

제 19기 중견리더과정

급변하는 자연환경에 대응 가능한 양식방안 연구

연구 요약

지구 온난화와 이상 고수온의 급격한 증가로 인해 최근 몇 년간 경남도 뿐 아니라 전국적으로 빈산소수괴, 이상조류, 강수량 변동 및 먹이생물 부족 등 다양한 원인으로 각종 양식물 폐사가 지속적으로 증가하고 있는 실정이다. 더불어, 매년 비슷한 원인들로 그 피해는 주기적이고 급속하게 증가하는 추세이다. 이에 수산물 생산량이 급감하고 빈번하게 양식생물 대량 폐사가 발생하여 양식업을 생계로 살아가는 어업인들은 불규칙적이고 불안정한 소득, 수산업 어가인구 및 코로나-19에 따른 수산물 소비 감소 등으로 어느때 보다 힘든 시기에 처해 있다.

이에 본 연구 보고서에서는 지구온난화에 따른 기후변화와 각종 오염원 등으로 인한 해양생태계 변화에 대응 가능한 다양한 방안 및 양식방법 연구로 지속 가능한 양식어장 성장 도모하고자 하는데 목적이 있다.

▶ 주제어: 지구 온난화, 해양생태계 변화, 지속 가능한 양식어장

목 차

I. 서론	3
II. 기후 및 자연환경 변화	3
1. 표층수온 및 표층염분 변화	3
2. 연평균 표층 영양염 변화	5
3. 이상기후에 따른 이상수온 발생 증가	5
III. 양식환경 변화 및 양식물 폐사 현황	7
1. 양식어장 환경 변화	7
2. 양식물 폐사 현황	8
IV. 다양한 정부 대책 및 관련 연구	11
1. 기후변화 대응 시스템 강화	11
2. 기후변화 피해 최소화 대책 추진 사업	12
3. 청정어장 재생사업 추진	13
4. 양식어장 환경개선을 위한 다양한 직불제 도입	13
5. 양식어장 관리체계 강화	14
6. 기후변화 대응 연구개발 사업(대체품종 개발 등) 강화	15
7. 남해안의 가리비류 연중 생산 연구	16
V. 개선방안 및 결론	18
〈참고문헌〉	20

I. 서론

우리나라는 뚜렷한 사계절의 영향으로 연교차와 연 수온 변동의 폭이 커서 양식 환경이 좋은 편은 아니다. 원래 어류들은 바다 수온과 해류를 따라서 각자 생태에 적합한 곳으로 이동하는 습성이 있는데 인위적으로 양식장을 만들고 어류 등을 가두어서 양식하다 보면 폭염과 한파 등에 의해 피해를 입을 수 밖에 없다. 수온이 낮은 물에 사는 냉수성 어종들은 여름철에, 비교적 따뜻한 물에 사는 온수성 어종들은 겨울철에 피해를 입게 된다. 이런 환경에서도 몇십년을 계절에 맞게 어업인들이 양식해 오던 양식물이 십여년 전부터 지속적으로 집단 폐사가 발생하고 있다. 그 원인은 누구나 짐작하듯 지구 온난화와 급격한 기후변화에 따른 해양환경 변화이다. 여름철 이상 기온이 40℃에 가까운 극한 기상이 나타나고, 이에 따라 바다 온도가 급격히 상승하면 양식장 등의 양식물은 면역력이 약해져 질병에 쉽게 걸리고 먹이활동이나 움직임이 둔해지며 바다 수온이 30℃ 이상으로 올라 양식물의 생존 임계치를 넘어서게 되어 집단 폐사에 이르게 되는 것이다. 지구 온난화로 인해 이상 고수온은 거의 매년 발생하고 있으며 저수온, 빈산소수괴, 이상조류 및 먹이생물 부족 등 다양한 현상으로 그 피해는 주기적이고 급속하게 증가하는 추세이다. 이에 수산물 생산량이 급감하고 빈번하게 양식생물 대량 폐사가 발생하여 양식업을 생계로 살아가는 어업인들은 불규칙적이고 불안정한 소득, 수산업 어가인구 및 코로나-19에 따른 수산물 소비 감소 등으로 어느 시기 보다도 힘든 상황에 처해 있다. 또한 우리나라 국민들은 동물성 단백질 중 수산물이 차지하는 비중이 약 35%로 비슷한 경제규모의 국가들 중 가장 높은 수준을 보이는 등 수산물에 대한 식량 의존도도 높아 기후변화에 의한 어획량 감소나 양식물 생산량 저하 등에 민감하게 반응할 수 밖에 없다.

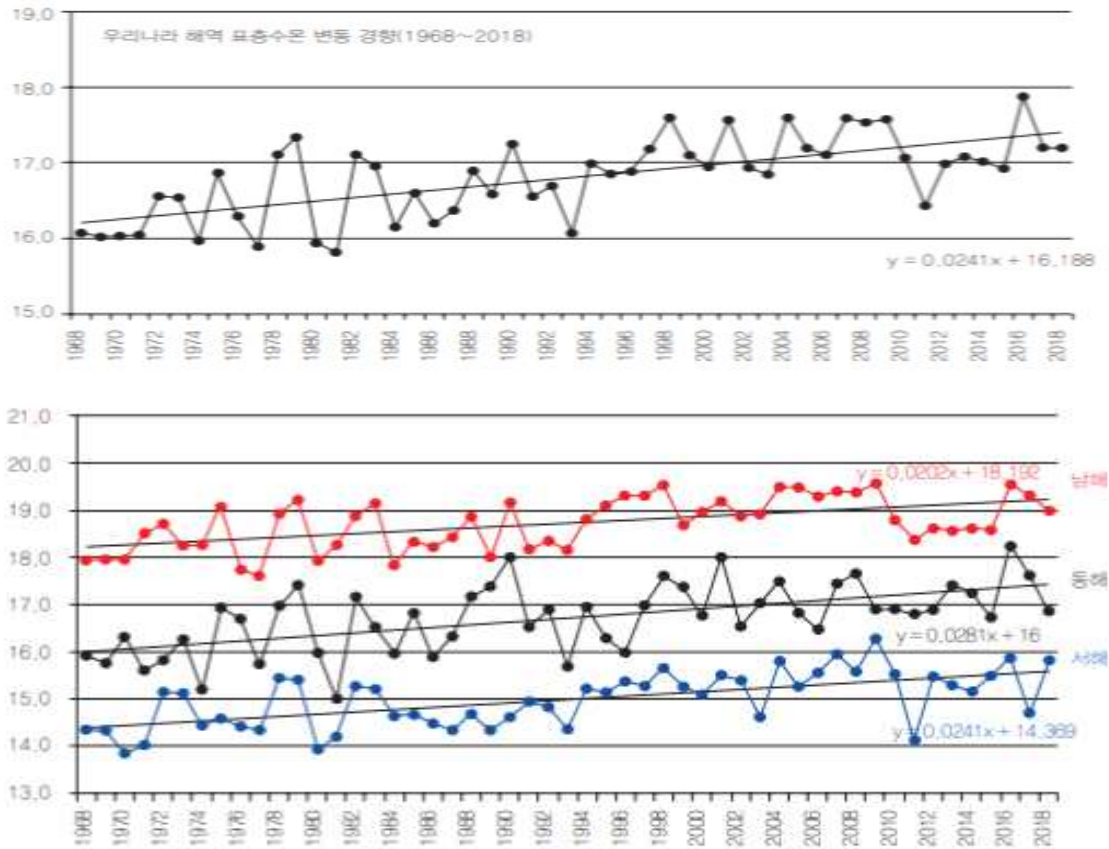
이에 본 연구에서는 지구온난화에 따른 기후변화로 야기되고 있는 해양환경의 변화를 파악하고 그로 인해 지속적으로 증가하고 있는 양식환경 악화 및 양식물 집단 폐사 현황을 점검하고자 한다. 또한, 이를 극복하기 위한 각 기관의 노력들과 다양한 방안 및 양식방법 연구 방향 등을 통해 지속 가능한 양식어장의 성장을 도모하고자 하는데 목적이 있다.

II. 기후 및 자연환경 변화

1. 표층수온 및 표층염분 변화

바다표면과 가까운 해수를 일반적으로 표층수라 하며 태양의 열로 인해 바닷물이 따뜻해지면 이를 수온약층이라 한다. 표층수는 풍랑, 강수, 증발 등 기상현상에 민감하게 변화한다(수산분야 기후변화 평가 백서, 2019). [그림 1]

최근 50년(1968~2018)간 우리나라 연근해 연평균 표층수온은 1.23℃ 높아졌으며, 이는 동기간 전 세계 표층수온 상승(0.49℃)에 비해 약 2.5배 높은 수준으로 여러 분야에 전반적으로 미치는 영향이 크다.



[그림 1] 1968~2018년 우리나라 주변 표층수온 변화/동해·서해·남해 연평균 표층수온 변화

* 출처: 수산분야 기후변화 평가 백서, 2019

최근 50년간(1968~2018년) 우리나라의 해역 표층염분은 약 0.27psu 감소하였으며, [그림 2] 용존산소 또한 서서히 감소하는 경향을 나타내고 있다(수산분야 기후변화 평가백서, 2019)



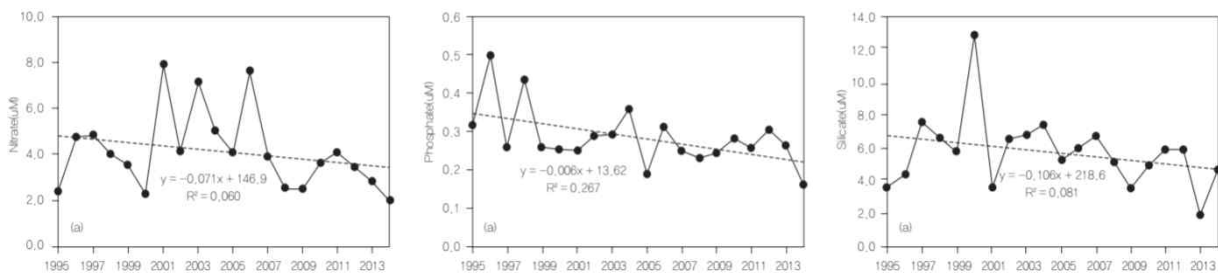
[그림 2] 1968~2018년 우리나라 해역별 연평균 표층염분 변동 경향

* 출처: 수산분야 기후변화 평가 백서, 2019

또한 2000년대 들어 전 세계 해역 곳곳에서 이상고수온 현상이 빈번하게 나타나고 있으며, 우리나라 해역도 2016~2018년 뚜렷한 여름철 고수온 현상으로 평년대비 월평균 수온 2℃ 내외 높아 많은 양식물과 어류들이 한계온도를 견디지 못하고 폐사하는 피해가 속출하고 있다(수산분야 기후변화 평가백서, 2019).

2. 연평균 표층 영양염 변화

국립수산과학원 정선해양관측자료를 분석한 윤(2015)에 따르면 [그림 3] 동해의 연평균 표층 영양염은 질산염, 인산염, 규산염 모두 20년간(1995~2014년) 하강하는 추세를 보였으며, 인산염은 계절 및 수층과 무관하게 감소 경향을 뚜렷하게 보였고, 규산염도 겨울철을 제외하면 대체적으로 감소 경향을 나타내고 있다(수산분야 기후변화 평가 백서, 2019). 영양염은 수산생물 양식에 반드시 필요한 먹이생물이 되는 항목으로 지속적으로 영양염이 감소하고 있어 양식물 폐사가 발생하는 주요 요인이 되고 있다.



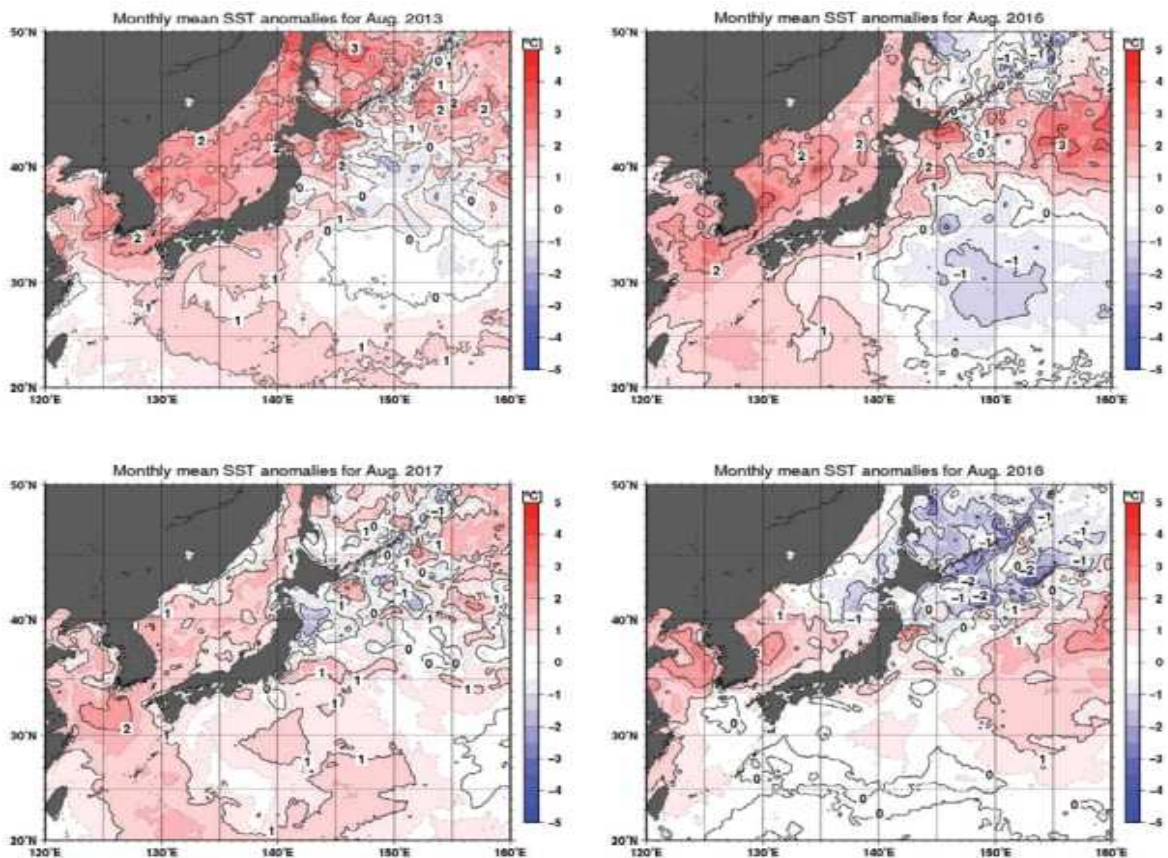
[그림 3] 1995~2014년의 동해 연평균 표층 영양염 변화(좌) 질산염(중)인산염(우)규산염

* 출처: 수산분야 기후변화 평가 백서, 2019

3. 이상기후에 따른 이상수온 발생 증가

최근 급변한 북극 온난화에 의해 겨울철 폭한과 지구촌에서 광범위하게 발생하는 폭염 영향으로 다양하고 급격한 해양 변동 경향이 발생하고 있다. 열대성 저기압에 따라 태풍 강도는 기후변화로 인해 8% 이상 세력이 크게 나타나고 있으며, 특정한 해역이나 특정 지점에 이상 고수온이나 저수온 등의 이상수온이 발생하고 있다. 1968년부터 2018년까지 국립수산과학원에서 표층수온 자료를 분석해 보면, 2월 표층수온은 2010년 이후 평년 대비 저수온 현상이 나타난 사례가 9년중 7년으로 2000년 10년 중 3년, 1990년대 10년중 1년에 비해 겨울철 수온이 낮은 사례가 자주 있었다. 8월 표층수온의 경우도 2010년 이후 평년대비 높은 수온이 나타난 사례가 9년 중 7년으로 2000년대 10년 중에 5년, 1990년대 10년 중 5년에 비해 높은 비율로 나타남이 보고되었다. 즉, 우리나라 해역 표층수온은 옛날과 달리 여름과 겨울의 수온차가 증가하는 연진폭이 증가하고 있다고 말할 수 있다. 2010년 이후 특히, 2016년 이후에는 여름철 고수온, 겨울철 저수온 경향이 뚜렷하게 나타나고 있음을 확인하였다. 이와 같이 근래에 고수온과 저수온이 나타나는 원인은 지구의 이상기후와 밀접한 연관이 있는 것으로 판단되며, 여

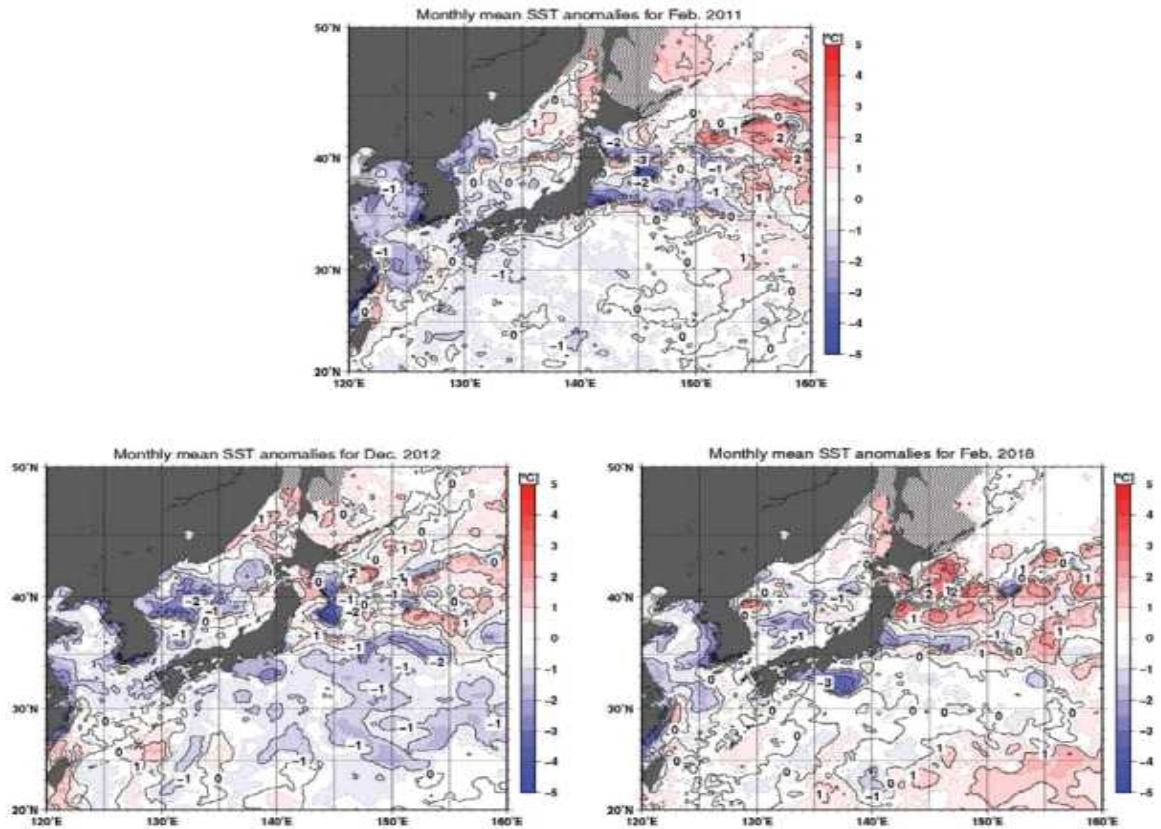
름철 고수온 현상 등이 뚜렷하게 관측된 2013년 및 2016~2018년 인공위성의 자료는 우리나라 주변 해역에서 8월 평균 표면의 수온 평년편차 분포가 [그림 4] 와 같다(수산분야 기후변화 평가백서, 2019.12.). 2013년 8월에는, 우리나라 주변 해역 표면수온이 평년 대비 2℃ 내외 높은 수온을 보이고 있음을 확인할 수 있었으며, 2016년 8월은 평년에 비하여 우리나라 주변해역의 표면수온이 2~3℃나 높은 경향을 보이고 있음을 확인할 수 있고, 2017~2018년에도 여름철 우리나라 주변의 해역 표면 수온이 평균 대비 1~2℃나 높게 나타나 2016년 이후 계속해서 하계에 고수온 현상이 나타나고 있음을 확인할 수 있다(수산분야 기후변화 평가백서, 2019.12.).



[그림 4] 2013년(좌상),2016년(우상),2017년(좌하),2018년(우하) 8월 평균 해면수온 평년편차 분포

* 출처: 수산분야 기후변화 평가 백서, 2019

고수온과 비슷하게 2010년 이후 겨울철 저수온 현상도 자주 나타나고 있다. 특히, 2010~2012년 겨울 및 2017~2018년 겨울에는 평년 대비 확연하게 낮은 수온이 우리나라 주변 연안에 나타났다. [그림5] 는 대표적으로 우리나라 주변의 해역에 겨울철 저수온 현상이 나타난 2011년 2월, 2012년 12월과 2018년 2월 인공위성에 의한 월평균 해면의 수온 평년 편차분포를 나타낸 것이며, 같은 시기에 우리나라의 주변 해역 해면 수온은 대기 1~3℃ 평년에 비해 낮게 나타나는 특징을 보이고 있어 저수온이 탁월한 시기로 판단된다.(수산분야 기후변화 평가 백서, 2019.12.)



[그림 5] 2011년 2월(상), 2012년 12월(좌하), 2018년 2월(우하) 월평균 해면수온 평년편차 분포

* 출처: 수산분야 기후변화 평가 백서, 2019

Ⅲ. 양식환경 변화 및 양식물 폐사 현황

1. 양식어장 환경 변화

경남의 고성자란만, 통영연안, 거제도남안, 진해만과 전남의 고흥연안, 진도연안, 신안연안, 완도연안 등은 양식장 밀집해역에 해당된다. 이런 밀집된 양식장과 미밀집해역 간 연안환경조사를 실시한 자료에 대해 살펴보면 표층과 저층 모두 육지기인 오염은 감소하였으나 용존산소량의 감소율과 화학적 산소요구량의 증가율은 양식밀집 해역에서 더욱더 높게 나타났다 [표 1]. 표층온도는 양식밀집 해역 0.94℃, 비밀집해역 0.79℃ 올라 양식밀집해역의 증가율이 더욱 높게 나타났다. 용존산소량은 최근 10년간 양식밀집해역에서 0.55% 감소한 반면 양식 비밀집해역에서는 비슷한 수준을 유지했다. 화학적 산소요구량은 양식비밀집해역에 비해 양식밀집해역에서 2.5배 증가율을 나타냈다. 용존무기질소는 양식밀집해역에서 더욱 높게 나타났으며, 양식밀집해역 감소율이 더 높게 나타났다. 용존무기인의 경우 양식밀집해역에서 연평균 0.77% 높게 나타났으며 과거와 최근 3년 평균값을 비교해보면 증가폭이 양식밀집해역이 양식비밀집해역보다 더욱 높았다.

저층의 수온은 양식밀집해역과 비밀집해역에서 비슷한 증가를 보였다. 2017년 기준으로 저층의 수온은 양식밀집해역이 15.89℃, 양식비밀집해역이 14.67℃로 1.22℃ 차이를 보여 표층수온과 비교해 수온 차가 컸다. 용존산소량은 양식밀집해역에서 최근 10년 연평균 0.89% 감소율을 나타내었으나 이는 양식밀집해역의 감소율에 비해 약 9배 수준이다. 화학적산소요구량은 양식밀집해역에서 연평균 3.88% 증가율을 나타냈으며, 2017년 기준 1.6ppm 수준으로 10년 기간동안 약 0.46ppm 증가했다. 용존무기질소와 용존무기인, 클로로필 감소율은 양식밀집해역에서 더욱더 크게 나타났으며 이 수치는 양식비밀집해역에 비해 낮은 수준이며 이를 통해 양식밀집해역의 저층은 육지기인 오염물질이 양식 비밀집해역 대비 적은 것을 알수 있다(양식어장 환경개선 방안에 관한 연구, 2018).

< 표 층 >

해역	항목	2008	2012	2017	연평균 증감률(%)	2008-2010 3년 평균	2015-2017 3년 평균
양식 밀집	수온(℃)	15.85	16.38	16.79	0.64	15.95	16.83
	DO(mg/ℓ)	8.57	8.80	8.16	-0.55	8.71	8.39
	COD(mg/ℓ)	1.19	1.11	1.45	2.19	1.12	1.33
	DIN(μg/ℓ)	105.41	87.56	71.86	-4.17	95.20	82.73
	DIP(μg/ℓ)	13.16	11.03	14.10	0.77	10.75	11.65
	Chl-a(μg/ℓ)	4.34	3.27	1.88	-8.85	4.05	2.36
양식 비밀 집	수온(℃)	15.94	16.20	16.73	0.54	15.96	16.47
	DO(mg/ℓ)	8.57	8.67	8.59	0.02	8.74	8.67
	COD(mg/ℓ)	1.20	1.16	1.30	0.89	1.14	1.26
	DIN(μg/ℓ)	106.39	92.40	79.77	-3.15	97.09	92.92
	DIP(μg/ℓ)	13.27	9.48	12.45	-0.70	10.99	11.16
	Chl-a(μg/ℓ)	3.62	3.55	1.86	-7.12	3.52	2.30

주: DO는 용존산소량, COD는 화학적산소요구량, DIN은 용존무기질소, DIP는 용존무기인, Chl-a는 클로로필을 의미함
자료: 해양환경공단, 한국해양환경 조사연보, 각년도

< 저 층 >

해역	항목	2008	2012	2017	연평균 증감률(%)	2008-2010 3년 평균	2015-2017 3년 평균
양식 밀집	수온(℃)	14.80	15.52	15.89	0.80	14.91	15.80
	DO(mg/ℓ)	8.40	8.31	7.75	-0.89	8.29	7.88
	COD(mg/ℓ)	1.14	1.05	1.60	3.88	1.06	1.29
	DIN(μg/ℓ)	110.68	86.99	73.40	-4.46	99.18	88.57
	DIP(μg/ℓ)	15.44	12.82	13.81	-1.23	12.71	13.01
	Chl-a(μg/ℓ)	4.04	3.25	1.76	-8.80	3.54	2.18
양식 비밀 집	수온(℃)	13.72	14.25	14.67	0.74	13.68	14.27
	DO(mg/ℓ)	8.18	8.34	8.11	-0.10	8.29	8.25
	COD(mg/ℓ)	1.21	1.93	1.50	2.40	1.06	1.21
	DIN(μg/ℓ)	124.97	90.91	95.70	-2.92	114.67	105.38
	DIP(μg/ℓ)	16.42	11.72	15.01	-1.00	14.43	14.13
	Chl-a(μg/ℓ)	3.04	3.30	1.62	-6.76	2.97	1.99

주: DO는 용존산소량, COD는 화학적산소요구량, DIN은 용존무기질소, DIP는 용존무기인, Chl-a는 클로로필을 의미함

자료: 해양환경공단, 한국해양환경 조사연보, 각년도

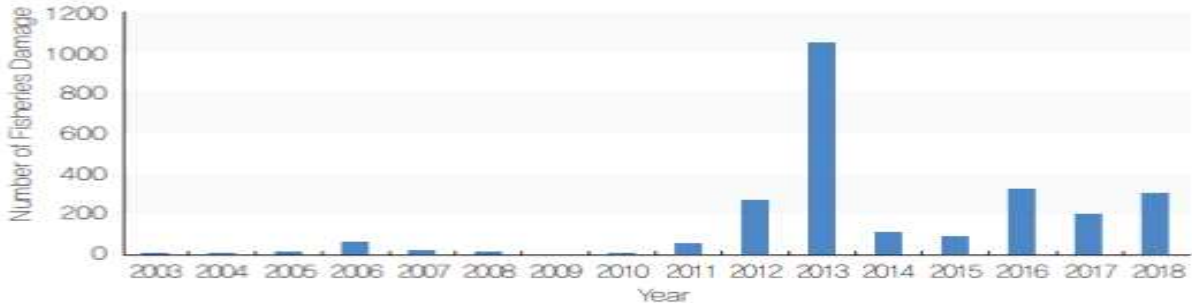
[표 1] 최근 10년간 양식밀집 및 비밀집해역 표층 및 저층 연안환경조사 결과

* 출처: 수산분야 기후변화 평가 백서, 2019

2. 양식물 폐사 현황

경남도는 2018년 기준 국내 패류 양식생산량 410,921톤 중에 71.7%인 294,108톤 생산하는 패류양식 중심지이며, 해상가두리 양식 어류 중 56.8%인 24,731톤이 경남도에서 생산되고 있다. 경남도에서 2003년 이후 발생한 양식어업 피해는 총 2,573건이 발생한 것으로 나타났다. 2013년에 적조가 경남도 지역에 커다란 피해를 입혀 1,053건 발생건수가 제일 높게 나타났고, 2016년도와 2018년도에 각각 327건으로 나타났다. [그림 6] 2018년에 양식어업 피해 발생원인은 고수온 251건이 제일 높게 나타났으며, 저수온 15건, 이상해황 10건, 질병 3건, 기타 23건(원인미상) 나타났다. 품종별로 어류는 177건,

폐류는 17건, 무척추동물이 108건 발생했다. 대부분의 어업피해는 2011년 이후에 집중되는 것으로 나타났으며, 최근에는 고수온·저수온과 같이 평년수온과 비교하여 높거나 낮은 수온이 야식생물의 폐사에 직접적인 요인이 되는 경우가 빈번히 발생하고 있다(양식어장 환경개선 방안에 관한 연구, 2018).



[그림 6] 경남권역 양식생물 피해발생 건수 * 출처: 국립수산물과학원 남동해수산연구소

2018년 이후 경남도의 어업재해 발생현황 [표 2] 을 살펴보면 그 피해량과 피해액이 꾸준히 증가하는 추세에 있다. 피해 원인으로는 2019년 적조피해를 제외하고는 모두 이상수온(고수온, 저수온, 빈산소수괴)에 기인한 것으로 기후 및 이상기온에 의해 발생한 이상수온의 증가 현상으로, 향후 지속적으로 양식물의 피해현황이 증가하는 것으로 사료된다. [그림 7]



[그림 7] 양식물 폐사 현장 사진 (굴, 가리비, 어류)

구분	시군별	품종별	피해상황				피해원인
			건수	피해면적	피해량	피해액 (백만원)	
'18년	계	어류	16	7.41	980,962마리	536	이상수온(저수온)
	통영시	어류	12	6.39	728,058	483	
	고성군	어류	1	0.10	4,500	13	
	남해군	어류	1	0.42	132,078	21	
	하동군	어류	2	0.50	116,326	19	
'18년	계	어류 명계	220	163.26	6,859,985마리 1,193.6줄	9,103	이상수온(고수온)
	소 계	어류 명계	130 90	62.23 101.03	6,859,985마리 1,193.6줄	6,905 2,198	
	통영시	어류 명계	74 49	35.01 58.63	4,680,115마리 747줄	3,935 1,376	
	거제시	어류 명계	15 30	9.62 22.93	820,051마리 262.5줄	1,658 483	
	고성군	어류 명계	5 2	1.61 4.72	132,111마리 70.9줄	138 131	
	남해군	어류 명계	30 9	12.33 14.75	1,164,535마리 113.2줄	1,062 208	
	하동군	어류	6	3.66	63,173마리	112	
'19년	계	어류 명계	44	36.33	323,175마리 236.665줄	747	이상수온(고수온)
	거제시	어류 명계	9 35	10.25 26.08	323,175마리 236.665줄	311 436	
	계	어류	40	41.08	2,126,182마리	3,623	적조피해
	통영시	어류	25	32.36	1,053,426	1,692	
	거제시	어류	3	2.845	74,056	90	
	남해군	어류	12	5.875	998,700	1,841	
'20년	계	어류 굴 혼합 명계 미더덕	297	364.6585	237천마리 4,823줄 1,072줄 374줄 780줄	6,146	이상조류 (빈산소수괴)
	창원시	굴 혼합 명계	31 33 35	110.35	627 800 780	564 110 83	
	통영시	굴 혼합 명계	31 1 6	32.15	527 38 78	474 5 231	
	사천시	어류	2	1.075	38	96	
	거제시	굴 혼합 명계	53 6 30	108.6	1,710 166 296	1,539 23 773	
	고성군	굴 혼합	42 3	101.35	1,959 68	1,763 9	
	하동군	어류	24	11.1335	199	501	
'21년	계	어류 명계	213	129.642	10,427천마리 269줄	11,659	이상수온(고수온)
	통영시	어류 명계	103 39	52.594 35.81	7,653 216	8,094 565	
	거제시	어류 명계	19 6	15 3.08	1,004 53	1,131 138	
	고성군	어류	5	1.43	233	252	
	남해군	어류	30	16.368	1,108	1,118	
	하동군	어류	11	5.36	429	361	

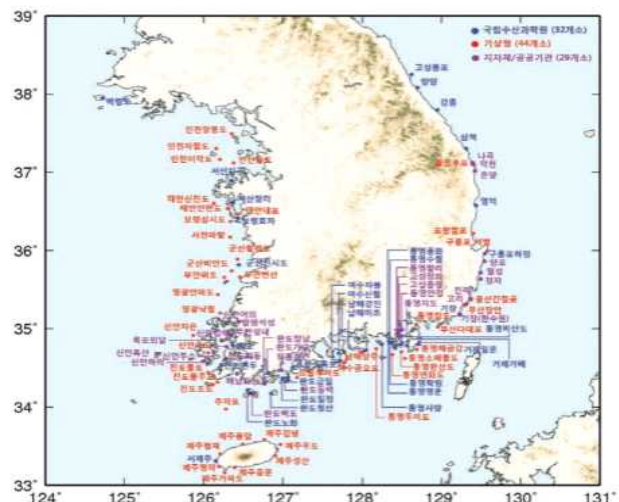
[표 2] 2018년 이후 경상남도 어업재해 발생현황 * 출처: 2022 경남도 해양수산현황

IV. 다양한 정부 대책 및 관련 연구

1. 기후변화 대응 시스템 강화

2016년 이전 간헐적으로 발생하던 이상수온에 의한 양식생물 폐사가 2016년 여름 유례 없이 전국 연안에서 대량으로 발생하였다. 당연한 자연현상으로 이상수온 현상을 방치하기 보다는 직접적인 특보발령 등을 통하여 효율적인 양식업 관리의 필요성이 대두되었다. 다양한 양식생물과 해역의 수온변동 경향 등을 고려하여 고수온의 경우 2017년 이상수온 특보의 발령기준을 만들어 고수온 주의보를 수온 28℃ 이상 해역에 발령하고 2018년부터 이상수온 관심단계를 설정하여 해양수산부, 각 시·도, 지자체 및 국립수산물과학원을 중심으로 집중 관리를 하고 있다. 2018년에는 7월 중순 장마전선의 이른 소멸과 급격한 폭염으로 7월 중순 표층수온 상승이 급격하여 [그림 8] 과 같이 조기에 고수온 특보가 발령되기도 하였다. 저수온의 경우, 양식어종 중 상대적으로 취약한 돔류의 한계수온 6.5℃로 보고되고 있지만 더 낮은 4℃로 기준을 잡아 돔류 등 저수온에 취약한 어종의 집중적 관리가 이뤄지도록 하였다.

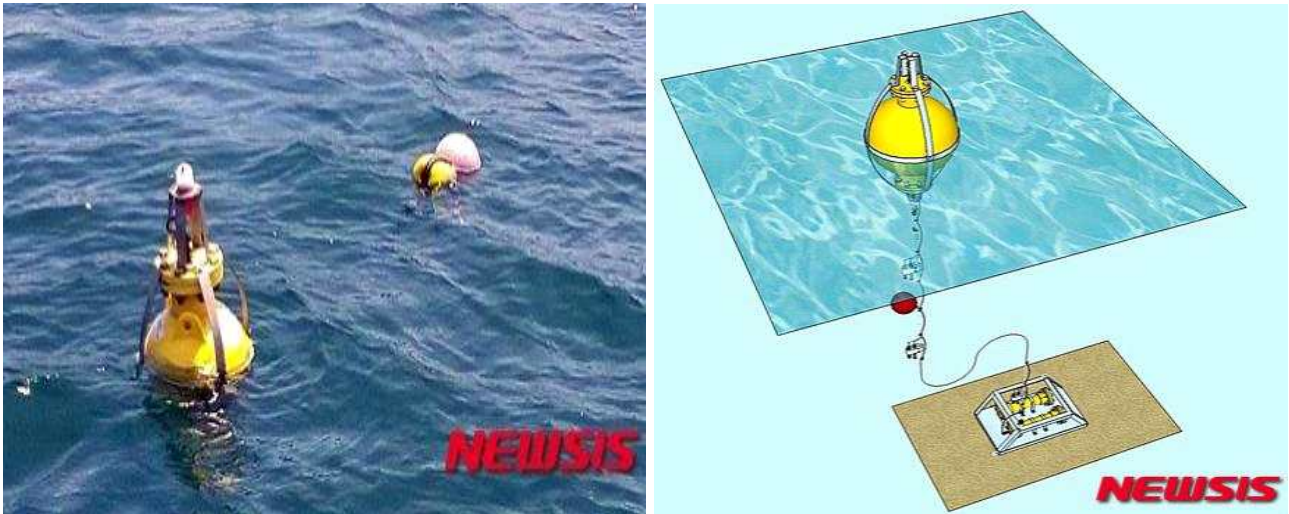
국립수산물과학원은 2003년 전국 연안해역에 실시간으로 해양환경 어장정보시스템을 구축 운영하여 급변하는 해양환경에 따른 양식장 피해 최소화를 위해 실시간으로 해양환경 자료나 수온 및 용존산소 등을 어업인들에게 제공하고 있다. 2019년 11월 국립수산물과학원의 실시간 해양환경 어장정보시스템을 통해 제공되는 관측소의 개수는 총 105개소에 이르며 [그림 9] 이들 관측소 [그림 10] 에서 측정된 관측정보는 실시간으로 스마트폰 어플리케이션, SMS, 인터넷·모바일 홈페이지, 전광판 등을 통해 양식 어업인 및 일반적인 국민에게 정보가 제공되고 있다. 실시간으로 제공되는 이런 정보를 통해 어업인들은 각자의 양식환경을 정확히 파악하고 변화하는 해양환경에 적극적으로 대응하려 노력하고 있다.



[그림 8] 2017년 하계 고수온 특보발령 현황

[그림 9] 2019년 국립수산물과학원 어장정보시스템 관측소

* 출처: 국립수산물과학원 기후변화연구과



[그림 10] 국립수산물품질관리원 ICT 기반 실시간 어장환경정보 관측시스템 * 출처: 국립수산물품질관리원 기후변화연구과

2. 기후변화 피해 최소화 대책 추진 사업

지구온난화 및 다양한 기후변화 등으로 지속적으로 증가하는 양식생물 피해를 최소화하고자 정부 및 시·도, 지자체에서 다양한 사업들을 추진중에 있다. 매년 경남 연안에 연례적으로 발생되던 적조 피해예방 및 안전한 어업생산 기반 구축을 위해 2014년부터 노후된 가두리를 PE재질의 현대화 가두리로 시설 교체를 지원하고 있으며 적조피해 직전 양식어류를 방류할수 있도록 사업비를 지원하고 있다. 또한, 적조 우심해역 어류 가두리 양식장을 적조피해가 적은 타 품종으로 변경을 유도하기 위한 품종변경 시설비 및 양식어장 구조개선 사업비를 지원하여 적조피해를 최소화 하고자 노력하고 있다. 최근 몇 년간 피해규모가 급격하게 늘고있는 고수온, 저수온, 빈산소수괴 등의 이상수온 피해를 줄이고자 액화산소공급기, 저층해수공급기, 냉각기자재, 차광막 등 이상수온 대응장비를 지원하고 있으며, 양식어가에 양식물 활력강화제나 면역증가제 등을 공급하여 튼튼한 어류양식으로 어업재해 대응 및 양식어가 경영안정에 기여하고 있다. 피해 최소화를 위해 노력하는 어업인들에게 직접적으로 선박임차비 등을 지원하기도 하며 폐사체로 인한 2차 피해를 없애고자 양식물 폐사체 처리비 등도 지원하고 있다. 기후변화 피해 최소화를 위한 근본적인 해결책은 될수 없으나 지속적인 양식물 피해로 어려움을 겪고 있는 어업인들에게 해양수산부, 시·군, 지자체 등에서는 다양한 방법과 추진사업을 동원하여 기후변화 대응에 노력하고 있다. 이 외에 2024년까지 양식장에서 사용되고 있는 전체 스티로폼 부표를 50%까지 친환경 부표로 대체하기 위한 사업을 2015년부터 실시 하였으며, 연안어장 환경을 보전·개선하여 지속가능 수산물 생산공급 기반 조성을 위해 양식어장 정화사업을 추진중이며, 환경친화형 배합사료 지원과 전남 지역 해조류 양식과정에서 나오는 부산물을 양식사료 등으로 재활용하는 해양해조류 부산물 재활용 등의 보조사업이 있다. 또한 어장환경 개선에 의한 지속가능한 수산물의 생산기반 조성을 위해 양식어장 재배치 지원사업을 위해 조사 설계비나 양식시설 이설 비용, 가두리 실명 표지 비용 등을 지원하고 있다. 해양수산부에서는 이런 다양하고 장기적인 사업추진으로 기후변화에 따른 양식피해를 최소화하고자 노력하고 있다.

3. 청정어장 재생사업 추진

양식기술발달 및 생산능력 향상으로 양식업은 성장하고 있으나, 양식어장의 환경은 점차 악화되어 빈산소수괴, 고수온, 이상조류 등 다양한 원인들에 의해 매년 양식물의 폐사가 증가하고 있다. 그러나 이를 해결하기 위한 방안으로 어장환경평가에 따른 정책적 조치와 3~5년 1회의 어장청소 의무 등에 국한되어 있어 적극적인 해결방안이 요구되어 진다. 양식장의 환경오염 문제는 육상기인 오염물질 외에 양식어가들이 수산물 양식과정에서 발생하는 잔여 사료 및 폐사체의 추적 등에 의해 발생하며 이러한 퇴적 오염원에 맞는 폐기물 처리기술도 필요한 시점이다.

본질적인 해양환경 개선을 위하여 청정어장 재생사업 등 다양한 정부시책과 방안을 추진 중이나 해양폐기물 육상처리시설 폐기물 처리시설에 대한 부정적인 시각과 해당지역 지역민의 민원 등으로 처리시설 구축에 상당한 어려움이 발생할것으로 예상되어 진다. 지속적으로 계속되어 온 양식활동으로 인해 오염되고 퇴화된 양식장 및 주변 해역의 오염물 등을 제거하여, 건강하고 자연그대로 최적의 어장환경을 조성하여 깨끗하고 풍요롭게 양식생물을 양성할수 있는 환경 및 양식장으로 개선하기 위해 실시하는 청정어장 재생사업은 오염되고 있는 저층의 퇴적물과 부산물, 폐어구 등 오염 유발물질을 진단하고 파악하여 다양한 방법을 통해 이를 처리·제거하여 청정어장으로 재생하고자 하는 것이다. 또한 과밀된 어장을 재조정하고 어장휴식체계 및 적정 시설량 관리로 지속 가능한 이용 및 풍요한 바다 실현을 위한 청정어장 구현을 최종 목적으로 추진되고 있는 사업이다. 현재, 경상남도에서는 청정어장 재생로드맵 수립을 위한 양식어장 오염실태 연구 최종보고서를 2021.9. 작성하였으며, 이를 근거로 기본계획을 수립하고 청정어장 재생을 위해 사업공모를 실시하고 적극적이고 다양한 방법으로 어장환경 재생을 위해 노력하고 있다. 경상남도 어장재생 뉴딜을 위해 디지털 뉴딜 종합계획을 수립하여 AI의 활용방안 확대를 통한 산업 고도화를 위해 스마트 양식 클러스터 조성 및 차세대 육상양식 등 기술혁신을 꾀하고 있다. 또한, 지속적인 청정어장 재생사업 추진, 최첨단 양식어장 환경 모니터링 시스템 구축사업, 경제성 확보 가능한 해양폐기물 활용사업, 어장 환경개선 산업 고도화 사업, 어업인 지역역량강화사업 등 다양한 국책사업 발굴 및 제안사업 활용으로 청정어장 재생사업을 단계적이며 적극적으로 추진할 계획이다.

4. 양식어장 환경개선을 위한 다양한 직불제 도입

우리나라 연안을 중심으로 발전한 양식어장은 수산업으로 생계를 이어가는 양식어가를 포함한 지역사회의 지속가능성을 담보하기 위해 깨끗하게 유지·존속될 필요가 있으며, 주요 양식장이 위치한 연안은 국민들에게 안전한 수산물을 공급하는 공간으로서의 기능뿐만 아니라 다양한 다원적 기능도 가지고 있어 그 가치는 식량생산 이상의 잠재적 가치를 가지고 있다(양식어장 환경개선 방안에 관한 연구, 2018). 소비를 하는 사람들은

양식장에서 생산되는 수산물 안전성과 양식산업의 생태적, 환경적, 윤리적 책임까지 담보될 수 있는 양식산업의 이행을 요구하고 있으며 양식어장 환경개선 시기를 늦히면 종국적으로 우리나라 양식업은 소비자들에 의해 외면받고 성장의 한계에 부딪칠 수 있다. 조류 소통이 원활하지 않은 전국 내만에서 집약적으로 양식 수산물을 생산하면서 발생하는 환경오염 문제의 해결은 우리나라 양식산업의 지속적 성장을 위해 우선적으로 해결해야 할 중요한 과제이며, 이런 양식어장 환경개선을 위한 다양한 직불제 도입을 제안한 연구결과가 있는데, 2017년 기준 우리나라 농업분야 직불금은 3조 5,606억원에 달하지만 수산분야 직불제는 조건불리직불제가 유일하다(양식어장 환경개선 방안에 관한 연구, 2018). 이들 중에 양식장의 환경개선과 비슷한 농업부문 직불제인 친환경농업직불제와 경관보전직불제는 각각 연간 411억원, 연간 116억원에 달한다. 우리나라의 경우 양식장이 밀집한 연안해역 어장 보호 및 개선을 위해 최대지불의사 금액 설문시 5년간 약 1조 8백억원에 달하며, 농업부문 그 이상 다원적 가치를 국민이 인정하고 있다는 것으로 여겨진다. 그러나 양식어장 환경개선과 관련 이에 맞은 정책사업을 추진하지 못하고 있는 실정이다. 양식어장 환경개선 사업은 그 목적이 친환경수산물 생산, 연안지역 환경보전 등이 목적이므로 농업분야의 친환경농업직불제, 경관보전직불제 등의 사업으로 추진 가능하다. 어장환경 개선을 위해 휴식을 하는 어가에 대한 직불금 지급, 양식어장 저질과 주변의 환경을 개선하는 노력에 대한 직불금 지급 등이 가능하며 양식어장 휴식년제의 실시, 친환경 양식에 대한 직불제를 도입하고 양식어가 준수 조건으로 직불금을 지급하는 교차준수 체계 등을 구성한 제도 도입이 요구된다(양식어장 환경개선 방안에 관한 연구, 2018). 어장관리법 제9조 어장의 휴식을 명시하고 있어 별도 법률의 개정이 없이도 사업 추진이 가능하겠지만 어업인의 합의에 기반을 두고 구체적인 이행방안 부재, 예산상 한계로 사업 추진이 어려운 상황이나 휴식년제와 직불제를 결합하여 양식 어업인의 교차준수 조건으로 어장휴식에 의한 소득 감소분 일정금액을 양식 어업인 생계유지를 위하여 보조하는 방법으로 사업추진이 가능하며 단, 소득감소분은 양식어장 환경악화 책임분담 및 수익자 부담 원칙에 따라, 정부, 지자체, 어업인 각각 50%, 30%, 20%의 기본률을 유지하고, 손실의 범위는 어업이익과 인건비의 80%와 어장휴식기간 중 고정비를 어장휴식 지원금으로 산정할 필요가 있으며 직불금 지원방식은 분기 또는 월별로 지급하고, 어촌계 면허이거나 지분으로 나뉘진 개인 면허의 경우 면허의 보유지분만큼 개인별로 배분할 필요가 있다(양식어장 환경개선 방안에 관한 연구, 2018).

5. 양식장 관리체계 강화

국립수산과학원은 「어장관리법」에 따라 어장관리 권한을 갖고 있으며, 동법에 의해 2014년부터 어업면허의 유효기간 만료 1년 전 어장환경평가를 실시하고 있다. 항목은 두가지로 총 유기탄소량(TOC)과 저서동물 지수이며 항목 점수에 의거 어장환경을 1~4 등급으로 구분한다. 어장환경평가 등급에 따라 면허 유효기간 연장 기간과 환경개선

조치사항이 정해진다. 1등급은 10년 범위 내에서 어업면허 유효기간 연장이 가능하고, 2등급 어장은 10년 유효기간 연장과 함께 어장환경 개선 권고 조치를 취한다. 3등급 어장은 5년 범위 내에서 면허 유효기간 연장을 할 수 있으며, 어장환경 개선 조치과 어장 내 기존 시설물 위치 이동 지시할 수 있다. 4등급은 4년 범위에서 유효기간 연장을 하고 어장환경개선과 어장의 위치를 조정하도록 지시할 수 있다. 어장의 위치를 조정할 경우 기존의 면허어장 외의 다른 대체어장으로 이동하여야 하며, 2회 이상 4등급 처분을 받을 경우 어장의 바닥 퇴적물을 준설하거나 위치 조정 방안에 대해 권고 할 수 있다. 하지만 어장의 환경평가 등급 조치사항은 대부분이 지시나 권고, 연장기간 단축 등의 소극적 조치에 불과해 양식 어업인의 어장환경 관리 소홀에 따른 불이익을 직접적으로 주기 어렵다. 법의 강제성이 적을뿐더러 규제 대상인 어업인의 저항이 커 환경개선이 지체되고 있는 실정이다. 이에 해양수산부에서는 양식장 관리체계의 전반적 개선을 위하여 ‘양식면허 심사·평가 제도’를 도입할 계획이며, 이는 양식어장 환경 관리 실태와 불법어업 여부 등을 종합적으로 고려하여 양식면허 재발급 여부를 새롭게 결정하는 제도로 어장관리에 관한 책임을 부과하는 제도이다. 면허 양식어장 관리 시스템 구축을 통해 체계적이고 지속가능한 양식업 발전을 도모한다는 취지이다. 자연의 정화능력을 활용한 어장의 생산성 향상을 위하여 효율적인 어장 개선의 시범모델을 개발하는 한편, 황토, 굴 패각 등과 같은 어장의 개선 물질·장비도 발굴할 계획이다. 뿐만 아니라 국립수산물과학원의 기능을 강화하고 양식분야 재해대응 담당부서 기능 강화를 위한 인력을 확충하여 양식어장의 지속적 개발 및 이용을 위해 노력하고 있다. 더불어 재해 상습발생 어장이나 만(灣)과 같이 급속한 수온 변화로 커다란 피해를 입기 쉬운 폐쇄성 해역의 경우 관광형 어장(체험학습, 낚시 등)이나 육상양식장 등으로 시설의 전환을 유도하거나, 해역 특성에 적합한 양식품종으로의 전환을 유도한다거나 양식장 이설도 가능하다. 양식장이 밀집된 해역은 부득이하게 조류의 소통이 원활하지 않아 재해의 발생에 더욱 취약할 수밖에 없으므로 시설의 재배치, 양식시설 표준화 및 주기적인 어장청소도 실시하는 등 종합적인 어장개선 방안을 위해 노력하고 있다.

6. 기후변화 대응 연구개발사업(대체품종 개발 등) 강화

수온에 대한 내성을 가진 양식품종을 개발하여 고수온이나 저수온 피해를 줄이고자 연구개발이 지속되고 있다. 강도다리, 송어, 명게, 해삼 등 저수온에 강한 어종을 생산 보급하고 넙치, 방어, 꼬막 등 고수온에 강한 양식품종을 지속적으로 개발하여 고수온 피해에 적극 대비하고 있다. 고수온 대응 대체 양식어종 개발을 위해 국립수산물과학원에서는 가속화되고 있는 온난화 현상에 적응가능한 아열대 어종 대왕자바리나 대왕불바리 등을 직접 가두리 현장에서 연구하여 여름철 고수온에도 폐사하지 않고 4월 250g 대왕자바리를 11월에 800~1400g까지 성장시켰다고 밝혔다. 35도의 고수온에도 폐사하지 않고 28도에서는 오히려 더 빨리 성장해 1년 안에 상품크기인 1kg까지 성장이 가능하며, 고수온에 약한 돔류나 조피볼락 등을 대체할 수 있는 어종이라고 한다. 또한, 국

립수산과학원에서는 여름철 고수온으로 인한 폐사가 해마다 발생하자 2016년부터 대체 어종으로 교잡바리류의 종자생산과 양식기술·방법 등을 연구하고 있으며 대왕자바리와 대왕불바리는 2020년 양식기술 개발에 성공해 2021년에는 충남 태안과 전남 무안 등에서 실제로 양식중이다. [그림 11] 이렇듯 자연환경 변화에 능동적으로 대응 가능하고 고수온 등의 이상수온에 특화할 수 있는 어종으로 양식품종을 다변화하는 노력은 계속되어야 한다. 또 다른 방면에서는 미생물을 활용하여 오염물질을 정화하고 이 미생물을 또다시 양식생물 먹이로 이용하여 양식장을 하나의 독립된 생태계로 만드는 친환경 양식산업 기술인 바이오플락(Biofloc) 기술을 개발하여 흰다리새우 양식 등을 현재 많은 어업인들이 직접 이 방법으로 양식하고 있다. [그림 12] 더불어 물리적, 화학적, 생물학적 처리를 통해 물을 깨끗하게 관리하는 양식시스템인 순환여과식 양식시스템을 연구개발 하여 급격한 기온변화에 영향을 적게 받은 양식기술을 지속적으로 개발하여 현장에 보급하고 있다. 양식물의 피해 발생 우심 해역 등을 중점적으로 ‘양식재해 예측정보시스템 구축사업’을 추진할 계획이다. 또한 기후변화에 대응 가능한 저탄소·친환경 양식산업으로의 전환을 위한 연구개발사업이 추진되고 있어 양식장 배출수 폐열회수장치(히터펌프) 보급하고 지하 해수 등을 개발하여 에너지 절감방안을 강구해 친환경·고효율 양식시스템 전환을 지원하고자 한다. 양식용 사료 생산과정에서 온실가스 배출량을 줄이기 위한 저탄소·저메탄 배합사료 생산시설을 개발하고 양식 부산물과 껍생이모자반 등의 해조류를 활용한 기능성 사료 첨가제를 개발하는 등 다양한 분야에서 기후변화에 대응하고자 연구개발사업이 활발히 진행되고 있다.



[그림 11] 남해안 대체양식어종 대왕자바리(국립수산과학원) [그림 12] 바이오플락 흰다리 새우 양식장(현대해양)

7. 남해안의 가리비류 연중 생산 연구

전 세계적으로 볼때 가리비과에 속하는 가리비는 약 400여종에 달하며, 국내에는 주로 동해안에 서식하는 참가리비, 남해안과 동해안에 서식하는 비단가리비, 남해안에 서식하는 해만가리비, 고랑가리비, 국자가리비 등 약 20여종이 서식하고 있다(한국동물명집, 1997). 우리나라 가리비류의 생산량은 2020년에 5,591톤(약 245억원)으로 2010년의 253

톤(약 18억원)에 비해 약 22배나 증가하여 패류양식의 새로운 소득원으로 자리잡고 있다. 또한, 경상남도도 우리나라 가리비류의 전체 생산량 95%를 차지할 정도로 가리비 집중 생산지역이다. 대부분의 경남 가리비가 생산되고 있는 고성군이나 통영시 등 남해안에서는 주로 해만가리비가 양식되어 지고 있으나, 다양하고 급격하게 변화하는 기후와 해양환경으로 인해 남해안 가리비는 대량 폐사가 빈번히 발생하여 어업인들의 피해가 크게 증가하곤 하였다. 이에 해양수산부 국립수산물과학원에서는 2019년부터 현장에서 연구를 통하여, 남해안에서 해만가리비 양식이 끝나는 11월부터 익년 6월까지 동해 참가리비 치패를 이식하여 상품성 있는 사이즈로 양식하는데 성공하였다고 밝혔다. [그림 13] 남해안은 기존부터 양식하던 해만가리비(5~11월)와 참가리비(11~익년 5~6월)를 교대로 1년 내내 양식할 수 있게 되어 연중 가리비 양식시대를 맞이하게 되었다. 지금까지 남해안에서는 해만가리비의 치패를 5월경 입식하여 10~11월까지 성장시켜 생산하면 11월부터 다음해 4월까지 가리비 양식어장을 놀리고 있는 실정이었다. 이는 국립수산물과학원 남동해수산물연구소에서 경남 고성군 고성가리비영어조합과 함께 실시한 현장연구를 통해 이뤄낸 성과로 해만가리비와 참가리비를 교대로 연중 양식할 경우 기존 소득의 약 1.5~2배가 증가할 것으로 예측되어 어가소득향상에 도움이 될 것으로 전망된다. 남해안 참가리비 시험양식 성공으로 고성군, 통영시 등의 남해안에서 대부분 생산되던 가리비류의 연중생산 기술개발로 패류양식업계에 양식 가리비 품종 다양화 및 새로운 소득창출 기회가 제공 될 것으로 기대되고 있다. 지구온난화 및 다양한 기후변화 등에 따른 지속적인 가리비 피해로 한해 수입이 통째로 없어질 수도 있는 가리비 어업인에게, 겨울철에도 참가리비 양식으로 연중 양식이 가능해서 안정적인 소득원 확보가 기대된다. 이러한 현장에서의 직접적인 연구를 통해 급변하는 해양환경에 적극 대응하는 것은 바람직하다고 보여진다.



[그림 13] 남해안 참가리비 양식 현장(제주환경일보)

V. 개선방안 및 결론

지구 온난화와 이상 기후의 발생은 전 지구 기후 시스템의 문제이며, 인간의 힘으로 이를 해결할 수 없다. 또한 이미 배출된 온실가스로 인해 해양 온난화와 고수온 등의 이상수온은 미래에 지속적으로 증가할 것으로 여겨진다. 따라서 해양환경을 담보로 이뤄지는 수산업에서 급격한 기후변화의 적응은 무엇보다 중요한 과제이며 정책적, 과학적, 산업적 적응 능력을 더욱 향상시켜 기후변화에 적극적으로 대응해야 할 시점이다. 실제로 해양수산부를 필두로 국립수산물과학원, 시·도 및 지자체에서는 해양 온난화에 적응하기 위한 다양한 정책 방안과 사업들을 추진중에 있으며, 향후 지속가능한 양식업 영위를 위하여 여러 가지 방안들을 연구하고 있다. 이 중 현실적으로 적합하고 실현 가능한 사례 및 연구방안들을 정리해보고자 한다.

첫째, 지속가능한 양식어장의 활성화를 위해서는 본질적인 해양환경의 개선은 절대적으로 필요하므로 ‘청정어장 재생사업’을 더 적극적으로 추진해야 한다. 몇십년 동안 계속되어 온 양식활동으로 오염되고 퇴화된 양식장 및 주변 해역의 오염물 등을 제거하여, 건강하고 자연그대로 최적의 어장환경을 조성하여 깨끗하고 풍요롭게 양식생물을 양성할수 있는 환경을 조성해야 하며 나아가 가능하다면 인센티브 지원등을 통해 양식어장 휴식년제를 의무적으로 실시하고 양식장의 밀식을 방지하기 위해 적정한 입식량을 법제화하여 양식환경을 보호하는 것도 커다란 도움이 되리라 본다.

둘째, 가속화되고 있는 온난화 현상에 적응 가능한 대체품종을 개발하거나 기존 품종을 고수온 등의 이상수온에 대한 내성을 가진 품종으로 업그레이드 시키는 것이다. 최근 고수온 내성 전복의 품종 개발을 적극적으로 추진해 현장 적용 실험을 진해중에 있으며, 대왕불바리·대왕자바리 등 높은 수온에 잘 견디는 교잡바리류를 개발해 우리나라 해역에서 양성할 수 있는 기술을 확립하고 있고 실제 이들 아열대 종들은 경제적 가치도 높아 기후변화 대응과 함께 어가의 소득향상에도 도움을 줄 것으로 기대되어 있다. 향후에도 급변하는 기후에 적합한 대체 품종개발이나 기존 품종의 업그레이드를 통해 이상 수온 등에 의한 집단 폐사가 발생하지 않도록 적극적인 연구개발 노력이 필요한 시점이다.

셋째, 남해안의 해만가리비와 참가리비의 교대 생산으로 연중 양식 기술개발 성공사례를 확대하는 것이다. 국립수산물과학원 남동해수산연구소에서는 남해안이 겨울철 수온이 높고 패류 먹이인 식물성플라크톤이 풍부한 점에 착안하여 동해안 참가리비 치패를 겨울철에 남해로 가져와 기존 해만가리비 출하 후 놓고 있는 양식시설에서 키우기 시작했다. 수온이 낮은 동해안보다 짧은 기간에 참가리비를 상품성 있는 크기까지 성장시켰으며 이를 통해 양식 어업인들은 기존 소득의 약 1.5~2배 증가하는 결과를 낳았다.

변화되는 환경에 좌절하지 않고, 그 해역만의 특성을 면밀히 파악하고 연구하여 기존의 한정된 양식방법에 국한되지 않는 다양한 방법과 품종 개발로 더 많은 소득을 창출할 수 있는 연구 노력이 계속되어야 한다.

지구 온난화와 급격한 기후변화로 야기되고 있는 다양한 해양환경의 변화를 능동적으로 파악하여 적극적이고 진취적으로 대응하는 노력들과 다양한 방안 및 양식연구 등을 통해 지속 가능한 양식어장의 성장에 모든 기관이 다함께 노력해야 할 시점이다.

〈참 고 문 헌〉

1. 수산분야 기후변화 평가 백서 -해양수산부 국립수산물과학원 2019.12.
2. 양식어장 환경개선 방안에 관한 연구 -한국해양수산개발원 2018.12.
3. 청정어장 재생로드맵 수립을 위한 양식어장 오염실태연구 최종보고서-경상남도 2021.9.
4. 2022 해양수산현황 - 경상남도, 2022.
5. 기후변화 영향 및 적응에 관한 제6차 평가보고서 - 기후변화에 관한 정부간 협의체
6. 탄소중립시대, 수산어촌 분야 정책지원 방안 - 농어업·농어촌 특별위원회 2021.12.
7. 남해안 양식생물자원의 폐사현상에 대한 구조적 대응 - 국립수산물과학원, 2008
8. 해수부, 양식분야 기후변화 대응전략 수립(브리핑) - 해양수산부 어촌양식정책과, 2018
9. 경향신문 - 온난화로 여름철 폐사 반복되자 아열대종으로 교체 나선 어민들(2021.11.2.)
10. 제주환경일보 - 남해안, 품종교대로 1년 내내 가리비 양식시대 열어(2021.7.19.)