

시스템 다이내믹스를 이용한 해양오염관리 유인(誘因) 분석

문정환* · 하민재** · † 윤종휘

* 한국해양대학교 대학원, ** 전남대학교 해양경찰학과 비전임교원, † 한국해양대학교 해양경찰학과

Analysis of Marine Pollution Management Cause using System Dynamics

Jung-Hwan Moon* · Min-Jae Ha** · † Jong-Hwui Yun

* Department of Coast Guard Studies, Graduate school of Korea Maritime & Ocean University, Busan 606-791, Korea

** Department of Coast Guard Studies, Chonnam National University, Yeosu, 550-749, Korea

† Department of Coast Guard Studies, Korea Maritime & Ocean University, Busan 606-791, Korea

요 약 : 이 논문은 직·간접적으로 연결되어 있는 해양오염관리의 동태적 현상을 파악하고 해양오염 및 관리 유인을 분석하고자 한다. 이 논문에서는 시스템 다이내믹스 분석 기법을 사용하여 해양오염 및 관리에 대한 하위 시스템을 분석하고 시스템 구성요소간의 피드백 루프(Feedback loop)를 작성하였고, 이를 바탕으로 해양오염관리의 전체적인 인과지도(Casual map)를 작성하였다. 이 논문의 주된 결과는 다음과 같다. 첫째, 기름유출시 초동방제 유인간 시간지연에 따른 피드백 루프 침체에 대한 장비 및 기술개발, 법률적 개정이 필요하다. 둘째, 사회적 갈등으로 발생된 부식공동체 확산방지를 위한 협력체 구성 및 신사업 창출을 통한 생계수단이 마련되어야 한다. 셋째, 기름유출의 해양오염관리를 단순히 유출된 기름을 제거하는 방제뿐만 아니라 유출로 인한 지역사회 및 국가차원의 사회적 갈등까지 최소화시켜야 할 책무도 포함되어야 한다. 본 연구에서 제시된 해양오염관리 모델을 통해 기존 방제계획, 매뉴얼 및 대응 프로그램의 개선에서 확인할 수 없었던 시간지연 등의 숨은 유인(Hidden cause)을 확인하고, 광의의 방제활동이 더욱 중요해졌음을 인지하여, 이를 해결 할 수 있는 방향을 제시하는데 도움을 줄 수 있을 것이라 판단된다.

핵심용어 : 시스템 다이내믹스, 해양오염관리, 초동방제, 시간지연, 사회적 갈등, 부식공동체

Abstract : This paper is to identify the dynamic phenomenon of the marine pollution management that is connected directly or indirectly by using system dynamics analysis. The method used herein is based on system dynamics analysis that analyzed the sub-systems for marine pollution management. Furthermore designed feedback loop between system elements. And made total casual map of marine pollution management. The main results of the paper are the following : 1. It's necessary to equipments and technology development and law revision for feedback loop slump of initial measures delay in oil spill. 2. It should be come up with partnerships and new business for community corrosion non-proliferation caused by social conflicts. 3. Marine pollution management should be an obligation that must be minimized to include social conflicts in the community and national levels besides oil spill response on-site. This model confirmed the hidden cause of delay by existing response plans, manuals and programs. And oil spill response in broader sense is more important from now on. The result can be useful in the guidance of marine pollution and management.

Key words : System Dynamics, Marine pollution management, Initial measures, Delay, Social conflict, Corrosive community

1. 서론

초대형 유조선의 입출항의 증가에 따라 연안해역에서 발생하는 유조선 충돌, 좌초 등에 따른 재난적 해양오염사고 발생 및 재발의 위험성이 증가하고 있다. 이에 우리나라는 국가 방제계획(NCP), 지방 방제실행계획(RCP), 선상 기름오염 비상계획서(SOPEP), 위기대응 실무매뉴얼, 대규모 해양오염 현장조치 행동매뉴얼, 해양안전 종합정보시스템, 해상교통관제센터(VTS), 항로 예상프로그램, 유류확산 예측프로그램 등으로

비교적 완벽하게 짜인 예방위주의 해양오염관리체계를 제도화시켰다. 그러나 정부의 이러한 노력에도 불구하고 시스템상 매개간 소통에만 머무름으로써 재난적 긴급사태에 대한 대응에 한계를 드러냈다. Kim(2008)은 지휘체계 혼선, 기상 악천후 시 대응능력 부족, 동원·지원·관리체계 미흡 등으로 초동대응실패를 지적했다. Yun(2010) 등은 지역별 특성을 충분히 반영하여 방제효율을 높이기 위해 현행 국가방제능력 대신 지역방제능력의 새로운 개념을 도입했다. Kwon(2012)은 유출과공의 우선적 봉쇄를 통해 피해규모 축소할 수 있는 장비개발의

* First author : 연희원, phd.moonjh@daum.net 051)410-4834

** 연희원, hmj153@naver.com, 051)410-4834

† Corresponding author : 종신회원, jhyun@kmou.ac.kr 051)410-4279

(주) 이 논문은 “시스템 다이내믹스를 이용한 해양오염관리 페러다임 변화 분석”이란 제목으로 “2014 공동학술대회 한국해양학회 논문집(한국해양대학교, 2014. 6. 12-14, pp. 249-250)”에 발표되었음.

부채를 지적했다.

이렇듯 해양오염관리의 한계를 극복하기 위해서는 해양오염관리상 직·간접적인 원인에 대한 보다 종합적인 분석이 요구된다. 기존의 연구들은 특정한 현상 또는 문제의 해결, 해양선진국 시스템의 벤치마킹 등 강화된 대책을 발표했지만 이러한 대책 및 관리가 무색하게 오염사고는 발생하고 언론보도를 통해 이전 오염사고의 악몽을 떠올리며 불신과 두려움 속에 정부의 조속한 대책이 요구 및 마련되는 악순환이 되풀이된다.

따라서 본 연구는 시스템 다이내믹스(System Dynamics) 기법을 적용하여 다양하게 직·간접적으로 연결되어 있는 해양오염관리의 동태적 현상을 파악하고 해양오염 및 관리 유인(誘因)을 분석하고자 한다. 해양오염 및 관리에 대한 하위 시스템을 분석하고 시스템 구성요소간의 피드백 루프(Feedback loop)를 작성하였고, 이를 바탕으로 해양오염관리의 전체적인 인과지도(Casual map)를 작성하여 동태적인 구조를 파악하였다. 나아가 해양오염관리에 영향을 미치는 유인들의 관계를 종합적으로 분석 및 제시하고자 한다.

2. 해양오염관리의 시스템 다이내믹스 분석

2.1 시스템 다이내믹스 기법

1961년 “산업동태론”을 시작으로 출발한 시스템다이내믹스는 1970년대의 세계환경 모델링과 국가경제 모델링(National modeling)의 거시적 연구를 거쳐 1980년대에는 기업조직의 동태적 적응과정에서 의사결정자의 역할이라는 다소 미시적인 연구에 초점을 두면서 발전하여 왔다. 시스템 다이내믹스의 응용범위나 강조점은 시대에 따라 변화되어 왔지만, 시스템 다이내믹스의 고유한 방법론적 특성은 지난 40여년간 유지되어 왔다. 첫째, 시스템다이내믹스는 시스템의 동태적인 행태변화(Dynamic behavior) 즉 시간의 경과에 따른 시스템의 행태 변화에 관심을 둔다. 둘째, 시스템 다이내믹스는 동태적인 변화의 근본적인 원인을 피드백 구조에서 찾는다. 피드백 구조란 변수들 간의 인과관계가 상호 연결되어 하나의 폐쇄회로를 형성하는 것을 의미한다. 또한 피드백 구조에 대한 강조는 시스템의 변화를 특정변수에 관련된 파라미터의 변화에서 찾기보다는 시스템의 전반적인 구조에서 찾는다는 점을 의미한다. 이는 대부분의 정책성공이나 실패가 특정변수에 관련된 파라미터에서 기인되었다기보다는 정책의 성공조건이나 실패조건(장애조건)과 관련된 각종 변수들 간에 존재하는 피드백 구조를 발견함으로써, 정책성공이나 정책실패의 원인을 구조적인 측면에서 이해하고 정책처방을 내리는 것이다.(Kim, 2001)

2.2 인과지도 분석

시스템다이내믹스 모델링을 수행하는 첫 번째는 시스템과 환경을 구분하는 일이며, 두 번째는 시스템의 피드백 구조를 파악하는 일이다. 일반적으로 인과지도는 세 가지 요소로 구성된다. 첫째, 화살표를 사용하여 변수와 변수간의 인과관계의

방향을 표시한다. 여기에서 인과관계는 직접적인 인과관계를 의미한다. 둘째, 화살표와 함께 +나 -부호를 사용하여 인과관계의 방향을 표시한다. 화살표 방향 표시부분의 +부호는 두 요인이 같은 방향으로 변화하는 것을 뜻하며 -부호는 두 요인의 변화방향이 다르다는 것을 의미한다. 셋째, 여러 개의 인과관계들이 하나의 폐쇄된 원을 형성할 때 이를 피드백 루프라고 한다. 특정 시스템을 바람직한 방향으로 변화시키고자 한다면, 그 시스템에 내재되어 있는 피드백 루프들을 확인하고 피드백 루프의 역동력을 활용하거나 아니면 피드백 루프의 구조를 변화시켜야만 한다.(Kim, 2001)

과거 인과지도 분석은 시스템의 피드백 구조를 파악하는 데 그치며, 시스템의 동태적인 행태에 관한 분석은 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하는 시스템다이내믹스 모델을 통해 이루어지는 것으로 인식하였다. Axelrod(1976)의 「의사결정의 구조(The structure of Decision)」 출간 이후 인과지도 분석이 시스템다이내믹스의 연구기법으로 본격화되었다. 즉 시스템다이내믹스를 시뮬레이션의 도구에 더해 학습의 도구(learning tools)로 바라보는 관점으로 발전시킨 것이다. 또한 Meadows(1982)는 시스템다이내믹스에 있어 시뮬레이션에서 앞서 모델링을 위해 시스템을 바라보는 관점이 중요하다는 것을 강조하였다. 여기에 더해 Coyle & Wolstenholme(1983)은 인과지도만으로 시스템 분석이 가능하다는 것을 주장하였다. 즉 데이터화하기 어려운 변수에 대한 무리한 수량화를 통해 시뮬레이션을 수행하기보다는 각 요인과 전체 시스템의 이해와 통찰력을 높이기 위한 인과지도 분석이 시스템을 이해하는데 더욱 적합하다는 것이다. 이러한 과정을 거쳐 현재 인과지도의 구성과 분석은 시스템다이내믹스 가운데 모델링과 시뮬레이션과 같은 엄격한 분석기법을 사용하지 않고서도 시스템을 진단하고 이해하고 정책적 시사점을 도출할 수 있다는 방법으로 인식되고 있다.(Choo, 2006 quoted in Coyle, 1998; Kim et al., 2001; Kim, 2000; Jung, 2005)

2.3 해양오염관리의 시스템 다이내믹스 접근

복잡하고 다원화된 현대사회에서 발생하는 해양오염사고의 각종 현상을 파악하는데 한계가 있다. 하나의 원인으로 발생하는 사고는 없으며 다양한 원인간의 관계를 상호 복합적으로 결부되어 발생하는 만큼 이들 원인간의 관계를 고려해야만 사고가 발생한 정확한 이유를 설명할 수 있다. 또한 원인간 관계가 없다고 여겨지는 것까지 직·간접적으로 상호 영향을 미치는 경우도 많다.

해상에서 발생한 재난적 기름유출사고에 대한 해양오염관리는 여러 가지 요인에 의해 영향을 받으며, 오염행위자, 방제수행기관(정부기관), 지역주민 등 다양하고 복잡한 이해관계가 얽혀있는 현상이다. 방제수행기관 외에 오염행위자나 지역주민은 어느 경우에는 매우 적극적으로 참여하지만 어느 경우는 매우 소극적인 모습을 나타내기도 한다.

또한 해양오염사고에 대한 이해관계와 파급효과, 사고에 대한 인식과 행태의 차이 등 다양한 요인들이 매우 역동적으로

작용한다. 따라서 해양오염관리를 분석하기 위해서는 다양한 요소간 상호작용에 대한 종합적인 접근을 할 수 있어야 한다. 그럼에도 불구하고 요소간 단선적 접근 및 사고원인에 대한 인과관계만을 분석하게 된다. 이러한 단선적 접근은 해양오염 사고에 대한 원인과 결과에 대한 파악은 용이하나 상호 인과관계를 통한 해양오염관리에 미치는 역동적인 접근은 불가능하다. 기존의 해양오염관리에 대한 연구 및 개선은 방제수행 기관 측면, 즉 정부기관의 방제수행에 필요한 장비 및 제도개선에 초점이 맞춰져 있었다. 이는 실질적으로 오염원제거 외 전반적인 해양오염관리에 대한 연구는 부족한 실적이다.

따라서 본 연구에서는 시스템 다이내믹스 분석법을 이용해 해양오염관리 유인간의 동태적 관계를 파악하고 이에 대한 원인의 인과관계를 종합적으로 파악하고자 한다.

3. 해양오염관리에 대한 시스템 다이내믹스 모델

시스템다이내믹스 연구는 인과지도 작성에 있어서 경계를 설정하는 작업을 필요로 한다. 즉 어디까지를 시스템의 테두리 안에 포함할 것인가를 정하는 것이다. 해양오염관리를 하나의 시스템으로 볼 때 해양오염의 유형 및 방제방법, 관리대상 및 특성 등의 경계 설정에 따라 다양한 시스템으로 나타날 수 있다. 본 연구에서는 재난적 기름유출 사고시 해양오염에 따른 해상 및 해안방제가 수행되는 과정과 수행시 발생하는 피해사항을 인과지도의 경계로 설정하고 해상 및 해안방제와 방제수행시 발생하는 사회현상에 대한 변수를 추출하고 이에 대한 모델을 도출했다.

3.1 해양오염관리 유인 변수 추출

해양오염관리 유인은 수행업무, 기술개발, 시스템 개선 등 다양한 측면에서 설명이 가능하지만, 해양오염 사고시 대응에 필요한 미시적인 측면으로 접근하여 전반적인 해양오염관리에 대한 유인을 직접적으로 설명하지 못하고 있다. 이에 사고시 직접적인 방제활동이나 이에 영향을 미치는 유인과 관련된 직접적인 요인뿐만 아니라 사고로 인해 발생하는 사회현상에 대한 유인관계를 설명하고자 한다.

1) 방제수행 변수 추출

재난적 해양오염사고가 발생하면 해역 주무관청에 사고를 신고하고 선사(船社)에 상황을 보고함으로써 필요한 초동방제 활동이 진행된다. 사고현장에 도착한 해양경찰, 해양환경관리공단, 민간방제업체 등은 유출된 기름 및 사고선박 등의 현장을 관측하여 사고선박 주변에 오일붐(Oil boom)¹⁾을 진장하고 해·기상조건 및 유출량에 따라 방제세력을 조종 및 재배치한다. 또한 유출되고 있는 기름의 파공을 봉쇄하기 위해 썰기,

용접 등의 방법으로 유출을 봉쇄시킨다. 선정된 변수를 정리하면 Table 1과 같다.

Table 1 Response variables

Category		Variables
Response	Offshore	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Government ▪ Polluter
	Shoreline	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Local government ▪ Resident
	Initial measures	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Installation of Oil-boom ▪ Stop up the hole

2) 사회현상 변수 추출

재난적 해양오염사고가 발생하면 해당 지역주민의 생계수단은 파괴된다. 이로 인한 심리적 고통은 부식공동체를 형성하게 되고 지금과는 전혀 다른 공공근로, 배상/보상 등의 방법으로 생계수단이 전환됨에 따라 내부경쟁이 심화되고 사회적 갈등은 증폭된다. 더욱이 이러한 피해자의 고통에 초점이 맞춰진 언론의 전달은 특정집단 또는 인물의 과실로 집중되어 사고의 원인 및 책임을 규명하는데 머무르게 된다.

적극적으로 사고현장에 지원하는 봉사자가 몰림에 따라 장비가 부족하게 되고 안전교육이 미 실시 됨으로써 2차, 3차 피해가 발생할 우려가 있다. 선정된 변수를 정리하면 Table 2와 같다.

Table 2 Social variables

Category		Variables
Social	Social conflict	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Livelihood destruction ▪ Corrosive community
	Media	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Convey an impulse
	Volunteer	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Positive activity ▪ Lack of equipment ▪ Do not safety checks

3.2 해양오염관리 인과지도

인과지도는 앞에서 선정된 방제수행 변수 및 사회현상 변수의 인과관계를 통한 강화 프로세스, 조절 프로세스, 지연 등의 시스템 구성 블록을 작성하는 방법과 Senge(1990)가 제시한 10가지 시스템 원형²⁾을 적용 및 확장하는 방법이 있다.

본 연구에서는 Senge(1990)가 제시한 시스템 원형뿐만 아니라 변수간 인과관계를 토대로 해양오염관리 현상에서 추출된 유인변수를 기초로 인과지도를 작성하였다.

1) 방제수행 인과지도 작성

Fig. 1은 방제수행을 통해 기름 유출을 나타낸 것으로 이들 사이의 인과관계 피드백 구조를 보여주고 있다.

1) 관련 법상 “오일펜스(Oil fence)”라고 지칭하고 있으나, 오일펜스는 오일붐의 한 종류이기 때문에 본 논문에서는 오일붐으로 칭한다.
 2) Senge는 저서를 통해 10가지 원형을 제시하였고, 이를 통해 우리의 인식을 변화시켜 활동 속에서 구조를 볼 수 있는 능력을 키우고, 파악된 구조 속에서 수단을 발견하는데 그 목적을 두고 있다.

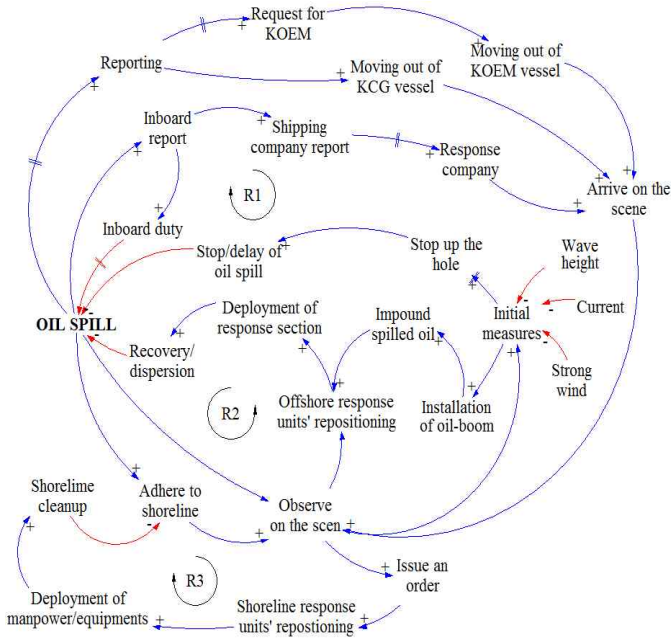


Fig. 1 Response casual map

초동대응 루프(R1)는 음(-)의 피드백(Negative feedback) 루프3)로서 기름유출 사고후 초동대응을 실시하여 기름유출을 조절하는 역할을 한다. 기름이 유출되면 상황보고 및 사고 신고를 통해 선상 기름오염 비상계획서의 임무에 맞춰 방제가 실시되고 해양경찰청의 함정이 사고현장으로 급파된다. 급파된 함정에서는 사고선박 주변에 오일붐을 전장하지만 사고해역의 파고, 조류, 강풍 등의 환경적 요인으로 오일붐 및 파공 붕쇄의 효과는 줄어들어 기름유출의 지연 및 유출된 기름의 포집은 그만큼 둔화된다. 그럼에도 불구하고 이후 추가적인 해상방제세력을 조정 및 배치함으로써 유출된 기름의 회수/처리/분산 작업을 통해 유출된 기름으로부터의 피해에 제동을 거는 작용을 한다.

그러나 초동대응 루프 가운데에는 시간지연(Delay)이 5곳4)으로 각 요소 행위자들로 하여금 적절한 시기에 대응을 못하고 있음을 확인할 수 있는 점이다. 기름이 유출되고 있는 사고선박에서의 방제수행이 늦춰지는 상황과 사고신고 후 해양경찰청의 함정 외에 신속하게 현장에 도착할 수 없는 상황과 더불어 기름의 유출을 원천적으로 봉쇄할 수 있는 파공붕쇄 및 오일붐을 통한 기름포집까지의 시간지연은 결국 현재까지 시스템 개선에서는 놓치고 있는 부분임을 확인할 수 있다.

초동대응 이후 진행되는 해상방제 루프(R2)도 음(-)의 피드백 루프로서 사고현장을 지속적으로 관측함으로써 기름유출을 조절하는 역할을 한다. 유출된 기름이 많으면 많을수록 사고현장에서 관측 및 판단의 상황이 많아진다. 즉, 해상방제세

력을 조정하고 배치하는데 고려되어야 할 요인이 증가하게 되며 유출된 기름을 회수/분산/처리하는 전략 및 수단이 확대되어 기름유출의 피해에 제동을 거는 작용을 한다.

유출된 기름이 해상에서 성상이 변화되어 해·기상 상황에 따라 일정 시간이후에 해안에 부착하게 된다. 이후 진행되는 해안방제 루프(R3)도 음(-)의 피드백 루프로서 기름이 부착된 해안의 현장을 지속적으로 관측하여 오염된 해안의 피해를 조절하는 역할을 한다. 이를 통해 전략 등의 지침이 전달되고 해안방제세력을 조정 및 재배치함으로써 해안에 부착된 기름을 회수(제거)하는 작용을 한다. 그러나 해안방제를 통해 직접적으로 기름유출 요소에 영향을 미치지 못하며 유출을 통해 해안에 부착된 기름만을 제거하는 매우 소극적인 방제활동이 이뤄진다는 것을 볼 수 있다.

방제수행시 기름유출에 대한 인과지도는 3개의 피드백 루프의 단계적 인과관계에 의해 이뤄졌으며 3개의 피드백 루프가 초동-해상-해안의 순서로 진행된다. 사고 직후 신속하게 진행되는 초동대응은 가장 많은 인과관계를 나타냈지만 진행시 유인간 시간지연으로 인하여 실질적인 초동대응(R1 루프) 효과없이 현장관측에서 R2 피드백 루프가 진행되고 해·기상 조건에 의한 시간지연에 따라 R3 피드백 루프가 진행된다. 이는 지금까지 인적/물적 장비의 증가 및 시스템 개선/과학화를 통해 비교적 완벽하게 짜인 관리체제를 제도화하였지만 효율적인 방제수행을 위해서는 유인간 발생하고 있는 시간지연의 최소화 및 제거가 최우선적으로 매우 중요하다는 것을 단편적으로 보여주는 피드백 루프라는 것에서 큰 의미가 있다.

2) 사회현상 인과지도 작성

Fig. 2는 재난적 기름유출 사고시 발생하는 사회현상에 대한 인과관계 피드백 구조를 나타낸 것이다.

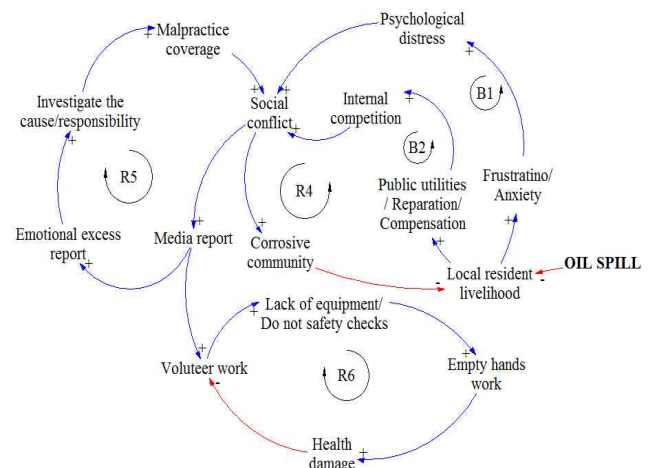


Fig. 2 Social casual map

3) 피드백 루프 구조가 양의 피드백 시스템인지 아니면 음의 피드백 시스템을 추정하는 방법은 마이너스 화살표의 개수가 홀수 개이면, 그 시스템은 음의 피드백 시스템이라고 할 수 있다. 만약 마이너스 화살표의 개수가 짝수 개이면 그 시스템은 양의 피드백 시스템이라고 할 수 있다.(Kim(2001))dp

4) 기름유출→사고신고, 선내임무→기름유출, 사고신고→KOEM협조요청, 선사보고→방제회사, 초동조치→파공붕쇄

사회적 갈등 루프(R4)는 기름유출 사고후 직접적으로 생계수단이 상실되는 지역 공동체에 발생되어 지속적으로 진행될 수록 갈등은 증폭된다. 생계수단의 상실에 따른 피해 배상/보상 및 공공근로의 확대는 단기적인 처방은 되겠지만 장기적으로 볼 때 문제를 더욱 악화시킨다. 특히 생계수단 상실로 가중된 좌절감과 불안감은 심리적 고통을 증폭시키는 원인으로 작용하고 있는 가운데 금전적 해결은 공동체 내부경쟁을 가속화시킴으로써 사회적 갈등은 더욱 증폭되고 해당 공동체는 더욱더 부식되어 간다.

재난적 해양오염사고 발생시 대부분 언론보도(R5) 루프는 양(+)의 피드백으로 자극적인 언론 어뷰징(Abusing)현상이 강화된다. 언론은 기름유출 사실보다는 그로인한 사회문제가 대두되어야만 비로써 민감하게 반응하여 사고의 원인에 대한 심층분석보다 끔찍한 악몽을 되새기는 선정적인 형태의 감정 과잉보도가 더 많이 제공된다. 이를 통해 사고의 책임을 정부, 공공, 사고기업에게 물으며 특정집단 및 인물의 과실에 집중하여 불안과 두려움을 일상으로 더 확산시킨다. 이는 결과적으로 사회적 갈등을 증폭시키는 작용을 한다. 언론보도를 통해 전국에서 모여든 자원봉사자는 지속적으로 증가하여 보급품의 부족 및 원활한 사전교육을 제대로 실시하지 못하고 투입되어 갯다리 등 단순작업으로 주로 별도의 장비없이 맨손으로 해안에 부착된 기름을 회수(제거)하는 작용을 한다. 또한 맨손으로 진행됨에 따라 건강상 피해가 발생하게 되고 이는 장기적으로 자원봉사 지원을 감소시키는 관계를 보여준다.

기름유출로 인해 발생하는 사회적 갈등과 이를 통한 언론 보도, 자원보상의 3개의 피드백 루프로 이뤄진 사회현상의 인과지도는 유인간 상승작용을 시키는 양(+)의 피드백체계로서 조절이 가능한 유인을 감소시켜서 다음 요소를 감소시킬 수 있다. 더욱이 해양오염사고로 인해 발생하는 사회적 갈등의 근본 문제는 생계수단 상실에 따른 금전적 해결이 아닌 상실을 최소화 또는 방안의 추가적 도입 등 피드백 구조변화의 정책이 요구된다.

3) 전체인과지도

앞의 각 인과관계를 종합한 피드백 루프를 살펴보면 음(-)의 피드백 관계를 나타내고 있다. 각 피드백 루프의 변수간 흐름을 정리하면 Table 3과 같으며 이 피드백 루프는 5개의 음의 피드백 루프(R1, R2, R3, R4, R6)와 1개의 양의 피드백 루프(R5)로 구성되어 있고 이들 변수간 흐름을 통한 전체 인과지도는 Fig. 3과 같다.

Table 3 The flow of individual feedback loop

Loop	Flow of variables
R1	Oil spill → notify → Emergency sailing → Arrived at the scene → On scene observation → Initial measures → Installation of

	Oil-boom → Filling spilled oil → Offshore response forces adjustment → Relocation → Recovery/Dispersion → Oil spill → ...
R2	Oil spill → On scene observation → Offshore response forces adjustment → Relocation → Recovery/Dispersion → Oil spill → ...
R3	Oil spill → Adhere to coast → On scene observation → Guideline notice → Coast response forces adjustment → Relocation → Recovery → Adhere to coast → ...
R4	Livelihood → Unrest → Psychological distress → Social conflict → Corrosive community → Livelihood → ...
R5	Social conflict → Media report → Emotional report → Investigation report → Focus on designated group/person → Social conflict → ...
R6	Volunteer support → Lack of equipment/Safety checks → Response unarmed → Coast response → ...

전체 인과지도를 모델링에서 기름유출시 피해규모 최소화와의 가장 중요한 골든타임인 초동조치에서는 시간지연이 존재한다는 점을 생각하지 못하면 행동을 과도하게 조절하게 되어 시스템이 목표상태에서 안정을 이루는 균형에 도달하지 못하고 목표를 중심으로 파동을 보이게 된다. Senge가 정리한 피드백 구조의 원형에서는 이러한 시간지연의 피드백 루프에서는 아무리 목표에 도달하고자 해도 파동만을 경험하게 되어 “혼란된 무능력”이나 “무력감”에 빠지게 되어 결국은 목표를 향한 일체의 노력을 포기하게 되며 목표를 향한 노력을 포기하는 경우 파동을 보이던 시스템은 급격히 쇠퇴하게 된다.(Kim, 2001)

또한, 기름유출로 인해 발생하는 사회적 갈등은 내부적으로 피드백이 이뤄지고 갈등의 원인이 되는 기름유출에 직접적으로 피드백을 하지 못하는 구조로 되어 있다.

4) 정책적 지렛대 탐색

정책적 지렛대란 제한된 정책자원(예산, 시간, 규제, 인력 등)을 조금만 투입하면 커다란 정책효과를 생산할 수 있는 정책개입지점을 의미한다.(Kim, 2001) 정책적 지렛대를 손쉽게 찾을 수 있는 공식은 아직까지 없으나 구성된 피드백 루프에서 병목지점, 임계점, 시간지연이 발생하는 변수 혹은 변수간 관계를 주의깊게 분석해야 한다.

방제수행 인과관계에서는 변수의 시간지연이 여러 곳에서 확인되었으며 이러한 시간지연으로 인한 시스템 파동을 안정화시켜야 한다. 이때 지연요소를 제거하거나 의사결정권자에게 새로운 정보를 제공하여 의사결정을 신속하게 유도함으로써 시스템의 파행을 약화시킬 수 있다. 결국, 사고후 사고선박에서의 신속한 방제활동 수행과 함께 신속히 사고현장에 도착한 방제세력의 초동조치가 가능한 장비 또는 기술개발이 절대적으로 필요하며 이에 상응한 제도적 개선이나 법률적 개정도 뒤따라야 한다. 또한, 사회적 갈등을 초래하는 피드백 루프는 정책목표에서 벗어난 지점에서 균형을 이루는 음(-)의 피드백 루프로서 이러한 정체화 고리(Stagnating circle)를 선순환 고리⁵⁾로 전환시키기 위해서는 음(-)의 피드백 루프를 양(+)의 피드백 루프로 전환시킬 수 있는 구조변화정책이 요구된다.

5) 양(+)의 피드백 루프를 선순환 고리(Virtuous circle)를 해석하며, 음(-)의 피드백 루프를 악순환 고리(Vicious circle)로 해석하는 언어상의 혼동이 있다. 사실상 악순환 고리와 선순환 고리는 양의 피드백 루프라는 동일한 피드백 구조를 갖는다. 양의 피드백 루프에서 정책목표를 향해서 강화가 이루어지면 선순환 고리라 부르고, 정책목표와 반대의 방향으로 강화가 이루어지면 악순환 고리라고 부른다.(Kim, 2001)

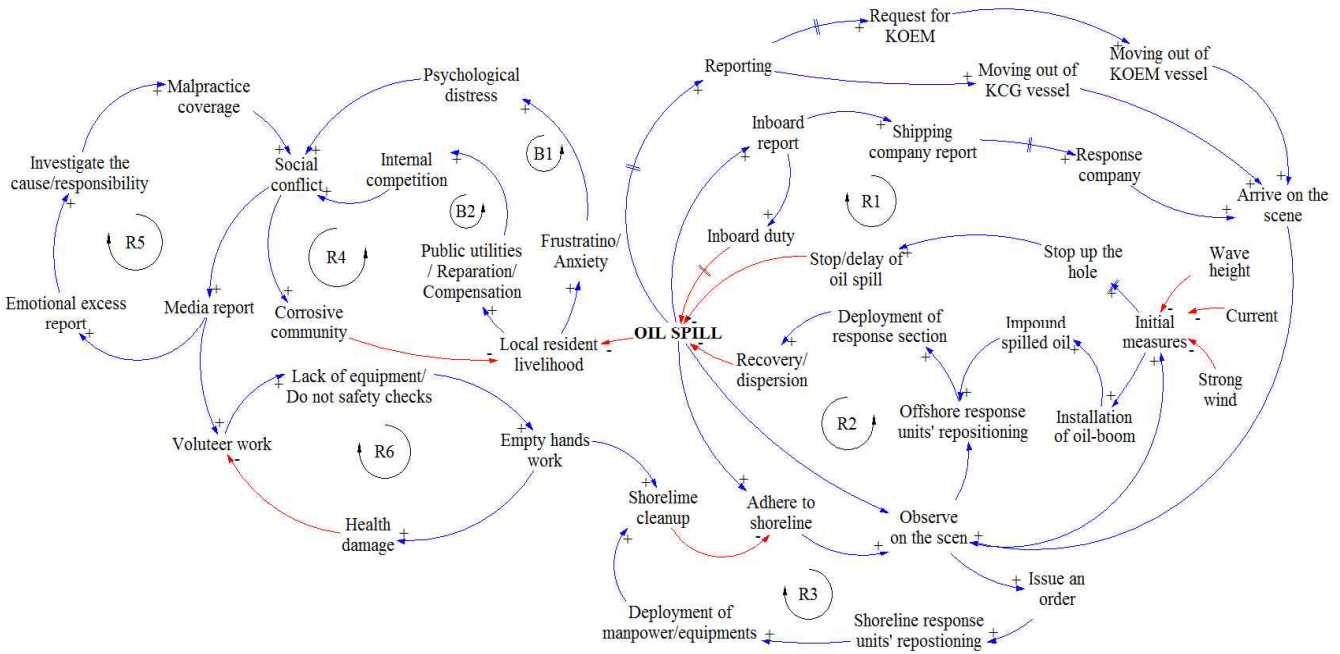


Fig. 3 Total casual map

즉, 사회적 갈등 변수에서 부식공동체 변수간 새로운 변수를 추가하여 양(+)의 피드백 구조로 전회시켜야 한다. 이를 위해 사회적 갈등으로 인해 각 공동체간 긴급 협력체를 구성하고 이를 국가에서 인정 및 지원함으로써 새로운 사업 창출 및 생계수단의 초석을 마련하여 부식공동체로 변질되는 관계를 최소화시킬 수 있다.

4. 결론

본 연구는 기름유출로 인한 효율적인 해양오염관리를 위한 기초연구로 사고시 직접적인 방제활동 및 사고로 인해 발생하는 사회현상을 시스템 다이내믹스의 인과지도를 이용해 관리유인간의 관계를 분석하였다. 작성된 인과지도를 정성적으로 분석하여 내용을 종합하고 활용방안을 살펴보면 다음과 같다.

첫째, 기름유출과 같은 재난적 해양오염사고는 초동대응이 무엇보다 중요함에도 불구하고 초동방제 전략수립시 변수간 시간지연이 요인간 다수 발생되어 피드백 루프의 침체를 지속 시킴에 따라 제도적·법률적 개선 및 개정과 함께 필요한 장비 확보 및 기술개발이 반드시 필요하다.

둘째, 재난적 해양오염사고 발생으로 사고해역의 생태계가 파괴됨에 따라 관련된 공동체의 생명, 건강, 경제, 사회관계, 미래계획, 문화 등에 걸쳐 피해가 발생하여 개인, 가족, 마을, 공동체, 지역사회로 확대되는 사회적 갈등으로 인한 부식공동체 확산을 방지하기 위해 지역 공동체내 협력체 구성 등으로 신사업 창출 및 생계수단을 새롭게 마련되어야 한다.

셋째, 기름유출의 해양오염관리를 단순히 유출된 기름을 제거하는 방제뿐만 아니라 유출로 인한 지역사회 및 국가차원의 사회적 갈등까지 최소화시켜야 할 책무도 포함되어야 한다.

본 연구에서 제시된 해양오염관리 모델을 통해 기존 방제 계획, 매뉴얼 및 대응 프로그램의 개선에서 확인할 수 없었던 시간지연 등의 숨은 유인(Hidden cause)을 확인하고, 광의의 방제활동이 더욱 중요해졌음을 인지하여, 이를 해결 할 수 있는 방향을 제시하는데 도움을 줄 수 있을 것이라 판단된다. 하지만, 해양오염사고시 다양한 환경요인 및 연관된 참여조직 등 직·간접적으로 변수간 영향을 미치는 요인을 고려하지 못했다는 한계를 가지고 있다. 따라서 향후 각 변수간 실증적 연구와 직·간접적 요인을 포괄하는 측면에서 해양오염관리의 유인을 검토할 수 있는 연구가 이루어져야 할 것이다.

References

- [1] Choo, B. J., Jung Y. S.(2006), "Analysis of residents participation cause using system dynamics", The Korea Local Administration
- [2] Kim, D. H., Moon, T. H., Kim D. H.(2001), System Dynamics, Daeyoung
- [3] Kim, S. W.(2008), "Hebei spirit oil spill and response system improvement plan", Environmental Engineering Research
- [4] Kwon, K. S.(2012), "The development of multi-joint Liquid Spill Stopper"
- [5] Peter M Senge(1996), The Fifth Discipline, pp. 501-518.
- [6] Yun, J. H., Gook, S. K., Kim S. W., Moon J. H., Yun H. S.(2010), "A Study on improvement of current national response capability", The Korea Society of Marine Environment & Safety

Received 29 August 2014
 Revised 1 February 2015
 Accepted 2 February 2015