

쇄빙상선의 북극해 항로 항행 모델링

정성엽^{†*}, 최경식^{*}

한국해양대학교 해양개발공학부^{*}

The Northern Sea Route Transit Modeling of Icebreaking Cargo Vessels

Seong-Yeob Jeong^{†*} and Kyungsik Choi^{*}

Div. of Ocean Development Engineering, Korea Maritime University^{*}

Abstract

Main purpose of the study is to develop a transit model for icebreaking cargo vessels in the Northern Sea Route and to select optimum sea routes with the shortest navigation time and the lowest operation cost. This numerical model executed with basic information such as ship capabilities, transit directions and months of transit, can calculate total transit distance and elapsed time, mean speed, operation cost for each vessel. In the transit model, environment information such as the site-specific ice conditions, wave and wind states are utilized for four different months (April, June, August, and October) along the Northern Sea Route. The model also defines a necessary period of an icebreaker escort. Then the optimum sea routes are selected and visually displayed on the digital map using a commercial software ArcGIS. Usefulness of the selected sea routes is discussed.

※Keywords: Ice transit model(빙해 항행 모델), Ice condition(빙상 상태), Optimum sea route(최적 운항 항로), Icebreaking cargo vessels(쇄빙상선), Northern Sea Route(북극해 항로)

1. 서론

북극해 항로(Northern Sea Route, NSR)는 러시아의 북쪽 북극해 연안을 따라 서쪽의 무르만스크에서 동쪽의 베링해협까지를 연결하는 해상수송로를 말하며 총 길이는 5,400km에 이른다. 이는 동아시아와 대서양의 서유로를 연결하는 최단항로로

서 근래 범세계적인 무역루트로 활용되고 있는 추세이다.

최근 들어 북극해 항로에 대한 관심이 지속적으로 증가하고 있는 이유는 바로 러시아의 북극권에 막대한 양의 천연자원이 매장되어 있기 때문이다. 또한 우리나라와 가까운 오호츠크해의 사할린 지역에는 석유와 천연가스가 대규모로 매장되어 있어서 이들 자원을 개발하고 수송하기 위해 빙해역을 통한 항로가 필수적이며 이로 인한 경제적 효과는 매우 크다고 할 수 있다(Ostreng et al.

접수일: 2006년 11월 28일, 승인일: 2007년 4월 10일

† 교신저자: jsyeop81@hhu.ac.kr, 051-410-4951

1999).

쇄빙상선을 이용한 항행에 있어 기술적 어려움 중의 하나는 현재 북극해 지역의 빙상환경과 선박의 통항 항로에 대한 분석이다. 이는 북극해의 다양한 빙상상태에 따라 필연적으로 선택될 수밖에 없는 다양한 항로의 가능성이 존재하기 때문이다 (Fig. 1). 본 연구에서는 이러한 잠재적 가능성을 지닌 북극해 항로를 구성하는 다수의 항로로부터 경제적인 요건을 만족하는 최적 운항 항로를 선정하기 위한 방법으로 빙해역 항행 모델(ice transit model)을 다루었다.

1993년부터 7년간 수행된 노르웨이, 러시아, 일본 주도의 국제공동연구인 INSROP(International Northern Sea Route Program)을 통하여 북극해 항로에서의 ice transit simulation model 이 처음으로 연구된 바 있다. 아울러 INSROP을 통하여 당시까지 공개된 북극해의 빙상자료를 정리한 GIS 용 데이터베이스도 개발되었다(Mulherin et al. 1996).

본 연구는 Mulherin et al.(1996) 이 시도했던 빙해 항행 모델의 독자적인 구현과 이를 화면상에서 가시화시킨다는 데 기본적인 방향을 잡고 있다. 이러한 맥락에서 본 연구자들은 제한된 연구지만 북극해에서의 최적 항로를 8월이라는 특정 시기에 대하여 선박별로 조사한 바 있다(정성엽과 최경식 2006).

본 논문에서는 역시 북극해 항로에 초점을 두고 국내에서 기획보된 빙상환경 정보를 바탕으로 모든 자료를 데이터베이스로 만들었으며 이를 별도

로 개발한 북극해 항로 항행 모델과 통합하였다. 그리고 이 모델을 이용한 항행 시뮬레이션 과정을 통해 데이터베이스에 수록된 정보에 상응하는 최적 운항 항로를 시기별로 4개 선정하였으며, 이 결과를 상용 GIS 프로그램인 ArcGIS (ESRI 2004)를 이용해 선정된 최적 항로를 지도상에 나타냄으로써 북극해 항로 수요자들이 항로 정보를 보다 쉽게 파악할 수 있도록 하였다.

본 논문의 구성은 북극해 항로 항행 시뮬레이션을 통한 최적 항로의 선정과 ArcGIS 소프트웨어를 이용한 최적 항로의 가시화 작업으로 크게 나눌 수 있다.

2. 북극해 항로 항행 모델 시뮬레이션

2.1 북극해 항로 항행 모델링

본 연구에서 개발한 북극해 항로 항행 모델은 북극해 지역을 운항하는 쇄빙상선의 항행 시기별 최적 운항 항로를 선정하기 위한 수치 시뮬레이션 모델이다. 이는 각 노드(node)별 환경정보를 바탕으로 하여 쇄빙상선의 최적 운항 항로를 선정하고 선정된 최적 운항 항로에 대한 선박별 총 항행 거리, 소요시간, 평균속도, 유도쇄빙선의 사용시간, 소요경비를 계산하게 된다.

항행 모델은 서쪽의 무르만스크에서 동쪽의 베링해협까지 북극해 항로 전 구간에 노드를 배치시키고 이를 연결해 구성하였다. 각 노드에는 해빙의 분포와 집중도(ice concentration: 북극해 항로 구간을 구성하는 각 노드별 반경 100km이내의 영역에서 해빙으로 덮힌 정도를 %로 표기), 얼음 두께(ice thickness), 그리고 파고와 풍향에 관해 수집된 정보를 배정하였으며, 본 모델에서는 이러한 자료를 기본적인 환경정보로 이용하였다. 입력자료가 불충분하거나 자료 자체가 없는 노드에는 동일한 확률로 가정하여 임의로 무작위하게 random number를 생성하여 보완하였다. 이는 향후 실측 빙상자료 등의 확보가 가능해지면 그 정확도를 향상시킬 수 있는 부분이다.

전체 항로를 구성하는 데이터 노드(data nodes)와 결정 노드(decision nodes)에는 각각의 환경정보가 입력되어 있어 그 성격이 유사하지만, 결정

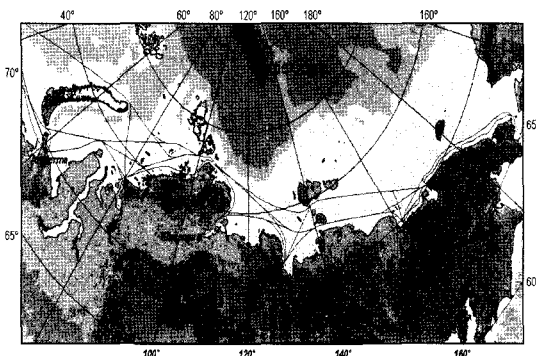


Fig. 1 The northern sea route

노드는 데이터 노드와는 달리 시뮬레이션 과정에서 항행 방향을 선택할 수 있어 데이터 노드에서 또 다른 데이터 노드로 진행시 어떠한 항로가 선택 가능한지 정보를 제공하게 된다. 본 연구에서 선택한 각 노드의 위치는 Fig. 2에서와 같이 Mulherin et al.(1996) 의 자료를 이용하였다.

시뮬레이션을 실행하기 위해서는 기본적으로 선박의 성능, 항행방향, 항행시기에 대한 정보를 입력해야한다. 이러한 정보가 입력되고 나면 시뮬레이션이 실행되며 각 항로 구간의 결정 노드에서는 데이터 노드의 해빙의 집중도와 두께, 파고, 풍향에 대한 정보를 비교/분석하여 선박이 보다 항행하기 좋은 조건의 데이터 노드를 선택해 진행하게 되고, 이러한 과정을 반복해 나가며 Monte Carlo 방법을 바탕으로 다수의 반복실행을 통해 최종적으로 쇄빙상선의 최적 운항 항로를 선정하는 알고리즘으로 개발하였다. 시뮬레이션에 사용된 네 종류의 선박에 대한 제원은 다음과 같다.

1) Norilsk class

- 선종: Multi-purpose cargo ship
- 전체 길이(length overall): 174m
- 최대 흘수(maximum draft): 10.5m
- 재화중량(deadweight): 19,950ton
- 기관출력: 20,600hp
- 쇄빙능력: 1m 두께의 빙해역에서 2knot
- 건조: Yard Wartsila, Turku, Finland 1982
- 선주: 러시아

2) Lunni class

- 선종: Liquid bulk carrier
- 전체 길이: 164.5m
- 최대 흘수: 9.5m
- 재화중량: 16,000ton
- 기관출력: 15,400hp
- 쇄빙능력: 1m 두께의 빙해역에서 2knot
- 건조: Kvaerner Masa-Yards, Finland 1976
- 선주: 핀란드

3) Strekalovsky class

- 선종: Dry bulk carrier
- 전체 길이: 162.1m
- 최대 흘수: 9.9m
- 재화중량: 19,252ton
- 기관출력: 11,050hp
- 건조: 독일 1981
- 선주: 러시아

4) 쇄빙유조선

- 선종: Icebreaking crude oil tanker
- 전체 길이: 256m
- 재화중량: 70,000ton
- 쇄빙능력: 1.6m 두께의 빙해역에서 3knot
- 건조: 삼성중공업(예정), 한국 2008
- 선주: 러시아

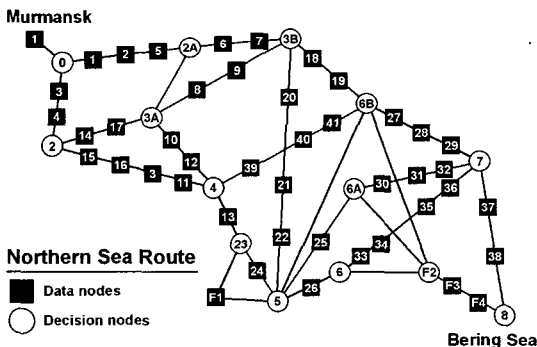


Fig. 2 Data and decision nodes selected for the Northern Sea Route (from Mulherin et al. 1996)

선속의 결정은 시뮬레이션 과정에서 가장 중요한 사항이다. 일반적으로 대양에서 선속은 파도와 해류, 바람과 같이 조종성에 영향을 주는 요인과 함께 어둠과 안개처럼 가시성에 영향을 주는 요인으로 구성되어 있으며 이러한 여러 가지 환경적인 요건에 의해 지속적으로 영향을 받는다.

빙해역에서는 이를 보다는 해빙의 크기와 분포에 따라 선박의 진행 방향 및 선속을 유지하기 위한 속도 그리고 유도쇄빙선의 사용이 필요한지에 대한 여부를 결정할 수 있다. 본 항행 모델에서는 풍향, 파도와 해빙의 두께 및 집중도에 관한 정보를 중점으로 하여 시뮬레이션이 실행된다.

각 구간별 선속은 해빙의 두께와 집중도에 따라 Table 1 과 같이 결정된다. 이를 통해 선박의 평

Table 1 Determination of ship's speed in knots based on sea ice thickness and concentration

		Ice thickness (cm)			
		Ice free	<120	120-180	180-240
Ice concentration (%)	Ice free	Full speed *			
	<30	8	8	7	6
	30-60	8	8	7	6
	60-80	6	6	5	4
80-100	4	4	3	2	1

*Full speed: 선박별 최대선속을 나타냄.

- 1) Norilsk: 17.0knot 2) Lunni: 14.5knot
- 3) Strekalovsky: 15.2knot 4) 쇄빙유조선: 15.0knot

균속도가 결정되며 유도쇄빙선의 이용 여부를 판단하여 사용시간을 결정하고 이러한 계산이 완료되면 다음 노드로 이동하여 위의 과정을 반복 수행하게 된다.

Table 1 에서 음영 부분은 유도쇄빙선이 앞에서 유도하는 경우, 유도된 선박의 속도인데 일반적으로 유도쇄빙선은 해빙의 집중도가 80%를 초과할 때 필요하다. 특히 해빙의 집중도가 60~80% 정도일 때, 해빙의 두께가 120cm 이상이면 유도쇄빙선은 빙해역에서 선박의 항행을 위해 꼭 필요한 것으로 간주된다.

시뮬레이션에서 사용한 네 가지 선박들은 일반 상선과는 달리 내빙상선(ice strengthened cargo vessel)으로서 얇은 결빙지역에서는 유도쇄빙선에 의한 유도 없이도 자항이 가능하다.

항로선택 과정을 살펴보면 Fig. 2 에서 1번 데이터 노드에서 0번 결정 노드로 진행을 하면 0번 결정 노드에서는 0-2A구간의 1번 데이터 노드와 0-2구간의 3번 데이터 노드에서의 각 노드에 대한 환경정보를 바탕으로 자료를 분석하여 선박이 보다 항행하기 좋은 환경의 데이터 노드를 선택하고, 그 방향으로 진행을 하게 되며 각 결정 노드에 도달할 때 마다 위와 같은 과정을 반복 실행하게 된다. 이는 빙해역에서 실제 선박의 항행 시 이용되는 방법으로서 본 모델에서는 위와 같은 방법을 바탕으로 하여 항로구간을 선택하였다. 이렇게 항로 구간이 결정되고 나면 선정된 항로 구간

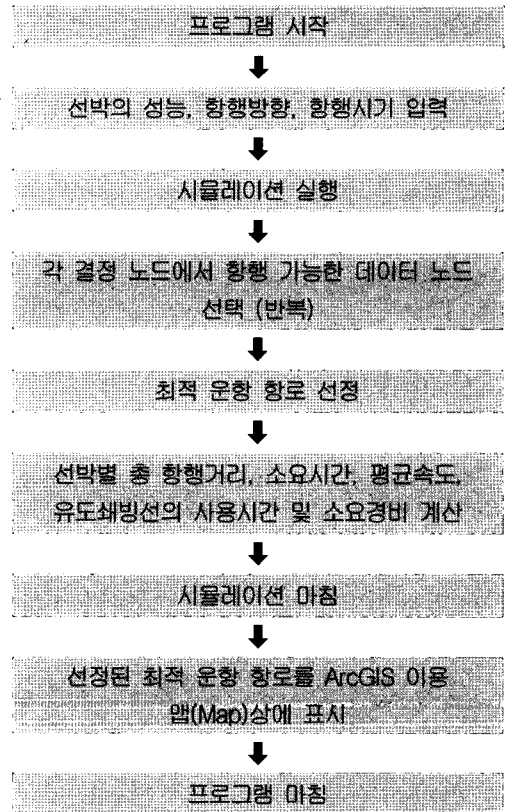


Fig. 3 Flowchart of ice transit model simulation procedures

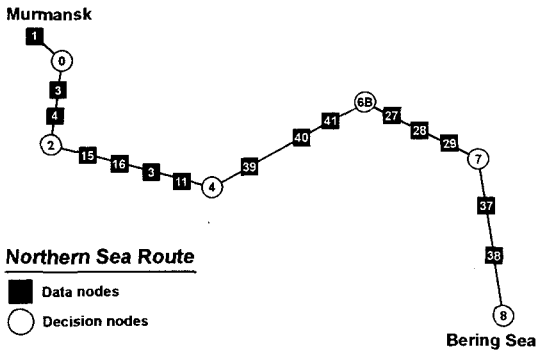
에 대한 선박별 총 항행거리와 소요시간, 평균속도 및 유도쇄빙선의 사용시간과 소요경비를 순차적으로 계산하여 출력한다. 시뮬레이션이 실행되는 전체적인 흐름은 Fig. 3과 같다.

2.2 항행 모델 시뮬레이션 및 결과

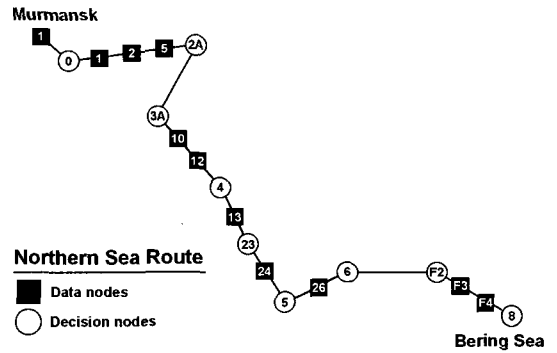
본 모델에서 북극해 항로의 항행시기 선정에서는 북극해 지역의 지리적 특성을 고려해볼 때 12월, 1월, 2월 등은 많은 해역이 해빙으로 덮여있어 선박의 항행에 많은 어려움이 존재하므로 해상의 환경상태가 보다 양호한 4월, 6월, 8월, 10월을 항행시기로 선정하고 이에 대해 시뮬레이션을 실행하였다.

항행 시뮬레이션 실행을 통해 얻어진 항행 시기별(4월, 6월, 8월, 10월) 최적 운항 항로는 Fig. 4와 같다.

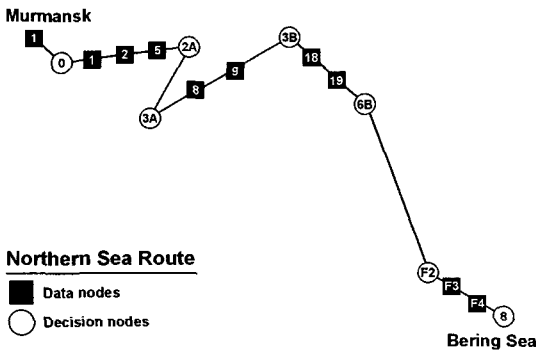
< 4월 최적 운항 항로 >



< 10월 최적 운항 항로 >



< 6월 최적 운항 항로 >



< 8월 최적 운항 항로 >

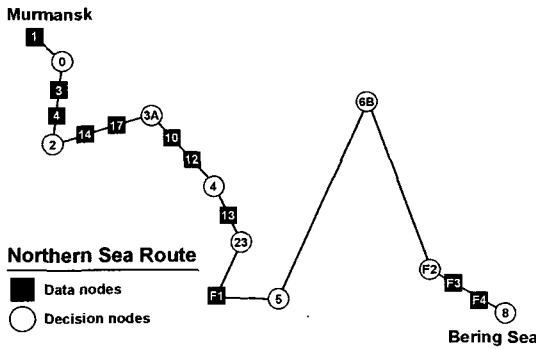


Fig. 4 Monthly optimum sea routes determined

위와 같이 최적 항로가 선정되고 나면 선정된 항로에 대해 선박별로 총 항행거리, 예상 소요시간, 평균속도, 유도쇄빙선의 사용시간 및 소요경비를 순차적으로 계산하여 출력하고 시뮬레이션 과정을 마친다. 각 시기별 최적 운항 항로에 대한 시뮬레이션 결과를 정리하면 Table 2 와 같다.

Table 2 Results of transit model simulation

1) Total Transit Length (nm)	2957.70	2957.70	2957.70	2957.70
2) Total Elapsed Time (hr)	254.66	276.60	270.08	271.91
3) Mean Speed (knot)	11.61	10.69	10.95	10.88
4) Mean IB escort (hr)	126.25	126.25	126.25	126.25
5) Total Cost (\$)	357250	331320	314970	764740

1) Total Transit Length (nm)	3299.45	3299.45	3299.45	3299.45
2) Total Elapsed Time (hr)	337.26	366.86	358.06	360.53
3) Mean Speed (knot)	9.78	8.99	9.21	9.15
4) Mean IB escort (hr)	195.65	195.65	195.65	195.65
5) Total Cost (\$)	416620	382100	356210	857060

1)Total Transit Length (nm)	3371.52	3371.52	3371.52	3371.52
2)Total Elapsed Time (hr)	280.79	311.51	302.25	304.84
3)Mean Speed (knot)	12.01	10.82	11.15	11.06
4)Mean IB escort (hr)	64.13	64.13	64.13	64.13
5)Total Cost (\$)	376000	351000	330050	799040

1)Total Transit Length (nm)	3178.81	3178.81	3178.81	3178.81
2)Total Elapsed Time (hr)	256.86	284.04	275.86	278.15
3)Mean Speed (knot)	12.38	11.19	11.52	11.43
4)Mean IB escort (hr)	100.84	100.84	100.84	100.84
5)Total Cost (\$)	358830	335510	317680	771240

계산된 결과는 시뮬레이션을 통해 선정된 최적 운항 항로를 따라 선박별로 항행 시 예상되는 소요시간과 경비를 산정한 것이다. 만약 북극해 지역의 환경정보에 대한 데이터가 충분히 확보된다면 이러한 정보로부터 쇄빙상선의 항행시기와 항행방향, 선박의 성능과 같은 기본적인 정보를 파악하여 본 연구에서 개발한 빙해 항행 모델의 시뮬레이션 실행을 통해 실제로 선박이 항행을 하지 않고도 상황을 미리 예측할 수 있다.

3. ArcGIS를 이용한 최적 항로 가시화

언급한 바와 같이 항행 시기별 최적 운항 항로가 결정된 후에 선정된 항로는 ArcGIS를 이용해 지도상에 최적 운항 항로를 표시하여 북극해 지역에 관심 있는 사용자가 쉽게 항로 정보를 파악할 수 있도록 하였다.

3.1 ArcGIS의 정의 및 특징

ArcGIS는 클라이언트 소프트웨어, 서버 소프트웨어, 데이터 요소 등을 포함하는 일련의 GIS 소프트웨어 제품으로서, 본 연구에서는 ArcMap,

ArcCatalog, ArcToolbox를 이용해 북극해 항로 항행 모델의 시뮬레이션을 통해 선정된 쇄빙상선별 최적 운항 항로를 북극해 지도상에 표시하고, 이들 지역의 환경정보를 정리하였다.

1) ArcMap

ArcMap은 데이터의 디스플레이 작업 및 속성데이터의 쿼리(Query)작업과 더불어 편집 및 분석 작업을 하는데, 주로 지도 작성에 사용된다.

2) ArcCatalog

ArcCatalog 애플리케이션은 프로그램 사용자의 모든 GIS 데이터를 구성하고 관리하는 기능을 가지고 있다. 또한 ArcCatalog에서는 메타데이터의 생성 및 관리를 통해 사용자가 직접 작성한 데이터베이스를 확인할 수 있다.

3) ArcToolbox

ArcToolbox 창은 데이터 변환, 좌표체계관리, 맵 투영법 변경과 같은 기능을 가지고 있다. 또한 사용자의 편의를 위해 ArcCatalog 또는 ArcMap으로부터 데이터의 drag-and-drop 작업을 지원한다(ESRI 2004).

본 연구에서는 ArcGIS를 이용해 북극해 지역의 빙상자료와 파고, 풍향조건 등과 같은 정보를 입력하여 새로운 데이터 셋을 형성하였다. 그리고 이러한 데이터를 바탕으로 하여 ArcCatalog에서 퍼스널 지오데이터베이스(Personal Geodatabase)를 만들고 피쳐(feature)를 생성하였다. 그 다음 생성된 피쳐에 속성값들을 편집기를 사용하여 입력하고 유형을 분류한 뒤에 피쳐의 디스플레이 작업을 위해 테이블을 편집하여 피쳐 간 공간관계의 분석을 통해 지도상에 나타내고, 이를 통해 사용자가 데이터를 가시적으로 볼 수 있도록 하여 관심 영역에 대한 속성값은 물론 거리와 좌표의 측정, 해당 지역의 정확한 위치 파악이 가능하도록 하였다. 또한 기존의 데이터와 조사를 통하여 얻어진 데이터를 테이블로 만들어 사용자가 어떠한 지역에서의 빙상상태나 환경조건에 대한 속성값이 필요할 경우 차트를 통해 데이터를 도표화하고,

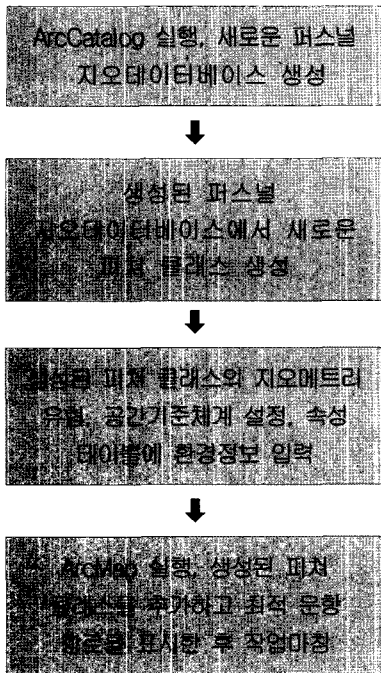


Fig. 5 Flowchart of ArcGIS process

뷰(view)를 통해 맵핑(mapping)이 가능하게 해 주었다. ArcGIS의 작업 흐름도는 Fig. 5 와 같다.

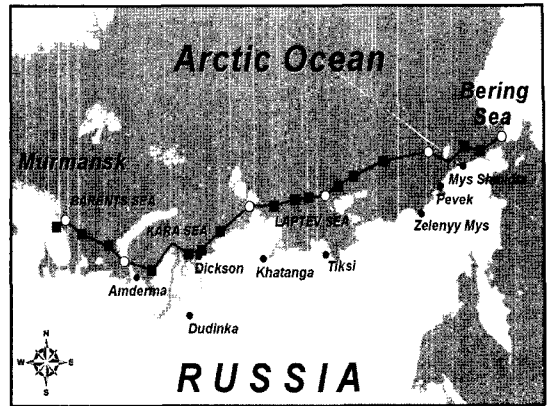
3.2 ArcGIS를 이용한 월별 최적 항로 구현

ArcGIS는 지도 데이터의 작성 및 자료의 정리와 분석 작업이 용이하므로 이를 이용하여 앞서 북극해 항로 항행 모델의 시뮬레이션을 통해 선정된 4월, 6월, 8월, 10월 각각의 최적 운항 항로를 ArcMap, ArcCatalog를 이용하여 지도상에 표시하였으며, 그 결과를 나타내면 Fig. 6 과 같다.

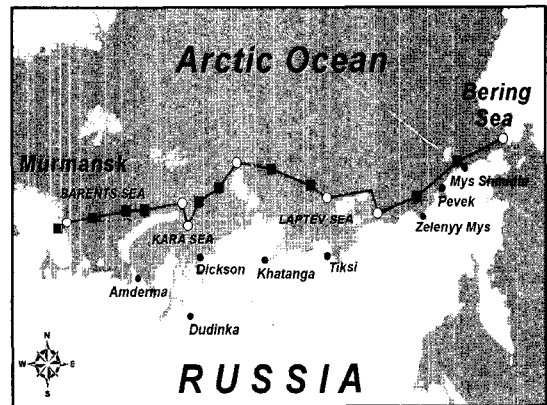
이와 같이 ArcGIS를 이용해 북극해 지역에서 쇄빙상선의 시기별 항행 구간을 지도상에 표시하여 시각적으로 나타냄으로써 사용자는 항로 정보를 보다 쉽게 파악할 수 있다. 기존의 항행 모델에서는 최적 운항 항로의 선정에 중점을 두었다면, 본 연구에서는 쇄빙상선의 최적 운항 항로를 선정하고, 이를 지도상에 나타냄과 더불어 시뮬레이션 결과를 데이터 셋으로 형성함으로써 데이터의 확인 및 분석이 보다 용이해졌다.

< 4월 최적 운항 항로 >

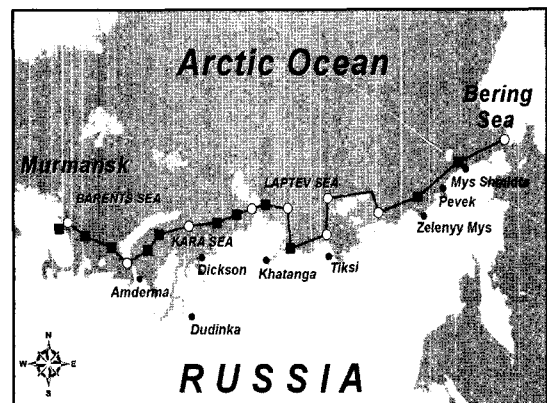
각 시기별 항행구간은 Fig. 4 에서 제시된 항로와 동일함



< 6월 최적 운항 항로 >



< 8월 최적 운항 항로 >



< 10월 최적 운항 항로 >



Fig. 6 Visualization of monthly optimum sea routes selected

4. 결론

본 연구는 북극해 항로를 구성하는 다수의 항로로부터 경제적인 요건을 만족하는 최적 운항 항로를 선정하기 위한 방법으로 빙해역 항행 모델(ice transit model)을 다루고 있다.

우선 빙해역 항행 모델을 개발하여 무르만스크에서 베링해협까지 연결되는 북극해 항로에 대해 항행시기 4월, 6월, 8월, 10월 각각에 대하여 최적 운항 항로를 선정하여 총 항행거리 및 예상 소요시간, 평균속도, 유도쇄빙선의 사용시간 및 소요 경비를 계산하였다. 그리고 이러한 자료를 바탕으로 하여 ArcGIS를 이용해 빙상자료 및 파고, 풍향 등과 같은 데이터를 체계적으로 정리하고 선정된 최적 운항 항로를 지도상에 표시하여 시각적으로 볼 수 있도록 하였다.

이러한 작업은 북극해 지역에 대한 데이터의 평가 작업과 자료 해석을 통한 정리 및 분석화 작업을 수행한 후 사용자의 이해를 도모하기 위해 가시화 작업을 통하여 그 결과를 지도상에 보여줌으로써 사용자가 보다 쉽게 항로를 파악하고 선정된 항로의 환경정보를 확인하는 데 도움을 줄 수 있다. 또한 구현된 정보를 통해 북극해 지역에서 쇄빙상선의 항행에 앞서 결과를 미리 예측해 봄으로써 예상되는 현상을 검증할 수 있다.

최근 들어 북극해 지역에 대한 관심이 증가하고 있다. 북극해 지역에 대한 빙상자료와 더불어 추가적으로 북극해 연안의 해류와 수심에 관한 환경 자료의 지속적인 데이터베이스 구축을 수행하고 얻어진 자료를 이용하여 북극해 항로 항행 모델을 실행시켜 자료를 분석하고, ArcGIS를 활용한 자료의 디스플레이 작업을 통해 결과를 예측할 수 있다면 항행 시기별 최적 운항 항로에 대해서 보다 정확한 경제성 평가를 할 수 있을 것이다.

후 기

본 논문은 한국과학재단 지정 첨단조선공학 연구센터(ASERC R11-2002-008-01002-0)의 연구비 지원으로 수행된 연구결과임.

참 고 문 헌

- 정성엽, 최경식, 2006, "쇄빙상선과 북극해 항로 Ice Transit Model," 대한조선학회 춘계학술대회 논문집, pp. 858-865.
- ESRI, 2004, Introduction to ArcGIS Desktop, 한국 ESRI 교육센터.
- 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.
- Ostreng, W., Brigham, L., Brubaker, D. and Gold, E., 1999, The Challenge of the Northern Sea Route, Interplay between Natural and Societal Factors, INSROP Working Paper No. 167, - INSROP Integration Book.



< 정 성 엽 >



< 최 경 식 >