

북극권 자원 개발 사업을 위한 기후변화 대응 방안 조사 분석

Investigation and Analysis of Climate Change Countermeasures for Resource Development Projects in the Arctic Circle

김세원¹, 김영석^{2*}

Sewon Kim¹, YoungSeok Kim^{2*}

¹Member, Researcher, Department of Geotechnical Engineering Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, 283 Goyangdae-Ro, Ilsanseo-Gu, Gyeonggi-Do 10223, Republic of Korea

²Member, Senior Research Fellow, Northern Infrastructure Specialized Team, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, 283 Goyangdae-Ro, Ilsanseo-Gu, Gyeonggi-Do 10223, Republic of Korea

ABSTRACT

Recently, interest in environmental issues is increasing worldwide due to abnormal climate phenomena caused by global warming. Global efforts are continuing to actively respond to climate change, but the dependence on fossil fuels is still high. In particular, a huge amount of fossil fuels and mineral resources are buried in the Arctic Circle, so development and construction projects are being actively pursued. Participation and cooperation in the development of Arctic resources (oil and gas resources) is one of the alternatives to domestic energy supply. Resource development in the Arctic Circle requires close review (Poor development environment and technical limitations due to extreme climate, environmental problems due to resource development, social impact, etc.) in advance compared to general resource development. In this paper, the laws and guidelines related to climate change to be considered were reviewed when developing Arctic resources. In addition, the countermeasures against climate change applied in large-scale resource development projects in the Arctic were reviewed. It is expected that the results of the research and analysis of this study will be used to establish strategies to respond to new risk factors that influence the successful promotion and operation of the Arctic region resource development project.

요 지

최근 지구온난화에 따른 이상 기후 현상으로 세계적으로 환경 문제에 관한 관심이 높아지고 있다. 기후변화에 적극적으로 대응하기 위해 전 지구적인 노력이 이어지고 있으나, 여전히 화석연료의 의존도는 매우 높다. 특히, 북극권은 막대한 양의 화석연료와 광물자원이 매장되어 있어 개발과 건설 사업이 활발히 추진되고 있다. 북극권 자원(석유·가스자원) 개발 사업의 참여 및 협력은 우리나라 에너지·자원 공급의 대안 중 하나라 할 수 있다. 북극권 자원 개발은 극한 기후에 따른 열악한 개발 환경과 기술적 한계, 자원 개발에 따른 환경 문제, 사회적 영향 등 일반적인 자원 개발과 비교해 사전에 면밀한 검토가 요구되고 있다. 본 논문에서는 북극권 자원 개발 및 건설 활동 추진을 위해 북극해 연안 국가들의 기후변화 대응 법규 및 지침을 고찰하였다. 또한, 북극권 자원 개발 사업을 위해 필요한 영구 동토층의 지반 안정화 기술, 극한의 기후 조건에 작동하고 자원 개발의 효율성을 높일 수 있는 기술 사례 등을 조사하고 분석하였다. 본 연구의 조사·분석 결과는 자원 개발 사업의 성공적 추진과 운영을 좌우하는 새로운 리스크 요인에 대응하는 전략수립 등에 활용될 것으로 기대한다.

Keywords : Arctic, Resource, Climate change, Global warming, Oil and gas

1. 서 론

기상이변으로 인한 피해가 크게 증가하면서 기후변화 등 환경 문제에 관한 관심이 높아지고 있다. 최근 들어 기

Received 13 Oct. 2021, Revised 3 Dec. 2021, Accepted 6 Dec. 2021

*Corresponding author

Tel: +82-31-910-0371; Fax: +82-31-910-0561

E-mail address: kimys@kict.re.kr (Y. Kim)

후변화에 적극적으로 대응하기 위해 태양광이나 풍력과 같은 재생에너지 자원 확보를 위한 전 지구적인 노력이 이어지고 있으나, 여전히 화석연료의 의존도는 70% 정도의 높은 수준이다. 우리나라도 다양한 정책을 통해 지열, 풍력, 태양열 등의 대체에너지 사용을 장려하고 있으나 여전히 에너지수급 대부분을 석탄, 석유, 가스와 같은 탄화수소화합물에 의존하고 있다. 2035년 대체에너지가 차지하는 에너지수급이 20%를 넘지 않을 것이라는 에너지경제연구원의 전망은 앞으로 석유·가스자원 중심의 에너지시대가 계속될 것으로 예측 된다(Jung, 2014). 또한, 현재 가장 중요한 에너지원인 석유와 천연가스, 석탄 등 화석연료는 온실가스 배출량의 증가세로 석유·천연가스 탐사 및 생산부문의 단위생산 당 온실가스 배출량은 연 0.5% 증가하는 경향을 보이고 있다(Park, 2014). 따라서, 에너지 자원을 생산·공급하는 자원 개발 부문도 기후변화에 따른 물리적 기후요인 변화와 규제 강화, 신재생에너지 등 경쟁기술의 개발 등으로 다양한 변화가 필요하다.

한편 북극권의 다수 자원 개발 현장에서는 지하수에 유입되는 유독성 폐기물의 이동을 방지하기 위해 동결에 의존하고 있지만, 최근의 기온 상승에 따라 유독 물질의 동결을 유지하는 것이 점점 어려워지고 있다. 이러한 현상과 같이 화학물질에 대한 온도 영향이나 자원 개발 사업에 따른 자연식생 파괴 후의 초목 회복율과 영구 동토층의 변화 같은 특성 또한 고려해야 한다. 그리고 대기 중 오염물질의 축적과 물리적 지형 변화, 서식지 파괴에 취약한 북극의 자연환경도 충분히 고려해야 한다. 따라서 북극권 자원 개발 사업에서 기후변화는 실용적 측면에서 매우 중요하다(Kim and Kim, 2019).

북극권 대표 연안 국가(러시아, 미국, 캐나다, 노르웨이, 그린란드)들은 모두 북극 석유·가스 자원 개발에 적극적으로 나서고 있으며, 각각 자국의 석유·가스 부존량, 탐사 및 시추기술, 법적 제한 요소 등 실정에 따라 자원 개발을 활발히 추진하고 있다. 북극해 연안국들의 개발 주도권 확보를 위한 노력과 함께 비연안국들도 다각적인 방법을 통하여 공동개발에 참여하고 있다. 이러한 북극권 자원 개발과 함께 자원 개발에 따른 환경오염을 방지하기 위한 노력도 요구되고 있다. 특히 기후변화의 주요 지표가 되는 해빙(海氷)의 감소는 환경보호의 심각성을 드러내며 각국의 발 빠른 기후변화 대책이 요구되고 있다. 북극의 전체 해빙 면적은 최근 30여 년 동안 750만 km²에서 400만 km² 이하로 감소하였다. 이산화탄소로 인한 지구온난화가 진

행되면서 북극의 빙하가 녹고, 태양 빛을 반사하던 빙하들이 사라지면서 지구의 온도는 가파르게 상승하고 있다. 지구 기후를 안정시키는 역할을 하는 북극의 온난화로 인해 생태계의 파괴, 기상 변화, 그리고 해수면 상승도 함께 일어나고 있다. 하지만, 영구 동토와 해빙 속에 갇혀있던 무한한 자원에 대한 개발 가능성은 해빙 감소에 비례해 가속화되고 있어 북극 연안국들과 다국적기업들의 북극개발 경쟁 또한 심화되고 있다. 국제기구가 아닌 북극이사회(Arctic Council)라는 협의체를 중심으로 이루어지고 있는 북극 권역은 다자간 체제와 규범이 존재하고 인접국간 영유권 분쟁으로 에너지 자원 개발에도 큰 영향을 미치고 있다. 우리나라는 석유 소비량의 약 90%를 수입에 의존하고 있으며, 그 공급 루트 또한 제한적이다. 따라서 북극권 자원(석유·가스자원) 개발에의 참여 및 협력은 우리나라 에너지공급의 대안 중 하나라 할 수 있다.

본 논문에서는 북극권 자원 개발 사업의 주된 대상이며 주요한 온실가스 배출원이기도 한 석유·천연가스를 중심으로 자원 개발 시 고려해야 할 기후변화 관련 법규 및 지침, 그리고 북극권 대규모 자원 개발 사업에서의 기후변화 대응방안 및 기술 사례 등에 대해 조사 분석하였다.

2. 북극권 자원 개발 사업을 위한 기후변화 대응 관련 법규 조사 분석

2.1 북극권 기후변화 특성

북극권은 일사량, 지면 알베도, 기단의 이동, 해류, 지형 등의 요인으로 겨울 기온이 매우 낮고 지역에 따라 기온 차이가 크다는 특징이 있다. 특히 지역 간 기온 변동은 겨울보다 여름에 크다. 북위 66.5° 이북의 북극은 태양으로부터 받는 복사 에너지(일조량)가 계절에 따라 큰 변화를 보이며 여름에는 태양이 지지 않는 백야와 겨울에는 태양이 뜨지 않는 극야가 존재한다. 특히, 두꺼운 구름과 안개가 일사를 차단하고, 눈과 얼음이 덮인 지역이 일사량 대부분을 반사하기 때문에 백야와 극야의 한가운데에는 하지와 동지가 있으며 하지 전후에 북극권 일사량이 적도 지역보다 많음에도 중위도만큼 기온이 상승하지 않는다. 또한, 대륙 위에 얼음이 덮여 있는 남극과는 달리 바다 위에 얼음이 떠 있는 북극은 해빙이 해수면 에너지 교환에 영향을 준다. 즉, 눈으로 거의 덮여 있는 해빙은 지표에 도달한 태양 에너지의 90%를 반사해 우주로 다시 내보낸다. 반면

바다는 어두운 표면이므로 햇빛을 90% 흡수하는데, 이 상반된 작용이 기후에 강력한 영향을 끼칠 수 있다. 따라서 해빙 감소는 기후변화의 주요 지표가 된다.

지구 전체의 기후 시스템을 조절하는 역할을 수행하는 북극권의 기후변화로 인해 해빙이 사라지며 북극 생태계는 물론 지구 기후에 영향을 주고 있다. 즉, 북극 바다는 겨울의 북극 공기와 비교해 상대적으로 따뜻하다고 알려져 있는데 해빙은 바다의 따뜻한 공기가 북극의 차가운 기후를 망가뜨리지 않는 절연체 역할을 하였으나, 지구온난화로 해빙의 균열이 증가하며 더 많은 열이 방출되고 이로 인해 북극 전체의 기후가 높아지며 결과적으로 더 많은 해빙이 더 빠른 속도로 녹고 있다.

북극은 다른 지역에 비해 생태적, 물리적 과정이 느리고 비선형적이며, 교란 후 회복이 느린 등의 독특한 특성을 지니고 있다. 또한, 영구 동토층이 많아 물리적 환경이 가혹하고 추위가 오랜 기간 지속되며 인구는 적고 인프라 시설은 거의 없다. 최근 온실가스과 에어로졸(acrosol)의 영향은 지표면 대기와 상층부 대기 사이의 열에너지 교환이 적어 냉각 효율이 떨어진다고 알려진 북극 온난화의 주요 원인이다.

북극의 급격한 기후변화는 취약한 북극 생태계와 원주민, 지역사회에도 부정적인 영향을 미치고 있는데 북극의 빙하 및 수문학뿐 아니라 인간 활동, 토지이용 변화, 오염,

침입종 등 여러 스트레스 요인으로 인해 서식지가 점차 감소하는 등 북극의 생물 다양성 또한 위협하고 있다. 또한, 북극의 기후 및 생태계 변화는 원주민들의 경제활동에도 중대한 영향을 미치고 있는데 빙하 감소, 해양 산성화 및 경관 변화는 북극 주민, 특히 원주민과 그들의 문화적 취약성을 증가시키고 이전 세대부터 의존해온 어업, 사냥, 목축의 관행을 변화시키고 있다. 기온 상승에 따른 연어 서식지 남하는 북극곰 개체 수 감소로 이어져 북극 원주민의 생계에 영향을 주고 있으며 얼음, 적설 및 영구 동토의 변화는 전통적인 수송과 사냥 경로를 더욱 위협하게 만들거나 접근하기 어렵게 만들고 있다. Fig. 1은 북극의 기후변화를 둘러싼 복잡한 동인과 영향을 나타낸 것으로 기후변화는 생물 종의 다양성 및 생태계 변화의 원인이자 효과이다. 기후변화로 특정 종의 분포와 개체 수가 변하며 토양과 해양의 탄소 순환 변화는 기후변화를 가속화하고 있고, 북극 생물 종의 중요한 서식지가 손실되고 자연경관 변화로 생태계의 종 구성이 변화하면서 인간 생활에도 점차 큰 영향을 끼치고 있다.

2.2 북극권 개발 사업을 위한 기후변화 관련 법규 및 지침 개요

국제적으로 북극권 환경변화에 대한 심각성이 강조되

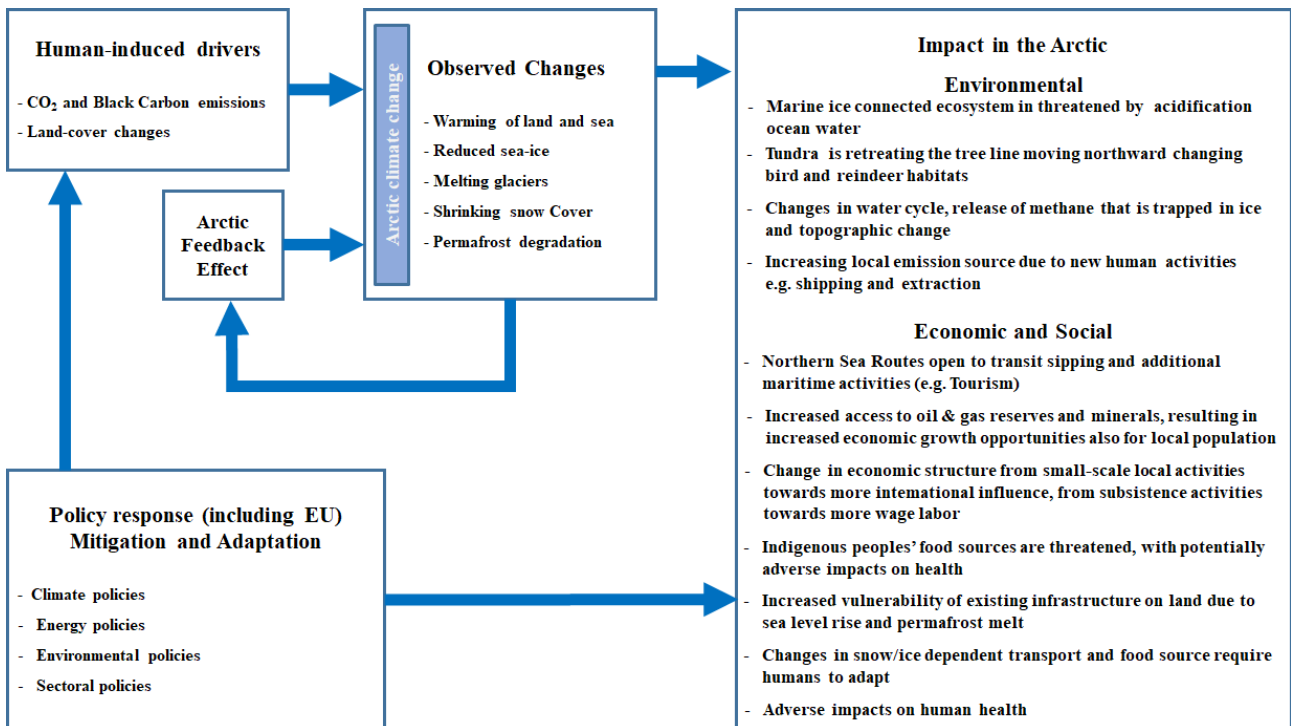


Fig. 1. Causes and Effects of Arctic Climate Change (<http://www.arcticinfo.eu>)

고 있으나 북극 지역 에너지 자원 및 항로에 대한 막대한 경제적 편익과 미래 안정적인 에너지 공급원 확보 등의 기대감이 북극해 연안국은 물론이고 주변국(유럽, 동북아)에서 높은 것으로 평가되고 있다. 러시아를 제외한 북미·유럽 연안국 정부는 엄격한 환경규제를 에너지 관련 기업들에 요구하면서도 신규 매장지 임대, 탐사·시추 허가, 인프라 건설 허가 등을 국내·외 상황(국제유가, 주변국 수요, 환경보호 여론 등)에 맞춰 대응하고 있다.(Lee and Lee, 2017)

온실가스 배출 관련 법 및 규제, 정책들은 석유, 가스 등 에너지기업에 막대한 영향을 끼칠 것으로 예상하고 있는데 Exxon Mobil Corporation, Royal Dutch Shell, Chevron Corporation, Eni SpA 등 주요 석유개발기업들은 기후변화 관련 정책 및 규제가 앞으로 사업운영 및 재정에 상당한 영향을 미칠 것으로 예상하고 있다. 이들 기업은 특히, 교토의정서(Kyoto Protocol), 2020년 이후의 신(新) 기후변화체제 등의 국제협약과 탄소세(carbon tax), 배출권거래제(cap-and-trade), 에너지효율 및 신재생에너지 보급 목표, 저탄소연료기준(low carbon fuel standards) 등을 석유·천연가스 개발에 대한 주요 기후변화 규제로 보고 있다. 북극해를 둘러싼 북극권 거버넌스는 국제기구가 아닌 북극이사회(Arctic Council)라는 협의체를 중심으로 이루어지고 있다. 국제기구(International Organization)는 국제협약에 기초한 국제협력체로서 회원국에 적용할 규범을 채택할 수 있는 권한이 있고 국가와 동등한 국제법 성격을 지닌다. 북극이사회가 북극권을 대표하는 국제기구라면 북극해 자원 개발 시 북극이사회와 협력을 논의하면 된다. 그러나 북극이사회는 국제기구가 아닌 단순한 협력체에 불과하다. 즉, 북극 지역은 다자간 체제와 규범이 존재하고 인접국 간의 영유권 분쟁으로 에너지 자원 개발에도 큰 영향을 미치고 있다. 이와 함께 북극해 연안국 정부가 북극 지역에서 자원 개발에 따른 환경오염 및 파괴위험을 최소화하기 위해 법·제도적으로 추가적인 안전장치 마련 및 시설사용을 의무화하는 추세이다(Lee et al., 2010).

현재 북극 지역의 현안을 논의하고 기후변화 및 개발을 주도하고 있는 것은 1996년 창설된 북극이사회(Arctic Council)로 북극의 환경보호를 담보하며 국제적 영향력을 수행하고 있다. 1991년 로바니에미 선언(Rovaniemi Declaration), 1993년 누크선언(Nuuk Declaration), 1996년 오타와 선언(Ottawa Declaration), 이퀄루트 선언(Iqaluit Declaration) 등의 합의 문서를 통해 북극권 국가들은 환경보호와 지속가능한 개발을 위한 중요성을 확인

하고 있다(Kim, 2020). 북극이사회가 결의한 선언문은 선언적 의미와 회원국 및 구성원의 자발적 참여와 협력에 기반을 둔 것으로 강제성이나 법적 구속력은 없으나 향후 법적 구속력을 갖는 체제로 변모할 가능성이 예상된다. 따라서 북극권 자원 개발에 앞서 지금까지 진행되어 온 기후변화 관련 선언 및 협약에 대한 파악이 선행되어야 할 것으로 판단된다.

2.3 북극권 국가의 기후변화 관련 주요 법 및 지침 조사 분석

북극권에는 미국, 러시아, 덴마크(그린란드), 캐나다, 노르웨이, 스웨덴, 핀란드, 아이슬란드 8개국 영토 일부가 포함되어 있으며 그중 스웨덴, 핀란드, 아이슬란드는 비 연안국으로 북극해에 면해 있지 못하기 때문에 해역에 대한 관할권이 없다. 최근 들어 지구온난화 영향으로 북극 항로가 개방되고, 자원 개발 여건도 크게 좋아지면서 북극해 연안국들이 자국 영해에 대한 자주권을 강하게 주장하고 있고 또한 북극 지역에서의 자원 개발에 따른 환경오염 및 파괴위험을 최소화하기 위해 국가별 환경법 및 환경규제로 북극개발이 규제되고 있어 자원 개발 시 해당 연안국의 기후변화 관련 법 및 지침에 대한 검토가 필요하다. 본 연구에서는 북극권 자원 개발 및 인프라 건설에 적극적인 대표 국가인 미국, 캐나다 및 EU 국가들의 기후변화 관련 주요 법 규정 및 지침을 조사 분석하였다.

2.3.1 미국 기후변화 관련 법 및 지침 조사 분석

미국은 국제사회에서는 산업 보호를 위해 기후변화 대응에 소극적으로 대응하였으나 국내 정책상으로는 1980년대부터 체계적으로 기후변화에 대응하기 시작하였다. 미국 정부가 추진해 온 주요 정책수단으로 에너지효율 개선을 통한 에너지 소비 감소, 자국 내 에너지 생산증가를 통한 에너지수급 안정, 재생에너지 개발을 통한 기후변화 대응 등을 들 수 있다. 1970년대 오일쇼크 이후 집중되었던 자국 내 에너지 생산증가 정책은 2008년 셰일자원의 개발과 함께 에너지 자립도가 증대되면서 환경적으로 책임 있는 석유·가스 개발 등 기후변화 대응에 중점을 둔 정책으로 전환되고 있다. 미국 내 기후변화 대응정책은 행정부의 정책 기조에 따라 그 맥락을 달리하고 있다.

기후변화와 관련된 입법시도는 1990년대 후반부터 시작되었으나 의회와 기후정책을 반대하는 세력들에 의해

입법화에 어려움을 겪고 있었지만, 그동안 적용되어 온 기후변화 관련 법을 살펴보면 미국 내 대기오염원을 규제하는 포괄적인 연방 환경법인 대기 정화법(Clean Air Act)은 기후변화 대응이나 온실가스 배출규제에 관한 내용을 입법목적에 두고 있지는 않으나 일부 조항들이 이동 및 고정 배출원의 대기오염물질이나 온실가스 배출을 규제할 수 있는 근거조항을 보유하고 있는데 2008년 오바마 대통령 취임 이후 미국 환경보호청(EPA)은 대기 정화법을 토대로 다양한 분야에 대한 온실가스 규제 정책을 발표하였다(Rogers, 1990). 1990년에 의회를 통과한 ‘지구변화연구법(Global Change Research Act)’은 그 자체로 기후변화 적용에 관한 법은 아니나, 동 법에 따라 설립된 미국 지구변화 연구프로그램(U.S. Global Change Research Program: USGCRP)의 설립 및 연구 수행 등이 기후변화를 비롯한 지구변화에 적절히 대처하기 위한 과학적 연구, 지구변화 전반에 관한 통합적 연구 필요성과 기존 연구와의 통합 및 조정 필요성을 부각한다는 점에서 궁극적으로 기후변화 적응전략 및 정책과도 연결되어 있다고 할 수 있다.

2.3.2 캐나다 기후변화 관련 법 및 지침 조사 분석

캐나다는 1967년 정부와 기업이 합작해 범 북극 석유회사(Panarctic Oil Ltd.)를 설립하고 1970년대와 80년대 초까지 정부가 석유, 가스 탐사에 투자해 메킨지(MacKenzie) 삼각주 지역, 보포트 해 분지(Beaufort Sea basin), 북극 도서(Arctic Islands) 등에서 주요 개발을 진행해 왔다. 그러나, 파리기후변화협정, 환경단체의 강한 반대 운동, 원주민과의 협상 난항 등의 영향으로 캐나다 정부는 북극 지역에서 자원 개발 활동에 대해 엄격한 환경규제와 신규 매장지 입찰 중단 등을 가하고 있다. 캐나다 집권당인 자유당이 환경규제를 강화하는 방향으로 에너지 정책을 추진하고 있고 자원 개발에 대한 세제 혜택 축소와 화석연료에 대한 보조금 삭감을 추진함에 따라 2020년 이전에 북극 지역에서 신규 시추활동이 이루어질 가능성은 낮은 것으로 평가되고 있다(Lee and Lee, 2017). 캐나다는 환경과 자원 개발에 관한 책임과 권한이 연방정부와 주 정부 사이에 분권화되어 환경 문제는 연방정부가 천연자원의 개발 및 관리는 주 정부가 관할권을 갖고 있다. 환경 문제인 동시에 화석연료와 같은 자원 개발과 연관된 기후변화 문제의 경우 온실가스 배출규제 관련 국내·외 압력에 직면한 연방정부의 의무와 온실가스를 유발하는 석유·가스 개발을 감독하는 주 정부의 권한이 충돌하는 양상을 보

이기도 하나 캐나다 정부는 주마다 기후변화 대응계획을 자체 도입하도록 장려하고 있다.

캐나다는 연방 및 주 차원의 기후변화계획을 추진하고 있는데 2000년에 처음 발표된 연방 차원의 기후변화계획은 교토의정서 상 의무사항, 자발적인 완화 프로그램 및 조치들에 대한 설명이 주로 2002년 계획에서 온실가스 감축 목표와 함께 다양한 부문과 프로그램에의 할당에 관한 내용이 제시되고 있다. 2005년 기후변화계획에는 온실가스 감축 목표 달성할 수 있는 세부적인 대응방안이 제시되고 있는데 시장기반 접근방법, 연방, 주 정부 및 지자체 협력 프로젝트, 국내·외 배출감축량 크레디트를 구입할 기후기금 등에 관한 내용을 담고 있다.

또한, 탄소세 도입과 관련하여 캐나다의 연평균 기온은 역사상 온도를 처음 기록한 1948년 이래 1.7°C나 증가했다. 특히 캐나다 북부와 대초원, 브리티시컬럼비아 주의 북부가 심각한 것으로 나타났는데 북극에 걸쳐져 있는 이 지역은 연평균 기온이 약 2.3°C 증가한 것으로 나타났다. 특히, 컬럼비아 주는 2008년 7월 북미 최초로 탄소세를 도입하여 운용 중으로 도입 당시 5년 동안 연간 5CAD/tCO₂의 단계적 인상 추진을 규정하고 2012년 이후는 동일한 세율을 적용하고 있다. BC, 퀘벡 등 몇몇 주에서만 자체적으로 시행되었던 탄소세는 기후변화 정책을 적극 추진하는 트뤼도(Trudeau) 자유당 정부의 시책에 따라 확대·적용되었다. 즉, 자발적 탄소 가격제를 도입한 앨버타주를 포함한 9개 주·준주 외에 연방 탄소가격제를 반대해오던 나머지 4개주(온타리오주, 사스캐추완주, 뉴브런즈윅주, 매니토바주)에 대해서도 ‘국가 탄소가격제 도입 법안(GGPPA)’에 의거 2019년 1월 1일부터 연방정부 차원의 탄소 가격제를 의무 부과하면서 캐나다 최초로 전체 13개 주·준주에 걸쳐 국가 탄소세를 도입하게 되었다. 상기 4개주에 부과된 탄소 가격제는 크게 연료 부과금(fuel charge)과 배출량에 따른 가격제(output-based pricing system: OBPS)로 구성되는데 2019년 4월 1일부터 적용되는 연료 부과금은 휘발유, 경유, 천연가스, 프로판 가스 등 22개 종류 석유제품 생산업체들에게 징수하며 규모는 2019년 톤당 20달러로 시작하여 매년 10달러씩 인상, 2022년에는 톤당 50달러 수준으로 인상할 것으로 분석된다.

2.3.3 EU 기후변화 관련 법 및 지침 조사 분석

북극이사회 8개 회원국으로 유럽에 위치한 5개국 중 스웨덴, 핀란드, 덴마크는 EU 회원국이고 노르웨이, 아이슬

란드는 비회원국이다. EU는 2030년까지 온실가스 배출량을 1990년 대비 최소 40% 감축, 전체 에너지 소비량에서 재생에너지의 소비 비중을 27%까지 확대, 에너지효율 27% 개선의 목표를 달성하기 위해서 범 EU 차원에서 다양한 이행 계획안을 발표하고 주기적으로 실행 결과를 점검하고 있다. EU의 주요 추진 정책 중 북극권 자원 개발 사업 시 기후변화 대응 차원에서 고려해야 할 방안을 살펴보면 EU는 온실가스 배출량 감축 목표달성을 위한 방안으로 EU 차원의 관련 규정인 에너지효율지침과 회원국별 정책을 통해 에너지효율을 개선해 나가고 있다. 2012년 10월에 발효된 에너지효율지침에 따라 회원국들은 이를 자국법에 맞게 적용해 이행하도록 하고 있는데 EU 집행위원회의 분석에 따르면 2030년까지 온실가스 배출량을 40% 감축하기 위해 에너지효율은 약 25% 개선되어야 할 것으로 판단하고 있다. 또한, EU는 선박의 에너지효율과 이산화탄소 배출량에 대한 정보를 갱신하고 이산화탄소 배출 및 연료 소비 감축을 장려할 목적으로 선박의 온실가스 배출량에 대한 모니터링, 보고, 검증(Monitoring, Reporting and Verification: MRV) 시스템 관련 규정안을 2015년 4월에 승인하였다. EU MRV 규정안에 따라 EU 역내 항구를 이용하는 5,000GT급 이상 선박의 선주는 매년 선박의 이산화탄소 배출량을 모니터링하고 보고해야 할 의무가 있다. MRV 시스템은 EU 항구를 통한 입·출항과 항구 간 운항 시 발생하는 이산화탄소 배출에 적용되며 어선, 군함, 군용 보조선, 구형 목선, 무동력선, 비상업용 관공선 등은 대상에서 제외된다. 선박의 이산화탄소 배출정보에 관한 선주의 보고 이후, 제출된 내용이 독립 검증기관의 요구기준을 통과하면 적합 증명서가 발급되고 선주는 증명서를 선박에 비치해두고 검사 시 제시하고 있다. ‘유럽 온실가스 배출권 거래제(EU ETS)’는 2005년 세계 최초로 도입된 후 2017년 기준으로 유럽지역 31개국이 참여하고 있는 세계 최대 배출권 거래시장을 형성하고 있다. 2014년 1월 EU는 2008~2009년 경제위기로 EU-ETS 배출권의 잉여분이 증가하여 경매를 3기 후반(2019/2020년)으로 연기하고 4기(2021/2022년)부터는 시장 안정화를 위해서 배출권 비축제도(Market Stability Reserve: MSR)를 운영하는 방안을 제안하였고 2015년 10월 MSR 도입을 2021년에서 2019년 1월 1일부터 조기 시행하는 방안을 채택하고 있다.

3. 북극권 자원 개발 사업의 기후변화 대응 사례 조사 분석

북극권 자원 개발 사업은 고위험 및 고비용의 특징을 지닌다. 혹한의 추위와 영구 동토층, 유빙 및 빙하 등에 적합한 특수 장비와 전문 인력이 필요할 뿐 아니라, 기본적인 인프라 시설이 부족하여 자원 개발 사업의 초기 단계부터 대규모 투자가 필요하다. 또한, 북극에는 기후변화와 생태계 등 환경오염에 민감한 지역이 많아 다른 지역에 비해 보수적인 설계와 개발 기준이 요구된다. 특히, 기후변화는 북극 지역에서 가장 민감한 이슈로 섬세한 대응 및 관리가 필요하기 때문에 본 연구에서는 북극권 대표적 자원 개발 사업인 미 알래스카 TAPS(Trans Alaska Pipeline System), 러시아 Yamal LNG 프로젝트, 노르웨이-러시아 공동의 바렌츠해 자원 개발 사업자원 개발의 기후변화 대응 사례에 대해 조사 분석하였다.

3.1 미 알래스카 TAPS(Trans Alaska Pipeline System) 기후변화 대응 사례

TAPS는 알래스카의 노스슬로프(North Slope)에 있는 여러 유전에서 생산된 원유를 알래스카의 남해안에 있는 밸디즈(Valdez) 항까지 수송하는 파이프라인 시스템이다. 이 시스템은 1974년에 통행권(Right Of Way)이 승인된 후 1977년부터 운영되었다. 통행권은 약 555km의 연방토지, 550km의 국유지, 82km의 토지 소유주, 22km의 기타 개인 소유지로 구성된다. 하루 평균 수송량은 2001년 약 1백만 배럴 정도였다. TAPS는 약 1,300km의 파이프라인, 11개의 펌프 스테이션, 밸디즈 항구의 터미널 및 관련 시설로 구성된다. 파이프라인을 통해 오일을 이동시키기 위해 11개의 펌프 스테이션이 약 80~160km 간격으로 배치되어 있다. 밸디즈 마린 터미널은 트랜스 알래스카 파이프라인의 남쪽 종착지이며, 프린스 윌리엄 사운드(Prince William Sound)의 북동부 해안에 있는 밸디즈 항구에 위치하고 있다. 터미널에서 원유는 유조선에 적재되어 대부분이 미 서부 해안으로 운송된다. 이 터미널에는 918만 배럴의 원유와 4개의 선적 선반을 위한 저장 시설이 있다.

BP(British Petroleum), PHILIPS, Exxon Mobil Corporation, WMB(Williams companies inc), Amerada Hess, Unocal의 6개 석유 회사가 TAPS를 소유하고 있고, ‘알래스카 파이프라인 서비스 컴퍼니(Alyeska Pipeline Service

Company: APSC)’가 6개 소유 회사와 계약하고 TAPS를 운영하고 있다. 미 내무부 토지관리국(BLM)과 알래스카 천연자원부(DNR)가 연방 및 주 토지의 파이프라인을 허가하고 감독하는 10여 개의 다른 기관들과 협력하여 TAPS 운영을 감독하고 있으며, 이들 관련 기업 및 정부 기관들은 합동 파이프라인 사무소(JPO)를 만들고 함께 TAPS의 안전과 환경 보호, 규제 준수 등을 관리하고 있다.

영구 동토층은 일반적으로 섭씨 0°C 이하에 적어도 2년 연속 지속되는 지반으로 정의한다. 영구 동토층 온도는 일반적으로 토양 전단의 강도와 측면 저항 등에 영향을 주는데, 영구 동토층 온도가 낮아지면 일반적으로 토양 전단 강도와 측면 안정성이 높아지는 경향을 보인다.

TAPS는 알래스카 북쪽 경사지의 프루드호 만에서 알래스카 만의 벨디즈 해상 터미널까지 직경 1.2m의 파이프라인을 통해 1,300km 이상의 거리를 횡단하는데, 3개의 주요 산맥과 몇 개의 활성 단층, 그리고 연속적이고 불연속적인 영구 동토층 지역을 가로지르는 알래스카 TAPS의 설계와 건설은 북극 지역 공학 기술의 커다란 발전을 상징한다.

1970년대에 건설된 알래스카 파이프라인은 약 1,300km, 직경 48inch의 원유 파이프라인으로 약 75%가 영구 동토층을 횡단하고, 약 5,500km의 파이프라인은 2050년까지 영구 동토층이 녹을 수 있는 지표면을 통과한다. 지표면 아래의 상태에 따라 파이프라인은 지하에 묻히거나 지상에 건설되었다. 해빙이 매우 불안정한 영구 동토층 지대에서는 파이프라인이 지상에 건설되었고(약 680km), 더욱

안정적인 영구 동토층이나 해빙된 지면, 그리고 암반에서는 지하에 묻혀있다(약 610km). 몇몇 구간은 동물 이동, 고속도로 교차로, 암석 및 눈사태 지형의 영향으로 불안정한 영구 동토층이 존재함에도 불구하고 지하에 건설되었다. 파이프라인의 건설 및 운영 회사 APSC(Alyeska Pipeline Service Company)는 이 구간을 절연하여 냉장 보 관함으로써 따뜻한 파이프로 인한 영구 동토층의 악화를 방지하였다. 또한, 지상 파이프라인의 경우, 약 60ft(약 18.3m)마다 수직 지지대(vertical support members: VSM)라 불리는 지름 46cm의 파이프로 지지하였다. 시공 중 발생하는 지표면 아래 및 영구 동토층 상태에 따라 VSM은 열(thermal) 또는 비열(non-thermal) 상태이고, thermal VSM에는 두 개의 열사이펀이 들어 있고 모래로 채워져 있다. 열사이펀은 직경 5.1cm, 가압된 튜브에 2상(two-phased) 유체로 채워져 있고, 열사이펀(thermosyphon)은 대기 온도가 지표면 아래 온도보다 낮을 때 지표면 아래에서 수동적으로 열을 추출한다. Thermal VSM은 동결된 지표면과의 마찰 저항에 의존하여 필요한 축 용량(axial capacity)을 얻는데, 열사이펀은 냉매로 채워진 긴 금속 튜브로, 영구동토를 안정적으로 유지하기 위해 1960년대 이후 북극 유전 주변에서 가장 널리 사용되는 수동 냉동 장치이다(Fig. 2). 알래스카 횡단 파이프라인의 수직 지지대(VSM)에도 열사이펀이 설치되어 토양으로 전달되는 열을 공기로 분산시켜 냉동 상태를 유지하는 역할을 한다. 열사이펀은 알래스카 파이프라인 프로젝트를 포함한 수천 개의 북극 사업에서 지반 안정화를 위해 사용되었다. 이

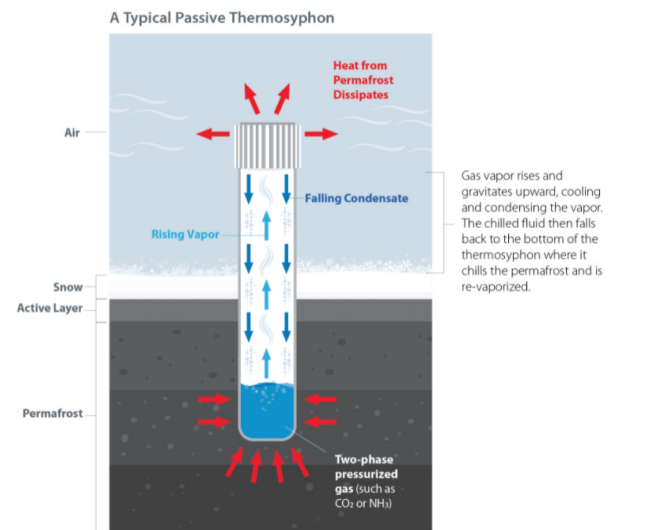


Fig. 2. Image Using Thermosyphon on Alaska’s North Slope (<https://www.conocophillips.com>)

기술은 파이프라인의 건설비용을 높였지만, 수명을 연장하는 효과를 가져왔다. 또한, 지상의 온도 변화에 따라 파이프가 팽창 또는 수축할 수 있도록 지그재그 형태로 설계된 TAPS의 모니터링 시스템은 지진의 감지 및 경고 기능을 발휘하고 있다. 기후변화는 수직 지지대(VSM)의 기울임(tilting)과 잭킹(Jacking), 사면 안정성 등에 영향을 미친다. 알래스카에서 처음으로 사용된 수동 열사이편은 1960년대에 미 육군 공병대가 최근까지 사용 중인 알래스카 중부 통신타워에 적용하면서 부터이다. 열사이편은 1970년대에 TAPS 건설에 사용되어 파이프라인 수명을 연장하는데 중요한 역할을 하였고, 북극권의 일반적인 공공시설물, 통신 타워 및 전신주, 철도 및 교량, 파이프라인 등에서도 적극 활용되고 있는 모범 기술사례로 판단된다. 따라서, 2001년 알래스카 파이프라인 안전 모니터링을 담당하는 연방/주 합동 파이프라인 사무소(JPO)는 영구 동토층 해빙 및 사면 불안정성을 완화하기 위한 추가 규정을 개발하고, 감시 목록에 200개의 수직 지지대(VSM)를 포함하였다. APSC(Alyeska Pipeline Service Company)는 영구 동토층의 열적 변화에 대응하여 파이프라인을 개선하기 위한 조치를 취하였다. 기후변화 등의 변화로부터 영구 동토층 상태를 유지하기 위해 지표면 아래를 절연 및 냉각시키고, 영구 동토층이 더 이상 존재하지 않는 토양이 동결되지 않도록 지표면을 절연하였으며, 변화된 지표면 조건에 맞추어 VSM을 교체 및 재설계하는 등의 완화 조치를 시행했다(Mathieson et al., 2020).

TAPS는 설계 수명을 10년 이상 초과하여 40년 이상 운영되어 왔다. 파이프라인 건설과 기후 온난화 등은 파이프라인을 따라 지표면 아래의 열 조건에 영향을 미쳤다. 그동안 APSC는 영구 동토 및 기후가 시스템에 미치는 잠재적인 영향을 모니터링하고, 지열 및 영구 동토층의 변화에 TAPS가 적응하며 더 오랫동안 작동할 수 있도록 유지 보수를 해왔다.

TAPS에 적용된 영구 동토층 변화에 대한 기후 대응 방안은 다음과 같이 요약할 수 있다. 첫 번째는 동결을 유지하기 위한 완화 조치로 지면을 단열하고 열사이편을 이용하여 지표면 아래를 냉각시키고, 두 번째는 용해에 대응한 구조물의 재설계이다. 이는 동토지반의 용해로 인한 지표부피 변화에 적응하도록 파이프라인 지지 구조물의 설계에 적용하였다.

3.2 러시아 야말(Yamal) 액화천연가스(LNG) 프로젝트 기후변화 대응 사례

러시아의 Yamal 반도에 위치한 액화천연가스(LNG) 사업은 노바텍(Novatek), 토탈(Total), CNPC, Silk Road Fund의 조인트벤처인 JSC Yamal LNG가 운영하였다. 이 사업은 South Tambey Field를 자원 기지로 하여 연간 약 1,650만 톤의 LNG를 생산, 액화, 운송하는 이외에, 해상항만과 사베타(Sabetta) 공항을 포함한 광범위한 운송 기반시설도 구축한다. LNG 플랜트는 2017년, 2018년 및 2019년에 각각 가동될 3 단계로 건설될 예정이었다. 현재의 매장량 평가에 따르면 Yamal LNG 프로젝트는 향후 25년 동안 지속적으로 가스를 생산할 것으로 보인다. 운영사인 Yamal LNG는 현장 개발을 위해 2009년부터 지질 및 환경 조사를 실시하고, 2012년부터 준비 작업을 시작하여 사베타의 숙박 시설 및 관리 시설, 연료 저장소, 계단간 도로, 공항 활주로를 비롯한 엔지니어링 유틸리티 및 인프라 시설을 설치했다.

Yamal LNG 프로젝트는 Ob Bay 해안의 Yamal 반도 북동쪽에 위치한 South-Tambeyskoye 필드에서 공급되는 원료를 기반으로 하고 있다. 이 사업에서는 건설비용을 최소화하고 프로젝트 일정을 합리화하기 위해 모듈화 공법이 적용되었고, LNG 발전소는 4개의 트레인(trains)으로 구성되었는데, 2017년 12월 첫 트레인이 취항하였다. 통합 LNG 단지(complex)에는 LNG 트레인 이외에 LNG 분류시설, 안정적 가스 응축, 냉매 저장시설, 376MW 용량의 발전소 등이 있고, 생산 유전에서 나오는 탄화수소 혼합물은 가스 채집망을 통해 통합 처리된 액상 혼합물로 공급되었다. 기계식 불순물, 물, 메탄올, 응축수 제거 등의 초기 분리는 메탄올 재생과 응축수 안정화 장치도 포함된 흡입시설에서 진행되었다. 분리 가스는 액화 공정 트레인에 공급된 후, 산성 가스와 메탄올의 제거, 탈수 및 수은 제거, LPG 추출 등 여러 공정을 거치고, 사전 냉각(pre-cooling)은 프로판 냉각 루프에서, 액화 작용은 혼합 냉매 루프에서 이루어진다. 이 과정이 끝나면 극저온 탱크에 액화천연가스 저장소에 공급된다.

사업을 추진한 러시아 노바텍에 따르면, 이 사업을 위해 특수한 'Arctica' 시추 장치가 건설되었다. 이는 Yamal 반도의 극한 기후 조건에서 작동하도록 설계되어 계절 및 날씨 조건에 상관없는 높은 시추 성능을 보장하고, 현장 개발의 효율성을 높이기 위해 혁신적이고 환경 친화적인 장

Table 1. Main Measures to Minimize Air Pollutant Emissions in Yamal LNG Project

Main Measures to Minimize Air Pollutant Emissions
- Installation of a heat recovery device to utilize waste heat from a generator.
- A method of capturing and using methane gas as fuel gas for power plants and LNG process turbines.
- Process design to prevent continuous flaring
- Steam recovery in condensate storage tanks and loading facilities (prevent methane gas emissions and use as fuel gas)
- Regular maintenance and maintenance of fixed and mobile equipment and vehicles
- Not to run the engine unnecessarily when not in use.
- No incineration of waste other than dedicated incineration.
- Minimize emissions through engine monitoring and control of anchorage ships

비와 고품질 유정을 완성할 수 있는 탄소수소 기반 시추 유체(drilling fluids)를 사용하였다. 노바텍은 3개의 시추 장비를 사용하여 우트레네예(Utrenneye) 필드에 9개의 유정을 시추하였다. 특히 ‘Arctic LNG-2’ 프로젝트에서는 중력 플랫폼 구축을 위한 특수 도트 건설, 북극 프로젝트 시추 생산 설비 및 기타 대형 해양 플랜트 건설을 추진하였는데 1호 트레인 건설공사는 2022년 완료될 예정이다. 또한, LNG 프로젝트를 위해, 특별 ARC7(러시아 북극 표준분류) 빙상 LNG 운반선이 맞춤 설계 및 제작되었는데, 이 선박은 쇄빙선 없이 서해 항로와 여름철에는 북해 노선을 따라 연중 항해한다. 이는 러시아 및 국제 분류 협회, 주요 연구 및 설계 기관, 조선소 및 선박 소유자 등의 협력 때문에 설계되었다. 선박은 이중 동차 개념에 기초하여 설계되어, 뱃머리는 개방 수역과 얇은 얼음에서의 항해에 적합하지만, 선미는 얼음 환경에서 항해할 수 있도록 최적화되었다.

Yamal LNG 프로젝트는 러시아 연방의 환경법에 따라 환경영향평가를 실시하여 사업의 실행 및 운영에 따른 환경 영향의 예측 및 평가, 저감 대책이 강구되었다. 여기에서 기후변화는 환경영향평가 요소 중의 하나로 다루어졌다. Yamal LNG 사업에서 대기오염물질은 주로 건설 장비, 발전소 및 공정 장비 등의 연료와 기타 탄화수소의 연소로부터 발생한다. 특히, 대기오염물질 배출은 운영 단계에서 매우 중요한데, 주요 배출원은 발전소 및 액화 가스 터빈이다.

대기 오염물질 배출은 대기 질의 악화와 질소 침전, 온실가스 배출 등을 통해 인간의 건강과 식생, 기후변화 등에 영향을 미친다. 특히 이끼류의 질소 침전 문제는 순록의 과도한 방목이 이루어지고 있는 Yamal 지역에서 매우 민감한 사안이다.

Yamal LNG 프로젝트의 환경영향평가서에 따르면, LNG 플랜트를 운영하는 동안 연간 총 이산화탄소 배출량

은 2,440kt/y이다. 이는 2008년 러시아 전체 연간 총 이산화탄소 배출량의 약 0.1%에 해당한다. 이러한 온실가스 배출량은 전체 러시아 연방의 배출량 측면에서는 높지 않다. 하지만 IFC(International Finance Corporation) 성과 표준의 요구사항에 따라 LNG 플랜트의 운영 단계에서 매년 온실가스 배출량을 측정한다.

LNG 플랜트의 건설 및 운영 단계에서 온실가스를 포함한 대기오염물질의 배출량을 줄이고 영향을 최소화하려는 방안이 강구되었다. 건설 중에는 차량 속도를 제한하고 사용하지 않을 때 기계를 끄는 등 건설 장비와 차량에 의한 오염물질 배출량을 줄이기 위한 조치 등이 이루어졌다. 운영 단계에서 대기오염물질 배출을 최소화하기 위한 주요 방안을 Table 1에 요약 정리하였다.

3.3 바렌츠(Barents)해 석유 및 가스 사업 기후변화 대응 사례

북극해의 일부인 바렌츠(Barents)해는 '북극 온난화 지역'의 일부로 지구온난화로 인한 수문학적 변화로 해빙이 감소하고 있다. 바렌츠해의 남쪽 절반은 1년 내내 결빙되지 않고, 9월에는 바렌츠해 전체에 얼음이 전혀 없다. 바렌츠해의 석유개발은 노르웨이 대륙붕 개발업체들의 중요한 관심 대상이다. 노르웨이 국영 석유 기업 스타토일(Statoil)은 프랑스의 Total 등과 함께 바렌츠해의 신규 해양유전 탐사에 심혈을 기울이고 있다. 노르웨이 정부도 바렌츠해의 해양유전 개발을 장려하기 위해서 탐사 및 개발에 대한 세금감면정책을 추진하고 있다. Statoil은 함멜페스트(Hammerfest) 근처에 세계에서 가장 고위도 지역에 위치한 LNG 생산 시설을 설치하고, 바렌츠해 스노비트 가스전에서 석유 환산 일 48,000 배럴의 천연가스를 생산하고 있다.

바렌츠해에서의 석유 및 가스 탐사활동은 앞으로 수년 동안 증가할 것으로 예상된다. 바렌츠해는 기후변화가 급

속히 진행되고 취약한 환경 등 까다로운 조건을 지닌 지역이다. 바렌츠해에서 자원 개발을 하기 위해서는 유조선과 파이프라인을 통한 유류 및 가스 수송뿐 아니라, 석유 및 가스 설비의 건설 및 운영을 위한 솔루션과 기술 선택 시 건강과 안전, 환경에 관련된 기준이 고려되어야 한다. 본 논문에서는 바렌츠해의 자원 개발 사업과 관련된 기후변화 대응 사례로서 ‘바렌츠 2020 프로젝트’와 ‘바렌츠 기후변화 행동계획’의 내용을 중심으로 고찰하였다(Saebø and Cammaert, 2011).

3.3.1 바렌츠 2020 프로젝트

‘바렌츠 2020 프로젝트’는 2007년 노르웨이 외무부 장관 조나스 가르 스토레(Jonas Gahr Store)의 제안으로 바렌츠 해의 건강, 안전 및 환경(HSE)에 관한 산업 표준을 만들기 위해 러시아와 노르웨이 간 협력 프로젝트로 시작되었다. ‘바렌츠 2020 프로젝트’는 북해 및 기타 북극해와는 크게 다른 바렌츠해의 조건에서 사람과 환경을 배려한 안전한 석유 및 가스 생산과 수송에 관한 국제 표준의 적용 가능성을 평가하고, 필요한 표준과 권고 사항을 만들기 위한 것이다. 이를 위해 7개 그룹의 국제 전문가 집단이 바렌츠해의 HSE(건강, 안전, 환경)에 관한 다양한 문제를 논의하기 위해 정기적으로 모여 경험과 노하우를 공유하였다. 노르웨이 외무부 이외에 Gazprom, Statoil, Rosneft, DNV GL, ENI, Total 등 러시아 및 노르웨이 정부 기관과 석유 및 가스 산업계가 프로젝트를 지원했다.

2010년 ‘바렌츠 2020 프로젝트’가 발행한 보고서 ‘Assessment of international standards for safe exploration, production and transportation of oil and gas in the Barents Sea’는 바렌츠해에서 석유 및 가스의 안전한 탐사와 생산

및 수송에 관련된 국제 표준을 평가하고, 일반적으로 사용되는 130개의 해양 표준을 권고했다(Saebø and Cammaert, 2011). 이 중 일부 세부사항 및 지침은 2012년에 발행된 최종 보고서에서 추가되었다.

바렌츠 2020 프로젝트의 최종 보고서는 우선순위 주제별로 구체적인 산업 지침을 제공한다. 이 지침은 탐사, 시추, 개발, 운영 및 해체를 포함한 모든 해양 석유 및 가스 사업에 적용되는 설계 표준으로 ISO 19906의 개선 사항, 얼음 관리, 위험 관리, 대피 및 탈출, 구조, 작업 환경 등에 관한 권고 사항 등을 포함한다. 최종 보고서는 국제표준화기구(ISO) 기술위원회에 제출되어 북극 운영을 위해 설립된 새로운 ISO TC 67 분과위원회(SC 8)의 활동 기반이 되었다.

기후변화 대응 관련 내용은 ‘바렌츠해에서의 해양 석유 및 가스 사업으로 인한 오염물질 배출에 관한 지역 지침 (Regional Guidance Document for Operational Emissions and Discharges from Offshore Oil and Gas Activities in the Barents Sea Including Associated Shipping)’이라는 제목의 최종 보고서에 포함되어 있다. 여기서 환경 관련 요구사항은 해양 석유 및 가스 시설로부터 대기로 배출, 해양 석유 및 가스 시설로부터 해양 배출, 수송으로 인한 배출, 폐기물 관리 및 환경 모니터링으로 구성되어 있다.

3.3.2 바렌츠 기후변화 행동계획

바렌츠 지역은 지구 평균의 두 배 이상으로 온난화되고 있으며, 이는 토착민의 생계를 포함하여 생태계, 사회 및 지역사회에 심각한 영향을 미칠 것이다. 노르웨이와 러시아, 핀란드 등 바렌츠 주변국은 기후변화 완화 및 적응을 위해 BEAC(Barents Euro-Arctic Council) 같은 다자간 지



Fig. 3. The location of the Barents Sea and the view of the gas field (by Wikipedia)

역 협력 구조를 이루고 있다.

‘바렌츠 협력을 위한 기후변화 행동계획’은 BEAC 실무 그룹이 기후변화 완화 및 적응을 위해 실천해야 할 구체적인 활동을 포함한다. 이는 컨설팅 회사 Carbon Limits의 의견을 수렴한 실천 계획으로, 2013년 10월 핀란드, 노르웨이, 러시아 및 스웨덴 외무 장관 회의에서 승인된 후, 2013년 12월 바렌츠 환경 장관에 의해 채택되었다.

‘바렌츠 협력을 위한 기후변화 행동계획’은 기후변화에 대응하기 위한 적응, 완화, 연구 및 모니터링, 사회공헌의 네 가지 영역별 권고 사항을 포함하고 있다.

또한, 바렌츠 지역의 교육 및 연구에 관한 공동 실무 그룹(JWGER)은 지역 대학 간 기후변화 관련 연구 및 활동 정보를 교환할 수 있는 네트워크 역할을 한다. 러시아 아르한겔스크(Архангельск)에 있는 북극 연방 대학은 기후 주제를 통합한 교육 과정을 운영하고 있고, 핀란드의 로바니에미(Rovaniemi)의 북극 센터, 노르웨이의 북극 대학교 및 항공 연구소는 기후변화 모델링 및 완화, 적응 등에 관한 여러 프로젝트를 수행했다. 2017년 노르웨이 위원장 하의 BEAC(Barents Euro-Arctic Council) 실무 그룹은 핀란드 연구소 VTT와 ‘Barents 5050’ 연구를 시작했다. 이는 바렌츠 지역의 기후변화 위험과 기회를 식별하고, 파리 기후변화 협약의 목표를 달성하기 위한 전략을 마련하기 위한 것이다.

바렌츠 지역에는 기후변화 완화 및 적응을 위한 지역 차원의 전략이 수립되어 있는 곳이 많다. 지역 전략은 공공 및 민간 부문의 다양한 이해 관계자의 노력을 통합하고 목표를 달성하는 데 기여할 수 있다. 2014년 BEAC의 Climate Smart 프로젝트는 이미 전략을 수립한 지역과 전략을 수립하기 시작한 지역 간에 경험을 공유하기 위한 설문 조사를 실시하고 주기적인 워크숍을 실시하고 있다.

4. 결론

최근 지구온난화로 인해 북극권의 개발 기간과 대상 범위가 확장되고 탐사 및 시추기술이 발달함에 따라 자원 개발 사업이 활발히 이루어지고 있다. 반면에 지난 100여 년간 지구의 온도는 꾸준히 상승하였으나 1951년부터 2017년까지 지난 67년간 연평균 지표 기온 상승추세를 살펴보면 북극해를 둘러싼 시베리아, 북캐나다, 알래스카 등 북극해 지역에서 온난화가 가속화된 것으로 나타났다. 북극권 자원 개발은 극한 기후에 따른 열악한 개발 환경과 기

술적 한계, 자원 개발에 따른 환경 문제, 사회적 영향 등 일반적인 자원 개발과 비교해 사전에 면밀한 검토가 요구되고 있다.

본 논문에서는 북극권 자원 개발 사업의 추진 시 고려해야 하는 북극 기후변화 현황 및 법제도, 사례 조사를 바탕으로 북극권 자원 개발 사업에 적용 가능한 기후변화 대응 방안을 검토하였다. 조사 분석 결과 자원 개발 사업의 기후변화 대응방안으로 증가하는 법·제도적 요구사항에 대한 대응, 북극의 자연 및 사회문화적 특징을 반영한 환경영향평가 실시, 영구 동토층 해빙과 해수면 상승 등에 대응한 인공 구조물의 설계 및 유지 보수, 대응기술 개발, 온실가스 흡수원인 자연환경 보전, 지역사회 협력 등이 반드시 필요하다고 판단된다. 또한, 북극권 영구 동토층의 지반 안정화를 위해 개발된 열사이판 기술, 극한 기후 조건에서 작동하고 현장 개발의 효율성을 높이기 위한 장비들은 북극권 자원 개발을 위하여 반드시 검토하고, 관련 기술들을 확보해야 한다.

북극해 연안국 정부들은 북극 지역에서의 자원 개발에 따른 환경오염 및 파괴 위험을 최소화하기 위해 안전장치 마련 및 시설 사용 등 관련 법 제도를 강화하고 있다. 본 논문의 조사 분석 결과는 향후 북극권 자원 개발 사업에 참여하는 국내 기업들의 성공적 사업추진과 운영을 위해 활용될 것으로 기대한다.

Acknowledgement

This research was supported by a grant (21IFIP-C146546-04#) from Ministry of Land Transportation Technology Business Support Program funded by Ministry of Land, Infrastructure and Transport of Korean government. And, the authors wish to thank Ms. Jeongim Yun for her support of this research.

References

1. Jung, S. R. (2014), “Global Energy Supply and Demand Outlook”, *World Energy Market Insight*, 14(34), pp.13-24.
2. Kim, M. S. (2020), “A Study on Prospect of Arctic Governance and Direction for Arctic Policy of Korea”, *Marine Policy Research*, 35(1), pp.179-200. (in Korean)
3. Kim, Y. S. and Kim, S. W. (2019), “Study of Information System for the Environmental Impact Assessment (EIA) of

- the Arctic Development Project”, *J. Korean Geosynthetics Society*, 18(4), pp.53-61. (in Korean)
4. Lee, S. G and Lee, J. L. (2017), “Strategies and implications for resource development in the Arctic region of Arctic coastal countries”, *World Energy Market Insight*, 17(19), pp.3-18. (in Korean)
 5. Lee, S. G., Lee, J. Y., and Choi, Y. M. (2010), “Arctic Resource Development Status and Prospect”, *Korea Energy Economics Institute Report*, pp.1-99. (in Korean)
 6. Mathieson, W. L., Croft, P., and Wuttig, F. J. (2020), “Infrastructure Adaptions to Changing Permafrost Conditions —Three Case Studies along the Trans Alaska Pipeline System”, *In Geo-Congress 2020: Geotechnical Earthquake Engineering and Special Topics*, pp.913-925.
 7. Park. J. M. (2014), “A Study on Climate Change Risk Analysis and Response to Resource Development Projects”, *Policy Issue Paper*, 14(10). (in Korean)
 8. Rogers, P. G. (1990), “The clean air act of 1970”, *EPA J.*, 16, p.21.
 9. Saebo, E. and Cammaert, G. (2011), “Assessment of International Standards for Safe Exploration, Production and Transportation of Oil and Gas in the Barents Sea”, *In OTC Arctic Technology Conference, OnePrtro*, pp.1-8.
 10. <https://www.arcticinfo.eu>
 11. <https://www.conocophillips.com>