

화학물질 운송 안전시스템의 이론적 고찰

The Study on the Safety System for Chemical Substance Transportation

이 종 은* · 이 계 정* · 오 영 수* · 황 대 성* · 김 영 철* · 권 영 진*

1. 서 론

우리나라의 경제가 발전할수록 화학물질의 운송 및 사용량은 불가피하게 증가하게 된다. 폭발물·독극물·위험물 등 화학물질들은 부주의나 불손한 의도에 따라 운송사고가 발생하면 1차, 2차 피해로 인해 재산상, 환경상 심각한 사태를 초래할 수 있다.

이런 사고가 흔하게 발생하는 것은 아니나 최근 발생한 중동 나들목에서 발생한 유조차 화재사고로 인해 3개월에 걸친 복구비용만 150여억원이 들었으며, 주변에 미친 영향이 2,300여억원에 달하는 것을 고려해 보면 사고 빈도가 낮다고 해서 등한히하거나 정책순위를 뒤에 두는 그런 행위는 이치에 맞지 않는 것이다. 현재 우리나라 화학물질의 운송관리는 11개에 달하는 복잡한 법령체계에 얽매어 국토해양부, 환경부, 행정안전부, 교육과학부, 지식경제부, 경찰청 등 다양한 부처들이 서로 다른 시각에서 관리하고 있으며 화학물질의 분류, 용기, 표식 등 체계적인 운송시스템이 없거나 있다고 하더라도 국제기준과는 많은 차이를 가지고 있어 이에 대한 정부의 개선노력이 필요하다. 이러한 요구에 따라 화학물질의 운송중 주요 사고사례를 통해 위험성을 고찰하고, 이의 체계적인 관리와 새로운 패러다임에 기반을 둔 화학물질 위험관리에 대한 기준을 제시하고자 한다.

* 명지대학교 산업경영공학과

2. 운송 관련 일반적 고려사항의 고찰

2.1 수송수단 및 운송시 고려사항

화학물질을 운송하는 방법에는 운송경로, 운송하고자 하는 물질의 특성, 포장하는 용기의 재질 등 여러 가지 요소의 특성이 고려되어야 하며 운송 시에도 법규에서 요구하는 사항, 운반중 예상되는 사고에 대한 비상대책 등이 사전에 고려되어야 한다.

다음의 [표 1]은 운송수단과 운송시 고려사항 및 위험성을 나타낸 것이다.

[표 1] 운송수단과 수송 시 고려사항

| 운송수단 | 고려사항 | 위험성 |
|--|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> - 도로 - 철로 - 수로 - 수송배관 - 선박 - 항공 | <ul style="list-style-type: none"> - 법규 - 설계 - 운전 - 위험성 평가 - 긴급시의 대책 | <ul style="list-style-type: none"> - 화재 - 폭발 - 누출 : 오염, 독성 |

2.2 일상적인 화학적 위험성 대응 정보 체계(CHRIS)

일상적인 화학적 위험성 정보체계(Cheical Hazard Response Information System)를 정리하면, 먼저 잠재되어 있는 위험성을 평가하여 각 부분의 취약점이 무엇인지를 분석하고 발생 가능한 시나리오를 작성하여 실제 사고가 발생한 것을 가상으로 영향을 평가한 후 시나리오를 보완하여 향후 발생 시 실행 가능한 대책을 수립하는 것이다. 다음의 [표 2]는 운송중 사고에 대비한 시나리오를 작성 시 포함되어야 할 내용들을 정리한 것으로 이러한 시나리오를 작성 시는 누락되는 부분이 없도록 상세하게 작성이 되어야 한다.

[표 2] 운송(수송)중 사고대비 시나리오 작성 시 고려사항

| | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ▪ 설계·보전 ▪ 수송 ▪ 수송자 교육·훈련 ▪ 수송수단비교 ▪ 잠재위험 해석 | <p style="text-align: center;">수송 중 비상 사태 계획에 포함되어야 할 사항</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 화학물질 데이터 ✓ 정보와 표시 ✓ (일반주민, 2~3분 사고관련, 장기적, 사고처리자) ✓ 사고관리조직 ✓ 비상대책절차 ✓ 비상대책팀 ✓ 외부협력기관 ✓ 홍보관계 |
| <p style="text-align: center;">탱크로리</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 설계의 기준 ▪ 구조 재료 ▪ 설계기준 온도 ▪ 최저두께 ▪ 시험압력 ▪ 충전율 ▪ 수송중의 충격 ▪ 안전변 ▪ 기타의 밸브와 부속품 ▪ 차량에의 부착 | <ul style="list-style-type: none"> ▪ 중합되기 쉬운 물질 ▪ 용융 상태로 운반되는 것 ▪ 과산화 수소 ▪ 유기 과산화물 ▪ 삼산화황 ▪ 브롬 ▪ 알킬렌 |

3. 국내·외 운송 사고 분석

3.1 국내 화학물질 운송사고

다음의 [표 3]의 국내 수송시설 사고현황에서 보는바와 같이 지난 12년간 국내에서 발생한 83건의 주요 운송사고를 분석해 보면, 상대적으로 사용량과 운송빈도가 많은 경유 등 유류의 운송중 발생한 사고가 전체 48건으로 58%를 차지하였고, 그 외 폐수 처리 등 화학공장에서 필수적으로 사용되는 염산, 황산, 가성소다 등이 뒤를 이었으며, 기타 염소, LPG등 가스 운반차량 사고도 간혹 발생된 것으로 조사 되었다. 그러나 아래의 자료는 대표적인 사고만이 정리됨으로 국내 법규간, 정부 및 지방자치단체간의 비상대응에 대한 취약성이 드러나고 있다.

[표 3] 국내 수송(운송)시설 사고현황

국내 수송시설 사고분석
(1989 ~ 2001년 수송사고)



| 분류 | 건수 | [%] |
|----------|----|-------|
| 유류, 경유 등 | 48 | 57.83 |
| 염산 | 8 | 9.64 |
| 황산 | 8 | 9.64 |
| 가성소다 | 5 | 6.02 |
| 아스팔트유 | 5 | 6.0 |
| 질산 | 4 | 4.82 |
| 염소 | 3 | 3.61 |
| 부탄, LPG | 2 | 2.41 |

* 국립환경과학원 자료 참조

3.2 국외 화학물질 운송사고

국외에서 발생한 운송중 주요사고사례를 유형별로 정리한 [표 4]의 국제적 주요 운송 사고사례를 보면 도로, 철도, 해상, 배관 등 다양한 곳에서 다양한 유형의 운송사고가 발생됨을 알 수 있으며, 화학물질 누출사고가 발생하는 경우 인근 주민, 해양, 토양 등에 미치는 그 피해는 상상을 초월할 만큼 심각하다는 것을 알 수 있다.

[표 4] 국외 주요 운송사고 사례

| Case | 일자/국가 | 사고내용 | 주요 손실 내역 |
|---------------------|------------------------------|--|---------------------------------|
| 도로 운송 (Road) | 1978. 7. 14 Spain | 야외 캠프장 주변에서 Propylene tank truck이 파손되면서 가연성물질인 Propylene이 인근 캠프장으로 누출되어 가연성증기가 확산, 점화되며 Flash fire가 발생됨 | 200명 이상 사망 |
| 철도 운송 (Rail) | 1981. 8. 1 Mexico | 20여 차량열차가 탈선하면서 약 100톤 가량의 Chorine(염소)이 누출 | 13명 사망 250명 입원 야채밭 40ha오염 |
| 해상 운송 (Waterway) | 1983. 4. 2 U.S.A. | 4대의 바지선을 예인 중 교각과 충돌 3대의 바지선이 파손되며, 유류가 누출 후 화재 발생 | 2miles 이상 화재가 번짐 해양오염 |
| 배관 운송 (Pipeline) | 1984. 2. 24 Brazil | 시내 인근에서 배관 내 가연성물질이 누출되어 Liquid pool을 만들어 점화됨 | 수백명 사망 |
| 해양 운송 (Marine) | 1989. 3. 24 Alaska U.S.A. | Exxon Valdez에서 약 1100만 Gallon의 원유가 누출되어 해안 및 자연생태계에 엄청난 영향을 미침 | 최악의 자연환경 파괴 사례 |

4. 국제적 기준 및 모델사례

4.1 CCCP의 운송 위험분석 지침

미국 내 화학공장안전 전문기관으로 화학공학회 산하기관인 화학공정안전센터(CCCP : Center for Chemical Process Safety)에서 정한 운송 위험 분석 지침에 따르면, 위험물질을 운송 시 사전 분석해야 할 대상으로는 화학물질, 운송자, 운송로, 책임한계 등이며, 이에 따른 세부 항목으로는 운송중의 위험을 평가하여 분석하고 각 Case별 상황을 만들어 이를 토대로 피해를 계산, 예측하여 적용하도록 지침으로 만들어 활용하고 있으며 그 세부내용을 보면 아래의 [표 5]와 같다.

[표 5] 화학물질 운송 분석 대상 및 지침 항목

위험 물질 운송 분석 대상

화학물질 운송 위험 분석 지침 항목

- ✓ 화학물질 (Chemical(s))
- ✓ 운송자(Carrier)
- ✓ 운송로(Route)
- ✓ 위험요소(Fault)
- ✓ 책임(Liability)
- ✓ 책임의 소재
(Apportionment of the Liability)

- ✓ 운송 위험 분석(TRA)
- ✓ TRA 주기 분석
- ✓ 특별 주제 검토(Special Topics)
- ✓ TRA 자료
- ✓ 예상 위험에 대한 측정, 계산 및 예측
- ✓ TRA 적용
- ✓ TRA Case Studies

4.2 우수업체 사례

4.2.1 RC(Responsible Care) 개념

화학물질의 생산/유통/소비/폐기 등 제품의 전단계에 걸쳐서 기업의 사회에 대한 HSE(보건/안전/환경) 책임경영으로서 사업장 근로자는 물론 인근지역주민의 안전/보건/환경의 확보를 사업주, 지역주민 및 공공단체가 공동으로 추진하는 운동으로 화학산업에서 사용·제조되는 화학물질의 완벽한 관리를 통하여 환경오염, 안전사고 등을 철저히 예방하고 지역주민과 종업원의 건강과 안전을 확보함과 동시에 주변 환경을 쾌적하게 조성하는 등 기업의 사회적 책임을 완수하기 위한 자발적인 관리활동을 말한다.

RC의 경영실천사항(Management Practices)

- 비상대책에 지역주민 참여(Community Awareness & Emergency Response)
- 오염물질 배출방지(Pollution Prevention)
- 공정안전(Process Safety)
- 운송안전(Distribution Safety)
- 근로자 안전보건(Employee Health & Safety)
- 제품의 안전확보(Product Stewardship)

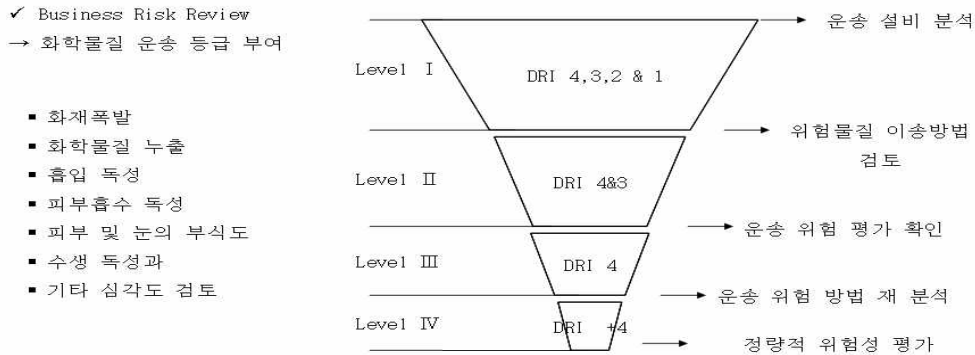
4.2.2 운송안전(Distribution Safety)

공공의 안전, 보건 및 환경보호를 위하여 화학물질을 안전하게 운송 및 유통하기 위한 활동으로 위험의 관리, 준수 여부 검토 및 교육, 운송안전, 안전한 취급과 저장, 비상조치 절차등이 포함된다.

4.2.3. 우수업체의 사례

미국 내 다국적기업인 Dow Chemical사의 경우를 보면 화학물질 각각에 대해 화재 폭발 우려 여부, 누출위험, 흡입 또는 접촉시의 독성 및 영향 등 여러 가지 변수를 감안하여 운송등급(DRI : Dow Risk Index)을 부여하여 관리하고 있다. 또한 운송위험을 분석시는 운송설비와 화학물질의 이송방법을 사전에 평가, 분석하고 리스크가 큰 화학물질의 운송시에는 정성적인 평가는 물론 정량적인 평가를 통해 비상시의 운송사고에 대비하고 있다. 아래의 [표 6]은 미국 Dow Chemical사에서 활용하는 4단계의 운송 위험등급 적용사례를 보여주고 있다.

[표 6] - 운송 위험등급 적용사례



5. 화학물질 운송의 단계별 분석 기준 및 사례

5.1 화학물질 단계적 분석

화학물질을 운송하기 위해서는 단계적인 분석을 통해 운송 비상대응 시스템을 사전에 충분히 검토하여야 하며, 이 과정에는 비상 상황이 발생하는 경우 피해의 최소화를 위한 상세한 대책들이 사전 운송 위험 Review 절차를 거쳐 작성, 분석되어야 한다.

5.2 화학물질 운송을 위한 각 단계별 점검 항목

1) 화학물질 특성 검토(Material Property Review)

- 위험물질의 물리적 특성 검토(물리적 상태, 증기압, 밀도 등)
- 화학적 특성 검토 (ARC data, 물과의 반응성, ERPG Value, NFPA 지수 등)
- 보건 및 환경 영향 검토(구강, 피부 접촉 및 흡입, 오염 분리, MSDS 등)

2) 장비 검토(Equipment Construction) Review

- 요구되는 규격의 검증(탱크, 밀폐 방법, 설비나 핏팅 등)
- 부식 비율 및 오염 (Corrosion rate and contamination)
- 비상 방출 압력 확인 (Confirm the pressure relief devices)
- 비상 방출 압력과 설계압력 비교
- 보호용 밸브와 계기 확인
- 보호 온도나 압력 기준 비교
- 기타 일상 점검 항목

3) 입출하 절차 검토

- 운송 물질에 대한 법적 항목 검토
- 문서화된 입출하 절차 및 점검표
- 비상 방출 압력 확인
- 입출하용 호스나 Arm(상 하부 위치)
- 운송 및 누출 시 처리 장비
- 인터록/불활성 가스 활용
- 일상 점검 등

4) 운송절차 검토

- 운송자의 제한사항 준수
- 비상 절차(운송)
- 유지보수 예방 프로그램
- 협력업체를 포함한 사고 보고서

5) 운송구간 검토

- 최소 요구사항
- 운송 방법 및 운송로 확인
- 사고나 비상시 잠재된 위험 영향의 정도
- 비상시 대처 방법의 주기적 평가

6) 비상 대응 검토

- 24시간 비상대응 시스템
- 비상대응 카드/MSDS/평가 계획/협력자 (비상 상황)
- 최악의 경우를 가상으로 상황 검토

6-1) 사고사례 및 사고시 피해범위 정량평가 예시

다음은 운송사고가 발생한 사례와 사고시 피해범위를 정량적으로 평가한 결과를 예시로 제시한 것이다.



