

북극해 수산자원의 활용전망과 연구 방향

Prospects and research direction of Arctic fisheries resources

김수암* · 강수경**
Kim, Suam · Kang, Sukyung

목 차

- I. 서 론
- II. 북극해 주변해역의 수산자원 생물상과 해양생태계
- III. 북극해 어장 형성의 가능성
- IV. 국제사회의 북극해 수산에 대한 관점
- V. 북극해 수산자원 연구에 대한 고찰
- VI. 결론

Abstract: The tendency of global warming due to the increased CO₂ in atmosphere resulted in warming of ocean surface, and the increasing rate of sea surface temperature was the greatest in polar region. The Arctic Ocean which is surrounded by the Eurasia and North America has shown an enhanced seawater temperature since 1990s. Therefore it is projected that the most part of the Arctic Ocean during summer period would be open sea by the end of this century. Opening of the Arctic Ocean with warm temperature allows seasonal movement of fish populations from the subarctic areas such as the Barents Sea in the North Atlantic and the Bering Sea in the North Pacific. If fish populations could settle in Arctic area successfully with a suitable growth pattern, it would be very helpful to solve out the current food security issue of human society. With current information we have collected, however, it might not be possible to answer the questions on which species could be propagated to Arctic successfully. Based on ecological knowledge

* 제1저자. 부경대학교 자원생물학과 교수.

**교신저자. 국립수산물관리원 자원관리과 해양수산연구사, sukyungkang@korea.kr

142 | 해양정책연구 제29권 제2호

and experience in marine ecology, this paper discussed the necessary conditions to form a new fishing ground, reviewed the Arctic activities conducted by major coastal nations as well as international organizations, and suggested some consideration on research activities in Arctic Ocean needed to keep healthy ecosystems and rational utilization of fishery resources in the future.

Key words: Arctic Sea, Arctic fishery resources, Bering Sea, Barents Sea, global warming, food security

I. 서 론

인류는 산업혁명 이래 많은 양의 이산화탄소를 대기에 방출하여 왔다. 대기로 방출된 이산화탄소는 온실효과를 유발하여 지구의 온난화가 1980년대 후반부터 본격적으로 나타나게 되었으며, 온난화 현상은 고위도와 극지방에서 특히 현저하다. 기온상승에 대한 전망은 기후시나리오에 따라 다양하다. ‘기후변화에 관한정부간협의체(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)’의 제5차 평가보고서(AR5)에 의하면, RCP 2.6(Representative Concentration Pathway 2.6, 대표농도경로 2.6)을 적용하면 금세기 말까지 약 0.5°C의 기온 증가가 전망되지만, RCP 8.5의 조건에서는 약 4°C 정도 증가한다(IPCC, 2013). 하지만 많은 학자들의 전망으로는 3°C 이상의 증가는 없을 것이며, 증가폭은 1.0-2.5°C 정도일 것이라고 한다. 더워진 대기는 해양으로 전달되어 수온도 높아지는데, 해양은 열용량이 커서 육지처럼 빠르게 데워지지는 않는다. 북극해의 해면수온(sea surface temperature, SST)이 지속적으로 상승함에 따라 겨울에 형성된 해빙은 여름동안에 두께가 얇아지거나 해빙면적이 줄어들고 있는데, 기후학자들은 기후모형을 통한 연구로부터 21세기 말의 여름에는 북극해에서 해빙의 모습을 볼 수 없을 것이라 전망한다.

열악한 자연환경 때문에 개발이 불가능하였던 것처럼 보였던 극지방도 지구환경의 변화에 따라 활용이 가능한 지역으로 바뀌고 있으며, 이에 대한 활용 계획이 국내외적으로 활발하게 검토되고 있다. 남극권은 북극권에 비하여 자연 환경이 더욱 혹독하고 인류 모두에게 남겨진 공동유산이라는 국제적 인식이 강하지만, 북극권은 비교적 접근이 쉽고, 이미 북극권의 경제 부근에서 어업을 비롯한 많은 산업활동이 수행되고 있기 때문에 이에 대한 이용방안이 보다 현실적으로 대두되고 있다. 예를 들면, 향후 지구온난화에 의하여 북극해에서 해빙(sea ice)이 사라진다면 아시아-유럽을 잇는 북극권 항로는 더욱 활성화 될 것인데, 우리나라에서도 쇄빙선을 이용하는 북극항로에 대한 경제적 이득에 대한 고찰이 이미 여러 연구자에 의하여 제기되었다(Ryu and Kaczynski, 2009; 이, 2013).

북극권에도 미미하지만 어획활동은 있었다. 북극해 해역에서의 어획은 대부분 연안 역에서 수행되었으며, 주로 강의 하구 혹은 삼각주 부근 해역에 서식하는 수산동물이 어업의 대상이었다. 하지만 여러 가지 이유로 북극해 어업생산 통계는 정확하지 않았다. 즉, UN의 식량농업기구(Food and Agriculture Organization, FAO)¹⁾에 보고되는 어획량에서 포유류에 대한 포획은 제외되었으며, 광범위한 북극 해역을 차지하고 있는 러시아가 2006년까지 FAO 회원국이 아니었기 때문에 북극해 어업생산량 보고가 정확하지 않았을 가능성이 컸다. 미국도 대부분의 어업이 연안에서 3해리 이내에 거주민의 생존을 위한 어업이었기 때문에 FAO의 북극해 어업통계에 보고하지 않았다. 이처럼 북극해 어업생산량이 보고에서 누락되는 사례가 많았는데, Zeller et al.(2011)의 추정에 의하면 1950년부터 2006년까지의 실제 어획량은 FAO에 보고된 어획량보다 75배 이상 많았을 것이라고 한다. 또한 전반적으로 과거에 비하여 어획생산이 감소되는 추세에 있는데, 1950년대에는 3개국이 연간 24,100 톤을 생산하였으나, 2000년대 중반에 이르러서는 10,200 톤으로 감소되었다. 이러한 변

1) FAO에서는 1950년대부터 인류의 식량에 대한 통계를 체계적으로 수집해 왔다. 수산물의 경우, 어획어업(capture fishery)과 양식생산(aquaculture production)으로 구분하여, 생물종별, 국가별, 해역별 등의 수산자료를 정리하고 있다.

화가 해양생산력의 저하에 의한 것인지 인위적 요인에 의한 것인지는 분명하지 않다. 북극해 연안에서 어획활동이 저하된 상황인 것에 반해, 양식업은 최근에 들어와 매우 활발하다. 아직 북극해 양식업에 대한 전망이나 통계자료가 불충분하지만, 일부 보고된 자료에 의하면, 러시아 북부지역의 무르만스크 주에서는 2012년의 연어류 양식생산량이 2009년에 비하여 320% 증가한 16,900 톤을 기록하였으며, 2015년에는 25,000 톤의 생산을 계획하고 있다. 이 외에 카렐리아 지역에서도 양식생산이 활발하여, 2018-2020년까지 약 70,000 톤의 어류를 생산할 수 있다고 한다.²⁾

기후온난화의 영향을 받는 북극해는 점차 따뜻해져 생물의 서식에 유리하게 작용하겠지만, 극지방의 계절적 밤낮의 길이는 변함이 없으며(즉, 밤이 긴 겨울과 낮이 긴 여름이 지속되며), 극지역 생물들의 습성은 계속 빛의 계절적 변화에 의존할 것이다. 해양에서는 어류를 비롯한 여러 플랑크톤의 서식에 적합한 수온은 형성되겠지만, 이들의 출현이 생태계 먹이망(foodweb)에서 서로 연결될 수 있도록 적절한 시간에 맞추어지지 못한다면 수산생물 개체의 성장이 더더지고 사망률이 증가하여 개체군의 생산력은 감소될 것이다. 이렇게 해양생태계는 여러 현상이 복잡하게 얽혀있기 때문에, 현재의 과학수준으로 북극해 생태계가 향후 어떻게 변화할지 예측하기 힘들다. 이 주제에 대한 국제적인 관심도 매우 고조되어 있는데, 여러 부정적인 견해가 있긴 하지만, 해빙의 감소에 따라 해양생물의 활동영역이 넓어지고, 수온상승은 생물의 대사작용을 상승시켜 여름철 성장을 향상시킬 것이다. 그러므로, 북극해가 지구온난화에 의하여 일부 어종에 대한 새로운 어장으로 부상할 가능성이 있다.

1960년대에 우리나라에서 원양어업이 시작되었을 때, 원양어업은 외화를 획득하여 국가의 부를 창출하는 중요한 수단이었으며, 국민의 식량안보를 상당부분 담당하는 주요한 산업이었다. 정부는 1960년대부터 원양어업의 진흥에 많은 노력을 기울여, 1970년대 중반에 이미 57~72만 톤의 원양수산물 생산하여 우리나라 총 수산물 생산량의 27~30%를 차지하게 하였으며, 1992년에는 100

2) 2014년에 발행된 KMI의 북극해 소식 제 13호(4-5쪽)에 서 발췌하였다. 상세한 내용은 아래 웹 문서 참조. <http://barentsobserver.com/ru/biznes/2014/02/bolshoy-nyok-arkticheskoy-akvakultury-27-02>

만 돈을 상회하는 기록을 세웠다. 우리나라 정부와 원양수산회사들은 새로운 어장과 새로운 어종의 개발에 관한 국제적 정세를 면밀하게 관찰하였고, 변화에 대처하여, 1970년대 이후에는 소련³⁾, 일본과 더불어 세계적으로 중요한 원양어업국으로서의 지위를 차지하게 되었다. 하지만 1980년대 이후 연안국의 배타적경제수역(Exclusive Economic Zone, EEZ) 선포와 국제기구의 수산자원 보호정책으로 2008~2013년 기간 동안에 우리나라의 원양어업생산이 총 수산물 생산량의 18.2%로 감소하였다. 따라서 해외에서 신어장을 확보하려는 시도를 지속적으로 추진하고 있는 우리나라 정부는 북극해 어장의 가능성을 타진하고 있다(Eom, 2011). 본 연구의 목적은 미래에 북극해 어장 형성의 가능성을 생태학적 지식을 활용하여 검토하고, 이 주제에 대한 최근의 국제사회 동향을 정리하는데 있다. 아울러 인류가 북극해 어업을 추진함에 있어 북극해 생태계의 건강성이 유지되고, 생태계복지(ecosystem well-being)와 인간복지(human well-being)가 동시에 취득될 수 있는 방법을 고찰하며, 우리나라의 북극해 수산연구의 방향을 제언하는데 있다.

II. 북극해 주변해역의 수산자원 생물상과 해양생태계

북극권에 대한 지역적 정의는 다양하다. 지리적으로 북극권은 북위 66.5°보다 북쪽의 지역을 포함하는 광범위한 지역이며, 여기에는 아시아 북부의 시베리아, 북미 대륙의 북부, 그린란드의 대부분과 스칸디나비아 반도의 일부가 포함된다(그림 1a). 또한 기상학적으로는 여름의 기온이 10°C 등온선 안에 포함되는 지역을 의미하기도 한다. 수산(fisheries)의 관점으로는 FAO가 지정한 통계해역 18이 북극해에 해당된다. 이 해역에는 캐나다, 러시아, 미국의 연안에

3) 1991년에 해체된 러시아의 옛 이름.

위치한 7개의 광역생태계(Large Marine Ecosystem, LME⁴⁾)와 공해에 위치한 1개의 LME가 포함되어 있으며, 각 LME 해역 안에는 해안선으로부터 50km 이내, 혹은 수심 200m 까지의 해역을 의미하는 연안어업지역이 있다(Zeller et al., 2011)(그림 1b). 연안역은 지역에 따라 계절적으로 얼음이 없는 곳도 있으나, 대양의 대부분은 일사량이 적어 1년 내내 해빙으로 덮여있고, 총 면적이 약 1400만km²에 이른다.

북극해의 중앙 부분에는 깊은 분지가 형성되어 있고, 대륙의 주변부에는 대륙붕이 잘 발달되어 있다. 북극해는 북대서양, 북태평양과 연결되어 있으며, 북대서양과 통하는 스피츠베르겐과 그린란드 사이의 수로는 수심이 깊다(그림 1a). 이 해역에서 북극점에 가까이 가면 해빙으로 덮여있지만, 남부의 바렌츠해(Barents Sea)는 따뜻한 북대서양의 해류가 남쪽으로부터 유입되어 고위도 지역까지 생물상이 풍부하고 수산물 생산이 많다. FAO에서는 통계해역 27(북동대서양)로 분류하고 있다(그림 1b). 이에 반하여 북극해와 북태평양과의 교류는 베링해(Bering Sea) 북쪽의 좁고 얇은 베링해협(Bering Strait)을 통해서만 가능하다(그림 2). 이 해협을 통과하는 해류의 양이 많지 않기 때문에 따뜻한 수괴의 유입이 적어 북부 베링해와 척치해(Chukchi Sea)는 겨울에 얼어버린다. 전 반적으로, 아북극권(subarctic) 해역인 북대서양의 바렌츠해와 북태평양의 베링해는 해양의 생물생산력이 높아 수산업이 잘 발달되어 있으며, 북극해의 대부분은 생태학적 활동이 미약하다.

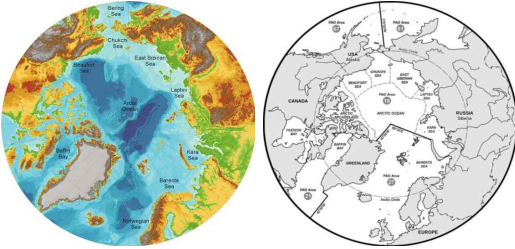
일부 학자들이 주장하듯이 10~20년 동안 지구의 평균기온이 변화하지 않거나 혹은 하강할 가능성도 있고(Easterling and Wehner, 2009), 베링해와 바렌츠해의 SST도 향후 10년 동안 상승이 정지하거나 낮아질 가능성도 있다(Drinkwater et al., 2011; Stabeno et al., 2012). 하지만 북극해가 궁극적으로 따뜻해질 것은 자명하다. 수온의 변화는 플랑크톤의 번성시기, 어류의 산란시기 등의 생물의 생물계절적 현상(phenology)에 큰 영향을 미치게 된다(Burrows et

4) LME는 미국 과학자 K. Sherman이 세계의 해역을 생태학적 관점에서 구분한 방법으로, 지리적으로 인접해 있으며 유사한 생태학적 특징을 가지는 해역을 하나의 생태학적 단위로 구분하였다. 2014년 현재 전 세계의 해역은 총 66개의 LME로 구분되어 있다. <http://www.lme.noaa.gov/> 참조.

al., 2011). 척치해의 얇은 대륙붕 해역에서는 계속 거울에 얼음이 형성되고, 여름에 이 얼음이 녹아 찬 수온의 수괴가 수중에 남아있어 이 지역 생태계에 많은 영향을 줄 것이라고 예견된다(Wang and Overland, 2009). 지구온난화에 의하여 북극해에 어장이 새로이 형성된다면, 필연적으로 아북극권에 서식하던 생물들이 북극권에 진입하여 정착을 하게 된다. 현재도 북극권 주변의 북태평양과 북대서양의 아북극 생태계는 세계 해양어류 생산의 약 20%를 차지하고 있으므로(Moran, 2013), 아북극해의 생물상 변화는 향후 북극해 생태계와 어업에 지대한 영향을 미칠 것이다. 아북극 생태계를 두 해역으로 구분하여, 각각의 생물상과 생태학적 특성을 간략히 살펴본다.

■ 그림-1. 북극권의 지도 ■

(a) 북극해의 지형과 수심분포(Loeng, 2012) (b) 북극해의 광역생태계(Large Marine ecosystem, LME)와 FAO 통계해역 번호



자료: Zeller et al., 2011

■ 그림-2. 베링해(Bering Sea)와 인접한 북극해의 척치해(Chukchi Sea)와 보퍼트해(Beaufort Sea) ■



북태평양의 베링해는 총 면적이 300만km²에 달하며, 서부는 깊은 바다이지만 동부에는 남북 거리가 1200km에 이르고, 폭 500km의 넓은 대륙붕이 발달되어 있다. 대륙붕 해역은 넓고, 생산력이 큰 해역이므로 생물상이 매우 풍족하고 다양하다. 명태(*Gadus chalcogrammus*, walleye pollock), 대구(*Gadus macrocephalus*, Pacific cod), 가자미류(flatfishes), 볼락류(rockfishes), 연어류(salmons) 등의 어류들과 게류(crabs)가 풍부하여 약 40여 상업종이 이 해역에서 생산된다(Hunt et al., 2010). 미국 전체 수산물의 약 50%가 베링해로부터 생산되고 있으며(NMFS, 2002), 이들을 포식하는 해양포유류, 바닷새 등도 번성하여, 높은 생물종 다양성을 보이고 있어 비교적 건강한 생태계가 유지되고 있다(PICES, 2004; Hunt et al., 2010). 베링해와 북극해와의 교류는 북쪽의 베링해협을 통하여만 가능하다. 하지만 해류의 교환도 적고, 이 해협을 통과하는

생물상도 제한되어 있다. 따라서 태평양에서 유래하는 따뜻한 해류가 직접적으로 북극권에 도달하지 못하므로, 이 부근의 해양인 척치해와 보퍼트해(Beaufort Sea)는 해빙에 의하여 덮여있는 계절이 길고 어류생물상도 빈약하다.

북대서양의 바렌츠해는 북극해와 접한 'FAO 통계해역 27'의 북부에 위치한 해역으로, 저위도로부터 올라오는 따뜻한 해류가 북극해 부근까지 접근을 한다. 그러므로 바렌츠해는 고위도이지만 해빙이 상대적으로 적어 기후가 온난한 편이다. 북극해와 먼한 바렌츠해의 표층과 중층에는 열빙어(*Mallotus villosus*, capelin), 대서양대구(*Gadus morhua*, Atlantic cod), 세이썸(*Pollachius virens*, saithe), 해덕(*Melanogrammus aeglefinus*, Atlantic haddock), 대서양청어(*Clupea harengus*, Atlanto-scandic herring) 등의 5종이 광범위하게 분포하면서, 계절적인 회유를 한다. 이들의 자원량은 각각 440만 톤, 230만 톤, 최대 110만 톤, 90만 톤, 25만 톤으로 추정되어, 바렌츠해에서의 총 수산생물 자원량은 약 900만 톤에 이른다(Hunt et al., 2013). 어업의 경우, 1970~1980년대에는 바렌츠해에서 200~350만 톤의 어획을 기록하였지만, 최근에는 자원량이 줄어서 100만 톤 미만의 어획을 올리고 있다. 그리고 좀 깊은 곳에는 그린란드북방넙치(*Reinhardtius hippoglossoides*, Greenland halibut)과 대서양 볼락류인 *Sebastes mentella*(beaked rockfish)가 서식하고 있다. 이들은 엄격하게는 대서양 어류이지만, 최근에는 미성어가 바렌츠해의 대륙붕에 분포하기도 하며, 상어가 새끼를 낳을 때 대륙붕단에 밀집해 있기도 한다.

III. 북극해 어장 형성의 가능성

북극해 어업의 가능성은 북극해의 해양환경이 어류가 서식하기에 적합한 환경으로 바뀔 수 있는지의 여부에 달려 있다. 여기서 환경이라 함은 수온 등과 같은 비생물 환경과 어류가 먹이로 하는 플랑크톤과 같은 생물 환경을 일컫는다. 기후변화에 관한 많은 논문들은 지구온난화에 따라 고위도 해역의 온난화

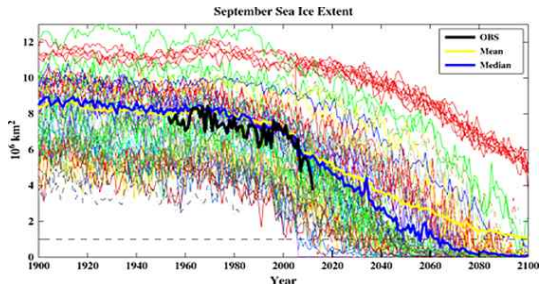
현상이 가속되어 많은 생물종들이 서식에 적합한 수온을 찾아 고위도로 이동을 하거나 좀 더 깊은 수심으로 이동한다고 예측하고 있다. 예상되는 북극해 환경 변화, 어장형성의 조건, 이동 이동에 대한 전문가들의 예상은 다음과 같다.

1. 북극해 수온과 해빙의 변화 전망

북극권의 기온상승 정도는 지역별로 혹은 계절별로 다르다. 북극해의 기온 상승은 가을-겨울의 큰 상승과 여름의 약한 상승이라는 특징이 있다. ACIA(2005)는 북극해의 중앙 부근은 가을과 겨울에 기온이 최고로 증가하여 해빙의 분포범위를 축소시키고, 두께를 얇게 할 것이라고 전망하였다. 한편, 금세기 말까지의 북극해 중앙 부근의 여름 기온 상승폭은 1°C 미만이 될 것이며, 모든 컴퓨터 모형결과는 북대서양 북부의 온도상승이 북극해의 어느 다른 곳보다도 작을 것이라고 전망한다.

북극해의 중앙 부분은 수심이 2,000m가 넘고, 면적이 약 280만km²에 이르는 공해이다. 몇 년 전까지만 해도 이 해역은 일년 내내 해빙으로 덮여 있었으나 최근에는 계절적으로 녹는다. 2007년에 북극해가 기록적으로 따뜻하였을 때, 공해 도넛홀(doughnut hole)의 약 40%에서 해빙을 볼 수 없었다. 20세기의 관찰기록과 여러 시나리오와 모형을 이용한 21세기 북극해 9월의 얼음면적 변화전망을 보면, 서서히 줄어들던 얼음면적이 21세기에 들어와서는 급격하게 줄어들었다. RCP 8.5(high) 방출 시나리오를 이용한 기후예측모형의 결과에 의하면 2030년경에는 북극해 여름 동안에 얼음을 볼 수 없게 될지도 모른다(그림 3, Overland and Wang, 2013). IPCC(2013)에 의하면, 북극해의 여름 해빙은 지구온난화에 의하여 점차 줄어들어 21세기 중반이 되면 지금보다 반 정도가 되거나(RCP 2.6 적용), 거의 사라질 것이다(RCP 8.5 적용).

■ 그림-3. 북극 9월의 얼음면적 변화 전망 ■



자료: Overland and Wang, 2013

2. 어장 형성에 필요한 조건

새로운 곳에 어장이 형성되기 위해서는 어류가 새로 이주하는 환경이 살기에 적합한 환경조건이어야 하고, 이들의 먹이생물이 충분히 번식하여 어류가 굶주리지 않아야 한다. 이들 중, 어느 것 하나라도 결여된다면 어장형성은 불가능하게 되므로 새로운 어장이 형성되기 위해서는 서식처의 적정성(suitability), 질(quality), 개체군 크기 등을 포함하는 여러 가지 요소가 복합적으로 작용한다. 환경조건 중에서 대표적인 요소가 수온과 용존산소의 양이다. 모든 생물은 서식에 적합한 수온범위를 가지고 있는데, 적정수온은 생물의 생활사 시기에 따라 변화하며, 각 시기마다 수온 변화에 적응할 수 있는 능력도 다르다. 일반적으로 생물의 초기발생 시기는 성체보다 환경의 변화에 매우 취약하여 생존가능 범위가 좁다(Hempel, 1979; Miller and Kendall, 2009). 대부분 어류는 체온을 조절하지 못하는 변온동물이기 때문에, 환경수온이 높아지면 대사율이 상승하고 성장률도 향상된다. 또한 어류는 호흡을 하여야 하므로 적정량의 산소가 해수에 녹아있어야 하는데, 미래 해양에서의 해수온난화는 수중의 용존산소량

을 감소시키고, 표층과 심층 사이의 가스교환을 억제하여 심층에 서식하는 어류의 생존과 분포를 크게 제한할 수 있다.

이와 더불어 해양어류의 가입과정(recruitment process)에 미치는 여러 환경적 요소가 적절한 시기에 나타나는 것이 중요하다. 수온과 같은 해수의 특성과 먹이생물의 출현뿐만 아니라, 해류의 정상적 흐름이나 혼합층의 두께와 같은 해수의 역동적 움직임이 해양어류의 생존과 생산력에 중요하다. 이러한 관점에서 본다면 수온의 증가와 같은 단순한 물리현상만이 어장형성에 결정적인 것처럼 보이지는 않는다. 해양의 시공간적 환경과 생태학적 과정이 어류의 산란, 생존, 성장, 회유에 적합하여 충분한 수의 미성어가 살아남아 성어로 가입(recruitment) 될 수 있어야 한다. 북극해의 여름의 수온상승은 개체군의 크기를 증식시키는데 긍정적인 효과를 가져 어장형성에 유리하게 작용할 것이다. 하지만 겨울 환경조건은 여전히 차고 어두우며, 길기 때문에 북극해로 진출하려는 생물들에게 큰 장애가 될 것이다. 북극해의 환경은 지구온난화에 의하여 지금보다는 온화하게 바뀌겠지만, 이러한 변화가 수산생물 서식처의 적정성을 보장한다던가, 서식처의 질을 높인다는 것은 아니다.

3. 북극해 어종 변화의 가능성

북극해의 어류 서식처 생태계를 크게 네 개로 나눌 때, 그린란드 생태계와 북동 캐나다(뉴펀들랜드와 래브라도 동쪽) 생태계는 전적으로 북극형(Arctic type)이지만, 북태평양이나 북대서양의 해류의 영향을 받는 베링해 북부와 바렌츠해 북부는 냉온대형 혹은 아한대형(cold-temperate or subarctic type)이다. 이들 해역에서의 역사적 생물기록은 향후 온난화 현상이 발생할 경우, 생물종들이 어떻게 이동할지를 알려주는 좋은 자료가 된다. 북극해의 환경이 어류의 서식에 유리하게 바뀌면, 아북극권 해역에 서식하는 어류들이 일단 북극해로 서식처를 확장시킬 수 있는 후보자가 될 것이지만 모든 어종이 북극해로 옮겨가는 것은 아닌 것처럼 보인다. 이에 대한 예측을 하기 위해서는 어류의 생물학적

특성에 대한 사전 정보가 충분해야 한다. 어떤 어종이 북극해로 서식처를 확대할 수 있을 것인가를 정확하게 예측하는 것은 중요한데, 지난 30여 년간의 온난화 현상에 따라 어종들의 분포가 어떻게 바뀌었는지 확인하는 작업이 필요하다.

향후의 기후변화가 고위도 해양에서의 수산생물자원의 분포와 풍도에 미치는 영향에 대하여 논의를 하기 위하여 세계의 이 분야 전문가들이 2011년 미국 씨애틀에 모였다. 그들은 아북극권으로부터 어떤 생물들이 북극해로 진출할 수 있는지에 대한 가능성과 향후의 북극해 어업의 전망에 대하여 토의를 하였다(Hollowed et al., 2013⁵⁾). 토의 결과, 그들은 금세기 안에 북극해 해빙이 녹으면 아북극권에 서식하고 있는 어류들이 북극권으로 이동할 것이라고 보았다. 하지만 모든 생물종이 이동을 하는 것이 아니라, 북극해 생태계에 적응하기 쉬운 종들은 비교적 쉽게 그들의 서식처를 확장하겠지만, 그렇지 않은 종들은 북극해 진출이 어려울 것으로 보았다. 그들의 주장이 정밀하게 수집된 과학자료를 바탕으로 만든 결론은 아니었지만, 오랜 기간 동안 이 분야에 종사한 과학자들의 경험으로부터 만들어진 전문적인 조언이었으므로 특별한 관심을 기울일 필요가 있다. 과학자들은 북태평양과 북대서양에 현재 서식하는 17종의 수산생물종/그룹을 선택하여 그들의 생물학적, 생태학적 특성을 고려하여 북극해로 진출할 가능성이 낮은 것(low potential), 중간(potential), 높은 것(high potential)으로 구분하고 그 이유를 첨부하였다(Hollowed et al., 2013).

북태평양, 즉 베링해로부터 북극해로의 진출이 가능한 종으로는 도둑홍가자미(*Hippoglossoides robustus*, Bering flounder)와 대게(*Chionoectes opilio*, snow crab)가 꼽혔으며, 보통의 가능성을 가지는 생물종으로는 그린란드북방납치, 열빙어, 각시가자미(*Limanda aspera*, yellowfin sole), 알래스카가자미(*Pleuronectes quadrituberculatus*, Alaska plaice)를 들었다. 또한 낮은 가능성을 가지는 어종으로는 장문볼락(*Sebastes alutus*, Pacific ocean perch), 북방까

5) 국제과학프로그램인 Ecosystem Studies of Sub-Arctic Seas(ESSAS)가 2011년에 다른 몇몇 국제기구와 공동으로 주최한 심포지엄(Comparative Studies of Climate Effects on Polar and Sub-Polar Ecosystems: Progress in Observation and Prediction)에서 북극해 어업의 가능성에 대한 토의가 진행되었다. http://www.pices.int/meetings/international_symposia/2011/ESSAS/default.aspx 참조.

지가자미(*Lepidopsetta polyxystra*, northern rock sole)와 명태를 들었다(표 1). 이 중에서 특히 큰 관심을 받는 어종은 명태이다. 명태는 북태평양 해안역을 따라 폭넓게 분포하며, 특히 베링해에서의 자원량이 크다. 성어와 미성어는 어류와 난바다곤쟁이류(euphausiids)를 섭식하며, 성어에서는 동종섭식현상(cannibalism)도 나타난다. 이들의 성장은 빠르며, 따뜻한 해수는 명태의 가입에 좋지 않은 효과를 주는 것으로 알려져 있으나(Mueter et al., 2011), 학자에 따라서 견해가 다르기도 하다. 비록 보퍼트해에서 낮은 밀도의 개체군이 발견되기도 하지만(Rand and Logerwell, 2011), 현재 명태 개체군은 동남부 베링해의 외부대륙붕에서 겨울에 산란을 하고 있으므로(김, 1992; Kim, 1988; Overland and Stabeno, 2004), 겨울에 계속 얼음이 형성되는 북부 베링해와 척치해는 산란장으로 적합해 보이지 않는다. 그리고 명태의 주요 먹이생물인 난바다곤쟁이류의 출현이 불확실하며, 성어는 너무 찬 수온을 피한다는 것이 명태의 북극해 진출 가능성이 낮은 이유이다. 대게와 북극 대구(*Boreogadus saida*, Arctic cod 혹은 polar cod)는 현재도 척치해의 얇은 곳에서 발견되고 있는데, 이들은 긴 회유경로가 필요하지 않으므로 새로운 생태계에 정착하기가 쉬울 것이다. 북극 대구는 크기가 작아 상업어업의 대상이 될 것 같지는 않지만, 북극해 전 해역에 분포하고 있으므로, 상업어업의 대상될 어류의 먹이생물로서 중요하다.

■ 표-1. 이북극권 어종의 북극해 진출가능성 정도(source: Hollowed et al., 2013) ■

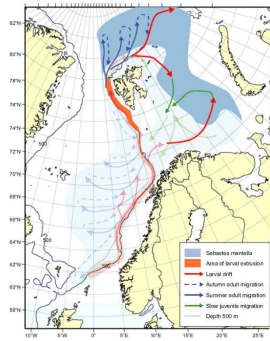
가능성 정도	어종/그룹	현재 서식해역
낮음	Pacific Ocean Perch(<i>Sebastes alutus</i> , 장문볼락)	북태평양
	Atlantic cod(<i>Gadus morhua</i> , 대서양대구)	북대서양
	northern rock sole(<i>Lepidopsetta polyxstra</i> , 북방까지가자미)	북태평양
	Pacific cod(<i>Gadus macrocephalus</i> , 대구)	북태평양
	walleye pollock(<i>Gadus chalcogrammus</i> , 명태)	북태평양
보통	Greenland halibut(<i>Reinhardtius hippoglossoides</i> , 그린란드북방넙치)	북태평양/북대서양
	Atlanto-scandic herring(<i>Clupea harengus</i> , 대서양청어)	북대서양
	elasmobranchii(연골어류)	북대서양
	capelin(<i>Mallotus villosus</i> , 열빙어)	북태평양
	yellowfin sole(<i>Limanda aspera</i> , 각시가자미)	북태평양
	Alaska plaice(<i>Pleuronectes quadrituberculatus</i> , 알래스카가자미)	북태평양
높음	beaked rockfish(<i>S. mentella</i> , 대서양 볼락류)	북대서양
	Greenland shark(<i>Somniosus microcephalus</i> , 그린란드상어)	북대서양
	Arctic skate(<i>Amblyraja hyperborea</i> , 북극가오리)	북대서양/북극해
	Arctic cod 혹은 polar cod(<i>Boreogadus saida</i> , 북극대구)	북대서양/북극해
	Bering flounder(<i>Hippoglossoides robustus</i> , 도독홍가자미)	북태평양
	snow crab(<i>Chionoectes opilio</i> , 대게)	북태평양

북대서양에서는 동물플랑크톤의 이동이 현저하였는데, 1960~1970년대에 한랭한 기후가 형성되었던 시대에 비하여 최근의 온난한 시대의 동물플랑크톤은 무려 1,100km나 북쪽으로 이동하였다(Beaugrand et al., 2002). 따뜻한 해수가 북대서양으로 유입되면, 생물의 분포만 바뀌는 것이 아니라 생물의 성장과 해양의 생산력도 바뀐다. 즉, 동물플랑크톤의 경우, 성장이 빨라지고, 사망이 감소하여 궁극적으로 동물플랑크톤의 생산력이 증가하고, 이 현상은 바로 어류의 분포에 영향을 미친다.

북대서양의 경우, 대서양 대구의 북극해 진출 가능성이 초미의 관심사이다. 대서양 대구는 전 북대서양에 서식하며, 대서양의 지역적 해양특성 차이에 잘

적응한 종이다. 대서양 북부에 서식하는 노르웨이의 대구는 노르웨이 북부 해안을 따라 산란을 하며, 치어는 바렌츠해와 스피츠베르겐 서부해안으로 표류한다. 추운 해에는 성어가 보통 바렌츠해 남서쪽에 분포하지만, 따뜻한 해에는 더 북쪽으로 올라가거나 동쪽으로 이동하여 분포한다(Drinkwater, 2006). 최근에는 대서양 대구가 북위 82.5°에서 발견되기도 했다(S. Sundby, IMR, pers. comm.). 바렌츠해는 고위도에 위치하기 때문에 햇빛에 의한 광량이 계절적인 생산력을 좌우한다. 그렇기 때문에 어류의 성장시기가 짧은데, 치어와 먹이생물의 출현이 시기적으로 잘 맞아야 이들의 성장과 생존에 유리하다. 최근 대서양 대구 성어는 9월에 북부 바렌츠해에서도 발견되고 있으며, 따뜻한 해에는 이들의 생존률이 향상된다(Kristiansen et al., 2011). 아마도 대서양 대구가 북극해로 진출하는 것은 어려운 것이다. 비록 대서양 대구가 위도의 차이를 극복할 수 있는 능력은 가지고 있지만, 겨울에 형성되는 해빙은 계속 장애가 될 것이다. 대서양 대구는 대륙붕 지역의 바닥 가까이에서 서식하고 있으므로, 깊은 북극해로 가서 산란을 할 것 같지는 않다. 북극해의 수온이 적합해진다면 이들의 북극해 진출에 가장 중요한 요인은 먹이생물의 양과 질이 될 것이다. 북대서양에 서식하는 볼락류인 *S. mentella*(beaked rockfish)의 성어는 노르웨이 서쪽의 대륙붕단 혹은 외양에 분포하면서 섭이회유를 한다. 이들은 새끼를 낳는데, 따뜻한 해수가 북극해로 들어가 수온이 상승하면 새끼를 낳는 어미군은 대륙붕단의 북부와 동부로 그들의 서식지를 확장할 가능성이 높다(그림 4). 여름에 북극해에 적정 수온이 형성되고, 먹이생물이 적당히 출현한다면 이들은 스피츠베르겐 섬의 북쪽인 북극해 외양으로 가서 섭이를 할 것으로 예상된다(Nedreaas et al., 2011).

■ 그림-4. 대서양 볼락류인 *S. mentella*의 현재 분포(붉은 색깔)와
향후의 서식 가능지역(짙은 색깔) ■



IV. 국제사회의 북극해 수산에 대한 관점

1. 국제기구

북극해에 관련된 국제기구 중에서 수산과 관련하여 중요한 의미를 가지는 것은 국제해양조사협의회(International Council for the Exploration of the Sea, ICES⁶⁾), 북태평양해양과학기구(North Pacific Marine Science Organization, PICES⁷⁾), 북극이사회(Arctic Council⁸⁾)이다. ICES와 PICES는 각각 북극해 주

6) 1902년에 북대서양의 유럽 국가들에 의하여 설립된 정부간기구로서 북대서양 해양과 생물자원에 대한 과학적인 조사와 연구를 수행하고 있다. <http://www.ices.dk/Pages/default.aspx> 참조.
7) 1992년 북태평양 연안국에 의하여 설립된 정부간기구로서 북태평양 해양과 생물자원에 대한 과학적인 조사와 연구를 수행하고 있다. 우리나라도 1995년에 회원국으로 가입하였다. <http://www.pices.int/> 참조.

변부인 북대서양과 북태평양의 아북극권 해역에 서식하는 생물종에 대하여 산하의 전문가 그룹을 통하여 여러 과학적 조사를 수행하고 있는 정부간 기구이며, 이 기구들은 전략적 우선순위를 고려하여 기구의 과학능력 효율을 높이며, 국제공동연구를 통하여 아직 해결되지 않은 연구주제를 해결하려 한다. 과학자들은 수산자원량의 규모나 증감추세만 조사하는 것이 아니라, 기후나 환경의 변동이 생물종들의 이동과 분포에 미치는 생태학적 과정, 미래의 변화될 생태계의 예측연구도 수행한다. 이에 반하여 1996년 오타와 선언에 의하여 설립된 북극이사회는 북극권에 위치한 8개국(캐나다, 덴마크, 핀란드, 아이슬란드, 노르웨이, 스웨덴, 러시아, 미국)이 회원국이며, 북극 원주민 지역 사회와 일반 북극 문제에 대한 다른 북극 주민의 참여와 함께, 북극 국가들 사이의 협력, 조정, 상호 작용을 촉진하기 위한 수단을 제공하는 고위급 수준의 정부간 포럼이다. 북극이사회는 수산문제를 포함한 북극의 지속가능한 개발과 환경 보호에 관한 특정 문제를 해결하는데, 각국은 북극환경보호라는 명분과 이상을 추구하면서, 자국의 이익이 최대로 확보될 수 있는 방향으로 국제사회에서 발언권을 높이고 있다.

최근에는 여러 국제기구가 협조하여 분야별로, 혹은 지역별로 분리되어 있는 지역현상을 전지구적으로 통합해 보려는 노력이 활발하다. 기후변화가 해양 생태계에 미치는 영향을 연구하는 ICES와 PICES의 과학자들은 2013년 러시아의 상트 페테르부르크(St. Petersburg)에 모여 기후변화가 어류와 수산업의 공간적 분포에 미치는 영향을 평가하고, 적절한 자원관리를 위한 권고사항을 정리하였다. 워크숍은 공간적인 분포의 변화를 감지하기 위한 분석 방법 논의, 기술 평가와 모델 상호비교, 불확실성 정량화, 생물자원의 분포를 관찰하기 위한 데이터베이스 내역 설계, 취약성 평가와 변화하는 기후 체제에서 생물자원의 관리 결정권자에게 연구결과를 알리는 방법 등의 6개 주제로 진행되었으며, 북극해 어업도 마찬가지로 연구방법과 주의가 필요하다는 제언이 도출되었다(Peck et al., 2013).

8) <http://www.arctic-council.org/index.php/en/> 참조.

수산과학자들은 수산의 과거역사로부터 해양수산자원이 바다에 무한정 서식하는 것이 아니라는 것을 배웠으며, 이들을 주의를 가지고 잘 관리하여야 우리가 계속 수산자원을 활용할 수 있음을 알게 되었다. 수산자원 관리지침이 전보다는 훨씬 향상되었지만, 아직도 개선의 여지는 많다. 특히 소유가 분명하지 않고, 개발역사가 짧은 어장에서의 자원관리는 대단히 복잡하다. 북극해 어장의 형성이 언제 실현될지는 모르나, 향후에 형성된다면 생태계의 먹이그물을 고려하고, 환경변화에 대한 생물의 반응을 고려하는 생태계기반 관리지침이 확고히 만들어져야 한다. 특히 ICES는 북극권 문제에 대해서는, 회원국간의 공동연구를 증진시킴으로써 북대서양에서의 북극권 문제 논의에 주인의식을 가지고 준비하는 것을 ICES 행동강령의 최우선 순위에 놓고 있다(Loeng, 2012).

2. 북극해 연안국

1) 노르웨이

노르웨이는 러시아와 공동으로 바렌츠해와 주변해역에서 대구, 열빙어, 해덕, 새우, 북극대구와 같은 중요 상업어종의 분포 조사를 실시하고 있는데, 2014년부터 2018년까지 수행할 북극해에 관한 중요한 두 가지 전략을 수립하였다. 첫 번째는 바렌츠해에서 영양단계간의 상호작용을 밝혀 통합생태계 평가를 위한 자료를 제공하는 것이다. 전반적인 목적은 바렌츠해 생태계에서 영양단계간의 상호작용, 먹이그물 구조와 기능, 에너지 흐름 등의 생태적 이해를 향상시키는 것이다. 이 프로젝트는 러시아와 공동으로 수행하는 조사를 통해 수행될 것이다. 두 번째는 북극에 대한 이해를 증진시키고, 북극해양생태계의 현재와 미래에 관해 연구하여 기후변화의 측면에서 생태계기반 관리에 대한 제언을 생산할 가능성을 점검하는 것이다. 연구해역은 대부분 북극해의 노르웨이 수역이지만 공해상으로 확장될 수도 있다.

2) 러시아

북극해 지역에서 러시아의 수산자원 조사는 어업의 중요성에 따라 달라진다. 러시아는 바렌츠해에서 플랑크톤, 저서생물, 부어류, 저어류, 해양 포유류, 바닷새까지 총 망라하는 생태계와 수산자원에 대한 조사를 활발히 수행하고 있다. 자료의 대부분은 이미 출판되었으며, 특히 경제왕래성어종과 고도회유성어종에 대한 자료는 다른 연구자들도 이용할 수 있다. 대부분의 자료는 바렌츠해와 주변해역에서 노르웨이와 공동으로 수행하는 조사 결과에 포함되어 있다. 어류 조사는 특별조사 형태로 카라해(Kara Sea) 랩테프해(Laptev Sea)에서 몇 번 수행되었으며, 전통적인 조사를 확장하여 북위 83° 까지 수행하기도 하였다. 그러나 해양포유류에 대한 항공조사는 최근에 매우 감소하였다. 중부 시베리아의 북쪽 연안은 얼음이 거의 일년 내내 덮여있고, 상업적 어업이 발달하지 않아, 어류자원에 관한 연구 활동은 매우 미약하다. 어업과 주요 연구 활동은 해안지역에서만 수행되고 있다. 러시아 북극해의 동부지역에서는 지난 몇 년 전부터 어류 연구가 시작되었으나, 칠치해의 남동지역은 어류, 포유류, 플랑크톤, 해양학적 조사가 장기간 수행되어 왔다. 러시아는 매 2-3년 간격으로 트롤, 음향, 해양, 플랑크톤 조사를 확대해 가고 있다.

3) 캐나다

캐나다의 북극해 연구는 총 3개로 보퍼트해 연구, 통합연구(synthesis activities), 남부 캐나다 분지, 보퍼트해와 아문젠만의 해양 활동으로 나눌 수 있다.

- ① 보퍼트해 연구는 2012년과 2013년 동안 남부 캐나다 보퍼트해(수심 40-1500m)에서 근해 어류의 종류, 서식지와 생태학적 관계를 조사하기 위해 수행되었으며, 조사해역에서 새롭게 알려진 어류는 약 70종이었다. 북극 반도의 북서 가장자리인 근해와 북부 사면지역에서의 조사는 연안 근처의 영구적 얼음 때문에 수행하지 못했다.

- ② 통합연구는 기존 자료를 통합하면서 시작되었다. 2014년에는 캐나다에 있는 북극 어류에 관한 모든 정보를 포함하여, 북극 해양어류 지침서를 발간하였으며, 어종별 분포위치를 지도에 표시하였다. 이러한 종 다양성에 관한 정보와 어류의 분포 지도를 통해 기후변화에 따른 어류의 재분포에 관해 평가할 수 있다.
- ③ 캐나다는 2003년부터 매년 채빙선을 이용하여 보퍼트해를 포함한 캐나다 분지에서 여름철 해양·생지화학 조사를 실시하고 있다. 다년간의 관측을 통해 심해 중앙 북극해(deep Central Arctic Ocean)의 표층수의 물리·화학적 환경과 관련된 미생물 구조의 변화를 확인하였다. 또한 2006년부터는 아문젠만에서 매년 해양, 생지화학, 미생물의 다양성을 연구하고 있다. 부가적인 활동으로는 연안의 소하성어류 자원을 관리하기 위한 연구, 보퍼트해의 연안 모니터링 조사, 배핀만(Baffin Bay)과 데이비스해협(Davis Strait)의 해양어류 조사, 허드슨해협 해협 새우 조사 등이 수행되었거나 진행 중이다. 2013년에는 동부 캐나다의 북극지역에서 해양 포유류에 대한 항공조사를 실시하였다. 또한 캐나다 북극 군도, 배핀만, 데이비스해협과 라브라도 사면에서 북극 온난화의 변화와 영향을 살펴보기 위해 해양조사가 수행되었다.

4) 그린란드

북극해와 접한 그린란드의 최북단은 연중 얼음으로 덮여있어, 어획이나 사냥활동이 없다. 따라서 플랑크톤, 어류, 무척추동물, 해양포유류의 분포와 풍도에 관한 연구가 매우 제한적으로 수행되었다. 그린란드의 서쪽 최남단과 동쪽에서는 어류와 갑각류에 대한 광범위한 조사가 수행되었으며, 고등어의 출현, 대구의 증가, 새우의 감소와 같은 생태계의 변화가 보고되었다. 그린란드는 생태학적 변화를 조사하기 위해 그린란드의 동쪽으로 조사를 확장할 계획이다. 그린란드-캐나다-덴마크가 공동으로 참여하는 북극 과학협력에 따르면, 2015년에는 북극해 표류 연구, 2017년에는 링컨해에서 생태계 기능에 대한 연구를 수

행할 예정이다.

5) 미국

해빙의 감소로 인해 북극 분지 지역에 대한 상업적인 관심이 높아졌다. 해빙 감소가 북극 생태계에 미치는 영향과 기름, 가스 개발, 북극에서의 선박 운항 증가가 북극해에 미치는 영향을 조사하기 위하여 척치해와 보퍼트해에서 연구 활동이 강화되었다. 미국은 생물·물리해양학적 정보를 수집할 뿐만 아니라 표층, 저서, 연안지역의 어류 개체군 구조에 관한 자료를 수집하고 있다. 척치해에서는 러시아와 Russian-American Long-term Census of the Arctic(RUSALCA)이라는 국제 공동연구를 수행하고 있으며, 생물학적 중요지역(hotspot)을 선정하고 모니터링 프로그램을 시작하였다. 어류와 갑각류 군집에 대한 조사 결과에 따르면, 표층생태계는 북극대구, 사프론 대구(*Eleginus gracilis*, saffron cod), 청어, 열빙어, 태평양연어와 해파리류(jellyfishes)가 우점하는 것으로 나타났다. 0세 북극대구는 척치해의 대륙붕 지역에 분포하였으며, 고령어는 보퍼트해의 대륙붕에서 사면에 걸쳐 서식하는 것으로 나타났다. 태평양연어 중 곱사연어(*Oncorhynchus gorbuscha*, pink salmon)와 연어(*O. keta*, chum salmon)의 미성어는 주로 척치해의 연안과 대륙붕 지역에서 대규모로 발견되었으며, 해파리의 생물량은 척치해의 대륙붕을 따라 표층에서 높게 나타났다. 동부 베링해와 척치해에서 수행된 조사 결과를 비교했을 때, 어류의 다양성은 베링해와 북극의 중간쯤으로 나타났다. 저서 생태계는 불가사리, 성게 등 무척추동물에 의해 우점하였다. 대개는 척치해의 대륙붕과 보퍼트해의 사면 수역에서 높은 풍도를 나타내었다. 조사 결과에 따르면, 척치해에서 발견된 대개는 크기가 작아 상업적 크기에 도달하지 못하는 반면, 보퍼트 대륙붕에서 발견된 대개는 크기가 큰 것으로 나타났다. 이들 조사 결과는 알래스카 해양관측 시스템(Alaska Ocean Observing System)에서 확인 가능하다.

V. 북극해 수산자원 연구에 대한 고찰

북극해에서의 어업활동은 아직 미미하며, 언제 경제성이 있는 어업이 형성될 수 있는지 아직 불명확하다. 본 장에서는 이와 관련된 북극해 어업의 문제점을 확인하고, 어업활동을 위한 수산정책의 방향과 연구 내용, 그리고 우리나라가 시급히 추진해야 할 연구방향을 고찰한다.

1. 북극해 어업의 문제점과 수산정책의 방향

수산자원의 지속적인 이용은 해양생태계가 건강하게 유지되는 것을 전제로 한다. 농업이나 수산업은 우리의 건강과 생존에 직결되는 식량안보(food security)에 관한 문제이기 때문에 어느 국가에서도 가장 시급한 정책 중의 하나로 취급하고 있다. 이러한 관점에서 보았을 때, 우리나라와 같이 연근해 수산자원이 감소하여 해외어장을 개발하여야 하는 상황에 있는 국가에게는 북극해 어장의 개발계획은 매우 의미가 있는 시도가 될 것이다. 하지만, 북극해에서의 어업은 개발에 저해가 되는 여러 문제점들 때문에 많은 불확실성을 품고 있다. 무엇보다도 북극해와 같이 미래환경의 예측이 어려운 해역에서의 어업은 과학적 지식에 근거하여야 지속적 발달(sustainable development)이 성취될 수 있을 것이다. 그러므로 어업을 성공적으로 지속하기 위해서는 해양조사를 통하여 현존하는 자원량을 정확하게 추정하여야 하며, 환경변화에 따라 이들 자원량이 어떻게 영향을 받는지 파악함으로써 어업관리에 대한 중장기 대책을 수립할 수 있다. 현실적으로 어장형성기작의 복잡성이나, 자원을 예측하기 위한 과학적 지식이 결여되어 있으며, 수산자원을 효율적으로 관리하기 위한 이론적 지식이 미비되어 있으므로 이에 대한 보완이 선행되어야 한다.

수산의 관점에서 북극해는 아직 개발되지 않은 어장이며, 상업적 이득이 예상되는 시대가 언제가 될지 확실하지 않은 어장이다. 이러한 예측의 불확실성은 생태학 연구의 발전에 의하여 어느 정도 개선되겠지만, 복잡하게 얽혀있는

인간사회의 정치·경제적 문제는 합리적인 사고방식으로도 해결되지 못 할 때가 많다. 더욱이 대륙붕 해역은 연안국에 의하여 점유되어 있으며, 북극해 공해해역은 여러 나라의 EEZ에 둘러싸여 있는 도넛홀이므로 연안국과 이용국 사이에 여러 외교문제를 파생시킬 수 있다. 북극해 어업의 경우, 수산자원의 이용과 관리를 위한 합리적인 장기계획을 수립하는 것도 중요하지만, 각 이익집단 혹은 각국의 정책충돌이 북극해 어업발달의 가장 큰 걸림돌이 될 수도 있다. 각국의 이해관계를 조정할 수 있도록 국제협약의 기능을 향상시키고 국제관계를 조율하는 노력이 북극해 수산업 성공의 가장 핵심적 요소로 작용할 것이다.

극지방은 환경보호에 대한 국제적 관심이 높은 지역이므로 경제적 관점만 부각시키는 개발위주의 정책만 펼친다면 국제적 비난을 피하기 어려울 것이다. 인류의 수산업 역사를 보면, 수산자원이 한 해역에서 발견된 후 즉각적인 남획에 의하여 생물종이 멸종되는 사례가 많이 발견되므로 새로운 어장에서의 어업은 항상 주의를 요한다. 지난 세기에 수산자원 관리방침 분야에서 많은 진전이 있었지만, 아직은 충분하지 않다. 따라서 북극해에서의 어업은 서식처 환경의 보호와 지속적 자원이용이라는 인류공영의 흐름에 동참하면서 경제적 이득을 최대한 증진시키는 방향으로 정책을 입안하여야 하는데, 궁극적으로는 과학적 활동을 활발하게 전개하여 생태계기반 수산자원관리(ecosystem-based fishery management)라는 국제적 합의에 근접하여야 한다.

2. 수행되어야 하는 세부 연구내용

북극과 남극은 전 인류에게 주어진 공동의 유산이지만, 각국의 이해관계가 첨예하게 대립되어 있는 곳이기도 하다. 인류공영의 자원을 효율적으로 활용하는데 필요한 연구의 방향을 북극해 생태계 환경전망 연구, 북극해 수산생물 연구, 사회과학적 연구 분야로 나누어 간략하게 정리하면 아래와 같다.

1) 북극해 환경과 생태계 변화 연구

실제의 과학적 활동은 여러 가지 방법을 생각할 수 있다. 특히 어떤 과학적 주제의 연구를 중장기적으로 수행하기로 결정하였으면, 그 문제를 해결하기 위하여 지속적으로 자료를 수집하여야 한다. 연구선 혹은 채빙연구선을 이용한 현장조사는 생태학적 과정을 이해하는데 필수불가결적 조건이므로 해양환경자료를 수집하는 활동이 절대적으로 필요하다. 그리고 북극해가 우리나라로부터 멀리 떨어져 있으므로 해양자료를 확보하기 위한 다각적인 노력을 강구해야 한다. 인공위성을 이용한 원격관측장치(remote sensing)와 아고 뜰개(Array for Real-time Geostrophic Oceanography float, ARGO float) 관측시스템과 같은 자동관측장치, 혹은 부표(buoy)를 이용한 자료수집도 중요하다. 자료수집체계가 구축된 이후에 수집된 자료를 분석하는 기법을 개발하고, 통계적으로 검증하는 노력도 병행해야 한다.

또한 물리현상과 규모가 다른 생물현상을 서로 결합하려는 모델링 시도는 생태학 연구에 매우 중요하다. 지난 20년간 기후예측에 대한 모델링 분야에서 많은 발전이 성취되었지만, 극지방의 경우에는 아직도 불확실성이 너무 크다. 전구모형(global model)을 상세화 기법(down-scaling)을 동원하여 북극해 지역 상황에 맞는 지역모형(regional model)을 개발하는 일이 시급하다. 기후와 해양 물리환경 예측에 대한 연구가 선행된 후에, 북극해 생태계의 구조와 기능을 파악하고 예측하기 위한 해양생태계 먹이그물 연구가 수행되어야 한다. 최소한 필요한 연구항목은 북극해 기후변화 예측 연구, 북극해 해수 특성 변화 연구(수온, 염분, 강수량, 산성화, 용존 기체 등), 북극해 해류 흐름 변화 연구, 북극해 해빙 분포, 두께, 면적 변화 연구, 북극해 해양생태계 먹이그물의 구조와 기능에 대한 다각적 연구(식물플랑크톤, 동물플랑크톤, 저서생물, 생태계 먹이그물, 포식-피식 관계, 에너지 흐름 등), 기후변화에 따른 해양생태계 하위영양단계 생물의 반응연구(종조성의 변화, 분포 변화, 기후지수와 생물량 관계, 일차생산력 분포 연구 등) 등이다.

166 | 해양정책연구 제29권 제2호

2) 북극해 수산생물 연구

북극해 어업의 가능성을 논의하기 위해서는 북극해가 과연 수산생물이 서식하기에 적합한 여장이 될 것인지를 파악하여야 하며, 그 시기가 언제쯤 이루어질 수 있는지 정확하게 예측하여야 한다. 이 분야의 연구는 수산학 연구라기 보다는 기후변화와 예측에 대한 연구이지만, 어장형성 시기와 장소를 예측하기 위한 필수불가결적 요소이다. 또한, 수산생물자원도 생태계 먹이그물을 구성하는 한 요소이다. 이들의 자원량을 건강한 상태로 유지하면서 어획물을 최대로 생산하는 방안을 수립하기 위해서는 생태계의 구조와 각 생태계 요소들의 상호관계에 관한 기능이 파악되어야 한다. 이와 같은 정보는 수산생물의 성장률과 사망률을 추정하는데 가장 기본적인 요소들이다. 이를 근간으로 수산생물의 가입량, 자원량을 예측할 수 있다. 수산생물의 성장, 사망, 가입과정에 대한 연구와 더불어 수산자원의 자원량, 가입량에 대한 평가와 진단이 필요하다. 현재까지의 수산자원 관리모형은 주로 단일어종(single species)을 대상으로 한 것이었지만, 생태계의 환경에 적응하고, 다른 생물과의 반응에 의하여 수산자원의 가입성패가 달라지므로 생태계 지식을 활용하는 생태계기반 접근법이 중요하다(Kim et al., 2014). 따라서 필요한 연구항목은 아북극권 수산생물에 대한 생태학적 연구(섭이, 경쟁, 성장, 성 성숙 등), 수산생물의 생물학적 파라미터 추정 연구(성장률, 사망률 등), 수산생물의 가입량 변동 연구(일치-불일치 가설의 검증, 치어 분산 연구 등), 수산생물의 자원량 추정 연구(음향조사, 난자치어 조사, 트롤조사 등), 수산생물의 분포, 이동에 대한 연구(archival tag), 수산생물의 관리방법 연구 등이다.

3) 사회과학적 연구

북극해에서의 본격적인 상업적 조업은 가까운 미래에 성취될 것 같지 않다. 기후환경이 바뀔에 따라서 어류가 새로운 서식처를 찾아가 적응을 하는데도 많은 시간이 소요되겠지만, 북극의 환경을 보호하고, 자원의 지속적 이용을 원하는 연안국들의 제지가 아마도 거셀 것이기 때문이다. 북극이사회 회원국과의

공동연구를 통하여 해양생태계 연구를 진작시키며, 생태계를 건강하게 유지하면서 수산자원을 활용할 수 있다는 이론적 결과가 분명할 때, 비로소 북극해 어업이 개시될 수 있을 것이다. 북극해 어장은 원양어업국, 혹은 연안국이라고 하더라도 주요 어항과 먼 거리에 위치하며, 어업시기의 제약이 있기 때문에 꼼꼼한 경제성 검토는 필수적이다. 북극해 지역에서 수산업에 대한 기후변화의 경제적 영향을 평가하는 일은 매우 힘든 일이지만, 산업을 유지하기 위해서는 필수적인 연구이며, 경제적 관점을 세계적인 관점과 지역적인 관점으로 나누어 분석을 할 수 있다. 필요한 연구항목은 북극해 수산업의 경제적 평가 연구, 북극해 관련 여러 국제기구(ICES, PICES, FAO, 등)의 동향 검토와 정책 연구 등이다. 이와 더불어 북극해에서의 조업활동이 비단 수산자원을 이용만 하려는 것이 아니라 자연을 보호하면서 자원을 효과적으로 활용하는 인간의 지혜스러운 방법인 것을 일반인들에게 홍보하고 교육하는 일도 중요하다.

3. 우리나라의 북극해 수산연구 방향에 대한 제언

우리나라의 원양어업은 베링해에서의 명태어업으로부터 시작되었다. 1980년대 이후, 베링해 명태어업이 쇠퇴하면서 남극해 조업의 길이 열리게 되었으며, 혹독한 아북극 해역에서의 조업 경험을 바탕으로 남극해에서 최대 어업국 지위를 차지할 수 있었다. 이러한 극지어업 활동은 향후 북극해 어업이 시작될 때에 더욱 값진 경험이 되어 북극해에서의 조업효율을 높이게 될 것이다. 초창기 우리나라의 원양어업은 자본기반이 취약하였기 때문에 장기적 조업계획을 체계적으로 수립하지 못하였으며, 정부도 주로 국제적 정세의 변화에 의하여 좌우되는 원양어업의 특성 때문에 원양어업의 지속적 발전을 위한 확고한 계획을 세울 수 없었다. 그러므로 우리나라가 향후 북극해에서의 어업을 고려한다면, 과거와 같은 수동적 대처에서 벗어나 국제적 상황을 치밀하게 분석하고, 우리가 취하여야 할 정책에 대하여 숙고하고 능동적으로 활동하여야 한다. 다음은 북극해 어업활동을 효과적으로 수행하기 위하여 필요한 제언이다.

168 | 해양정책연구 제29권 제2호

첫째, 과학적 사실에 입각한 어업활동 계획의 수립이 중요하다. 해양생태계와 수산생물 연구를 위한 자료수집과 생태계 예측 능력을 함양하기 위한 세부 연구계획을 합리적인 우선순위에 맞도록 결정하여야 한다. 생태계의 현상을 규명하는 모수추정(parameter estimation)과 생태계 과정(process study) 연구활동 이외에, 학제간의 공동연구를 수행하여 북극해 기후와 해양 환경을 전망하고 생태계의 에너지 흐름과 변동을 이해하는 것이 중요하다.

둘째, 북극해의 대부분이 연안국의 EEZ에 포함되어 있으므로 연안역과 공해에서의 현장조사를 실시하기 위한 긴밀한 국제적 협조체제를 구축해야 한다. 북극해의 수온과 해빙에 대한 시뮬레이션 연구가 북극해 연안국 학자들과 공동으로 수행되어야 가능한 것이며, 평소 연안국 과학자들과 공동으로 연구할 수 있는 항목을 함께 탐색하여 북극해 수산업에 대한 시·공간적 계획수립과 해양연구와 자원관리에 대한 국제적 공감대를 형성해야 한다.

셋째, 무엇보다도 우리나라의 차세대 극지과학자들을 양성하는 것이 중요하다. 우리나라는 이미 극지연구를 수행하기 위한 훌륭한 기반(즉, 극지과학기지, 채빙선 등)을 갖추었으므로, 험난한 극지환경에서 적극적으로 과학적 활동을 펼칠 진취적 사고방식을 가진 젊은과학자가 많이 필요하다. 특히 시뮬레이션 분야의 연구는 젊은과학자에 의하여 더욱 큰 발전을 이룩할 수 있으리라 생각되므로, 생물과 물리현상을 연결하는 해양생태계 접합모형개발에 헌신할 인력양성이 북극해 연구의 성과를 가름할 것이다.

VI. 결론

북극해는 수온이 낮고, 해빙이 항시 존재하며, 계절적으로 기상변이가 크며, 긴 겨울과 긴 여름의 특징 때문에 북극해 생태계에서의 생명활동은 매우 제한적이었다. 그러나 기후온난화에 의하여 북극해의 해면수온이 상승하고, 해빙의 형성이 제한된다면 아북극권의 어류가 북극해로 이동하여 서식할 가능성이 커

지게 된다. 이미 부분적으로, 혹은 일시적으로 이러한 현상이 보고되고 있으며, 수산업에 관심을 가지고 있는 국가들은 북극해 어장형성의 가능성에 대하여 많은 관심과 추구를 세우고 있다. 본 논문은 최근 국제적으로 커다란 이슈가 되고 있는 북극해 어업의 가능성을 타진하고, 향후 우리나라가 북극해 어장으로 진출하여 성공적으로 어업을 지속시키기 위한 방침을 제안하였다.

기후변화에 따라 북극해의 상당 부분에서 어류가 살기에 적합한 수온이 형성되어 어류가 북극해로의 접근이 가능하다고 하더라도, 북극해 어장이 가까운 미래에 형성될 것이라는 시대에는 아직도 불확실성이 많다. 어장은 수온의 상승에 의해서만 형성되는 것이 아니라, 이동해 온 어류가 산란을 할 수 있는 서식처, 어류가 충분히 섭이활동을 할 수 있는 먹이생물의 출현, 어장의 입어를 결정하는 연안국의 판단, 생태계 보호를 감안하는 국제기구의 보존조치 등이 모두 충족되어야 비로소 경제성이 있는 어업이 가능해 진다. 어장의 형성조건이 가능하다고 하더라도 북극해 주변국의 여러 정치적, 경제적, 군사적 이해관계가 충돌한다면 수산업 개발은 지연될 것이다. 이러한 사회적 요인을 제외한다면, 북극해 어업전망에 대한 여러 가지 요인 중에서 가장 중요한 사항은 과학적 현상에 대한 정확한 예측과 진단이다.

현대문명이 발달되었다고는 하지만, 우리의 과학 수준으로 미래 해양생태계를 예측하는 것은 아직도 매우 어려운 과제이다. 생태학 분야에서의 과학적 성취는 장기간의 시간을 투자하여야 얻을 수 있기 때문에 타 학문분야에 비하여 매우 느리게 진행된다. 북극해 어장 형성에 대한 전망을 정확하게 예측하기 위해서 기후환경의 변화를 예측하고, 해양과 해양생태계의 변화를 모니터링 하는 것이 중요하다. 또한, 기후환경의 변동에 따라 수산생물의 분포와 가입에 대한 예측이 가능하다고 하더라도, 생물 서식처를 보존하고 생태계를 건강하게 유지하여야 한다는 국제적 흐름에 동참하여야 한다. 성공적인 북극해 어업을 위해서는 서두르지 말고, 꾸준히 연구인력을 양성하며, 기본조사를 충실하게 수행하며, 생태학적 지식이 기반이 된 어업활동, 즉 생태계기반 수산자원 관리지침을 개발해 나가야 할 것이다.

감사의 글

본 논문의 초고에 대한 세 분 심사자의 지적과 조언에 감사드린다. 본 연구는 부경대학교 자율장의학술연구비(2014년)에 의하여 수행되었다.

투고일(2014년 10월 7일)
1차 심사일(2014년 11월 5일)
2차 심사일(2014년 12월 8일)
게재확정일(2014년 12월 17일)

1. 김수암. 1992. 『베링해 명태자원의 현황과 연구방향: (III) 생물학적 특징』. 『Ocean Research』, 제14권, 한국해양연구소.
2. 이성우. 2013. 『북극해 이슈에 현실적 대응 필요』. 『계간 해양수산』, 제3권, 한국해양수산개발원.
3. ACIA. 2005. "Arctic Climate Impact Assessment." New York: Cambridge University Press.
4. Beaugrand, G., P.C. Reid, F. Ibanez, J.A. Lindley and M. Edwards. 2002. "Reorganization of North Atlantic marine copepod biodiversity and climate." *Science*, 296, AAAS.
5. Burrows, M.T., D.S. Schoeman, L.B. Buckley, P. Moore, E.S. Poloczanska, K.M. Brander, C. Brown, J.F. Bruno, C.M. Duarte, B.S. Halpern, J. Holding, C.V. Kappel, W. Kiessling, M.I. O' Connor, J.M. Pandolfi, C. Parmesan, F.B. Schwing, W.J. Sydeman and A.J. Richardson. 2011. "The pace of shifting climate in marine and terrestrial ecosystems." *Science*, 334, AAAS.
6. Drinkwater, K.F. 2006. "The regime shift of the 1920s and 1930s in the North Atlantic." *Progress Oceanography*, 68, Elsevier.
7. Drinkwater, K., H. Loeng, O. Titov and V. Boitsov. 2011. "Climate impacts on the Barents Sea Ecosystem." In: The Barents Sea. Ecosystem, Resources, Management. Half a Century of Russian-Norwegian Cooperation. T. Jakobsen & V.K. Ozhigin (eds) Trondheim: Tapir Academic Press.
8. Eom, S.-h. 2011. "The Arctic fisheries regime and its implications to Korea." *International J. of Marine Affairs and Fisheries*, 3, KMI.
9. Easterling, D.R. and M.F. Wehner. 2009. "Is the climate warming or cooling?" *Geophysical Research Letters*, 36, John Wiley & Sons, Inc.
10. Hempel, G. 1979. Early life history of marine fish. Washington Sea Grant, University of Washington Press, Seattle, USA.

11. Hollowed, A.B., B.P. Planque and H. Loeng. 2013. "Potential movement of fish and shellfish stocks from the sub-Arctic to the Arctic ocean". *Fisheries Oceanography*, 22, John Wiley & Sons, Inc.
12. Hunt, G.L., Jr., B.M. Allen, R.P. Angliss, T. Baker, N. Bond, G. Buck, G.V. Byrd, K.O. Coyle, A. Devol, D.M. Eggers, L. Eisner, R. Feely, S. Fitzgerald, L.W. Fritz, E.V. Gritsay, C. Ladd, W. Lewis, J. Mathis, C.W. Mordy, F. Mueter, J. Napp, E. Sherr, D. Shull, P. Staben, M.A. Stepanenko, S. Strom and T.E. Whittedge. 2010. "Status and trends of the Bering Sea region, 2003-2008." pp 196-267 In S.M. McKinnell and M.J. Dagg [Eds.] *Marine Ecosystems of the North Pacific Ocean, 2003-2008*. PICES Special Publication 4. PICES.
13. Hunt, Jr. G.L., A.L. Blanchard, P. Boveng, P. Dalpadado, K.F. Drinkwater, L. Eisner, R.R. Hopcroft, K.M. Kovacs, B.L. Norcross, P. Renaud, M. Reigstad, M. Rennera, H.R. Skjoldal, A. Whitehouse, R.A. Woodgate. 2013. "The Barents and Chukchi Seas: Comparison of two Arctic shelf ecosystems." *J. of Marine Systems*, 109-110: 43-68.
14. IPCC. 2013. "Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change." T.F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, and P.M. Midgley, eds, Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 1,535 pp.
15. Kim, S. 1988. "Early life history of walleye pollock, *Theragra chalcogramma*, in the Gulf of Alaska." *Proceedings of International Symposium on the biology and management of walleye pollock*, Alaska Sea Grant Report 89, Alaska Sea Grant.
16. Kim, S., A.B. Hollowed, M. Barange, and B.R. MacKenzie. 2014. "ICES and PICES strategies for coordinating research on the impacts of climate change on marine ecosystems." *Oceanography*, 27(2): 18-25.

17. Kristiansen, T., K.F. Drinkwater, R.G. Lough and S. Sundby. 2011. "Recruitment variability in North Atlantic cod and match-mismatch dynamics". *PLOS ONE*, 6, PLOS Publication.
18. Loeng, H. 2012. "Climate change and the Arctic". *ICES Insight*, 49, ICES.
19. Miller, B.S. and A.W. Kendall, Jr. 2009. "Early life history of marine fishes." University of California Press. 364 p.
20. Moran, S. 2013. "How fish adapt to a warming world is top of mind for governments eager to profit off of a robust fishing industry. Will climate change rule in their favor?"
<http://www.popsoci.com/environment/article/2013-01/in-the-era-of-climate-change-where-will-all-the-fish-and-the-money-go>
21. Mueter, F.J., N.A. Bond, J.N. Ianelli, and A.B. Hollowed. 2011. "Expected declines in recruitment of walleye pollock (*Theragra chalcogramma*) in the eastern Bering Sea under future climate change". *ICES Journal of Marine Science*, 68, Oxford Journals.
22. Nedreaas, K.H., K.V. Drevetnyak, and B. Planque. 2011. "Chapter 5.7. redfish." In: The Barents Sea - Ecosystem, Resources and Management. Half a Century of Russian-Norwegian Cooperation. T. Jakobsen & V.K. Ozhigin (eds) Trondheim: Tapir Academic Press, pp. 293-308.
23. NMFS. 2002. "NOAA Fisheries 2001 Report." US Department of Commerce, NOAA National Marine Fisheries Service, Silver Spring, MD. 48 pp.
24. Overland, J.E. and P.J. Staben. 2004. "Is the climate of the Bering Sea warming and affecting the ecosystem?" *Eos, Transactions of the American Geophysical Union*, 85, John Wiley & Sons, Inc.
25. Overland, J.E. and M. Wang. 2013. "When will the summer Arctic be nearly sea ice free?" *Geophysical Research Letters*, 40, John Wiley & Sons, Inc.
26. Peck, M.A., A.B. Hollowed, and S. Kim. 2013. "ICES/PICES Workshop on

Global Assessment of the Implications of Climate Change on the Spatial Distribution of Fish and Fisheries." *PICES Newsletter* 21, North Pacific Marine Science Organization.

27. PICES, 2004. "Marine Ecosystems of the North Pacific." PICES Special Publication 1. Sidney: BC.
28. Rand, K.M. and E.A. Logerwell. 2011. "The first demersal trawl survey of benthic fish and invertebrates in the Beaufort Sea since the late 1970s." *Polar Biology*, 34, Springer.
29. Ryu, J. and V. Kaczynski. 2009. "Review on some aspects of legal and scientific understandings regarding outer continental shelf limits in the Arctic Ocean." *International Journal of Maritime Affairs and Fisheries*, 1, KMI.
30. Staben, P.J., E. Farley, N. Kachel, S. Moored, C.W. Mordyc, J.M. Nappe, J.E. Overland, A.I. Pinchuk, and M.F. Siglerb. 2012. "A comparison of the physics of the northern and southern shelves of the eastern Bering Sea and some implications for the ecosystem." *Deep-Sea Research Part II*, 65-70, Elsevier.
31. Wang, M. and J.E. Overland. 2009. "A sea ice free summer Arctic in 30 years?" *Geophysical Research Letters*, 36, John Wiley & Sons, Inc.
32. Zeller, D., S. Booth, F. Pakhomov, W. Swartz, and D. Pauly. 2011. "Arctic fisheries catches in Russia, USA, and Canada: baselines for neglected ecosystems." *Polar Biology*, 34, Springer.