

위험물질 수송시 위험성 평가 및 비상대응시스템 구축에 관한 연구

류병태 · 유진환 · 엄성인* · 백종배** · 고재욱

광운대학교 화학공학과 · (주)아스프*

충주대학교 안전공학과**

1. 서 론

현대 산업사회가 더욱 복잡·대형화되고 경제 발전이 가속화됨에 따라 가스연료는 가장 대중적이고 보편화된 편리한 연료로써 각 분야에서 다양한 형태로 사용되고 있다. 그러므로 가스 소비증가와 보급에 따른 제반 문제를 원활하게 해결하기 위해서 가스생산시설, 대형저장시설, 운송시설, 저장·충전시설 등의 시설 증설을 요구하고 있는 실정이다. 오늘날 국민의 생활 수준의 향상과 편의성의 추구로 에너지의 고급화와 청결화가 이루어져 주 에너지원으로 석유, 가스등이 많은 비율을 차지하고 있다. 그러나 석유의 사용은 자원 고갈 및 환경 문제 등 새로운 문제를 일으키고 있다. 이러한 추세에 따라 오늘날 에너지의 소비 형태는 LPG(Liquefied Petroleum Gas), LNG(Liquefied Natural Gas)의 사용이 점점 증가하고 있는 실정이며 이러한 증가는 향후에도 지속될 것으로 보인다. 최근 5년간의 LPG, LNG의 사용 증가 추세와 그에 따른 사고와 피해 현황을 살펴보면 LNG는 LPG보다 소비량 증가폭이 더 크지만 사고 측면에서는 LPG가 LNG보다 훨씬 많이 발생하고 있다. 그 이유는 LNG의 경우 비중이 공기보다 낮아 누출이 되더라도 공중으로 확산되어 폭발의 위험성이 매우 낮은데 비하여 LPG의 경우 비중이 공기보다 높아 누출이 발생하여 그 부근의 지하 공간으로 유입될 경우 경미한 점화원에 의해서도 착화, 폭발할 수 있다는 점에서 LNG에 비해 위험성이 매우 높다고 할 수 있다.

LPG의 잠재 위험은 제조, 저장, 사용처에서 항상 존재한다고 할 수 있다. 그리고 LPG를 사용처까지 운반할 때의 위험성 또한 간과할 수 없다. LPG의 수송은 LNG의 파이프라인에 의한 수송과는 달리 주로 LPG 탱크로리를 이용하는데 LPG 탱크로리에서 사고가 발생하여 LPG가 누출하여 화재 및 폭발로 이어진다면 인근 주거지역의 인명 피해뿐만 아니라 환경에도 치명적인 영향을 끼칠 수 있다.

2. TRA 이론

다음은 각 운송 수단에 대한 일반적인 방법들이다.

- pipelines
- rail
- truck
- barge
- ocean-going vessels
- intermodal

Transportation Risk Analysis(TRA)는 움직이는 상태에서 가장 크게 영향을 미칠 수 있는 parameter를 식별에 의해 수송의 위험을 제어하고 관리하며, 위험 감소 전략들을 평가하고 확인하기 위해서 사용 할 수 있다. 이 전략들은 수송방법, 선적의 크기, 노선, container등의 변화를 수반한다. TRA는 고정 부지가 선정되고, 연속적인 공급원들을 평가할 때 비상 조치 계획 개발 또는 기존 활동에 있어서 초기에 사용 할 수 있다. 이러한 상황에서의 TRA 이용은 decision-making 공정에 input의 더욱더 객관적인 자료를 제공한다. 이것은 고정 설비와 수송 활동에 걸쳐서 보다 더 계속적으로 위험 감소를 위한 정책을 배치하는데 도움이 된다.

TRA의 적용에서 연구의 깊이와 범위의 신중한 정의는 대단히 중요하다. 그 이유는 보다 더 정량적인 접근법이 비용과 집약적인 정책이 존재하기 때문이다. 세부적으로 정량적인 TRA는 드물게 사용해야 하며, 연구의 목표와 목적을 수행하기 위한 연구의 깊이가 필요하다. 만약 적절한 제어가 되지 않으면, 단순한 정량적 TRA는 수립할 수 없는 어려운 계산을 발생시킬 수 있다.

수송 위험은 탈선과 충돌처럼 그런 초기화된 사고, 사건에 의해서 원인이 존재 될 수 있고, 운반되는 동안에 누출을 야기 시키는 탱크 이전의 과충전과 같은 그런 non-accident-initiated 원인들로부터 결과를 가져올 수 있다.

TRA는 운송 중에 수송 용기가 과열되는 사고나 안전 밸브(relief valve) 또는 부속품과 같은 부수 장비의 고장이 원인이 되어 위험한 물질(hazardous material; HAZMAT)의 유실에 초점을 두고 있다. 사고 원인 누출(incident-initiated release)은 위험 물질 수송에 있어서의 위험(risk)을 크게 좌우한다.

그러나, 어떤 물질(products), 반응성(reactivity), 오염(contamination), 극도의 온도(extreme temperature), 또는 다른 재료상의 위험들은 더 증대시키거나 위험(risk)에 막대한 영향을 미치게 될 무사고 원인 누출(non-accident-initiated release)을 야기시킬 수 있다.

3. 연구 방법

3.1. TRA 절차 및 방법

본 연구의 방법을 아래 그림에서 보여주고 있다.

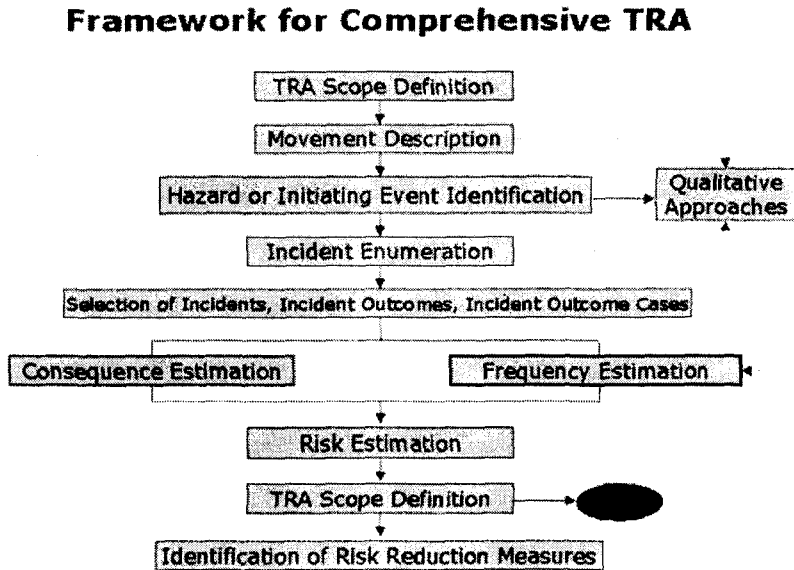


그림 1. TRA 수송 절차

누출의 기회는 일반적으로 움직이는 거리의 함수이다. 따라서, 사고의 빈도는 종종 거리당 사고율(accident rate per mile)로 표현된다. 무사고 원인 사건(non-accident-initiated event)으로부터의 기여도(contribution)는 전형적으로 시간당 빈도(frequency per hour or per year)로 표현된다. 그래서, 위험 물질 운송의 지속시간(duration)은 중요한 변수이다. 그림.2는 운송에 대한 기초 계산 계통도를 나타내고 있다. 만약 다양한 운송이 있다면 총 위험(total risk)은 운송 횟수에 운송당 위험(risk per trip)을 곱한 것과 같게 된다.

사고 원인 사건(incident initiated event)에 대해서는 사고가 주어진 누출의 기회가 포함되어야 한다. 무사고 원인 사건(non-accident-initiated event)에 대해서는 그 데이터는 누출의 기회로 표현되고 누출 가능성에 대해 더 이상 조정이 없다는 것이 필요하다. 그림 3-1에서 확인되어진 변수들은 또한 상대적 기초에서 정성적 또는 반 정량적인 연구(qualitative or semiquantitative study)에서 재검토될 수 있다

Calculating the Chance of Release

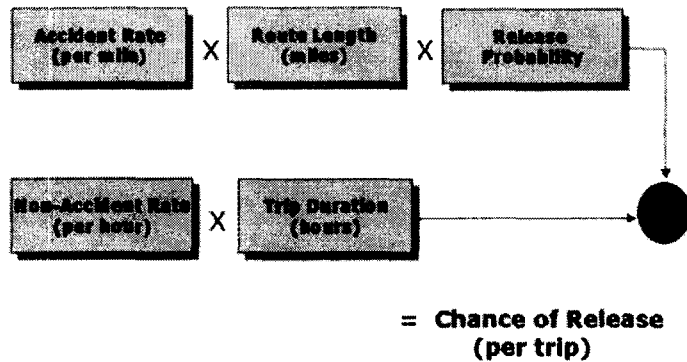


그림 2. 누출 기회의 산정

이 기초 계산 계통도(basic calculation sequence)는 각 운송 형태에 대한 최소 변화를 가질 것이며 필요에 따라 더 세부적으로 분석되어질 수 있다. 증가되는 세부사항은 각각의 노선에 대한 다른 사고율(accident rate)과 거리를 포함하며 다른 사고 원인에 대한 사고율과 누출 가능성(release probability)을 분명히 갖고 있다. 증가되는 세부사항의 수준은 더 많은 데이터가 요구되며 또한 계산의 수도 증가한다. 일반적인 사고율 고려를 더해서, 트럭 수송에 관계된 많은 특정 고려는 평가된 사고율과 누출 확률을 중요하게 변경할 수 있다. 많은 이들 측정은 트럭 운전을 위한 잠재적 위험 완화 평가를 고려하는 것으로 대신한다. 대부분은 감소가 분명하지 않으며 감소 평가의 효율에 대한 전체적인 지시를 제공하게 되며 평가되어야 할 균형과 연관되어 있다. 포함되어야 할 중요한 운전 평가는:

- 주거 지역을 피하기 위한 노선 변경
- 높은 교통량 시간대를 피하기 위한 선적 시간의 변경
- 교통과 외부 인구를 피하기 위한 한밤중의 이동
- 나쁜 날씨 조건을 피하기 위한 노선 변경이나 수송 중지
- 중간 저장소와 주차 지역의 이용

3.2. 최적의 경로 선정방법

위험물질 수송시 최적의 경로 선정시 다음 사항들을 고려해야한다.

- 인구밀도
- 도로유형
- 위험물의 종류와 양
- 비상대응조치
- 노출과 다른 위험인자
- 운전의 지연

아래 그림은 로드 34에서 로드 42로 위험물질을 수송하는 도로를 나타내고 있다. 위에서 제시한 사항들을 모두 고려해 경로를 선정하는 과정에선 운송비용, 사고비용, 인구밀도, 운송시간 모두를 고려해 상황에 맞는 경로를 선정하는 것이 가장 바람직하다.

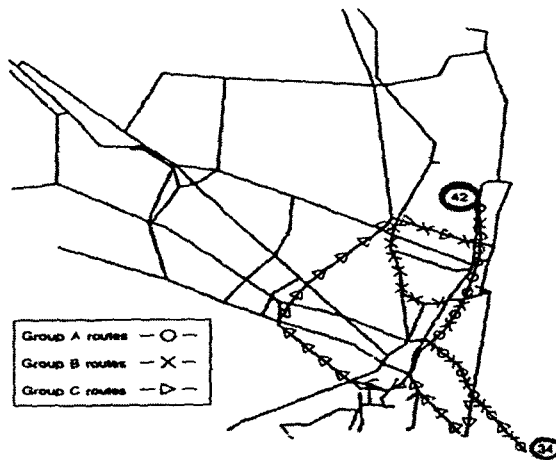


그림 3. 위험 물질 수송 경로

3.3. 비상대응 프로그램

사고 발생시 위험 및 피해를에 따른 물적, 인적 손실을 최소화하기 위해서는 상황에 맞는 비상대응 시스템을 구축하는 것이 무엇보다 중요하다. 아래그림은 비상조치계획의 구축절차를 나타내고 있다.

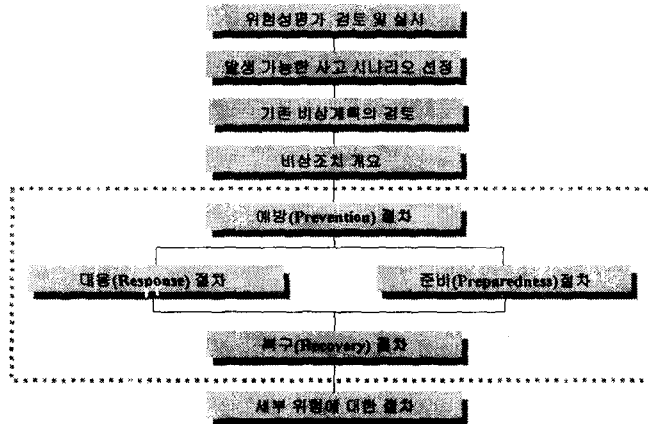


그림 4. 비상 대응 계획 시스템 구축

4. 결론

본 연구를 통한 기대효과를 간단히 언급하면 다음과 같다.

- 위험물질 수송시 최적의 경로 선택의 모델 제시
- 중대사고 발생의 예방과 사고발생시 비상 조치 방법에 대한 새로운 방향 제시
- 대형 사고로 발생할 수 있는 가능성을 미연에 차단
- 경제적 손실 예방
- 위험물질 수송에 따른 실제적인 비상조치계획 수립
 - 사고가능성 및 인적, 물적 피해영향을 사전에 평가하는 모델 제시
 - 사고를 예측, 예방, 대비, 대응할 수 있는 시스템 구축
 - 사고 시나리오 유형별 대응 체계 수립

본 연구에서 제안된 시스템은 위험물질 수송 시 위해요소에 대한 재해 예방은 물론 비상대피에도 큰 역할을 할 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

1. Loen N. Moses "Transportation of Hazardous Materials Issues in Law, Social Science, and Engineering, Kluwer Academic, 1993.
2. CCPS, "Guidelines for Chemical Transportation Risk Analysis", AIChE, NY, 1995.
3. CCPS, "Guidelines for Chemical Process Quantitative Analysis", AIChE, NY, 1989.
4. 백 종배, 고 재욱 "LPG 탱크로리 수송중 위험성 평가에 관한 연구", 한국산업안전학 회지, 1997, 12(4)