

Original Article

제주해안의 외국기인 해양쓰레기 추적을 위한 지구관측위성의 활용

길범준[†]

해군대학 해양작전학처 교관

Utilization of Earth Observation Satellite for Tracking Foreign Marine Debris on the Coast of Jeju Island

Bum-Jun Kil[†]

Instructor, Department of Maritime Operation, Naval War College, Daejeon 34059, Korea

요 약

제주도는 해양을 통한 외국기인 해양쓰레기(FMD: Foreign Marine Debris) 유입이 연중 지속되는 지역이다. 과거 자료에서 여름철에 제주해안의 FMD 수량이 증가하는 경향이 나타났으므로, 제주도 근해 저염분수의 존재와 FMD의 연관성을 조사하였다. 현장 관측 기기 및 미항공우주국 SMAP 위성이 수집한 해수표면 염분(SSS: Sea surface salinity)의 변화를 제주 해안 FMD 변화와 비교한 결과 양쯔강 하구와 제주도의 중간에 해당되는 해역의 SSS가 비정상적으로 낮을수록 FMD의 수량이 급증함을 알 수 있었다. 본 연구는 지구관측위성을 통하여 수집되는 해양 환경정보를 FMD의 대량 유입에 대한 추적에 활용하였다는 점에 의미가 있다.

Abstract – Jeju Island is known for its constant annual inflow of foreign marine debris (FMD). Because the historical data presented that FMD in the coast of Jeju Island tends to increase in the summer season, the study investigates the relationship between the offshore presence of low-salinity waters and the amount of FMD in Jeju Island. As a result of using sea surface salinity (SSS) from both field observation and NASA SMAP satellite for time-series comparison with FMD, the FMD on the Jeju coast significantly increased when unusually low SSS appeared in the area between the Yangtze River mouth and Jeju Island. It is notable that earth observation satellite contributes to tracking a massive inflow of FMD based on ocean remote sensing.

Keywords: Foreign marine debris(외국기인 해양쓰레기), Sea surface salinity(해수표면염분), Earth observation satellite(지구관측 위성)

1. 서 론

전 세계적으로 지속되는 산업화와 인구의 증가는 지구 자원의 소비를 가속화시키고 있으며, 이로 인한 폐기물의 발생은 피할 수 없는 추세에 있다. 특히 해양쓰레기의 경우 육상쓰레기와 달리 식별 및 처리하는 과정에 있어 많은 시간과 비용이 요구된다(Seo and Kim[2019]; Jung [2009]). 해양쓰레기는 육지에서 형성되어 강물을 따라 바다로 유출되거나 조업활동 및 선박의 이동으로 발생하는 플라스틱 성분이 다수를 차지하는 것으로 알려져 있는데(Jambeck *et al.*[2015]; Ryan *et al.*[2019]; Meijer *et al.*[2021]), 이러한 플라스틱 쓰레기들은 광분해 및 물리적 마모 등을 거쳐 해양생태계에 악영향을 미치는 미세플라스틱을 형성시키기도 한다(Han [2020]; Seo

and Kim[2019]; Kim *et al.*[2019]). 해양에서의 미세플라스틱이 해류를 따라 확산하는 경우 인접지역의 해안에도 영향을 미칠 수 있는 가능성이 있으며(Han [2020]; Kim *et al.*[2019]), 미세플라스틱을 함유한 수산물을 섭취 시 인체에 악영향을 미칠 수 있는 것으로 연구되었다(Bak *et al.*[2021]). 아시아 지역의 경우 바다에 인접한 강물이 플라스틱이 포함된 해양 쓰레기 공급원으로서의 역할을 하고 있는 것으로 알려져 있으며(Meijer *et al.*[2021]; Lebreton *et al.*[2017]), 한반도 해안에서 발견되는 외국기인 해양 쓰레기(FMD: Foreign Marine Debris)의 상당수는 동중국해를 거쳐서 제주도를 포함한 남해안에 집중 유입되는 것으로 연구되었다(Han *et al.*[2013]; Jang *et al.*[2012]; Lee *et al.*[2012]). 미항공우주국(NASA: National Aeronautics and Space Administration)이 운용하는 CYGNSS (Cyclone Global Navigation Satellite System)위성을 통하여 진행

[†]Corresponding author: ktwins03@gmail.com

된 연구에서는 양쯔강하구에서 배출된 미세플라스틱이 여름철 한반도와 일본 연안으로 확장됨을 해수 표면에 대한 레이더 반사 원리를 통하여 제시된 바 있다(Evans and Ruf [2021]). 따라서 본 연구는 해양에서의 현장 관측과 지구관측위성자료를 활용하여 해수 표면 염분(SSS: Sea surface salinity)의 시공간 변화와 FMD의 수량 변화 간 관련성을 파악하고 이를 추적하기 위한 방안을 모색하였다. 이를 위하여 지리적으로 쿠로시오 난류 및 양쯔강 하구와 인접해 있으며, 연간 유입되는 해양 쓰레기와 바다 오염 문제에 대한 정책적 관심이 높은(Moon [2021]) 제주도 해안과 인근 해역을 연구 대상으로 설정하였다.

2. 연구자료 및 방법

2.1 연구자료

본 연구에 활용된 현장 관측 자료들 중 FMD는 해양환경정보포털(MEIS: Marine Environment Information System)의 해양쓰레기 통계(<https://www.meis.go.kr>)에 수록된 제주도 3개 해안에서의 FMD 수량 정보를 활용하였는데(Table 1), 2010~2014년은 차귀도를, 2015~2020년은 사계리와 김녕리로 구분되어 연간 1,3,5,7,9,11월에 관측된 FMD를 활용하였다(Fig. 1a).

동일 기간 해양 환경정보 중 현장 관측 해수 표면 염분($SSS_{in situ}$)은 국립수산물과학원(NIFS: National Institute of Fisheries Science)의 한국해양자료센터(KODC: Korea oceanographic data center)에서 제공하는 염분·수온·수심 측정기(CTD: Conductivity·Temperature·Depth) 기반의 정선 해양관측자료(Table 1)를 활용하였다(<https://www.nifs.go.kr>). SSS는 한반도 전 해역에 분포하는 KODC정기 해양관측 정점들 중 제주도와 인접하고 염분의 계절변화 관찰이 용이한 제주 남부 해역 315~317번 관측 정선(붉은색 점선 참조)에 해당되는 정점 자료들을 활용하여 해당 정점들의 $SSS_{in situ}$ 에 대한 공간 평균치(Averaged $SSS_{in situ}$)를 산출하였다(Fig. 1b). 원격탐사 SSS는 NASA의 SMAP(Soil Moisture Active Passive)위성이 수집한 것으로 NASA PODAAC (Physical Oceanography Distributed Active Archive Center)웹사이트(<https://podaac.jpl.nasa.gov>)를 통하여 획득된 36 km 공간 해상도의 월평균 자료(SSS_{month})를 활용하였다(Fig. 2b). SMAP 위성은 2015년 1월 발사된 이후 동년 4월부터 토양의 수분과 SSS를 관측하고 있는데(JPL. [2020]), L-band 극초단파 대역의 해수 표면 밝기 온도를 수신하여 구름의 영향을 받는 환경에서도 SSS를 수집하는 특징(Fore *et al.*[2016])이 있다(Fig. 2a). 이 어도 현장 관측 자료와 SMAP(version 4.3)SSS의 비교 연구에 따르면, 육지 근원 전파간섭(RFI: Radio frequency interference)등의

Table 1. Data used in the research

Observation	Parameter	Duration
FMD (Source: MEIS)	Count of foreign marine debris in the coast of Jeju Island (EA)	Chagui-do: January 2010 ~ December 2014 Sagye-ri: January 2015 ~ December 2020 Gymnyeong-ri: January 2015 ~ December 2020
In situ SSS (Source: KODC)	Sea surface salinity near the Jeju Island (psu)	January 2010 ~ December 2020
Remotely sensed SSS (Source: SMAP)	Monthly mean sea surface salinity (psu)	April 2015 ~ December 2020

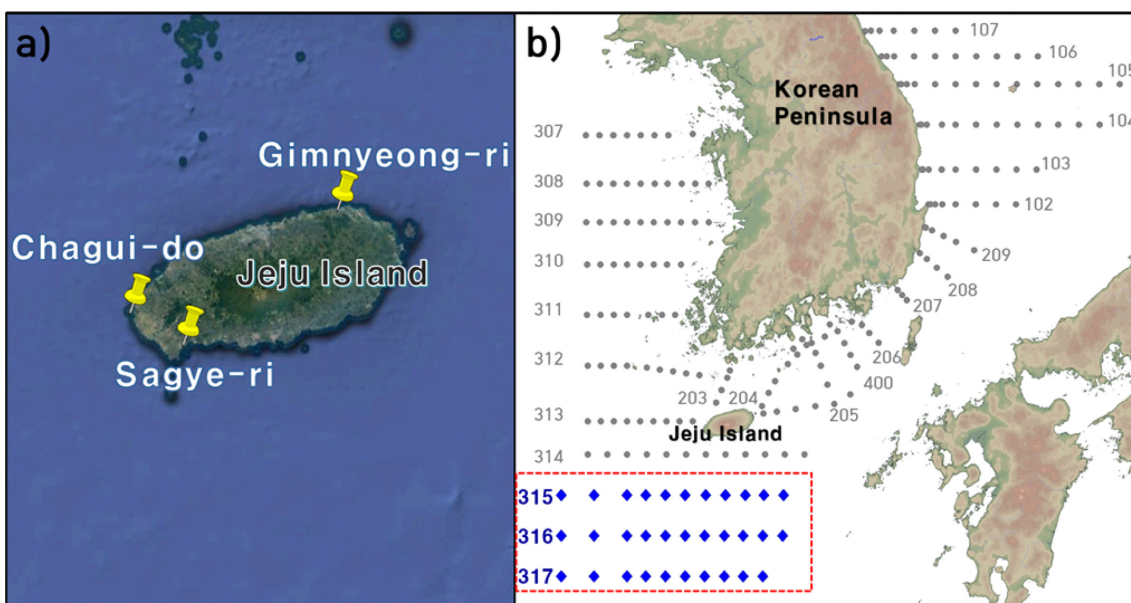


Fig. 1. a) Three marine debris observation stations (Source: MEIS) in the Jeju Island, b) CTD in situ observation stations (NIFS), red dashed lined box represents the group of observation stations (315~317) which is utilized in this research.

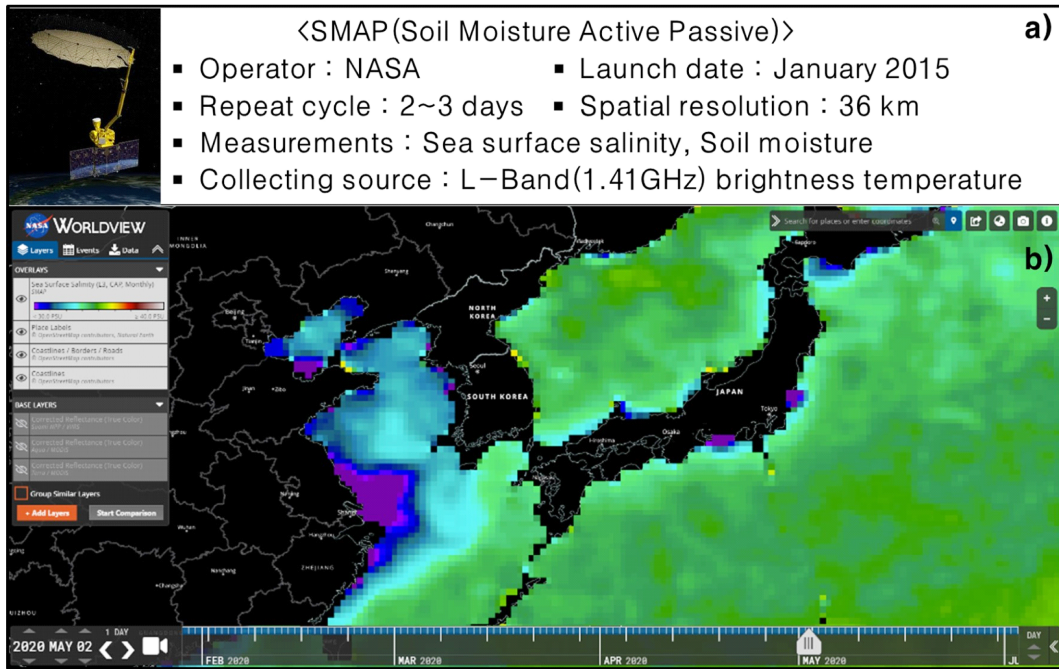


Fig. 2. a) SMAP Satellite and specifications, b) SSS presented by NASA World view website(<https://worldview.earthdata.nasa.gov/>).

영향으로 자료의 불확실성이 존재하는 것으로 연구된 바 있다(Park *et al.*[2020]). 그럼에도 NASA는 염분의 정확도 향상을 위한 연구 개발을 지속하여 개선된 SSS를 생산하여 제공하고 있다.

또한, SMAP SSS는 동중국해에서 양쯔강 담수의 확장에 대한 해양 수치모델 예측의 정확도 평가(Wang *et al.*[2018])와 국내 천리안 위성 광학센서(GOCI: Geostationary Ocean Color Imager) 기반의 SSS 산출 알고리즘 검증에도 활용된 바 있으므로(Kim *et al.* [2021]), 자료의 품질에 큰 이상은 없는 것으로 판단하였다. 또한, 본 연구에 사용된 SSS_{month}는 RFI 탐지와 필터링 알고리즘 개선으로 자료의 신뢰성을 높인 SMAP version5의 SSS 산출물(Peng *et al.* [2020]; Fore *et al.*[2020])로서 연구 자료로 활용하기에 지장 없는 것으로 판단하였다. 본 연구는 SMAP 위성 자료제공이 시작된 2015년 4월부터 2020년 3월까지에 대한 월별 개황을 산출하여 FMD에 미친 SSS_{month}의 특이 변화를 관찰하였다.

2.2 연구방법

연구는 MEIS에 자료로 축적되어 있는 제주도 해안 FMD의 주요 구성과 계절 변화를 확인하고 이를 제주 인근 SSS_{insitu}와 비교하여 상호 연관성을 판단하였다. 이를 위하여 KODC에 축적된 2010~2020년 간 315~317번 관측 정선에서의 SSS_{insitu}를 관측 시기별로 공간 평균하여 가시화 후 시기별 FMD 수량의 변화와 비교하였다. 이를 통하여 FMD를 운반하는 것으로 추정되는 추적자로서의 SSS값을 도출하고, SSS_{month}에 적용하여 공간 가시화한 후 제주도의 FMD 수량과 SSS_{month}의 공간 변화를 비교하였다. 본 연구는 SSS_{month}의 공간 가시화를 위하여 Alfred Wegener Institute에서 개발한 ODV (Ocean data viewer)소프트웨어(<https://odv.awi.de>)를 사용하였다.

SSS_{month}의 2015년 4월~2020년 3월 동안 월별 개황(SSS_{climatology})에 대한 산출은 NASA에서 제공하는 SeaDAS 소프트웨어(<https://seadas.gsfc.nasa.gov>)를 활용하여 수행하였으며, 이를 바탕으로 SSS_{climatology}에 대한 염분 이상($\Delta SSS = SSS_{month} - SSS_{climatology}$)을 산출하여 활용하였다.

MEIS에서 제공하는 통계에 따르면, 2010~2017년 동안 제주도의

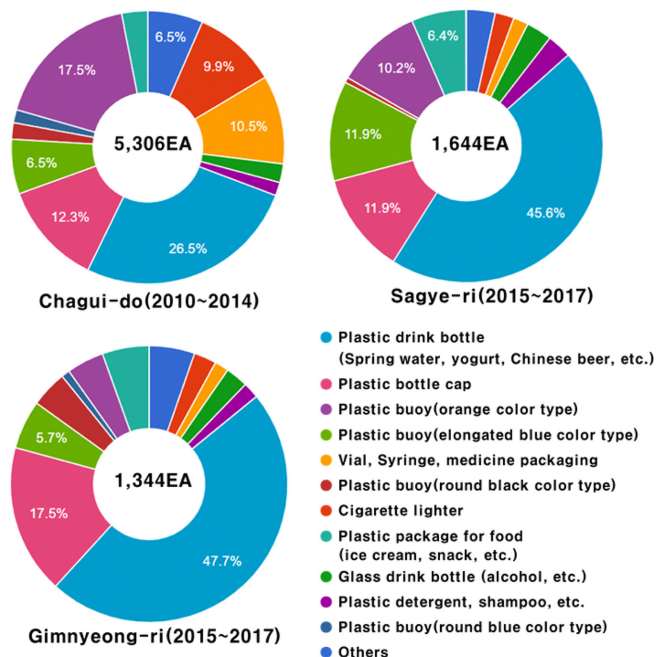


Fig. 3. Pie chart of FMD component in Jeju Island (Chagui-do, Sagye-ri, Gimnyeong-ri) in 2010~2017 (source: MEIS).

차귀도, 사계리, 김녕리 해안에 누적된 총 8,294EA의 FMD 중 플라스틱 병, 플라스틱 병뚜껑, 플라스틱 부이 등 플라스틱 계열의 물질이 상당수를 차지하는 것으로 나타났다(Fig. 3). 또한, FMD의 대다수는 부이를 제외하면 크기가 작은 편으로 군집으로 이동하지 않는 이상 광학위성에 의한 직접 관측이 제한될 것으로 판단하였다. 이들 중 생수, 요구르트 등이 포함된 플라스틱 병은 3개 해안이 공통으로 높은 비율을 차지했는데, 내륙의 도시 및 해안지역에서 소비 및 배출되어 유입된 것으로 추정되므로, 본 연구는 다음의 두 가지를 가정하였다. 1) FMD 중 일부는 강물을 따라 내륙에서 외해로 방출되어 부유 상태로 이동했을 것이다. 2) FMD는 해상에서 직접 탐지하기에는 크기가 작으므로 지구관측위성으로 감시할 경우 해양 환경 변수를 이용한 추적이 가능할 것이다.

3. 분석결과 및 고찰

3.1 분석결과

Fig. 4의 그래프로 산출된 2010~2017년 동안 조사된 제주 해안 3개 지역의 FMD 변화를 관찰해 보면, 공통적으로 FMD가 여름철에 해당되는 7~9월에 주로 증가하는 형태로 나타남을 알 수 있었다(Fig. 4). 특히, 제주 동북부 해안인 김녕리와 달리 양쯔강 하구를 향하고 있는 차귀도와 사계리의 경우 공통적으로 7월에 급격히 증가하는 양상을 보였는데, 차귀도는 최대 1,012EA, 사계리는 814EA로 나타났다. 2015년 9월에 최대 191EA로 나타난 김녕리의 경우 누적 FMD가 1,344EA로 동일 기간 사계리에서 수집된 FMD에 비해 적을 뿐만 아니라(Fig. 3), 차귀도와 사계리의 연간 FMD의 변동이 김녕리에 비해 여름철에 집중하여 나타나는 점으로 미루어 보면 제주 서부 해안의 FMD가 계절적 특성을 갖는 해양 환경의 영향을 받고 있음을 추정할 수 있다(Fig. 4).

따라서 SSS_{insitu} 와 비교를 위한 FMD로 2010~2014년 차귀도와 2015~2020년 사계리에서 수집된 자료를 활용하였다(Fig. 5).

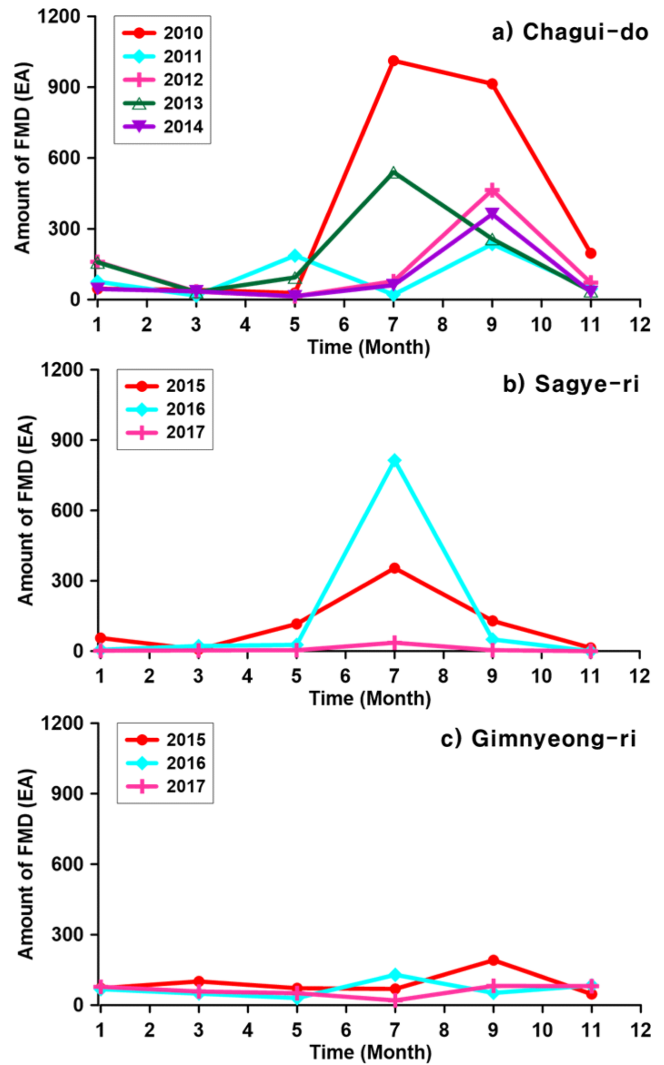


Fig. 4. Time seriesplot of the amount of FMD in Jeju Island: a) Chagui-do (2010~2014), b) Sagye-ri (2015~2017), c) Gimnyeong-ri (2015~2017).

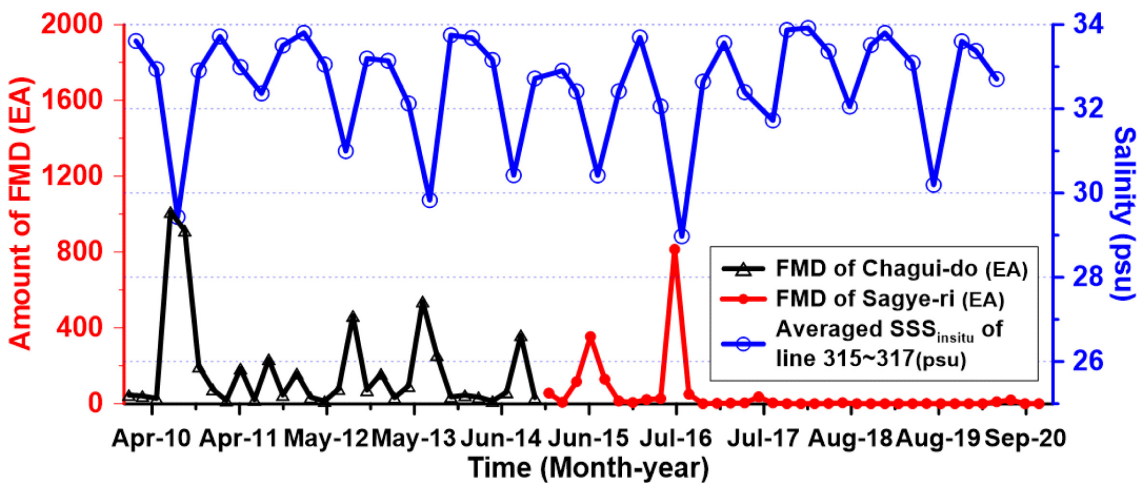


Fig. 5. Time series (year: 2010~2020) plot of FMD in Jeju Island (Chagui-do: line with black triangle in 2010~2014, Sagye-ri: line with red filled circle in 2015~2020), and Averaged SSS_{insitu} of line 315~317 (line with blue circle).

315~317번 정선의 Averaged SSS_{insitu} 와 FMD 수량 변화를 비교한 결과 차귀도의 경우 2010년 7월에 1,012EA, 사계리의 경우 2016년 7월에 814EA의 최대치가 나타났을 때 Averaged SSS_{insitu} 는 2010년 8월에 29.4psu, 2016년 8월에 29psu로 급격히 감소하여 나타났다(Fig. 5).

물론, FMD와 NIFS의 현장 관측 주기가 일치하지 않으므로 (MEIS: 1,3,5,7,9,11월, NIFS: 2,4,6,8,10,12월) SSS와 FMD의 인과 관계를 단정 지을 수는 없지만 양쯔강 희석수(YDW: Yangtze Diluted Water)에 해당되는 30 psu 이하의 저염분수(Lie *et al.*[2003])가 등장하는 시기에 FMD 유입량이 급격히 증가하였다는 점은 참고할 필요가 있다. 특히, 2010년의 경우 제주도 연안으로의 저염분수 유입 경보가 있었으며(Kim [2016]), 2016년은 제주도 연안 어업이 양쯔강 담수에 의한 이상 저염분수 피해를 겪은 시기로 잘 알려져 있는 점(Moon *et al.*[2019])을 고려하면, 확장되는 YDW가 FMD의 급격한 유입에 일부 기여한 바가 있음을 알 수 있다. 2016년은 SMAP 위성이 SSS를 수집한 연도에 해당되므로 SSS_{month} 를 기준으로

YDW의 공간 변화를 FMD와 비교하였다. YDW에 해당되는 30psu 이하의 해수(검은색 등염분선)가 3월부터 양쯔강 하구에서 점차 확대되어 5월에 124°E까지 동진한 가운데 7월 제주도와 남해 서부 해안까지 넓게 확장 후 9, 11월에 점차 소멸되었다(Fig. 6). FMD 수량의 경우 5월까지 큰 변동을 보이지 않다가 7월에 YDW가 제주도와 남해서부 해안까지 확장하였을 때 사계리 814EA, 감녕리 129 EA로 증가하는 특성을 나타내었다(Fig. 6d). 감녕리가 사계리보다 FMD 증가폭이 적은 것은 제주 동부 해안에 위치하여 YDW의 영향을 비교적 적게 받았기 때문으로 보이며, YDW 소멸 시 FMD도 모두 감소한 점을 고려하면 YDW가 FMD 변화와 관계가 있는 것으로 추정된다(Fig. 6e,f). YDW의 확장을 추가적으로 관찰하고자 등염분선을 참고로 양쯔강 하구와 제주도 사이에 330×204 km의 직사각형 구역(122.47°E-32.26°N, 125.43°E-33.88°N, 126.63°E-32.34°N, 123.73°E-30.72°N)을 Y-J Box로 명명하여 실험적으로 설정하였으며(Fig. 6d), 상기 기간 동안 SSS_{month} 가 개항 대비 얼마나 변화하는지 관찰하기 위해 ΔSSS 의 수평분포를 산출하였다. 그 결과

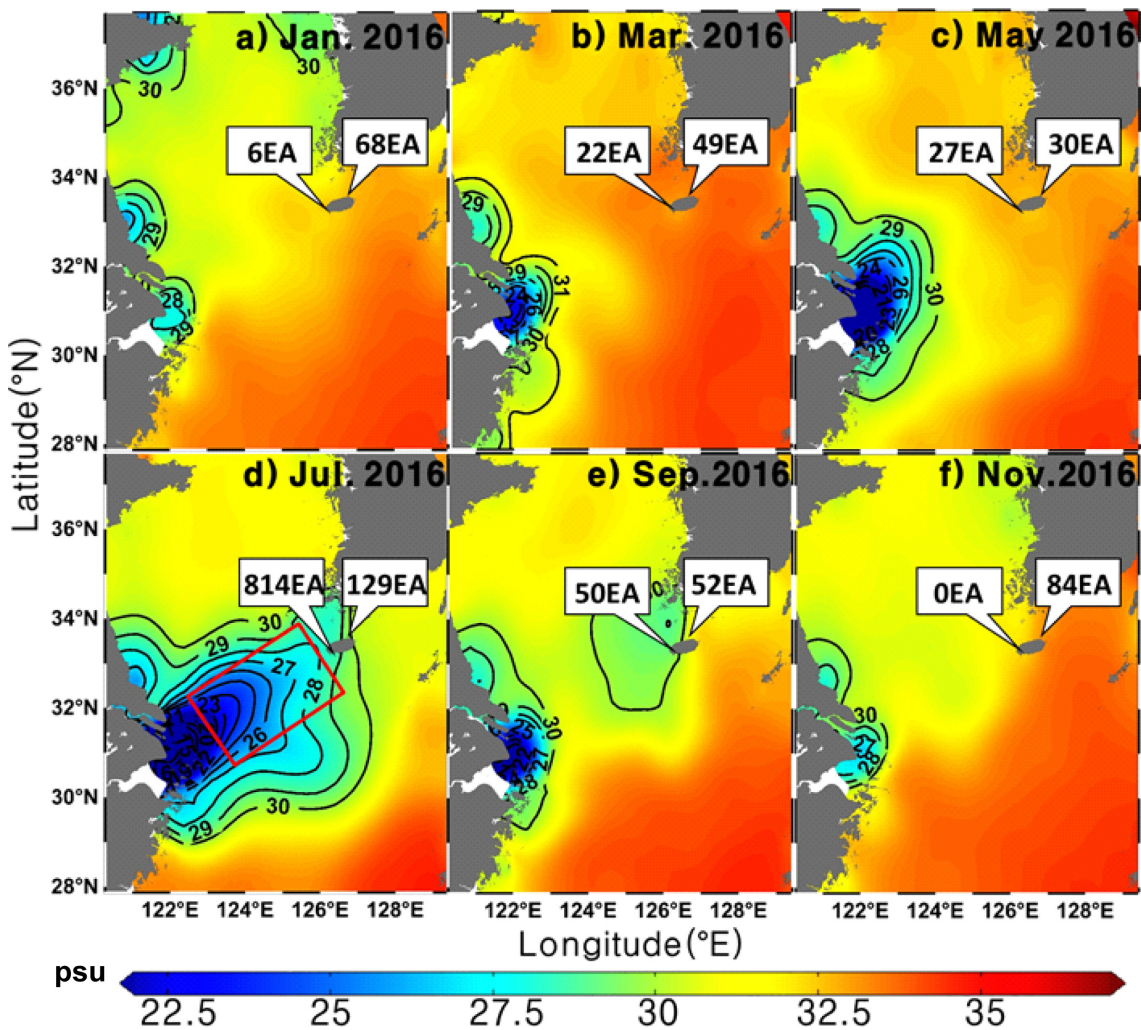


Fig. 6. Horizontal distribution of SSS_{month} on a) January, b) March, c) May, d) July, e) September, f) November in 2016, the black contour lines indicates the YDW (<30 psu), red rectangled area is Y-JBox, FMD of Sagye-ri and Gimnyeong-ri is indicated as a number.

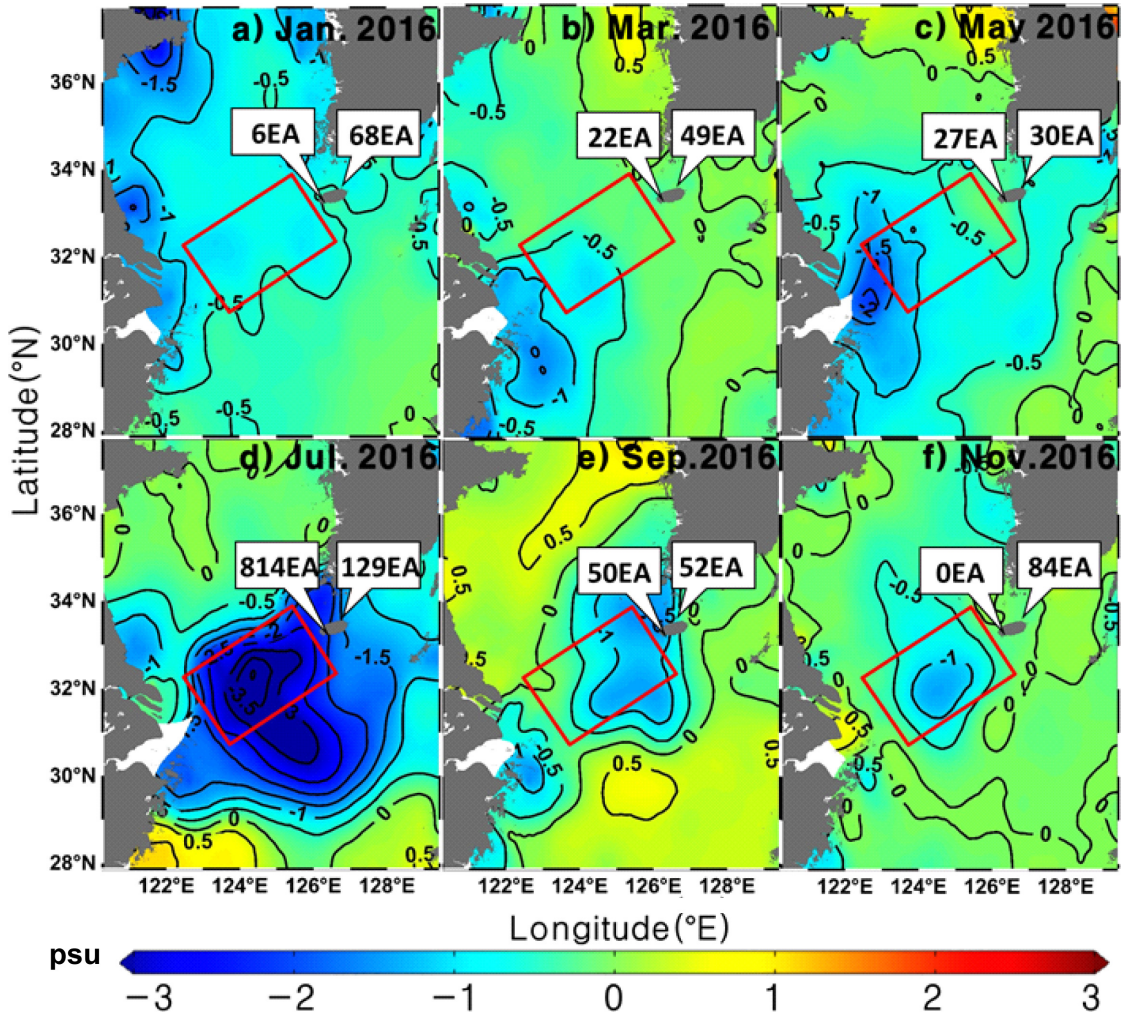


Fig. 7. Horizontal distribution of ΔSSS on a) January, b) March, c) May, d) July, e) September, f) November in 2016, black contour lines indicate the YDW, red rectangled area is Y-J Box, FMD of Sagye-ri and Gimnyeong-ri is indicated as a number.

YDW가 최대로 확장했던 2016년 7월에 Y-J Box에 해당되는 영역의 ΔSSS 가 다른 해역과 시기에 비해 가장 심한 음의 이상을 나타내었다(Fig. 7d). 즉, YDW가 개황 대비 매우 낮은 저염분 상태를 유지하면서 제주도 방향으로 확장할 때 FMD의 급격한 증가가 있었고, 이때 YDW에 해당되는 등염분선이 Y-J Box를 모두 포함하는 특성이 나타났다. 이러한 특성을 참고하여 SMAP 위성이 관측을 개시한 2015년 4월부터 2020년 12월의 기간에 대하여 Y-J Box 영역 내에서의 ΔSSS 공간 평균값과 FMD의 변화를 비교 관찰하였다(Fig. 8).

2016년 7월에 FMD가 사계리에서 814EA, 김녕리에서 129EA로 증가 하였을 때 Y-J Box에서 ΔSSS 의 공간평균은 동월 -2.9 psu로 개황 대비 음의 이상이 가장 크게 나타났다. 또한, FMD가 사계리와 김녕리를 모두 포함하여 시기별 100EA 이하의 낮은 개수를 나타낸 2017~2020년 동안 ΔSSS 는 -0.65~2.7psu로 양의 이상이 우세하게 나타났다. 물론 2015년 7월의 경우 사계리에서 FMD가 354EA로 증가하였음에도 ΔSSS 가 1.3psu로 양의 이상인 점으로

미루어 보면 YDW이외의 다양한 요인이 작용했을 것으로 판단된다(Fig. 8). 2015년 4월~2020년 12월 동안 SSS_{month} 에서 표출된 YDW 등염분선의 규모와 Y-J Box의 위치를 바탕으로 YDW의 제주도 해안으로의 확장 수준을 판단하기 위한 표를 작성하였다(Table 2). YDW는 2015~2017년, 2019년에 제주도 해안까지 근접했던 것으로 나오며, 2016년의 경우 7~9월로 가장 긴 기간 동안 YDW가 제주도 해안에 영향을 미쳤던 것으로 확인되었다. 특히, YDW 등염분선이 Y-J Box를 공간적으로 포함한 경우는 2016년 7월로만 확인되어 Fig. 8에서 보인 2016년 7월 FMD의 급격한 증가에 YDW의 영향이 있었음을 추론할 수 있다.

3.2 고찰

분석 결과에서 보인 바와 같이 YDW가 개황 대비 매우 낮은 염분과 넓은 규모로 제주도 해안에 도착하는 경우 FMD의 급격한 증가가 나타남을 알 수 있었다. 물론 Fig. 8의 2015년 7월의 사례에서 제시한 바와 같이 FMD 증가의 요인을 YDW만으로 단정 지을

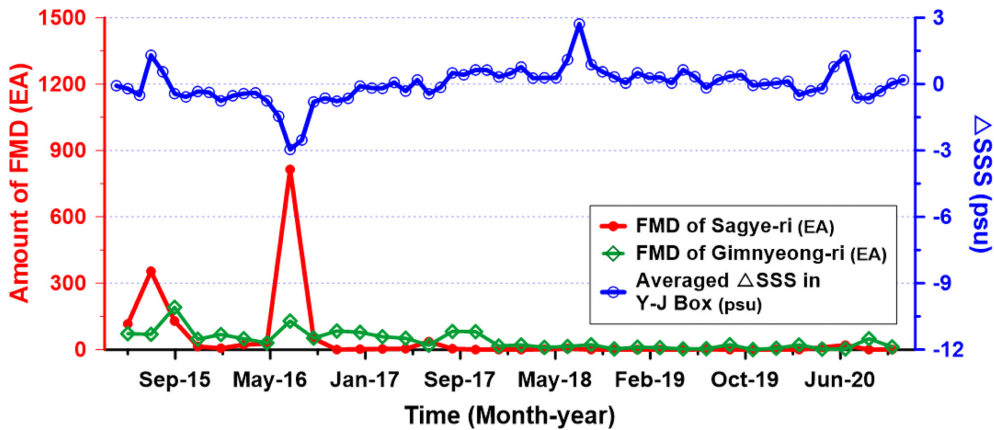


Fig. 8. Time series (year: 2015-2020) plot of FMD in Jeju Island (Sagye-ri: line with red filled circle, Gimnyeong-ri: line with green diamond) and Averaged Δ SSS for Y-J Box (line with blue circle).

Table 2. Indication for YDW's impact to the Jeju Island

Case	2015	2016	2017	2018	2019	2020
When did YDW exist closed to the coast of the Jeju Island?	September	July, August, September	July, August	-	August	-
When did SSS contour of the YDW include the Y-JBox?	-	July	-	-	-	-

수는 없으며, 선박 활동 및 쿠로시오 난류에 의한 영향 등 다양한 측면으로 고민하여야 한다. 즉, 지구관측위성으로 FMD 유입량 증가의 요인을 판단하려면 환경변수의 추가적 활용을 검토할 필요가 있다. 예를 들면, 조업활동이 해양 쓰레기 발생 요인으로서 제시된 바 있으므로(Jambeck *et al.*[2015]; Ryan *et al.*[2019]), 집어등에 대한 위성감시를 통하여 야간 조업 규모와 해양 쓰레기 발생과의 연관성을 추가적으로 연구해 볼 수 있다. NASA와 미해양대기국 (NOAA, National Oceanic and Atmospheric Administration), 미국방부가 공동으로 운용하는 Suomi-NPP 위성의 경우 매일 새벽 1 시 30분 경에 지구상의 야간 불빛을 촬영하는 기능이 있으며, 집어등을 통하여 야간에 조업하는 선박의 분포를 파악할 수 있다(Elvidge *et al.*[2015]). 관할 해역 외곽의 조업활동 규모와 당 해역 부유 쓰

레기 규모의 연관성이 규명된다면, 추가적으로 위성기반 SSS와 예측모델 기반 해류분포의 시공간적 융합 및 전시를 통하여 FMD가 해안으로 표착하기 전 이동경로 감시에 도움이 될 것이다(Fig. 9). NASA에서 운용하는 온라인 지구관측위성 플랫폼인 Worldview의 경우 크롬 브라우저를 기반으로 다양한 출처의 위성영상을 단일 공간에 융합 전시하는 기능이 있어 유용하게 쓰이고 있다.

국내에서는 2020년 2월부터 정지궤도위성인 천리안 2B호를 운용하면서 광학센서를 기반으로 하루에 10회에 걸쳐 저염분수를 포함한 다양한 산출물들을 생산하고 있다(<https://www.khoa.go.kr>). 이처럼 국내 지구관측위성을 통하여 생산되는 SSS를 Worldview와 같은 플랫폼을 기반으로 SMAP 위성의 SSS와 융합하여, 상호보완적으로 YDW를 관찰하면서 Suomi-NPP 위성의 야간 조업활동 밀

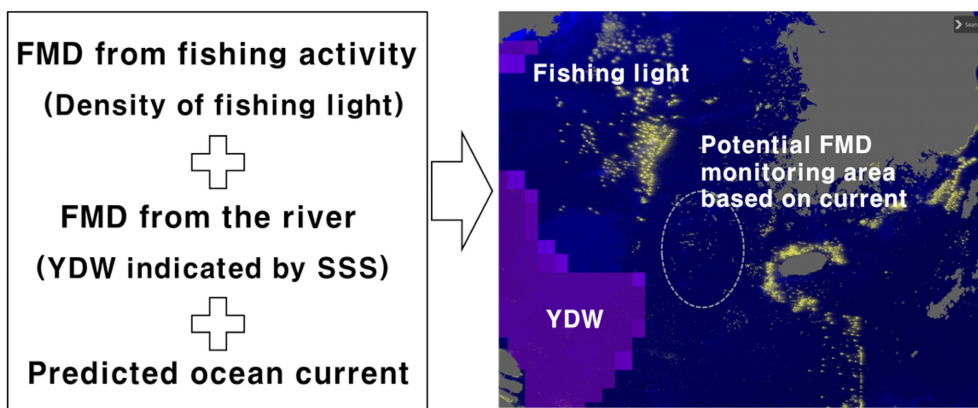


Fig. 9. A conceptual diagram for monitoring FMD by using multiple sources (NASA Suomi NPP for fisheries activity, SMAP satellite for SSS, numerical model), the right-hand side figure (Fishing light and YDW) is obtained from NASA Worldview platform.

도 및 해양 수치모델에 의한 예상 표류 경로를 통합적으로 전시할 수 있다면 제주도를 포함한 한반도 해안으로의 FMD 이동경로 파악에 도움이 될 것으로 기대된다.

4. 결 론

제주도 해안으로 유입되는 FMD 중 다수는 지구관측 위성으로 직접 관측하기에는 크기가 작은 형태로 구성되어 있으므로 FMD의 직접적인 식별보다는 이를 운반하는 해수의 추적에 중점을 두어 연구하였다. 본 연구는 도시밀집지역의 강물이 외해로 배출되기에 앞서 플라스틱 쓰레기를 운반할 가능성에 무게를 두고 FMD가 제주도로 급격히 유입하는 조건에 대하여 SSS를 중심으로 모색하였다. 2010~2020년간 제주 해안의 FMD 유입량과 NIFS 315~317 정점 SSS의 시기별 현장 관측 자료를 비교한 결과 2010년 8월과 2016년 8월 평균 SSS가 30psu 이하로 감소했을 무렵, FMD가 제주서부 해안을 중심으로 유입량이 급격히 증가함을 알 수 있었다. 2016년을 대상으로 NASA SMAP 위성의 SSS_{month} 공간 변화를 제주 해안 지역별 FMD의 변화와 비교한 결과 FMD가 급격히 증가(사계리27→814EA, 김녕리30→129EA)했던 7월, YDW에 해당되는 30 psu 이하의 등염분선이 양쯔강 하구에서 제주도와 남해서부 해안까지 넓게 확장한 것으로 나타났다. 또한, 제주도와 양쯔강 하구의 중간 해역에 실험적으로 설정한 공간 영역인 Y-J Box에서의 Δ SSS가 2015~2020년 중 2016년 7월에 음의 이상이 가장 큰 폭으로 나타남을 근거로 담수에 의한 FMD 대량 유입 가능성을 판단하였다. 위의 기간 중 YDW의 등염분선이 Y-J Box를 포함한 사례도 2016년 7월에만 확인됨에 따라 Δ SSS변화, YDW의 공간분포를 통하여 담수의 영향으로 제주도 해안으로의 FMD 유입량이 급증하는 특성을 파악할 수 있었다. 2016년 이후 제주 인근 FMD의 급증과 담수의 대규모 확산은 발생되지 않고 있지만, 전 세계적으로 지속되는 쓰레기 배출량의 증가와 기상이변의 영향으로 FMD의 대량 유입이 담수를 포함한 다양한 요인으로 발생할 수 있음을 유의하여야 한다. 따라서 해양 쓰레기 관련 지구관측위성 환경 변수의 추가 식별 및 융합 전시를 통하여 FMD가 해안으로 유입되기 전에 그 경로와 시기가 파악될 수 있도록 많은 연구가 이루어져야겠다.

후 기

본 연구를 진행할 수 있도록 자료를 제공해 주신 해양수산부, 국립수산과학원, 미 항공우주국에 감사드립니다. 본 연구는 개인적으로 수행되었습니다.

References

- [1] Bak, J., Kang, H. B. and Choi, Y.-S., 2021, Microplastics in the Marine Environment and Their Impacts on Human Health, *J. Life Sci.*, 31(4), 442-451.
- [2] Elvidge, C.D., Zhizhin, M., Baugh, K. and Hsu, F.C., 2015, Automatic boat identification system for VIIRS low light imaging data, *Remote sens.*, 7(3), 3020-3036.
- [3] Evans, M.C. and Ruf, C.S., 2021, Toward the Detection and Imaging of Ocean Microplastics With a Spaceborne Radar, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 1-9.
- [4] Fore, A.G., Yueh, S.H., Tang, W., Stiles, B.W. and Hayashi A.K., 2016, Combined Active/Passive Retrievals of Ocean Vector Wind and Sea Surface Salinity With SMAP, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 54(12), 7396-7404.
- [5] Fore, A.G., Yueh, S.H., Tang, W. and Hayashi A.K., 2020, SMAP Salinity and Wind Speed Data User's Guide, Jet Propulsion Laboratory California Institute of Technology.
- [6] Han, S.K., 2020, The Concept of Microplastics and their Occurrence, Transport, Biological Effects, and Management Methods in the Ocean, *Environ Health Sci.*, 46(5), 610-626.
- [7] Han, H.K., Choo, H.S. and Cho, H.S., 2013, Origin and characteristic of foreign derived wastes in South coast Korea, in proc. of KOSMEE Fall Meeting, Yeosu, Korea, 377-381.
- [8] Jambeck, J.R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T. R., Perryman, M., Andrady, A., Narayan, R. and Law, K.L., 2015, Plastic waste inputs from land into the ocean, *Science*, 347(6223), 768-771.
- [9] Jang, S.W., Park, J.M., Chung, Y.H., Kim, D.H. and Yoon, H.J., 2012, Study on the Inflow and Seasonal Characteristics of Foreign Marine Debris in the Coastal Area of the West Sea, *J. Korean Soc. Mar. Environ. Eng.*, 15(2), 89-100.
- [10] JPL, JPL CAP SMAP Sea Surface Salinity Products. Ver. 5.0.PO. DAAC, CA, USA., https://podaac.jpl.nasa.gov/dataset/SMAP_JPL_L3_SSS_CAP_MONTHLY_V5, 2020(accessed 2021.08.10).
- [11] Jung, R.T., 2009, World Interest and Activities on Marine Litter, *J. Korean Soc. Mar. Environ. Energy*, 12(3), 173-180.
- [12] Kim, H.C., Worst low-salinity water inflow into Jeju waters in 20 years fisherman emergency, https://www.yna.co.kr/view/AKR2016081614_1400056, 2016 (accessed 2021.08.10).
- [13] Kim, K., Hwang, J., Choi, J.S., Heo, Y. and Park, J.W., 2019, The effects of microplastics on marine ecosystem and future research directions, *Korean J. Environ. Biol.*, 37(4), 625-639.
- [14] Kim, D.W., Kim, S.H. and Jo, Y.H., 2021, A Development for Sea Surface Salinity Algorithm Using GOCI in the East China Sea, *Korean J. Remote Sens.*, 37(5-2), 1307-1315.
- [15] Lebreton, L. C. M., Van Der Zwet, J., Damsteeg, J. W., Slat, B., Andrady, A. and Reisser, J., 2017, River plastic emissions to the world's oceans, *Nat. Commun.* 8(15611), 6453-6454.
- [16] Lee, J.M., Jang, Y.C., Hong, S.W. and Choi, H.W., 2012, Features of Foreign Marine Debris on the Dune Beach of U-i Island, Korea, *J. Korean Soc. Mar. Environ. Saf.*, 18(2), 167-174.
- [17] Lie, H. J., Cho, C. H., Lee, J. H. and Lee, S., 2003, Structure and eastward extension of the Changjiang River plume in the East China, *Sea. J. Geophys. Res. Oceans*, 108(C3), 1-14.
- [18] Meijer, L.J., van Emmerik, T., van der Ent, R., Schmidt, C. and Lebreton, L., 2021, More than 1000 rivers account for 80% of

- global riverine plastic emissions into the ocean, *Sci. Adv.*, 7(18), 1-13.
- [19] Moon, J.H., Kim, T., Son, Y.B., Hong, J.S., Lee, J.H., Chang, P.H. and Kim, S.K., 2019, Contribution of low-salinity water to sea surface warming of the East China Sea in the summer of 2016, *Prog. Oceanogr.*, 175, 68-80.
- [20] Moon, J.Y., Marine litter surges in Jeju Island Policy Advisory Committee established, <https://news.kmib.co.kr/article/view.asp?arcid=0924206655&code=11131426&cp=nv,2021> (accessed 2021.12.27).
- [21] Park, J.J., Park, K.A., Kim, H.Y., Lee, E., Byun, D.S. and Jeong, K.Y., 2020, Validation of Satellite SMAP Sea Surface Salinity using Jeodo Ocean Research Station Data, *J. Korean Earth Sci. Soc.*, 41(5), 469-477.
- [22] Peng, J., Misra, S., Chan, S., Chaubell, J., Bindlish, R., Bringer, A., Colliander, A., Amici, G.D., Dinnat, E.P., Hudson, D., Jackson, T., Johnson, J., Vine, D.L., Meissner, T., Mohammed, P., Piepmeier, J., Entekhabi, D. and Yueh, S., SMAP Radiometer Brightness Temperature Calibration for the L1B_TB (Version 5), L1C_TB (Version 5), and L1C_TB_E (Version 3) Data Products, https://nsidc.org/data/smap/data_versions, 2020 (accessed 2021.08.10.).
- [23] Ryan, P.G., Dilley, B.J., Ronconi, R.A. and Connan, M., 2019, Rapid increase in Asian bottles in the South Atlantic Ocean indicates major debris inputs from ships, *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 116(42), 20892-20897.
- [24] Seo, D.C. and Kim, J.P., 2019, Comparison and Analysis of Monitoring Methods for Marine Debris on Beach, *J. Korea Soc. Waste Manag.*, 36(8), 802-810.
- [25] Wang, X., Zou, Y. and He, X., 2018, Evaluation of Ocean Forecasting in the East China Sea, *Coastal Environment, Disaster, and Infrastructure-A Case Study of China's Coastline*, Intech Open, London.

Received 5 October 2021

1st Revised 8 November 2021, 2nd Revised 7 March 2022

Accepted 18 March 2022