

ARC7 조건용 해양구조물 DP 성능 평가 기술 개발

이재용 (동의대학교)

1. 서론

1.1 극지용 DP 시스템 해석의 어려움

북극 지역에서 운용되는 구조물에 얼음에 의한 하중이 가해지는 상황에서 동적 위치 유지 시스템 (DPS, Dynamic Positioning System)으로 원하는 위치에 유지시키는 것은 매우 어려운 일이다. 얼음이 있는 곳에서 DP를 운영하기 위해서는 얼음에 의해 발생하는 여러 종류의 고려사항들이 있다. 예를 들어 얼음에 의해 선박에 직접적으로 작용하는 힘, 얼음의 동역학적 힘, 선박 회전 모멘트, 유빙 방향의 변화, 빙하중의 거동 예측 가능성, 빙하중과 관련한 새로운 형태의 추력 분배 알고리즘, 얼음의 움직임에 따른 금지구역의 설정, 얼음 관리 (ice management)와 위험요인 제어 등이 있다.

일반 해역(Open Water)에서는 파나 해류 등의 환경하중에 의하여 선체에 가해지는 힘을 대략적으로 예측 하는 것이 가능하다. 이에 비해 빙해역에서는 얼음에 의해 선체에 가해지는 힘이 추가되며, 이러한 힘에는 예측하기 어려운 여러 요소들이 복합적으로 작용한다. 예를 들어 빙질(Ice Quality: level ice, ridge, multi-year ice 등), 유빙의 크기, 빙 두께, 빙 표류 속력, 빙으로 덮여 있는 비율(Ice Concentration) 등을 들 수 있고, 힘이 가해지는 방향이나 크기의 변화가 매우 빠르기 때문이다. 위치 유지를 위해서는 선박 추진기들의 반응도 이에 따라 이루어져야 한다. DP가 작동할 때는 일반적으로 선박을 얼음이 움직이고 있는 방향으로 위치시킨다. 하지만, 선박에 작용하는 빙하중은 길이 방향뿐 아니라 현측 방향 및 회전 모멘트를 같이 유발하며 DP 추력도 이를 극복할 수 있어야 한다.

위치 유지 성능과 관련하여 얼음과 선박사이의 상관관계를 도출하는데 있어 가장 좋은 자료는 실제 적용 사례를 살펴보는 것이다. 얼음이 있는 곳에서 동적위치제어시스템을 장착한 선박이 실제 적용된 예로 2004년 실시된 IODP 302 core 시추 프로젝트가 있다. 3대의 쇄빙선을 이용하였으며, 이 중 한 대에 시추설비를 갖추고 작업이 진행되었다. 완전한 자동시스템이 아니라, 운영자가 주변 상황을 고려하여 조이스틱으로 조절을 하였으며, 선박 추진 설비의 한계로 인해 작업 반경 (watch circle) 이내로 위치를 유지하는데 어려움을 겪었다.



그림 1 위쪽부터 Sovetskiy soyuz (쇄빙선 1) Oden (쇄빙선 2), Vidar Viking (DP선박)

DP 선박에 가해지는 빙하중을 감소시키기 위한 Ice management가 이루어졌는데, 쇄빙선 1로 1차 작업을, 쇄빙선 2로 얼음을 더 잘게 만드는 작업을 진행하였다.



그림 2 DP 테스트 중인 선박 (Tor Viking)

최근에는 Statoil이 주관하여 보스니아만에서 실시한 위치 유지 실선 테스트가 있었다. 2017년 3월 AHTS 선박 (Magne Viking호와 Tor Viking호)을 이용하여 수치모델과 실제모델의 성능 비교 실험을 수행하였다. 실험결과 수동 조작이 DP 시스템을 사용하는 것 보다 나은 결과를 보였는데, 이는 사람의 경우 주변 환경을 고려하여 선박을 조종하지만, 일반 DP 시스템의 경우 목표지점을 유지하려는 경향만 보이기 때문이다. 이에 따라 DP 시스템에 빙하중의 특성을 고려하는 것이 반드시 필요하다는 것을 알 수 있다. 하지만 이러한 실선 테스트

사례는 그 수가 극히 적어 빙해역에서의 DP 해석에 관한 충분한 자료를 제공하지는 못한다. 또한 실험 조건을 설정하는데 있어 제한이 있을 수 밖에 없다.

다음으로는 수조에서 모형선을 이용한 테스트를 진행하는 방법이 있다. 실제 해역에서는 유빙이 정지해있는 선박에 힘을 가하는 형태이지만, 수조 실험에서 이를 구현하는 것은 매우 어렵다. 따라서 모형을 DP 추진기를 이용하여 고정된 속력으로 직선 방향으로 움직이게 하면서 선박에 가해지는 빙하중을 측정하는 방식을 사용한다. 일반적으로는 수조 실험에서 측정되는 빙하중의 침투값들이 실제 바다에서 예상되는 값보다는 더 크게 나타나는 것으로 해석한다. 하지만, 이러한 모델 테스트도 선형이 확정된 상태에서 진행될 뿐 아니라 추진기의 용량이나 위치를 변경하면서 실험하는 것이 매우 어렵다. 따라서 초기 설계단계에서 그 성능을 해석하는 데는 한계가 있다.



그림 3 Stena DrillMAX ICE의 모델 테스트 (HSVA)

이를 개선하기 위하여 시간역에서 빙하중이 존재하는 해역에서의 선박의 위치 유지 성능을 해석하기 위한 시뮬레이션 기술이 필요하며, 특히 극지와 인접해 있는 국가들을 중심으로 개발이 이루어지고 있다.

2. DP 성능해석 시뮬레이션 기술 개발 현황

유럽에서는 독일의 HSVA, 프랑스의 SIREHNA, 노르웨이의 NTNU, DNV, Kongberg, Statoil 등 3개국 6개 기관이 2010년부터 2012년 말까지 3년간 DYPIC (Dynamic Positioning in Ice) 프로젝트를 진행하였다. 다양한 조건의 얼음이 존재하는 곳에서 여러 형태의 선박이나 해양구조물의

위치유지성능을 예측하기 위한 툴박스를 개발하는 것을 목표로 진행하였다. 특히 노르웨이팀의 경우 빙하중 추정과 시뮬레이션 부분을 더욱 발전시켜 별도 회사 (ArclSo, Arctic Integrated Solutions)를 설립하여 기술개발을 이어가고 있다. 여기서 개발하고 있는 극지용 해양구조물을 위한 수치해석 프로그램인 SAMS (Simulator for Arctic Marine Structure)는 얼음이 있는 바다에서 다양한 시뮬레이션이 가능하도록 개발하고 있다. 현재 탑재된 기능으로는 유빙이 있는 곳에서의 계류, 구조물 주위의 얼음조각 누적 (rubble ice accumulation), 극지 선박 운항, 얼음 크기 제어 (ice management), 편탄빙에서의 선박 운항, 빙-파-구조물 상호작용, 위치유지 시뮬레이션 등이 있다.

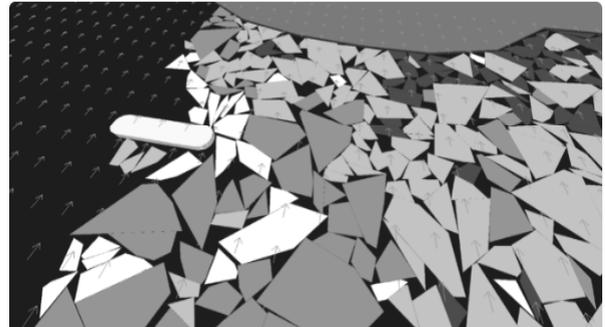


그림 4 SAMS의 위치유지 시뮬레이션

북미지역에서는 캐나다가 적극적인 기술개발을 진행하고 있다. 캐나다 뉴펀들랜드주 세인트 존스시에 위치한 NRC-OCRE (National Research Council-Ocean, Coastal and River Engineering)와 인근의 메모리얼 대학교 (MUN, Memorial University of Newfoundland) 산하 Marine Institute, 그리고 Kongsberg사가 합작하여 빙하중이 있는 곳에서의 DP Simulator 기술 개발을 2012년부터 진행해 오고 있다.



그림 5 MUN-MI의 DP in Ice용 시뮬레이터

Marine Institute의 해양 시뮬레이션 센터(Centre for Marine Simulation)에 설치된 Kongsberg Maritime의 K-POS DP 시스템에 NRC-OCRE의 빙해수조 실험결과를 반영한 제어 알고리즘을 탑재하기 위한 프로젝트이다. 이를 통해 빙조건에서의 DP 시스템 운용에 관한 환경적 한계상황을 설정하고, 안전과 관련된 가이드라인을 설정하는 노력을 하고 있다.

3. 빙해역 DP 성능해석을 위한 Framework

선박의 운동을 계산하기 위한 일반적인 DP 제어 모듈은 그림 6과 같은 형태를 지니고 있다. 우선 운동방정식에서 산출되는 위치, 속도 및 자세 정보를 원하는 목표값(위치, 속도 및 자세)과 비교하여 오차값을 산출한다. 이 오차값을 토대로 하여 제어기에서는 목표값을 달성하기 위한 전체 출력값을 계산한다. 일반적으로는 3자유도 운동만을 고려하는 것이 대부분이지만 선체의 기울어짐이 작업에 큰 영향을 미치는 경우에는 6자유도 해석을 수행하는 경우도 있다. 제어기에서 나온 전체 출력값을 기반으로 각 추진기별로 추력을 할당하는 것을 추력분배(Thrust Allocation)라고 한다. 일반적으로는 추진기 관리시스템 상위단에 위치하는 전력관리시스템(PMS, Power Management System)에서 에너지를 가장 적게 사용하는 패턴을 생성하는 알고리즘이 적용되고 있으나, 앞서 언급한 바와 같이 작업중지시간(down time)을 최소화 시키는 알고리즘이 포함되는 추세에 있다.

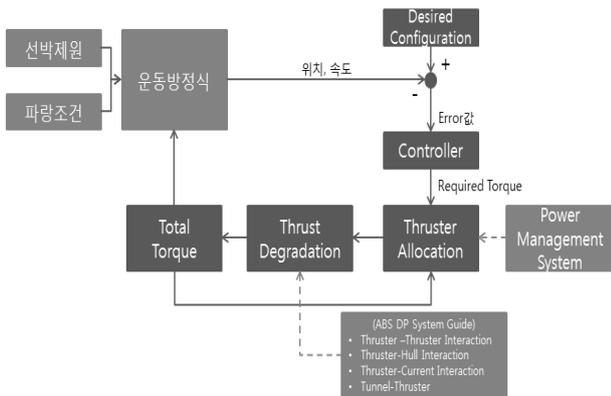


그림 6 DP 해석 기본 프레임워크

추력분배 후 각 추진기별로 할당된 추력은 추진기의 종류 및 배치에 따라 추력저하현상(Thrust Degradation)이 발생한

다. 이에선 추진기간 간섭(Thruster-Thruster Interaction), 추진기와 선체와의 간섭(Thruster-Hull Interaction), 추진기와 해류간 간섭(Thruster-Current Interaction), 터널형 추진기 효과(Tunnel Thruster Effect) 등이 있다.

일반 DP 해석용 Framework에 더하여 빙해역용 Framework는 빙하중을 고려하기 위한 모듈이 추가되어야 한다. 일반적인 빙하중을 포함하는 해석 Framework는 그림 7과 같이 나타난다. 해양환경에 의한 유체력은 빙과 선박 모두에 공통으로 작용하게 된다. 일반적인 선박에 비해 유체력과 선박과의 접촉으로 인한 동특성 모두가 빙하중에 반영되어야 한다.

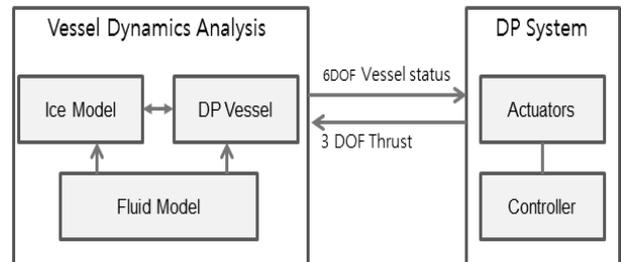


그림 7 빙하중을 고려한 DP 성능 해석 프레임워크

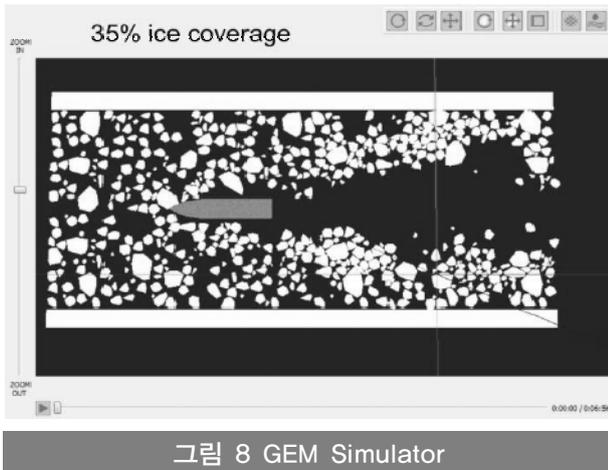
앞서 기술한 바와 같이 선박 동역학 해석에서는 6자유도가 모두 계산되어 DP 시스템으로 6자유도에 대한 위치, 속도, 가속도 정보가 모두 전달된다. 하지만 DP 시스템은 3자유도에 대해서만 반응할 수 있으므로, 선박 동역학 해석 프로그램으로는 3자유도에 대한 힘과 모멘트값이 되돌아가게 된다.

Ice Model를 정교하게 구성하는 것이 무엇보다 중요하며 운동해석 S/W와 연동할 수 있도록 하는 것이 필요하다. 이를 위해 해외 주요 기관들은 자체적인 Ice Model를 개발하여 DP 성능해석에 적용하고 있다.

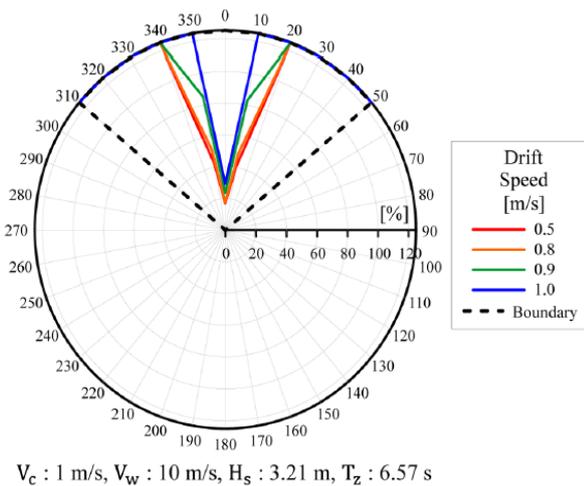
4. 빙해역 DP 성능해석 진행사항

4.1 극지용 DP 성능도표의 작성

본 연구에서는 다양한 빙 파라미터들의 변동에 따른 DP 성능의 분석을 위한 시뮬레이션을 수행하였다. 통상적인 DP 성능 도표를 그리기 위한 절차인 IMCA의 규정서 및 성능 도표의 종류를 소개하였으며 기존의 방법에 유빙 조건이 추가된 성능 도표를 그리기 위한 과정에 대해 설명하였다. 성능 도표 작성에 필요한 빙하중은 전문 소프트웨어인 GEM (GPU-Event-Mechanics)을 이용해 계산되었다.



빙 조건에 따라 설정된 파라미터들을 변경하며 산출된 시계열 데이터를 통계적인 후처리로 가공하여 얻은 평균 하중을 사용하였다. 산출된 평균 하중이 적용된 환경 조건으로부터 Wind envelope과 Thrust envelope를 작성하였으며 이를 기반으로 빙 파라미터들의 변화에 대한 DP 성능의 변화를 분석하였다. 적용된 빙 파라미터에는 유빙의 속도, 얼음의 밀도, 두께, 얼음의 파쇄 강도 (Crushing Strength) 등이 있으며, 이 중 유빙의 속력과 관련한 Thrust envelope가 그림 9에 나타나 있다.

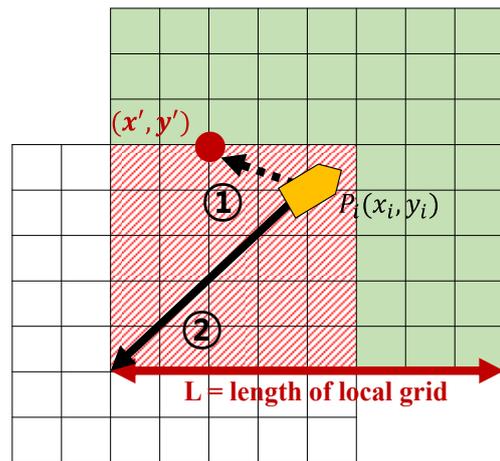


이를 통해 빙하중 시계열로부터 빙하중 계산 시, 변동성 (Variation)을 고려할 수 있는 통계적 특성치가 필요한 것으로 분석되었다. 또한 유빙 조건이 고려된 DP 시뮬레이션에는 빙 두께, 표류속도를 우선순위로 고려해야 하며 빙 파쇄 강도, 밀

도는 DP 시뮬레이션 시 고정값을 사용하거나 DP 성능 분석을 위한 주요 파라미터에서 제외할 수 있을 것으로 판단된다.

4.2 Set Point 기반 위치유지 알고리즘 개발

본 과제에서 진행하고 있는 FPSO와 같은 구조물의 경우 계류시스템과 동적위치유지시스템이 혼합된 형태의 위치유지 시스템이 적용되는 경우가 많다. 이러한 시스템에 과도한 환경하중이 가해질 경우, 계류라인의 파단을 방지하기 위하여 DP 시스템을 가동한다. 이때 현재 상황을 모두 고려하여 최적의 장소와 목표 지점을 설정하고 구조물을 이 방향으로 움직이기 위한 제어 노력이 이루어지는데, 이러한 목표 지점을 일반적으로 Set Point (SP)라고 부른다. 본 연구에서는 SP를 설정하기 위하여 구조물의 위치와 장력 변화량을 이용한 장력 추측방법을 개발하고 있다. 구조물이 이동한 후 계류선에 작용하는 장력이 가장 적을 것으로 예상되는 위치를 SP로 설정하는 전략을 구상하였으며 장력 추측을 위한 방법으로 국소장력과 글로벌장력을 함께 고려하는 방법을 개발하고 있다. 국소장력은 현재와 과거의 구조물 위치 및 장력을 이용하여 수식을 통해 계산되었으며 글로벌장력은 구조물과 계류시스템의 정적 해석을 수행하여 산출한다. 최종적으로, SP는 두 요소의 중첩에 의해 결정되었으며 시뮬레이션을 통해 입증하는 노력을 기울이고 있다.



국소와 글로벌장력의 합산은 매개변수를 사용하여 장력중첩 과정에서 현재 위치로부터 멀어질수록 글로벌장력의 영향을 크게 반영하기 위한 방향으로 적용하고 있다. 이러한 과정

은 중첩된 영역 내에서 현재 구조물의 위치로부터 멀어질수록 계류선의 형상변화 및 환경하중의 동적요소 영향이 커지기 때문에, 계류시스템을 선형으로 가정하여 장력을 추측한 국소장력보다 글로벌장력의 영향을 더 많이 고려하기 위함이다. 따라서 중첩된 영역의 각 노드(node)들은 모두 다른 매개 변수 값을 가지게 된다. 이때 고려되는 정보가 현재 구조물의 위치로부터 떨어진 거리와 현재 구조물의 위치로부터 떨어진 최대 거리이며, 이는 그림 10에서 각각 ①과 ②로 표현되어 있다. 최종적으로, 장력의 감소를 만족시킬 수 있는 SP는 합산된 장력추측영역에서 최소의 장력을 가지는 위치로 선정되게 된다.

5. 결론

얼음이 존재하는 바다에서 동적위치유지시스템만으로 요구되는 위치유지 성능을 얻기 힘들 수 있다는 것이 여러 차례에 걸친 실선 테스트의 결과이다. 안전한 작업을 위해서는 해당 해양구조물에 설치된 위치유지시스템의 성능한계를 분석하거나, 해당 해역에서 작업하기 위한 최소한의 성능요구사항을 분석할 수 있어야 한다. 이러한 분석은 모델테스트 이전에 이루어져야 하므로 기본설계 단계에서 많은 시뮬레이션을 통해 최적의 솔루션을 찾을 필요가 있다.

본 연구에서 진행하고 있는 시간대역 해석 프레임워크가 성공적으로 구성될 경우, 다양한 시나리오에 대해 많은 해석을 수행하여 설계에 필요한 시간을 단축시킬 수 있을 것으로 기대된다.

참고 문헌

Daley, C.G. et al. [GPU-Event-Mechanics Evaluation of Ice Impact Load Statistics] (2014)
 SAMS-ArcISO [https://arciso.com/sams/] (2019.05.28, Access)
 Moran, J. et al. [Deepwater Drilling in the Arctic Ocean's Permanent Sea Ice] (2006)

Liferov, P. et al. [Station-Keeping Trials in Ice: Project Overview] (2018)
 Center for Marine Simulation, Marine Institute, MUN [https://www.mi.mun.ca/departments/centreformarinesimulation/] (2019.05.28, Access)
 최솔미 외 [극지용 FPSO의 DP 성능에 영향을 미치는 빙 파라미터 분석에 관한 연구] (2018)



이재용

- 1972년생
- 2007년 텍사스 A&M 대학교 기계공학과 졸업
- 현 재 : 동의대학교 조선해양공학과 부교수
- 관심분야 : 해양시스템 동역학 및 제어
- 연락처 : 051-890-2596
- E-mail : jlee@deu.ac.kr