

동해안 너울 사고 특성 분석 및 대응방안 수립

A Study on Characteristics Analysis of Swell Wave Accidents and the Establishment of Countermeasures in the East Coast

황순미* · 오형민* · 강태순* · 남수용*

Soon-Mi Hwang*, Hyeong-Min Oh*, Tae-Soon Kang* and Soo-Yong Nam*

요 지 : 2013년부터 2017년까지 5년간 우리나라 동해안에서 발생한 너울에 의한 사고 사례를 수집하였다. 사고발생역, 발생계절, 발생해안종류, 피해대상별로 분류하고, 사고 당시의 인근지역 파랑관측자료를 수집하여 사고와 파랑자료와의 상관성을 분석하였다. 또한 국립해양조사원의 연안재해취약성 평가 결과에 기반하여 너울 사고 발생지점의 취약성 등급을 분석하였다. 너울 사고지역은 파랑노출지수의 평균등급이 4.91, 파랑민감도지수는 3.87, 종합평가결과인 파랑영향지수는 4.90으로 높게 나타났다. 이에 대부분 너울 사고가 파랑영향지수 5등급에서 발생한 것에 기인하여 동일 등급으로 평가된 동해안 지역(78.7%)을 대상으로 파랑민감도지수와 연계하여 지역을 분류하고 각 지역의 특성에 맞는 대응방안을 마련하였다.

핵심용어 : 너울, 파랑, 사고, 파랑영향지수, 대응방안

Abstract : In this study, we collected cases of accidents caused by swell in the east coast of Korea from 2013 to 2017. The location of the accident, the season, the type of coast and the type of damage were classified and the correlation between the accident and the wave data was analyzed by collecting the observation data of the nearby area at the time of the accident. Also, based on the results of the coastal disaster vulnerability assessment of Korea Hydrographic and Oceanographic Agency, the vulnerability grades of swell accidents area were evaluated. In swell accident area, the average grade of the wave exposure index was 4.91, the wave sensitivity index was 3.87, and the wave impact index was 4.90. As a result, most of the swell accidents occurred in the 5 grade (very vulnerable level) of the wave impact index, and the area of the east coast (78.7%) of the same 5 grade was classified into five types according to the wave sensitivity index result. Finally, a countermeasures was taken for characteristics of each type.

Keywords : swell, wave, accidents, wave impact index, countermeasures

1. 서 론

너울(Swell)은 저기압이나 태풍 등의 영향으로 생성되어 멀리 잔잔한 해역으로 전파되어오면서 만들어져 현지 날씨가 화창하고 바람이 많이 불지 않는 날에도 발생하는 특징이 있다(Oh et al., 2010). 이러한 너울은 매년 재산피해 뿐만 아니라 인명피해도 초래하고 있으며(Jeong and Oh, 2009; Oh et al., 2010), 일반적으로 너울성파랑, 너울성고파, 이상고파 및 돌연고파 등 다양한 이름으로 지칭되고 있다(Jeong et al., 2007; Jeong and Oh, 2009; Nagai et al., 2009; Kim et al., 2016). 그럼에도 불구하고 현상의 불확실성, 불특정성으로 인해 구체적 정의가 부재하여 국가차원의 위기 예방, 대비, 대응 및 복구활동의 방향설정이나 종합관리체계가 구축되어 있지 못하고 있는 실정이다(Kang and Yoon, 2015). 특히 재해관련 대응정책은 육상재해에 초점이 맞춰져 구체적 행

위제한이나 실효성이 미흡한 실정이다.

한편, 동해안에서 주요 사고를 일으키는 너울의 특성과 관련하여 Oh et al.(2010)은 유의파고 3 m 이상, 유의파주기 9 초 이상의 파랑을 너울성 고파라 지칭하였으며, NEMA(2014)은 사고사례분석을 통하여 유의파고 2 m 이상, 유의파주기 8 초 이상에 대하여 너울성파랑 예경보시스템을 구축한 바 있다. Kim et al.(2016)은 기존 너울성파랑의 파고, 주기에 대한 정의가 동해안 너울의 현장 돌발성을 적절히 표현하지 못하는 용어라 판단하고 파고, 주기(파장) 및 발생소요시간 등을 고려한 $\Delta(H^2L)/\Delta t$ 의 돌연고파(sudden high wave)를 제안한 바 있다. 한편, Jeong et al.(2018)은 동해안에서 너울에 의한 사고발생시의 파랑특성을 분석하기 위하여 WRF-SWAN 모델 기반의 재분석 파랑장을 이용하여 주요 인명 및 재산피해가 유의파고 2 m 이상, 첨두주기 10초 이상인 조건에서 주로 발생함을 제시한 바 있다.

*(주)지오시스템리서치 연안관리부(Corresponding author: Tae-Soon Kang, Department of Coastal Management, GeoSystem Research Corporation, #306 Hanlim Human Tower, 172 LS-ro, Gunpo, Gyeonggi 15807, Korea, Tel: +82-70-7019-0610, Fax: +82-70-7016-0673, kangts@geosr.com)

본 연구에서는 너울사고 특성을 파악하고 그에 따른 대응 방안을 마련하기 위해 최근 5년간 동해안 너울사고 사례를 수집하여 통계적으로 사고의 특성을 분석하였고, KHOA(2015)의 연안재해취약성평가 기반의 파랑취약성 평가를 수행하여 그 결과와 비교 분석하고 너울사고의 유형을 5가지로 분류하여 각 유형별로 사고지점을 중심으로 대응방안을 마련하고자 하였다.

2. 너울사고 특성분석

2.1 너울사고 사례 분석 자료

본 연구에서는 너울사고에 대한 효과적인 대응방안을 마련하기 위해, 기존 사고사례를 먼저 분석하였다. 사고사례 분석은 공공기관에 의한 공식적인 사고 집계기 없어 ‘이상고파’, ‘고파랑’, ‘너울’, ‘너울성파랑’ 등의 키워드를 이용한 미디어 보도자료 검색에 기반하였다. 2005년부터 2017년까지 우리나라 전역에서 너울 사고로 집계된 사고는 총 131건이다. 본 연구에서는 이 중 시간적 범위를 2013년부터 2017년까지 최근 5년간을 대상으로, 공간적 범위는 국립해양조사원 관할해역 해양경계를 기준으로 동해안에서 발생한 사고로 한정하여 사고사례 69건에 대하여 분석하였다.

2.2 권역별 사고분석

너울은 기상현상에 의해 발생하지만 연안으로 전달되는 과정에서 지형특성에 의해 증폭되기도 한다(Katsuya et al.,

2013). 이 때문에 동일한 기상조건 하에 있음에도 불구하고 너울에 의한 피해는 지역마다 다르게 나타난다. 이러한 이유로 본 연구에서는 기상청의 해양국지예보구역을 준용하여 동해안을 북부(고성, 속초, 양양, 강릉), 중부(동해, 삼척, 영덕, 울진), 남부(경주, 포항, 울산, 부산)로 나누어 권역별로 사고 발생률을 분석하고 그 결과를 Fig. 1에 나타내었다.

동해안에서의 너울사고는 동해 북부(59%), 동해 남부(25%), 동해 중부(16%) 순으로 빈번하게 나타났다(Fig. 1). 이 중 동해 북부에서의 높은 사고 빈도는 너울의 주방향인 NE 계열에 대해 해안선이 수직으로 놓여 있으며, 추계 및 동계 시에 동해안의 특성으로 인해 NE 계열 파랑의 영향을 많이 받기 때문으로 사료된다. 한편, 동해 중부가 동해 남부에 비해 NE 계열의 파랑에 대해 더 취약한 편이지만, 이에 의한 사고 빈도는 더 낮은 편이다. 이는 춘계 시 불안정한 대기에 의한 SW 계열의 파랑 영향에 의한 것으로 사료된다.

2.3 계절별 사고분석

이처럼 너울에 의한 사고는 추계 및 동계 시 한반도에 작용하는 북서 계절풍에 의해 주로 발생하기 때문에 동해 북부 지역에서 주로 발생한다. 하지만 동해 지역의 너울사고 발생의 계절별 특성은 계절풍의 특성과 상관성이 다소 낮은데, 계절별 너울사고 발생 빈도는 하계(42%), 추계(35%), 동계(19%), 춘계(4%)의 순서로 나타나고 있다. 또한 사고지점에 가장 인접한 기상청, 국립해양조사원, 해양수산부의 파랑관측자료를 수집하여 사고 당시의 유의파고와 파주기를 파악하고(Fig. 2), 계절별로 평균하였다(Table 1).

일반적으로 너울은 8초 이상의 긴 주기를 가지지만, 미디어를 통해 수집된 너울 사고는 파주기 8초 이하에서도 다수 발생하고 있음을 알 수 있다. 이는 상당수의 사고가 너울이 아닌 일반적인 파랑 상황 하에서 발생하고 있음을 알 수 있다. 한편, 사고당시의 파랑상황(유의파고 및 파주기)을 계절별로 평균한 값을 살펴보면(Table 1), 유의파고 및 파주기의 하계 평균은 각각 1.57 m, 8.12초로 타 계절에 비해 비교적 작게 나타났다. 이는 하계시의 높은 해난사고 빈도를 파고 및

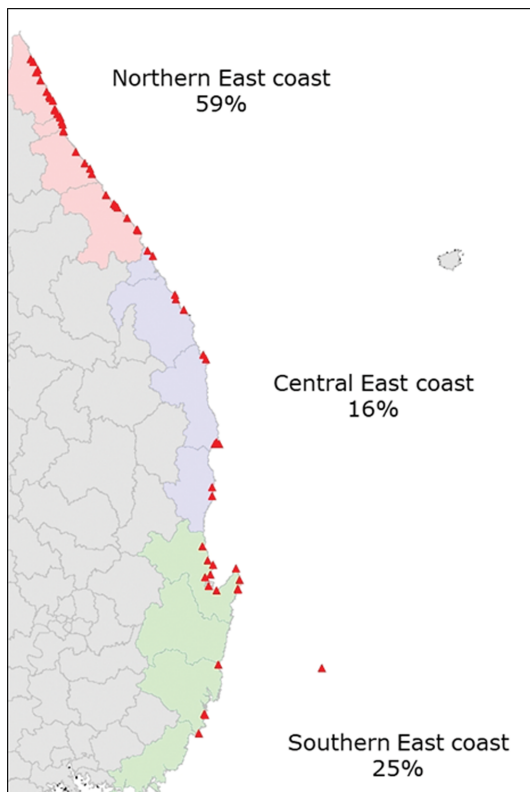


Fig. 1. Locations of swell accidents and occurrence rate.

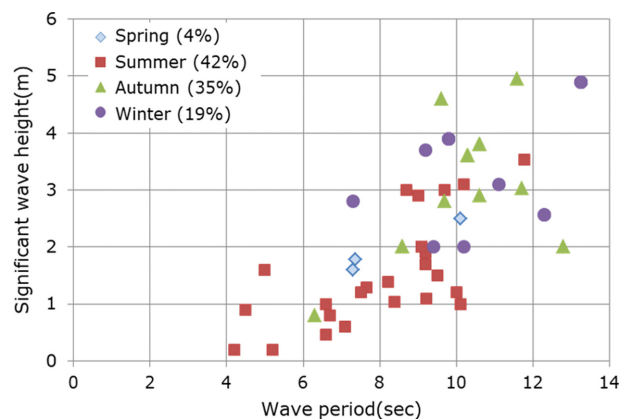
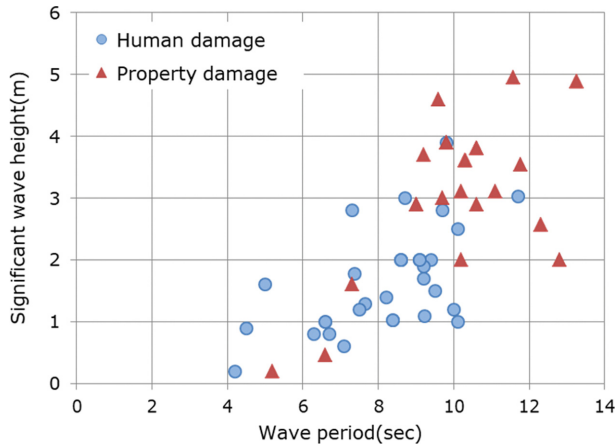


Fig. 2. Wave condition at the swell accidents: Seasonal analysis.

Table 1. Seasonal mean wave heights and periods at the time of swell accidents

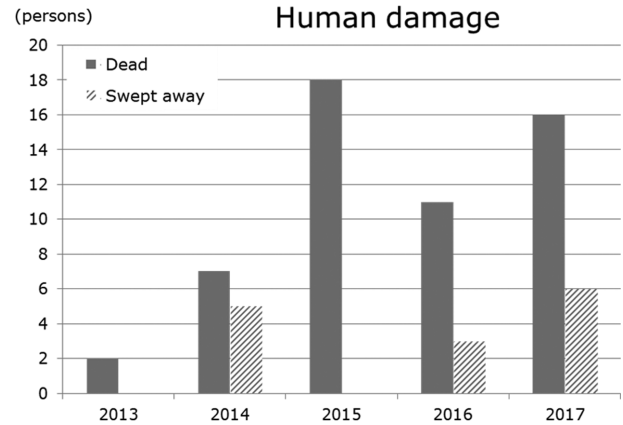
Items	Spring	Summer	Autumn	Winter
Mean significant wave height (m)	1.96	1.57	3.26	3.47
Mean significant wave period (sec)	8.25	8.12	10.15	10.84

**Fig. 3.** Wave condition at the swell accidents: Comparison of human and property damage.

주기의 재해 강도로 설명하기 힘든 측면이 있다. 이러한 현상은 관광, 낚시, 레저 활동과 같은 높은 해양레저활동과 함께 입욕객, 낚시객들의 부주의에 의한 사고발생으로 설명이 가능하다. Fig. 1에서 높은 사고 빈도를 보이는 동해 북부지역은 지형적으로 NE 계열의 너울이 침입하기 좋은 조건이지만, 하계 관광지로도 인기가 높아 활발한 해양레저활동에 의한 해난사고 발생 가능성 또한 높다고 볼 수 있다.

한편, 너울사고 발생 당시의 인명 피해와 재산 피해를 파악하기 위하여 Fig. 3과 같이 분류하였다. 너울사고 발생 당시의 인명 피해는 유의파고가 높지 않아도 발생하는 특성이 있는데, 본 자료에 따르면, 재산피해 발생 시 유의파고 평균은 3.3m인 것에 반해 인명 피해 발생 시의 유의파고 평균은 1.7m로 나타나고 있다. 이는 내습파고가 클 경우에 관광객 및 인근 주민들이 해난사고에 대비하기 때문에 이에 의한 해난사고 발생률은 오히려 더 적게 발생하는 것으로 파악된다. 또한 낮은 파고에서는 부주의로 인한 사고가 많은 것으로 파악되어 너울에 의한 인명피해는 교육 및 홍보와 비구조적 대책과 함께 너울 예경보시스템과 같은 구조적 대책 등을 병행한다면 많은 예산지출 없이도 효과적으로 재난대응이 가능할 것으로 보인다. 특히 인명 피해는 매년 증가하고 있는 추세에 있기 때문에(Fig. 4), 지역적 특성에 따른 구조적, 비구조적 대책의 도입을 적극적으로 검토할 필요가 있는 것으로 보인다.

앞서 살펴본 바와 같이 너울에 의한 사고는 해양활동이 빈번한 하계 시 다수 발생하는 특성이 있다. 이는 너울의 발생 자체는 파고와 같은 재해강도(exposure)에 비례하지만, 피해 발생 가능성과 같은 재해민감도(sensitivity)에도 영향을 받고 있음을 나타낸다. 따라서 본 연구에서는 효과적인 너울 사고 대응방안 마련을 위해 연안재해를 재해강도 및 재해민감도의

**Fig. 4.** Annual occurrences of swell accidents.

함수로 나타내는 연안재해취약성 평가체계(KHOA, 2015)에 근거하여 너울사고 대응방안을 제시하고자 한다.

3. 연안재해취약성평가

3.1 평가 방법

연안재해취약성평가(KHOA, 2015)는 과거에 재해 위험성을 단순 외력의 크기(파랑강도)만으로 평가하는 방식에서 벗어나 피해를 받는 대상지역의 특성 즉 민감도(인명, 지형, 재산 등)를 함께 포함하여 재해취약성을 5가지 등급으로 평가하는 시스템으로, 기본적인 평가프레임은 IPCC(2001)의 방법론을 준용하고 있다. 본 논문에서는 기존의 평가프레임에서 파랑에 대한 지표와 인자만을 고려하여 파랑취약성평가를 수행하였다(Fig. 5).

본 연구에서의 파랑취약성평가 평가프레임은 파랑노출지수와 파랑민감도지수로 구성되며, 이를 종합하여 파랑영향지수가 산출된다. 파랑영향지수 평가에 사용된 자료들을 살펴보면(Table 2), 파랑노출 평가에는 유의파고, 인적민감도 평가에는 인구(단위면적 당 거주인구), 취약인구(고령인구 수, 장애인인구 수), 물적민감도 평가에는 연안건물(면적), 어선 및 접안시설(톤수, 길이), 도로(해안선 30 m 이내 도로 면적), 항만

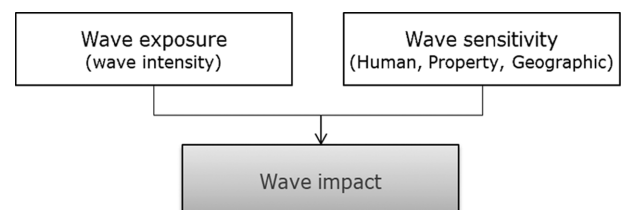
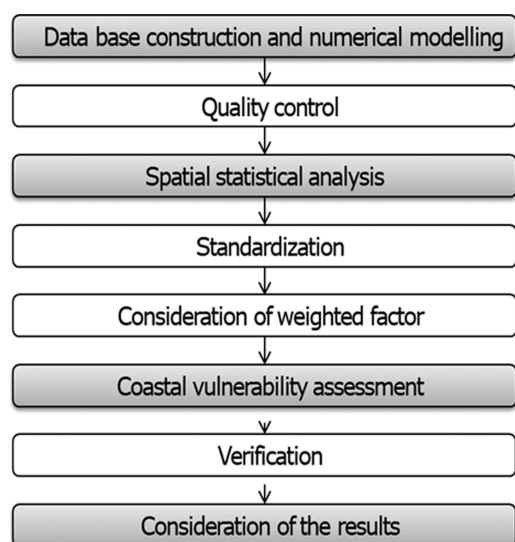
**Fig. 5.** Framework of wave vulnerability assessment.

Table 2. Indicators and parameters used in the assessment of wave exposure index and sensitivity index

Index	Indicator	Parameter
Wave exposure	Wave intensity	Significant wave height
	Human sensitivity	Population, Vulnerable social group
Wave sensitivity	Property sensitivity	Building, Boat and Road, Industrial complex, Fish farm, Coastal vulnerable facility, Land value
	Geographical sensitivity	Elevation, Slope, Flooding area, Coastline

**Fig. 6.** Flowchart of coastal disaster vulnerability assessment.

산업단지(면적), 양식장(면적), 연안취약시설물(반발경도), 공시지가, 지형적민감도 평가에는 표고(높이), 경사(%), 침수지역(면적), 해안선(프랙탈)이 고려되었다. 자세한 지표 및 인자들에 대한 자료처리방법은 KHOA(2015)를 참고하기 바란다.

평가방법은 국가공인자료(통계자료, 지리정보자료 등) 및 수치모델링 결과 자료를 수집하여 품질검사 후 공간통계분석을 수행한다. 이후 표준화, 민감도분석을 거쳐 식(1)을 이용하여 가중치적용을 통해 지수 및 지표의 평가결과를 산출한다.

$$\text{파랑영향지수} = \alpha \times \text{파랑노출} + \beta \times \text{파랑민감도} \quad (1)$$

여기서, α 는 파랑노출의 가중치, β 는 파랑민감도의 가중치로, $\alpha = 0.66$, $\beta = 0.34$ 이다. 이는 전문가 설문을 통해 AHP (Analytical Hierarchy Process) 분석을 수행한 결과이다 (KHOA, 2015). 지표의 평가 결과는 위 식을 이용하여 파랑영향지수를 산출하고, 그 결과를 검증 후 도식하는 순서를 거친다(Fig. 6). 이 과정을 통해 얻은 평가등급은 다섯 등급으로 구분되는데, 각 등급의 위험 정도 및 범례를 Table 3에 나타내었다.

Table 3. Notation for evaluation grade

Grade	Vulnerability	Color
1	Very low	Green
2	Low	Yellow-green
3	Moderate	Yellow
4	High	Orange
5	Very high	Red

3.2 평가 결과

이와 같은 방법으로 산출된 결과등급을 지수별로 동해안 전체 평균과, 사고지점의 평균으로 나타내었다(Table 4). 파랑노출지수의 동해안 전체의 평균등급은 4.66, 파랑민감도지수는 3.36, 파랑영향지수는 4.69로 나타났다. 사고지점의 평균등급은 각각 4.91, 3.87, 4.90으로 나타났다. 파랑노출지수 결과값은 동해안 대부분에서 비슷하게 5등급인 붉은색으로 나타나 취약한 것으로 평가된 반면, 파랑민감도지수 결과는 지역별로 각기 다른 양상을 보였다(Fig. 7). 즉, 파랑 강도는 동해안 대부분에서 비슷한데 반해 피해대상의 민감도가 지역별로 차이가 있어 이러한 차이로 사고 발생특성의 분류가 가능하다.

3.3 너울사고 유형분류

너울 사고 발생 지점의 파랑영향지수를 평가한 결과, 대부분의 사고가 파랑영향지수 위험등급인 5등급에서 발생한 것으로 확인되었다. 따라서 파랑영향지수 5등급 지역인 동해안 연안의 약 78%에 대해 파랑민감도지수 평가결과를 기준으로 유형 A, B, C, D, E로 구분하였다(Fig. 8).

Table 5에서 보는 바와 같이 A 유형은 물적, 인적, 지형적 민감도가 모두 높은 유형으로 동해안 전역 중 31%에서 나타났다. B 유형은 물적, 인적 민감도가 높은 유형으로 16%에서 나타났고, C 유형은 인적, 지형적 민감도가 높은 유형으로 13% 비율로 나타났다. D 유형은 지형적, 물적 민감도가 높은 유형으로 7%에서 나타났다. 마지막으로 E유형은 민감도가 전반적으로 낮은 유형으로 동해 전역 중 11%에서 나타났고, 특히 최근 5년간 사고가 발생한 지역은 모두 A, B, C, D 유형 중에 포함되었고 E유형에는 포함되지 않았다. 유형분류에 포

Table 4. The results of vulnerability assessment

Area	Mean wave exposure index	Mean wave sensitivity index	Mean wave impact index
Whole of the East coast	4.66	3.36	4.69
Accident area	4.91	3.87	4.90

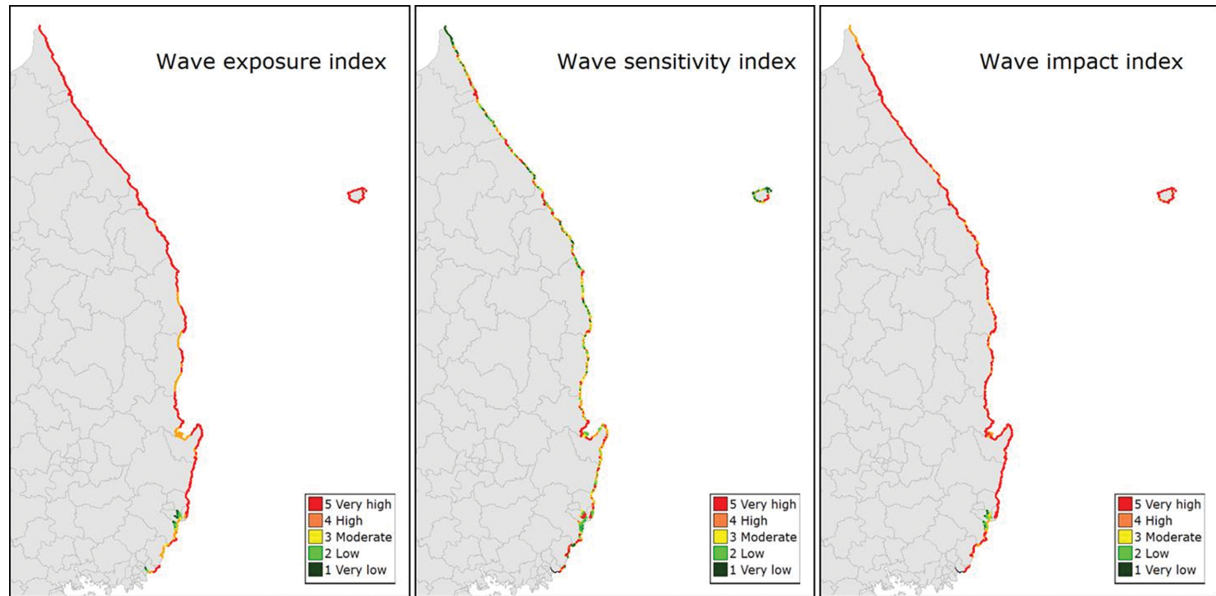


Fig. 7. Wave vulnerability assessment results.

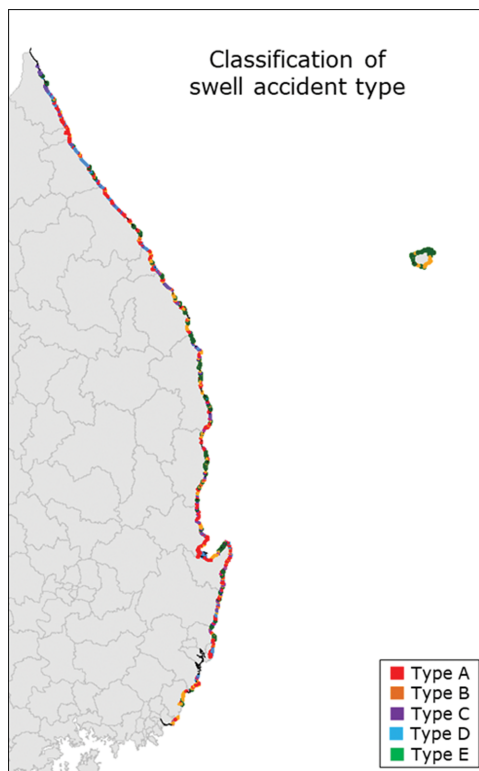


Fig. 8. Classification of swell accident type.

합되지 않은 파랑영향지수 4등급 이하는 21%로 나타났다.

4. 대응방안 수립

재해 강도를 평가하는 파랑노출지수는 인위적으로 조절이 불가능한 반면, 파랑민감도는 조절이 가능하여 대응방안을 수립하는데 활용할 수 있다. 분류된 다섯 가지 유형에 대해 먼저 유형별 특징을 파악하고 취약한 민감도를 기반으로 대응방안을 수립하였다. Fig. 9에는 유형 A, B, C, D에 해당하는 대표적 사고발생지역을 나타내었다.

유형 A는 인적민감도, 물적민감도, 지형적민감도 모두 민감하게 나타난 유형으로 대도시 또는 항만이 조성되어 복합적으로 민감한 특성이 있다. 이 유형의 대표적인 사고발생지역인 강원도 속초시 영랑동 인근에서는 최근 5년간 인명피해 2건, 물적피해 3건이 발생한 이력이 있다.

유형 B는 인적민감도, 물적민감도가 민감하게 나타난 유형으로 해안선 가까이에 해안도로와 주거지역이 밀집되어 있으며, 소규모 접안시설이 존재하여 어업활동이 활발할 가능성이 있는 특성을 갖는다. 이 유형의 대표적인 사고발생지역은 울산시 북구 신명동 인근으로 최근 5년간 물적피해 3건이 발생한 이력이 있다.

Table 5. Classification of swell accident type

Type	Characteristics	Sensitivity average grade			Rate
		Human	Property	Geo-graphic	
A	High - Human & Property & Geographical sensitivity	4.8	4.7	4.6	31%
B	High - Human & Property sensitivity	4.6	4.4	2.1	16%
C	High - Human & Geographical sensitivity	4.0	2.7	3.9	13%
D	High - Property & Geographical sensitivity	1.8	3.8	4.7	7%
E	Low - Sensitivity	3.0	2.5	1.4	11%

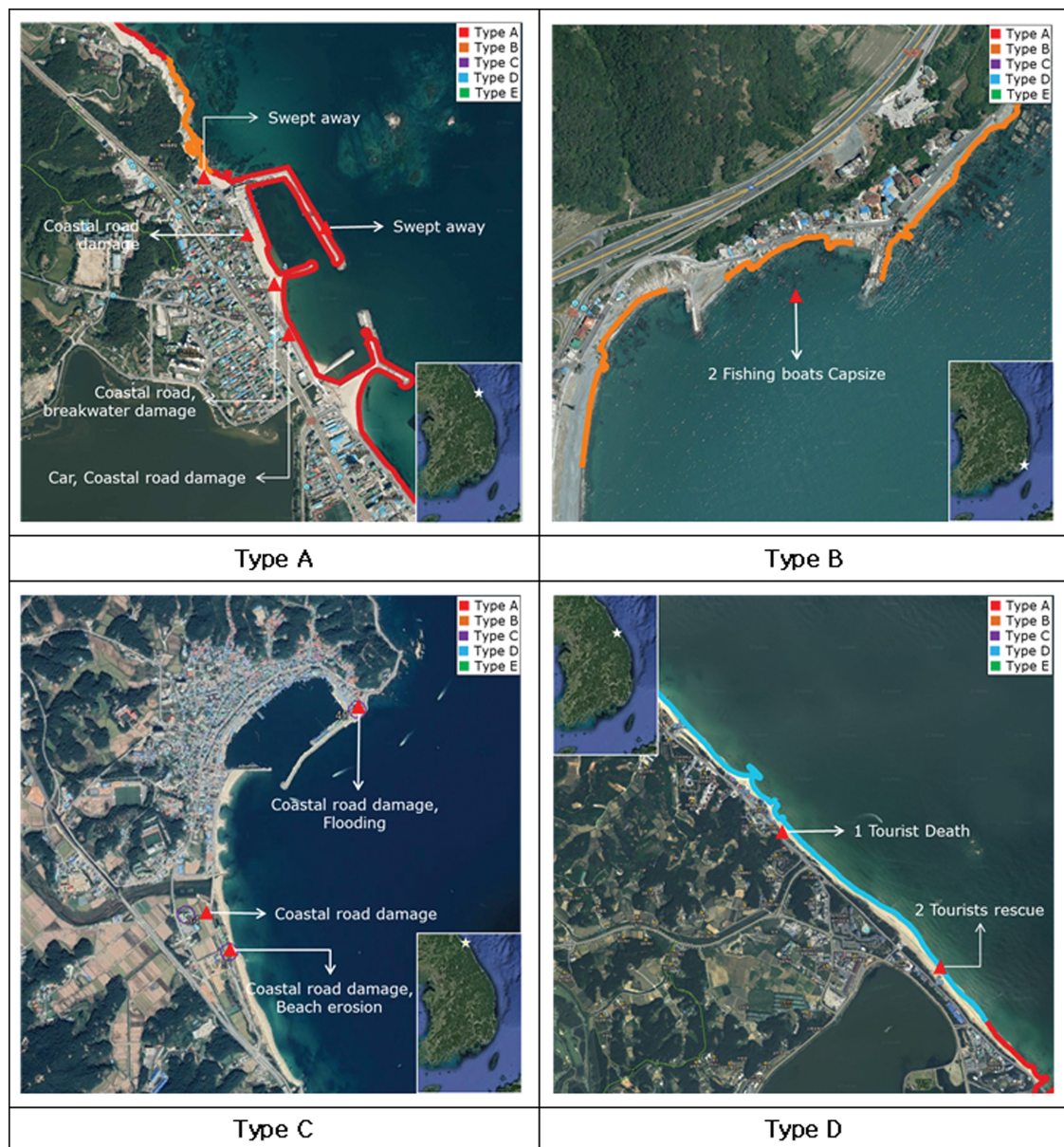


Fig. 9. Swell accident areas by type classification.

Table 6. Countermeasure for the sensitivities

Human sensitivity	Property sensitivity	Geographical sensitivity
<ul style="list-style-type: none"> • Education and promotion for coastal safety • Restriction of access to hazardous areas • Installation of warning signs • Enforcing SMS service for disaster notification • Installation of safety fence • Installation of emergency alarm system (loud speaker and electric sign-board) • Local autonomous disaster prevention team organization • Designation of dangerous districts • Maintenance Project Implementation and Management 	<ul style="list-style-type: none"> • Maintenance of breakwater and shore protection • Installation of warning signs • Enforcing SMS service for disaster notification • Restrictions on vessel entry and departure • Inducement to Storm and Flood Insurance • Extension of emergency contact network • Operation of information transmission system • Designation of dangerous districts • Maintenance Project Implementation and Management 	<ul style="list-style-type: none"> • Installation of warning signs • Reinforcing structures (breakwaters, retaining walls, scaffolds, etc.) • Maintenance of Inundation prevention facilities (drainage, embankment, etc.) • Designation of dangerous districts • Maintenance Project Implementation and Management

유형 C는 인적민감도, 지형적민감도가 복합적으로 민감하게 나타난 유형으로 월파, 침수 및 침식 등으로 지형적 민감도가 높으며, 배후지역에 주거지역이 발달하여 인적민감도도 높게 나타나는 특징이 있다. 이 유형의 대표적인 사고발생지역은 강원도 고성군 거진항 인근으로 최근 5년간 물적피해 3건이 발생한 이력이 있다.

유형 D는 물적민감도, 지형적민감도가 복합적으로 민감하게 나타난 유형으로 배후지에 상가 밀집으로 물적민감도가 높으며, 경사가 완만하고 지반고가 낮은 지형으로 관광지로 발달된 특징이 있다. 이 유형의 대표적인 사고발생지역은 강원도 강릉시 경포해수욕장 인근으로 본 취약성 평가에서는 관광객 자료를 반영하지 않기 때문에 인적민감도는 낮게 평가되었으나 최근 5년간 여름철에 인명피해 2건이 발생한 이력이 있다.

유형별 대응방안을 수립하기 위해 파랑민감도 지표별로 대응방안 수립기조를 마련하였다(Table 6). 세부내용을 참고하여 각 유형에서 취약한 민감도에 해당하는 대응방안을 지역 실정에 맞게 수립하도록 하였다.

5. 결 론

동해안 너울사고 분석을 위해 미디어를 이용한 사고 사례를 수집하였다. 분석결과, 하계 시 높은 빈도의 사고가 발생하였으나 사고 시 평균 유의파고는 1.57 m로 비교적 낮게 나타났다. 이러한 이유는 파랑의 강도에 의해 사고가 발생하기도 하지만 외적 요인 즉 하계 입욕객 및 낚시객의 증가와 부주의에 의해 사고가 다수 발생함을 의미한다. 따라서 사고 피해는 재해강도 외에도 해당지역 민감도의 영향을 많이 받는 특성이 있으므로 파랑취약성 평가를 수행하였다. 파랑취약성 평가결과, 재해강도를 평가한 파랑노출지수는 대부분이 5등급으로 나타나(등급 평균 4.66) 동해 전역이 거의 유사한 반면에 민감도지수는(등급 평균 3.36) 지역마다 차이를 보이고 있어 민감도의 차이로 사고유형의 분류가 가능하였다. 또한 대부분의 사고는 파랑영향지수 위험지역인 5등급 지역에서 발생하는 것을 확인했다. 동해안 전역의 78%에 해당하는 파랑영향지수 5등급 지역에 대해 취약 민감도를 기준으로 너울사고 유형을 5가지로 구분하고, 각각의 유형 특성을 분석하여 대응방안을 마련하였다.

본 파랑취약성평가의 파랑영향지수를 이용하여 너울사고 유형을 구분하고 대응방안을 수립하였으나, 파랑영향지수는 파랑노출(강도)평가에 유의파고만을 고려하고, 너울사고 시 피해가 큰 관광객은 고려하고 있지 않다. 따라서 향후 이를 개선하여 『너울영향지수』의 개발이 필요하며, 이 지수를 활용하여 너울사고 대책을 효율적으로 마련할 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 해양수산부의 해양과학조사 및 예보 기술사업의

일환인 “연안이상현상(이상고파, 이안류) 발생원인 규명 및 대응체계 구축(No. 20140057)” 지원으로 수행되었습니다.

References

- IPCC (2001). Climate Change 2001 (Impacts, Adaptation, and Vulnerability).
- Jeong, S.H., Choi, J.Y., Heo, G.Y. and Park, G.S. (2018). Study on the occurrence characteristics of swell using reanalysis wave fields, Joint conference of the Korean Association of Ocean Science and Technology Societies in 2018, Jeju (in Korean).
- Jeong, W.M. and Oh, S.H. (2009). Abnormally high swells occurred on the East Coast in recent several years. Proceedings of 2009 Joint Conference of Korean Association of Ocean Science and Technology Societies, 2119-2122 (in Korean).
- Jeong, W.M., Oh, S.H. and Lee, D.Y. (2007). Abnormally high waves on the East Coast. Journal of Korean Society of Coastal and Ocean Engineers, 19(4), 295-302 (in Korean).
- Kang, T.S. and Yoon, S.S. (2015). Institutional study for the efficient management of maritime disasters. Journal of Korean Society of Coastal Disaster Prevention, 2(4), 171-176 (in Korean).
- Katsuya, H. and Hiroaki, K. (2013). Mechanism and Countermeasures for Recent Wave Overtopping Disasters for Long Period Swell. Technical note of the port and airport research institute (1270). Independent Administrative Institution, Port and Airport Research Institute., Japan (in Japanese).
- KHOA (2015). East Coastal Disaster Vulnerability Assessment System, Korea Hydrographic and Oceanographic Agency (in Korean).
- Kim, I.C., Oh, J.H. and Suh, K.D. (2016). A proposal for criterion of sudden high waves in the East Sea. Journal of Korean Society of Coastal and Ocean Engineers, 28(3), 117-123 (in Korean).
- Nagai, T., Hiraishi, T., Kawai, H., Kawaguchi, K., Nihei, A. and Ohkama, T. (2009). Characteristics of Yori-mawari-nami, peculiar Japan-Sea low frequency swell, observed by NOWPHAS seabed wave gauge network. Proceedings of 19th International Offshore and Polar Engineering Conference, Osaka, Japan, 940-945.
- National Disaster Management Research Institute (2016). Development of Predictive Information Contents Technology for Coastal Disasters (in Korean).
- NEMA (2014). Development of countermeasure techniques against large swells using IT, National Emergency Management Agency (in Korean).
- Oh, S.H., Jeong, W.M., Lee, D.Y. and Kim, S.I. (2010). Analysis of the reason for occurrence of large-height swell-like waves in the East Coast of Korea. Journal of Korean Society of Coastal and Ocean Engineers, 22(2), 101-111 (in Korean).

Received 27 September, 2018

Revised 26 October, 2018

Accepted 12 November, 2018