

훈련결과 보고서

기후변화 대비 지속가능한 어업 및 양식업 적응 방안

2022년 12월

해 양 수 산 부
김 종 모

< 목 차 >

① 국외훈련 개요	1
② 훈련기관 개요	2
③ 훈련결과보고서 요약서	3
④ 훈련결과 보고서	4

I. 연구 필요성	1
II. 우리나라 수산업의 현황과 전망	5
1. 수산업 현황	5
2. 수산업 전망	13
III. 국내외 기후-해양 변화 동향	14
1. 글로벌 기후-해양 변화 동향	14
2. 우리나라 인근 해역의 기후-해양 변화 동향	27

IV. 기후-해양 변화가 수산업에 미치는 영향	49
1. 수산자원 및 어업에 미치는 영향	49
2. 수산양식에 미치는 영향	58
V. 국내외 해양수산분야의 기후-해양 변화 정책 동향	64
1. 주요 국가의 정책 동향	64
2. 국제기구 정책 동향	73
3. 우리나라 해양수산분야 정책 동향	82
VI. 지속가능한 어업관리 및 양식업 적응 정책 제언	85
1. 지속가능한 수산자원 및 어업관리	86
2. 친환경 생산을 위한 차세대 양식시스템 구축	91
3. 기후-해양 변화 대응 이행기반 강화	98
VII. 참고 문헌	102

① 국외훈련 개요

1. 훈련국 : 미국

2. 훈련기관명 : 전미열대참다랑어위원회
(Inter-American Tropical Tuna Commission)

3. 훈련분야 : 농림·수산

4. 훈련기간 : 2020.12.29.~2022.12.28.

2] 훈련기관 개요

명 칭	전미열대참다랑어위원회(IATTC, Inter-American Tropical Tuna Commission))
소재지	8901 La Jolla Shores Drive, La Jolla, CA, 92037, USA
홈페이지	http://www.iattc.org
연락처	Tel: 858-546-7100, Fax: 858-546-7133
설립목적	<ul style="list-style-type: none"> ○ 동부태평양 수역의 다랑어 및 다랑어 유사종 자원의 보존관리 및 적정 이용을 목적으로 하고 있는 지역수산물리 기구 ○ 회원국(21개국): 한국, 미국, 일본, 중국, 캐나다, 브라질, 프랑스, 멕시코 등
조직	<ul style="list-style-type: none"> ○ 전미열대참다랑어위원회 사무국 본부 및 현장사무소 <ul style="list-style-type: none"> - 사무국 본부는 미국 캘리포니아주 샌디에이고에 위치하고 사무국장을 포함하여 약 45명의 사무국 직원이 업무를 수행 중 - 현장사무소는 총 7개소로 에콰도르, 멕시코, 파나마, 베네수엘라에 위치하고 있으며, 총 20여명의 직원이 근무 ○ 총회 및 하부 위원회 구성(재정행정위, 과학자문위, 이행검토위)
주요기능 및 연구분야	<ul style="list-style-type: none"> ○ IATTC 관할 동부태평양 수역의 다랑어 및 다랑어 유사종 자원의 지속가능한 이용을 위한 어업관리 제도 수립·운영 ○ 동부태평양 지역의 불법어업 감시 ○ 옵서버 프로그램 운영 등

3] 훈련결과 보고서 요약서

성 명	김종모	직 급	기술서기관
소 속	해양수산부	연락처 (e-mail)	aqua8150@korea.kr
훈련국	미국	훈련기간	2020.12.29.~2022.12.28
훈련기관	IATTC	보고서 매수	101쪽
훈련과제	기후변화와 지속가능한 수산자원 이용·관리 연구		
보고서제목	기후변화와 지속가능한 수산자원 관리 및 수산업 적응 방안		
내용요약	<p>지구의 기후는 자연적으로 빙하기와 간빙기를 반복해 오고 있으나, 산업혁명 초기인 18세기 중엽부터로 1970년부터 2004년 사이에 지구 온실가스 배출량은 70%나 증가한 것으로 보고되었으며, 전 세계적으로 기후변화 위기에 직면함에 해양생태계의 변화가 초래되고 해양환경 변화에 민감한 수산자원 및 어업, 양식업도 커다란 변화의 직면함.</p> <p>우리나라 연근해 어업은 40년만에 100만톤 미만으로 감소한 이후 정체 상태에 있으며, 양식업은 해조류 생산량 증가로 증가 추세에 있으나, 고부가가치 어패류 양식생산량은 정체되고 있음. 한편, 어업인의 고령화가 가속화되고 있고 어업 종사자가 감소하는 반면, 귀어귀촌한 청년들이 양식업에 참여하면서, 어가소득은 꾸준히 증가 추세임.</p> <p>전 세계적인 기후변화로 해양에서도 다양한 변화가 발생하고 있음. 산업혁명 이후 온실가스가 증가됨에 따라 해수면과 수온이 지속적으로 상승하고 있음. 또한, 대기 중 온실가스 증가로 해수로 이산화탄소가 용해되면서 해양산성화 현상이 가속화되고 있고 용존산소를 감소시켜 해양생태계에 악영향을 미치는 것으로 보고됨. 한편, 강력한 수온약층</p>		

이 형성되어 저층의 풍부한 영양염류가 표층으로 공급되지 않아 기초생산력이 저하되고 이로 인해 해양의 생물생산력이 감소하는 문제가 발생되고 있음. 더욱 심각한 문제는 전세계적인 온실가스 감축 노력에도 불구하고 2100년까지 지속적으로 해수면과 수온이 상승할 것이라는 전망이다. 물론, 이러한 위기에 대해 국제기구와 개별국들의 온실가스 배출 감축 노력을 다양한 형태로 추진 중임. 한편, 우리나라 인근 해역인 동해·서해·남해에서도 기후변화로 인해 수온이 상승(1968~2018간, 1.23℃↑)하고 있고 염분은 강수량 변화나 인접국 담수 유입량에 따라 크게 변동하고 있고 빈산소 수괴의 빈번한 출현 등의 현상이 지속적으로 나타나고 있음.

이와 같이 국내외 해양변화는 우리나라 수산업에 영향을 미치고 있음. 연근해어업의 경우, 생산량이 감소 내지 정체되고, 주요 어장의 위치가 변동되고 있음. 특히, 아열대성 수산생물의 출현도 증가하고 있음. 한편, 수산양식업의 경우, 해조류 생산량 증대되고 있으며, 환경에 독립적인 어패류 양식기술이 발전하고 있는 가운데, 자연재해와 새로운 질병 발생 등에 따른 피해도 발생하고 있음.

기후변화에 대한 국내외적인 정책 중 가장 핵심적인 것은 탄소배출 저감임. UN과 관련 국제기구 및 기후변화 협정들 내에서 다양한 저감 노력을 경주 중이며, 우리나라도 국제규범에 준하여 정책을 수립하여 마련하여 추진 중임.

이러한 기후변화 위기를 극복하기 위한 수산분야 정책은 크게 수산자원 및 어업관리 부문과 양식업 적응 부문으로 나뉘볼 수 있음. 연근해 어업의 경우, 해양생태계 변화, 연근해 어장 및 수산자원의 변동을 모니터링하고 예측할 수 있는 시스템을 고도화하고 과학적인 수산자원 및 어업관리 체계를 개편하고 에너지 절감형 어업도 활성화 나갈 필요. 양식업의 경우 스마트 양식방법, 내성이 강한 품종 및 질병 예방 등 친환경 생산을 위한 차세대 양식시스템을 구축할 필요. 아울러, 이러한 정책을 뒷받침하기 위한 법제도화와 전담 조직 신설 및 국제 협력 등 이행기반을 강화할 필요

4] 훈련결과 보고서

기후변화와 지속가능한 수산자원 관리 및 수산업 적응 방안

I. 연구 필요성

1. 기후변화의 개념

UN 기후변화협약(UNFCCC)에서는 ‘기후변화’란¹⁾ ‘전 지구 대기의 조성을 변화시키는 인간의 활동이 직접적 또는 간접적으로 원인이 되어 일어나고, 충분한 기간 동안 관측된 자연적인 기후변동성에 추가하여 일어나는 것²⁾으로 정의하고 있다.

지구 기후는 지속적으로 변화해 왔으며, 지축의 경사나 지구의 공전 궤도가 수 만년에서 10만년 단위로 바뀌면서 기후가 변화하기도 하지만, 인간의 문명 활동에 의해서도 변화한다. 특히, 자연적인 기후변화 원인으로는 화산분화에 의한 성층권의 에어로졸 증가, 태양 활동의 변화, 태양과 지구의 천문학적인 상대위치 변화 등이 있다. 이외에도 기후시스템은 자연적으로 변할 수 있으며, 이는 기후시스템의 5가지 주요 구성요소(온도, 습도, 강수, 풍속, 낮 길이) 및 대기권, 수권, 빙권, 지권, 생물권 각 요소들이 각기 상호 작용하여 끊임없이 변화하기 때문이다. 아울러, 인위적인 원인으로 인간 활동에 의한 것으로, 산업혁명 초기인 18세기 중엽부터 1970년부터 2004년 사이에 지구 온실가스 배출량은 70%나 증가한 것으로 보고³⁾되었다.

2. 연구 필요성

-
- 1) 기후변화협약(UNFCCC) 제 1조
 - 2) 기후변화협약은 대기 조성을 변화시키는 인간 활동에 의해 야기되는 ‘기후변화’와 자연적 원인에 의해 야기되는 ‘기후변동성’을 구분함
 - 3) 기후변화에 관한 정부간 협의체(IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change) 제5차 평가 보고서(2015년)

지구 표면의 71%를 차지하고 있는 해양은 끊임없이 대기와 상호작용을 하면서 지구생태계의 균형자 역할을 하고 있다. 그러나 근래에 들어 자연적 요인보다는 다양한 인위적 요인으로 인해 해양과 대기의 균형에 이상현상이 이전보다 더 잦고 규모가 크게 나타나는 등 기후가 예전에 없는 변화를 보이고 있다.

이러한 해양-대기 균형의 잦은 변화는 기후의 이상현상을 초래하고 인간 사회를 포함한 지구생태계 내에 커다란 영향을 미치고 있다. 특히, 전 인류에 동물성 단백질의 1/3이상을 공급하는 수산생물의 생존과 번식, 이동과 분포 등이 해양-대기의 변동에 따라 좌우된다는 것이다.

이러한 기후변화에 따른 위기에 대해 국제사회는 파리협정 발효('16.11)를 통해 2021년부터 출범하게 되는 '신 기후체제(Post-2020)'의 기틀을 다졌으며, 전 지구적 차원에서 기후변화 문제를 해결하고 대응하기 위한 관심이 고조되고 있다.

<그림 1-2-1 신 기후체제로의 전환>



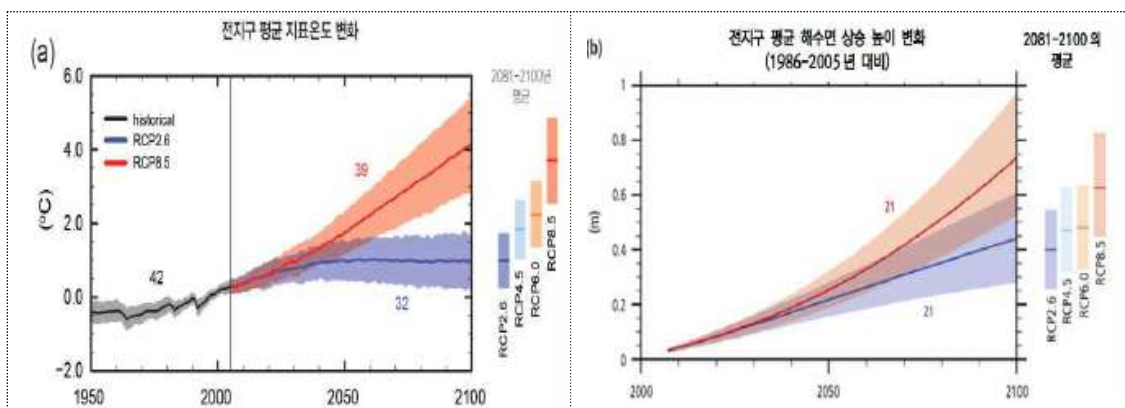
* 출처 : 외교부(2015), 「기후변화 바로알기」, p. 24

또한 제5차 기후변화에 관한 정부간협의체(IPCC) 보고서에서는 해수면과 해수온 상승, 해양산성화 등을 기후변화에 따른 위협 요인⁴⁾으로 지적한 바 있다.

4) 지난 133년간(1880~2012년) 지구 평균기온은 0.85°C 상승하였고 2000년 대비 2100년에는 해수면이 최대 82cm 상승할 것으로 보고함.

우리나라는 전 지구적 평균보다 기후변화가 빠르게 진행되고 있으며, 해양으로 둘러싸여 있는 자연적 여건으로 인해 기후변화에 대한 취약성이 높은 상태이며, 온실가스 배출량은 1990년 이후 연평균 3.8%씩 증가하여 2005년 556.2백만톤 CO_{2eq}⁵⁾에서 2013년 694.5백만톤 CO_{2eq}를 기록하였고, 절대량으로는 1990년 대비 약 2.4배 수준으로 증가하였고 이후에 지속적으로 높아지고 있는 실정이다. 또한 21세기 후반(2071~2100년) 연 평균 기온은 지난 30년(1981~2010년) 대비 5.7℃ 상승이 전망되고 21세기 말 연평균 강수량이 1981~2010년 대비 17.6% 증가할 것으로 예상되며 이는 전 지구 평균의 3배를 상회하는 것으로 전망된다.

<그림 1-2-2 전 지구 평균 지표온도와 해수면 높이 변화 전망>



< 지구 평균 지표 온도 변화 >

< 지구 평균 해수면 높이 변화 >

* 출처 : 관계부처 합동(2019), 제2차 기후변화 대응 기본계획, p. 5.

한편, 우리나라의 수산물 어업생산량은 1980년대 약 170만톤 수준이 었으나 최근 40여년 만에 100만톤 이하로 낮아진 이후 회복되지 않고 있는 실정이다. 한편, 수산물을 생산하는 어선 척수도 약 20여년 간의 걸쳐 8만여척에서 3천여척으로 감척하였음에도 불구하고 어업생산량이 감소한 것은 기후변화와 어업생산량간 상관성이 매우 크다는 점을 시사한다. 또한, 작년에 남해안에 고수온이 장기간 지속되면서, 주요 어획대상 종인 멸치 어장이 형성되지 않아 어획량이 크게 급감한 바 있으며, 서해안과 남해 서부에는 독성 해파리 출현 기간이 길어지고 밀

5) 이산화탄소 환산량(carbon dioxide equivalent) : 온실가스 배출량을 대표 온실가스인 이산화탄소로 환산한 양으로 각각의 온실가스 배출량에 온실가스별 온난화지수(GWP)를 곱한 값을 누계하여 구함

도가 높아지는 문제가 발생한 바 있다.

아울러, 작년에 우리나라 인근 해역의 양식업에서도 기후변화로 인해 다양한 이슈나 현안들이 매년 반복적으로 발생하고 있다는 사실도 본 연구가 갖는 의의가 크다고 할 것이다. 특히, 서해안과 남해안에 여름철 고수온이 장기화 되면서, 양식생물의 대량 폐사가 발생하였고, 겨울철 저수온으로 인해 양식생물 폐사 발생하였다. 이외에도 제주도 인근 해역에 새로운 열대성 종이 출현하는 등 우리나라 인근 해역의 수온이 중장기적으로 변동하고 있다는 징후들이 증가하고 있다.

본 연구에서는 우선, 해양-대기의 지속적인 변화와 이에 따른 기후변화가 글로벌 단위와 우리나라 주변해역에서 어떤 영향을 주는지 살펴보고자 한다. 다음으로, 우리나라 수산업 현황을 살펴보고 기후변화가 수산자원, 어업 및 양식생산에 미치는 영향을 살펴 보도록 하겠다. 마지막으로 기후변화에 대비하여 지속가능한 수산자원 및 어업관리 정책과 수산양식업의 적응 정책을 위한 제언을 살펴보고자 한다.

<그림 1-2-3 2021년 수산분야 기변화 주요 이슈>



* 출처 : 수산과학원, 수산분야 기후변화 영향 및 연구(2022년)

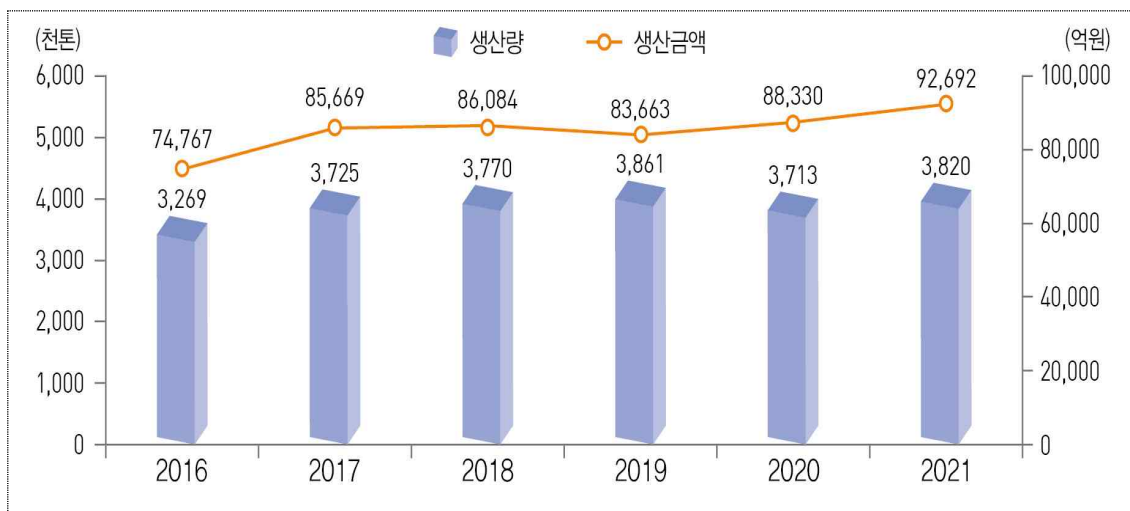
II. 우리나라 수산업 현황 및 전망

1. 현황

1) 수산물 생산

우리나라 '21년 수산물생산량은 총 382만 톤으로 전년(371만 3천톤) 대비 2.9%(10만 7천톤) 증가하였으며, 일반해면어업은 수온 상승 영향 등으로 한류성 어종인 청어 어획량은 감소하였으나, 난류성 어종인 고등어류, 꽃게, 살오징어 등의 어획량은 늘어 전년 대비 0.8% 증가한 것으로 나타났다. 천해양식어업은 양식 입식량의 증가와 수온 상승에 따른 온난성 어종인 송어류, 흰다리새우, 전복류 등의 생산량이 늘어 전년 대비 3.9% 증가한 것으로 나타났다. 원양어업은 해외 어장 확대와 수산자원 증가와 어황 호조로 오징어류, 명태, 황다랑어의 어획량이 늘어 전년 대비 0.5% 증가한 것으로 나타났다. 내수면어업은 가장 많은 뱀장어와 붕어류, 우렁이류 양식장이 늘어 전년 대비 25.6% 증가한 것으로 나타났다.

<그림 2-1-1 어업생산량 및 생산금액 변화 추이>



*출처: 통계청(2022), 2021년 어업생산동향조사결과

'한편, 21년 어업 생산금액은 9조 2,692억 원으로 전년(8조 8,330억

원) 대비 4.9%(4,362억 원)가 증가 하였다. 일반해면어업은 소비 부진에 따른 가격 하락과 어획 비중은 높으나 단가가 낮은 고등어, 전갱이류 등의 생산량이 늘어 전년 대비 5.1% 감소하였다. 천해양식어업은 입식량 증가와 함께 전복류, 새우류 등 단가가 높은 어종의 작황이 좋아 전년 대비 13.7% 증가 하였다. 원양어업은 오징어, 황다랑어, 명태 등의 어획량 증가와 단가가 높은 메로(이빨고기) 등의 어획량이 늘어 전년 대비 16.9% 증가 하였다. 내수면 어업은 단가가 높고 작황이 좋은 뱀장어와 붕어류, 우렁이류의 양식생산이 늘어 전년 대비 17.0% 증가한 것으로 나타났다.

<표 2-1-1 어업별 생산량 >

(단위:톤, 백만원, %)

연도별 어업별		2016	2017	2018	2019	2020	2021 p)	증감률 (’21/’20)
합	생 산 량	3,269,432	3,724,711	3,770,057	3,860,969	3,712,873	3,820,048	2.9
	생산금액	7,476,747	8,566,871	8,608,418	8,366,328	8,832,971	9,269,189	4.9
일 반 해 면	생 산 량	907,580	926,941	1,011,536	911,852	933,880	941,069	0.8
	생산금액	3,635,893	4,014,056	4,136,066	3,957,149	4,371,757	4,147,439	-5.1
천 해 양 식	생 산 량	1,872,400	2,315,775	2,249,605	2,410,040	2,308,407	2,397,490	3.9
	생산금액	2,345,544	2,960,015	2,880,673	2,805,298	2,895,227	3,290,453	13.7
원 양	생 산 량	454,053	445,726	473,589	503,795	436,617	438,825	0.5
	생산금액	1,077,763	1,134,303	1,130,697	1,119,096	1,121,155	1,310,930	16.9
내 수 면	생 산 량	35,400	36,270	35,326	35,282	33,968	42,663	25.6
	생산금액	417,547	458,497	460,982	484,785	444,832	520,366	17.0

*출처: 통계청(2022), 2021년 어업생산동향조사결과

2) 어가 현황

우리나라 대부분의 어업경영체는 소규모 어가로서 '21년 12월 기준, 4만 3천 가구이며, 어가인구는 9만 4천 명으로 조사 되었다. 어촌 전입(轉入), 신규 전업(轉業) 등으로 전년대비 어가는 2백 가구(0.4%)가 증가한 반면, 어가인구는 3천 3백 명(-3.4%) 감소한 것으로 나타났다. 이러한 어가는 우리나라 총가구의 0.2%이며 인구 비율로는 총인구의 0.2% 수준으로 나타났다. 또한 어가인구 중 남녀 비율은 남자가 4만 7천 1백 명, 여자가 4만 6천 7백 명으로 나타나 성비는 100.6이다.

<표 2-1-2 어가 및 어가인구(2017년~2021년)>

(단위: 천 가구, 천 명, %, %p)

	2017	2018	2019	2020(A)	2021(B)	증 감 (C=B-A)	증 감 륜 (C/A×100)
어 가	52.8	51.5	50.9	43.1	43.3	0.2	0.4
어 가 비율(%)*	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.0	-
어 가 인 구	121.7	116.9	113.9	97.1	93.8	-3.3	-3.4
남 자	60.6	58.1	56.3	49.7	47.1	-2.7	-5.4
여 자	61.1	58.8	57.6	47.3	46.7	-0.6	-1.2
성 비	99.1	98.7	97.9	105.1	100.6	-4.4	-
어가인구 비율(%)*	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.0	-

출처 : 통계청(2021), 어가경제통계

* 총가구 및 총인구에 대한 어가, 어가인구 비율

한편, 어촌 및 어가 경영주의 고령화가 지속적으로 심화되고 있는 것으로 나타났다. 어가 경영주의 연령별 형태의 경우, 60대 어가가 1만 6천 6백 가구(전체 어가의 38.3%)로 가장 많았고, 70세 이상 어가도 1만 4천 8백 가구(34.1%), 50대 어가가 7천 8백 가구(17.9%) 순으로 나타났는데 전년대비 70세 이상(17.3%), 60대(1.4%) 경영주는 증가한 반면, 50대 이하 모든 연령 구간에서는 감소하였고 이에 따라 어가 경영주의 평균연령도 64.4세로 전년대비 1.2세 증가한 것으로 나타났다. 우리나라 어촌 및 어가의 고령화⁶⁾에 대한 대비책이 중대 현안으로 대두되었다고 할 수 있다

<표 2-1-3 경영주 연령별 어가(2020년~2021년)>

(단위: 천 가구, 세, %)

	계	40세 미만	40~49세	50~59세	60~69세	70세 이상	평균연령
2020	43.1 (100.0)	1.2 (2.8)	3.7 (8.6)	9.3 (21.4)	16.4 (38.0)	12.6 (29.2)	63.2
남 자	33.8 (100.0)	1.1 (3.3)	3.4 (10.1)	8.1 (24.0)	13.2 (39.0)	8 (23.7)	61.8
여 자	9.3 (100.0)	0.1 (1.1)	0.3 (3.2)	1.2 (12.8)	3.2 (34.2)	4.6 (49.2)	68.3
2021	43.3 (100.0)	0.9 (2.2)	3.3 (7.5)	7.8 (17.9)	16.6 (38.3)	14.8 (34.1)	64.4
남자	35.1 (100.0)	0.9 (2.6)	3.1 (8.8)	7.2 (20.4)	13.8 (39.4)	10.1 (28.8)	63.1
여 자	8.2 (100.0)	0.0 (0.1)	0.2 (1.9)	0.6 (7.2)	2.8 (33.8)	4.7 (56.9)	70.2
증 감	0.2	-0.3	-0.5	-1.5	0.2	2.2	1.2
증감률	0.4	-22.2	-12.3	-16.2	1.4	17.3	-

출처 : 통계청(2021), 어가경제통계

어가 인구의 고령화에도 불구하고 꾸준한 규모화와 낚시 등 레저 인구 증가로 소득원이 다양화 되면서, 어가당 평균 소득이 5천만원 이상으로 증가하였다.

<표 2-1-4 어가당 소득 동향>

단위 : 천원

연도	어가소득 (A+B)	경상소득(A)				비경상소득 (B)
		계	어업소득	어업외소득	이전소득	
2010	35,696	31,729	16,607	11,931	3,191	3,968
2015	43,895	39,893	23,086	11,728	5,079	4,002
2019	48,415	45,217	20,672	13,326	11,220	3,198
2020	53,187	50,006	22,716	12,959	14,331	3,181

출처 : 통계청(2021), 어가경제통계

6) '21년 우리나라 고령인구 비율은 17.1%(주민등록인구현황, 행정안전부)

3) 어업 경영체

경영형태상 양식업 어가는 1만 1천 가구(25.9%)로서 전년 대비 8.6% 증가한 반면, 어로어업 어가는 3만 2천 가구(74.1%)로서 2.2% 감소한 것으로 나타났다. 이러한 현상은 경영의 불확실성이 높아 신규 진입이 적고 노동집약적인 어로어업 종사자의 고령화 가속화에 기인한 것이다.

<표 2-1-5 경영형태별 어가(2020년~2021년)>

(단위: 천 가구, %)

	계	양식업	어로어업
2020	43.1 (100.0)	10.3 (24.0)	32.8 (76.0)
2021	43.3 (100.0)	11.2 (25.9)	32.1 (74.1)
증 감	0.2	0.9	-0.7
증감률	0.4	8.6	-2.2

출처 : 통계청(2021), 어가경제통계

특히, 양식어업 어업권의 경우, 어선어업에 비해 상대적으로 안정적인 경영 특성이 있어 이에 기반하여 청년층의 귀어귀촌 증가로 이어지고 있다. 이들에 대한 정책적 지원이 병행되면서, 연안이나 육상에서 이뤄지는 양식어업의 면허 건수 및 면적이 지속적으로 증가하고 있는 것으로 나타났다.

<표 2-1-5 양식어업 어업권 현황>

단위: 건, ha

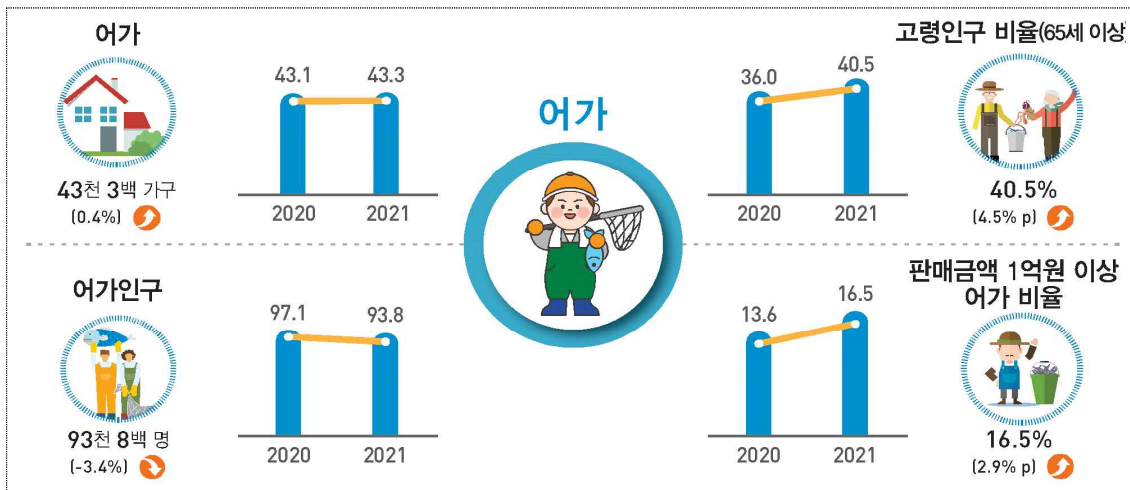
2012		2015		2018		2020	
건수	면적	건수	면적	건수	면적	건수	면적
9,755	137,971	9,876	149,793	10,061	161,320	10,003	161,463

출처 : 통계청 국가통계 포털(2022), 「천해양식어업권통계」

한편, 어가 수의 정체, 어가 인구의 감소 및 고령화 비율이 높아지고

있는 여건 하에서도 어가 경영체의 규모화 동력화 및 어업의 소득 증대로 판매금액 1억원 이상인 어가 비율이 전년 대비 2.9% 증가한 16.5%로 조사되었다.

<그림 2-1-2 어가 수, 어가 인구 및 판매액 1억원 이상 어가 현황>



* 출처 : 통계청 보도자료(2022), 「농림어업조사결과」

4) 어선 현황

어선은 어장, 노동력과 함께 3대 어업 경영요소로서 매우 중요한 위치를 갖고 있다. 2000년에 약 10만여 척으로 가장 많았으나, 수산자원 감소에 따른 감척 정책을 꾸준히 시행한 결과, 2020년 기준 약 6만 6천 여 척으로 감소되었다. 업종별로 보면, 원양어업 어선은 규모는 수천톤으로 매우 크나 199척 정도이며, 근해어업은 수십톤에서 수백톤으로 2,613척, 연안어업은 10톤 미만이 대부분으로 가장 많은 36,980척에 달한다. 이외에도 양식장 관리를 위한 어선이 약 18,615척이며, 내수면 어업 어선은 약 2,786척, 기타어업 어선이 3,794척에 달하는 것으로 조사되었다⁷⁾.

한편, 어선 보유 어가는 총 2만 6천 4백 가구로, 전체 어가의 60.9%를 차지하고 있으며, 전년대비 0.6% 감소한 것으로 조사되었다.

7) 해양수산부, 등록어선통계, 2021년

<표 2-1-6 보유어선 톤수별 어가(2020년~2021년)>

(단위: 천 가구, %)

	전체 어가	어선 보유어가	2톤 미만	2~5톤 미만	5~10톤 미만	10톤 이상
2020	43.1 (100.0)	26.5 (61.5)	10.7 (24.7)	9.2 (21.3)	4.6 (10.6)	2.1 (4.9)
2021	43.3 (100.0)	26.4 (60.9)	10.4 (24.1)	9.0 (20.7)	4.9 (11.3)	2.1 (4.7)
증 감	0.2	-0.1	-0.2	-0.2	0.3	-0.1
증감률	0.4	-0.6	-2.0	-2.3	7.2	-2.6

* 출처 : 통계청 국가통계포털(2022), 「등록어선통계」

5) 어항 현황

어항은 연안 지역의 공간적 거점 기능을 수행하며, 어선의 계류, 수산물의 양륙, 보관 및 판매 등 어업활동의 전초 기지 역할을 하는 중요한 시설물이다. 특히, 태풍이나 파랑 등으로부터 어업인의 생명과 재산을 지키는데에도 필수 불가결한 요소이다. 이외에도 최근에는 연안 레저활동이나 지역 관광지로서도 기능하고 있다.

우리나라 어항은 관리 주체에 따라 크게 중앙정부가 관리하는 국가 어항과 지자체가 관리하는 지방어항으로 구분되며, 연안지역 경제의 거점으로 이용되고 있다.

<표 2-1-7 국가 및 지방 어항 현황>

단위: 개소

구분	국가어항			지방어항	합 계
	연안	도서	계		
	74	39	113	290	403

출처 : 해양수산부 한국어촌어항공단(2020), 「어항현황」

이외에도 전국 연안에 걸쳐 어촌마을을 중심으로 발달한 소규모의 어촌 정주어항, 마을공동 어항, 소규모 어항이 있으며, 최근 단순한 어항 기능을 탈피하여 관광, 휴식, 안전 기능이 보완된 어항으로 대폭 개조하는 정책사업이 시행되고 있다.

<표 2-1-8 소규모 어항 현황>

단위: 개소

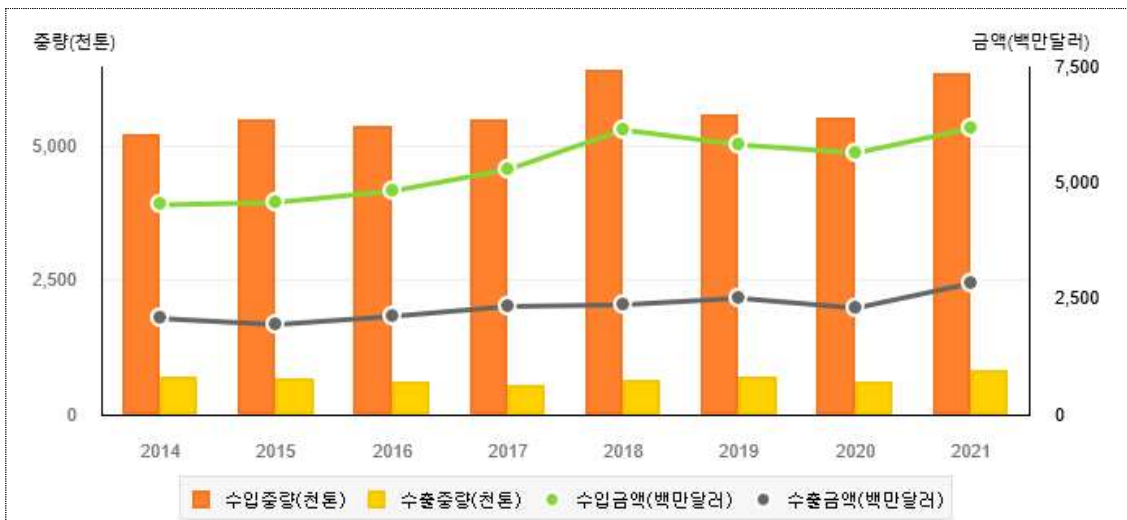
어촌정주어항			소규모 어항			마을공동 어항	합계
육지	도서	계	육지	도서	계		
493	134	627	519	750	1,269	2	2,008

출처 : 해양수산부 한국어촌어항공단(2020), 「어항현황」

6) 수산물 수출입 현황

우리나라는 국민 1인당 수산물 소비가 세계에서 가장 많은 국가이며, 다양한 수산물 수출뿐만 아니라 수입도 많은 편이다. 그 결과, 수산물 수출은 정체되어 있으나, 수입은 꾸준히 증가하고 있으며, 소득 증대에 따라 수입 품목도 고급 수산물로 변화하고 있는 추세이다.

<그림 2-1-3 수산물 수출입 동향 >



출처 : 해양수산부(2022), 통계시스템, 「수산물 수출입 통계」

2021년 기준, 수출은 약 28억달러(813천톤)이며, 수입은 약 61억달러(6,374천톤)으로 무역수지가 약 33억불 적자를 나타내고 있다. 주요 수산물 수출 품목은 김, 참치, 굴, 전복 등이며, 전체 수출의 약 65%를 차지한 반면, 주요 수입 수산물은 오징어가 가장 많으며, 그 뒤로 명태, 새우, 연어, 낙지, 주꾸미 등이며, 전체 수입의 약 60%를 차지하고 있다.

<표 2-1-9 수산물 수출 · 입 동향>

단위: 백만달러,천톤

구 분		2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
수 입	금액	4,515	4,564	4,799	5,268	6,125	5,794	5,621	6,182
	중량	5,233	5,504	5,374	5,492	6,419	5,606	5,518	6,374
수 출	금액	2,067	1,924	2,128	2,329	2,377	2,505	2,306	2,825
	중량	702	651	612	540	632	688	614	813

출처 : 해양수산부(2022), 통계시스템, 「수산물 수출입 통계」

2. 수산업 전망

우리나라 수산업은 기후변화와 해양변동, 수산자원의 감소화 경향, 어업세력의 감소 하에서 규모화로 어획강도의 증가, 1인당 수산물 소비량 증가 및 간편식 건강 수산식품에 대한 수요 증대, 수산물 안전에 관한 소비자 민감도 증강 등 다양한 여건들에 놓여져 있으며, 이러한 요인들의 변화에 산업 주체, 연구기관, 정부 등이 얼마만큼 준비하고 대응 및 적응 하느냐에 따라 부침을 겪을 것으로 전망된다.

먼저 수산물 생산은 김 등 해조류 양식업의 생산량 증대에 힘입어 전반적으로 증가할 것으로 예상되나, 어류 및 패류 등 고급 수산물의 생산은 기후변화에 따른 이상해황, 부영양화 및 적조 발생 등으로 정체 내지 감소할 것으로 전망된다. 반면, 건강식품에 대한 수요자 관심

증대로 수산물에 대한 소비량이 증가하고 그에 따라 산지 가격도 상승할 것으로 전망된다.

<그림 2-1-4 수산물 생산량^{a)}, 생산자 가격^{a)}, 1인 소비량^{b)}>



출처: 통계청(2022), a) 어업생산동향조사, 추정치 : KMI FOSIM(2022)

b) KREI 2018 식품수급표, 추정치 : KMI FOSIM(2022)

한편, 우리나라 수산물의 수출은 비대면 거래가 활성화 되고 조리가 간편한 HMR 등 가공식품 시장이 확장되면서 지속적으로 증가할 것으로 전망된다. 특히, 참돔, 바리과 등의 어류와 전복, 가리비 등 패류에 대한 양식이 증가하면서 고부가가치 산업으로 점진적으로 전환할 것으로 예상된다.

<그림 2-1-5 수산물 수출액^{a)}, 수산업 부가가치^{b)}>



* 자료 : a) 한국무역통계진흥원 자료 가공, 추정치 : KMI FOSIM(2022)

b) 한국은행산업연관표(생산자가격)를 바탕으로 실질화, KMI 해양수산업전망모형 추정치(2022)

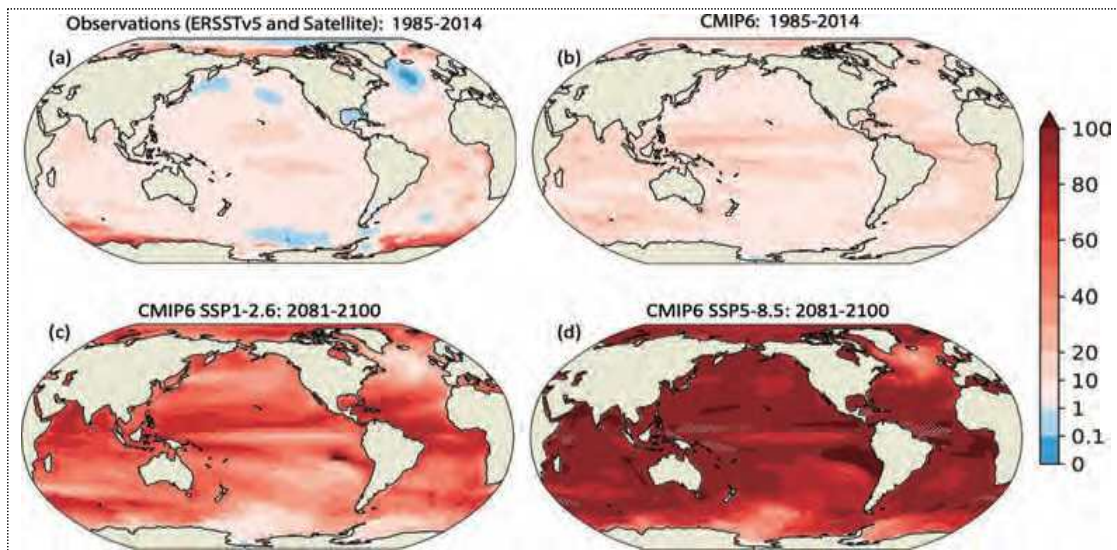
Ⅲ. 국내외 기후-해양 변화 동향

1. 글로벌 기후-해양 변화 동향

'기후변화에 관한 정부간 협의체(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)'는 1970년대 이후 해양 상층부(0~700 m)의 지속적인 수온 상승과 해양 산성화 확산 및 해양 표층수의 용존산소 농도 감소 등이 발생하고 있다고 지적하며 사람들의 산업 활동에 의한 온실가스 배출이 가장 큰 원인이라고 지적⁸⁾하고 있다.

특히, 1980년대 이후 글로벌 해양 표면의 고수온(Marine Heatwaves, MHWs) 발생 빈도가 약 두 배 이상 증가하였으며, '06년 이후 발생한 대부분의 고수온 현상은 인간 활동이 발생의 원인이었을 가능성이 높고 현재까지 지구 온난화가 계속 진행되면서 앞으로도 고수온 현상의 발생 빈도도 지속적으로 증가할 것으로 예측하고 있다.

<그림 3-1-1 이상 고수온의 발생 동향(1985~2014) 등>



* 출처 : IPCC 제6차 평가 보고서(2021).

(a) 이상 고수온의 발생 동향

(b) 1985~2014년 이상고수온의 발생 빈도(연간 발생일) 관측치, 해석치

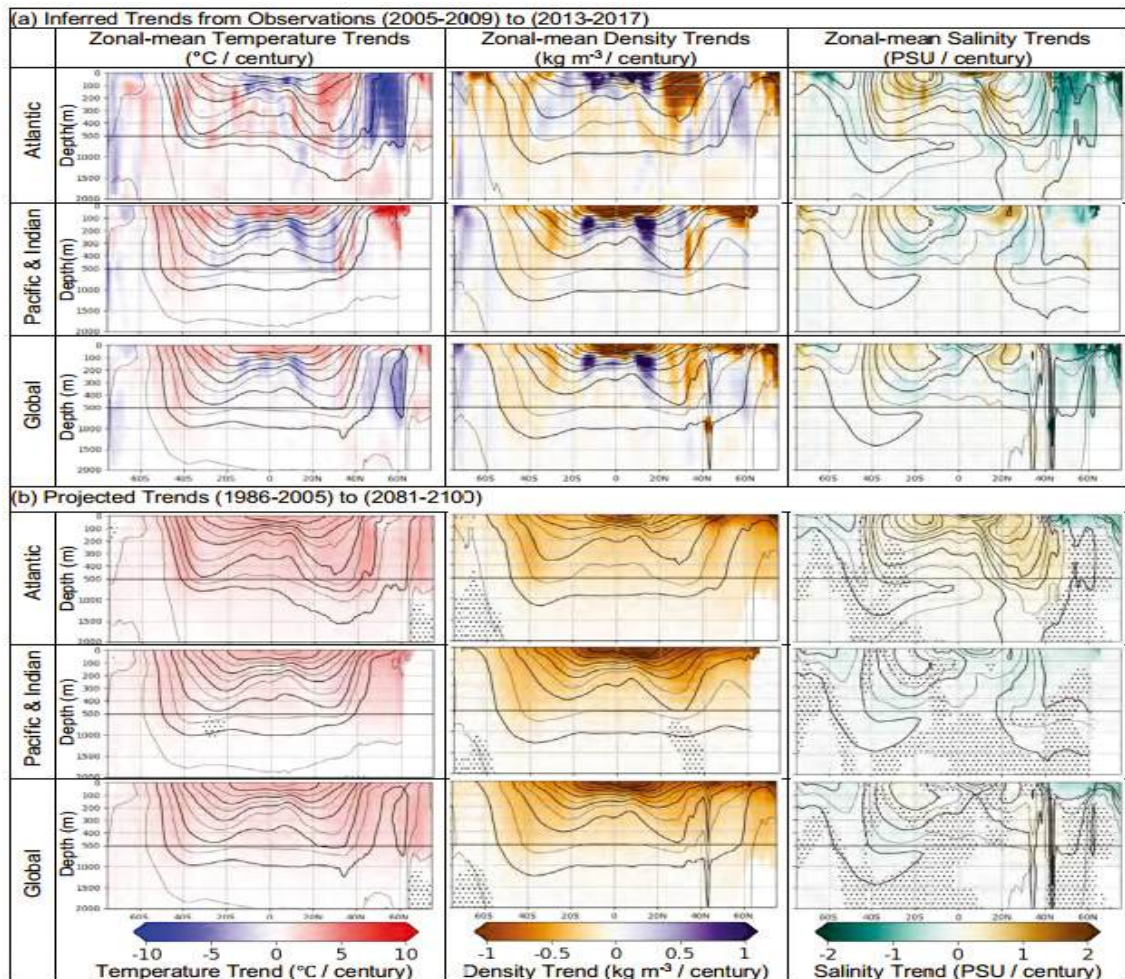
(c,d) 1985~2014년 대비 21세기 후반 2개의 온실가스 배출시나리오(SSP 1-2.6, SSP5-8.5)를 통한 발생 빈도 전망

8) 2021년 8월 제1 실무그룹의 제6차 평가보고서를 발간.

1) 수온 변동

이러한 해수면 상승은 수직적으로 해양의 상층부(표층계)와 관련되어 있으며, 특히 전 세계 해양의 상층부(표층계)는 밀도에 의해 유지되며, 밀도는 수온과 염분에 의해서 결정되는데, 이 중 수온이 절대적 환경인자로 작용한다. '19년 IPCC 보고서상 RCP9) 시나리오에 따르면 해수면이 약 0.26~0.82mm 상승할 것으로 전망하고 있으며, 금세기 후반 RCP 2.6일 경우 약 0.26~0.55mm, RCP 8.5일 경우 약 0.45~0.8mm 정도 상승할 것으로 전망하고 있다.

<그림 3-1-2 대양의 수심 2,000m에서 수온, 밀도 및 염분 변화 경향>

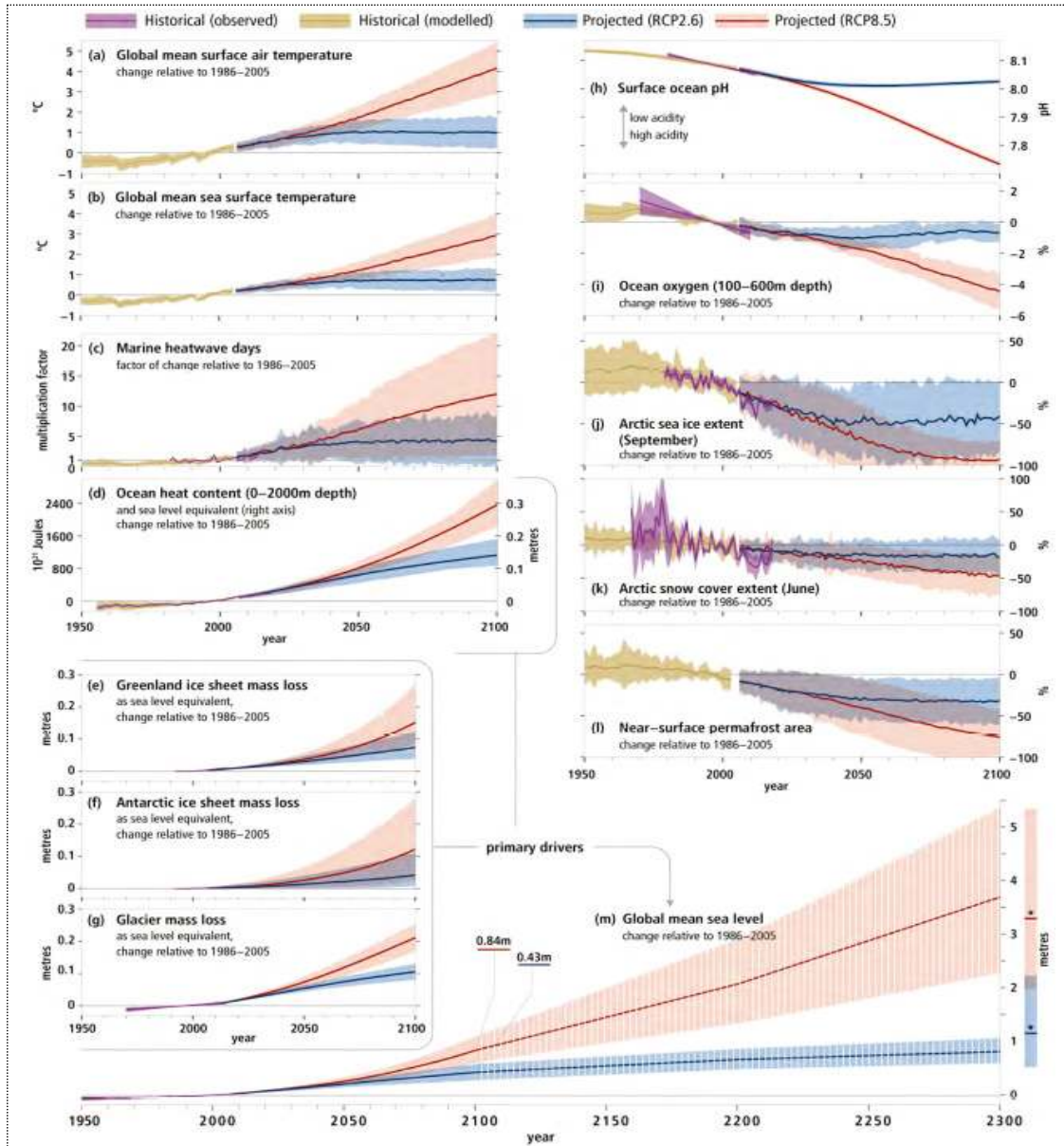


* 출처 : IPCC SROCC(2019) (a) 2013~2017년 평균치에서 2005~2009년 평균치의 차이 (b) RCP 8.5 시나리오에 의한 CMIP5에서 계산된 2081~2100년 예측치에서 1986~2005년치의 차이

9) RCP(Representative Concentration Pathways) : 온실가스 배출량과 농도를 예측하는 대표농도경로

물은 물 분자의 독특한 수소결합 특성으로 비열이 높고 매우 큰 열저장력을 갖는 등 지구 생태계를 안정적으로 유지하는데 막대한 영향을 미치고 있다. 해양은 지구상 표층수의 절대량을 담고 있으며, 환류를 형성하여 적도 지역과 극 지역의 기온 차를 줄이고 있다.

<그림 3-1-3 해양/빙권에서 과거와 미래의 변화 예측>



* 출처 : IPCC SROCC(2019). (a) 전지구 평균 기온, (b) 전 지구 평균 수온, (c) 이상 고수온 발생일수, (d) 해양 열용량, (e) 그린란드 빙상 질량 감소, (f) 남극 빙상 질량 감소, (g) 빙하 질량 감소, (h) 표층 pH, (i) 해양 산소, (j) 북극 얼음면 적, (k) 북극 눈 덮임 면적, (l) 영구동토층, (m) 전지구 해수면 상승

또한, 기후변화는 극 지역의 빙권을 녹임으로써 전 세계 평균 해수면을 상승시키는 현상을 초래하고 있으며, 앞으로도 이 추세는 지속될 것으로 전망하고 있다. 아울러, 물의 밀도는 3.96℃에 가장 크기 때문에 표층수의 수온 상승은 수직적으로 강한 수온약층(성층)을 만들어 내고 있으며, 이러한 강한 약층 형성은 수온이 높은 표층수와 수온이 낮은 저층수 간 혼합을 막아 저층의 빈산소 수괴 발생 등의 해양학적 특성을 초래하게 된다.

해수면 상승은 수평적(위도상)으로 해수온 상승과 동시에 나타나게 되는 한편, 수직적(수심)으로도 강한 수온약층(성층화)을 초래하여 상·하층수간 혼합을 저해하게 된다. 이것은 수평적으로 대기의 흐름을 바꾸어 홍수와 가뭄의 이상 기후현상이 빈번하게 초래하고 있는 것으로 알려져 있다. 또한 수직적으로는 수직 혼합을 저해하여 해양 저층 수괴의 부영양화와 빈산소화를 만들기도 한다. 이것은 더 나아가 적조발생을 초래하기도 하고 빈산소 수괴를 만듦으로써 수산자원의 산란지, 서식지를 황폐화하고 어업활동을 크게 위축시키는 등 해양 생태계 뿐만 아니라 인간의 경제활동에도 막대한 악영향을 미친다.

2) 해양산성화 변동

현 해양표층수는 약알칼리성이고 보통 평균 pH 8.1 정도인데, 온실가스의 배출이 증가하면서 이산화탄소가 바다로 이동하여 해수로 용해되면 pH 정도가 낮아지게 되는데, 이를 해양산성화(Ocean Acidification)라 한다. 즉, 해양 표층수의 pH가 중성인 pH=7보다 높아지는 것을 의미¹⁰⁾한다.

해수에 용해된 이산화탄소는 물 분자(H₂O)와 반응하여 중탄산염(HCO₃⁻)과 수소이온(H⁺)을 만들고 중탄산염은 다시 탄산염(CO₃²⁻)과 수소이온을 만들고 탄산염이 칼슘(Ca²⁺)과 결합하여 산호나 요각류 등이 생존에 필요한 탄산칼슘(CaCO₃)골격을 만드는데 활용되며, 이러한 현

10) 박수진 외, 『해양수산 분야 기후변화 적응정책 개선 연구』, 한국해양수산개발원, 2014, p. 26.

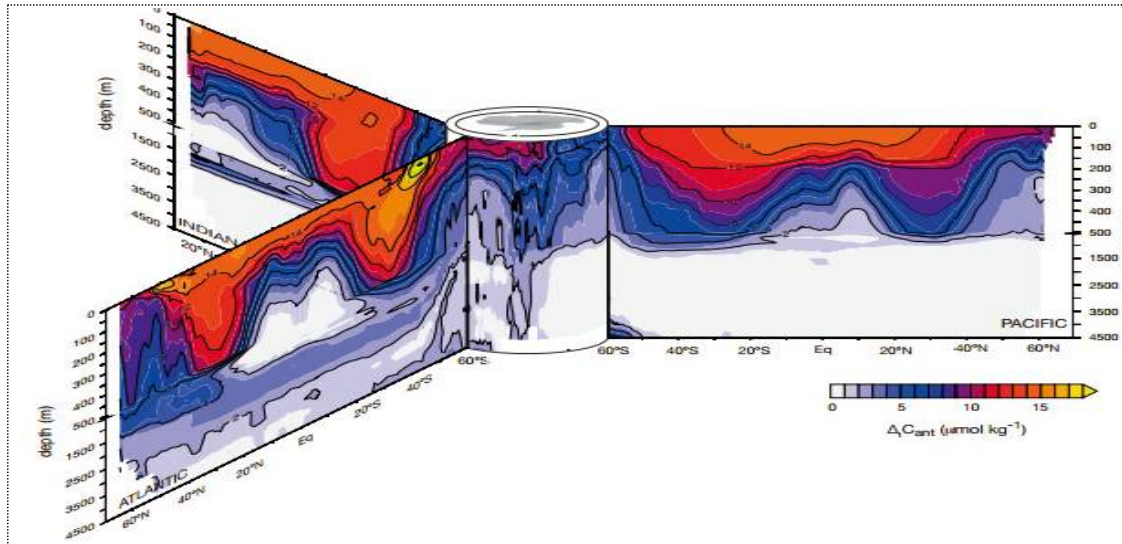
상은 대기-해양간 이산화탄소 농도 평형을 유지하려는 화학적 균형 기작에 따라 역방향으로도 발생하게 된다. 통상 대기 중의 이산화탄소 농도가 증가하면 해양으로 용해되는 이산화탄소의 농도도 증가하게 되며, 해수 중 탄산 농도 평형이 이동하면 탄산칼슘의 형성이 어려워지게 되어 탄산칼슘으로 골격을 형성하는 산호, 요각류 등의 생존에 막대한 영향을 미치게 되는 등 해양의 화학적 완충능력(buffer)이 저하되는 것을 알 수 있다.

지구상 인간활동으로 인해 발생한 이산화탄소의 증가로 야기되는 해양IPCC가 2018년에 발간한 「지구온난화 1.5℃ 정책결정자를 위한 요약본(Global Warming of 1.5℃ - Summary for Policy makers)」에 따르면, 인간활동은 0.8℃에서 1.2℃ 범위로 산업화 이전 수준 대비 약 1.0℃의 지구온난화를 유발한 것으로 추정하였다. 이러한 온난화는 이산화탄소 배출이 상당 비중을 차지하게 되며, 해수는 이러한 이산화탄소와 화학적 결합을 통해 흡수하는 기작을 갖고 있다. 다양한 관측 자료와 모델 결과에 따르면 대기 중 이산화탄소 농도가 증가하게 되면, 대기 중 이산화탄소의 해양 흡수 속도도 계속 강화하게 되고 최근 20년간 총 인위적인 배출의 약 20~30%가 해양에 흡수된 것으로 보고되었다. 특히 전 세계 해양 탄소 흡수에 영향을 크게 주고 있는 남극해에서의 해양 탄소 흡수원은 최근 10년 사이 역동적으로 증가하고 있다는 증거가 나타나고 있다.

해양이 지속적으로 탄소를 흡수한다는 것은 해양산성화가 높아진다는 것을 의미한다. 대양에서 표층 해수의 보통 pH는 8.0~8.2 수준으로 약알칼리성을 나타내지만, 지난 15년 이상 지속적으로 증가하고 있으며, 각 시계열 관측결과를 통해 살펴보면, 1980년대 이후부터 10년당 0.017~0.027의 범위로 산성화가 진행되고 있음이 관측되었다. 인간의 활동에 따른 인위적인 해수의 pH 변화는 1950년 이후 3/4에 해당하는 해양 표층에서 그 위험이 커지는 것으로 나타나고 있으며, 전 세계 해양의 약 95%에서 이미 영향을 받고 있는 것으로 관측되었다. 이와 같은 해수의 pH 변화는 용승 해역과 고위도 해양을 중심으로 탄산 이온

농도의 감소(PH 저하)로 인한 탄산칼슘 형태로 나타나 미네랄 형태의 안정성을 감소시키고 있다.

<그림 3-1-4 대양별 인위적 CO₂ 변화에 의한 연직 분포 경향(1994~2007)>



출처 : IPCC SROCC(2019)

2006~2015년에 비하여 2081~2100년까지 RCP 2.6과 RCP 8.5 시나리오에서 해양 표층의 pH가 각각 0.036~0.042 및 0.287~0.29 만큼 감소할 것이 거의 확실하다. 이러한 pH의 변화는 북극해 및 남극해뿐만 아니라, 북태평양과 북서부 태평양에서 주요 탄산염 형태의 탄산칼슘에 대한 부식을 유발할 가능성이 RCP 8.5 시나리오 상에서 매우 가능성이 높지만, 이와 같은 변화는 RCP 2.6에서는 피해갈 가능성이 있다. RCP 8.5 시나리오에서 2000년에 비해 수소 이온 농도의 계절주기 진폭이 2100년까지 71~90%까지 증가할 가능성이 높아짐에 따라 특히 고위도 해역에서 산성화 조건에 대한 계절적 노출 증가의 증거가 늘어나고 있다.

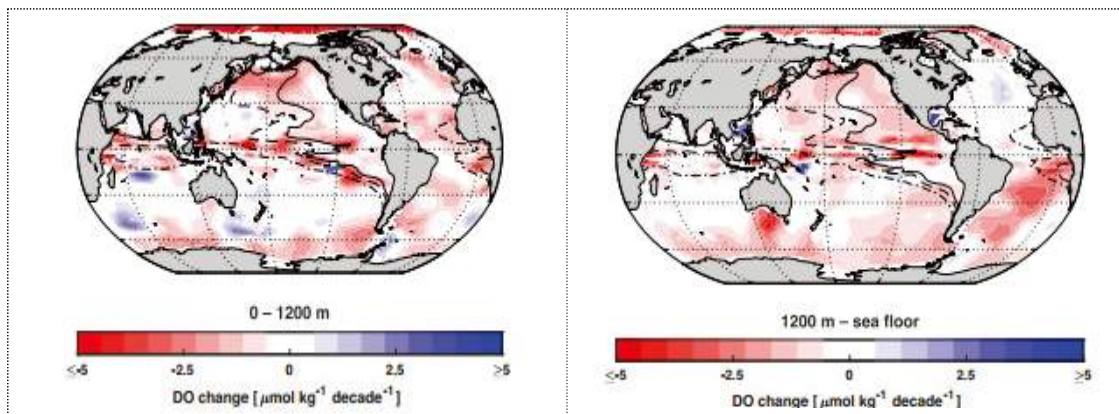
3) 용존산소 변동

해양생물은 모두 호흡을 통해 삶을 영위하며, 해수에 용해된 산소를 이용하고 있다. 용존산소는 대기와 해양 사이를 이동하지만, 그렇다고 모든 해양에 걸쳐 균일하게 분포하지 않는다. 해수 중 용존산소는 광

범위하게는 수온에 영향을 미치는 수평(위도)적으로, 그리고 수직적(수심)으로 그 농도를 달리하며, 국지적으로는 해수 유동과 관련된 지형이나 용해도에 영향을 미치는 염분 농도에 따라서도 차이가 나는 등 시공간적으로 변화한다는 해양학적 특징을 갖는다.

IPCC SROCC(2019)에 따르면, 지난 40년간(1960년~2010년) 해양 표층부터 1,000m 수심까지 약 0.5~3.3%의 산소 감소 양상이 나타난다고 지적하고 있다. 특히, 지구 온난화로 인한 산소 감소는 해양의 물리(수온·해수유동 등) 및 생지화학(생물호흡·염분·이산화탄소 농도 등)과 관련된 다른 과정에 의해 가중되고 있으며, 이는 관측된 용존산소 감소의 주요 원인으로 작용하고 있다. 특히, 수온이 높을수록 대기 중 산소가 해수에 용해되는 정도는 감소하게 되는데, 수온이 높은 열대 해역에서는 용존산소 최소 해역(Oxygen minimum zones)이 3~8% 범위로 확장되고 있다. 그리고 열대 지역의 인간 활동에 따른 전체 산소 감소의 속성이 미치는 영향에 의해서 10년 단위로 변동이 크게 나타나고 있는 것으로 나타났다.

<그림 3-1-5 용존산소의 절대적 감소 경향(1960~2010)>



출처 : IPCC SROCC(2019)

해양에서의 용존산소는 향후 더욱 감소할 것으로 예상된다. 전 세계적으로 해양의 산소 함량은 2006~2015년 대비 2081~2100년까지 RCP 8.5 시나리오에서 약 3.2~3.7%, RCP 2.6 시나리오에서 약 1.6~2.0% 감소할 가능성이 매우 높은 것으로 보고 있다. 산소 최소 해역의 부피는

1850~1900년에 대비하여 2100년에는 RCP 8.5 시나리오에서 약 $7.0 \pm 5.6\%$ 범위로 증가할 것으로 예상된다. RCP 8.5 시나리오에서 산소 감소의 기후적 신호는 매우 위험한 상황을 맞게 될 것으로 예상되며, 2031~2050년에는 전체 해역의 59~80%가 2081~2100년에는 79~91%가 이에 대한 영향을 받을 것으로 예상된다.

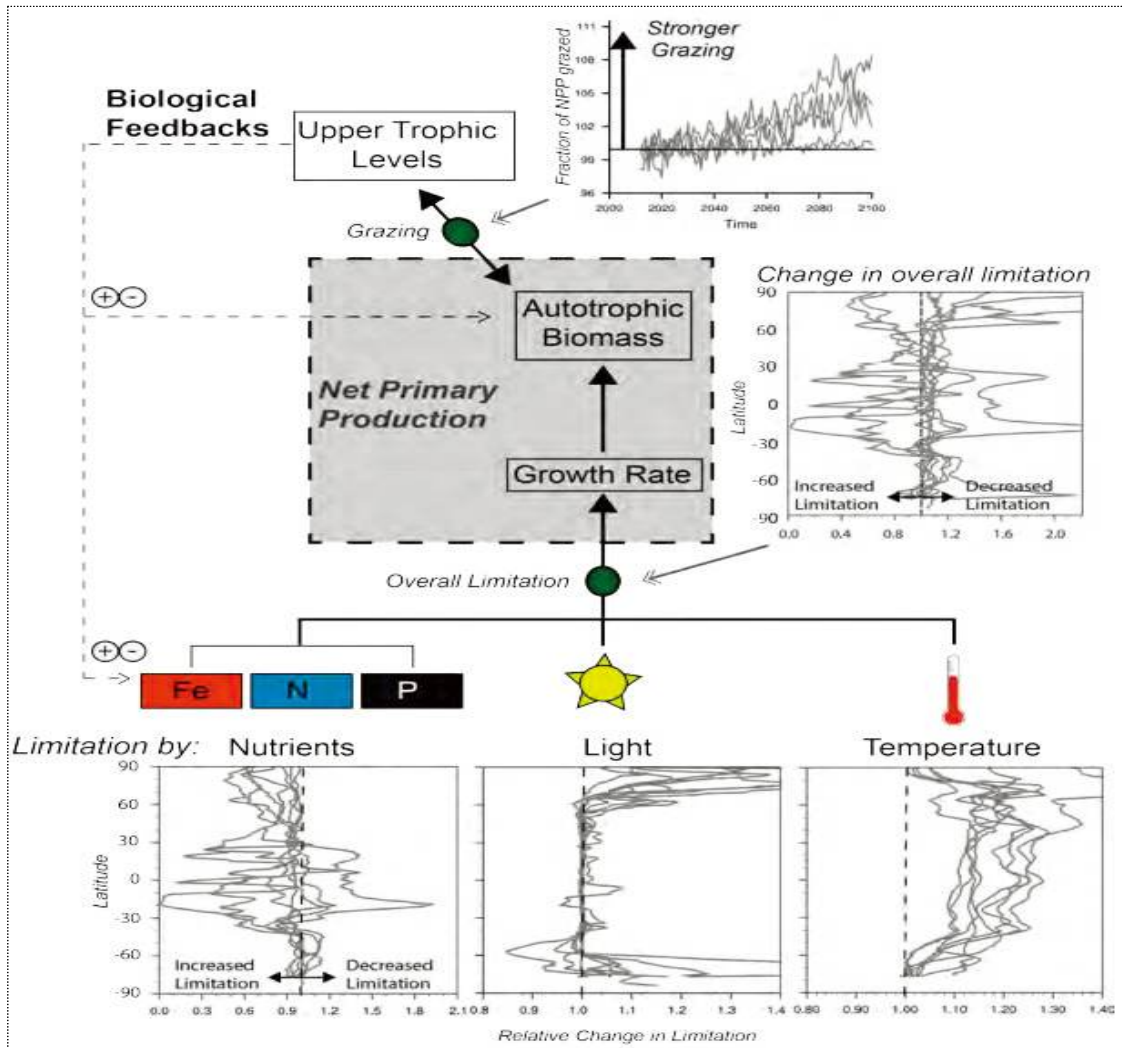
산소 감소의 위험성은 RCP 2.6 시나리오에서 21세기 내에 공간적으로 발생률이 훨씬 감소되며, 2090년에 위험 해역의 감소 추세가 나타날 수 있다. 전반적으로 전 세계 해양의 성층 강화로 인하여 CMIP5 결과에 따르면 2006~2015년에 비하여 2081~2100년에 표층 100m에서 질산염의 농도가 9~14% 감소할 가능성이 매우 높을 것으로 판단된다.

4) 해양의 생물학적 변화

대기의 이상변화와 해양의 수온 변화는 해양생물의 성장과 번식, 분포와 이동에 막대한 영향을 미친다. 해양생물 대부분이 수온에 의해 신진대사가 변화하는 변온동물이 많으며, 부유생물의 경우 부유생활에 영향을 미치는 해수의 밀도가 수온에 영향을 받으므로, 직간접적으로 수온이 미치는 영향을 다양하고 상당하다 할 것이다.

우선 수온 상승은 해양의 표층과 저층간 약층을 강화하면서, 해양생물의 수직적 분포와 이동에 영향을 미치게 된다. 특히, 표층의 식물성 플랑크톤이 번성하기 위해서는 저층의 영양염류가 빛이 풍부한 표층으로 공급되어야 하는데, 수온약층이 강할수록 영양염류 이동이 제한되게 되므로 기초생산력을 저하 시키게 된다. 동물성플랑크톤 또한 일일 또는 계절적 수직 이동을 제한하게 될 수 있다. 즉, 이러한 기초생산력의 쇠퇴는 먹이망 상의 생태계 활력도를 저하시키고 전체 생물생산력도 낮추는 영향을 미치게 된다. 하지만, 이러한 맥락을 어느정도 파악되고 있더라도, 현장 관측 자료 및 시계열 자료 부족과 함께 위성 관측에서 얻어진 결과 등을 통해서 과거의 해양 생산성 경향을 평가하는 데는 아직 신뢰도가 낮은 상태라는 점도 유의할 필요가 있다.

<그림 3-1-6 영양염·빛·수온과 순 기초생산력간 관계 모식도>



출처 : IPCC SROCC(2019)

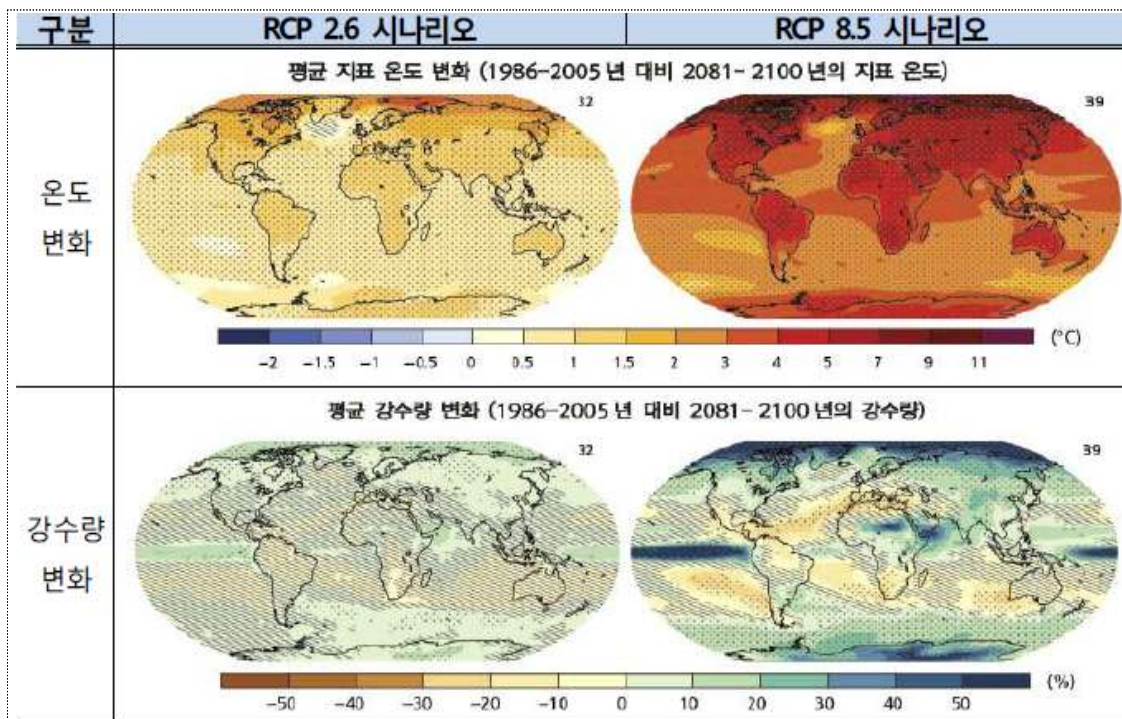
다음으로, 수온 상승은 지역 생태계 내의 생물간 포식-피식 관계나 생활공간 경쟁, 공생 등 다양한 변동을 초래할 수 있다. 예를들어, 해양 온난화에 따른 열대성 종들의 고위도 확장은 일부 산호초, 암초지대의 부착생물 서식지 및 표층 생태계에서의 먹이장 확대로 나타나면서 생태계 변화를 가져오고 있다. 대기의 이상변화, 해수면 상승, 수온 상승 등에서 비롯된 영향은 하구역에서도 퇴적물과 영양염류 증가로 연계되어 염분 증가나 산소 감소에도 기여하게 되어 저서 생물의 분포와 이동 등의 변화를 초래하고 있다.

아울러, 해양 온난화에 의하여 식물플랑크톤에서 대형 해양 포유류에 이르는 해양생물들의 지리적 분포 변화가 관측되고 있으며, 어떤 경우에는 군집 구조의 조성 및 해양생물 간의 상호 작용에도 영향을 주는 것으로 알려져 있다. 1950년대 이후 관측된 해양 생물의 이동 범위는 표층부에서는 약 51.5 ± 33.3 km/decade, 저서부에서는 약 29.0 ± 15.5 km/decade로 추정되고 있다. 표층부 해양생물의 이동 방향은 온난화에 대한 반응과 매우 일치함을 확인할 수 있다.

5) 전반적인 경향

IPCC는 지구온난화가 현재 속도로 지속된다면 2030년에서 2052년 사이에 1.5°C 상승에 도달할 가능성이 높은 것으로¹¹⁾ 보고 있으며, 21세기 후반(2081~2100년)에는 RCP 보고서에 따르면, 지구 평균 표면 온도가 0.3°C~4.8°C까지 상승할 것으로 예측하고 있다.

<그림 3-1-7 IPCC RCP 시나리오>

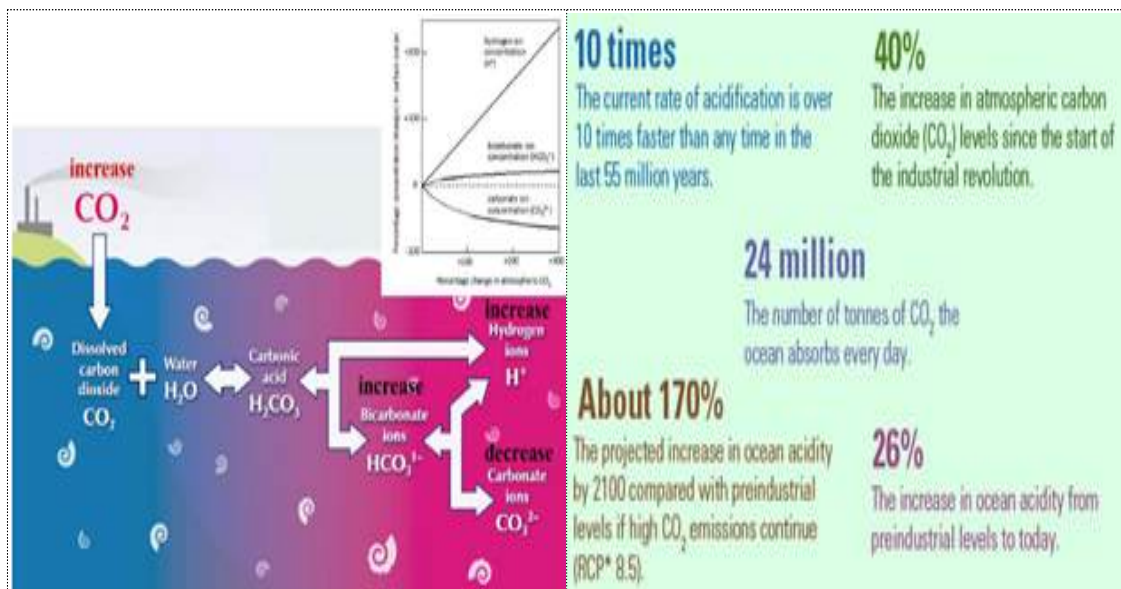


출처 : 관계부처 합동(2019), 제2차 기후현화대응 기본계획, p. 12.

11) IPCC(2018), 「지구온난화 1.5°C 정책결정자를 위한 요약본」

다만, IPCC는 '제5차 특별보고서'에서 현재까지 제출된 국가별 감축 목표를 반영할 경우에는 산업화 이전 대비 2030~2052년간 1.5°C를 초과, 2100년 3°C 상승할 것으로 예상¹²⁾하였으며, 지난 133년간(1880~2012년) 지구 평균 기온은 0.85°C 상승하였으며 북극지방 평균온도는 지구 평균보다 약 2배 이상 증가할 것으로 예측하고 있다. 또한 1970년 이후 온실가스 농도가 크게 증가하였으며, 2002~2011년 사이, 이산화탄소 농도 증가율(약 2ppm/년)이 관측 이래 가장 높은 것으로 나타났다. 아울러, 1750~2011년 간, 인위적인 복사 강제력을 온난화 효과로 환산할 경우에는 약 2.3 W/m² 수준으로, 이 기간 약 2,040억 톤의 이산화탄소가 인위적으로 배출된 것으로 추정되었다.¹³⁾

<그림 3-1-8 해양산성화의 구조 및 영향>



출처 : UNEP/CBD/COP/DEC/XII/20

1970년 이후에 전 지구 온실가스 농도는 크게 증가하고 있으며, 2002~2011년 이산화탄소 농도 증가율(약 2ppm/년)도 관측 이래 가장 높아져 오고 있으며, 1750~2011년 인위적인 복사강제력을 온난화 효과로 계산할 경우에는 약 2.3 W/m² 수준이고 1750~2011년간 약 2,040억 톤의 이산화탄소가 인위적으로 배출¹⁴⁾된 것으로 보고 있다. 이러한 이산

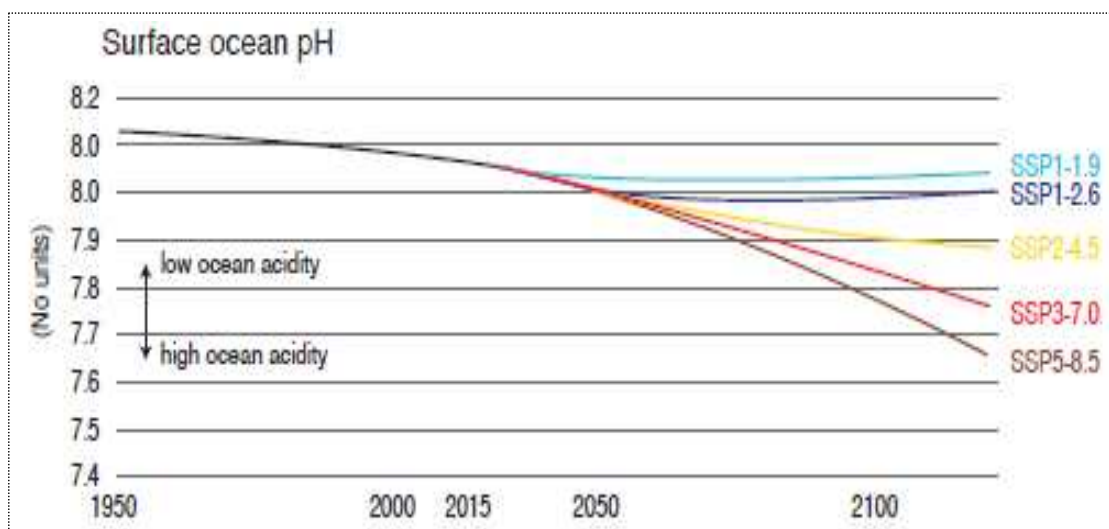
12) 관계부처 합동(2019), 『제2차 기후변화 대응 기본계획』, p. 12.

13) 관계부처 합동(2019), p. 9.

14) 관계부처 합동(2019), p. 9.

화탄소 증가로 1968~2004년간 전 지구 해양의 수소이온농도(pH)는 매년 1~2% 감소하여 해양산성화가 진행되고 있는데, 이는 산호초 생성 능력 및 해양 생태계의 1차 생산력 감소시켜 도서국가의 경우 '50년까지 해양산성화로 인해 어업생산량이 20% 감소할 것으로 예상하고 있다. 특히, IPCC는 1.5°C 지구온난화에서 이산화탄소 농도 증가로 인한 해양산성화는 온난화의 악영향을 증폭시키고, 2°C에서는 더욱 심화되어 해조류에서 어류에 이르기까지 광범위한 해양생물의 성장, 발달, 석회화, 생물종의 생존 및 풍부도에도 영향을 미칠 것으로 전망하였다.

<그림 3-1-9 지구 해양표면 pH 변화에 대한 각 시나리오별 변화 전망>



출처: IPCC(2021)

또한 해양은 대기 중의 이산화탄소를 연간 약 24~34억 톤 흡수함으로써, 지구온난화의 완충장치, 기후조절자로서의 역할을 담당하고 있으나, 해양산성화가 지속되고 있는데, 그 원인은 대기오염물질 및 이산화탄소의 해양유입 증가 등과 밀접하게 관련되어있으며, IPCC는 공통사회 경제경로(Shared Socioeconomic Pathway, SSP) 시나리오를 통해 21세기 동안 해양온난화가 현재(1971~2018년 평균) 대비 2~4배(SSP1-2.6)에서 4~8배(SSP5-8.5) 빠르게 진행될 것이며, 해양 상층부의 성층화, 해양산성화 및 해양 탈산소화(Deoxygenation)가 21세기 내내 증가할 것으로 보고하고 있다.

앞서 살펴본 바와 같이 대기의 이상변화에 의하여 전 세계 해양은 물리적, 생지화학적, 생물학적 변화를 인식할 수 있으며, 더 나아가 이러한 연쇄적 변동은 수산업에도 많은 영향을 미칠 것으로 예상해 볼 수 있다. 즉, 이를 종합하면 지구의 기온이 상승하여 수온도 상승할 것이며, 이상 고수온 발생 빈도가 급격히 증가하여 해수의 열용량도 증가할 것이다. 이로 인해 남극, 그린란드 등 빙권의 빙하 질량을 감소시켜 결과적으로 지구상 얼음 면적과 눈 덮임 면적도 감소시킬 것이다.

또한, 대기 중 이산화탄소 증가는 표층 해수의 수소이온농도(pH)를 낮춰 약알칼리성인 해수의 산성화를 가속화할 것이며, 수온이 높을수록 용해도가 낮아지는 산소의 해수 내 농도도 급격히 감소시키게 될 것이다. 이러한 상황에서 수온이 높아진 표층은 밀도가 낮아져 밀도가 큰 저층수와 성층화를 강력하게 형성하면서 저층에 풍부한 영양염의 표층 공급이 크게 감소하게 된다. 이것은 다시 표층의 기초생산을 제한하게 되어 해양 생태계 내 생물생산력을 쇠퇴시키는 것으로 연결되게 된다. 이뿐만 아니라 해양생물의 분포와 이동에도 영향을 미치게 되어 수산업에도 악영향을 받아 전체적으로 최대 잠재 어획량에도 부정적 영향을 미치게 된다.

결과적으로, 앞으로 해양 온난화 및 산성화가 수산업 기반의 지역경제 공동체에 미치는 영향을 종합적으로 살펴보고 그 영향을 최소화하는 한편, 새로운 환경에 적응해 나갈 수 있는 방안을 마련하여 실천해 나가는 것이 중요한 시점이 되고 있다.

2. 우리나라 인근 해역의 기후-해양 변화 동향

1) 개요

우리나라는 태평양 북서부에 위치하고 있으며, 대기의 이상변화뿐만 아니라 적도해류-쿠로시오해류 등 난류와 오야시오 한류가 만나는 지형학적 특징을 갖고 있으며, 이러한 해류의 발달과 쇠퇴에 의해 생활

적 측면뿐만 아니라 수산업 등 경제적 측면에서도 많은 영향을 받고 있다.

우리나라 인근 해역은 해류와 지형 등 해양학적 요인을 기준으로 크게 동해, 남해, 서해로 구분할 수 있다. 동해는 수심이 깊고 동한 난류와 북한 한류가 만나 조경역을 이루고 있고 동해 남부지역까지 심해 냉수층이 형성되어 그 위로 동한 난류가 흐르고 있다. 이러한 해양학적 특성으로 인해 오징어, 고등어 등 난류성 어종과 명태, 까나리 등 한류성 어종에 대한 어획 활동이 활발하게 이뤄지고 있다.

남해는 대륙붕이 발달되어 있으며, 많은 크고 작은 섬들이 산재되어 있다. 주로 쿠로시오 난류의 영향을 받아 연중 온난하나, 겨울철에 서해 냉수대 확대나 여름철 중국으로부터 담수 유입으로 인한 다양한 해양학적 현상들이 나타난다. 이로 인해, 멸치, 고등어 등 난류성 어종뿐만 아니라 산란장으로서의 적지 요건을 갖춰 조기, 꽃게 등의 자원량에도 긍정적인 영향을 미치고 있다.

서해는 수심이 낮아 가장 깊은 곳도 108m에 불과하며, 중심부에는 겨울철에 형성된 냉수대가 위치하고 있다. 해류는 쿠로시오 해류의 분지류인 황해 난류의 영향을 연중 받고 있다. 주로 꽃게, 오징어 등 다양한 어종에 대한 어획활동이 연중 이뤄지고 있다.

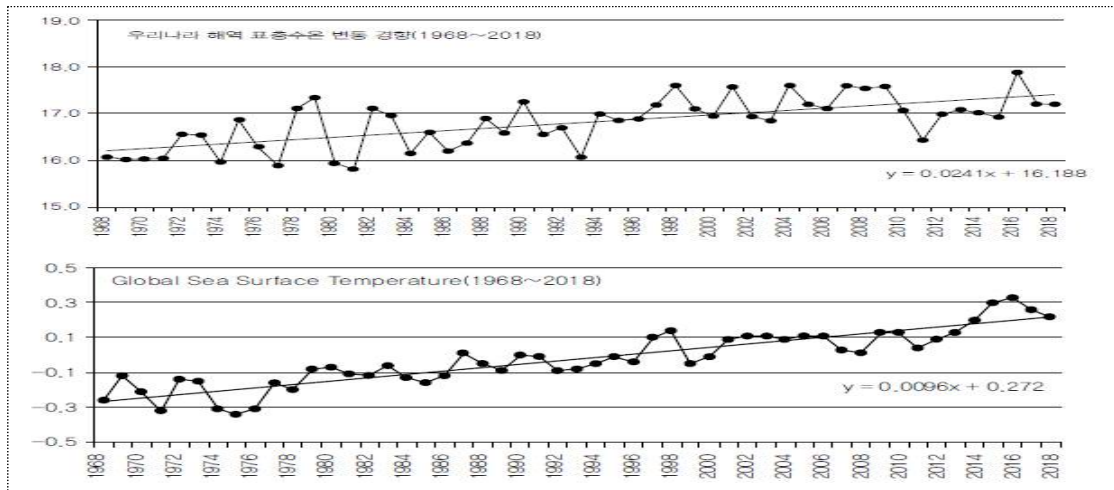
2) 수온의 장기 변동 동향

최근 51년간(1968~2018년) 우리나라 연근해 연평균 표층수온의 변동 경향을 살펴보면, 1.23℃ 상승하였으며 매년 0.0241℃ 상승하는 양상을 나타내어 같은 기간 전 세계 연평균 표층 수온 상승률(0.49℃/51yrs, 0.0096℃/yr)의 2.5배 내외로 나타나 높은 수준임을 알 수 있었다.

해역별로 살펴보면 동해의 연평균 표층수온 상승률이 가장 높아 최근 51년간(1968~2018년) 1.43℃ 증가한 것으로 나타난 반면, 서해는 같은

기간 1.23℃ 증가하였으며, 남해는 우리나라 해역 중 수온 상승률이 가장 낮아 같은 기간 1.03℃ 상승하는데 머물렀다.

<그림 3-2-1 우리나라(상), 전 세계(하) 표층수온 장기변동 경향(1968~2018)>



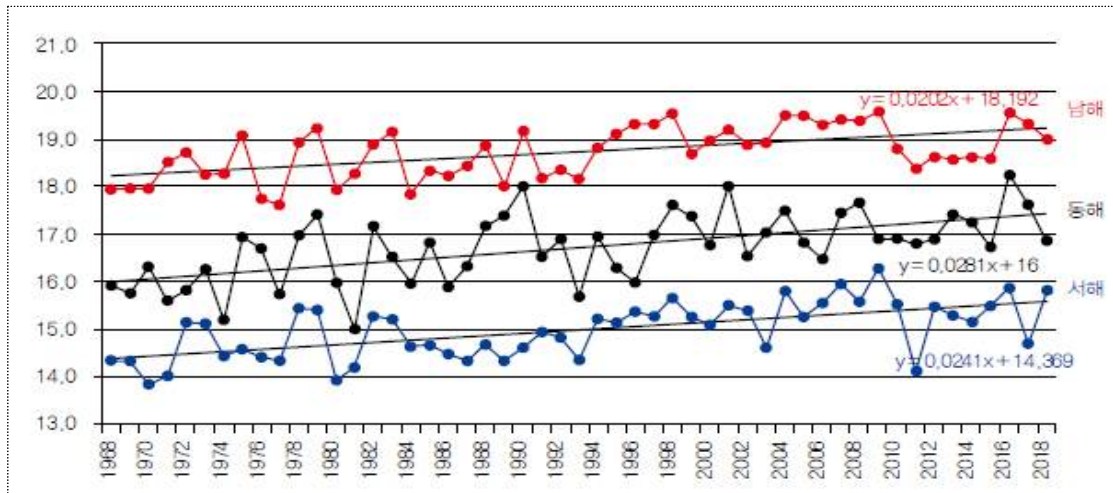
출처 : 국립수산과학원(2019), 「수산분야 기후변화 평가 백서」

이와 같이 동해가 남해나 서해에 비하여 수온 상승률이 높은 이유는 최근 50여년 사이 동해 중부 해역에 위치하고 있는 아극전선(Subpolar front)¹⁵⁾의 북상이 핵심 이유로 추정되며, 이것은 쿠로시오-대마 난류가 강해진 결과로 판단된다. 반면, 남해와 서해는 대륙붕이 발달되어 있고 크고 작은 섬들이 산재되어 있으며, 수심도 동해에 비해 얇은 지형학적 특성을 갖고 있을 뿐만 아니라 강한 조류에 의해 수온이 낮은 저층수가 표층으로 상승하는 연직혼합 현상이 연중 발생하기 때문에 수온 상승률이 낮게 나타난 것으로 추정된다.

최근 51년간 우리나라 주변 해역의 연평균 표층 수온 상승 경향을 보다 세부적인 공간으로 나눠서 살펴보면, 동해 외해역 및 서해 남부 외해역에서 수온 상승이 가장 높게 나타나 1.6℃ 이상 표층 수온이 상승한 것을 확인할 수 있다. 반면 남해 연안 및 서해 남부 연안의 수온 상승률은 매우 낮게 나타나는 특징을 보이고 있으며, 이는 조석 혹은 바람 등에 의한 강한 연직 혼합이 작용하는 해역으로 이에 대한 영향이 크게 나타나는 것으로 판단된다.

15) 쿠로시오 해류의 지류인 대마 난류와 오야시오 해류의 지류인 북한 한류가 만나 형성된 조경역

<그림 3-2-2 동서남해의 연평균 표층수온 장기변동 경향(1968~2018)>



출처 : 국립수산과학원(2019), 「수산분야 기후변화 평가 백서」

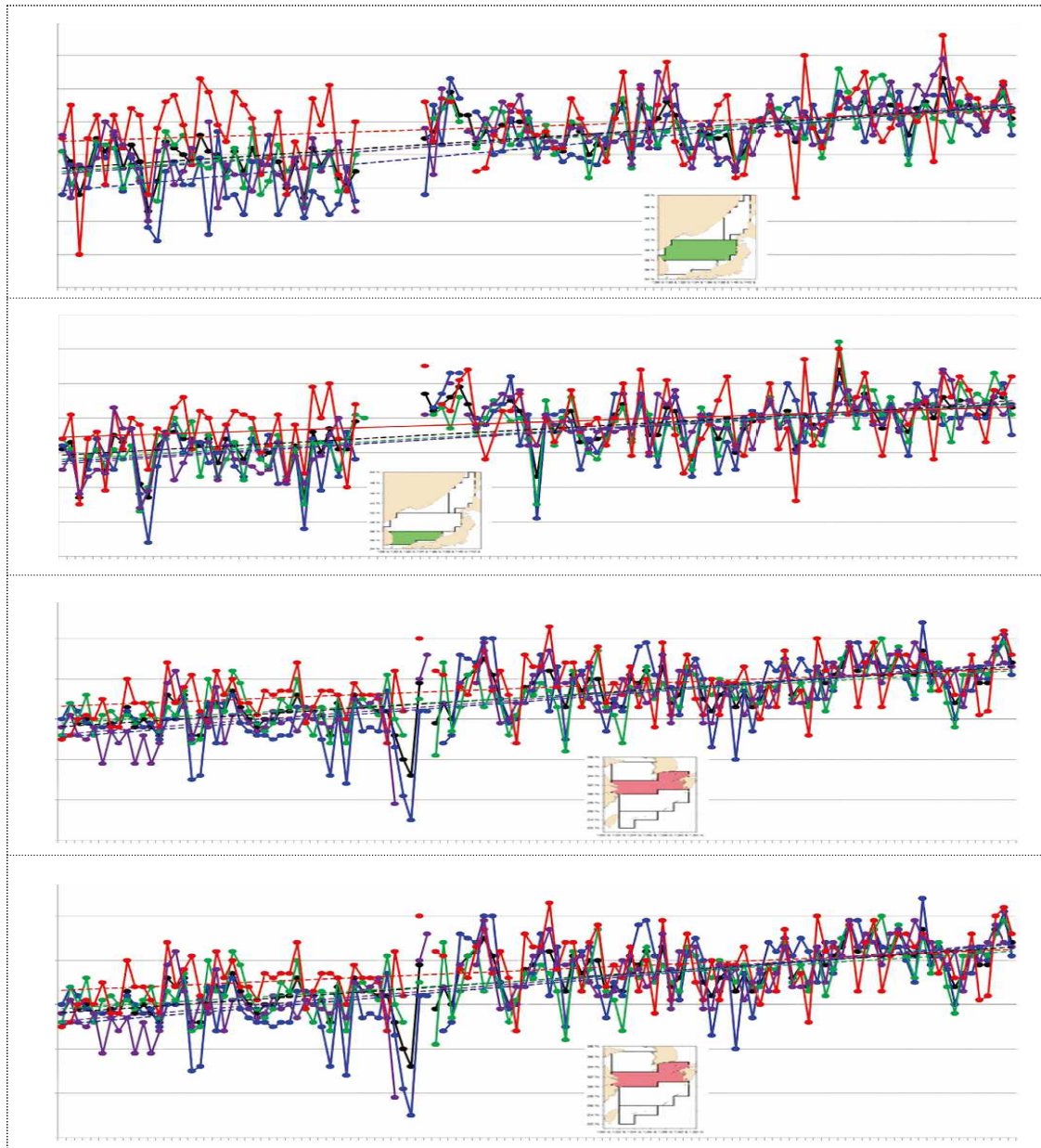
동해 중부해역의 경우, 연평균의 경우 100년을 기준으로 연평균 1.70℃ 상승하는 경향을 보였으며, 계절별로는 겨울(1~3월)이 2.28℃, 가을(10~12월)이 1.92℃, 봄(4~6월)이 1.77℃, 여름(7~9월)이 0.96℃로 겨울철 수온 상승 경향이 여름철에 비하여 두 배 이상 높은 것으로 나타났으며, 1907년 이후 연평균 해면수온이 가장 높은 다섯 해는 2010년(+1.3℃), 1998년(+0.9℃), 1953년(+0.9℃), 2017년(+0.8℃), 2008년 (+0.6℃)로 나타났다.

동해 남서부 해역은 100년을 기준으로 연평균 1.29℃ 상승하는 경향이었으며, 가을이 1.59℃, 겨울은 1.52℃, 봄은 1.39℃, 여름은 0.77℃ 상승하는 것으로 나타났다. 동해 남서부의 경우, 가을과 겨울의 수온 상승이 높았으며, 역시 여름철에 비하여 두 배 이상 높은 상승 경향을 나타내었다. 1908년 이후 연평균 해면수온이 가장 높은 다섯 해는 1998년(+1.4℃), 1954년(+0.9℃), 2016년(+0.8℃), 2001년(+0.7℃), 1975년 (+0.7℃)이다.

서해의 경우, 100년을 기준으로 연평균 1.27℃ 해면 수온이 상승하였으며, 겨울은 1.86℃, 가을이 1.28℃, 봄은 1.28℃, 여름이 0.62℃ 상승하는 경향을 나타내었다. 황해의 경우는 여름철의 수온 상승에 비하여

겨울의 수온 상승이 3배 내외 높은 특색을 나타내었다. 1900년 이후 연평균 해면수온이 가장 높은 다섯 해는 1997년(+1.0℃), 2017년(+0.8℃), 1948년(+0.8℃), 1998년(+0.6℃), 1961년(+0.6℃) 이다.

<그림 3-2-3 동해 중부/남서부, 황해, 동중국해역의 장기 수온 변동 경향>



출처 : 국립수산과학원(2019), 「수산분야 기후변화 평가 백서」

동중국해 북부해역은 100년 기준으로 1.23℃ 상승하는 경향을 나타내었으며, 겨울은 1.54℃, 가을이 1.51℃, 봄은 1.06℃, 여름은 0.76℃ 상

승하였다. 동중국해 북부해역 역시 여름에 비하여 겨울 혹은 가을의 수온 상승률이 두 배 이상 높게 나타났다. 1900년 이후 연평균 해면수온이 가장 높은 다섯 해는 2017년(+0.9°C), 1998년(+0.9°C), 2016년(+0.7°C), 2007년(+0.7°C), 2001년(+0.7°C)이다.

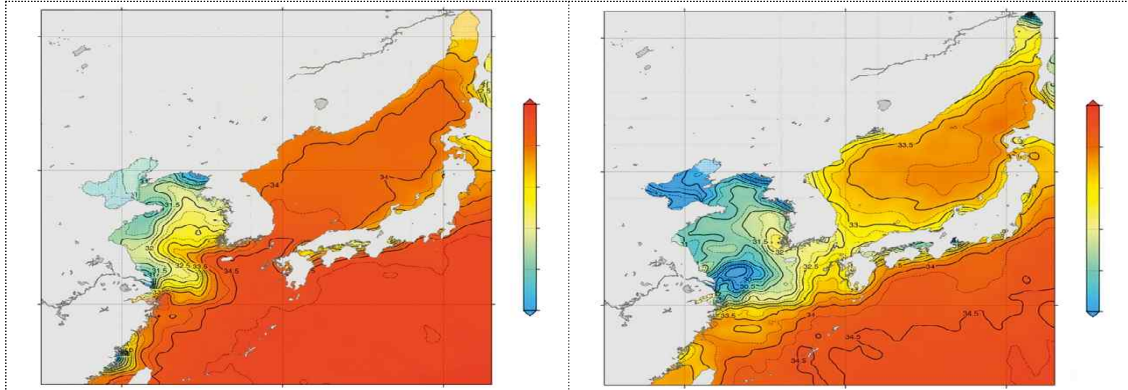
4개 해역의 100년 이상 해수온 상승 경향에 대한 연평균 및 계절별 특성을 살펴보면, 우리나라 주변 해역의 경우 저위도에서 고위도로 올라갈수록 수온 상승률이 높은 특징을 보이고 있다. 여름에 비하여 겨울의 수온 상승 경향이 두 배에서 3.5배까지 높은 특징을 보이고 있어, 우리나라 주변해역의 장기 해면수온 상승 경향은 겨울/가을철 수온 상승이 지배적으로 나타나고 있다. 같은 데이터(COBE-SST)로 분석한 전세계 해수면 수온의 평균 상승률 0.54°C/100년, 북태평양 해면수온의 평균 상승률 0.51°C/100년에 비하여 동해 중부해역의 경우 3배 이상, 그 외 동해 남서부해역, 황해 및 동중국해 북부해역의 경우는 2배 이상 높은 경향을 나타낸 것으로 파악되었다.

또한 110년 이상의 관측기간 중의 각 해역별로 가장 높은 연평균 해수면 수온을 나타낸 다섯 해를 분석한 결과, 2000년 이후 가장 높은 연평균 수온의 상위 다섯 해에 포함된 숫자는 동해 중부 해역이 3년(2008, 2010, 2017년), 동해 남서부 해역이 2년(2001, 2016년), 황해 해역이 1년(2017년), 동중국해 북부해역이 4년(2001, 2007, 2016, 2017년)으로 나타나 최근 20여년 사이 우리나라 주변해역의 해수면 수온이 높은 해가 집중적으로 분포하고 있음을 확인할 수 있었다.

3) 염분

염분은 해수를 담수와 구분하게 하는 성분으로 1kg의 물속에 녹아있는 염의 양(g)을 나타낸다. 그리고 수온과 함께 해수의 밀도를 결정하고 특히, 극지 해양의 열염순환을 만드는 중요한 해양환경 요인이다. 뿐만 아니라, 해양생물의 생리적 균형과 관련된 삼투현상이나 부유생물의 부유력을 좌우함으로써 해양생태계에도 막대한 영향을 미친다.

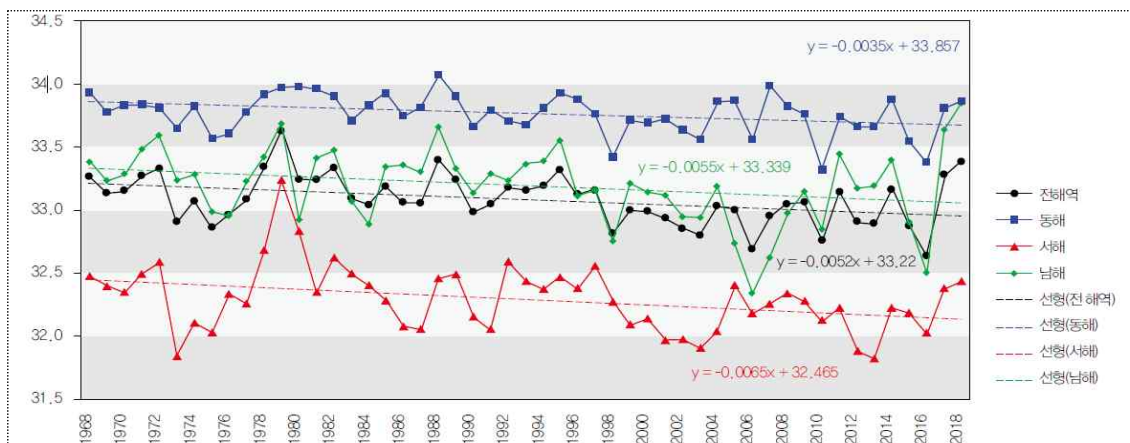
<그림 3-2-4 동아시아 표층 염분 기후장 (좌) 겨울철, (우) 여름철>



출처 : 수산과학원(2019), 「수산분야 기후변화 영향 및 보고서」

국립수산과학원은 미국 해양대기청(NOAA)과 협력하여 우리나라 인근 해역의 겨울철과 여름철 표층 염분 장기 평균 분포도(염분 기후장)를 조사하여 계절별 염분 분포 특성을 확인하였다. 여름철은 일반적으로 겨울철에 비해 강수량이 급증하여 하천을 통한 담수 유입이 증가하는 등 전체적으로 표층 염분이 감소하는 특징을 보여준다. 특히, 수심이 낮고 반폐쇄성 해역으로 육지의 영향을 많이 받는 서해와 발해만 등은 계절과 무관하게 북서태평양에 비해 상대적으로 저염의 특성이 나타난다. 더 나아가 여름철에는 발해만 및 서해의 저염화가 강화되며 중국의 장강 저염수 확장에 의해 서해 남부와 동중국해 북부뿐만 아니라, 그 영향이 동해까지 나타난다는 것을 알 수 있다.

<그림 3-2-5 우리나라 주변해역 연평균 표층염분 변동 경향(1968~2018)>

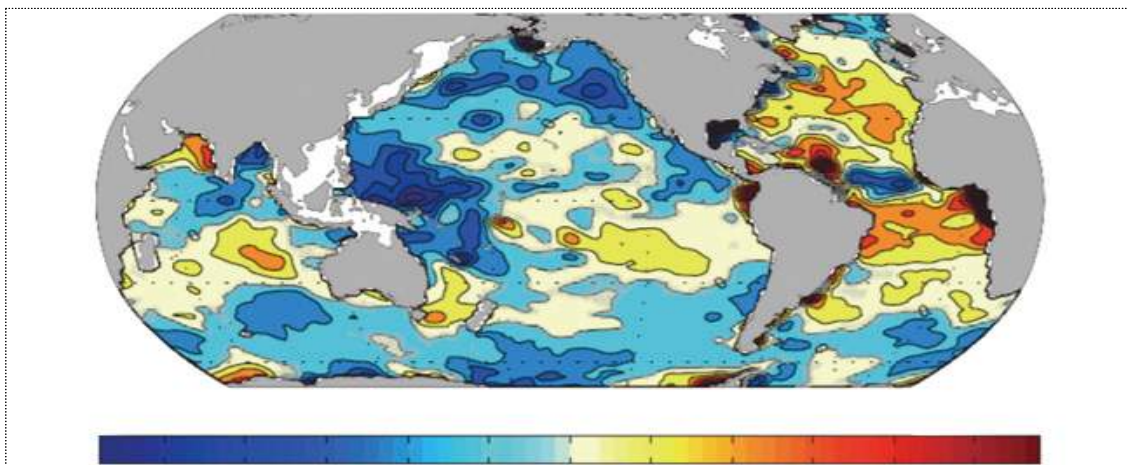


출처 : 국립수산과학원(2019), 「수산분야 기후변화 평가 백서」

국립수산과학원은 1960년대부터 우리나라 인근 해역의 수온과 염분 변화를 모니터링해 오고 있는데, 이로부터 염분의 장기 변동을 계산하여 기후변화의 영향을 파악하였다.

염분의 장기 변동을 분석하면 지난 1968~2018년까지 51년간 동해는 약 0.18 psu, 서해는 약 0.33psu, 남해는 약 0.28 psu, 전해역은 약 0.27 psu가 감소하였다. 이러한 저염화 경향은 전 세계적인 증발(E)-강수(P) 값의 감소에 따른 표층 염분 저염화 경향¹⁶⁾과 일치하고, 특히 북서태평양의 염분 변화 값과 유사한 경향을 보였다.

<그림 3-2-6 전 지구 해양 표층 염분변화(1950~2008)>



출처 : IPCC AR5 WG1 보고서(2013)

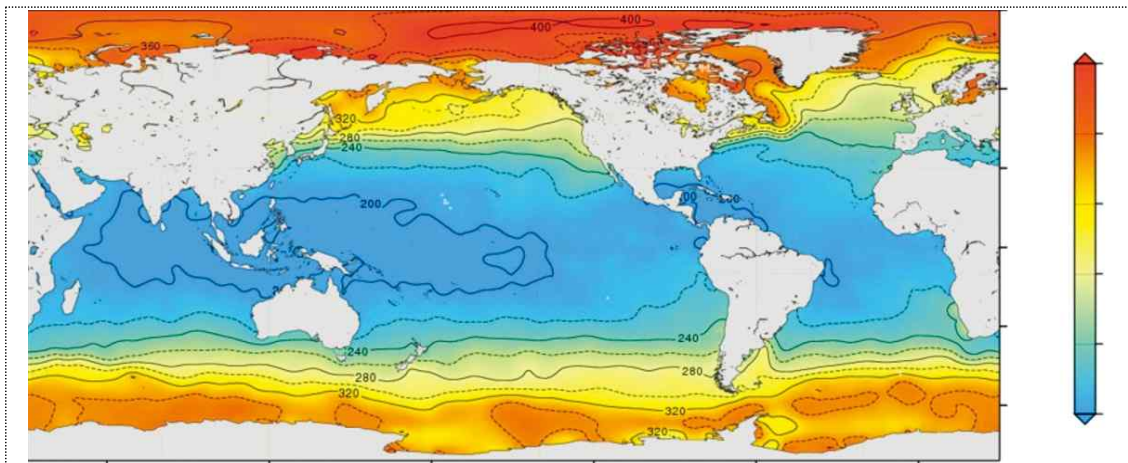
4) 용존산소

해수 중의 용존산소는 해양-대기 간 산소 농도(포화도)의 차이에 따라 대기 중으로 산소가 공급되기도 하고 대기에서 해수 중으로 용해되기도 한다. 보통 대기 중으로의 산소 공급은 식물플랑크톤 및 해조류 등의 광합성에 의한 산소 생산이며, 반대로 대기에서 해수로의 산소 공급은 수중생물의 호흡에 의한 소비 및 유기물의 산화과정 등을 통해 산소 포화도가 낮아질 때 조절 된다.

16) 염분도는 증발량과 강수량간 차이에 따라 변동

수온은 기체의 해수 용해도를 결정하는데, 수온이 높아질수록 포화도가 높아져 용해도가 낮아지게 된다는 물리적 특성이 있다. 우리나라 인근 해역의 용존산소 분포는 대체적으로 등수온선 분포와 유사하게 나타난다는 것을 확인할 수 있고¹⁷⁾, 수온이 상대적으로 낮은 고위도 해역은 용존산소 농도가 높게, 수온이 높은 저위도 해역은 용존산소가 낮게 나타난다는 것을 알 수 있다. 즉, 온도가 상승하면 산소의 포화용해도가 감소하고, 온도가 하강하면 포화용해도가 증가한다는 일반적인 과학 원리와 일치하는 패턴을 보여준다.

<그림 3-2-7 전지구 표층 용존산소 기후값 분포>

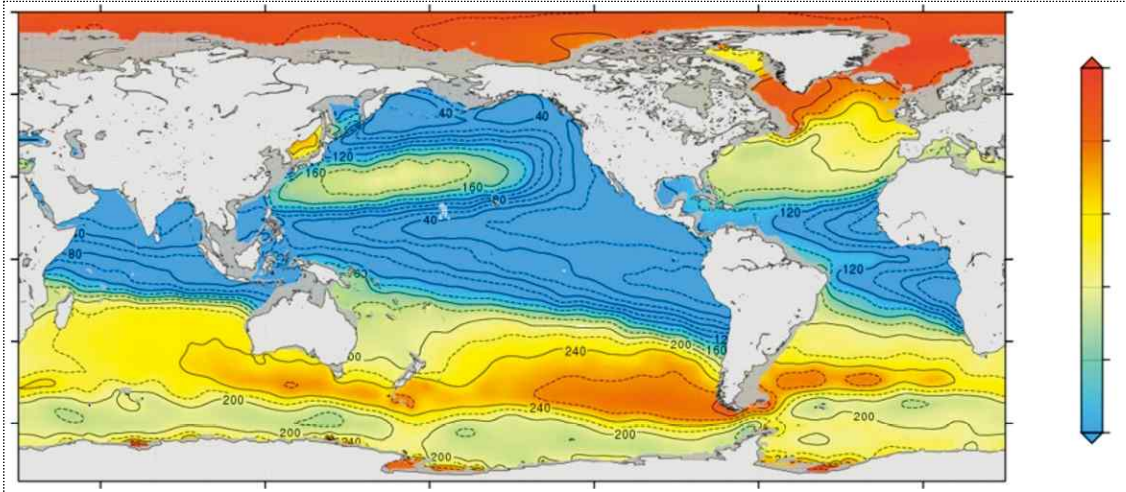


출처 : 미국 NOAA/NCEI

이와 다르게 대기의 영향을 직접적으로 받지 않는 수심 500m의 공간분포를 보면, 우리나라 동해에서는 독특한 산소 용해도 분포를 확인할 수 있다. 이와같이 동해 500m 수심의 산소 포화도가 같은 위도에 위치한 북태평양 해역보다 약 2배 이상 높은 이유는 겨울철 블라디보스톡 외해에서 산소 포화도가 높은 표층 해수가 냉각되어 침강하여 저층으로 퍼져나가기 때문이다. 이는 표층수가 차가워져 밀도가 높아져 침강하여 나타나는 열염순환 현상과 표층 순환이 서로 고리처럼 연결되어 만들어지는 대양의 큰 순환 고리를 일컫는 “컨베이어 벨트”와 유사한 현상과 유사하다. 비록 동해의 공간적 크기가 대양에 비해 작지만 동해에서도 존재한다는 것을 명확하게 보여주는 것이다.

17) 미국 해양대기청(NOAA)의 국가환경정보센터(NCEI)에서 제공하는 세계해양아틀라스(WOA 2018)의 용존산소 기후값(1960~2018년 평균값)의 표층 분포

<그림 3-2-8 전지구 500m 용존산소 기후값 분포>



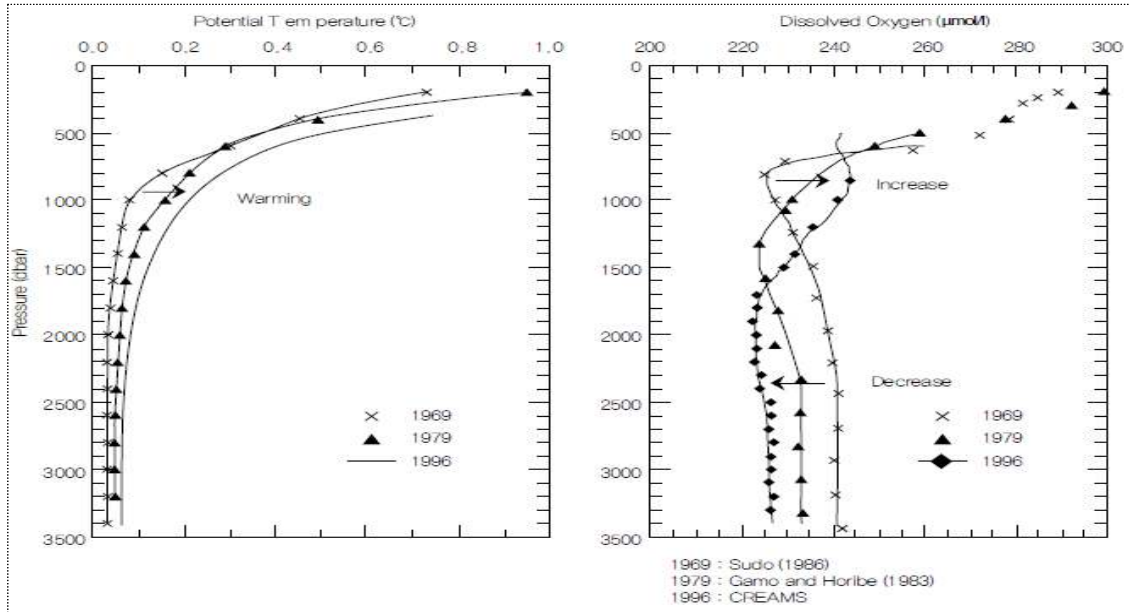
출처 : 미국 NOAA/NCEI

또한 북태평양의 일본 남동쪽에서도 상대적으로 용존산소 농도가 높은 해역이 나타나는데, 이것은 산소 용해도가 낮은 고온·고염의 쿠로시오와 산소 용해도가 높은 저온·저염의 오야시오 해류가 만나서 조경역을 이루고 이 해역에서는 수렴과 발산 현상¹⁸⁾이 활발하게 발생하게 됨에 따라 산소 용해도가 높은 저층수가 용승하기 때문이다. 이러한 현상의 주요 요인 북태평양 중북부에 위치한 중층수는 공간적으로 동중국해 남부까지 도달하고, 서안경계류의 형태로 대만 동쪽을 지나 동중국해로 유입되는 쿠로시오의 수괴 형성에 영향을 미치기도 한다. 따라서 우리나라 인근 해역의 용존산소 포화도 변화에도 영향을 미칠 수 있는 또 하나의 요인이 될 수 있다고 판단된다.

동해의 용존산소 장기 변동과 관련하여 수심 400~1,500m에 0.12~0.6℃의 수온을 갖는 동해 중앙수(ESCW)의 용존산소는 1969년 이후로 증가하는 반면 그 보다 깊은 수심에 존재하는 동해심층수(ESDW)와 동해저층수(ESBW)에서는 용존산소가 감소하고 있다고 밝혔다. 이는 지구 온난화로 인해 동해 북부 블라디보스톡 외해의 표층수 침강으로 시작되는 열염순환이 충분히 일어나지 않아, 저층까지 침강해야 하는 표층수가 중층까지만 침강하여 확산한 결과라 할 것이다.

18) 조경역에서는 난류와 한류가 만나 사행을 하면서 와류가 발생하게 되는데, 와류가 반시계방향일 경우 발산 현상이 나타나고 시계방향일 경우에 수렴 현상이 발생하게 된다.

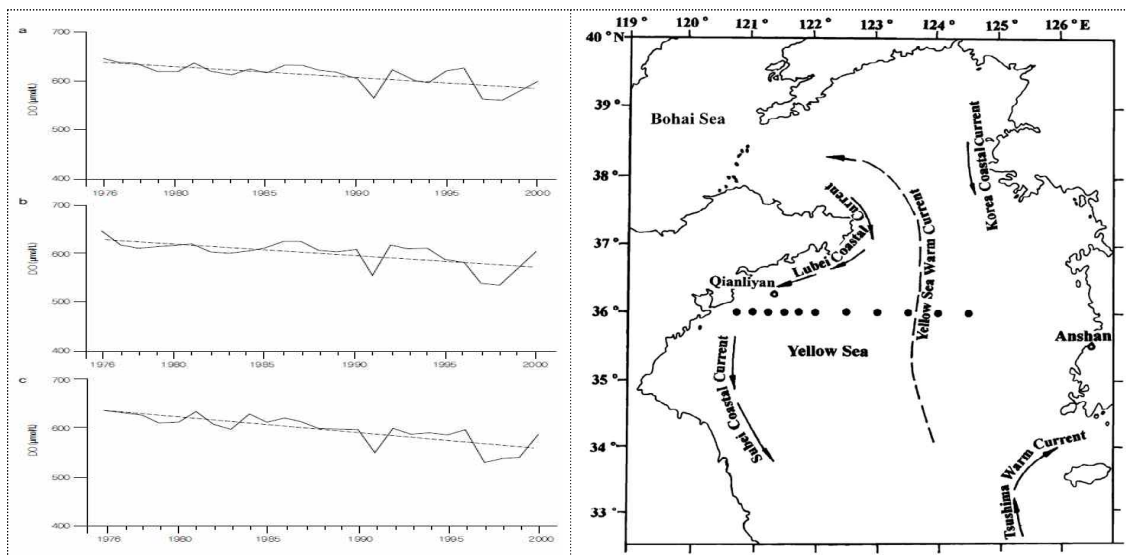
<그림 3-2-9 동해 중심부의 온위 및 용존산소 변화>



출처 : Kim et al.(2004)

서해의 용존산소 장기변동과 관련하여은 25년간(1976~2000년)의 용존산소 관측자료로부터 서해의 전 수층에서 용존산소가 감소하는 경향을 보이고 있고, 25년간 전 수층 평균 59.1 $\mu\text{mol/L}$ (약 1.32 ml/L)가 감소하였다고 보고하였다.

<그림 3-2-10 서해 용존산소 연변동 (a) 전 수층 (b) 표층 (c) 저층 평균>



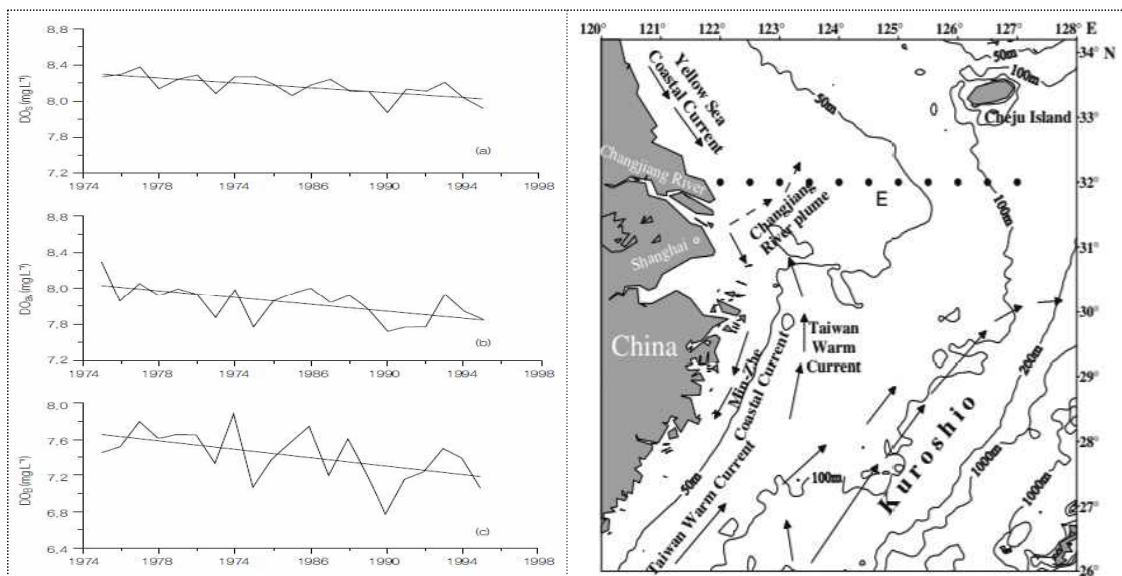
출처 : Lin et al.(2005)

이는 연 감소율 약 0.053 ml/L에 해당하는 값이다. 표층의 연 감소율은 약 0.055 ml/L, 저층의 연 감소율은 약 0.075 ml/L로 보고되었다. 이러한 원인으로는 지구 온난화로 겨울철에도 강수량이 늘어나고 산업화에 따른 유기물이 저층에 퇴적되어 분해되는 과정에서 산소 소비가 증가한 결과로 추정된다. 특히, 서해는 반 폐쇄성 해역으로 해수유동이 제한적이라는 특수성도 작용한 것으로 보인다.

남해의 용존산소 포화도와 연동하고 있는 동중국해의 용존산소 장기 변동과 관련하여 21년간(1975~1995년)의 용존산소 관측 자료를 분석한 결과, 전 수층 평균 연 감소율이 0.019 mg/L (0.0133 ml/L)이고, 표층 연 감소율은 0.014mg/L (0.0098 ml/L), 저층 연 감소율은 0.023 mg/L (0.0161 ml/L)으로 보고하였다. 용존산소 용해도가 낮아지는 이유는 지구 온난화에 따라 해수온이 상승하여 고온·고염 수층이 두꺼워 지고 기체 포화도가 높아진 결과로 추정된다.

한편, 서해가 동중국해보다 용존산소 감소율이 4배 이상 높게 나타나고 있지만, 두 해역의 공통점은 전 층에 걸쳐 용존산소가 감소하고 있고, 표층보다 저층의 감소율이 크게 나타난다는 점이다.

<그림 3-2-11 동중국해 용존산소 연별 변동 (a)표층 (b)전수층 (c)저층 평균>

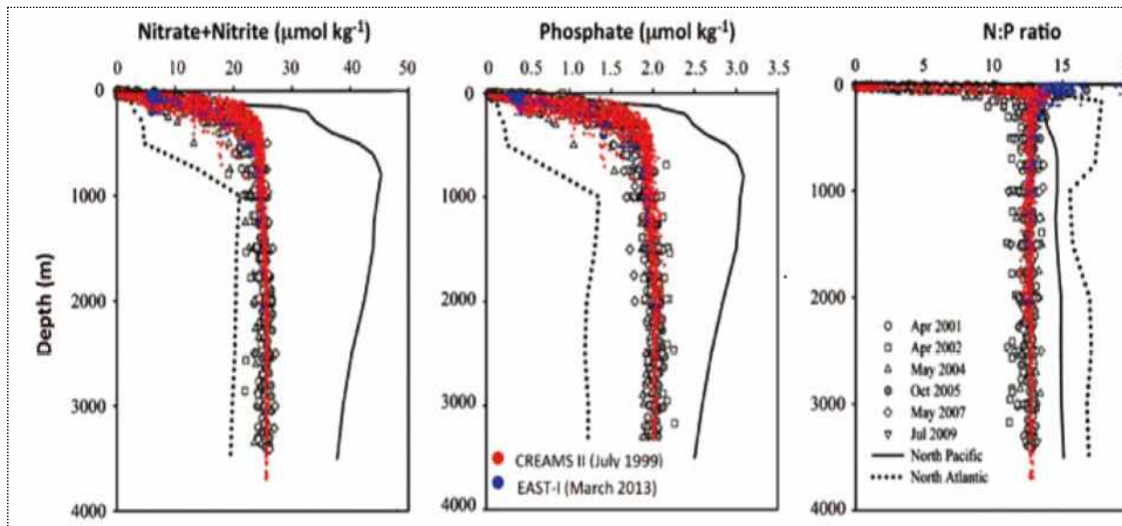


출처 : Lin et al.(2005)

5) 영양염류

해양에서의 영양염류 분포는 수평적으로 볼 때, 외양보다는 연안의 대륙붕 해역에 풍부하며, 수직적으로는 표층의 해양생물이 죽어서 퇴적되는 저층에 풍부하다는 특징이 있다. 보통 해수 중의 영양염류는 광합성을 하는 식물플랑크톤의 증식과 성장에 의해 사용되는 화학물질로서, 대표적으로 질소(N), 인(P), 규소(Si)가 산화된 이온의 형태인 질산염(NO_3^-), 인산염(PO_4^{3-}), 규산염(SiO_2)으로 수중에 존재하게 되는데, 이러한 성분들은 해양의 해류, 조류, 파랑 및 와류나 바람에 의한 용승 등 물리적 환경 여건이 조성된 해역에서 빛이 풍부한 표층에 공급됨으로써 기초생산 및 생물 생산을 촉진시키게 된다.

<그림 3-2-12 동해 영양염 변화 (좌)질산염+아질산염(중) 인산염 (우)N:P 비>



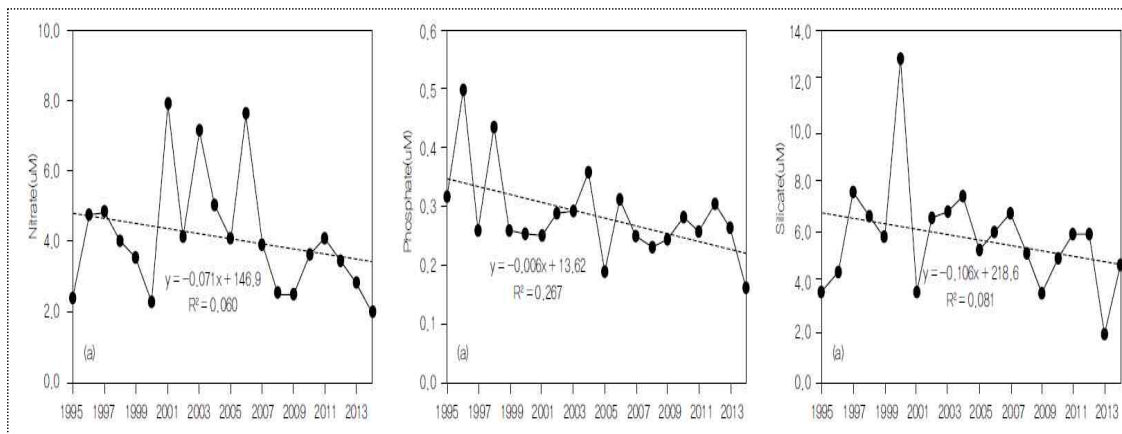
출처 : Rho et al.(2016)

수중에서 영양염류의 수급은 식물플랑크톤에 의해 사용되어 감소되는 반면, 수중에서의 유기물 분해 등으로 재생산되고 공급되며, 해양 외적으로는 대기 및 하천 등을 통해 공급된다. 다만, 연안역에서 영양염류가 과다하게 축적되는 경우 부영양화가 발생하게 되는데, 이 때 식물성플랑크톤의 일시적 대번성이 일어나 수색을 바꾸는 현상이 초래되는 경우를 적조라 한다. 이처럼 적당한 영양염류의 공급은 순기능을 하나, 과다한 공급은 오히려 해양생태계 교란을 초래하기도 한다.

동해는 지형학적으로 커다란 하천이 없고 작은 하천을 통해 소량의 영양염류가 유입되기 때문에, 주로 대마 난류를 통한 영양염류 공급과 대기를 통한 인간 활동 기원의 질소 유입이라 할 수 있다. 동해의 저층은 지난 15년간(1999~2013년) 질산염과 인산염의 뚜렷한 계절변동 패턴이나 상승 또는 하강 경향이 나타나지 않았다. 반면 동해의 상층은 계절적인 생물활동에 따라 계절 변동이 뚜렷하게 나타난다.

동해의 연평균 표층 영양염은 질산염, 인산염, 규산염 모두 20년간(1995~2014년) 하강하는 추세를 보였다. 또한 질산염은 모든 계절에서 감소하는 추세를 보이고, 특히 춘계와 추계에 큰 감소 추세를 나타냈다. 인산염은 겨울을 제외한 모든 계절에서 감소하는 추세를 보이고, 하계에 상대적으로 큰 감소 추세를 나타낸다. 규산염도 모든 계절에서 감소하는 추세를 보이고, 춘계에 비교적 큰 감소 추세를 나타냈다. 이러한 현상은 식물성플랑크톤의 종에 따라서 영양염류 중 어떤 종류를 활용하느냐에 따른 것으로 추정된다.

<그림 3-2-13 동해 연평균 표층 영양염 변화: 질산염, 인산염, 규산염>



출처 : 윤(2015)

서해의 영양염류는 용존 무기질소의 증가 원인을 강수와 장강을 통한 담수 유입 증가에 기인하고 인산염과 규산염 감소는 황하강 담수 유입의 급감으로 발해만에서 서해로 교환되는 해수의 영양염 감소가 원인인 것으로 추정하고 있다. 특히, 1984~2000년간 국립수산과학원의 영양염류 관측 자료를 분석한 결과, 서해의 전 수층에서 연평균 및 여

름·겨울의 인산염과 규산염이 감소하는 경향을 보이고 있다는 것과, 이와는 반대로 용존 무기질소(질산염+아질산염+암모늄염)가 전 수층에서 연평균 및 여름·겨울에 증가하고 있다는 보고도 있었다.

동중국해의 장기 영양염류 변동과 관련하여 국립수산과학원의 조사 자료에 따르면, 인산염은 계절 및 수층과 무관하게 감소 경향을 뚜렷하게 보였고, 규산염도 동계를 제외하면 대체적으로 감소 경향을 나타낸 것으로 보고되었다. 한편, 중국 장강을 통한 도시 오·폐수 및 화학비료 사용 증가, 연안역 인간 활동에 의한 영향도 있는 것으로 분석되었다. 또한, 인산염의 감소 원인은 장강희석수, 대마난류수, 황해저층냉수, 쿠로시오 기원수의 인산염 농도 감소가 나타났고, 특히 장강희석수와 대마난류수가 2010년 이후 $0.1 \mu\text{M}$ 이하의 낮은 농도로 유입되고, 인산염 농도가 높은 쿠로시오 기원수의 세력이 약화된 것을 주된 원인인 것으로 추정하였다. 그리고 중국 장강 중·하류에 건설된 산사댐이 완공된 2009년 이후로 동중국해의 영양염류 농도와 구성 비율의 변화가 커졌음을 보이는데, 이것은 규산염 감소의 원인이 산사댐 건설로 인해 장강을 통한 규소 유입량이 크게 감소한 것으로 추정하였다.

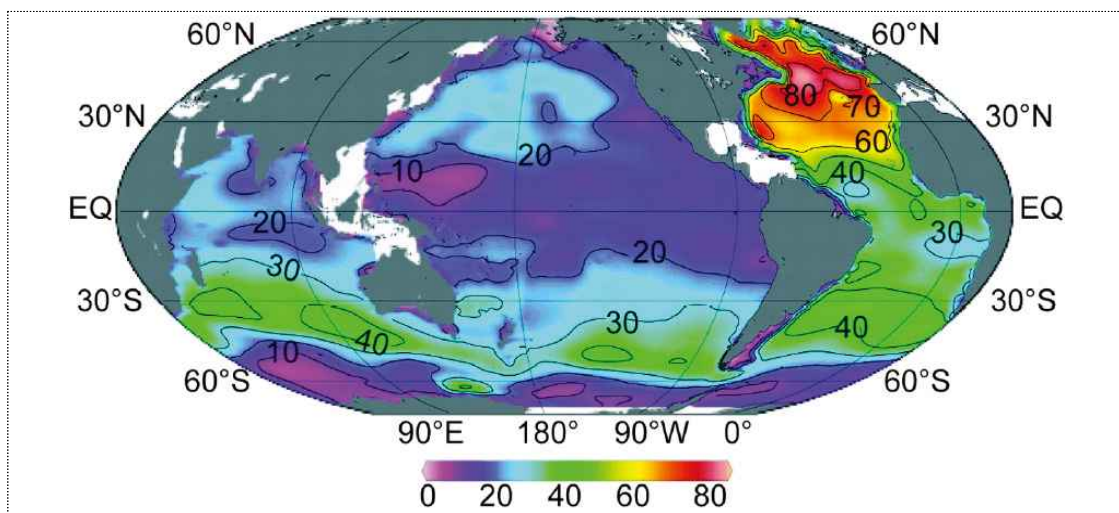
우리나라 인근 해역의 영양염류의 시공간적 변동 및 분포를 보면, 겨울철(2월)의 표층 영양염 농도가 여름철(8월)의 농도와 비교해서 전체적으로 높게 나타나고 있음을 알 수 있다. 이는 여름철에 식물플랑크톤이 성장을 위해 해수 중의 영양염류 많이 소모한 결과라고 볼 수 있다. 특히 겨울철 서해의 높은 영양염류 농도는 수심이 얕아 대류 현상에 따른 연직 혼합이 왕성하게 발생하고 이로 인해 저층의 풍부한 영양염이 표층과 혼합된 결과로 보이고, 이 외에도 겨울철에 북서풍을 타고 중국으로부터 날아온 높은 농도의 질소산화물의 유입에 있을 것으로 추정하고 있다. 한편, 분포한 식물성플랑크톤의 종과 생물량에 따라 상호 영향을 주고 받을 수 있으며, 이러한 기초생산자의 풍흉은 어종의 종수, 풍도, 다양성 및 생물량 등에도 영향을 미쳐 해양생태계의 천이를 결정한다는 점에서 매우 중요한 의미를 갖는다 할 수 있다. 따라서 기후-해양 변화가 가져오는 영양염류의 변동에 대해서 지속적인 모니터링이 중요하다 할 것이다.

6) 우리나라 인근 해역 해양산성화 변동

20세기부터 전 세계적으로 화석연료 사용이 보편화되면서, 이산화탄소 등 온실가스의 배출이 증가하였고 이 중 많은 부분이 해양으로 흡수되고 있다. 이와 같은 대기-해양 간 온실가스 교환 기작은 해양 내 탄소순환 시스템의 변화를 가져오고 결과적으로 해수의 수소이온농도 (pH)가 증가 되어 해양이 산성화되고 있다.

해양산성화는 수온, 염분, 영양염류, 용존산소와 마찬가지로 시공간적으로 그 정도의 차이를 보이고 있으며, 해양생물의 종에 따라서 그 영향 정도도 다양하게 나타날 수 있다. 다만, 실제적 영향에 대해서는 아직 규명이 더 필요한 영역이 남아 있는 것도 사실이다. 어쨌든 해양산성화 영향을 평가할 수 있는 장비가 발달하고, 1990년대 후반부터 해상산성화가 해양생물에 미치는 영향이 크게 나타날 것이라는 연구가 지속적으로 발표되어 왔으며, 2000년대 이후부터는 기후변화에 따른 해양 현상 중 중요한 것으로 해양산성화가 부각 되어 오고 있다. 특히, IPCC 기술보고서에서 해양산성화 대한 연구결과들이 포함되기 시작하였고, 2014년에 발간된 IPCC 5차 보고서에 해양산성화가 해양생물에 미치는 영향은 심각한 것으로 분석한 바 있다.

<그림 3-2-14 화석연료의 대기 중 방출 CO2가 해수 중 용해된 CO2량>

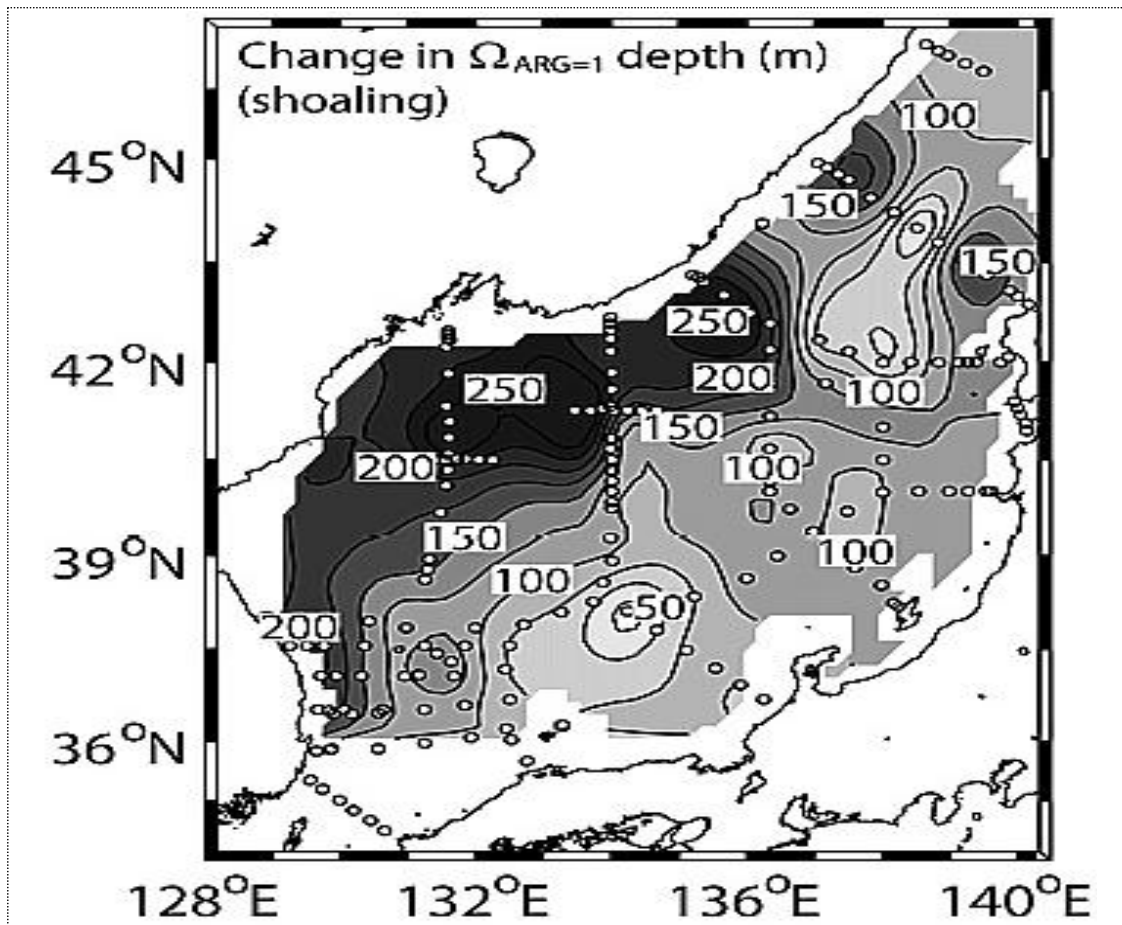


출처 : Sabine et al., 2004

Science(2004)에 게재된 연구에 따르면 대기 중으로 배출된 화석 연료 CO₂의 약 30%가 해양으로 흡수되기 때문에 해양이 대기의 CO₂ 농도 조절에 핵심적인 역할을 한다는 것이다. 그러나 해양의 CO₂ 포화도가 높아지면서, CO₂ 제거 능력도 점차 약화되고 있고 가까운 미래에는 대기 중 CO₂ 농도 축적이 전에 없이 가속될 것이라 예상하고 있다.

우리나라 인근 해역의 해양산성화 정도는 아라고나이트 포화도¹⁹⁾를 지표로 활용하여 연구된 바 있다. 즉, 깊이 50~1000m에서 얻은 해양 탄소인자(TA, pH 및 DIC) 데이터를 사용하여, 아라고나이트 포화 수평선 깊이($\Omega_A = 1$)에 대한 인위적 CO₂의 영향을 추정했다.

<그림 3-2-15 인위적 CO₂의 아라고나이트 포화도 1인 수심 깊이(m).>



출처: Kim et al(2010) * 원은 1999년 여름 샘플링 위치이며, 등고선은 25 및 50 m 간격의 아라고나이트 포화도 깊이

19) 아라고나이트(석회석)는 수용성으로 포화도가 1 이상에서는 탄산칼슘이 녹지 않고, 1 이하에서 녹기 시작. 포화도가 1.5 이하로 떨어지면 일부 패각생물들은 유생 시기에 패각을 형성할 수 없어 사망

우리나라는 해안선이 매우 길다는 특징이 있고 동해안과 남해안은 해양수와 더 많이 접해 있는 반면, 서해안은 황해의 연안수에 인접해 있다. 또한 동해 연안은 용승이 발생하고 해양 수직 순환에 영향을 받는 지역이기 때문에 두 요소가 산성화에 미치는 영향이 클 것으로 예상되고, 남해는 적조 발생과 부영양화에 이은 유기물 분해 등에 의한 산성화 발생이 주를 이룰 것으로 예상된다. 인접국 중국으로부터 대기를 통해 유입된 질소 및 황 오염물질의 침적은 한반도 모든 해역의 산성화에 기여할 것이다. 서해안은 큰 조석편차(4~8m), 계절성 식물플랑크톤 번성(blooms) 및 강을 통한 다량의 담수가 유입된다는 특성을 가지고 있다.

해양산성화는 CO₂ 용해 이외에도 부영양화, 용승, 산성 물질 침적, 생물 활동, 해양 순환에 의해서 영향을 받게 되는데, 우리나라 주변 해역에서는 중국, 일본 등 인접국의 다양한 산업 기원 온실가스가 다량으로 발생함에 따라 해양산성화가 집약적으로 나타날 수 있는 특성을 갖고 있다.

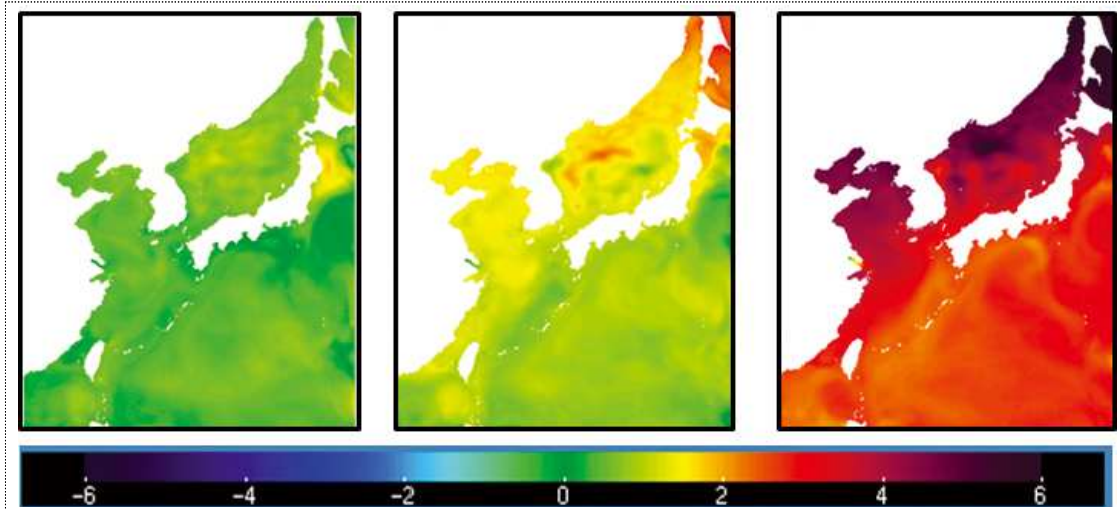
7) 우리나라 주변해역 장기 해양변동 전망

국립수산과학원에서는 한반도 주변해역 장기 기후변화를 살펴보기 위하여, IPCC 5차 평가보고서에서 사용된 RCP(대표농도 경로) 시나리오를 이용하여 실험을 수행하였다. RCP 시나리오는 인간 활동이 대기에 미치는 복사량을 온실가스 농도로 정하였다. 다만, 하나의 대표적인 복사강제력에 대해 사회-경제 시나리오가 여러 가지가 될 수 있는 만큼, 대표적인 시나리오 중 탄소배출 저감 없이 현재 추세로 온실가스가 배출되는 경우를 가정한 RCP 8.5와 온실가스 저감 정책이 상당히 실현되는 경우를 가정한 RCP 4.5 두 가지 시나리오를 선정하여 실험을 수행한 바 있다.

먼저, 온실가스 배출 노력이 없는 상황을 가정한 RCP 8.5 시나리오를 대입한 결과, 2030년(2021~2030년 평균), 2050년(2041~2050년 평균),

2100년(2091~2100년 평균) 간격으로 표층수온의 평균 변동을 살펴본 결과, 우리나라 인근 해역의 수온이 약 4~5도 내외로 상승한 결과로 나타났다. 이러한 결과는 우리나라 인근 해양생태계의 현재 모습이 크게 변화한다는 것을 의미한다.

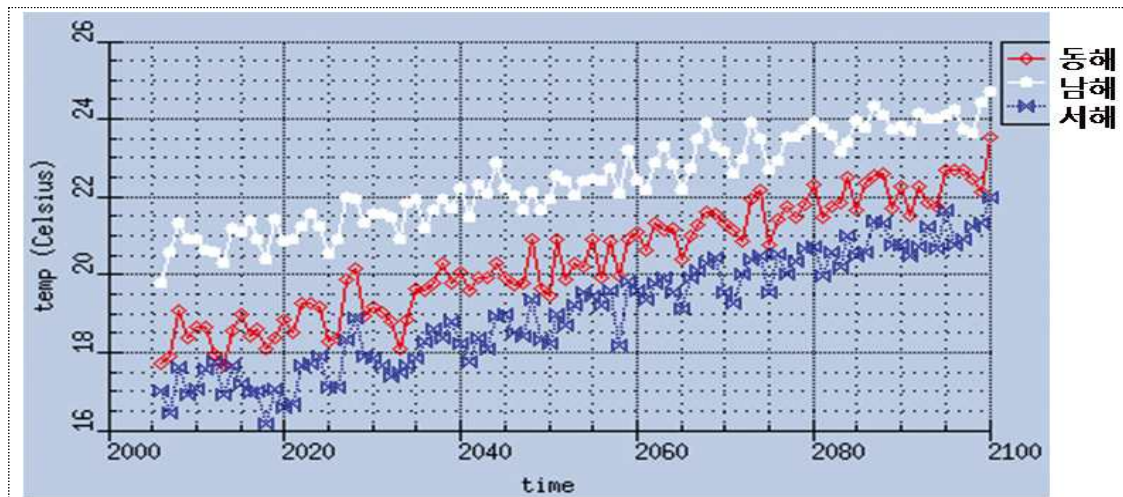
<그림 3-2-16 RCP 8.5 시나리오 예측 표층 수온>



출처 : 국립수산과학원(2019), 「수산분야 기후변화 평가 백서」 (좌)2030년, (중)2050년, (우)2100년

해역별로 살펴보면, 서해와 동해의 해수 온난화 경향이 가파르게 상승하는 하는 것으로 나타났고,

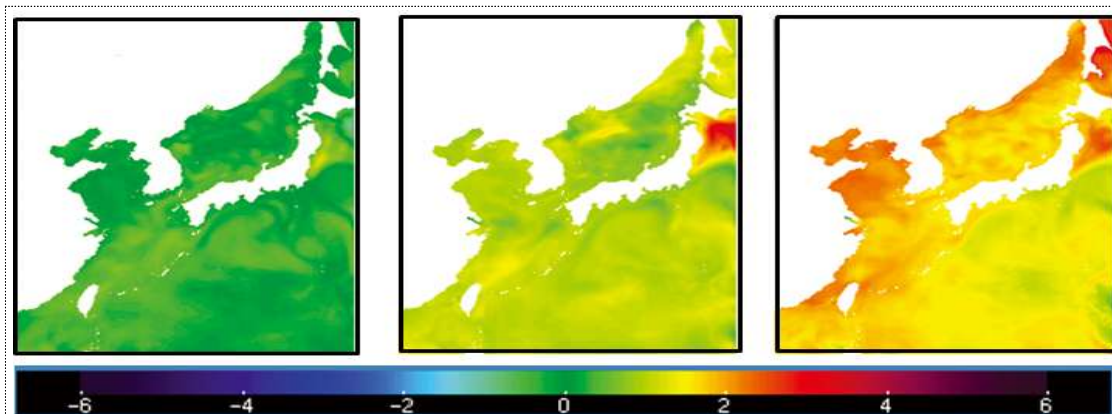
<그림 3-2-17 RCP RCP 8.5 시나리오 연평균 해역별 수온 변동 그래프>



출처 : 국립수산과학원(2019), 「수산분야 기후변화 평가 백서」

특히 동해는 현재의 남해보다 수온이 더 많이 상승하게 되어 아열대화 가능성도 높을 것으로 추정되었다. 연 평균한 수온 값의 해역별 시계열상 변동을 확인한 결과, 해역별로 수온 상승 경향은 유사하였으나, 서해가 약 5도 내외로 상승하여 상승 정도가 가장 컸고, 남해는 약 4도 내외로 상승하여 상승 정도가 가장 낮은 것으로 추정되었다.

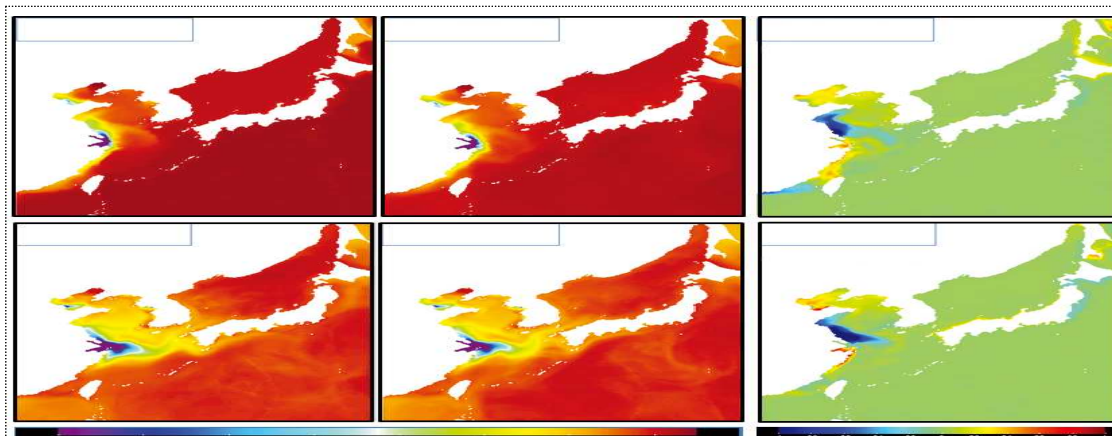
<그림 3-2-18 RCP 4.5 시나리오 예측 표층 수온>



출처 : 국립수산과학원(2019), 「수산분야 기후변화 평가 백서」 (좌)2030년, (중)2050년, (우)2100년

다음으로, 온실가스 배출 저감을 위한 노력을 가정한 RCP 4.5 시나리오의 경우, 마찬가지로 10년 평균한 표층 수온으로 2030년, 2050년, 2100년 수온 변동을 추정해 본 결과, 우리나라 인근 해역의 수온이 약 2℃ 내외로 상승하는 것으로 추정되었다.

<그림 3-2-19 RCP 시나리오별 2100년 겨울·여름 표층염분 분포 및 차이>



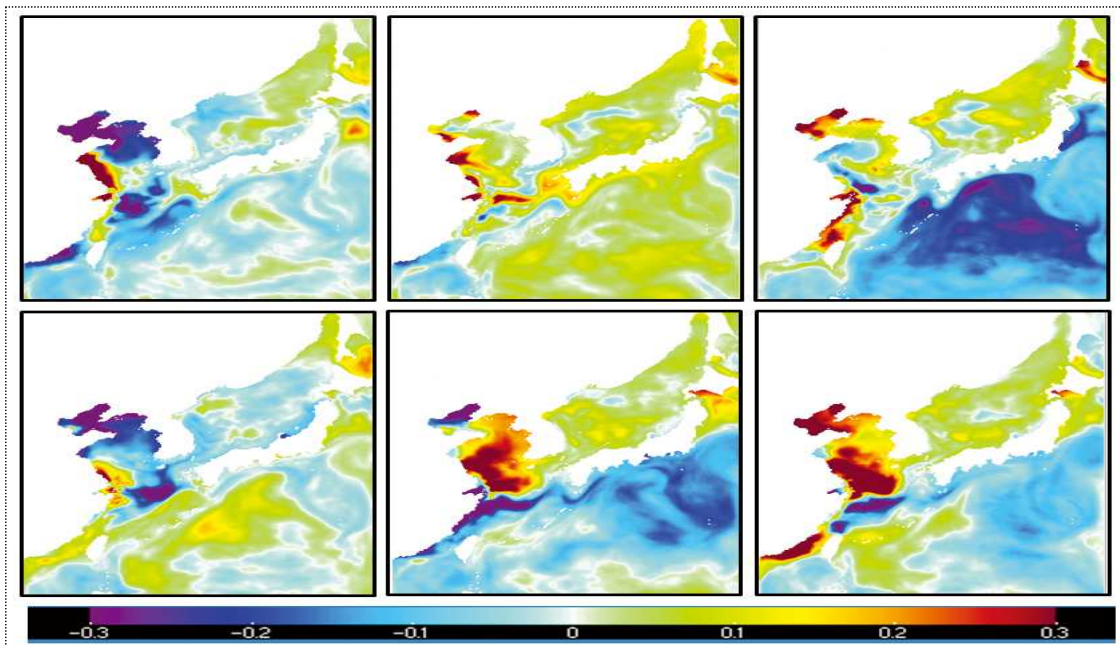
출처 : 국립수산과학원(2019), 「수산분야 기후변화 평가 백서」, (상)2월, (하)8월, (좌)RCP 8.5, (중)4.5, (우)시나리오별 염분 차이

즉, 온실가스 배출을 감축하는 경우, 수온 상승 정도가 RCP 8.5에 비해 절반 수준으로 억제될 수 있음을 시사한다고 볼 수 있다.

다음으로, 염분값 차이에 따른 시나리오 변동 차이를 살펴보기 위해 2091년~2100년을 10년 평균한 표층 염분값을 2월과 8월로 구분하여 비교하고, 각각의 편차를 살펴보았다.

시나리오에 따라 국지적으로 1 psu²⁰⁾ 내외의 차이를 보였고, 양자강 북부는 RCP 8.5가 4.5에 비해 저염화 경향이 나타나고, 양자강 남부 연안과 발해는 고염화 경향이 나타나는 것을 확인하였다. 이는 온실가스 배출 감축을 위한 노력을 하지 않고 현 추세와 같이 온실가스가 배출되는 경우, 지구 온난화 현상이 가속화되면서 많은 양의 강수가 예상된다는 사실을 반증한 결과라고 판단된다. 다른 한편으로는 서해의 반폐성 지형 특성으로 인해 증발량과 강수 패턴이 시나리오별로 다르게 나타난 결과에서 비롯된 것으로 추정된다.

<그림 3-2-20 RCP8.5(상)와 RCP4.5(하) 시나리오별 표층염분 편차 분포>



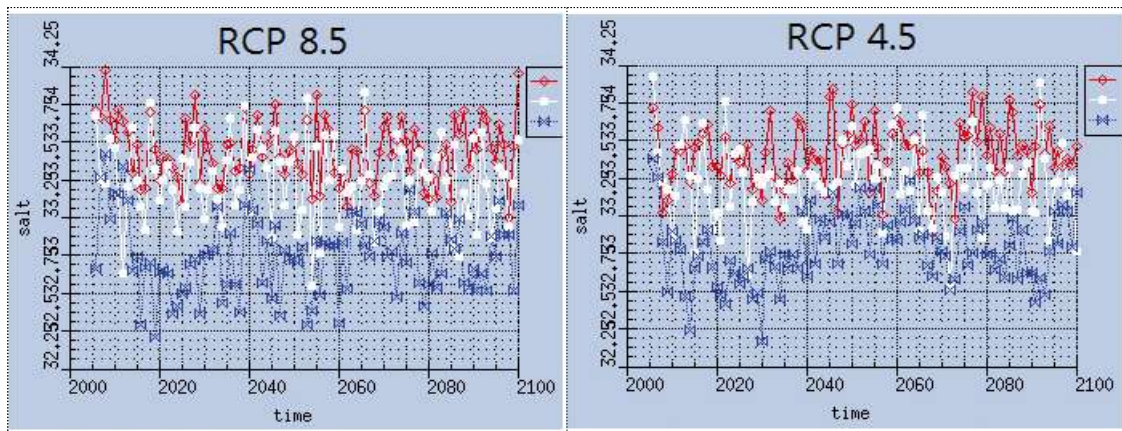
출처 : 국립수산과학원(2019), 「수산분야 기후변화 평가 백서」, (좌)2030년, (중)2050년, (우)2100년

20) psu(Practical salinity unit) : 염분 단위

2010년대(2011~2020년 10년 평균)를 기준으로 2030, 2050, 2100년대의 표층 염분 편차를 시나리오별로 각각 살펴본 결과, 시간적으로는 0.3 psu 내외의 차이를 보였고, 공간적으로는 대양과 지역 해가 다른 패턴을 보이는 경우도 있는 것으로 나타나 여러 대기 현상들과 해양 간 상호작용이 다양하게 나타난 결과라고 보여진다.

특히, 2100년까지의 염분값 변동을 해역별 시계열 그래프로 확인한 결과, 수년 및 수십년 주기의 변동성은 나타났지만, 지속적인 상승 및 하강 경향은 뚜렷하게 나타나지는 않았다.

<그림 3-2-21 연평균 해역별 표층염분 변동(RCP 8.5(좌), RCP 4.5(우))>



출처 : 국립수산과학원(2019), 「수산분야 기후변화 평가 백서」

IV. 기후-해양 변화가 수산업에 미치는 영향

해양 생태계의 주요 구성요소인 수산자원 생물은 대부분이 수온, 염분, 용존산소, 먹이생물 등 해양환경 요인에 의해 생리 활성도나 성장, 번식 및 분포, 이동이 결정되게 되는데, 이러한 환경 요인은 대기-해양의 끊임없는 상호작용의 영향을 받는다.

최근 기후변화로 인한 해수의 고온 현상이 주목받고 있으며, 더 나아가 이로 인해 수산자원의 생물량이나 이동경로 변동이나 양식장의 적합도를 변동이 발생하고 있다. 이 장에서는 지속가능한 어업 및 양식업의 발전 방안을 마련하기 위해 기후변화에 따른 해양 변동이 우리나라 수산업에 어떤 영향을 미치는 지를 살펴보도록 하겠다.

1. 수산자원 및 어업에 미치는 영향

어업의 3대 구성요소로 수산자원이 존재하는 어장과 어선 및 노동력이 있다. 어업인은 어선을 타고 수산자원을 찾는데 많은 시간을 할애하는데, 통상 안정적인 어업경영을 위해서는 최소 비용과 시간 하에서 가급적 적절한 수산자원을 어획할 필요가 있다.

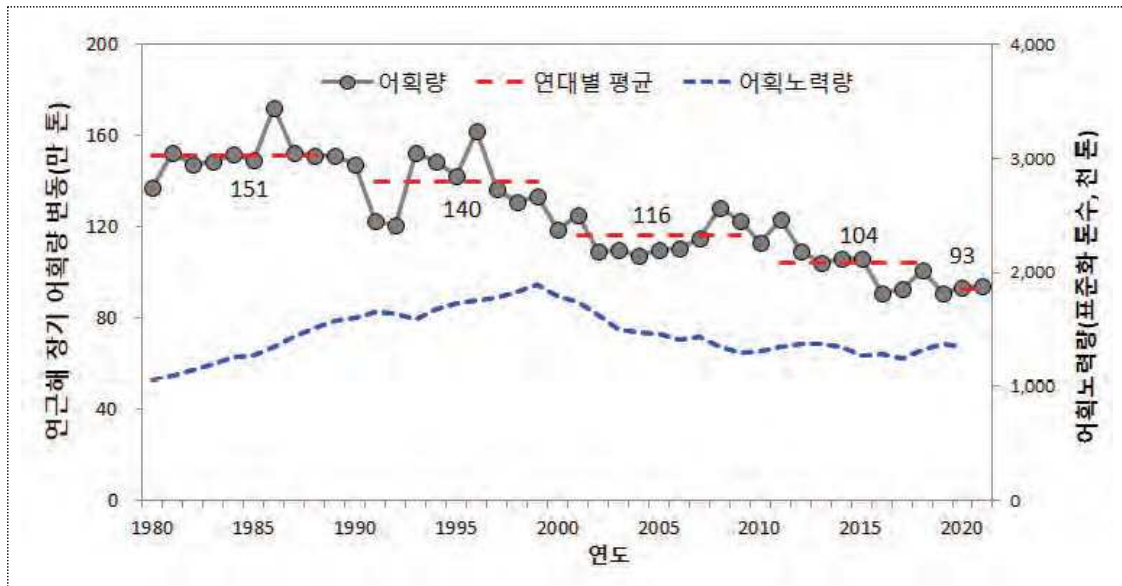
어업경영의 핵심 대상인 수산자원은 기후변화에 따른 해양환경 요인의 변동에 의해 시공간적으로 성장과 번식, 분포와 이동 등이 끊임없이 변화하게 되며, 궁극적으로 어업경영 활동의 성과를 좌우하게 된다. 다시 말해서 대기-해양 변화가 우리나라의 배타적 경제수역 내에 있는 어장뿐만 아니라 원양 어장에서도 전통적 어장 위치를 변동시킨다거나 어획대상 종 및 수량 등을 크게 변화시킬 수 있다는 것이다.

1) 연근해 어업 생산량 변동

우리나라 연근해 어업생산량은 어선 세력이 증대되고 어구어법의 발전에 힘입어 1980년대(1980~1989)에 151만톤 내외를 유지하였다. 다만,

당시 수산자원에 대한 보존 관리 의식이 높지 않아, 1990년대 들어 140만톤 수준으로 감소한 이후 그 추세가 가속화되면서 2000년대에는 116만톤까지 감소하였고, 2010년대는 104만톤 수준으로 낮아졌다. 더 나아가 최근에는 2016년에 40년 만에 100만톤 미만으로 떨어진 이후 최근까지 연 평균 93만톤 수준을 유지하고 있다.

<그림 4-1-1 연근해 어업생산량과 어획노력량(표준화 톤수)의 장기변동>



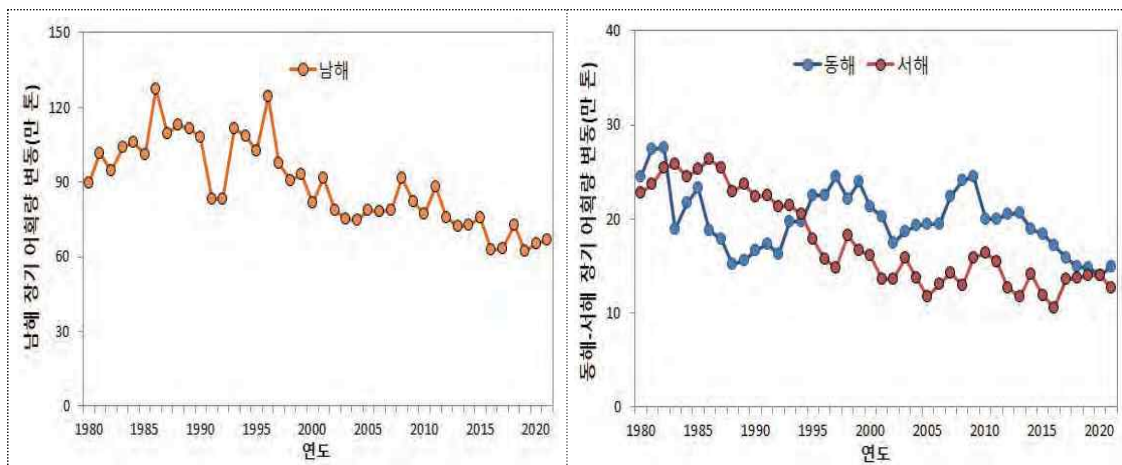
* 출처 : 통계청(2021), 어업생산통계

2000년대 이전은 과잉 어획이나 한·일 어업협정에 의한 어장축소 등 다양한 원인이 복합적으로 작용한 것으로 보이나, 2000년대 이후의 어획량 감소는 최근 54년간 약 1.35°C 상승한 우리나라 인근 해역의 표층 수온 영향인 것으로 추정된다. 이러한 어획량 감소 추세를 반전시키기 위해 2000년대부터 어선 현대화와 병행하여 감척 사업을 지속적으로 추진한 결과 어획노력량은 일정 수준을 유지해 오고 있으나, 어획량은 최근 20년간 지속적으로 감소하는 경향을 보이고 있다. 이러한 경향은 기후변화가 수온, 염분, 용존산소 및 영양염류 등 해양환경 요인들을 변동시키고 더 나아가 이것이 어장에서 수산자원 변동을 초래한 것으로 추정할 수 있다고 본다. 다만, 대기-해양 변화와 수산자원 및 어획량 변동의 인과관계를 어느 정도 추정할 수는 있으나, 정량적·실체적 상호관계는 향후 관측·예측 역량 보강 및 수산자원 연구를 보다

세밀하게 추진할 필요가 있다고 본다.

해역별로 어획량 변동을 살펴 보면, 동해는 1980년대부터 20년간 약 21만톤 수준을 유지하였으나, 2010년대에 들어 18만톤 수준까지 감소한 것으로 나타났다. 남해의 경우 우리나라 전체 어획량에서 가장 높은 비중을 차지하는 해역으로서 어획량은 1980년대 106만톤 수준을 유지했으나, 1990년대 100만톤, 2000년대 81만톤, 2010년대 73만톤 수준까지 지속적으로 감소하는 것으로 나타났다. 서해는 1980년대 21만톤 수준에서 1990년대 19만톤, 2000년대 14만톤 까지 감소하였고, 2010년대에는 13만톤으로 지속적으로 감소한 것으로 나타났다.

<그림 4-1-2 해역별 어업생산량 장기변동 남해(좌), 동해, 서해(우)>



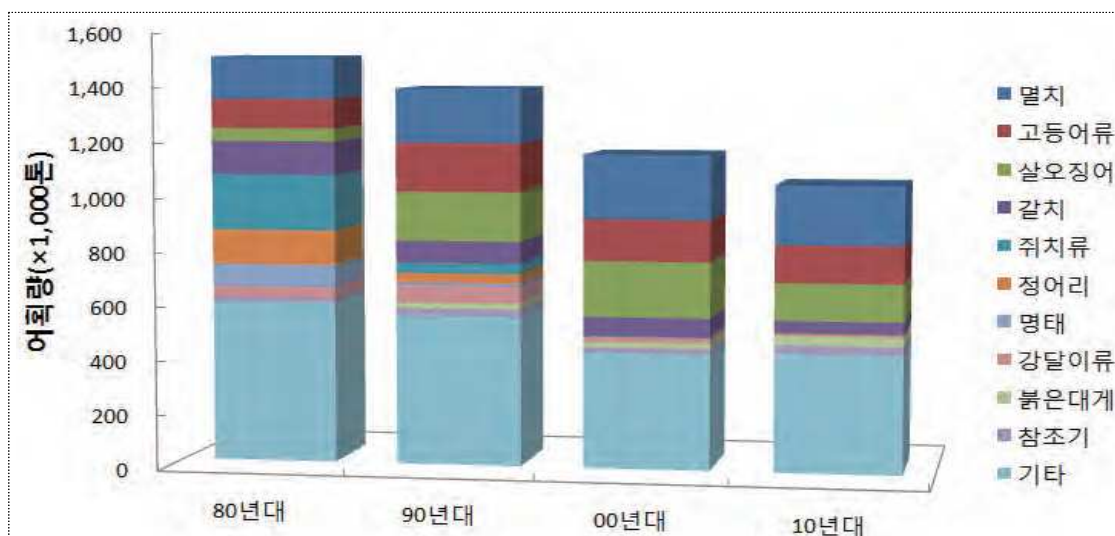
* 출처 : 통계청(2021), 어업생산통계

2) 연근해 어업 주요 어종의 어획량 변동

일반적으로 수산자원 생물은 수온에 의해 체온이 변하는 변온동물이 대부분이며, 생존, 성장, 산란 등 생활사 단계별로 적수온 범위를 가지며, 그 범위 내에서 분포하고 이동하게 된다. 따라서 수온이 변화하게 되면 수산자원의 분포와 이동 경로 및 그 시기가 달라져 전통적인 어장 시기와 위치가 변동함으로써 어획량이 감소할 가능성이 높아지게 된다.

또한 수온 변화는 어종마다, 그리고 동일 종이라도 생활사 단계별로 상이한 영향을 미치게 되는데, 지난 40년간(1980~2019) 어종별 어획량도 변동된다는 것을 알 수 있다. 특히, 특정 어종의 어획 비율이 높아지면서 연근해에서 어획되는 어종이 점차 단순화(어획 상위 3개 어종 비율 변화: 1980년대 32.7% → 2010년대 45.9%)되는 특징을 나타내고 있다. 또한 표층성·난류성 어종(고등어, 살오징어, 멸치)의 어획량은 증가했지만, 한류성 어종(명태, 도루묵, 임연수어 등)과 저서성 어종(갈치, 강달이류, 병어류)의 어획량은 장기적으로 감소하고 있는 것으로 나타났다.

<그림 4-1-3 연근해 주요 어종의 연대별 어획량 변화>



* 출처 : 통계청(2021), 어업생산통계

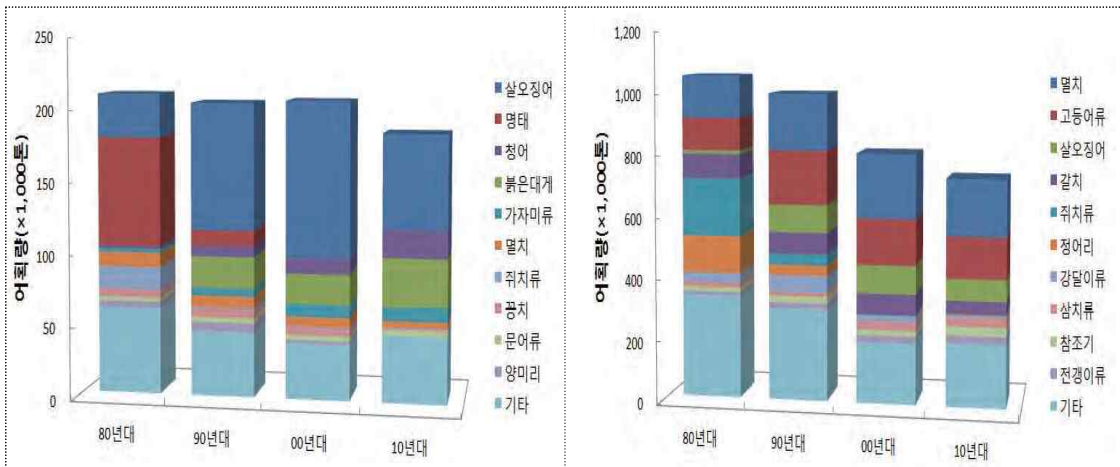
남해는 1980년대 이후 멸치, 고등어, 살오징어, 삼치 등의 어획량이 증가했고, 갈치, 강달이 등의 어획량은 감소하였음. 쥐치류와 정어리는 1980~1990년대 높은 어획량을 기록했으나, 현재는 자원이 상당히 낮은 수준을 보인다.

동해는 살오징어, 붉은대게, 문어류, 청어, 가자미류 등의 어획량이 증가했고, 멸치, 쥐치류, 쾡치, 양미리 등은 감소하였음. 명태는 1980년대 높은 어획량을 기록했으나, 1990년대 크게 감소하였고 이후 매우 낮은 수준을 보인다.

서해는 멸치, 꽃게 등의 어획량이 증가했고, 갈치, 강달이, 갑오징어, 뱀어류는 감소하였음

동·서·남해 해역별 주요 상업어종의 어획수준 또는 자원수준의 변화는 기후변화를 포함한 해양환경 변화에 의한 징후는 뚜렷하게 나타나고 있지는 않음. 하지만 계절적 특성의 변화가 발생함에 따라 한국 주변 해역의 어장가입시기나 월동시기가 빨라지거나 느려지는 경우가 나타나기도 함.

<그림 4-1-4 동해·남해 주요 어종의 연대별 어획량 변화>



* 출처 : 통계청(2021), 어업생산통계

3) 주요 어종별 어장 변동

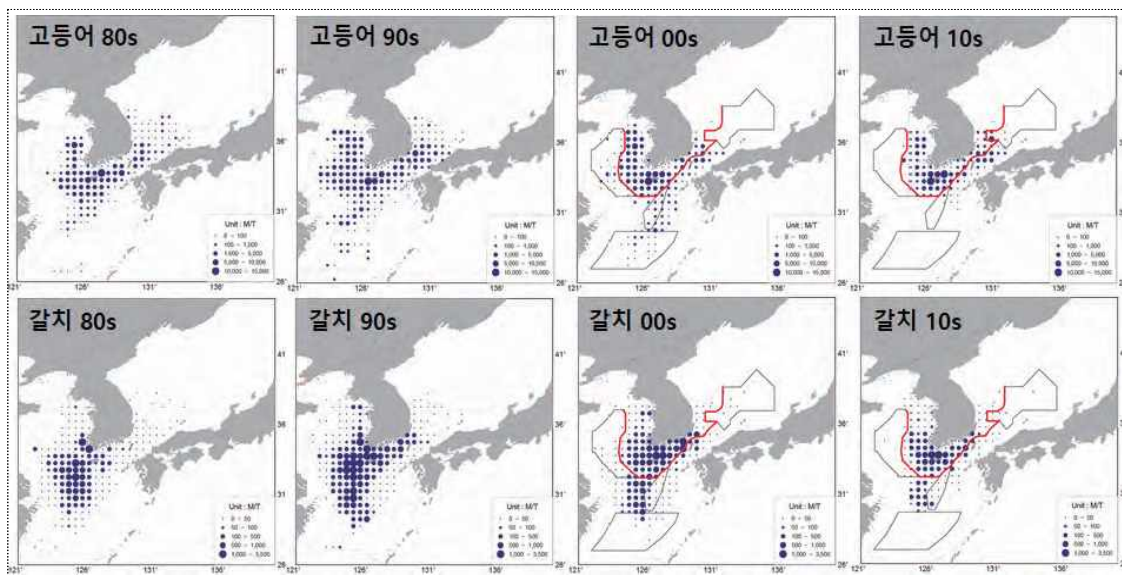
주요 어종을 대상으로 어장 이용의 장기변동을 살펴보면, 고등어 어장분포(대형선망)는 동중국해 중부해역과 서해 잠정조치수역에서 매우 큰 폭으로 감소하는 특징을 나타내고 있음. 갈치의 경우에도 어장 분포(근해안강망, 대형기선저인망)는 1980년대 이후 서해 어장이 북상하였고, 한·중 잠정조치수역 어장이 큰 폭으로 감소함. 전반적으로 어장 분포는 2000년대 이후 배타적경제수역(EEZ) 내측으로 축소되는 경향을 나타내고 있다.

어장변동의 원인은 기후변화 영향뿐만 아니라, 1980~1990년대 어로

기술 및 어선 성능의 발달, EEZ 설정 및 어업협정 체결로 인한 조업 구역 축소(2000년대 초 이후), 과도어획 및 불법어획에 의한 자원 상태 변화(1980~2010년대) 등 그 요인이 다양하다.

특히, 한중·한일 어업협정으로 인해 이용 가능한 어장이 축소된 현재의 경우, 동중국해 남부에서 북상하는 여러 상업어종 회유경로의 일부분이 우리나라의 EEZ 경계 밖에 있는 경우가 발생할 수도 있다.

<그림 4-1-5 고등어와 갈치의 어장분포 변화('80~'10년대)>



출처 : 국립수산과학원(2019), 「수산분야 기후변화 평가 백서」

※ 붉은선은 배타적경제수역의 경계, 해역별 다각형은 협정수역(중간수역 및 잠정조치수역)

해역별 어종별 장기 어업생산통계를 활용하여 연근해 주요 60개 상업어종을 대상으로 해역 간 중·장기 어획량 대체현상(Alternation) 여부를 분석한 결과(표 3-1), 장기적(20년 이상)으로 해역 간 대체현상이 뚜렷한 어종은 가자미류, 꽃게, 넙치류, 멸치, 복어류, 젓새우류이며, 이 중 꽃게, 넙치류, 멸치는 남해에서는 어획량이 감소 경향을 보이고 있으나, 서해에서는 증가하는 것으로 나타났다.

또한 복어류와 가자미류의 어획량은 남해에서 감소, 동해에서 증가 경향을 나타내고 있으며, 젓새우류는 서해에서 감소, 남해에서 증가하

는 경향을 나타내고 있다.

2000년대 이후 해역 간 대체현상이 뚜렷한 어종을 해역별로 구분하면 꼼치류, 방어류, 성대류, 아귀류, 홍어류이며, 이중 꼼치류는 남해에서 어획량이 감소하고 서해에서 증가하는 경향을 나타내고 있으며, 방어류, 성대류, 아귀류는 남해에서 감소하고 동해에서는 증가하고 홍어류는 서해에서 감소하고 남해에서 증가하는 경향을 나타내고 있다.

4) 아열대성 수산·해양생물의 출현

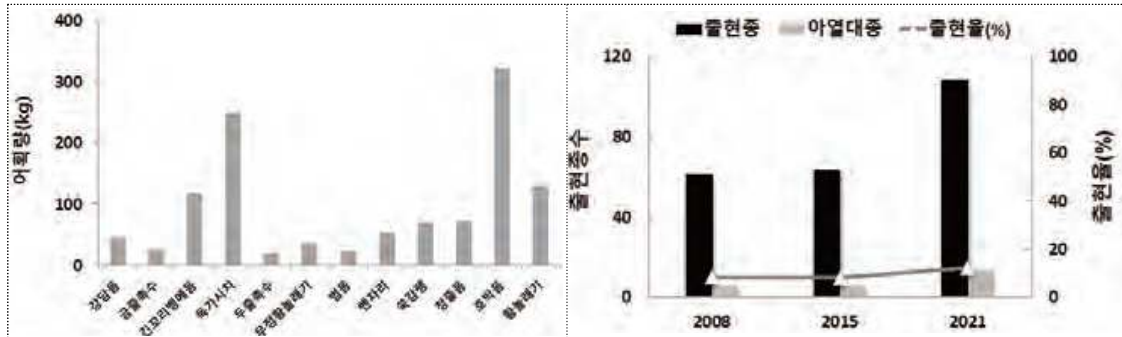
아열대 어종은 FishBase(<http://www.fishbase.org>) 및 국내·외 또는 FAO 어류도감에 등재된 어종 중, 남중국해, 대만 및 오키나와 주변 해역의 열대 및 아열대 해역에서 서식·분포하는 어종(지리적 위치: 30° N , 100° W ~15° S , 140° E)으로 정의하였다고 있다.

제주연안의 아열대 어종 출현상황을 파악하기 위해 2012~2021년까지 어획시험(자망, 통발)을 수행하여 어획물을 분석하였으며, 총 177종, 25,446개체, 4,687 kg이 어획되었으며, 아열대 어류는 74종, 10,266개체, 1,893 kg으로 총 어획종 중에서 42%를 차지하고 있다.

전체 출현종수는 2013년 84종으로 가장 높았으며, 그 외는 67~80종이 출현하였음. 아열대 어종 출현 종수는 2013년, 2019년, 2020년에 35종으로 가장 높았고, 그 외는 28~34종이 출현하였고 아열대 어종 출현율은 2012년에 45%로 높은 출현율을 보인 후, 36~44% 범위를 유지하다 2020년 47%로 가장 높은 출현율을 나타내고 있다.

아열대 어종 중 이용 가능 종 탐색은 제주연안 어획시험조사 결과(2012~2021년)를 바탕으로 어획량(생체량)이 유지되면서, 식용 가능하여 이용되는 종을 조사하였으며, 이용 가능 종의 어획량은 호박돔, 독가시치, 황놀래기, 긴꼬리뱅에돔, 강담돔, 쪽감펍, 청줄돔, 벤자리, 무점황놀래기, 금줄촉수, 두줄촉수, 범돔 순으로 많았다.

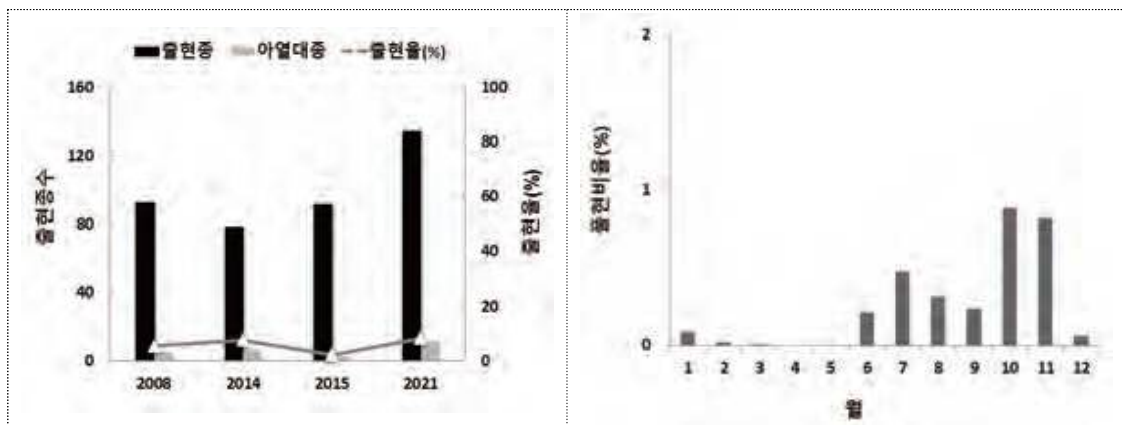
<그림 4-1-6 제주연안의 아열대종 어획량(좌) 및 어종수, 출현율(우)>



출처 : 국립수산과학원(2022), 「수산분야 기후변화 영향 및 연구 보고서」

남해안의 아열대 어종 출현상황을 파악하기 위해 2008, 2015, 2021년 에 전라남도 여수시 금오도에 설치된 정치망 어획물을 분석하였으며, 2008년에 출현종 61종 중 아열대 어종이 5종으로 출현율 8%, 2015년 출현종 63종 중 아열대 어종이 5종으로 출현율 8%, 2021년 출현종 108종 중 아열대 어종이 13종으로 출현율 12%로 출현종 및 아열대 어종 출현율이 증가하는 것으로 나타났다. 월별 출현상황은 10~11월에 11~20%로 높은 출현율을 나타냈음. 남해안에서 출현한 아열대 어종 우점종은 줄도화돔, 범돔, 독가시치 등이었다.

<그림 4-1-7 동해 아열대 어종수 및 출현율(좌), 월별 출현율(우)>



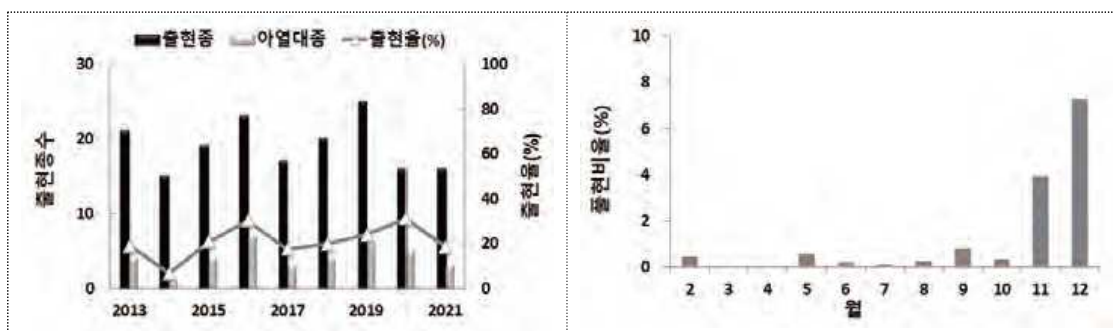
출처 : 국립수산과학원(2022), 「수산분야 기후변화 영향 및 연구 보고서」

동해안의 아열대 어종 출현상황을 파악하기 위해 2008, 2014, 2015,

2021년에 동해안 남부 및 북부 연안의 정치망(7개소) 어획물을 분석하였으며, 2008년에 출현종 92종 중 아열대 어종이 5종으로 출현율 5%, 2014년 출현종 78종 중 아열대 어종이 6종으로 출현율 8%, 2015년 출현종 91종 중 아열대 어종이 2종으로 출현율 2%, 2021년 출현종 134종 중 아열대 어종이 11종으로 출현율 8%로 최근에 아열대 어종의 출현율이 증가하는 것으로 나타났다. 월별 출현상황은 10월과 11월에 상대적으로 높은 출현율을 보였으며, 동해안에서 출현한 아열대 어종 우점종은 강담돔, 독가시치, 범돔, 줄벤자리 등이었다.

독도 연안의 아열대 어종 출현상황을 파악하기 위해 2013~2021년까지 잠수조사를 실시하고, 현장 야장 기록과 영상촬영 자료를 분석하였으며, 연도별로는 2013년에 출현종 21종 중 아열대 어종이 4종, 출현율 19%, 2016년 출현종 23종 중 아열대 어종이 7종, 출현율 30%, 2018년 출현종 20종 중 아열대 어종이 4종, 출현율 20%, 2020년 출현종 16종, 아열대 어종 5종, 출현율 30%로 나타났다. 월별 출현상황의 경우 자리돔은 연중 출현 하였고, 이를 제외한 나머지 어종들은 11월과 12월에 높은 출현율을 나타냈으며, 주요 출현 아열대 어종은 자리돔, 범돔, 세줄얼게비늘, 줄도화돔, 그물코쥐치, 황놀래기, 파랑돔 등이었다.

<그림 4-1-8 독도 아열대 어종수 및 출현율(좌), 월별 출현율(우)>



출처 : 국립수산과학원(2022), 「수산분야 기후변화 영향 및 연구 보고서」

남해, 동해 및 독도 연안에서 아열대성 어종의 출현율은 점점 증가하는 추세이며, 아열대 어종이 출현하는 계절은 주로 가을철에 높게 나타나고 있음. 이는 한국 해역의 지속적인 수온 상승과 함께 위 해역의

특성을 대표하는 대마난류가 주로 여름철보다 가을철에 강화되는 영향으로 판단됨.

2. 수산양식업에 미치는 영향

1) 어패류 및 해조류 양식 생산량 변동

천해양식은 양식기술의 발달, 신규어장의 개발, 노후어장의 정비, 양식품종의 다양화, 국민 1인당 연간 수산물 소비량 증가 등으로 생산량이 1980년 541천톤에서 2020년 2,308천톤으로 4.3배 증가²¹⁾하였다.

1990년대 중반까지는 비교적 가격이 낮은 김, 미역, 홍합, 굴, 바지락 등이 주요 양식대상종이었으나, 1990년대 중반 이후에는 경제성이 높은 어류(넙치, 조피볼락, 참돔, 농어 등)양식 활성화와 2000년대 전복양식 본격화로 생산금액은 1980년 대비 26.7배 증가²²⁾하였다.

특히, 2021년 천해양식 생산량은 입식량 증가, 작황 호조 등으로 송어류, 흰다리새우, 가자미류, 전복류 등의 생산량이 늘어 전년도(2,308천톤)보다 3.9% 증가한 2,397천톤으로 나타났으며, 생산금액은 32,905억 원으로 전년도(28,952억 원)보다 13.7% 증가하였다.

2021년 넙치 생산량은 코로나19 등의 영향과 산지 출하가능 물량의 부족으로 전년도(43,813톤)보다 4.6% 감소한 41,791톤으로 나타났으나, 생산금액은 6,622억 원으로 전년도(5,392억 원)보다 22.8% 증가하였다.

2021년 조피볼락 생산량은 고수온으로 인한 폐사와 출하가능 물량의 감소로 전년도(21,568톤)대비 23.4% 감소한 17,473톤으로 나타났으나, 생산금액은 전년도(1,711억 원) 대비 28.2% 증가한 2,193억 원으로 나타났

21) 천해양식 생산량(천톤) : (1980)541 → (1990)773 → (2000)653 → (2010)1,355 → (2020)2,308

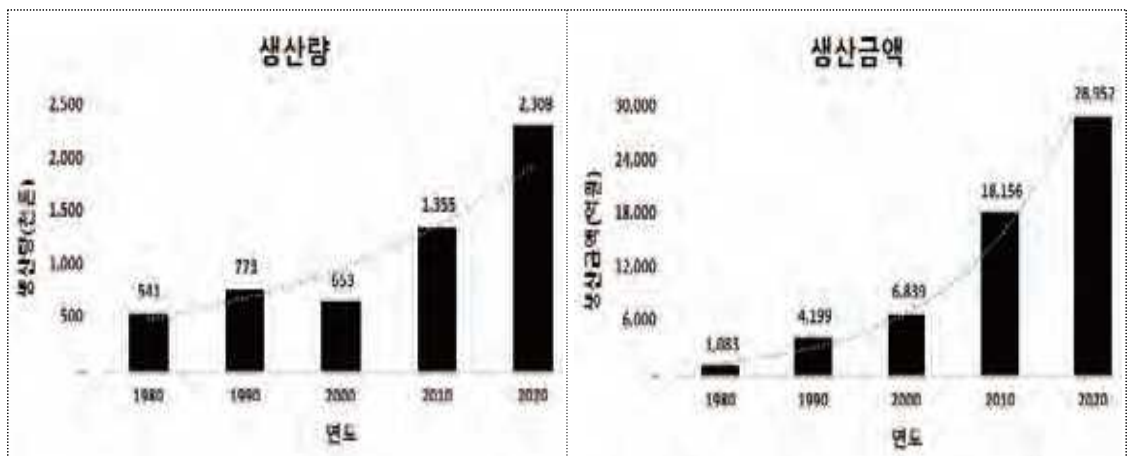
22) 천해양식 생산액(억 원) : (1980)1,083 → (1990)4,199 → (2000)6,839 → (2010)18,156 → (2020)28,952

2021년 꼬막류(2020년 6,765톤/213억원 → 2021년 4,650톤/190억원)와 우렁챙이(2020년 30,613톤/632억원 → 2021년 17,400톤/441억원)의 생산량은 고수온으로 인한 폐사로 각각 31.3%, 43.2% 감소하였고, 생산금액도 각각 10.9%, 30.2% 감소하였다.

다시마류(2020년 675,074톤/870억원 → 2021년 677,537톤/1,188억원), 미역류(2020년 501,501톤/1,310억원 → 2021년 574,585톤/1,368억원)의 생산량과 생산금액은 증가하였다.

김류(2020년 536,127톤/5,083억원 → 2021년 547,687톤/4,750억원)의 생산량은 증가한 반면, 생산금액은 감소하였고, 톳(2020년 27,575톤/139억원 → 2021년 20,180톤/96억원)은 생산량과 생산금액 모두 감소하였다.

<그림 4-2-1 천해양식 생산량 및 생산금액(1980~2020)>



* 출처 : 통계청(2021), 어업생산통계

2) 이상수온에 따른 양식생물 피해

최근 11년간(2011~2021) 자연재해에 따른 피해 규모는 총 2,363억원 이었고, 자연재해²³⁾의 종류는 고수온, 적조, 저수온, 태풍, 이상조류, 팽

23) 자연재해: 농어업재해대책법에는 '어업재해'라고 정의하고 있으며, 이상조류, 적조현상, 해파리의 대량발생, 태풍, 해일, 이상수온 등 자연현상으로 인하여 발생하는 수산양식물 및 어업용 시설의 피해를 말함

생이모자반 유입 등으로 다양해지고 있다.

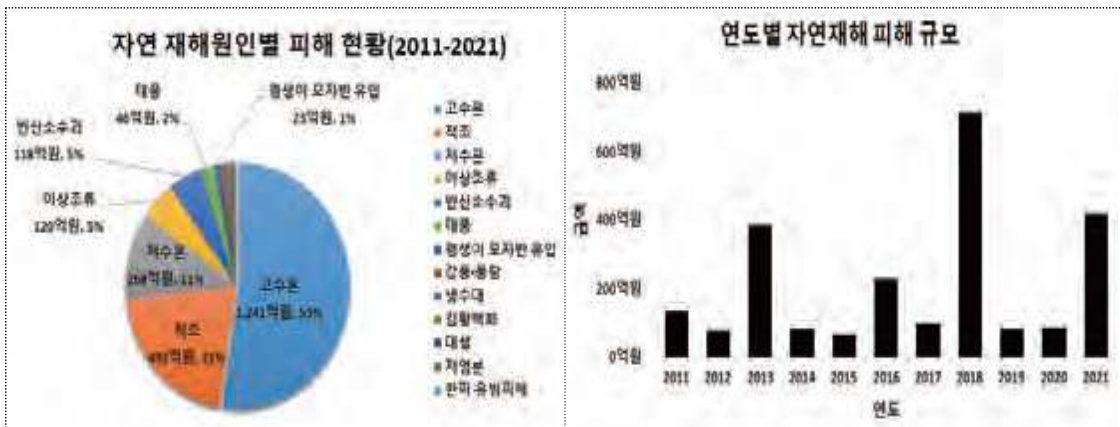
2011~2021년 가장 큰 피해를 준 자연재해는 고수온이며, 그 피해액은 1,241억원으로 전체 피해액의 53%였고 다음으로 적조는 피해액이 492억원(21%) 저수온은 268억원(11%)의 피해가 발생하였다.

빈산소수괴와 이상조류는 재해의 5%로 피해금액은 120억원과 118억원으로 각각 나타났다.

양식생물 피해가 가장 많았던 2018년도에는 고수온, 저수온, 한파로 713억원의 피해가 발생하였으며, 그중 고수온의 피해는 605억원으로 피해 지역은 경남, 전남, 충남, 제주도 850어가, 피해물량은 넙치, 전복, 조피볼락, 돔류 등 63,963천 마리가 폐사하였다.

2021년 1~4월, 썩생이모자반의 유입(신안, 진도)으로 김 403어가 99,237척, 다시마 109어가 9,829줄, 툇 108어가 7,742줄, 미역 3어가 205줄의 피해가 발생하였으며, 피해금액은 20억원이었다.

<그림 4-2-2 자연재해 원인별 피해 현황 및 연도별 자연재해 피해 규모>



* 출처 : 통계청(2021), 어업생산통계

2021년 고수온 특보기간 피해는 통영, 거제, 고성, 남해, 하동, 여수, 완도, 신안, 고흥의 598어가 어류 17,970천 마리, 굴·홍합 697줄의 피해가 발생하였으며, 피해금액은 217억 원이었음. 추가 피해 신고로 조

사한 전남지역(여수, 순천, 고흥, 보성, 장흥, 강진, 해남, 무안, 완도, 진도, 신안) 3,437어가에서 고수온으로 김, 미역, 새꼬막 피해가 발생하였으며, 피해금액은 95억원이였음. 경남지역(창원, 통영, 거제, 고성) 굴 양식에서 영양염류 부족, 빈산소수괴의 영향으로 374어가에서 96억원의 피해가 발생하였다.

3) 수온 변화에 따른 양식순기 변화

기후변화의 지속으로 인해 지난 세기 동안 지구의 평균 표층수온은 $0.6 \pm 0.2^\circ\text{C}$ 상승했으며, 특히 극지방, 한대지역 및 천해의 연안수역과 하천에서 크게 증가한 것으로 보고되었다.

해조류의 전 지구적 분포는 주로 수온에 의해 결정되며, 해양 온난화는 해조류의 분포와 풍부도에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

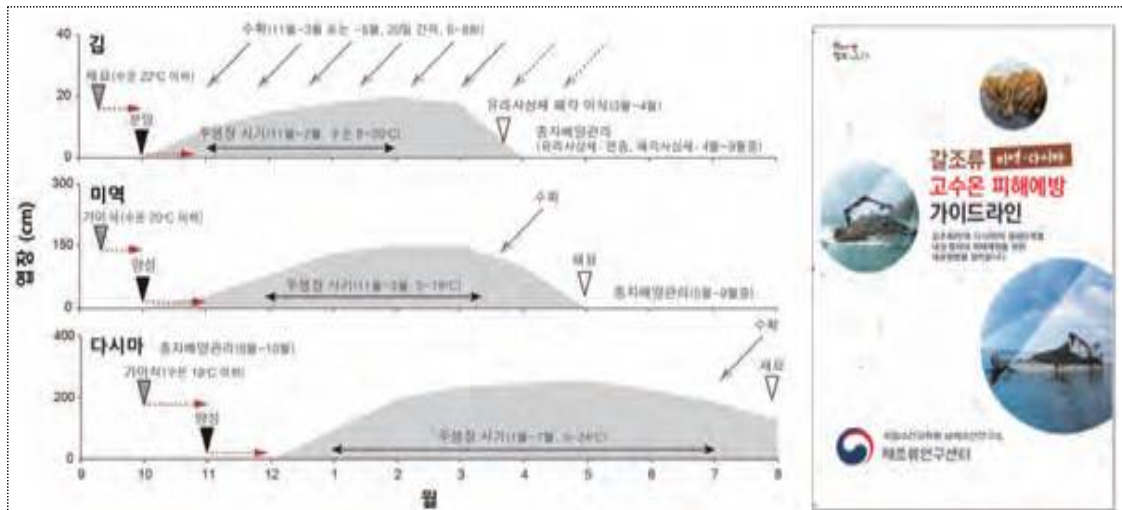
대부분의 해조류는 최적의 수온에 도달할 때까지는 해수 표면 수온(SST)의 상승에 따라서 대사율도 증가하므로 광범위한 수온에 견딜 수 있음. 그러나 이 대사율은 최적의 SST 범위 이상에서는 감소하게 됨. 최적의 수온보다 약간 높은 수온에서 해조류는 총광합성보다 호흡이 더 크게 증가하게 되는 등 돌이킬 수 없는 생리학적 반응을 유발하게 되었다.

이렇게 수온은 그 자체가 해조류에 치명적이지는 않지만 엽체의 순광합성, 성장 및 항상성을 저하시키고 엽체를 광도, 염분 및 영양소 농도와 같은 다른 스트레스 요인들에 대하여 더욱 취약하게 만들 수 있는 것으로 나타났다.

최근, 한국에서 해조류 양식이 시작되는 시기인 9~11월 사이의 표층수온 변동은 변화의 폭이 매우 크고, 해조류 종별 채묘 또는 가이식을 실시할 수 있는 안정적인 수온 범위에 도달하는 시기 도점차 늦어지고 있다.

김은 적정 채묘 수온(일평균수온)인 22℃ 이하가 되는 시기가 과거 9월 초에서 9월 말 이후로, 미역은 적정 가이식 수온 20℃ 이하가 되는 시기가 과거 9월 중순에서 10월 초순 이후로, 다시마는 적정 가이식 수온 18℃가 되는 시기가 과거 10월 초순에서 11월 초순 이후로 늦어지고 있는 것으로 나타났다.

<그림 4-2-3 해조류의 입식시기 변화 및 피해 예방 안내서>



* 출처 : 해양수산부(2021), 「갈조류 고수온 피해예방 가이드라인」

이처럼 해조류의 채묘시기 지연은 해조류 양식 기간의 단축으로 생산성 및 품질 저하로 이어질 수 있으므로 지속적인 수온 모니터링과 고수온 내성 품종개발 등 적극적인 대응책 마련이 필요하다.

4) 양식분야 기후변화 미래 전망

국립수산과학원에서는 RCP 시나리오별로 전 세계 기후모델링 결과를 이용하여 물리학적 상세화 기법으로 고해상도(약 10 km 해상도)의 우리나라 인근 해역의 해양기후모델에 적용하여 RCP 4.5와 8.5 시나리오 기반의 2100년까지 미래예측 자료(수온, 염분, 해류)를 매 월 작성하였고, 양식업이 기후변화에 얼마나 취약성한지, 양식업에서 수온이 가져올 영향에 대한 전망, 남해안의 양식업 및 신 품종의 기후변화 노출 분석 등의 수산분야 시나리오를 적용한 바 있다. 또한, 시범 연구사업

으로서 RCP 시나리오 결과를 토대로 수온변동에 대한 전망 결과를 활용하여 우리나라 인근 해역의 주요 어획대상 종인 살오징어 및 고등어의 산란장 변화와 주요 양식대상 종인 넙치·참돔·우렁쉥이·참전복의 미래 양식 적지 변동에 대해 살펴 본 바가 있다.

작년에 동일한 RCP 시나리오의 미래 수온변동 전망 결과를 활용하여 김류, 미역류, 다시마류 등 해조류에 대해 미래 양식 가능시기의 변동 양상을 예측하였는데, 우리나라 해조류 양식의 경우, 주 양성 시기인 겨울철의 수온 상승 경향이 여름철보다 상대적으로 높아 주요 양식 품종 중, 가장 취약성이 높은 품종으로 전망되었다. 우리나라 연안의 대표적인 해조류인 김류는 양성 시기 최고 수온이 15℃, 다시마류는 14℃, 미역류는 18℃이며, 최저 수온은 5℃를 기준으로 정하고 있다.

한편, 미래 해조류 양식 생산 가능시기의 변동을 전망하기 위해서 우리나라 인근 해역에 대해 고해상도 기후모델 중 RCP 8.5 시나리오를 활용하였고 대표적인 해조류 양식대상 종인 김을 연구대상으로 선정하여 1년 중 수온이 5~15℃ 범위에 해당되는 일수가 2011~2020년, 2041~2050년 및 2091~2100년 등 3개 기간을 대상으로 10년 평균으로 각각 계산하였다. 이를 통해 현재는 남해와 동해를 중심으로 5~15℃의 범위에 들어가는 일수가 연간 150일 내외였지만, 중장기 적으로 점점 감소하여 2100년에는 거의 대부분 해역에서 100일 미만으로 변동하는 것으로 결과가 나왔다. 다시말해서, 한국 연안에서 해조류를 양식할 수 있는 환경은 해양환경 변동으로 매우 열악한 상태로 변화될 것으로 전망되고 있다.

특히, 해조류의 채묘 시기와 관련하여, 해조류 양식이 활발한 전남 완도 해역에 RCP 8.5 시나리오를 적용하여 미래 수온 변동을 예측하여 김의 채묘 적정 수온에 해당하는 22℃에 도달하는 시기를 기준으로 분석 결과, 완도 해역은 향후 2100년까지 0.33일/연 정도로 채묘시기가 늦어져, 현재 9월 하순경에 이루어지는 김 채묘 시기는 2100년에는 약 1달가량 늦추어진 10월말에서 11월초에 가능할 것으로 전망되었다.

V. 국내외 해양수산분야의 기후-해양 변화 정책 동향

1. 주요 국가의 정책 동향

1) 미국

가. 주요 법률

미국은 1990년대 후반부터 기후변화와 관련 다수의 법률 발의를 진행해 오고 있으며, 기후변화에 대한 평가·예측·대응에 관련된 법률체계를 갖추고 있다. 여기에는 「청정대기법(Clean Air Act)」, 「에너지정책법(Energy Policy Act of 2005)」, 「미국 청정에너지 보안법(American Clean Energy and Security Act of 2009, ACESA)」, 「미국청정에너지 지도법(The American Clean Energy Leadership Act)」, 「미국 기후변화영향 대비법(Preparing the United States for the Impacts of Climate Change)」, 「에너지 독립 및 경제성장 촉진법(Promoting Energy Independence and Economic Growth)」 등이 있으며, 이외에도 대기 오염 저감, 친환경 에너지 자원 및 청정에너지 개발 등과 연계된 사항을 포함하고 있다.

청정대기법은 1970년에 대기오염원을 규제하기 위해 입법화되었으며, 연방의 포괄적인 환경 규범이다. 동 법에서는 건강문제들을 야기하는 대기 오염문제를 다루고 있으며, 특히, 에너지정책부에서 신차의 대기오염물질에 대한 배출기준을 정할 수 있도록 하였다.

에너지정책법은 2005년 다양한 형태의 에너지 생산에 대한 세제혜택과 정책적 지원을 법제화한 것이다. 미국내 다양한 에너지 문제를 해결하기 위한 법으로 에너지 안전보장을 기본으로 재생에너지 지원책 등이 포함되어 있다.

미국 청정에너지 보안법은 2009년 온실가스 감축 목표를 설정하고

재생 에너지 보급뿐만 아니라 탄소 배출권 거래제도 도입하기 위해 법제화 되었다. 주로 에너지 효율을 높이고 청정에너지 경제로의 전환 등을 포함하고 있다.

미국청정에너지 지도법은 2009년 에너지 생산과 효율화, 연구개발 등을 목적으로 제도화 되었으며, 2012년까지 판매 전력의 15%를 재생 에너지로 충당하도록 규정하고 분산된 발전 에너지 효율 향상과 국가 송정망 고속도로 시스템 등을 포함하고 있다.

미국 기후변화영향 대비법은 2013년 연방기관의 기후변화 관련 적응 계획의 추진상황과 변동내용을 보고하도록 하는 등 계획의 통일적 이행력을 확보하기 위해 규범화하였다. 정부간 연계를 촉진하기 위해 새로운 기후변화에 대한 위원회를 설치할 것을 규정하고 기후변화 대비·대응 역량을 강화하기 위해 연방-주간 TF를 설치하도록 하는 등의 내용이 포함되어 있다.

에너지 독립 및 경제성장 촉진법은 2017년 미국의 에너지·기후변화 정책 기조를 전환하기 위해 내려진 대통령 행정명령이다. 미국의 모든 부처 및 기관에서 에너지 개발에 대한 규제를 재검토하고 기후행동 계획 폐지나 청정전력 계획 재검토 및 석유가스 개발 규제 재검토 등의 내용이 포함되어 있다.

나. 조직 및 협력 체계

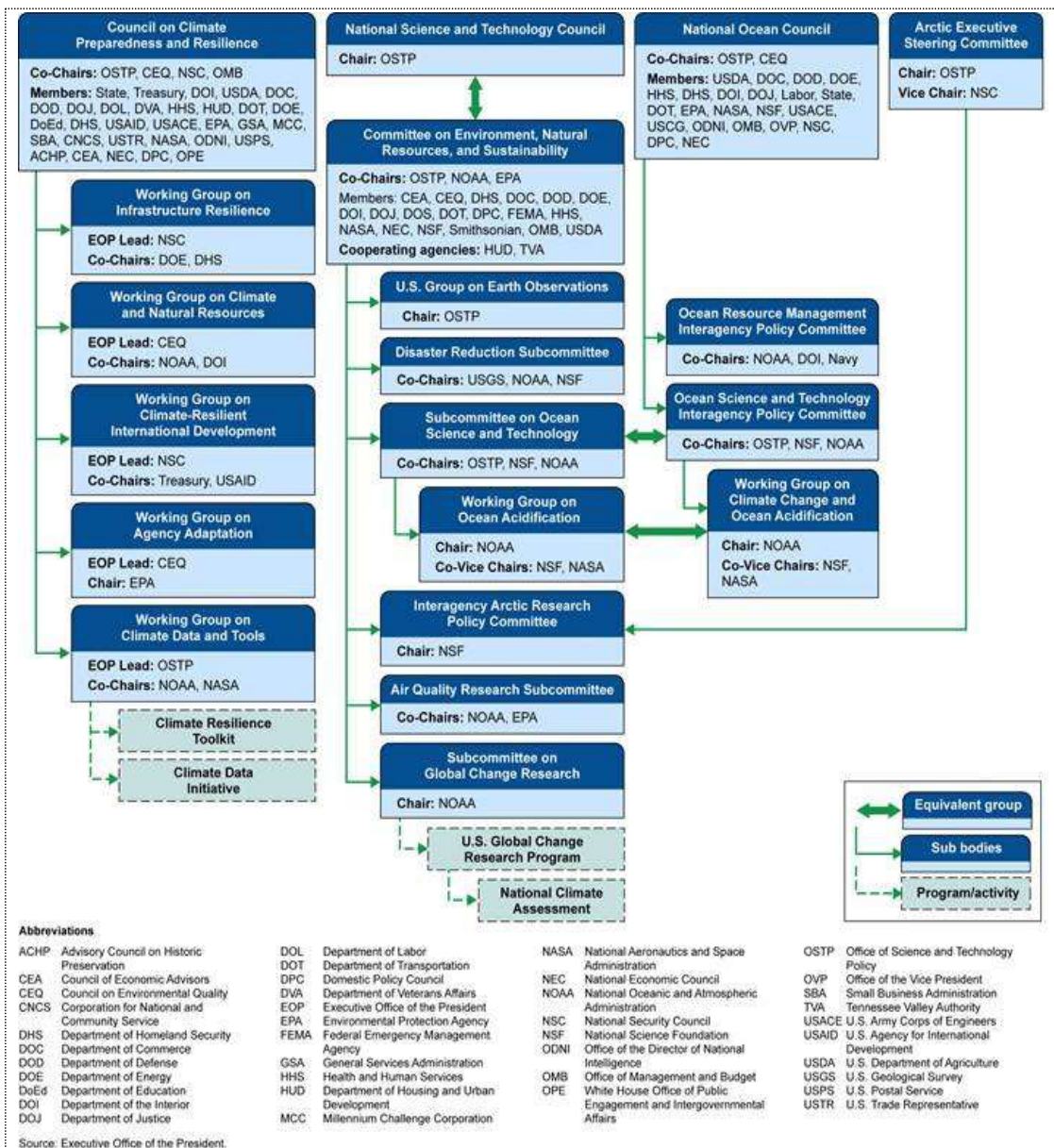
미국은 기후변화 대응을 위해 대통령령으로 기후변화 준비 및 대응 위원회를 설치하여 관련 정책을 수립, 조정하며 국가 자원 및 지속가능 환경위원회, 국립해양대기청 등 30여개 정부기관이 참여하고 있어 기관간 협력을 촉진하는 기능도 담당하고 있다. 기후변화 세부 대응 정책은 각 정부기관의 고유 기능에 따라 나뉘서 담당하며, 이를 백악관 '환경질위원회(Council on Environmental Quality, CEQ)'²⁴⁾에 제출하

24) 백악관 환경질위원회는 미국 대통령 집무실 직속 기관인 위원회로서 미 연방 정부의 환경 보호에 관한 자문을 담당함

여 승인을 받아 수행하는 체계를 갖추고 있다.

세부적으로 기후변화를 주로 담당하는 기관은 환경청과 에너지부이며, 이 외에 국립해양대기청, 수산야생생물국, 국가고속도로 안전청, 중부대서양수산물관리위원회, 연방에너지규제위원회 등의 기관들이 소관 분야별로 기후변화 관련 정책을 수립하여 추진하고 있다.

<그림 5-1-1 미 연방 기후변화 대응 체계>



자료: https://www.gao.gov/key_issues/climate_change_funding_management/issue_summary (검색일 : 2022.10.)

다. 주요 추진과제

미국의 기후변화에 대한 주요 추진과제로는 기후실행계획(Climate Action Plan, CAP), 청정전력계획(Clean Power Plan: CPP), 기후변화 준비·대응 위원회(council on climate preparedness and resilience) 구성·운영 등이 있다. 우선 기후실행계획(CPA)은 청정에너지 및 재생에너지 확대와 차량연비 기준의 강화 및 건물 에너지 효율 개선, 주요국과 네트워크 강화를 목적으로 추진되고 있다. 다음으로 청정전력계획(CPP)은 청정에너지에 대한 연구개발 및 상용화 확대를 목적으로 하고 있다.

또한 기후변화 적응정책에도 관심을 갖고 각 관련 기관이 고유 과제를 추진하고 있다. 기후변화 적응정책은 기후재해에 대한 사전 예방 및 대응, 복원 강화 등으로 구성되어 있으며, 자국의 세계 에너지 시장에서의 지배권을 강화를 위해 미국 우선 에너지 계획을 수립하여 추진하고 있다.

아울러, 2018년에 적정청정에너지규정(Affordable Clean Energy Rule)을 시행하여²⁵⁾ 발전소에 배출되는 온실가스에 대한 감축 개념을 효율성 개선에 한정하여 규정함으로써 발전소 운영의 최적화를 도모하고 있다. 다만, 사실상 발전소에 한정된 정책으로 외적 영향을 포함하지 않아 환경단체의 반대에 직면하기도 하였다. 2000년 초반에 미국은 노후 화력발전소를 폐기하려고 하였지만, 정부 교체 이후 기존 화력발전소의 배출량을 개선하여 지속적으로 운영하는 정책방향으로 전환하였다. 그러나 최근 정부 교체 이후 다시 파리협정 재가입 추진이 예정되어 있고 기후변화 아전대를 무역협정으로까지 포함시켜, 기후변화 위기에 대한 각국의 의무 이행을 유도하기 위해 탄소조정관세 부과를 추진하고 있기도 하다. 또한 100% 청정에너지와 전기자동차 지향 등을 기후변화 위기를 극복하기 위한 수단으로 중요하게 다루고 있다.

미국은 정권 마다 기후변화 위기에 대한 정책 기조가 바뀌고 세부

25) 소병천(2019), 미국 환경법 최근 입법 동향, 환경법연구

정책 추진과제도 변경되는 특징을 보이고 있다. 오바마 정부는 지구온난화 방지를 위해 이산화탄소 감축, 재생에너지 확대 등 다양한 정책을 추진한 반면, 트럼프 정부는 오바마 정부의 정책과 상당 수준 폐기하며, 기후변화의 적응 정책 아젠다를 집중적으로 추진하였다. 한편, 바이든 정부는 전 정부의 기후변화 정책을 다시 전면 개편하고 기후위기 정책을 강화하기 위해 다양한 아젠다를 추진할 것으로 전망된다. 이와 같이 미국 정부가 정권변화 요인에 따라 정책의 일관성이 다소 떨어지는 문제가 있으며, 이로 인해 기후변화 및 해양변화 위기에 대한 국제적 동향도 영향을 받고 있다. 따라서 우리나라는 이러한 국제 정책 동향을 고려하여 기후변화 위기 극복을 위한 관측·예측, 대비·대응 및 복원 등 종합적인 정책기조를 바탕으로 추진될 필요가 있다고 판단된다.

2) 영국

가. 주요 법률

영국은 2000년대 후반부터 기후변화 위기에 대한 정책과제를 뒷받침하기 위해 「기후변화법(Climate Change Act)」, 「에너지법(Energy Act)」, 「계획법(Planning Act)」, 「탄소예산명령(Carbon Budget Order)」 등의 입법화²⁶⁾해 오고 있다.

기후변화법은 2008년에 법제화 되었으며, 세계 최초로 온실가스 배출량 감축 목표에 법적 구속력을 부여하였고 기후변화 위기에 대해 이행력을 유도하고 국제사회의 리더십을 확보하는 계기가 되었다. 동 법에는 기후변화프로그램(Climate Change Programme) 목표 달성에 대한 비관적 전망과 이에 대한 대응한 강력한 입법 요구 여론²⁷⁾을 반영하여 첫째, 2050년 감축목표 및 배출총량 예산산정, 둘째, 기후변화위원회 설치, 셋째, 탄소거래제도 도입, 넷째, 기후변화 영향과 적응 등이 주요 내용으로 포함되어 있다. 또한 독립계획위원회를 설치하여 이행에 필

26) 출처: 김범준(2010), 주요 국가의 녹색성장 법제에 관한 비교법적 연구(IV) - 영국, 한국법제연구원

27) 전은진 외(2017), 녹색·기후기술 R&D 정책 이슈 분석, 녹색기술센터

요한 절차 및 심사 등을 담당하도록 함으로써 기후변화 관련 법제도 이행의 효율성도 높이는 내용을 포함하였다. 특히, 중 장기적 목표 설정을 통해 온실가스 감축 의무화 및 관련 정책의 효과적 추진을 위한 제도적 기반 마련하고 2050년 기준 온실가스 배출량을 1990년 대비 20% 이하로, 2020년 목표는 1990년 온실가스 배출량 기준 26% 이상 감축하는 것으로 설정하였다.

에너지법은 2008년 국가 온실가스 배출량 저감을 위한 목표 설정과 정책 및 규제 수립을 효과적으로 추진하기 위해 법제화²⁸⁾되었다. 동 법은 저탄소 경제로의 전환을 위해 사업체, 소비자 등 다양한 사회구성원들이 각자의 역할을 이해하고 행동하도록 지원하고 이산화탄소 지중저장을 포함한 다양한 신기술 개발 및 경제적 유인수단과 각종 규제 제도의 제도화 지원 등을 포함하고 있다. 특히, 2010년, 2011년, 2013년 및 2016년에 사회, 법제도 및 기술발전 등을 반영하여 개별 사안에 관해 규정한 후속 법안들을 추가로 개정하고 2016년 개정에는 영국의 석유 및 가스산업 이익 극대화를 위한 별도의 규제기관(Oil and Gas Authority)를 설립하여 다양한 관련 사업을 추진할 수 있는 권한도 부여한 바 있다.

계획법은 2008년 기후변화 대응 관련 국가정책 수립 및 이행 절차에 대한 효율성 제고를 위해 입법화 되었다. 동 법은 공간계획을 규정하는 국가정책보고서(National Policy Statements) 작성 시 국가 차원의 중요 기후변화 대응 사회기반시설을 위해 별도의 지침을 수립하고 상기 기반시설의 관련 계획을 전담하는 사회기반시설 계획위원회를 설치하는 등 기후변화와 관련한 시급한 사안은 국가 차원의 의사결정 과정을 간소화토록 하는 내용을 포함하고 있다.

- 기후변화에 대한 계획지침 및 지역계획과의 긴밀한 연계를 위해 이해관계자 참여 보장, 주민보상 등 관련사항 명시

탄소예산명령은 2016년에 5년 단위 국가 온실가스 배출량 감축 목표에 연계한 탄소예산을 설정하기 위해 법제화하였다. 동 법에는 국가

28) 출처: 홍유식(2017), 주요국 기후변화대응 추진체계 조사, 산업통상자원부

온실가스 배출량 감축 목표와 연계하여 모든 정부 부처의 탄소 예산을 할당함으로써 독자적으로 온실가스 배출량 감축 관련 계획 수립하고 이행할 수 있는 추진력을 확보하기 위한 대책 등이 포함되어 있다. 이외에도 제5차(2028-2032년) 탄소감축목표를 이산화탄소 환산량 17억 톤으로 설정하고 2030년의 온실가스 배출량을 1990년 대비 57%로 감축하는 내용도 포함되어 있다.

나. 조직 및 협력체계

영국은 전반적인 기후변화 위기 대응 및 정책을 전담하는 주무 부처로 환경식품농무부(DEFRA²⁹)로 정하고 유관 부처 및 지방정부와 협력을 통해 국가 기후변화적응프로그램을 수립하고 있다. 또한 기후변화에 따른 영향 예측, 정책 평가, 각 부처의 역할 및 관련 원칙 수립, 공공 및 민간부문의 적응방안 수립 등도 담당하고 있다.

부문별로는 환경변화, 경제위기, 에너지공급 안정성 확보 등에 효율적으로 대응하기 위해 '기업산업에너지전략부³⁰'가 온실가스 배출량 감축 및 에너지 문제 등을 전담하고 있으며, 교통부, 외교·영연방부, 국제개발부, 재무부 등의 각 유관부처도 기후변화정책을 수립·이행을 담당하고 있다.

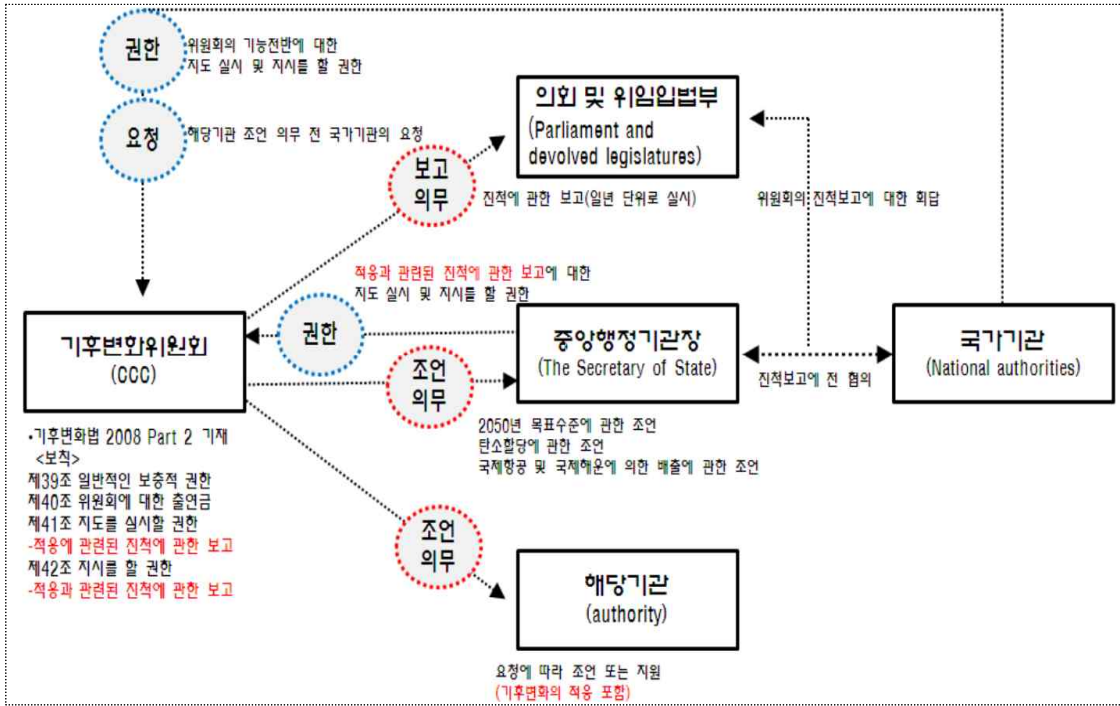
특히, 중앙정부 및 산하기관의 정책을 심의하는 범정부적 각료회의인 '에너지·환경위원회'를 구성하여 운영 중이며, 독립적인 전문가 자문기구인 기후변화위원회³¹를 통해서 국가 기후변화리스크평가 준비지원 및 국가기후변화적응프로그램(National Adaptation Programme) 이행을 지원하고 있다. 또한, 단계별 탄소예산 할당량을 검토하고 온실가스 배출량을 모니터링하고 유관기관들의 실행계획 수립을 지원하는 등의 기능을 수행하고 있다.

29) Department for Environment, Food & Rural Affairs

30) Department for Business, Energy & Industrial Strategy

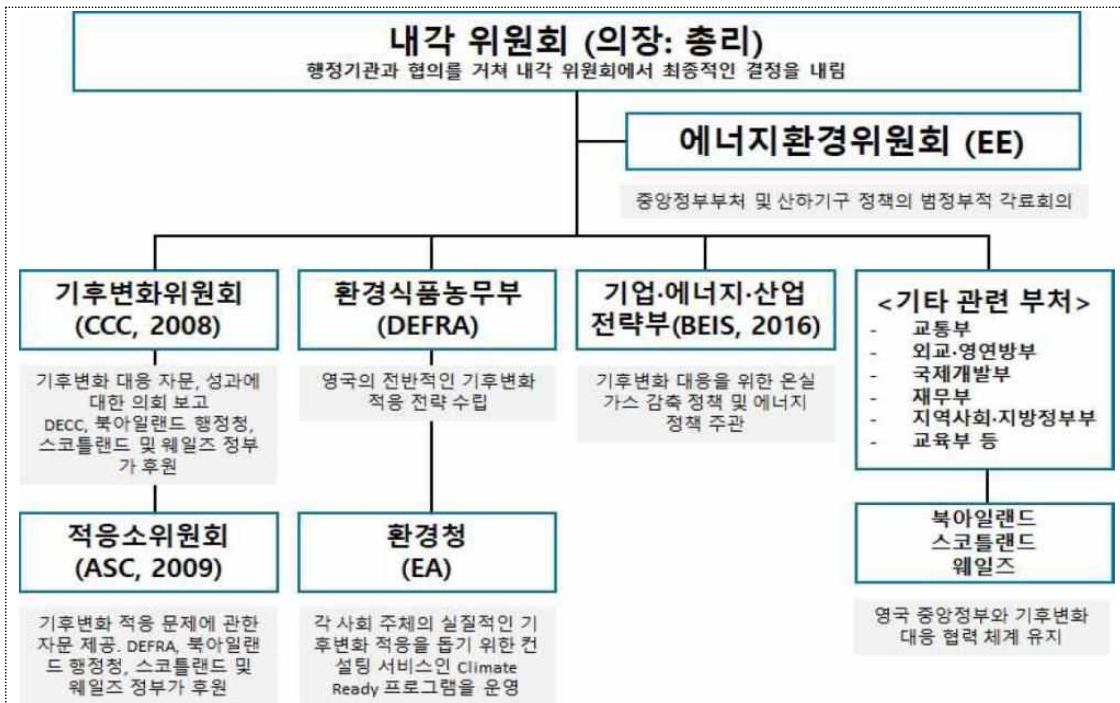
31) Committee on Climate Change

<그림 5-1-2 기후변화위원회의 주요 역할>



출처: 환경부(2013), 「기후변화적응전략종합연구」

<그림 5-1-3 영국의 기후변화 대응 조직 및 협력체계>



자료: 박철호(2020), 기후변화대응 국가 R&D 및 국내외 기관 조사·분석 연구, 국가과학기술자문회의

지방정부는 중앙정부 및 지역 간 기후변화 적응 파트너십을 체결하고 지역 이해관계자들이 국가 기후변화적응프로그램 수립 시 지역 적응 관련 의사결정 과정에 참여할 수 있도록 기회를 제공하고 있다. 스코틀랜드, 웨일즈, 북아일랜드 주 정부도 중앙정부의 기후변화 대응 정책과 부응하여 자체적으로 온실가스 저감 및 재생에너지 목표를 설정하여 추진하고 있다.

다. 주요 정책과제

영국은 기후변화프로그램(UK Climate Change Program)을 수립하여 에너지 효율 향상과 화석연료 의존도 저감을 위한 방안을 모색하고 있는데, 주요 내용으로는 기후변화부담금(Climate Change Levy), 배출권 거래제, 에너지효율약정(Energy Efficiency Commitment) 등 온실가스 배출량 감축 지원 수단 등이 포함되어 있다.

또한, 기후변화리스크평가(Climate Change Risk Assessment)³²⁾를 통해 기후변화법에 근거를 둔 5년 주기의 기후변화 영향 평가를 실시하고 있으며, 기후변화로 인해 발생할 리스크의 식별, 비교 및 우선순위 결정, 정부의 기후변화 대응 정책 수립 및 추진을 위한 근거자료 제공이나 기업, 지자체, 기타 단체의 기후변화 대응 지원 등을 포함하고 있다.

다음으로 기후변화적응프로그램(Adaptation to Climate Change Program)은 기후변화 리스크 평가에서 도출된 문제점 대응이나 기후변화 영향 저감을 위한 중앙정부의 핵심 정책 정립 및 중·장기 계획 구축 등을 포함하고 있다.

영국은 기후변화 대응정책 전담 부처와 분야별 세부 목표 수립하고 이행 담당 부처와의 협력을 통해 역할분담하고 있다. 또한, 정책 수립 과정에 지방정부 및 시민사회 참여를 유도한 것은 우리나라 기후변화 대응 체계 구축에도 시사하는 바가 크다 할 것이다.

32)출처:기후변화적응정보포털(검색일자: 2020년 10월 23일)

2. 국제기구 정책 동향

1) 유엔기후변화 협약 및 파리협정

가. 개요

1972년 6월에 스웨덴 스톡홀름에서 개최된 '유엔 인간환경회의'를 계기로 국제사회에서 환경문제에 대한 이슈가 전 인류의 공동 과제라는 공감대가 형성 되었다. 유엔 차원에서 기후변화의 원인을 규명하기 위해 세계기상기구(the World Meteorological Organization, WMO)와 유엔 환경계획(UNEP)이 1988년에 '기후변화에 관한 정부 간 패널(IPCC)'을 설립하였다. IPCC는 1990년에 최초로 기후변화에 관한 평가보고서를 발간한 이래 5~7년 단위로 기후변화에 대한 평가보고서 발간하고 2020년에 제6차 보고서를 발간한 바 있다.

UN은 1992년 리우 유엔환경개발회의에서 '유엔기후변화협약(United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC)'을 채택하고 '공통의 그러나 차별화된 책임원칙'에 따라 선진국과 개도국이 능력에 맞게 대응 노력을 명시하고 1997년의 교토의정서가 채택되면서 1단계 국제 기후변화 규범 체계를 완성 하였다. 즉, 경제발전과 산업화 과정에서 온실가스를 다량으로 배출한 선진국이 지구온난화에 역사적인 책임이 있다는 점을 인정하고, 온실가스 배출 감축에 있어서도 그에 부합하는 상응하는 조치를 이행해야 한다는 점을 강조하였다.

1997년 채택된 교토의정서는 실질적인 온실가스의 배출감축 노력을 이행하기 위한 로드맵의 성격을 갖는 국제협약이다. 동 의정서는 2008년부터 2012년까지 1차 감축, 2013년부터 2020년까지 2차 감축에 대한 구체적인 목표와 국제배출권 거래제(International Emission Trading: IET),³³⁾ 청정개발체제(Clean Development Mechanism: CDM),³⁴⁾ 공동이

33) 선진국의 온실가스 감축목표를 고려하여 선진국이 배출할 수 있는 온실가스의 최대 허용량을 부여한 다음, 감축목표 달성을 위해 그 거래를 허용한 제도를 의미함. 환경부(2008), 『지방자치단체 기후변화대응 업무안내서』

34) 선진국, 즉 부속서 I 국가가 개도국에서 온실가스 감축사업을 수행하여 발생한 감축분(CERs:

행 체제(Joint Implementation : JI)³⁵⁾ 등을 포함하고 있다.

<그림 5-2-1 국제기후변화 규범체계의 변천 및 주요내용>



출처 : 한국해양수산개발원(2017), 「Post-2020 국제기후변화 규범체계에 대응한 해양정책 개선방안 연구」

나. 최근 논의 동향

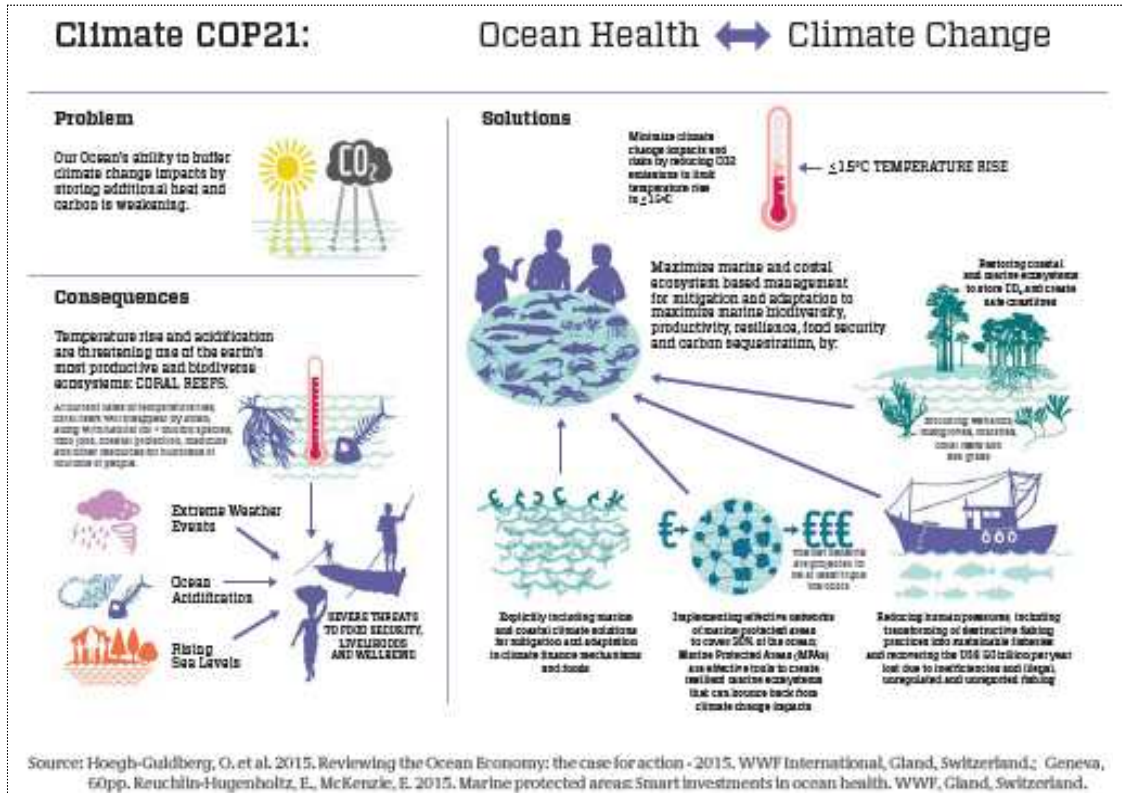
유엔기후변화협약과 교토의정서체제에서는 기후변화가 미치는 부정적인 영향을 줄이기 위한 적응정책의 수립과 회복력(resilience) 강화를 위한 기술개발을 강조하고 있다. 기후변화에 대응하기 위해서는 저감정책과 적응정책이 조화롭게 추진되어야 한다는 점을 강조하고, 기후변화로 인한 손실과 피해를 최소화하고, 개도국의 역량을 강화하기 위한 국제협력을 강조하고 있다. 특히, 유엔기후변화협약 제22차 당사국

Certified Emission Reductions)을 선진국의 감축실적으로 인정하는 제도를 말함.

35) CDM과 유사한 제도로서 부속서 I 국가 간에 온실가스 감축사업을 수행하여 발생한 감축분(ERUs: Emission Reduction Units)을 공동의 감축실적으로 인정하는 제도임. II는 러시아 및 동구권 국가와 같이 아직 기술 발전이 미진한 시장경제 전환국을 주요 대상으로 함. 환경부(2008), 『지방자치단체 기후변화대응 업무안내서』

총회에서 '해양과 기후에 관한 전략행동 로드맵(2016-2021) (Strategic Action Roadmap on Oceans and Climate : 2016 to 2021)' 이 채택하여 파리기후협정의 이행을 위해 2016년부터 2021년까지 해양, 기후와 관련한 행동지침을 제공하는 것을 지원하고 있다.

<그림 5-2-2 해양과 기후변화 : 문제와 해결방안>



출처 : 세계야생기금 홈페이지 (검색일 : 2022, 10)

유엔기후변화협약과 교토의정서체제에서는 기후변화가 미치는 부정적인 영향을 줄이기 위한 적응정책의 수립과 회복력(resilience) 강화를 위한 기술개발 강조하고 유엔기후변화협약 제22차 당사국총회에서 '해양과 기후에 관한 전략행동 로드맵(2016-2021)' 이 채택되었다.

아울러, 연안 및 해양생태계, 인간의 정주여건의 취약성을 줄이기 위해서는 지역 사회의 “생태계 기반 적응(Ecosystem-based Adaptation, EbA) 전략” 을 권고하고 있는데, 해수면 상승, 폭풍 및 홍수 등 자연재해에 대한 적응역량을 강화하고 관련 인프라 개선을 권고하였다. 또한,

해양생물다양성 보호, 기후변화에 대한 해양생태계의 복원력 향상, 개별국가와 공해역에서의 통합된 해양보호구역 네트워크 구축, 기후변화와 블루이코노미의 연계 등도 강조하였다.

그리고, 기후변화로 위협받고 있는 전 세계 연안 보호를 위해 2100년까지 매년 12 ~ 710억 달러 가량이 소요될 것으로 추정하면서, '글로벌 공공재정메커니즘'과 '연안 기반시설 펀드'의 구성에 대해 논의되고 있다. 2019년 3월에 개최된 제18차 기술집행위원회에서는 녹색기후기금 및 지구환경기금 등 재정메커니즘과 기술 메커니즘 상호간의 연계성, 탄소시장 메커니즘의 협력적 접근 등에 대해 논의가 이루어짐

과학기술혁신포럼(STI Forum, Science Technology Innovation Forum)에서는 매년 개최하고 있는데, 과학-정책 인터페이스, 유엔 SDGs 로드맵을 위한 역량 및 정책 강화, 포용적이고 평등한 사회를 위한 과학-기술-혁신, 과학기술 혁신의 리스크와 격차, 과학기술 발전에 따른 경제사회적 영향(신규 일자리 창출 및 기존 일자리 감소 등), 윤리와 규범을 고려한 기술 도입, 국가, 지역, 글로벌 단위, 그리고 공공-민간-시민 등 다부문(multi-sectoral), 다중 이해관계자(multi-stakeholder)의 기여 등에 대한 논의가 이뤄지고 있다³⁶⁾

해양은 대기 중의 이산화탄소의 약 28%를 흡수하고 있으며, 93%의 열을 흡수함으로써 기후변화 조절자 역할을 하고 있으나, 기후변화로 인해 해수면과 해수온의 상승, 해양산성화, 수산자원 변화, 연안재해 빈도 증가 등 영향을 받고 있으므로 세계 각국은 관련 대책이 필요하다는데 공감대가 형성되어 있다. 그리고 세계 각국은 자국 여건을 기반으로 탄소 흡수원인 해양과 연안 생태계를 지속적으로 보존하고 강화하며, 블루카본(Blue Carbon) 관리를 위한 정책 및 재정적 지원도 필요한 실정이다. 또한 해상 풍력, 파력 에너지, 조력 및 바이오연료 등 해양기반 재생에너지의 지속가능한 개발, 해양기반 이산화탄소 포집·저장(CCS), 해양지구공학(geo engineering) 등에 대한 적절한 규제도 필요하다는데 논의가 이뤄지고 있다.

36) 박인혜.이원아.오채운(2019), 「2019년도 상반기 유엔기후변화협약 하 기술메커니즘 회의 결과」

2) 기후변화에 관한 정부간 패널(IPCC)

가. 개요

유엔 차원에서 기후변화 원인을 규명하기 위해 세계기상기구(WMO, the World Meteorological Organization)와 유엔환경계획(UNEP)은 1988년에 '기후변화에 관한 정부 간 패널(IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change)'을 설립하고 기후변화에 관한 정기적인 과학적 기준에 대한 평가, 영향과 리스크, 적응과 감축 수단 등을 정책결정자에게 제공하는 기능을 수행하고 있다. IPCC는 '90년에 최초로 기후변화에 관한 평가보고서를 발간한 이래 5~7년 단위로 기후변화에 대한 평가보고서를 발간하고 있으며, '20년에 제6차 평가주기 보고서를 발간한 바 있다. 특히, IPCC는 '90년에 발간한 제1차 보고서에서 “기후변화문제를 다루기 위한 국제규범의 마련”을 요구하였으며, 이는 유엔기후변화협약에 대한 논의가 본격적으로 진행되도록 한 원동력이 되었다. '20년에 IPCC 제6차 평가주기 종합보고서(AR 6)의 개요가 발간하였고 여기서 최신 온실가스 경로(SSP, Shared Socioeconomic Pathways)에 따라 산출된 전지구 기후시나리오 4종에 대한 분석결과를 발간하였다.

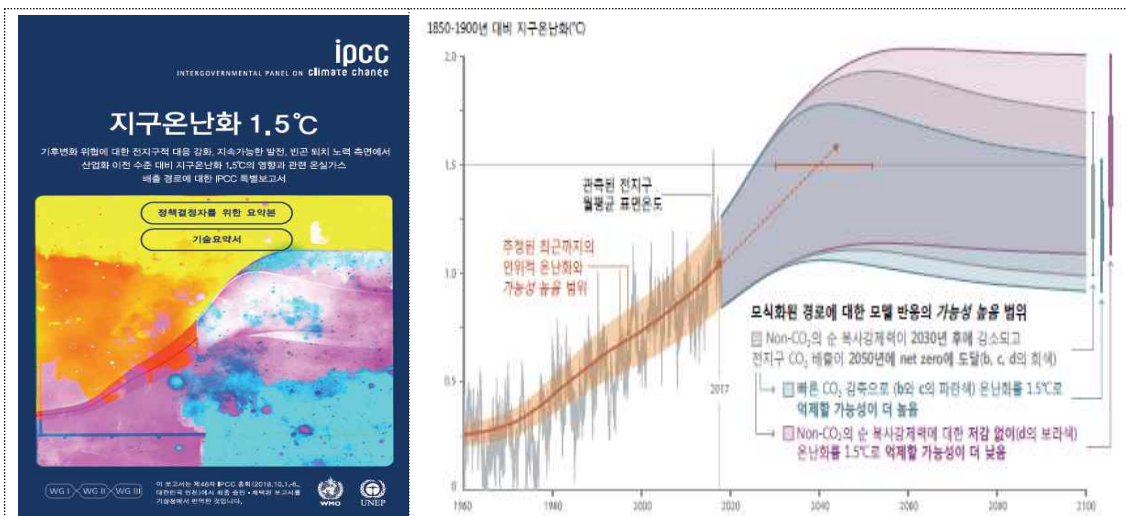
나. 최근 논의 동향

IPCC는 산업화 이전 수준 대비 지구 기온이 1.5°C 상승한 것으로 보고서를 발간(2018년)하고 관련 온실가스의 배출 경로를 평가하였는데, 이는 지구 온난화와 기후 관련 리스크 등에 대해서 확률로 평가하였다는 점에서 의미가 있다고 판단된다. 인간활동은 0.8°C에서 1.2°C 범위에서 산업화 이전 수준 대비 약 1.0°C의 지구온난화를 유발할 것으로 추정(가능성 높음)하고 있으며, 지구 온난화가 현재 속도로 지속 된다면 2030년에서 2052년 사이에 1.5°C 상승에 도달할 가능성이 높은 것으로 보고 있다.³⁷⁾ 산업화 이전부터 현재까지 인간활동에 기인한 배출량으로 인한 온난화가 앞으로도 지속 된다면, 해수면 상승과 같은 기후 시스템의 장기적인 변화와 이로 인한 영향이 계속 미칠 것이나, 현

37) WMO, UNEP(2018), 『지구온난화 1.5°C 보고서-국영문 합본』

재까지의 배출량만으로 1.5°C의 지구 온난화가 발생할 가능성은 낮은 것으로 보고 있다.³⁸⁾ 2100년까지 전지구 평균 해수면 상승은 2°C 보다 1.5°C 지구온난화 약 0.1m 낮을 것으로 전망되며, 해수면은 2100년 이후에도 계속 상승할 것이나, 그 상승 규모와 속도는 미래 온실가스 배출 경로에 따라 좌우된다고 하였다. 아울러, 해양에서의 기후변화 영향은 생리, 생존, 서식지, 번식, 질병의 발병과 침입종 리스크 등을 초래할 수 있어 잠재적으로 어업과 양식업에 대한 위험을 증가시킬 것으로 전망하고 있다. 그리고 그 영향은 1.5°C 지구온난화시에도 증가하며 2°C에서는 더욱 증가할 것으로 전망³⁹⁾하고 있다.

<그림 5-2-3 지구온난화 1.5°C 보고서 상 전지구 기온변화와 모식화된 인간활동에 의한 배출강제력 경로모델>



자료 : WMO, UNEP(2018), 「지구온난화 1.5°C 보고서-국영문 합본」

기후변화에 대한 적응 필요성은 2°C에 비해 1.5°C 지구온난화에서 더 낮아질 것이며 기후변화 위험도를 줄일 수 있는 광범위한 적응 옵션도 있다. 인간계와 자연계에 대한 적응 역량의 한계로 인한 손실이 1.5°C 지구온난화에서도 존재하고 적응 옵션의 수와 유용성은 부문별로 상이⁴⁰⁾하게 나타난다. 광범위한 적응 옵션은 생태계기반 적응, 생태계 복원, 생물다양성 관리, 지속가능한 양식업 등이 있으며, 해수면 상

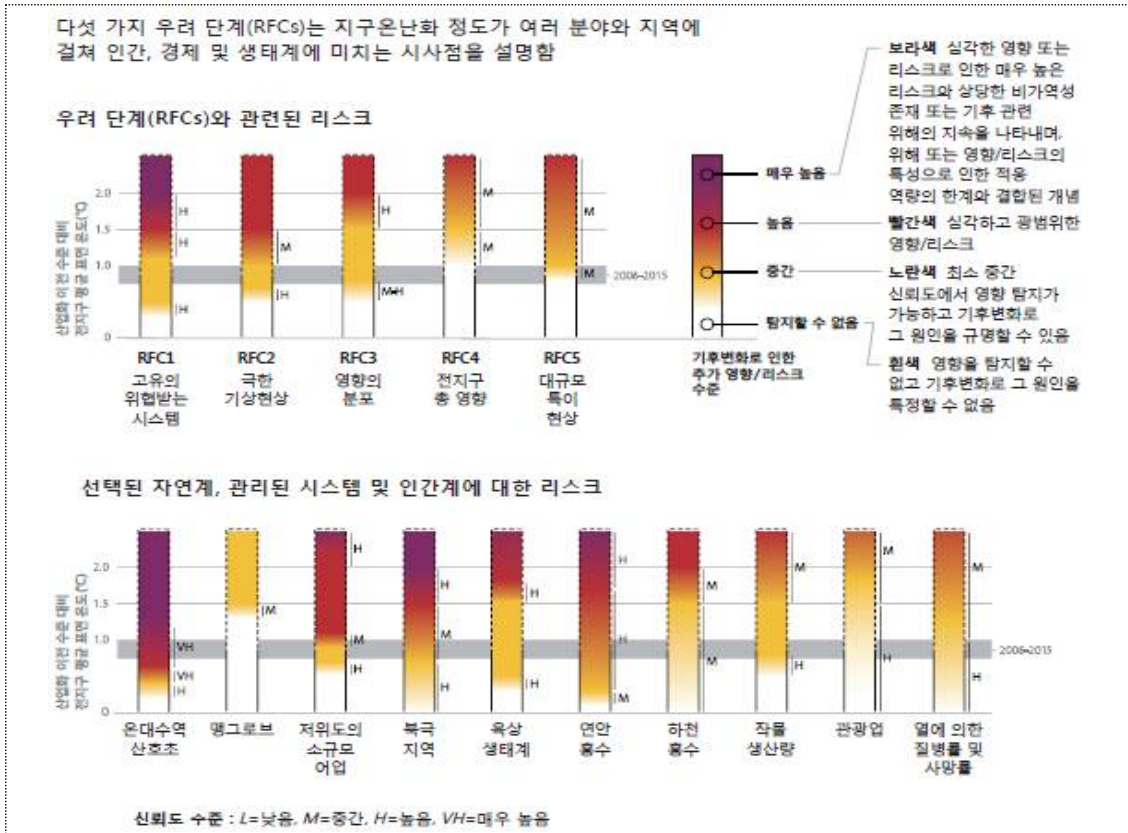
38) WMO, UNEP(2018), 전계서

39) WMO, UNEP(2018), 전계서

40) WMO, UNEP(2018), 전계서

승, 리스크 저감에 유용한 적응 옵션으로는 연안 방어 및 강화 등을 예로 들 수 있음⁴¹⁾

<그림 5-2-4 지구온난화 1.5°C 보고서 상 지구온난화 우려단계와 리스크>



출처 : WMO, UNEP(2018), 「지구온난화 1.5°C 보고서-국영문 합본」

※ RFC 1 : 고유의 위협받는 시스템, RFC 2 : 극한 기상현상, RFC 3 : 영향의 분포, RFC 4 : 전지구 총 영향, RFC : 5 대규모 특이 현상

다섯 가지 통합 우려단계(RFCs)는 여러 분야와 지역에 걸쳐 나타나는 주요 영향과 리스크를 요약하는 준거 틀로서, IPCC 제3차 평가보고서에 도입되었다. 이는 지구온난화 수준의 영향이나 위험을 탐지할 수 없거나, 보통이거나, 높거나, 매우 높은지를 평가하여 전문적인 판단을 내리는데 동 연구들이 활용되는 의미가 있다.

해양과 빙권은 고유한 서식처를 제공하며, 물, 에너지 및 탄소를 전지구적으로 교환하면서 전지구 기후 시스템상 다른 구성요소와 상호 연결되어 있다. 다시 말해서, 자연 및 인위적인 이산화탄소와 열의 흡

41) WMO, UNEP(2018), 전게서

수와 재분배 등을 기후시스템에서 해양과 빙권이 역할을 담당하고 있으며, 생태계 유지, 식량 및 물 공급, 재생 에너지, 건강과 복지, 문화적 가치, 관광, 무역과 수송 등의 서비스도 제공하고 있다.

이에 IPCC는 ‘19년 해양 및 빙권⁴²⁾ 특별보고서를 발간하여, 전 지구 평균 해수면의 상승, 그린란드 및 남극 빙상의 얼음 손실의 가속화 등 해양 및 빙권의 지구온난화 주요 현상을 설명하였다.

<그림 5-2-5 IPCC 해양 및 빙권 특별보고서 상 해양온난화의 주요 현상>

A.2.1		IPCC 5차 평가보고서(AR5)에 수록된 해양 온난화 추세가 계속되고 있다. 1993년 이후, 해양 온난화의 속도와 열 흡수는 1969년부터 1993년 동안 $3.22 \pm 1.61 \text{ ZJyr}^{-1}$ (수심 0-700m) 및 $0.97 \pm 0.64 \text{ ZJyr}^{-1}$ (700-2000m)에서 1993년부터 2017년 ¹⁷⁾ 동안 $6.28 \pm 0.48 \text{ ZJyr}^{-1}$ (0-700m) 및 $3.86 \pm 2.09 \text{ ZJyr}^{-1}$ (700-2000m)로 2배 이상 증가했으며(가능성 높음), 이는 인위적인 강제력에 기인한다(매우 가능성 높음). {1.4.1, 5.2.2, 표 5.1, 그림 SPM.1}
A.2.2		남대양은 1970-2017년 사이에 전지구 해양 상부 2000m에서 흡수한 총열량의 35-43%를 차지한다(높은 신뢰도). 그 비율은 2005년부터 2017년 사이에는 45-62%로 증가했다(높은 신뢰도). 2000m 이하의 심해는 1992년부터 온난화되었는데(가능성 높음), 특히 남대양에서 그렇다. {1.4, 3.2.1, 5.2.2, 표 5.1, 그림 SPM.2}
A.2.3		전 지구적으로 해양 열 관련 현상이 증가되었다. 해양 고수온 ¹⁸⁾ 은 일별 해수면 온도가 1982년부터 2016년 기간동안 지역에서 99분위를 초과할 때로 정의하며, 그 빈도는 2배로 늘었고 더욱 오래 지속되며, 강도도 세고 광범위해 졌다(매우 가능성 높은 범위). 2006년부터 2015년 사이에 발생한 해양 고수온의 84-90%는 인위적인 온도 상승에 기인한다는 것은 매우 가능성이 높다. {표 6.2, 6.4, 그림 SPM.1, SPM.2}
A.2.4		밀도 성층 ¹⁹⁾ 은 1970년 이후 해양의 상부 200m에서 증가되었다(매우 가능성 높음). 관측된 해양 표면의 온난화와 고위도에서의 담수 추가로 인해 해양 심층부에 비해 해양 표면의 밀도가 낮아지게 되고(높은 신뢰도), 표면 해수와 심해수가 섞이지 않게 된다(높은 신뢰도). 상부 200m의 평균 성층은 1971-1990년 동안의 평균값 대비 1998-2017년 평균값이 $2.3 \pm 0.1\%$ (매우 가능성 높은 범위) 상승했다. {5.2.2}
A.2.5		해양은 1980년 이후 전체 인위적 CO ₂ 배출량의 20-30%를 흡수하였고(매우 가능성 높음), 이로 인해 해양이 계속 산성화되고 있다. 외해 표층 pH는 1980년대 ²⁰⁾ 후반부터 10년마다 0.017-0.027 pH 단위의 매우 가능성 높은 범위로 감소했고, 해양 표면적의 95% 이상에서 매우 높은 가능성으로 이미 배경 자연 변동성을 벗어나는 표층 해수의 pH 감소가 나타난다. {3.2.1, 5.2.2, 박스 5.1, 그림 SPM.1, SPM.2}

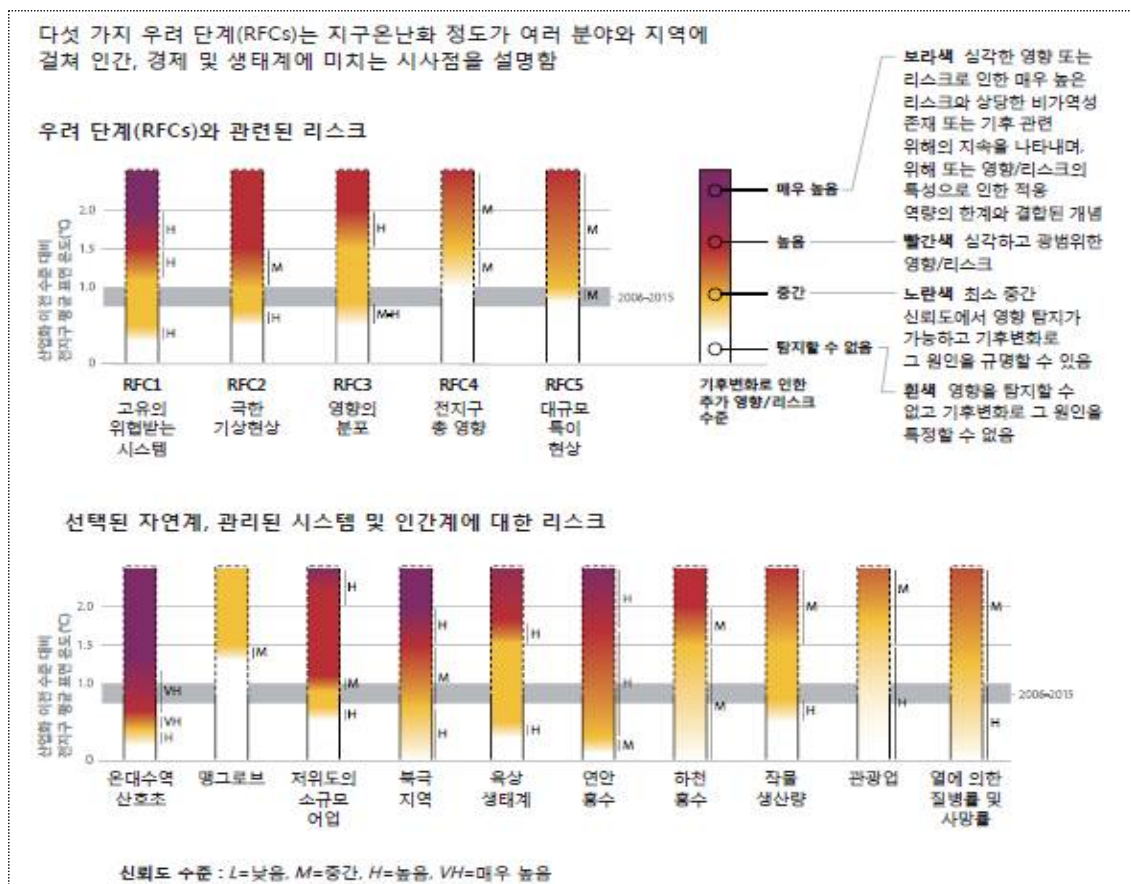
출처 : IPCC(2019), 「정책결정자를 위한 IPCC 해양 및 빙권 특별보고서 요약본」

특히, 지구의 육지 가운데 10%는 빙하 또는 빙상으로 덮혀 있는데, 1789년부터 2018년까지 북극 지역의 해빙면적이 연중 계속 줄어들고 있으며, 그 두께도 얇아지고 유년 빙하로 바뀌고 있다고 보고 하였다. 또한, 1979년부터 2018년까지 5년생 이상의 다년 얼음의 면적 비율은 약 90% 정도 줄어들었음을 경고하고 있다. 그리고 해양의 열팽창이 지

42) 빙권 : 육지 및 해양 표면과 그 아래의 지구계를 이루는 곳에서 얼어있는 지역으로 정의하며, 적설, 빙하, 빙상, 빙봉, 빙산, 해빙, 호수 얼음, 강 얼음, 영토 동토층과 계절적으로 얼어붙은 땅 등을 포함

속적으로 나타나고 전지구 평균 해수면도 상승하고 있다. 1970년 이후로 전 지구 해양이 온난화되고 있으며, 기후 시스템에서 초과된 열의 90% 이상을 흡수한다는 점은 사실상 확실한 것으로 보이며, 1993년 이후에는 해양 온난화 속도가 기존 보다 2배 이상이 되고 있으며, 해양 고수온은 1982년 이후 그 빈도도 2배로 늘었을 가능성이 매우 높고, 강도도 증가하고 있는 것으로 보고 하였다. 그리고 더 많은 이산화탄소를 흡수함으로써 해양표면의 산성화도 가속화되고 있는 것으로 보고 하였다.⁴³⁾

<그림 5-2-6 IPCC 보고서 상 기후변화로 인한 해양생태계 영향 및 리스크>



출처 : IPCC(2019), 「정책결정자를 위한 IPCC 해양 및 빙권 특별보고서 요약본」

IPCC의 주기적인 평가 보고서는 과학적으로 기후변화를 평가한 것으로 유엔기후변화협약 및 파리협정 등 국제사회의 기후변화 대응 및 정책 결정시 중요한 기초자료로 활용되고 있다. 특히, 해양과 빙권 특별

43) IPCC(2019), 전게서

보고서는 해양과 빙권이 기후변화로 인해 어느 정도 위협을 받고 있는지 알려주고 이들이 기후 조절자로서의 중요한 역할을 하고 있다는 것을 알 수 있는 과학적 자료로 평가받고 있다. 제6차 IPCC 정기 평가 보고서가 최종 발간되는 '23년까지 국제적인 동향을 지속적으로 파악하고 그 결과를 정책적으로 적절하게 반영해 나갈 필요가 있다.

3. 우리나라 해양수산 분야 정책 동향

1) 개요

파리협정 채택('15.12)을 통한 신 기후체제 출범으로 기후변화 대응을 위한 전 지구적·국가적 관심 및 노력 고조 되고 2천만톤/일 CO2를 흡수하고, 인간 활동으로 배출되는 CO2의 25%를 흡수하는 것으로 알려진 해양의 경우 지구의 주요 기후변화 조절의 핵심 역할을 수행하며 이에 대한 적극적 대응이 필요하다. 특히 우리나라는 해양에 둘러싸인 반도라는 지리적 특성을 고려할 때, 기후변화에 취약한 연안과 수산자원 관리 등에 선제적 대응이 중요하다고 볼 수 있다.

이에 따라 해양수산부에서는 부내 산재된 기후변화 관련 정책을 통합적으로 검토·종합한 해양수산부문 기후변화 대응 종합계획을 수립하여 추진하고 있다. 여기에는 중장기적 목표, 부문·분야별 전략과 세부 시행과제를 제시·이행하고 국내외 환경 및 기존 정책 경과를 종합적으로 평가하여 해양수산부문 기후변화 대응을 체계적으로 추진할 목적으로 매 5년마다 수립하고 있으며, 최근 제4차 해양수산부문 기후변화 종합계획을 수립하였다.

2) 중점 추진전략⁴⁴⁾

지구의 대기-해양간 끊임없는 상호작용에 따라 나타나고 있는 기후변화에 대해 과학적 관점에서 그리고 정책적 관점에서 그 실제적 양태

44) 출처 : 해양수산부(2015), 「제3차 해양수산부문 기후변화 종합계획」

를 밝히고 규명하기 위해 국내외 연구기관과 각국 정부, 국제기구가 기울이고 있는 노력이 상당히 광범위하고 장기간에 걸쳐 이뤄져 왔다. 그리고 앞으로도 더 과학적이고 체계적인 기후변화 양상과 원인을 규명해 나갈 것이며, 정치, 경제, 사회, 문화 등 인류 생존과 문명 및 자연생태계에 기후변화가 미칠 영향에 대해 적극적인 대응 방안을 마련해야 한다는 것은 더욱 긴요해질 것으로 전망된다.

지금까지 국내적으로도 기후변화 대응을 위해 각 부처 및 지자체, 연구기관에서 고유의 역할을 경주해 오고 있으며, 여기서는 해양수산 분야에서 추진되어 온 주요 정책 방향과 과제들에 대해 살펴보도록 하겠다.

수산, 해양환경, 어촌 등 연안 등이 정책 대상인 해양수산분야는 기후변화시 가장 직접적으로 영향을 받게 되는 분야라 할 것이다. 이에 따라 해양수산부는 비법정 계획이긴 하나, 각 기관별로 추진되고 있는 기후변화 대응책을 체계적이고 종합적으로 추진하기 위한 '해양수산부 문 기후변화 종합계획'을 수립하여 총괄 관리를 하고 있다.

정책 목표는 해양 기후변화 현상을 과학적으로 이해하기 위한 관측·예측 체계를 고도화하고 해양수산부문 온실가스 배출 저감·감축 기술의 연구개발 및 상용화, 기후변화 사전 대응력 확보를 통한 피해 최소화 등 적응력 강화 및 기후변화 대응 체계의 효과성 제고를 위한 이행 기반 강화로 두고 세부 정책과제를 추진해 오고 있다.

먼저, 기후변화 관측·예측 시스템 고도화를 위해 해수면 및 해양생태계 변화 모니터링, 극지 빙권 변화 모니터링, 연근해 어장 및 수산자원 영향 모니터링과 해운-항만 분야 온실가스 배출 모니터링 시스템 구축 등을 정책과제로 정하고 추진하고 있다.

둘째, 해양수산부문 온실가스 저감·제거를 위해 해양청정에너지 기술 개발, 해양 CCS기술 실증화, 저탄소 에너지 절감형 항만 구축, 에너지

절감 수산업 기반 구축 등의 과제를 선정하고 추진해 오고 있다.

셋째, 사전 예방적 기후변화 적응 및 피해 예방 체계 마련을 위해 기후변화를 고려한 연안 재해 취약지역 규명, 사전 예방적 연안침식·재해 대응 체계 구축, 수산업·어촌의 기후변화 취약성 규명, 기후변화 대응 어업·양식업 신기술 개발, 기후변화 피해저감 기술 및 수산자원 관리 기술 개발 및 항만 재난재해 대응력 강화 및 기반 구축 등을 세부 과제로 정하고 추진하고 있다.

마지막으로, 기후변화 대응 이행기반 확립을 위해 기후변화 정책 이행을 위한 법적 근거를 마련하고 기후변화 정책 핵심 기관 확립 및 해양수산부문 기후변화 국제협력 강화 등을 세부과제로 정하고 추진해 오고 있다.

VI. 지속가능한 어업관리 및 양식업 적응 정책 제언

우리나라 국민들의 수산물에 대한 수요는 꾸준히 증가하고 있으며, 국가 식량안보 측면에서 수산물의 안정적인 공급은 매우 중요한 국가적 정책과제임과 동시에 물가 안정 등 경제적으로도 중요한 과제라 할 것이다. 특히, 우리나라 국민 1인당 수산물 소비는 세계에서 가장 높은 수준으로 꾸준히 증가 추세⁴⁵⁾인 반면, 공급 중 국내 어업과 양식업이 차지하는 비중인 자급률은 2019년 기준, 68.4%로 매년 낮아지고 있는 실정⁴⁶⁾이어서 안정적인 수산물 공급이 수산분야 최대 현안으로 대두되고 있다.

한편, 국민 수요에 부응하기 위한 수산물 공급도 중요하지만, 보다 실체적이고 근본적인 현안으로서 수산자원의 생존, 분포, 이동, 번식과 어업 및 양식업의 수산물의 생산활동에 직접적이고도 강력하며, 시공간적으로 광범위한 영향을 미치는 기후-해양 변화가 부상하고 있으며, 이에 대해 소극적으로 대응해서는 식량안보와 물가 안정 등 국가적 정책 목표를 달성하기 곤란하다는 것은 너무나 자명한 일이 되었다. 특히, 수산자원생물은 대기-해양 변화에 직접적인 영향을 받아 어업 및 양식업의 성패를 좌우하는 핵심 요인인 만큼, 중앙정부, 지자체, 연구기관, 업계, 지역사회 단체 등이 대기-해양 변화를 대비하고 피해를 최소화하며, 더 나아가 적응하고 복원하는데 필요한 역할을 유기적이고 체계적·종합적으로 추진해 나갈 필요가 있다 하겠다.

이와 관련하여 앞 장에서는 과학적 측면에서 대기-해양 변화의 양상과 그 원인에 대해 살펴 보았다. 더 나아가 이 변화가 수산자원 및 수산 양식업에 어떤 영향을 미치는지도 살펴 보았다.

따라서 본 장에서는 이러한 영향에 대해 정책적 관점에서 어떻게 대응하는 것이 수산자원 및 어업관리가 지속가능해 지고 수산양식 생산

45) 국민 1인당 수산물 소비량 : ('12) 53.8kg → ('15) 57.1 → ('19) 68.4(한국농촌경제연구원, 식품수급표, 2019)

46) 수산물 자급률 : ('12) 76.5% → ('15) 72.5 → ('19) 68.9(한국농촌경제연구원, 식품수급표, 2019)

을 안정적으로 영위해 나갈 수 있는지에 대해 살펴보는 것이 의미가 있다고 하겠다. 여기서는 기후-해양 변화에 그대로 노출된 수산자원을 포획·채취하는 어업분야와 어업에 비해 상대적으로 다소 그 영향이 작긴 하지만, 마찬가지로 기후-해양 변동에 의해 사업의 성패가 좌우되는 수산양식업으로 나뉘어서 살펴보도록 하겠다.

1. 지속가능한 수산자원 및 어업관리

1) 해양생태계 변화 모니터링·예측 시스템 고도화

수산자원의 풍흉과 분포는 전적으로 해양 변동에 따라 변화하는 만큼, 해양 생태계 변동에 대한 정보는 지속가능한 수산자원 및 어업 관리 정책에 필수불가결한 요소이며, 이러한 정보를 통합적이고 깊이 있게 이해하는 것이 주요 핵심과제라 할 것이다.

현재, 동·서·남해에서의 해양 변동 실태에 대한 변동 양상 등에 대해서 국립수산물과학원, 국립해양조사원, 해양환경관리공단, 유관 대학 등 각급 기관에서 실시하고 있는데, 해양생태계 변동 정보 및 예측의 정확성을 높이기 위해 통합 모니터링 체계를 구축할 필요가 있다. 한편, 바다 위에서의 관측뿐만 아니라, 광역 관측 정보를 수집하여 이해도를 높이기 위해 인공위성을 활용하는 방안도 추진할 필요가 있다.

먼저, 관측 지점, 시기, 내용, 방법 및 결과 처리 등에 대해 매뉴얼을 만들고 이에 대한 각급 기관간 역할 분담을 하는 것이다. 또한 이를 지원하기 위한 정보 플랫폼을 구축하되, 과거 관측 자료도 활용할 수 있도록 함으로써 관측결과의 연속성도 확보할 필요가 있다.

다음으로, 연별·계절별 해수면 높이에 대한 변동 추세를 관측할 필요가 있으며, 이러한 관측 결과를 예측모델 통해 연안어업 및 양식업 등의 대응에 활용할 수 있을 것이다. 한편, 중장기 해수면 변동 예측 정보제공 시스템을 고도화해 나갈 필요가 있다. 현재 21개소 조위 관측

소를 분석하고 IPCC 미래 기후변화 시나리오별 예측 결과를 종합하여 우리나라 해수면 예측을 보다 정밀하게 개선해 나갈 필요가 있다.

아울러, 동·식물플랑크톤, 해조류, 유영동물, 저서생물 등 생물군별로 지표종을 선정하여 생물량의 증감 경향을 파악하는 등 우리나라 동·서·남해 해양생태계의 장기 변동을 이해하고 예측 역량을 강화하기 위해 대한 해역별 모니터링을 실시할 필요가 있다. 한편, 이들 지표종의 증감은 수온, 염분, 영양염류, 용존산소 등에 의해 결정되는 만큼, 해양 변동에 대한 이해도를 높이는데도 효과가 있을 것이다.

그리고 궁극적으로는 이러한 수집된 관측 결과를 활용하여 해양생태계 변동을 예측할 수 있는 통합생태계 모델링⁴⁷⁾을 지속적으로 개선해 나갈 필요가 있다. 우선 대표적 해역을 샘플링하여 모델링 사례를 축적하고 추후 계속적으로 확대해 나갈 필요가 있다. 특히, 이러한 예측 결과는 과학적인 수산자원 및 어업 관리에도 중요하지만, 더 나아가 기후변화가 우리나라 사회경제에 미치는 영향을 이해하는 데에도 활용될 것으로 기대된다.

이외에도 지구 온난화 및 해수면 상승에 민감한 극지를 대상으로 주변 빙권 변화에 대해 종합관측망을 고도화할 필요가 있다. 특히, 각국의 극지 연구소와 공동연구프로그램을 구축하는 등 협력체제를 통해 빙권 붕괴 원인 규명이나 빙권 변화 예측 시스템도 개선해 나갈 필요가 있다. 여기에도 극지 해빙 인공위성 관측망과도 연계하여 해빙 신규 정보를 개발하고 고도화해 나갈 필요가 있다. 즉, 육상의 현장조사 결과와 인공위성 관측 결과를 비교함으로써 기후변화 추세에 대한 보다 정확한 정보를 얻을 것으로 기대된다.

2) 기후변화의 연근해어장 및 수산자원 영향 모니터링 및 예측 강화

지속가능한 어업관리뿐만 아니라 우리나라 수산물의 안정적인 수급

47) 한국과학기술원에서 동해 울릉분지, 광양만에 대해 월 단위로 먹이망 구조, 영양물질 이동 경로 등 생태계 구조 변동을 모델링한 사례가 있음(1980~2020년)

을 위해서는 수산자원 및 연근해 어장 변동에 대한 과학적인 조사가 선행되어야 가능하다. 이러한 조사결과를 토대로 현재 시행 중인 어획 시기, 장소, 종류, 대상의 크기 등의 규제나 어선 및 어구어법에 대한 법제 등을 상시적으로 합리화해 나가야 할 것이다. 더 나아가 중국, 일본 등 주변국과의 어업협상시, 협상 전략을 수립하거나 우리나라 배타적경제수역에 입어하는 외국 어선에 대한 과학적 어업 규제도 가능하게 될 것이다.

먼저, 실시간 어장정보 시스템을 구축·운영할 필요가 있다. 예를들어, 어장에서 기후변화가 초래하는 고수온·저수온 현상이 발생할 경우 관련 특보를 발령하고 세부 정보를 제공할 수 있는 관측 정보 시스템을 운영함으로써 어업인의 안정적인 경영을 지원해 주는 것이다. 수온 외에도 염분, 용존산소, 수소이온농도, 해저지형 등 다양한 해양환경 요인들에 대한 정보 생산·수집·저장 및 분석도 병행할 필요가 있다. 특히, 현재 연근해 특정 해역 및 배타적 경제수역에 대해 어장환경 모니터링을 실시해 오고 있으나, 조사 지점과 내용, 빈도 등을 확대해 나갈 필요가 있다. 또한, 동 모니터링은 상기 해양 조사와 연계하되, 결과 분석이 가능하도록 조사 계획을 유기적으로 구조화할 필요가 있다.

다음으로, 연근해 어장에 대한 생물학적 영향 정보 시스템도 구축·운영할 필요가 있다. 우리나라 주요 연근해 어장에서의 생태계 구조와 기능을 평가하여 이를 기반으로 어장의 풍흉 변화를 예측하는 것이다. 여기에는 시공간적인 기초 생산력 및 먹이망 구조가 해양환경 요인의 변동과 맞물려 어떤 양상으로 변동해 가는지 모니터링하는 것이다. 또한, 기후변화 및 인간 활동에 따른 어장의 민감도에 대한 지표를 개발하여 평가를 실시하고 현재 구축된 해양생태계 모델도 활용할 필요가 있다.

마지막으로 기후변화가 수산자원의 서식지, 산란장, 성육장 등 다양한 형태의 어장에 대해 미치는 영향을 분석하되, 이를 인공지능과 연계하여 어장 및 어획량 변동의 법칙성이나 시사점을 도출하여 단위 노

력당 어업 경영의 성과를 높이는 것이다. 즉, 어장 형성에 대한 예측력을 제고함으로써 보다 짧은 시간과 적은 비용으로 적절한 수준의 어획 여건을 조성하는 것은 어업경영 안정과 수산자원 보존 관리라는 일석 이조 효과를 기대할 수 있다는 장점이 있다.

3) 과학적 수산자원 및 어업 관리체계의 개편

위에서 살펴본 우리나라 주변 해역과 연근해 어장 및 생태계에 대한 정보를 생산·수집하기 위한 노력과 함께 관할 당국은 지속가능하고 합리적인 수산자원 관리 및 이용 체계 구축을 오랫동안 핵심 정책과제로 선정하여 추진해 오고 있다. 다만, 과거와 달리 기후변화가 가파르게 진행되고 있고 이에 따라 해양환경 및 어장과 그 안에서 생활하는 수산자원도 많은 영향을 주고 있다. 이러한 영향은 어업 경영뿐만 아니라, 더 나아가 수산물 수급 및 물가 등 우리 경제에도 직간접적으로 영향을 미치는 과제로 다뤄져 오고 있다. 따라서 단기, 중장기적으로 나타나는 대기-해양 변동 양상에 맞게 기존과는 다른 과학적인 수산자원 및 어업관리 체계로 탄력적이고 융통성 있게 고도화해 나갈 필요가 있다.

먼저, 주요 수산자원의 생애 주기별 분포와 이동 경로 등에 대한 지도를 작성하는 것이다. 여기에는 시공간적으로 서식장, 성육장, 산란장과 이동경로를 포함하고 이 외에도 어장환경, 먹이생물, 포식자, 어선 세력, 어구어법, 어획량 등 다량의 부가정보도 포함시킬 필요가 있다. 이러한 지도를 장기간 축적해 나가는 것은 수산자원의 변동 추세를 파악함과 동시에 어획량, 어획 시기, 어획 장소 및 크기 등을 설정하는데 합리적 근거를 제시해 준다는 장점이 있다.

다음으로, 수산자원 빅데이터 시스템을 구축하여 다양한 업종의 어업인들에게 맞춤형 어장 정보를 제공해 주는 것이다. 여기에는 주로 기후변화 및 인간활동에 따른 수산자원 변동 현황과 풍흉 예측 정보를 통합관리하고 정보 서비스도 지원해 주는 것을 주요 내용으로 한다.

더 나아가 어업인들이 어업활동에 필요한 다양한 정보를 수요에 맞게 제공하는 것도 포함하는 것이다. 이러한 정보서비스는 어업인들이 자율적으로 수산자원을 보존함과 동시에 안정적으로 생계를 이어가는데도 도움을 줄 것으로 기대되는 과제라 할 것이다.

한편, 수산자원 및 어업 관리를 보다 정교하고 정확하게 추진하기 위해서는 앞에서 살펴본 해양 환경, 어장 환경, 수산자원, 어항 및 수산물유통 시스템까지 아우르는 통합 시스템 구축이 중요한 과제라는 사실에는 변함이 없지만, 어업은 무주물성·공공재적 성격을 갖는 수산자원에 대한 약탈적 경쟁을 속성으로 하고 있는 만큼, 과학적 관리에 한계가 있을 수 밖에 없다. 즉, 은밀하고 밀행적으로 행해지는 어업활동에 의한 수산자원의 불법적 이용을 막지 못한다면, 과학적 기반에 수산자원 및 어업 관리에 대한 이해관계자들의 정책 수용성이 낮아지는 문제를 초래할 수 있다는 것이다. 이러한 불법어업을 방지하고 수산자원 이용도를 투명하게 확인하기 위한 실시간 선상 전자모니터링 시스템을 구축해 나갈 필요가 있다. 동 시스템은 어업 외적인 모니터링 시스템과 달리 바다 위에서 행해져 확인이 쉽지 않은 어업의 내적 활동을 투명성 있게 함으로써 과학기반의 수산자원 및 어업 관리의 정책 수용성을 높이는 효과적인 수단이 될 것으로 기대된다.

4) 에너지 절감형 어업 활성화

대기-해양 변화 속에서 지속가능한 수산자원 및 어업 관리를 위한 보다 근본적인 방안으로서 비록 적은 양이더라도 어업 부문에서의 온실가스 배출 감축도 의미가 있다. 최근까지 노후기관을 대체하고 에너지 절감형 집어등 보급 등의 정책을 추진해 오고 있지만, 추가적인 절감 정책과제들이 필요한 실정이다. 여기에는 중장기적으로 현행 디젤기관을 전기나 수소 엔진으로 교체해 나갈 필요가 있다.

다음으로, 연근해 어업의 총요소 생산성이 저하되고 있는 반면, 조업시간과 경비가 증가하는 경향이 있는데, 어군탐지 정보 및 환경정보를

해상에서 원거리로 무선 전송하고 수집·분석하는 어황정보 시스템을 구축하는 것이다. 이것은 어군 탐지를 위해 어선이 장시간 이동하는 비용과 온실가스를 감축시킬 수 있는 장점이 있다. 또한 수산자원에 대한 과잉 어획노력을 투입하지 않도록 유도하는 잇점도 있다. 더 나아가 동 시스템을 선상 경매시스템과 연계하여 수산물 유통까지 혁신함으로써 어업인들에게 어업활동에 대한 적절한 보상을 창출해 줄 수 있다. 이것은 또한 이해관계자인 어업인들의 협력 속에서 과학적인 수산자원 관리의 토대를 강화하는 효과도 기대할 수 있을 것이다.

2. 기후변화 적응 및 친환경 생산을 위한 차세대 양식시스템 구축

수산양식업은 수계에서 인위적으로 수산생물을 길러서 수확하는 생산시스템을 말한다. 우리나라 양식업은 1960년대 개방적 해양환경 속에서 생산하는 방식인 굴·김 등 패류와 해조류 양식을 중심으로 발전되어 오다가 1980년대 들어 넙치, 조피볼락 등 어류를 연안해역의 가두리 시설에 양식함으로써 2세대 양식방식으로 발돋움 하였다. 이후 육상양식장이 확산 되면서 해양환경으로부터 반독립적인 새로운 양식시스템이 도입되었으나, 여전히 연안수를 사용한다는 점에서 기후변화에 따른 해양변동으로부터 영향을 받지 않을 수 없는 특성이 있다.

해양환경 변동과 직접적인 영향을 받는 양식시스템은 전복·가리비 등 패류 양식과 김·미역 등 해조류 양식이며, 바다에서 가두리에 어류를 가둬서 기르는 방식 등이 있다. 여기서 해조류와 대부분의 패류는 기후변화 적응에 집중해서 양식시스템을 개선해 나갈 필요가 있으며, 어류와 일부 패류는 해양환경 변동으로부터 독립되고 친환경적으로 생산할 수 있는 양식시스템으로의 전환이 필요한 시점이 되었다.

한편, 전 세계적으로 최대어획생산량(Maximum catch amount)은 20세기와 21세기 초반 동안 지구온난화와 남획 등 인위적인 요소로 인해 지속적으로 감소하고 있다. 이로 인해 양식업의 중요성이 더욱 높아지고 있으며, 2014년 FAO의 미래전망보고서에서는 2030년 양식수산물

소비량이 전체 수산물 소비량의 62%를 차지할 것으로 전망함에 따라 수산양식의 중요성이 더욱 부각되고 있음⁴⁸⁾을 강조하고 있다. 수산양식은 필수 요소로 물, 종자, 사료가 있다. 이 중 물과 종자 부문은 기후변화에 적응하는데 핵심 부문이며, 오히려 새로운 물관리 시스템이나 질병에 강한 종자 개발 등으로 새로운 가치를 창출할 수 있는 기회로도 활용될 것으로 기대된다.

1) 해양 변동 대비 미래형 스마트 양식시스템 구축

우리나라에서는 최근 어류를 대상으로 정보통신(ICT) 기술을 융복합한 스마트 양식시스템⁴⁹⁾에 대한 개발과 거점 지역에 스마트양식 클러스터를 조성하는 시범사업을 추진하고 있다. 해외에서도 노르웨이를 중심으로 유럽연합, 미국, 일본 등 수산 선진국들은 양식산업의 첨단화 및 규모화를 적극 추진해 오고 있다.

우리나라에서는 육상에 사물인터넷(IoT)과 정보통신기술(ICT)을 접목해 사료를 원격 공급하고 양식생물의 상태와 양식장 수질 등 환경도 실시간으로 모니터링 할 수 있는 스마트양식 통합 시스템을 개발 중에 있다. 이 과정을 통해 양식 과정에서 생산되는 수질(수온, 염분, 용존산소, 수소이온농도, 탁도, 광도 등)과 사육(건강, 사료공급량, 성장도 등) 정보 등의 수집이 가능하며, 동 정보를 빅데이터화하고 인공지능(AD)의 학습을 통해 최적 양식조건을 도출할 것이다. 이렇게 도출된 양식방법은 다음 양식 순기에 적용하게 되면, 생산성이 크게 증대될 것으로 기대된다는 것이다. 더 나아가 육상양식뿐만 아니라 해상이나 담수 양식으로 확대될 것으로 기대된다.

특히, 해상 가두리 양식장의 경우, 양식장에서 측정한 환경·사육 정보를 클라우드 컴퓨팅을 이용하여 실시간 수집·분석⁵⁰⁾하여 양식장별 생산

48) 이동길, 배봉성, 이정호, 김석태, 김형수(2021) : 스마트양식 기술 개발과 산업화 방안. 수산해양교육연구

49) 스마트양식이란 양식생물의 생산 전(全) 과정에서 수집된 데이터를 기반으로 양식과정 중 발생하는 문제를 사전에 예측하여 능동적으로 대처하는 지능형 양식기술로 주요 기술 분야로 ①수질 환경측정 및 제어 기술, ②사료 공급 기술, ③순환 여과양식 기술, ④각종 장치와 센서를 제어하고 데이터 수집 환경을 조성하는 데이터 기반의 통합 제어 플랫폼 개발로 구분

효율화를 증진시키는 것이다. 이 시스템은 양식업자가 자신의 사육정보를 클라우드로 전송하고 관리자는 이를 클라우드 내에서 분석·처리하여 생산 효율화 방안을 컨설팅해 주는 것이다.

또한, 센서-CCTV-스마트폰 등을 연결한 연안 양식장에 자연재해 원격 알람시스템을 구축할 필요가 있다. 우리나라 동해에서는 냉수대가 빈번하게 출현하고 남해에서는 빈산소수괴가 나타나 많은 피해를 초래하는 경우가 있는데, 이러한 재해 유발 요인일 발생하거나 발생할 우려가 있는 경우, 즉시 이해관계자와 관계기관 등에 전파하는 시스템이다. 이러한 시스템은 수온, 염분, 용존산소 등을 측정할 수 있는 센서와 스마트폰 용 앱, 재해 예측을 위한 데이터 저장소와 분석을 위한 인공지능 프로그램 등이 포함된다. 그리고 이러한 시스템을 현장에 적용하기에 앞서 시범사업을 추진하여 시스템의 현장 수용성, 정확성 등을 검증할 필요가 있다.

2) 친환경 양식시스템 구축

수산양식은 용수와 사료가 비용의 대부분을 차지하며, 물 속에 용존된 사료 성분은 연안의 부영양화의 원인이 되고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위한 친환경 양식시스템은 양식 생산성을 높이는 것뿐만 아니라, 온실가스 발생, 질병 발생 등을 저감 시키는데도 효과적이다.

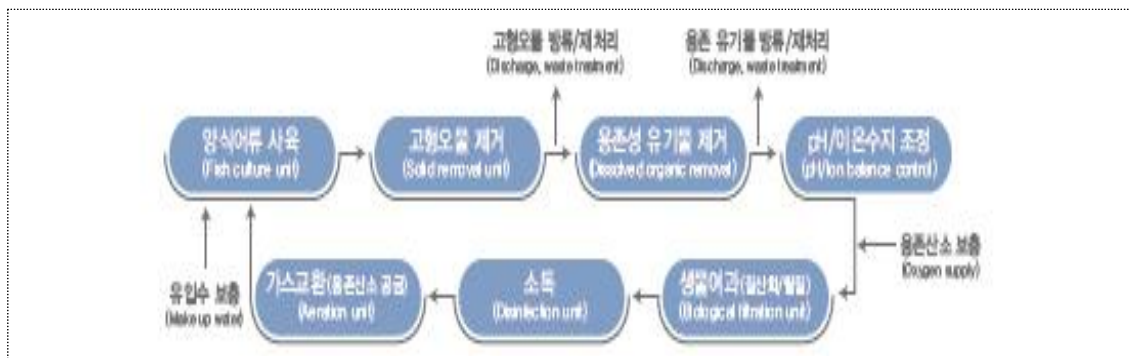
우리나라는 계절에 따라 난류와 한류의 강도가 달라지기 때문에 연중 수온 변화가 크고 이로 인해 양식 적기가 짧다는 단점이 있다. 이것은 양식 기간이 2년 이상인 경우, 성장이 지체됨에 따라 생산성이 저하되고 기후변화에 따른 자연재해나 질병 감염 등으로 인한 폐사에 노출되는 등 불리한 여건 속에 있다. 이러한 여건을 극복하기 위해 해양환경과 독립된 양식시스템을 구축할 필요가 있다.

순환여과식양식시스템은 해양환경으로부터 독립된 육상수조식 양식

50) EU의 AquaSmart 프로젝트는 지역별 가두리양식어류의 신진대사지표와 사료급이 효율성 등을 어가에 제공하여 경영지원

시스템의 하나로 양식생물 사육시 사용한 물을 버리지 않고 사육수에 존재하는 사료 찌꺼기, 배설물이나 용존된 유기물을 물리적·생물학적으로 여과⁵¹⁾하여 재사용하는 방식이다. 동 방법에는 순환여과식, 바이오플락(BioFloc Technology, BFT) 양식시스템 등이 있으며, 물 사용의 제약이 낮기 때문에 소비지 근교에서 양식할 수 있고 외부로부터의 질병 유입 차단이 용이하며, 환경에 대한 부하가 작다는 장점이 있다.

<그림 6-2-1 순환여과식 양식시스템의 구조 모식도>



출처 : 국립수산과학원(2022), 「수산분야 기후변화 영향 및 연구 보고서」

먼저, 미생물을 이용하여 사육수를 정화하여 재사용하는 양식방법으로 바이오플락(BioFloc Technology, BFT) 양식시스템⁵²⁾이 있다. 동 방법은 새우를 양식하는데 적용되어 오고 있으나, 앞으로 유수식 양식으로 물 사용이 많은 담수 어류 양식에 적용할 수 있도록 개발할 필요가 있다. 담수 어류 양식은 통상 물을 흘려서 양성하는 방법으로 물을 취수하고 정화하는데 필요한 시간과 비용을 크게 절약할 수 있고 질병 예방에도 효과가 크다는 점에서 생산성을 비약적으로 높일 것으로 기대할 수 있다.

또다른 친환경 양식방법으로 수산양식과 수경재배를 융복합한 아쿠아포닉스가 있으며, 대부분 순환여과식 형태나 미생물로 발효시켜 식물에 영양분을 공급하는 방식으로 이뤄지고 있다.

51) 물리적 여과는 사용된 물 속에 존재하는 고형오물을 제거하는 과정을 말하고, 생물학적 여과는 질산화 세균을 이용하여 사용된 물 속에 용해된 암모니아를 아질산염, 질산염으로 분해하는 과정을 말함

52) BFT는 미생물을 이용하여 사육수 내 암모니아, 아질산을 제어함으로써 물 사용량을 획기적으로 줄일 수 있음. Erick et al. (2020)은 흰다리새우 1 kg을 생산하는데 전통적 양식 방법으로 21톤의 물을 소비하는 반면 BFT는 12.5배 낮은 1.67톤을 사용하는 것으로 보고함

다만, 이러한 친환경 양식시스템은 현장 적용하고 확산시키는데 초기 비용이 많고 안정적인 시스템 운영의 완결성이 낮다는 문제가 있다. 따라서 추후 사업 초기 예상되는 높은 비용 부담을 현실화하기 위해 금융지원 정책을 병행할 필요가 있으며, 양식시스템의 안정성을 높이기 위한 연구개발과 어업인 교육 등에 대한 국가적 차원의 투자가 병행될 필요가 있다.

2) 기후-해양 변화 대응 양식품종 개발

기후변화는 전통적인 양식품종의 변화를 초래할 것으로 예상된다. 즉, 수온이 상승하거나 하강할 경우 성장 적기가 변화하거나 더 나아가 적수온 범위를 벗어날 경우 폐사로 이어질 수 있으며, 새로운 병원체 유입에 따른 질병 감염이 대량 발생할 수도 있다. 특히, 해양환경 변화에 직접적인 영향을 받는 패류와 해조류 양식은 기후변화로 인해 지금까지와는 전혀 다른 양상으로 전개될 수 있다.

이러한 변화에 대비하고 적응하기 위해 고수온이나 저수온에 잘 견딜 수 있는 내성 품종을 개발하기 위해 다양한 육종⁵³⁾ 연구를 추진할 필요가 있다. 육종의 방법으로는 선발 육종이나 유전⁵⁴⁾ 육종, 교잡 육종⁵⁵⁾ 등이 있으며, 이를 융합해서 추진할 수도 있을 것이다. 이러한 연구개발은 개인이나 기업이 추진하는데 한계가 있는 만큼, 국가 차원에서 지자체, 연구기관, 어업인 등이 협력할 수 있도록 지원할 필요가 있다.

한편, 고수온 추세에 대해 중장기적으로 적응하기 위해서는 난류성 어류에 대한 양식품종을 개발할 필요가 있다. 신규 품종을 양식하기 위해서는 양식의 3대 요소 중 하나인 종자가 필요하며, 이를 획득하기 위한 기술 확보가 필수적이다.

53) 육종은 우수한 형질의 부·모로부터 우수한 자손이 나온다는 개념을 바탕으로, 형질이 우수한 부·모를 구별해서 뽑는 것을 선발이라고 하며, 선발의 기준은 표현형을 전달하는 유전능력을 평가하고 육종을 계산하여 다음 세대 생산을 위한 부·모를 선발하는 것임.

54) 우수한 형질과 연관된 DNA 정보를 활용하여 목적 형질의 유전능력을 추정하는 유전체 선발

55) 교잡품종 개발은 부·모가 가진 유용한 형질을 잡종강세 특성을 이용하여 자손에서 발현시키는 육종 방법

아울러, 우리나라 해역별 환경 특성을 반영하여 어류·패류·해조류별 양식장 분포와 향후 기후변화 변화 시나리오 등을 고려한 양식 가능한 품종 개발 내용 등을 포함한 양식지도를 작성하는 것이다. 여기에는 해역별·품종별 양식환경을 규명하고 사육밀도·사료효율·성장도 등을 고려한 양식 매뉴얼 작성 및 이상 고수온·저수온 발생 정도 등을 포함시킬 필요가 있다. 이러한 양식지도는 산업계가 자율적으로 양식 생산 시스템을 혁신해 나가는데 나침반 역할을 할 것으로 기대 된다.

3) 기후변화 대응 수산질병 관리 기술 개발

양식대상 생물은 양식장과 그 주변의 물리·화학·생물·지질학적 환경 특성 등 다양한 외부 요인과 대상생물 자체의 발육단계나 건강상태 등에 따라서도 생존과 성장에 차이가 나타나게 된다. 더 나아가, 이들 외부 요인과 내적 건강상태 간에 균형이 유지되지 못하는 경우 질병에 걸릴 가능성이 높아지게 되고 그 정도나 기간이 한계를 벗어나게 되는 경우 폐사에 이르게 된다. 특히, 수온은 변온동물인 어·패류의 신진대사에 막대한 영향을 미치고 있는데, 기후변화로 인한 수온의 상승은 양식생물의 대사기능을 떨어뜨리고 면역에 악영향을 미쳐 질병에 걸리기 쉬운 상태로 만들 뿐만 아니라, 감염병의 원인이 되는 병원체의 분포와 유행성, 독성에도 변화를 일으킴과 동시에 신종 질병이 양식장에 유입되는데 중요한 원인으로 작용할 수 있다. 이러한 질병은 양식생물의 성장도 저하나 폐사 초래 등의 결과를 가져올 수 있는 만큼, 이에 대한 대책 마련은 매우 중요한 의미가 있다.

우선 기생충의 경우, 발병 이력이 있거나 우려가 있는 병원체에 대해 그 생활사나 감염경로, 병원성을 규명할 필요가 있으며, 특히 기후변화에 따른 고수온이 이들 병원체의 활성과 독성 등에 어떤 영향을 미치는지 확인할 필요가 있다. 예를 들어, 기후변화로 인해 생물의 분포 범위나 이동경로 등이 변동함에 따라 숙주가 보균하는 병원체도 이와 함께 인근 지역 또는 숙주의 이동경로에 따라 확산되는 점을 고려할 필요가 있다.

최근 우리나라 주요 양식품종에 대해 만성적인 질병뿐만 아니라 신규 질병 발생이 보고⁵⁶⁾되고 있는 만큼, 다양한 측면에서 해법이 제시될 필요가 있다. 해 지고 있다. 현재 우리나라에는 양식생물의 질병을 예방 및 치료하기 위해서 다양한 약제가 사용⁵⁷⁾되고 있으나, 그 한계가 분명하기도 하다. 기후변화에 따른 수산질병 발생에 근본적으로 대응해 나갈 필요가 있는데, 따라서 이를 보다 근본적으로 해결해 나가기 위해서는 수산질병 관리기술을 체계적으로 개발하는 것이 중요하다. 기술 개발을 위해서는 전염병 조기 감지기술 개발 및 신속 대응 시스템이 구축되어야 하고 신종·변종 질병에 대비한 진단법, 의약품 및 백신⁵⁸⁾ 개발 등이 추진⁵⁹⁾될 필요가 있다.

아울러, 기후변화로 인해 수산생물은 생리 및 대사작용에 영향을 받으므로, 신종 질병 발생에 대한 대응기술로는 백신, 치료제와 함께 양식생물의 면역력을 높여 다양한 질병의 예방을 기대할 수 있는 대사성 약 또는 소화기계 작용약의 개발도 필요하다. 또한, 고수온 폐사 대응

56) 양식 넙치에서 다양한 점액포자충 감염 사례가 보고되고 있으며, 근육에 기생하는 쿠도아충 *Kudoa septempunctata* (Myxosporae: Multivalvulida)의 감염 보고(송 등., 2014) 및 넙치 여림증의 원인 체로 *Enteromyxium leei*, *Parvicapsular* sp. 등의 감염이 보고(김 등., 2011, 2015)되고 있고 돌돔, 참돔, 농어 등 가두리 양식어류에서 여름철에 지속적으로 이리도바이러스의 감염이 보고되고 있음. 어류 바이러스에 의한 한국 신종 질병으로 어류노다바이러스의 신종유전형의 발생(Kim et al., 2018), 뱀장어 바이러스성 내피세포괴사증(Kim et al., 2018), 뱀장어 허피스바이러스 감염증(Park et al., 2012) 등이 보고되는 등 신규 질병 유입이 빈번

57) 수산용 의약품은 항생·항균제가 485개, 백신 30개, 구충제 61개, 소화기계 67개, 대사성약 342개 등의 제품이 사용 중

58) 기후변화와 양식 환경 변화로 발생하는 어류 질병 피해 저감을 위해 다양한 수산용 백신을 1999년부터 개발하고 있으며, 19종의 백신을 개발하여 15종은 수산용 백신 제조업체에 기술이전 하였음. 특히 한국 양식어류 생산량의 50%를 차지하는 넙치에 많은 폐사를 일으키는 세균성 질병인 에드워드스병(*Edwardsiella tarda*, 1999), 연쇄구균병(*Streptococcus iniae*, 2005; *Streptococcus parauberis*, 2012), 비브리오팀(*Vibrio harveyi*, 2012)에 대한 단가백신 및 세균 혼합백신을 개발하였음. 바이러스성 질병인 바이러스성 출혈성 패혈증(*Viral haemorrhagic septicemia virus*, 2013) 및 기생충성 질병인 스쿠티카병(*Miamiensis avidus*, 2016)을 예방할 수 있는 주사백신을 개발하여 제약업체에 기술이전을 하였음. 최근에는 유행하는 새로운 혈청형의 연쇄구균을 예방할 수 있는 연쇄구균 다가백신(2019) 및 접종의 편이성을 높인 연쇄구균 경구백신도 개발하여 산업화를 추진하고 있음 (2021).

59) 병원체 신종 및 변이를 빠르게 진단할 수 있는 다중진단키트 개발 연구를 진행하고 있으며, 최근에는 정확도를 더 높이는 기술로 PNA(Peptide Nucleic Acid) 프로브를 이용한 양식 넙치의 SPF(Specific Pathogen Free) 진단을 위해 세균 4종(*Flexibacter maritimus*, *Streptococcus parauberis*, *Lactococcus garvieae*, *Edwardsiella tarda*), 바이러스 4종(*Viral Hemorrhagic* 20) 수산생물전염병 : 바이러스성출혈성패혈증, 참돔이리도바이러스병, 잉어허피스바이러스병, 잉어볼바이러스병, 흰반점병, 흰꼬리병, 노랑머리병, 전염성 피하 및 조혈기 괴사증, 전염성 근괴사증, 타우라증후군 *Septicemia Virus*, *Marine Birnavirus*, *Hirame Rhabdovirus*, *Viral Nervous Necrosis Virus*), 기생충 4종(*Kudoa septempunctata*, *Parvicapsula anisocaudata*, *Enteromyxum leei*, *Enteromyxum scophthalmi*)을 동시에 진단하는 기술

연구로 해조류 추출 다당류인 후코이단 (Fucoidan)을 사료에 혼합하여 투여한 결과, 양식 넙치와 조피볼락에 면역 유전자 발현 증가 및 고수온기 세균성 질병 저항 효과를 확인(국립수산 과학원, 2018~2021)하여 고수온 폐사 예방을 위한 면역증강제의 개발도 필요하다고 할 것이다.

한편, 기후변화로 인해 여름철이나 겨울철에 이상 고수온·저수온이 나타날 수 있다. 예를 들어, 겨울철 고수온이 발생하게 되는 경우, 평년에는 낮은 수온에서 증식이 억제되어 있던 병원체의 증식이 가능하게 되어 양식생물의 병원체 보균, 질병의 발현에 영향을 줄 수 있는데⁶⁰⁾, 이러한 양식장 환경과 병원체 발병 이력에 대한 모니터링과 그 결과를 통합하여 양식생물 질병 지도를 제작할 필요가 있다.

3. 기후-해양 변화 대응 이행기반 강화

기후변화의 영향은 전 세계적으로 나타나고 있으며, 다양한 분야에서 예방, 대비, 대응 및 복구 정책이 추진되고 있다. 이것은 해양수산 분야 단독으로 대응하는 데 한계가 있다는 의미인 동시에, 각 분야가 연대와 협력을 통해서만이 효과적인 대책을 수립·시행할 수 있다는 의미이기도 하다.

한편, 국제 규범적으로는 기후 유엔기후변화협약에서 '공통의 그러나 차별화된 책임원칙(Common But Differentiated Responsibilities)'에 따라 선진국과 개도국이 각자의 능력에 맞게 기후변화에 대응하고 온실가스 발생을 감축하기 위해 노력하자는 것이 큰 틀을 구축하였다. 하지만, 파리협정에서는 선진국과 개도국이 모두 온실가스 감축 목표를 설정하고 이행해야 하는 상향식 체제로 전환⁶¹⁾되었다는 것이다. 즉, 파리협정

60) 대표적 사례로 참굴(*Crassostrea gigas*)에 기생하는 원생동물 기생충인 *Perkinsus marinus*와 *Haplosporidium nelsoni*가 미국의 북쪽 해안으로 확산하여 북쪽에 서식하는 버지니아 굴(*Crassostrea virginica*)의 대량폐사를 초래하였는데, 이는 3°C 미만의 환경에서는 보균되어 있더라도 활성이 억제되어 있던 기생충이 기후변화로 인해 겨울철 수온이 높아지면서 발병한 것으로 보고된

61) 195개 당사국 모두가 감축 목표를 지켜야 함. 감축(mitigation), 적응(adaptation)을 목표로 하여, 재원(finance), 기술(technology), 역량강화(capacity-building)를 바탕으로 투명성(transparency) 있는 기후변화에 대응을 하는 것에 목표를 두고 있음 파리협정은 목표설정 방식을 국가가 자발적으로 온실가스 감축목표를 제출하는 '상향식 목표설정 방식'을 채택하고 있으며, 목표 설정도 "진전 원

은 교토의정서상의 하향식(top-down) 국가별 온실가스 감축 목표의 강제할당 방식을 탈피하여, 국가별로 감축 목표와 공약을 자율적이고 독자적으로 결정해 지구적 차원의 온실가스 감축 목표를 설정하는 새로운 상향식(bottom-up) 감축방식(INDCs)을 채택하기로 합의한 바 있다. 또한 교토의정서 체제는 국가중심의 이행체제였다면, 파리협정에서는 중앙정부, 지방정부, 민간기업, 대학, 시민단체, 시민 등 다양한 행위자의 참여를 강조하는 방향으로 전환되었다.

1) 통합적 기후변화 대응을 위한 법제화 추진

최근 전 세계적으로 ‘19년 ‘2050 탄소중립 목표 기후동맹’, 유엔 기후변화 정상회의 등을 기점으로 탄소중립⁶²⁾이 강조되고 있다. 이와 같이 ‘2050 탄소중립’이 글로벌 의제화되면서, 우리나라도 ‘2050 탄소중립 선언(‘20.10)’, ‘2050 장기저탄소발전전략(‘20.12)’ 등을 통해 적극적으로 탄소 중립정책을 강화해 가고 있으며, 이러한 정책방향 속에서 이를 뒷받침하기 위한 법제도화와 관련 추진체계 강화가 필요하다고 할 것이다.

우선, 해양수산분야의 기후변화 대응을 위한 종합계획⁶³⁾을 법정계획으로 전환할 필요가 있다. 이를 위해 현행 관련 법률을 개정하거나, 신규 제정⁶⁴⁾을 할 필요가 있다. 이를 통해 해양수산부문 기후변화 정책의 안정적이고 지속적인 재정 투융자가 가능하게 되는 것이다. 이를 추진하는 동 계획에는 세부적으로 해양수산부문 기후변화 종합계획의 전략과 중점 추진과제를 포함할 것이다.

2) 체계적 기후변화 대응을 위한 전담부서 신설

칙”에 따라서 후퇴할 수 없음

62) 탄소중립(Carbon Neutrality)이란 배출원이 배출한 만큼 흡수원이 다시 흡수하도록 해 실질적 온실가스 배출량을 “제로(0)”로 만드는 것이며, 모든 경제영역의 저탄소화를 추진

63) 해양수산부 「제4차 해양수산 부문 기후변화 대응 종합계획(2021~2025)」

64) 최근 「기후변화대응법», 「기후위기 대응을 위한 탈탄소사회 이행 기본법», 「기후변화대응 기술개발 촉진법», 「탈탄소사회로의 정의로운 전환을 위한 그린뉴딜정책 특별법」 등 기후변화 대응을 위한 다양한 법률이 발의되고 있음

해양-기후변화 정책을 통합하고 향후 이행을 전략적으로 관리하기 위한 전담 부서도 신설할 필요하다. 지금까지 해양수산부문의 기후변화 정책 기능은 다양한 부서의 일부 기능으로 산재되어 추진됨에 따라 거시적·체계적인 정책 개발, 전략 수립 및 이행 관리에 한계가 있다. 이를 보강하기 위해서는 산재된 기능을 종합하는 기능과 중장기 과제를 발굴하고 이행관리하는 기능을 통합해서 추진하는 체계를 정립해 나갈 필요가 있다.

3) 기후변화 위기 대응을 위한 국제적·지역적·국내적 공동 대응

기후변화 위기는 일부만의 문제가 아니라, 전 지구적 차원의 대응이 필요한 문제로 국제적, 지역적, 국가적, 중앙정부-지방정부, 민간기업과 국민이 모두 공동으로 협력하고 사회경제 전반의 패러다임을 기후 친화적으로 전환하기 위한 노력도 병행할 필요가 있다고 본다.

우선, 국제적으로는 유엔기후변화협약, 파리협정, IPCC, IMO협약, 람사르 협약 등 국제협약과 유엔환경계획(UNEP), 세계기상기구(WMO) 등 국제기구는 기후변화에 대응하기 위한 온실가스 감축 및 저감, 선진국-개도국간 협력, 민관산학 모든 주체의 협업적 노력을 강조하고 있다. 한편, 태평양도서국가, SIDS 등 기후변화에 취약성이 상대적으로 높은 개도국의 기후변화 대응 역량 강화를 위한 기술이전과 능력배양이 중요하며, 이는 파리협정뿐만 아니라, 생물다양성협약, 람사르협약, 'SAMOA Pathway' 등에서도 확인이 가능하다.

국내적으로도 기후변화에 대응하기 위한 다양한 법정계획과 세부 정책이 추진되고 있다. 「제3차 지속가능발전 기본계획(2016~2020)」, 「제2차 기후변화대응 기본계획(2020~2040)」, 「제3차 녹색성장 5개년 계획(2019~2023)」, 「제3차 국가기후변화 적응대책(2021~2025)」, 「제3차 연안정비기본계획(2020~2029)」, 「2030 국가 온실가스 감축목표 달성을 위한 기본로드맵 수정안(2018)」, 「제2차 국가 온실가스 통계 총괄관리계획(2020~2024)」, 「환경친화적 선박의 개발 및 보급 촉진에 관한 기본계획」 등을 통해 기후변화에 적극적으로 대응하기 위한 노력을 기울이고

있다. 아울러, 중앙부처만의 정책으로는 기후변화에 대한 해양수산 부문의 증장기 현안을 해결해 나가는데 한계가 있는 점을 고려하여, 연안에 거주하는 지역주민, 해양수산업에 종사하는 종사자, 대학 및 연구기관, 시민단체 등도 정책 수립 및 이행에 관한 의사결정 과정에 참여할 수 있도록 협업적 거버넌스 구축을 추진하는 것이다. 물론, 여기에는 타 중앙부처나 유관기관과의 협업 체계 구축도 병행해서 추진해 나갈 필요가 있다.

VII. 참고 문헌

- 1) Baek S. H.(2012), Occurrence of the Toxic Benthic Dinoflagellate *Gambierdiscus* spp. in the Uninhabited Baekdo Islands off Southern Coast and Seopsom Island in the Vicinity of Seogwipo, Jeju Province, Korea. *Ocean and Polar Research*.
- 2) FAO(Food and Agriculture Organization of the United Nations)(2019), Quantifying and mitigating greenhouse gas emissions from global aquaculture. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No.626*, FAO
- 3) FAO(2021), Adaptive management of fisheries in response to climate change. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No.667*, FAO
- 4) Hwang E. K, D. S. Ha and C. S. Park(2018), The influences of temperature and irradiance on thallus length of *Saccharina japonica* (Phaeophyta) during the early stages of cultivation. *J. App. Phycology*
- 5) IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)(2019), The ocean and cryosphere in a changing climate: A special report of the IPCC. *Cambridge University Press*
- 6) IPCC(2021), *Climate Change 2021:The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press

- 7) IPCC(2022), Climate Change 2022:Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press,
- 8) Kim, B. T., C. L. Brown and D. H. Kim(2019) : Assessment on the vulnerability of Korean aquaculture to climate change, Marine Policy
- 9) Kim, B. T., I. S. Han, J. S. Lee and D. H. Kim(2021) : Impact of seawater temperature on Korean aquaculture under representative concentration pathways(RCPs) scenarios. Aquaculture
- 10) Kim, S. M., L. J. Jun, M. A. Park, H. D. Jeong and J. B. Jeong(2015), Characterization of the myxosporean parasite isolated from emaciated olive flounder *Paralichthys olivaceus* on Jeju Island. Kor. J. Fish. Aquatic. Sci
- 11) Kim, S. M., S. M. Ko, J. H. Jin, J. S. Seo, N. S. Lee, Y. S. Kim and Y. R. Bae(2018), Characteristics of Viral Endothelial Cell Necrosis of Eel (VECNE) from Culturing Eel (*Anguilla japonica*, *Anguilla bicolor*) in Korea. Kor. J. Ichth.
- 12) Kim, Y. C., W. J. Kwon, J. G. Min and H. D. Jeong(2018), Isolation and initial characterization of new betanodaviruses in shellfish. Transbound. Emerg. Dis.
- 13) Noh, C. H.(2020), Hatchability of fertilized eggs from grouper (Subfamily Epinephelinae) hybrids in Korea: A mini review for selection of commercially promising cross combinations. Kor. J. Fish. Aquat. Sci

- 14) Park, S. W., E. B. Jung, and D. W. Kim(2012), Outbreak of Anguillid herpesvirus-1 (AngHV-1) infection in cultured shortfin eel (*Anguilla bicolor*) in Korea. Kor. J.
- 15) Song J. Y., M. J. Kim, H. S. Choi and S. H. Jung(2014), Monitoring *Kudoa septempunctata* in cultured Olive Flounder *Paralichthys olivaceus* in different Regions of Korea in 2013. Kor. J. Fish. Aquatic Sci
- 16) 관계부처 합동(2021), 제26차 유엔기후변화협약 당사국총회(COP26) 폐막 보도자료
- 17) 관계부처 합동(2019), 『제2차 기후변화 대응 기본계획』
- 18) 관계부처 합동(2019), 『제2차 기후변화 대응 기본계획』
- 19) 관계부처 합동(2018), 2030 국가 온실가스 감축목표 달성을 위한 기본 로드맵(수정안)
- 20) 국립기상과학원(2018), 한반도 100년의 기후변화. 기상청
- 21) 국립기상과학원(2021), 한반도 기후변화 전망보고서 2020
- 22) 국립수산과학원(2019), 수산분야 기후변화 평가 백서
- 23) 국립수산과학원(2022), 수산분야 기후변화 영향 및 연구.
- 24) 녹색기술센터(2020), 기후변화대응 국가 RnD 및 국내외 기관 조사·분석연구
- 25) 기상청(2021), 우리나라 109년 기후변화 분석 보고서. 기상청/국립기상과학원

- 26) 김봉태, 이준수, 서영상(2016), RCP 시나리오에 따른 남해안 어업 및 어종의 기후변화 노출 분석 : 수온변동을 대상으로
- 27) 박수진 외(2014), 『해양수산 분야 기후변화 적응정책 개선 연구』
- 28) 박수진 외(2017), 『Post-2020 국제기후변화 규범체계에 대응한 해양정책 개선방안 연구』
- 29) 박철호(2020), 기후변화대응 국가 R&D 및 국내외 기관 조사·분석 연구, 국가과학기술자문회의
- 30) 소병천(2019), 미국 환경법 최근 입법 동향
- 31) 이수재 외(2013), 기후변화적응전략종합연구
- 32) 이동길, 배봉성, 이정호, 김석태, 김형수(2021), 스마트양식 기술 개발과 산업화 방안
- 33) 이상철, 마창모(2016) : 첨단 스마트 양식 기술 발전 동향 분석
- 34) 홍유식(2017), 주요국 기후변화대응 추진체계 조사
- 35) 홍의표 등(2014), 주요국가의 기후변화적응을 위한 전략과 정책에 관한 연구
- 36) 해양수산과학기술진흥원(2020) : 2021년도 해양수산과학기술 육성 시행계획
- 37) 해양수산부(2021), 2021년 고수온·적조 종합 대책
- 38) 해양수산부(2021), 해양수산분야 2050 탄소중립 로드맵

- 39) 해양수산부(2020), 수산업 ICT 융복합 추진전략
- 40) 해양수산부 (2019), “2019년도 해양수산 통계연보”
- 41) 한국농촌경제연구원 (2018), “2017년도 식품수급표”
- 42) 통계청 보도자료 (2020), “2019년 농가 및 어가경제조사 결과”
- 43) WMO, UNEP(2018), 『지구온난화 1.5℃ 보고서-국영문 합본』
- 44) WMO, UNEP(2018), 『지구온난화 1.5℃ 보고서-국영문 합본』
- 45) IPCC(2019), 전개서
- 46) IPCC(2019), 『정책결정자를 위한 IPCC 해양 및 빙권 특별보고서 요약본』
- 47) IPCC 저, 기상청 역(2018), 『지구온난화 1.5℃ 정책결정자를 위한 요약본』

<온라인 자료>

- 1) 통계청 국가통계포털, <http://kosis.kr>
- 2) 해양수산부 통계시스템, <http://www.mof.go.kr/statPortal>
- 3) 기후변화적응정보포털(<https://kaccc.kei.re.kr/portal/>)
- 4) FAO fisheries Division, <http://www.fao.org/fishery/statistics/en>
- 5) NOAA Fisheries, “Fisheries Economics of the United States” ,
<https://www.fisheries.noaa.gov/national/sustainable-fisheries/>