

인공위성 원격탐사 데이터와 수치모델을 이용한 해상 유출유 예측 향상 연구: Hebei Spirit호 기름 유출 적용

양찬수*† · 김도연** · 오정환***

*한국해양연구원 해양위성·관측기술연구부 해양위성센터, **(주)도화종합기술공사

***한국해양연구원 해양안전·방재기술연구부

Study on Improvement of Oil Spill Prediction Using Satellite Data and Oil-spill Model: Hebei Spirit Oil Spill

Chan-Su Yang*†, Doyoun Kim**, and Jeong-Hwan Oh***

*Korea Ocean Satellite Center, Korea Ocean Research & Development Institute (KORDI)

**Dohwa Consulting Engineers Co., Ltd.

***Marine Safety & Pollution Response Research Department,

Maritime Ocean Engineering Research Institute (MOERI)/KORDI

Abstract : In the case of oil spill accident at sea, information concerning the movement of spilled oil is important in making response strategies. Aircrafts and the satellites have been utilized for monitoring of spilled oil. In these days, numerical models are using to predict the movement of the spilled oil. In the future a coupling method of modeling and remote sensing data should be needed to predict more correctly the spilled oil. The purpose of this paper is to present an application of satellite image data to an oil spill prediction model as an initial condition. Environmental Fluid Dynamics Computer Code (EFDC) was used to predict the movement of the oil spilled from Hebei Spirit incident occurred in Taean coastal area on December 7, 2007. In order to make the model initial condition and to compare the model results, two satellite images, KOMPSAT-2 MSC and ENVISAT ASAR obtained on December 8 and 11, were used during the period of the oil spill incident. The model results showed an improvement for the prediction of the spilled oil by using the initial condition deduced from satellite image data than the initial condition specified at the oil spill incident site in the respects of the distributed spilled area.

Key Words : Oil spill, Hebei Spirit oil spill, Remote sensing, KOMPSAT-2 MSC, ENVISAT ASAR, Environmental Fluid Dynamics Computer Code (EFDC).

요약 : 해상 기름 유출사고 시, 효율적인 방재 전략을 위해서는 유출유의 위치 및 이동 특성을 파악하는 것이 매우 중요하다. 일반적으로 유출유의 모니터링은 항공기와 인공위성을 이용하고 있으며, 유출된 기름의 이동 경로를 예측하기 위해 수치모델이 적용되고 있다. 하지만, 원격탐사에 의한 모니터링 정보를 이용한

수치모델의 초기조건 적용은 이루어지지 않고 있다. 본 논문에서는 인공위성 자료를 통해 추출된 유출유 정보를 이용한 예측 모델의 활용가능성을 제시하고자 한다. EFDC 3차원 수치모델을 이용하여 2007년 12월 7일 태안 해안에서 발생한 Hebei Spirit호 기름유출사고의 유출유 이동을 예측하였다. 모델 초기조건과 모델결과 비교를 위하여, 12월 8일 KOMPSAT-2 MSC와 12월 11일 EVNISAT ASAR위성자료로부터 추출된 유출유 정보를 사용하였다. 모델초기 조건으로 인공위성 자료를 이용한 경우가 사고지점에서 유출을 가 정하여 방류한 초기조건보다 유출된 기름의 분포측면에서 더 개선된 결과를 보였다.

1. 서론

해상에서 선박사고에 의한 기름 유출 시, 기름의 위치, 변화과정, 이동 특성을 신속하게 파악하고 예측하는 것은 방제전략에 있어 필수적 요소이다. 따라서 사고 이후의 유출의 현황 정보의 수집은, '유출유 대응 매뉴얼' (IMO, 1988; ITOPF, 2008)에서 가장 우선시 되고 있다. 일반적으로 유출유 탐지는 선박, 항공기 및 인공위성을 이용한 방법이 사용되고 있으며, 최근 인공위성기술의 발전에 따라, 국제유조선선주오염방지연맹 (ITOPF)에서는 인공위성 원격탐사 기술 적용을 통한 유류 모니터링 적용을 권장하고 있다(ITOPF, 2008). 현재 유럽에서는 CleanSeaNet (<http://cleanseanet.emsa.europa.eu/>) 서비스 체계를 통하여, 기상과 주야의 영향을 거의 받지 않아 오염 탐지에 유효한 합성개구레이더(SAR)를 이용하여 상시 발라스트수 배출 감시 및 유출유 모니터링에 적용하고 있는 실정이다. 우리나라에서도 2010년 X밴드 SAR를 탑재한 아리랑 5호를 발사할 예정이다.

지난 2007년 12월 7일 태안 앞바다에서 발생한 Hebei Spirit호 기름 유출사고에서는, 인공위성을 활용한 체계의 미비로 주로 선박과 항공기에 의한 제한적인 기름 유출범위 조사가 이루어졌다. 또한, 예측에 있어서도, 단순한 초기 유출유 정보에 의존한 예측이 이루어졌으며, 모니터링 자료의 활용 및 자료 동화 등 예측 정확도를 향상 시키기 위한 방안이 제안되었다.

수치모델을 이용한 유출유의 신속하고 정확한 예측은 방제인력 및 장비의 운영에 있어 효율적 대응이 가능하도록 도와줄 수 있다(ITOPF, 2008). 많은 연구자들에 의해 유출유 확산 모델 연구가 이루어져 왔다 (Abascal *et al.*, 2009; Fay, 1969; Fay, 1971). 신속하고 정확한 모델 예측을 위해서는 정확한 기름유출 정보 및 해상·기상 정보가 필요하다. 하지만 사고 발생시 해

상 및 기상 상태에 따라 기름유출 정보에 관한 정확한 정보를 파악하기 어렵거나, 사고지역의 해상 및 기상 정보를 신속하게 얻는 데는 기술적 문제로 인하여 제한될 수도 있다. 이런 경우 초기조건 정보의 불확실성으로 인해 예측결과의 신뢰성이 저하될 수 있다. 또한 예측된 결과에 대한 검증방법이 거의 없는 실정이다.

본 연구에서는, Hebei Spirit호 기름 유출사고 시 얻어진 인공위성 데이터와 연안 및 하구역에서 유동 및 물질수송을 모의할 수 있는 EFDC (Environmental Fluid Dynamics Code) 모델을 이용하여 유류확산 예측에 있어, 검증자료 및 초기조건으로 인공위성 자료의 활용 가능성에 대하여 검토하고자 한다. 모델결과의 검증 및 초기 조건 활용을 위해, 12월 8일(KOMPSAT-2 MSC)과 12월 11일(EVNISAT ASAR)에 수집된 인공위성 데이터를 이용하였다.

2. 인공위성 데이터 및 모델 개요

1) 인공위성 데이터

2007년 12월 7일 오전 7시경 태안군 만리포 앞바다에서 유조선 Hebei Spirit호와 예인선 부산 삼성 1호의 충돌에 의한 국내 최대 해양 유류 유출 사고가 발생하였다(Fig. 1). 파공부위 봉쇄가 완료된 12월 9일 07시 30분까지 약 12,547kl의 원유가 유출되었다. 사고 이후, 인공위성에 의한 관측이 계속 이루어졌으며, 여기에서는 모델과의 비교를 위하여, Fig. 1에서와 같이 시간적 간격이 어느 정도 떨어져 있으면서, 유출유 범위 추출의 정확도가 비교적 높은 기간인 2007년 12월 8일과 11일에 얻어진 KOMPSAT-2 MSC 광학 이미지와 ENVISAT ASAR 데이터를 사용하였다.

KOMPSAT-2 MSC 광학 데이터는 관측범위가 15km인 4m 해상도 컬러이미지를 이용하였으며, 사고

Table 1. List of satellite data and wind and wave conditions

Satellite	Acquisition Time(LT)	Mode(Sensor)	Wind Speed /Direction	Wave, Hs (m)
KOMPSAT-2	2007.12.08 11:04	MSC	7.6m/s 339.5°	1.0
ENVISAT ASAR	2007.12.11 10:41	D / Wide Swath VV	4.8m/s 27.4°	0.2

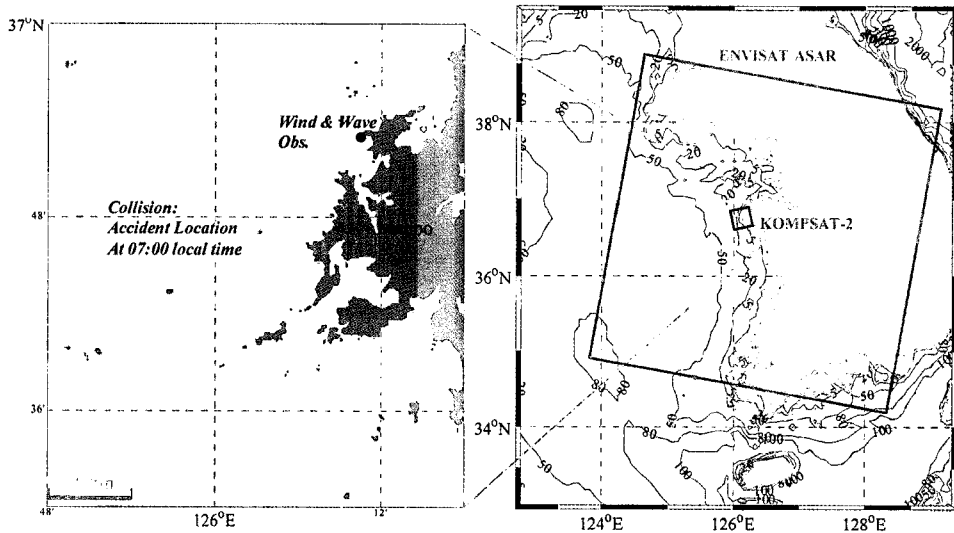


Fig. 1. Accident location of Hebei Spirit Oil Spill off Malipo with the coverage areas for KOMPSAT-2 and ENVISAT ASAR obtained on Dec. 8 and 11, 2009. Blue circle represents the observation site of wind and wave.

선박 중심으로 기름 유출의 초기 상태에 대한 유출 범위를 추출하는데 사용되었다. 사고지점의 북서방향 약 14km 지점(Fig. 1)에서 해양기상관측이 이루어졌으며, KOMPSAT-2 위성 관측 시간의 태안에서의 바람은 북북서 7.6m/s 이었고, 유의파고는 1.0m 이었다.

ENVISAT ASAR는 합성개구레이더(SAR) 자료로, 여기서는 Wide Swath 모드(관측폭: 405km, 해상도: 150m) VV 편파가 사용되었으며, 표면에 유출된 기름을 탐지하는데 유용하다(ESA, 2007). 이 시기의 풍향은 북동방향이고 풍속은 4.8m/s 이었으며, 유의파고는 0.2m 로 잔잔하였다.

2) 모델 개요

EFDC (Environmental Fluid Dynamics Code) 모델은 미국 Virginia 연안 및 하구 연구를 위한 장기 연구사업의 일환으로 미국 VIMS (Virginia Institute of Marine Science)에서 개발되었다. 미국 연안역의 해양 환경문제에 적용을 위한 미국 환경청(US EPA) 공인 모델로 지정되었다(US EPA, 1997). EFDC 모델은 미국

버지니아 James and York River 하구(Hamrick, 1991; Hamrick, 1992)와 Chesapeake 만(Hamrick, 1994; Park *et al.*, 1995)의 3차원 유동 및 수질모의에 적용된 바 있으며 연안, 하구, 호소, 습지 및 저수지 등에서 조석, 바람, 담수 유입, 기상 조건에 따른 유동, 퇴적물 이동, 수질 모의에 적용되고 있다(Jin *et al.*, 2001; Jin and Ji, 2004; Kuo *et al.*, 1996; Shen *et al.*, 1999; Tuckey *et al.*, 2006; Zou *et al.*, 2006). 국내에서는 광양만에서(Park *et al.* 2005) 해수유동 및 수질모의에 적용되었으며, 서해, 남해의 외해역 및 연안의 해수유동, 침식/퇴적 및 수질변화를 모의하였다(서 등, 2008; 정 등, 2008, 허와 박, 2009).

EFDC 모델은 연속방정식과 수평방향 운동방정식, 열염보존 방정식, 및 퇴적물을 포함한 물질보존방정식으로 구성되어 있다. 수직방향으로 σ 좌표계를 사용하고, 수평방향으로 직교 또는 곡선직교좌표계를 사용한다. EFDC 모델은 조건대 처리가 가능하고, Mellor-Yamada level 2.5 turbulence closure scheme (Mellor and Yamada, 1982)과 Mass conservation

scheme을 적용하였다(Hamrick, 1994; Hamrick and Moustafa, 2001 a & b; Ji *et al.*, 2001). 상세한 EFDC 모델에 대한 설명은 Hamrick (1992)에 잘 기술되어 있다.

본 연구의 대상해역은 조석의 영향으로 조간대가 넓게 발달한 서해연안이다. 따라서 물질이동의 기본 정보인 해수의 유동장을 정확하게 모의하기 위하여 조간대를 모의할 수 있고 국내외적으로 3차원 유동 모의에 적용성이 입증된 EFDC모델을 이용하였다.

3. 인공위성에 의한 Hebei Spirit 호 유출유 범위 추정

1) 12월 8일

해상에 유출된 기름은 해수 유동에 따라 이동하면서 여러 가지 물리화학적 변화를 받아 해면으로부터 소실되거나 남아있게 된다. 특히, 물리화학적 변화를 통칭하여 광화 (증발, 유상화, 용해, 산화)라 한다. 이러한 변화는 기름 유출량, 기상과 해상상태, 기름의 물리화학적 특성에 따라 달라지며 광학특성도 변한다. 일반적으로 유출유의 유무와 특성은 광학 사진에서의 색과 광택을 가지고 판단한다(ITOPF, 2009). 위성에 의한 광학 이미지에서도 유사한 방법으로 기름영역의 추출이 가능하다. Hebei Spirit호에서 유출된 기름은 Fig. 2에서와 같이 낮은 비중을 가지고, 조류와 바람에 의한 확산이 지배적이었으며, 광택을 가진 갈색과 은색이었다. 즉, 단 시간 내에도 확산범위가 넓어지는 경향을 가지고 있다고 할 수 있다.



Fig. 2. Scattered patches of spilled oils spreading to brown and silver sheen on December 08, 2007.

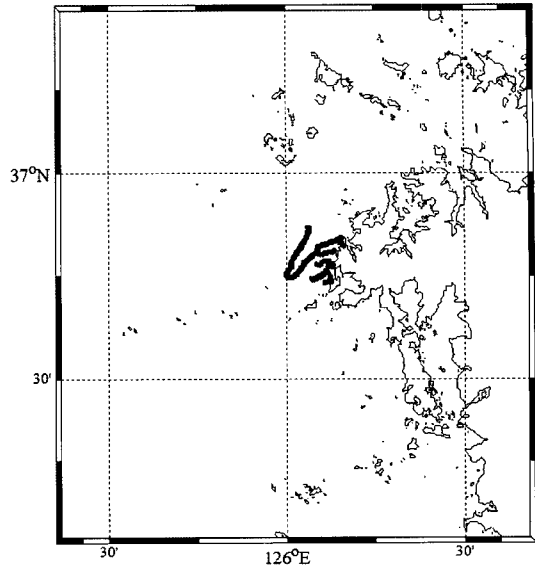


Fig. 3. Spilled oil areas obtained from visual image interpretation using ENVI for KOMPSAT-2 MSC image acquired on December 8, 2007.

12월 8일에 얻어진 KOMPSAT-2 다중분광이미지를 기하보정을 한 후, 상용소프트웨어인 ENVI를 사용하여 육안판독을 실시하였다. 여기서는 두께에 대한 고려는 이루어지지 않았으며, 유출유 확산 모델링의 초기조건을 위하여 조각 형태로 나타난 부분들에 대해서도 외곽영역을 연결하여 곡선 형태의 유출유 범위로 추출되었다. 다만, 해안 혹은 방파제 등 시설에 부착된 것으로 판단되는 영역은 제외하였다. 추출된 영역은 Fig. 3에 표시되었다.

2) 12월 11일

기름추출을 위하여 기존 연구사례(Topouzelis, 2008; Pavlakis *et al.*, 2001)를 조사하여 MATLAB을 이용하여 'Oil Spill Detection' 모듈을 개발하였다. 다양한 SAR 데이터를 입력 받아 MAT파일로 저장되어 처리되며, 자체 DB를 이용한 기하보정 기능도 포함한다. 2007년 12월 11일에 취득된 경기 서부해안의 ENVISAT ASAR 데이터(Table 1)를 Fig. 4에서와 같은 절차에 따라 적용하였다. 기하보정과 방사보정이 이루어진 후, 간단한 히스토그램을 참조하여 기름영역의 판단되는 영역을 선택하여 추출하도록 되어 있다. 이 영역에 대해 히스토그램을 참고하여 임계치를 적용하고 시행착오를 통해 얻어진 최종 임계치(-21.5dB)의 결과

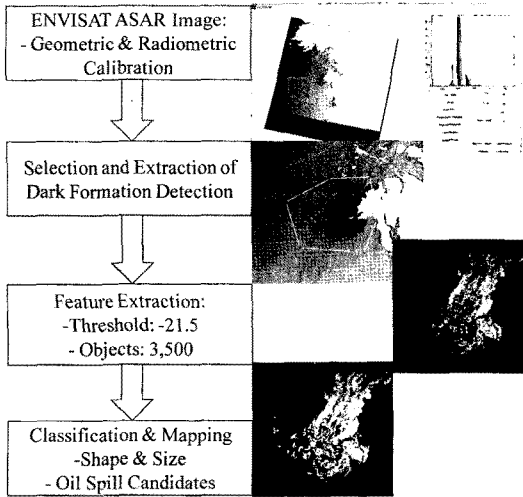


Fig. 4. The basic functions of the oil spill detection module developed in MATLAB and its application procedure for ENVISAT ASAR acquired on December 11, 2007.

3,500개의 오브젝트를 추출하였다. 여기서 추출된 오브젝트에 대해서 각 오브젝트 특성치(평균값, 표준편차, 형상, 크기 등)를 검토하여 최종적으로 32개의 오브젝트를 최종 기름 영역을 결정하였다. 이 시기의 바람은 북풍계열로 기름과 해수면의 구별에 용이한 4.8m/s이었다.

4. Hebei Spirit 호 유류 확산 모델링

1) 모델 구성

모델 영역은 Hebei Spirit호 사고로 인하여 초기에 기름유출 확산범위를 파악할 수 있는 서해중부부터 경기만을 포함하는 해역이다. 모델의 격자크기는 작으면 작을수록 보다 정밀한 결과를 얻을 수 있으나 모델 영역, 모델 수행시간 및 대상 인자의 특성 및 연구 목적을 고려하여 적절한 크기를 설정할 필요가 있다. 본 연구에서 수치모델을 이용한 실험은 해상에 유출된 기름의 이동, 확산양상을 모의하는 것이 목적이므로 대상해역(119km × 214km)의 크기와 계산시간을 고려하여 수평격자를 500m의 정방격자로 설정하였다(동서방향 238개, 남북방향 428개). 총 유효 격자수는 58,178개이며(Fig. 6), 각 격자의 수심은 서(2008)의 자료를 이용하였다.

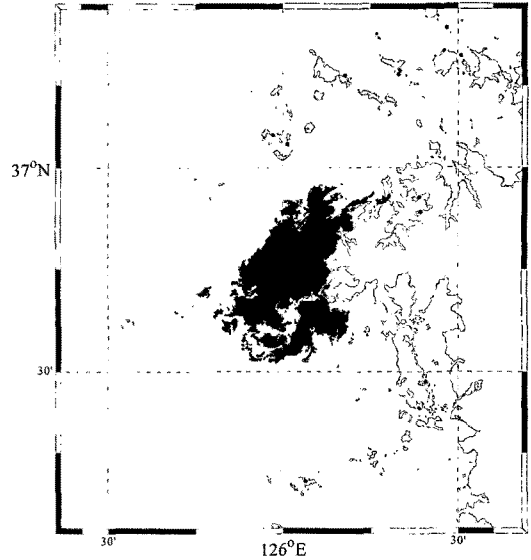


Fig. 5. Spilled oil areas obtained from ENVISAT ASAR image acquired on December 11, 2007.

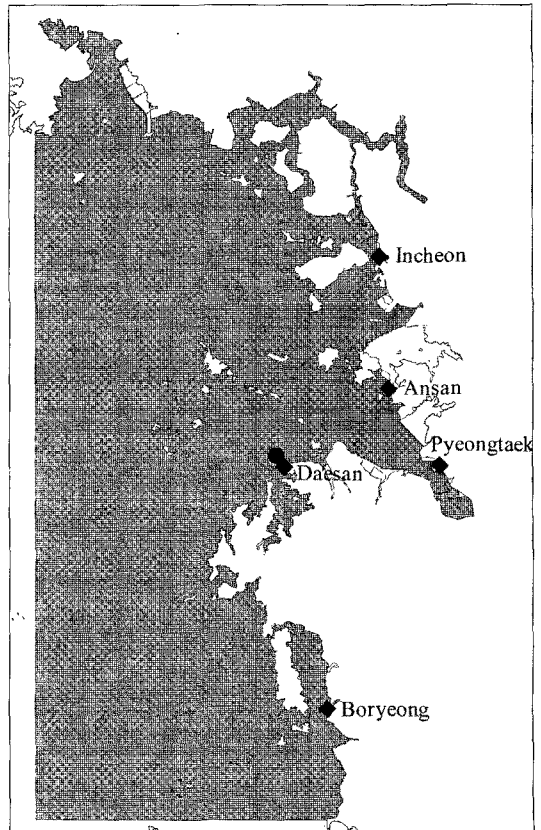


Fig. 6. Grid structure for Taejeon coast area and Kyeong-Ki bay showing the locations of verification for 5 tidal stations (◆) and wind time-series station (●).

본 연구는 조석의 영향이 큰 서해안을 대상으로 하고 있어 조석에 비해 상대적으로 해수의 유동에 미치는 영향이 작은 해수의 밀도(수온, 염분)는 고려하지 않았다. 조석에 의한 해수유동 모의시 수직적으로 1개의 층을 갖는 2차원 모델로서 전반적인 유동현상을 모의할 수 있으나, 기름의 이동/확산은 해수면과 대기의 경계면에서 주로 이루어 지므로 본 연구에서는 모든 수평격자에서 수직적으로 3개층으로 격자를 나누어 3차원 모델을 구성하였다. EFDC의 수직격자간격은 수직격자바율을 입력하고 모델에서 수심에 이를 곱하여 수층의 두께를 계산하게 된다. 본 연구에서는 표층에 유출된 기름의 두께와 바람의 효과를 잘 재현할 수 있도록 민감도 실험을 거쳐 수직격자바율을 0.005, 0.095, 0.9로 설정하였다.

모델의 초기조건은 해수면과 각 격자의 유속은 0(Cold start)으로 설정하였으며, 각 격자에서 밀도(수온, 염분)는 고려하지 않았다. 해수유동의 폐경계조건으로 육지경계면을 가로지는 흐름은 없는 것으로 설정하였다. 개방경계에서의 조위 조건은 기존 자료를 이용하여 입력하였다.

2) 입력 자료

지난 12월 7일 발생한 Hebei Spirit호 기름 유출 사고와 관련하여 태안 연안지역에서의 기름유출 경로를 모의하기 위하여 주요 외력으로 조석과 바람자료를 적용하였다. 육상으로부터 들어오는 담수량과 모델 개방경계에서 해류, 수온 및 염분 등은 고려하지 않았다. 개방경계에서 조석 자료는 NAO 자료를 사용하였다. NAO 자료는 일본의 해양 조석예보 모델 결과로서 TOPEX/POSEIDON 자료 및 관측 자료를 자료동화하여 얻은 1/12°의 고해상도 조석 자료이다. 조석 분조 중 주요 4개 분조(M2, S2, K1, O1)의 진폭과 지각을 모델 개방경계에서 모델격자에 맞게 선형 내삽 후 입력하였다. 바람자료는 2007년 12월 1일부터 31일까지 태안에서 관측한 10분 간격 자료를 이용하여 모델영역 내에 공간적으로 같은 값으로 지정하였다(Fig. 7).

3) 모델 보정 및 검증

모델결과의 신뢰성 검토를 위해 모델에 대한 보정 및 검증을 실시하였다. 모델보정을 위해 모델의 입력 자료로 사용한 NAO 조석 자료의 반조차(Amplitude)와 지

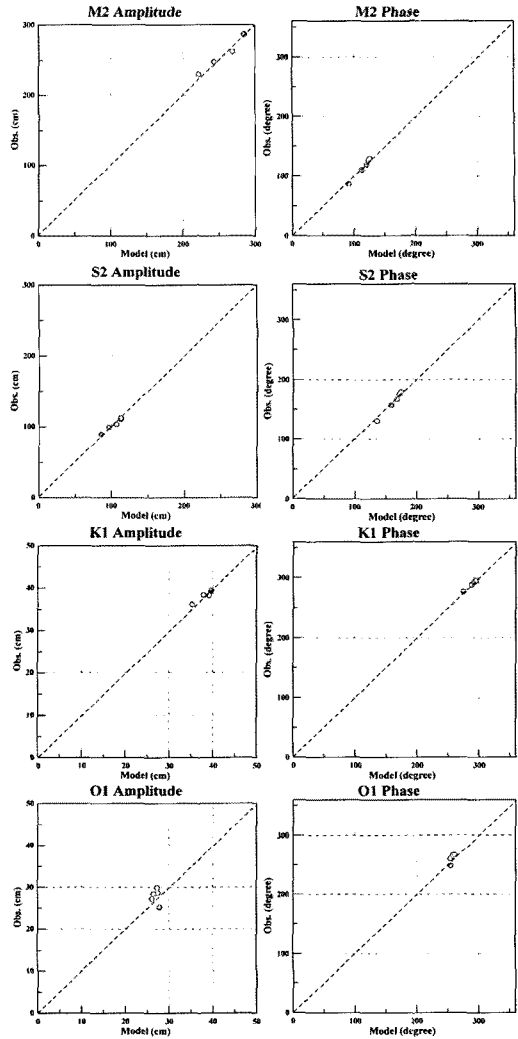


Fig. 7. Comparison between the observed and model calculated amplitudes and phases of M₂, S₂, K₁ and O₁ tidal constituents.

각(Phase)의 분포 양상을 모델 결과와 비교하여 잘 일치할 때까지 경계조석을 수정하면서 반복 실험을 수행하였다.

모델검증은 국립해양조사원에서 제공하는 서해 연안 관측소 5개 정점(인천, 안산, 평택, 대산, 보령)에서 관측된 조석자료와 모델결과의 조석 조화상수 값을 비교하였다. 관측된 조석의 조화상수와 계산치를 조화분해한 조화상수를 비교하여 모델 결과의 정확도를 정량적으로 추정하기 위해 계산 결과에 대한 절대상대오차(Absolute Relative Error, ARE)와 평균 오차(Mean Error)를 계산하여 비교하였다. 모델 결과의 절대오차

Table 2. Absolute relative errors (ARE) and mean errors (ME) averaged over 5 tidal stations

Tidal Constituents	Amplitude		Phase
	ARE (%)	ME (cm)	ME (degree)
M2	1.77	-1.65	-0.26
S2	2.19	-0.41	-0.11
K1	1.51	0.04	0.22
O1	6.80	-0.81	-3.27

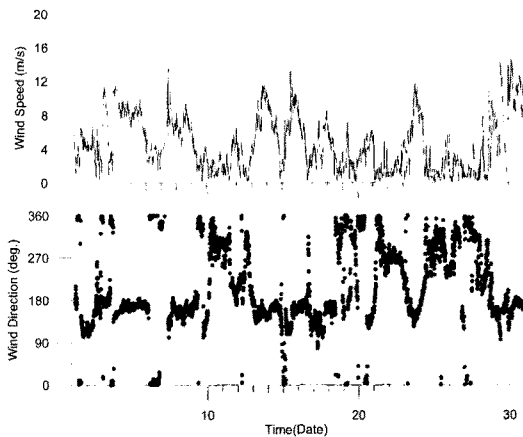


Fig. 8. Time-series wind data at Taeon during December 2007. The wind direction is northward at zero degree.

를 관측치에 대한 상대적 크기로 나타낸 절대상대오차와 오차는 다음과 같이 정의된다.

$$\text{ARE}(\%) = \left| \frac{\text{Model} - \text{Observed}}{\text{Observed}} \right| \times 100, \text{ Mean Error} = \text{Model} - \text{Observed}$$

5개 정점에서 각 분조별 진폭의 절대상대오차의 평균은 1.51~6.80% 이고 평균 오차는 -1.65~0.04cm로 진폭이 상대적으로 작은 O1분조의 오차가 크게 나타나나 그 오차는 1cm미만으로 미미하다. 각 분조별 시각의 평균오차는 -3.27~0.22°로 계산되어 모델에서 계산된 결과는 조석의 크기와 전파 양상을 잘 재현하고 있음을 알 수 있다(Table 2 and Fig. 8).

4) 유출유 확산실험

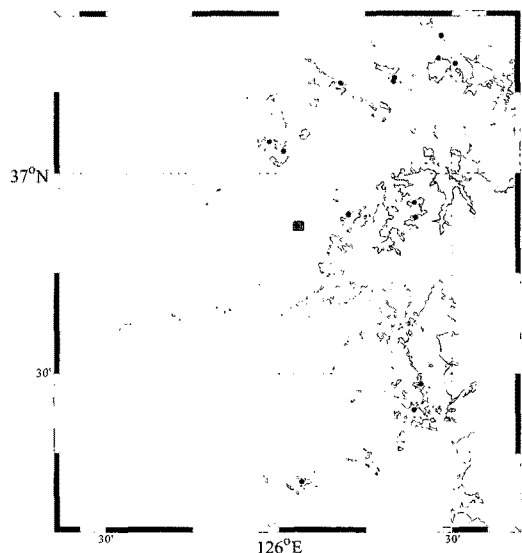
해상으로 유출된 기름은 크게 유출 초기의 수면에서의 퍼짐, 조류와 바람에 의한 이송 그리고 물리화학적 변화, 즉 풍화작용에 의해 확산된다. 본 연구에서는 유출된 기름의 이동 경로를 파악하는데 있어, 초기조건으로 인공위성 자료의 활용방안을 검토 하기 위하여 유출

된 기름의 풍화작용 등을 고려하지 않고 보존성 입자로 가정하여 모의하였다. 또한, 유출된 기름이 간석지나 해변에 부착되지 않는다고 가정하였다. EFDC모델 내에 포함되어 있는 Implicit trilinear interpolation scheme (Bennett and Clites, 1987)을 이용한 Lagrangian 입자추적 모듈을 적용하여 유류확산에 대한 수치실험을 실시하였다.

12월 7일 7시경 발생한 Hebei Spirit호 유출사고에 대하여 사고 당시에 기름이 순간 유출되었다고 가정하고 초기조건을 지정한 경우(Case 1)와 12월 8일 11시경 인공위성자료를 활용하여 초기조건을 지정한 경우(Case 2)에 대해 12월 11일 19시경 인공위성 자료 결과와 모델결과를 비교하였다.

(1) 모델결과

유출지점을 초기조건으로 한 경우(Case 1), 12월 7일 발생한 Hebei Spirit호 유출사고에서 5번 탱크의 파공부위(160cm x 200cm)가 다른 2개의 파공부위 보다 커서 파공탱크 상부에 적재된 기름 대부분이 단시간 내에 유출되었다고 가정하고 10,200개의 입자를 사고지점에 방류하였다(Fig. 9). 12월 8일 모델결과 (Fig. 10)는 사고지점 인근에 제한적으로 확산되며, 12월 11일 모델결과(Fig. 11)는 태안연안을 따라 남쪽으로 이동하면서 외

Fig. 9. Initial condition for model comparison with (a) Case 1: 10,200 tracer release at the spill incident site on 7th December 2007 (07:00 LT).

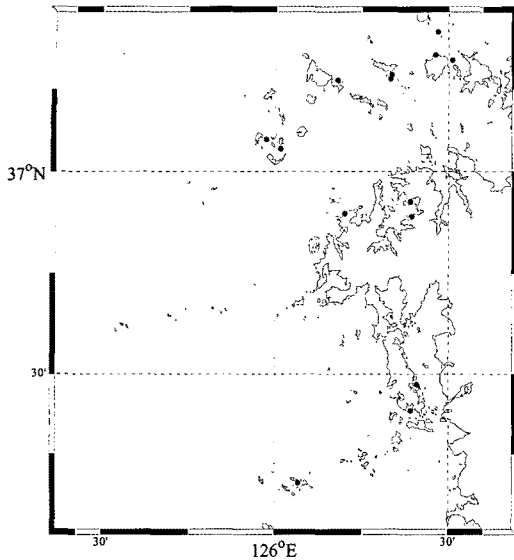


Fig. 10. The model result of the tracer experiment on 8th December 2007 in Case 1 (11:00 LT).

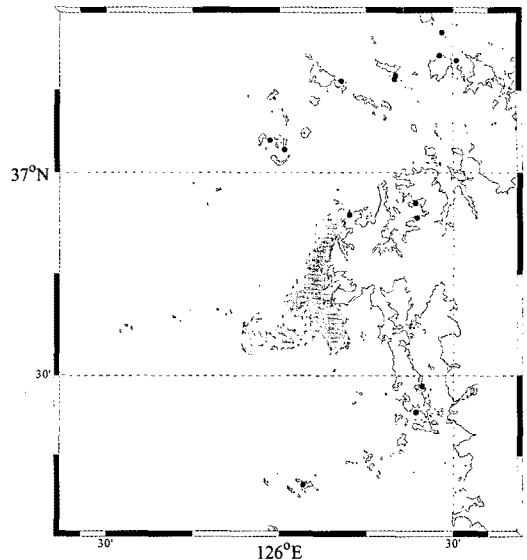


Fig. 11. The model result of the tracer experiment on 11th December 2007 in Case 1 (11:00 LT).

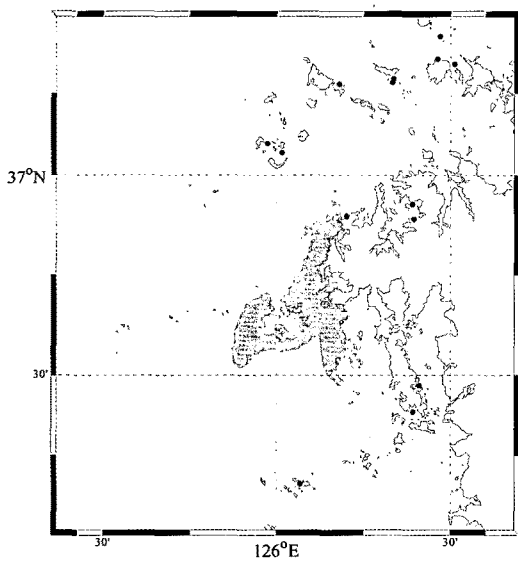


Fig. 12. The model result of the tracer experiment on 11th December 2007 in Case 2: 10,200 tracer release based upon the remote sensing data on 8th December 2007.

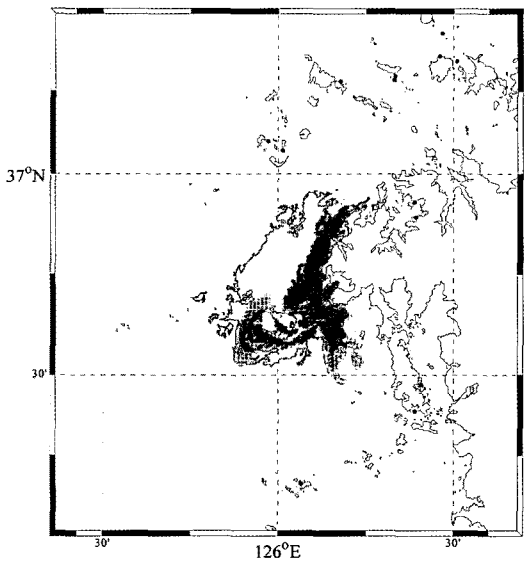


Fig. 13. Comparison of SAR-based oil spills (areas in yellow) and both cases (Case 1: green, Case 2: red) of the tracer experiment on 11th December 2007.

해로 이동하는 양상을 보이고 있다.

사고가 발생한 하루 후인 12월 8일 인공위성 자료를 초기조건으로 한 경우(Case 2), 10,200개의 입자를 각 해당격자마다 균등하게 배분하여 모델을 수행하였다. 12월 11일 모델결과(Fig. 12)는 유출시작시점에 초기조건을 이용한 모델 결과(Case 1)와 유사하게 태안 연안에서 남

쪽으로 이동하면서 외해로 확산되는 양상을 보인다.

(2) 모델 결과 비교

사고지점을 초기조건으로 부여한 경우(Case 1)의 12월 8일의 모델 결과는 태안 연안 앞바다에서 제한적인 범위에서 확산된 반면, 인공위성 자료에서는 외해 및 연

안에서 보다 넓은 확산범위를 나타내고 있다. 이는 사고 시 유출유의 초기 상황에 대한 보다 많은 정보를 통해 더 신뢰성 높은 예측 결과를 얻을 수 있음을 시사한다.

인공위성에 의한 유출유 자료와 각 모델결과를 12월 11일 동일시각에 대하여 비교하여 제시하였다(Fig. 13). 12월 11일 인공위성자료는 대체적으로 태안 연안뿐만 아니라 외해로 광범위하게 확산된 양상을 보이고 있다. 두 모델결과는 인공위성자료에서 보여주는 확산범위보다 다소 연안 쪽에 국한되어 이동, 확산하는 양상을 보이거나 남측으로 이동, 확산 양상은 인공위성 자료를 잘 재현하고 있다. 인공위성 자료를 초기조건으로 부여한 경우(Case 2)의 모델 결과는 사고지점을 초기조건으로 부여한 경우(Case 1)의 모델 결과에 비해 외해 측과 남측으로 보다 넓게 이동, 확산되어 인공위성 자료를 보다 잘 재현하고 있음을 나타낸다.

5. 결론

해상에서 발생하는 유류오염사고 시 신속하고 정확한 초기 조건에 관한 정보는 유출유 확산 예측 모델의 신뢰성을 높일 수 있다. 본 연구에서는 Hebei Spirit호 기름 유출사고 시 얻어진 인공위성 데이터와 EFDC모델을 이용하여, 모델결과의 검증 및 초기조건으로 인공위성 자료의 활용 가능성에 대하여 검토하였다. 모델 초기조건으로 사고당일 사고지점에서 입자를 방류한 경우와 사고 후 인공위성 자료를 활용하여 입자를 방류한 경우, 두 경우 모두 연안과 외해로의 이동양상에 있어서는 비슷한 결과를 보였다. 하지만 초기조건으로 인공위성 자료를 이용한 결과가 연안뿐만 아니라 외해로 더 넓게 확산된 분포를 보임으로써 인공위성 자료를 보다 잘 재현하였다. 유출유 확산의 경우, 웨더링에 따른 변화가 크기 때문에 가능하면 유출 사고 초기의 기름 분포 자료를 이용하는 것이 더 효과적일 것으로 판단된다.

12월 8일 예측 결과에 대한 인공위성 자료와 모델 예측결과의 차이는, 동일 시각에 유출유를 하나의 입자로 가정하고 투입하여 예측한 결과에 기인한 것으로 사료된다. 11일 외해 측 분포의 차이는, 유출유의 특성 및 조석, 바람 이외의 해양환경 요소에 기인한 것으로 판단되어, 향후 이를 고려한 실험이 이루어질 예정이다. 또한

위성자료를 이용한 실질적인 유출유 탐지 및 예측에 활용하기 위한 고속 데이터 처리 기법 및 유출유 탐지 기술 개발 등의 연구가 필요하다.

후 기

본 연구는 한국해양연구원 기본연구사업(PE98333) 및 국토해양부 국가연구개발사업(PM54760)의 일환으로 수행되었다.

참고문헌

- 서승남, 2008. 한국 주변해역 30초 격자수심, 한국해양안·해양공학회논문집, 20(1): 110-120.
- 서승원, 이화영, 2008. 새만금호 완공에 따른 수질변화 모의, 대한토목학회논문집, 28(1): 79-93.
- 소방방재청, 2007 재난연감, 2007.
- 정정호, 김국진, 양근호, 장운영, 박선환, 김영택, 2007. 경기만내 담수 유입으로 인한 시공간적인 염분변화에 대한 연구, 환경영향평가, 16(6): 421-432.
- 허영택, 박진혁, 2009. EFDC 모형의 낙동강 하류부 수리해석 적용성 평가, 한국수자원학회논문집, 42(4): 309-317.
- Abascal, A. J., S. Castanedo, F. J. Mendez, R. Medina, and I. J. Losada, 2009. Calibration of a lagrangian transport model using drifting buoys deployed during the Prestige oil spill, *Journal of Coastal Research*, 25(1): 80-90.
- Bennet, J. R. and A. H. Clites, 1987. Accuracy of trajectory calculation in a finite-difference circulation model, *Journal of Computational Physics*, 68: 272-282.
- ESA, 2007. *ENVISAT ASAR Product Handbook*, European Space Agency.
- Fay, J. A., 1969. *The spread of oil slicks on a calm sea*, Oil on the Sea, Plenum Press, 53-63.
- Fay, J. A., 1971. Physical processes in the spread of oil on water surface, *Proceedings of the 1971*

- Oil Spill Conference*, American Petroleum Institute, Washington D.C., 463-468.
- Hamrick, J. M., 1992. A three-dimensional environmental fluid dynamics computer code: Theoretical and computational aspects, *Special Report in Applied Marine Science and Ocean Engineering*, No. 317, Virginia Institute of Marine Science (VIMS), VA.
- Hamrick, J. M., 1994. Evaluation of island creation alternatives in the Hampton Flats of the James River, *Report to the U.S. Army Corps of Engineers*, Norfolk District.
- Hamrick, J. M. and M. Z. Moustafa, 2001a. Development of the Everglades wetland hydrodynamic model, Part I: Model formulation and physical processes representation.
- Hamrick, J. M. and M. Z. Moustafa, 2001b. Development of the Everglades wetland hydrodynamic model, Part II: Computational implementation of the model.
- IMO, 1988. *Manual on oil pollution: Section IV Combating oil spills*, IMO, London.
- IOPF, 2008. *Technical Information Paper No. 1: Aerial Observation of Oil*, The International Tanker Owners Pollution Federation.
- Ji, Z.-G., M. R. Morton, and J. M. Hamrick, 2001. Wetting and drying simulation of estuarine processes, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 53(3): 683-700.
- Jin, K.-R., J. H. Hamrick, and T. Tisdale, 2001. Application of three-dimensional hydrodynamic model for Lake Okeechobee, *ASCE Journal of Hydraulic Engineering*, 126: 758-771.
- Jin, K. R. and Z. G. Ji, 2004. Case Study: Modeling of sediment transport and wind-wave impact in Lake Okeechobee, *Journal of Hydraulic Engineering*, 130: 1055-1067.
- Kuo, A. Y., J. Shen, and J. M. Hamrick, 1996. The effect of acceleration on bottom shear stress in tidal estuaries, *ASCE journal of Waterways, Ports, Coastal and Ocean Engineering*, 122: 75-83.
- Mellor, G. L. and T. Yamada, 1982. Development of a turbulence closure model for geophysical fluid problems, *Rev. Geophys. Space Phys.*, 20: 851-875.
- Park, K., H. S. Jung, H. S. Kim, and S. M. Ahn, 2005. Three-dimensional hydrodynamic-eutrophication model (HEM-3D): application to Kwang-Yang Bay, Korea, *Marine Environ. Res.*, 60(2): 171-193.
- Pavakis, P., D. Tarchi, and A. Sieber, 2001. *On the Monitoring of Illicit Vessel Discharges, Reconnaissance study in the Mediterranean Sea*, European Commission Report EUR 19906 EN, 2001.
- Shen, J., J. D. Boon, and A. Y. Kuo, 1999. A modeling study of atidal intrusion front and its impact on larval dispersion in the James River estuary, Virginia, *Estuaries*, 22: 681-692.
- Topouzelis, K. N., 2008. Oil Spill Detection by SAR Images: Dark Formation Detection, Feature Extraction and Classification Algorithms, *Sensors*, 8: 6642-6659.
- Tuckey, B. J., M. T. Gibbs, B. R. Knight, and P. A. Gillespie, 2006. Tidal circulation in Tasman and Golden Bays: implications for river plume behavior, *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 40: 305-324.
- US Environmental Protection Agency, 1997. *Compendium of tools for watershed assessment and TMDL development*, EPA841-B-97-006, Office of Water, Washington, DC.
- Zou, R., Carter, S., Shoemaker, L., Parker, A., and Henry, T., 2006. An integrated hydrodynamic and water quality modeling system to support nutrient TMDL development for Wissahickon Creek, *Journal of Environmental Engineering*, 132: 555-566.