

# 격자형 공간 모델링을 이용한 해양 오염원 확산 예측 시스템

## Using the Cell Space modeling to develop the Sea pollution prediction system

이종근, 이장세, 지승도

AI-Simulation Research Lab  
한국항공대학교 컴퓨터공학과  
Tel : (02)300-0146 Fax : 3158-6748  
E-mail : jklee@sily.cs.hangkong.ac.kr

### Abstract

본 논문은 해상에서 발생될 수 있는 기름 유출 사고시 효과적인 방제의 지원을 위한 오염원 확산 예측 시스템의 개발을 주목적으로 한다. 이를 위하여, 격자형 공간 DEVS 모델링 방법론을 이용한 SOS(Save Our Sea)시스템을 개발하였다. 기존의 해양오염 예측 시스템들이 대부분 해석적 기법에 의존하는데 비해 제안된 시스템은 격자형 공간 모델링을 이용한 시뮬레이션 기법으로서 전체 해양을 Cell 단위의 공간으로 분할하고, Cell 간의 결합관계는 Name-Directed Coupling 을 적용함으로써 시스템 설계상의 효율성과 유연성을 제공한다. 제안된 시스템은 기름유출사고의 발생시 오염원 확산에 영향을 주는 각종 벡터 변수값들에 따른 해양 오염 물질의 확산 분포를 예측함과 동시에 확산에 영향을 주는 많은 벡터 값들의 모니터링 정보를 함께 제공함으로써 해양 오염 방제 및 환경 보존에 효과적으로 적용될 수 있을 것으로 기대된다.

### 1. 서론

산업발달에 의한 환경문제의 이해와 그 개선책 연구는 이미 선진국가들의 최우선 과제의 하나가 되어있다.[9] 우리나라 연안에서의 유류 오염은 매년 급증하고 사고 규모도 점차 대형화되고 있지만 체계적인 방제시스템은 거의 없는 실정이다. 이에 신속하고 과학적인 유출사고방제를 위해서는 전국 연안에 대한 전산방제시스템 구축이 시급한 실정이다. 이러한 전산방제 시스템의 구축을 위한 필요 조건은 전국연안의 해양환경 데이터를 어떻게 데이터 베이스화하고 이러한 데이터를 가지고 어떻게 실제적인 환경에 적용하는가 하는 점이다. 해양오염에 대한 연구는 매우 복합적인 생태학적, 환경공학적, 기상학적 제반문제가 병존하는 관계로 포괄적인 연구수행이 어려운 분야이다[10].

해양에 유출된 기름은 기름의 물리, 화학적 특성과 누출된 지역의 해상 및 기상상태에 따라 다양한 거동을 보이는데, 이를 크게 나누면 초기확산, 이동, 풍화과정으로 분류할 수 있다. 초기확산은 누유발생 초기에 급속히 일어나게 되며, 중력, 관성력, 점성력 및 기름과 해수의 표면장력 등의 영향을 받게된다. 초기확산을 거치면서 얇게 퍼진 기름층은 바람, 파도, 해류에 의하여 긴 띠 모양으로 이동하며, 오랜 시간이 경과하면 물리, 화학, 생물학적 풍화과정을 거쳐서 중발, 용해, 유화(Emulsification), 산화, 분해, 침전되게 된다.[10] 본 논문에서는 두번째 과정인 누유이동에 대하여 격자형 공간 DEVS 모델링과 이산 사건 시뮬레이션 방법론을 적용하여 오염원의 확산 예측시스템을 설계, 구현함으로써 해석적 기법에 의존하는 기존의 예측시스템들이 갖

는 복잡성과 메모리의 문제를 효과적으로 해결하고자 하였다. 제안된 시스템은 기름유출사고의 발생시 오염원 확산에 영향을 주는 각종 벡터 변수값들에 따른 해양 오염물질의 확산 분포를 예측함과 동시에 확산에 영향을 주는 많은 벡터 값들의 모니터링 정보를 함께 제공함으로써 해양 오염 방제 및 환경 보존에 효과적으로 적용될 수 있을 것으로 기대된다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저, 해상 오염원 확산 예측 시스템을 소개한 뒤, Name-Directed Coupling 을 적용한 격자형 공간 DEVS 모델링 방법론을 간략히 설명한다. 다음으로 해상 오염원 확산 예측 시스템의 설계와 구현방법론을 제시한다.

### 2. 해상 오염원 확산 예측 시스템 소개

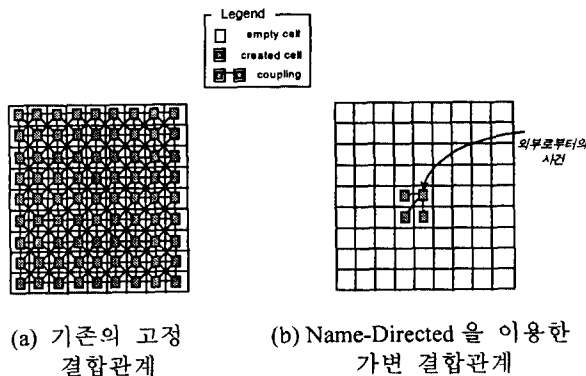
해상 누유에 대한 시뮬레이션용 컴퓨터 시스템은 지난 1970년 이래 선진국에서 활발히 진행되고 있으며 현재까지 많은 S/W들이 개발되었다. 주로 조선공학 및 수리학 연구기관들이 여기에 참여하고 있는 바, 대표적인 연구기관들로는 영국의 Warren Springs Lab.과 BMT 연구소, 스웨덴의 SSPA, 독일의 HSVA, 미국 연안경비대가 지원하는 연구소들 및 ASA 연구소, 덴마크 DHL 등이 있다. 이중 BMT 연구소는 기름의 화학적 특성까지 고려한 코드를 개발하였으며, SSPA 나 HSVA는 선박조종 시뮬레이션과 유사한 방법으로 자체 코드를 개발하였다. 미국의 ASA에서는 전 세계의 지형 및 기상정보를 Workstation 에 입력하여 원하는 세계 어느지역에서의 시뮬레이션도 가능하도록 하였다.[10] 또한 미국의 NOAA에서는 해상에서의 사고발생시 기름유출

확산범위를 추정할 수 있는 예측프로그램인 OSSM (Oil Spill Simulation Model)도 개발하였다. 이와함께 국내에서는 도시환경 관련기관이나 한국해양연구소 등에서 해수의 유동, 지형 및 기상학적 연안해안 모델링을 수행하고 있으나 해상 누유로 인한 문제 해석과는 다소 거리가 있다.[10] 이와같이 기존의 해양 오염 예측 시스템들이 전체 해양에 대한 해석적 기법을 적용하여 시스템을 구현한데 반해, 본 논문은 전체 해양을 동일한 크기의 Cell로 분할하고, 각각의 Cell에 수학적, 화학적 방법론등을 적용하는 시뮬레이션 기법을 도입함으로써 계산상의 복잡성과 메모리 부담을 줄이고, 정밀도를 높일 수 있도록 제안하였다.

### 3. Name-Directed Coupling 을 이용한 격자형 공간 DEVS 모델링

다중구성원(Multicomponent) 모델링은 동질성을 갖는 공간적으로 분산된 시스템을 위한 모델링 방법이다. 이러한 모델 가운데 전형적인 것이 격자형 오토마타(automaton)이다. 공간적인 이산적 성질을 보유하면서 이산 사건 시간의 흐름에 따른 변화에 의해, 이산 사건 격자형 모델의 개념이 생겨났다. 동질성은 각 구성원에 대한 독립적 표현으로써가 아니라 단 하나의 표현만으로도 모든 모델 구성원들의 표현을 가능케 한다. 격자형 오토마타(automata)는 2 차원 배열상의 각 지점에 동일한 동역학 구조체의 복제본들을 각각 위치시키고 그들간에 동일한 결합관계를 부여함에 의해 제시될 수 있다.[2,3]

Zeigler 에 의해 제안된 공간 격자형 DEVS(Discrete Event System Specification)[1,2,5]모델은 고정적 또는 가변적 구조를 가진 격자 모델에 의한 단순결합과 고정된 수의 모델을 이용하였으나, 본 논문에서는 Name-directed Coupling 기법을 도입함으로써 격자형 모델의 단일화된 결합과 고정된 결합관계를 가변 결합과 다양한 결합관계로 확대 할 수 있다.



[그림 1] 격자형 모델의 결합관계

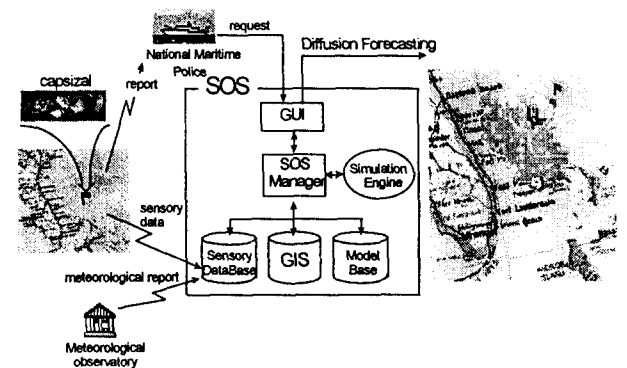
Name-Directed Coupling 은 Port-to-Port Coupling 방법론으로서, Object-Oriented 메시지 전달의 유연성과

I/O Port Coupling 을 갖는 모듈러 모델의 구조적인 장점을 내포하고 있다. 즉, Cell 하나의 결합과 인접 Cell 들에 대한 영향력은 자신의 행위(action)의 결과에 의해 결정되어지며, 이러한 기능은 격자 모델 설계에서 더 많은 유연성과 효율적인 디자인을 제공한다[3].

그림 1 는 기존의 격자형 DEVS 모델의 결합관계와 Name-Directed Coupling 을 이용한 모델을 비교 설명한다. 그림 1(a)는 일반적인 격자형 모델의 고정되어진 Cell 간의 단일화되어진 결합관계를 나타냄으로써 비효율적이나, 그림 1(b)는 Name-Directed Coupling 을 적용함으로써 격자형 모델의 설계에 유연성과 효율성을 제공함을 보이고 있다.

### 4. 해상 오염원 확산 예측시스템(SOS)

해상 오염원 확산 예측 시스템(SOS)은 기름의 확산 예측을 통해 해상기름유출사고에 과학적으로 대처하는데 그 목적이 있다. 그림 2 에서와 같이 SOS 시스템은 여러 센서들로부터 입수되는 데이터들과 그밖의 관련기관들로부터 얻어지는 기상정보등으로 이루어진 데이터베이스를 사용하여, 기름유출사고 발생시 사고지점과 사고 내용을 입력받아 이산 사건 시뮬레이션을 통하여 예측한 확산 분포 결과를 제공한다.

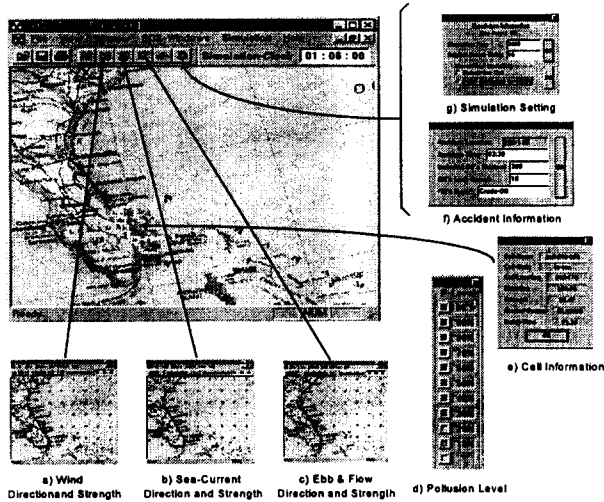


[그림 2] SOS 시스템의 개념도

SOS 시스템은 격자형 공간 모델링 방법론에 의해 Cell 단위로 분할하고, Name-Directed Coupling 을 적용함으로써 시스템 설계의 효율성을 높이는 방법으로 설계되었다. SOS 시스템은 그림 2 에서와 같이 여섯개의 요소들로 구성되어 있으며, 각각 다음과 같이 요약된다.

#### 사용자 인터페이스(GUI)

SOS 시스템은 현재 Visual C++로 구현되었으며 다양한 그래픽 환경을 제공한다. 그림 3(d)와 같이 기름의 확산 정도와 과정을 색으로 구별하였으며, 사용자의 입력은 그림 3(g),(f)와 같이 대화형 박스를 통하여 사고내용과 시뮬레이션 초기값을 입력받도록 하였다. 기타, 다양한 윈도우를 통해, 센서 모니터링 정보 및 예측정보들을 함께 제공한다.



[그림 3] SOS 시스템

시스템 매니저(System Manager)

시스템 매니저는 데이터베이스와 시뮬레이션 엔진 그리고 사용자 인터페이스를 통합 관리하며 시뮬레이션 초기화시 데이터베이스에 있는 현재의 정보를 모델베이스에 있는 모델들의 변수값으로 연결시켜주는 역할을 한다.

센서리 데이터베이스(Sensory DataBase)

센서리 데이터베이스는 바람의 방향과 힘, 해수의 방향과 힘, 조석간만 등의 데이터가 저장되어 있다. 이 데이터는 지리정보 시스템으로부터 지리정보를 얻은 시뮬레이션 모델들과 시뮬레이션 수행중에 결합된다. 또한, 필요시 그림 3(a),(b),(c)와 같은 모니터링 정보를 제공한다.

지리 정보 시스템(GIS)

GIS는 사고지점 및 인근해역에 대한 지리정보와 그에따라 모델들이 갖어야 하는 지리정보를 제공하여 준다.

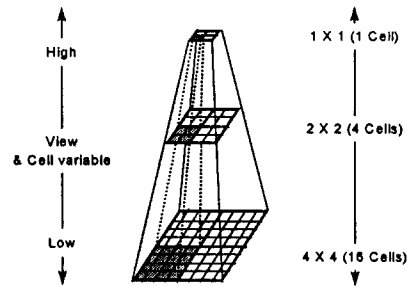
모델베이스(Model Base)

모델베이스에는 해양을 격자형 공간 DEVS 모델링 방법론에 의해서 모델링되어진 Model들이 저장된다. 이 모델들은 사고발생시 시뮬레이션 엔진과의 결합을 통해 시뮬레이션 모델로 변환된다. 그림 3(c)는 시뮬레이션 수행중의 오염원 확산 정보와 그에따른 그래픽 애니메이션을 보인다.

예측 시스템 모델은 해양에서의 사고발생시 사고의 원인이 되어지는 Source 모델과 해양 다중모델(Cells)로 구성된다. 그림 4는 격자형 공간 모델들간의 계층구조적 추상화 관계를 보여준다. 그림에서 최하위의 Cell들은 실세계를 가장 작은 단위로 조건 기본 모델로서 이들은 추상화 단계에 따라 상위 계층의 모델들로 추상화되어진다. SOS 시스템은 이러한 계층구조적 추상화관계를 제공함으로써 기름 확산의 진행경과를 여러 추상화된 표현 단계를 통하여 제공할 수 있다.

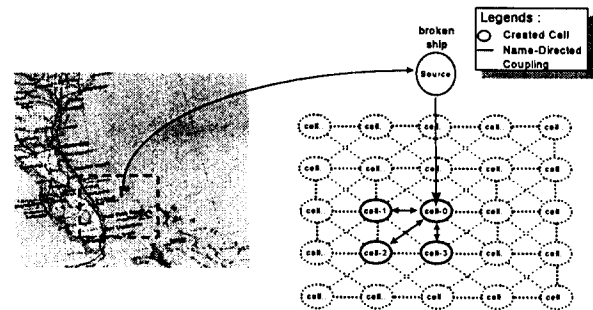
그림 5는 Name-Directed Coupling을 사용한 격자형 공간 DEVS 모델링을 설명한다. 여기서 Source 모

델은 사고 지점의 오염원을 나타내는데, 이 모델에 의해서 최초로 오염물질이 전달되어지는 격자 모델(Cell-0)이 Name-Directed Coupling에 의해 생성되어진다.



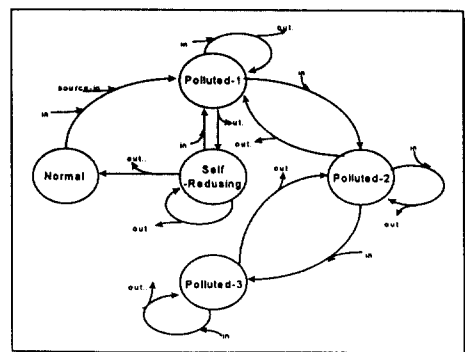
[그림 4] 계층구조적 모델링과 추상화 관계

그림 5에서 Cell-0는 자신의 상태 변환에 따라 다시 인접한 Cell-1, Cell-2, Cell-3에게 오염물질을 출력할 수 있으며, 이때 비로서 Cell-1, Cell-2, Cell-3는 생성되어 Cell-0와 결합되어진다. 이와같은 방법으로 오염원 확산 예측이 시뮬레이션 되어진다. 각 Cell 모델에 대한 상태 변환도는 그림 6에 보이고 있다. 여기서 Cell 모델은 5 단계의 오염 상태 값을 갖으며 각 상태는 자신이 갖게 되는 오염물질의 양과 자신의 상태에 따라 이웃 Cell들과의 지속적인 상호관계 속에서 상태 변환을 일으킨다.



[그림 5] Name-Directed Coupling을 이용한 오염 확산 모델링

즉, 각 Cell은 인접 Cell들로부터의 입력 사건과 자신의 Cell로부터 인접 Cell들로 나가는 출력 사건들에 의하여 자신의 상태가 결정되어진다.



[그림 6] Cell 모델의 상태 변환도

Cell 모델의 상태는 초기상태인 Normal 상태와 오염의 정도에 따라 Polluted-1, Polluted-2, Polluted-3 등이 있으며 Cell 이 외부와의 상호작용이 없을 경우 갖게 되는 Self-Reducing 상태가 있다. 각 Cell 의 PseudoCode 는 다음과 같다.

External Transition Function :

```

IF External Event from Source
  THEN Adding input value to Cell contents

ELSE IF External Event from neighbor Cell
  THEN Adding input value to Cell contents

ELSE IF Cell contents between 30% to 60%
  THEN State transition to polluted-2
-----
ELSE Continue
  
```

Internal Transition Function :

```

IF Cell located in Sea
  IF Cell contents between 30% to 60%
    AND Phase is polluted-1 state
    THEN State transition to polluted-2
  ELSE Cell located in land
  
```

Output Function :

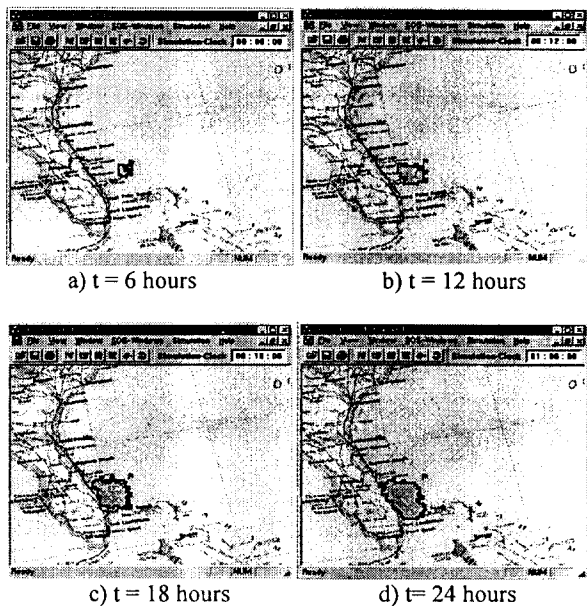
```

ELSE IF Phase is Self-Reducing AND
  Cell content between 0.01% to 30%
  THEN
  Output parameter are direction, strength,
  contents

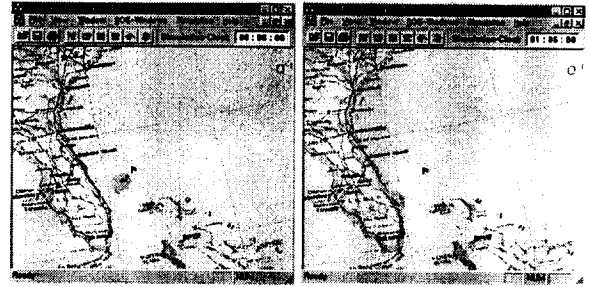
ELSE IF Cell content between 30% to 60%
  THEN
  Output parameter are direction,
  strength, contents
  -----
  
```

Cell Variable Initialize Function :

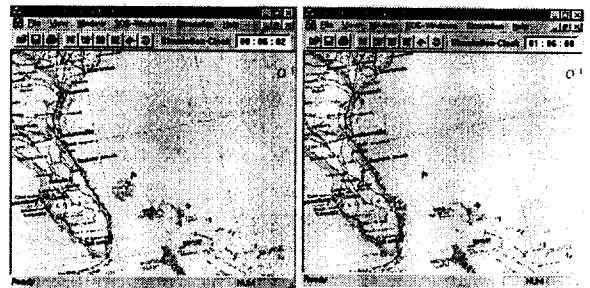
그림 7 은 미국 플로리다주 연안을 배경으로 가상의 누유 사고를 설정하여 기름의 유출에 따른 확산 현상에 대한 시뮬레이션 테스트 결과를 보여주고 있다. 그림 8 은 추상화 관계 표현 방법에 따른 확산 경과를 나타낸다.



[그림 7] 시간에 따른 확산 예측



a) 고밀도 표현



b) 저밀도 표현

[그림 8] 추상화 레벨에 따른 기름 확산

## 5. 결론

본 논문은 격자형 공간 모델링 기법을 이용하여 해양에서의 기름 유출 확산과정의 예측 시스템을 설계 구현하였다. 기존의 격자형 공간 모델들에 적용되어 왔던 동일화된 모델간의 결합관계와 고정되어있는 모델간의 상호작용으로 인한 시스템의 설계상의 비 효율성을 Name-Directed Coupling 방법을 적용함으로써 극복하고, 기존의 오염 예측 시스템이 갖는 해석적 기법 대신 시뮬레이션 기법을 적용함으로써, 계산상의 복잡성을 줄이고 정밀도를 높일 수 있도록 하였다. 제안된 시스템은 기름유출사고의 발생시 오염원 확산에 영향을 주는 각종 벡터 변수값들에 따른 해양 오염물질의 확산 분포를 예측함과 동시에 확산에 영향을 주는 많은 벡터 값들의 모니터링 정보를 함께 제공함으로써 해양 오염방제 및 환경 보존에 효과적으로 적용될 수 있을 것으로 기대된다.

향후의 연구방향으로는 해양에서 오염원에 영향을 줄 수 있는 많은 벡터변수들에 대한 정확한 데이터베이스의 구축과 벡터들간의 상호작용이 오염원에 어떠한 영향을 줄 것인가에 대한 생태학적, 환경공학적, 기상학적 제반문제와 함께 물리, 화학적 특성을 기반으로 한 실질적 Cell 모델에 대한 연구가 수행되어야 할 것이다.

## 참고문헌

- [1] Zeigler, B.P, "Object-Oriented Simulation with Hierarchical, Modular Models", Academic Press, SanDiego, CA, USA: 1990.
- [2] Zeigler, B.P, "Multifaceted Modeling and Discrete

- Event Simulation*", Academic Press, USA, 1984.
- [3] Cho, T.H., Chi, S.D., "Name-Directed Coupling Applied to Cellular Model : River Pollution Example", Int. Conf. On MODSIM 95, Newcastle, Australia, Oct., 1995.
  - [4] Kim, T.G., A Knowledge-Based Environment for Hierarchical Modeling and Simulation, Ph.D. Dissertation, Univ. of Arizona, USA, 1988.
  - [5] J.R. Coleman, A.L. Sullivan, "A real-time computer application for the prediction of fire spread across the Australian landscape", Technical article, SIMULATION 1996.
  - [6] 김정옥, 이석필, 지승도, 박상희, "모델베이스를 이용한 지능적 환자감시 시스템의 설계.", 대한 의용생체공학회 춘계학술대회논문집, pp. 155-159 1995.
  - [7] Sung-Do Chi, Young-Kwang Kim, Ja-Ok Lee, and Tae-ho Cho, "Endomorphic Modeling of Intelligent System : Intelligent Card Game Player ", 1995 *IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, Vancouver, Canada, Oct., 1995.
  - [8] 김영실, 백두권, "이산사건 모델링과 시뮬레이션", 정보과학회지, 제13권, 제4호(통권제17호), 1995
  - [9] 한국해양연구소 "황해의 해양환경 보전을 위한 해양확산의 실시간 예측시스템 연구", 과학기술처 연구보고서, 1993.8.
  - [10] 한국기계연구원 "해양오염 방제기술개발(I)", 과학기술처 연구보고서, 1993.8.
  - [11] Lee, D.Y. and B.K. Bahk, S.W. Kang, *Real-time monitoring and prediction of the sea states in the coastal waters of Korea*, Oceanology International 94 Conference Proceedings Vol. 3. Pp. 1277-1285.