

## 태안 기름유출사고의 유출유 확산특성 분석 Analysis of Oil Spill Dispersion in Taeon Coastal Zone

정태성<sup>1</sup>, 조형진<sup>2</sup>

Tae Sung Jung<sup>1</sup> and Hyong Jin Cho<sup>2</sup>

### 1. 서 론

태안 앞바다에서 발생한 유조선 충돌사고로 인해 대량의 유류가 유출되어 주변 연안해역에 큰 오염피해가 발생하였으며, 유출유 확산과정을 정확하게 예측한 결과가 제공되지 않아 초기에 효과적으로 피해를 방지하기 위한 대책을 제대로 수립하지 못해서 피해가 커졌다는 주장이 일부 시민단체로 제기되었다. 유출유 확산에 관한 연구는 최근 유출유 오염사고가 거의 발생하지 않아 대부분의 연구자들은 관심을 가지고 있지 않고 있었으며, 일부 관련기관에서만 소수의 연구자가 연구를 진행하고 있었다. 이번 사고를 계기로 연안공학자들이 책임감을 느끼고 연구에 관심을 가져야 할 것이다. 유출유 확산현상은 해수유동(조류, 해류, 취송류, 연안류 등), 기상(바람, 수온, 증발 등), 파랑, 생화학적 반응 등이 복합된 매우 복잡한 자연현상이다. 본 연구에서는 현재 국내에서 연구되고 있는 유출유 확산 예측모형에 대해 고찰하고, 태안 유류오염의 확산특성(Fig. 1, 동아일보)을 수치모형을 통해 분석하였으며, 수치모형의 예측정확도 개선방안에 대해 검토하였다. 국내 유출유 확산 수치모형에 관한 연구는 대형 유류오염사고가 다수 발생한 1990년 중반에 유출유 확산 원인 분석을 위해 주로 수행되었다(Table 1). 유출유 확산을 모의하기 위해서 초기 연구에서는 이송과 확산과정만을 고려하였으나 점차 유류 물성의 변화와 관련된 증발, 분산, 유상화, 침강 등의 현상을 모형에 고려하였다. 본 연구에서는 확산에 미

치는 물리적 요인인 조류와 바람에 의한 취송류가 확산에 미치는 영향을 수치모형의 적용결과와 관측결과의 비교분석을 통해 조사하였다.

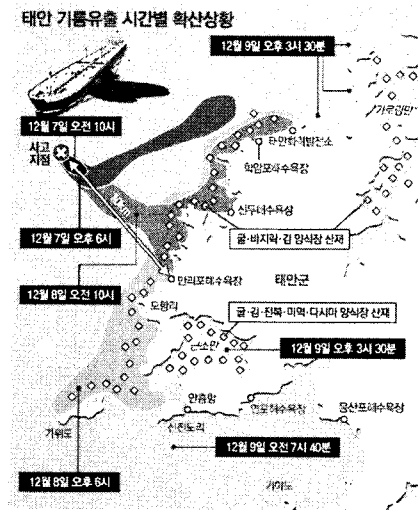


Fig. 1. Dispersion of Taeon oil spill

### 2. 수치모형

#### 2.1 해수유동모형

조류를 모의하기 2차원 유한요소 해수유동모형을 사용하였다. 2차원 천수방정식을 지배방정식으로 사용하고, 삼각형 유한요소를 사용하며, 양해법을 사용한다(정 등, 1992).

#### 2.2 취송류모형

취송류는 바람의 일정부분이 취송류로 변환된다

1 발표자: 한남대학교 토목환경공학과 교수

2 한남대학교 토목환경공학과 석사과정

는 방법으로 간편하게 계산하였다. 취송류는 각각 풍속의 2, 2.5, 3 %로 가정하여 검토하였으며, 취송류의 방향은 각각 바람방향의 오른쪽방향으로 0, 10, 20도가 편향된다고 가정하였다.

Table 1. Review of domestic oil spill models.

연구자	조류 예측	취송류 예측	확산 예측	고려현상	해역	비고
최(1985)	1개 분조	모형에 포함	간편식	이송, 퍼짐	경기만	이송과 퍼짐만을 사용
한(1995)	1개 분조		입자추적법	이송, 확산	평양만	일정농도 확산범위와 관측범위 비교
홍 등 (1997)	4개 분조 조화상수의 합성	간편식	입자추적법	이송, 확산, 퍼짐, 증발, 분산, 유상화, 퇴수	남해안	푸른바다와 오성호 사고
류 등 (1998)	4개 분조 조화상수의 합성	간편식	입자추적법	이송, 확산, 퍼짐, 증발	동남해안	안력산드리야호 사고 (1995)
김 등 (1999)	2개 분조	모형에 포함	입자추적법	이송, 확산, 풍화, 유상화, 증발	남해안	씨프린스 사고 (1995)
환경부 (2001)	4개 분조 조화상수의 합성	모형에 포함	입자추적법	이송, 확산, 퍼짐, 증발, 분산, 유상화, 침강	포항, 울산	
류 등 (2005)	4개 분조 조화상수의 합성	간편식	입자추적법	이송, 확산, 분산, 증발, 유독화	인천, 부산해역	분산 실험, 조류, 파랑, 해류의 민감도 분석

### 2.3 확산모형

조류와 취송류에 의한 유출유의 이송-확산을 모의하기 위해서 2차원 이송-확산방정식을 입자추적방법인 Random-walk 모형(정 등, 2008)을 사용하여 해석하였다.

## 3. 모형 적용 및 모의결과

Fig. 2에서와 같이 군산에서 영흥도까지를 모델링 해역으로 설정하여 유한요소망을 구성하였다. 최소격자간격은 약 150 m이다. 연구해역의 수심 분포는 Fig. 3과 같다. Fig. 3에 나타난 조위와 조류 관측지점에서 조류 모의결과를 검증하였다. Fig. 4는 유류 유출사고가 발생한 2007년 12월 7일에서부터 15일간 안흥항 조위를 관측치와 계산치를 비교한 결과이다. 모의조위가 관측조위와 일치하는 양호한 결과를 보이고 있다. 모의조위는

4개 분조의 합성에 의해 조위를 안흥항에서 4개 분조에 의한 예측조위와 38개 분조에 의한 예측조위를 사용해서 1차적으로 보정하여 예측하고, 안흥항에서 모의결과와 관측조위의 차를 최종적으로 보정하였다. 4개 분조만을 사용하여 모형의 의해 계산한 안흥항에서 조위 계산결과를 관측과 비교한 결과는 Fig. 5와 같이 큰 차이를 보였다. 따라서 보정과정을 통해 보다 정확한 예측이 가능함을 확인할 수 있었다.

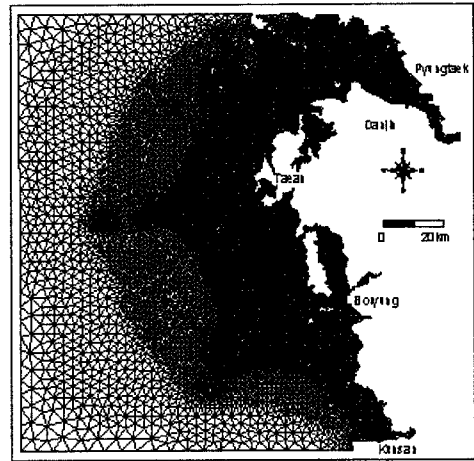


Fig. 2. Numerical grid system

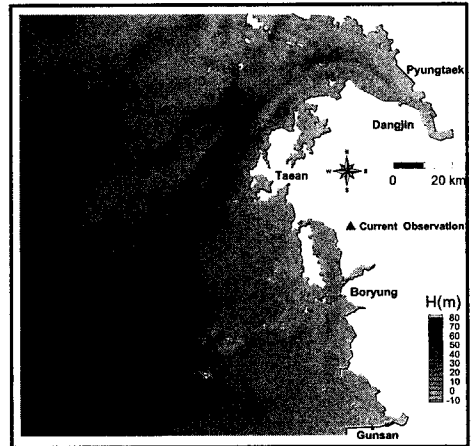


Fig. 3. Depth profile of study area

Fig. 3에 표기된 관측지점에서 2007년 6월에 수로국에서 관측한 조류와 그 기간에 대해 조류를 예측한 결과와 정점 B와 C에서 조류크기의 시간변화를 비교한 결과는 Fig. 6과 같다. 일부 조석 성분이 아닌 것으로 추정되는 불규칙한 유속성분을 제외하면, 전반적으로 계산조류는 관측조류와

그 크기가 일치하였다. Fig. 7은 유출사고 발생지점 인근해역에 대해서만 확대한 대조기 최강류시 조류분포도이다. 흐름방향이 해안선과 평행하게 창조류는 북북서방향으로, 낙조류는 남남서 방향으로 강한 흐름을 보였다. 최강유속은 약 2 m/sec에 달하였다.

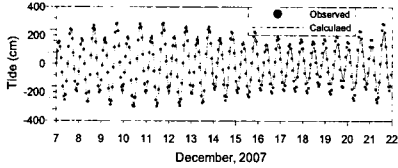


Fig. 4. Comparison of tide at Anheung before correction.

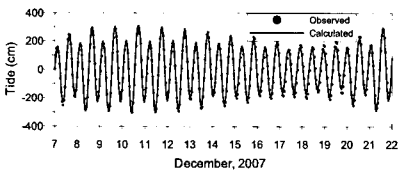
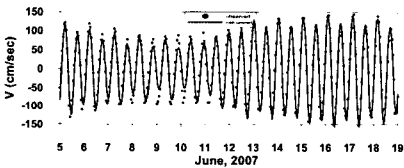
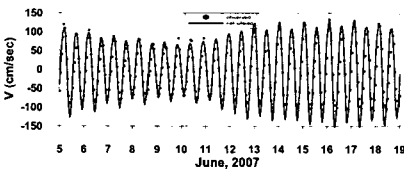


Fig. 5. Comparison of tide at Anheung after correction.



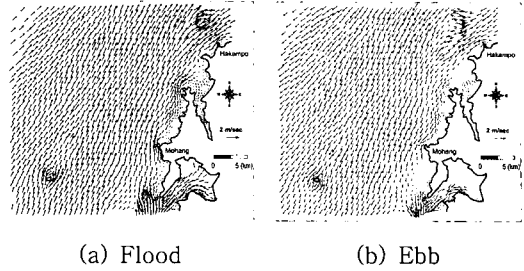
(a) Station B



(b) Station C

Fig. 6. Comparison of tidal velocity

위와 같은 방법으로 계산된 조류와 취송류에 의한 확산을 모의하였다. 취송류 계산에서 바람자료는 기상청이 모항리 서쪽 약 12 km해상에 위치한 가대암에서 관측된 바람자료(Fig. 8)를 이용하였다. 확산모의에서 입자는 매 50초마다 10개씩 9시간 동안 방출하였다. 북쪽으로는 학ampo, 남쪽으로는 태안반도 남단까지 확산한 것으로 알려진 12월 8일 오후 6시의 상황에 대해 모의결과를 관측상황(Fig. 1)과 비교하였다.



(a) Flood

(b) Ebb

Fig. 7. Tidal currents in spring tide

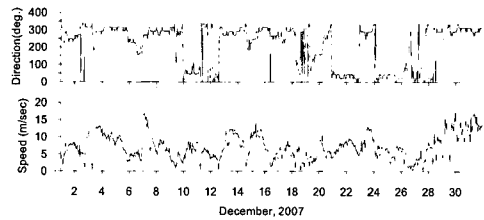


Fig. 8. Observed wind at Gadaeam

Fig. 9의 (a)는 해수유동으로 조류만을 고려하여 모의한 결과이다. 결과에서 보듯이 남북방향 확산거리는 실제 확산상황(Fig. 1)과 유사하나 해안선에 평행한 조류방향으로 인하여 해안선으로 이동하지 못하여 연안에 부착되는 현상이 발생하지 않았다. (b)는 일반적으로 알려진 취송류의 풍속에 대한 비  $\alpha$ 가 3%라는 가정 하에 모의를 한 결과로 해안 도달시간을 관측상황과 비교한 결과, 실제 보다 빨리 해안에 유류가 도달하는 것으로 나타났다. 2%와 2.5%로 가정하여 모의한 결과 실제상황과 가장 유사한 확산은 2%를 가정한 결과에서 나타났다. 취송류의 바람에 대한 편향각  $\theta$ 를 0도로 가정한 경우는 학ampo와 가로림만입구에 위치한 해안에도 유류가 도달하는 것으로 나타났다. 편향각 10도와 20도에 대해서 검토한 결과, 10도를 가정한 경우는 북쪽으로는 관측된 유류 확산상황과 유사하였으나 남쪽으로는 확산거리가 작게 나타났다. 20도를 가정한 경우는 실제 확산 상황과 거의 유사한 모의결과를 보였다. 이상과 같은 모의결과를 종합해 보면, 태안 유류 유출사고로 인한 유출유의 확산은 주로 조류와 취송류에 의해서 발생하였다. 조류는 남북방향 확산거리에 영향을 주었고, 북서풍에 의한 취송류는 유류가 해안으로 부착하는 데 있어서 영향을 끼쳤다.

## 4. 결 론

태안 유류확산의 원인을 분석하기 위하여 사고 발생일로부터 15일간의 조류분포를 2차원 수치모형을 사용하여 재현하고, 조류와 바람 만에 의한 유류 확산을 모의한 결과, 유출유의 실제 확산패턴과 유사한 유출유 확산분포를 재현할 수 있었다. 이는 조류와 바람에 의한 취송류를 정확하게 산정할 경우에 서해안에서 유출유의 초기 확산과정을 정확하게 예측할 수 있음을 의미한다. 유출된 유류는 강한 조류에 의해 주로 해안선에 평행하게 확산되도록 하였으며, 바람에 의한 취송류는 강한 조류에 의해 해안선에 평행하게 움직이는 유출유가 해안선에 부착하는 데 기여하였다. 바람에 의한 유출유의 확산은 지금까지 알려진 풍속의 3%보다는 작은 2%로 가정하여 모의한 결과가 관측된 유출유 분포와 유사하게 나타났다. 이는 육지경계 등에 의한 풍속의 감소, 바다마찰의 영향 등에 의한 것으로 추정되나 정확한 원인 규명을 위해서는 지속적인 연구가 필요하다. 본 연구에서 고려하지 않은 유출유 확산 및 변화 관련인자가 유류오염에 미치는 영향에 대한 검토가 필요하다.

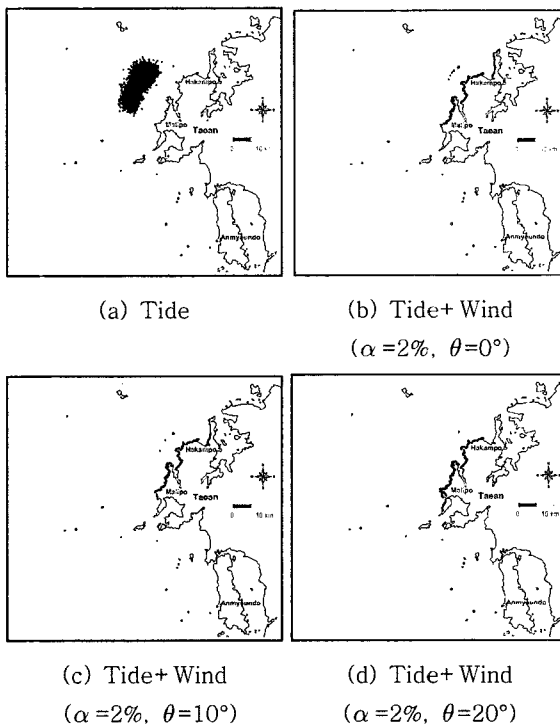


Fig. 9. Dispersion pattern of spilled oil

## 감사의 글

본 연구에서 검증자료로 활용한 조류 관측자료를 기꺼이 제공해 주신 수로국 관계자에게 감사 드립니다.

## 참고문헌

- 김기철, 이중우, 강신영, 도덕희(1999). 해양유출 기름의 확산 시뮬레이션 모델 개발 (II), 한국환경학회지, 13(2), 1-9.
- 류청로, 김종규, 설동관, 강동욱(1998). 한국 동남해역에서의 유출유 확산예측모델, 한국해양환경공학회지, 1(2), 52-59.
- 류청로, 김홍진(2005). 유류확산모델 개발 및 동해의 유류오염 사고대책, 한국해양공학회지, 19(4), 35-41
- 정태성, 김창식(1992). 이동경계를 고려한 유한요소 해수유동모형, 한국해양공학회지, 4(3), 146-155.
- 정태성, 김태식(2008). 목포해역의 해수유동 및 담수확산 예측시스템, 한국해양환경공학회지, 11(1), 13-23.
- 최병호(1985). 동지나해의 순환과 유류확산모델, 대한토목학회논문집, 5(1), 101-111.
- 한성대(1995). Eulerian-Lagrangian 수송모형에 의한 광양만 유류확산 모의, 대한환경공학회지, 17(8), 1-13.
- 홍기용, 이문진(1997). 누유확산 모델링의 남해안 적용, 1997년도 추계 학술대회 논문집, 한국해양환경공학회, 109-120.
- 환경부(2001). 해양오염방제 및 환경회복기술(해양유출사고 방제지원시스템 개발 및 상용화 기술 개발), BSPN 425-00-1368-4.