

## 북극용 해양구조물 설계를 위한 해양기상 및 유빙 운동 해석 연구

정광호, 박성부, 신성윤, 신다균 (부산대학교)

### 1. 서론

지구온난화의 영향으로 북극의 얼음이 녹고, 그에 따라 점차 강력한 태풍과 해일이 발생하는 문제가 나타나고 있지만, 북극 항로 개척이나 북극의 해양 자원 개발 등의 도전적인 과제가 출현하고 있다. 미국지질조사국(USGS,2008)에 따르면 북극 지역에 미발견 회수가능 자원량은 석유(Oil) 약 90 Bbbi, 가스(Gas) 약 1,669 Tcf, 천연가스액(Natural Gas Liquid, NGL) 약 44 Bbbi이 부존되어 있다고 한다. 그림 1은 북극의 미발견 석유와 가스의 매장량 분포이다.

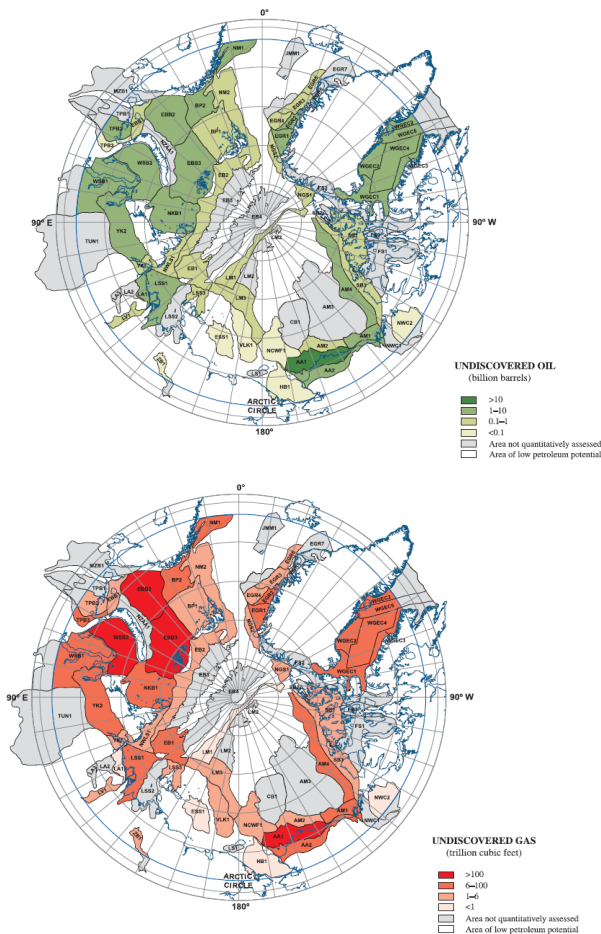


그림 1 북극지역 미발견 석유(위) · 가스(아래) 매장량 분포(USGS,2008)

이러한 해양 자원 개발은 통상적으로 해양구조물에 의해 이루어지며, 해양구조물이 북극에서 운용 및 생존을 하기 위해서는 해양기상자료(Metocean data)에 대한 분석, 해수 온도에 따른 동결방지(Winterization), 빙하중(Ice load) 등을 고려하여야 한다.

해양기상자료를 수집할 수 있는 방법에는 일반적으로 해상 부표자료, 인공위성 자료, 수치모의자료(Hindcast) 등이 있다. 해상부표자료를 제공하는 대표적인 기관은 국립해양대기국(National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA) 내의 국가부표자료센터(National Data Buoy Center, NDBC)이다(그림 2). 해양부표가 설치되어 있지 않은 지역의 해양기상자료를 얻기 위해서는 수치모의자료를 활용하고 있으며 본 기고에서는 Oceanweather Inc. 에서 제공하는 수치모의자료를 활용하여 연구를 수행하였다.

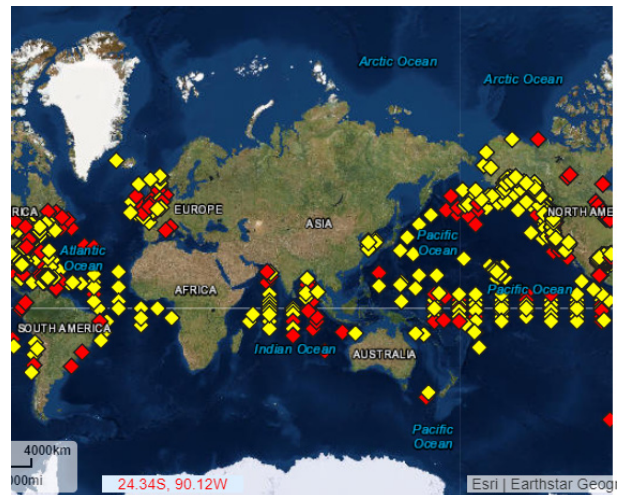


그림 2 국가부표자료센터의 부표 위치

북극 지방에서는 파랑과 유빙이 같이 고려되어야 하는데, 파랑과 유빙의 상호작용에 관한 연구가 많이 부족한 실정이다. 그림 3은 쇄빙선(Ice breaker) Freije에 설치된 카메라의 위치를 나타낸다. 쇄빙선의 항로에 존재하는 해빙의 상태를 파악하기 위해서는 숙련된 관찰자가 관찰 후 기록하였으나, 설치된 카메라를 이용해서 취득한 데이터를 이진화 및 클러스터 등의 영상 처리 기법으로 후처리하여 빙 집적도(Ice

concentration, 그림 4) 및 두께(Ice thickness, 그림 5) 정보를 자동으로 취득하였다(Lu, 2016).

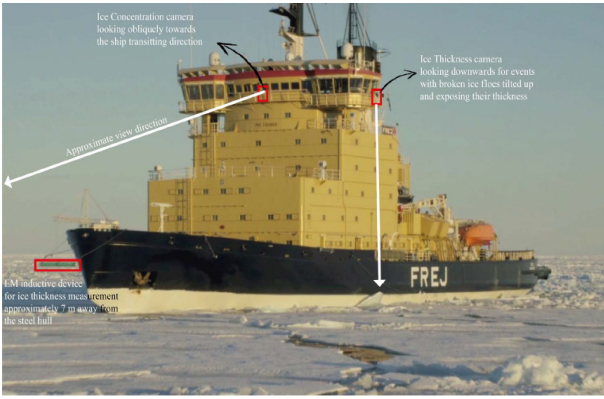


그림 3 IB Frej에 설치된 카메라의 위치

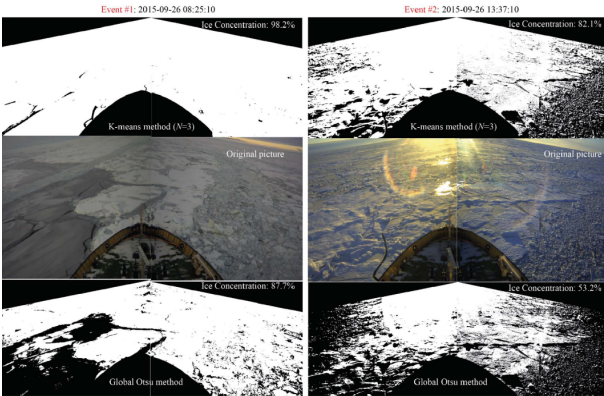


그림 4 빙 집적도 추정

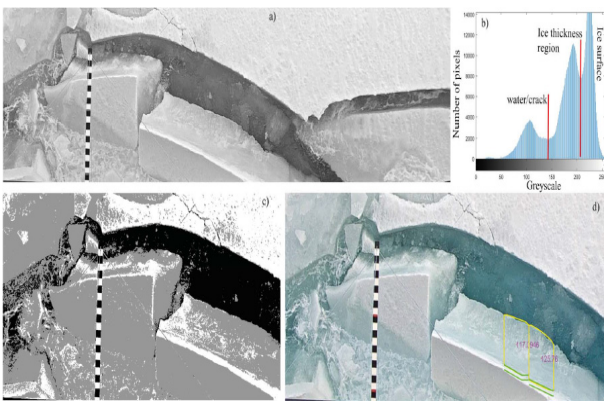


그림 5 노출된 얼음 두께 추정

또한 빙-구조물 상호작용을 위한 모형 시험에서 선수부를 촬영하는 카메라를 예인전차에 설치하여 빙 집적도의 변화에

따른 빙저항(그림 6)을 계측하였다(Werff, 2012). 이와 같이, 디지털 카메라의 발달 및 보급으로 인해 영상 정보 취득이 용이해지고 있고 이진화 기법, 특징점 추적 등의 영상 처리 기법 및 기계 학습법의 발달로 인하여 연구 분야에서의 영상 처리 기술의 적용 범위가 넓어지고 있으며, 연중운용이 가능한 해양구조물 설계를 위한 모형시험에도 적용될 수 있다.



One frame in the original video.



Domain image.

그림 6 빙 집적도 분석을 위한 영상 취득

북극의 바렌츠 해역의 해양기상자료를 바탕으로 극치해석을 수행한 내용과 빙하중 추정을 위한 기초 연구로서 영상처리 기법을 적용한 유빙 표류 속도 추정에 대한 실험적 방법을 소개하고자 한다.

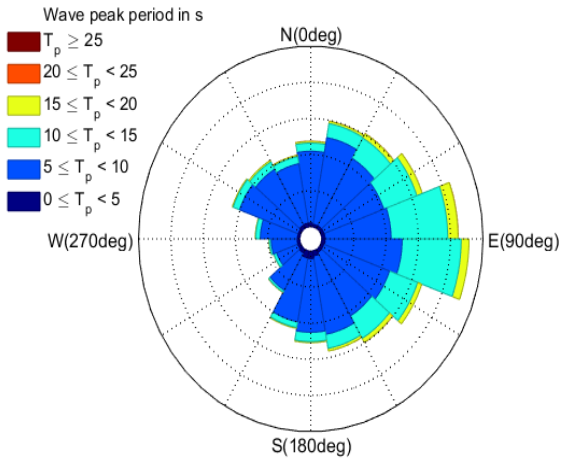
## 2. 해양기상자료 해석

해양기상자료를 해양구조물 설계에 반영하기 위해서는 파랑 자료(유의파고, 첨두파주기), 바람 자료(자유수면으로부터 10m 상공의 1시간 평균 풍속, 해류 자료(표층유속) 등이 수집되어야 한다. 수집된 자료는 1차원적으로 정리·분석하고, 최종적으로는 10년, 100년 재현 주기 값을 도출하는 극치해석을 수행하여 해양구조물 설계에 반영한다.

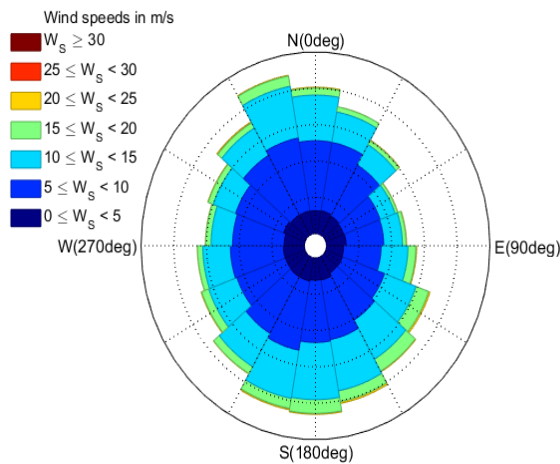
극치해석을 위해 사용되는 분포함수는 검벨(Gumbel) 분포, 와이불(Weibull) 분포, 대수정규(Log-normal) 분포 등이 주로 사용되고, 분포함수의 매개변수를 추정하기 위해 모멘트면적법(Method of Moment, MOM), 최소자승법(Least Square Method, LSM), 최대우도추정법(Maximum Likelihood Estimation, MLE) 등이 사용된다. 그 중 파랑자료의 분석을 위해서는 유의파고의 극치값을 구하기 위한 분포함수와 첨두파주기의 극치값을 구하기 위한 분포함수 간의 결합분포를 이용하여 표준정규분포로 공간을 일치시켜 재현주기에 해당하는 유의파고의 극치값과 그에 대응하는 첨두파주기를 빠르게 도출하는 Inversed First Order Reliability Method (I-FORM)이 사용된다.

대상 해역은 북극의 바렌츠 해역의 위도 73N 경도 44E이며, 수심 258m이다. 해양기상자료는 Oceanweather Inc.에서 제공하는 수치모의자료를 사용하여 극치해석을 수행하였고, 해양기상자료는 파랑, 바람, 해류자료가 포함되었다. 파랑과 바람자료는 1시간 간격으로 이루어진 약 10년간의 자료이며, 해류자료는 수심방향 유속을 1일 간격으로 이루어진 약 20년의 자료이다.

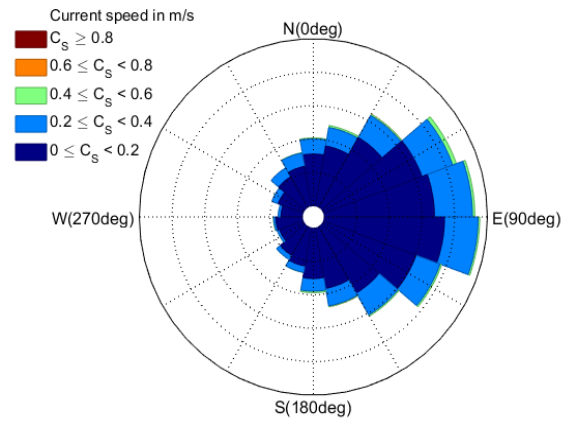
수집된 전체 자료에 대해 장미도표(Rose diagram)를 나타내었다. 이를 통해 파랑, 바람, 해류에 대한 지배적인 방향정보를 확인 할 수 있으며, 첨두파주기, 풍속, 유속에 대한 빈도수를 확인 할 수 있다.



(a) 파랑 장미(Wave rose)



(b) 바람 장미(Wind rose)



(c) 표층 해류 장미(Current rose at surface)

그림 7 해양기상자료의 장미 도표

그림 8의 그래프는 바렌츠해역의 수심방향별 유속분포를 나타낸다. 해류의 특성상 표층 해류 속도가 가장 빠르며, 수심이 깊어질수록 유속이 감소하는 경향을 가진다. 하지만 이 해역의 경우 최대 유속이 수심 60m 영역에서 주변 수심보다 높은 약 0.4 m/s의 값을 나타낸다.

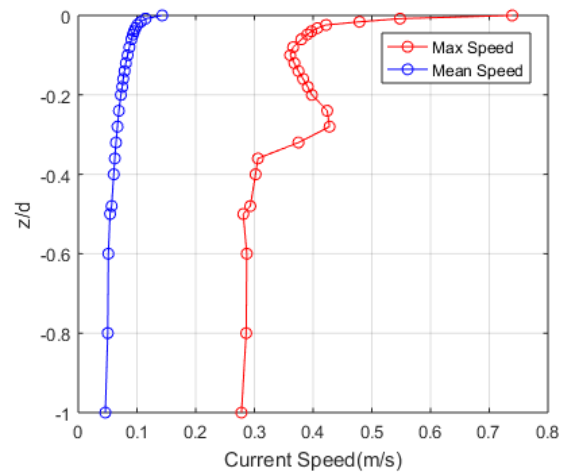


그림 8 바렌츠 해역의 수심별 유속

수집된 파랑자료의 유의파고와 첨두파주기의 극치해석은 매개변수 3개를 포함하는 와이블 분포와 대수정규분포의 결합분포를 활용하는 I-FORM 방법을 사용하였다. 단일 변수인 풍속과 유속에 대한 극치해석은 와이블 분포만을 활용하였다.

유의파고와 첨두파주기, 풍속, 유속에 대한 극치해석 결과를 표 1에 정리하였다. 극치해석 결과를 북극용 해양구조물의 설계에 반영할 수 있다.

표 1 해양기상자료의 극치해석 결과

재현주기(년)	파랑		바람 풍속 (m/s)	해류 유속 (m/s)
	유의파고 (m)	첨두파주기 (s)		
1	10.30	13.71	26.03	0.66
10	12.45	14.97	29.10	0.78
50	13.91	15.82	31.06	0.87
100	14.54	16.18	31.86	0.90

### 3. 파랑에 의한 유빙 표류 속도 추정

파랑 또한 바람에 의한 영향과 마찬가지로 상당한 표류 현상을 유발하므로(Harms, 1987), 해양구조물에 가해지는 빙하중을 파악하기 위해서는 파랑-빙 상호작용 또한 고려해야 한다. 그림 9는 설계 해양 환경 및 깨어진 빙(Managed ice)에 대해 수행한 모형 시험 결과로서, 단일 카메라로 촬영한 영상 of 모형빙을 정규화된 상호상관관계를 이용한 템플릿 매칭(Template-matching) 기법으로 추적하였다. 파경사(Wave steepness)에 따른 유빙의 평균 표류 속도를 추정할 수 있다.

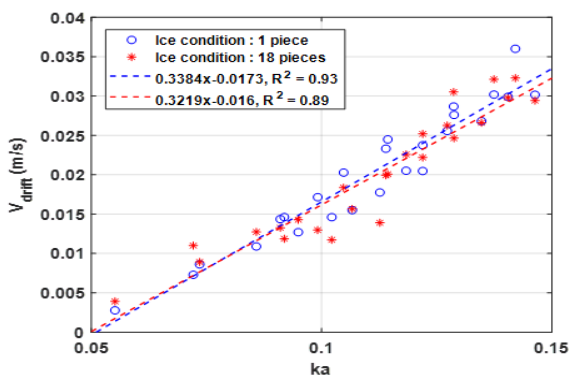
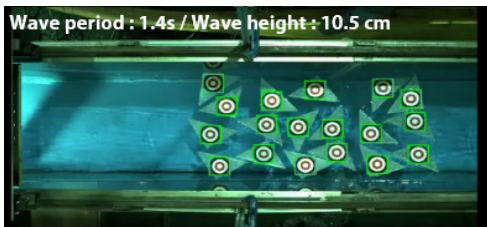


그림 9 파랑 중 모형빙의 표류 현상

또한 다수의 카메라를 이용한 입체시(Stereo vision) 구성과 함께 깨어진 빙을 모사한 모형빙을 이용한 파랑-빙-구조물(Wave-ice-structure) 모형 시험을 통해 해빙과 해양구조

물의 상호작용을 계측하여 해양구조물 운동에 미치는 영향을 설계변수로 고려할 수 있다.

### 4. 결론

일반적인 해역에서 운용되는 해양구조물과는 달리, 북극 해역과 같은 극한 환경에서의 자원개발은 저온 조건 및 유빙의 충돌과 같은 환경의 특수성에 대한 구조적인 안전성이 고려되어야 한다. 파랑 및 해빙의 영향을 설계에 반영하기 위해서는 극지 해양기상자료의 확보 및 합리적인 통계 분석이 필요하며, 연중운용이 가능한 해양구조물의 계류, 동적 위치 시스템의 적용을 위해 유빙의 표류 현상 해석이 수행되어야 한다. 뿐만 아니라 극저온 및 해빙이 존재함에 따라 발생할 수 있는 구조물 파괴로 인한 인명사고, 해양오염 예방을 위한 시나리오를 고려해야 할 필요가 있다. 해양플랜트 산업에 대한 기술력과 지정학적 우위에 있는 러시아, 노르웨이 등의 유럽 국가들과의 협력을 통해 국제표준과 각종 국제기구의 기준에 신속히 대응하여 극지 환경에서의 설계 기준 확립과 기술 고도화를 이룩해야 할 것이다.

### 참고 문헌

신효진, 문영준, 임종세 [북극 석유자원개발과 해양플랜트 산업의 현황 및 전망] (2018)  
 DNVGL-RP-C205 [Environmental conditions and environmental loads] (2017)  
 Lu, W., Zhang, Q., Lubbad, R., Løset, S., & Skjetne, R. [A Shipborne Measurement System to Acquire Sea Ice Thickness and Concentration at Engineering Scale] (2016)  
 임종세, 신효진, 김지수, 진영근 [북극 석유 · 천연가스 자원 기술개발 현황 및 전망] (2014)  
 김예동, 서원상 [북극권 석유자원 현황 및 개발 전망] (2013)  
 van der Werff, S., Haase, A., Huijsmans, R., & Zhang, Q. [Influence of the Ice Concentration on the Ice Loads on the Hull of a Ship in a Managed Ice Field] (2012)  
 박병권, 박상범 [북극연구의 국제적인 동향과 우리나라 북극 연구의 미래 전략에 관한 연구] (2011)  
 이성규 이지영 최윤미 [북극지역 자원개발 현황 및 전망] (2010)

Donald L. Gautier, Kenneth J. Bird, Ronald R. Charpentier, Arthur Grantz, David W. Houseknecht, Timothy R. Klett, Thomas E. Moore, Janet K. Pitman, Christopher J. Schenk, John H. Schuenemeyer, Kai Sørensen, Marilyn E. Tennyson, Zenon C. Valin, Craig J. Wandrey [Assessment of Undiscovered Oil and Gas in the Arctic] (2009)

USGS [Circum-Arctic Resource Appraisal: Estimates of Undiscovered Oil and Gas North of the Arctic Circle] (2008)

Harms, V. W. [Steady Wave-drift of Modeled Ice Floes] (1987)



정 광 호

- 1970년생
- 2004년 Texas A&M University 박사졸업
- 현 재 : 부산대학교 조선해양공학과 교수
- 관심분야 : 해양플랜트시스템
- 연락처 : 051-510-2343
- E-mail : kjung@pusan.ac.kr



박 성 부

- 1987년생
- 2015년 부산대학교 조선해양공학과 석사졸업
- 현 재 : 부산대학교 조선해양공학과 박사과정
- 관심분야 : 해양플랜트시스템
- 연락처 : 051-510-3178
- E-mail : fpso1119@pusan.ac.kr



신 성 윤

- 1991년생
- 2017년 부산대학교 조선해양공학과 석사졸업
- 현 재 : 부산대학교 조선해양공학과 박사과정
- 관심분야 : 해양플랜트시스템
- 연락처 : 051-510-7736
- E-mail : syshin@pusan.ac.kr



신 다 균

- 1993년생
- 2019년 부산대학교 조선해양공학과 학사졸업
- 현 재 : 부산대학교 조선해양공학과 석사과정
- 관심분야 : 해양플랜트시스템
- 연락처 : 051-510-3178
- E-mail : shin0476@pusan.ac.kr