

# 극지공학에 있어서 산학연구의 국내외 전망(I)

최 경 식 <한국해양대학교 교수>

## 1. 머릿말

대부분의 공학적 활동은 지구상의 온난한 지역에서 이루어진다. 그러나 현대의 공학적 활동이 점차 고위도 지방으로 옮겨감에 따라, 육상의 얼음, 호수와 하천의 얼음, 그리고 북극권 대부분의 바다를 덮고 있는 해양의 얼음에 대한 폭넓은 지식이 절실히 요구되고 있다. 따라서 보통 공학자에게 있어서 극지공학이란 대단히 특별한 대상일 수 있다.

극지공학 (Arctic Engineering)은 비교적 역사가 짧은 분야이다. 수 세기 동안 북극권 국가들에 있어서 빙해역을 운항할 수 있는 선박의 확보가 주요한 관심사였다. 돛을 장치한 목선들은 얼음속에서는 거의 운행하지 못하였다. 항해자들은 극지항해를 하면서 얼음이라는 위험요소와 싸워 왔으며 공학자들은 얼음에 덮인 지역을 가로지르는 교량과 도로를 건설하는데 골몰해 왔다.

최근에는 북극지방에 해양구조물을 건조해야될 필요가 증대되었다. 이는 얼음에 덮힌 북극해의 광대한 대륙붕 해역에 상당량의 석유와 천연가스가 매장되어 있기 때문이다. 다국적 석유회사들에 의해 미개발지인 북극권을 개발하려는 활동이 본격화된 것은 1970년대의 석유파동에 따른 것인데, 캐나다, 미국을 비롯한 유럽 국가들이 육상 혹은 연안 석유자원의 고갈과 원유수입의 의존성에 대비한 최후의 보루로서 북극권 개발을 선택한 때문이다. 이후 천문학적인 액수의 개발비가 빙해역에서 석유를 찾아내는 기술과 채굴수단을 고안하는데 지출되었다. 또한 많은 연구자들이, 빙역학 (ice mechanics) 에 대한 새로운 지식을 얻기 위하여 극지연구에 투입되었고, 그 결과로 현재는 북극권에서 천연자원을 개발하는데 관련

된 얼음의 위험요소를 어느 정도는 정량적으로 파악할 수 있게 되었다.

한편 70년대 이후 북극권 개발이 활발해짐에 따라 채굴된 자원의 수송과 저장을 위한 배후거점 도시들이 북극해 연안을 따라 발달하고 있으며 또한 이들 지역과 동아시아, 북미, 유럽 등 중위도 소비지역을 연결하는 연안항로로서 북극해 항로가 개설되어 활용되고 있다. 이들 북극해 항로는 북극해 연안도시에 대한 보급물자 수송의 목적에 사용될 뿐만 아니라 최근에는 동아시아와 대서양의 서유럽 국가를 연결하는 최단항로로서 범세계적인 무역루트로도 활용되는 추세이다.

석유파동 직후에 비해서 원유가격이 대체로 안정적으로 유지되고 있는 현재도 선진 각국에서는 상당한 자본과 인력을 극지개발을 위해 투자하고 있다. 이미 미국, 캐나다, 노르웨이, 핀란드, 그리고 러시아, 일본 등지에서는 극지의 자원개발에 필요한 각종 구조물의 건조실적을 보유하는 한편 상당한 양의 환경자료와 실험결과를 축적하고 있다. 현재 알래스카와 캐나다 북안의 보퍼트해, 래브라도해, 허드슨만, 러시아 북안의 카라해, 바렌츠해, 동시베리아의 오호츠크해, 유럽의 북해 등지에서 석유와 천연가스의 시추와 생산이 이루어지고 있다 (Fig.1). 최근 캐나다의 동부 빙해역에서는 경제성이 있는 것으로 판명된 두 개의 대규모 유전 (Hibernia) 을 찾아내었으며 이 유전들에는 앞으로 수 년 이내에 막대한 빙하중을 견뎌낼 수 있는 해양구조물이 설치될 예정이다.

시베리아의 자원개발과 관련하여 우리 나라가 특별히 관심을 가져야 할 빙해지역은 소련의 극동지방과 사할린에의 해상수송로로 이용되는 오호츠크해이다. 오호츠크해는 년평균 4개월 이상을 두터운 유빙

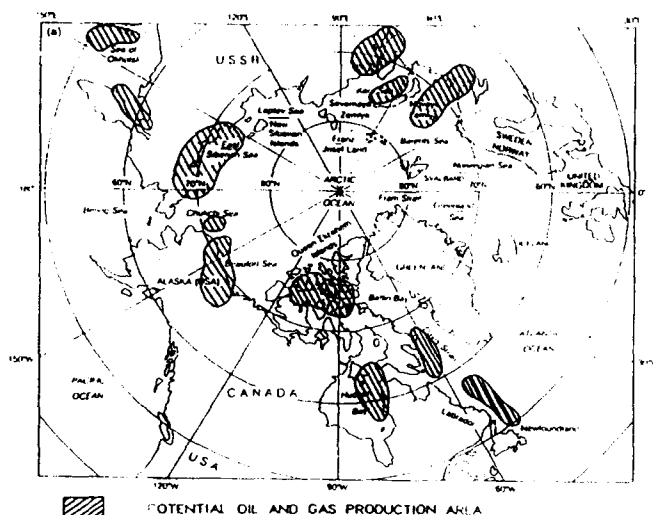


Fig.1 Arctic regions and the development of natural resources

과 빙판으로 덮혀 선박의 운항과 해양구조물의 활동에 큰 장애가 되는 곳이다. 최근의 보도에 의하면 사할린 연안의 해저 천연가스의 개발에 일본을 비롯한 구미 선진국의 관심이 집중되고 있고, 시베리아와 사할린 개발을 북방진출의 일환으로서 희망하고 있는 우리 나라로서도 이 지역을 경제적으로 매우 중요한 곳으로 생각하고 있다. 최근 국내의 대기업들과 외국의 기업이 국제 컨소시엄을 결성하여 이들 지역의 자원개발 계획에 착수하고, 파이프라인 부설을 포함하여 개발의 방법, 경제성, 채굴 및 수송수단의 확보에 노력하고 있다고 발표된 바 있다. 천연자원의 안정적 확보와 극지개발에의 참여라는 관점에서 볼 때 우리나라도 앞으로 닥칠 국제경쟁에 대비하여 극지공학 분야에 관한 독자적인 연구와 기술의 축적이 절실히 요구되고 있다.

극지개발을 위해서는 극지의 혹독한 자연환경을 대상으로 하는 과학지식과 극지에서 사용되는 특수 시설과 장비를 설계, 시공 그리고 운용하는 공학기술이 요구된다. 극지관련 공학기술은 저온용재료 관련 기술, 도로나 교량, 건축물과 같은 극한지 건설기술, 빙해항행선박에 관련된 기술, 극한지 천연자원의 시추와 생산, 수송을 위한 해양구조물과 파이프라인 관련 기술, 그리고 얼음의 재료특성에 관한 이론 및 실험으로 크게 구분할 수 있다 (Table 1). 극지용 구조물과 빙해항행선박 (쇄빙선) 은 일반 해역에서 운용되는 구조물에 비해 형상, 구조강도, 외장, 저온특수 설비 등에서 새로운 개념의 기술이 요구되기 때문에 금후 국내 조선해양산업계가 지향해야 할 고도의 기

술집약형 건조물이다. 또한 최근 들어 국내에서도 시베리아 천연자원의 해상운송을 위해 빙해역을 운항할 수 있는 유조선이나 일반 화물선을 확보해야 할 필요성이 대두되고 있으며, 또한 국내 조선업계의 생산기술이 비약적으로 발전함에 따라 외국으로부터의 빙해항행선박의 수주도 이루어지고 있으나 아직 이들 선박의 설계를 위한 독자적인 기술은 미흡한 현실이다.

극지개발은 이론적 접근과 함께 실험에 의한 신뢰성있는 자료를 축적해야 한다. 이를 위해서는 빙해수조 (ice model basin)의 건조나 빙역학 실험을 위한 냉동실험실 (cold room)의 건립을 위한 초기투자가 절

Table 1 Research fields in Arctic engineering

■ 저온용재료 관련기술 (-45°C 기준)
저온용 Steel - Toughness, Weldability, Fatigue Fracture 저온용 Concrete - Light Weight, Anti-corrosion 저온용 Paint, Coatings - Ice Resistance, Low Friction
■ 극한지 건설기술
Buildings, Storage Tanks, Pipelines - Heat Insulation, Snow, Icing, Permafrost Roads, Airstrips, Bridges, Piers etc.
■ 빙해항행선 관련기술
Data Survey for Environments - Field Survey, Remote Sensing Ice Loads Estimation Structural Concepts - Ship Hull Forms Propulsion System Outfittings Icebreaking Tankers and LNG Carriers Model Test and Sea Trials
■ 해양구조물 관련기술
Data Survey for Environments - Field Survey, Remote Sensing Ice-Structure Interaction - Ice Loads Estimation Level Ice, Ice Ridge etc. Structural Concepts - Caisson Retained Artificial Islands Bottom Mounted Structures Floating Type Structures Underwater Pipelines - Pipe Layings, Trenching, Ice Gouging
■ 얼음의 재료특성에 관한 연구
Theoretical Approach - Constitutive Modelling for Ice Finite Element Programming Laboratory Tests - Cold Room, Ice Model Basin Field Tests - Large Scale Ice Strength Tests

**Table 2 Principal characteristics of existing ice model basins (Ref[1])**

Owner of Facility	Country	Year Completed	Dimensions(m) L x W x D
1.Arctic and Antarctic Research Institute	Russia	1955	13.5 1.9 1.7
2.Wartsila Shipyard	Finland	1969	50.0 4.8 1.2
3.Esso Resources Canada	Canada	1970	55.0 30.0 3.0
4.Arctec Inc.	USA	1971	22.0 2.4 1.2
5.Hamburg Ship Model Basin(HSVA)	Germany	1972	30.0 6.0 1.2
6.Arctec Canada	Canada	1977	30.0 4.9 1.5
7.US Army Cold Regions Research and Engineering Laboratory(CRREL)	USA	1979	34.4 9.0 2.4
8.National Research Council	Canada	1980	21.0 7.0 1.2
9.Ship Research Institute	Japan	1981	35.0 6.0 1.8
10.Nippon Kokan (NKK)	Japan	1982	20.0 6.0 1.8
11.Iowa Institute of Hydraulic Research (Univ. of Iowa)	USA	1982	20.0 5.0 1.3
12.Wartsila Arctic Research Center (WARC) → (MARC)	Finland	1983	77.0 6.5 2.3
13.Hamburg Ship Model Basin(HSVA)	Germany	1984	78.0 10.0 2.5
14.Institute for Marine Dynamics	Canada	1985	90.0 12.0 3.0
15.Mitsubishi	Japan	1986	28.0 9.0 2.5
16.Technical Research Center (VTT)	Finland	1987	15.0 8.2 1.5

실험이 요구되며 산업계의 수요에 따른 포괄적인 산학협동연구가 진행되어야 할 필요가 있다. 빙해수조와 냉동실험실은 빙해역에 직접 접하지 않은 국가에서 극지공학 연구에 참여하기 위한 필수적인 시설인데 Table 2에 대표적인 빙해수조의 설치장소와 규모에 대하여 정리하였다.

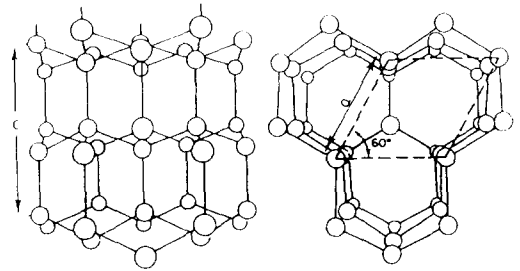
이 글은 우리 나라가 쉽게 접할 수 없는 극지환경을 이해하고 가까운 장래에 예상되는 수주경쟁에 대비하여, 국내외의 극지개발 동향을 분석하고 이에 대한 국내의 극지관련 연구의 현황과 앞으로의 전망을 살펴보기 위하여 준비된 것이다. 이 글에서는 극지공학 일반보다는 조선해양분야에 관련된 내용만으로 국한한다.

## 2. 극지공학의 기초지식

### 2.1 해빙의 재료특성

얼음은 일반 구조용 재료와는 상당히 달라서 하중이 가해진 속도, 결정구조, 온도, 염분 등의 변화에 따라 취성 (brittle)에서 연성 (ductile)의 전 범위에 걸친 판이한 재료특성을 보여 준다. 이러한 얼음의 재료특성을 이해하기 위해서는 얼음의 생성과정과 결정구조의 형태에 대한 지식이 먼저 요구된다.

자연계에서 관측되는 얼음의 결정은 6각입방격자 구조를 가지는 것이 보통이며 이러한 구조상의 특징



**Fig.2 Hexagonal molecular structure of ice crystals (Ref.[14])**

으로 인하여 6각기둥의 결정축 (c-axis) 방향과 6각기둥에 수직인 기저평면 (basal plane) 방향의 미끄러짐의 정도가 달라지고 따라서 방향에 따라 재료의 강도가 다르게 된다 (Fig.2).

순수한 물은 0℃에서 고체화하는 것으로 알고 있으나 실제로는 온도를 점차 낮추어 빙점 (0℃)에 도달하여도 결빙은 일어나지 않는다. 최초의 얼음결정이 생겨나기 위해서는 어느 정도의 과냉각이 필요하지만 이것이 결빙의 필요충분조건은 아니다. 빙점 이하의 물속에 얼음의 결정이 성장하기 위해서는 과냉각 조건보다는 오히려 물속에 얼음의 결정핵 (nuclei)으로 사용될 미세한 입자가 많이 존재하는 것이 필요하다. 즉 얼음의 형성은 순수한 물의 과냉각에 의한 자발적인 결정화이거나 혹은 외부에서 첨가된 결정핵의 존재에 의해 유발된다고 말할 수 있다.

강이나 호수에 형성되는 담수빙 (fresh water ice)은 흐름이 적고 비교적 잔잔한 수면인 경우 대기의 온도와 수온과의 차이에 의해 열교환이 일어나면서 수면상에 바늘모양의 얼음결정이 형성되고, 이것들이 서로 엉키며 성장하여 원판모양의 빙판을 형성한다. 정상상태로 성장된 얼음은 비교적 미세한 결정 (결정입자의 크기는 2-10 mm)으로서 결정축이 모든 방향으로 불규칙하게 분포되어 거의 등방성인 다결정상 (polycrystalline) 구조를 갖는 것으로 알려져 있다.

이에 반해 해빙 (특히 일년생 해빙, first-year sea ice)은 순수한 얼음에 기포 (air) 그리고 brine 이라 불리는 농축된 해수를 포함하고 있다. 보통 해수에 포함된 염분의 평균농도는 34.5 ppt이며 이때 해수의 빙점은 약 -1.9℃이다. 일년생 해빙은 해면에 수직방향으로 자리잡은 염수맥의 형성으로 기둥형 결정구조를 이루게 된다. 이 때 결정축은 수평면과 평행한 면에 분포하게 되어 해면에 수직인 방향과 수평한 방향의 재질이 달라지는 이방성 특성을 보이

게 된다. 한편 다년생 해빙 (multi-year sea ice)은 해를 거듭하면서 결빙과 해빙을 반복하는 동안 염수막은 점차 해수에 용해되어 빠져 버리고 담수빙과 유사한 등방성의 특성을 보이게 되며, 일년생 해빙에 비해서 그 강도가 훨씬 높아지게 된다.

남극대륙과 그린랜드의 대부분을 덮고 있는 빙하 (glacier)는 오랜 세월에 걸친 적설에 의해 성장된 거대한 얼음덩어리로서, 자체의 압력과 중력에 의해 경사지형을 따라 해안으로 천천히 이동하는 것을 말한다. 빙하를 형성하는 얼음은 수많은 기포와 불순물이 포함되어 있지만 기본적으로 육상에서 형성된 담수빙과 동일한 특성을 가지고 있으며 결정입자의 크기가 비교적 작고 등방성의 재료특성을 보인다고 알려져 있다. 빙산 (icebergs)은 해안 가까이 도달한 빙하가 모체와 분리되어 바다로 떨어진 부분이 해류나 조류를 타고 이동하는 것으로서 역시 담수빙의 특성을 가지고 있다. 따라서 빙산을 구성하고 있는 얼음은 해빙의 특성과는 판이하게 다르며 강도도 일년생 해빙에 비해 훨씬 높다. 또한 빙산은 해빙의 결빙해역보다도 훨씬 먼 저위도 해역까지 이동한다.

얼음은 일반적인 구조용 재료와는 판이한 성질을 갖고 있으며, 이 재질적 특성에 영향을 미치는 인자가 아주 다양하고 복잡하다. 따라서 종래의 구조용 재료에 적용되어 왔던 해석방법을 그대로 얼음에 사용한다는 것은 무리이다. 일반적으로 얼음은 콘크리트나 유리와 같이 깨지기 쉬운 취성재료로 인식되고 있으나 변형속도가 비교적 느리고 온도가 용융점에 가까울 경우 크리프와 같은 소성변형현상을 나타내기도 한다. 이러한 판이한 변형현상은 극지방에서 접하는 온도의 범위나 하중속도에서 흔히 관측된다. 일반적으로 얼음의 변형은 온도가 낮고 하중을 가한 속도가 빠를수록 취성적 성질이 뚜렷이 나타난다.

또한 얼음에 있어서 압축과 인장시 나타나는 파괴 현상은 서로 다르다. 하중이 빠른 속도로 가해지는 경우 주로 균열에 의한 취성파단이 일어나며 이 때 압축강도가 인장강도보다 월등히 큰 특징을 보인다. 따라서 구조물과 해빙의 상호접촉시 인장강도보다는 압축강도가 문제가 되며 해빙에 대한 설계압축강도로 보통 1-6 MPa 정도를 사용하고 있다. 인장강도는 실험재료의 특성상 시편을 직접 잡아당기는 인장 시험보다는 외팔보시험에서 측정되는 굽힘강도로부터 간접적으로 추정한다. 해빙에 대한 설계굽힘강도로 보통 0.2-0.6 MPa 정도를 사용하고 있다. 얼음의 탄성계수에 있어서 온도의 영향은 비교적 적은 반면 기포, 염분, 불순물 등에 의한 영향은 대단히 중요

하다. 담수빙의 경우 측정된 탄성계수는 온도가  $-5^{\circ}\text{C}$ 와  $-10^{\circ}\text{C}$  사이에서 대략 9.0-10.0 GPa 정도의 값이 사용된다. 해빙인 경우 이보다 작은 값이다. Poisson 비는 0.3-0.35 정도로 측정된다.

해빙의 파괴양식은 구조물의 크기와 형상, 빙판의 두께와 강도, 그리고 얼음과 구조물의 접촉속도에 따라 여러 가지로 달라질 수 있다. 폭이 좁은 수직구조물의 경우 주로 압축에 의한 파괴가 지배적이나 접촉속도에 따라 상이한 파괴양식을 보인다. 속도가 느린 경우 빙판에는 수많은 미세균열이 발생하고 축적되어 크리프 현상이 나타난다. 이는 결국 분쇄 (crushing) 형식의 파괴로 나타난다. 속도가 상대적으로 빠른 경우 대균열의 형성에 의해 빙판의 선단에 국부적인 파괴가 일어나며 작은 조각으로 분리된다. 이 작은 빙판들은 구조물과 얼음의 접촉부 상하면에 쌓이면서 얼음조각층을 형성한다. 반면 폭이 넓고 경사된 구조물의 경우는 주로 굽힘에 의한 파괴가 발생한다 [1, 14, 16, 17].

## 2.2 북극권의 자연환경

북극권은 지리적으로 알래스카, 캐나다 북부, 그린랜드, 아이슬란드, 북유럽의 스칸디나비아 그리고 광대한 시베리아 북부지역과, 이들 대륙으로 둘러싸인 면적 약 1,400만  $\text{km}^2$ 의 북극해로 이루어진다. 기후학자들의 구분에 의하면 북극지방은 일년중 가장 따뜻한 달의 평균기온이  $10^{\circ}\text{C}$  이하이고 년평균기온이  $0^{\circ}\text{C}$  이하인 지역을 말한다. 또한 아북극지역은 가장 추운 달의 평균기온이 영하  $3^{\circ}\text{C}$  이하이고  $10^{\circ}\text{C}$  이상의 기온을 유지하는 기간이 1년에 4개월을 넘지 않는 지역을 말한다. 이렇게 구분한 북극지방의 경계는 수목의 북한계선 (tree line) 과 일치하며 또한 영구동토 (continuous permafrost) 의 남한계선과도 대략적으로 일치한다 [8, 13]. 한편 해양학자들은 겨울철 극빙의 최남단 한계선을 북극권의 경계선으로 간주한다 (Fig.3 과 Fig.4 참조).

극빙으로 덮힌 북극지방의 기온은 년중 비교적 낮게 그리고 상당히 균일한 분포를 보이고 있다. 이는 대양에 의한 대기의 열균형 효과 때문인데 북극권 해안지방의 평균기온은 보통 겨울 (1월) 에 영하  $20^{\circ}\text{C}$ 에서 영하  $30^{\circ}\text{C}$ , 여름 (7월) 에는 얼음이 녹을 수 있는 영상  $4^{\circ}\text{C}$ 에서  $8^{\circ}\text{C}$  정도를 유지하고 있으며 간혹 지역적으로 영하  $40^{\circ}\text{C}$  내지  $50^{\circ}\text{C}$  정도의 혹한을 나타낼 때도 있다. 북극권 해안지역은 대륙성기후와 해양성기후가 교차하는 지역으로서 기온은 극단적인 상태에 이르지 않는 않지만 상당히 강한 바람이 년중 내

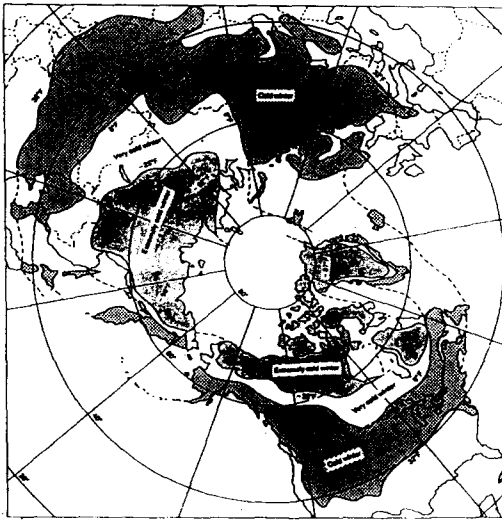


Fig.3 Cold regions of the northern hemisphere (Ref.[4])

내 불고, 습한 내륙의 공기와 한랭건조한 북극해의 공기가 만나 전선을 형성하며 안개가 발생할 경우가 많다. 바람은 체감온도를 떨어뜨리기 때문에 극지에서의 인간의 활동을 제약하는 큰 요인이 될 수 있다. 북극지방에서는 저온으로 인하여 대기가 함유할 수

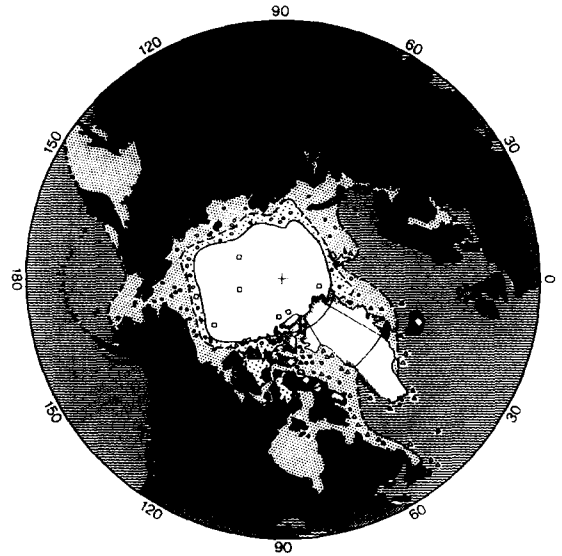


Fig.4 Schematic map of Arctic ice condition (Ref.[16])

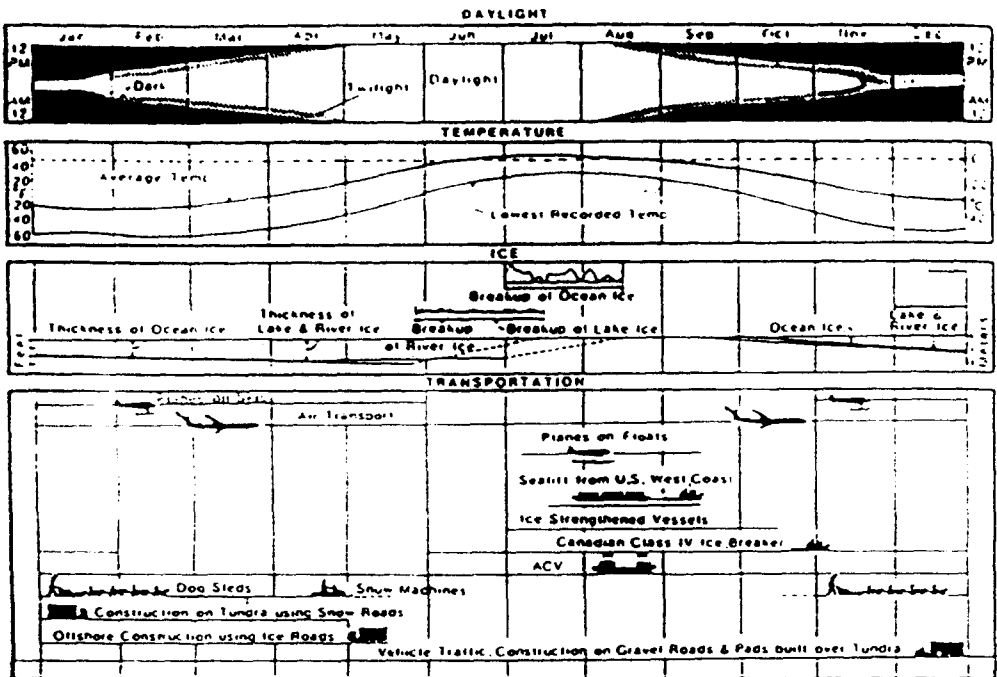


Fig.5 Arctic environment and transportation periods at Prudhoe Bay, Alaska (Ref.[7])

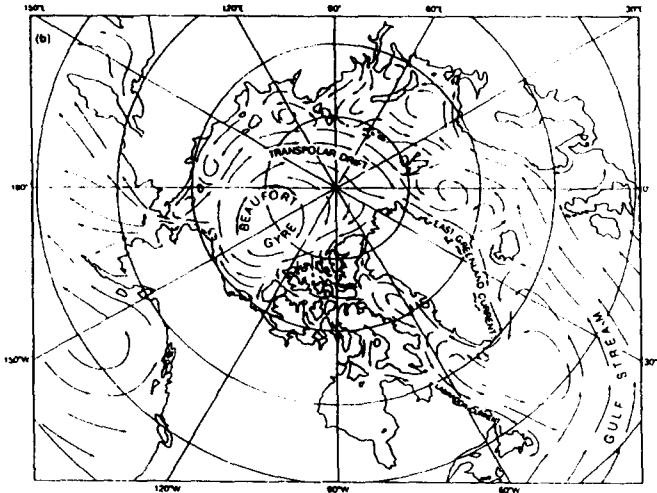


Fig.6 Sea current patterns in the Arctic Ocean (Ref.[16])

있는 수분의 절대량이 적기 때문에 년중 강수량은 비교적 적은 편이다. 강수량은 100-250 mm 정도로 대부분 여름철 (6-9월) 에 비의 형태로 내리기 때문에 내륙지방에 비해 적설량은 훨씬 적다.

안개나 눈으로 인한 낮은 가시도는 항공수송과 측량업무와 같은 활동을 방해하는 요인이 되는데 해안 지역은 이 현상이 특히 심하다. 안개는 대개 여름철에 따뜻하고 습한 대기가 차가운 수면위를 지나면서 발생한다. 휘몰아치는 눈으로 인해 주변이 전부 하얗게 느껴지는 white-out 도 극지 특유의 현상으로서 공간감각 특히 지평선에 대한 인지능력을 현저히 떨어뜨리게 된다. 북극권에서의 겨울철 일광부족 현상 역시 인간활동을 제한하는 요인이 된다. 북위 66도 33' 이북지역은 겨울철 (11월-2월) 에 태양을 볼 수 없는 지역으로서 한낮에도 어스름한 황혼정도의 밝기이고 북위 75도를 넘어서면 거의 한밤중이 계속된다 (Fig.5, [4]).

한편 북극해에서의 해수의 유동상태는 얼음을 뚫고 계측장비를 넣어 직접 측정하거나 해빙의 이동을 장기적으로 모니터링함으로써 간접적으로 확인할 수 있다. 표층수의 흐름은 첫째, 동시베리아해와 랍테프해로부터 서쪽으로 이동하여 그린란드해로 빠지는 주흐름과, 여기에 부수적으로 카라해로부터 시작하여 Severnaya Zemlya과 Franz Josef Land 동쪽으로 흐르는 시계방향의 소순환 시스템이 있다. 둘째로, 캐나다 북방 보퍼트해에 중심을 두고 시계방향으로 커다란 순환 시스템을 형성하고 있는데 이 순환계의 중앙부는 해수의 흐름이 정체된 해역으로서, 해빙의 유동도 대단히 느리고 녹지않고 오래 남기

Table 3 National interests in the Arctic regions

Issue Areas		Jurisdiction Claims	National Defense	Oil, Gas & Minerals	Transportation & Navigation	Oceanic & Atmospheric Research	Resources & Environment	Native Interests
Arctic Interest Nations	USSR	■	■	■	■	■	■	■
	CANADA	■	■	■	■	■	■	■
	GREENLAND(DENMARK)	■	□	■	■	■	■	■
	USA	■	■	■	■	■	■	■
	NORWAY	■	□	■	■	■	■	□
	ICELAND	□	□	□	■	□	■	□
	SWEDEN		□		□	□		□
	FINLAND				□	□		□
	GREAT BRITAIN	□	■	□	□	■	□	
	FRANCE		□			□		
WEST GERMANY		□		□	□	□		
JAPAN	□	■	□	□	□	□	■	

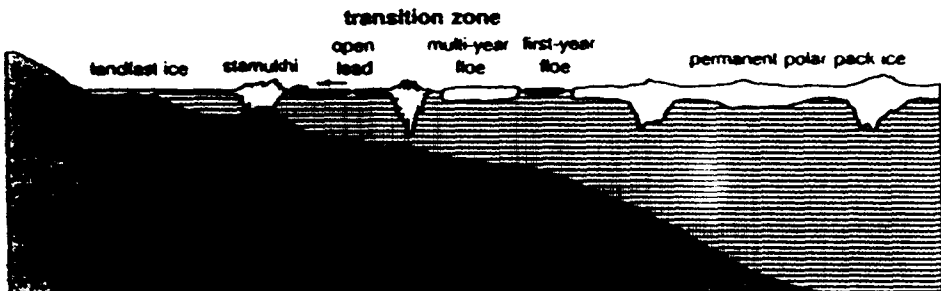


Fig.7 Typical ice types in the cross-section through the continental shelf of Beaufort Sea (Ref.[1])

때문에 대체로 두꺼운 빙판을 형성하게 되는 요인이 된다. 세번째의 순환 시스템은 베링해로부터 유입된 해수가 북극점을 통과하여 서쪽으로 이동하는 것으로서 캐나다의 엘즈미어섬 근처에서 갈라진 흐름외에는 첫번째 흐름과 합류되어 그린랜드해로 빠지게 된다 (Fig.6).

북극권에 관한 빙상자료의 축적량은 지역적으로 많은 차이가 있어서 극지현장에서 사용가능한 정보는 대부분 알래스카와 캐나다의 보퍼트해 자료가 이용되고 있고, 그외에 북유럽의 바렌츠해나 발틱해의 보스니아만 현장자료가 비교적 잘 정리되어 있는 편이다. 이에 비하여 러시아측의 자료는 양적으로는 적지 않으나 제대로 정리나 공개가 되지 못하고 있는 형편이다.

북극해는 주변이 대륙으로 싸인 폐쇄해역으로서 북극해의 중심은 연중 녹지않는 만년극빙 (polar pack ice) 으로 이루어져 있다. 매년 가을부터 극빙의 주변에 해빙이 성장하기 시작하여 다음해 5-6월까지는 북극해 전체가 얼음에 덮인다. 한편 지구의 자전과 해류의 이동으로 인하여 북극해의 얼음덩어리는 극점을 중심으로 서서히 시계방향으로 자전하며 (보퍼트 환류 Beaufort Gyre), 이러한 움직임으로 인하여 거대한 빙괴들 사이에 상호작용이 유발되어 극빙은 다양하고 이질적인 형태의 빙상을 보이게 된다. 보퍼트 환류는 바람과 해류의 영향에 의하여 대략 북위 80도 서경 150도 지점을 중심으로 시계방향의 회전을 한다고 알려져 있다. 그러나 이 회전운동이 일체로 일어나는 것은 아니고 중심부 근처에서는 대략 3년을 한 주기로 회전한 반면 회전중심부에서 벗어난 외곽에서는 약 10년을 주기로 일회전한 것이 밝혀졌다. 보퍼트 환류 남쪽의 외곽에서 측정된 얼음의 이동속도는 대략 하루에 1-2.5 km 이지만 봄철 동안은 하루에 25 km 도 도달할 수 있다. 북극해의 얼음은 일반적으로 평균 2-6 m의 두께이지만 지역적으로 다양함을 보이고 있다.

겨울동안 육지에서 생성하여 외해쪽으로 발달하는 육상정착빙 (landfast ice) 은 일년생의 비교적 평탄한 빙판으로서 4월에는 두께 약 2 m 정도까지로 성

장하다가 여름에는 점차 녹아 소멸한다. 반면 극빙은 결빙과 해빙이 균형을 이룬 다년생빙으로 두께는 3 m 이상에 이른다. 북극해의 얼음덩어리의 움직임으로 인하여, 일년생 정착빙과 다년생 극빙의 사이에는 하절기 동안 수 많은 유빙조각이 떠있는 개수로 (open lead) 를 형성하여 짧은 기간 동안이나마 선박의 통행을 가능하게 한다. 북극해의 정착빙과 영구극빙의 경계구역은 약 30-60 km 정도의 폭으로서 일년생빙, 다년생빙 그리고 두꺼운 빙맥 등 복잡하고 다양한 빙상이 혼재하는 지역으로서 해저자원 특히 석유와 천연가스의 매장이 풍부한 곳으로 알려져 있고 해양구조물과 쇄빙선의 활동이 빈번히 이루어지고 있다. 비교적 고른 두께에 안정된 상태인 평탄빙 (level ice) 은 바람과 조류에 따라 균열이 생기고 상대운동으로 파괴가 된 얼음판의 조각들은 서로 부딪치고 겹쳐져서 두터운 빙맥 (pressure ridge) 을 불규칙하게 형성한다. 이 빙맥의 수면상 부분을 sail 이라 부르고 수면하 부분을 keel 이라 부르는데 sail 높이와 keel 깊이의 평균비는 대략 1:4 정도로 알려져 있다. 빙맥의 두께는 40여 m 에 이르는 것도 존재한다. 이러한 빙맥의 존재는 육안판별이 쉽지않아 해양구조물의 활동이나 선박의 안전항해에 가장 큰 위험요소로 작용하고 있다 (Fig.7).

매년 겨울 약 북위 60도 북쪽의 바다 대부분은 결빙한다고 생각할 수 있는데, 그 예외로 북대서양의 노르웨이해는 온난한 멕시코만류의 영향으로 결빙하지 않고 있다. 반면 캐나다의 동해안은 북풍과 함께 그린랜드와 북극제도로부터 흘러오는 차가운 래브라도해류의 영향으로 일년생 해빙이 북위 60도 보다도 더 남쪽까지 흘러가는 것을 볼 수 있다. 이러한 해빙과 빙산은 뉴펀드랜드 연안에도 종종 출현하곤 한다. 일반적으로 그린랜드빙하에서 떨어져 나온 대빙산들은 그린랜드해 주변에 집중해 있으며 뉴펀드랜드 쪽으로 향하는 래브라도해류에 의해서 남쪽으로 이동된다. 그러나 뉴펀드랜드의 Grand Banks 에 도달한 빙산은 이미 원래 크기의 약 10-15% 로 축소된 상태로서 다시 그것이 멕시코 만류의 따뜻한 물을 만나면 급속히 녹게 된다 [16].

※ 이후는 32권 5호에 연재됩니다.※

3. 각국의 극지개발 현황
4. 극지공학 관련 국내 연구현황
5. 전망