

Article

MODIS 해색 자료의 유효관측영역 확장에 대한 연구

박정원* · 김현철*† · 박경석** · 이상환**

*한국해양과학기술원 부설 극지연구소 극지해양환경연구본부 원격탐사연구실

**한국과학기술정보연구원 융합기술연구본부 과학데이터기술연구실

A Study on Extending Successive Observation Coverage of MODIS Ocean Color Product

Jeong-Won Park*, Hyun-Cheol Kim*†, Kyungseok Park** and Sangwhan Lee**

*Department of Polar Remote Sensing, Korea Polar Research Institute

**Scientific Data Research Center, Korea Institute of Science and Technology Information

Abstract : In the processing of ocean color remote sensing data, spatio-temporal binning is crucial for securing effective observation area. The validity determination for given source data refers to the information in Level-2 flag. For minimizing the stray light contamination, NASA OBPG's standard algorithm suggests the use of large filtering window but it results in the loss of effective observation area. This study is aimed for quality improvement of ocean color remote sensing data by recovering/extending the portion of effective observation area. We analyzed the difference between MODIS/Aqua standard and modified product in terms of chlorophyll-a concentration, spatial and temporal coverage. The recovery fractions in Level-2 swath product, Level-3 daily composite product, 8-day composite product, and monthly composite product were 13.2(±5.2)%, 30.8(±16.3)%, 15.8(±9.2)%, and 6.0(±5.6)%, respectively. The mean difference between chlorophyll-a concentrations of two products was only 0.012%, which is smaller than the nominal precision of the geophysical parameter estimation. Increase in areal coverage also results in the increase in temporal density of multi-temporal dataset, and this processing gain was most effective in 8-day composite data. The proposed method can contribute for the quality enhancement of ocean color remote sensing data by improving not only the data productivity but also statistical stability from increased number of samples.

Key Words : Ocean color, MODIS/Aqua, Stray light, Level-2 flag, Chlorophyll-a

요약 : 해색 원격탐사 자료의 처리과정에서는 일반적으로 관측 영역의 확보를 위해 시공간적 합성을 수행하며, 이 때 Level-2 flag를 참조하여 합성 재료가 되는 영상의 유효성을 판단한다. NASA OBPG의 표준 알고리즘은 stray light에 의한 관측 오차를 최소화하기 위해서 필터링 윈도우를 채택하고 있으나, 이로 인

Received October 26, 2015; Revised December 15, 2015; Accepted December 22, 2015.

† Corresponding Author: Hyun-Cheol Kim (kimhc@kopri.re.kr)

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

한 관측 영역의 손실이 많다. 이 연구는 유효 관측 영역의 복원/확장을 통한 해색 원격탐사 자료의 품질 향상에 목적을 둔다. 이를 위해서 MODIS/Aqua의 필터링 윈도우의 크기 변화에 따른 관측 영역과 클로로필a 농도 측정값의 변화를 분석하였다. 그 결과 유효 관측 영역에 있어 Level-2 swath 자료, Level-3 일별 합성자료, 8일 합성자료, 월별 합성자료에서 각각 13.2(± 5.2)%, 30.8(± 16.3)%, 15.8(± 9.2)%, 6.0(± 5.6)%의 복원 효과가 발생하였으며, 표준 자료와의 측정값 차이는 공통 관측 영역에서 평균 0.012% 이하로 매우 유의하였다. 또한 공간 영역 확장으로 인해 시계열 자료에서의 관측 밀도도 상승하였으며 그 이득은 8일 합성자료에서 가장 크게 나타났다. 제안 방법을 통한 유효 영역의 확장은 자료 생산의 효율성뿐만 아니라 자료 분석의 통계적 신뢰성 확보의 측면에서도 해색 원격탐사 자료의 품질 향상에 기여할 수 있다.

1. 서론

해색(ocean color) 원격탐사는 빛과 해수의 상호작용에 의해 해양에서 대기로 반사(수출) 되는 빛의 특성을 인공위성으로 관측하여 해수의 변화를 연구하는 분야로, 일반적으로 빛에 의한 바다의 색변화를 탐사하므로 해색 원격탐사라고 한다. 현재 운영 중인 해색 관측용 인공위성 센서는 가시광을 기본으로 근적외선, 열적외선에 이르는 다양한 스펙트럼을 이용하여 해색의 변화를 관측한다. 해양에서 빛을 이용하여 광합성 하는 일차 생산자인 식물플랑크톤은 주로 녹색 계열의 색소를 가지고 있기 때문에 해색 원격탐사에서는 이 특성을 이용하여 클로로필a 농도를 추정할 수 있으며, 이외에도 해색변화에 기여하는 용존 유기물이나 부유물 등의 특성을 추정하는데 사용된다. 또한 해색센서를 이용하여 중/장기적인 해양에서 일어나는 클로로필a 농도의 시공간 변화를 관측함으로써 식물플랑크톤에 의한 이산화탄소의 변화를 추정하여 지구온난화의 추이를 연구할 수 있다. 인공위성 해색 원격탐사는 1978년 최초의 해색센서인 CZCS를 시초로, SeaWiFS, MODIS, MERIS, VIIRS 등이 장기간에 걸쳐 운용되어 왔으며, 세계 최초 정지궤도 해색센서인 우리나라의 GOCI 또한 꾸준한 관측을 이어가고 있다.

해색 원격탐사에 대한 많은 연구가 NASA Ocean Biology Processing Group(OBPG)에서 제공하는 Level-3 자료를 기반으로 연구를 수행되고 있다. Level-3 자료는 시공간적 자료 합성이 된 형태로, 일별 합성, 8일 합성, 월별 합성 자료가 배포된다. 일반적으로 해색 원격탐사에서 유효관측영역은 구름, 얼음 등에 의해 물리적으로 가려져 있지 않고, 광원-산란체-센서간 각도가 적절하여 관측치의 왜곡이 적은 화소를 의미한다. 그러나

육지보다 상대적으로 많은 수증기를 가지는 해양의 특성상 해색 원격탐사 자료의 많은 영역에서 구름에 의한 관측 실패가 발생하며, 이를 보완하기 위해 시공간적 합성을 거친 자료의 생성은 필수적이다. 또한 해양으로부터의 광휘(radiance)는 신호대잡음비(signal to noise ratio)가 낮기 때문에, 광학계의 특성에 따라 육지나 구름과 같이 상대적으로 높은 광휘를 가지는 물체의 주변 화소는 그 값이 오염되는 현상이 발생한다. NASA OBPG의 표준 자료는 값의 오염을 최소화하기 위해 높은 광휘를 가지는 화소의 주변 화소들의 관측값을 무시하고 제거하는 보수적인 자료처리 방법을 채택하고 있으며, 따라서 Level-1/2 자료에서 실제 관측이 이루어진 영역에 비해서 Level-3 자료의 유효관측영역은 대폭 축소되어 있는 상황이다. 유효관측영역의 축소는 더 많은 시공간 합성을 요구하며, 이는 이용 가능한 샘플 수의 저하라는 측면에서 개선이 요구된다.

이 연구는 기존에 NASA OBPG에서 제안하는 보수적 자료처리 방법에서 벗어나 이용 가능한 샘플 수를 최대한 확보하고, 그 결과를 표준 자료와 비교하는데에 그 목적을 둔다. 이를 위해서 자료처리의 중간 단계에서 생성되는 Level-2 flag 중 STRAYLIGHT의 변형을 통해서 Level-3 자료에서의 관측 영역을 확장하는 방법을 제안하고 그 효과를 분석한다. 핵심 방법은 NASA OBPG의 표준 자료처리 방법에서 제안하는 7×5의 STRAYLIGHT 필터 크기를 3×3으로 줄여서 적용하는 간단한 과정이나, 이 과정이 상위 레벨의 자료에 미치는 영향은 시공간 합성 정도에 따라 달라진다. 정량적 평가를 위해 2014년 한 해 동해를 포함하는 한반도 동쪽 해역을 관측한 모든 MODIS/Aqua 자료를 이용하여 제안하는 방법에 의해 생성되는 자료가 표준 자료와 대비하여 가지는 측정값과 관측영역의 차이를 각각 Level-2 swath, Level-

3 일별합성, 8일합성, 월별합성 자료에 대해서 비교하였다.

2. 자료 및 방법

1) 연구지역 및 자료

이 연구에 사용된 자료는 MODIS/Aqua의 2014년 1일부터 365일까지의 전체 관측 자료이며, 대상 지역은 동해를 중심으로 하는 위도 34 N-40 N, 경도 127 E-143 E이다(Fig.1 참조). 연구에 사용된 자료는 NASA Ocean Color Web(<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov>) 으로부터

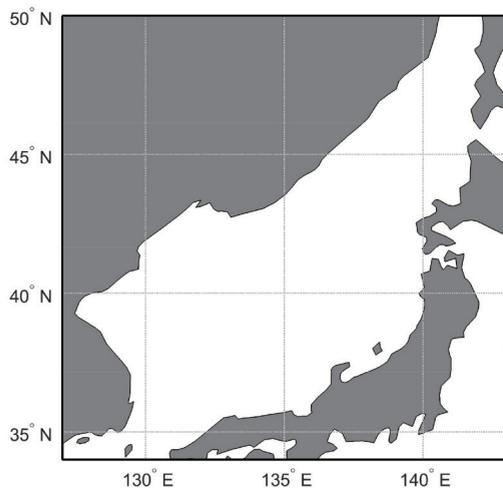


Fig. 1. Study area. 1,334 MODIS/Aqua images, which cover entire East Sea between latitudes of 34 N and 50 N and longitudes of 127 E and 143 E, were used for this study.

Level-1A의 형태로 획득하였으며, 해당 기간과 위치에 대한 모든 swath 자료를 수집하였다. 연구 방법의 적용 및 평가를 위해서 수집된 총 1334장의 영상을 해석위성 자료 전문 처리 소프트웨어인 SeaDAS(Baith *et al.*, 2001) 를 통해서 Level-2 Ocean Color(OC) 및 Level-3 4 km급 Standard Mapped Image(SMI) 형태로 처리하였다.

2) 연구 방법

(1) 해석 자료 처리 과정과 Level-2 flag

Fig. 2는 일반적인 해석 위성 자료의 처리 과정을 보여준다. Level-1 자료는 센서에서 수신된 밴드별 광휘를 나타내고, 이를 지구물리적 요소(geophysical parameter)로 변환하는 알고리즘을 거쳐 Level-2 자료를 만든다. Level-3는 Level-2 자료들의 시공간적인 합성과 표준격자 자료의 매핑을 통해 생성된다.

Level-1에서 Level-2로의 처리 과정에서는 자료 변환 알고리즘뿐만 아니라 각 화소에 대한 항목평가가 이루어지며, 이 결과가 Level-2 flag(NASA OBPG, 2010) 라고 부르는 32비트의 인덱스로 저장된다. 이 항목평가는 Level-1 자료 자체가 가지는 값과 기상 등의 외부 자료를 결합하여 해당 화소에 대한 분류(육지, 구름, 해양 등)와 평가(관측조건 판별, 물리파라미터 추출의 성패 등)를 하는 것이며, Level-2 flag의 각 비트는 각각의 항목에 대한 해당 여부를 나타내므로 영상의 각 화소당 총 32개 항목에 대한 판별이 이루어진다. Level-2 flag는 Level-3로의 변환시 필터로서의 역할을 수행하며, 산출물별로 사용하는 flag 항목이 상이하다. 예를 들어 클로

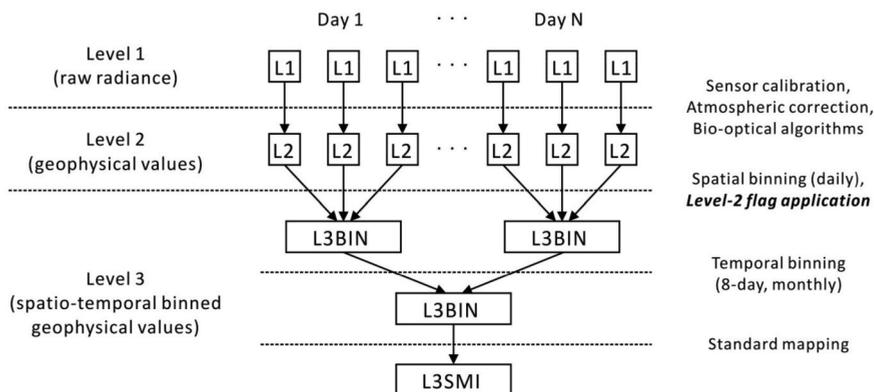


Fig. 2. Generalized flow diagram of processing ocean color remote sensing data.

로필^a 농도 자료의 경우, ATMFAIL, LAND, HIGLINT, HILT, HISATZEN, STRAYLIGHT, CLDICE, COCCOLITH, HISOLZEN, LOWLW, CHLFAIL, NAVWARN, MAXAERITER, CHLWARN, ATMWARN, NAVFAIL, FILTER의 17개 flag를 필터로 사용하는 반면, 표층수는 자료의 경우는 LAND, HISOLZEN의 두 개 flag만을 사용한다. 이 Level-2 flag에 의한 필터링은 Level-3 자료에서 유효관측영역을 감소시키는 주요인이며, 특히 다음에 설명할 stray light 효과에 대한 flag인 STRAYLIGHT 항목은 클로로필^a 농도 자료의 필터링에 큰 영향을 미친다.

(2) Stray Light 효과

Stray light는 해당 화소의 값이 높은 값을 가지는 주변 화소에 의한 영향을 받았는가를 판별하는 요소이다. 광학계 센서의 물리적 특성을 나타내는 지표 중 하나인 Point Spread Function(이하 PSF)은 stray light의 발생 정도에 대한 기준이 되며, 일반적으로 위성 발사 이전에 실험실에서 측정한다. SeaWiFS의 경우, 센서 조립 이후 테스트 과정에서 처음 이 stray light 효과를 인지하였으나 약간의 보정을 거친 후 센서의 성능이 당초 계획되었던 관측요구조건을 만족하는 것으로 판단하여 위성체에 실려 궤도에 오르게 되었다.(Barnes *et al.*, 1994) 따라서 실제 위성에서 촬영한 영상에서 또한 stray light의 영향이 존재하기에 NASA에서는 SeaWiFS의 재처리 알고리즘 업데이트 버전 4(Patt *et al.*, 2003)에서 PSF를 고려한 가중치를 보정하는 방식으로 stray light에 대한 보정을 수행하였다. 그러나 이 보정에 의한 산출물에서 SeaWiFS와 MODIS에서 빈영양수(oligotrophic water)에 대한 해석 측정 결과의 심각한 불일치가 나타남에 따라서 2009년 알고리즘 업데이트에서 다시 버전 4 이전의 방법, 즉 보정을 수행하지 않고 주변을 마스크 해서 버리는 방법으로 복구하였다. 반면 MODIS의 경우, 센서가 위성체에 실리기 이전의 PSF 측정 결과는 알려져 있지 않으며, 실제 위성에서 촬영한 영상을 이용하여 측정한 Line Spread Function(LSF)을 바탕으로 PSF를 모델링한 결과(Meister *et al.*, 2008)로부터 stray light의 영향을 판별하였다. 그 결과, PSF 가중치에 대한 보정 없이 구름이나 얼음, 또는 saturation이 발생한 것으로 판별되는 화소 주변의 7x5(스캔 방향으로 ±3, 트랙 방향으로 ±2)

윈도우에 대한 마스크를 수행하기로 결정되었고, NASA에서 공식적으로 배포하는 Level-2/3 자료에는 이 규칙을 그대로 적용하고 있다.

(3) 필터 수정과 적용

Franz and Meister(2005)가 MODIS/Aqua의 PSF를 모델링한 결과에 의하면, 높은 휘도를 가지는 화소를 중심으로 3x3 윈도우를 취할 경우에 중심화소로부터 오는 에너지의 99.7%를 포함하며, 윈도우 크기를 더 늘리더라도 에너지 취합의 상승효과는 미미하다. 그러나 구름에 의한 관측 실패의 확률이 높은 해양 관측에서 유효 관측 영역의 감소는 더 많은 시간적 또는 공간적인 합성을 요구하게 되며, 결과적으로 시간 해상도나 공간 해상도, 또는 둘 다를 저하시키는 주요인이 되기 때문에 보다 작은 크기의 윈도우를 적용하였을 때 미치는 영향에 대한 정밀한 평가가 선행되어야 한다. 따라서 이 연구에서는 기존 7x5 윈도우와 이보다 작은 크기의 3x3 윈도우를 각각 적용하고 두 자료의 측정값, 유효 관측 영역, 동일 지역에 대한 연간 유효 관측 횟수를 비교하였다. STRAYLIGHT에 대한 Level-2 flag는 Level-2 자료의 생성시에 CLDICE(구름 및 얼음)와 HILT(밴드 7과 8에서 경계치 이상의 고휘도 검출)라는 두 가지 flag에 해당하는 화소를 중심으로 하여 계산되기 때문에, Level-2 자료의 생산부터 다시 처리해야 할 필요가 있다. SeaDAS의 경우 필터 정의를 조작하여 이 윈도우 설정에 대한 변경이 가능하며, 2014년의 전기간 동안 연구지역에 걸치는 모든 MODIS/Aqua의 Level-1 자료를 처리하여 Level-2 OC 자료를 생산하였다. 이 때 알고리즘은 SeaDAS에 내장된 기본 OC 알고리즘을 사용하였으며, STRAYLIGHT 필터에 대한 정의 옵션만을 수정하였다. 이렇게 처리된 각 Level-2 OC 자료는 일별로 시공간 합성하여 Level-3 binning 자료를 만들었으며, 이로부터 추가적인 시공간 합성을 통해 8일 및 월별 합성 자료를 만들고 각각을 SMI 자료로 처리하였다.

3. 결과 및 토의

1) Level-2 자료 비교

Fig. 3은 연구에 사용된 전체 Level-2 자료 1334장에

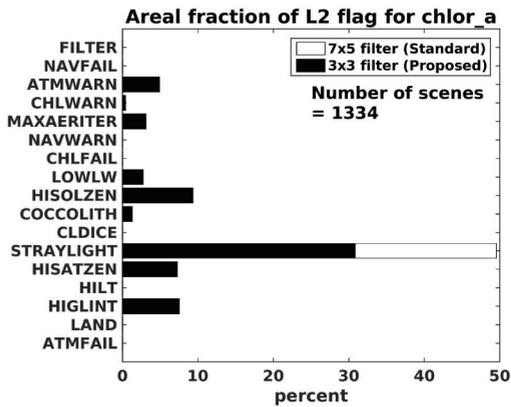


Fig. 3. Areal fraction of Level-2 flag for generation of CHL product. Proposed method yields lower masking fraction than standard method in STRAYLIGH flag.

서 클로로필a 농도값이 존재하는 화소 중 시공간 합성에 사용되는 Level-2 flag의 17개 각각의 요소가 차지하는 비율에 대한 통계를 나타낸다. 각 화소에 대해서 각 Level-2 flag 요소는 중복으로 존재할 수 있기 때문에 총합은 100%가 아님에 유의해야 한다. 결과에서 7×5 STRAYLIGHT 윈도우를 사용하는 표준 자료처리 방법을 따르는 경우 STRAYLIGHT flag의 비율이 50%에 육박하여 대부분의 마스킹이 이에 종속됨을 확인할 수 있다. 그러나 이 연구의 제안 방법인 3×3 STRAYLIGHT 윈도우를 사용하면 마스킹 비율은 약 30%로 낮아진다. 다만 위에서 언급한 flag의 중복성에 의해서 STRAYLIGHT 윈도우 크기 변화에 의한 실제 유효 영역 개선은 STRAYLIGHT flag의 비율의 차이인 20%와 차이가 있음에 주의해야 한다. STRAYLIGHT 다음으로 많은 비율을 차지하는 flag 요소는 HISOLZEN, HISATZEN, HIGLINT로 이들은 센서 및 광원(태양)의 관측기하에 종속되는 것들이며, 이 연구에서는 관측기하 요소에 의한 필터링은 표준 자료처리 방법을 그대로 따르는 것으로 두었다.

Fig. 4는 연구에 사용된 전체 Level-2 자료 1,334장을 대상으로 각 영상에서 영역의 복원(확장)의 비율을 나타낸다. STRAYLIGHT flag 설정의 원인이 되는 구름의 영역은 계절적인 변화가 있는 요소이기 때문에 일반적으로 여름철 자료의 복원 비율이 다른 계절에 비해 낮게 나타날 것이나 여기에서는 전체 계절에 대한 평균치를 보이기 위해서 1년치 자료를 모두 사용하였다. 그 결

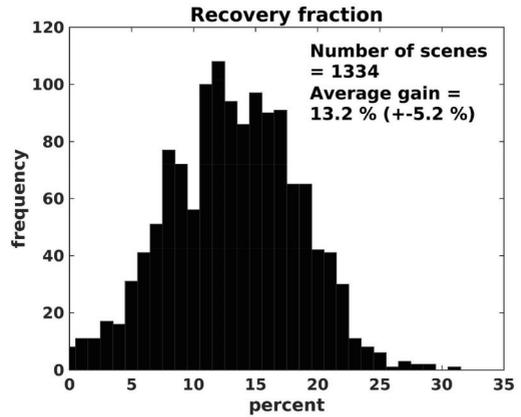


Fig. 4. Areal recovery fraction of the Level-2 product that follows the proposed method. The overall distributions are similar to Gaussian, and the mean value was 13.2 (±5.2)%.

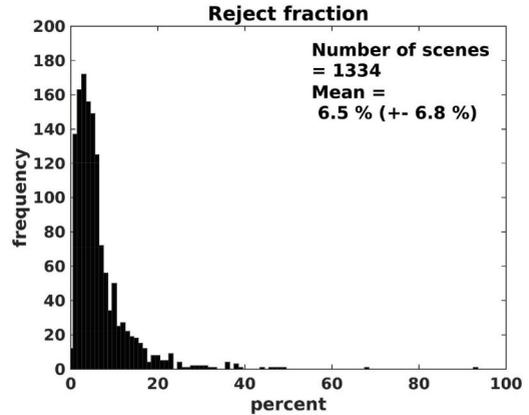


Fig. 5. Reject fraction of the Level-2 product in the step of areal recovery. The overall distributions are skewed to zero, and the mean value was 6.5(±6.8)%.

과 평균 복원 비율은 13.2(±5.2)%이고 그 분포가 가우시안형에 가깝게 나타났으므로, 제안하는 자료처리 방법을 따르는 Level-2 자료가 통계적인 안정성을 가지고 영역이 확장됨을 확인할 수 있다.

Fig. 5는 STRAYLIGHT 윈도우의 축소로 인해 발생하는 불량 화소의 비율을 나타낸 것이다. 불량화소 판별을 위해 표준 자료가 가지는 클로로필a 농도 측정치의 중간값과 표준편차를 이용하여 중간값을 중심으로 표준편차의 2배의 범위 내에 해당하는 값만을 허용하는 것으로 하였다. 이 기준에 따라서 표준 자료와 상이한 통계적 특성을 가지는 이상치(extreme value)를 보이는 화소를 불량 화소로 정의하고 유효 영역 확장에서 반

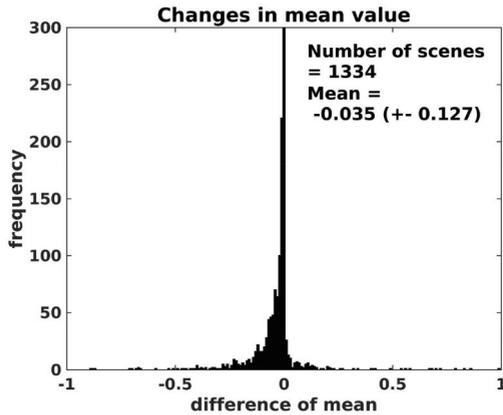


Fig. 6. Changes in mean value of processed Level-2 product. Mean difference was only $-0.035(\pm 0.127)\%$, which is smaller than nominal precision of spaceborne ocean color remote sensing.

환한(걸러낸) 비율을 도시하였다. 그 결과 대부분의 자료에서 반환 비율은 매우 낮은 값에 분포하며 평균적으로 $6.5(\pm 6.8)\%$ 가 불량한 것으로 나타났다. 즉, 대부분의 확장 영역이 기존 표준 자료가 가지는 클로로필a 농도의 영역 내에 해당함을 확인할 수 있다.

Fig. 6은 표준 자료와 복원/확장된 자료의 평균의 변화를 나타낸다. Level-2 단계에서는 확장된 영역 자체에 대해서는 비교 가능한 대조군이 없기 때문에 두 자료의 전체 영역에 대한 평균을 비교하였다. 그 결과 차이는 $-0.035(\pm 0.127)$ 로 해상원격탐사 기반 클로로필a 농도 측정이 가지는 정확도 이하의 수준으로 미미하였다.

종합적으로 Level-2 단계에서 제안방법의 적용은 관측 영역을 약 13.2% 확장시키면서도 클로로필a 농도의 관측값에는 거의 영향을 미치지 않으며, 이를 바탕으로 표준 Level-2 자료를 대신하여 Level-3 시공간 합성에 사용이 가능할 것으로 판단된다.

2) Level-3 자료 비교

일반적으로 해석 자료에 대한 분석은 표준화된 격자 공간에서 시공간 합성을 거친 Level-3 자료를 이용하므로, 표준 자료 포맷에 해당하는 일별 합성자료, 8일 합성자료, 월별 합성자료를 생성하여 각각의 자료에서 나타내는 유효 영역 확장 효과를 비교하였다. 또한 공간적 확장은 각 화소에 대한 시간적 샘플수 확장을 초래하므로 이에 대한 비교도 수행하였다.

Fig. 7은 표준 자료와 제안한 방법을 통해 생성한 자

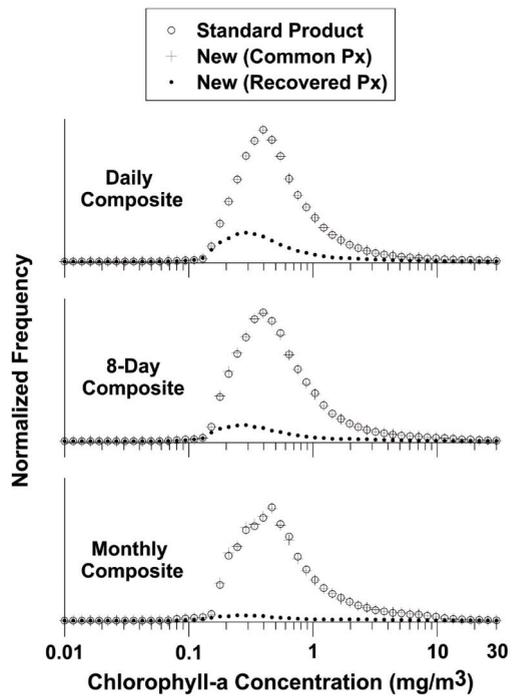


Fig. 7. Histogram comparison of standard and new product generated by the proposed method. Pixels in common grid are very similar with slightly increasing difference as the length of temporal binning increases. Restored pixels also have similar distribution but their mean values are essentially different from those of pixels in common grid.

료가 가지는 클로로필a 농도 측정값 자체의 분포를 비교한 것이다. 제안 방법을 통해서 관측 샘플 수가 증가하기 때문에 측정값의 1:1 비교를 위해서 표준 자료가 가지는 유효 관측 영역에 해당하는 관측값과 제안 방법을 통해 복원된 영역에 대한 관측값을 분리하여 도시하였다. 세가지 형태의 자료 모두에서 공통의 관측 영역에 대해서는 표준 방법과 제안 방법의 결과가 잘 일치하는 모양을 보인다. 또한 복원된 영역에 대해서는 표준 자료에서의 대조군이 없으므로 정량적인 비교가 불가능하지만 그 분포가 공통 영역의 것과 유사하며, 그 중심이 약간 낮은 값 쪽으로 치우쳐져 있다. Table 1은 두 자료의 정량적인 차이를 계산한 결과이다. 먼저 공통 영역에 해당하는 화소의 값차이의 평균은 일별, 8일, 월별 합성 자료에서 각각 -0.002 , $+0.004$, $+0.012$ 로 매우 적은 값이므로 제안 방법이 표준 자료의 유효 관측 영역에 대해서는 측정값의 평균에 거의 영향을 미치지 않았다. 다만 표준편차는 각각 0.038 , 0.094 , 0.128 로, 각 화

Table 1. Difference of standard product and new product

Product type	Difference of standard and new product	
	Common pixels only, 1:1 comparison	Entire pixels, bulk comparison
Daily Composite	-0.002(±0.038)	+0.006(-0.042)
8-Day Composite	+0.004(±0.094)	-0.010(-0.076)
Monthly Composite	+0.012(±0.128)	-0.018(-0.073)

소별 두 방법의 측정값의 차이가 발생할 확률은 합성에 사용된 영상의 수가 많아질수록 조금씩 증가하는 경향을 보인다. 제안 방법을 통해 복원된 영역을 포함하는 전체값의 평균은 공통 영역의 값과 비교할 때 그 차이가 +0.06, -0.010, -0.018으로 거의 변화가 없으며, 표준편차의 차이 또한 0.042, 0.076, 0.073으로 매우 작은 값이다. 결과적으로 클로로필a 농도의 측정값 전반에 걸쳐 표준 자료와 제안방법을 통해 만든 새로운 자료는 공통 영역에 대해서는 유의미한 값의 차이가 없으며, 복원을 통해 확장된 영역 또한 공통 영역과 통계적으로 매우 높은 유사성을 가지는 것으로 판단된다.

복원/확장된 영역의 측정값이 가지는 유효성과는 별개로, 제안 방법에서 적용한 STRAYLIGHT 윈도우의 축소는 필연적으로 관측 영역의 확장을 의미한다. Fig. 8은 동일 공간에서 시간 합성에 사용된 영상의 수에 따라서 유효 관측 영역이 어떻게 변하는지를 나타낸다. 일별, 8일, 월별 합성에서 유효 관측 영역의 증가는 각각 30.8(±16.3)%, 15.8(±9.2)%, 6.0(±5.6)%로, 합성 시간의 증가에 따라 감소하였다. 즉, 증가폭만을 두고 보면 일별 합성 자료에서 가장 큰 효과를 나타내며, 합성 시간이 늘어날수록 유효 관측 영역이 100% 쪽으로 포화되어 효과가 줄어든다. 앞서 Level-2 자료에서 공간적인 평균 복원율은 13.2% 였으나 이 연구에 사용된 자료에서 Level-3의 공간 합성 영역은 Level-2 swath 자료의 총 공간보다 좁기 때문에 이 두 가지 다른 공간기준의 자료에서 복원율을 직접 비교하기는 어렵다.

Fig. 9는 각 시간 합성 자료를 이용하여 시계열 분석을 시도할 때, 각 화소가 각각의 시간 단위(1일, 8일, 1달)에서 유효한 관측값이 존재할 확률을 도시한 것이다. 가로축은 1년을 100%로 환산하여 표현한 것으로, 일별, 8일, 월별 합성 자료에 대해서 각각 1년치 시계열 분석에서 가용한 샘플이 365, 46, 12개일 경우에 100%

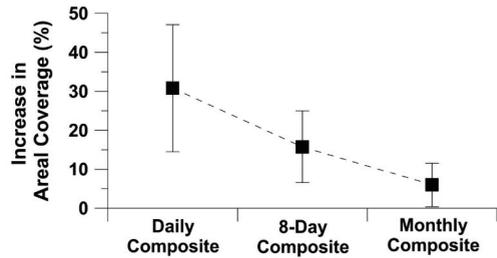


Fig. 8. Increase in areal coverage for each product type. Mean performance for daily, 8-day, and monthly composite product were 30.8(±16.3)%, 15.8(±9.2)%, and 6.0(±5.6)%, respectively.

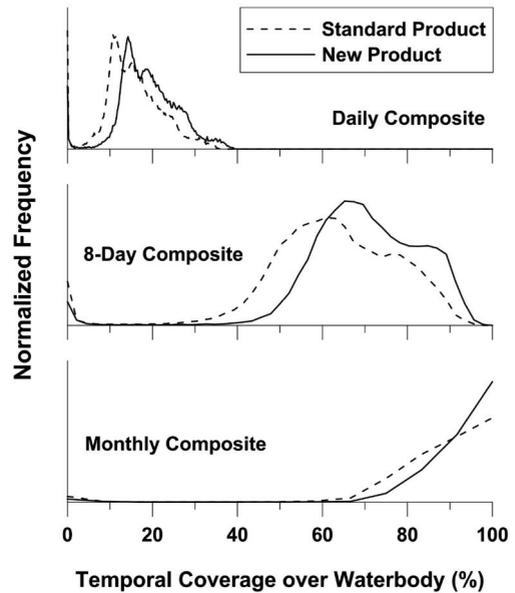


Fig. 9. Increase in temporal coverage over waterbody for each product type. 8-day composite product showed the highest processing gain.

에 해당한다. 모든 시간 합성 자료에서 공통적으로 제안 방법에 의해 제작된 자료가 표준 자료에 비해 유효값의 존재 확률이 높아졌으며, 특히 8일 합성 자료에서 상대적인 이득이 크게 나타났다. 이는 연구지역에서 STRAYLIGHT flag 발생의 주요 인자인 구름의 분포가 1일내 차이보다는 8일간의 차이가 더 크기 때문인 것으로 사료된다.

마지막으로 Fig. 10은 이득이 가장 크게 나타났던 8일 합성 자료를 기준으로 제안 방법을 통해서 1년 동안에 유효 관측 횟수가 얼마나 늘어났는지를 공간적으로 보여주고 있다. 우선 STRAYLIGHT 윈도우의 축소로 인하여 해안선과 맞닿은 부분은 전영역에서 높은 증가를

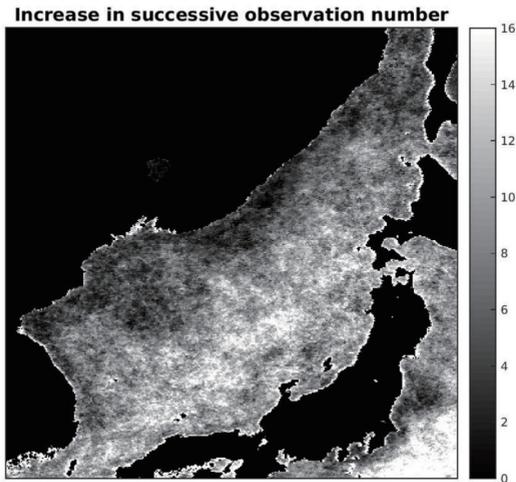


Fig. 10. Increase in successive observation number per year in 8-day composite product.

보이고 있으나 항상 일정하게 육지로부터의 신호오염이 발생할 소지가 있는 영역이기 때문에 측정값의 신뢰도가 낮다. 특히 사용한 OC 알고리즘은 CASE-I 해수를 기준으로 하기 때문에 이 부분의 관측 횟수 증가는 제안 방법을 통한 자료 품질 개선이라는 목적에 맞지 않는다. 그러나 해안선에 아주 인접한 영역은 전체 관측 해석 대비 매우 적은 부분을 차지하며, 이 부분을 제외한 나머지 넓은 영역에 걸쳐 전반적인 관측 횟수의 증가가 확인된다. 특히 동해의 북부보다 중남부에 걸쳐 관측 횟수가 증가하는 것으로 보아 난류의 영향으로 인해 구름의 발생 확률이 높은 지역에서 더 큰 이득을 보이는 것으로 판단된다.

4. 결론

이 연구에서는 해색 원격탐사 자료의 표준 자료 처리 단계에서 생성되는 Level-2 flag 중 STRAYLIGHT의 변형을 통해서 클로로필a 농도 관측의 유효 영역을 확장하는 실험을 진행하고 그 효과를 분석하였다. NASA OBP의 표준 자료 처리에서 제안하는 7x5의 STRAYLIGHT 윈도우를 3x3으로 줄이는 간단한 과정을 통해서 클로로필a 농도 자료에 대해서 Level-2 swath 자료, Level-3 일별 합성자료, 8일 합성자료, 월별 합성자료에서 각각 13.2(±5.2)%, 30.8(±16.3)%, 15.8(±9.2)%,

6.0(±5.6)%에 해당하는 유효 영역 확장이 발생함을 확인하였으며, 표준 자료와의 측정값 차이는 공통 관측 영역에서 평균 0.012% 이하로 매우 유의하였다. 따라서 제안한 방법을 통하여 보다 개선된 클로로필a 농도 자료의 생산이 가능하며, 늘어난 유효 영역(샘플수)은 자료 생산의 효율성 뿐만 아니라 자료 분석의 통계적 신뢰성 확보의 측면에서도 매우 중요한 의미를 가진다. 다만 NASA에서 기 처리된 Level-3 자료를 받아서 사용하는 기존 연구환경에 비하여 훨씬 많은 수의 고용량 Level-1 자료로부터 처리해야 한다는 점에서 많은 컴퓨팅 파워가 요구된다. 또한 적용 지역의 특수성을 고려할 때 향후 연구에서는 현장자료와의 비교 연구를 통하여 복원된 값이 가지는 측정오차와 실제 클로로필a 농도간의 상관관계에 대한 분석이 필요할 것이다.

사사

이 연구는 한국과학기술정보연구원(KISTI)와 한국해양과학기술원 부설 극지연구소(KOPRI)의 협동 과제인 “과학기술 빅데이터 공유융합체제 구축: 해색원격탐사 빅데이터를 이용한 해양환경변화 연구(PG10510)”의 지원을 받았으며, 이에 감사드립니다.

Reference

- Baith, K., R. Lindsay, G. Fu, and C.R. McClain, 2001. Data analysis system for ocean-color satellite sensors, *EOS Transactions American Geophysical Union*, 82(18): 202.
- Barnes, R.A., W.L. Barnes, W.E. Esaias, and C.R. McClain, 1994: *Prelaunch Acceptance Report for the SeaWiFS Radiometer*. NASA Tech. Memo. 104566, Vol. 22, S.B. Hooker, E.R. Firestone, and J.G. Acker, Eds., NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland, pp.32.
- Franz, B. and G. Meister, 2005, *MODIS/Aqua Straylight Flagging and Masking*, retrieved from

- http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/REPROCESSING/Aqua/R1/modisa_repro1_stlight.html.
- Meister, G., Y. Zong, and C.R. McClain, 2008. Derivation of the MODIS Aqua Point-Spread Function ocean color bands, *Proc. of 2008 Earth Observing Systems XIII*, San Diego, CA, Aug. pp.70811F-1-70811F-12.
- NASA OBPG(Ocean Biology Processing Group), 2010, *Ocean Level-2 Data Products*, retrieved from http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/DOCS/Ocean_Level-2_Data_Products.pdf, Maintained by NASA Ocean Biology Distributed Active Archive Center, Goddard Space Flight Center, Greenbelt MD.
- Patt, F.S., R.A. Barnes, R.E. Eplee Jr., B.A. Franz, W.D. Robinson, G.C. Feldman, S.W. Bailey, J. Gales, P.J. Werdell, M. Wang, R. Frouin, R.P. Stumph, R.A. Amone, R.W. Gould Jr., P.M. Martinolich, V. Ransibrahmanakul, J.E. O'Reilly, and J.A. Yoder, 2003. *Algorithm updates for the fourth SeaWiFS data reprocessing*, NASA Tech. Memo. NASA/TM-2003-206892.

