

유출유 확산 예측 모델의 상시 운용 체계 개발에 관한 연구

김혜진*† · 이문진** · 오세웅** · 강준목***

*, ** 한국해양연구원 해양안전방제기술연구부, *** 충남대학교 토목공학과

A Study on Development of Operational System for Oil Spill Prediction Model

Hye-Jin Kim*† · Moon-Jin Lee** · Se-Woong Oh** · Joon-Mook Kang***

*, ** Marine Safety & Pollution Response Research Department, KORDI, Daejeon, 305-343, Korea

*** Division of Civil Engineering, Chungnam National University, Daejeon, 305-764, Korea

요 약 : 기초자료의 획득 체계 및 가공 체계의 부재와 복잡한 사용자 입력 체계로 인해서 유출유 확산 예측 모델의 활용에 제약이 따른다. 이러한 상황에서 유류오염사고에 신속하게 대응하기 위한 과학적 방제 전략 수립은 어렵다. 본 연구에서는 현재 실정을 고려하여 유출유 확산 예측 모델 구동을 위한 최선의 상시 활용 체계를 수립하였다. 모든 기초자료를 직접 구축하고 관리하는 것이 불가능하기 때문에 외부 기관의 실시간 동적 자료를 연계하고 최소한의 데이터베이스만을 직접 구축하여 실시간 유출유 확산 예측의 상시 활용이 가능함을 확인하였다. 또한 사용자와 모델간 인터페이스부분에서 발생하는 오류를 최소화하는 사용자 입력 인터페이스와 모델 연산 결과를 시공간 측면에서 다차원적으로 분석할 수 있는 결과 표출 인터페이스를 제안하였다. 본 연구 결과로 구축된 유출유 확산 예측 모델의 상시 운용 체계는 외부 자료에 의존하기 때문에 모델 결과의 불확실성이 존재하지만, 유류오염사고 발생시 신속하게 모델을 구동하여 유출유 확산 예측을 수행할 수 있다는 측면에서 실제 방제 현장에서 의미있게 활용될 수 있다.

핵심용어 : 유출유, 확산 예측 모델, 운용 체계, 실시간 자료, 인터페이스

Abstract : *There is no system to obtain the basic data and proceed data and user input interface is complex, thus there are some limitation to utilize the oil spill prediction model. It is difficult to build the scientific response strategy in order to respond oil spill accident rapidly because it is impossible to operate the oil spill prediction model any time. In this study, the optimum operational system for oil spil prediction model has been developed considering the present system. External real time data has been linked because of impossibility of building all basic data and minimum database has been build in this study. Through this data system, real time oil spill prediction model can be utilized. And the user interface has been designed to reduce the error of the interface between user and model and the output interface has been proposed to analyze the result of modeling at multidimensional aspect. While the system for oil spill prediction model as the result of this study has some uncertainties because of depending on external data, the thing that we can predict oil spill using operate the model rapidly as soon as the accident occurred can be meaning in the response field.*

Key Words : Oil spill, Spill prediction model, Operational system, Real time data, Interface

1. 서 론

2007년 12월 7일 태안군 원북면 신도타서 에서 발생한 허베이 스피리트호 유류오염사고의 경우 해상에 유출된 유류는 사고 발생 17시간만에 해안에 밀려들어 해상 환경뿐만 아니라 해안 환경까지 오염시켰으며, 유출된 유류를 제거하는 방제작업이 오랜기간동안 이루어졌다. 이 사고에서 해상에 유출된 유류는 약 10,900톤이며 태안에서 유출된 유류가 제주도 해안에까지

유입되어 우리나라 해역을 광범위하게 오염시켰다(국토해양부, 2009). 이러한 대형 유류오염사고 이외에도 우리나라에서는 매년 300여건 이상의 크고 작은 유류 오염사고가 발생하고 있으며, 이로 인한 해상 유출유는 해양 환경을 위협한다. 특히 해상에 유출된 유류는 해수 유동과 난류에 의해서 빠르게 이동과 확산을 진행하여 광범위하게 해양 환경을 오염시킬 가능성을 내재하고 있다.

사고 발생을 줄이기 위한 각종 예방 활동들이 이루어지고 있지만, 줄어들지 않는 유류 유출 사고 발생 건수를 고려했을 때, 꾸준한 사고 예방활동 못지않게 사고 발생시 신속하게 대처할

* 대표저자 : 정희원, hjk@moeri.re.kr, 042-866-3649

수 있는 대응 활동 체계가 필요하다. 신속하고 적절한 사고 대응 활동을 위해서는 오염 유발원인 유출유의 유출 위치 및 확산 범위에 대한 이해가 선행되어야 한다. 유출유가 광범위한 해상에서 이동 및 확산 활동을 진행한다는 점을 고려했을 때 적절한 방제활동과 방제세력을 집중할 위치를 파악하여 사고 대응 세력을 집중하여야 효율적이고 효과적인 유출유 확산 방지 및 유출유 제거가 가능해진다.

방제 전략 수립에 필수적인 유출유의 확산을 예측하는 방법은 유출유 확산 예측 모델에 의해서 시도되고 있으나(GNOME, ADIOS2, OILMAP, OSCAR 등), 유출유 확산 예측 모델을 수행하기 위해서 유출사고 정보 확보와 기초 자료 확보 등의 사전 준비사항이 많고, 자료 입력이 복잡하다. 유출 사고 정보를 수치모델링에 입력하여 모델링이 충실하게 이루어지도록 하는 것 이상으로 모델링 대상이 되는 시공간에 대한 해수 유동과 기상 조건과 같은 유출유 거동에 지배적인 영향력을 미치는 입력자료를 확보하는데 많은 어려움이 따른다.

사고 발생 직후 신속한 대응을 위해서는 유출유 확산에 영향을 미치는 정적자료와 동적자료가 사전에 확보되어야 하는데, 광범위한 해역에 대해서 이들 자료를 사전에 구축하고 지속적으로 자료를 갱신하여 유지하는 것은 어려운 실정이다. 최신 자료의 확보가 전체되지 않으면 유출유 확산 예측 모델을 상시 운용하는 것은 불가능하다. 상시 운용 체계가 수립되지 못하면, 사고 상황에서 기초자료 확보에 많은 시간을 허비하여 유출유 확산 예측 결과 도출이 신속하게 이루어질 수 없다. 또한 상시 운용 체계가 마련되지 않은 급박한 상황에서는 방제전략이 유출유 확산 예측 모델에 기반할 수 없고 과학적 근거를 확보할 수 없기 때문에 방제 전략의 실효성에 대한 논란을 야기할 수 있다.

사고 초기 신속하고 정확한 유출유 확산 예측 시스템이 구축되어 있다면 사고 발생과 동시에 유출유 확산 범위 및 해안 도달 위치 및 시간 등을 정확하게 예보하여 유출유에 의한 피해를 상당히 줄일 수 있다(김, 2011). 그동안 유출유 확산 예측을 위한 모델 연구는 활발하게 이루어진 반면에(김 등, 1999; 정, 1999; 서, 2008; 이와 윤, 2009; 양등, 2009; Al-Rabeh et al., 1989; Reed and Knauss, 1988; Spaulding et al., 1992), 이러한 모델을 상시 운용할 수 있는 체계에 대한 실용적 연구는 매우 미진한 실정이다. 본 연구에서는 유출유 확산 예측 모델이 긴급한 사고 상황에서 신속하고 정확한 방제 전략 수립에 기여할 수 있도록 상시 운용 체계 구축에 관한 연구를 수행하였다. 우선, 유출유 확산 예측 모델의 기능과 연산 측면에서 파악하고, 이를 상시 운용하기 위한 요구사항을 분석하였다. 마지막으로 요구사항을 반영하여 유출유 확산 예측 모델이 상시 운용될 수 있는 시스템을 구성하였다.

2. 유출유 확산 예측 모델 개요

2.1 모델 구성과 기능

해난사고에 의해 유출된 기름은 조류, 취송류, 해류 등과 같

은 해수유동을 따라 이동하면서 난류에 의해 확산된다. 또한 확산과정에서 유출유는 일정한 양을 유지하는 것이 아니라 시간에 따라 생물·화학적 작용 및 침강에 의해 감소된다(이와 김, 2009). 따라서 유류거동을 예측하기 위해서는 이동 경로 및 확산 분포 예측과 풍화에 의한 유출유 확산량 예측이 필요하다. 아울러 유출유 확산 지점의 지형적 특성을 고려하여 유출유 침강과 부착을 반영하여 유출유 확산량을 산정하여 유출유 확산 모델에 유출유 확산량이 정확하게 반영되어 확산 패턴을 산출할 수 있도록 해야한다.

유출유 확산 예측 모델은 공간적 개념에서의 유출유 이동과 확산 범위 뿐만 아니라 시간적 개념에서의 유출유 풍화에 따른 유출량의 변동을 반영한 결과를 산출해야한다. Fig. 1은 유출유 확산 모델의 시공간 변동성 개념이 반영된 유출유 확산 모델의 구성요소를 제시하고 있다. 유출유 확산 예측 모델은 시간과 공간을 동시에 고려하여 물리적 현상에 따른 유류 입자의 공간 분포 변화와 화학적 현상에 따른 유류 상태의 변화를 동시에 반영하여 시공간 변동에 따른 유류의 물리·화학적 변화를 예측해야한다.

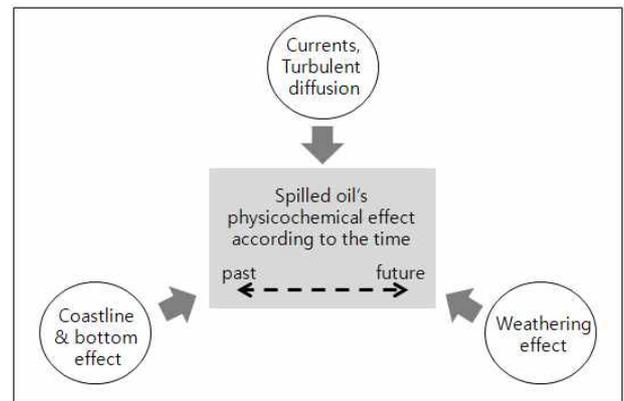


Fig. 1. The schematic view about spatio-temporal variability of the spilled oil in the sea.

유출유 확산 예측은 유출유의 공간적 확산 분포 패턴만이 결과가 아니다. 시간의 개념을 반영하고 있기 때문에 특정지점에서 발견된 유류 입자의 이동 경로를 역추적하는 것도 가능하다. 따라서 유출유 확산 예측 모델은 유류 입자의 향후 공간 범위를 예측하는 기능과 해상에서 유출되어 거동하는 유류의 발견 시점으로부터 유출유 경로를 역추적하는 기능을 모두 제공할 수 있다.

2.2 모델 연산을 위한 자료 입출력

유출유 확산 예측 모델은 과거시간을 대상으로 하는지와 미래시간을 대상으로 하는지에 따라서 모델링에 사용되는 입력자료와 출력자료의 시간 범위가 달라지며, 모델링 시간 범위를 제외한 모델 연산의 입출력 변수는 동일하다. 유출유 확산 예측 모델을 기준으로 자료 입출력 흐름 관계를 정리하면 Fig. 2와 같다.

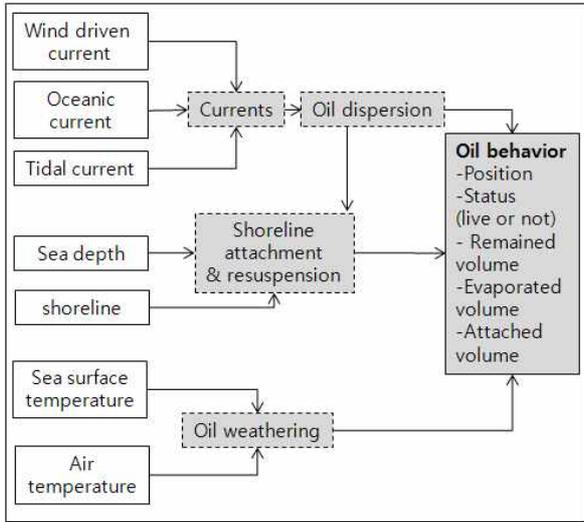


Fig. 2. Data flow for oil diffusion.

모델 연산을 위한 기초 입력자료로 해수 유동 정보, 해역 지형 정보, 해역 기상 정보 등이 필요하며, 해수 유동 정보, 지형 효과 정보, 유류 풍화 정보 등이 모두 반영되어 유출유 확산 예측 결과가 산출된다. 유출유 확산 예측 결과는 유류 입자의 공간적 위치, 입자 상태, 잔존량, 증발량, 부착량으로써 표현될 수 있다.

입력자료에서 취송류, 해류, 조류, 표면수온, 기온 등의 자료는 시간에 따라 변하는 동적 자료이다. 수심 및 해안선과 같은 정적 자료의 경우 자료가 획득되면 자료의 갱신이 수년을 기준으로 이루어져도 무방할 정도로 유출유 확산 예측 모델에 미치는 변동성이 상대적으로 낮은 편이다. 반면에, 해수 유동과 온도 등의 정보는 수시로 변하기 때문에 자료의 갱신이 수시로 이루어져야 동적 환경의 변동성을 반영한 실시간 모델링이 가능하다. 예측 대상이 되는 시간적 범위에 대해서 실시간으로 해수 유동과 기상 정보를 반영하기 위해서 유출유의 향후 거동을 예측하기 위해서는 기초자료 역시 예보자료가 준비되어야 한다.

유출유 확산 예측 모델은 유출사고 정보, 바람, 해수 유동 예보자료 등과 같은 초기 입력 자료의 오류에 매우 민감하다. 따라서 유류 이동을 모의하는데 사용되는 수학적 계산은 실증적 근사치와 추정치에 근거하며 시간 간격과 계산 격자의 제약에 종속되어 이루어진다(Fingas, 2011). 즉, 유출유 확산 예측 모델의 입력자료가 되는 동적 정보는 유출유 확산 예측에 앞서서 예보 가능한 자료이어야 한다.

2.3 모델 상시 운용 전제 조건

해양에서 유류 유출사고의 발생 시점을 예측할 수 없기 때문에 사고가 발생하는 즉시 모델을 구동하여 유출유의 확산을 예측하기 위해서는 앞에서 언급한 바와 같이 모델 연산을 위한 자료들이 항상 준비되어 있어야 한다. 수심과 해안선과 같은 정적 자료는 사전에 구축하여 확보하고, 해수 유동과 온도 자료는 실시간 변동성을 반영할 수 있도록 구성하여야 한다. 따라서 모델의 상시 운용을 위해서는 동적자료의 상시 운용성이 확보되

어야 한다. 많은 연구를 통해서 동적자료에 대한 관측 기술과 예보기술이 개발되었지만, 이를 이용한 상시 자료 서비스는 매우 드물다. 따라서 항상 일관된 형태로 자료 제공이 가능한 자료 출처를 확보하고 자료 공유 방안을 모색해야 한다. 여러 기관에서 단발성으로 해수 유동이나 기상 정보를 제공하고 있으나, 갱신체계를 마련하여 일관된 정보 서비스를 제공하는 기관은 찾기 힘들다.

또한, 동적 자료를 주기적으로 갱신하여 제공한다고 하더라도 모델 연산의 입력 자료가 되기 위해서는 자료 품질의 일관성이 지켜져야 한다. 실시간 동적자료를 모델 연산에 활용하기 위해서는 다음 조건이 전제되어야 한다.

- 동일 공간 영역
- 그리드 형태
- 일관된 공간 해상도
- 업데이트 주기의 일관성
- 일관된 자료 제공 서비스

각 자료마다 생성과 갱신방법이 다르며, 자료 생산 및 관리가 다른 경우는 자료 공유 및 활용 체계도 상이하다. 국내 해역을 대상으로 해수 유동 관련된 실시간 자료를 종합적으로 생산하는 기관은 없으며, 기온과 바람의 실시간 자료는 기상청에서 슈퍼킴을 이용하여 생산하고 있다. Table 1은 우리나라 해역에 대한 동적 자료 제공처와 상시 운용성을 나타낸다. 기상청, 토호쿠대학, 수산과학원, 미해군에서는 매일 1회 이상 정규화된 풍향, 풍속, 표층 수온, 해류 자료를 일정 시간 FTP를 통해서 제공하고 있다. 반면에 취송류, 조류에 대한 자료를 상시 제공하는 기관은 없으며, 기존 관련 연구에서 제시된 실시간 취송류와 조류 자료를 생성하는 기술을 활용할 수 있다(이와 김, 2009).

Table 1. Availability of dynamic input data

Item	Source	Update interval	Data normalization	Service protocol
Wind driven current	-	-	-	-
Oceanic current	US Navy	daily	normalized	FTP
Tidal current	-	-	-	-
SST	NFRDI	daily	normalized	FTP
	Tohoku Univ.	daily	normalized	FTP
Air temperature	KMA	bidaily	normalized	FTP
Wind	KMA	bidaily	normalized	FTP

NFRDI : National Fisheries Research & Development Institute
KMA : Korea Meteorological Administration

3. 모델 구동 요구사항 충족 방안

3.1 기초자료

모델 구동을 위해서 앞에서 제시한 동적 자료 중에서 어느 한 항목이라도 누락이 된다면, 유출유 확산 예측 모델의 입력자료가 미비하여 모델 구동에 문제가 발생된다. 또한 자료가 확보 되더라도 자료의 출처와 품질이 다를 수 있기 때문에 해양환경 지리정보의 통합 과정을 거쳐서 모델에 가용하도록 해야 한다. Shepherd(1991)는 지리정보의 통합을 2단계로 구분하였다. 첫째, 개별시스템이 호환성을 갖기 위하여 공통점이 없는 자료 사이에 존재하는 일관성이 없는 모순을 제거해야 한다. 둘째, 개별 시스템이 일관성 있는 데이터를 유지하도록 하는 것에 데이터베이스 기술이 필요하다.

Fig. 3은 다양한 출처에서 생성되는 자료를 모델링 입력자료로 사용하기 위해서 계산격자에 맞추어 규격화된 자료를 재구성하는 절차를 나타낸다. 기관이 다르고 자료 생성에 최적화된 좌표계가 다르기 때문에 우선 좌표 기준은 일치화하는 작업이 필요하다. 이를 위해서는 출처 자료의 좌표계 정보를 파악해야 하며, 이를 모델링 좌표계로 변환하는 작업을 수행해야 한다. 좌표계 기준이 일치하게 되면, 모델링 대상해역과 일치하도록 출처 자료로부터 영역에 맞도록 자료를 추출하는 작업을 수행해야 한다. 공간적 범위가 동일한 자료는 모델링 그리드의 격자에 일치하는 격자로 재구성해야 한다. 이 과정에서 상대적으로 모델링 그리드의 격자보다 고해상의 자료인 경우는 격자 재구성이 별문제가 되지 않지만, 저해상도의 자료를 고해상도의 격자로 재구성하는 것에는 자료 손실과 오류 발생의 가능성이 존재한다. 이를 위해서 자료 손실과 오류 발생을 최소화하기 위해서는 자료 특성에 맞는 적절한 보관방법을 선택하여 격자 정보를 생성해야 한다. 이와 같은 그리드 재구성을 통해서 유출유 확산 예측 모델에 즉시 사용가능한 입력자료로서 기능을 할 수 있게 된다.

모델 구동을 위해서는 정적 자료와 동적 자료가 필요한데, 앞서 살펴본 바와 같이 정적 자료는 최초 구축 이후에 간헐적인 갱신으로 자료의 품질을 관리할 수 있으며, 동적 자료의 경우는 자료 출처로부터 상시적으로 자료를 제공 받아서 최신화를 유지해야만 자료의 품질을 일관되게 유지할 수 있다.

실시간 유류 확산 예측의 핵심 요구사항은 모델 예측의 정확도를 향상하기 위한 연속적인 기상 예보 정보의 확보이다. 슈퍼컴퓨터를 통해 기상 예보의 정확도가 크게 향상되었음에도 불구하고 기상 예보 자료를 안정적으로 활용하여 상시 서비스를 창출하는 사례를 찾아보기 어렵다. 유류 확산 예측 모델을 일회적으로 사용하는 경우와 달리 상시 활용을 위해서는 안정적인 기상 예보 자료의 확보가 필수적이다.

현재 기상청에서 72시간 바람과 기온 예보 자료를 생산하여 FTP를 통해서 하루 2차례 제공을 하고 있다. 이 자료를 이용하면 향후 3일까지의 기온 예측과 풍향 및 풍속 예측이 가능하다. 기상청의 풍향 예보 자료를 이용하면 취송류의 예측도 가능해진다. 이와 강(2000)이 제시한 취송류 산정식을 이용하면 표면 취송류 예보 자료 생성이 가능하다. 기상청 자료를 기반으로 하는 바람, 기온, 취송류는 12km 내외의 공간 해상도를 갖게 된다.

$$\text{표면취송류 유속} = 0.029 \times \text{풍속} \tag{1}$$

$$\text{표면취송류 유향} = \text{풍향} + 18.6^\circ \tag{2}$$

실시간 해류 자료는 미해군에서 제공하는 HYCOM에서 획득할 수 있으며 우리나라 해역에 대해서 9km 내외의 공간해상도를 갖는 자료 구성이 가능하다. 실시간 조류 예측자료는 이와 김(2009)의 연구 결과를 이용하여 조화상수와 천문적 요소의 변동을 조합하여 계산할 수 있는데, 500m 해상도의 격자 구성이 가능하다. 표층 수온(SST)은 예측자료의 확보는 불가하며, 인공위성을 통한 관측자료를 이용해서 수온 파악이 가능하다. 수온의 경우 급격한 변동성을 갖는 자료가 아니기 때문에 NOAA 위성영상을 이용한 SST 일합성 자료를 유출유 확산 예측 모델에 사용하는 것에 별 무리가 없다. SST 자료의 경우 공간 해상도는 1.1km 내외로 구성이 가능하다.

Table 2는 동적 입력 자료에 대한 모델링 출처와 해상도를 제시하고 있다. 제시된 바와 같이 입력자료로 사용될 동적 자료는 출처와 공간 해상도가 다양하다. 각각 개별적으로 구축된 지리정보시스템의 basemap에 해당하는 데이터베이스가 일치하여야만 활용이 가능하기 때문에(남, 2007) 각 자료별로 그리드 재구성 작업이 선행된 후에 모델에서 사용할 수 있는 데이터베이스 형태로 저장 관리되어야 한다. 데이터베이스로 구축되고 관리되면 모델 구동시 신속하게 입력자료로 활용될 수 있다.

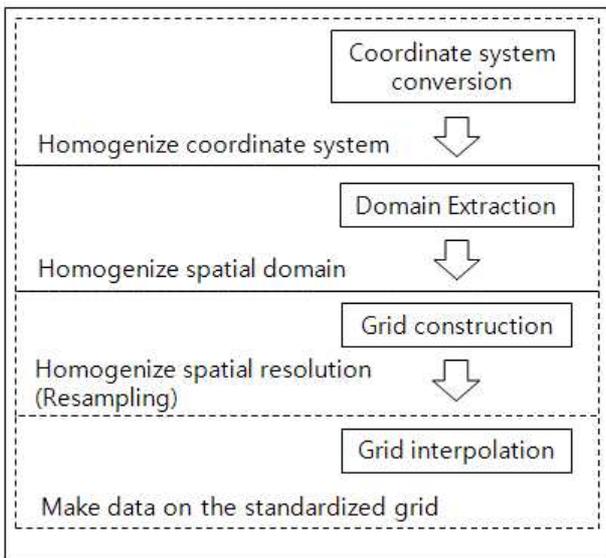


Fig. 3. Grid reconstruction for modelling.

Table 2. Resolution of dynamic input data

Item	Source	Resolution
Wind driven current	KMA UM	about 12 km
Oceanic current	HYCOM	about 9 km
Tidal current	KORDI	500 m
SST	NOAA satellite AVHRR	about 5.4 km
Air temperature	KMA UM	about 12 km
Wind	KMA UM	about 12 km

KMA UM : Korea Meteorological Administration Unified Model
 HYCOM : HYbrid Coordinate Ocean Model
 KORDI : Korea Ocean Research & Development Institute
 NOAA : National Oceanic and Atmospheric Administration
 AVHRR : Advanced Very High Resolution Radiometer

정적자료인 해안선과 수심자료는 전자해도로부터 추출하여 구축할 수 있다. 전자해도에서 수심자료가 연속된 면으로 제공되지 않고 점 형태로 제공되기 때문에 해도에서 제공되는 수심과 해안선 벡터 자료는 계산격자에서 연산에 활용될 수 있도록 보간하여 수심 및 해안선 그리드 구성이 필요하다. Fig 4는 전자해도의 수심 정보를 이용하여 500 m 격자의 수심 및 해안선 정보 그리드를 구성한 결과를 제시하고 있다.

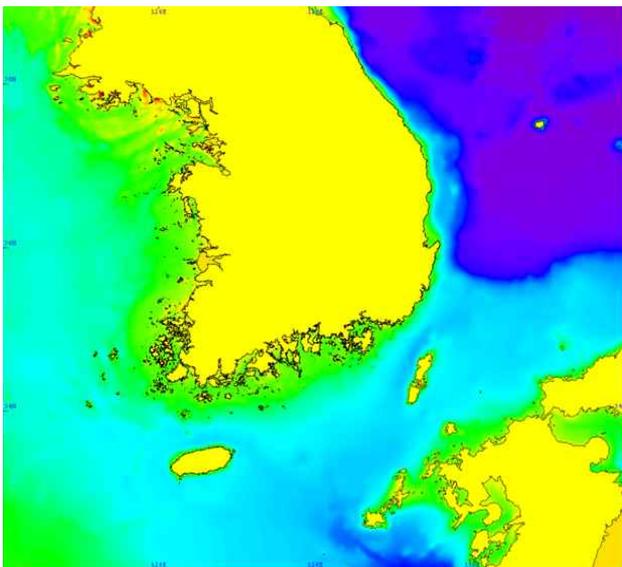


Fig 4. Sea depth and shoreline grid production from ENC(Electronic Nautical Chart).

3.2 모델 인터페이스

기초자료가 데이터베이스로 구축되고 유출유 확산 예측 모델이 준비되어 있을지라도 모델을 구동하는 인터페이스가 효율적으로 설계되지 않으면, 긴급한 사용에서 신속한 모델 구동이 어려워진다. 따라서 유출유 확산 예측을 원하는 사용자가 용이한 인터페이스를 통해서 모델에 접근하도록 하여 사용자의 상시 활용을 지원해야한다. 또한 모델이 사용자가 요구하는 연산 기능을 효율적으로 수행하기 위해서는 모델과 데이터베이스간 인터페이스도 효율적으로 정의되어야 한다.

모델과 데이터베이스간 인터페이스는 미리 정의된 계산 격자 그리드를 통해서 신속하게 공간 정보를 탐색하고 별도의 변환이나 추출 작업없이 그리드 연산이 가능하도록 준비되어야 한다. 계산의 효율을 높이기 위해서 모델이 연산을 수행할 공간 범위를 한정하고 그 영역에 대해서만 격자 연산을 수행해야한다. 예를 들어 서해에서 유출유가 발생하였는데, 유출유 확산 예측 모델이 남해와 동해에 해당하는 격자에 대해서까지 연산을 수행할 필요는 없는 것이다. 따라서 유출유 발생 지점을 기준으로 한정된 영역에 대해서만 격자 연산을 수행할 수 있도록 계산이 무의미한 격자에 대해서는 마스크처리를 하는 기능이 필요하다.

모델과 사용자간 인터페이스에서 입력되는 유출사고 정보는 데이터베이스 자료와 함께 모델 연산 결과에 중요한 영향을 미치는 입력 정보가 된다. Table 3에서 나타난 바와 같이 유출 정보가 모델 결과의 불확실성에 미치는 영향은 매우 다양하다. 특히, 유출량, 유류 종류, 유출율은 결과에 큰 영향을 미치는 인자들이다.

Table 3. Uncertainties for oil spill release details(Fingas, 2011)

Release details	Uncertainty
Location	Low-Medium
Time	Low-Medium
Day	Low
Night	Low-Medium
Oil properties	Medium-High
Potential spill volume	Low-Medium
Actual spill volume	High
Leak rate	High

유출 정보의 정확한 파악을 전제했을 때 사용자가 유출 정보를 모델에 정확하게 반영할 수 있는 사용자 인터페이스가 필요하다. 가급적 사용자가 직접 숫자나 문자를 입력하는 방식을 피하고 그래픽 기반의 인터페이스를 통해서 클릭 이벤트를 통해 유출 정보를 선택하여 입력할 수 있도록 해야 한다. Fig. 5는 모

델 입력 파라미터를 입력하는 사용자 인터페이스를 디자인한 예시이다. 유출유의 종류는 모델이 제공 가능한 유출에 대해서 리스트를 제공하여 선택하도록 하고, 유출량과 예측기간만을 키보드를 통해서 입력을 받도록 하였다. 또한 날짜와 위치에 대해서는 클릭으로 입력이 가능하도록 하여 시간과 위치 표현에 대한 다양한 형식을 통일하여 입력할 수 있도록 하였다.

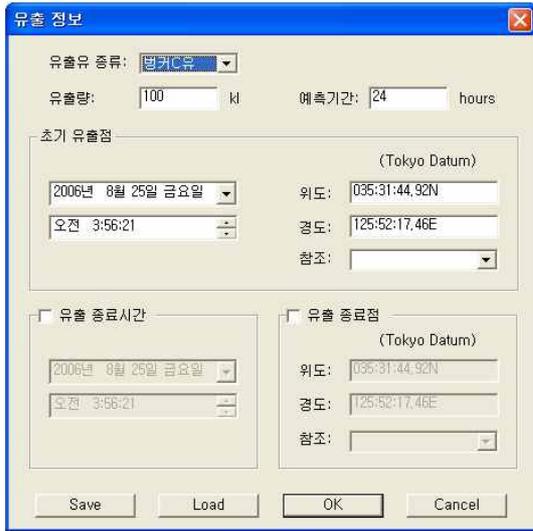


Fig. 5. Example of user input interface.

사용자의 유출 정보 입력에 대한 유출유 확산 예측 결과는 사용자가 이해하기 용이한 형태로 제공되어야 하며, 예측 결과에 대해서 해석상 논란의 여지가 없도록 단순하면서도 명확한 결과 표출이 필요하다. 이를 위해서 시공간을 조합하여 동적으로 결과 조화가 가능하도록 시간에 따른 공간 패턴을 결과로 제시하는 것을 제안할 수 있다.

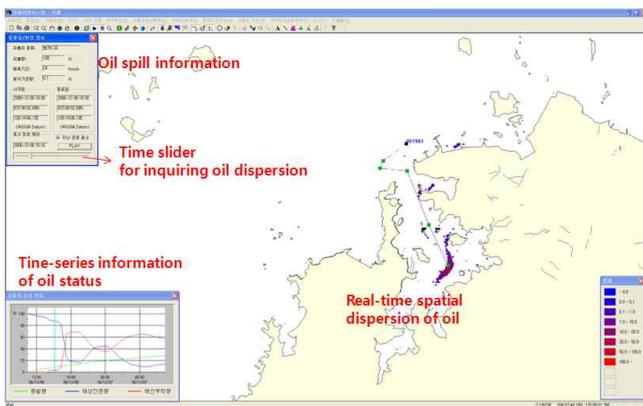


Fig. 6. Example of user interface for analysis of model output.

Fig. 6은 유출유 확산 예측 결과를 사용자에게 제공하는 예시화면인데, 풍화작용 및 지형효과에 의한 유출량 변동 정보를 시계열 그래프로 제시하고, 확산 예측 기간 중 사용자가 시간

슬라이더를 선택할 수 있도록 하여 시간대별 유출유 확산 공간 분포를 지도상에 제시하고 있다. 실시간 시공간 결과에 대해서 사용자가 이해하기 용이한 결과 조회 인터페이스의 설계가 필요하다.

4. 유출유 확산 예측 모델 상시 운용 체계

4.1 체계 구성

유출유 확산 예측 모델을 사용자가 언제든지 운용할 수 있는 상시 운용 체계를 구성하기 위해서는 상시 운용 조건을 만족할 수 있는 체계 구성이 필요하다. 유출유 확산 예측 모델의 입력 자료가 되는 정적 자료는 사전에 구축하고 실시간 변하는 동적 자료는 자료 출처의 FTP 서비스에 연계하여 자료를 주기적으로 획득하고 획득된 자료를 재구성하여 데이터베이스로 구축하여야 한다. 이와 같이 구축되는 데이터베이스는 주기적 업데이트를 위해서 외부 FTP와 통신이 지속되어야 하고, 모델링을 수행하는 컴퓨터와도 데이터 송수신이 지속되어야 한다. 또한 사용자가 모델을 구동할 수 있는 그래픽 기반의 사용자 인터페이스가 제공되어야 한다.

Fig. 7은 가용한 자료 출처를 연계하여 상시 유출유 확산 예측 모델의 활용이 가능하도록 구성 요소간 통신 체계를 제시한다. 현재 자료 확보 가능성을 고려했을 때 이와 같이 시스템을 구성하면 실시간 정보 연계 및 실시간 유출유 확산 예측이 항상 가능해진다.

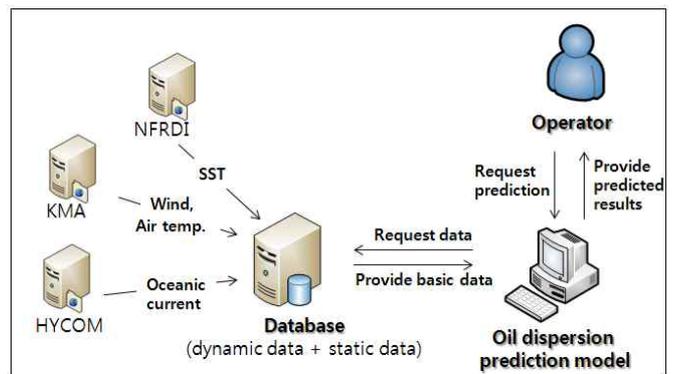


Fig. 7. Communication for the operational system.

4.2 체계 산출물

유출유 확산 예측 모델은 과거 시간을 대상으로 수행될 경우 유출유가 지나는 경로의 역추적 결과가 도출되며, 미래 시간을 대상으로 수행할 경우 유출유의 향후 이동 경로를 분석해준다. 과거 경로의 역추적은 입력자료로 누적된 동적 자료를 사용하기 때문에 예측 결과의 불확실성이 낮은 반면에 미래 시간을 대상으로 유출유 확산 예측 모델을 구동하게 되면 입력자료로 각종 예보자료가 이용되기 때문에 예측 기간에 따른 모델 연산 결과의 불확실성이 좌우된다. 예보자료의 출처가 다양하고 예보자료들 간 예보 시간 범위가 다르기 때문에 불확실성을 최소화

5. 결론

화하는 모델 연산을 위해서는 기초자료의 시간 해상도를 적절하게 설정해야한다.

Fig. 8은 현재 가용한 시스템 구성 체계에서 모델의 예측 기간과 결과의 신뢰성에 관계성을 제시한다. 조류 예측자료는 예보 가능 기간이 무한대인 반면에 해류는 5일치, 기온, 취송류는 3일치만을 예보하고 있다. 따라서 유출유 확산 예측 모델을 구동할 때 3일치 이상을 예측기간으로 설정하게 되면, 기온과 취송류의 입력자료의 불확실성이 증가하기 때문에 예측 결과에 대한 신뢰성을 보장할 수 없다.

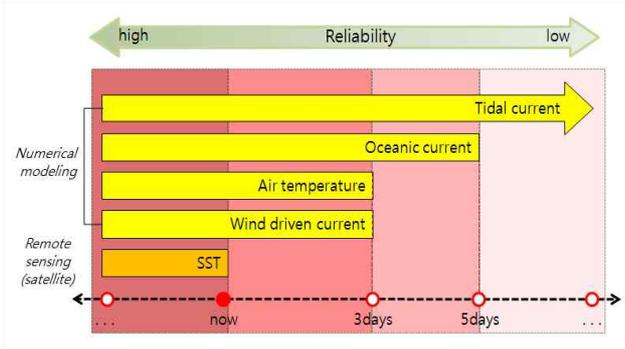


Fig. 8. Correlation between prediction period and output reliability.

Fig. 9는 사고 발생 시점으로부터 24시간동안의 유출유 확산을 예측한 결과와 해수 유동 예측 정보를 함께 표출한 결과 예시로서 좌측 하단에 유출유의 지형 및 풍화 결과 정보를 제시하고 있다. 유출유의 주요 경로와 지형효과에 따른 해안 부착 결과를 지도상에서 확인할 수 있다. 사용자가 적절한 예측 기간을 대상으로 유출유 확산 예측 모델을 구동하게 되면, 유출유 풍화작용과 지형효과에 따른 유출량의 변동과 유출유의 시간대별 확산 범위의 공간적 특성을 파악할 수 있으며 이러한 모델 산출물을 활용하여 과학적 근거에 기반한 방제전략 수립이 가능하게 된다.

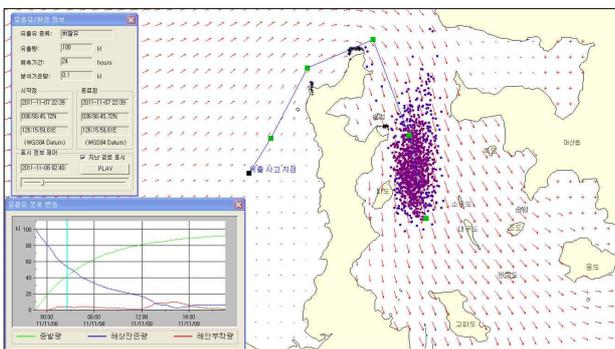


Fig. 9. Example of sea flow and oil spill prediction for 24hours.

유출유 확산 예측 모델의 정확도가 중요하지만, 이를 현장에 적용하기 위해서는 모델의 운용성이 요구된다. 다양한 유출유 확산 예측 모델이 개발되었지만, 모델을 방제 현장에 적용할 수 있는 시스템 구축에 관한 연구가 부진했다.

시스템이 부재하고 모델만 존재하는 상황에서 모델 구동에 필수적인 실시간 입력자료의 확보 및 가용한 형태로의 변환에 많은 수고가 필요하여 모델 구동을 위한 준비 작업에 많은 시간과 노력을 할애해야했다. 또한 모델에 익숙한 전문가가 아닌 경우에는 준비된 자료를 입력하는 과정에서 오류정보가 입력되어 잘못된 모델 연산 결과가 방제 현장에 적용되어 방제전략 수립에 혼선을 초래하기도 하였다.

본 연구에서는 기초자료의 획득 체계 및 가공 체계의 부재와 복잡한 사용자 입력 체계로 인해 유출유 확산 예측 모델을 상시 활용하기 위해서 현재 실정을 고려하여 최선의 상시 활용 체계를 수립하였다. 그 결과, 모든 기초자료를 직접 구축하고 관리하는 것이 불가능하여 외부 기관의 실시간 동적 자료를 연계하고 최소한의 데이터베이스만 직접 구축하여 실시간 유출유 확산 예측의 상시 활용이 가능할 수 있음을 확인하였다. 사용자와 모델간 인터페이스부분에서 발생하는 오류를 최소화하고 모델 결과의 신뢰성을 유지하기 위해서 유출사고 정보를 객관화하여 입력할 수 있는 입력 인터페이스를 설계하였다. 또한 모델 연산 결과를 사용자가 시공간을 고려하여 다차원적으로 분석할 수 있도록 모델 결과를 표출하는 인터페이스를 제안하였다.

비록 외부기관의 자료 서비스에 의존하는 부분 때문에 유출유 확산 예측 모델의 예측 기간 설정에 시간적 제약이 존재하고 외부 입력 자료의 품질에 의존하기 때문에 모델 결과의 신뢰성 확보에 한계가 있지만 유류오염사고가 발생할 경우 신속하게 모델을 구동하여 유출유 확산 예측 결과를 분석할 수 있다는 측면에서 본 연구 결과는 실제 방제 현장에서 의미있게 활용될 수 있다.

후 기

본 연구는 NAP 해양유출사고 대응지원시스템 구축사업(PES141F)과 해양 오염사고 대응 기술 개발을 통한 깨끗한 바다 만들기(PG47492)연구의 지원에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] 국토해양부(2008), 허베이 스피리트호 유류오염사고 방제 부문 백서, p. 315.
- [2] 김기철, 이중우, 강신영, 도덕희(1999), 해양유출기름의 확산 시뮬레이션 모델 개발(II), 한국항해항만학회, 제13권, 제2호, pp. 1-9.
- [3] 김탁겸(2011), 유출유 확산모형의 실해역 적용, 한양대학

교 석사학위 논문, p. 2.

- [4] 남형근(2007), 지리공간자료의 경제적 갱신과 교환체계 모형개발, 경북대학교 박사학위 논문, p. 15.
- [5] 서승원(2008), 태안 누출유 확산의 수리학적 특성과 예측 기술, 한국해양·해양공학회지, 해안과 해양, 제1권, 제2호, pp. 53-64.
- [6] 양찬수, 김도연, 오정환(2009), 인공위성 원격탐사 데이터와 수치모델을 이용한 해상 유출유 예측 향상 연구: Hebei Sprit호 기름 유출 적용, 대한원격탐사학회지 제25권, 제5호, pp. 435-444.
- [7] 이문진, 김혜진(2009), 해양유류오염사고 위해도 평가에 관한 연구, 한국해양공학회지, 제23권, 제1호, pp. 24-30.
- [8] 이문진, 강용균(2000), 해양 표면취송류(skin drift)의 라그랑주안 측류 및 모델링, 한국해양환경공학회지, 제9권, pp. 115-124.
- [9] 이종섭, 윤은찬(2009), 허베이 스피리트호 유류유출확산 수치 예측 모델 개발 및 적용, 한국해양·해양공학회 학술발표논문집, 제18권, pp. 132-135.
- [10] 정연철(1997), 실시간 유출유 확산모델링에 관한 연구, 부경대학교 박사학위 논문, pp. 2-4.
- [11] Al-Rabeh, A.H., H.M. Cekrige and N. Gunay(1989). A stochastic simulation model of oil spill fate and trasport, Apply Math. Modelling, 13, pp. 323-324.
- [12] Fingas, M.(2011), Oil Spill Science and Technology, pp. 275-299.
- [13] Reed, M. and W. Knauss(1988), User's manual for coastal zone oil spill model, Applied Science Associates, p. 99.
- [14] Shepherd, I. D. H.(1991), Information Integration and GIS, pp. 337-360.
- [15] Spaulding, M. L., E. Anderson and K. Jayko(1992), OILMAP:A global approach to spill modeling, 15th Arctic and Marine Oil spill Program, Technical Seminar, pp. 15-21.

원고접수일 : 2011년 10월 25일

원고수정일 : 2011년 11월 08일

게재확정일 : 2011년 12월 26일