BSPM55060-2143-3

바다숲조성 연안어장 생태환경조사

2009. 12.

한국해양연구원

제 출 문

국립수산과학원 어장정보과 귀하

본 보고서를 “바다숲조성 연안어장 생태환경조사”의 1차년도 보고서로 제출합니다.

2009. 12. 24.

연구기관: 한국해양연구원
연구책임자: 유신재
참여연구원: 박지수

요 약 문

본 연구에서는 바다숲 조성을 위한 기초생태계 조사의 일환으로, 동해연안해역의 수중 광 환경을 파악하는데 목적을 두었다. 이를 위해 11월 현장조사 시 총 18개 정점에서 수중분광기기를 이용하여 수심별 분광분포를 직접 측정하였으며, 정점의 위치는 북쪽 거진연안으로부터 남쪽 감포연안까지 였다. 또한, 과거 10년간 (1997-2007년)의 위성자료를 활용하여 월별 평균 수중 광 환경의 정점별 변화를 살펴보았다. 자료 분석에는, 두 위성탑재 센서로부터 얻어진 표층엽록소 농도와 소광계수 값이 사용되었다. 또한, 동해지역의 월간 분포와 함께, 앞서 총 18개 정점의 연안해역 수중 광 분포를 위성자료로부터 계산하였다. 2009년 동해지역의 식물플랑크톤 봄 번성은 3월 북동부 연안에서 시작하여 4월 동해연안 전 해역과 울릉분지 및 외양으로 확장되었고, 연안해역의 번성은 5월까지 관측되었다. 6-8월 하계에는 큰 번성은 관찰되지 않았으나, 중동부와 남부 연안에서 여름철 용승에 의한 엽록소 농도 증가가 동한난류를 타고 북쪽 외양으로 퍼져나가는 모습을 관찰할 수 있었다. 또한, 2009년 1월부터 8월까지 동해연안해역 및 울릉분지 해역의 월 평균 광 투과도 지수인 소광계수 분포는 앞서 엽록소-a 분포와 같이 겨울철 낮고 3-5월 식물플랑크톤 봄 번성시기에 수중 광 투과도가 크게 증가하는 것을 볼 수 있었다. 동해 연안 기저부에 서생하는 해조류의 입장에서, 수중 광 환경은 봄철 식물플랑크톤 번성이 발생하는 시기와 여름철 연안 용승이 활발한 시기에는 제한 받을 수 있고, 겨울철에는 일사량은 낮지만 상대적으로 표층에서 광 제한요소로 작용하는 식물플랑크톤의 영향을 덜 받을 수 있음을 알 수 있었다.

수중분광측정기기로 측정된 각 연안정점의 수중 광 수직프로파일을 파장별로 살펴보았을 때, 연구해역은 주로 엽록소에 의한 흡광이 강했을 것으로 예상되었다. 또한, 수중분광측정기의 PAR 값으로부터 계산된 유광층수심과 Secchi depth로부터 계산된 유광층수심을 비교해 보면, 절대값의 범위는 크게 다르지 않으나 정점간의 비교결과가 다르게 나타남을 알 수 있었다. Secchi disk를 이용한 광투과도 측정은 간편하고 장소에 제약을 받지 않는다는 장점이 있으나, 광질의 영향도 받는 실제 가시광선 영역대의 광투과도는 전문 측정장비인 광학장비를 사용하는 것이 바람직할 것으로 판단되었다. 본 연구를 통해 직접 측정된 정점별 수중 분광분포와 함께, 각 정점별 수중 광 조건의 계절별 변화를 파악하는 것 또한 중요하다. 이를 위해, 과거 십년간의 기후값 위성자료를 활용하여 각 정점별 수중 광량의 월간 분포를 수심별로 계산하였다. 표층 입사광량은 모두 비슷한 수준으로 5-6월에 최대값이 나타났으며, 12월에 최소값이 나타났고, 수심에 따른 광량의 변화가 크게 다르진 않았다. 특이할 만한 점은, 입사량의 계절 또는 월별변화가 단순함과 달리, 수중의 광량 분포는 대부분의 정점에서 3-5월 식물플랑크톤 봄 번성시기와 8-11월에 급격히 낮아지는 경향을 보였다. 특히, 4월은 대부분의 정점에서 최소값이 나타났는데, 이는 위성자료의 소광계수가 상대적으로 매우 컸기 때문이었으며, 대부분 식물플랑크톤 번성에 의한 영향으로 판단되었다. 마찬가지로, 8월은 연안용승에 의한 식물플랑크톤 엽록소 농도 증가, 10-11월은 가을 번성에 의한 영향이 수중 광 조건에 영향을 준 것으로 판단되었다. 이러한 계절별/해역별 수중 광량의 월간 분포자료는 해저에 서식하는 해조류의 광합성에 유리한 지역을 선정하여 바다숲을 조성하는데 있어 중요한 기초자료가 될 것으로 기대된다.

목 차

1. 서론.....1
2. 재료 및 방법.....1
  1) 관측해역 및 관측방법.....1
  2) 위성자료.....2
3. 결과.....4
  1) 월간 엽록소-a 분포.....4
  2) 월간 소광수심 분포.....5
  3) 연안정점의 실측 수중분광분포.....6
  4) 연안정점의 과거 십년 평균 수심별 분광분포.....7

표 목차

표 1. 동해연안 관측정점 위치와 11월 수중분광측정기기 및 Secchi depth로부터 계산된 유광층 수심 (m).....2

그림 목차

그림 1. 동해연안해역 관측정점도.....3
그림 2. 수중분광측정기기 (Profiling Reflectance Radiometer: PRR)의 장비구성과 현장관측 (deployment) 모습.....3
그림 3. 2009년 1-8월 동해지역 표층엽록소 농도 (mg m^{-3})의 월간 분포 (MODIS ocean color data).....4
그림 4. 2009년 1-8월 동해지역 소광계수 (m^{-1})의 월간 분포 (K490 from MODIS data).....5
그림 5. 수중분광측정기기 PRR로 관측된 18개 정점의 수중분광분포 (2009년 11월).....6
그림 6. 2009년 11월 13번 정점 (축산연안 2)에서의 수중 광 분광분포.....7
그림 7. 동해연안 관측정점 1 (거진 2)에서의 수심별 분광분포.....8
그림 8. 동해연안 관측정점 2 (속초 1)에서의 수심별 분광분포.....8
그림 9. 동해연안 관측정점 3 (양양 1)에서의 수심별 분광분포.....9
그림 10. 동해연안 관측정점 4 (주문진 1)에서의 수심별 분광분포.....9
그림 11. 동해연안 관측정점 5 (강릉 1)에서의 수심별 분광분포.....10
그림 12. 동해연안 관측정점 6 (강릉 6)에서의 수심별 분광분포.....10
그림 13. 동해연안 관측정점 7 (동해 2)에서의 수심별 분광분포.....11
그림 14. 동해연안 관측정점 8 (삼척 2)에서의 수심별 분광분포.....11
그림 15. 동해연안 관측정점 9 (삼척 4)에서의 수심별 분광분포.....12
그림 16. 동해연안 관측정점 10 (죽변 4)에서의 수심별 분광분포.....12
그림 17. 동해연안 관측정점 11 (죽변 2)에서의 수심별 분광분포.....13
그림 18. 동해연안 관측정점 12 (후포 2)에서의 수심별 분광분포.....13
그림 19. 동해연안 관측정점 13 (축산 2)에서의 수심별 분광분포.....14
그림 20. 동해연안 관측정점 14 (강구 2)에서의 수심별 분광분포.....14
그림 21. 동해연안 관측정점 15 (월포 1)에서의 수심별 분광분포.....15
그림 22. 동해연안 관측정점 16 (영일만 11)에서의 수심별 분광분포.....15
그림 23. 동해연안 관측정점 17 (구룡포 2)에서의 수심별 분광분포.....16
그림 24. 동해연안 관측정점 18 (감포 2)에서의 수심별 분광분포.....16
그림 25. SeaWiFS 위성자료로부터 관측된 1998-2007년 평균 동해지역 표층 일사량의 월간 분포 (1-6월).....17
그림 26. SeaWiFS 위성자료로부터 관측된 1998-2007년 평균 동해지역 표층 일사량의 월간 분포 (7-12월).....18
그림 27. SeaWiFS 위성자료로부터 관측된 1998-2007년 평균 동해지역 소광계수 (K490)의 월간 분포 (1-6월).....19
그림 28. SeaWiFS 위성자료로부터 관측된 1998-2007년 평균 동해지역 소광계수 (K490)의 월간 분포 (7-12월).....20

1. 서론

지구상의 모든 생물의 기능은 극히 예외적인 경우를 제외하면 궁극적으로 태양에너지에 의존하게 된다. 따라서 지구에 존재하는 거의 대부분의 생태계가 광합성에 의해 유지된다고 볼 수 있다. 해양 일차생산력은 해양생태계의 구조와 작동 특성을 결정짓는 주요한 생태계 변수일 뿐 아니라 수산자원의 양적인 변동을 결정짓는 중요한 요인으로 알려져 있다. 특히 대륙붕 해역의 경우 전 해양 일차생산력의 25%이상을 담당하고 있다. 또한 총 수산자원의 90% 이상이 이 대륙붕 해역에서 생산되고 있다. 본 연구에서는 바다숲 조성을 위한 기초생태계 조사의 일환으로, 동해연안해역의 수중 광 환경을 파악하는데 목적을 두었다. 바다숲의 기초가 될 해조류는 빛이 제한요인이 된다 (Kain, 1966; Kain, 1971; Kain et al., 1976). 해조류의 성장과 생산은 특히 광조건에 달려있는 것으로 알려져 있다 (Dunton, 1990; Send-Jensen, 1988). 광조건에 따라 수직적 분포가 제한된다 (Luning, 1979). 또한 광성분 변화에 의한 광질 또한 중요한 요인이 될 수 있다 (Dring, 1981). 절대 광량과 광질은 계절적인 변화가 크고 이에 따라 해조류가 겪게 되는 광조건도 계절적으로 달라지게 된다 (King and Schiramm, 1976). 본 연구에서는 동해안의 주요 정점의 광량과 광질의 수직적 변화를 월별로 추정하고자 한다. 이를 위해 11월 현장조사 시 총 18개 정점에서 수중분광기기를 이용하여 수심별 분광분포를 직접 측정하였으며, 과거 10년간 (1997-2007년)의 위성자료를 활용하여 월별 평균 수중 광 환경의 정점별 변화를 살펴보고자 하였다. 연구선 등에 의한 전통적인 조사방법으로는 일차 생산 과정이 가지는 시공간적 규모에 맞게 관측할 수 없으며 (under_sampling 문제), 많은 비용이 드는 제한사항이 있다. 이는 인공위성을 이용한 원격탐사 기법으로 해결될 수 있다. 위성관측은 식물플랑크톤 엽록소, PAR (Photosynthetically Available Radiation), K_{PAR} (해수중 PAR의 소광계수) 등 일차생산 추정에 필요한 핵심 자료를 적절한 시공간적 규모로 (동시에 광역의 자료를 제공함) 생성 가능하게 한다.

2. 재료 및 방법

1) 관측해역 및 관측방법

동해연안해역 총 18개 정점에서 수중분광측정기기 (Profiling Reflectance Radiometer: PRR; Biospherical Ltd.)를 이용한 수중 광 환경 조사가 11월 수행되었다. 정점의 위치는 북쪽 거진연안으로부터 남쪽 감포연안까지 였다 (그림 1, 표 1). 각 정점에서는 낮 시간 동안에 배 그림자가 지지 않는 햇빛 정면 방향으로 센서가 해수면 수직 방향을 향하도록 주의하며 광학기기를 수중으로 내려 빛이 도달하는 유광층 수심 부근까지의 수중 분광분포를 측정하였다 (그림 2). 수중분광측정기기의 하나인 PRR은 가시광선 영역대에 총 6개 채널을 가지고 있으며 (412, 443, 490, 510, 555, 665 nm), 해수의 표층으로 입사되는 하향복사도 (downwelling irradiance)와 수중으로부터 흡광 및 반사된 후 다시 해수면으로 올라오는 상향복사도 (upwelling radiance)를 각각 측정할 수 있는 장비이다. 또한, 각 채널 광량의 수직프로파일과 함께 식물플랑크톤 광합성과 관련한 가시광선 영역의 총광량 (PAR)도 계산되어지며, 이를 통해 해수중 K_{PAR}도 추정 가능하다. 본 연구팀이 보유한 장비는 PRR-600 split 모델로서, 입사광과 반사광을 수심차가 나지 않고 측정할 수 있게 센서를 분리해 놓은 개선된 장비이다.

2) 위성자료

본 연구에 사용된 위성자료는 미국 NASA의 Goddard Space Flight Center (McClain et al. 1998)에서 얻어진 레벨-3 Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor (SeaWiFS; version 5.2)와 MODerate resoultion Imaging Spectroradiometer (MODIS) 월 평균 자료를 사용하였다. 공간해상도는 약 9 km × 9 km였으며, 1997년-2007년까지의 기후값 (climatology) 자료도 함께 이용하였다. 자료 분석에는, 두 위성탑재 센서로부터 얻어진 표층엽록소 농도 (chlorophyll-a concentration)와 소광계수 (attenuation coefficient) K490 값이 이용되었으며, 위성자료 처리를 위한 프로그램은 NASA의 SeaDAS (version 5.2)를 사용하였다. 또한, 위성자료를 이용한 동해지역의 월 평균 엽록소-a 농도와 소광계수 분포를 파악함과 함께, 앞서 총 18개 정점의 연안해역 수중 광 분포를 위성자료로부터 계산하였다.

표 1. 동해연안 관측정점 위치와 11월 수중분광측정기기 및 Secchi depth로부터 계산된 유광층 수심 (m)

정점	정점명	위도	경도	유광층수심 1#	유광층수심 2$
1	거진2	38.44	128.51	38.3	27.9
2	속초1	38.20	128.61	27.1	23.0
3	양양1	38.01	128.75	24.2	27.9
4	주문진1	37.89	128.84	27.1	26.3
5	강릉1	37.77	128.96	27.1	27.9
6	강릉6	37.72	129.04	30.7	24.6
7	동해2	37.50	129.15	28.8	32.9
8	삼척2	37.43	129.20	24.2	23.0
9	삼척4	37.23	129.37	28.8	31.2
10	죽변4	37.10	129.40	25.6	18.1
11	죽변2	36.95	129.43	23.0	29.6
12	후포2	36.69	129.48	28.8	44.4
13	축산2	36.53	129.50	27.1	31.2
14	강구2	36.35	129.40		18.1
15	월포1	36.20	129.40	27.1	34.5
16	영일만11	36.07	129.51	20.9	21.4
17	구룡포2	36.00	129.59	21.9	18.1
18	감포2	35.82	129.53	23.0	19.7

수중분광측정장비의 PAR 수직프로파일로부터 직접 계산된 유광층수심 (m)

$ Secchi depth 수심으로부터 계산된 (K_{PAR}=1.4/SD 적용) 유광층수심 (m)

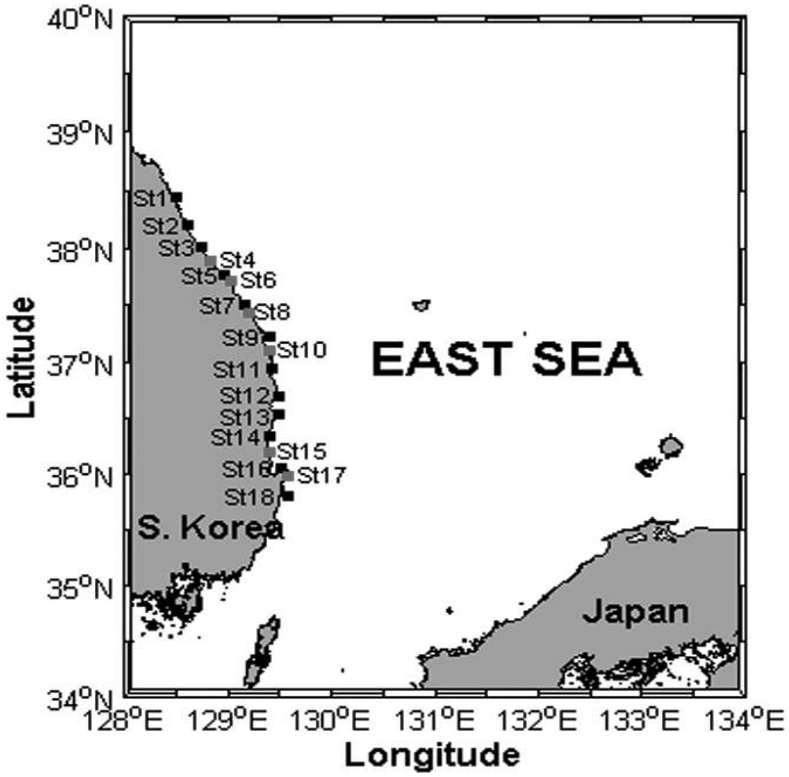

그림 1. 동해연안해역 관측정점도.

(a) (b)

그림 2. 수중분광측정기기 (Profiling Reflectance Radiometer: PRR)의 장비구성과 현장관측 (deployment) 모습.

3. 결과

동해연안해역의 수중 광 환경 조사

1) 월간 엽록소-a 분포

2009년 1월부터 8월까지 동해연안해역 및 울릉분지 해역의 월 평균 표층엽록소-a 농도를 그림 3에 나타내었다. 2009년 동해지역의 식물플랑크톤 봄 번성은 3월 북동부 연안에서 시작하여 4월 동해연안 전 해역과 울릉분지 및 외양으로 확장되었고, 연안해역의 번성은 5월까지 관측되었다. 6-8월 하계에는 큰 번성은 관찰되지 않았으나, 중동부와 남부 연안에서 여름철 용승에 의한 엽록소 농도 증가가 동한난류를 타고 북쪽 외양으로 퍼져나가는 모습을 관찰할 수 있었다. 이러한 하계 연안용승에 의한 식물플랑크톤 번성은 동해 연안해역에서 거의 매해 빈번히 발생하고 있는 현상이며, 동해 울릉분지의 높은 생산력과 관련이 있다 (Yoo and Park, 2009). 8월 이후의 위성자료는 올해 하반기 NASA의 위성자료 재처리 (reprocessing)로 인해 자료의 배포가 중단된 상태고, 이번 달 들어 새로운 버전 (version 2009.1)의 자료와 자료처리 시스템 (SeaDAS 6.0)이 배포되어 나머지 기간에 대한 자료는 현재 처리중에 있다.

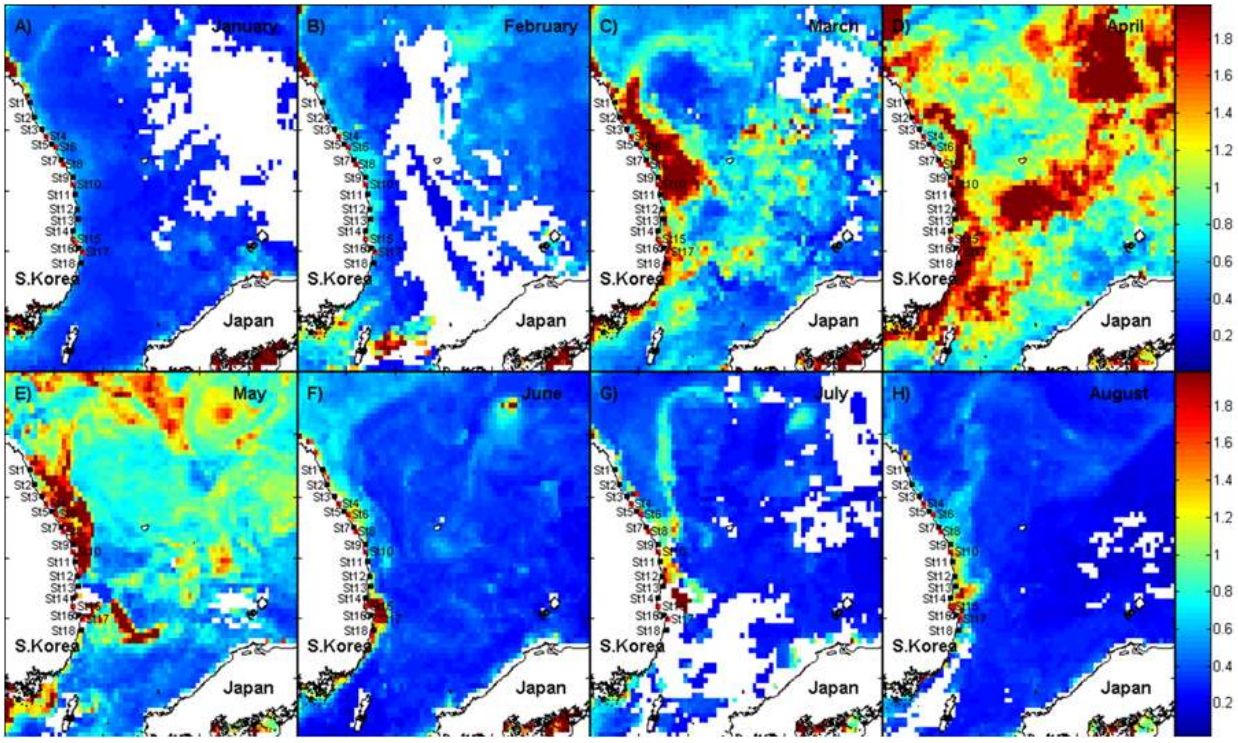

그림 3. 2009년 1-8월 동해지역 표층엽록소 농도 (mg m^{-3})의 월간 분포 (MODIS ocean color data).

2) 월간 소광수심 분포

2009년 1월부터 8월까지 동해연안해역 및 울릉분지 해역의 월 평균 광 투과도 지수인 소광계수 분포는 그림 4에 나타내었다. 앞서 엽록소-a 분포와 같이 겨울철 낮고 3-5월 식물플랑크톤 봄 번성시기에 수중 광 투과도가 크게 증가하는 것을 볼 수 있다. 동해지역은 황해와 달리 그리 탁하지 않고 담수의 유입이 상대적으로 적어 용존유기물과 부유물질에 의한 흡광 및 산란의 영향이 적은 편이며, 따라서, 수중 광은 식물플랑크톤에 의한 흡광에 가장 크게 영향을 받게 된다. 그림에서, 여름철 연안용승에 따른 고농도 엽록소의 띠 모양 확장이 (그림 3), 소광계수 이미지에도 확인됨을 볼 수 있다. 다시 말해, 동해 연안 기저부에 서생하는 해조류의 입장에서, 수중 광 환경은 봄철 식물플랑크톤 번성이 발생하는 시기와 여름철 연안 용승이 활발한 시기에는 제한 받을 수 있고, 겨울철에는 일사량은 낮지만 상대적으로 표층에서 광 제한요소로 작용하는 식물플랑크톤의 영향을 덜 받을 수 있음을 알 수 있다.

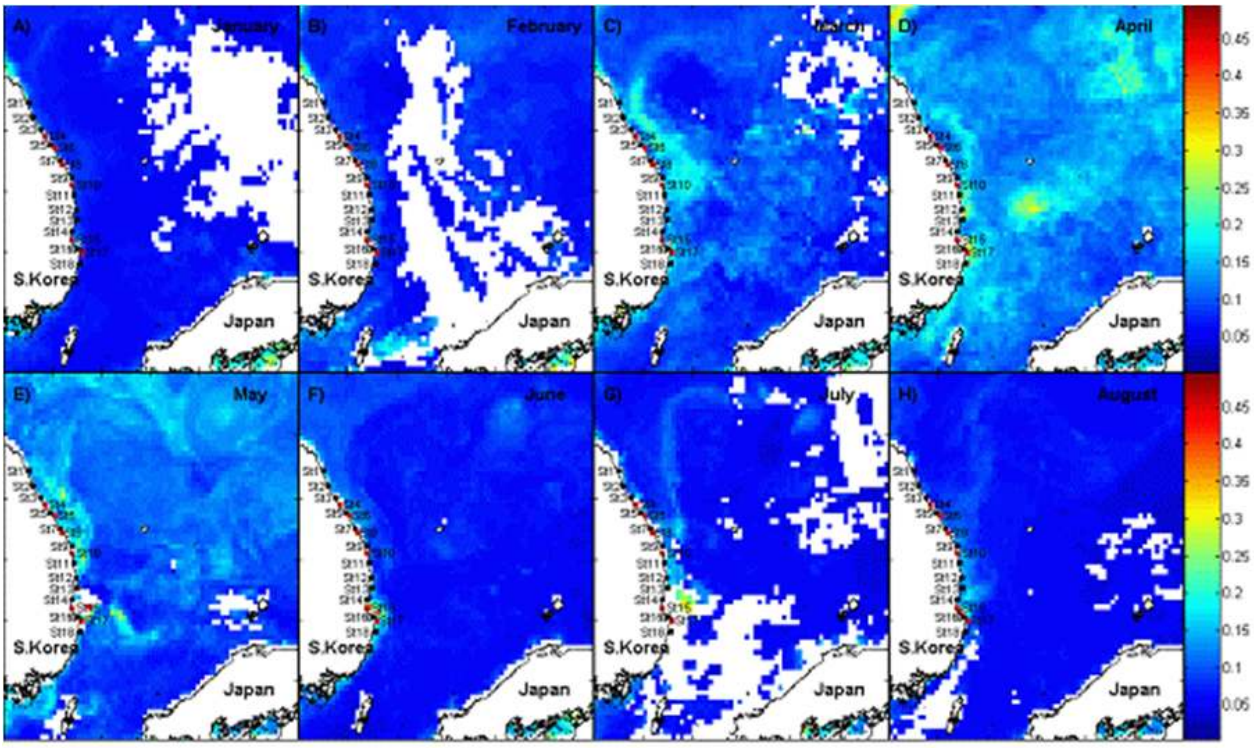

그림 4. 2009년 1-8월 동해지역 소광계수 (m^{-1})의 월간 분포 (K490 from MODIS data).

3) 연안정점의 실측 수중분광분포

그림 5는 수중분광측정기기로 측정된 각 연안정점의 수중 광 수직프로파일을 파장별로 보여주고 있다. 측정시간의 차이와 날씨의 영향으로 표층 일사량은 각각 다르나 대체로 모든 정점에서 적색과 청색대에 비해 녹색대 (490, 510 nm; 그림 6 참고) 파장의 광이 더 깊은 수심까지 도달함을 볼 수 있다. 적색대는 물분자에 의해 흡수가 강한 파장대이고 청색대는 주로 식물플랑크톤의 엽록소나 용존유기물에 의한 흡광이 강한 파장대로, 연구해역은 주로 엽록소에 의한 흡광이 강했을 것으로 예상된다. 그림 6은 정점 13을 한 예로, 수중분광측정기기에서 얻어진 광 스펙트럼의 분포를 보여주고 있다. 분광측정기기는 1초에 수 차례 파장별 광량을 측정하며, 광량이 작아짐에 따라 (즉, 수심이 깊어짐에 따라) 적색대의 빛이 먼저 빨리 감소하고 청색대의 빛도 표층부터 작음을 알 수 있다. 또한, 수중분광측정기의 PAR 값으로부터 계산된 유광층수심과 Secchi depth로부터 계산된 유광층수심을 비교해 보면, 절대값의 범위는 크게 다르지 않으나 정점간의 비교결과가 다르게 나타남을 알 수 있다 (표 1). 다시 말해, 수중분광측정기기로 추정된 유광층수심은 가장 북쪽에 위치한 거진연안정점 (정점 1)에서 가장 깊었으나, Secchi depth로부터 추정된 유광층수심은 거진연안정점은 상대적으로 높지 않고 오히려 후포연안정점(정점 12)에서 최대값을 나타내었다. 비록 Secchi disk를 이용한 광투과도 측정이 간편하고 장소에 제약을 받지 않는다는 장점이 있으나, 광질의 영향도 받는 실제 가시광선 영역대의 광투과도는 전문 측정장비인 광학장비를 사용하는 것이 바람직하다.

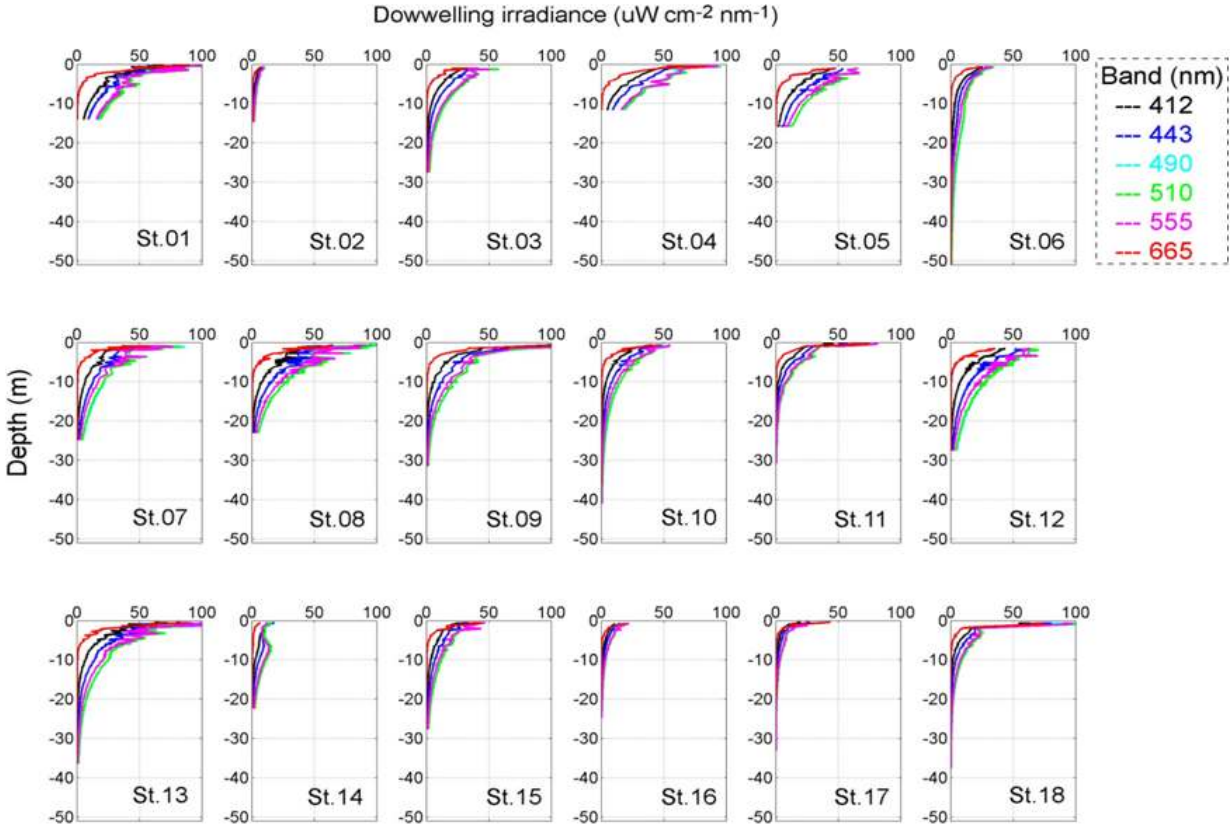

그림 5. 수중분광측정기기 PRR로 관측된 18개 정점의 수중분광분포 (2009년 11월). 단위는 μW cm^{-2} nm^{-1}.

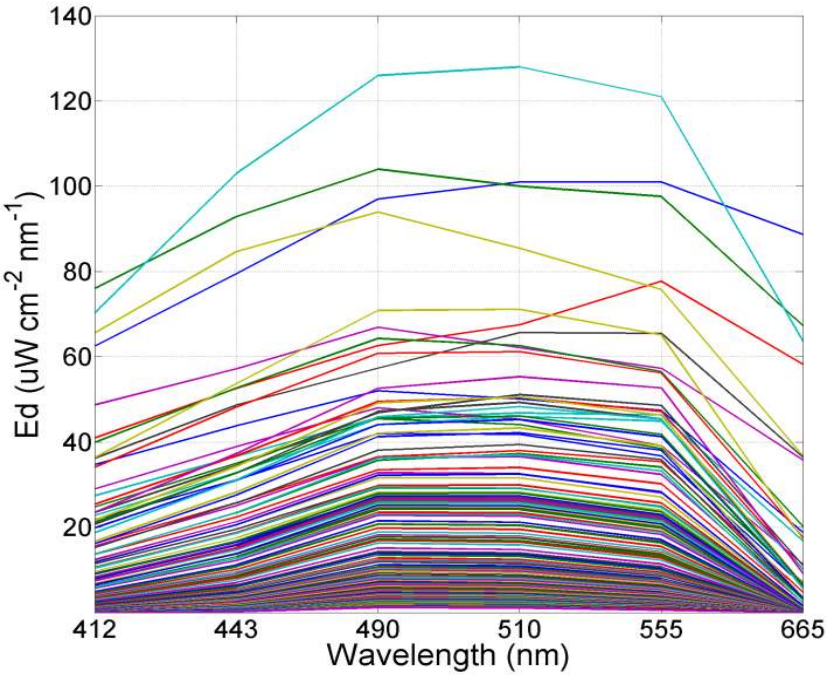

그림 6. 2009년 11월 13번 정점 (축산연안 2)에서의 수중 광 분광분포. 그림에서 각각의 색으로 표현된 각 선분은 표층부터 유광층수심까지 분광기기로 측정된 수중분광분포를 보여주고 있다.

4) 연안정점의 과거 십년 평균 수심별 분광분포

본 연구를 통해 직접 측정된 정점별 수중 분광분포와 함께, 각 정점별 수중 광 조건의 계절별 변화를 파악하는 것 또한 중요하다. 이를 위해, 과거 십년간의 기후값 위성자료를 활용하여 각 정점별 수중 광량의 월간 분포를 수심별로 계산하였다 (그림 7~24). 표층 입사광량 (그림에서 0m 적색선분)은 정점별 위도차가 크지 않으므로 모두 비슷한 수준으로 5-6월에 최대값이 나타났으며 (그림 27, 28 참고), 12월에 최소값이 나타나는 사인커브 모양을 따랐다. 또한, 수심에 따른 광량의 변화가 크게 다르진 않았다 (표층 제외; 5, 10, 15 , 20 m). 특이할 만한 점은, 입사량의 계절 또는 월별변화가 단순함과 달리, 수중의 광량 분포는 대부분의 정점에서 3-5월 식물플랑크톤 봄 번성시기와 8-11월에 급격히 낮아지는 경향을 보였다. 특히, 4월은 대부분의 정점에서 최소값이 나타났는데, 정점 11 (죽변연안 2 정점)의 경우 수심에 따라 광량의 급격한 감소가 보였다. 이는 그림 27의 4월 소광수심분포에서 확인할 수 있듯이 이 연안을 대표하는 위성자료의 소광계수가 상대적으로 매우 컸기 때문인데, 이는 위성자료의 픽셀 에러일 수 있으며 개별 일일 위성자료로부터 다시 확인해 볼 필요성이 남아있다. 8월은 연안용승에 의한 식물플랑크톤 엽록소 농도 증가 (그림 3 참고), 10-11월은 가을 번성에 의한 영향이 수중 광 조건에 영향을 준 것으로 판단된다. 그림 25-26은 계절별 월 평균 표층일사량 분포를 보여주고 있으며, 그림 27-28은 월 평균 소광계수의 분포를 보여주고 있다. 그림에서 알 수 있듯이, 감포연안은 6월과 함께 8-9월에 소광계수가 커서 수중 광량이 낮은 값을 보였다 (그림 24). 이러한 계절별/해역별 수중 광량의 월간 분포자료는 해저에 서식하는 해조류의 광합성에 유리한 지역을 선정하여 바다숲을 조성하는데 있어 중요한 기초자료가 될 것으로 기대된다.

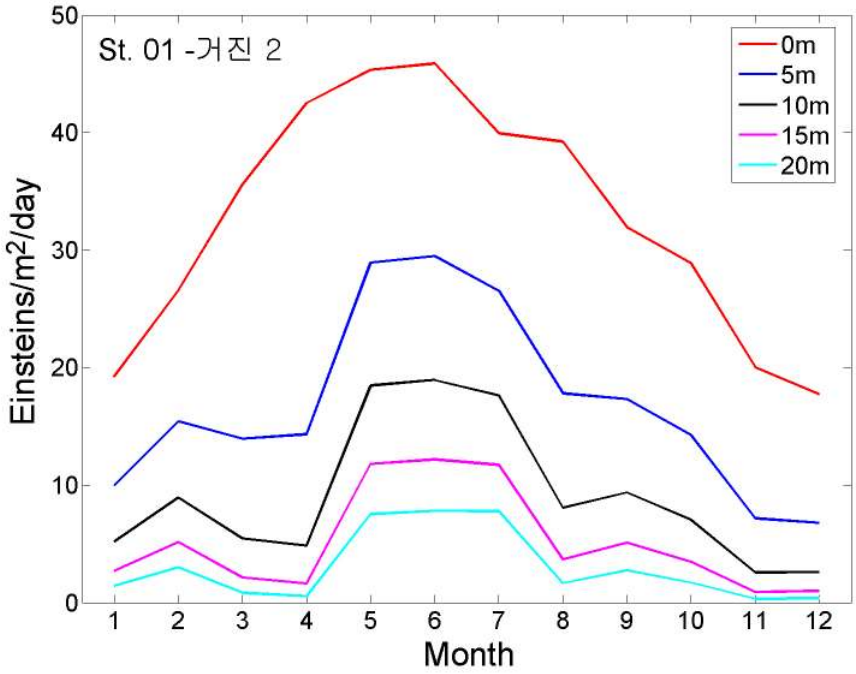

그림 7. 동해연안 관측정점 1 (거진 2)에서의 수심별 분광분포.

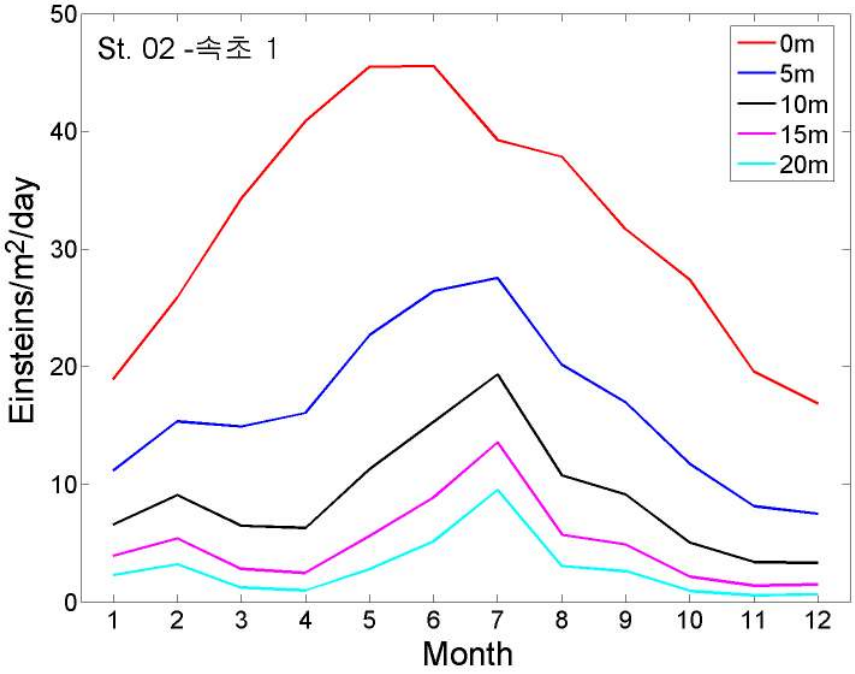

그림 8. 동해연안 관측정점 2 (속초 1)에서의 수심별 분광분포.

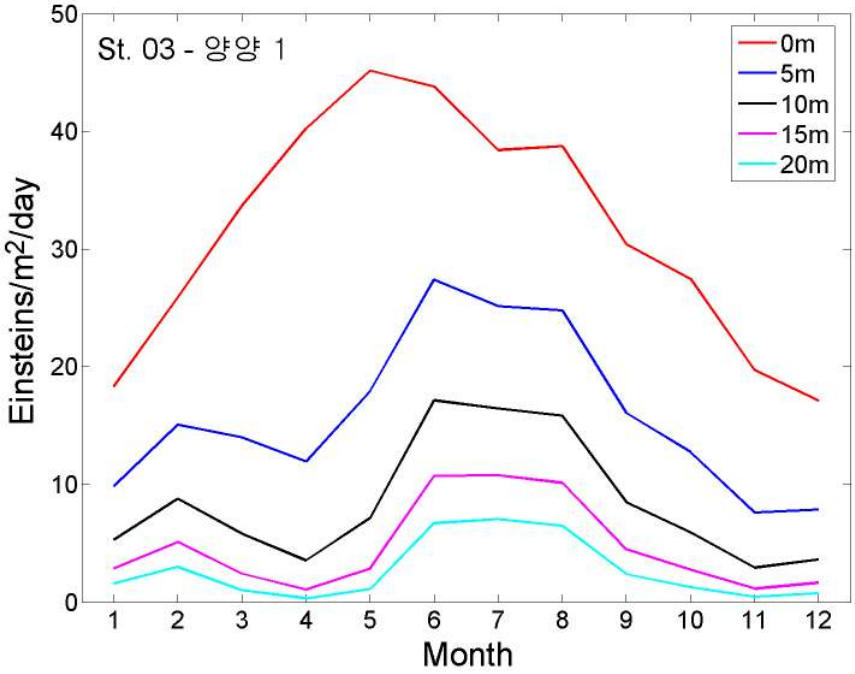

그림 9. 동해연안 관측정점 3 (양양 1)에서의 수심별 분광분포.

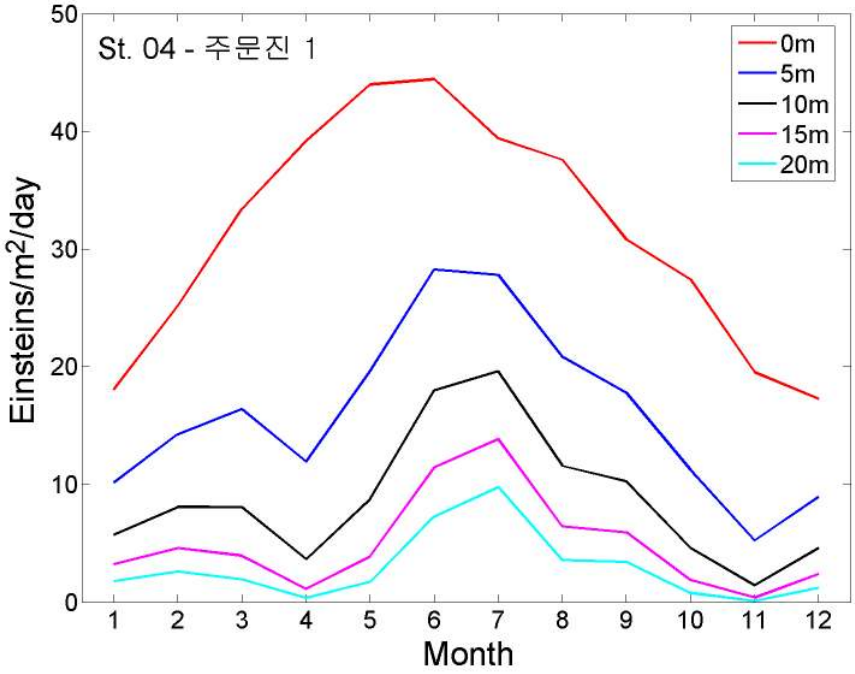

그림 10. 동해연안 관측정점 4 (주문진 1)에서의 수심별 분광분포.

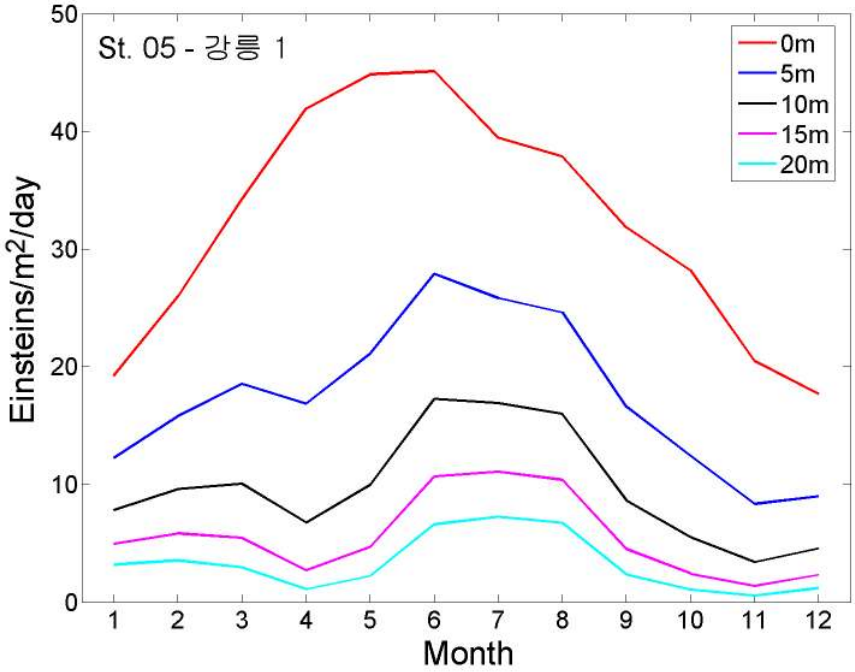

그림 11. 동해연안 관측정점 5 (강릉 1)에서의 수심별 분광분포.

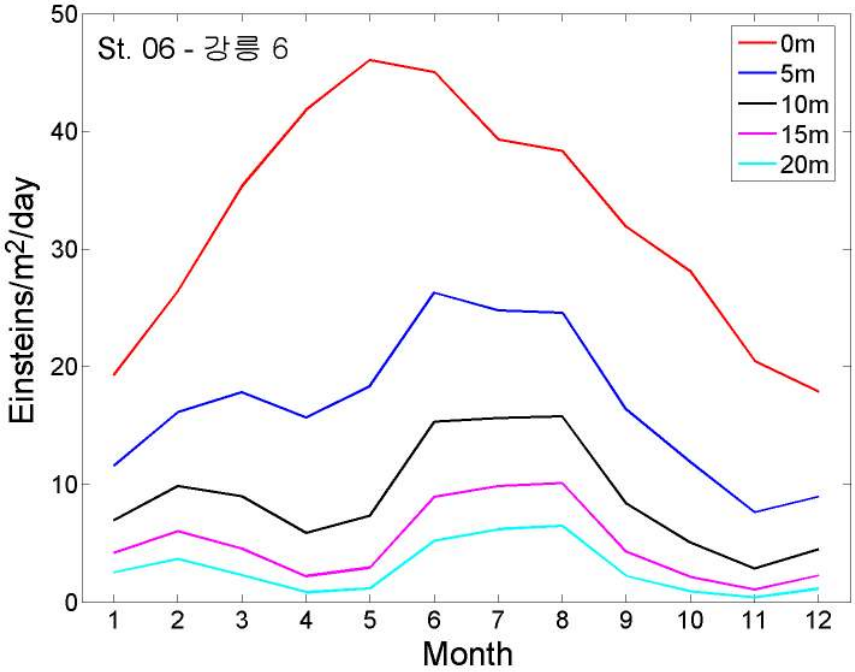

그림 12. 동해연안 관측정점 6 (강릉 6)에서의 수심별 분광분포.

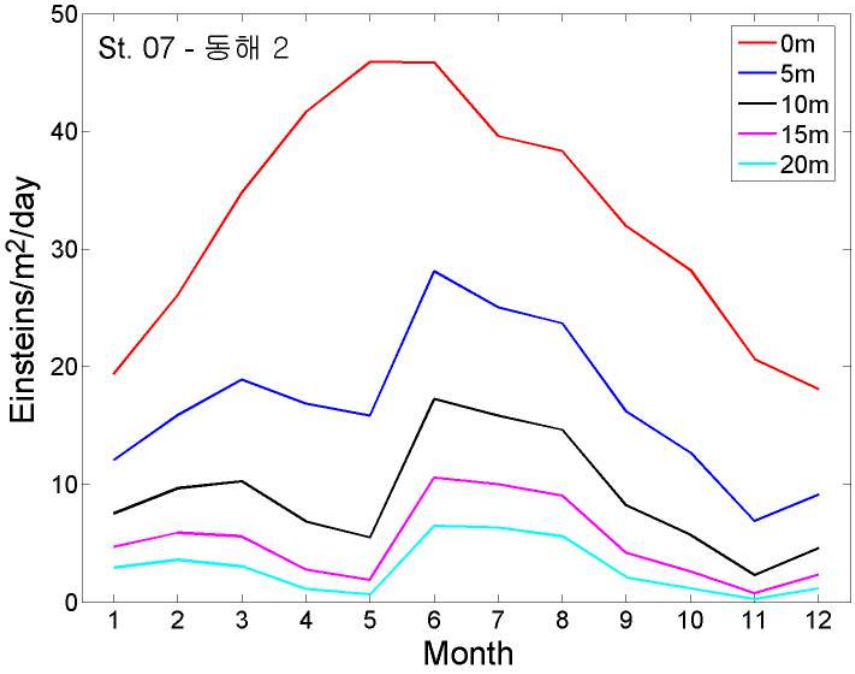

그림 13. 동해연안 관측정점 7 (동해 2)에서의 수심별 분광분포.

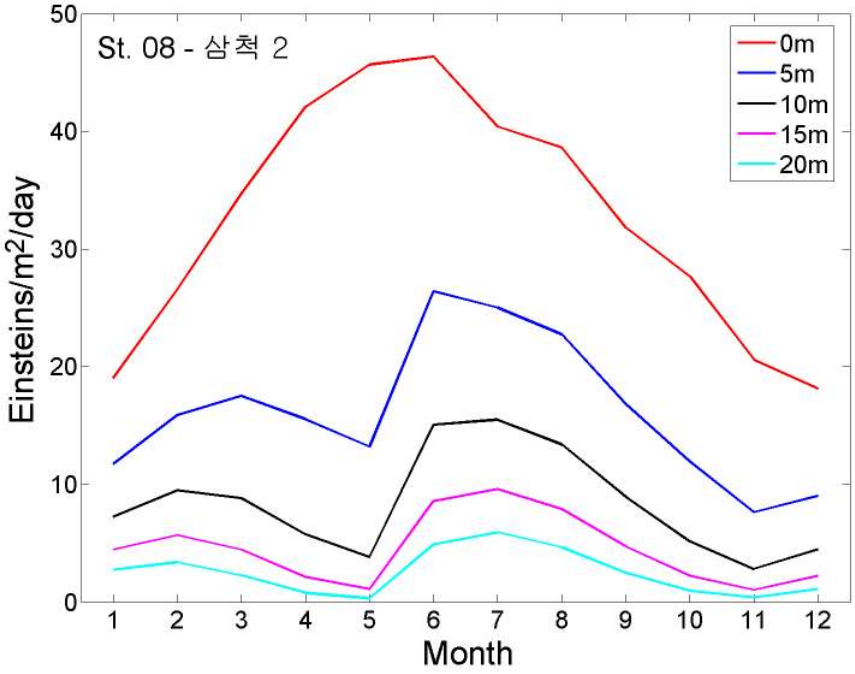

그림 14. 동해연안 관측정점 8 (삼척 2)에서의 수심별 분광분포.

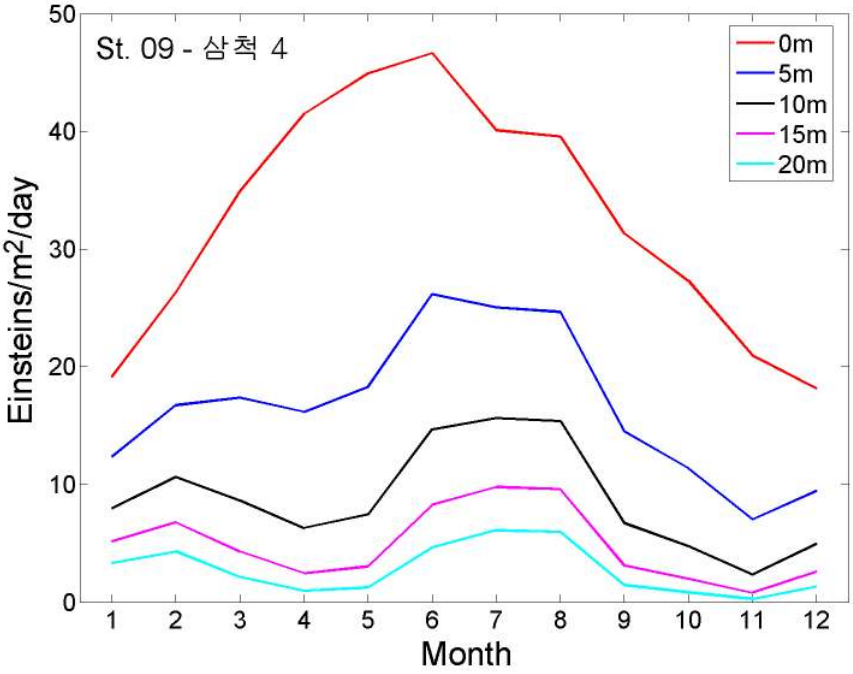

그림 15. 동해연안 관측정점 9 (삼척 4)에서의 수심별 분광분포.

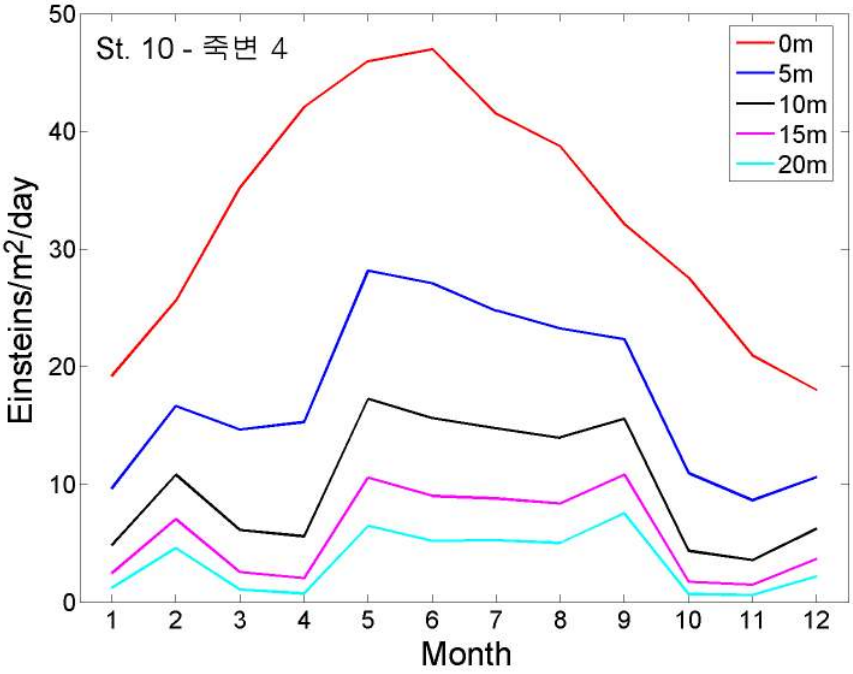

그림 16. 동해연안 관측정점 10 (죽변 4)에서의 수심별 분광분포.

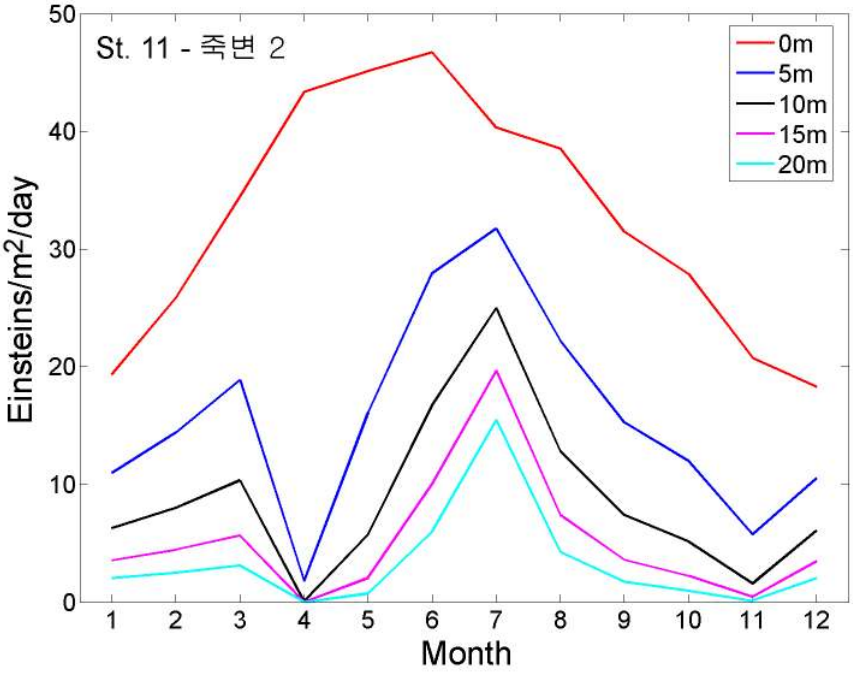

그림 17. 동해연안 관측정점 11 (죽변 2)에서의 수심별 분광분포.

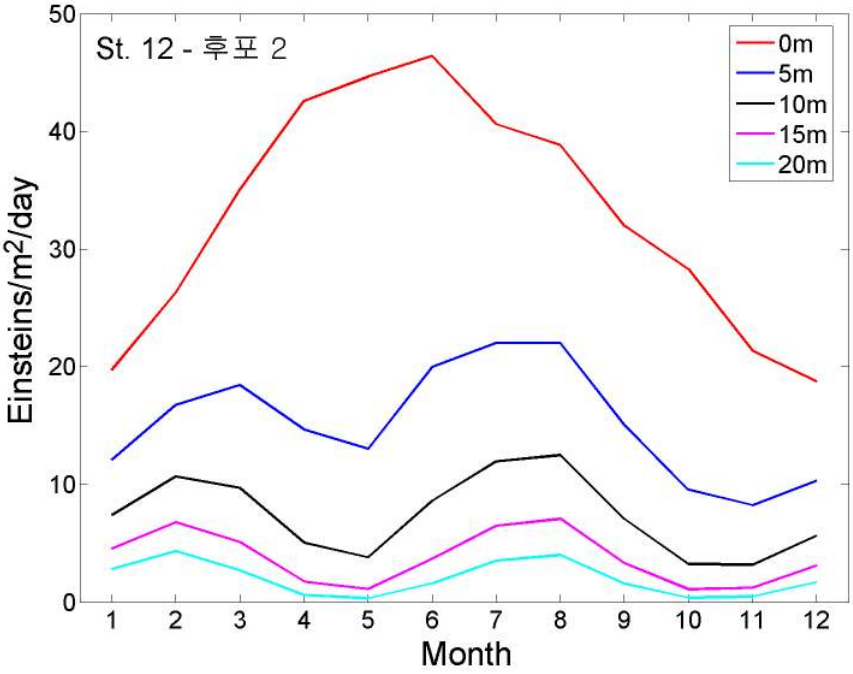

그림 18. 동해연안 관측정점 12 (후포 2)에서의 수심별 분광분포.

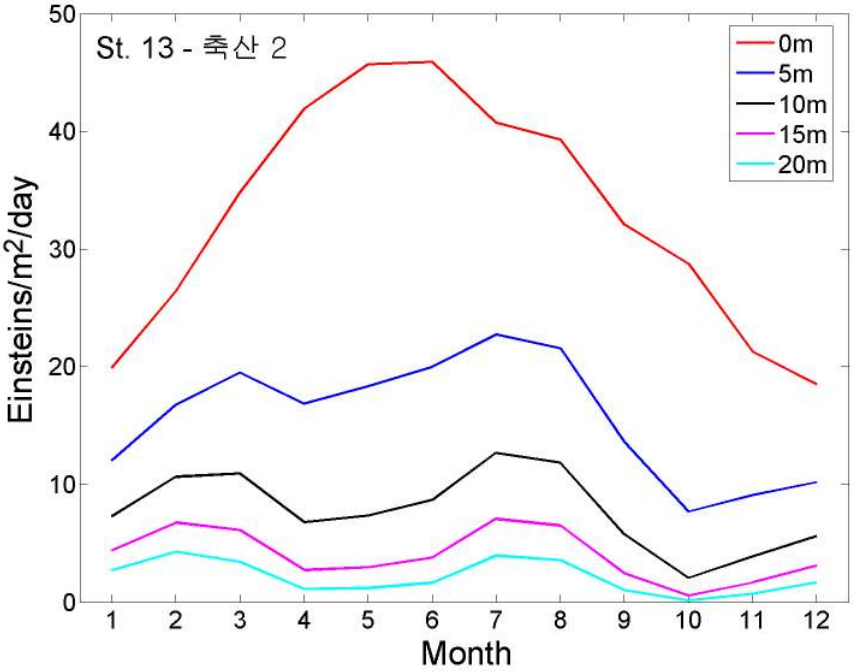

그림 19. 동해연안 관측정점 13 (축산 2)에서의 수심별 분광분포.

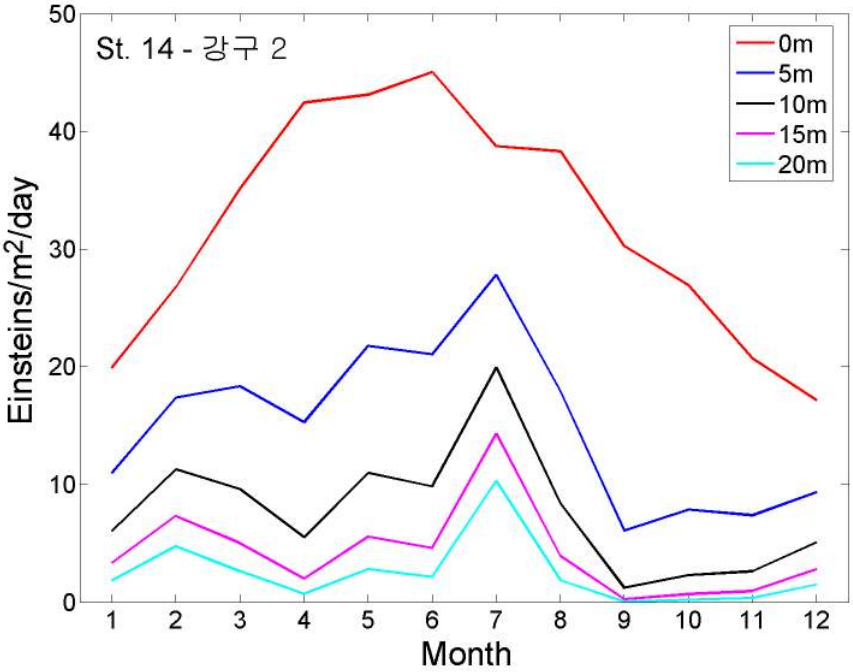

그림 20. 동해연안 관측정점 14 (강구 2)에서의 수심별 분광분포.

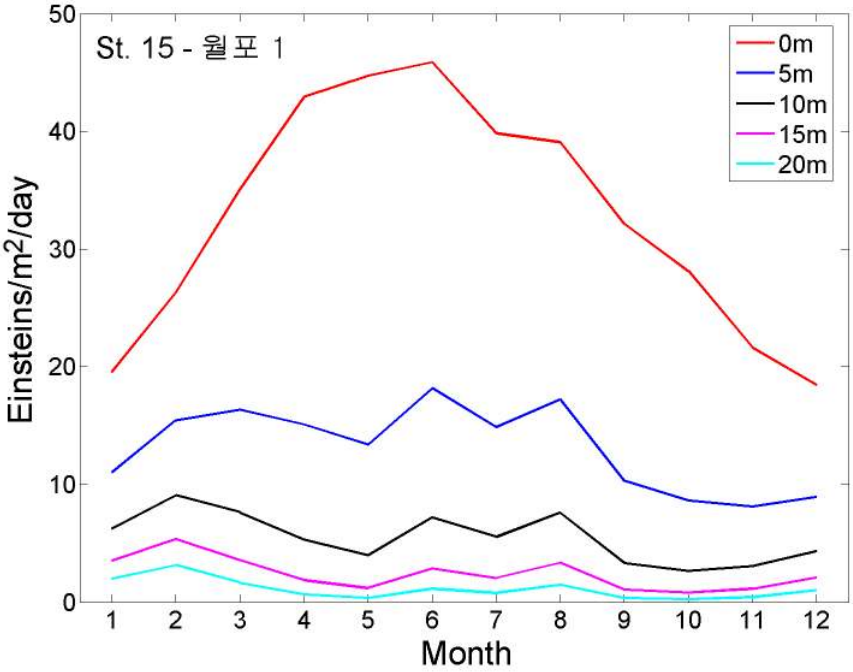

그림 21. 동해연안 관측정점 15 (월포 1)에서의 수심별 분광분포.

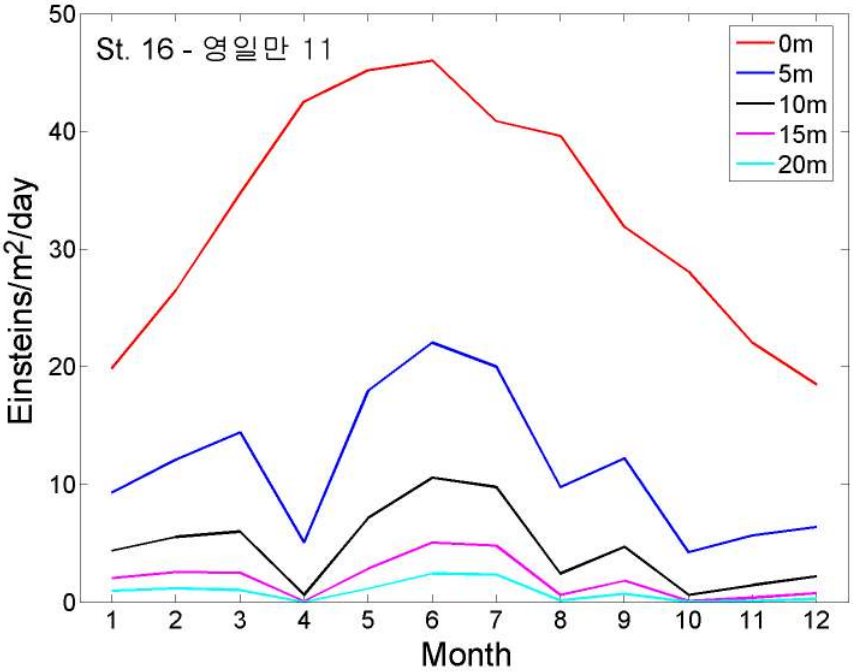

그림 22. 동해연안 관측정점 16 (영일만 11)에서의 수심별 분광분포.

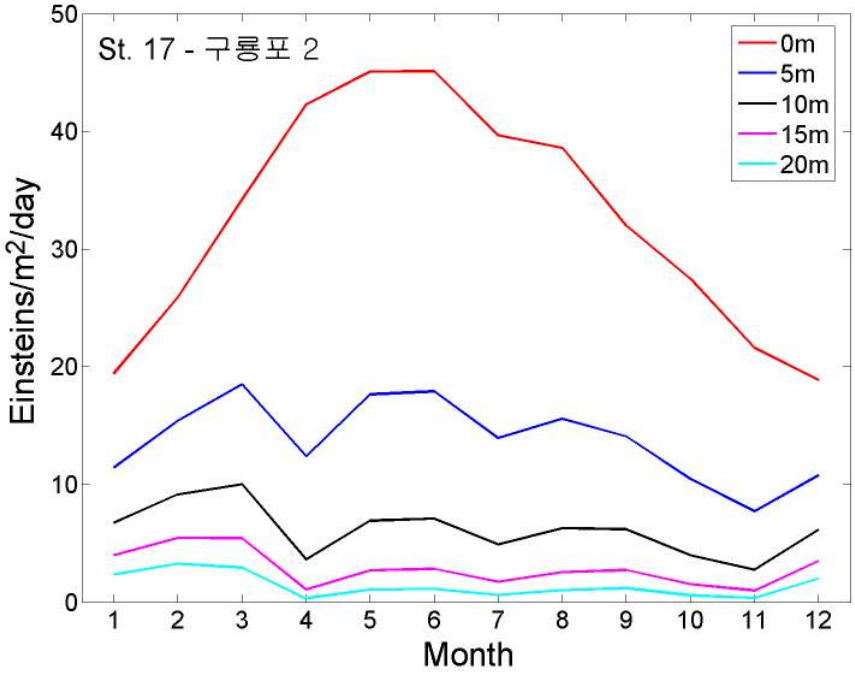

그림 23. 동해연안 관측정점 17 (구룡포 2)에서의 수심별 분광분포.

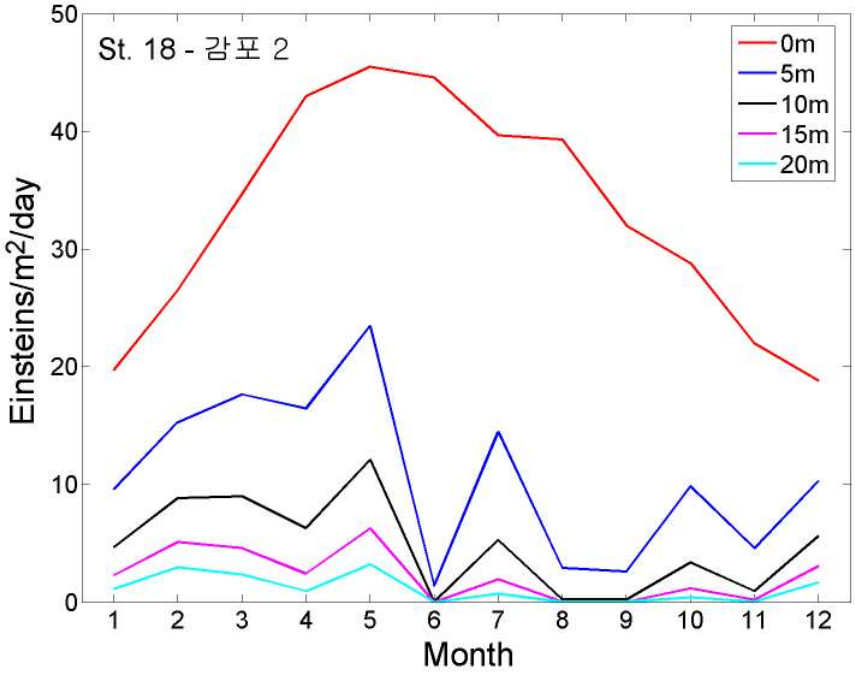

그림 24. 동해연안 관측정점 18 (감포 2)에서의 수심별 분광분포.

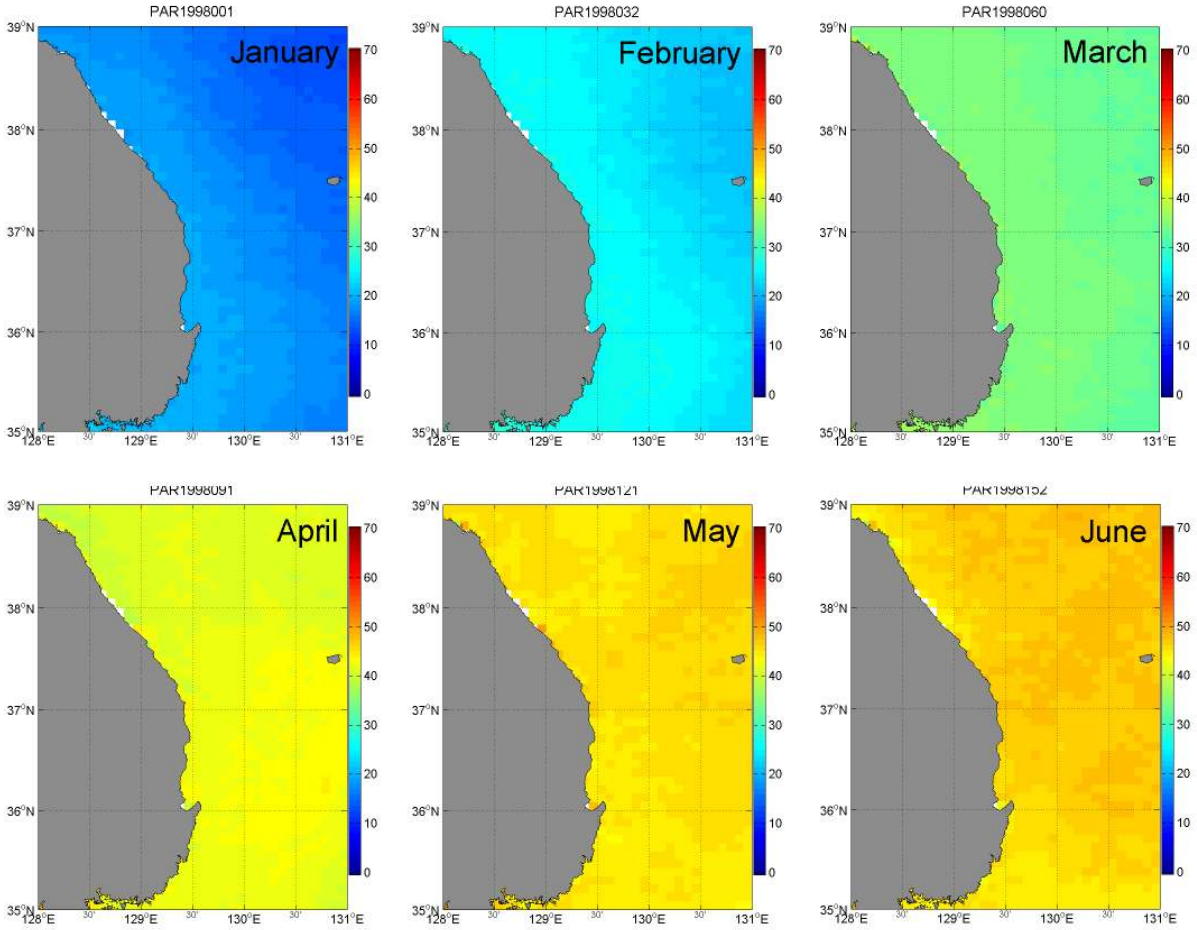

그림 25. SeaWiFS 위성자료로부터 관측된 1998-2007년 평균 동해지역 표층 일사량의 월간 분포 (1-6월). 단위는 Einstein m^{-2} day^{-1}.

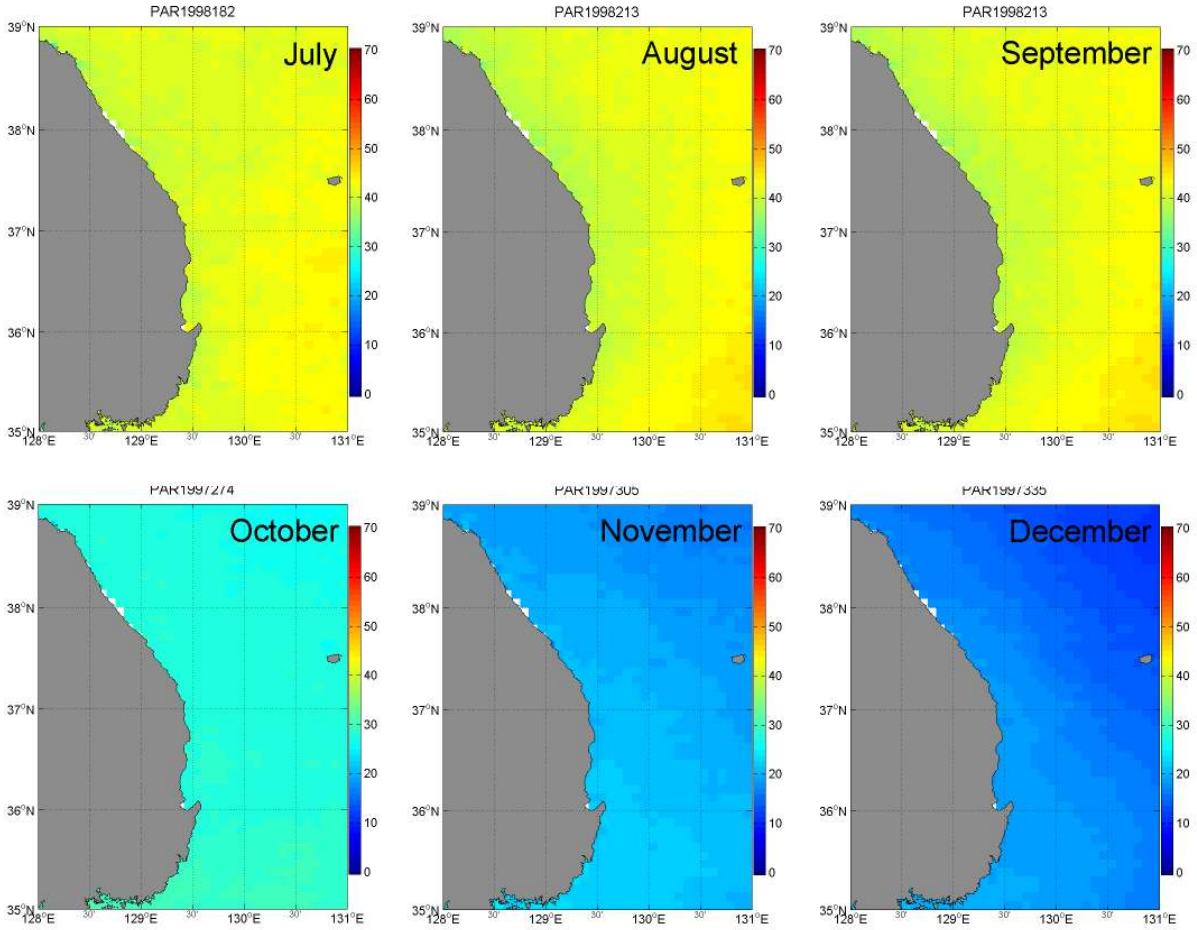

그림 26. SeaWiFS 위성자료로부터 관측된 1998-2007년 평균 동해지역 표층 일사량의 월간 분포 (7-12월).

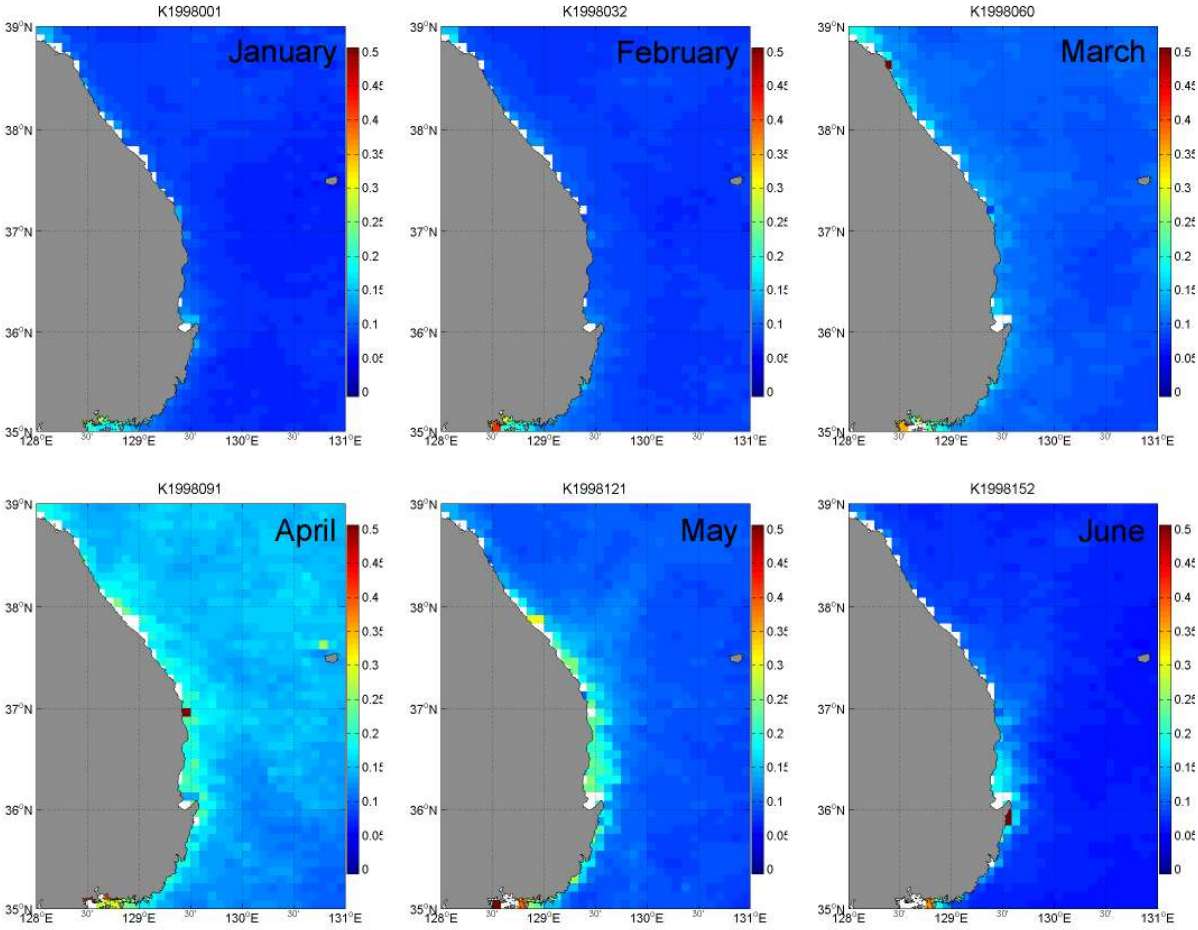

그림 27. SeaWiFS 위성자료로부터 관측된 1998-2007년 평균 동해지역 소광계수 (K490)의 월간 분포 (1-6월). 단위는 m^{-1}.

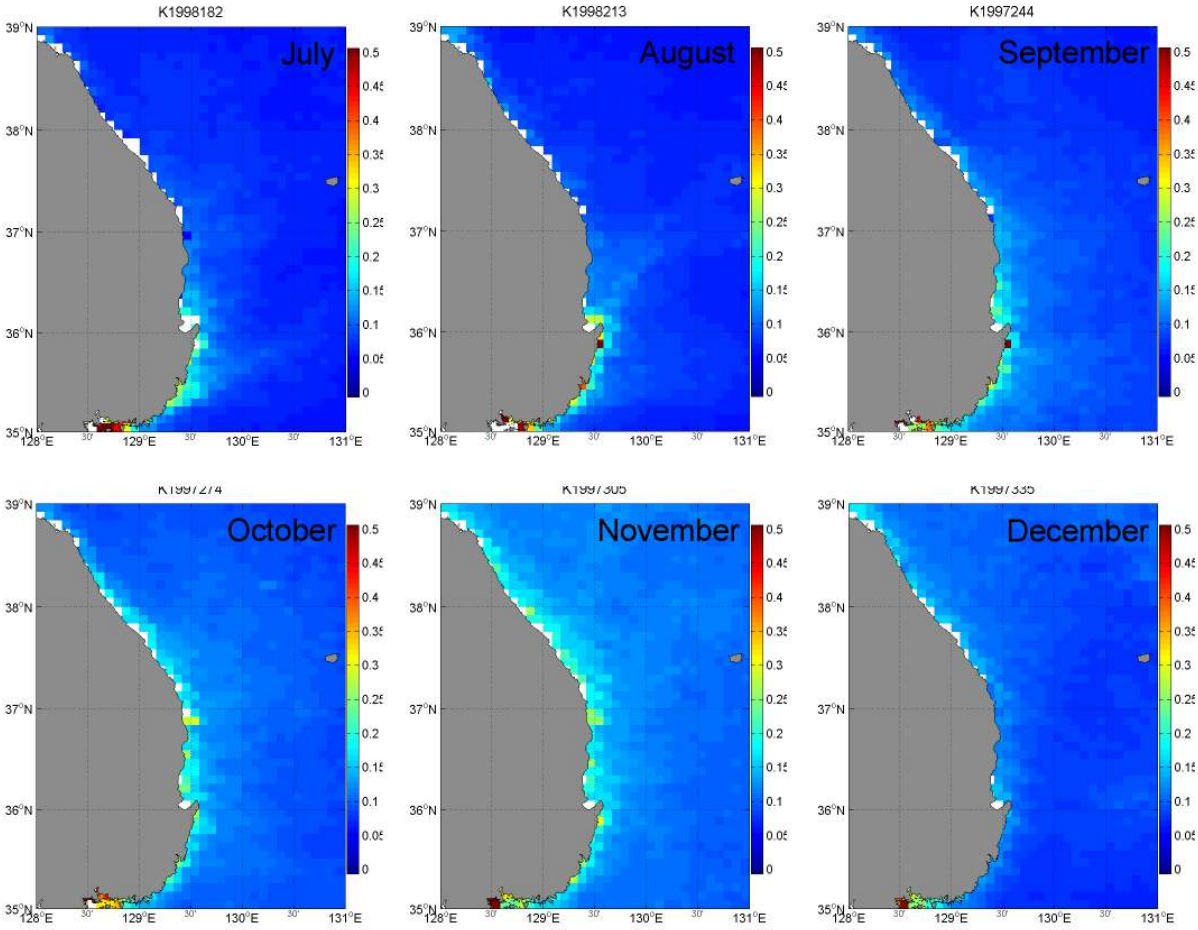

그림 28. SeaWiFS 위성자료로부터 관측된 1998-2007년 평균 동해지역 소광계수 (K490)의 월간 분포 (7-12월).

4. 참고문헌

Dring, M. J. (1981). Chromatic adaptation of photosynthesis in benthic marine algae: an examination of its ecological significance using a theoretical model. Limnol. Oceanogr 26: 271-284.

Dunton, K. H. (1990). Growth and production in Laminaria solidunyula: relation to continuous underwater light levels in the Alaskan High Arctic. Mar Biol. 106: 297-304.

Kain, J. M. (1971). Continuous recording of underwater light in relation to Laminaria distribution In: Crisp, D. J. (ed.) Proc. 4th Eur, mar. Biol. Symp. Cambndge Univ. Press, London, p. 335-346.

Kain, J. M. (1966). The role of light in the ecology of Laminaria hyperborea. In: Bambridge, R.. Clifford, G. Rackham. (ed.) Light as an ecological factor. Blackwell, Oxford, p. 319-334.

Kain, J. M., Drew, E. A., Jupp., B. P. (1976). Light and the ecology of Laminaria hyperborea 11. In: Evans, G. C., Bainbridge, R., Rackham. 0 . (eds.) Light as an ecological factor. Blackwell, Oxford, p. 63-92.

King, R. J., Schramm, W. (1976). Photosynthetic rates of benthic marine algae in relation to light intensity and seasonal variations. Mar. Biol. 37: 215-222.

Luining, K. (1971). Seasonal growth of Laminaria hyperborea under recorded underwater light conditions near Helgoland. In: Crisp, D. J. (ed.) Proc. 4th Eur. Mar. Biol. Symp. Cambridge Univ. Press, London, p. 347-361.

Luning, K., Dring, M. J. (1979). Continuous underwater light measurement near Helgoland (North Sea) and its significance for characteristic light limits in the sublittoral region. Helgolander wiss. Meeresunters. 32: 403-424.

McClain, C.R., M.L. Cleave, G.C. Feldman, W.W. Gregg, S.B. Hooker, and N. Kuring. 1998. Science quality SeaWiFS data for global biosphere research. Sea Technology. 39(9):10-16.

Sand-Jensen. K. (1988). Minimum light requirements for growth in Ulva lactuca. Mar. Ecol. Prog. Ser. 50: 187-193.

Yoo, S., and J. Park. 2009. Why is the southwest the most productive region of the East Sea/Sea of Japan? Journal of Marine Systems. 78:301-315.