

Article

https://doi.org/10.7850/jkso.2021.26.1.001
pISSN : 1226-2978 eISSN : 2671-8820

기계학습 알고리즘에 기반한 국내 해수범람 유형 분류 및 분석

조건희¹ · 엄대용^{2*} · 박정식³ · 이방희⁴ · 최원진⁵¹올포랜드 대리, ²올포랜드 부장, ³올포랜드 과장, ⁴올포랜드 상무이사, ⁵국립해양조사원 주무관

Classification and Analysis of Korea Coastal Flooding Using Machine Learning Algorithm

KEON HEE CHO¹, DAE YONG EOM^{2*}, JEONG SIK PARK³, BANG HEE LEE⁴ AND WON JIN CHOI⁵¹Assistant Manager, ALLFORLAND, Seoul 08056, Korea²General Manager, ALLFORLAND, Seoul 08056, Korea³Department Manager, ALLFORLAND, Seoul 08056, Korea⁴Managing Director, ALLFORLAND, Seoul 08056, Korea⁵Government Official, Korea Hydrographic and Oceanographic Agency, Busan 49111, Korea*Corresponding author: dyeatmos@all4land.com

Editor Ho Kyung Ha

Received 23 March 2020; Revised 2 December 2020; Accepted 3 December 2020

ABSTRACT

최근 10년(2009년~2018년)간의 해수범람 기록정보와 해양 및 해양기상 관측정보를 수집하고 기계학습 알고리즘을 3종을 종합·활용해 해수범람 유형과 유형별 관측정보의 특징을 분류하였다. 해수범람의 기록정보는 국립해양조사원의 침수조사 보고서와 국토정보공사의 침수흔적도를 통해 수집하였으며 해양 및 해양기상관측 정보는 국립해양조사원과 기상청의 부이, 관측소 정보를 수집하였다. 해수범람 발생 유형 분류는 크게 4개의 유형으로 분류되며 4개의 유형의 조합을 통해 5개의 발생 유형으로 분류하였다. 이 유형은 해양기상 환경에 따라 해수범람의 발생 유형을 구분할 수 있었다. 유형별 주요 특징은 대조기, 저기압, 강풍, 태풍으로 구분되었다. 또한, 지리적인 해양특성을 고려하여 지역 및 유형별 해수범람 발생 판단을 위한 해양요소 임계치를 도출하였다.

In this study, Information for the case of seawater flooding and observation data over a period of 10 years (2009~2018) was collected. Using machine learning algorithms, the characteristics of the types of seawater flooding and observations by type were classified. Information for the case of seawater flooding was collected from the reports of the Korea Hydrographic and Oceanographic Agency (KHOA) and the Korea Land and Geospatial Informatics Corporation. Observation data for ocean and meteorological were collected from the KHOA and the Korea Meteorological Agency (KMA). The classification of seawater flooding incidence types is largely categorized into four types, and into 5 development types through combination of 4 types. These types were able to distinguish the types of seawater flooding according to the marine weather environment. The main characteristics of each was classified into the following groups: tidal movement, low pressure system, strong wind, and typhoon. Besides, in consideration of the geographical characteristics of the ocean, the thresholds of ocean factors for seawater flooding by region and type were derived.

Keywords: Seawater flooding, Machine learning, Types of seawater flooding, Thresholds of ocean factors

1. 서론

우리나라의 해안가 지역은 조수, 태풍, 지진 등 다양한 해양 및 기상환경에 따라 해수범람으로 인한 피해가 발생하고 있다. 특히, 조수와 태풍의 간접영향으로 인한 해수범람 피해가 발생하고 있다. 1997년 8월에 발생한 대조기 기간에 태풍 “WINNIE(9713)”의 영향으로 서해안 일대에 220억 이상의 재산피해가 발생하였다.

이 전부터 국내에 해일 및 범람에 대한 관심으로 연구가 활발하게 이루어져 왔다(Bao *et al.*, 2000; Cheung *et al.*, 2003; Chun *et al.*, 2008; Hur *et al.*, 2006a, 2006b; Kang *et al.*, 2009; Kim *et al.*, 2007; Lee *et al.*, 2008; Li and Zhang, 1997;

Moon *et al.*, 2006, 2007; Ozer *et al.*, 2000; Park *et al.*, 2009, 2011). 특히, 경남해역에서 태풍에 의한 효과 위주로 수치모의를 통한 연구가 이루어지고 있다(Hur *et al.*, 2006a, 2006b; Kang *et al.*, 2009; Moon *et al.*, 2007). Hur *et al.*(2006a, 2006b)는 경남연안에서의 폭풍해일고를 산정하기 위해서 가상 태풍을 활용하여 수치모의 실험을 진행하였다. 이 연구에서는 태풍에 의한 해수범람에 대해 고찰하였으며 같은 경남지역의 해역에서 Kang *et al.*(2009)도 가상태풍을 활용하여 해일의 양상 변화를 고찰하였다. Moon *et al.*(2007)은 마산 해역을 대상으로 현업에 활용할 수 있도록 가상 태풍의 시나리오와 DB를 구축하여 해일고를 예측하였다. 가상의 태풍뿐만 아니라 초오름을 고려하고 마산만에서의 해일에 의한 범람을 모의한 연구도 있다(Chun *et al.*, 2008). Kim *et al.*(2007)은 부산의 해역에서 월파량을 고려하여 침수에 대한 해석을 하였다. 서남해안에서는 수치모형을 활용하여 연구가 이루어졌다(Lee *et al.*, 2008; Moon *et al.*, 2006). Lee *et al.*(2008)은 목포지역에서의 풍파로 인한 해수범람을 모의하여 연구에 활용하였으며 Moon *et al.*(2006)은 목포지역에서 태풍으로 인해 발생한 해일로 해수범람을 모의하였다. 이 밖에도 Bao *et al.*(2000)과 Cheung *et al.*(2003)은 3차원의 바람에 대한 구조와 해류 및 표면파에 대한 수치모형을 통해 범람을 연구하였으며 Li and Zhang(1997)과 Ozer *et al.*(2000)은 파동과 해일을 양방향으로 결합한 수치모형을 통해 연구를 진행하였다. 특히, Park *et al.*(2011)은 조석의 효과를 고려하여 조석 모형과 해일 모형을 결합하여 목포에서의 해수범람을 연구하였다.

해수범람에 대한 연구는 수치모형에 의한 연구가 이루어져 왔으며 태풍, 해일, 조석, 풍파, 바람 등 다양한 현상들과 연계하여 연구가 이루어졌다. 그러나, 최근에 해수범람이 아닌 다른 자연현상의 연구에서는 수치모의를 통한 연구와 달리 관측정보를 활용하여 기계학습 기반의 데이터 마이닝을 활용하는 연구가 이루어지고 있다(Lee *et al.*, 2016; Park and Lee, 2013; Song *et al.*, 2010). 안개, 해무, 적조, 해양재해 등의 현상에 대해 적극적으로 활용하고 있으며 Lee *et al.*(2016)은 데이터 마이닝 기법들을 활용하여 제주지역에서 발생하는 안개 예측에 연구하였으며 Park and Lee(2013)은 기계학습을 활용하여 해양재해 예측 시스템 모델을 구축하였다. Song *et al.*(2010)은 데이터 마이닝 기법 중 사례 기반 추론을 통해 적조 현상의 예측 모니터링을 구축하였다. 기계학습 및 데이터 마이닝 활용의 장점은 관측정보를 최대한 활용하며 관측정보를 기반으로 예측이 가능하다는 것이다.

본 연구에서는 최근 10년간의 해수범람 사례를 수집, 정리하고 해당 기간의 해양관측정보에 기계학습 알고리즘을 적용하여 실시간 조석의 영향과 기상 현상을 고려하고 해수범람 발생 유형을 분류 및 분석하여 해수범람을 판단하고자 하였다.

2. 자료수집 및 연구방법

2.1 연구지역 및 자료수집

우리나라의 해양은 지역적으로 큰 차이를 보이므로 해역별 특성이 고려된 연구를 위해 국립해양조사원의 해양예보구역도를 참고하였다. 해양예보구역도는 해양의 특성에 따라 12개의 구역과 23개의 협역으로 구분되어있다. 본 연구에서는 조석 및 조류의 특성으로 구분된 구역의 예보구역도를 활용하여 권역을 분류하였다. 12개의 구역에서 연안과 인접한 구역은 황해중부(Central Yellow Sea), 황해남부(Southern Yellow Sea), 제주해협(Jeju Straits), 제주남부(Southern Jeju), 대한해협(Korea Straits), 동해남부(Southern East Sea), 동해중부(Central East Sea) 구역으로 총 7개의 구역을 활용하였다. 서해안에 위치한 황해중부, 황해남부 구역은 조석과 조류의 영향이 크고 이상고파의 영향을 받는 지역이다. 제주해협과 제주남부 구역은 조석의 영향이 큰 특징을 가지고 있으며 대한해협, 동해지역은 상대적으로 조류의 영향이 큰 특징을 나타내고 있다. Fig. 1은 본 연구에서 참고한 해양예보구역도를 보여준다.

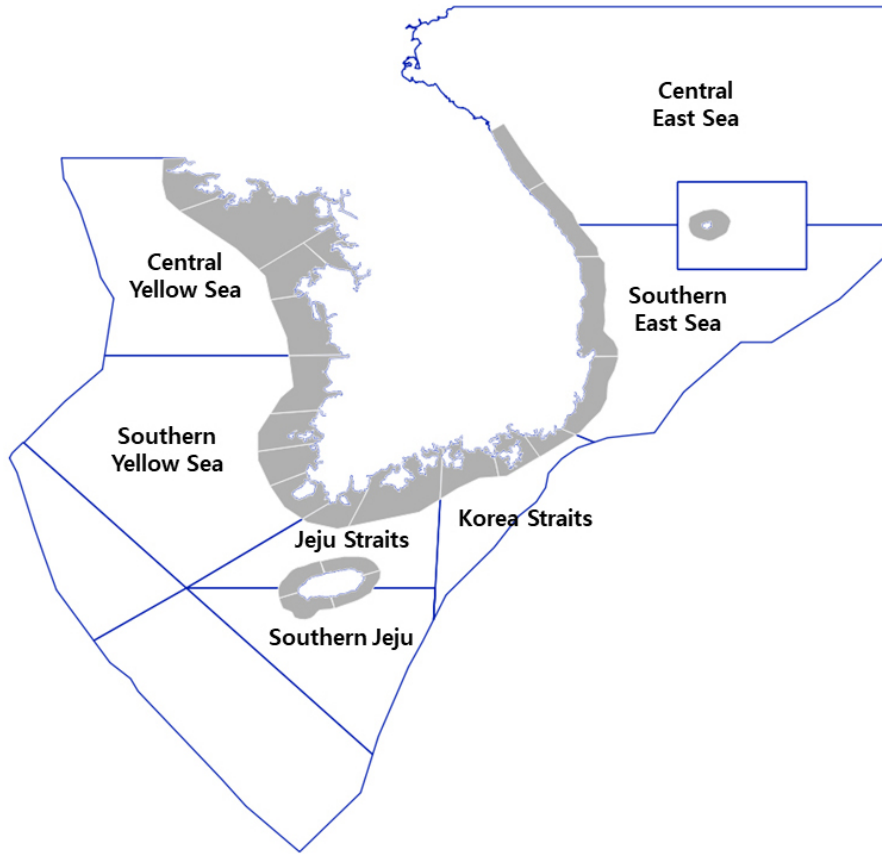


Fig. 1. The Maritime Forecast Zones around South Korea.

구역별로 해양의 특성에 따라 해수범람은 얼마나 발생하였는지 총 10년간의 사례를 수집하여 구역별로 분류하였다(Table 1). 2009년부터 2018년까지 총 10년간의 167건의 사례를 수집하였다. 해수범람 사례를 수집하기 위해 국립해양조사원의 해수 침수 조사 보고서와 한국국토정보공사의 침수흔적도를 참고하였다. 해수침수 조사 보고서에서 157건의 사례를 수집하였고 침수흔적도 사례 중 해수침수 조사 보고서와 중복되지 않는 10건의 사례를 추가 수집하였다.

해수범람은 동해안 지역보다 서해안과 남해안에서 주로 발생함을 알 수 있다. 특히, 대한해협에서 65건으로 가장 많이 발생하였다. 서해안에 인접한 황해중부, 황해남부 구역에서 각각 24, 23건으로 총 47건의 해수범람이 발생하였으며 남해안에 인접한 제주해협 및 대한해협 구역에서 각각 30, 65건으로 총 95건의 해수범람이 발생하였다.

해수범람과 해양 요소와의 상관성 분석을 위해 해양 및 해양기상 관측정보를 수집하였다. 관측정보는 국립해양조사원과 기상청의 관측소, 부이 등의 자료를 수집하였다. 수집한 해양 및 해양기상 요소는 조위, 기압, 풍향, 풍속, 기온, 염분 등으로 총 165지점의 관측소, 부이 등의 관측정보를 수집하였다. 국립해양조사원의 조위관측소 47지점의 정보와 27지점의 해양관측부이, 3지점의 해양관측소, 3지점의 해양과학기지 정보를 수집하였고 기상청에서는 해양기상부이, 등표관측, 파고부이의 정보를 각각 17, 9, 59지점의 정보를 수집하였다(Table 2).

Table 1. Number of seawater floodings in the seven regions

Area	Central Yellow Sea	Southern Yellow Sea	Jeju Strait	Southern Jeju	Korea Strait	Southern East Sea	Central East Sea
Cases	24	23	30	13	65	9	3

Table 2. Type of observation stations and observed factors

Type of Station	Items
Tidal observatory	Water level, Ocean temperature, Salinity, Temperature, Pressure, Wind direction, Wind speed
Ocean observation Buoy	Water current speed, Water current direction, Ocean temperature, Salinity, Wind speed, Wind direction, Temperature, Pressure
Ocean observatory	Water level, Significant wave height, Significant wave period, Maximum wave height, Maximum wave period, Wind speed, Wind direction, Temperature, Pressure
Marine Science Base	Water level, Significant wave height, Significant wave period, Maximum wave height, Wave direction, Water current speed, Water current direction, Ocean temperature, Temperature
Marine Meteorological Buoy	Wind speed, Wind direction, Pressure, Humidity, Temperature, Ocean temperature, Maximum wave height, Significant wave height, Wave height, Wave period, Wave direction
Meteorological observation	Wind speed, Wind direction, Pressure, Temperature, Ocean temperature, Maximum wave height, Significant wave height, Wave period
Digging Buoy	Ocean temperature, Maximum wave height, Significant wave height, Wave height, Wave period

2.2 연구방법

본 연구에서 해수범람과 해양 및 해양기상 관측정보와의 연관성 분석을 위해 기계학습을 활용하였다. 기계학습의 방법 중 의사결정 나무(Decision Tree)와 랜덤 포레스트(Random Forrestr), 서포트 벡터 머신(Support Vector Machine)의 각 결과를 도출하고 종합하여 정리하였다. 의사결정 나무, 랜덤 포레스트, 서포트 벡터 머신의 기법은 분류에 특화된 방법으로 해무, 안개, 적조 탐지 등 다양하게 쓰이고 있다. 의사결정 나무와 랜덤 포레스트의 가장 큰 장점은 결과에 대한 설명력이 좋으며 서포트 벡터 머신의 경우 분류와 예측에 대해 동시에 사용할 수 있는 장점이 있으며 결과에 대한 설명력이 떨어지는 단점이 있다. 위 3가지 기법의 장단점을 고려하여 의사결정 나무와 랜덤 포레스트를 통해 해수범람과 관측정보와의 상관성을 분석하고 서포트 벡터 머신을 활용하여 각 요소에 대한 정확도를 산출하고 해수범람에 미치는 영향을 순위로 지정하였다.

구역별로 사례와 해양 및 해양기상 관측정보를 활용하여 구역에 대한 기계학습을 실행하였다. 또한, 해양특성이 다른 구역별로 기계학습을 수행하여 결과를 통해 구역별 해수범람에 미치는 인자를 분석하고 인자와 해양 및 기상환경의 상관성을 통해 구역별 해수범람 발생 유형을 분류하였다.

3. 결 과

3.1 해수범람 발생 유형 분류

구역별로 해수범람과 연관이 있는 해양 및 해양기상의 요소를 산출하였다(Table 3). Table 3에서 해양특성에 의해 분류된 구역별로 산출된 해양 및 해양기상의 요소가 서로 상이함을 알 수 있다. 조위와 기압의 요소는 모든 구역에서 산출되었다. 그러나, 동해안에 인접해 있는 동해남부와 동해중부 구역에서는 최대파고, 파향 등 파랑과 관련된 요소가 산출되었고 서남해안에 인접한 구역에서는 파랑과 더불어 풍향, 풍속 등 강풍과 관련된 요소가 산출되었다. 분석결과 조위와 기압은 중요한 변수로 작용하며 강풍과 파랑의 효과는 지역별로 상이할 수 있음을 알 수 있다. 따라서, 조위에 큰 영향을 미치는 대조기 시기를 하나의 유형으로 구분 지을 수 있으며 기압에 영향을 미치는 저기압의 통과, 강풍과 풍랑에 대한 바람의 효과, 마지막으로 태풍에 의한 효과를 통해 총 4개의 유형으로 구분 지을 수 있다. 대조기 유형(T), 저기압 유형(P), 바람 유형(W), 태풍 유형(Ty)의 4개 유형을 조합하여 대조기 시기에 저기압이 통과하고 바람이 강할 때 발생한 해수범람을 TPW 유

형으로 정의하였고 대조기 시기에 저기압이 통과하지만 바람이 강하지 않는 경우를 TP 유형으로 대조기 시기에만 발생한 해수범람 유형을 T 유형으로 저기압이 통과하지 않고 대조기 시기에 바람이 많이 부는 너울성 해수범람이 발생한 유형을 TW 유형으로 정의하였다. 또한, 태풍은 특이 현상으로 단독적인 Ty 유형으로 정의하였다. 총 5가지의 유형을 우리나라에서 발생하는 해수범람 유형으로 분류할 수 있다. 대조기 기간에 발생한 유형을 분류하기 위해 지난 10년간 발생한 사례에 각각 대조기 기간을 대조한 결과 1건을 제외하고 총 166건의 사례가 대조기 기간에 발생하였다. 또한, 각각의 사례 기간에 일기도를 대조하여 저기압의 통과 유무를 파악하였고 저기압 유형으로 분류하였다. 수집된 관측정보에서 기상청의 특보 임계치를 참고한 풍속과 파고 수치를 비교하여 바람 유형으로 분류하였다. Table 4에서는 5가지의 발생 유형에 대해 해수범람 발생 건수를 정리하였다.

TPW 유형은 총 29건이 발생하였고 TP 유형은 68건, TW 유형은 4건, T 유형은 42건, Ty 유형은 23건으로 나타났다. 우리나라에서 발생하는 해수범람은 대조기 기간에 저기압이 통과할 때 가장 많이 발생함을 알 수 있고 강한 바람으로 너울성 효과에 의해 발생하는 해수범람은 4건으로 매우 적은 수치를 보였다. 또한, 42건의 사례가 이상고파의 효과가 없고 바람도 약하며 대조기에 의해서만 조위가 상승하여 발생하였다. 즉, 우리나라에서 발생하는 해수범람은 너울에 의한 발생보다 이상고파 및 천문조에 의한 조위 상승이 주요 요인이다.

Table 5는 구역에서 발생한 유형별 해수범람 발생 건수를 보여준다.

황해중부 및 황해남부, 대한해협 구역에서 저기압의 통과가 해수범람이 발생하는 중요한 요소로 작용한다. 제주해협에서는 대조기의 조위 상승이 가장 주요한 요인이다. 동해남부와 동해중부 구역에서 바람에 의한 해수범람 발생이 다른 구역에 비해 사례가 많았으며 이는 조석의 효과가 약한 동해의 특성을 보여준다.

Table 3. Oceanic and meteorological factors correlated with seawater flooding for each region

Area	Oceanic and meteorological factors
Central Yellow Sea	Water level, Pressure, Wind speed, Wind direction, Maximum wave height, Wave direction, Wave period, Ocean temperature, Salinity
Southern Yellow Sea	Water level, Pressure, Wind speed, Wind direction, Maximum wave height, Wave direction, Ocean temperature, Salinity
Jeju Straits	Water level, Pressure, Wind speed, Wind direction, Maximum wave height, Wave direction, Wave period, Ocean temperature, Salinity
Southern Jeju	Water level, Pressure, Wind speed, Maximum wave height, Wave period, Ocean temperature, Temperature
Korea Straits	Water level, Pressure, Wind speed, Wind direction, Maximum wave height, Ocean temperature, Temperature, Salinity
Southern East Sea	Water level, Pressure, Wind speed, Wind direction, Maximum wave height, Wave direction, Wave period, Ocean temperature
Central East Sea	Water level, Pressure, Maximum wave height, Ocean temperature

Table 4. Types and number of events for seawater flooding

Types of seawater floodings	Combination types	Cases (ratio %)
TPW	Tidal type + Pressure type + Wind type	29 (17.5%)
TP	Tidal type + Pressure type	68 (41.0%)
TW	Tidal type + Wind type	4 (2.4%)
T	Tidal type	42 (25.3%)
Ty	Typhoon type	23 (13.9%)

Table 5. Types and number of seawater flooding over each region

Area	Type	Cases	Combination type
Central Yellow Sea	TPW	5	Tidal, Pressure, Wind type
	TP	12	Tidal, Pressure type
	T	6	Tidal type
	Ty	1	Typhoon type
Southern Yellow Sea	TPW	9	Tidal, Pressure, Wind type
	TP	9	Tidal, Pressure type
	T	2	Tidal type
	Ty	3	Typhoon type
Jeju Straits	TPW	5	Tidal, Pressure, Wind type
	TP	5	Tidal, Pressure type
	TW	2	Tidal, Wind type
	T	15	Tidal type
	Ty	3	Typhoon type
Southern Jeju	TP	7	Tidal, Pressure type
	T	4	Tidal type
	Ty	2	Typhoon type
Korea Straits	TPW	7	Tidal, Pressure, Wind type
	TP	35	Tidal, Pressure type
	T	11	Tidal type
	Ty	11	Typhoon type
Southern East Sea	TW	2	Tidal, Wind type
	T	4	Tidal type
	Ty	3	Typhoon type
Central East Sea	TPW	3	Tidal, Pressure, Wind type

3.2 유형별 해수범람 발생 분석

해양의 특성에 따른 지역 구분과 유형에 따라 기계학습을 통해 각 구역에 따라 유형별 해수범람과 상관성이 있는 해양 요소의 임계치를 산출하고 해수범람에 미치는 영향의 순위를 산정하였다.

Table 6에서 TPW 유형은 조석효과와 저기압, 바람 효과가 모두 영향을 주는 해수범람 발생 유형으로 황해중부, 황해남부, 제주해협, 대한해협, 동해중부의 5개 구역에서 주로 발생하였으며 대부분 1순위 발생 요인으로 조위가 산출되었다. 앞에서 정의한 해수범람에 영향을 주는 효과에서 천문조의 효과가 가장 큰 것으로 분석되었으며 풍속과 기압이 2순위 발생 요인으로 나타났다. 지리적으로 서쪽에 위치한 황해중부와 황해남부 구역에서 저기압에 의한 발생 요인이 높은 순위에 나타났으며 저기압이 서쪽에서 동쪽으로 이동하는 특성이 반영되었다. 남쪽에 위치한 제주해협, 대한해협의 경우 기압과 풍속보다 파주기, 최대파고의 해양 요소의 순위가 높음을 알 수 있다. 이는 저기압이 통과하면서 바람의 방향이 남쪽에서 북쪽으로 형성되며 이에 풍랑의 영향으로 파고가 높아지면서 해수범람을 발생시키는 형태를 보여주고 있다.

Table 7에서 TP 유형은 조석효과와 저기압이 영향을 주는 유형이며 황해중부, 황해남부, 제주해협, 대한해협, 제주남부 구역에서 발생하였다. 1순위 발생 요인으로 조위가 산출되었으며 발생한 모든 구역에서 1순위와 2순위에 조위와 기압이 주요 발생 요인으로 나타났다. TPW 유형과는 다르게 풍속에 대한 요소가 주요 발생 요인에서 제외되었으며 각 구역에 따라 풍향, 파주기, 최대파고, 수온 등 다양한 요소가 발생 요인으로 나타났다. 해수범람이 해양적 특성에 따라 지리적인 영향을 받을 수 있음을 알 수 있다.

Table 6. Factors causing seawater flooding for TPW type

Area	Ranking of Factor	Factors (Threshold)
Central Yellow Sea	1	Incheon-Water level (above 678.5 cm)
	1	Ansan-Pressure (below 1012.1 hPa)
	2	Incheon-Wind speed (above 1.0 m s ⁻¹)
	2	Deokjeokdo-Wind direction (below 192.8°)
	3	Ansan-Ocean temperature (above 25.8°C)
Southern Yellow Sea	1	Yeonggwang-Water level (above 664.2 cm)
	2	Heuksando-Pressure (below 1010.6 hPa)
	2	Chilbaldo-Wind speed (above 1.0 m s ⁻¹)
	2	Chilbaldo-Wave direction (below 181.0°)
	3	Mokpo-Ocean temperature (above 24.2°C)
Jeju Straits	1	Jeju-Water level (above 297.9 cm)
	2	Geomundo-Wind speed (above 3.5 m s ⁻¹)
	2	Geomundo-Wave period (below 7.8 s)
	2	Geomundo-Ocean temperature (above 24.8°C)
	2	Chujado-Pressure (below 1019.9 hPa)
Korea Straits	1	Tongyeong-Water level (above 249.9 cm)
	2	Busan-Ocean temperature (above 23.9°C)
	3	Geojedo-Maximum wave height (above 1.3 m)
	3	Gadeokdo-Wind speed (above 1.8 m s ⁻¹)
	3	Geojedo-Pressure (below 1013.6 hPa)
Central East Sea	1	Toseong-Maximum wave height (above 0.8 m)
	2	Sokcho-Water level (above 69.9 cm)
	2	Sokcho-Pressure (below 1000.7 hPa)
	3	Sokcho-Ocean temperature (above 22.1°C)

Table 7. Factors causing seawater flooding for TP type

Area	Ranking of Factor	Factors (Threshold)
Central Yellow Sea	1	Ansan-Water level (above 747.0 cm)
	2	Ochungdo-Pressure (below 1006.0 hPa)
	2	Ochungdo-Salinity (below 30.31 psu)
	2	Deokjeokdo-Wave period (below 7.2 s)
	3	Incheon-Ocean temperature (above 21.4°C)
	3	Incheon-Wind speed (above 5.2 m s ⁻¹)
Southern Yellow Sea	1	Mokpo-Water level (above 244.9 cm)
	1	Jindo-Pressure (below 1005.8 hPa)
	2	Chilbaldo-Wind direction (53.3°~218.6°)
	3	Heuksando-Salinity (below 31.8 psu)
	3	Gunsan-Ocean temperature (above 22.9°C)
Jeju Straits	1	Geomundo-Water level (above 196.9 cm)
	2	Geomundo-Ocean temperature (above 20.1°C)
	2	Geomundo-Maximum wave height (above 2.4 m)
	2	Yeosu-Pressure (above 1012.9 hPa)
	3	Geomundo-Wave direction (below 226.6°)
Southern Jeju	1	Seogwipo-Water level (above 260.9 cm)
	2	Marado-Maximum wave height (above 0.9 m)
	2	Moseulpo-Pressure (below 1009.6 hPa)
	2	Moseulpo-Ocean temperature (above 20.8°C)
	3	Marado-Wave period (below 7.1 s)
Korea Straits	1	Tongyeong-Water level (above 237.9 cm)
	2	Geojedo-Pressure (below 1007.6 hPa)
	3	Tongyeong-Ocean temperature (above 22.0°C)

Table 8. Factors causing seawater flooding for T type

Area	Ranking of Factor	Factors (Threshold)
Central Yellow Sea	1	Ansan-Water level (above 800.0 <i>cm</i>)
	2	Ansan-Pressure (above 1007.8 <i>hPa</i>)
	2	Deokjeokdo-Maximum wave height (above 0.39 <i>m</i>)
	2	Deokjeokdo-Wave direction (36.8° ~ 304.4°)
	3	Ganghwa bridge-Ocean temperature (above 29.1°C)
	3	Deokjeokdo-Ocean temperature (above 15.3°C)
	3	Deokjeokdo-Wind speed (above 2.1 <i>m s⁻¹</i>)
Jeju Straits	1	Gwangyang-Water level (above 255.9 <i>cm</i>)
	1	Jeju-Water level (above 296.7 <i>cm</i>)
	2	Geomundo-Wind direction (330° ~ 345.2°)
	2	Geomundo-Ocean temperature (above 17.4°C)
	3	Geomundo-Wind speed (above 2.7 <i>m s⁻¹</i>)
Southern Jeju	3	Wando-Salinity (below 32.21 <i>psu</i>)
	1	Seogwipo-Water level (above 259.6 <i>cm</i>)
	2	Seogwipo-Pressure (above 1009.3 <i>hPa</i>)
	2	Seogwipo-Ocean temperature (above 26.2°C)
	2	Moseulpo-Temperature (below 26.6°C)
Korea Straits	2	Marado-Wind speed (above 4.9 <i>m s⁻¹</i>)
	1	Tongyeong-Water level (above 233.9 <i>cm</i>)
	2	Busan-Ocean temperature (above 24.8°C)
	3	Tongyeong-Temperature (below 25.3°C)
Southern East Sea	3	Tongyeong-Pressure (above 1010.4 <i>hPa</i>)
	1	Ulsan-Water level (above 36.9 <i>cm</i>)
	2	Jukbyun-Ocean temperature (above 22.8°C)
	2	Uljjin-Wind direction (below 133.1°)
	3	Ulsan-Wave direction (25.9° ~ 85.1°)
	3	Pohang-Wind speed (above 4.2 <i>m s⁻¹</i>)

Table 9. Factors causing seawater flooding for Ty type

Area	Ranking of Factor	Factors (Threshold)
Southern Yellow Sea	1	Chilbaldo-Wave direction (below 264.0°)
	1	Gunsan-Wind speed (above 10.4 <i>m s⁻¹</i>)
	1	Chilbaldo-Maximum wave height (above 1.1 <i>m</i>)
	2	Yeonggwang-Pressure (below 993.8 <i>hPa</i>)
	2	Jindo-Salinity (below 30.8 <i>psu</i>)
	3	Chilbaldo-Ocean temperature (above 19.4°C)
Jeju Straits	1	Goheung-Wind speed (above 11.1 <i>m s⁻¹</i>)
	2	Geomundo-Wave direction (below 311.3°)
	3	Geomundo-Wind speed (above 9.6 <i>m s⁻¹</i>)
	3	Goheung-Pressure (below 979.7 <i>hPa</i>)
Korea Straits	1	Tongyeong-Water level (above 214.9 <i>cm</i>)
	2	Geojedo-Wind speed (above 9.2 <i>m s⁻¹</i>)
	2	Geojedo-Wind direction (60.1° ~ 284.4°)
	2	Tongyeong-Salinity (below 28.41 <i>psu</i>)
	3	Tongyeong-Pressure (below 979.7 <i>hPa</i>)
Southern East Sea	1	Hupo-Pressure (below 1013.3 <i>hPa</i>)
	2	Pohang-Wind direction (10.8° ~ 68.9°)
	2	Ulsan-Wind speed (above 10.9 <i>m s⁻¹</i>)
	2	Jangan-Wave period (below 7.0 <i>s</i>)
	3	Ulsan-Maximum wave height (above 1.2 <i>m</i>)

Table 8에서 T 유형은 조석의 효과만으로 조위가 상승하여 해수범람 발생하는 유형이다. 이 유형은 황해중부, 제주해협, 대한해협, 제주남부, 동해남부 구역에 발생하였으며 1순위 발생 요인으로 조위가 나타났다. 조석의 영향으로 높아진 조위에 풍향, 파향 등 방향에 대한 요소에 영향을 받고 순간적인 강한 풍속에 의해 해수범람이 발생한다.

Table 9에서 Ty 유형은 태풍으로 인해 해수범람이 발생하는 유형으로 황해남부, 제주해협, 대한해협, 동해남부 구역에서 발생하였다. 타 유형과 달리 조위가 우선순위가 낮음을 보여주며 풍속, 기압, 파고 등 다양한 요소가 1순위 발생 요인으로 나타났다. 타 유형에 비해 높은 풍속의 임계치와 낮은 기압의 수치를 나타내고 있다. 본 연구 이후에 태풍 기간의 추가적인 사례 수집과 한반도에 직접 통과한 직접 태풍, 간접적인 영향을 미치는 간접 태풍으로 분류하여 비교가 필요하다.

4. 토 론

본 연구에서는 태풍과 같은 특별한 현상이 발생하였을 때 해수범람을 분석한 것이 아닌 2009년부터 2018년까지 10년간 발생한 해수범람 사례를 분석하여 4개의 유형으로 분류한 후 4개의 유형을 조합하여 5개의 발생유형으로 새롭게 분류하였다.

또한, 기존의 수치예측모델을 통한 분석이 아닌 데이터 마이닝을 활용하여 관측 자료를 최대한으로 활용하였다. 결론은 3가지의 기계학습 방법 수행 결과를 종합·정리하여 도출하였다. 의사결정 나무는 의도적으로 Full-tree를 구성하여 모든 인자에 대한 분석을 수행하였고 이를 통해 각 관측항목의 상관성을 이해할 수 있다. 랜덤 포레스트는 과적합 방지를 위해 5개의 노드에서 결과를 도출하였고 이를 통해 해수범람에 있어 중요한 영향을 끼치는 항목 5가지를 선별하였다. 의사결정 나무와 랜덤 포레스트의 결과를 비교 및 분석하여 해수범람에 영향을 미치는 인자를 도출할 수 있었다. 마지막으로 서포트 벡터 머신을 통해 각 인자만으로 해수범람에 미치는 영향도를 도출하여 앞선 두 기계 학습 결과와 종합하여 최종 우선순위를 산정하였다.

해수범람 발생을 유형별로 분석한 결과 우리나라의 해역별로 구별되는 특징이 나타났다. 전체적으로 물이 높아지는 대조기 기간에 해수범람이 발생하였으며 서해안 및 남해안에 위치한 지역에 대해서 기압과 바람의 인자가 해수범람에 미치는 영향이 컸으며 동해안에 인접한 지역에서는 상대적으로 해수범람의 발생빈도가 적었으며 해수범람이 발생할 때, 저기압이 동해 먼 바다에 위치하고 있어 너울에 의한 해수범람이 발생했을 것으로 예상되었다.

5. 결 론

본 연구에서 해수범람의 발생 유형을 분류하고 해수범람과 상관성이 있는 해양 인자의 임계치를 산출하였다. 해양 및 해양기상의 관측정보를 활용하여 기계학습을 수행 및 분석하였다. 그 결과, 우리나라에서 발생한 해수범람의 발생 유형은 5가지로 구분할 수 있었다. 또한, 해양특성에 따른 해양 구역을 분할한 해양예보구역도에 따라 구역에 따른 해수범람 발생 특성이 있음을 알 수 있었다.

이상고파의 특성을 보이는 황해중부, 황해남부 구역에서 저기압의 통과가 해수범람을 일으키는 주요 요인으로 나타났고 조석보다 조류의 특성이 강한 동해중부, 동해남부 구역에서 바람의 세기에 따른 너울에 의한 해수범람이 발생함을 알 수 있었다. 남해안에 인접한 제주해협 및 대한해협 구역은 저기압의 통과와 바람의 세기, 조석이 중요하게 작용하여 서해안에서 발생하는 해수범람 특성과 동해에서 발생하는 해수범람의 특성이 혼합된 특징을 보였다.

해수범람 발생 유형에 대해 구역별로 해양 및 해양기상 요소의 임계치를 산출하였고 각 구역의 관측지점 정보를 통해 해수범람 발생을 판단할 수 있다. 해수범람 발생을 판단하는 임계치는 국립해양조사원의 해양예보를 위해 가이던스로 제작되었다.

해수범람 판단 가이드는 지속적으로 개선 및 관리가 필요하고 예보의 기초자료로 활용될 수 있다. 관측정보를 활용한 해양 예보를 판단하기 위해 해양 및 해양기상 관측정보와 관측지점의 확보, 해수범람 사례 수집은 지속적으로 이루어져야 한다.

참고문헌(References)

- Bao, J.W., J.M. Wilczak, J.K. Choi and L.H. Kantha, 2000. Numerical simulations of air – sea interaction under high wind conditions using a coupled model: A study of hurricane development. *Monthly Weather Review*, **128**(7): 2190-2210.
- Cheung, K.F., A.C. Phadke, Y. Wei, R. Rojas, Y.J.-M. Douyere, C.D. Martino, S.H. Houston, P.L.-F. Liu, P.J. Lynett, N. Dodd, S. Liao and E. Nakazaki, 2003. Modeling of storm-induced coastal flooding for emergency management. *Ocean Engineering*, **30**(11): 1353-1386.
- Chun, J.Y., K.H. Lee, J.M. Kim and D.S. Kim, 2008. Inundation Analysis on Coastal Zone around Masan Bay by Typhoon Maemi (No. 0314). *Journal of Ocean Engineering and Technology*, **22**(3): 8-17.
- Hur, D.S., G.S. Yeom, J.M. Kim, D.S. Kim and K.S. Bae, 2006a. Estimation of storm surges on the coast of Busan. *Journal of Ocean Engineering and Technology*, **20**(3): 37-44.
- Hur, D.S., G.S. Yeom, J.M. Kim, D.S. Kim and K.S. Bae, 2006b. Storm surge characteristics according to the local peculiarity in Gyeongnamcoast. *Journal of Ocean Engineering and Technology*, **20**(3): 45-53.
- Kang, J.W., S.J. Park, S.R. Moon and J.T. Yoon, 2009. Effects of Typhoon's Characteristics on the Storm Surge at GyeongnamCoastal Zone. *Journal of Korean Society of Coastal and Ocean Engineers*, **21**(1): 1-14.
- Kim, D.S., J.M. Kim, G.H. Lee and S.D. Lee, 2007. Inundation analysis considering water waves and storm surge in the coastal zone. *Journal of Ocean Engineering and Technology*, **21**(2): 35-41.
- Lee, J.L., J.W. Kang and J.T. Yoon, 2008. Numerical Simulation of Surge-Wave Combined Inundation at Mokpo North Harbor. *Journal of The Korean Society of Civil Engineers*, **28**(3B): 307-313.
- Lee, Y.M., J.H. Bae and D.B. Park, 2016. A Study on fog forecasting method through data mining techniques in Jeju. *Journal of Environmental Science International*, **25**(4): 603-613.
- Li, Y.S. and M.Y. Zhang, 1997. Dynamic coupling of wave and surge models by Eulerian-Lagrangian method. *Journal of waterway, port, coastal, and ocean engineering*, **123**(1): 1-7.
- Moon, S.R., S.J. Park, J.W. Kang and J.T. Yoon, 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.
- Moon, S.R., T.S. Kang, S.Y. Nam and J. Hwang, 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.
- Ozer, J., R. Padilla-Hernández, J. Monbaliu, E.A. Fanjul, J.C.C. Albiach, P. Osuna, J.C.S. Yu and J. Wolf, 2000. A coupling module for tides, surges and waves. *Coastal Engineering*, **41**(1-3): 95-124.
- Park, S. and S.R. Lee, 2013. Marine disasters prediction system model using marine environment monitoring. *The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences*, **38**(3): 263-270.
- Park, S.J., J.W. Kang, S.R. Moon and J.T. Yoon, 2009. Applicability on Inundation for Hydrodynamic Models adopting Moving Boundary Scheme. *Journal of Korean Society of Coastal and Ocean Engineers*, **21**(2): 164-173.
- Park, S.J., J.W. Kang, S.R. Moon and Y.S. Kim, 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.
- Song, B.H., M.A. Jung and S.R. Lee, 2010. A design and implementation red tide prediction monitoring system using case based reasoning. *The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences*, **35**(12B): 1219-1226.