

세션특강 3

공정산업에서의 화재위험평가 고찰

이근원 / 하정호

한국산업안전공단 의정부지도원

공정산업에서의 화재위험평가 고찰

이근원, 하정호*

한국산업안전공단, 한국산업안전공단 의정부지도원*

IConsideration of Fire Risk Assessment in Process Industries

Keun-Won Lee, Jeong-Ho Ha*

Occupational Safety & Health Institute, KOSHA

1. 서 론

공정산업에서는 위험물질을 대량 저장하거나 취급하는 사업장에서는 위험물질이 누출되어 화재·폭발사고가 발생하면 그 충격파로 인해 사업장내의 인적·물적 손실은 물론, 인근지역의 설비나 주민들에게 위험을 줄 수도 있다. 사고발생시 피해의 크기는 세가지 요소의 의해 결정된다. 첫번째는 저장 또는 취급되고 있는 위험물질의 수량이고, 두번째는 위험물질이 저장되어 있는 운전조건 즉 운전온도 및 운전압력 등에 따라 피해의 크기가 다르게 나타난다. 그리고 세번째는 위험물질의 독성의 정도, 보유에너지 크기 등 위험물질의 특성에 따라 피해의 크기가 다를 수밖에 없다. 기본적으로 공정산업에서의 위험성평가는 최대예상사고분석(Maximum Credible Accident Analysis, MCAA)에 기초를 두어 진행되고 있다.

MCAA는 다음과 같이 5단계로 구성된다고 볼 수 있다.

- ① 사업장내의 취급 위험물질 종류별 수량 확인
- ② 잠재위험이 있는 위치 및 설비 확인
- ③ 사고 가상시나리오 파악·인식
- ④ 사고 가상시나리오별 피해예측
- ⑤ 최대 예상 사고 시나리오를 그래픽으로 표현

위험평가는 특정사건에 대한 손실이나 상해를 일으킬 수 있는 잠재력을 산출한다. 하나의 사고는 여러개의 사고형태를 갖는다. 이러한 사고 결과들을 위험물의 누출과 분산모델, 폭발과 화재모델 등을 이용하여 분석한다. 누출원 및 확산모델은 어떤 농도에서 증기운의 확산과 누출율에 대한 정량적 정보를 제공한다. 화재 및 확산모델은 가연성 가스 누출에 의해 형성된 운(Cloud)을 복사열 혹은 폭발 과압과 같은 잠재된 위험으로 바꿔서 나타내 준다. 위험평가 모델은 이러한 사고로 인해 사람과 구조물에 미치는 피해를 보여준다.

본 발표에서는 일반 건축물 등의 화재위험 평가와 달리 공정산업에서의 화재위험 평가 모델은 공정장치나 공장, 인접 공동체 등을 고려해야 한다. 공정산업에서 화재위험평가 방법을 요약 정리하여 소개하고 화재사고로 인한 피해 예측기법을 고찰하여, 화재소방 관계자들이 공정산업의 화재 피해 예측시 도움이 되기를 바라는 바이다.

2. 화재 모델

2-1. 풀 화재

풀 화재 및 제트 화재는 가스 및/또는 액체의 가압 배출 또는 액체 풀의 화재로 야기된 일반적인 화재 유형이다. 이 화재들은 국부적인 경향이 있으며 주거지에 미치는 위험보다는 공장내의 안전 지역권에서의 발생 가능성이 더 높다. 풀 화재 모델은 Fig. 1 과 같이 여러 요소의 부속 모델로 구성된다.

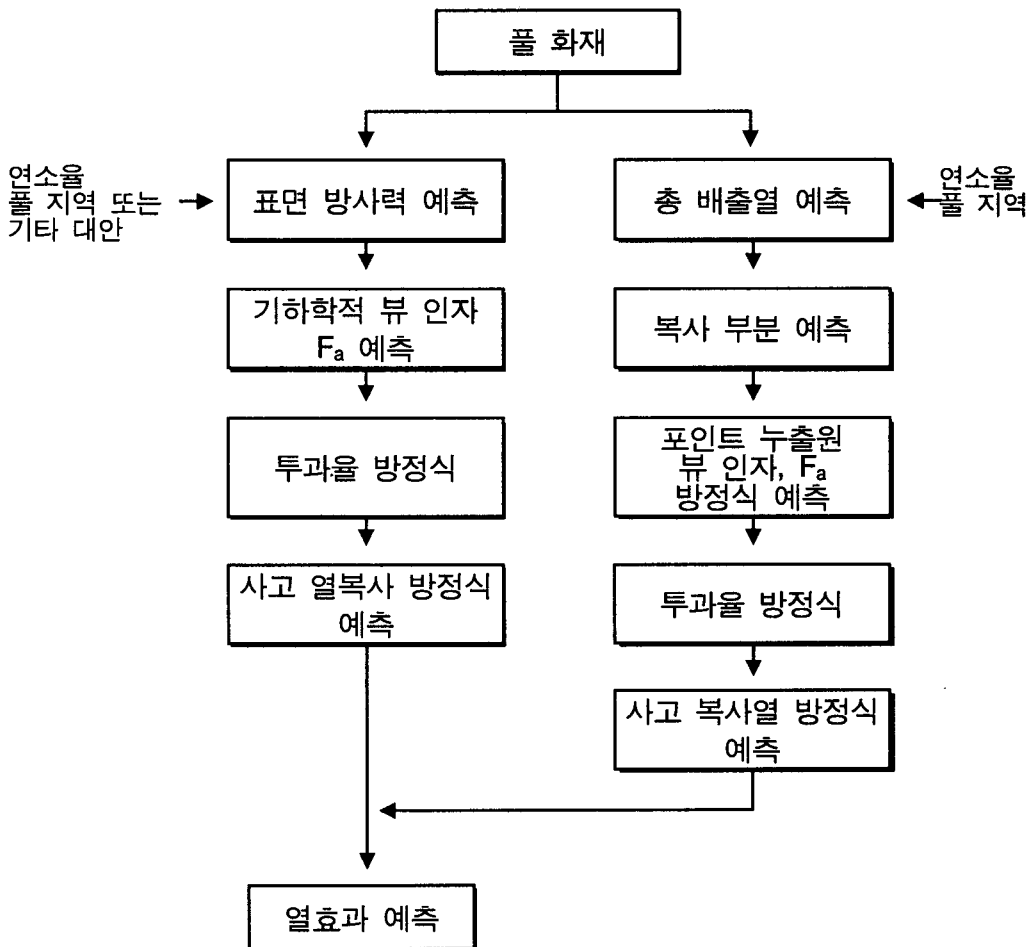


Fig. 1. 복사열 예측을 위한 풀화재의 논리표.

2-1. 제트 화재

제트 화재 모델링은 제트 화재 모델링은 논리 도표를 Fig. 2 에 나타내었다. API 방법은 원래 화염 분석용으로 개발된 것이지만 보다 폭넓게 사용되고 있다. 그 방법은 제트 화염 경로를 따라 포인트 누출원에서 발생하는 것으로 간주되는 총 연소 에너지의 복사 부분을 토대로 한다. 그래프는 화염 길이 대 화염 열과 상호 관련된 API 521에서 제공한다. 복사 부분은 수소의 경우 0.15, 메탄의 경우 0.2, 다른 탄화수소(실험실의 실험을 통해)의 경우, 0.3으로 주어진다. 이것이 불완전 연소에서 허용되려면 수정인자 0.67을 적용해야 한다.

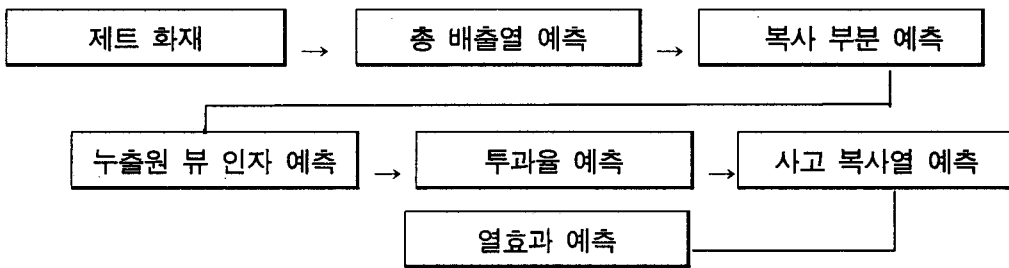


Fig. 2. 제트 화재 복사열 계산을 위한 논리 도표.

3. 복사열의 영향

3-1. 사람의 상해정도

복사열로 인한 사람의 상해정도는 노출된 시간과 사고로 인한 열플럭스에 의존한다. 화구 등과 같은 짧은 시간동안 발생하는 강렬한 복사열에 의한 위험이나 증기운 화재, 제트화재, 액면화재 등에 의한 장시간의 복사열에 의한 사람의 상해 정도를 판단해야 한다. 복사열에 의한 영향을 판단할 수 있는 기준으로 API에서 제시한 자료를 Table 1. 에 나타내었다.

Table 1. 복사열 강도와 상해 정도

복사열 강도		고통을 느끼기 시작한 시간 sec
Btu/hr/ft ²	kW/m ²	
500	1.74	60
740	2.33	40
920	2.90	30
1500	4.73	16
2200	6.94	9
3000	9.46	6
3700	11.67	4
6300	19.87	2

복사열의 노출로 인한 사람에 대한 영향을 Taso와 Perry 및 TNO에서는 Probit (Probability Unit) 모델을 다음과 같이 제시하였다.

1도 화상의 경우

$$\text{Probit} = -39.83 + 3.0186 \ln(t I_{th}^{4/3}) \quad (1)$$

2도 화상의 경우

$$\text{Probit} = -43.14 + 3.0186 \ln(t I_{th}^{4/3}) \quad (2)$$

화재 사망의 경우

$$\text{Probit} = -36.38 + 2.56 \ln(t I_{th}^{4/3}) \quad (3)$$

3-2. 장치나 구조물의 피해정도

화재로 인해 장치나 구조물에 대한 복사열 영향은 가연성 여부 또는 노출지속시간과 크기에 의존한다. 목재건축물이나 재료는 연소 때문에 쓸모없이 되어버릴 수 있고, 반면에 철 재료는 항복응력(yield stress)에 의한 열적저하 때문에 심각한 피해를 줄 수 있다. 즉, 정상하중에서 철구조물은 온도 500 - 600℃ 상승할 때 급격히 약해진다. 콘크리트 구조물은 더 오래 견딜 수 있다. 구조물에 대한 화열 충돌은 복사열보다 더 심각하다. World Bank 에서는 대형화재의 관찰에 의한 구조물 등의 피해정도를 제시하였는데 이를 Table 2.에 나타내었다.

Table 2. 복사강도와 구조물의 피해정도

복사열 강도		손상 형태
Btu/hr/ft ²	kW/m ²	
11,890	37.5	공정장치에 손상을 일으키기 충분함
7,930	25.0	오랫동안 노출에 의해 화염없이 목재를 점화하기 위해 필요한 최소에너지
3,960	12.5	프라스틱 튜브를 녹이거나 화염없이 목재를 점화시키기 위해 필요한 최소에너지

4. 맺은말

이상과 같이 공정산업에서 화재위험 평가 모델을 간략히 고찰하였다. 공정산업에서의 화재로 인한 사람의 상해정도나 구조물의 피해를 최소화하기 위해 설계단에서부터 화재 위험평가를 통해 대책을 강구해야 할 것이다. 또한, 화재 위험평가를 통해 공정산업시설의 경보시스템과 대피계획, 공장과 외부관련기관과의 연락을 위한 공동체계 등 화재예방 대책을 수립하여야 한다. 우리 화재소방 관계자들이 공정산업의 화재예방과 최소화할 수 있는 화재위험평가 기법에 많은 관심과 연구를 통해 사고시 사망 강도율이 높은 공정산업에서 화재로 인한 인명과 재산 피해를 최소화하는데 노력해야 할 것이다.

참고문헌

1. 이근원, 화학공정 위험성 평가 II, 한국산업안전공단, 2000.
2. 이영순 외, 회분식 반응기의 사고예방모델 개발, 연구원 2003-47-431, 2003.
3. D. A. Crowl and J. F. Louvar, Chemical Process Safety : Fundamentals with Applications, 2nd ed., Prentice Hall, 2002.