

## 화학물질 운송 비상 대책 시스템 적용 사례 연구를 통한 기초 시스템 모델링

김정곤, 변헌수\*  
 여수대학교 화학공학과  
 (hsbyun@yosu.ac.kr\*)

### A Study on the Chemical Transportation Emergency Response System – with Case Studies from Chemical Plant

Jeong-gon Kim, Hun-soo Byun\*  
 Department of Chemical Engineering, Yosu National University, Chonnam 550-749, Korea  
 (hsbyun@yosu.ac.kr\*)

#### 서론

최근 석유화학 산업은 각종 산업설비가 첨단화, 대형화, 복잡화 되어가고 있음은 물론 시장 지배력에 따른 급격한 변화(M&A 포함)가 일어나고 있다. 이는 시장 원리에 긍정적이라는 경제적인 논리 외에 상대적으로 Risk Management 입장에서는 잠재된 위험성(중대 산업사고 – 개인적(individual)·사회적(social)·과잉적(excess) Risk)이 커지고 있다. 이에 반하여 중대산업사고 발생 가능성을 최소화 하기 위한 사회적 요구와 책임이 강조되고 있는 추세로 SHE(Safety Health Environment/Energy) 관심을 근간으로 위험관리(Risk Management)를 경영시스템(Management System)으로 확대 적용하는 기업체가 늘어나고 있고, 국내 법규인 산업안전보건법이나 가스관계안전법의 요구(PSM, SMS)를 근거로 공정 내 각 단계(공정)별 위험성을 평가 관리(Risk Assessment)하고 있다. 또한 화학물질의 생산, 수송, 취급, 사용 및 폐기과정까지의 전 단계(공정)에 대해 안전을 확보하기 위한 다양한 위험성 평가와 예방 대책이 실시되고 있으나, 아직까지는 사업장내(On-site)에 대한 지속적인 검토와 훈련 및 Risk Review가 주를 이루고 있을 뿐 사업소외(Off-site)에 대한 체계적인 분석과 검토 등의 노력이 부족한 게 현실이다. 세계적으로는 UNEP/APELL(*the Awareness and Preparedness for Emergencies at Local Level – 1980년대 초 Mexico City와 Bhopal 의 중요사건을 계기로 지역사회에 잠재적 위험성을 인식하고 비상시 준비단계를 높이는 프로그램으로 1988년부터 실시*) program과 1987년 CSX Railcar 사건을 계기로 한 책임 배상의 논란, Responsible Care 및 지속되는 화학물질운송상의 주요 사고로 인한 법률적 강제(미국)는 물론 화학물의 무기화에 대한 정치적 문제 외에도 2001년 9월 11일 발생된 Terrorism인한 비극적인 결과에 대한 적극적인 후속조치의 일환으로 off-site Transportation에 대한 잠재적인 위험성 연구 및 비상대책 시스템에 대한 연구가 활발히 이뤄지고 있다. 본 연구에서는 운송의 개념을 화학물질의 이송에서 저장 및 배분으로 범위를 확대하여 기업의 중요가치(Core Value)인 안전경영시스템에 포함하여 관리하는 활동적인 기업의 운송비상시스템 사례를 분석함으로써 운송에 따른 “위험감소 노력, Check list review, 운송자 교육시스템 및 운송 위험순위 결정(risk ranking – 화재, 폭발, 보건, 환경)을 적용한 최대예상사고 분석(Maximum Credible Accident Analysis)기법”을 확인하고자 하였고, 이러한 사례 연구는 위험을 근거로 한 운송계획(case study of Risk-Based Transportation Planning)과 비용에 대한 개념으로 확대할 수 있는 근거로 삼는 운송비상대책 시스템(Transportation Emergency Response System)의 기초적인 Model을 제시 할 수 있는 기회가 되었으면 한다

## 본 론

화학물질 운송 비상 대책 시스템에 대하여 논하기 위해서 우선적으로 최근까지 발생된 중요 사고와 법적인 책임(배상)을 알아보고 그에 대한 영향이나 향후 방향을 검토하였다. 특히 일련의 내용은 화학물질(위험물질) 운송 시스템에 긴밀한 영향을 준 것으로 알려져 있어 세계적인 흐름을 인식하는 주요 자료로 활용 할 수 있다.

### Case History of Past Accident

。도로 운송 - 1978. 7. 14 Spain : propylene tank truck 운송 중 마을 주변에서 사고로 탱크가 파손되며 내용물이 유출되었고, 누출된 propylene이 증기운을 형성한 상태에 점화 폭발되어 200명 이상이 사망한 사고임.

。철도 운송 - 1981. 8. 1 Mexico : 20여대의 탱크차량을 이용 chlorine을 운송 중 차량 상부에서 최초 몇 분 사이에 약 100톤 가량으로 추정되는 염소가 누출되었고, 주변의 차량의 추가적인 손상이외에 약 40 hectares의 농지가 오염되고 1,000여명에게 노출 250명이 입원 하였으며 17명이 사망한 사고임.

。해상 운송 - 1983. 4. 2 U.S.A. : 4대의 바지선을 예인 중 교각과 충돌 3대의 바지선이 파손되며, oil이 누출 후 화재가 발생함. 예인 시 승무원이 없었던 관계로 인명 피해는 없었으나 최초 사고 지점으로부터 약 2miles 이상 화재가 번져나간 사고임.

。배관 운송 - 1984. 2. 24 Brazil : 석유화학 공정의 배관계 최악의 배관계 사고로 기록된 사고로 마을 인근의 배관에서 누출이 발생하였고 이후 점화됨으로 인하여 수 백 명 이 사망함.

。해양 운송 - 1989. 3. 24 Alaska U.S.A. : Exxon Valdez에서 약 11만 Gallon의 원유가 누출 사고임. 공장의 remote location은 물론 방제 및 최악의 자연환경 파괴 사례로 알려짐.

이러한 사고 사례를 통해 알 수 있듯이 운송중의 재난은 인명에 대한 잠재적인 위험 이외에도 환경, 재산 및 사업 존폐까지 영향을 줌으로써 각 Part별.(제품 제조자, 고객, 운송 방법 및 회사, 운송자)로의 업무 분담이 요구되고 있다. 국내의 경우 대부분 운송사와의 계약에 법적 이외에 사회적인 책임(도의적, 여론)정도만 논의 되고 있으며, 제조물 책임법에 따른 주요 손해배상의 사례는 확인하지 못하였다. 그러나 미국의 경우 대형재난에 대한 책임배분의 주요 사례를 가지고 있다. 1987년 CSX사 Railcar(louisiana)에 29,000톤의 butadiene이 정차된 집하장에서 누출 점화되어 대형 폭발이 발생 수 천명이 대피하고 일부 상해를 입음에 따라 소송이 발생되었고, 법원은 table 1과 같이 보상 범칙금을 배분하였다. 여기에는 화주부터 하역담당자 협력업체까지 광범위하게 적용됨으로 운송 비상 사태에 대한 주요 사례라 할 수 있다. 이와 관련 후속적인 안전성 확보를 위해 다양한 위험성 평가와 예방대책이 실시되고 있으며, 특히 정량적인 위험성 평가와 정성적인 운송 위험 분석(Transportation hazard Review)가 실시 되고 있다. 정량적 평가는 사고 시 피해 예측을 하는 기법으로 각 단계별로는 data 수집→시나리오 개발→유사 사례 분석결과 분석→충격도 분석→위험도 선정으로 나뉘지며, 이 과정에서 F-N curve, Social Risk Index(SRI), Risk Transect 등의 개발과 적용이 요구된다. 특히 Risk assessment를 통한 위험도 감소와 사고 기록 유지는 재정적인 보상 및 사회적 책임(제3자 책임, 환경, 재산손실 및 Business Interruption까지 확대 적용)에 대한 인식이 포함되는 것으로 운송 비상대책 시스템의 근간이 될 수 있다.

Table 1. CSX Compensatory Liability Apportionment by Party

Party	Role	Liability [%]
Phillips Petroleum	Original railcar Owner	20
General American Transportation	Current Railcar Owner	20
CSX Transportation Inc.	Rail Yard Owner	15
GATX Terminal	Loaded the Railcar	15
Mitsui & company USA	First Carrier	10
Alabama Great Southern Railroad	Second Carrier	5
AMF-BRD	Railcar Manufacturer	5
Polysar	Chemical Owner	5

또한 미국 1986년 비상(산업, 도시)에 적용 하기 위한 Integrated Emergency Preparedness Council(IEPC)를 설립하였고 이를 통해 위험물 운송에 대한 HAZMAT subcommittee를 운영하고 있다. 이 기관의 mission은 사람과 자원의 효과적인 활용을 통해 시민의 보호와 인명과 재산을 최대한 보장하는 활동을 하는 것"이라고 명기 되었다. 특히 Tire II reporting을 통해 조사한 바에 의하면 고속도로를 이용한 물동량중 7%가 truck을 이용하여 위험물질이 운송되며, 일일 770,000건이 이동되며 이중 94%가 개별 화물을 이용하고 43%만이 특수차량을 통해 운송된다고 보고되었다. 이와는 대별되게 해양이나 배관계, 철도를 이용하는 위험물질은 특수설비에 의해 처리된다. Sullivan County의 자체적인 주민 보호를 위한 기준을 설정 공포하기도 하였다.

Table 2. Highway Sampling DOT Class of Materials By Percent

화학물질	사고건수	화학물질	사고건수	화학물질	사고건수
1-Explosive	2%	4- Flammable Solid	1%	8-Corrosive	17%
2- Flammable Gas	2%	4-Dangerous when wet Material	1%	9-Mis. Dangerous Goods	5%
2- Non Flammable Gas	6%	5.1 - Oxidizer	2%	Dangerous	5%
2- Poison Gas	1%	5.2 - Organic Peroxide	1%	Miscellaneous	1%
3- - Flammable	52%	6- Poison	4%		

CCPS의 경우 Guideline을 통해 Risk integration, financial impact assessment, liability apportionment를 포함하도록 하였고, 위험물질 운송에 대한 6가지 구성요소로 “Chemical(s), Carrier, Route, Fault, liability, Apportionment of the Liability” 분석하도록 권장 된다. 또한 석유 화학업계의 자발적인 환경안전 노력인 Responsible Care의 Emergency Response code로도 적용되고 있는 항목으로 국내에서도 기업의 중요가치(Core Value)로 논의되고 있지만 운송비상에 대해 활동적인 회사는 “Distribution Risk Review”라는 절차를 통해 시스템을 운영하고 있으며, 우선적으로 7개의 실행 위험성(fire and explosion, Chemical exposure, Inhalation toxicity, Skin absorption toxicity, Skin/eye corrosivity, Aquatic toxicity and Other serious effects)을 통해 위험 우선순위를 설정 Risk Assessment를 screen하며 impact modeling하고, 이를 통해 정부/세계적인 기준을 통해 risk review 및 정량적인 위험성평가를 통해 적용한다. 또한 Security Risk Assessments를 통해 한단계 높은 기준을 적용하고 있다. 일련의 운송비상 대책 시스템적인 적용과는 별개로 운송자에 대한 전문교육(6개월)을 주기적으로 실시함은 물론 교육자료와 비상대응정보를 ICSC(International Chemical Safety Card)와 OSHA의 Occupational Health Guideline을 통해 First Aid 절차를 Level-up함으로 Risk Management Countermeasures 의 기준을 성립하는 것이다.

## 결론

본 연구는 흔히 작업자 또는 운전자의 단순한 실수로 파악하기 쉬운 석유화학 공장의 화학물질 운송 사고에 대한 개념을 기업의 중요가치로 파악한 비상 대책에 대한 세계적인 추세와 적용하는 사례를 통해 최대예상사고 분석(maximum Credible Accident Analysis)에 대한 개념과 책임과 배상의 흐름을 확인함으로 실질적인 시스템적인 접근의 당위성을 확보 할 수 있으며 운송 위험의 우선순위 선정을 물론 각종 factor에 대한 기초적인 시스템의 Model을 제시 할 수 있게 된다. 특히 단계적으로 세분화되는 사항과 관련 전문 기관의 Guideline 공유를 통해 한층 level-up 시킬 수 있는 높은 안전기준을 설정하게 되는 것이다. 특히 석유화학 공장의 자발적인 환경안전 운동인 Responsible Care의 경우 현재 6개의 Code(국내적용 약 4개 code)는 화학물질 운송을 포함한 Security를 7번째 Code로 등록할 것을 검토하는 단계이다. 현재까지 연구된 사례연구는 국내 기업에도 즉시 적용 가능한 Model로 파악되며, 차기 단계로 Cost와 연관된 Cost-Benefit Analysis를 적용한 화학물질 운송비상 대응 시스템(Chemical Transportation Emergency Response System)으로의 전환이 기대된다.

## 참고문헌

- [1] OSHRI, 한국산업안전공단 산업안전보건연구원 중대사고 사례집(2000)
- [2] Frank E. Bird, Jr. George L. German, Practical Loss Control Leadership(1996)
- [3] Chemical transportation Security in the Face of Terrorism(The Dow Chemical co.)
- [4] CCPS, Guideline for Chemical Transportation Risk Analysis
- [5] CCPS, Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis
- [6] Mudan Shah and Associates, LLC(CCPS 17<sup>th</sup> Annual conference and workshop)