

유류확산모델 개발 및 동해의 유류오염 사고대책

류청로* · 김홍진*
*부경대학교 해양공학과

Development of Oil Spills Model and Contingency Planning in East Sea

CHEONG-RO RYU* AND HONG-JIN KIM*

*Department of Ocean Engineering, Pukyong National University, Busan, Korea

KEY WORDS: Oil Spill 유류오염, Oil Spill Behavior 유출유 거동, Combat Purpose Model 응급방재현장용 모델

ABSTRACT: There has been increasing offshore oil exploration, drilling, and production activities, as well as a huge amount of petroleum being transported by tankers and pipelines through the ocean and costal environment. Assessment must be made of the potential risk of damage resulting from the exploration, development and transportation activities. This is achieved through predictive impact evaluations of the fate of hypothetical or real oil spills. When an oil spill occurs, planning and execution of cleanup measures also require the capability to forecast the short-term and long-term behavior of the spilled oil. A great amount of effort has been spent by government agencies, oil industries, and researchers over the past decade to develop more realistic models for oil spills. Numerous oil spill models have been developed and applied, most of which attempt to predict the oil spill fate and behavior. For an actual contingency planning, the oil fate and behavior model should be combined with an oil spill incident model, an environmental impact and risk model and a contingency planning model. The purpose of this review study is to give an overview of existing oil spill models that deal with the physical, chemical, biological, and socio-economical aspects of the incident, fate, and environmental impact of oil spills. After reviewing the existing models, future research needs are suggested. In the study, available oil spill models are separated into oil spill incident, oil spill fate and behavior, environmental impact and risk, and contingency planning models. The processes of the oil spill fate and behavior are reviewed in detail and the characteristics of existing oil spill fate and behavior models are examined and classified so that an ideal model may be identified. Finally, future research needs are discussed.

1. 서 론

유류오염의 문제는 해양자원의 개발과 해양이용의 증대에 따라 점점 발생빈도와 규모가 커지고 있고, 유류독성의 잔류에 의한 연안환경파괴는 새로운 환경문제로서 심각성을 더하고 있다. 본 연구에서는 유류오염 예측모델에 대하여 종합적으로 검토하고, 모델 개발 및 적용 그리고 응용에 대한 논의를 위하여 아래와 같이 유류오염 예측모델을 분류하고, 단계적인 유출유의 거동에 관한 모델의 구조와 형식을 서술하고자 한다.

- ① 유류오염에 관한 모델의 구조와 분류 : 유류오염 방재 대책의 시스템화와 응용
- ② 설계해석용의 상세모델(design purpose model) : 장기적 유류오염 대책으로 응용
- ③ 응급방재현장용의 모델(combat purpose model) : 사고발생시 긴급방재대책으로 응용

본 연구자의 응급방재용 모델을 이용한 한국 남동해역의 사고사례를 중심으로 동해에 대한 적용 예와 개발과정에서의 모델의 문제를 종합적으로 검토하고자 한다.

2. 유류오염모델의 구조와 분류

유류오염 예측모델의 구조는 Fig. 1과 같이 나타낼 수 있다. 즉, 유류오염의 발생확률, 유류의 거동, 유류오염에 의한 피해, 환경충격의 분석 그리고 종합적 대책의 수립까지 단계적 검토가 가능한 모델의 광역 혹은 협역 예측시스템의 개발과 운용이 필요하다. 또한 이 시스템은 해역의 이용 패턴의 변화, 사회적 환경보전에 대한 요구증대, 방재기술의 개발 등에 따라 정도의 향상 및 개선을 해나가는 것이 중요하다.

이러한 유류오염모델 시스템에 대해서 본 연구에서는 유출유 거동에 관한 대표적인 표류모델의 형태를 검토하고자 한다. 유출유의 거동에 관한 예측모델은 모델에서 고려한 인자에 따라 ①표류모델(advection model) ②성형모델(fate model)로 분류하고, 그 적용목적에 따라 장기 유류오염대책에 까지 응용하는 설계해석용 모델(design purpose model)과 긴급방재용의 모델로 나누며 그리고 적용해역의 특성에 따라 외해, 연안 또는 해빈모델로 구분한다(Lee et al., 1990). 사고 발생 시 방제와 관련하여 중요한 것은 “얼마나 유출한 기름을 빨리 회수할 것인가?” 하는 문제와 “얼마나 환경에 민감한 해역을 피해서 표류시킬 것인가?” 하는 문제로 집약된다. 이러한 사고에 의한 유출유의 초기 방제작업의 효율을 높이기 위한 유류확산

제1저자 류청로 연락처: 부산광역시 남구 용당동 100번지
051-620-6222 cyryu@pknu.ac.kr

모델을 방재현장용 중유확산모델이라 정의한다. 여기서는 연안역을 대상으로 하는 모델, 특히 방재현장용의 모델을 중심으로 논의하면서 관련되는 상세모델의 모습도 논의에 첨가하는 것으로 한다.

유출된 중유의 해양에서의 일생은 해역특성과 기름의 종류에 의해 그 특성이 크게 달라지므로 간단히 말할 수 없지만 유출유의 거동특성에 대한 영향인자와 시간 스케일을 모식적으로 고려하여 정리하면, 다음과 같이 설명하는 것이 가능하다. ① 유출초기에는 이류 확산 및 증발이 격하고, 흐름과 바람이 크게 영향을 준다. ② 시간의 경과에 따라 함수율이 증대되고 유독화 및 연직분산을 따르면서 물리적인 처리가 힘든 분산작용이 시작된다. 이 과정에서 기름의 비중 및 점도 등의 물리화학적 성질의 변화가 상호영향을 주어 긴 띠의 형태가 된다. ③ 더욱이 고화하거나 유독화가 진행되거나 하면 해중 및 해저 또는 해변에서의 생물화학적 분산은 한계상태에 이르며, 굳은 성분은 탈골형이 되고 해저 및 해안의 표사와 같이 된다. 이런 모양의 유출유 거동은 Fig. 2에 나타내었듯이 시간 스케일을 가지고 해양학적·기상학적 인자의 영향을 받으면서 몇 십년 동안 연안역의 환경에 중대한 영향을 미치면서 미생물의 분해에 의해 소멸되어 간다고 생각되어지고 있다. 수치모델에서는 이러한 기름의 이류, 분산 그리고 풍화변성과정과 현장의 해상조건 및 기름의 거동을 재현/예측하여 각 해역에 대한 장기적 설계자료로 이용한다.

러한 이상적인 상세모델이 개발되면, 그것을 이용한 정식화로 데이터베이스 구축의 시간이 걸리지 않고, 정도가 높은 방재현장용의 모델로 확장하는 것이 가능하다.

Behavior Characteristics	Time scales and parameters of the behavior					
	First stage		Second stage		Third stage	
	days	Weeks	Months	Years	10 years	100 years
Advection and Spreading	[Thick line]				①②③④	
Evaporation	[Thick line]		⑤⑥⑦⑧			
Emulsification	[Thick line]				④①②③	
Vertical dispersion	[Thick line]				④③②①	
Density & Viscosity change	[Thick line]				④③②①	
Bio-chemical Degradation	[Thick line]				①~⑩	
Sinking and sedimentation	[Thick line]				①~④⑩①	

- Parameters index : ①oceanic current, ②tidal currents, ③coastal currents ④waves, ⑤winds, ⑥air temperature, ⑦sea water temperature ⑧the fractional cloud cover, ⑨emulsification, ⑩bio-chemical degradation ⑪sediments & bottom properties
- The thickness of the line indicated in time scales shows the fractional activity

Fig. 2 Effective parameters with time and behaviors

3. 중유확산모델(OILSPILLFM)의 적용

3.1 OILSPILL의 기본구조(동해)

모델은 기본적으로 광역모델에서 협역모델로의 단계적 수치 해석을 행하는 것이고, 광역모델의 격자간격은 200 km, 협역 모델의 격자간격은 200 m, 100 m, 50 m로 하였다. 해역의 유류오염에 대한 민감도와 사고발생확률해석에 의해 한국에서 유류오염의 위험도가 가장 높은 인천과 부산주변의 연안해역을 검토대상 해역으로 하였다. 광역에서 대상으로 한 해역은 Fig. 3에 나타난 동중국해, 황해를 함께 포함하는 동해의 광역이다. 조류, 해류, 바람의 확산적 오차를 작게 하여 한국연안의 근본적인 오차의 원인이 저감될 수 있도록 해역을 넓게 구성하였다. 먼저 상세수치모델로 조류와 바람 파랑을 계산하고, 연안 관측값에 의한 검토과정을 거쳐 상세모델을 확정하여 응급방재모델로의 단순화를 행해 간다.

Fig. 3의 대상해역인 동해는 한반도, 일본열도, 시베리아 동안에 의해 둘러싸인 타원형의 준 폐쇄해역으로 단지 수심이 얕은 몇 개의 해협을 통해서만 외해수와의 교환이 일어난다. 외해역과의 해수교환은 대한해협을 통해 동중국해에서 북상한 고온·고염의 쓰시마난류수가 유입되며, 반면 일본열도 사이에 위치한 Soya, Tsugaru 해협을 통해 동해의 해수가 태평양으로 유출된다.

OILSPILLFM에서는 협역에서 광역의 각 격자에서 계산에 필요한 외력인자에 대해 자료가 계산/누적되고, 해역에서 정도가 높은 관측결과와 설계 분석용 상세모델의 수치해석결과에 대응하여 시·공간적으로 정도가 향상될 수 있다. 또한 모

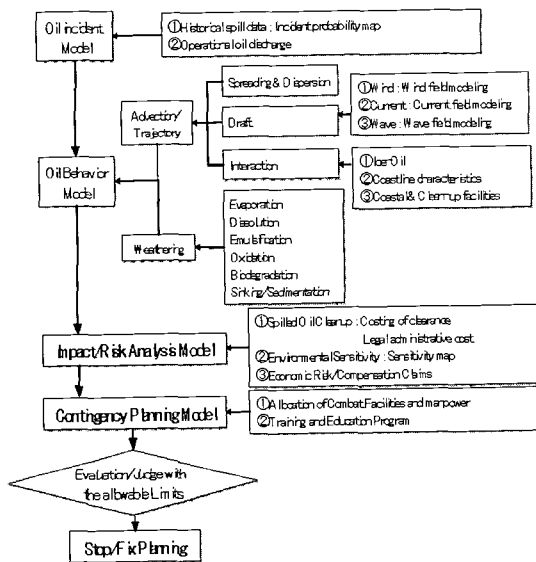


Fig. 1 Structures of oilspill model

사고 후의 피해와 환경에의 영향을 상세히 분석하는 데 필요한 모델을 상세설계목적모델이라 하며, 이 모델은 기상, 해상에 관한 상세한 모델로부터 기름의 거동, 변성까지 고려할 수 있는 수치모델에 의해 구성된 매우 큰 모델 시스템이다. 이

텔의 운영은 Fig. 4에 나타내었듯이 대화형 입력화면에 의해 계산조건이 결정되어 계산결과는 화상으로 디스플레이 된다.

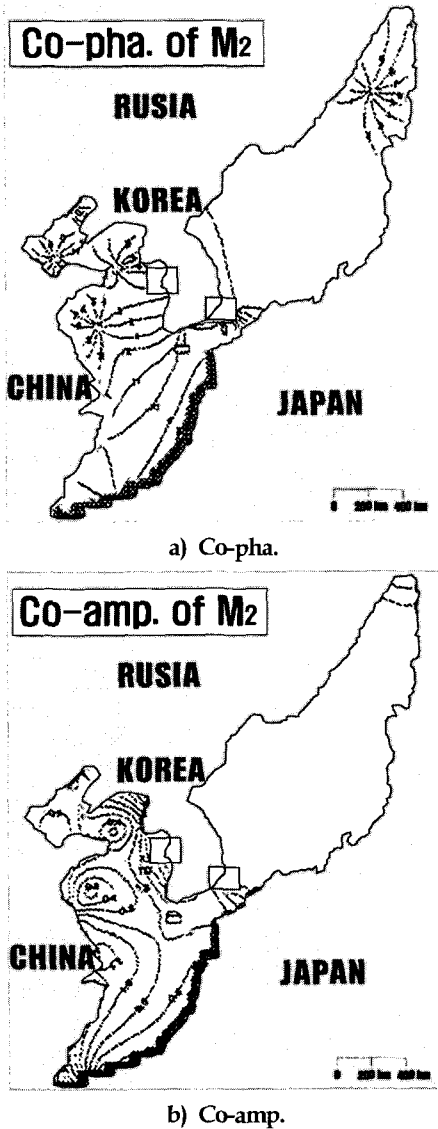


Fig. 3 Computed result by tidal currents(M2) in the East Sea

3.2 외력인자

A. 해류

OILSPILFM에서는 제주해협에서 동북동 방향으로 15 cm/s, 대한해협에서 북동 방향으로 50 cm/s 정도의 흐름을 평균적으로 고려하였다. 또한 한국해양조사원 관측자료를 기초로 광역, 협역 각 격자에 대한 데이터베이스를 구축하여 해류의 변동특성을 고려가능하게 하여 관측치가 없는 영역은 주변의 평균치를 사용하였다.

B. 조류

조류는 실시간의 예측이 가능한 물리량이고 Fig. 3에 표시한 영역의 폐경계에서 각 분조(여기에서는 4대 분조)의 진폭과 위상을 넣어 내부해역에서의 조석과의 전파특성을 계산하여 상세모델에 적용하여 각각의 격자 상에서 각 분조에 의한 조류의

1. Oil spill start time?
[year, month, day, hour, minute]
2. Forecasting duration time?
[hour]
3. Latitude (N) of spill position?
[degree, minute, second]
4. Longitude (E) of spill position?
[degree, minute, second]
5. Spill type?
[Instantaneous = ①, Continuous = ②]
① spill amount? [liter]
② -1 spill duration time? [hour, minute]
-2 spill amount? [liter/sec]
6. Consider of weathering?
[yes = ①, no = ②]
7. Field data?
[real time data = ①, data base = ②]
① available field data in hour
-currents [day, time, V(m/s), D(°)]
-wind [day, time, V(m/s), D(°)]
- other
[AirTemp., WaterTemp., Rain, wave]
- oil founded [Time, Location, Quantity]
8. Output start time? [day, hour]
9. Output finish time? [day, hour]
10. Output time interval? [minute]

Fig. 4 Input parameters

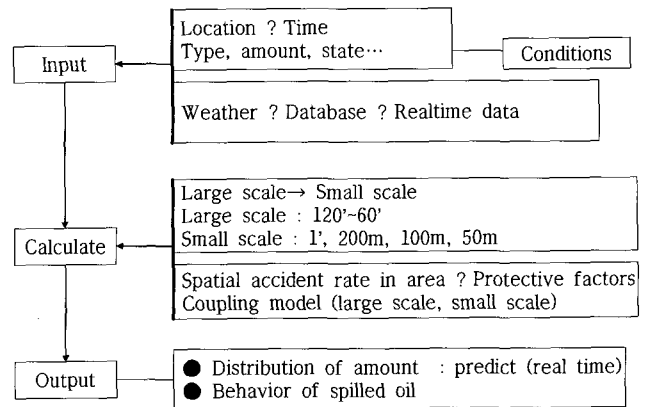


Fig. 5 Basic structure of model to forecast the short term behavior of the spilled oil

조화정수를 구하는 것으로 하였다. 수치계산의 기본방정식은 연직적분된 NS방정식, 즉 2차원 조석 조류에 대한 다음의 식을 사용하였다.

$$\frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} - fV + g \frac{\partial \xi}{\partial y} + V \frac{\sqrt{U^2 + V^2}}{C^2(\xi + h)} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} - fU + g \frac{\partial \xi}{\partial y} + V \frac{\sqrt{U^2 + V^2}}{C^2(\xi + h)} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial \xi}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} [(\xi + h)U] + \frac{\partial}{\partial y} [(\xi + h)V] = 0 \quad (3)$$

여기에서 식 (1)과 식 (2)는 운동방정식, 식 3은 연속방정식, t는 시간, x, y는 수평거리, U, V는 x, y방향의 수심평균유속, f는 코리올리 파라미터, ξ 는 수면변위, h는 수심 또는 마찰영향한계 수심 그리고 C는 저면마찰계수이다. 이러한 기본식을 유한차분법인 ADI방법으로 계산하고, 한국연안의 조석, 조류의 중요관측점에서 검증을 완료한 후 각 격자에서의 조화분해를 실시하여 다음 식으로 표시한 각 분조의 정수를 구하여 모델에서의 실시간 계산에 사용하도록 하였다.

$$U_i = \sum_j a_j \cos[w_j(t_0 - t) - \phi_j] \quad (4)$$

여기에서 U_i 는 4대분조류의 합성유속벡터, a_i 는 분조의 진폭, ϕ_i 는 분조의 위상, ω_i 는 분조의 각속도, t_0 는 예측 개시일의 각 분조의 자오선통과시간, t 는 예측 개시일시부터의 시간이다.

C. 해상풍

해역의 대기압력장이 구해지면 다음과 같은 역학적 조합으로부터 해상풍의 산출이 가능하다

$$\frac{k}{\rho} \nabla^2 p = -(f^2 + k^2) \nabla^2 \phi \quad (5)$$

여기에서 p 는 압력, f 는 코리올리 파라미터, ρ 는 밀도, k 는 마찰계수, ϕ 는 속도포텐셜이다. 여기에서 기상청의 3시간 간격의 지상기압영상을 이용하여 풍장을 계산하였다. 사고가 발생하면 과거 2회의 자료로부터 사고발생 3시간 후의 기압장을 이용한 바람을 산출하고, 구해진 풍장을 푸리에변환하여 공간적 분해능을 향상시키도록 하였다. 태풍 시에는 태풍의 직접영향권과 간접영향권을 분리하여 각각의 시간적 변화를 계산하고, 최종적으로 선형 합성하도록 하였다. 연안으로부터 40km이내의 해역에 대해서는 연안지형의 영향도 포함한 해류풍의 영향에 의한 접안의 가능성을 고려하도록 하였다 (류청로 등, 2000).

D. 파랑 및 그 외 영향인자

파랑은 질량수송에 의한 표류접안과 연직분산 및 유독화에 크게 영향을 준다. 여기에서는 계산된 바람장에서 불규칙파를 예측하여 취송속도를 계산하는 방법을 사용하여 표류를 계산하도록 하였다 (류청로 등 2002). 기름의 분산과 유독화의 영향은 기름이 존재하는 격자에서의 유의파를 사용하도록 하였다. 바람에 의한 취송류는 전보의 방법을 사용하여 구하고(Lee et al., 1990) 또한 수온과 기온은 해역의 월 평균치를 사용하였다. 연안역의 복잡한 파랑기인성의 흐름, 하천류의 간섭에 의한 3차원성 흐름, 연안에서 해류의 와와 용승류 등의 흐름 구조의 재현이 필요하지만 여기서는 고려하지 않았다.

Fig. 4는 OILSPILLFM의 대화형 입력화면이며, Fig. 5는 본 긴급유출유확산 예측모델의 기본구조를 나타낸다.

3.3 유출류의 거동

A. 이류확산 및 표적

흐름성분의 합성벡터인 표류속도에서 수평이류확산을 계산한다. 여기서는 일반적으로 사용되는 이류확산방정식을 라그랑쥐형식으로 표현한 다음 식 (6)을 사용하여 수치적 안정성과

$$S_i^n = V^n \Delta t + d_i^n \quad (6)$$

유적의 생성 소멸(증발, 표착 등)의 재현을 쉽게 했다. 여기에서 S_i^n 은 i 번째 표류유적이 Δt 시간동안 이동한 거리이다.

V^n 은 합성 표류속도, d_i^n 은 퍼짐과 난류확산에 의한 이동 거리이다. 유출유의 확산특성을 고려한 random walk method

를 사용하였다. 유출유의 해안 또는 연안역의 각종의 시설에의 표착량은 해안특성과 시설특성에 따라서 고려 가능하도록 하였다 (Danenberger et al., 1983).

B. 연직분산

본 연구에서는 유막의 파괴에 관한 흐름과 파의 영향에 관한 수리모형실험결과를 정식화하여 적용하였다. 실험은 전단력 발생장치와 2차원 조파수조를 사용하였으며, 실험에 사용된 중유는 아라비안 중유이며 풍화 중의 밀도는 0.888, 풍화 후의 밀도는 0.90인 중유를 대상으로 초기 유막의 두께를 0.6/1.2 mm 로 하고 전단력과 파에 의한 유막의 시간적 변동을 화상 처리수법으로 측정하였다.

이 결과를 나타낸 것이 Fig. 6이고, 그것을 기초로 다음 식에 의한 유적의 크기를 판정하도록 하였다.

$$d_0 = c \varepsilon^{-a} \quad (7)$$

$$d_0 / H_b = w(H_b / L)^{-b} \quad (8)$$

여기에서 d_0 는 평균유적 직경 (mm). ε 는 흐름에 의한 에너지 연산을 J_m^{-3} , H_b 는 파고, L 은 파장이다. 식에서 정수는 유막의 두께와 밀도에 의해 $1.0 \leq c \leq 15.0$, $0.05 \leq a \leq 0.08$, $0.005 \leq w \leq 0.006$, $0.4 \leq b \leq 0.6$ 의 값으로 계산하여, 위 식으로부터 계산한 유적의 크기에 비례하여 후술하는 유독화의 변수가 변동하도록 하였다.

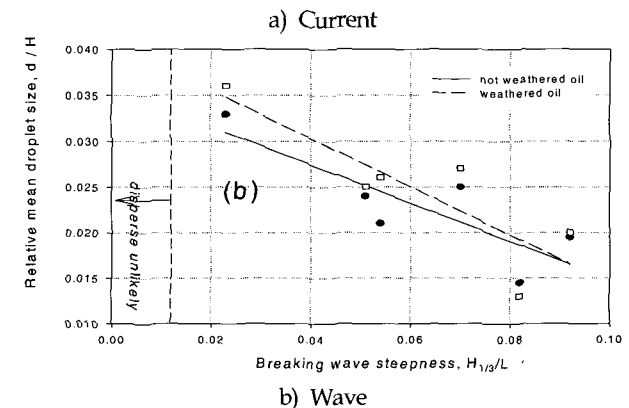
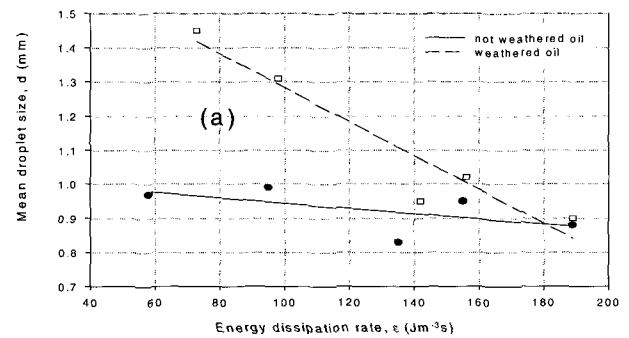


Fig. 6 Variations of relative mean droplet size by shear stress

C. 증발

증발은 기존의 연구자료를 이용하여 다음의 일차반응식을 적용하였다.

$$\frac{dN}{dt} = -K_0 N \quad (9)$$

여기에서 N 은 단위면적당의 유적량, K_0 는 감쇠계수이고, 기상조건과 유적에 의해 다르지만 증유의 경우 10-5를 사용하여 증발에 의한 반감기와 일치시켰다.

D. 유독화

유출증유의 유독화는 다음 식에 의해 계산 가능하다.

$$\frac{dy_w}{dt} = [K_s(y_w^{SAT} - y_w)] - \left(\frac{K_o}{\eta}\right)y_w \quad (10)$$

여기에서 y_w 는 유류의 수분함량, t 는 시간, K_s 는 해상상태에 의해 변화하는 정수이고, 여기에서는 파형구배와 표류속도의 함수이지만 전술한 유적의 크기에 비례한다. y_w^{SAT} 는 최대수분함유량, K_o 는 계면활성제의 함량에 비례하는 정수, η 는 경험인자이다. 이 유독화의 계산결과는 표류에도 영향을 주지만 이것은 차후의 문제이다. 다만 여기서는 현장의 방재대책을 결정하는 지침을 부여하기 위하여 유독화 요소를 필요에 의해 사용가능하게 하였다.

3.4 확산의 계산 예(협역)

A. Korea Hope 사고 (황해)

1990년 7월 10일 13시 30분 인천항 입구에서 발생한 해상 증유유출사고 (유출량 1500 ton)에 대한 실시간 증유확산을 계산하고, 현장에서의 조사결과와 비교한 것이 Fig. 7이다. 그림 중의 점이 계산 결과이고 실선이 동일경과시간에 대한 현장에서 추적한 유적의 확산 범위이다 (3일 후의 상황).

여기에서 Case 1은 조류만을 고려한 경우 Case 2는 조류와 인천에서 바람에 관한 10년 간의 매시 통계자료를 고려한 경우, Case 3은 Case 2의 증발의 효과를 고려한 경우의 결과이다. 이 결과로부터 바람과 증발의 효과를 고려한 값이 정도가 향상되고 있음을 알 수 있다.

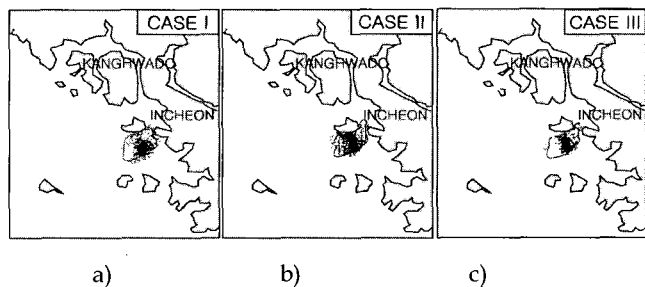


Fig. 7 Characteristics of oil-spill behavior by Korea Hope accident (3 days, a) current, b) current+wind, c) current + wind + evaporation)

B Alexandria 사고 (동해)

1995년 6월 30일 부산해역의 증유유출사고에 대한 표류추적결과와 계산결과를 나타낸 것이 Fig. 8이다. 5일간의 표류계산 결과이지만 그림 중의 실선은 관측한 표류계적의 주 방향을 표시하고 Case 1은 조류, Case 2는 조류와 바람, Case 3은 조류와 해류, Case 4는 조류, 바람, 해류의 영향을 고려한 결과이다. 이들 그림에서 외력인자의 정확도에 따라서 예측정도가 변동하는 것을 확인할 수 있다.

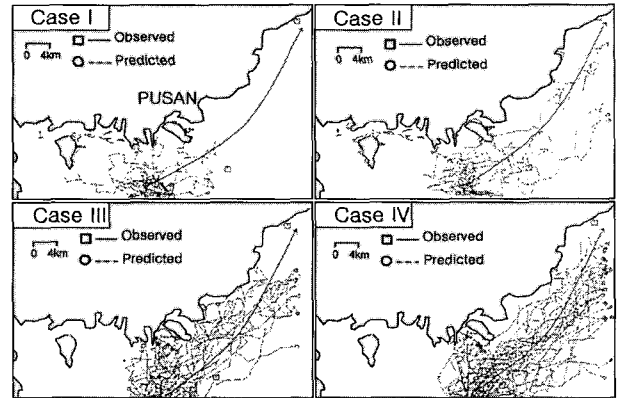


Fig. 8 Characteristics of oil-spill behavior by the Alexandria accident (5 days)

4. 외력인자의 민감도 해석

4.1 민감도 해석

조류에 의한 확산면적과 바람, 파랑, 해류에 의한 상대면적에서 정의한 외력의 민감도는 해역에 따라 크게 다르고 동해에서는 파랑과 해류의 영향이 크고, 특히 연안수와 해류의 경계면에서 생기는 대규모 와류에 의한 영향은 모델의 정도를 크게 좌우하는 것으로 되어있다 (류청로 등, 2002). Fig. 9는 인천과 부산을 중심으로 한 200 km 범위에 있어서 증유확산의 시뮬레이션 결과를 사용하여 민감도를 비교한 결과이다. 같은 그림의 (A)는 바람의 영향에 대한 민감도를 나타내고, E+는 동해에서 바람에 의해 증유의 넓어짐이 조류만을 고려한 경우 발생시간(R_t)을 기준으로 하여 넓어진 경우를, E-는 좁아진 경우를 나타낸다. 또한 파선은 넓어짐이 민감도의 높이를 나타낸다. Y+, Y-는 황해에 대한 같은 형태의 결과이다. 여기에서 E-Y-는 바람에 의해 유출유의 표착효과에 기인하지만 상대적으로 동해에서 바람의 영향이 커진 효과라고 인식된다. (B)에서 파랑에 영향도 같은 형태로 생각하면 동해에서 연안 집안 표착의 영향을 크게 하는 것이 된다. (C)에서 해류의 영향은 당연한 것이지만, 쓰시마 난류의 영향이 큰 동해남부에서 크게 영향을 주고 경우에 따라 흐름이 간헐한 듯 한 영향이 보이는 것은 해류주변의 와(직경 수십 km, 유지시간은 수 일에서 수 주)의 영향이 강하게 들어가는 경우에 생기는 현상이다. 이것을 방향별로 나누어 고찰하면 (D)에 표시한 방향성의 민감도가 얻어진다. 여기에서 그림 중 (A)는 조류에 가까운 해역에서의 현상을 나타내고, (B)는 연안수와와 간섭 영향이 연안으로

부터 생기는 큰 와에서의 민감도를 전형적인 패턴으로 나타내고 있다. 그럼으로부터 해류의 영향이 모델의 정도를 크게 좌우하는 것으로 생각되어 진다. 또한 탁일풍 특성을 가진 계절풍 봄과 가을의 해상안개 발생 시의 해류풍, 태풍 시의 풍장변동도 실시간 외력예측에 있어서 문제이다. 특히 연안역은 유동도 바람도 또한 그 상호작용에 의한 해상에서의 변화가 심하다. 이러한 해역특성, 외력특성이 유효하게 취해져 해역별의 방재대책으로서 사고 시에는 실시간의 기상해상자료가 직접 편리하게 사용되는 관측망의 운영이 필요해진다. 당연한 일이지만 광역모델 및 협역모델에서 각각의 적용성이 뛰어난 자료가 필요해지고, 모델에 있어서 외력의 민감도에 대응하는 것이 중요하다. 물론 이것들의 시스템과 각종의 수치모델과의 연결에 의한 외력의 시공간적인 정도를 개선해가는 것도 과제가 된다.

4.2 동해 유류오염 응급방재목적모델의 개발방향

동해에서의 유류오염 사고대책과 유류확산모델 개발을 위한 종래의 모델이 가진 한계와 금후의 방재목적모델의 개발방향은 아래와 같이 정리할 수 있다. ① 대상해역의 조류와 바람의 실시간 예측정도를 얼마나 올리는 가를 생각하는 것. ② Fig. 10과 11에서 볼 수 있듯이 동해에서 발생하는 해류의 와와 연안에서의 반류를 어떻게 예측하여 정도를 향상시킬 것인가의 문제. ③ 연안역의 바람 변동과 파랑과 관계되어 오는 취송류와 표면유적의 흐름 랑그미어셀, 파에 의한 이류와 확산문제의 입력방법의 개발. ④ 현장의 측정치를 이용한 데이터베이스의 충실화와 수치모델에 의한 시·공간 보정 과정에서 자기학습 알고리즘의 도입. ⑤ 사고현장에서의 실시간 자료의 다양한 입력시스템의 구축. ⑥ 방재작업에 의한 효율을 고려하면서 현장에서의 방재지침 결정자가 직접 조작하여 필요한 판단자료가 쉽게 얻어질 수 있게 하는 법 등이 있을 것이다.

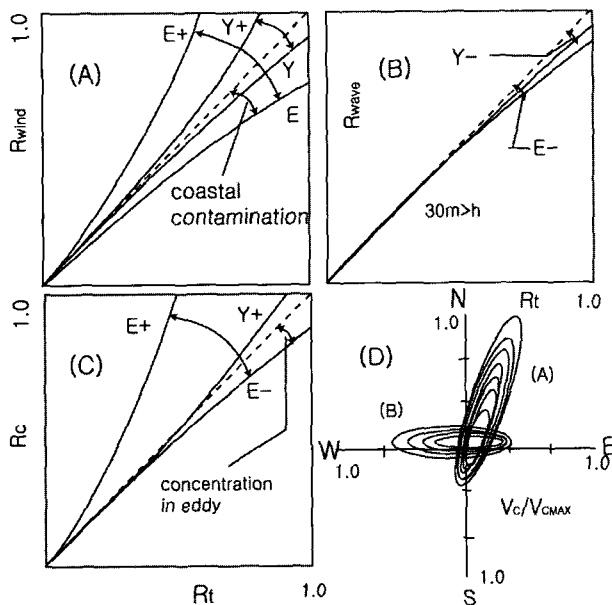


Fig. 9 Sensitivity of effective parameters

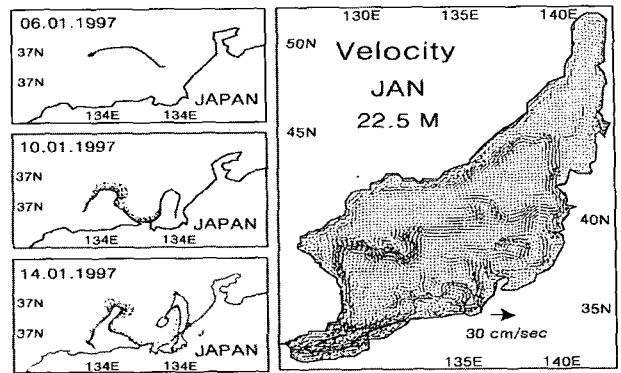
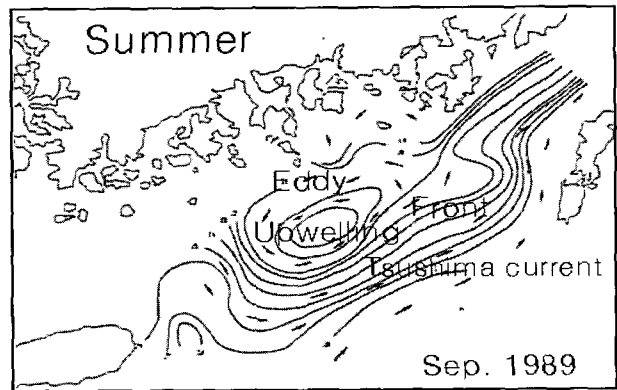
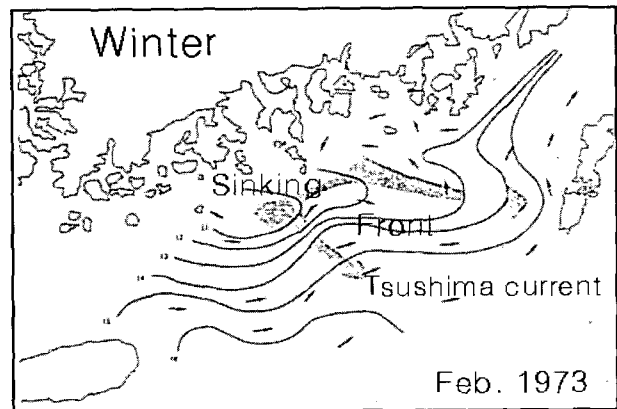


Fig. 10 Development of eddy in the South-East Korea



a) Summer



b) Winter

Fig. 11 Result of oil spill modeling by current and tidal current

5. 결 론

중유표류모델의 적용 예로부터 여러 가지 문제점을 검토하고, 모델의 개발과 적용, 운영방향에 관하여 동해를 중심으로 서해의 결과를 현장 사고사례와 비교하였다. 또한 유출유의 표류거동에 관한 모델의 형태를 고려하면서 응급방재현장용 중유확산 모델을 중심으로 적용성을 검토하였으며, 해역별 물리적 영향인자의 민감도 검토를 통해 바람, 파랑 그리고 흐름에 의한 기여도를 확인하였다.

정도 높은 유출류 거동 모델의 구축을 위해서는 이러한 각

중유의 물리적 거동에 대한 서브모델과 데이터베이스의 개선을 기반으로 한 유류확산 모델이 필수적이다. 유막의 파괴에 관한 실험결과를 독성화의 정식화 등에 적용하도록 했지만 오일펜스 및 장비 등의 현장 운용 요소를 종합적인 방재대책에 결부시키는 것과 입자추적형 모델에서의 입자의 분열, 합체의 재현에 의한 현장의 중유거동을 표현하는 상세모델의 개발이 금후의 문제로 하고자 한다.

후 기

본 연구는 부경대학교 기성회계 연구비 지원으로 수행된 연구결과 중 일부임을 밝히며, 연구비 지원에 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

류청로, 김종규, 설동관 (2000). "해상유출유의 분산모델링에 대한 응집효과", 한국해양공학회지, 제14권, 제2호, pp 44-52.

류청로, 홍도웅, 김종규 (2002). "동해 남동해역 해양투기물질의 확산 특성", 한국해양공학회지, 제16권, 제1호, pp 19-21.

Danenberger, E.P., Eldridge, R.B. and Crocker, M. (1983). "Oil Spill Contingency Planning for George Bank," Proceedings of the Oil Spill Conference, American Petroleum Institute, Washington, D.C., pp 123-128.

Gallager J.J. and Heikamp, A.J. (1985). "The Louisiana Offshore Oil Port Computerized Oil Spill Contingency Plan," Proceedings of the Oil Spill Conference, American Petroleum Institute, Washington D.C., pp 105-112.

Lee, H.W., Kobayashi, N. and Ryu, C.R. (1990). Review on Oil Spills and Their Effects, Research Report No. CACR-90-03, Center for Applied Coastal Research, Univ. of Delaware, pp 174.

2005년 6월 27일 원고 접수

2005년 8월 4일 최종 수정본 채택