1012.7	a.temp>21.4	> 23.0		
	9	w.speed>13.5	> 11.5	a.temp>28	> 27.1	salinity>28.4	*exception	press<999.6	<1001.3		

22	2	tide>223	> 241.3	press<1009	< 1011.7	s.temp>20.8	> 22.3	a.temp>0.3	> 22.3		
	4	s.temp>26.3	> 28.6	tide>223	> 241.3	press>1009.9	> 1012.7	a.temp>21.4	> 23.0		
	9	w.speed>13.5	> 11.5	a.temp>28	> 27.1	salinity<28.4	*exception	press<999.6	<1001.3		
23	1	press<1010	< 1007.4	w.speed>11.7	> 9.5	s.speed>12.8	> 12.8				
	2	tide>60.8	> 82.7	press>1013.7	> 1011.2	w.height>1.4	> 1.5	s.temp>21.5	> 22.8		
	4	tide>60.8	> 82.7	w.height>1.1	> 1.2	w.speed>4.2	> 4.1				
	9	tide>60.8	> 82.7	press<1015.3	< 1012.8	w.height>3.1	> 3.2	w.speed>5.3	> 5.1		