

허베이 스프리트호 유류유출확산 수치 예측모델 개발 및 적용 Development and Application of Numerical model to the Hebei Spirit Oil Spill

이종섭¹, 윤은찬²
 Jong Sup Lee¹ and Eun Chan Yoon²

1. 서 론

2007년 12월 7일 오전 7시 10분경 유조선 허베이 스프리트호와 삼성중공업의 예인선간의 충돌로 인하여 발생한 유류유출은 사고지점 부근의 태안군과 서산시 뿐만 아니라 서해안 전역에 커다란 피해를 입힌 국내에서 발생한 최대의 유류유출사고이다. 사고발생 해역인 서해안은 동계에 북서계절풍이 탁월하게 발생하여 취송류와 풍파를 형성시키며 조석간만의 차가 매우 커 조류 또한 매우 강한 지역적인 특성을 가진다.

유류유출 사고의 발생 시 초기 대응 전략에서 가장 중요한 요소들은 발생된 누유가 연안에 도달하는 시각과 전반적인 확산패턴을 예측하여 적절한 방제대책을 수립하는 것이다. 그러나 허베이 스프리트호 기름유출사고 당시에는 이러한 초기 확산분포에 대한 예측에서 많은 문제점이 대두되었다.

기존에 허베이 스프리트호 기름유출사고에 대하여 수치모형을 이용한 연구를 살펴보면 정·조(2008)는 조류와 취송류를 고려하여 입자추적모형에 의한 기름유출패턴을 조사하였고, 이 등(2008)은 태안기름유출 사고 시 누유의 이동 및 확산에서 풍속, 조류에 의한 이송과 풍파의 영향을 고려할 수 있는 모형인 TICEM-OF 모형을 개발 및 적용하였다.

본 연구에서는 이러한 기존의 연구결과들과 대상해역의 특성을 고려하여 조류, 바람, 파랑을 외력요소로 고려하였고, 기존의 유류유출 모델링에서 가장 널리 사용되는 입자추적 방식에 의한 예측모형을 구축한 후 허베이 스프리트호 유출사고에 관한 초기 확산분포에 대한 수치계산을 수행하여 기존의 관측된 유류유출 분포와 비교하여 모형의 적용성을 검토하였다.

2. 수치모형 구축

유류유출의 시뮬레이션의 계산절차는 Fig. 1과 같다. 첫 번째 단계는 수심적분된 2차원 해수유동모형인 DIVAST모형으로부터 계산된 수심평균된 조류(V_c) 및 조위(η)의 값을 원하는 시간 간격으로 구한 후 유류의 확산이 표층에서 이루어지는 점을 감안하여 다음과 같은 보정계수 α_c 를 고려하여 계산된다.

$$\vec{V}_c = \alpha_c \vec{V}_c \quad (1)$$

두 번째 단계인 파랑에 의한 stoke's dirft(U_w)의 계산은 스펙트럼형 파랑변형 모형인 SWAN 모형을 이용하여 입력자료에 따른 파고 및 파향의 분포로부터 구해진다.

표면파의 질량수송벡터는 다음의 식 (2)와 같이 표현된다.

$$U_w(z) = \omega \kappa a^2 \frac{\cosh(2\kappa(h-z))}{2\sinh^2(kh)} \quad (2)$$

여기에서 a 는 파의 진폭, h 는 수심, z 는 수면으로부터의 높이, ω 는 파의 각주파수($=2\pi/T$), κ 는 파수($=2\pi/L$)이다. 그리고 여기에서 T 와 L 은 파의 주기 및 파장이다. 유류확산 계산 시 파에 의한 흐름성분(\vec{V}_{wave})은 보정계수 α_{wave} 를 고려하여 산정된다.

$$\vec{V}_{wave} = \alpha_{wave} \vec{U}_w \quad (3)$$

¹ 부경대학교 건설공학부 교수

² 한국해양수산연구원 책임연구원

마지막 외력요소인 취송류 성분은 현장관측된 바람자료를 이용하여 계산되며 유류확산 계산 시 이류항은 다음과 같이 산정된다.

$$\overrightarrow{V}_{wind} = \alpha_{wind} D \overrightarrow{V}_w \quad (4)$$

여기에서, α_{wind} 는 취송류에 대한 보정계수, \overrightarrow{V}_w 는 해면위 10m에서의 풍속을 나타내고, D 는 바람에 의한 취송류의 편향각도로서 0~40°의 범위를 가진다.

$$D = \begin{pmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix} \quad (5)$$

여기에서 θ 는 풍속에 따라 다음과 같이 결정된다.

$$\begin{cases} \theta = 40^\circ - \sqrt{|V_w|} & : 0 \leq \overrightarrow{V}_w \leq 25m/s \\ \theta = 0 & : \overrightarrow{V}_w > 25m/s \end{cases} \quad (6)$$

최종적으로 입자추적 모형(이·김, 1995)에 의한 유류확산 계산은 이러한 조류, 취송류 및 파랑에 의한 Stokes drift 성분을 선택적으로 사용하여 이류성분을 구할 수 있도록 구성하였으며, 난류확산을 고려하여 수치계산을 수행하도록 설정하였다.

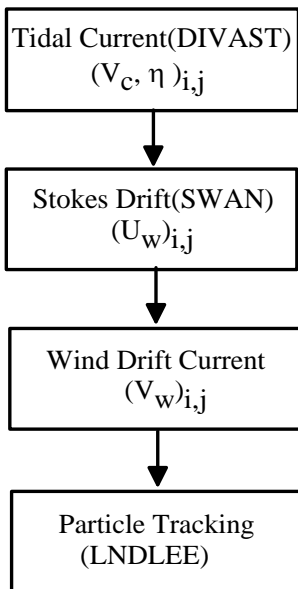


Fig. 1. Flow chart of oil spill model.

3. 수치모형의 적용

3.1 수치계산의 개요

수치계산의 영역은 Fig. 2와 같이 동서방향으로 129.6km 남북 방향으로 113.4km로 설정하였으며 수치계산 격자의 간격은 x 와 y 방향으로 모두 300m로 구성하였다. Fig. 2에서 T1~T3는 조위검증점의 위치를 나타내고, C1~C4는 조류검증점의 위치를 나타낸다. 수치계산의 시간은 허베이 스프리트호 유류유출 사고일인 2007년 12월 7일부터 위성사진이 존재하는 2007년 12월 11일까지 5일간 수치계산을 수행하였다.

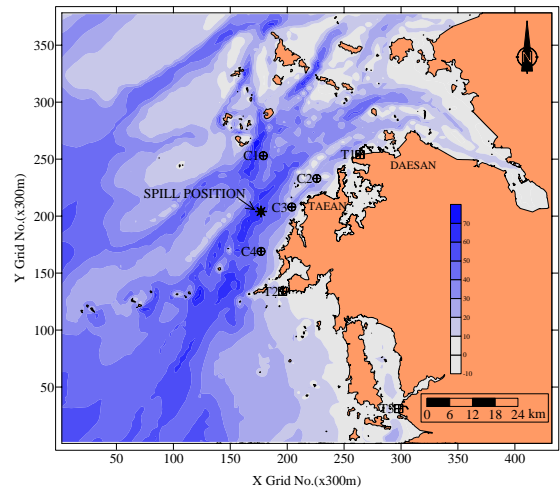


Fig. 2. Depth profile of study area and model verification points.

3.2 수치계산 조건

조류의 수치계산은 주요 4대 분조의 진폭과 위상을 경계조건으로 설정하여 Fig.2의 3개 정점에서 허베이 스프리트호 유류유출 사고 발생일인 2007년 12월 7일부터 12월 11일까지 5일간 수치계산을 수행하였고, 관측치와 계산치의 비교검증을 수행하였다.

취송류 계산에 사용된 바람장은 Fig.3에 나타난 가대암 관측소의 자료를 이용하였고, 파랑의 경우에도 가대암의 파랑자료를 이용하였다. 관측된 바람분포에서 집중적인 원유의 유출이 있었던 것으로 알려진 2007년 12월 7일 7시~12시의 기간에는 풍속 10m/s 이내의 WNW 계열의 바람이 지속적으로 작용하였음을 볼 수 있다.

입자추적모형에 의한 유류확산 시뮬레이션은 크게 3가지 Case로 나뉘어 조류만을 고려한 경우(Case 1), 조류와 취송류를 고려한 경우(Case 2)

및 조류, 취송류 및 파랑에 의한 질량수송을 고려한 경우(Case 3)에 대하여 각각 수치계산을 수행하였으며, 실제 사고지점 전면의 만리포와 신두리 해안전면에 유류가 도달된 시간으로 알려진 13시간 후의 분포와 기존의 위성관측자료가 존재하는 2007년 12월 11일(Fig. 4)의 유류입자의 분포를 비교하여 모델의 적용성을 검토하였다. Table 1은 이러한 입자추적 방식에 의한 수치계산의 개요를 나타낸다.

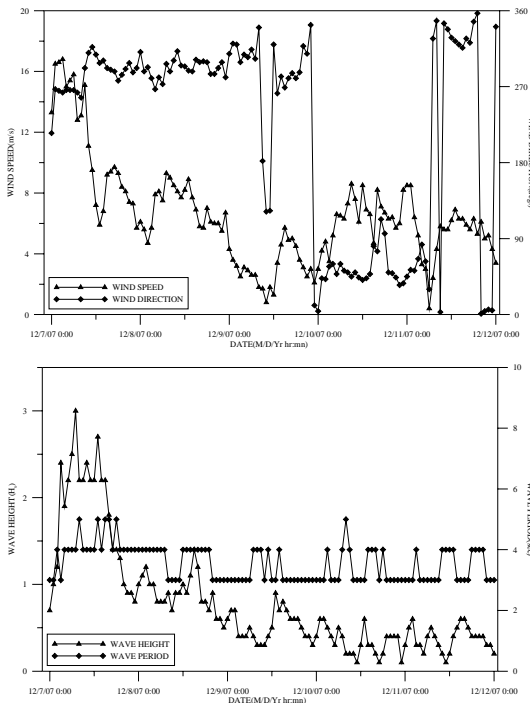


Fig. 3. Observed wind and wave in Gadaeam.

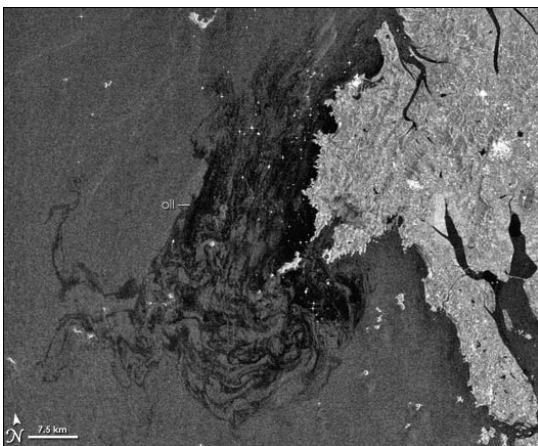


Fig. 4. Satellite photography on December 11, 2007 (European space agency).

Table 1. Outline of numerical simulation

Case	external force	remark
Case 1	tide	$\alpha_c = 1.1$
Case 2	tide, wind	$\alpha_{wind} = 0.02$
Case 3	tide, wind, wave	$\alpha_{wave} = 0.56$

Table 1에서 α_{wind} 의 경우 일반적으로 0.03의 값으로 알려져 있으나 정-조(2008)의 연구에서 0.02의 값을 사용하였을 경우에 현상을 가장 잘 재현한다는 결과를 제시한 바 있고, 이 등(2008)의 연구에서도 0.017의 값을 사용하였으므로 본 연구에서는 0.02의 값을 사용하였다. 그리고 α_{wave} 의 경우 Shattri and Tec(1998)의 연구에서 사용한 0.56의 값을 동일하게 적용하였다. 그리고 각 계산에서 유류의 유출은 초기 5시간 동안만 발생하는 것으로 가정하여 수치계산을 수행하였다.

3.3 수치계산 결과

수치계산결과는 사고발생 후 매 시간별로 입자의 위치를 출력하여 전체 확산범위를 추정하였고, 사고발생 13시간 후의 입자의 분포와 실제 위성사진(Fig. 4)이 존재하는 12월 11일의 입자의 분포를 도출하여 모델의 적용성을 검토하였다.

조류만을 고려한 유류유출 확산 시뮬레이션의 결과 발생지점 부근의 조류의 흐름이 창조 시 북동향류 낙조 시 남서향류가 탁월한 특성을 반영하여 주로 북동-남서 방향으로 기름입자가 확산되고 연안방향으로의 확산은 매우 미미한 것으로 조사되었다(Fig. 5(a)).

조류와 취송류를 고려한 Case 2의 경우에 만리포 및 신두리 해안으로 도달하는 데는 약 15시간 이상 소요되는 것으로 나타났고, 12월 11일의 입자분포(Fig. 5(b))는 남쪽의 가의도 부근과 근소만 해역에서 실제 관측자료와 큰 차이를 보이는 것으로 나타났다.

조류, 취송류 및 파랑에 의한 stoke's drift 성분을 이류조건으로 사용한 Case 3의 경우, 사고발생 13시간 후 만리포와 신두리 전면해상으로 기름이 유입되는 것으로 나타나 기존의 현상을 잘 재현하였고, Fig. 5(c)의 최종 입자의 분포에서 전반적으로 현장 관측된 입자의 기름의 유출양상과 가장 유사한 확산패턴을 보이는 것으로 나타났다.

4. 요약 및 결론

국내에서 발생한 최대규모의 유류유출 사고인 허베이 스프리트호 유류유출 사고에 대하여 초기 확산범위를 예측할 수 있는 수치모형을 구축하였고, 조석, 바람, 파랑의 3가지 외력요소를 선택적으로 구성할 수 있도록 설정하였다.

수치계산결과 조류만을 고려하였을 경우에 해안 방향으로의 확산이 제한되고 주로 북동-남서 방향으로 확산되는 경향을 보여주었다. 조류와 취송류를 고려한 수치계산에서는 초기 해안부근에 도달하는 시간에 대한 예측이 정확하게 나타나지 않았고, 최종분포에서도 연안부근의 확산부포에서 차이를 보였다. 조류와 취송류 및 파랑에 의한 표면파의 질량수송을 고려한 경우에는 해안에 도달 시간과 전반적인 기름의 확산패턴을 가장 잘 재현함을 볼 수 있었다.

이러한 수치모형 결과들은 조석, 파랑 및 바람을 모두 고려하였을 경우에 허베이 스프리트호 기름유출 사고의 초기 확산분포를 잘 재현한 것으로 판단되나 기본적으로 이류와 난류확산만을 고려하였으므로 추후 유출된 기름의 풍화, 유화, 증발과 같은 다양한 현상들을 고려할 수 있도록 추가적인 연구가 수행되어야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

- 이정렬, 이주용, 김기철(2008). 태안기름 유출 사고 시 누유 이동 및 확산에서 풍파의 영향. 2008년도 한국해양과학기술협의회 공동학술대회, 83-86.
- 이중섭, 김호진(1995). Random Walk 모형에 의한 확산해의 민감도 분석. 대한토목학회논문집, 15(5), 1267-1279.
- 정태성, 조형진(2008). 태안 기름유출사고의 유출 유 확산특성 분석, 한국해양-해양공학회 학술발표논문집, 17, 60-63.
- Shattri, M. and Tec, T.P. (1998). Remote Sensing and GIS Application in Oil Spills Risk Assessment, Proc. the 19th Asian Conference on Remote Sensing, 16-20 Nov., Manila, C-3-1-C-3-6.

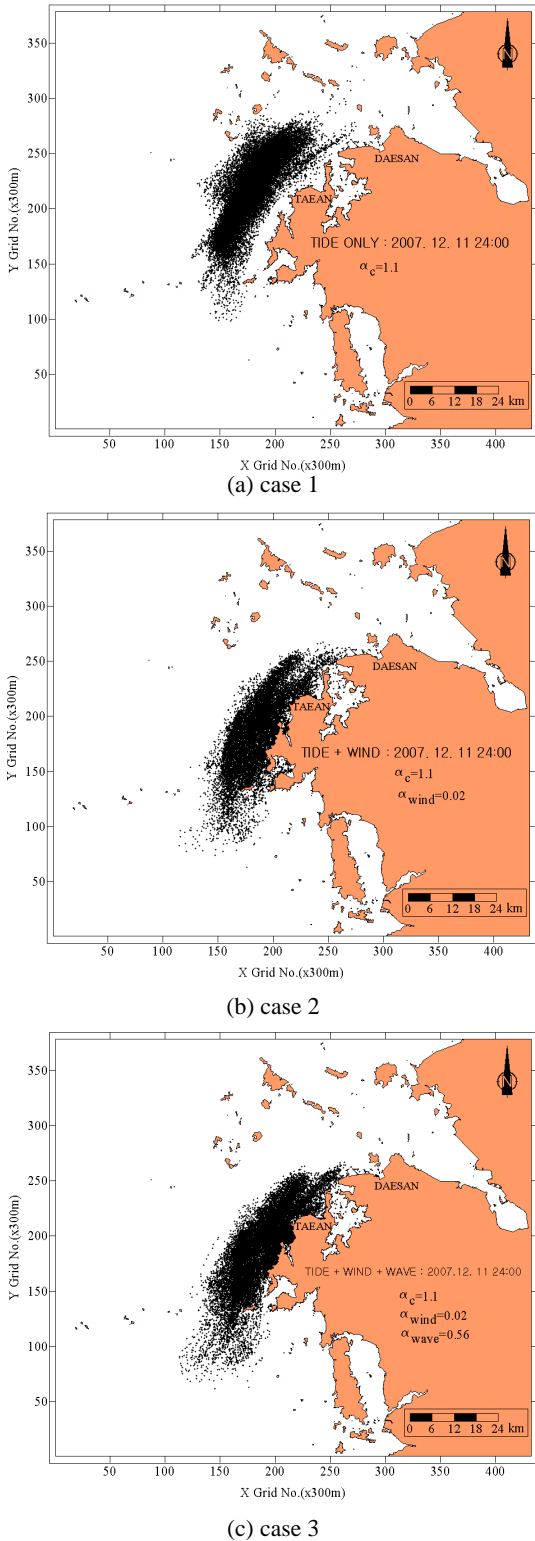


Fig. 5. Diffusion pattern of spilled oil.