한국항해항만학회 제30권 제1호 춘계학술대회논문집 pp. 209~214, 2006. 6

파워심을 이용한 HNS 국가방제기본계획의 방제능력 산정방향에 관한 기초 연구

이상배* · 노창균**

*목포해양대학교 석사과정 ,**목포해양대학교 해상운송시스템 학부 교수

A Basic Study On the Estimative Direction of Responsible Ability for HNS National Contingency Plan Using Powersim

요 약 : 본 논문에서는 해양오염 사고 시 방제장비를 얼마나 충분히 확보하여 방제작업 수행을 하여야 하는가가 매우 중요하기에 동적 시뮬레이션을 통한 위험분석을 하여 적정 방제장비의 확보를 위한 합리적 구성과 체계화 방안을 수립하는데 도움이 되고자 한다. 한 국가의 방제능력은 단순히 보유하고 있는 유회수기의 대수나 오일펜스의 길이로만 나타내어지는 것은 아니다. 국가의 방제능력은 방제장비의 양 뿐만 아니라 오염 사고시 대응의 신속성과 체계성, 효율성을 고려하여 총괄적으로 표현되는 것이다. 이러한 국가방제능력 산정은 매우 복잡하며, 서로간의 상호관계가 매우 중요시 되므로 시스템 다이나믹스 이론을 활용한 파워심을 이용하여 표현하였다.

핵심어: 방제능력, 시스템 다이나믹스, 해양오염, 파워심, 위험유해물질, 국자방제기본계획

This paper desires to assist ensuring of propriety clean-up equipment for clean-up shore or sea of pollution. there is not that responsible ability of a nation has an amount of skimmer or the length of boom. responsible ability of a nation must express overall evaluation what is considering quickly, system, and economizing in addition to an amount or clean-up equipment. responsible ability of a nation is complication and it's mutual relation of each other factor therefore responsible capacity of a nation is expressed using powersim with system dynamics theory

KEY WORDS : Responsible Ability, system dynamics, marin Pollution, Powersim, HNS, National Contingency plan

1. 서 론

우리나라는 삼면이 바다로 둘러싸여 있으며, 해상을 통한 물동량이 거의 98%를 넘는 섬나라 국가와 비슷한 위치에 있다. 현대 사회에서 물류는 산업활동 중 가장 중요한 부분을 차지하고 있으며, 우리나라의 경우 해상물류가 대부분을 차지한다고 해도 과언이 아니다. 해상에서의 선박활동이 안전하게 보장되기 위해서는 해양환경보호를 위한 제반 시설이 충분히 갖추어져야 하며, 그에 따라 방제장비의 보유도 중요한 정책 중 하나라고 볼 수 있겠다. 따라서 너무 많은 장비의 보유는 재화의 낭비이며 부족할 시에는 해양환경보호 및 해양사고에 적시에 대처하지 못한다.

본 연구는 해역별 해양오염사고 요소들 간의 인과관계를 통한 국가 방제능력 산정기준을 재정립하고, HNS는 사고 발생시에 막대한 인명 및 재산 피해를 동반하기 때문에 철저한 관리와 신속·정확하게 대응할 수 있도록 국가적 대비·대응체제를 구축하고, 인접국가간 협력이 필요한 실정임. 또한 자국의 방제능력 산정기준에 적합한 방제능력을 키우기 위해 준비하여야 한다. 그러므로 국가방제기본계획의 기초자료라 할 수 있겠다.

2. 이론적 고찰

2.1 국내·외 연구사례

2.1.1 국내사례

2002년 한국해양연구원에서 용역한 '방제능력확보 방안 연구'에서 해난사고의 위험도를 FTA(Fault Tree Analysis)기법과 ETA(Event Tree Analysis)기법을 활용하여 RCT(Risk Contribution Tree)를 분석하여 유종별 최대 유출량을 결정하였다.

2.1.2 국외사례

미국은 방제능력의 산출기준을 연방규정 33CFR155[1] 선박의 유류 및 유해물질오염예방에 관한 규정'에 자세히 제시하고 있다. 미국에서 사고유형의 시나리오는 평균최빈유출량 (AMPD), 최대최빈유출량(MMPD), 최악유출량(Worst Case Discharge) 등 3가지 사고 시나리오에 의거 선박 또는 시설물 등 잠재적 오염사고 시나리오에 의거한다.

2.2 HNS국가 방제기본계획의 수립 배경

최근 위험유해물질(HNS: Hazardous and Noxious Substances)은 전체 해상 물동량의 약 50% 정도를 차지하고 있으며, 911사태 후 HNS 적재선박에 대한 테러위험 등으로 대형유출사고 위험성이 높아지고 있음.

*정회원, usidmp@paran.com, 016-580-3580

**종신회원, cknoh@mmu.ac.kr, 011-886-9439

1) 본 규정의 원문은 http://www.davioscoltd.com/nams/Docuents/Forms/33ctr155.pdf

<표 1> 국내 해역별 HNS 주요물질 물동량 현황(천톤,%)

구분	HNS 화물	2001년	2002년	2003년	2004년	2005년	비율
인천	석유가스 및 기타가스	16,860	17,099	17,787	19,488	19,782	44.8
	석유정제품	12,253	12,835	13,115	15,107	16,677	37.8
	원유·석유	8,315	4,013	4,058	4,587	6,205	14.1
	화학공업 생산품	3,570	1,924	2,429	1,662	1,484	3.3
	소 계	**40,998**	**35,871**	**37,389**	**40,844**	**44,148**	**100.0**
여수	석유가스 및 기타가스	2,543	2,791	2,905	2,461	3,093	3.7
	석유정제품	26,534	28,552	29,974	30,833	33,059	39.3
	원유·석유	32,478	36,961	41,608	40,919	43,070	51.2
	화학공업 생산품	4,763	4,956	5,258	5,648	4,928	5.8
	소 계	**66,318**	**73,260**	**79,745**	**79,861**	**84,150**	**100.0**
울산	석유가스 및 기타가스	4,156	4,047	4,474	4,824	4,663	3.6
	석유정제품	40,781	41,596	38,130	42,300	44,122	34.1
	원유·석유	62,317	59,583	59,339	63,211	63,652	49.2
	화학공업 생산품	14,731	14,423	14,860	16,857	17,032	13.1
	소 계	**121,985**	**119,649**	**116,803**	**127,192**	**129,469**	**100.0**
합 계		**229,301**	**228,780**	**233,937**	**247,897**	**257,767**	-

자료 : 각 지방해양수산청 PORT-MIS 통계자료, 2006.2.

국제적으로는 안전과 환경에 대한 관심이 높아져 '96 HNS 협약 및 2000년 3월 OPRC/HNS 의정서를 채택하고, 이러한 국제협약을 이행하지 않는 국가에 대하여 항만통제(PSC), 무역보복 등 다양한 압력을 가하고 있다.

<표 2> 해양오염방지업무관련 국제협약 채택 및 발효

구분	협약명칭	국제		국내		가입국수
		채택	발효	수락	발효	
1	해양오염방지협약 부속서 I/II (기름/산적유해액체) (MARPOL 73/78 Annex I/II)	78.02.17	83.10.02	84.07.23	84.10.23	130
2	해양오염방지협약 부속서 III(포장유해) (MARPOL 73/78 Annex III)	78.02.17	92.07.01	96.02.28	96.05.28	115
3	해양오염방지협약 부속서 IV(하수) (MARPOL 73/78 Annex IV)	78.02.17	03.09.27	03.11.28	04.02.28	100
4	해양오염방지협약 부속서 V(폐기물) (MARPOL 73/78 Annex V)	78.02.17	88.12.31	96.02.28	96.05.28	119
5	해양오염방지협약 1997 의정서부속서VI(대기오염) (MARPOL Protocol 1997 Annex VI)	97.09.26	05.05.19	미수락	-	19
6	폐기물투기에 의한 해양오염방지협약 (LC 1972)	72.11.13	75.08.30	93.12.21	94.12.20	81
7	폐기물투기에 의한 해양오염방지협약에 대한 1978년 개정(LC 1978 Amendments)	78.09.12	미발효	미수락	-	20
8	폐기물투기에 의한 해양오염방지협약 1996 의정서(LC Protocol 1996)	96.11.07	미발효	미수락	-	21
9	유류오염사고 시 공해상 개입에 관한 협약(INTERVENTION 1969)	69.11.29	75.05.06	미수락	-	82
10	유류이외의 물질에 의한 오염사고시 공해상 개입에 관한 1973 의정서 (INTERVENTION Protocol 1973)	73.11.02	83.03.30	미수락	-	47
11	기름오염대비·대응 및 협력에 관한 국제협약(OPRC 1990)	90.11.30	95.05.13	99.11.09	00.02.09	82
12	유독 유해물질에 의한 오염대비·대응 및 협력에 관한 국제협약 2000 의정서(OPRC/HNS 2000)	00.03.15	미발효	미수락	-	10
13	2001 연료유 협약 (Bunkers Convention 2001)	01.03.23	미발효	미수락	-	5
14	선박 유해 방오시스템 규제에 관한 국제협약(AFS Convention 2001)	01.10.05	미발효	미수락	-	10
15	선박 밸러스트수 관리협약 (BWM Convention 2004)	04.02.13	미발효	미수락	-	-

자료 : 해양경찰청, 「해양경찰백서」, 2005, pp.266-267.

우리나라는 해양경찰청 주도로 기름오염대비·대응 및 협력에 관한 국제협약(OPRC 1990)을 2000년 9월에 발효하여, 국가방제기본계획(National Contingency Plan)을 수립하고 실행계획인 지역방제실행계획을 수립하였다. 그러나 OPRC/HNS 2000의 발효에 따른 국가방제기본계획 및 지역방제실행계획은 아직까지 수립되어 있지 않다.

또한, HNS는 사고발생 시에 막대한 인명 및 재산 피해를 동반하기 때문에 철저한 관리와 신속·정확하게 대응할 수 있도록 국가적 대비·대응체제를 구축하고, 인접국가간 협력이 필요한 실정이다.

따라서 첨단 대응시스템에 의한 과학적인 기술지원과 체계적인 현장 대응이 필요하게 되었으며, 재난성 사고로 확대 가능한 HNS 유출사고에 대한 해난재난방제체제를 개발하여 체계화시켜야 한다.

본 연구의 목적은 기름오염에 관한 국가/지역방제계획에 HNS를 포함하여 HNS 사고에 대한 국가적 차원의 대비·대응체제 기반을 마련하고, 통계적인 기법 및 동태적 시뮬레이션 기법 적용을 통한 HNS 사고 발생빈도와 규모, 사고 발생 후의 직·간접적 영향과 피해에 대한 위험분석을 통하여 적정 규모의 HNS 국가방제능력을 산정하는데 도움이 되고자 하다.

<표 3> 국내 HNS 오염사고 현황 (단위 : 건, *kl*)

구 분	합 계		기 름		위험·유해물질		기 타	
	건수	유출량	건수	유출량	건수	유출량	건수	유출량
2000년	483	583	463	569	3	3	17	11
2001년	485	338	440	631	4	10	11	27
2002년	385	410	372	199	6	211	7	0.4
2003년	297	1,458	284	1,452	5	2	8	4
2004년	343	1,462	325	230	4	1,210	14	22
합 계	1,963	4,580	1,885	3,080	22	1,437	57	64

자료 : 최종욱외 4인, "HNS 해상사고 대비·대응체제 구축 방안", 해양경찰청, 2005.

2.3 시스템 다이나믹스의 고찰

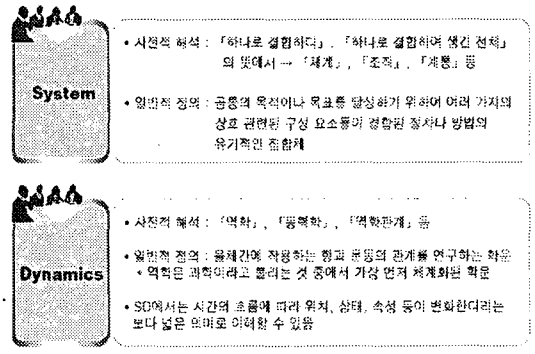
2.3.1 시스템 다이나믹스의 창시

Forrester 는 공학자로서 15년가 MIT에서 공군 프로젝트를 수행하였다. 1956년 MIT Slan School에 합류하여 General Electric의 켄터키 가전공장아니 불안정한 가동률에 대해서 처음 종이에 연필로 시뮬레이션을 수행하였다. 1958년 Harvard Business Review에 "Industrial Dynamic-A Major Breakthrough for Decision Maker"라는 논문발표 하였다. 이 때 Dick Bennett가 Dynamo의 전신인 SIMPLE(Simulation of Industrial Management Problems with Lots of Equations)을 만들었다. 이후 Jack Pugh가 DYNAMO를 만듦.1968년 보스톤시의 전 시장 John F. Collins가 Forrester 연구실 옆방으로 오게 되어 토론을 벌이면서 결국 Urban Dynamics로 발전하였다. Urban Dynamics로 인하여 World Dynamics나 Limits

to Growth, National Model등에 관한 프록젝트가 성사 되었으며, System Dynamics는 많은 사회적 관심을 받게 되었다.

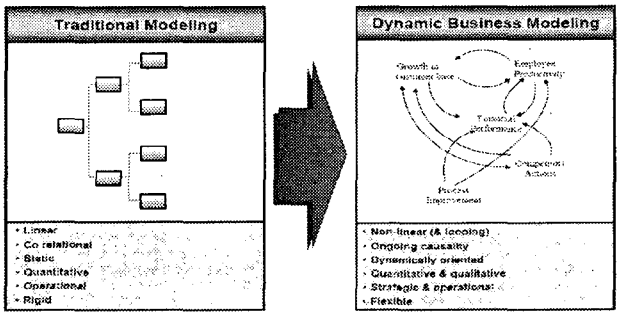
2.3.2 시스템 다이나믹스의 정의

시스템구성 변수들간의 관계를 Dx(t)dt = f(t,x,y)의 연립 미분방정식으로 나타낸다. x는 수준(level) 변수들의 벡터를, y는 비율(rate) 변수들의 벡터를, f는 비선형 벡터함수를, t는 시간을 의미한다. 따라서 파라미터보다는 시스템의 구조와 변화행태 파악을 중점으로 하는 방법론이다.



<그림 1> 시스템 다이나믹스의 정의

2.3.3 수리.통계학과 시스템 동태학의 비교

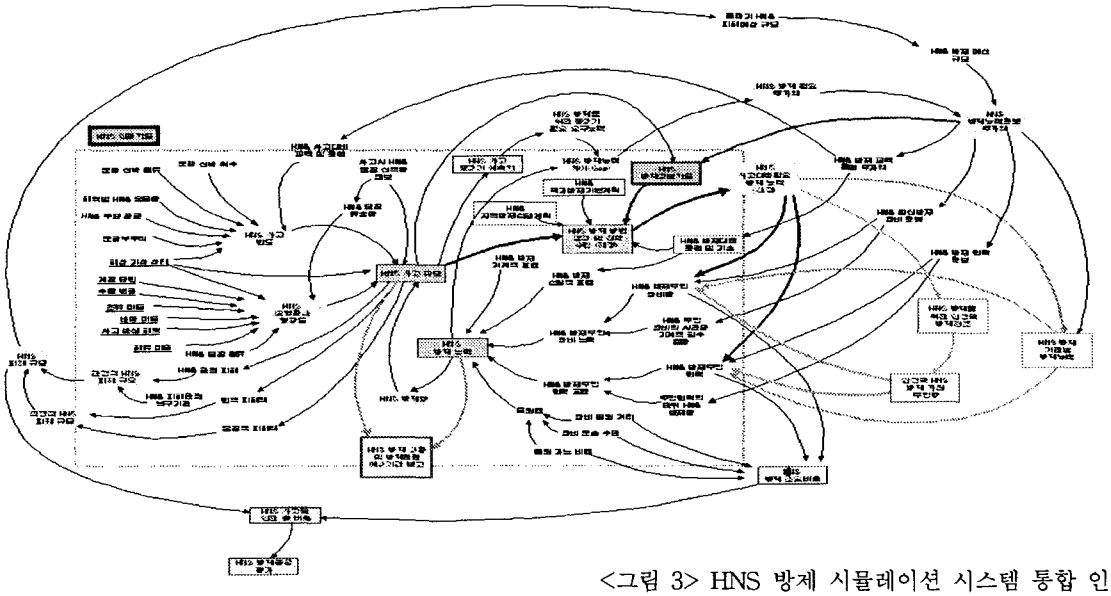


<그림 2> 선형정 관계와 인과관계의 비교

일반적으로 수리 통계학적 접근법과 가장 큰 차이점은 시뮬레이션에서 변수간 선형관계 모델링 및 비선형관계 모델링 기능 지원하지만 변수간 단선적 관계를 반영한 독립변수와 종속변수간의 선형 시뮬레이션 기능을 가진 통계학적 시뮬레이션 접근법은 한계를 가질 수밖에 없으며 정성적인 부분은 풀이가 쉽지 않다.<표 4>

<표 4> HNS 관련 시스템 동태학과 수리 통계분석 기법

구분	시스템 동태학 접근	수리 통계적 접근
HNS 오염사고 분석 목적	HNS 변수간 상호 영향관계를 근거로 시간에 따른 시스템의 변화 분석	과거 자료 분석을 근거로 변수의 추정 또는 회귀분석
적용 앨고리즘	HNS 변수간 관계 설정은 영향변수간의 다이나믹 변동 시나리오에 따라 지속적으로 변화	변수간 관계 설정에 있어 정해진 수리 및 통계적 공식 적용
변수간 연결관계 구조	변수간 영향관계가 입체적, 피드백순환 관계 구조	변수간 영향관계가 선형적, 단선적 관계를 반영하는 구조
HNS 방제능력 시뮬레이션 기능	변수간 피드백 효과, 지연 효과, 복잡한 상호인과 관계를 시각화, 도식화한 동태적 다이나믹 시뮬레이션 기능	변수간 단선적 관계를 반영한 독립변수와 종속변수간의 선형 시뮬레이션 기능
시나리오 시뮬레이션 기능	HNS 오염방제 영향변수와 시나리오 시뮬레이션 시스템에 의한 HNS 종합 방제시나리오 시스템	결정된 시나리오의 입력값과 결과값을 수리적 영향관계를 기반으로한 시뮬레이션 수행
HNS 영향변수 관계	HNS 방제능력 시뮬레이션에서 변수간 선형관계 모델링 및 비선형관계 모델링 기능 지원	방제능력 산정에 있어, 구성변수간 선형 관계중심의 분석 기능 지원
HNS 방제능력 보고서 전달 기능	HNS 방제능력 시스템을 통한 자동 시뮬레이션 결과 보고서 출력기능	기초 데이터 분석을 통한 추가적인 보고서 작성과정 필요

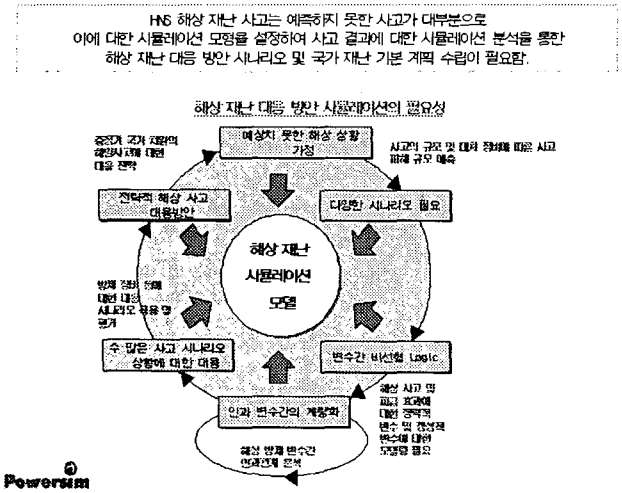


<그림 3> HNS 방제 시뮬레이션 시스템 통합 인과지도

3. 국가 방제능력 산정기준 모델 수립
(파워심을 이용)

3.1 시스템 다이나믹스를 활용한 인과지도 작성

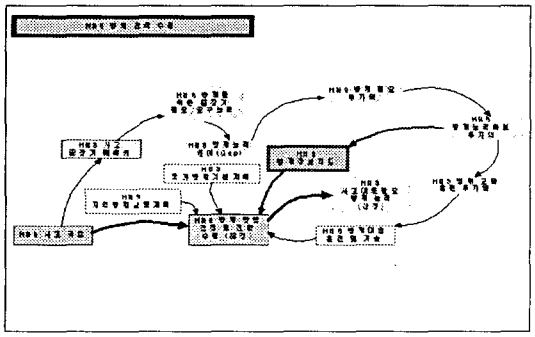
HNS를 위한 파워심 시뮬레이션 모듈



<그림 4> HNS 해상 재난사고 시뮬레이션 모형

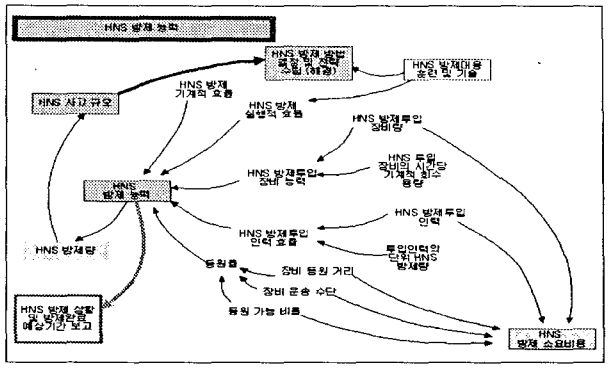
HNS 오염 방제관련 인과지도를 보면 크게 3가지로 나누어진다. 첫 번째 HNS 방제 전략 수립에 관한 부분과 두 번째로 HNS 방제능력 산정에 관한 부분, 마지막으로 HNS 방제자원의 투입에 관한 전략으로 구분되어진다.<그림 3>

첫 번째 HNS 방제 전략 수립 부분에서 HNS 사고규모와 HNS 지역 방제실행계획 또한 HNS 국가 방제 기본계획, HNS 방제정보지도 , HNS 방제 대응 훈련 및 기술의 영향을 받는다. HNS 사고규모에 따라 중장기 예측치를 개발하고 그에 따른 방제요구 능력의 산정과 현재의 방제 시나리오를 수립 할 수 있다.<그림 5>



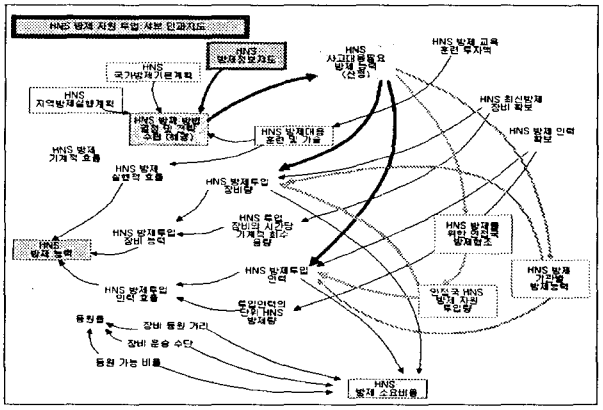
<그림 5> HNS 오염 방제 인과지도 세부 모듈-2

두 번째 HNS 방제능력 산정에 관련된 부분은 방제장비 및 방제 동원 인력 등을 고려한 방제 능력 산정을 할 수 있으며, 현재의 우리나라 또는 지역의 부분에서 부족한 부분을 보충할 계획안 수립에 참고자료로 활용 할 수 있다.<그림 6>



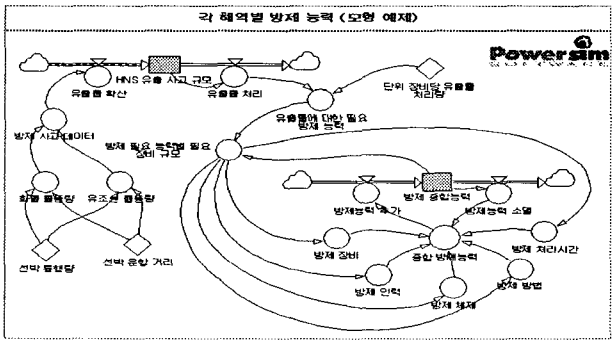
<그림 6> HNS 오염 방제 인과지도 세부 모듈-3

세번째 HNS 방제 자원의 투입에 관한 전략은 대형 사고의 경우 현재의 자원으로 힘든 경우 외국의 정비팀의 섭외나 인접국가와의 연계방안 그리고 인접국의 방제능력의 재고가 필요로 한다. 또한 해양사고의 초기에는 해경 또는 방제조합의 장비 또는 사고 당사자의 섭외에 따라 행하지만, 이것을 판단하는 것은 현장의 해경 청장이 주관한다. 이에 따른 이익과 손실을 고려할 수 있는 시뮬레이션 모듈이다. 그리고 방제자원의 훈련 상태를 점검하여 이에 반영하고 항상 방제 자원을 능력재고를 점검할 필요가 있다.<그림 7>



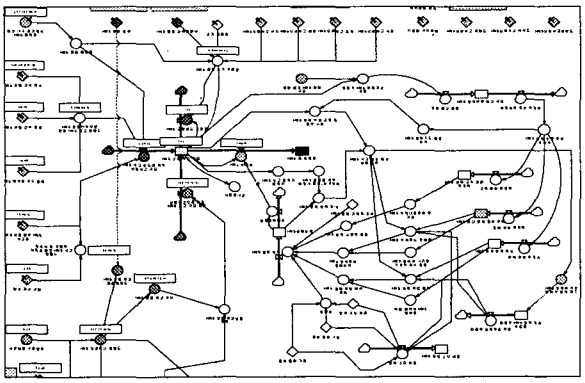
<그림 7> HNS 오염 방제 인과지도 세부 모듈-4

3.2 인과지도에 의한 모듈 확립



<그림 8> HNS 오염 방제 시뮬레이션 모듈

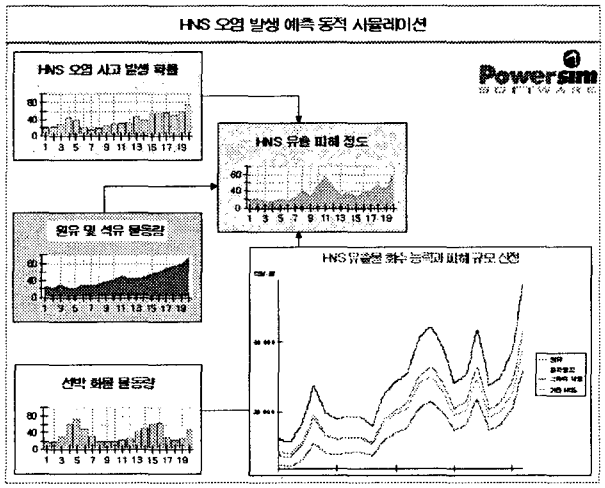
위의 그림은 각 해역별 방제능력을 시뮬레이션 모듈로 확립하여 다음과 같은 방법으로 모델링을 작성하였다.<그림 8>



<그림 9> 인과지도의 모델링

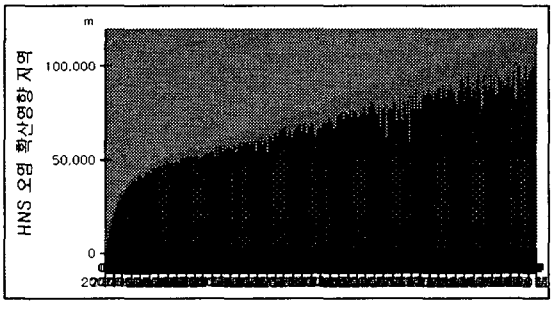
위의 <그림 9>는 앞에서 작성한 인과지도를 모델링 한 것이다.

3.3 파워심 프로그램의 시뮬레이션



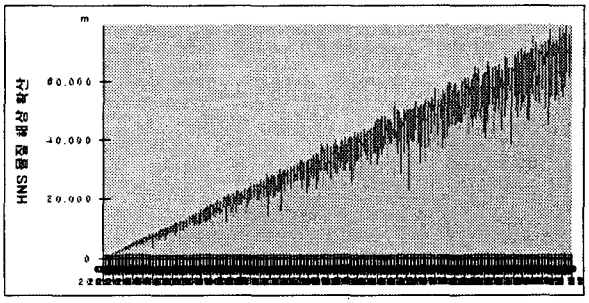
<그림 10> 해역별 HNS 물동량 예측 시뮬레이션 결과

HNS 오염사고 발생율을 HNS 물동량에 따른 사고의 최대, 최고 유출량을 산정하고 피해규모를 시뮬레이션한 결과 위의 <그림 10> 해역별 HNS 물동량 예측 시뮬레이션과 같이 나타났다.

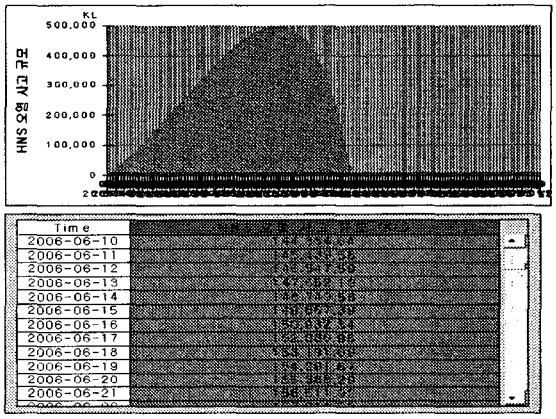


<그림 11> 해역별 HNS 오염 해상 확산 영향 시뮬레이션 결과

<그림 11> 과 <그림 12>는 해역별 HNS 오염사고 확산영향 지역를 살펴보면 수온, 파랑, 풍향, 풍속, 연안에서의 거리 등 여러 요소에 따른 취송류 공식을 시뮬레이션 하고 그래프로 나타낸 것이다. 파워심의 프로그래밍 작업시 이러한 수식을 적용하여 시간에 따른 오염사고 확산 모형을 만들 수 있다. 이것은 방제작업시 예측자료의 수집은 매우 중요한 부분이라 할 수 있다.

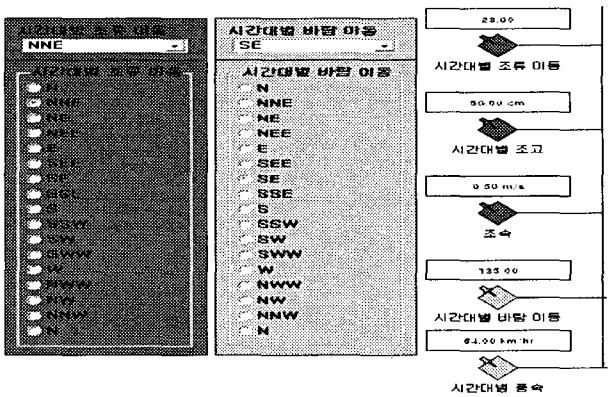


<그림 12> 해역별 HNS 오염사고 확산 평가 결과

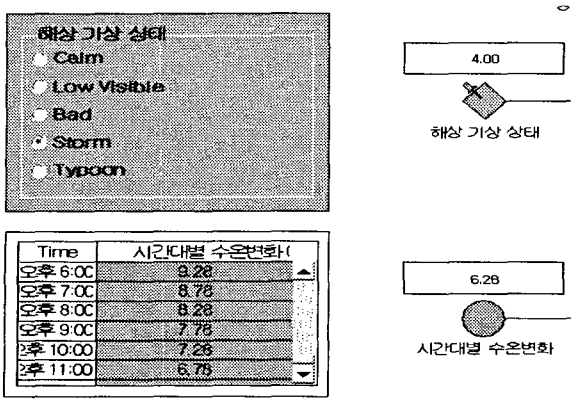


<그림 13> HNS 오염 사고 규모 시뮬레이션 결과물

파워심 프로그램에서 날짜별 시간별로 시뮬레이션 기능이 있다. 이것을 사용하여 기간별 세분화한 데이터를 얻을 수 있으며, 이는 MS 엑셀 등의 데이터와 연동 가능하며, 이러한 자료는 실제 확산과 비교해 볼 수도 있으며, 또한 방제계획 수립에 참고자료로 사용할 수 있다.

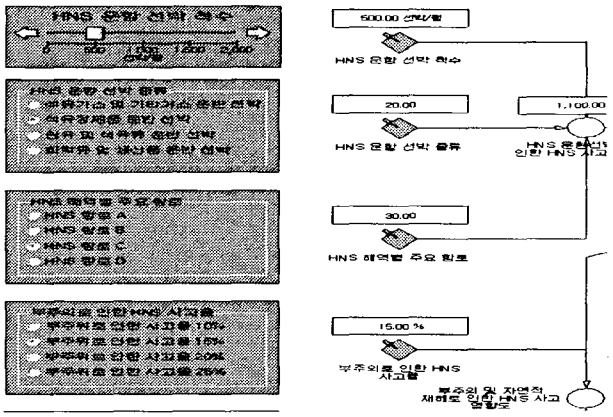


<그림 14> 시간대별 외부 환경 변수 입력요소



<그림 15> HNS 오염사고 해상 상황 정보 입력요소

<그림 Ⅲ-11> <그림 Ⅲ-12>과 <그림 Ⅲ-13> 은 파워심 프로그램의 데이터 입력의 화면이며 그림 오른쪽은 위의 입력치를 모델링 해놓은 모습이다. 이러한 입력 자료를 사용자가 직접 적용할 수도 있으며, 또는 다른 데이터를 불러와 사용할 수도 있다.



<그림 16> HNS 물동량 예측을 통한 오염사고 예측 모형

중장기 HNS 국가/지역 방제체제에 대한 HNS 방제능력 평가를 위한 HNS 오염사고 대비·대응 방제장비, 인력, 전략적 방제시나리오 도출은 Powersim 소프트웨어[2]의 동태적 시뮬레이션 로직으로 구성한다.

4. 결 론

HNS 방제능력 시뮬레이션 모듈을 통하여 오염사고 최대유출량 예측 및 현행 HNS 방제장비능력 평가, 방제시나리오 시뮬레이션을 통한 전략적 투입자원 산정, 중장기 필요 방제자원 확보를 위한 금액 산출을 기반으로 한 HNS 방제 예산을 과학적 기법으로 산출하는 것이 필요하다.

본 연구에서는 국가방제계획의 수립 시, 비상상황에 대한 시뮬레이션 모형 구축 필요하며 대형방제장비와 국가 및 지역 방제계획 수립 등으로 변화된 HNS 국가방제능력을 재평가하여 장기적인 방제정책 수립 기반 마련 필요하다.

또한 HNS 방제 능력 체제에 대한 현재의 대응 능력에 대한 시뮬레이션은 향후, 예측하지 못하는 비상상황을 설정하여, 투입이 필요한 장비 능력과 비상 상황을 성공적으로 종료하기 위한 필요 장비 능력 시뮬레이션과 국가 방제 능력의 계량화된 시뮬레이션에 시스템 동태학의 Powersim 모듈 적용 국가 방제 기본계획 및 지역 방제 실행계획에 대한 사전 시뮬레이션 국가별 방제 능력 지수 산정에 대한 시뮬레이션 모듈을 수립하여 유지 관리가 필요하다.

본 연구는 기초적인 자료를 활용하여 모듈을 수립하였다. 본 연구에서는 방제능력산정에 중점을 두고 모델링을 하였으나 앞으로 이러한 시스템 다이나믹스 기법을 이용한 파워심 시뮬레이션 프로그램을 활용하여 전략적 방제시스템을 구축하기 위해 방제지원시스템에 관한 심층적 연구도 꼭 필요한 것으로 사료된다.

참고 문헌

[1] 해양수산부, 위험유해물질 관리시스템 구축용역,2002
[2] 일본 해난방지협회, 위험물 해상운송시 사고대응 매뉴얼,2003
[3] 해양수산부, 위험유해물질 관리기구 설치방안 개발,2003
[4] 이수형, "유류오염이 해양생태계에 미치는 영향 및 대응방안," 해양오염방제기술에 대한 자료집, 한국기계연구원, 해양경찰청,1995
[5] 목진용, "우리나라 기름오염 방제제도의 문제점과 개선방안", 해양환경안전학회, 제 7권 제 2호,2001
[6] 목진용, 박용욱, 유류오염사고 대비 해안방제체제 구축방안, 한구해양수산개발원, 2001
[7] 한국해양오염방제조합, "해양 오염과 적조",1996
[8] 조동오, 박용구, 목진용, 윤성순, "해양오염대비 국가위급계획 수립전략에 관한 연구", 한국해양수산개발원,1998
[9] 조동오, 목진용, "우리나라 해양오염 방제능력의 제고방안", 해운산업연구소,1994
[10] 해양경찰청, "대형해양 오염사고에 대비한 인접국가간 협력 추진 방안", 1998
[11] 해양경찰청 , "국가 방제제도 개선 및 방제능력 확충방안 연구",1997

2) Powersim 소프트웨어 : 미국 행정부, 에너지 분야 등에서 적용되고 있는 MIT 대학의 시스템 동태학 이론을 동태적 시뮬레이션 모델링으로 구현하는 소프트웨어로서, 시뮬레이션 변수들의 데이터 통합과 시뮬레이션 결과 및 모델링 과정에 대한 그래픽 정보 및 테이블 정보를 체계적으로 표현하는 툴이다. 모든 자료는 엑셀 데이터와 입력 및 출력에 있어 호환성이 있으며, 영어, 일본어, 중국어를 비롯한 다국어를 한국어와 연동하여 표현 가능하다.