

故 之海 朴椿浩 국제 해양법 재판관 1주기 추모 해양문제 세미나

북극의 도전과 한국의 대응

- 일시: 2009. 11. 24(화) 오후 14:00~
- 장소: 한국 프레스 센터 19층 매화홀(서울 태평로)
- 주최: 극지연구소 · 한국해로연구회 · 연세대 동서문제연구원
- 후원: 외교통상부 · 동아일보부설 화정평화재단

목 차

제1세션 : 북극의 자연과 생태

- 기후변화와 북극
발표 : 이상헌 박사(극지연구소)
..... 3
- 북극의 관리체제와 국제기구
발표 : 진동민 실장(극지연구소)
..... 14
사회 : 홍기훈 박사
토론 : 유기준 과장(외교통상부)
양찬수 박사(해양연구원)

제2세션 : 북극의 국제법과 자원 · 항해

- 북극 대륙붕 주장의 현황과 쟁점
발표 : 김현수 교수(인하대)
..... 35
- 북극항로의 기회와 문제점
발표 : 황진희 팀장(해양수산개발원)
..... 74
사회 : 백진현 교수
토론 : 이석우 교수(인하대)
박진수 교수(한국해양대)

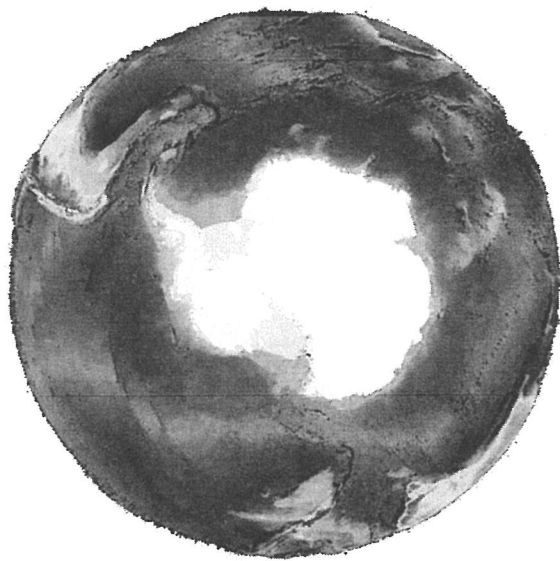
제3세션 : 종합토론 - 북극의 도전과 한국의 대응

- 사회 : 김달중 교수
토론 : 황승현 조약국장(외교통상부)
김예동 박사(극지연구소)
방형남 논설위원(동아일보)
전준수 교수(서강대)

기후변화와 북극

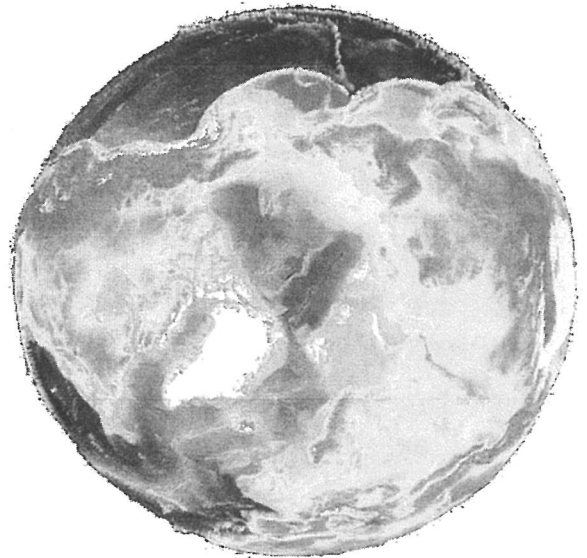
극지연구소 선임연구원 이상현

일반적으로 북극이라 함은 북위 66.5° 이북의 북극권, 산림 성장 한계선, 빙하 남하 한계선 또는 영구 동토층 이북을 지칭하기도 하나, 7 월 평균 기온 10 °C 이하인 지역을 광범위하게 이야기 한다. 평균 2~3 m 두께의 해빙으로 덮여 있는 북극해의 면적은 9 백 50 만 km² 로 지중해의 약 4 배, 지구 바다의 3 %를 차지하며 전체 면적의 60 %가 대륙붕으로 존재한다. 북극해는 남극해와는 달리 대륙으로 둘러싸여 있으며, 대서양과는 프랭 해협, 그리고 태평양과는 베링 해협으로 연결되어 있다 (그림 1).



남 극(대륙)

남극해로 둘러싸인 거대한
대륙 [한반도의 약 60배]
평균 2,400m 두께의 빙상



북 극(해)

유라시아와 북미대륙으로
둘러싸인 거대한 바다
[한반도의 약 55배]
1~3m 두께의 해빙

그림 1. 남극과 북극의 차이점

최근, 미국 NASA GISS (Goddard Institute for Space Studies) 연구소의 기후학자들은 1880 년부터의 지속적인 관측 결과, 열 번의 가장 더운 해가 1997-2008 년 동안에 집중되어 나타났다고 보고했다. 특히 북극에서는 다른 지역에 비해 이상 고온 현상이 더욱 두드러지게 나타났다 (그림 2).

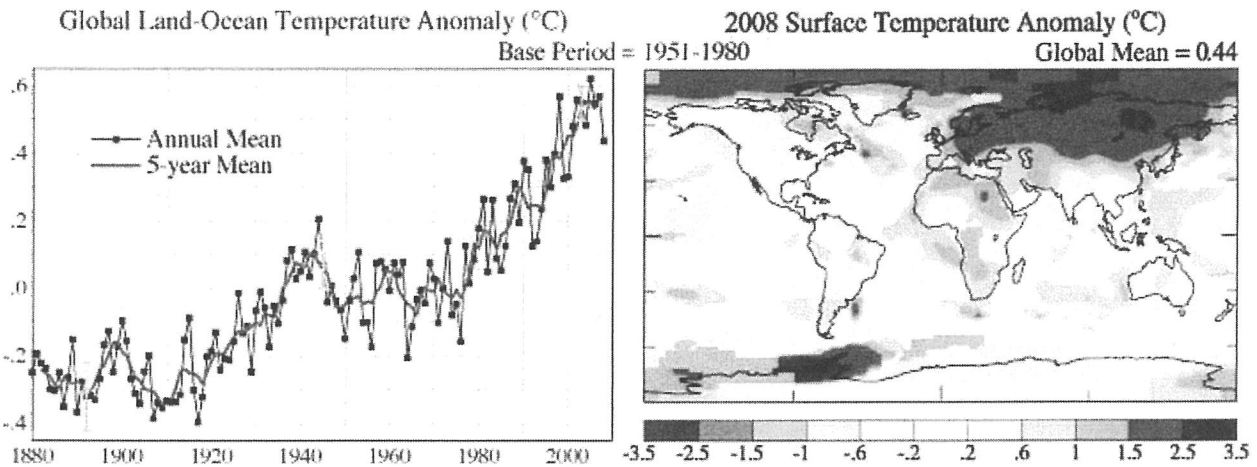


그림 2. 1880-2008 년간 전 지구 기후 이상과 2008 년 표층 온도 이상 (NASA GISS)

이러한 지구온난화로 인한 많은 환경 변화에 전지구적인 관심이 집중되고 있는데, 그 중에서도 북극은 지구의 기상, 기후, 해류의 순환 등 지구환경 변화에 큰 역할을 하는 곳으로 북극에서 일어나는 변화가 전지구적으로 중대한 영향을 미칠 뿐만 아니라, 반대로 지구환경 변화에 의해 큰 영향을 받으므로 그 중요성은 더욱 커지고 있다. 최근 북극해에서의 환경 변화 중 가장 큰 변화는 해빙의 급격한 감소일 것이다. 미국 국립빙설자료센터의 북극해 해빙 인공위성 자료에 의하면 1979 년 해빙관측이래 2007 년도에 가장 낮은 해빙 분포를 보였으며, 2008 년도에는 2007 년보다는 다소 높았지만 두 번째로 낮은 해빙 분포를 보였다 (그림 3). 많은 북극해 해빙 연구 전문가들은 이렇게 한 번 감소하기 시작한 해빙은 다시 이전의 모습으로 돌아가기가 힘들 것으로 예상한다.

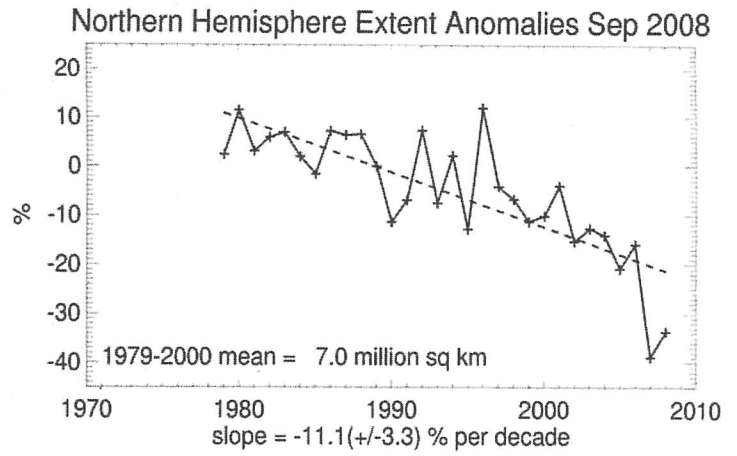
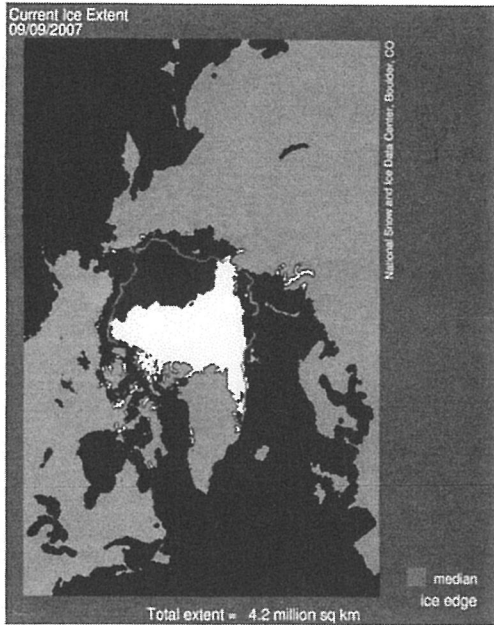


그림 3. 최근 북극해 해빙의 감소 (NSIDC).

현재 북극해는 해빙의 급격한 감소뿐만 아니라, 3-4 m 두께의 다년생 해빙과 1-2 m 두께의 일년생 해빙의 분포양상까지 변하고 있다. 즉, 두꺼운 다년생 해빙은 점차 줄고 있고, 상대적으로 얇은 일년생 해빙이 점차 늘어나고 있다 (그림 4). 최근 NASA 의 관측결과를 보면, 2003년에는 60 퍼센트 가량의 다년생 해빙과 40 퍼센트의 일년생 해빙으로 구성되었으나, 2008년에는 일년생 해빙이 70 퍼센트를 차지하고, 다년생 해빙은 30 퍼센트에 불과한 것으로 관측되었다.

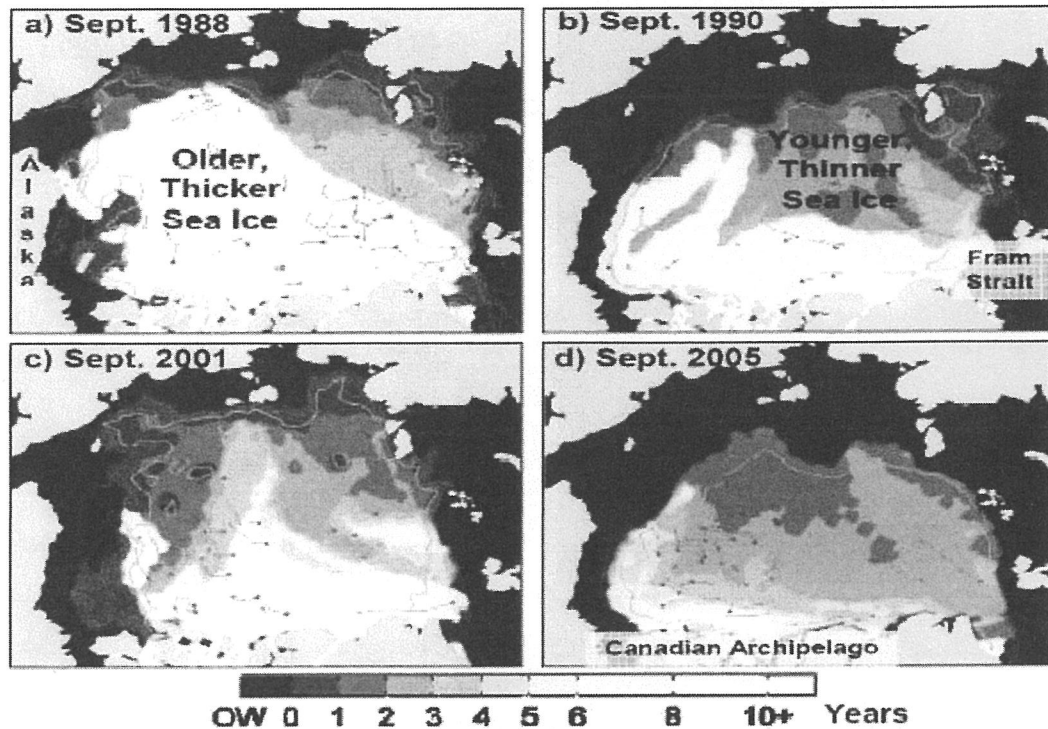


그림 4. 북극해 일년생과 다년생 해빙의 분포 양상 (Richter-Menge et al. 2006).

해빙의 분포와 두께 감소 현상은 다른 지역에 비해 북태평양과 연결되는 북극해의 서쪽해역에서 특히 두드러지게 나타나고 있다 (Vinnikov et al. 1999; Rothrock et al. 2003; Perovich and Richter-Menge 2009). 이러한 북극해 해빙의 변화는 북극해 기후변화 (결국은 전지구적 기후 변화)뿐만 아니라 해양생태계에 커다란 영향을 미친다. 한 예로 북극해에서 2-3 m 두께의 해빙을 통과하는 빛의 양은 표면에 도달하는 빛의 2-3 퍼센트 정도 밖에 되지 않는다. 하지만, 1-2 m 두께의 해빙을 투과하는 빛의 양은 9-10 퍼센트 정도로 적게는 3 배에서 많게는 5 배나 많은 양의 빛을 통과 시킨다 (그림 5).

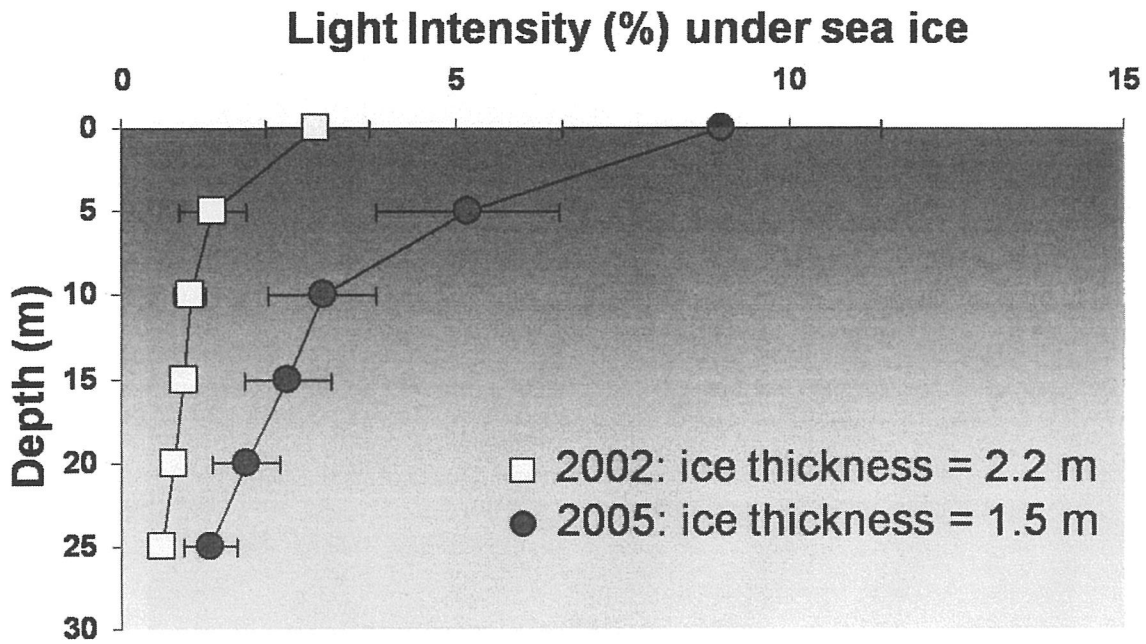


그림 5. 북극해 해빙의 두께에 따른 빛의 투과량의 차이점.

이러한 빛 투과량의 차이는 해양 물리학적 관점에서 큰 영향을 야기하는데, 그 중 하나가 더 많이 투과된 빛은 해빙아래에서의 수온을 상승시켜 북극해 해빙의 융빙 작용을 더욱 가속화시켜, 북극해뿐만 아니라 전지구적 온난화에 아주 치명적인 영향을 줄 수도 있다는 것이다.

최근에는, 여름 동안 해빙 표면에 melt pond 가 크게 증가하여, 그 범위가 80 %까지 도달했으며, 2008 년에는 북극해에서 최대량을 나타내었다 (Lũthje et al. 2006). 이들 pond 는 표층 알베도 (Albedo)나 melt pond 를 통한 열 전도와 같은 물리적 환경에 의해 해빙 위의 눈과 해빙 표면이 녹으면서 형성된다 (그림 6; Lũthje et al. 2006; Inoue et al. 2008). 따라서, melt pond 의 물은 염분이 해수 표층수보다 상당히 낮다. 여름 동안 melt pond 는 계속 커져 바닥이 풀리면서 해빙 아래의 해수면과도 연결되는데, 이때 다른 특징을 가진 melt pond 물과 해수 표층수의 두 물이 섞이면서 표층 해양생태계에 많은 생물학적 영향을 준다.



그림 6. 북극해 해빙 위에 분포 하는 melt ponds

북극해에서의 이러한 변화들 외에도, 강을 통해 북극해로 유입되는 담수의 양은 점점 증가되고 있다 (그림 7; Peterson et al. 2002). 이러한 강물 담수 유입량의 증가는 강우나 그린랜드의 빙하가 녹으면서 바다로 유입되는 담수들과 함께 북극해 표층수의 염분을 낮추어, 그 결과 NADW (North Atlantic Deep Water) 형성에 영향을 끼쳐, 전 지구 해양 순환을 바꿀 수 있다. 전 세계 기후는 컨베이어벨트처럼 서로 연결되어 지속적으로 흐르는 해양의 대순환에 의해 영향을 받는데, 열대지방의 과도한 열에 의해 데워진 해수는 고위도 혹은 극지방으로 이동해 가고, 그곳에서 가지고 있던 열을 방출하고 난 후 차가워진 해수는 가라앉아 다시 심층수가 되어 열대지방으로 옮겨 간다. 만약 이러한 해양 대 순환이 어떤 영향에 의해 변한다면 그로 인한 결과는 전지구적인 대재앙을 초래할 수도 있다. 최근 ACIA (Arctic Climate Impact Assessment) 보고에 따르면 1995-2005 년 동안 북극 대서양 수괴의 염분은 약 30 년 전인 1967-1972 년에 비해 염분도가 2-3 % 정도 낮아졌고, 실제로 전 지구 해양 순환 속도가 최근 느려졌다는 연구결과가 나와 주목된다.

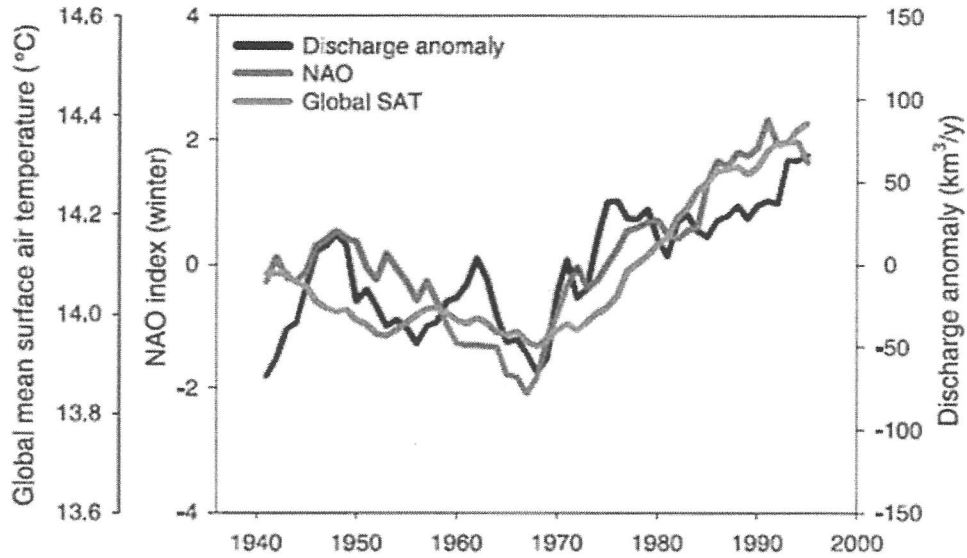


그림 7. 북극해 강물 유입량의 변화 (Peterson et al. 2002)

북극에서의 이런 많은 환경변화들은 결국에는 북극 해양생태계를 바꾸어 놓을 것이다. 한 예로, 해빙이 녹으면서 해빙의 두께가 점점 얇아지고, 결국 해빙분포지역이 줄어들게 되면서 해빙이 존재하지 않는 해역 (open water)이 증가한다. 이러한 환경은 해빙아래의 해수에 서식하는 식물플랑크톤처럼 빛에 의해 기초생산성이 제한되고 있던 일차생산자에게는 아주 좋은 성장 조건이 될 수 있다 (Lee et al. 2005; Lee et al. 2008). 하지만, 북극해 해빙 바닥에 서식하던 해빙미세조류에게는 부착하여 자랄 수 있는 기질 (해빙)이 사라짐으로써 이들을 주요 먹이로써 의존해 오던 많은 생물들에게 심각한 영향을 줄 수 있다. 그리고 많은 논쟁이 있기는 하지만, 이들 해빙미세조류가 해수중의 식물플랑크톤 봄철 대발생기의 기폭제가 될 수 있는데, 만약 이들이 줄어들게 되면 결국 전체적인 기초생산성의 감소를 유발할 수도 있다. 또한, 일차생산자들의 계절적, 지리적 변화로 인하여, 전형적인 우점종들의 천이가 생기면서, 이들에 의존하던 동물플랑크톤의 영양 구조와 상위영양단계마저 변화시켜 북극해 해양 생태계의 대 변동을 유발 할 수도 있다 (그림 8).

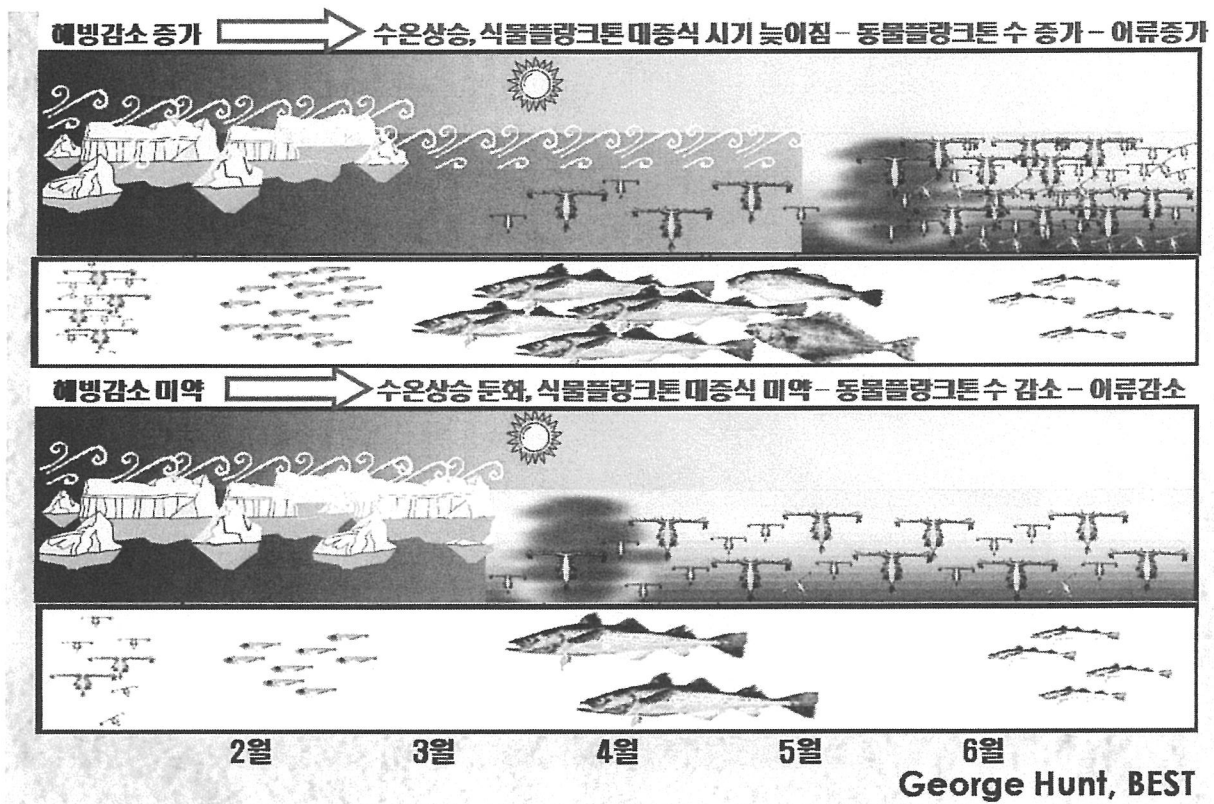


그림 8. 해빙에 따른 북극해 해양 먹이사슬의 변동

하지만, 북극해에서 해빙의 두께 감소에 따른 독특한 melt pond 생태계가 최근 발견되기도 한다 (그림 9). 여름 동안 북극해 해빙 표면에 존재하는 melt pond의 해수가 가을에 얼기 시작하면서 새롭게 생성되는 얼음 아래에 부착하여 성장하는 거대 해빙미세조류 군집이 나타난다. 이들은 대부분 다양한 규조류 종들로 구성되어 있는데, 이 해빙미세조류 군집의 기초생산성은 많은 양의 생체량과 상대적으로 높은 생산력 때문에 주변 지역 해수에서의 기초생산성보다 200-300 배 정도로 아주 높다. 따라서, 이 군집 속에는 이들을 주요 먹이로 하는 많은 수의 작은 동물성 플랑크톤들이 서식하고, 이러한 독특한 melt pond의 해빙생태계가 존재하는 곳은 북극 대구 (Arctic cod) 치어들이 많이 발견 되어, 북극 대구 치어들의 길고 추운 겨울을 나기 전 중요한 먹이 서식처가 된다.

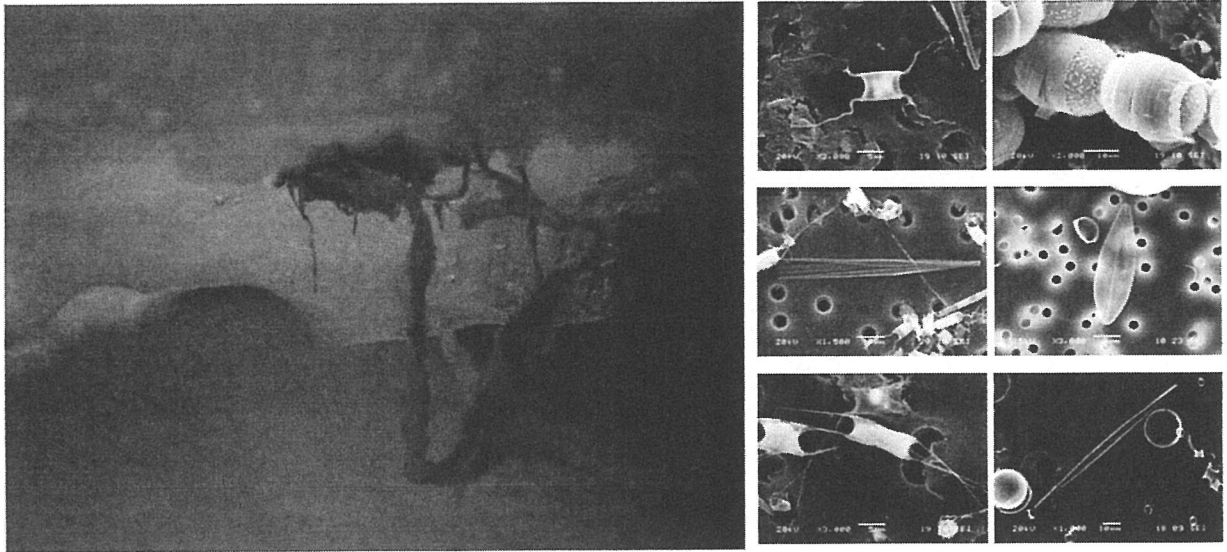


그림 9. 북극해 해빙표면에 존재하는 melt pond에서의 바닷물이 가을에 얼기 시작하면서 생성되는 거대 해빙미세조류 군집

북극해 중앙해역뿐만 아니라 최근 북극 베링해에서는 해양저 표면에 서식하는 저서생물 (epifauna)의 생체량은 증가하는 반면에, 해양저 안에 서식하는 저서생물 (infauna)의 생체량은 감소한다고 한다 (Grebmeier et al. 2006). 또한 *Oregonia gracilis* 라는 바다게는 이전에는 주로 남쪽 베링해에서만 발견되어 왔으나, 최근 북쪽 척치해에서도 발견됨으로써 그들의 분포가 점차 북쪽으로 이동해 간다는 연구결과도 보고된 바 있다 (Sirenko et al. 2006). 이뿐만 아니라 척치해 해양생태계 조사에 따르면 최근 북극 대구와 같은 다양한 어류들이 위도가 높은 곳에서 많은 양이 잡히는 것으로 보인다.

앞에서 살펴본 것처럼 최근 북극에서의 해빙의 감소와 같이 급변하는 환경변화들은 또 다른 환경변화들을 잉태하고, 이러한 환경변화들은 이곳에 서식하고 있던 고유종의 생태에 직접적으로 영향을 줄 뿐만 아니라, 다른 지역에서 서식하던 종들의 유입으로 인하여 북극해의 생태계에 또 다른 영향을 줄 수 있다. 이러한 북극 환경과 생태계 연구는 단기간에 연구될 수 있는 것이 아니라 많은 노력과 관심으로 꾸준히 연구 되어야만 하고, 거대하고 급변하는 북극환경을 연구하기에는 어느 특정 국가의 노력만으로는 부족하다. 북극은 북극권 국가들만의 고유 영역이 아니라, 북극의 환경 변화는 전 지구적 환경 변화와 밀접한 관계가 있다는 사실을 인지하여 많은 국가들의 개별적인 북극

연구를 국제적인 공동 연구로 전환하여 보다 체계적이고 종합적인 연구가 필요하다. 이러한 공동 연구로 얻어지는 기본적인 자료들을 서로 공유할 수 있게 된다면 많은 연구 비용과 노력을 절약 할 수 있을 뿐만 아니라, 그 시너지 효과는 매우 클 것이다.

인용 논문

- Grebmeier, M.J., Overland, J.E., Moore, S.E., Farley E.V., Carmack, E.C., Cooper L.W., Frey K.E., Helle, J.H., McLaughlin, F.A., and McNutt, S.L. (2006) A major ecosystem shift in the northern Bering Sea. *Sci.* 311:1461-1464.
- Inoue, J., Kikuchi, T., and Perovich, D.K. (2008) Effect of heat transmission through melt ponds and ice on melting during summer in the Arctic Ocean. *J. Geophys. Res.* 113:C05020.
- Lee, S.H., and Whitley, T.E. (2005) Primary production in the deep Canada Basin during summer 2002. *Polar Biol.* 28:190-197.
- Lee, S.H., Whitley, T.E., and Kang S-H. (2008) Carbon uptake rates of sea ice algae and phytoplankton under different light intensities in a landfast sea ice zone, Barrow, Alaska. *Arctic* 61:281-291
- Lüthje, M., Feltham, D.L., Taylor, P.D., and Worster, M.G. (2006) Modeling the summertime evolution of sea-ice melt ponds. *J. Geophys. Res.* 111:C02001.
- Perovich, D.K., and Richter-Menge, J.A. (2009) Loss of sea ice in the Arctic. *Annual Review of Mar. Sci.* 1:417-441.
- Peterson B.J., Holmes R.M., McClelland J.W., Vörösmarty C.J., Lammers R.B., Shiklomanov A.I., Shiklomanov I.A., and Rahmstorf S. (2002) Increasing river discharge to the Arctic Ocean. *Sci.* 298:2171-2173.
- Rothrock, D.A., Zhang, J., and Yu, Y. (2003) The arctic ice thickness anomaly of the 1990s: A consistent view from observations and models. *J. Geophys. Res.* 108: 28-1-28-10.

Richter-Menge J., Overland J., Proshutinsky A., Romanovsky V., Bengtsson L., Brigham L., dyurgerov M., Gascard J.C., Gerland S., Graverson R., Haas C., Karcher M., Juhry P., Maslanik J., Melling H., Maslowski W., Morison J., Perovich D., Przybylak R., Rachold V., Rigor I., Shiklomanov A., Stroeve J., Walker D., and Walsh J. (2006). State of the Arctic report. pp 36.

Sirenko, B., Bluhm, B.A., and Iken, K. (2006) New evidence of invertebrate in the Chukchi Sea from the Northern Pacific. Eos Trans. AGU 87(36), Ocean Sci. Meet. Suppl.

Vinnikov, K.Y., Robock, A., Stouffer, R.J., Walsh, J.E., Parkinson, C.L., Cavalieri, D.J., Mitchell, J.F.B., Garrett, D., and Zakharov, V.F. (1999). Global warming and northern hemisphere sea ice extent. Sci. 286:1934-1937.