



저작자표시-동일조건변경허락 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.
- 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



동일조건변경허락. 귀하가 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공했을 경우에는, 이 저작물과 동일한 이용허락조건하에서만 배포할 수 있습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사 학위논문

김 양식장 해역의 물질수지 및 적정
수용량 산정



2012 년 8 월

부 경 대 학 교 대 학 원

생 태 공 학 과

박 지 혜

공학석사 학위논문

김 양식장 해역의 물질수지 및 적정
수용량 산정



2012 년 8 월

부 경 대 학 교 대 학 원

생 태 공 학 과

박 지 혜

朴址棼의 工學碩士 學位論文을 認准함.

2012 년 8 월



주 심 수산학박사 최 창 근 ㉠

위 원 공학박사 김 동 명 ㉠

위 원 공학박사 이 석 모 ㉠

목 차

I. 서론	1
II. 이론적 배경	4
1. 김 양식 현황 및 김 양식 과정	4
1.1. 우리 나라 김 양식 현황	4
1.2. 양식 김의 성장과 영양염 이용	7
2. 물질 수지	11
III. 재료 및 방법	13
1. 대상해역	13
2. 양식 김의 생태조사	15
2.1. 성장률조사	15
2.2. 엽체 성분 조사	15
3. 물질 수지 산정	16
4. 적정 수용량 산정	19
IV. 결과 및 고찰	20
1. 대상 해역의 특성	20
2. 양식 김의 생태	21
2.1. 성장률	21
2.2. 엽체 성분	22
2.3. 국내외 연구비교	23

3. 김 양식장 물질수지 산정	25
3.1. 육상에서의 영양염 유입	25
3.2. 조류소통에 의한 영양염 유출입	29
3.3. 생산량과의 비교	33
4. 김 양식장의 적정 수용량 산정	38
V. 결론	40
참고문헌	43



표 목 차

Table 2.	Production of coastal aquaculture in Korea (M/T)	6
Table 3.1.	Geomorphological data of Jindo-Haenam	14
Table 3.2.	The list of acronyms and definitions for budget estimation	18
Table 4.1.	Salinity, DIN, DIP concentration of offshore and <i>Porphyra</i> farm	21
Table 4.2.	Characteristic of <i>Porphyra</i> in Haenam <i>Porphyra</i> farm	22
Table 4.3.	Contents of Carbon, Nitrogen, Phosphate in <i>Porphyra</i> (mg/g dry wt.)	23
Table 4.4.	Comparison between other study of C, N, P ratio in seaweed (molar ratio)	24
Table 4.5.	Load input TN and TP in Jindo-Haenam <i>Porphyra</i> farm (kg/month)	26
Table 4.6.	Nutrient data in Gangjin, Gunwoe and Tamjin river	27
Table 4.7.	Load input DIN and DIP in Jindo-Haenam <i>Porphyra</i> farm (kg/month)	28
Table 4.8.	Geomorphological data	29
Table 4.9.	DIN flux by water exchange	30
Table 4.10.	DIP flux by water exchange	30
Table 4.11.	Yields of <i>Porphyra</i> in Jindo-Haenam <i>Porphyra</i> farm	33
Table 4.12.	Contents of chemical elements in <i>Porphyra</i> in Jindo-Haenam <i>Porphyra</i> farm (kg)	34

Table 4.14. Nutrients variance for 2 months in Jindo-Haenam <i>Porphyra</i> farm	35
Table 4.14. Comparison results between mass balance and <i>Porphyra</i> contents in Jindo-Haenam <i>Porphyra</i> farm	35
Table 4.15. DIN, DIP concentration of system and minimum required concentration	38
Table 4.16. Additional harvestable nutrients and <i>Porphyra</i> for 2 months (kg)	39

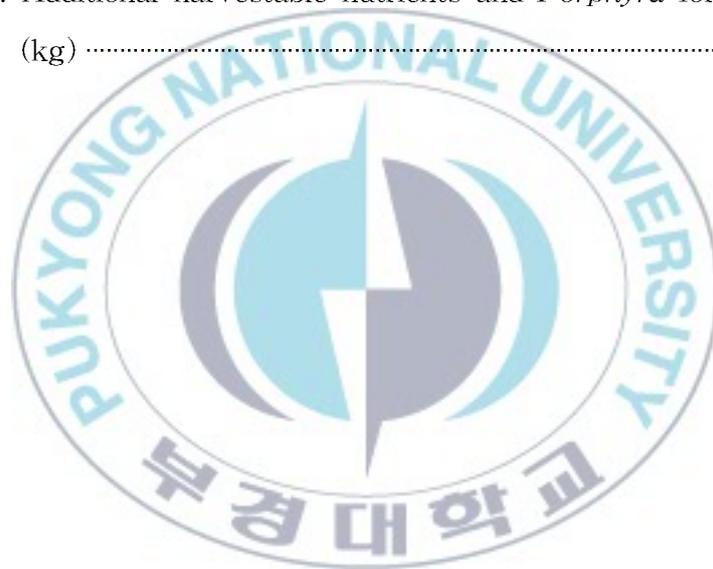


그림 목 차

Fig. 2.1. Diagram of amount and prices of exported <i>Porphyra</i> in Korea.	4
Fig. 2.2. Life cycle of cultivated <i>Porphyra</i>	7
Fig. 2.3. Annual average nutrients concentration for 5 years, Jindo coast.	10
Fig. 2.4. DIN, DIP anomaly for 10 years, Feb., Jindo coast.	10
Fig. 2.5. DIN, DIP anomaly for 10 years, Nov., Jindo coast.	10
Fig. 2.6. Conceptual diagram of simple box model(Gorden <i>et al.</i> , 1996, modified).	12
Fig. 3.1. Study area.	14
Fig. 3.2. Sampling site(□: box boundary, ✕: <i>Porphyra</i> farm, ▲: offshore).	16
Fig. 4.1. Input and output DIN flux for each month in <i>Porphyra</i> farm.	31
Fig. 4.2. Input and output DIP flux for each month in <i>Porphyra</i> farm.	32
Fig. 4.3. Nutrients balance for 2 months in <i>Porphyra</i> farm.	37

Estimation of Mass balance and Carrying Capacity in *Porphyra* Farm

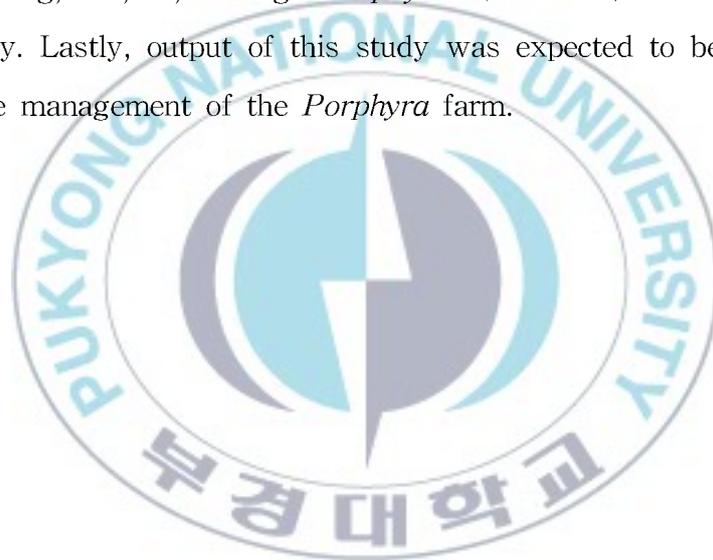
Jihye Park

Department of Ecological Engineering, The Graduate School,
Pukyong National University

Abstract

Seaweed aquaculture is very important industry in Korea for last decade, counted for over 70% supplying the total coastal aquaculture production. Seaweed is a favorite food in Korea, the attention to the seaweed has intensely increased especially when it has worldwide known as one of solution for carbon dioxide increments. Jeolla-namdo has known as the largest *Porphyra* farm in Korea, however recently there have some problem while the farm facility has increased but production have remain in the same number. This condition represents the decrement on productivity yet study was not performed since 1990's in this area. Some references reported that decrement on productivity was caused by low nutrient and the effect of excessive on farm facility. Therefore this study has conducted to estimate mass balance using simple box model. The result of this study shows that calculated N, P value contained in *Porphyra* production harvested was 201,558 kg for N, 36,012 kg for P and

estimated from mass balance was 342,601 kg N, 38,295 kg P during 2 months (Jan.~Feb.), respectively, at Jindo-Haenam, a part of Jeolla-namdo. These studies also performed the estimation of nutrients harvest and *Porphyra* by calculating the concentration of nutrient inside the farm system comparing the minimum required nutrient for *Porphyra* cultivation. The results of additional harvestable nutrients were 82,719 kg for N, 11,242 kg for P and estimation maximum *Porphyra* production was 34,481,407 kg, 32,079,962 kg *Porphyra* (wet wt.) for 2 months, respectively. Lastly, output of this study was expected to be used as a sustainable management of the *Porphyra* farm.



I. 서론

우리나라 국민의 기호식품인 해조류는 수요에 충족하기 위하여 양식 산업으로 발전하였다. 해조류 양식은 2006년 이후 급격한 성장을 하여 2011년 기준, 천해양식 생산량의 70%인 99만 M/T의 생산량과 4천억에 가까운 생산 금액(농림수산식품부, 2011)을 차지하는 중요한 양식 산업이다.

해조류 중 김(*Porphyra*)은 염분적응성이 강하여 해조류 중 가장 넓게 분포하고 있으며 세계적으로 약 50여종, 우리나라에는 16여종이 있고, 대표 종으로는 참김, 방사무늬김 등이 있다.

또한 우리나라 김 양식 역사는 600여 년으로 알려져 있으며, 1980년대부터 인공 채묘, 부유식 양식, 가공처리의 기계화 등 기술 개발로 김 양식어장이 외해로 확대되고 생산량이 급격히 증가하였다. 김 생산량은 입지 조건이 우수하여 김 양식의 최적지로 평가받고 있는 전라남도에서 80% 이상이 생산되고 있다. 강진군, 완도군, 진도군, 해남군 등 대부분의 전라남도 해역에서 김을 양식하고 있으며 이 중에서도 진도군과 해남군 사이의 해역에서 가장 많은 양의 김이 양식되고 있으며 이 해역은 수심이 낮고 조류차가 커 조류소통으로 인한 많은 영양염이 양식장 내로 유입할 것으로 판단된다.(국립수산과학원, 2011; 한국해양수산개발원, 2011)

하지만 우리나라 김 양식은 과잉생산과, 장기 연작으로 인한 어장의 노후화, 어장환경의 생산능력을 무시한 과다시설 등으로 인한 생산성이 저하되는 문제가 있다. 실제로 최근 5년간 남서해안의 일부 해역에서 시설량은 증가한 반면 책당 생산량은 오히려 감소하고 있다(국립수산과학원, 2011).

일본의 경우, Ariake 해역은 가장 풍부한 수산물 생산이 이루어졌으며, 김

양식장으로 가장 유명한 해역이었다. 하지만 1984년 이래로 감소하기 시작하여, 생산량이 가장 높은 1976년에 13.4 백만 M/T에서 1999년에 79 M/T로 급격히 감소하였다(Hang *et al.*, 2009).

이러한 김 양식장 해역의 생산성 감소의 원인으로서는 영양염의 부족 외에도 (Tada *et al.*, 2010), 장기적인 수온 상승(김 등, 2004), 과다시설(홍, 2000; 한국해양수산개발원, 2011) 등으로 보고되고 있다. 하지만 국내에서는 김 양식장 해역의 환경조사가 1970년대부터 1990년대 초반(강과 고, 1972; 송 등, 1987; 김 등, 1992)까지는 이루어졌으나 그 이후 연구가 거의 수행된 바 없다. 또한 시설량에 관한 연구는 위성영상 분석(양과 박, 2006; 조, 2011), 대단위 관리체제 구축(해양수산부, 2006) 등이 있었으나 김의 생태적 특성에 맞는 적정 시설량을 제안하지는 못하였다.

국제 어업질서의 추이는 생산 위주의 수산경제에서 자연 생태환경과 조화를 이루는 자원개발과 이용에 역점을 두고 있다(홍 등, 2000). 인공생태계인 김 양식장에서는 생태학적 건전 수확이 연안 해역의 환경과 조화를 이루는 지속가능한 양식을 가능하게 한다. 이를 위해서는 우선적으로 김 양식장 해역의 기초자료를 구축하기 위해서 물질수지 산정이 필요하다고 판단된다.

물질수지는 하천 및 하구해역에서 복잡한 생물과정과 물리, 화학적인 변동을 정확히 재현하고 예측하기가 어렵기 때문에 전체의 과정을 단순화시킨 물질 수지 산정을 통해 물질의 유·출입을 고려하는 접근 방법이 매우 효율적이다. 또한 모든 개개의 과정을 거시적으로 포괄함으로써 양적인 흐름을 전체적으로 파악할 수 있는 장점을 가진다(Gordon *et al.*, 1996).

최근에는 LOICZ(Land-Ocean Interaction in Coastal Zone)에서 연안환경에 대한 상태를 정량적으로 예측하기 위해 불확실한 항을 감소시킨다는 목적으로 연안역 물질 flux 또는 물질수송에 관한 연구를 수행하여(Gordon *et al.*, 1996) 생지화학 박스모델(Biogeochemical box Model)을 개발하였다. 동

중국해(Smith, 1996), 동경만, 이세만, 오사카만(Smith and Yanagi, 1997), 낙동강 하구해역(홍 등, 2000), 금강 하구해역(김 등, 2000), 마산만(홍 등, 2007) 등 전 세계 하구해역에서 박스모델을 적용하여 물질수지를 산정하였다.

또한 해조류에 관한 물질수지 연구는 Mangrove가 우세한 해역(Ngusaru and Mohammed, 2002; Wosten *et al.*, 2003; Wepener, 2007), Ulva가 우세한 해역(Giordani *et al.*, 2008) 등에서 수행되었다.

일본에서는 수치모델을 통한 Ariake 해역의 식물플랑크톤과 김의 영양염 섭취 경쟁관계(Hang *et al.*, 2009) 등의 연구가 있지만 우리나라 김 양식장의 물질수지 산정 연구는 수행된 바 없다.

따라서 본 연구에서는 국내 최대 김 생산 해역인 진도~해남에서 박스모델을 이용하여 김 생산과 관련한 물질 수지를 산정하고자 한다. 물질 수지 산정의 결과를 통하여 대상 해역의 제한인자와 같은 해역 특성을 파악하고, 더 나아가 본 해역에 맞는 김의 적정수용량을 산정하고자 한다.

II. 이론적 배경

1. 김 양식 현황 및 김 양식 과정

1.1. 우리나라 김 양식 현황

우리나라 천해양식 중 생산량의 70% 이상이 해조류 양식으로 연간 918,497 M/T에 달하며, 해조류 중 김의 생산량은 연간 241,542 M/T로 해조류의 36%를 차지하고, 생산금액으로는 연간 대략 1,500억 원으로 65%를 차지하는 중요한 양식산업이다(농림수산식품부, 2011).

또한 김은 국내 수요 외에도 중요한 수출품목으로 2001년에 6,348 M/T가 미국, 일본 등으로 수출되었고 2011년에는 11,964 M/T로 약 2배정도 수출량이 증가하였고, 수출금액은 약 1억 6천 달러에 달한다(Fig. 2.1).

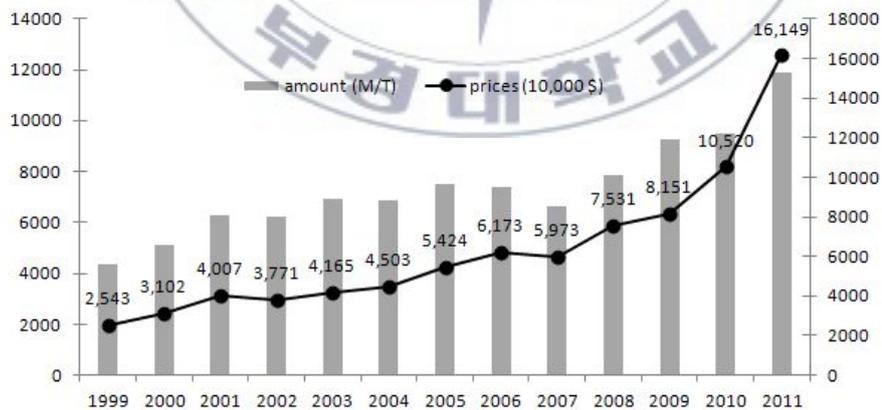


Fig. 2.1. Diagram of amount and prices of exported *Porphyra* in Korea.

김 생산의 역사는 조선시대 초기로 추정되며 1980년대 이후 자동건조기의 보급과 1990년대 이후의 조미기술로 인하여 생산량이 증가하여(한국해양수산개발원, 2011), 1980년과 비교하였을 때 생산량은 562% 증가하였다(Table 2; 수산정보포털, 2011).



Table 2. Production of coastal aquaculture in Korea (M/T)

	coastal aquaculture	seaweed	<i>Porphyra</i>
1980	-	-	56,274
1985	-	-	109,819
1990	772,731	411,869	97,637
1991	775,419	445,626	143,945
1992	935,478	579,963	163,555
1993	1,038,119	664,318	235,272
1994	1,072,126	750,197	269,581
1995	996,451	649,099	192,960
1996	874,810	538,990	166,199
1997	1,015,134	647,843	140,236
1998	777,230	469,769	191,578
1999	765,252	473,672	205,706
2000	653,373	374,456	130,488
2001	655,827	373,538	167,909
2002	781,519	497,557	209,995
2003	826,245	452,054	193,553
2004	917,715	536,748	228,554
2005	1,041,074	621,156	197,610
2006	1,259,274	764,913	217,559
2007	1,385,804	792,953	210,956
2008	1,381,003	921,024	224,242
2009	1,313,355	858,659	211,444
2010	1,355,000	901,672	235,534
2011	1,477,546	992,283	316,428
1980(1990) : 2011	(191%)	(241%)	562%

1.2 양식 김의 성장과 영양염 이용

국내에서 주로 양식하는 김은 일반김류로 참김, 방사무늬김, 대엽김이 있으며, 돌김류로는 잇바디돌김, 모무늬돌김, 둥근 돌김 등이 있다. 일반적으로 4월~9월이 배양기간, 9월~이듬해 4월까지가 양식기간이다(Fig. 2.2). 과거에 우리나라에서는 자연 채묘를 하였지만 인공 채묘의 기술이 발달함에 따라 종묘생산이 안정적으로 이루어지게 되었다. 사상체는 12월~3월에 배양이 시작되며, 최성기의 김을 사용하여 과포자를 받아 굴껍데기에 과포자액을 투입하여 가을까지 사상체를 성장시킨 후, 해수 유동이 큰 대조시에 채묘한다. 양식방법은 지주(말목)식 양식과 부유식(뜯흠림발)양식이 있으며, 현재 전라남도 대부분이 부유식 양식을 하고 있다.



Fig. 2.2. Life cycle of cultivated *Porphyra*.

김은 광합성과 해수 중의 영양염을 섭취하면서 성장한다. 이러한 영양염은 질산염, 아질산염, 암모니아, 인산염 등 용존무기질소(DIN) 및 용존무기인(DIP)의 형태로 김이 흡수한다. 또한 국내외로 김과 같은 해조류와 영양염의 관계에 관한 연구(Thomas, 1985; Harrison, 1986; Kang, 2009)가 많이 수행

되어져왔다.

인은 해양식물의 생장에 필수 불가결한 영양염류로 육지와 해양 자체 내에 서도 공급, 즉 강우에 의한 담수유입, 생활하수 및 해수의 수직혼합에 의한 저층 퇴적물로부터 용출이 있을 때 증가하고, 동·식물성 부유생물의 번식에 의해 소비된다(오, 1991; 송과 정, 1999). 또한 색소결핍 등 김 양식장의 황백화 현상과도 관련되어졌다고 알려진 질소와 영양염의 관계에 관한 연구(Hein, 1995; Pedersen *et al.*, 2004; Raikar, 2006; Lepoint *et al.*, 2007; Padhi *et al.*, 2010)역시 활발하다. 이는 최근 해역의 부영양화와 이산화탄소 저감 대책 방안으로 해조류가 많이 떠오르고 있기 때문으로 판단된다.

김의 성장에 필요한 최소농도는 질산염은 0.07 mg/L, 인산염은 0.007 mg/L으로 알려져 있으며(일본수산용수기준, 2000), 김이 정상으로 성장하는데 필요한 질소 요구량은 김 건조 중량의 5.5~7.0%이고, 최소 요구량 및 절대 필요량은 각각 4~5 %, 1.2~1.3%로 알려져 있다. 또한 김도 다른 해조류와 같이 암모늄이나 질산염을 다 흡수할 수 있으나 비교적 암모니아 질소의 흡수가 빠르다. 인은 특히 초기 성장에 중요하나 질소만큼 많은 양을 필요로 하지 않으며, 김의 인 함유량은 변동이 심하나 절대 필요량은 김 건조 중량의 0.07~0.08%라 하며 김은 광합성과는 관련 없이 암소에서 무기상태의 인을 흡수한다(강과 고, 1977).

국립수산과학원 측정망 보고서에 따른 DIN, DIP 농도를 토대로 진도~해남 해역에서의 장기간에 걸친 영양염 농도변화를 살펴본 결과는 다음과 같다(국립수산과학원, 2006~2010). 진도연안 st.3은 해남 송지면 김 양식장 해역 부근이며, 진도연안 st.2는 해남 황산면 김 양식장 해역 부근이다.

최근 5년 동안 연평균 DIN은 2006년 진도연안 st.3(진도연안 st.2)에서 0.163 mg/L(0.242 mg/L)의 농도를 나타내었으나 2010년에는 0.063 mg/L(0.089 mg/L)로 감소하였다. 연평균 DIP 또한 2006년 0.023 mg/L(0.019

mg/L)의 농도를 나타내었으나 2010년에는 0.008 mg/L(0.010 mg/L)로 감소하였다. 2010년의 영양염 농도는 김의 성장에 필요한 최소농도에 거의 가깝다(Fig. 2.3).

김이 주로 성장하는 시기는 11월~3월이며, 측정망 보고서에 보고된 자료로, 조사시점인 2월, 5월, 8월, 11월 중 2월(Fig. 2.4)과 11월(Fig. 2.5)을 선택하여 10년간(2001~2010) 영양염 anomaly를 보았다. 두 정점에서 비슷한 양상을 보였으며, DIN은 2007년에 가장 높은 농도를 보인 이후로 연속적으로 감소하고 있으며, DIP는 2006년 가장 높은 농도를 보였으며 2008년 가장 낮은 양상을 보였으나 2009년에는 양의 값을 보였으나 2010년 다시 감소하였다.



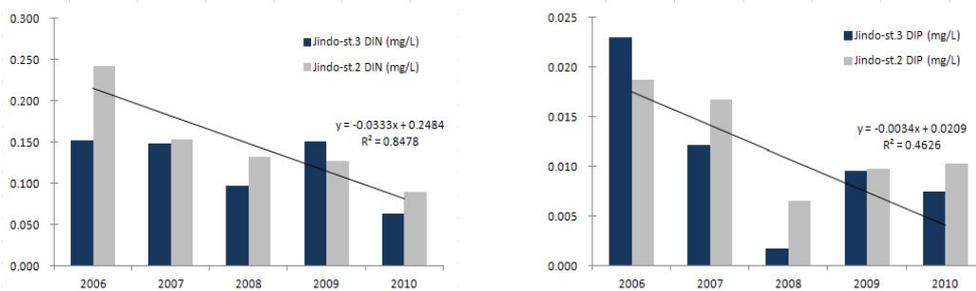


Fig. 2.3. Annual average nutrients concentration for 5 years, Jindo coast.

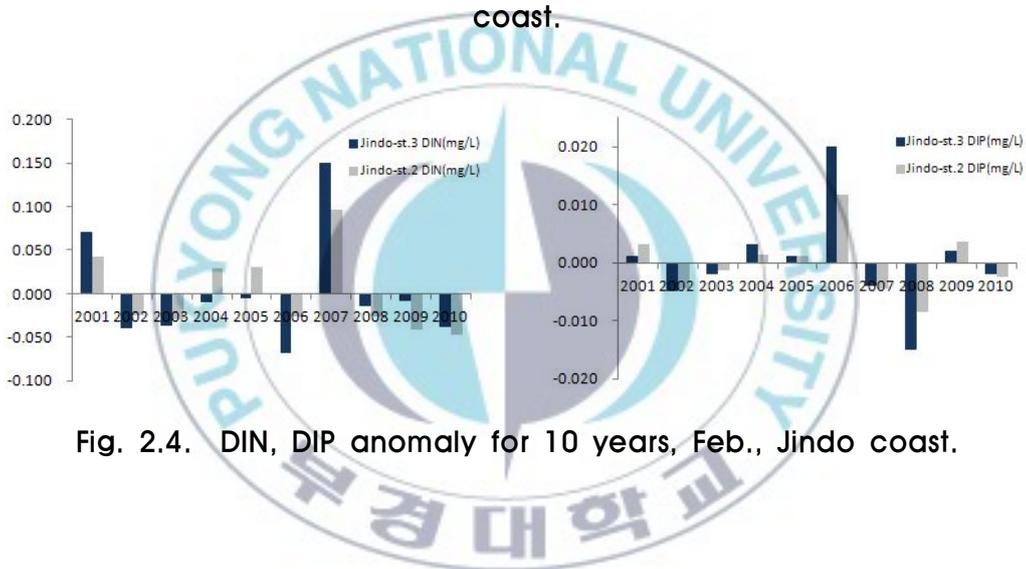


Fig. 2.4. DIN, DIP anomaly for 10 years, Feb., Jindo coast.

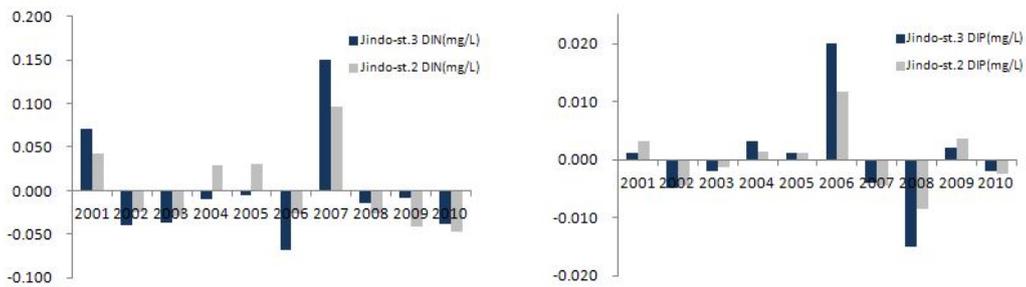


Fig. 2.5. DIN, DIP anomaly for 10 years, Nov., Jindo coast.

2. 물질수지

수지모델(Budget model)은 대상 인자의 물질수지를 계산하기 위해서 일정 기간 동안 대상해역의 시스템구간 해역 내 실측자료를 이용하여 물질 유입 flux와 유출flux를 구하고 그 결과를 해석하여 대상해역에서의 물질의 순환 및 이동특성을 밝히는데 이용할 수 있다. 즉, 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$\frac{dM}{dt} = \sum \text{inputs} - \sum \text{outputs} + \sum [\text{sources} - \text{sinks}] \quad (1)$$

시간에 따른 물질의 변화량은 식(1)과 같이 단순화할 수 있다. 물질수지 모델은 대상물질의 유·출입을 직접적으로 관찰하고 거동을 표현하는 것이 아니므로 대상해역 내부에서의 물질순환과 이송과정을 밝힐 수 없다. 그러나 개방경계를 통한 물질의 유·출입 flux를 알면 시스템 내부해역에서의 물질의 물리, 화학 및 생물학적 과정의 결과를 추정하는 것은 가능하다.

따라서 모델의 단순화 작업을 통하여 시스템 내의 반응을 하나의 total reaction으로 보고 물질의 변환을 해석함으로써 차후 복잡한 구조를 가진 생태계로의 접근이 용이해진다. Gorden 등(1996)에 의한 박스모델의 개념도는 Fig. 2.6.과 같다.

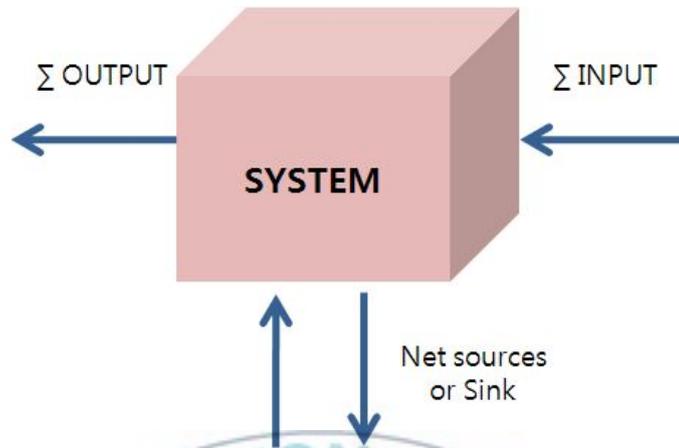
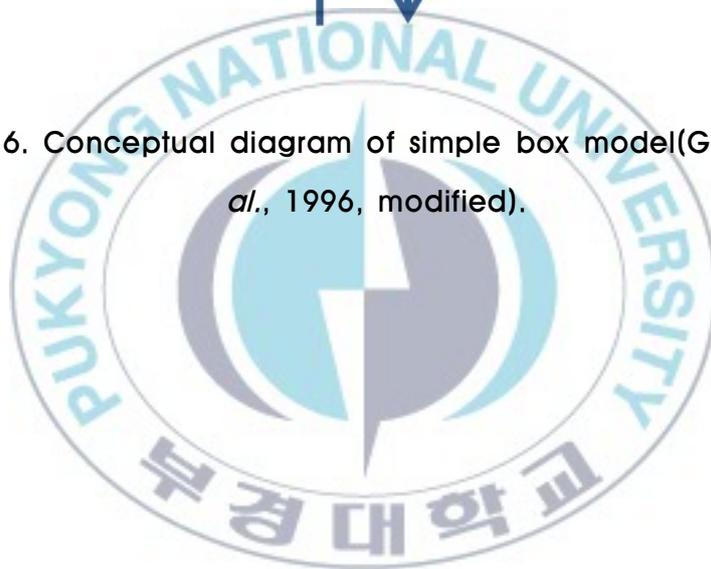


Fig. 2.6. Conceptual diagram of simple box model(Gorden *et al.*, 1996, modified).



Ⅲ. 재료 및 방법

1. 대상해역

전라남도는 2011년 기준, 우리나라 천해양식의 64%인 938,365 M/T, 해조류는 89%인 878,445 M/T가 생산되었으며 특히 김은 전국의 81%인 256,986 M/T가 전라남도에서 생산(농림수산식품부, 2011)되는 등 우리나라에서 가장 많은 양식이 이루어지고 있으며, 청정해역으로 양식의 최적지로 평가받고 있다. 특히 해남군, 완도군, 진도군, 고흥군, 신안군 등에서 김 양식이 활발하여 생산량이 높다. 이 양식해역 중 강진군은 1,100 M/T, 해남군은 45,864 M/T, 완도군은 35,140 M/T, 진도군은 31,637 M/T가 생산되어 해남군에서 가장 생산량이 많다. 또한 해남은 일반 김류로는 방사무늬김, 돌김류로는 모무늬돌김과 잇바디돌김을 양식하며, 진도 역시 일반 김류로는 방사무늬김, 돌김류로는 둥근돌김과 잇바디돌김을 양식한다. 해남 김 양식장 해역은 위치상 진도 김 양식장 해역과 같은 해역으로, 본 연구에서는 진도~해남 해역을 연구 지역으로 선정하였다(Fig. 3.1).

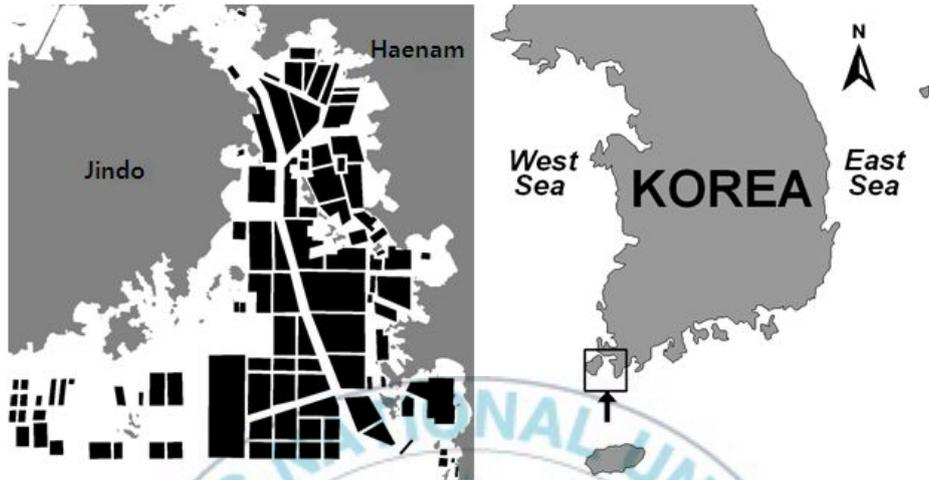


Fig. 3.1. Study area.

이 해역의 면적은 Arc GIS를 이용하여 산정한 결과, 196,412,492 m²이었으며 평균 수심은 8.09 m로 용적은 1,588,977,060 m³로 산정되었다. 전라남도 해양수산과학원 보고서에 따른 양식장 면적은 해남군 7,806 ha, 진도군 10,862 ha로 총 18,667 ha이다. 또한 시설(2.2m×40m)량은 231,835 책으로 대부분 부유식 양식으로 생산되고 있다(Table 3.1.; 국립수산과학원, 2011).

Table 3.1. Geomorphological data of Jindo-Haenam

Area	Average depth	Volume	Facility
m ²	m	m ³	m ²
196,412,492	8.09	1,588,977,060	20,401,480

수질환경조사방법은 다음과 같다. 시스템 내부는 2개의 정점의 값을 토대로 평균값을 이용하였고, 외해는 김 양식이 이루어 지지 않는 대조구 정점을 선정해 측정하였다. 환경조사 항목중 염분은 CTD(Sea bird 19)와 다기능 수질측정기(YSI-6000)를 이용하여 측정하였고, 영양염류(Nutrients)는 용존 암모니아성 질소, 아질산성 질소, 질산성 질소(DIN), 인산성 인(DIP) 항목을 해양환경공정시험법(국토해양부, 2010)의 방법에 따라 영양염 자동분석기(Bran+Lubbe, Seal Analytical)를 사용하여 측정하였다.

2. 양식 김의 생태조사

2.1. 성장률 조사

해남 지역 김 양식장(송지면 내장지선)의 김밭에서 가장 성장이 양호한 부위 가운데 일정 부위를 절단한 후 성장이 양호한 20개체를 선별 채취하여 전체 양식 순기동안 연속 조사하였다. 조사 항목은 엽장, 엽폭, 습중량, 건중량 등이다. 양식된 김의 생산량 자료와 물질수지를 비교하여 적정 시설량을 산정하기 위해 해남 지역 양식 순기인 2010년 11월 12일부터 2011년 3월 31일까지 5회 채취되어 엽장, 습중량, 건중량 등 김의 성장도를 조사하였다.

2.2. 엽체 성분 조사

김의 엽체에 존재하는 탄소, 질소, 인의 함량을 분석하기 위하여 전 양식 순기 동안 김 엽체의 탄소, 질소 함량은 해양공정시험법(국토해양부, 2010)을 기준으로 하여 CHN analyzer(Thermo Finnigan, Flash EA 1112 elemental

analyzer)로 분석하였다.

또한 인 함량 분석은 김의 엽장이 20cm 이상으로 성장하여 수확이 가능한 시기의 김 엽체를 선택하여 분석하였다. 인의 분석방법은 건조된 김 시료가 든 60 ml Teflon tube에 5% 과황산칼륨(산화제)과 (1+1)황산을 각각 5 ml씩 넣어 유리막대를 이용하여 잘게 부수어 Auto clave에서 131°C, 2 atm에서 1 시간 동안 쪄 후, 방냉하여 해양공정시험법(국토해양부, 2010) 인산인 분석법에 맞추어 발색시약을 첨가한 후 885nm 파장에서 흡광도를 측정하였다.

3. 물질수지 산정

Box 범위는 생산량이 가장 많고 시설밀도가 가장 높은 전라남도 진도-해남 해역의 김양식장(34°17' 37.67" ~ 34°32' 33.86", 126°17' 22.65" ~ 126°31' 19.73")을 연구지역의 box로 선정하였다(Fig. 3.2).

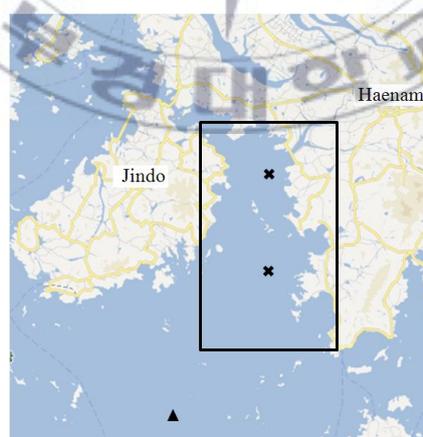


Fig. 3.2. sampling site(□: box boundary, x: *Porphyra* farm, ▲: offshore).

일반적으로 박스모델은 육지로 싸인 폐쇄성 만과 외해와의 상호작용을 통한 물질수지를 산정하는 것이지만 모델에 사용되는 수식 등 물질수지 산정 방법은 조건에 따라 변경될 수 있다. 본 대상 해역은 육상 유입이 있지만 외양과 단절되지 않고 조류소통으로 인한 교환이 이루어지는 해역이다. 따라서 물수지, 염분수지에 따른 영양염 수지 산정하는 방법을 이용하지 않고, 육상 기인 영양염 유입과 조류소통에 의한 영양염 유출입을 고려한 영양염 수지를 산정하였다.

일반적으로 모델에 사용되는 육상 부하 자료는 해역으로 유입되는 하천의 말단부에서 유량과 수질을 관측하여 산정한 유달부하량을 사용한다. 하지만 본 연구지역인 진도~해남 해역으로 유입되는 육역의 하천은 대부분이 소천이거나 건천이고, 수많은 수산물 가공공장과 축산농가의 비점원 오염원을 전수 조사하기는 불가능하여 연안오염총량관리 기술지침(2006)에 따라 2010년까지의 해당 지역의 오염원 자료를 분석하여 원단위법을 이용한 배출부하량으로 산정하였다(Personal communication with E&WIZ; 국립수산과학원, 2011).

외해의 조류소통에 의한 영양염 유출입을 알기 위해서 시스템 북서쪽에 위치한 울돌목(명랑수도)의 자료를 이용하였다. 울돌목 부근 영양염 자료는 국립수산과학원 정선관측 자료(311-05)를 이용하였으며, 2008년부터 2010년까지 자료의 평균값을 이용하였고, 관측특성상 2개월 주기로 조사되었기 때문에 12월, 2월, 4월 자료를 1월, 2월, 3월 자료로 이용하였다.

Fig 3.2.는 진도~해남의 대부분 김 양식장이 포함된 시스템과, 시스템 내 2 정점 및 대조구 정점을 나타내었다. 시스템 내 2 정점에서 조사한 평균값을 시스템 자료로 이용하였다.

Table 3.2. The List of acronyms and definitions for budget estimation

	Unit	Description
A_{sys}	m^2	Area of the system
A_{Uld}	m^2	Area of the Uldolmok
D	m	Mean depth of the system
V_R	m/s	Residual currents speed around Uldolmok
V_{sys}	m^3	Volume of the system
V_1	$m^3/month$	Load influx of Jindo
V_2	$m^3/month$	Load influx of Haenam
V_X	$m^3/month$	Flux by water exchange
DIP_{ocn}	$mmol/m^3$	DIP concentration of offshore
DIP_{sys}	$mmol/m^3$	DIP concentration of the system
DIP_{1-p}	$mmol/m^3$	DIP concentration of input point source from Jindo
DIP_{2-p}	$mmol/m^3$	DIP concentration of input point source from Haenam
DIP_{1-n}	$mmol/m^3$	DIP concentration of input non-point source from Jindo
DIP_{2-n}	$mmol/m^3$	DIP concentration of input non-point source from Haenam
DIN_{ocn}	$mmol/m^3$	DIN concentration of offshore
DIN_{sys}	$mmol/m^3$	DIN concentration of the system
DIN_{1-p}	$mmol/m^3$	DIN concentration of input point source from Jindo
DIN_{2-p}	$mmol/m^3$	DIN concentration of input point source from Haenam
DIN_{1-n}	$mmol/m^3$	DIN concentration of input non-point source from Jindo
DIN_{2-n}	$mmol/m^3$	DIN concentration of input non-point source from Haenam
ΔDIP	$kg\ P/month$	Positive or negative changed internal DIP flux
ΔDIN	$kg\ N/month$	Positive or negative changed internal DIN flux

4. 적정수용량 산정

현재 김 양식장 내의 영양염 농도가 점차 감소하는 것은 양식장 내로 유입하는 영양염보다 더 많은 김을 생산할 때, 유입하는 영양염 외에 원래 양식장이 가지고 있는 영양염을 소모하면서 성장하기 때문이라고 판단하였다.

이론적 배경에서 설명하였듯이, 일본수산용수기준(2000)에 따른 김 양식장 해역의 최소요구 영양염 농도 아래로 영양염 농도가 감소할 경우 지속가능한 김 양식을 할 수가 없다.

따라서 본 연구에서의 적정수용량은 더 이상 양식장 내로 유입하는 영양염이 없을 때, 시스템이 가지고 있는 영양염으로 생산가능한 최대 김생산량을 의미한다. 산정 방법은 현재 시스템의 평균 농도와 양식장을 유지하기 위한 최소 영양염 농도와의 차이를 계산하고, 이 차이와 시스템의 용적을 곱하여 최종적으로 적정수용량을 산정하고자 한다.

IV. 결과 및 고찰

1. 대상 해역의 특성

대상 시스템, 그리고 이 시스템을 기준으로 북서방향에 위치한 울돌목과 남서방향에 위치한 대조구의 특성을 알아보았다.

시스템의 염분은 1월 33.16 psu, 2월 33.46 psu, 3월 33.29 psu로 나타났으며 대조구의 염분은 1월 33.33 psu, 2월 34.24 psu, 3월 34.15 psu로 나타났다. 시스템의 영양염 농도는 2개의 정점의 농도를 평균한 것으로, DIN은 1월 10.84 mmol/m³, 2월 8.21 mmol/m³, 3월 4.88 mmol/m³ 로 나타났고, DIP는 1월 0.56 mmol/m³, 2월 0.47 mmol/m³, 3월 0.24mmol/m³ 로 나타났다. 대조구의 DIN은 1월 12.14 mmol/m³, 2월 8.35 mmol/m³, 3월 6.74 mmol/m³ 로 나타났고, DIP은 1월 0.66 mmol/m³, 2월 0.49 mmol/m³, 3월 0.35 mmol/m³ 로 나타났다(Table 4.1).

김 양식이 가장 활발한 기간인 1~3월의 영양염 농도결과를 보면, 울돌목 부근에서는 비교적 김 양식의 영향이 적은 것으로 보이는 반면, 김 양식장 해역에서는 1월에서 3월로 갈수록 영양염이 감소하는 것을 알 수 있었다. 대조군은 김 양식은 하지 않지만, 김 양식에 의한 영향으로 인하여 영양염이 월별로 점차 감소한다는 것을 알 수 있었다.

Table 4.1 Salinity, DIN, DIP concentration of offshore and *Porphyra* farm

Item	Offshore			System			Uldolmok		
	Jan.	Feb.	Mar.	Jan.	Feb.	Mar.	Jan.	Feb.	Mar.
Salinity (psu)	33.33	34.24	34.15	33.16	33.46	33.29	32.67	32.71	32.62
DIN (mmol/m ³)	12.14	8.35	6.74	11.71	8.29	6.15	9.57	12.16	10.26
DIP (mmol/m ³)	0.66	0.49	0.35	0.59	0.48	0.30	0.78	0.85	1.00

2. 양식 김의 생태

2.1. 성장률

해남군 송지면 내장지선의 1회 채취는 2010년 11월 12일로, 엽장 22.9 cm, 엽폭 3.2 cm, 습중량 0.99 g, 건중량은 0.15 g로 함수율은 85%였다. 2회 채취는 2010년 12월 22일로, 엽장 14.9 cm, 엽폭 6.7cm, 습중량 1.11 g, 건중량 0.10 g, 함수율은 92%를 나타내었다. 3회 채취는 2011년 1월 11일로, 엽장 21.3 cm, 엽폭 6.5 cm, 습중량 2.01 g, 건중량 0.23 g, 함수율은 89%였다. 4회 채취는 2월 17일로, 엽장 23.0 cm, 엽폭 7.1 cm, 습중량 1.90 g, 건중량 0.23 g, 함수율은 88%를 나타내었다. 5회 채취는 3월 14일로, 엽장 23.6

cm, 엽폭 9.1 cm, 습중량 2.46 g, 건중량 0.31 g로 함유율은 87%였다(Table 4.2.; 국립수산물과학원, 2011).

대부분 수확시기의 김 엽체는 엽장이 20 cm이상이었으며, 함유율은 평균 88%로 나타났다.

Table 4.2. Characteristic of *Porphyra* in Haenam *Porphyra* farm

	Length	Width	Wet wt.	Dry wt.	Moisture content
	cm	cm	g	g	%
2010. 11. 12	22.9	3.2	0.99	0.15	85
2010. 12. 22	14.9	6.7	1.11	0.10	92
2011. 1. 11	21.3	6.5	2.01	0.23	89
2011. 2. 17	23.0	7.1	1.90	0.23	88
2011. 3. 14	23.6	9.1	2.46	0.3	87

2.2. 엽체 성분

해남 김 양식장 해역에서 1~3월에 수확시기에 채취한 김 엽체를 분석한 결과, 1월의 김 엽체 탄소(C) 농도는 278.6 mg/g dry wt., 질소(N) 농도는 85.5 mg/g dry wt., 인(P) 농도는 12.6 mg/g dry wt. 였다. 2월의 김 엽체 탄소 농도는 269.1 mg/g dry wt., 질소 농도는 71.3 mg/g dry wt., 인 농도는 13.0 mg/g dry wt.였으며, 3월의 김 엽체 탄소는 252.4 mg/g dry wt., 질소 농도는 56.8 mg/g dry wt., 인 농도는 12.6 mg/g dry wt.였다(Table 4.3).

Table 4.3 Contents of Carbon, Nitrogen, Phosphate in *Porphyra* (mg/g dry wt.)

	C	N	P
Jan.	278.6	85.5	12.6
Feb.	269.1	71.3	13.0
Mar.	252.4	56.8	12.6
Average	266.7	71.2	12.7

2.3. 국내외 연구결과와의 비교

*Giordani*는 Saccadi Goro lagoon의 *Ulva* bloom이 일어난 3월~7월에 물질 수지 산정을 위하여 *Ulva*의 C:N:P는 평균 335:35:1(Atkinson and Smith, 1983)를 적용하였다. Wosten은 Vietnam의 Red River Delta에서 mangrove 지역에서 물질 수지 산정을 위하여 mangrove의 C:N:P를 300:10:1을 적용하였다. 이 두 생물은 Redfield ratio인 106:16:1에 비하면 N, P를 비교적 적게 흡수하는 것으로 판단된다. 그에 비해, 본 연구에서 김 엽체를 분석한 결과는 mole비로 54:12:1이며 비교적 N, P를 많이 흡수하는 것을 알 수 있었다 (Table 4.4).

강과 고(1977)의 해조양식에 따르면, 질소는 김 건중량의 5%, 인은 0.2~0.8% 정도 함유되어 있으며, 인은 단독결핍은 거의 없으며 인이 김의 생물의 필수요소이기는 하지만 질소가 결핍되면 김 속의 인이 감소한다. 본 연구에서 질소는 전체 건중량의 7%, 인은 1% 함유되어 있다. 또한 다른 김에서 일반적인 화학 조성은 탄소 400 mg/g, 질소 20~70 mg/g, 인 3~7 mg/g으로

알려져 있으며, 본 연구에서는 평균적으로 탄소 267 mg/g dry wt, 질소 71 mg/g, 인 13 mg/g 으로 탄소에 비해 질소와 인의 함량이 높은 경향을 보였다. Hafting(1999)에서는 김 성장의 최적 N:P ratio는 13~15로 연구되었고, 본 연구에서의 N:P와 비교적 비슷한 ratio를 나타내었다.

대상 해역의 김 엽체 성분 조사 결과와 국내외 문헌의 김 N:P ratio와 비교하였을 때, 현재까지는 김의 최적조건과 비교적 일치한다. 따라서 N:P ratio로는 시스템에 영향을 미치는 제한인자를 판단하기에 어려움이 있기 때문에, 물질수지 산정을 통한 결과로 알아볼 수 있을 것으로 판단된다.

Table 4.4. Comparison between other study of C, N, P ratio in seaweed (molar ratio)

	C	N	P	Refereces
<i>Ulva</i>	335	35	1	Atkinson and Smith, 1983
Mangrove	300	10	1	Tri <i>et al.</i> , 1999
Phytoplankton	106	16	1	Redfield, 1958
<i>Porphyra</i>	22~52	1~10	1	Kang and Ko, 1977
	-	13~15	1	Hafting, 1999
	54	12	1	This study, 2012

3. 김 양식장의 물질수지 산정

3.1. 육상에서의 영양염 유입

육상에서 유입되는 영양염을 알기 위하여 시스템으로 유입되는 영양염을 산정하였다.

진도군과 해남군의 육상에서 발생된 부하량은 2010년까지의 자료를 토대로 산정되었으며, 발생 부하량(kg/day) 및 배출 부하량(kg/day)을 TN, TP로 산정되었다(국립수산과학원, 2011). 대상 해역인 김 양식장으로 유입되는 부하량은 유달부하량의 값을 이용해야 하지만, 본 연구에서는 배출부하량을 토대로 계산하였다(Table 4.5.). 배출부하량은 점오염원과 비점오염원 부하량으로 나누어 산정하였으며, 비점오염원은 하수처리장과 같이 일정 농도와 유량으로 유출되는 것이 아니라, 강우의 정도에 의해 해역으로 유출되므로 본 연구에서는 강수량을 고려하여 산정하였다. 진도군에서 2008~2010년, 3년 동안의 강우 총량은 4392 mm였으며, 1월 128 mm, 2월 217 mm, 3월 327 mm로 각각 3%, 5%, 7%를 적용하였다. 해남군에서는 강우 총량 3871 mm 중, 1월 106 mm, 2월 206 mm, 3월 252 mm 로 각각 3%, 5%, 7%를 적용하였다. 또한 산정시 이용된 월별 일수로 1월은 31일, 2월은 28일, 3월은 31일을 적용하였다.

Table 4.5. Load input TN and TP in Jindo–Haenam *Porphyra* farm (kg/month)

		Jindo			Haenam		
		Jan.	Feb.	Mar.	Jan.	Feb.	Mar.
TN	Point source	22,596	20,409	22,596	57,660	52,080	57,660
	Non-point source	10,414	17,663	26,596	31,260	60,520	74,106
TP	Point source	4,648	4,198	4,648	7,565	6,833	7,565
	Non-point source	797	1,352	2,036	2,435	4,714	5,773

또한 김과 같은 해조류가 흡수하는 것은 용존성 영양염이다. 따라서 TN, TP값을 DIN, DIP 값으로 환산해주기 위하여 해남~진도 해역과 비교적 가까운 위치인 강진천, 군외천, 탐진강의 2011년 7월~2011년7월까지, 1년 동안의 평균 DIN/TN, DIP/TP를 계산하였다. 세 하천의 평균비를 이용한 결과, DIN/TN은 69%, DIP/TP는 40%를 적용하였다(환경부, 2012; Table 4.6.). 2010년 3월부터 2010년 12월까지의 자료를 토대로 인근에 위치한 연안해역과 비교하였다. 그 결과, 득량만의 유입하천 DIN/TN 66%, DIP/TP 31%, 완도·도암만의 유입하천 DIN/TN 51%, DIP/TP 42%로 나타났으며(국립수산과학원b, 2010), 본 연구에 적용된 DIN/TN, DIP/TP 와 비슷하였다.

Table 4.6. Nutrient data in Gangjin, Gunwoe and Tamjin river

	Gangjin	Gunwoe	Tamjin	Average
TN (mmol/m ³)	125.83	45.41	86.07	
TP (mmol/m ³)	1.75	0.73	2.01	
DIN (mmol/m ³)	96.42	23.30	62.65	
DIP (mmol/m ³)	0.41	0.36	1.01	
DIN/TN	77%	51%	73%	69%
DIP/TN	24%	49%	50%	40%

위의 자료를 토대로 영양염 수지에 이용되는 DIN, DIP 부하량을 산정해보았다. 그 결과는 Table 4.7.과 같다.

유입하는 DIN flux는 진도군과 해남군의 점오염원 및 비점오염원으로 나누어 산정하였다. 진도군의 배출부하량은 점오염원으로, 1월 15,591 kg N/month, 2월 14,083 kg N/month, 3월 15,591 kg N/month였고, 비점오염원으로, 1월 7,186 kg N/month, 2월 12,188 kg N/month, 3월 18,352 kg N/month 배출되어 진도군에서의 총 배출부하량(V_1DIN_1)은 1월 22,777 kg N/month, 2월 26,270 kg N/month, 3월 33,943 kg N/month다. 해남군의 점오염원 배출부하량은 1월 39,785 kg N/month, 2월 35,935 kg N/month, 3월 39,785 kg N/month였고, 비점오염원 배출부하량은 1월 21,569 kg N/month, 2월 41,759 kg N/month, 3월 51,133 kg N/month로, 해남군에서의 총 배출부하량(V_2DIN_2)은 1월 61,354 kg N/month, 2월 77,694 kg N/month, 3월 90,918 kg N/month다.

유입하는 DIP flux 역시 진도군과 해남군의 점오염원 및 비점오염원으로 나누어 산정하였다. 진도군의 배출부하량은 점오염원으로, 1월 1,859 kg

P/month, 2월 1,679 kg P/month, 3월 1,859 kg P/month였고, 비점오염원으로, 1월 319 kg P/month, 2월 541 kg P/month, 3월 814 kg P/month 배출되어 진도군에서의 총 배출부하량(V_1DIP_1)은 1월 2,178 kg P/month, 2월 2,220 kg P/month, 3월 2,673 kg P/month다. 해남군의 점오염원 배출부하량은 1월 3,026 kg P/month, 2월 2,733 kg P/month, 3월 3,026 kg P/month였고, 비점오염원 배출부하량은 1월 974 kg P/month, 2월 1,886 kg P/month, 3월 2,309 kg P/month로, 해남군에서의 총 배출부하량(V_2DIP_2)은 1월 4,000 kg P/month, 2월 4,619 kg P/month, 3월 5,335 kg P/month다.

Table 4.7. Load input DIN and DIP in Jindo–Haenam *Porphyra* farm (kg/month)

		Jindo			Haenam		
		Jan.	Feb.	Mar.	Jan.	Feb.	Mar.
DIN	Point source	15,591	14,083	15,591	39,785	35,935	39,785
	Non-point source	7,186	12,188	18,352	21,569	41,759	51,133
DIP	Point source	1,859	1,679	1,859	3,026	2,733	3,026
	Non-point source	319	541	814	974	1,886	2,309

3.2. 조류소통에 의한 영양염 유출입

진도~해남 김 양식장 해역은 전라남도에 위치한 다른 김 양식장들에 비하여 조류소통이 원활하여 영양염 유입이 많은 해역으로 알려져 있었다(국립수산과학원, 2011). LOICZ의 Guideline(Gordon et.al., 1996)을 보면, 육지와 근접한 만의 담수와 외해수와의 물질 확산으로 물질수지를 산정하는 것이 일반적이거나, 본 연구의 대상 해역은 한국에서 가장 조류가 빠르다고 알려진 울돌목이 시스템의 북서쪽에 위치하고 있다. 특히 조석 잔차류는 조석활동이 활발한 연안 해역에서의 물질의 이동과 확산을 지배하기 때문에 본 연구에서는 조류소통으로 유입하는 영양염도 파악하여 물질수지를 산정하였다.

울돌목 부근 잔차류는 양식장 시스템의 남쪽에서 울돌목인 북서쪽으로 나가는 방향으로 유속은 20 cm/s에 달한다(안과 정, 1993). 울돌목의 조석 잔차류 유속과 단면적을 곱하여 유량(V_x)을 산정하였다. 잔차류에 의한 조류소통으로, 시스템에 유입하는 영양염은 대조구 정점 자료를 이용하였고, 시스템 외에 유출하는 영양염은 시스템의 자료를 이용하였다(Table. 4.8).

Table 4.8. Geomorphological data of Uldolmok

Area	Residual currents speed
m^2	cm/s
8,500	20

Table 4.9. DIN flux by water exchange

	DIN input		DIN output	
	mmol/m ³	kg/month	mmol/m ³	kg/month
Jan.	12.14	774,058	11.71	746,283
Feb.	8.35	480,768	8.29	477,580
Mar.	6.74	429,374	6.15	392,265

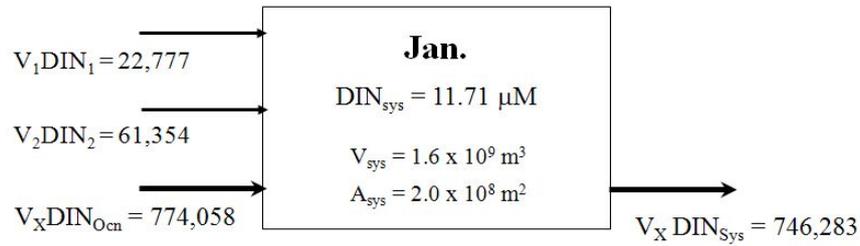
잔차류에 의해 시스템 내로 유입하는 DIN flux($V_x\text{DIN}_{\text{Ocn}}$)는 1월 774,058 kg N/month, 2월 480,768 kg N/month, 3월 429,374 kg N/month였다. 잔차류에 의해 시스템 외로 유출하는 DIN flux($V_x\text{DIN}_{\text{Sys}}$)는 1월 746,283 kg N/month, 2월 477,580 kg N/month, 3월 392,265 kg N/month로 산정되었다 (Table 4.9.).

Table 4.10. DIP flux by water exchange

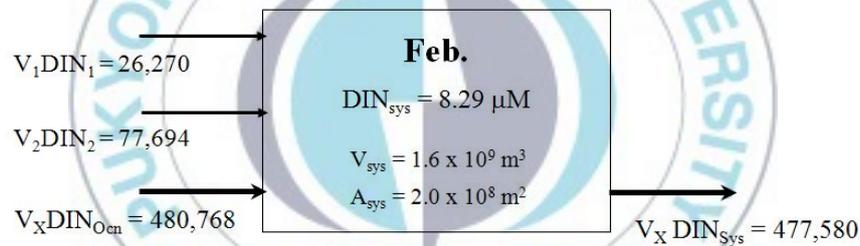
	DIP input		DIP output	
	mmol/m ³	kg/month	mmol/m ³	kg/month
Jan.	0.66	92,659	0.59	83,097
Feb.	0.49	62,101	0.48	60,764
Mar.	0.35	48,720	0.30	41,890

잔차류에 의해 시스템 내로 유입하는 DIP flux($V_x\text{DIP}_{\text{Ocn}}$)는 1월 92,659 kg P/month, 2월 62,101 kg P/month, 3월 48,720 kg P/month였다. 잔차류에 의해 시스템 외로 유출하는 DIP flux($V_x\text{DIP}_{\text{Sys}}$)는 1월 83,097 kg P/month, 2월 60,764 kg P/month, 3월 41,890 kg P/month로 산정되었다 (Table 4.10.). 육상 부하량, 잔차류에 의해 유출입하는 영양염은 Fig 4.1, Fig. 4.2와 같다.

DIN balance in kg month^{-1}



DIN balance in kg month^{-1}



DIN balance in kg month^{-1}

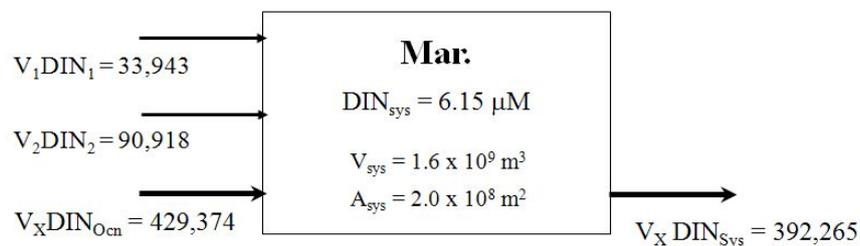
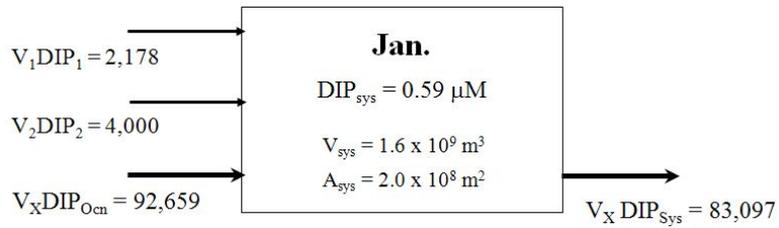
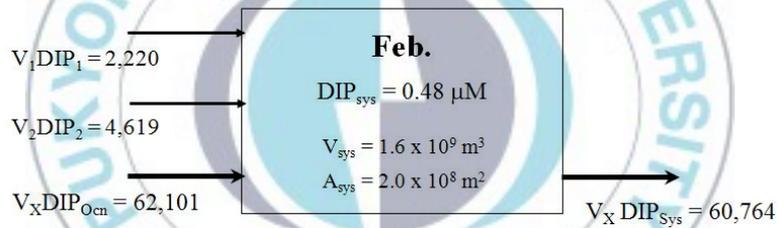


Fig. 4.1. Input and output DIN flux for each month in *Porphyra* farm.

DIP balance in kg month⁻¹



DIP balance in kg month⁻¹



DIP balance in kg month⁻¹

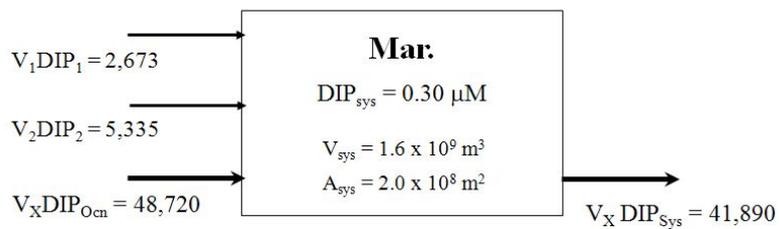


Fig. 4.2. Input and output DIP flux for each month in *Porphyra* farm.

3.3. 생산량과의 비교

물길수지 결과를 검증하기 위하여 실제 진도~해남 해역에서 수확된 김 생산량 자료와 비교해 보았다. 앞선 chapter 2.2.의 업체성분 분석결과(Table 4.3.)와 해남~진도 해역의 2011년 1월~2월 실제 김 생산량 자료를 곱하여, 대상 해역의 김 생산량을 김의 탄소, 질소, 인으로 환산하였다. 건중량은 습중량과 함수율의 관계로 계산되었으며, 해남 김 양식장에서 채취한 김의 함수율의 평균값인 88%을 적용하였다(Table 4.11.; 국립수산과학원, 2011).

Table 4.11. Yields of *Porphyra* in Jindo-Haenam *Porphyra* farm

	wet	dry	dry/area
	ton		kg/m ²
Jan.	8,786	1,018	0.05
Feb.	15,662	1,814	0.09
Total	24,448	2,832	0.14

Table 4.9.의 생산량 자료에서 건중량 자료를 토대로 2개월 동안 대상 해역 내에서 수확된 김의 각 성분들의 함량을 산정하였다.

또한 입자상 인의 거동은 명확히 알 수 없지만 유기물과 무기물을 모두 가지고 있고, 생물학적 거동이 포함되기 때문에 일반적으로 해역에서 용존 인에서 입자상 인으로의 전환은 유기물질의 생성을 의미한다. 또한 단위시간당 DIP의 소멸율과 $(C:P)_{part}$ 를 이용하면, 단위 시간당 무기탄소의 생성 및 소멸율의 대략적인 산정이 가능해진다(홍, 1998).

이로써 대상 해역에서 생산된 전체 김을 탄소, 질소, 인으로 환산한 결과, 탄소는 2개월동안 755,091 kg C, 질소는 201,558 kg N, 인은 36,012 kg P가 생산되었다(Table 4.12).

Table 4.12. Contents of chemical elements in *Porphyra* in Jindo-Haenam *Porphyra* farm (kg)

	C	N	P
Jan.	271,361	72,435	12,942
Feb.	483,730	129,123	23,070
Total	755,091	201,558	36,012

또한 물질수지 결과에서, 대상 해역에서는 양식장 내로 유입하는 영양염의 양보다 더 많은 영양염이 김의 성장함에 있어서 필요로 하여, 유입영양염 외에도 양식장 내에 존재하는, 잠재적으로 성장이 가능한 영양염 역시 이용하면서 성장하는 것을 알 수 있었다.

이에 따라 1월에서 3월로 갈수록 시스템 내에서 영양염 농도가 감소하는 것을 알 수 있었고, 김이 성장함에 있어서 시스템 내에 존재하는 영양염을 이용하였다고 판단하여, 월별 시스템 내 영양염 변화농도와 시스템의 용적을 곱하여 시스템 내에서 김에 흡수된 영양염(Δ DIN, Δ DIP)도 고려해주었다. 그 결과 Δ DIN은 1월에 -75,913 kg N/month, 2월에 -47,630 kg N/month로 2개월 동안 -122,543 kg N으로 산정되었다. Δ DIP는 1월에 -5,522 kg P/month, 2월에 -8,859 kg P/month로 2개월 동안 -14,381 kg P로 산정되었다(Table 4.13.).

Table 4.13. Nutrients variance for 2 months in Jindo–Haenam *Porphyra* farm

	DIN _{dif}	DIP _{dif}	Δ DIN	Δ DIP
	mmol/m ³	mmol/m ³	kg/month	kg/month
Jan.	-3.41	-0.11	-75,913	-5,522
Feb.	-2.14	-0.18	-47,630	-8,859

Table 4.14의 2개월간의 물질수지와 김 생산량의 비교를 보면, 물질수지를 통해 시스템에서 생산할 수 있는 김은 802,276 kg C, 342,601 kg N, 38,295 kg P로 나타났으며, 이 중 실제 김 생산량을 환산한 값인 755,091 kg C, 질소는 201,558 kg N, 인은 36,012 kg P와 비교하였을 때, other sources는 탄소 47,830 kg C, 질소 141,043 kg N, 인 2,283 kg P로 나타났다. 이는 모델에 이용된 데이터의 error나 생산량에 고려되지 못한 식물플랑크톤과 같은 생산자가 해당될 것으로 판단된다.

Table 4.14. Comparison results of mass balance and *Porphyra* in Jindo–Haenam *Porphyra* farm for 2 months (kg/2months)

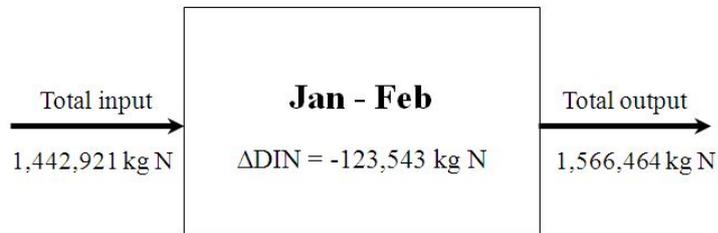
	N	P
Load input	188,095	13,017
Internal variance	123,543	14,380
Water exchange	30,962	10,898
Total harvestable Nutrients	342,601	38,295
<i>Porphyra</i>	201,558	36,012

탄소는 인과의 김 엽체 비를 고려해준 값으로, 김 수확량 자료와 비교해 보면 인의 결과와 함께 물질수지 결과 시스템 내에서 소멸된 94%가 김에 의한 흡수라고 판단되며, 질소는 59%가 김에 의한 흡수라고 판단된다.

일정한 비율로 질소와 인을 흡수하는 김의 경우, 질소가 아무리 풍부하더라도 인이 부족하게 되면 인이 존재하는 양과, 인과 질소와의 비율만큼의 양만 흡수한다. 즉, 해역 내 존재하는 대부분의 인은 흡수한 반면, 질소는 남아있어서 본 해역은 인이 부족한 김 양식장장으로 판단할 수 있다. 인이 부족하게 되면 김의 물질대사와 색소형성에 장애를 주어 갯병 발생 및 품질저하의 원인이 되어 결과적으로 생산성이 감소될 수 있다(송, 1995; 송과 정, 1999).

Fig 4.3은 수식 (1)처럼, 좌측항의 dM/dt 는 ΔDIN , DIP 로 시스템 내에서 변화한 영양염이고, 우측항의 $\sum\text{inputs}$ 는 육상유입과 조류소통으로 외해에서 유입되는 영양염의 합이다. $\sum\text{outputs}$ 는 시스템 내로 유출한 영양염으로, 김의 수확에 의한 유출과 조류소통에 의한 외해로의 영양염 유출의 합이며, other sources도 포함된다.

$$\Delta \text{DIN} = \Sigma \text{ inputs} - \Sigma \text{ outputs} + \Sigma \text{ Sources-sinks}$$



$$\Delta \text{DIP} = \Sigma \text{ inputs} - \Sigma \text{ outputs} + \Sigma \text{ Sources-sinks}$$

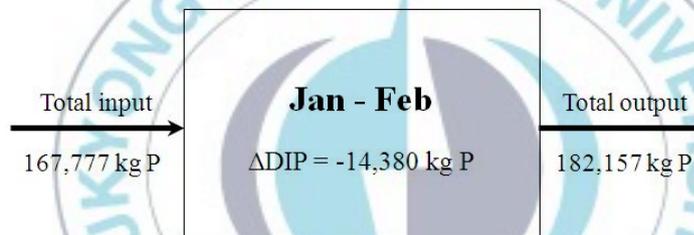


Fig. 4.3. Nutrients balance for 2 months in *Porphyra* farm.

4. 김 양식장의 적정수용력 산정

물질수지산정을 통해 알 수 있듯이, 본 대상 시스템인 진도~해남 김 양식장에서는 시스템에 유입되는 영양염보다 더 많은 김이 생산되고 있는 것을 알 수 있었다. 대상 해역은 시스템 내 육상유입 영양염은 부족하더라도 빠른 조류소통에 의하여 영양염이 보충되고 있다고 판단되었다.

하지만 일본용수기준을 보면, 김 양식에 있어서 필요한 최소 영양염 농도는 DIN 5 mmol/m³, DIP 0.23 mmol/m³이다. 2011년 기준, 1월에서 3월까지의 평균 영양염 농도는 DIN 8.72 mmol/m³, DIP 0.45 mmol/m³이다(Table 15). 2010년 측정망 자료에 따른 대상 시스템 부근 연평균 영양염 농도는 DIN 5.43 mmol/m³, DIP 0.29 mmol/m³로 거의 최소 농도에 가까우며, 지속적인 김 양식의 밀식에 의한 양식장 내 영양염이 더 감소하게 되면 더 이상의 김 양식은 어려우므로 지속적인 김 양식을 위해서는 대상 해역에 맞는 적정 수용량 산정이 필요하다고 판단된다.

Table 4.15. DIN, DIP concentration of system and minimum required concentration (mmol/m³)

DIN _{min}	DIN _{sys}	DIP _{min}	DIP _{sys}
5	8.72	0.23	0.45

따라서 본 연구에서는 2011년 1월에서 3월까지의 시스템 내 영양염 농도를 토대로 최소 농도까지 시스템 내에서 생산할 수 있는 김의 생산량을 산정하였다. 즉, DIN과 DIP의 현재 농도와 최소 농도와의 차이와 시스템 용적을 곱하여 산정하였으며, 시스템 내부의 영양염을 이용하여 2개월 동안 최대한 더 생산될 수 있는 김의 양은 질소로 82,719 kg N, 인으로 11,242 kg P였다. 이를 김으로 환산하였을 때, 질소 기준으로 1,162,093 kg, 인 기준으로 883,952 kg으로 산정되었다. 이는 2011년 1~2월 실제 생산량인 2,831,624 kg dry wt. 와 더하면 2개월 동안 대상 해역에서 최대 생산할 수 있는 김의 양이 산정된다. 질소로 산정한, 최대 김 생산량은 3,993,717 kg이고 인으로 산정하면 3,715,576 kg이다(Table 4.16.). 하지만 이 이상의 김을 생산하게 되면 영양염이 매우 부족하여 지속적인 김 양식을 운영하기 어렵다고 판단된다. 따라서 지속적인 김 양식과 생태학적 건전수확을 위해서는 양식장 내로 유입하는 영양염을 파악하여 시스템의 영양염 농도가 김 성장에 필요한 최소농도 이상으로 유지되도록 적절한 시설량을 설치하여 생산하여야 한다.

Table 4.16. Additional harvestable nutrients and *Porphyra* for 2months (kg)

		N	P
Nutrients		82,719	11,242
<i>Porphyra</i>		1,162,093	883,952
Maximum <i>Porphyra</i> harvest	dry wt.	3,993,717	3,715,576
	wet wt.	34,481,407	32,079,962

V. 결론

전 지구적 이산화탄소 저감 방안의 대책에 관한 연구로 해조류에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 해조류는 해수 중의 영양염을 흡수하면서 성장하여 부영양화 해역에서 특히 'Bioremediation'로써 환경정화의 역할을 하기 때문이다. 또한 우리나라에서는 해조류가 이산화탄소 저감 방안 연구 외에도 기호식품으로써 식생활에 이용되기 위해 양식이 많이 이루어지고 있고, 양식에 관한 연구도 활발하다.

이러한 해조류 중 김(*Porphyra*)은 단백질 함량이 높아 영양식품으로 인기 높은 전통 음식이다. 하지만 대부분의 김이 양식되는 해역인 전라남도는 최근 생산성의 문제가 떠오르고 있다. 하지만 우리나라에서는 김 양식장에 관한 연구가 1990년대 이후 진행되지 않아 현재 김 양식장 문제를 해결하기 위한 과학적 근거자료가 없는 실정이다. 이에 본 연구에서는 김의 생산성의 문제를 최근 감소하고 있는 영양염과 증가하는 시설량과 연관해 기초자료를 만들고자 box model을 이용하여 물질수지를 산정하였다.

전라남도에서 생산성이 높은 진도~해남 해역을 설정하여 박스모델을 구축하고 물질수지를 산정한 결과, 시스템 내로 유입되는 영양염이 100% 김으로 흡수된다고 가정하였을 때 질소는 1~2월, 2개월 동안 342,601 kg N, 38,295 kg P가 김으로 흡수되었다. 이 값을 실제 생산량과 비교하면 201,558 kg N, 36,012 kg P로, 물질수지 결과 인의 94%가 김으로 흡수되었고, 질소의 59%가 김으로 흡수되었다고 판단된다. 대상 해역은 비교적 질소가 풍부하지만, 일정한 $(N:P)_{part}$ 로 영양염을 흡수하며 성장하는 김은 해역이 가진 질소만큼 많은 김을 생산해 내지 못하였다. 이 결과를 통해서 아무리 질소가 풍부하더라도 인이 부족하게 되면 생산에 제한을 받기 때문에, 인이 제한 인자라고

판단된다.

현재 김 양식장에서 생산하는 만큼 김이 성장하기 위해 필요한 영양염은 양식장 내로 유입하는 영양염의 양보다 많기 때문에 양식장이 가지고 있는 영양염을 소모하면서 성장하므로, 장기적으로는 양식장의 영양염 농도를 감소시키고 있다. 하지만 영양염이 장기적으로 감소하게 되면 김 양식을 할 수 있는 해역의 최소 농도인 DIN 5 mmol/m³, DIP 0.23 mmol/m³보다 낮게 되면 더 이상의 김 양식은 할 수 없을 가능성이 높다. 따라서 본 연구에서는 현재 양식장의 농도와 김 양식장 해역의 최소 농도를 고려하여 적정 수용량을 산정한 결과, 2011년 1~2월, 2개월 동안 대상 해역에서 최대 생산할 수 있는 김의 양은 질소로 산정할 경우, 34,481,407 kg wet wt.이며 인으로 산정할 경우, 32,079,962 kg wet wt.이다. 이는 실제 김 수확기간인 11월에서 4월까지 추가적인 조사로 연간 적정수용량을 설정하는 연구도 필요하다고 판단된다.

이 박스모델의 자료들은 해역에서 김 생산이 이루어지는 표층 자료를 이용하여 단순히 하나의 박스로 구축하였으나 실제로 해역의 층별로 여러 개의 박스를 나누어 산정해보면, 양식의 밀식으로 인해 해역의 표층에서 지속가능하지 못한 김 양식뿐만 아니라, 전반적으로 모든 해역의 생태계에도 영향을 미칠 것으로 판단된다.

이러한 단순모델을 통한 물질수지 산정은 시스템 내의 세부적인 화학·물리·생물학적 과정이 배제되었으나, 육상기인 유입물질의 양과 조류소통에 의한 시스템으로의 유출입과 같은 양적인 흐름을 토대로 전체적인 김 양식장의 시스템을 이해하고자 하였다. 따라서 본 연구 결과를 토대로 산정된 적정 수용량은 김 양식장의 전체 흐름을 파악하고 이해하는 기초자료로써 이용될 수 있고, 아울러 세부적으로는 추후 생태계 모델을 통한 입증도 필요하다고 판단된다.

참고문헌

- 강제원, 고남표. 1977. 해조양식 294p.
- 국립수산과학원. 2001. 한국해양환경 조사연보. Vol. 6, 155p.
- 국립수산과학원. 2002. 한국해양환경 조사연보. Vol. 7, 193p.
- 국립수산과학원. 2003. 한국해양환경 조사연보. Vol. 8, 236p.
- 국립수산과학원. 2004. 한국해양환경 조사연보. Vol. 9, 400p.
- 국립수산과학원. 2005. 한국해양환경 조사연보. Vol. 10, 399p.
- 국립수산과학원. 2006. 한국해양환경 조사연보. Vol. 11, 396p.
- 국립수산과학원. 2007. 한국해양환경 조사연보. Vol. 12, 408p.
- 국립수산과학원. 2008. 한국해양환경 조사연보. Vol. 13, 400p.
- 국립수산과학원. 2009. 한국해양환경 조사연보. Vol. 14, 422p.
- 국립수산과학원a. 2010. 한국해양환경 조사연보. Vol. 15, 434p.
- 국립수산과학원b. 2010. 어장환경 실태조사 3차 보고서. 611p.
- 국립수산과학원. 2011. 남서해안 해양생태계 변화에 따른 김 양식장 수용력 등 산정연구 보고서. 85p.
- 국토해양부. 2010. 해양환경공정시험방법. 495p.
- 김미경, 신재기, 차재훈. 2004. 하계 독도 연안 해조류의 종조성 변동과 갯녹음 현상. *Algae*, 제19권, 제1호, pp. 69-78.
- 김정희, 이건형, 신윤근, 김중래. 1992. 서해산 김 엽체상의 미소생물과 김의 병해와의 관계에 대한 연구. *한국어류학회지*. 제25권, 제4호, pp. 307-313.
- 김종구, 김동명, 양재삼. 2000. BOX 모델을 이용한 금강 하구해역의 물질수지 산정. *한국해양환경공학회지*. 제3권, 제4호, pp. 76-90.

- 농림수산식품부. 어업생산통계시스템. <http://www.fips.go.kr>. (2012. 5. 8 확인)
- 송춘복,홍재상,강제원. 1987. 1986년 하동 김 양식장의 작황감소 원인에 관한 연구. 한국수산과학회지. 제20권, 제4호, pp. 328-340.
- 송홍인. 1995. 西海産 돌김類 養殖을 위한 有種學的 基礎研究. 원광대학교 박사학위논문. 77p.
- 송홍인, 정영균. 1999. 돌김 양식장의 환경과 생산에 관한 연구. 국립수산과학원 연구보고 55, pp. 83-97.
- 안희수, 정재용. 1993. 명랑수도(울돌목) 부근해역의 조석 잔차류에 의한 해수순환 연구. 한국지구과학회. 제 14권, 제1호, pp. 100-108.
- 양찬수, 박성우. 2006. SPOT-5위성영상에 의한 2005년 한국 연안 김 양식장의 시설현황 분석. 한국해양환경공학회지. 제9권, 제3호, pp. 168-175.
- 오희영. 1991. 淺水灣 水質變動에 관한 연구: 瑞山 A,B地區 刊拓 工事 以後. 한양대학교 석사학위논문. 44p.
- 이광수, 박진순, 엽기대. 2009. 울돌목 조류발전시스템 개발. 한국소음진동공학회 2009년 춘계학술대회논문집. pp. 410-411.
- 일본수산자원보전협회. 2000. 수산용수기준. 96p.
- 조명희. 2011. 고해상 항공영상을 활용한 김, 전복, 어류 양식장 시설량의 산출 -전라남도 완도지역을 대상으로-, 한국지리정보학회지, 제14권, 제2호, pp. 147-161.
- 한국해양수산개발원. 2011. 김 산업의 발전과정과 세계화 전략에 관한 연구. pp. 72-97.
- 한국해양자료센터. 2008~2010. 정선관측자료 311-05.
http://kodc.nfrdi.re.kr/page?id=obs_04_01 (2012. 5. 8 확인)

- 해양수산부. 2006. 김 양식어장의 대단위 관리체제 구축을 위한 방안연구. 105p.
- 홍석진. 1998. 낙동강 하구해역에서의 담수, 질소 및 인 수치. 부경대학교 공학석사 학위논문. 41p.
- 홍석진, 이원찬, 윤상필, 박성은, 조윤식, 권정노, 김동명. 2007. 마산만의 자생 유기물 저감을 위한 단순박스모델의 적용. 해양환경안전학회지, 제 13권 제2호, pp. 103-108.
- 홍성걸, 마임영, 정명생. 2000. 김 양식어업의 육성 방안. 농업경영·정책연구 27-2. pp. 147-173.
- 환경부. 물환경정보시스템. <http://water.nier.go.kr/>. (2012. 5. 8 확인)
- Atkinson, M.J. and S.V. Smith. 1983, C:N:P ratios of benthic marine plants, *Limnology and Oceanography*, Vol. 28, pp. 568-574.
- Giordani G, M. Austoni, M. Jose, Zaldivar, P. Denniss, Swaney, and Pierluigi Viaroli. 2008. Modelling ecosystem functions and properties at different time and spatial scales in shallow coastal lagoons: An application of the LOICZ biogeochemical model, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, Vol. 77, pp 267-277.
- Gordon Jr. D.C., P.R. Boudreau, K.H. Mann, J.E.Ong, W.L. Silver, S.V. Smith, G. Wattayakorn, F. Wulff and T. Yanagi. 1996. LOICZ Biogeochemical Modelling Guideline, LOICZ Reports & Studies No.5, 96p.
- Hafting J.T. 1999. Effect of tissue nitrogen and phosphorus quota on growth of *Porphyra yezoensis* blades in suspension cultures. *Hydrobiologia* 389/399, 305-314.
- Hang Nguyen Thi Minh, Nguyen Cao Don, Hiroyuki Araki, Hiroyuki

- amanishi and Kenichi Koga. 2009. Applications of a new ecosystem model to study the dynamics of phytoplankton and nutrients in the Ariake Sea, west coast of Kyushu, Japan. *Journal of Marine System*, Vol. 15, pp. 1-16.
- Harrison P.J., L.D. Druehl, K.E. Lloyd and P.A. Thompson. 1986. Nitrogen uptake kinetics in three-year-classes of *Laminaria groenlandica* (Laminariales: Phaeophyta). *Marine Biology*, Vol. 93, pp. 29-35
- Hein Mette, M.F. Pedersen, K. Sand-Jensen. 1995. Size-dependent nitrogen uptake in micro- and macroalgae. *Marine ecology progress series*, Vol. 118, pp. 247-253.
- Lepoint Gilles, Julien Jacquemart, Jean-Marie Bouqueneau, Vincent Demoulin, and Sylvie Gobert. 2007. Field measurements of inorganic nitrogen uptake by epiflora components of the seagrass *Posidonia oceanica* (monocotyledons, Posidoniaceae), Vol. 4, pp. 208-218.
- Ngusaru A.S. and S.M. Mohammed. 2002. Water, Salt and Stoichiometrically Linked Nutrient Budgets for Chwak Bay, Tanzania. *Western Indian Ocean Journal of Marine Science*, Vol. 1, No. 2, pp. 97-106.
- Padhi S.B. G. Behera, S. Behura, P. Swain, S. Behera, H. Panigrahi, M. Panigrahi, S. Beja, A. Mishra, N. Das, S. Baidya, S. Pradhan and P. Das. 2010. Utilization of nitrate and ammonium by algal biomass available in prawn cultivation sites in Chilika Lake, Orissa, *Journal of Botanical Research*, Vol. 1, No. 1, pp. 1-6.
- Pedersen. A., G. Kraemer, and C. Yarish. 2004. The effects of

- temperature and nutrient concentrations on nitrate and phosphate uptake in different species of *Porphyra* from long island sound, Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, Vol. 32, pp. 235-252.
- Raïkar Varsha and M.V.M. Wafar. 2006. Effect of temperature on 'N' uptake of chaetomorhalinum, and padina tetrastomatica, Sehaiyana, Vol. 14, No. 2 pp. 1-2.
- Smith S.V., 1996. NP Budget of the East China Sea. LOICZ, (accessed 2012. 5. 15, <http://nest.su.se/mnode/Asia/ECSt.html>)
- Smith S.V. and T. Yanagi. 1997. NP Budgets for three Japan bays. LOICZ, (accessed 2012. 5. 15, <http://nest.su.se/mnode/Asia/Japan/threebays/JPbud.HTML>)
- Thomas T.E. and P.J. Harrison. 1985. Effect of nitrogen supply on nitrogen uptake, accumulation and assimilation in *Porphyra perforata* (*Rhodophyta*). Marine Biology, Vol. 85, pp. 269-278.
- Tri N.H., N.H. Ninh, T.V. Lien, B. Trinh, N.T. Chinh, T.D. Trong and F.T. Secretario. 1999. Economic - environmental modelling of coastal zones in the Red River delta. Hanoi, Vietnam. Final Report. 62p.
- Wosten J.H.M., P.deWilligen, N.H. Tri, T.V. Lien, S.V. Smith. 2003. Nutrient dynamics in mangrove areas of the Red River Estuary in Vietnam. Estuarine, Coastal and Shelf Science, Vol. 57. pp. 65-72.
- 多田 邦尚(Tada), 藤原 宗弘, 本城 凡夫. 2010. 瀬戸内海の水質環境とノリ養殖, Bunseki kagaku, Vol. 59, No. 11, pp. 945-955.