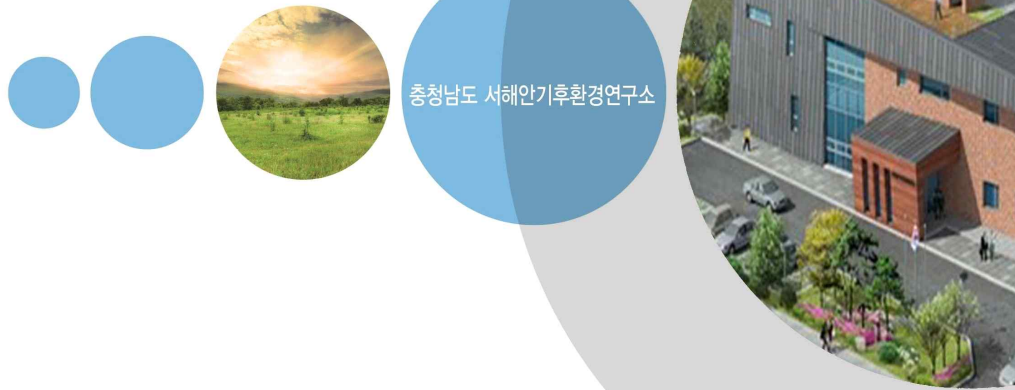


서해안 김 황백화 관리를 위한 하수종말처리장 방류수 활용 방안 연구

기후변화대응연구센터



충청남도 서해안기후환경연구소

2017. 5

서해안 김 황백화 관리를 위한
하수종말처리장 방류수 활용 방안 연구

2017. 5

Contents

목차	i
표 목차	v
그림 목차	vii
연구요약	X
 1장 서론	 3
1. 연구배경 및 필요성	3
2. 연구범위 및 방법	7
3. 연구내용 및 방법	8
 2장 충청남도 연안 환경변화 특성	 13
1. 충청남도 연안 환경의 주요 환경변화	13
1.1 해안선의 변화	13
1.2 매립·간척 등에 의한 연안유역 환경변화	15
2. 충청남도 연안 수질(영양염류) 변화	19
2.1 육상시스템과 연안 시스템 단절에 의한 물질순환 제한	19
2.2 충청남도 연안 수질(영양염류)의 변화 추이	21
3. 연안 유역에 있어서 방조제 및 하굿둑 건설의 문제점	28
 3장 충청남도 김 황백화 현황 분석	 33
1. 김 생육을 위한 환경인자	33
1.1 김 생활사	33
1.2 환경인자들	34
1.2.1 광(햇빛)	34
1.2.2 수온	35
1.2.3 염분	35

1.2.4 해수의 흐름 및 조석	36
1.2.5 영양염류(N,P)	36
2. 김 양식 현황	38
2.1 충청남도 내 양식 김의 품종별 특징과 양식방법	38
2.2 김 양식 시설 및 생산현황	40
3. 김 황백화 발생 원인 및 기작	43
3.1 발생 원인	43
3.2 발생 기작	43
4. 김 황백화 발생 피해 현황	46
4.1 서·남해안의 김 황백화 발생 및 피해 현황	46
5. 김 황백화 대책방법	48
5.1 시비제 처리에 의한 방법	48
5.2 시비제 투여에 의한 주변 환경에 대한 영향	51
 4장 기초 환경시설을 활용한 김 황백화 제어	 55
1. 충청남도 연안 주변 하수종말처리장	55
1.1 서천 연안 김 양식장 및 하수종말 처리장	57
1.2 서천 연안 해수유동 현황	58
2. 하수종말처리장 방류수의 계절적 대응 운전방법	60
3. 질소제거 제어 운전방안 제시	62
3.1 질화제어운전	62
3.2 탈질제어운전	64
4. 인 제거 제어 운전방안 제시	66
4.1 약품첨가량 조정에 의한 방법	66
4.2 DO조정에 의한 인의 흡수 제어	66
4.3 혐기조로의 반송에 의한 인의 재방출 억제(그 후 과잉 섭취 제어)	67
5. 하수종말처리장 계절별 운영 이점	68
5.1 하수도 사업자(하수처리장)의 이점	68
5.1.1 하수처리에 대한 이점	68
5.1.2 해양환경에 대한 이점	68
5.1.3 그 외	68

5.2 어업관계자(주로 김 양식업자)의 이점	68
5.2.1 시비제의 해면 살포 필요(인력, 비용)가 경감에 대한 이점	68
6. 해양연안 생태계 하수종말처리장 계절별 운영에 따른 효과 대상	70
5장 계절별 운전운영(안) 도입 절차	75
1. 도입시 절차 및 검토할 사항	75
2. 시설 및 설비의 개선	78
3. 시험운전	80
4. 본 운전	81
4.1 준비기	82
4.2 이행기	82
4.2.1 소요기간	83
4.2.2 수로 전환 등 실시	83
4.2.3 이행기 작업공정의 예	83
4.3 영양염류증가 운전 시기	84
4.3.1 목표 수질 설정	84
4.3.2 증가 운전기간 설정	85
4.3.3 관리 목표치 설정	85
4.3.4 대상이 되는 처리수량	85
4.3.5 폭기 구획의 조정 등을 행할 때의 유의점	86
4.3.6 증가 운전에 동반한 변화	87
4.4 회복기	88
6장 결론 및 정책제언	93
1. 결론	93
2. 정책제언	96
참고문헌	101

표목차

<표 2-1> 우리나라 해안선 분포 특성	14
<표 2-2> 우리나라 간척지 조성 현황	16
<표 2-3> 육상과 해양(연안)의 상호 관계	20
<표 3-1> 충청남도 김 양식 품종별 특징	38
<표 3-2> 김 양식 방법에 따른 특징들	40
<표 3-3> 2012년~2016년 충청남도 내 김 양식 시설 및 생산	42
<표 3-4> 2012년~2013년 전북 김 양식장 월간 질소 요구량	49
<표 3-5> 시비제 제품의 액상성분	50
<표 4-1> 2016년 서천 연안지역 하수종말처리장 연평균 방류수질 현황 ...	56
<표 5-1> 방류수의 총질소(TN) 및 총인(TP)농도관리 목표설정 사례	85
<표 5-2> 관리목표 값의 설정(사례: 일본 히타미(二見)정화센터)	86

그림목차

[그림 1-1] 유역 종합계획에 있어서 풍요로운 연안과 계절별 운전관리 개념도	6
[그림 2-1] 우리나라 해안선(인공, 자연해안선)	13
[그림 2-2] 충청남도 내 국가관리 방조제 위치도	16
[그림 2-3] 충청남도 주요 방조제 위치도	17
[그림 2-4] 충청남도 주요 방조제 내 수질 특성 현황	18
[그림 2-5] 충청남도 연안 수질 조사 정점(KOEM)	22
[그림 2-6] 충청남도 연안 수질 항목 중 유기물(COD)과 영양염류(TN, TP)의 변화추이	24
[그림 2-7] 군산(서천) 및 보령 연안의 수질 변화 추이	25
[그림 2-8] 서천 연안 연도별 수질 변화 추이	27
[그림 2-9] 하굿둑 상·하류 주변 환경 변화 특성	29
[그림 3-1] 김(방사무늬 김)의 생활환	34
[그림 3-2] 충청남도 김 양식 품종들	39
[그림 3-3] 양식 방법인 지주식 양식과 부류식 양식	39
[그림 3-4] 광합성 색소 합성 프로세스	45
[그림 3-5] 서·남해안 김 황백화 피해 현황(2010~2011년)	47
[그림 3-6] 시판 시비제 처리 후 황백화와 김 세포 회복 결과	51
[그림 4-1] 충청남도 연안에 있는 하수종말처리장 위치도	55
[그림 4-2] 서천 판교천 및 솔리천 중점 부근 방류 수문	57
[그림 4-3] 서천 연안 해수유동 현황	58
[그림 4-4] 영양염류 확산 모델링(예시)	59
[그림 4-5] 계절별 운전관리에 있어서 처리 방류수 농도 조절 개념도	60
[그림 4-6] 하수종말처리수 내 영양염류 농도증가 운전방법	61
[그림 4-7] 질소 성분 증가 운전 이미지(질화 제어)	63
[그림 4-8] 평상시 운전으로부터 영양염류 농도 증가 제어운전으로의 전환	

사례(일본)	64
[그림 4-9] 탈질성분 증가 운전 이미지(탈질 제어)	65
[그림 4-10] 해양의 생태 피라미드 개념도	71
[그림 5-1] 도입시 검토 수순 예시 개념도(예시)	76
[그림 5-2] 계절별 운전관리를 실시하고 있는 일본의 하수처리장(사례)	78
[그림 5-3] 운전시기에 의한 영양염류 배출량 변화 개념도	82
[그림 5-4] 운전방법 중 영양염류 전환 방법 분류	84

정책지원과제(기후변화) 2017-06

서해안 김 황백화 관리를 위한 하수종말처리장 방류수 활용 방안 연구



연구요약

1. 배경 및 목적

- 현재 서해안 연안 및 하구는 인위적인 개발에 따른 육상계와 해양계의 물질 순환이 방조제와 댐에 의해 차단 및 단절되면서 연안으로 공급되었던 다양한 물질 이동 또한 상당한 제약을 받고 있음.
- 이러한 제약 중 육상으로부터 영양염류(질소, 인 등) 공급 제한은 서해안 연안 유역의 식물상 생태계에 커다란 영향을 주고 있으며 2010~2011년에서 · 남해안 지역에서 발생한 김 황백화 현상은 이러한 문제점의 대표적인 사례라 할 수 있음.
- 특히 충청남도의 주요 해산물 중 김(양식)의 성장 또는 생산은 질소(N)와 인(P) 같은 영양염류에 크게 의존하고 있어 현재 진행되고 있는 영양염류의 감소는 앞서 서술한 김 황백화 현상을 발생시킬 수 있어 어민들에게는 피해를 입힐 수 있음.
- 따라서 본 연구에서는 풍요롭고 지속가능한 충청남도 연안 환경을 구축하기 위해 기초 환경시설인 하수종말처리장에서 버려지는 방류수 내 영양염류(질소, 인)를 적극 활용하여 현재 문제가 되고 있는 서해안 연안 영양염류 농도 감소에 관한 문제를 최소화 할 수 있는 방안을 마련하고자 함(그림 1).

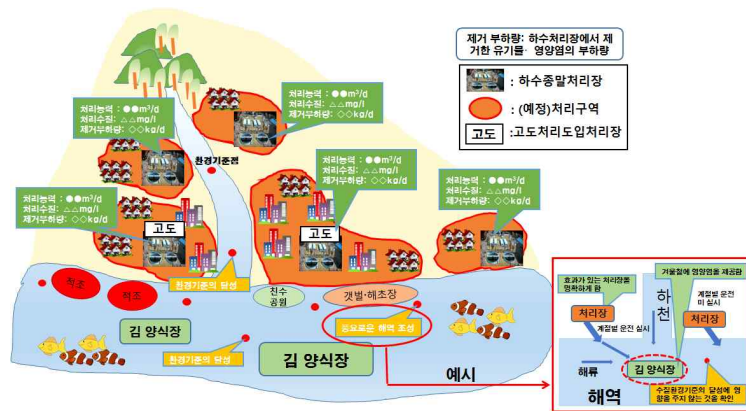


그림 1. 유역 종합계획에 있어서 풍요로운 연안과 계절별 운전관리 개념도

2. 주요 연구내용

2.1 충청남도 연안 환경변화 특성

2.1.1 충청남도 연안 환경의 주요 환경변화

○ 충청남도 연안 수질 환경 변화의 원인 중 육상시스템과 해양시스템 간의 단절을 그 이유로 보고 있는데 이러한 경향은 해안선의 변화와 매립·간척 등에 의한 연안유역 환경변화에서 살펴볼 수 있음.

○ 충남인 경우 총 해안선 길이는 우리나라에서 세 번째로 긴 1,242.0km (8.6%)의 해안선 길이를 갖고 있지만 자연 해안선 비율은 808.1km (49%)로 다섯 번째 순위를 보여주고 있고 이 의미는 연안지역 개발에 따른 자연 해안선의 소실을 의미하며 이는 곧 육상과 연안 시스템 상호간 물질순환의 어려움을 생각할 수 있음.

○ 한편, 충청남도 지역은 전국간척사업의 88%가 집중되어 있으며, 방조제 수는 총 279개소(국가 21, 지방 249, 미지정 9)로 전국에서 전남지역에 이어

2번째로 많음.

○ 이들 중 주요 방조제(대호, 석문, 보령, 간월, 부남, 삽교 방조제) 내 수질 결과를 보면 농업용수 확보가 가장 큰 목적이지만 친환경농산물 인증을 위한 농업용수 기준(IV 등급: 8mg/L이하)에 미달 할 뿐만 아니라 생태적 가치도 저하되고 있음. 이들 방조제 내 수질 오염 특성을 보면 2014년도 이후에 대부분 화학적 산소요구량(COD)이 10mg/L(VI등급)을 초과하고 있음(그림 2).

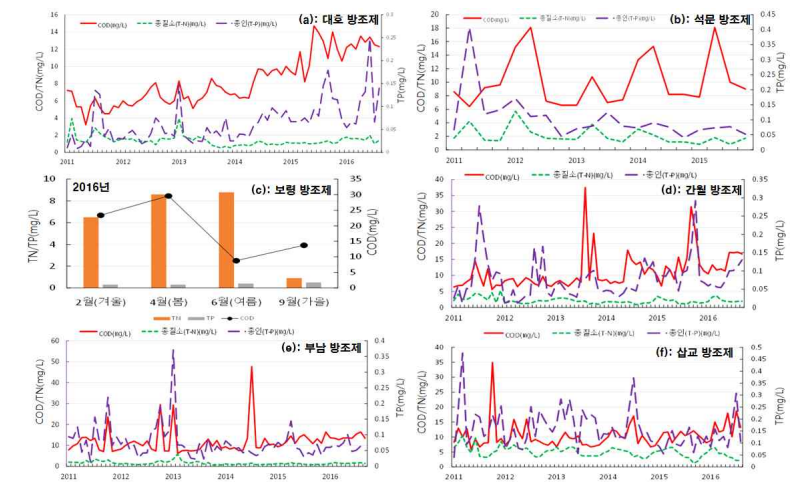


그림 2. 충청남도 주요 방조제 내 수질 특성 현황

2.1.2 충청남도 연안 수질(영양염류) 변화

○ 그림 3은 충청남도 서해안 수질 모니터링 측정 지점 중 서천 연안 부근(개야도 부근)에 위치한 측정지점(노란지역)에서 관측된 수질 결과를 나타냄.

○ 김 황백화 발생(2010~2011년) 당시 관측된 데이터를 보면 김 황백화에 영향을 줄 수 있는 기준 농도(DIN: 0.07mg/L, DIP: 0.016mg/L)보다

DIN(2010년 0.110mg/L, 2011년 0.177mg/L)은 높았지만, DIP(2010년 0.012mg/L, 2011년 0.007mg/L) 농도는 기준농도보다 낮은 경향을 보임.

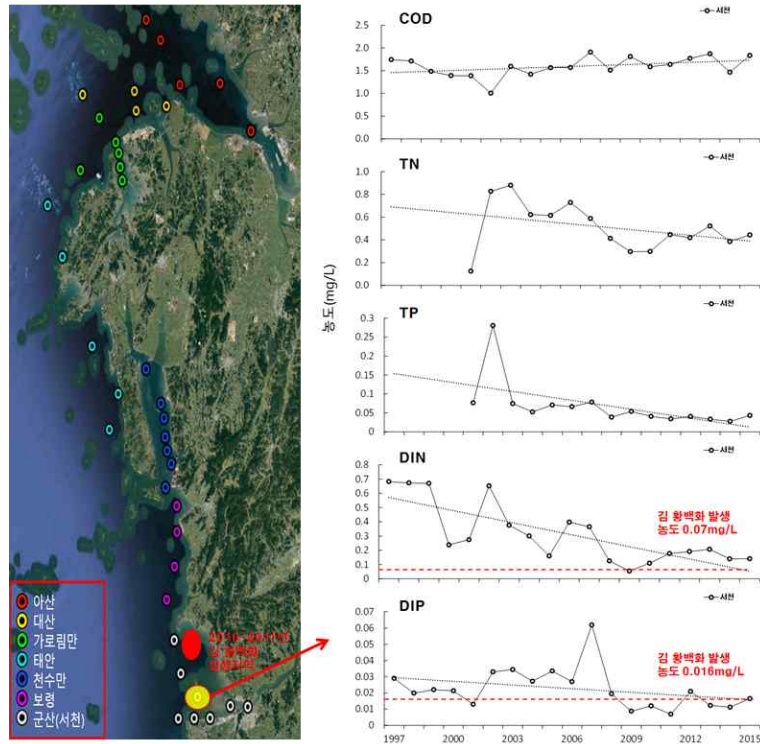


그림 3. 서천 연안(개양도 부근) 연도별 수질 변화 추이(KOEM 자료 인용)

- 한편, 2010년 12월 김 황백화가 발생된 당시 국립수산물학원에서 서천군 연안 수질을 조사한 결과를 보면 DIN 농도가 0.020mg/L로 분석되었음.
- 게다가 김 황백화가 발생할 당시 다른 지역인 전라북도 군산지역에서의 DIN (2010년 12월 0.007mg/L)농도와 전라남도 함평군(2011년 2월 0.022mg/L), 무안군(2011년 2월 0.056mg/L), 신안군(2011년 2월 0.089mg/L)에서도 DIN 농도는 낮은 수준을 보였음.

- 이처럼 김 황백화가 발생된 당시 연안 유역의 영양염류 중 DIN 성분이 서·남해안에 있어서 비교적 낮은 농도를 나타내고 있었음.
- 결국, 충청남도 연안 뿐만 아니라 서·남해 연안 수질에 있어서 영양염류 (질소, 인) 부족은 시간이 지날수록 더 악화 될 가능성을 보여줌.
- 또한 기후변화에 따른 이상기온으로 연안 환경 변화 중 수온 상승 및 염분 저하와 같은 이상 현상에 의한 김 양식장 피해도 커질 수 있으므로 이에 대한 준비도 필요함.

2.2 충청남도 김 황백화 현황 분석

2.2.1 김 양식 현황 및 주요 환경인자

- 김 황백화 발생 후, 최근 5년(2012~2016)간 김 양식 시설 및 생산을 살펴 보면, 어장수는 2012년도 29개에서 2016년 36개로 계속 증가하고 있는 반면 어장 면적은 2012년도에 비해 2016년에는 97ha가 감소하였음. 시설 채수도 2012년보다 2016년에 5,517개(지주식 1,376개, 부류식 4,141개) 시설채 수가 감소하였음(표 1).

표 1. 2012년~2016년 충청남도 내 김 양식 시설 및 생산

구	분	2012	2013	2014	2015	2016
어장건수	계	29	28	34	32	36
	지주식	11	11	10	5	9
	부류식	18	17	24	27	27
어장면적 (ha)	계	3,887	3,847	3,776	3,516	3,790
	지주식	462	462	351	183	457
	부류식	3,425	3,385	3,425	3,333	3,333
시설채수	계	65,607	65,707	63,112	58,870	60,090
	지주식	4,066	1,522	1,462	1,470	2,690
	부류식	61,541	64,185	61,650	57,400	57,400
생산 (천속)	계획	13,029	13,029	12,115	11,600	12,200
	실적	9,297	16,249	12,777	11,280	11,873
	비율(%)	71	125	105	97	97

- 양식 김 성장에 영향을 주는 주요 환경인자는 광(햇빛), 수온, 염분, 해수의

흐름, 조석 및 영양염류(N, P) 등이 있음. 특히 수중의 영양염류 중 질산염 양이 0.1mg/L, 인산염 농도가 0.03~0.9mg/L인 어장에서 양질의 김을 생산할 수 있음.

2.2.2 김 황백화 발생 원인 및 기작

- 문헌과 자료를 통해 보면 질소 성분 중 용존성 무기질소(DIN)와 용존성 무기인(DIP)의 농도가 각각 0.07mg/L 및 0.016mg/L 이하이면 김 황백화 현상이 발생한다고 보고됨.
- 또한 김의 색소에 관여하는 클로로필 a, 피코에리스틴(적색) 및 피코시아닌(청색) 색소 함유량의 많고 적음에 따라 양식 김 색 바램 현상(김 황백화)이 발생함.

2.2.3 2010~2011년 김 황백화 발생 피해 현황 및 기존 대책방법

- 김 황백화 발생(2010~2011년) 당시, 경기도에서는 김 600척에 김 황백화 현상이 발생하여 1.6억의 금전적 피해를 입었고, 충청남도에서는 김 52,470척, 약 50억원 상당의 피해를 기록하였음. 또한 전라북도에서는 김 75,474척이 황백화에 피해를 입어 금액으로는 67억원의 피해를 입힘. 그리고 전라남도에서는 김 51,700척이 김 황백화가 발생하여 160억원의 피해를 입었음(그림 4).



그림 4 서·남해안 김 황백화 피해 현황

- 현재까지는 김 황백화 대책으로 가장 많이 활용되고 있는 방법으로 시비제

(인공 비료) 투여를 둘 수 있음. 하지만 시비제 방법은 김 황백화에 대처하는데 일부 효과를 보이고 있지만 다소 미흡한 부분이 있음. 특히 시비제 투여에 따른 어민들의 경제적 어려움과 과다 사용시 부영양화에 따른 주변 환경에 악영향을 줄 수 있음.

2.3 지속가능한 연안 영양염류 공급 가능 방안 제시

2.3.1 충청남도 연안 주변 하수종말처리장 활용

- 충청남도 내 하수종말처리장 중 연안으로 직접 방류되고 있거나 짧은 하천을 통해서 방류되고 있는 하수종말처리장은 약 20개소로 조사되었음(500톤/일 이상 방류). 그 중 김 양식장을 하고 있는 서천 주변에는 3개(서천, 장항, 금강 하구둑)의 하수종말처리장이 위치해 있음(그림 5).



그림 5. 충청남도 연안에 있는 하수종말처리장 위치도와 해수 흐름도

- 또한 서천 연안(금강 유역)에서 대조기시 조석류의 특성을 보면 썰물인 경우 최대 유속은 0.8~1.0m/sec 범위로 금강 유역에서 개야도를 중심으로 외해로 빠져 나가고 있음을 알 수 있음. 즉, 서천 연안의 해수유동 현황을 보면 서천 김 양식장을 사이로 이동하고 있음.
- 하지만 하천을 통하거나 직접 연안으로 방류될 경우에 해수와 혼합에 따른 영양염류 농도가 희석될 가능성이 높으므로 김 양식장에서 필요로 하는 영

양염류(N, P) 농도로 공급이 되는지에 대해서는 차후 모니터링 조사가 필요함.

2.3.2 하수종말처리장 방류수의 계절적 대응 운전방법

- 버려지는 하수종말 처리장 방류수를 활용해 김 양식장 내 부족한 영양염류 공급 방안을 제안하고 이를 실천하기 위한 구체적 방법을 제시함(그림 6). 특히, 계절별로 방류 농도를 차별화해 영양염류를 많이 필요로 하는 겨울~봄철에 방류수 내 영양염류(특히, 질소) 농도를 높여 방류하는 방법을 제시함.

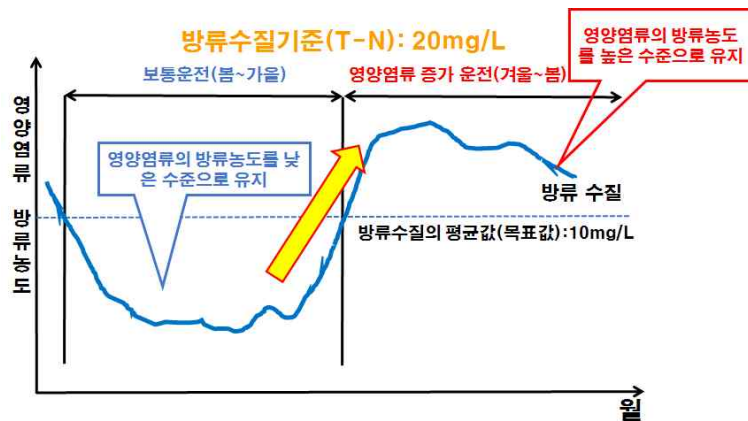


그림 6. 계절별 운전관리에 있어서 처리 방류수 농도 조절 개념도

- 대표적으로 질소 농도를 높이기 위해서는 호기조 내에서 폭기량을 줄여(산소공급량 감소) 질화세균의 활동이 저하되면 암모니아성 질소의 산화량이 감소되며, 혐기조내에서는 미생물 체류시간(SRT)을 줄여 질산성 질소의 분해량을 감소시켜 수중 질산성 질소량을 증가 시킴으로써 처리수 내 질소 성분 농도를 높이는 방법 등이 있음.
- 이러한 하수종말처리장 계절별 운행 이점은 유지 관리비 절약과 시비제 사용을 억제시킬 수 있으므로 해양환경보전과 경제적인 측면에서도 이점을

보임.

- 일본의 경우에는 법령준수 가능한 범위에서 높은 농도로 방류하고 있어 평균적인 값을 정하는 것은 어려움이 있음. 그 중에는 방류수질기준치의 60%정도, 총질소(TN)로 방류기준치의 75-90%의 범위(통상 75%이하), 총인(TP)에서 50-90%범위(통상 50%이하)의 기준을 설정하고 있음(표 2).

표 2. 방류수의 총질소(TN) 및 총인(TP)농도관리 목표설정 사례

운전 기간	목표 치	배출기준
평상시 운전	TN : 15mg/L 이하(75%이하) TP : 1mg/L 이하(50% 이하)	TN: 20mg/L TP: 2mg/L
영양염류 증가 운전 시기	TN : 15-18mg/L 이하(75-90%이하) TP : 1-1.8mg/L 이하(50-90% 이하)	

- 하지만 하수종말처리장 방류수 활용이 현재 충청남도에서 큰 이슈로 진행되고 있는 해수순환(역 간척)을 대신할 수 있을 정도의 영양염류 공급이 가능한가에 대해서는 추후 충분한 논의가 필요함. 단, 일부 옥상으로부터의 영양염류 공급 역할에 대한 기능을 수행할 수 있다고 판단됨.

2.4 대안 방안 도입시 필요한 절차 및 개선 방안 제시

- 하수종말처리장 방류수를 활용을 할 경우, 기존의 하수처리장 시설에 있어서 도입 절차와 시설·설비의 개선 등에 관해 문헌 및 기존 사례들로부터 필요한 부분을 요약·정리할 필요성이 있음(그림 7).
- 이를 통해 적용되는 하수종말처리장의 시험운전을 통한 사전 점검을 하고 이 결과를 바탕으로 본 운전으로 전환하는 시스템을 마련하는 것이 중요하다고 판단됨.



그림 7. 도입시 검토 수순 예시 개념도(예시)

제 1 장

서론

1. 연구배경 및 필요성
2. 연구범위 및 방법
3. 연구내용 및 방법

제 1 장

서론



1. 연구배경 및 필요성

- 하구 및 연안은 육상과 해양의 물질순환 통로이면서 높은 생산성을 가지고 있는 지역으로 예로부터 사회적·경제적·문화적으로 중요한 위치를 차지하고 있음.
- 하지만 인구증가 및 산업발달과 더불어 연안 유역들은 매립과 간척 등 인위적인 변형(방조제 및 댐 건설)을 통해 육상 시스템과 연안 시스템과의 순환이 제한되어 연안 유역 식물상 생태계에 큰 영향을 주고 있음.
- 특히, 우리나라에서 주요 김 양식장이 분포해 있는 서·남해안 연안환경은 방조제와 댐 건설 등으로 육상으로부터 영양물질 유입이 차단되거나 제한되는 등의 환경 변화를 겪고 있는 실정임.
- 이러한 영양염류 공급의 제한은 연안 유역을 터전삼아 김 양식업을 하고 있는 어민들에게는 매우 큰 위협이 되고 있음.
- 김은 국민들이 매우 좋아하는 해조류 중에 하나이며 역사 또한 길고 특히, 1960년부터 52년간(2012년) 37배의 생산이 증가하였으며 수출액은 동 기간에 약 56배나 증가하였음.

- 최근 김 황백화 현상은 2010년 10월부터 2011년 3월까지 서·남해 연안의 경기도(600책), 충남(52,470책), 전북(75,474책)과 전남(51,700책)의 김 양식장을 중심으로 약 15,000ha에서 발생하여 약 279억원의 큰 손실을 미쳤음.
- 이러한 피해는 이웃나라인 일본에서도 2000년 말부터 2001년 초까지 주요 양식 어장인 아리아케해(有明海)를 비롯한 여러 내만에서 발생하여 김 생산에 큰 피해를 주었음.
- 김 황백화 발생 원인은 주로 양식어장의 영양염류 중 질소(N) 부족, 특히 용존무기질소(DIN)의 부족에 기인한 것으로 보고되고 있으나, DIN을 포함한 영양염류 농도의 급격한 감소 원인에 대해서는 명확하게 밝혀진 바가 없음.
- 일부 연구 보고에 따르면 김 양식장 내 질소 및 인의 영양염류 농도 감소의 외부 요인은 하천수의 유입감소에 따른 영양염류 공급 감소이며, 내부요인은 저층의 퇴적물에서 용출량 감소와 식물플랑크톤과 해조류(규조류 등)에 의한 영양염류 경쟁에 따른 소비량 증가 등이 있음.
- 김 양식장 영양염류 부족, 특히 DIN 부족을 해결하기 위해 현재 많은 김 양식장에서는 시비제를 사용하여 부족한 질소(또는 인) 성분을 공급해 줌으로써 김 황백화 발생을 완화시키고 있음.
- 하지만 시비제 살포에 따른 이차적인 환경문제와 어민들에게 경제적 어려움을 발생시키고 있는 실정임.
- 이처럼 김 황백화 발생은 김 양식을 하는 어촌 및 어민에게 상당한 정신적·물리적 피해를 주고 있어 이를 최소화 할 수 있는 방안이 필요함.

- 따라서, 본 연구에서는 충청남도의 김 양식을 대표하고 있는 서천 현황 조사와 더불어 지속가능한 연안환경을 구축하기 위해 기초 환경시설인 하수종말처리장 방류수를 활용한 김 황백화 발생을 최소화 할 수 있는 방안을 마련하고자 함.
- 기초 환경시설을 활용한 풍요로운 연안을 만들기 위한 계절별 운전관리 개념도를 그림 1-1에 나타냄.

6 | 서해안 김 황백화 관리를 위한 하수종말처리장 방류수 활용 방안 연구



그림 1-1 유역 종합계획에 있어서 풍요로운 연안과 계절별 운전관리 개념도



2. 연구범위 및 방법

- 시간적 범위 : 기준년도 2017년 3월~4월
- 공간적 범위 : 충청남도 주요 김양식장 주변 연안 환경(보령시, 서천군)
- 내용적 범위는 다음과 같음.
 - (1) 국가 연안 모니터링 조사 결과를 통해 현재 진행되고 있는 서해안 영양염류의 연도별 감소 변화 추이를 분석·평가
 - (2) 김 황백화 원인, 발생현황, 매커니즘 등에 대한 조사 분석
 - (3) 연안 영양염류를 지속가능하게 공급할 수 있는 대안 방안 제시
 - (4) 대안 방안 도입시 필요한 절차 및 개선 방안 등 제시



3. 연구 내용 및 방법

3.1 연구 내용

- 충청남도 연안 수질 변화와 관련하여 영양염류(질소 및 인)의 감소 현상과 김 황백화 발생 완화를 위한 육상에 위치한 기초 환경시설인 하수종말처리장 방류수 활용방안에 관한 정책연구의 필요성이 부각되고 있음.
- 본 연구에서는 충청남도 김 양식의 대표지역인 서천 연안 부근의 영양염류 농도 감소 및 김 황백화 발생 원인 해결에 대한 방안을 모색하고 이를 해결할 수 있는 통합적인 관리방안을 도출하고자 함.
- 이를 위하여 현재 그대로 버려지고 있는 하수종말처리장 방류수를 활용해 서해안 영양염류 공급에 대한 통합적인 해결 방안을 모색하고자 함.

3.2 연구 방법

- 서해안 연안 조사 자료 및 데이터 분석을 통한 문제 진단
- 국내 김 황백화 발생 현황 조사·분석
- 기존 김 황백화 제어 방법 및 문제점 도출
- 안정적이고 지속가능한 영양염류 제공 방법 조사 및 제안
- 도입시 절차 및 개선 방안 등 정책 제언 도출

3.3 정책의 활용방안

- 본 연구를 통하여 풍요로운 연안 환경을 조성하고 이를 통해 어촌 및 어민들의 소득 증대와 지역발전에도 기여하고 한걸음 더 나아가 충청남도 이미지 개선 및 연안관리 역량강화를 기대함.
- 결과물을 충청남도 관련 공무원 및 시군에 공유하여 정책적 활용성을 증대시키고, 연안 영양염류 관리 체계 개선 및 김 황백화 발생 해소에 기여하기를 기대함.

제2장

충청남도 연안 환경변화 특성

1. 충청남도 연안의 주요 환경변화
2. 충청남도 연안 수질(영양염류) 변화
3. 방조제 및 하굿둑 건설의 문제점

제2장

충청남도 연안 환경변화



1. 충청남도 연안 환경의 주요 환경변화

1.1 해안선의 변화

- 해안선은 해수면이 약최고조면(일정 기간 조석을 관측하여 분석한 결과 가장 높은 해수면)에 이르렀을 때의 육지와 해수면의 경계임. 해안선은 가장 활발하게 물질순환이 이뤄지는 장소로 육상과 해양의 물리적·생태적 연결성을 결정지음(그림 2-1).

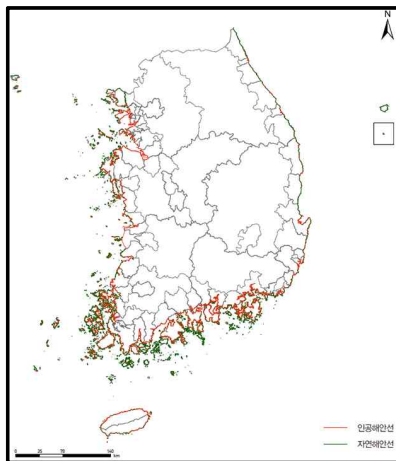


그림 2-1 우리나라 해안선(인공, 자연해안선)

- 2014년 국립해양조사원의 해안선 길이자료를 보면, 우리나라 해안선은 14,962.8km로 지구 둘레의 37%를 차지하고 있음(표 2-1).

표 2-1 우리나라 해안선 분포 특성

구 분	총 해안선(km)		육지부 해안선	
	해안선(km)	비율(%)	해안선(km)	자연해안선 비율(%)
부산연안	379.8	2.6	298.4	43.5
인천연안	1,078.8	7.5	388.4	28.9
울산연안	166.8	1.2	159.9	31.2
경기연안	260.1	1.8	217.6	29.4
강원연안	401.9	2.8	372.4	69.1
충남연안	1,242.0	8.6	808.1	49.0
전북연안	531.5	3.7	232.0	43.3
전남연안	6,743.3	46.8	2,682.3	51.0
경북연안	537.0	3.7	442.7	58.6
경남연안	2,512.8	17.4	1,718.2	45.5
제주연안	551.8	3.8	415.6	60.3

- 우리나라 해안선은 지구 둘레(4만 192km)의 37%(14,962.8km)로 이중 육지부 해안선은 7,752.5km(51.8%), 도서부 해안선은 7,210.3km(48.2%)임.
- 각 도별 해안선 길이를 보면(표 2-1) 전남 해안선이 6,743.3km(46.8%)로 가장 길고 경남 해안선이 2,512.8km(17.4%), 충남 해안선 1,242km(8.6%), 인천 해안선 1,078.8km(7.5%) 길이를 보여주고 있음.
- 육지부 해안선 중 자연해안선 비율이 높은 곳은 강원연안(69.1%), 제주연안(60.3%), 경북연안(58.6%)이고 충남은 49.0%임(표 2-1). 도시화와 산업화가 이루어진 인천연안(28.9)과 경기연안(29.4%)은 자연 해안선 비율이 낮음.
- 충남인 경우 총 해안선 길이는 우리나라에서 세 번째로 긴 1,242.0km(8.6%)의 해안선 길이를 갖고 있지만 자연 해안선 비율은 808.1km(49%)로 다섯 번째 순위를 보여주고 있음.

- 이 의미는 연안지역의 개발에 따른 자연 해안선이 많이 없어졌음을 의미하며 이는 곧 육상과 연안 시스템간의 물질순환이 어려워졌음을 생각할 수 있음.
- 우리나라 해안선은 조석, 조류, 태풍 등의 자연적 요인과 국토확장, 배후 토지보호, 해역이용 등을 위한 제방, 호안 등 인공구조물 설치 등으로 끊임없이 변화하고 있음.

1.2 매립·간척 등에 의한 연안유역 환경변화

- 우리나라는 비교적 국토면적이 작아 지난 수 십년동안 서해안 연안 유역의 지형도가 변화만큼 대규모 간척사업을 시행해 왔음. 특히, 방조제와 하굿둑 건설을 통한 간척사업은 농경지 및 농업용수 확보하는 이점이 있었지만 인구 활동 및 산업시설이 입주하여 연안생태계를 오염시켰다는 단점도 있음.
- 1980년대 후반부터 서해안 연안 유역에서는 공장, 도시, 농지를 조성하기 위해 방조제와 하굿둑을 건설한 후 갯벌을 매립하는 개발행위가 성행하였음.
- 이러한 이유로는 서·남해안의 넓은 갯벌(간척지)과 얇은 수심은 비교적 방조제 길이가 짧지만 넓은 땅을 개간할 수 있어 간척에 유리한 조건을 가졌기 때문임.
- 우리나라의 간척지 조성 현황을 보면 약 60년간(1965년부터 2020년) 총 135,000ha의 간척지를 조성할 계획으로 2012년 말까지 95,000ha(70%)의 간척지를 준공하였고 나머지 40,000ha는 현재까지도 공사 중에 있음.

표 2-2 우리나라 간척지 조성 현황

구 분	대상면적	소 계	준 공		공 사 중	
			처 분	미처분	농 업	비 농 업
계	135 (201지구)	95 (196지구)	82	13	17 (5지구)	23 (3지구)
정부시행	95 (199지구)	55 (194지구)	42	13	17 (5지구)	-
민간시행	40 (2지구)	40 (2지구)	40	-	-	-

- 조성된 간척지의 이용 현황은 대부분 농경지로 활용되고 있으므로 간척지 내의 담수호 27개소는 대부분 농업용수로 사용하고 있으며, 이중 7개소(36,727ha)에서 내수면 어업을 하고 있음.
- 충청남도 연안 하구 방조제 현황을 보면 총 279개로 전국에서 2번째 규모로 국가관리 21개소(그림 2-2), 지방관리 249개소, 미지정 9개소로 지정되어 있음.

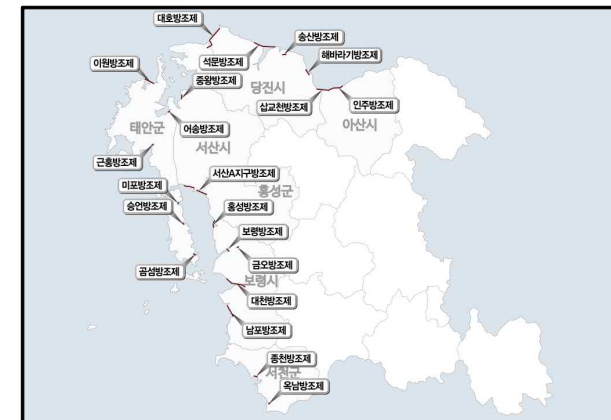


그림 2-2 충청남도 내 국가관리 방조제 위치도

- 특히 총 279개소 방조제 중 하천의 하구 및 담수호에 위치한 방조제 25개소로 조사됨.
- 하지만, 이렇게 건설된 담수호 내 수질 및 토양 오염은 날로 심각해지고 있으며 일부 담수호 내 수질은 친환경농산물 인증을 위한 농업용수 기준(IV 등급: 8mg/L이하)에 미달하는 결과를 보여주고 있음.
- 이 중 충청남도 내 주요 담수호인 대호 방조제, 석문 방조제, 보령 방조제, 간월 방조제, 부남 방조제, 삽교 방조제 위치도를 그림 2-3에 나타냄.



그림 2-3 충청남도 주요 방조제 위치도

- 이들 방조제 내 수질 오염 특성을 보면 2014년도 이후에 대부분 화학적 산소요구량(COD)이 10mg/L(VI등급)을 초과하고 있는 것을 알 수 있음.
- 이러한 결과로 농업용수로의 가장 큰 목적인 친환경농산물 인증을 위한 농업용수 기준(IV 등급: 8mg/L이하)에 미달 할 뿐만 아니라 생태적 가치도 저하되고 있음(그림 2-4)

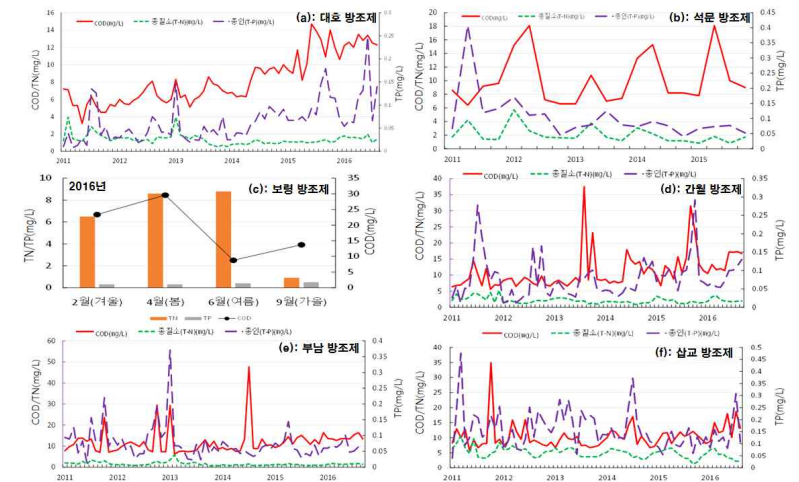


그림 2-4 충청남도 주요 방조제 내 수질 특성 현황

- 방조제 내 수질 및 퇴적물 오염에 대해 지자체별로 정화 사업을 하고 있지만 그 경제성에 비해 그 효과는 높게 평가 받지 못하고 있어 보다 근본적인 해결 방안이 요구되고 있는 실정임.



2. 충청남도 연안 수질(영양염류) 변화

2.1 육상 시스템과 연안 시스템 단절에 의한 물질순환 제한

- 우리나라 서해안 연안 유역에 있어서 주요 하구들은 대부분 하천과 연결되어 있음. 또한, 일부 내륙지역을 제외하고 대부분의 생활권이 연안지역에 집중되어 있으며 인구 절반 이상이 연안도시에 거주하고 있음.
- 육상으로부터 공급된 다양한 물질(미량금속, 토양입자, 영양물질, 유기물 등)은 하천을 통해 하구 또는 연안 유역으로 흘러 들어가고 있으며 이러한 물질들은 연안 유역에 서식하고 있는 다양한 생태계를 받쳐주는 중요한 공급원이 되고 있음.
- 반대로, 연안 유역에서 육상으로의 물질 수송도 하구 또는 하천을 통해서 이루어지고 있음. 예를 들어, 연어와 새들에 의한 연안에서 육상으로 물질 이동이 이루어지고 있음.
- 이처럼, 육상 시스템과 연안 시스템은 서로 간에 상호 연결되어 물질순환이 활발하게 이동하는 장소로 그 속도는 빠르고 스케일 또한 큼.
- 하지만 인구증가와 산업발달로 인해 연안 유역에 있어서 농경지 및 산업단지로서의 중요성이 부각되면서 많은 연안 유역에서의 매립 및 간척 사업은 수십년간 진행되었음.
- 그 결과 연안 유역으로 이어졌던 하천 또는 물길을 막아 제방을 만들어 농경 및 공업용수로 활용하였고 또한 연안 갯벌을 매립해 농경지 및 산업단지로 조성하는 등 연안 개발이라는 명목 하에 육상계와 해양(연안)계의 물질순환은 자연히 차단 및 단절을 자행하였음.

- 아래 표 2-3은 육상과 해양(연안) 유역의 상호관계를 나타내고 있음.

표 2-3 육상과 해양(연안)의 상호 관계

항목	육상	해양과 육상의 관계	해양
연안지질·지형변화	육상	→ 간석지, 모래사장 등의 형성 → ← 침식, 퇴적작용 ←	해양
수계	육상	→ 저수, 담수공급, 기수역형성 → ← 증발, 우수 ←	해양
생물·생태계	육상	→ 영양염, 미량금속성분 → → 생물, 생태계에 이익이 되는 인간의 활동 → ← 생태계에 의한 수질 정화 ←	해양
경관	육상	→ 육상의 경관 → ← 바다의 경관 ←	해양
산업·경제	육상	→ 산림 생산물 → ← 해양 생산물, 비료(연안어업), 원재료로서의 생물자원 ← ← 경제발전을 위한 산업용지 제공·환경소비(처리처분) ←	해양
레크리에이션	육상	→ 낚시, 해초류 채취 등에 의한 영양염의 추출 → ← 정신적, 신체적 편안함, 문화·교육·연구 기회 ←	해양
교통·수송	육상	→ 육상교통·수송 → ← 해상교통 ←	해양

- 위 표 2-3에 나타난 다양한 기능들은 육상과 연안 순환이 단절되면서 많은 기능이 노화 및 쇠퇴하고 심지어는 단절되는 문제점을 야기 시키고 있음.
- 특히, 하구 및 연안지역에 방조제 및 하굿둑 건설로 인해 생태계 순환 고리 차단, 유속 저하에 의한 오염퇴적물 축적, 영양염류 수송 차단에 의해 연안 지역에서는 빈영양화가 진행되고 있지만 방조제 및 하굿둑 내에서는 부영양화에 의한 수질악화 등 환경오염이 심각해지고 있음.
- 이러한 환경오염 혹은 환경변화는 연안 및 하구 생태계가 훼손되고 수산자

원 감소를 유발하고 있고, 악화된 방조제 및 하굿둑 내 오염된 수질 및 퇴적물에 있어서 정화 및 관리 비용은 지속적으로 증가하고 있음.

- 충청남도 지역은 전국간척사업의 88%가 집중되어 있으며, 방조제 수는 총 279개소(국가 21, 지방 249, 미지정 9)로 전국에서 전남지역에 이어 2번째로 많음.
- 결과적으로 충청남도 연안역이 방조제 및 하굿둑으로 막힌 비율이 전국적으로 봐서도 매우 높으며, 담수호의 수질악화뿐 아니라 어족자원이 점차 감소하고 있음.

2.2 충청남도 연안 수질(영양염류)의 변화 추이

- 충청남도 연안 유역의 많은 곳이 방조제 등에 의해 닫힌 하구로 육상과 연안 사이에 물질순환이 제한됨에 따라 연안 해역 수질에도 영향을 주고 있을 가능성이 큼.
- 해양환경관리공단(KOEM)에서 측정한 서해안 연안모니터링 결과 중 충청남도 연안 유역인 아산, 대산, 가로림만, 태안, 천수만, 보령, 군산 연안의 수질 조사 정점을 나타냄(그림 2-5).
- KOEM에서는 매년 수질 조사를 앞에서 제시된(그림 2-5) 각 정점에서 분기별(2, 5, 8, 11월)에 조사를 하고 그 결과 값들을 공표하고 있음. 본 연구에서는 KOEM에서 공표한 값을 이용하여 각 연도별 충청남도 연안 정점에서 각 정점마다 분기별 값들을 전부 합한 후 평균을 구하여 나타냄(그림 2-6).

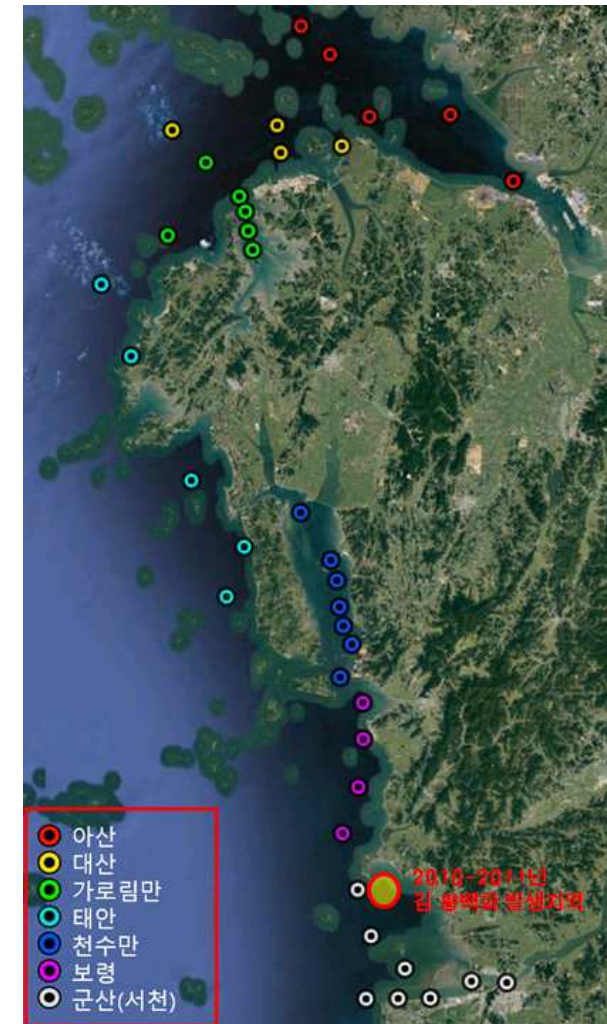


그림 2-5 충청남도 연안 수질 조사 정점(KOEM)

- 먼저, 유기물 지표인 COD는 전체적으로 증가 경향을 보여주고 있는 반면 영양염류인 TN, TP는 감소 경향을 보여주고 있음(그림 2-6).
- 이처럼 유기물(COD)과 영양염류(TN, TP)간의 서로 다른 변화 경향은 육상으로부터 배출되고 있는 배출물질 성상 특성 차이에 기인한다고 판단됨.
- 즉, 연안 유역 주변 인구 및 산업시설의 개발 및 밀집도가 높기 때문에 여기서 배출되는 물질들은 영양염류성 물질(TN, TP) 보다 유기물성 물질(COD)이 다소 많이 포함되어 있는 것으로 판단되며 이러한 배출 특성이 현재 충청남도 연안 수질에 반영되고 있는 것으로 판단됨.
- 게다가, 방조제와 댐 내에서 영양염류(질소, 인)는 식물 플랑크톤에게 흡수되기 때문에 영양염류 농도는 낮아지는 반면 식물 플랑크톤 증식에 따른 유기물(COD) 농도는 증가함. 이러한 오염수를 연안 유역에 방류할 경우 연안 유역의 수질은 영양염류 농도는 낮고 유기물 농도는 높은 수질 특성을 보일 수 있음.
- 한편 영양염류인 TN, TP의 감소는 앞서 얘기한 것처럼 육상으로부터 배출되어온 다양한 영양염류 물질들이 육상과 연안 사이에 차단(방조제 및 댐 내에서 변화)이 되어 점차 연안으로 배출량이 감소한 이유로 판단됨.
- 또한 KOEM에서 공표한 값들 중 충청남도 내 김 양식장을 가장 많이 양식하고 있는 서천(군산 연안 정점)과 보령 연안 수질의 연간 변화를 그림 2-7에 나타냄.
- 충청남도 서천(군산 연안 정점)과 보령 연안 수질의 변화 경향을 보면 충청남도 연안 수질과 비슷한 변화 경향을 보이고 있음. 즉, COD는 증가하고 있지만 영양염류 물질(TN, TP)들은 감소 경향을 보이고 있음.

- 특히, 군산 연안 해역에서는 유기물(COD)의 증가 경향은 보령보다 빠르게 급증하고 있지만 영양염류 물질은 보령이 군산보다 감소 경향이 느린 것을 알 수 있음.

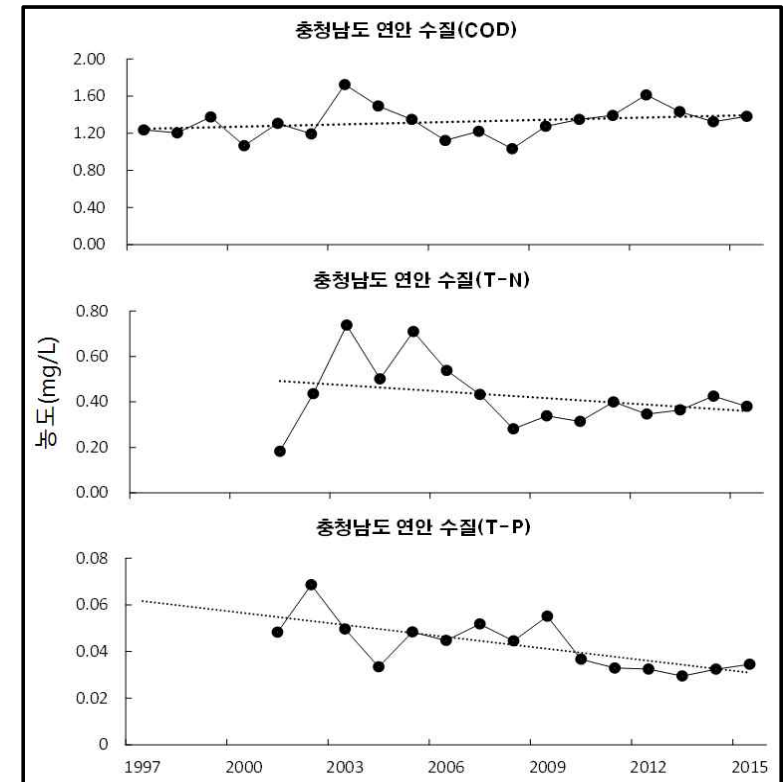


그림 2-6 충청남도 연안 수질 항목 중 유기물(COD)과 영양염류(TN, TP)의 변화 추이

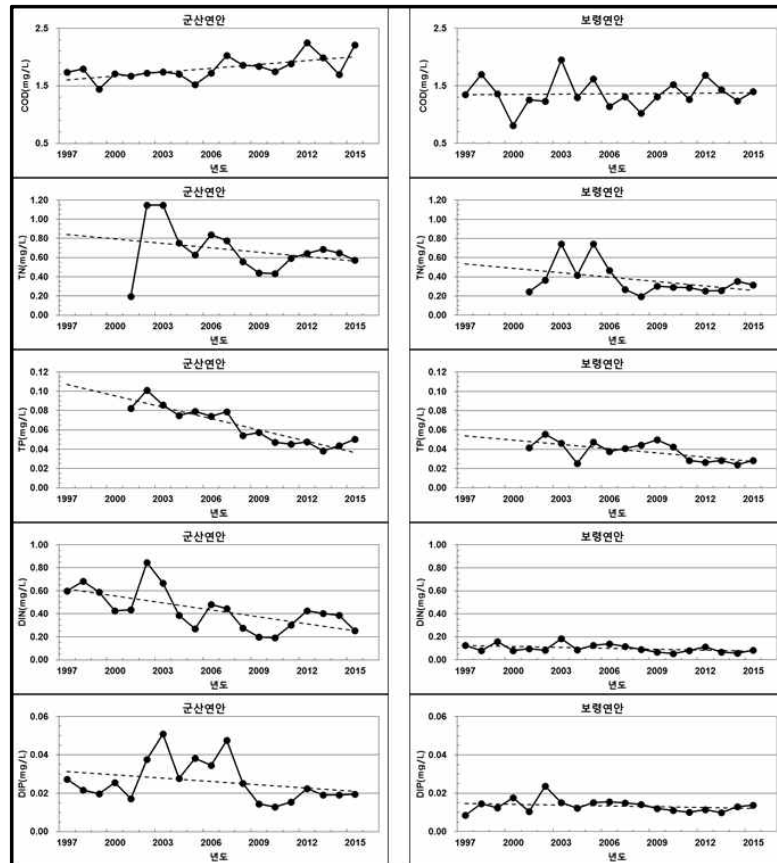


그림2-7 군산(서천) 및 보령 연안의 수질 변화 추이

○ 마지막으로 KOEM 자료를 이용하여 2010-2011년 충청남도 서천 연안 부근에서 발생한 김 황백화 지점(그림 2-5 참조) 근처의 수질 변화 경향을 그림 2-8에 나타냄.

○ 김 황백화에 영향을 줄 수 있는 기준 농도보다 DIN(2010년 0.110mg/L,

2011년 0.177mg/L)은 높았지만, DIP(2010년 0.012mg/L, 2011년 0.007mg/L) 농도는 기준농도보다 낮은 경향을 보임.

○ 한편, 2010년 12월 김 황백화가 발생된 당시 국립수산과학원에서 서천군 연안 수질을 조사한 결과를 보면 DIN 농도가 0.020mg/L로 분석되었음.

○ 게다가 김 황백화 발생할 당시 다른 지역인 전라북도 군산지역에서의 DIN (2010년 12월 0.007mg/L)농도와 전라남도 함평군(2011년 2월 0.022mg/L), 무안군(2011년 2월 0.056mg/L), 신안군(2011년 2월 0.089mg/L)에서도 DIN 농도는 낮은 수준을 보였음.

○ 이처럼 김 황백화가 발생된 당시 연안 유역의 영양염류 중 DIN 성분이 서·남해안에 있어서 비교적 낮은 농도를 나타내고 있었음을 알 수 있음.

○ 결국, 충청남도 연안 뿐만 아니라 서·남해 연안 수질에 있어서 영양염류(질소, 인) 부족은 시간이 지날수록 더 악화 될 가능성을 보여주고 있음.

○ 또한 기후변화에 의한 연안 환경의 변화 중 수온 상승 및 염분 저하와 같은 이상 현상에 의한 피해도 커질 수 있으므로 이에 대한 준비도 서서히 필요한 시기임.

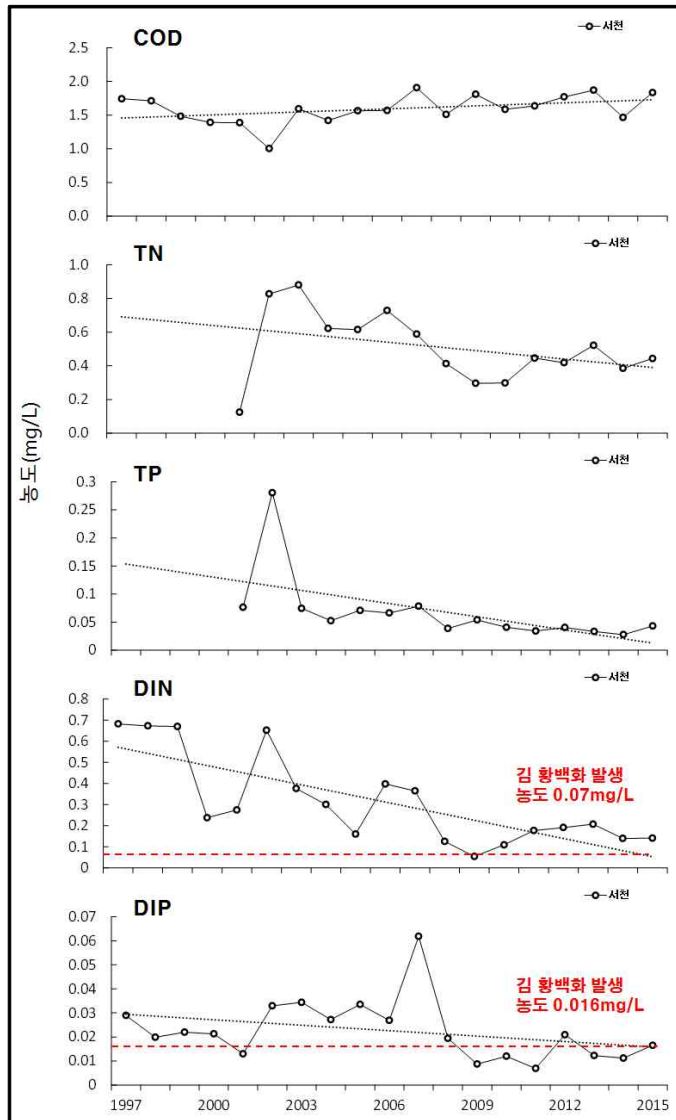


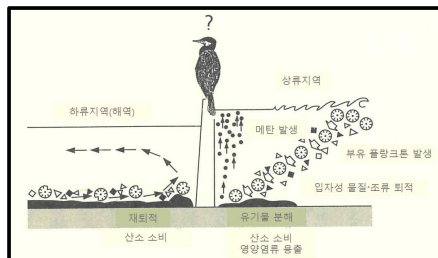
그림2-8 서천 연안 연도별 수질 변화 추이



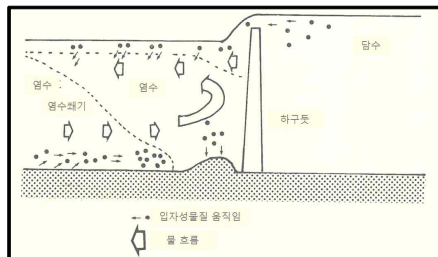
3. 연안 유역에 있어서 방조제 및 하굿둑 건설의 문제점

- 연안 및 하구 유역에 인구 증가와 산업 발전에 따른 농지 및 산업지 조성을 위하여 방조제와 둑을 건설하게 되면서 연안 유역의 환경변화를 초래하여 결국 육상시스템과 해양(연안) 시스템 단절로 이어짐.
- 이러한 단절로 인해 육·해상 생태계 순환 차단, 유속 저하, 빈산소 구역 증가(산소 용해율 저하), 오염물질 퇴적 및 축적, 육상으로부터 조립질 퇴적물 차단으로 연안침식이 발생, 방조제와 하굿둑 하류측 유기퇴적물 퇴적으로 연안 수질 악화 및 오염을 유발함.
- 또한 조성된 농경지 및 산업단지 내에서 점 또는 비점원으로부터 유출되고 있는 각종 오염물질 등은 주변 연안 생태계를 파괴하고, 점진적으로는 용수 확보를 위해 조성된 담수호 환경을 악화시킴.
- 특히, 방조제 및 둑 건설에 의한 담수호는 물 순환이 차단되어 유기물 오염과 용존산소의 고갈이 방조제를 중심으로 상·하류에서 동시에 발생함(그림 2-9).
- 방조제 또는 둑 상류에서는 육상으로부터 공급된 유기물이 퇴적되면서 이들 유기물 분해 과정에서 빈산소 현상(무산소화) 현상이 발생함. 또한 방조제 등에 의해 막혀 유속 감소와 더불어 체류시간이 길어지면서 수체 내에서는 플랑크톤이 대량 발생한 후 사멸된 플랑크톤이 수중바닥에 퇴적되어 분해될 때, 용존산소를 급격히 소비하게 됨(그림 5-9a).
- 게다가 저층 환경에서는 환원환경이 조성이 되고 질소, 인과 같은 영양물질 뿐만 아니라 메탄, 황화수소와 같은 주변 생태계에 악영향을 미칠 수 있는 물질들도 배출이 되는 악순환이 커짐.

- 반면, 하류측에서는 해양의 영향을 받고 있어 상류보다 비교적 물질 순환이 원활하게 이루어지기 때문에 상류보다 좋은 환경을 유지 할 수는 있으나 방조제 및 독 부근의 하류측에서는 지속적인 세립질 퇴적물의 퇴적에 따른 수질오염이 진행 될 수 있음(그림 5-9b).
- 왜냐하면 조석의 작용으로 퇴적된 조립질 유기물 입자는 염수쇄기에 의해 하굿둑 가까운 곳으로 운반 · 퇴적됨.
- 이처럼 방조제 및 독에 있어서 상 · 하류측에서 환경변화 양상이 다르게 나타나고는 있지만 장기적으로는 연안환경을 피폐화시키는 원인이 될 수 있음.



< a: 일본 나가라 하천(長良川) 하굿둑 주변 환경변화 >



< b: 하굿둑 하류에 퇴적물 퇴적 시작 >

그림 2-9 하굿둑 상 · 하류 주변 환경 변화 특성

제 3 장

충청남도 김 황백화 현황 분석

1. 김 생육을 위한 환경인자
2. 김 황백화 발생 원인 및 기작
3. 김 황백화 발생 피해 현황
4. 김 황백화 대책 방법

제3장

충청남도 김 황백화 현황 분석



1. 김 생육을 위한 환경인자

1.1 김 생활사

- 김은 홍조류의 일종으로 홍조식물, 홍조강, 김 목, 김 속(pyropia)에 속하는 식용 해조류임. 김은 주로 한국, 일본 및 중국에서 양식 및 생산되고 있으며, 대부분 식품으로 사용되고 있음.
- 우리나라 전 연안에 총 12종의 김이 분포하고 있는 것으로 보고되고 있으며, 그 중 참 김(pyropia tenera)과 방사무늬 돌김(pyropia yezoensis)이 주로 양식에 사용되고 있음.
- 김은 유성세대와 포자에 의해서 무성적으로 증가하는 무성세대를 반복하면서 증식을 함(그림 3-1).
- 보통 우리가 먹고 있는 김은 「엽상체」라고 하는 유성세대임.
- 김의 생활사는 늦가을에 어린 엽상체가 발생하고 초여름 사이에 엽체에서 유주자를 방출하고 유주자가 유성세대(배우체) 형성을 함

- 가을에는 유성세대(배우체)에서 알과 정자 발생, 수정하여 생긴 수정란이 발아하여 아포체를 형성함. 아포체는 다시 가을에 유엽(어린 엽상체)으로 발달하는 반복 과정을 거쳐 성장함. 즉, 순서는 유주자 → 유성세대 → 알 → 정자 → 수정란 → 아포체의 순서를 거침.

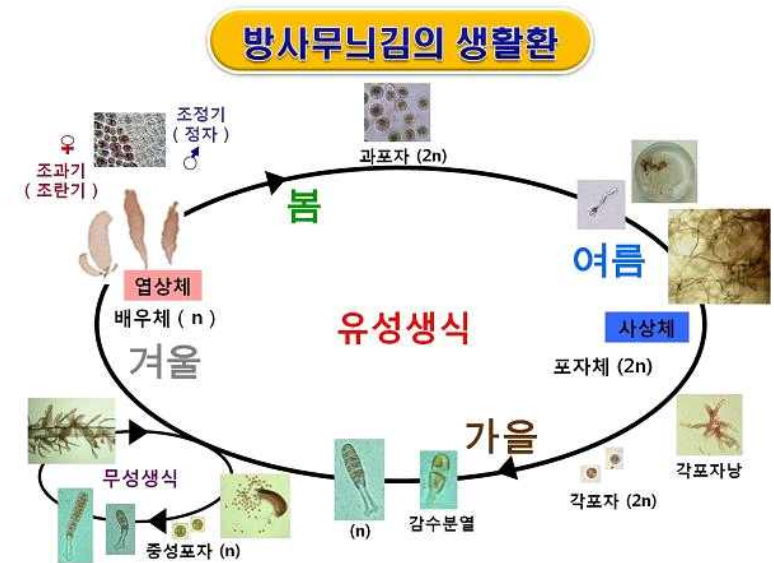


그림 3-1 김(방사무늬 김)의 생활환

1.2 환경인자들

- 김이 건강하게 성장하기 위해서는 광(햇빛), 수온, 염분, 해수의 흐름, 조석 및 영양염류(N,P)인 환경인자가 매우 크게 관여하고 있음.

1.2.1 광(햇빛)

- 광(햇빛)은 광합성에 절대로 필요한 요소일 뿐만 아니라 김의 수직분포, 즉 서식대를 결정짓는 요인이기도 함.
- 김은 건조에 이겨내는 힘이 강해 김 서식대는 비교적 조간대에서도 상부에 위치하고 있어 다른 해조류들과의 경합에 강함.
- 김은 최적조도가 4000~7000lux로 단파장역의 햇빛이 생육에 좋다고 알려지고 있으며, 사상체는 이보다도 어두운 800lux정도가 적당하다고 보고 됨.
- 또한, 광(햇빛)은 포자의 방출에도 영향을 미치는 중요한 요인임.

1.2.2 수온

- 김은 수중에서 생활하므로 그 생활은 주로 수온의 영향을 받고 있음.
- 가을이 되어 김의 발아기 때의 적합한 수온은 22℃전후에서 15℃정도까지가 적당하며, 15℃이하가 되면 생장기에 들어가고 온도가 더 내려가면 성장이 최고치인 최적기가 됨.
- 김의 수확정도로 보아 8~15℃가 생장적온이라고 할 수 있음.
- 김의 생육초기에는 수온이 15℃이하로 내려가 안정화가 안되면 갯병이 발생 할 수 도 있어 “15℃ 한계”를 중요시하고 있음. 이러한 생육 조건에 의해 현재 기후변화에 대한 수온 상승은 김 양식에 큰 영향을 미칠 것으로 판단됨.
- 이와 같은 현상은 11월부터 12월 중순시기 따뜻한 기후 계속될 때 일어나기 쉬움.

1.2.3 염분

- 자연에서의 김 분포를 보면 하구 부근부터 고염분의 외해쪽까지 폭넓은 염분 분포를 보이고 있음. 또한 간조시 노출까지 고려한다면 김의 염분 분포 범위는 상당히 광범위한 부분을 차지하고 있는 것을 알 수 있음.
- 김의 생장에 적절한 염분은 25~32psu(2.5-3.2%)임. 염분이 낮을수록 김의 생장률이 낮아지므로 유의할 필요성이 있음.
- 예전 하구 부근 저염분 구역에서 김 양식이 발달했던 것은 저 염분의 원인 보다 하구 부근으로부터 유출되는 공급수(하천수) 내에 육상으로부터 충분한 영양물질 및 비교적 차가운 수온 공급, 양식 간석지의 형성 등이 이루어졌기 때문이라고 판단됨.

1.2.4 해수의 흐름 및 조석

- 해류가 적은 영양염류의 흡수가 부족해 노폐물의 제거가 불충분하게 되면 성장 저해가 일어남. 또한 세균과 부유생물이 부착해서 악영향을 줌.
- 한편, 해류가 큰 경우는 김이 탈락해 버리는 가능성이 높아짐. 김의 생육에 적합한 해류는 약 10~20cm/sec정도로 보고되고 있음.
- 원래 김은 조간대 상부에 자생하고 조석 간만에 의해서 주기적으로 자연에 노출시켜 줌. 양식장에서도 건강하게 성장을 돕기 위해 노출시킴.
- 또한, 노출을 받은 김은 부드럽고 맛이 좋다고 알려짐.

1.2.5 영양염류(N, P)

- 영양염류란, 식물이 성장하기 위해 필요한 원소로서 비료의 역할을 하고 있음. 김은 단백질을 상당히 많이 포함하고 있지만 이 단백질의 근본은 수중

의 질소(N), 인(P)인 영양염류임.

- 일반적으로 양식 김의 영양염류는 질산염, 아질산염, 암모니아, 인산염 등이며, 양질의 양식 김은 질산염 0.1mg/L, 인산염 0.03~0.95mg/L에서 성장이 좋다고 알려짐.
- 일반적으로 영양염류는 하천으로부터 공급되기 때문에 하구역에 많고 이 지역의 장소가 김 양식장으로서 가장 적합한 이유 중의 하나임.



2. 김 양식 현황

2.1 충청남도 내 양식 김의 품종별 특징과 양식방법

- 현재 김은 13종(2아속 포함)으로, 참 김, 잇바디 돌김, 패 돌김, 카타다 돌김, 비단잎 돌김, 갈래잎 돌김, 오카무라 돌김, 긴잎 돌김, 모무늬 돌김, 둥근 돌김, 넓은 둥근 돌김, 방사무늬김 임.
- 이중 양식품종은 4종으로, 참 김, 방사무늬 김, 모무늬 돌김, 잇바디 돌김이며 충남도에서 양식하고 있는 김은 참 김, 방사무늬 김, 슈퍼 김(방사무늬 김)임(표 3-1, 그림 3-2).
- 양식 김의 품종별 특징을 아래 표 3-1에 나타냄.

표 3-1 충청남도 김 양식 품종별 특징

품 종	엽체 모양	엽체색	특 징
참 김	타 원 형 도 란 형	흑자색	품질이 뛰어나고, 다수확 품종 내병성이 약함 최근 거의 -양식하지 않음
방사 무늬김	선 형 난 형 도피침형	흑자색	다수확이면서 내병성에 강하지만 품질이 낮음 (엽체가 얇고 부드러워 향기가 좋고 안정적인 생산 가능)
모무늬 돌김	원 형 갈래기형	갈자색	내병성에 강함, 수확량이 적은 품종 (주로 남해안 서식 중)
잇바디 돌 김	피 침 형 선 형	갈자색	다수확, 내병성, 품질은 좋지만 어기가 짧은 품종 (방사무늬김에 비해 생산성이 낮음)

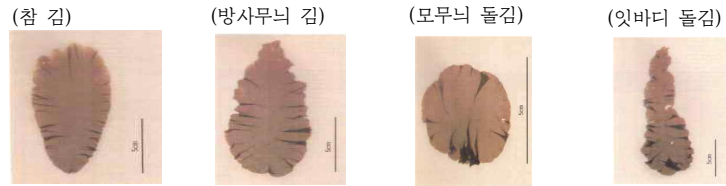


그림 3-2 충청남도 김 양식 품종들

- 김 양식 방법은 크게 지주식 양식과 부류식 양식으로 나눌 수 있음. 그리고 부류식 양식은 또 무 노출식과 노출식으로 구분할 수 있음(그림 3-3).

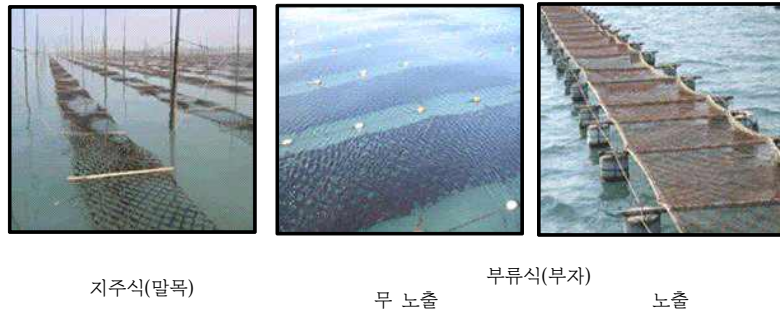


그림 3-3 양식 방법인 지주식 양식과 부류식 양식

- 앞서 서술한 두가지 김 양식 방법에 있어서 특징들을 아래 표 3-2에 나타냄.
- 현재 충청남도 내 김 양식 방법은 지주식 양식과 부류식 양식(무노출 양식)을 사용하고 있음. 그 중 지주식 양식보다 부류식 양식(무노출 양식)을 더 선호하고 있음.
- 지주식은 많은 인력과 경비가 동반되지만 생산성은 낮은 반면 부류식(무노출 양식) 양식은 대량 양식에 적합하고 양식 기간이 길어 전국적으로 이 부

류식 양식 방법을 사용하고 있음.

- 하지만 부류식은 수심이 깊은 곳에 적합하기 때문에 수심이 낮은 지역에서 지주식 양식이 적합함.

표3-2 김 양식 방법에 따른 특징들

구분	지주식 양식	부류식 양식(노출, 무노출)
수심	얕은 곳	깊은 곳
기간	12월~이듬해 3월(4개월)	9월~이듬해 3월(7개월)
생산량	소량 생산	대량 생산
특징	지주(말목)를 만들어 양식	부류(부자)물질을 띄워 양식 · 노출식: 정기적으로 햇볕 노출 · 무노출식: 양식기간 동안 물속성장
색택	노란빛	까만색
장점	영양상태가 좋고 맛과 향이 좋음	대량양식이 가능해 수익성이 높음
단점	자재비, 인건비가 많이 들고 생산량이 적어 수익성이 떨어짐	일부 어민들이 무기산을 사용하여 품질이 떨어지고 해양환경 저해
양식 지역	전남 신안	충남, 부산, 경기 : 무노출 전남: 노출 선호, 일부 무노출

2.2 김 양식 시설 및 생산현황

- 최근 5년(2012~2016)간 김 양식 시설 및 생산을 살펴보면, 어장수는 2012년도 29개에서 2016년 36개로 계속 증가하고 있는 반면 어장 면적은 2012년도 3,887ha에서 2016년 3,790ha로 97ha가 감소하였음(표 3-3).
- 시설책 수로는 2012년 65,607개(지주식 4,066개, 부류식 61,541개)에서

2016년 60,090개(지주식 2,690개, 부류식 57,400개)로 총 5,517개(지주식 1,376개, 부류식 4,141개) 시설채 수가 감소하였음.

- 또한 생산은 2010년-2011년에 김황백화 발생에 따른 김 생산량이 감소 후 2013년도에 가장 많은 생산을 기록하였고 그 후 감소를 보임.
- 서해안 특히 보령과 서천 연안에서 영양염류의 감소 경향에도 불구하고 2010-2011년 후에 김 생산량이 증가한 이유로는 김 황백화 발생 후 어촌계 어민들이 시비제(인공비료)를 활용한 영양염을 공급하고 있기 때문으로 판단됨.
- 이처럼 충청남도 연안에 있어서 영양염류 감소 현상에도 불구하고 김 생산량은 비교적 타격은 없음. 그 이유로는 시비제 사용으로 인한 것으로 판단됨.
- 하지만 전라도 지역에서는 2014년도와 2016년도에도 김 황백화가 발생했다는 보고가 있기 때문에 장기적으로는 시비제만으로는 완벽하게 김 황백화 발생을 억제하기에는 어려운 상황임.

표 3-3 2012년~2016년 충청남도 내 김 양식 시설 및 생산

구 분		2012	2013	2014	2015	2016
어장건수	계	29	28	34	32	36
	지주식	11	11	10	5	9
	부류식	18	17	24	27	27
어장면적(ha)	계	3,887	3,847	3,776	3,516	3,790
	지주식	462	462	351	183	457
	부류식	3,425	3,385	3,425	3,333	3,333
시설채수	계	65,607	65,707	63,112	58,870	60,090
	지주식	4,066	1,522	1,462	1,470	2,690
	부류식	61,541	64,185	61,650	57,400	57,400
생산(천속)	계획	13,029	13,029	12,115	11,600	12,200
	실적	9,297	16,249	12,777	11,280	11,873
	비율(%)	71	125	105	97	97



3. 김 황백화 발생 원인 및 기작

3.1 발생 원인

- 김은 식물이기 때문에 성장 할 때는 영양염이 필요함. 하지만 연안지역에 대한 개발 압력이 높았던 산업성장 시기에는 연안지역의 매립을 비롯한 댐 및 방조제 건설 등으로 육상으로부터 연안으로 공급되었던 영양염류 유입이 차단되거나 제한되어 환경이 급격하게 변하는 원인이 되고 있음.
- 일본 해양학회에서는 연안에서 발생하는 김 황백화는 연안 환경변화에 따른 영양염 공급 부족에 의한 생육불량으로 보고되었으며, 특히 김 양식장 내 용존 무기질소(DIN)와 용존 무기인(DIP) 부족을 지적하고 있음.
- 일본에서 김 황백화는 DIN의 농도가 0.07mg/L이하와 DIP농도 0.016mg/L 이하로 지속되는 김양식장에서 발생하는 것으로 보고하였음.
- 일본의 경우에도 국내 환경과 비슷한 원인으로 동계 규조류의 대량발생, 육상으로부터 내만으로의 장기적인 영양염 유입원 감소로 판단되었다고 보고함.

3.2 발생 기작

- 김도 식물이기 때문에 녹색의 색소인 엽록체(클로로필 a: Chl. a)을 가지고 있음. 또한, 적조와 남조류 특유의 피코빌린 색소인 적색을 띤 피코에리스틴(phycoerythrin: PE), 청색을 띤 피코시아닌(phyococyanin: PC)과 아로피코시아닌을 가지고 있음.
- 이들의 색소가 많으면 검은 김이 되고, 색소가 적으면 색 바랜 김이 됨. 서해안 등에서 김의 색 바램이 일어난 원인은 해수중의 질소부족 때문이라고

보고되고 있음.

- 광합성 색소인 클로로필a, 피코 에리스린과 피코 시아닌은 이산화탄소와 물로부터 광합성에 의해서 홍조 전분으로, 홍조 전분으로부터 질소동화에 의해서 각종 아미노산으로부터 색소합성에 의해서 만들어 짐(그림 3-4).
- 이 일련의 과정의 질소동화에 의해서 질소가 부족하면 광합성색소가 합성하지 않음(질소가 부족해도 광합성은 그대로 이루어져, 적조 전분은 합성되지만 질소동화는 이루어지지 않아 색소합성이 이루어지지 않음).
- 남조류에서는 질소가 부족하면 피코비리즘(집유성 안테나 색소)을 분해해서 질소원으로 재이용하기 때문에 피코 비리즘의 피코 에리스린과 피코 시아닌이 감소해서 색 바램이 됨.
- 양식 김에서 총질소 함유 중 PE색소가 점하는 비율은 남조류만큼 높지 않기 때문에 질소 부족시에 피코빌린(phycobilln) 색소는 색소원으로 그다지 이용되지 않는다고 생각됨. 양식 김은 질소 부족시, 일정 기간, 세포분열을 하지 않으면서 성장하지 않아 세포 또는 색소함유량이 떨어져 색 바램이 된다고 판단됨.

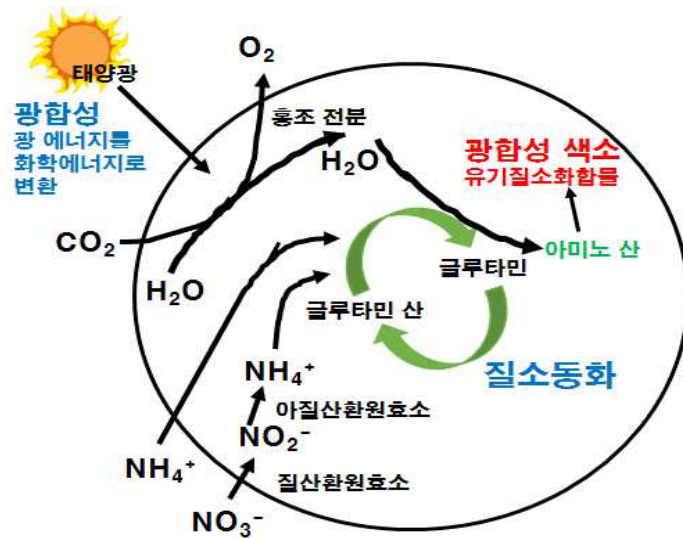


그림 3-4 광합성 색소 합성 프로세스



4. 김 황백화 발생 피해 현황

4.1 서·남해안의 김 황백화 발생 및 피해 현황

- 2010년 11월에서 2011년 3월에 서·남해안에서 발생한 김 황백화 발생 현황(표 3-4)을 보면 경기도 (화성시, 안산시)부터 전라남도 해남군(진도)까지 서·남해안에 있어서 폭넓게 김 황백화 발생한 것을 알 수 있음(그림 3-5).
- 먼저 경기도에서는 김 600척에 김 황백화 현상이 발생하여 1.6억의 금전적 피해를 입었고, 충청남도에서는 김 52,470척, 약 50억원 상당의 피해를 기록하였음. 또한 전라북도에서는 김 75,474척이 황백화에 피해를 입어 금액으로는 67억원의 피해를 입음. 그리고 전라남도에서는 김 51,700척이 김 황백화가 발생하여 160억원의 피해를 입음.
- 2010~2011년 김 황백화 발생 이후에도 전라도 지역에서는 간헐적·지역적으로 김 황백화 현상이 발생되고 있음.
- 이러한 경향은 기후변화에 따른 이상 기온과 더불어 주변 해역에서의 영양염류 부족에 의한 영향으로 보고되고 있음.

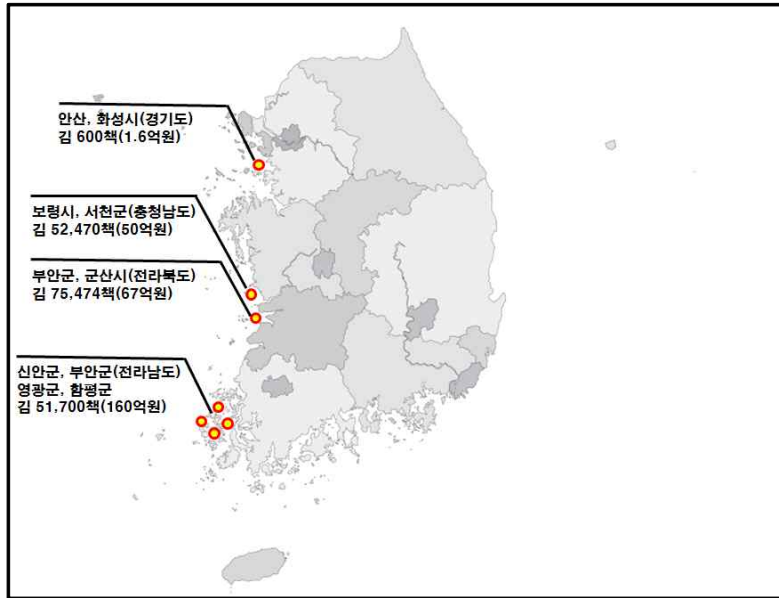


그림 3-5 서·남해안 김 황백화 피해 현황(2010-2011년)



5. 김 황백화 대책방법

5.1 시비제 처리에 의한 방법

- 김에 비료를 주는 목적은 생육시기 발육촉진 및 수확량 증대, 품질향상, 병해충 예방으로 특히 해수 내 영양염류가 부족하거나 조류소통이 약한 어장에서는 효과가 큼.
- 시비 방법은 간조시 김 업체가 해수를 함유하고 있거나 발의 최하부가 수면에 부동 중에 있을 때 분무기로 살포하는 살포법이 있으며 살포시기는 김이 노출한 직후에 하는 것이 효과적임.
- 또 다른 방법은 김발이 수면에 부동하고 있을 때 살포하는 수면 부동 중 엽면 살포법과 비닐포대 혹은 대통에다 구멍을 뚫어 시비제를 넣고 발이나 지주에 매다는 대통수하법이 있음.
- 시비제에는 무기영양염을 공급하는 화학비료와 어분 등을 재료로 한 유기비료가 사용되고 있지만 무기영양염의 용출속도로부터 목표농도를 유지하기 위해서 투입량을 설정할 필요가 있음.
- 시비 후에는 정기적으로 영양염 농도를 계측해, 목표 농도를 유지하기 어려울 경우에는 추가적으로 비료를 시비함. 이러한 부분은 경제적인 면에서 큰 부담을 줄 수도 있다고 판단됨(표 3-4).

표 3-4 2012-2013년 전북 김 양식장 월간 질소 요구량

	생산량 (톤)	단위면적당 생산량 (kg/ha)	질소 요구량 (mol.ha/day)	질소 소진일 (day)
12년 11월	3,048	1082.1	8.1	6.2
12월	6,720	2385.6	17.9	2.8
13년 1월	5,624	1996.6	15.0	3.4
2월	5,358	1902.0	14.3	3.5
3월	4,601	163.3	12.2	4.1
4월	1,291	458.4	3.4	4.0
평균	4,440	981.3	11.8	4.0

※전북의 양식 면적은 2,817 ha, 방사무늬 김의 시간당 질소 요구량은 $2.5 \pm 1.8 \mu\text{mol/g/hour}$

- 하지만 이러한 시비제의 효율성에 대해서는 명확하게 밝혀진 것은 아니고 오히려 부정적인 연구 결과도 있음.
- 국립수산물학원이 작성한 “양식 김 황백화 원인 구명과 제어”에 관한 보고서를 보면 시판되고 있는 시비제를 이용해 2014년 4월초에 김 황백화의 회복여부를 파악하기 위해 약 10일간 시비제 현장 실험을 실시하였음.
- 이 실험에 사용된 시비제는 총 4종류(슈퍼 알알이, 유안비료, 아미노산, 슈퍼 알알이+아미노산)로 활성처리제와 같은 방식인 침지식으로 20~30초 처리하였음(표3-5).

표 3-5 시비제 제품의 액상성분

	슈퍼알알이 (남해화학)	유안비료 (남해화학)	아미노산 (수입제품)	슈퍼알알이+ 아미노산
질소(%)	0.70	0.28	0.23	0.63
인(mg/kg)	-	23	11	8
칼륨(가리)(%)	0.048	0.055	0.050	0.048
석회(%)	0.044	0.049	0.049	0.044
알칼리분(%)	0.092	0.097	0.094	0.087
철(mg/kg)	-	-	10	7
pH	7.7	6.9	2.2	6.5
비료제품의 주요성분	질소: 46%	유황: 24.0% 질소: 20.5%	Compound Amino Acid powder	-

- 액상 시비제 처리 후 김 엽체 세포를 관찰한 결과 2일 후 세포 내의 액포 감소와 색택 회복은 나타나지 않았음(그림 3-6).
- 이러한 이유로는 액상 시비제의 경우 단시간 침지식 활성처리 방법으로는 접촉 시간이 적어 효과가 약한 것으로 나타났지만, 12시간 침지한 실내 배양 실험 결과에서는 질소계 성분이 많이 포함된 시비제 경우에는 김 황백화 회복에 효과가 있는 것으로 나타남.
- 따라서 시비제 처리는 침지식보다 고형 시비제를 이용한 용출 처리 방법이 효과가 있을 것으로 판단함.

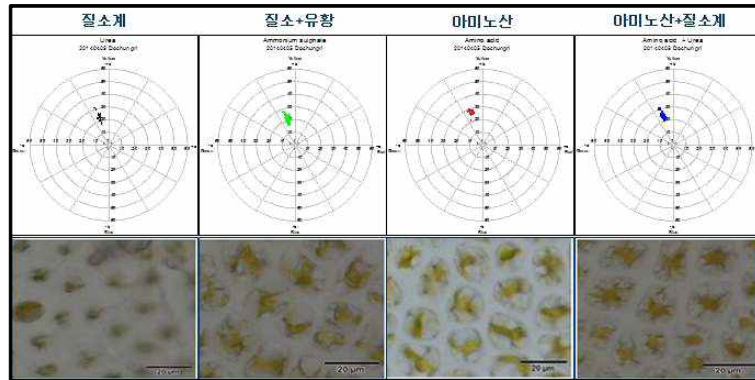


그림 3-6 시판 시비제에 처리 후 황백화와 김 세포 회복 결과

5.2 시비제 투여에 의한 주변 환경에 대한 영향

- 김양식장의 시비(비료주기)는 김 엽체의 성장이 둔화되고, 색택이 변화하거나 저하될 때만 제한적으로 실시하여야 함.
- 그러나 일부 어장에서 무분별하게 농업용 비료를 과다 사용할 경우 이에 따른 부작용이 나타나는 경우가 있으므로 상당한 주의가 필요함.
- 김에 필요한 영양염은 해수 1톤당 질소량이 0.15g 정도 있으면 대체로 적당함. 그 이상은 김에 흡수되지 않고 바다에 희석되어 김 이외의 규조, 파래 등 타 해조의 영양분으로 흡수될 수 있으며, 오히려 어장의 부영양화를 초래할 수 있음.
- 따라서 김 양식장에 시비를 할 때는 정해진 용량과 용법을 반드시 준수하여야 하며, 농업용 비료를 사용하기 보다는 김양식 전용 영양제를 구입하여 실시해야 함.

제 4 장

기초 환경시설을 활용한 김 황백화 제어

1. 충청남도 연안 주변 하수종말처리장
2. 하수종말처리장 방류수의 계절적 대응 운전방법
3. 질소 제거 제어 운전 방안 제시
4. 인 제거를 제어 운전 방안 제시
5. 하수종말처리장 계절별 운영 이점
6. 해양 연안 생태계 내 하수종말처리장 계절별 운영에 따른 효과 대상

제4장

기초 환경시설을 활용한 김 황백화 제어

1. 충청남도 연안 주변 하수종말처리장

- 충청남도 연안 주변에 위치하고 있는 하수종말처리장 중 해양으로 직접 방류하거나 연안 유역 근처 하구 및 하천을 통해 방류하고 있는 방류량이 500m³/day 이상인 하수종말처리장 위치를 나타내고 있음(그림 4-1).
- 특히 도내 김 생산량 90% 이상을 차지하고 있는 서천군 연안 주변에도 서천 하수종말처리장, 장항 하수종말처리장, 금강하굿둑 하수종말처리장이 위치해 있음.



그림 4-1 충청남도 연안에 있는 하수종말처리장 위치도

- 2017년 현재 금강하구둑 하수종말처리장은 시설 보수 및 변경 공사를 진행하고 있어 운영을 잠시 중단하고 있어 방류수는 현재 없음. 하지만 2016년 도에는 약 150-200톤/일 정도 방류하였음. 한편, 장항 하수종말처리장인 경우는 약 2400톤/일 정도 처리수를 방류하고 있으며 방류수는 솔리천을 통해 서해안으로 배출되고 있음. 또한 서천 하수종말처리장인 경우는 약 5000톤/일을 판교천을 통해 서해안으로 방류하고 있음.
- 김 양식에서 필요로 하는 영양염류(질소, 인)의 방류 수질을 보면 서천, 장항 및 금강하구둑 모두 10mg/L 및 1mg/L이하로 방류하고 있어 방류기준치보다 50%이상(TN: 20mg/L, TP: 2mg/L) 제거를 하고 방류하고 있음(표 4-1).

표 4-1 2016년 서천 연안 지역 하수종말처리장 연평균 방류수질 현황

명칭	BOD	COD	SS	T-N	T-P	대장균군
	(mg/L)					(개/mL)
서천	7.0	10.1	5.5	8.2	0.19	386
장항	3.5	8.8	1.5	4.6	0.12	15
금강하굿둑	1.6	5.9	4.4	8.9	0.82	43

- 금강하굿둑 하수종말처리장은 금강하구역 관광단지 내 주변의 하수를 처리하고 있어 그 양이 많지 않고 처리된 방류수는 바로 하구역을 통해서 서해로 방류되고 있음.
- 그리고 서천 하수종말처리장에서 처리된 방류수는 약 4km정도 판교 하천을 통해 서해로 방류되고 있고 하천 종점에는 방류수문이 있어 방류유량을 조절하고 있음(그림 4-2).

- 장항 하수종말처리장에서 방류된 처리수는 약 2km정도 솔리천을 통해 서해안으로 이동하며 이곳 역시 하천 종점에는 방류수문이 있어 방류유량을 조절하고 있음(그림 4-2).



그림 4-2 서천 판교천 및 솔리천 종점 부근 방류 수문

1.1 서천 연안 김 양식장 및 하수종말처리장

- 충청남도 연안의 김 양식장은 서천군 마량리에서 장암리 연안에 걸쳐 넓게

분포하고 있음(그림 4-3).

- 서천군에 위치하고 연안으로 방류되는 기초 하수종말처리장 중 김 양식장에 영양염류를 공급할 수 있는 곳은 서천 하수종말처리장, 장항 하수종말처리장 및 금강역 하수종말처리장임.

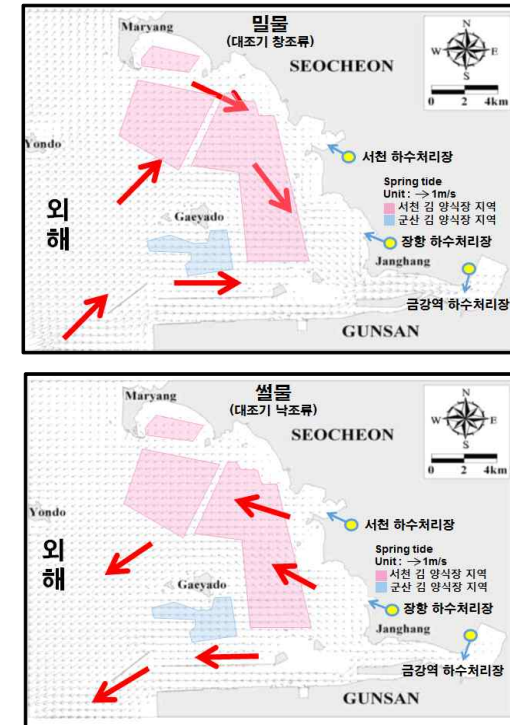


그림 4-3 서천 연안 해수유동 현황

1.2 서천 연안 해수유동 현황

- 서천 연안(금강 유역)에서 대조기시 조석류의 특성을 보면 밀물(창조류)의

최대 유속은 1.2~1.6m/sec 범위로 표층의 주요한 흐름은 외해(서쪽)에서 금강 하구(동쪽)으로 유입되고 있음. 반대로 썰물(낙조류)인 경우 최대 유속은 0.8~1.0m/sec 범위로 금강 유역에서 개야도를 중심으로 외해로 빠져나가고 있음을 알 수 있음.

○ 서천 연안의 해수유동 현환을 보면 밀물과 썰물시 서천 김 양식장을 사이로 이동하고 있는 것을 알 수 있음. 또한 썰물시 서천, 장항, 금강역 하수종말처리장에서 처리 방류수가 방류될 경우 영양염류가 김 양식장에 공급될 것으로 판단됨(그림 4-3).

○ 하지만 하천을 통하거나 직접 연안으로 방류될 경우에 해수와 혼합이 되면서 영양염류 농도가 희석될 가능성이 높으므로 김 양식장에서 필요로 하는 영양염류(N, P) 농도로 공급이 되는지에 대해서는 차후 모니터링 조사를 통해 확인할 필요성이 있음(그림 4-4).

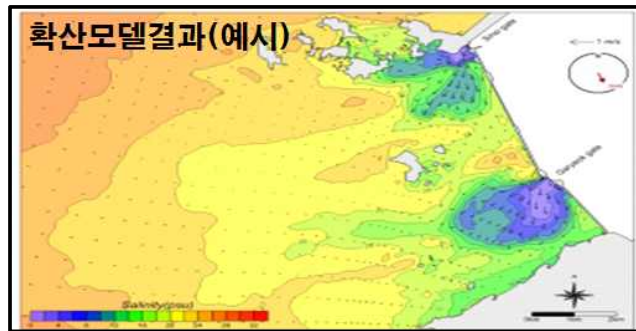


그림 4-4 영양염류 확산 모델링(예시)



2. 하수종말처리장 방류수의 계절적 대응 운전방법

○ 하수처리장 방류기준을 준수하고 주변 수질에 영향을 주지 않는 것을 확인한 후 필요한 부분에 대응하고 하수처리수 방류지역 양식업 등을 배려해 겨울~봄철에 하수종말처리수 중 질소(N)와 인(P) 농도를 높여 부족한 영양염류를 공급하는 등 지역 문제에 대응한 계절에 따른 수질을 능동적으로 관리하는 계절별 운전관리를 실시해 풍요로운 연안환경 만들기를 목표로 함(그림 4-5).

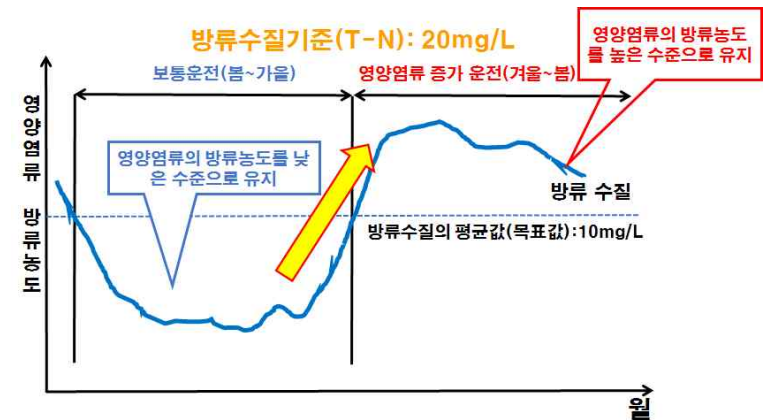


그림 4-5 계절별 운전관리에 있어서 처리 방류수 농도 조절 개념도

○ 하수처리장 방류수 중 영양염류 농도를 증가시키는 운전관리 방법은 크게 질소를 증가시키는 방법과 인을 증가시키는 방법으로 나눌 수 있음.

○ 먼저, 하수처리장 방류수 중 질소 농도를 증가시키는 방법에도 암모니아성 질소($\text{NH}_4^+ - \text{N}$)를 증가시키는 방법과 질산성 질소($\text{NO}_3^- - \text{N}$)를 증가시키는

방법으로 구분됨.

- 방류수 중 암모니아성 질소를 증가시키기 위해 소화조 내 폭기량을 줄이는 방법을 사용하고, 질산성 질소를 증가시키기 위해서는 무산소조(혐기조) 내에서 미생물 체류시간(Sludge Retention Time; SRT) 단축 등의 방법을 활용함.
- 인의 방류농도를 증가시키는 방법은 약품첨가량의 조정, DO조정에 의한 흡수제어, 혐기조에서의 반송에 의한 인의 재방출 제어가 있음.
- 영양염류의 방류농도를 증가시키는 운전방법은 대상이 되는 영양염(질소, 인), 운전 방법에 의해서 그림 4-6처럼 정리 가능함.

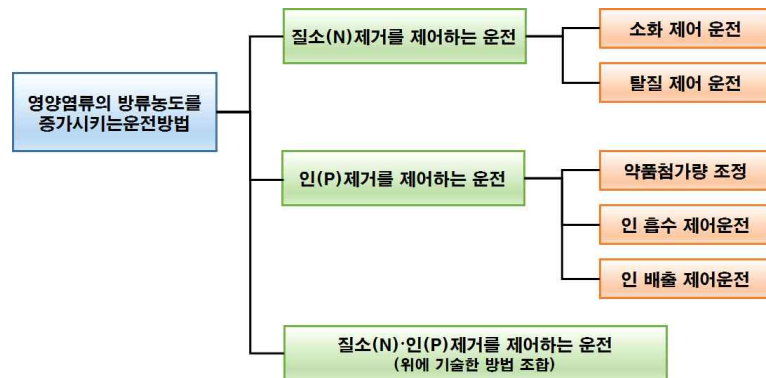


그림 4-6 하수종말처리수 내 영양염류 농도 증가 운전방법



3. 질소 제거 제어 운전방안 제시

- 질소 제거를 제어함으로써 방류수 내 질소 성분을 증가시키는 개념으로 운전방법에는 암모니아성질소를 증가시키는 질화(소화조) 제어 운전과 질산성 질소를 증가시키는 탈질(혐기조) 제어 운전이 있음.
- 질화 제어운전, 탈질 제어운전 이외에도 일반적으로 겨울철은 유입 오탁수량이 감소하기 때문에 운전하는 반응조 수를 줄여 고부하에서 운전하는 공법도 있음.

3.1 질화 제어운전

- 질소를 제거하기 위해 질화 촉진 운전을 할 경우, 소화조(질화조)의 폭기량을 제어해, 산소 공급량을 줄여 질화 세균의 활동을 저하시키고, 소화조 수를 줄여 소화조에서의 부하를 높여, 또는 폭기조 내 미생물량(Mixed Liquor Suspended Solid; MLSS)농도를 저하시켜 SRT를 단축해, 질화세균이 처리계 내에서 증식하기 어렵게 함(질화제어)(그림 4-7).

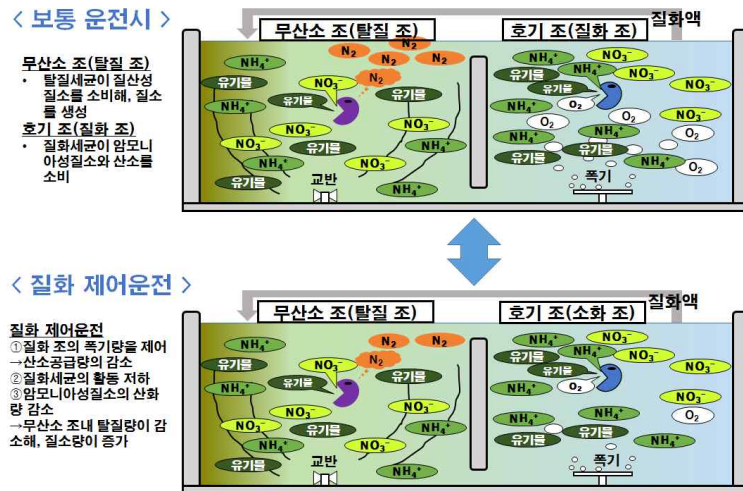


그림 4-7 질소 성분 증가 운전 이미지(질화 제어)

- 이런 방법으로 암모니아성 질소의 산화량이 감소하고, 혐기조(무산소) 내에서의 탈질량이 감소하기 때문에, 처리수에 포함된 질소분이 증가함.
- 이 운전에 의해서 증가한 질소 성분으로서는 암모니아성 질소임. 암모니아성 질소는 아질산성 질소, 질산성 질소에 비해 김 성장에 필요한 성분으로 흡수되기 쉽고, 흡수된 영양염이 아미노산 생성에 이용 됨.
- 맛 성분인 색소 생성에 필요한 아미노산이 증가하면 맛과 색이 향상된다는 연구가 보고 되고 있음.
- 일본 하수종말처리장에 있어서 평상시 운전으로부터 고농도 운전으로 전환 사례를 아래 그림에 나타냄(그림 4-8).

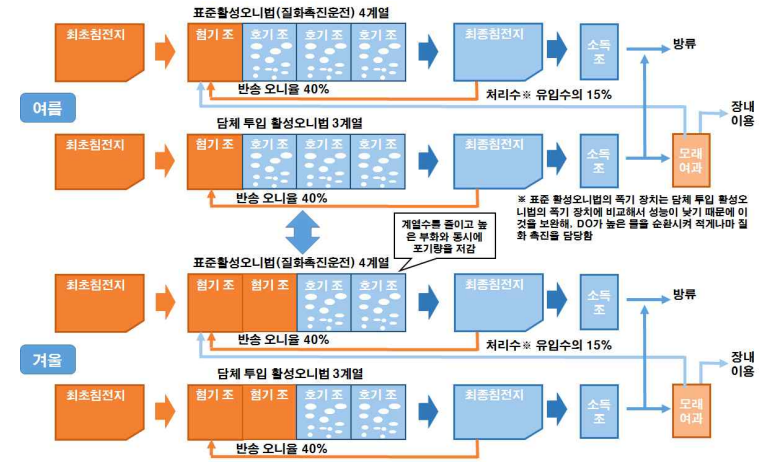


그림 4-8 평상시 운전으로부터 영양염류 농도 증가 제어운전으로의 전환 사례(일본)

3-2 탈질제어운전

- 질소 제거를 위해 단계 유입식 다단 질산화 탈질공법을 할 경우, 단 수를 줄이고 탈질 조(무산소 조)를 호기조로 변경하는 것으로 질산성 질소의 분해 양이 줄고 탈질 조내 질소 양이 증가해 처리 수에 포함된 질소 성분이 증가함(탈질제어).
- 이 운전에 의해서 증가하는 질소의 성분은 질산성 질소 임. 탈질 제어운전의 개념을 그림 4-9에 나타냄.

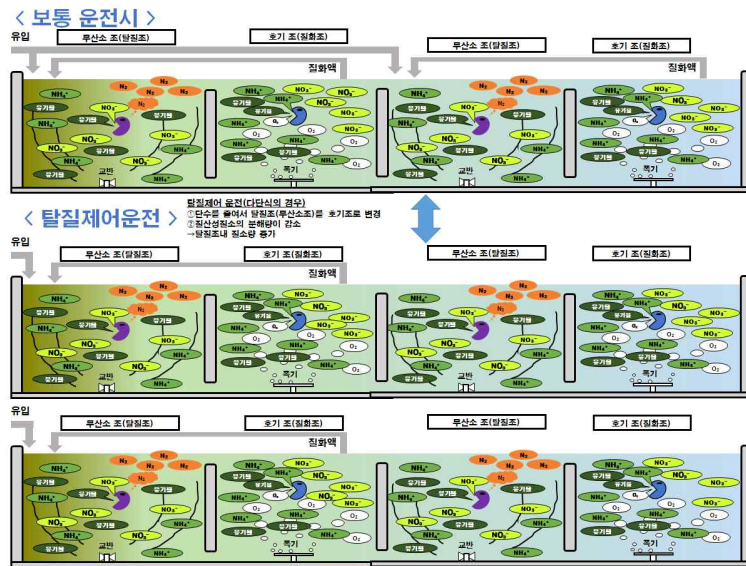


그림 4-9 탈질성분 증가 운전 이미지(탈질 제어)



4. 인 제거 제어 운전방안 제시

○ 인 제거를 제어함으로써 방류수 내 인 성분을 증가시키는 개념임. 이러한 방법 중 먼저, 약품첨가(응집제첨가)를 할 경우에는 약품 첨가량을 조정하는 것으로 인의 방류량을 증가시키는 것이 가능함. 단, 계절별 운전관리를 하는 겨울철에는 슬러지 벌킹 방지 때문에 약품을 첨가할 수 밖에 없는 경우도 있고, 결과적으로 인의 방류량을 증가시키는 운전이 불가능할 경우도 있음.

○ 활성오니법에서 생물학적 인 제거를 할 경우, 호기조 앞 단계에서 폭기를 하지 않는 혐기조를 설치해, 혐기조에서 인산염 인($\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$)을 활성슬러지로부터 방출시켜, 호기조에서 활성슬러지가 통상 증식에 필요한 양 이상으로 인산염 인을 재 섭취(인의 과잉섭취)해, 인 제거를 행함.

○ 따라서, 호기조에 의한 인의 흡수(과잉섭취) 제어와 혐기조에 있어서 인의 방출 제어를 해, 방류수 내 인의 농도를 높일 수 있는 방법이라고 판단됨.

○ 인은 질소에 비해 기준치 이하와 방류농도의 기준치(인의 방류수 기준치는 2mg/L)와의 폭이 좁고, 기준치 이내에서 방류농도를 높이는 운전을 하는 것은 어려움이 많음.

4.1 약품첨가량 조정에 의한 방법

○ 응집에 의해서 인을 제거하기 위해 주입하고 있는 약품(응집제)의 양을 조정(감량 또는 주입정지)해서 인의 제거를 제어함.

4.2 DO조정에 의한 인의 흡수 제어

- 호기조의 DO를 조정하는 것으로 호기조에 의한 인의 제거를 제어함.

4.3 혐기조로의 반송에 의한, 인의 방출제어(그 후의 과잉 섭취 제어)

- 혐기조로 반송해, 혐기조에서 인의 방출을 제어하는 것으로 후 단계의 호기조에 있어서 인 과잉섭취를 제어함. 이런 일련의 흐름으로 인의 제거를 제어함.



5. 하수종말처리장 계절별 운영 이점

- 계절별 운전관리의 이점은 수처리 부하 경감을 동반한 소비 전력량의 저감과 어업 등의 지역산업 발전 등이 있음.

5.1 하수도 사업자(하수처리장)의 이점

5.1.1 하수 처리에 대한 이점

- 유입 하수 수온이 떨어져 활성 슬러지 활성이 저하하는 겨울철에 질화 축진을 시키지 않는 것은 좋은 방법임.
- 운전 방법과 송풍기 구성에서는 송풍량이 감소해 송풍기 1대분의 운전을 경감할 수 있음.

5.1.2 해양환경에 대한 이점

- 김 양식을 위해서 시비제를 살포하고 있는 경우, 고품의 질소비료보다 방류수 중의 질소 성분(특히 암모니아성 질소)쪽이 김에 흡수되기 쉽기 때문에 김의 색과 맛 향상에 좋음.

5.1.3 그 외

- 양식에 대해서 좋은 영향이 있는 계절별 운전 관리의 조합을 홍보하는 것으로, 하수도 사업에 대한 어업관계자 이해 및 협력을 얻을 수 있음.

5.2 어업관계자(주로 김 양식업자)의 이점

5.2.1 시비제의 해면 살포 필요(인력, 비용)가 경감에 대한 이점

- 처리장 방류수에 의해 영양염류(DIN, DIP 성분)가 안정적으로 공급되기 때문에 시비제를 살포할 경우보다 인력과 비용이 경감됨.
- 시비제 살포 효과는 살포 직후 일시적이지만 처리장으로부터 방류수에 의한 영양염류 공급은 계절별 운전관리 기간 동안 일정량을 상시 공급하는 것이 가능함.
- 대상 생물이 김인 경우, 김 품질은 질소 성분(특히 암모니아성 질소성분)과 밀접한 관련이 있고, 질소 성분을 많이 포함한 방류수를 안정적으로 공급하는 것으로 품질이 우수한 김을 수확 가능하며 이러한 시스템에 의해 안정적인 소득을 얻을 수 있음.



6. 해양 연안 생태계 내 하수종말처리장 계절별 운영에 따른 효과 대상

- 계절별 운전관리에 따른 직접적인 효과를 받는 대상은 영양염류를 직접 섭취하는 해조류(김, 미역 등의 식물)가 주요 대상임.
- 영양염류 증가에 동반해서 늘어난 식물플랑크톤을 먹이로 하는 조개류(바지락 등)에도 그 효과의 관련성이 있음.
- 해양환경과 생태계의 장기 모니터링에 의한 결과 데이터가 필요함.

- 계절별 운전방법은 영양염류를 직접 이용하는 해조류(김, 미역 등)에는 좋은 효과가 나타남. 특히, 하수처리수에 포함된 질소성분이 김에 미치는 좋은 효과에 대해서는 기존 연구에서도 보고되고 있음.
- 일반적으로 김 중의 전 질소량이 많을수록 품질이 좋은 것처럼 질소는 김 품질에 관계가 깊음. 인도 마찬가지로.
- 조개류에 대해서는 일정 영양수준이 확보되는 범위에서는 영양염류보다 수온 등의 물리적 환경조건이 조개의 성장에 큰 영향을 주기 때문에, 확실한 상관관계를 입증하기에는 어려운 점이 있음.
- 그러나 바지락 등의 조개류는 식물 플랑크톤을 먹이로 이용하고 있어서 해수중의 영양염류를 이용한 식물 플랑크톤의 증식은 이것들을 먹이로 하는 조개류 생산량에는 영향을 간접적으로 미칠 수 있으므로 양양염류와 관련성이 없다고 부정할 수 없다고 판단됨.
- 해양의 생태 피라미드 개념(그림 4-10)을 보면, 영양염류의 증가에 의한 효과는 고차 생태계인 어류에도 영향을 미칠 수 있다고 생각할 수 있지만 관계성의 유무에 대해서는 학술적으로도 명확하게 밝혀진 것은 없음.

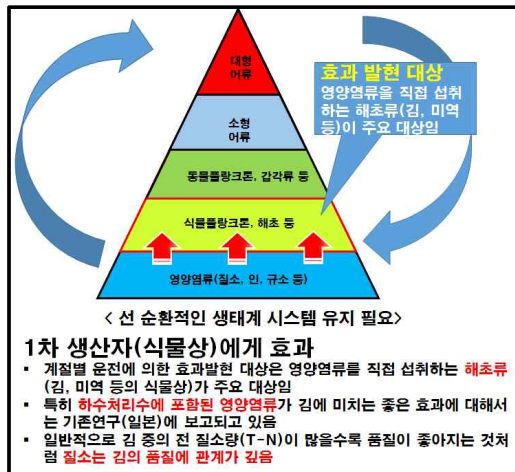


그림 4-10 해양의 생태 피라미드 개념도

제 5 장

계절별 운전운영(안) 도입절차

1. 도입시 절차 및 검토할 사항
2. 시설·설비의 개선
3. 시험 운전
4. 본 운전

제5장

계절별 운전운영(안) 도입절차



1. 도입시 절차 및 검토할 사항

- 방류지역의 이해관계자가 방류량 증가를 요구하는 영양염류(질산성질소, 암모니아성 질소, 인), 해당 영양염류를 증가시키기 위한 운전방법, 기존 수처리 시설의 통상 운전방식을 바탕으로 한 운전(질화 제어, 탈질 제어, 인 제어)이 가능한가를 검토함.
- 또한, 효과를 기대하는 대상 생물이 존재하는 장소에 방류수가 흘러 들어갈 것인가를 사전조사 및 문헌연구 등을 통해 확인해 둘 필요성이 있음.
- 방류 운전이 목적이라고 가정할 때, 영향을 받는 대상과 생육 등에 있어서 부족한 영양염류가 무엇인가를 조사·확인해 설정해야 함.
- 예를 들어, 계절별 운전관리를 도입하고 있는 일본의 많은 처리장에서는, 조사 등에 의해, 방류 지역에 있어서 효과를 받고 있는 대상(주로 김)의 생육과 색바람 방지를 위해 효과적인 질소 방류를 증가시키는 운전을 하고 있음. 한편 일본 후쿠오카(福岡)시에서는 방류 지역에 있어서 질소뿐만 아니라 인의 부족함을 대상물 조사에 의해 확인해 인 방류도 증가시키는 운전을 하고 있음.

- 법령의 준수 및 효과적·효율적으로 계절별 운전관리를 수행하기 위해 영양염류를 증가시켜 방류하는 행위에 대한 규제기준, 상위계획, 방류 지역의 공공 수역의 해수 흐름과 수질의 상황, 현재 처리장 상황(유입수량, 유입수질·방류수질, 처리방식과 운전방법, 시설의 구조 등), 전체 계획과 사업 계획 등을 확인해, 영양염류 방류농도의 수준을 높이기 위해 운전의 전환 대응이 가능한 방법, 필요한 시설의 개조 유무 등을 검토할 필요성이 있음.
- 그 위에서 운전방법을 전환 할때의 처리능력, 폭기율과 반송 슬러지 비율 등의 운전 지표 값, 전력량과 약품사용량 등의 유지관리비용의 계산을 하고, 계절별 운전관리로 전환해야 함.
- 또한, 도입 때의 검토에 있어서 방류소의 이해관계자와 관계기관과의 조정과 협력을 위해 필요한 회의와 검토회 등을 개최함(그림 5-1).



그림. 5-1 도입시 검토 수준 예시 개념도(예시)

○ 그림 5-1에 나타난 검토 수순과 검토 항목은 어디까지나 예시이고, 이 이외의 수순과 검토를 해도 무방함. 즉, 처리장과 방류지역 등의 상황에 대응한 유연한 처리가 필요함.



2. 시설·설비의 개선

○ 계절별 운전관리를 함에 있어 일본 처리장의 사례들처럼 시설·설비 개선은 필요하지 않고 기존 시설·설비로 실시 가능할 수 있음.

○ 예를 들어, 최근 일본에서는 암모니아성 질소를 감시하고 반응조의 폭기량 제어를 하기 위해 능동적으로 소화량을 조절해, 안정한 처리수질을 유지하기 위한 신기술을 도입한 경우가 있음. 이처럼 처리수질의 안정화와 운전관리의 부담 경감 등을 도모하기 위해 신기술 도입도 검토할 필요성이 있음.

○ 일본의 경우, 영양염류를 증가시키는 운전을 하고 있는 대다수의 하수 처리장(그림 5-2)에 있어서는 기존의 운전방법으로부터 계절 또는 통상 영양염류를 증가시키는 운전으로 전환에 있어서 시설·설비의 개선을 하지 않고 있음.



그림 5-2 계절별 운전관리를 실시하고 있는 일본의 하수처리장(사례)

- 단, 영양염류를 증가시키는 운전은 도입한 처리장 및 도입하려고 하는 처리장인 경우, 시설·설비 개선을 하는 것을 막는 것은 아님. 앞서 얘기했듯이 암모니아성 질소 및 폭기량을 조절하는 것은 어렵기 때문에 이러한 부분을 제어할 수 있는 시스템을 도입하는 것은 바람직함.
- 계절별 운전관리에 있어서 영양염류 방류농도를 높이는 계절에서는 배수 기준 등의 수질기준치에 근접한 농도로 방류를 하기 때문에 방류농도가 기준치를 넘어서 법령을 위반하지 않기 위해 보통시기의 운전보다도 주의가 필요함.
- 일본의 경우에는 실제 처리장의 운전관리 현장에 있어서도 이러한 운전방법은 대처하기 어려운 대응이라는 인식도 있음.
- 최근, 일본에서는 암모니아성 질소를 감시함과 동시에 반응조의 폭기량 제어를 하는 것으로 수질 부하변동에 대한 추적성을 높이고 능동적으로 질화량을 제어 가능한 기술이 있음.
- 본래 이 기술은 폭기조 폭기량을 조절하면서도 안정한 처리수질을 유지하는 것이 목적이었지만, 계절별 운전관리에서 높은 방류수질을 안정적으로 유지하기 위한 것에도 응용이 가능하다는 생각에서 이 방법을 도입해 운전관리 현장의 부담을 경감시키고 있음.
- 이외에도 계절별 운전관리(특히 안정한 처리수질을 유지하는 것)에 이용 가능한 기술로서 센서 기술을 활용한 실증사업 등이 추진되고 있음.



3. 시험운전

- 시험 운전은 기존 하수처리시설의 평상시 운전방식을 토대로 폭기량을 조정하고, 반응조의 DO농도 변화와 미생물종, 처리수질 등을 확인해가면서 고농도 영양염류 운전을 시행하는 계절(겨울~봄)에 본 시설을 사용하여 실시함.
- 고농도 영양염류 운전을 시행하는 계절에 있어서 매일매일 운전하면서 폭기량을 조절하고 반응조의 DO농도 변화와 미생물종, 처리수질 등을 파악하면서 시범 운전을 할 필요가 있음.
- 일본 아카시(明石)시 오오쿠보(大久保) 정화센터처럼 기존 하수처리시설에 다단계 수로를 가지고 있는 경우는 다단계 유입 조건을 변경해 가면서 시범 운전을 하고 있음. 그리고 일부 다른 지역에서는 반응 조 수를 줄이고 고부하 운전을 하는 사례도 있음. 이런 사례들을 참고해 시범 운전을 하고 해당 처리장에 있어서 적당한 방법을 찾아낼 필요가 있음.



4. 본 운전

- 아래 그림 5-3에 제시된 각 시기별 운전, 모니터링, 이상 발생시 대응법, 관계자와의 조정에 관한 유의점 등을 서술함.
- 보통 운전 시기: 영양염류의 방류농도를 평상시 운전과 같은 낮은 수준으로 유지하는 시기.
- 준비기: 영양염류 방류농도를 높이기 위해 운전 전환을 위한 준비(순서 확인, 약품 등의 준비 등)를 하는 기간. 하수처리시설의 운전 자체는 평상시기와 같은 운전 실시.
- 이행기: 운전방법을 전환하는 작업을 통해, 영양염류의 방류농도를 점차적으로 증가시켜 나가는 기간.
- 영양염류 증가 운전시기: 영양염류의 방류농도를 목표로 하는 농도까지 높여, 비교적 안정적으로 운전을 하는 기간.
- 회복기: 평상시기 운전으로 되돌아가기 위해, 운전방법을 전환하는 작업을 해 영양염류의 방류농도를 점차적으로 저감시켜 나가는 기간.

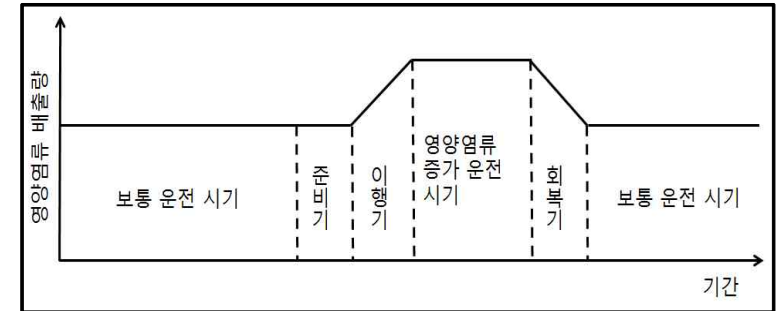


그림 5-3 운전시기에 의한 영양염류배출량 변화 개념도

4.1 준비기

- 영양염류의 방류농도를 높이기 위해 운전을 전환하기 위한 준비를 하는 기간임. 하수처리시설의 운전 자체는 평상 운전시기와 동일함. 준비 내용으로는 운전전환 순서 확인, 약품 등의 준비 등이 있음.
- 일본의 가고천(加古川)하류 정화센터는 포괄 위탁업자와의 조정을 위해, 매년, 운전 전환 전에 공정표를 작성함. 이것은 가고천 하류정화센터가 유지 관리에 있어서 포괄 민간위탁을 수용하고 있는 것과, 또한, 수조에 있어서 전환 순서가 다르기 때문임. 이러한 공정표의 작성 등에 의한 개요도를 마련해 두어 만일의 실수 방지와 운전 개선 및 기술의 계승을 원활하게 행하는 것이 가능하게 함.

4.2 이행기

- 운전방법 전환 작업을 실시해, 영양염류 방류농도를 점차적으로 증가시켜 나가는 기간임. 반응조 상태와 방류수질 상황을 보면서 수로 전환, 폭기량 조정, 반송 슬러지량 조정 등을 통해, 점차적으로 방류수 중 영양염류를 증가시켜 나감.

4.2.1 소요기간

- 보통 운전으로부터 증가운전으로 이행하는 기간은 대강 15일에서 30일 정도 소요됨.

4.2.2 수로 전환 등 실시

- 운전방법 전환과 부하량 조정을 위해 수로 전환 등을 실시함. 아래에 사례를 소개함.
 - 일본 가고천 하류정화센터와 향동천 정화센터처럼 다단계 유입을 하고 있는 처리장에서는 증가 운전때는 다단계 유입을 정지하고 있음.
 - 일본 사가시 하수정화센터에서는 반응조를 1계열 줄이고(여름철: 7계열, 겨울철: 6계열), 유입부하를 높이는 공정을 하고 있음.
 - 일본 나카쓰 종말처리장에서는 표준 활성오니법과 고도처리 계열을 가지고 있어, 계절별 운전관리를 실시할 때, 시설의 처리능력을 감안해, 표준 활성오니법 계열로, 평상시 운전때보다도 유입 수량을 많이 유입시키는 수량분배를 행하고 있음.

4.2.3 이행기 작업공정의 예

- 이행기 작업공정의 예를 대상물질(질소 또는 인), 운전방법(질화제어 또는 탈질제어), 처리방식(표준 활성오니법, 산화구법)으로 나눠서 행하고 있음(그림 5-4).

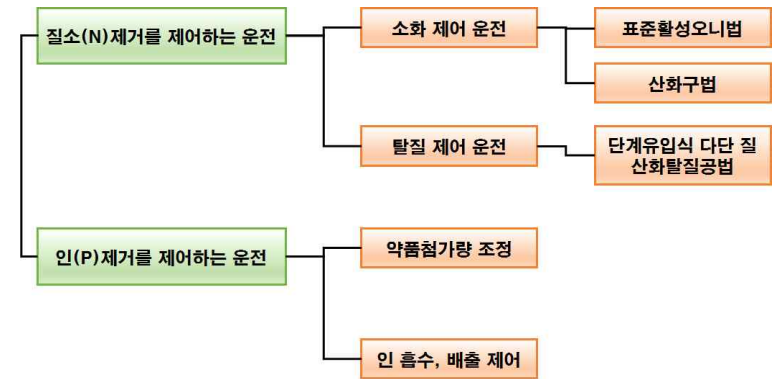


그림 5-4 운전방법 중 영양염류 전환방법 분류

4.3 영양염류증가 운전 시기

- 영양염류 방류농도를 목표로 하는 농도까지 높여, 비교적 안정적으로 운전을 하는 기간임. 일본의 사례에서는 김 황백화 등을 방지하기 위해서 실시하고 있기 때문에 방류 수역에 있어서 김 양식 기간에 포함시켜 설정하고 있음.
- 수질이 악화하는 등 이상이 예상되는 경우와 발생한 경우에는 운전 조정과 운전방법 전환으로 평상시 운전으로 되돌리는 등으로 법령을 준수하는 것이 최우선임.

4.3.1 목표 수질 설정

- 일본의 경우에는 법령준수 가능한 범위에서 높은 농도로 방류하고 있어 평균적인 값을 정하는 것은 어려움이 있음. 그 중에는 방류수질기준치의 60%정도, 총질소(TN)로 방류기준치의 75-90%의 범위(통상 75%이하), 총인(TP)에서 50-90%범위(통상 50%이하)의 기준을 설정하고 있음(표 5-1).

표 5-1 방류수의 총질소(TN) 및 총인(TP)농도관리 목표설정 사례

운전 기간	목표 치	배출기준
평상시 운전	TN : 15mg/L 이하(75%이하) TP : 1mg/L 이하(50% 이하)	TN: 20mg/L TP: 2mg/L
영양염류 증가 운전 시기	TN : 15-18mg/L 이하(75-90%이하) TP : 1-1.8mg/L 이하(50-90% 이하)	

4.3.2 증가 운전기간 설정

- 일본의 사례에서는 전체 처리장에 있어서 김 양식기간에 맞추어서 기간을 설정하고 있음. 단, 일부 일본의 지자체에서는 어업조합으로부터의 요청에 의해 계절별 운전 전환을 하지 않고 통상 영양염류 증가 운전을 실시하고 있음.

4.3.3 관리목표치 설정

- 계절별 운전관리를 실시하고 있는 일본의 12개 처리장 중 9처리장이 반응조의 관리목표치를 설정하고 있음. 단, 처리장에 따라 관리목표치를 설정하고 있는 수질항목은 다양함.
- 일본의 경우를 보면 평상시 운전 시기와 증가 운전 시기의 관리목표치를 비교하면, 평상 운전 시기와 증가 운전 시기에서 관리목표 값이 크게 변화(예: 질화 제어를 위해서 호기조의 DO의 관리목표 값을 내리는 등)하는 사례는 대체로 보이지 않음.
- 또한 일본 하수처리장에서 반송 슬러지율에 대해서는 보통 때와 같거나 보통 때보다도 작은 값을 설정하고 있는 처리장이 많이 보임(표 5-2).

- 증가 운전 시기와 증가 운전 전(평상 운전 시기)의 동 시간의 관리 목표 값을 비교하면, 폭기량 배율을 작게 하고 있는 처리장이 많음.

표 5-2 관리목표 값의 설정(사례: 일본 호타미(二見) 정화센터)

항목	평상 시기	증가 운전 시기
DO(mg/L)	최종조: 1.2	최종조: 1.2(1.2)
MLSS(mg/L)	최종조: 1,100	최종조: 1,000(1,000)
pH	6.6~6.8	6.9(6.6~6.8)
BOD-SS부하(kg/day)	0.2~0.4	0.2~0.4(0.2~0.4)
반송 슬러지율	50%	50%
폭기량 배율	4배	3배(4배)

※ 표 중, 괄호안의 값은 증가운전 전(평상 시기)의 동기간의 관리목표 값을 의미함

4.3.4 대상이 되는 처리수량

- 일본의 처리장에서는 이미 해당 운전을 실시하고 있는 많은 처리장에서는 처리 물량 전량을 대상으로 함.
- 영양 염류의 증가 운전을 실시함으로써 배수 규제와 총량 규제를 초과할 수 있는 경우는 대상으로 하는 처리 수량을 조정하는 것을 생각할 수 있음.
- 실제로, 일본 나카츠시 나카츠 종말 처리장에서는 처리 물량 전량이 아니라 영양 염류 증가 운전을 실시하는 계열과 영양 염류를 가능한 한 제거하는 평상시 운전(고도 처리)을 하는 계열에서 처리 수량 조정을 하도록 하고 있음.

4.3.5 폭기 구획의 조정 등을 행할 때의 유의점

- 폭기 구획을 변경하면 전체의 균형이 무너지기 때문에 반응 탱크 전체의 DO를 감시하고 전체의 폭기량을 조정할 필요가 있음.

- 폭기량이 감소함으로써 산기판 구멍 막힘 현상이 발생할 수도 있음.
- 반응조의 상태를 파악하기 위해서는 활성슬러지 미생물의 상태를 조사하는 것이 유효함.
- 계절별 운전 관리하는 처리장에서 채용 실적은 없지만, 근래에는 반응조에 유입·유출하는 암모니아성 질소 농도를 감시하고 폭기량 조절을 해 능동적이고 치밀한 질화 반응을 조정하는 신기술도 있으므로, 계절별 운전 관리를 도입할 때 이러한 신기술을 검토하면 좋음.

4.3.6 증가 운전에 동반한 변화

가. 약품 사용량

- 인 제거를 제어하는 운전에서 약품 첨가량을 제어하는 경우에는 영양염류 증가운전 시기에는 약품 첨가량을 제어하지만 그와 반대로 평상시 운전 시기에 있어서 가능한 한 인 제거를 하기 때문에 약품 사용량은 계절별 운전관리를 하기 전과 거의 차이가 없음.

나. 전기 사용량

- 질화 제어에 의해 영양염류 농도를 증가 시키는 경우에는 호기조를 혐기(무산소)조로 변경하기 때문에, 폭기량이 감소해 전기 사용량도 그것에 동반해 감소하는 경향을 볼 수 있지만 그 감소율은 크지 않음.
- 탈질 제어인 경우에는 혐기(무산소)조를 호기조로 하기 때문에 폭기량이 증가해 전기 사용량도 증가함.

다. 슬러지 양, 슬러지 상태

- 영양 염류의 증가운전을 실시하기 때문에 슬러지 양의 현저한 변화는 볼 수 없음.
- 하수처리장에 따라서는 슬러지 탈수효율 저하와 SS 성분이 평상시와 비교해서 점성이 높아지는 경우도 있음.

라. 반송 슬러지율

- 일본의 사례를 통해 보면, 평상시 운전 때와 거의 변화하지 않은 경우가 많음. 처리장에 따라서는 낮게 또는 높게 조정하고 있는 사례가 있음.

마. 감시 제어

- 평상시 운전 때와 거의 변화 없이 감시 제어를 하고 있는 사례가 많지만 그 중에는 평상시 운전 때보다도 수질측정 빈도를 증가하는 예도 있음. 정밀한 관리를 하기 위해서는 반응조의 수질상태를 파악 가능 하도록 각 반응조에 수질측정기를 설치하는 것도 생각할 수 있음

4.4 회복기

- 평상시 운전으로 되돌리기 위해 운전 방법을 전환하는 작업을 하고 영양염류의 방류농도를 점차적으로 저감시켜 나아가는 기간임.
- 평상시 운전으로부터 영양염류 증가운전으로 이행 할 때 보다도 평상시 운전으로 회복 시키는 쪽이 시간을 필요로 할 때가 많아 약 한달간 기간이 필요함.
- 이것은 시기적으로 수온이 낮고 활성 슬러지의 생물상이 변화해 있어 평상시 운전 시기의 생물상으로 되돌리기까지 시간이 필요하기 때문이라고 사

료됨.

- 영양염류 증가운전(예를들면, 질화 제어운전)으로부터 평상시 운전(예를들면, 질화 촉진운전)으로 회복시키때에 시간이 필요한 것은 질화 세균의 증식 속도가 종속 영양세균에 비해 상당히 낮음. 김 양식이 끝나는 봄철에는 또한 수온이 낮고, 미생물의 증식속도가 낮은 등도 한가지의 원인이 될 수 있음.

제 6 장

결론 및 정책제언

1. 결론
2. 정책 제언

제6장

결론 및 정책제언



1. 결론

- 2010~2011년 김 황백화 발생 후 충청남도 및 관련 기관들은 김 황백화 재발 방지 정책을 구현하려고 노력하고 있음.
- 김 황백화 발생 당시 용존성 무기질소(DIN) 및 용존성 무기인(DIP)과 같은 영양염류 농도 저하가 가장 큰 원인으로 보고되었음. 당시 김 황백화에 영향을 줄 수 있는 기준 농도(DIN: 0.07mg/L, DIP: 0.016mg/L)보다 DIN(2010년 0.110mg/L, 2011년 0.177mg/L)은 높았지만, DIP(2010년 0.012mg/L, 2011년 0.007mg/L) 농도는 기준농도보다 낮은 경향을 보임.
- 한편, 김 황백화 발생할 당시 다른 지역인 전라북도 군산지역에서의 DIN (2010년 12월 0.007mg/L)농도와 전라남도 함평군(2011년 2월 0.022mg/L), 무안군(2011년 2월 0.056mg/L), 신안군(2011년 2월 0.089mg/L)에서도 DIN 농도는 낮은 수준을 보였음.
- 김 양식장에서 김 성장에 영향을 주는 주요 환경인자는 광(햇빛), 수온, 염분, 해수의 흐름, 조석 및 영양염류(N, P) 등이 있음. 그 중 김 황백화와 관련된 영양염류의 농도를 보면 건강한 김은 질산염이 0.1mg/L, 인산염이 0.03~0.9mg/L에서 좋은 성장을 보인다고 보고됨.

- 게다가 영양염류 중 질소 성분이 부족하게 되면 김 색을 담당하는 클로로필 a, 적색을 띠는 피코에리스린(phycoerythrin: PE), 청색을 띠는 피코시아닌(phycocyanin: PC)과 같은 색소들이 광합성 과정에서 충분하게 형성이 안 되면 색 바램(김 황백화) 현상이 발생하게 됨.
- 현재 김 양식장이 가장 많이 분포하고 있는 충청남도 서천 연안(개야도 부근) 수질 항목 중 영양염류의 시계별 농도 변화를 보면 앞서 얘기한 영양염류(DIN, DIP)농도가 2000년대 초반에 비해 점차 감소 추세를 보이고 있음.
- 이러한 원인 중 큰 영향으로 제기되고 있는 것은 연안 및 하구 유역의 인위적인 개발 즉, 연안 해안선 개발(자연 해안선 비율 감소), 방조제 및 댐 건설(279개로 전국에서 2번째 규모)로 인한 육상시스템과 해양시스템 상호간의 물질순환이 차단 또는 단절에 의한 영양염류 공급 제한이 되고 있음.
- 결국, 이러한 문제점은 연안 생태계 중 영양염류에 의존성이 높은 식물상 생태계가 가장 큰 영향을 받고 있을 가능성이 높으며 특히 충청남도 서천 연안 유역에서 양식되고 있는 김 성장과 생산성에도 커다란 리스크를 줄 가능성을 갖고 있음.
- 현재 충청남도뿐만 아니라 서·남해지역 내에서 김 황백화 발생을 억제하기 위해 이용하고 있는 대표적인 방법으로는 시비제(인공비료) 방법이며 김 황백화 발생을 완화시킬 수 있다고 알려져 있음. 하지만 김 양식업을 하고 있는 어민들에게 육체적, 경제적인 측면에서 큰 부담을 줄 수 있음.
- 한편 시비제를 이용할 때 적당한 양(질소 성분은 해수 1톤당 0.15g 정도 필요)을 초과하여 사용을 할 경우 김에 흡수되지 않고 바다에 희석되어 김 이외의 규조류 또는 파래와 같은 경쟁자에 흡수되어 오히려 어장의 부영양화를 초래 할 수 있고 또 다른 2차적인 환경문제를 일으킬 수도 있음.

- 따라서 이를 해결하기 위해 육상에 위치하고 있는 기초 환경시설인 하수종말처리장 방류수를 활용한 방안을 제안함. 즉 현재 하수종말처리장에서 처리된 방류수 중 영양염류(질소, 인)의 농도를 평상시(봄~가을)에는 방류수질 기준(TN: 20mg/L, TP: 2mg/L)의 약 50% 농도인 10mg/L(총질소), 1mg/L(총인)으로 방류하고 있지만, 김 성장 및 생산시기인 계절(겨울~봄)철에는 그 농도를 방류수질 기준과 비교해서 총질소는 75~90%정도인 15~18mg/L, 총인은 50~90%인 1~1.8mg/L로 조정해 김 양식장으로 방류를 함으로써 김이 필요로 하는 영양염류를 공급하는 방안을 제안하고자 함.
- 이를 위해서는 방류지역의 이해관계자가 요구하는 증가 방류량 및 해당 영양염류를 증가시키기 위한 운전방법, 기존 수 처리 시설의 통상 운전방식을 바탕으로 한 운전(질화 제어, 탈질 제어, 인 제어)이 가능 여부 등 본 운영을 하기 위해서는 검토가 충분하지 않으므로 본 연구에서는 이러한 실정을 감안하여 각 이해당사자간의 서로 협의와 논의를 통해 하수종말처리장 방류수 활용 도입 검토를 위한 단계별 프로세스를 제안하였음.



2. 정책제언

- 현재 충청남도에서 실시하고 있는 서해안 연안 모니터링 조사를 바탕으로 서해안 주요 영양염류(질소, 인)농도 감소에 대한 연도별 변화 추이를 제시하고 있어 서해안 환경변화에 적극적으로 대처하고 있음. 이러한 움직임을 바탕으로 김 황백화 문제를 포함한 서해안 영양염류 감소 문제 해결을 위한 지속가능하고 풍요로운 해역을 만들기 위해 종합적인 연안유역 관리 방안 모색이 필요함.
- 본 연구에서는 김 황백화 발생을 억제 및 완화 시킬 수 있는 하수종말처리장 방류수 활용에 관한 방안을 제안하였으며, 이를 위해 이론적 근거 및 이해 당사자간의 협의절차가 미비한 점을 보완하기 위해 도입 프로세스 절차를 제안하고 이에 따라 명확한 근거와 협의 과정이 추가로 필요함.
- 이를 위해서는 현재 연안으로 방류하고 있는 하수종말처리장에 있어서 계절별 농도 변화 가능성에 관한 좀 더 구체적인 조사가 필요함.
- 특히 하수종말처리장 방류수인 경우, 영양염류(질소 또는 인) 농도를 높여 방류하므로 이에 따른 주변 환경에 대한 영향 및 피해가 있을 수 있으므로 환경영향조사와 더불어 하수종말처리장 방류수로부터 방류된 영양염류가 실제 김 양식장으로 이동해 김 성장에 미칠 수 있는 농도로 영향을 줄 수 있는지에 대한 정확하고 명확한 데이터 확보를 위한 수질 확산 모니터링 조사가 필요함.
- 게다가, 이러한 추가적인 환경영향조사 및 모니터링 연구를 통해 안정적이고 지속가능하게 하수종말처리장 방류수를 활용할 수 있도록 근거를 마련할 필요성이 있음.

- 이를 위해서는 육상에 위치한 기초 환경시설 방류수 활용에 대한 이론적 근거 및 이해당사자 간의 협의절차가 미비함으로 방류 허용 기준 제정절차를 구체화 하고 이에 따라 명확한 근거와 협의 과정이 추가로 필요함.
- 추가적으로 신기후변화에 따른 이상기온의 영향으로 서해안 연안은 타 지역보다 수온상승이 빠르게 진행되고 있음. 이러한 연안 환경 변화(수온 상승 및 염분 저하)는 김 양식장 내 김 성장 및 생산에도 큰 피해를 줄 수 있기 때문에 이에 대한 준비도 필요함.

참고문헌





참고문헌

- 국가하수도정보시스템. 2015년 및 2016년 하수도통계
- 국립수산물과학원. 2011. 2011년 김양식어장 모니터링 조사 관련 도(시)업무
- 국립수산물과학원. 2011. 남·서해안에서의 해양생태계 변화에 따른 김 양식장 적정 수용량 등 조사
- 광주방송. 2017. 황백화 피해 입은 전남 김 생산량 회복 추세
- 협의회 발표자료
- 국립수산물과학원. 2015. 양식 김 황백화 원인 구명과 제어
- 서천군. 2010. 김 산업구조 개선 및 특성화 방안
- 아시아 경제. 2016. 울거울 김·미역 양식 왜 이러나: 황백화 현상 발생
- 인터넷 문서. http://sws.kunsan.ac.kr/?page_id=26
- 충청남도. 2016. 서해안 연안환경측정망 모니터링 연구용역
- 충청남도. 2016. 충남 연안 및 하구 생태복원방안
- 충청남도. 2016. 3농 혁신대학 「김 산업발전」 과정 책자
- 충청씨그랜트센터. 2016. 해양환경 및 생태, 연안재해, 해양관광활성화 관련 연구사업 유인물
- 충남연구원. 2014. 충청남도 하구 현황 및 생태복원 방안 연구
- 한국해양수산개발원. 1999. 김 양식어업 발전을 위한 정책방향
- 해양수산부. 2015. 한눈에 보는 우리의 연안

- 홍선기, 김재은. 2007. 숲-하천-바다의 생태적 순환과 네트워크. 도서문화
- 國土交通省水管理・國土保全局下水道部. 2015. 下水放流水に含まれる栄養塩類の能動的な管理のための運転方法に係る手順書(案).
- 村上哲生 等, 2000. 河口堰

연구책임 | 신우석 기후변화대응연구센터 책임연구원
연구참여 | 윤종주 기후변화대응연구센터 책임연구원
윤영관 기후변화대응연구센터 연구원

정책지원과제(기후변화) 2017-06
서해안 영양염류(김 황백화) 관리방안 연구

발행일 : 2017년 5월

발행인 : 충남연구원장

발행처 : 충남연구원 서해안기후환경연구소

(32258) 충청남도 홍성군 홍북면 홍예로 360

홈페이지 www.cni.re.kr / www.shari.re.kr

발간등록번호 : -
