

해양 유출유 사고 방제 지원 GIS 프로그램 개발

김혜진^{1*} · 이한진² · 이문진²

Building of GIS Program for Controlling Oil Spill Accident

Hye-Jin KIM^{1*} · Han-Jin LEE² · Moon-Jin LEE²

요 약

환경 민감도 정보는 해양 유출유 사고시 효율적이고 신속한 방제 업무를 위한 유용한 정보이다. 유출유에 관련된 환경 민감도 정보의 종류가 다양하기 때문에 방제 현장에서 환경 민감도 정보에 대한 효율적인 접근과 활용 방안이 요구된다. 현장에서의 방제 업무 효율성을 높이기 위해서 환경 민감도 지도를 수치지도로 구축하고, GIS 기술을 이용한 전용 프로그램 개발이 필요하다.

본 연구에서는 경기만과 여수 지역을 대상으로 방제 업무 지원을 위한 환경 민감도 정보를 GIS 데이터베이스로 구축하고 GIS 프로그램을 개발하였다. 이를 위해 IMO/IPIECA의 환경 민감도 작성 지침과 해양경찰청의 방제 정보 지도 작성을 위한 정보 수집 지침에 따라 환경 민감도 정보를 수집하고, 환경 민감도 정보 표시 기호의 정의 및 업무 분석을 통한 방제 업무 지원 요소를 추출하였다.

향후 본 프로그램은 전 해역에 대한 환경 민감도 지도 전용 프로그램으로 활용될 수 있으며, 국가 차원의 해양 오염 방제 업무 지원 시스템 구축의 요소 기술로서의 가능성을 기대할 수 있다.

주요어 : 유출유, 방제, 환경 민감도 지도, 지리정보시스템

ABSTRACT

Environmental Sensitivity Index Map(ESI Map) is useful information for efficient and prompt controlling of oil spill accident. Environmental sensitivity information relating to oil spill is very various, so efficient access and utilization for environmental sensitivity information at control field is required. In order to improve the efficiency of controlling accident at the field, it is necessary to building digital ESI Map and GIS program.

In this study, GIS database was built to utilize environmental sensitivity information at Yeosu and Gyunggi bay. And the ESI Map program which is focused on the control job was developed. IMO/IPIECA's guide to make the ESI Map and Korea Coast Guard's guide to collect information for the control information map were referenced to capture environmental

2006년 5월 15일 접수 Received on May 15, 2006 / 2006년 8월 23일 심사완료 Accepted on August 23, 2006

1 한국해양연구원 해양시스템안전연구소 연구원 Maritime & Ocean Engineering Research Institute

2 한국해양연구원 해양시스템안전연구소 책임연구원 Korea Ocean Research & Development Institute

* 연락처 E-mail : hjk@moeri.re.kr

sensitivity data and build GIS database. The symbology of environmental sensitivity layers was defined and functions for supporting control job were implemented in ESI Map program.

For the future works, the program in this study could be applied to ESI Map program for the whole coastal area of Korea and it could be the essential element technology in marine pollution control supporting system.

KEYWORDS : Oil Spill, Control, Environmental Sensitivity Index Map, Geographic Information System

서 론

유출유 관리에서 기초가 되는 고려사항 중 하나는 다양한 환경의 다양한 생태시스템에서 발생 가능한 기름 오염의 유형과 그 영향을 이해하는 것이다. 이들 유출유의 영향과 결과는 유출확산방식, 지구물리학적, 수리학적, 기상학적 환경 조건에 매우 의존적이다. 여러 가지 요인들에 의해 다양한 형태로 발생하는 유출유 사고에 신속하고 정확하게 대응하기 위해서는 유출유에 대한 이해뿐만 아니라, 해안 환경에 대한 이해가 필수적이다.

환경 민감도 지도(Environmental Sensitivity Index Map)는 기름 유출 사고로 인해 피해받기 쉬운 해안의 자원과 방제에 관련된 정보를 지도에 표시한 것으로 해안선의 유출유 민감도, 해안 야생 동·식물 등 생물자원의 분포, 해수욕장이나 산업 시설물의 취수구 등 사회·경제 자원, 방제 기관과 방제 기자재 현황 등을 정해진 색상의 기호로 표시하여 방제 결정자가 신속하게 정보를 활용할 수 있도록 지원하는 정보 지도이다.

유출유 관리에 관련된 해외 사례들(Patthiphan, 1995; Sorensen, 1995)에서 환경 민감도 지수(ESI : Environmental Sensitivity Index)를 이용하여 해안선을 구분하고 지도화하여 유출유 사고 방제시 GIS 시스템을 활용하는 사례를 볼 수 있다. 이러한 환경 민감도 지도는 다양한 해안 자원의 위치를 보여주고, 환경적으로 민감한 지역을 도시하여 유출유 사고에 대응하기 위한 중요한 정보를 제공한다.

본 연구에서는 우리나라 경기만과 여수지역

을 대상으로 환경 민감도 지도를 작성하고 해양 유출유에 대한 환경 민감도 정보를 효율적으로 조회할 수 있는 전용 프로그램을 개발하였다. 국내 유출유 사고 방제를 위한 정보 구축 및 프로그램 개발에 관한 연구는 전무한 상태이기 때문에 IMO/IPIECA(International Maritime Organization/International Petroleum Industry Environmental Conservation Association)의 유출유 대응을 위한 민감도 맵핑 지침(IMO/IPIECA, 1996)과 해양경찰청의 방제 정보 수집 지침(해양경찰청, 1999)을 참고하여 유출유에 대한 환경 민감도 지도 데이터베이스를 구축하고 최종적으로 GIS기반의 환경 민감도 지도 전용 프로그램을 개발하였다.

환경 민감도 지도의 구성 요소

환경 민감도 지도는 크게 세 가지 형태의 정보를 포함하는데, 그 각각은 해안선의 유출유 민감도, 생물자원, 사회·경제 자원이다. 이와 같은 환경 민감도 지도에 대해서는 최소한의 요구 조건과 표기 규약을 정한 바 있다(IMO/IPIECA, 1996). 그림 1은 환경 민감도 지도의 주요 구성 내용을 보여주는 예이다.

해양 유출유에 대한 환경 민감도 지수는 파도와 조석 에너지의 강약, 해안의 경사, 해안의 기질 형태, 생물학적 생산력과 민감도 등에 의해 분류된 것으로 숫자가 커짐에 따라 표착유 제거 작업의 난이도 및 환경에 미치는 영향이 커지며 이에 따라 보호 우선순위가 높다는 것을 의미한다.



Figure 1. 환경 민감도 지도의 구성 예
(<http://www.noaa.gov>)

해안선의 환경 민감도 지수는 기름 오염에 얼마나 취약한지에 따라 해안 지역을 구분하는 것으로서 취약한 정도를 지수로 표현한 것이다. Gundlach와 Hayes(1978)가 환경 민감도 지수를 처음 제안한 이후로 대부분의 경우 10 단계로 나누어 분류하고 있으며, 해당 국가 및 지역의 자연환경을 고려하여 약간의 수정이 있는 경우가 있다. 일반적으로 사용되는 환경 민감도 지수의 분류 체계는 표 1과 같다(Michel과 Dahlin, 1993).

ESI 1부터 ESI 6까지는 주로 기름의 침투 정도에 따라 결정된 분류이지만 ESI 7부터는 해안의 생물학적 생산성 등과 같은 자연 생태계에 대한 영향이 고려된 분류이다. ESI 10으로 평가되는 홍수림(紅樹林) 등과 같은 지형은 국내에 존재하지 않으므로 실제 자료 조사에 들어가기 전에 국내 상황을 반영하는 환경 민감도 지수 분류 및 적용이 필요하다.

생물자원은 기름 오염에 민감한 각종 동·식물 종(種)에 대한 정보를 나타낸다. 식지나 서식지 등과 같이 기름에 민감한 종이 집중되어 있는 지역에 대해서는 환경 보호 측면에서의 특별한 관리가 필요하다. 이와 같이 중요한 생물종이 집중된 지역에 대해서는 지도상에 표기하여 방제 업무에 이용되어야 한다. 기름 오염에 민감한 생물자원의 종류를 구분하고 표시 기호를 정의하여 맵핑하는 것이 필요하다.

사회·경제자원은 기름 오염이나 방제 작업 등으로 영향을 받는 인간 활동 영역을 의미한다. 휴양지나 공원, 해수욕장, 어장, 거주 지역, 항구 등이 이에 해당한다. 기름 오염에 영향을 받는 사회·경제 자원을 구분하고, 표시 기호를 정의하여 맵핑에 사용한다.

Table 1. 일반적인 해안선의 환경 민감도 지수(ESI) 등급 분류

ESI 등급	내 용
ESI 1.	해안에 노출된 수직 절벽, 갑(岬)
ESI 2.	진흙, 바위 등으로 이루어진 파도에 노출된 급경사를 갖는 해안
ESI 3.	완만한 경사를 갖는 고운 모래사장
ESI 4.	기름의 침투가 쉬운 거친 모래사장
ESI 5.	모래와 자갈이 섞여 있는 해안
ESI 6.	자갈, 조개, 사석(砂石) 등으로 이루어진 해안
ESI 7.	중중 중요한 생물자원이 있는 조석평저(潮汐平底)
ESI 8.	파도로부터 보호되는 진흙, 바위 등의 해안, 인공 구조물
ESI 9.	파도로부터 보호되는 조석평저(潮汐平底)
ESI 10.	바닷물이 드나드는 늪지 또는 홍수림(紅樹林)

국내 환경 민감도 지도 작성을 위한 분류 체계

본 연구는 국내 환경 민감도 지도 작성과 활용을 위해 경기만과 여수 지역을 대상으로 환경 민감도 지도 작성을 수행하였다. 향후 국내 전 해역에 대한 환경 민감도 지도의 활용이 활발히 진행될 것과 전세계 해역에 대한 환경 민감도 지도(Global ESI Map) 통합의 가능성을 고려하여 IMO/IPIECA 및 해양경찰청에서 제공하는 환경 민감도 지도 작성에 관한 지침을

참고하여 연구지역의 조사 항목을 설정하였다.

IMO/IPIECA의 지침은 연안역에서의 활발한 양식 활동과 같은 국내 특수한 자연 조건이나 인위적 조건들을 모두 포함하지 못하는 한계가 있기 때문에 해양경찰청의 지침을 우선으로 하여 조사 항목을 설정하였다.

1. 환경 민감도 지수에 의한 해안선 등급 분류 체계

방제정보지도에서 가장 기본적인 지표인 환경 민감도 지수 등급은 미국 대기해양국(NOAA)과

Table 2. 우리나라 해안선의 환경 민감도 지수 등급 분류 체계

ESI 등급	해안선 형태	일반적인 특성
1	- 파도에 노출된 수직 암석 절벽 해안 - 파도에 노출된 콘크리트, 나무, 금속성의 방파제 및 부두 - 파도에 노출된 파식성의 직립 호안	- 높은 파도 에너지가 공급 - 기름이 침출되지 않는 지질 조성 - 조간대의 경사가 30도 이상
2	- 파도에 노출된 기반암 - 완만하게 경사진 암반해안 - 파도에 노출된 급경사의 퇴적물 해안	- 높은 파도 에너지가 공급 - 대부분 침투성이 적은 지질 조성 - 조간대의 경사가 30도 이하
3	- 세립질의 모래 해안 - 파도에 노출된 비탈진 해안으로 비고형화된 세립질 해안	- 기름이 반투과성으로 딱딱한 지질 - 기름 침투가 약 10cm 내외 정도 - 조간대의 경사가 5도이하
4	- 굽은 입자의 모래사장	- 기름이 투과성으로 퇴적층 지질 - 기름 침투가 약 25cm 이상
5	- 모래와 자갈이 혼합된 해안	- 기름의 투과성이 큰 퇴적층으로 기름이 약 50cm까지 침투 가능 - 폭풍 시 퇴적물의 이동성이 높아 쉽게 문힐
6	- 자갈 해안 - 자갈과 바위로 혼합된 해안 자갈과 바위가 투과성 사석으로 구성	- 기름의 투과성이 매우 큰 퇴적층으로 기름이 약 1m까지 침투 가능
6B	- 이음새가 투과성인 방파제 및 인공 호안	- 이음새 사이로 기름이 투과하여 조석 차이에 의하여 유출·유입 가능
7	- 반 폐쇄되어 파도가 약한 암석, 자갈, 퇴적물 또는 인공 구조물 해안	- 경사가 15도 이상이며 조간대가 짧음 - 지질, 경사, 침투성은 지역에 따라 차이가 큼
8A	- 갯벌	- 경사가 3도 이하로 생물 밀도가 높음 - 니질(진흙)퇴적층으로 기름 투과성은 낮으나 많은 기공이 있어 기름 유입 가능
8B	- 염습지	- 여러 종류의 식물들이 서식하는 습지 지역 - 생물 생산력이 매우 큰 지역 - 종 다양성이 높음

국제해사기구(IMO), 일본 해난방지협회 등에서 환경 민감도 지도로 이용되고 있는 해안선 분류 체계를 참고하였으며(NOAA, 1999; IMO/IPECA, 1996; 일본 해난방지협회, 1998), 해양경찰청의 방제 정보수집 지침(해양경찰청, 1999)의 내용을 반영하여 대상 지역에 대한 해안선 분류 체계를 마련하였다. 표 2는 본 연구에서 적용할 해안선의 환경 민감도 지수 등급 분류 체계를 제시하고 있다.

2. 생물자원

유출유 사고 오염에 의한 피해를 받기 쉬운 연안 지역의 야생 동·식물을 선정하여 데이터

베이스로 구축하였다. 우리나라의 야생 동·식물에 대한 기초 자료가 매우 부족하여 기호로 표시할 수 없는 넓은 범위의 서식지 정보가 대부분이다. 또한 조사된 서식지도 특별한 어느 한 생물종의 경우가 아니라 여러 다양한 생물종이 동시에 존재하는 경우가 많다.

따라서 데이터베이스 구축 시에 주요 서식지 및 출현지역을 영역으로 표시하고 대상 영역을 선택하면 그 영역에 존재하는 여러 생물종의 정보가 그룹으로 표시되도록 하였다. 표 3에서 제시하듯이 데이터베이스 구축 시에 사용한 생물자원의 분류 체계는 염생식물, 포유류, 조류, 어류, 연체동물, 갑각류, 해조류, 기타 생물이다.

Table 3. 우리나라 해안 생물자원 분류 체계

분 류	지도 표시 내용
1. 염생식물	분포 범위를 색상 표시, 기호 표시
2. 포유류	서식지를 기호 표시
3. 조류	출현지역을 기호 표시
4. 어류	출현지역을 기호 표시
5. 연체동물	출현지역을 기호 표시
6. 갑각류	출현지역을 기호 표시
7. 해조류	출현지역을 기호 표시
8. 기타 생물	출현지역을 기호 표시

Table 4. 우리나라 사회·경제자원 분류 체계

사회·경제자원 구분	분류 기준	포함 내용
연안 자원 이용	어업활동 및 취수활동	어업권 어업, 어항, 종묘 배양장, 육상 양식장, 발전소, 기타 취수 공업 시설과 이들 시설의 취수구
친수 공간 이용	임해 지역에서의 휴양 활동	해수욕장, 임해 공원, 계류장, 수족관
항만 시설	물류시설 및 인화 위험물 시설	컨테이너, 페리 부두, 여객 터미널, 석유류 유해 액체 물질 취급 시설, 계류부이, 해변저 목장
천연자원 관리 구역	생물자원구역 및 천연자원관리구역	생물 서식지, 천연기념물 서식지

3. 사회·경제 자원

사회·경제 자원은 연안 자원 이용, 친수 공간(waterfront) 이용, 항만 시설, 천연자원 관리 구역을 4구분으로 나누어서 데이터베이스를 구축하였다. 사회·경제 자원의 공간 정보의 각 구분에 포함되는 내용 분류는 표 4와 같다.

환경 민감도 지도 데이터베이스 구축

환경 민감도 지도를 제작하기 위해서는 가장 우선적으로 연구 지역의 해안선과 같은 기본적인 지형 정보를 입력하는 과정이 필요하다. 이러한 지형 정보 입력 작업에서는 이미 제작되어 있는 전자해도를 활용할 수 있다. 국립해양조사원의 전자해도는 국제수로기구(IHO : International Hydrographic Organization)에서 정한 S-57 형식으로 되어 있다. S-57 데이터는 그 구조나 활용의 효율성보다는 데이터 교환을 위한 표준 형식의 성격이 강하기 때문에 실제 이 데이터를 활용할 때에는 각 시스템별로 적합한 형태의 GIS 데이터(SENC : System Electronic Nautical Chart) 형식으로 변환이 필요하다.

환경 민감도 지도를 작성하기 위해서 기본이 되는 전자해도에 각종 정보를 추가할 수 있도록 SENC 데이터가 필요하며 본 연구에서는 ESRI사의 shapefile 형식을 사용하여 SENC 데이터를 구축하였다. 본 연구에서 사용된 전자해도 목록은 표 5와 같다.

전자해도 데이터를 환경 민감도 지도로 활용하기 위한 GIS 데이터 포맷 변환 작업은 그림 2의 절차로 수행되었다. SENC 데이터를 구축하기 위한 전자해도 변환 작업은 ARC/INFO를 사용하여 수행되었다. 먼저 ARC/INFO를 이용하여 S-57 데이터를 coverage 포맷으로 변환하였다. coverage 포맷은 위상 정보 등과 같은 복잡한 정보를 포함하고 있으므로 데이터의 구조가 복잡하고 용량이 크다는 단점이 있기 때문에 본 연구에서는 coverage 포맷으로 변환된 전자해도를 또 한 번의 변환 과정을 거쳐 shapefile 형식으로 변환하였다. shapefile로 변환 시에는 사용의 편의성을 위해서 해안선, 수심 등과 같은 각각의 항목이 필요에 따라 독립적으로 사용될 수 있도록 관련 데이터와 함께 분리하여 저장하였다. 즉, 전자해도에는 해도의 해안선,

Table 5. 연구에 사용된 전자해도 목록

지 역	해도 목록
경기만 지역	306, 307, 308, 309, 311, 312, 314, 315, 316, 317, (F)323, 324, 328, 331, 334, 338, 350, 351, 353, 357, 358, 309A
여수 지역	209, 213, 214, 216, 219, 220, (F)229, 232, 235, 240, 256, 257, 258, 261, 260, (F)302

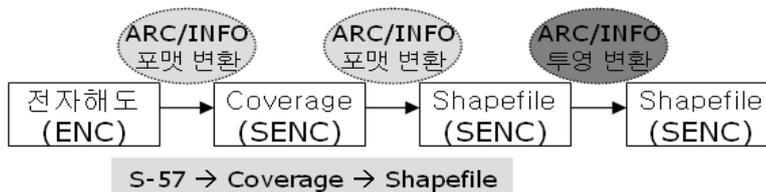


Figure 2. 전자해도 변환 작업 절차

수심 등과 같은 각 요소가 하나의 객체 클래스(Object Class)로 정의되어 있는데, 이 전자해도를 shapefile 형식으로 변환할 때는 이들 각 클래스가 하나의 shapefile이 되도록 하였다. 또한 각 클래스의 속성은 shapefile에서 속성 정보를 나타내는 필드가 된다. 예를 들어 전자해도에서 해안 구조물을 나타내는 클래스의 이름은 LCONS이고 이 클래스에서 해당 구조물의 종류를 나타내는 속성이 CATSLC인 경우에 이를 변환하면 SLCONS 라는 이름의 shapefile이 생기고 이 shapefile은 그 속성 데이터베이스의 필드로 CATSLC를 갖게 된다.

데이터 포맷 변환과 투영 좌표계로의 변환 작업이 이루어진 shapefile 형식의 전자해도 기반 공간 데이터에 환경 민감도 정보를 추가하여 데이터베이스 구축을 수행하였다. 환경 민감도 정보는 전자해도를 기반으로 하고, 전자해도에 존재하지 않는 생물자원이나 사회·경제자원 정보는 여러 기관들로부터 자료를 수집하여 Arc/Info에서 해당 위치를 맵핑하고, 속성 정보를 입력하였다. 특히, 해안선에 대한 환경 민감도 지수 값은 현장 조사를 통해서 파악하고 해안선의 속성 정보로 추가하였다.

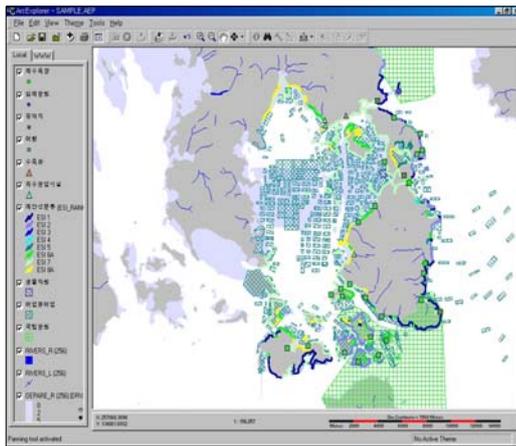


Figure 3. 여수 지역 데이터 도시 화면

환경 민감도 지도 제작 프로그램 개발

전자해도와 현장 조사를 통해 취득된 정보를 통합하여 환경 민감도 지도를 구축하였고, 환경 민감도 지도의 효율적인 활용을 위해서 GIS 기반의 전용 프로그램을 개발하였다. 전용 프로그램은 ESRI MapObjects를 이용하여 Visual C++ 기반으로 개발되었다(그림 4 참조).

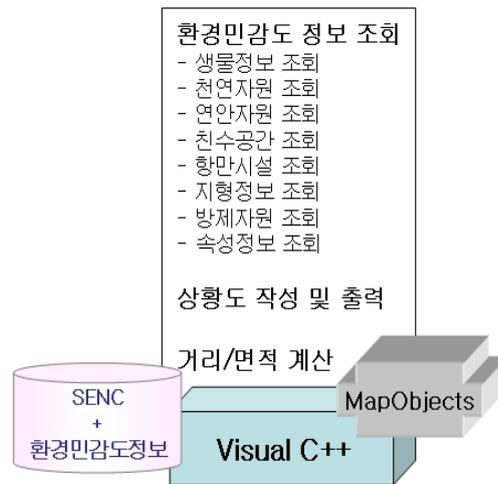


Figure 4. 환경 민감도 지도 프로그램 개발 구성도

다양한 환경 민감도 정보를 효과적으로 디스플레이하고 의사 결정을 위한 정보로 활용할 수 있도록 각 정보에 대한 표시 기호 기준을 마련하였다. 국내에는 환경 민감도 정보에 대한 표시 기준 체계가 마련되어 있지 않기 때문에 IMO/IPEICA의 표시 기호 기준을 참고하여 국내 실정에 맞는 표시 기호를 정의하고 프로그램 개발에 활용하였다(그림 5 참조).



Figure 5. 생물자원 및 사회·경제자원 표시 기호

환경 민감도 지도 전용 프로그램은 환경 민감도 정보 조회 기능, 상황도 작성 및 출력 기능, 거리/면적 계산 기능을 제공하도록 하였다. 환경 민감도 정보를 동시에 모두 도시하는 것은 지도에서의 정보 판별에 혼선을 초래할 수 있기 때문에 각 정보를 선택적으로 도시할 수 있도록 기능을 구현하였다.

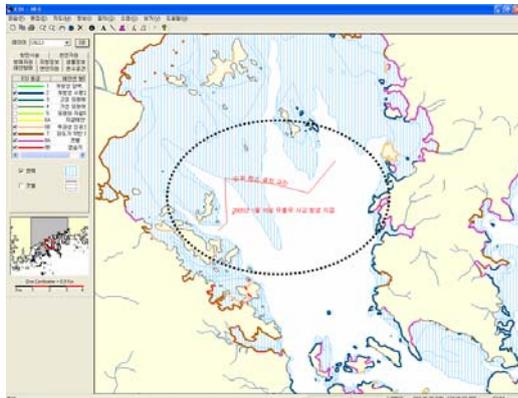


Figure 6. 개발 프로그램 구동 화면 예시

결론

환경 민감도 지도는 해안선의 기름 오염 민감도, 해안 야생 동·식물 등 생물자원의 분포, 해수욕장이나 산업 시설물의 취수구 등 사회·

경제 자원, 방제 기관과 방제 기자재 현황 등을 정해진 색상의 기호와 선으로 표시하여 방제 결정자가 해양 유출 사고와 관련된 환경 민감도 정보를 신속하게 이용할 수 있도록 정보를 제공해야한다.

본 연구에서는 해양 유출유 사고 방제 업무를 주관하는 해양경찰청의 방제 정보지도 작성 지침(해양경찰청, 1999)에 따라서 연구 대상지역의 환경 민감도 정보를 수집하고, 전자해도와 결합하여 SENC 데이터를 구축하였다. 또한 해양 유출유 사고 방제 업무를 수행하는 작업자의 업무 편의를 고려하여 환경 민감도 정보 조회, 상황도 작성 및 출력, 면적/거리 계산 등의 기능을 제공하는 전용 프로그램을 개발하였다.

본 연구는 해양 유출유 사고 방제 업무에 필요한 정보들을 체계적으로 관리하고 활용할 수 있는 방제 업무 지원 시스템과 공간 정보 구성의 초기 연구로서 의의가 있다. 향후 연구에서 해양 유출유 사고 방제 업무를 지원할 수 있는 기능에 위성영상 활용이나 방제 조치에 관련된 지침 조회 등의 기능을 고려하여 방제 업무에 관련된 다양한 정보를 활용할 수 있는 시스템 개발이 필요하다. 또한, 우리나라 전 해역의 환경 민감도 지수에 의한 해안선 정보, 생물자원, 사회·경제 자원 등에 대한 공간 데이터베이스를 구축하여 국가 차원의 해양 오염 방제 지원 시스템으로 확장해야 할 것이다. **KACIS**

참고 문헌

해양경찰청. 1999. 방제 정보지도 작성을 위한 정보수집 지침 1-10.

일본 해난방지협회. 1998. 沿岸域環境保全 Risk 情報地圖 作成에 關한 情報 收集指針 1-35.

Gundlach, E.R and M.O. Hayes. 1978. Classification of coastal environments in terms of potential vulnerability to oil spill impact. Marine Technology Society Journal. 12:18-27. 1978.

- IMO/IPECA. 1996. Sensitivity Mapping for Oil Spill Response. IMO/IPECA report series, 1-24.
- Michel, J. and J. Dahlin. 1993. Guidelines for Developing Digital Environmental Sensitivity Index Atlases and Databases. National Oceanic and Atmospheric Administration, Seattle 1-84.
- NOAA. 1995. Environmental Sensitivity Index Guideline 1-45.
- Patthiphan. 1995. A geographic information system for oil spills sensitivity mapping in the Shetland Ispands. *Ocean & Coastal Management* 26(3):247-255.
- Sorensen, M. 1995. Arc/Info marine spill GIS. *Spill Science and Technology Bulletin* 2(1):81-85.
- <http://response.restoration.noaa.gov> 