

북극해 항로와 Ice Transit Model

정성엽, 최경식(한국해양대학교 해양개발공학부)

1. 서론

지난 수십 년간 세계 경제성장의 원동력은 화석 연료를 이용한 발전이었다. 최근 고유가 추세에 따른 경제성장 둔화와 함께 자원고갈에 대한 우려는 심해져와 극지의 미개발 에너지 자원에 관한 관심을 증가시키고 있다. 동시에 지구온난화 문제로 인한 북극해 만년빙의 급속한 유실은 북극해 지역으로의 접근성을 높이게 하는 계기도 되었다.

특히 북극해는 마지막 남은 지구 자원의 보고로서 전 세계 석유 매장량의 25% 정도가 러시아 시베리아 북쪽지역에 매장되어 있고 천연가스 또한 전 세계 매장량의 30% 정도에 해당하므로 러시아, 캐나다, 노르웨이, 미국 등 각국에서는 자국의 연고권을 행사하며, 북극해 개발에 관한 연구에 활발히 참여하고 있다.

북극해와 시베리아의 자원을 개발하고 수송하기 위한 쇄빙선박의 건조도 많은 관심이 되고 있다. 예전 북극해 항로의 경우 여름철에도 상당 부분 해역이 얼음으로 덮혀 있어서 선박의 항행에 많은 어려움이 존재하였다. 하지만 지구온난화로 인해 북극해 얼음이 예상보다 훨씬 빠른 속도로 녹고 있어 과거 쇄빙선의 도움 없이는 운항이 불가능하였던 해역까지도 일반 선박의 항행이 가능해지고 있다.

2004년과 2005년부터는 북극해를 이용하는 두 항로인 캐나다의 북서항로(Northwest Passage)와 러

시아의 북동항로(Northern Sea Route; 북극해 항로)가 열리기 시작하였다. 여름철의 경우 북극해의 중심부를 제외한 연근해의 전 해역이 무빙상태이거나 미약한 부유빙 상태로서 일반 내빙상선/쇄빙상선의 단독 운항이 가능한 것으로 여겨지고 있다. 미국 항공우주국(NASA)의 최근 연구조사 결과에 따르면 2013년까지는 북극해의 여름철 극빙이 모두 녹아 사라질 것으로 분석하고 있어 쇄빙선박의 운항이 지금보다 훨씬 빈번해질 것으로 예상된다. 이에 따라 북극해 주변에 부존된 석유자원의 선점과 기득권을 확보하기 위한 선진 각국의 노력은 머지않아 쇄빙선박의 수요 증가로 나타날 것이라 전망할 수 있다.

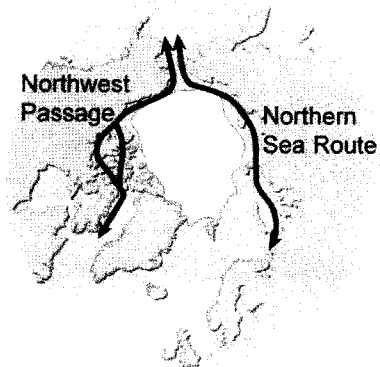


Fig. 1 Northern Sea Route and Northwest Passage in Arctic Ocean

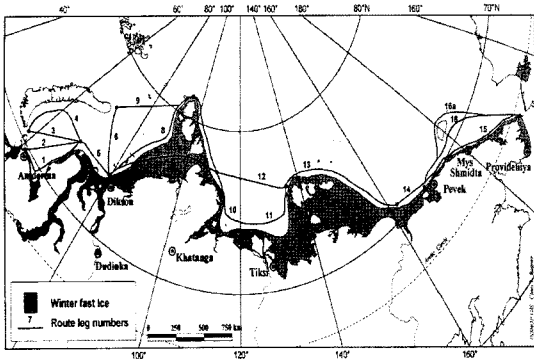


Fig. 2 The Northern Sea Route (Lysaker, 1999)

북극해 항로는 동아시아와 북유럽을 연결하는 최단 항로로서 기존의 수에즈 운하를 통과하는 항로보다 항행거리가 30% 이상 단축되므로 물류수송을 위한 상업항로로서 활용 시 충분히 경제성이 있는 것으로 알려져 있다. 이미 1990년대부터 많은 연구를 통해 북극해 항로의 상업항로로서 가능성을 확인하였지만, 북극해의 열악한 빙상상태로 인해 당시만 해도 정기적인 운항 스케줄로 쇄빙상선이 연중 단독 운항하는 것은 기술적, 경제적으로 많은 어려움이 존재하였다. 하지만 2010년대에는 언급한 바와 같이 일반 내빙상선/쇄빙상선의 연중 단독 운항이 가능할 것으로 예상되므로 국내 산업계도 북극해의 자원개발과 북극해를 통한 물류수송의 증가에 대비하여 신속한 대처가 필요할 것이다.

2. 빙해역 항행모델 (Ice Transit Model)

쇄빙선박이 북극해 항로를 운항하기 위해서는 북극해 지역의 환경조건 및 빙상조건에 대한 연구가 선행되어야 한다. 1993년부터 러시아, 노르웨이, 일본 등이 주관하여 7년간 수행된 국제 북극해 항로 프로그램(International Northern Sea Route Program; INSROP)은 북극해의 빙상조건, 환경, 항로분석, 정치, 경제 등 다양한 분야를 다루었었다. INSROP에서 수행된 연구과제의 하나가 북극해의 빙해역 항행모델(Ice Transit Model)과 운항 시뮬레이션이었

다. 통상 항행모델이라 하면 해운경영학에서 최소의 운항비용이 가능한 최적 운항경로를 찾는 수치 시뮬레이션을 말하는데 빙해역 항로에도 동일한 방법을 적용할 수 있다. 하지만 북극해를 포함하는 빙해역에서 운항비용에 가장 큰 영향을 주는 인자가 빙상조건이기 때문에 빙해역 항행모델은 일반 해역과 달리 차별화된 모델이라고 할 수 있다.

INSROP에서 시도된 빙해역 항행모델은 북극해 항로를 운항하는 쇄빙선박의 항행시간 및 평균속도, 유도쇄빙선 사용시간, 소요경비 등을 계산하여 최적 운항항로를 결정하는 시뮬레이션 프로그램이다. 이 프로그램에서는 Monte Carlo 방법을 이용하여 빙해역 환경변수를 생성하고 이를 바탕으로 다수의 반복 시뮬레이션 실행을 통해 실제 현상을 반영할 수 있도록 설계되었는데 여기서 항행구간은 무르만스크(Murmansk)에서 베링해(Bering Sea) 사이에 59개의 절점(node)을 배정하고 이들 각 절점에 빙상 및 해양환경 조건을 입력하였다. 시뮬레이션 과정에서 주어진 환경정보를 바탕으로 보다 항행하기 좋은 항로를 선정하기 위한 것이다.

빙해역 운항 중 선속 및 유도쇄빙선의 사용 유무는 해빙의 집적도(ice concentration)와 두께(ice thickness) 그리고 파고(wave height) 및 풍향(wind direction) 등에 따라 결정되며, 추가적으로 어둠(darkness), 안개(fog), 상부구조물 착빙(icing), 빙하중(ice pressure), 눈폭풍(snow storm) 데이터가 함께 사용되었다. 이 프로그램에서 대상 선박으로 러시아의 2만톤급 다목적 화물선인 SA-15 Norilsk class, 핀란드의 쇄빙형 벌크선인 Lunni class, 러시아의 벌크선인 Strekalovsky class의 선박정보를 이용한 바 있다.

국내에서는 한국해양대학교 극지공학연구실에서 독자적으로 북극해 항로의 빙해역 항행모델을 개발하였는데 기본적인 아이디어는 INSROP에서 수행되었던 모델을 따르고 있다. 여기서 빙상정보 및 해양환경 정보는 INSROP에서 이용했던 만큼의 풍부한 데이터를 확보할 수 없었기 때문에 난수(random

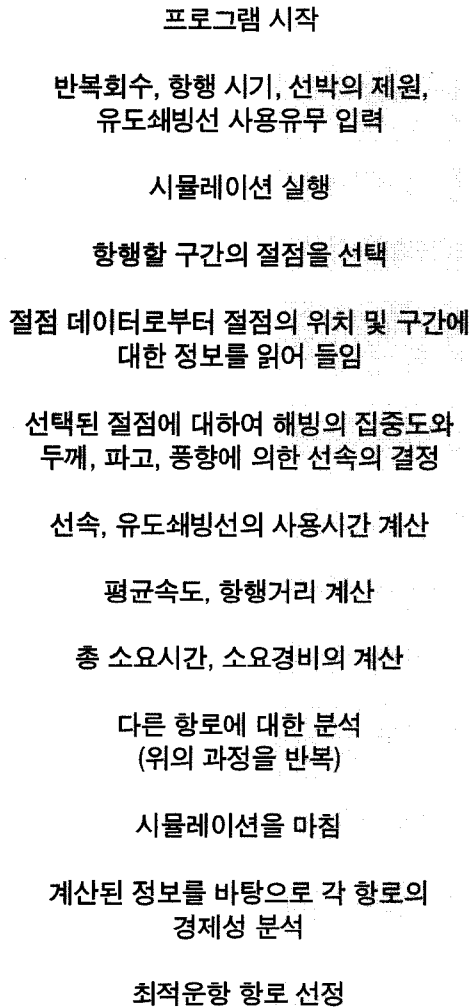


Fig. 3 Ice transit model flow chart

number)를 생성하여 확률(probability)분포로 처리하였는데 이는 정규분포 또는 가우스 분포로 나타내었다. 본 시뮬레이션 프로그램의 실행에 대한 흐름도를 Fig. 3에 나타내었다.

반복회수는 확률적으로 산출된 환경정보를 바탕으로 시뮬레이션 과정에서 보다 정확한 결과를 얻기 위해 500회까지 시도하였다. 항행시기는 최근 극지방의 빙상상태의 변화에 따라 1월부터 12월까지

영구극빙 지역을 제외한 연안의 대부분에서 선박의 운항이 가능할 것으로 판단하여 모든 시기에 대해 시뮬레이션이 가능하도록 하였다.

항로선정은 INSROP과 같은 방법으로 먼저 빙해 구간에서는 해빙의 밀집도(ice concentration)를 우선적으로 비교하는데, 밀집도가 낮은 구간에서는 두꺼운 빙맥과의 충돌을 피해 운항할 수 있으므로 해빙의 두께가 선박의 항로 선정에 있어 그다지 큰 영향을 미치지 않는다. 하지만 밀집도가 높은 구간에서는 해빙의 두께가 선박의 항행방향 및 운항속도, 유도쇄빙선의 사용 유무를 결정하므로 빙두께를 비교하여 항행구간을 선택하게 되고 만약 각 절점에서 해빙의 집적도가 동일한 경우에는 해빙의 두께에 대한 정보가 가장 중요한 변수로서 이를 함께 비교하여 쇄빙선박의 운항항로를 선정하도록 하였다.

시뮬레이션 과정에 사용되는 데이터로는 선박의 제원과 함께 선박의 운항비용(\$/day), 통행료, 유도쇄빙선의 이용비용(\$/day)에 관련된 사항과 절점에 대한 위도 및 경도 정보가 포함되어있다. 여기서 선박의 제원에는 선박의 운항비용을 계산하기 위해 재화중량(DWT)과 함께 선속의 결정을 위해 일반해역에서의 최대 속력에 대한 정보를 포함하고 있으며, 절점에서는 항행 구간별 운항거리를 계산하기 위해 각 구간별 거리가 측정되어 있다.

시뮬레이션 과정에서 사용자는 유도쇄빙선의 사용 유무를 결정할 수 있다. 이는 빙해역 운항 시 항로의 빙상상태에 따라 유도쇄빙선이 항로를 개설한 후 쇄빙선박이 운항하는 경우가 발생할 수 있기 때문이다. 유도쇄빙선을 이용하는 경우 프로그램 상에서는 유도쇄빙선의 쇄빙능력이 정의되어야 한다. 일반적으로 빙해역 운항 시 쇄빙선박은 1.0~1.6m 정도의 평탄빙 내에서는 연속쇄빙(continuous icebreaking)으로 자항이 가능하지만 두꺼운 빙맥(ice ridge) 또는 다년생빙(multi-year ice)을 통과하는 경우에는 연속쇄빙 보다는 충격쇄빙(ramming) 방식을 통해 운항하므로, 선박의 안전을 위해 유도쇄빙

Table 1 Ship's information and results of transit model simulation

Optimum Sea Route	CASE 61
- Number of Transit	500
- Ship Class	Model ship 1
- Deadweight Tonnage (ton)	40,000
- Max. Ship Speed (m/s)	7.2
- Ice Capacity	1.8m @1.5m/s
- Transit Month	April
- Transit Direction	Murmansk to Bering Sea
1) Total Transit Length (km)	5,507.6
2) Total Transit Hour (hr)	456.4
3) Mean Ship Speed (m/s)	3.521
4) Mean I/B Escort Hour (hr)	83.7
5) Transit Cost (\$)	692,810

선으로 항로를 개설한 후 그 뒤를 쇄빙선박이 운항하는 방식을 사용하기도 한다. 그러므로 이때 선박의 경비계산 과정에서는 유도쇄빙선 사용에 대한 추가 비용이 소요경비에 포함되게 되며, 이때 유도쇄빙선의 이용 요금은 빙해역에서 유도쇄빙선 사용 시간 및 선박의 배수량과 밀접한 관련이 있다.

본 프로그램은 기존의 항행모델처럼 대상선박에 대한 항행거리 및 평균속도, 유도쇄빙선 사용시간, 소요경비를 계산함과 동시에 추가적으로 모든 항로에 대한 시뮬레이션 과정을 통해 경제성을 분석하여 무르만스크에서 베링해협 사이 총 66가지 항로 중 선박의 최적운항 항로를 선정할 수 있다 (Table 1). 여기서 선박의 항행시간이 짧을수록 선박의 총 소요경비는 그만큼 줄어들게 되므로 최적운항 항로의 선정은 항행시간이 주요 변수이며, 이를 위해 시뮬레이션 과정에서는 각 구간별 항행시간이 계산된다.

3. 빙해역 항행모델의 활용

언급한 바와 같이 본 연구자들에 의해 개발된 빙해역 항행모델(Ice Transit Model)은 실제 선박 운항 시 소요되는 경비를 산정하는 운항 시뮬레이션을 통해 사용자의 목적에 따라 항행시기별 최적인

항 항로를 선정할 수 있도록 구성되었다 (Fig. 4). 대상 선박은 사용자가 선정할 수 있으며, 항행시기도 연중 모든 달에 대해서 가능하고 유도쇄빙선의 사용 유무에 따른 소요경비도 각각 계산할 수 있다. 다만 본 항행모델에서 사용한 환경정보 데이터의 부족으로 난수(random number)를 이용해 생성을 하였고 이를 보완하기 위해 다수의 반복 실행을 통해 결과를 분석하고 있다.

빙해역 항행모델을 이용하면 빙해역에 선박의 실제 투입에 앞서 실제 상황을 미리 예측할 수 있다는 이점이 있다. 또한 겨울철 북극해 지역의 해빙이 상당량 녹아 유도쇄빙선의 사용이 필요하지 않는 경우도 고려해 유도쇄빙선의 사용 유무에 따른 각각의 항로를 선정하는 알고리즘이 보완되어 이전의 모델보다 더 신뢰성 있는 결과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다. 그러므로 이러한 항행 모델을 활용하면 사전에 선박의 운항 시뮬레이션을 통해 선박의 소요경비 등을 예측하고 선박이 항행하기 좋은 경제적인 항로를 선정할 수 있을 것이다.

INSROP에서 사용된 빙해역 항행모델의 경우 2만톤급의 규모가 작은 쇄빙선박 또는 내빙선박을 대상으로 하였으며, 빙상상태 및 해양환경 조건이 현실점과 다소 차이가 있으므로 이러한 사항을 보완하면서 독자적인 새로운 항행모델을 개발하였다.



Fig. 4 Visualization of optimum sea route of April using ArcGIS

빙해역 항행모델을 활용할 경우 사용하려는 목적이 가장 중요한데, 예를 들어 북극해 항로를 운항하기 위한 쇄빙선박 투입을 결정해야 하는 해운사라면, 최적항로 선정과 함께 선정된 항로를 항행할 경우 선박의 소요경비 산정이 궁극적인 목표인데, 북극해 항로의 환경조건 및 빙상조건에 관한 실시간 데이터 확보와 함께 미래 예상 항해시기의 데이터 추정이 가능해야 하고 (다시 말해 환경조건 변화예측), 이를 바탕으로 쇄빙선박의 가상 시뮬레이션 과정을 통해 실제 상황을 가장 잘 반영 할 수 있도록 구성되어야 할 것이다. 이 데이터들이 정확하지 않다면 시뮬레이션을 통해 얻어진 결과 또한 정확도가 낮아질 것이다.

4. 결 언

INSROP의 세부과제의 하나로 다루어졌던 빙해역 항행모델은 북극해 항로를 운항하는 쇄빙선박의 운항시간 및 속도, 운항비용 등을 산정하는 시뮬레이션 프로그램인데, 국내의 경우 지금까지 쇄빙선박 자체의 건조에 대한 관심에 비해 빙해역 운항 항로에 대한 연구는 거의 다루어지지 않았다. 하지만 쇄빙선박을 이용해 빙해역 항로를 운항할 경우 다양한 빙상조건에 따른 다수의 항로가 존재할 수 있으므로 이에 대한 연구도 중요하다고 하겠다.

현재 북극해 지역의 빙상환경 정보에 대해서는 대부분 러시아와 캐나다 등 국외에 소장된 것으로서 그

간 국내에서 북극해 지역의 환경조건 및 빙상자료에 대한 연구나 데이터베이스 구축에 관한 사업도 없었기 때문에 자료의 확보에 많은 어려움이 있다. 기존의 축적된 자료의 직접/간접적 확보와 함께 부족한 부분을 보완하기 위한 해석적인 방법도 필요하다.

근래 국내 조선사에서 건조된 쇄빙선박은 두께 1.5m 정도의 북극해 지역을 독자적으로 운항하도록 설계된 것으로 이러한 정도의 쇄빙능력을 지닌 선박에 대한 수요가 점차 증가되고 있다. 아울러 북극해 항로를 통한 정기화물선 취항을 계획하고 있는 국내의 해운사 역시 빙해역 항행모델의 활용에 관심을 가져야 할 것이다. 쇄빙유조선, 쇄빙LNG선 등의 새로운 개념의 선박에 대한 관심을 바탕으로 향후 국내에서도 빙해역 선박의 안전운항에 대한 연구와 투자가 확대될 수 있으리라 기대된다.

참고문헌

1. 정성엽, 최경식, 2007, “쇄빙상선의 북극해 항로 항행 모델링” 대한조선학회논문집 제44권, 제3호, pp.340-347
2. Lysaker, 1999, The Northern Sea Route User Conference - Executive Summaries, -INSROP Related Publications.
3. Mulherin, N.D., Eppler, D.T., Proshutinsky, T.O., Proshutinsky, A.U., Farmer, L.D. and Smith. O.P. 1996, Development and Results of a Northern Sea Route Transit Model, CRREL Report 96-5.
4. Ostreg, W(ed), 1999, INSROP Integration Book - The Challenge of the Northern Sea Route, INSROP Working Paper No.167-1999. ⚓

정 성 엽 | 한국해양대학교 해양개발공학부 박사과정



- 1981년생
- 2008년 한국해양대학교 공학석사
- 관심분야 : 쇄빙선박의 빙하중 추정/ 빙해역 항행 모델
- E-mail : jsyeop81@hhu.ac.kr

최 경 식 | 한국해양대학교 해양개발공학부 교수



- 1957년생
- 1989년 미국 M.I.T. 공학박사
- 관심분야 : 극지공학, 쇄빙선박/빙해구조물의 빙하중 추정
- E-mail : kchoi@hhu.ac.kr