고밀도폴리에틸렌(HDPE) Plant의 정량적 위험성 평가

손재근, 박교식, 김지윤
한국가스안전공사 가스안전시험연구원

Quantitative Risk Assessment of High Density Polyethylene Plant

Jae-Geun Son, Kyo-Shik Park, Ji-Yun Kim
Institute of Gas Safety Technology, Korea Gas Safety Corporation

1. 서론

석유화학 Plant의 정량적 위험평가는 최근 대규모 석유화학공장에서 화재나 폭발이 자주 발생됨으로써 필요성이 그 어느때보다 요구된다.

최근 과학기술의 급속한 발전과 더불어 석유화학공장도 복잡 다양해지고 대형화 되어가는 반면 1997년 IMF 체제이후 기업에서는 안전에 대한 투자도 거의 없는 형편이며, 인력도 30 % 정도 감원한 상태에서 조업을 하고 있는 실정이어서 대형사고에 대한 가능성이 내재되어 있다.

더욱이 기업 경쟁력을 강화하기 위하여 생산량은 공칭능력 이상으로 생산하고 정기보수 기간을 1년에서 2년으로 늘리고 있는 등 안전보다는 생산성 향상에만 주력해 왔다. 그러나 최근 석유화학 공장에서 대형사고가 일어남에 따라 기업주의 안전에 대한 인식이 바뀌고 있다.

종합적가스안전관리체계(SMS)도 시행초기 형식적 자료제출에서 실질적인 방법으로 전환중이나 아직까지 사고이력에 대한 자료가 미흡하기 때문에 정량적 위험평가의 현장 적용은 아직까지 초보단계이다.

본 연구에서는 석유화학 플랜트의 대표적인 범용 합성수지 원료생산 Plant인 고밀도폴리에틸렌 Plant의 정량적 위험평가를 중합반응기를 중심으로 실시하였다. 공장에서 일어날 수 있는 사고나 폭발을 미연에 예방하기 위한 방법으로 운영요소와 시설요소을 통하여 불안전한 요소를 파악하여 제거하는 방법을 제시함으로써 Plant의 안전성을 향상 시키고자 했다.

2. FMEA 분석결과에 따른 위험인지 내용

◇ 반응기

구성항목	Failure Mode	Failure Effects	Remark
Cooling Jacket Or Tube	Rupture 제열안됨	- 반응기 압력상승 - 폭주반응 발생 - 안전밸브 작동	Flare Stack으로 배출 폭주반응으로 반응기 폭발 반응기 Killing 현상
반응기	Rupture	- 원료누출로 Pool/Jet Fire, VCDE - Fire Attack Adj. Reactor (Bleve)	가스의직접누출로 다양한 사고형태 존재
Agitator	Fail Stop	- 반응기내 열전달 불량으로 온도 및 압력 상승 - 국부반응 발생	반응물 응고
	Seal Leaking	- 혹산 누출로 Jet Fire VCDE - Fire Attack Adj. Reactor (Bleve)	혹산 직접누출로 다양한 사고형태 존재

3. 사고발생 빈도분석

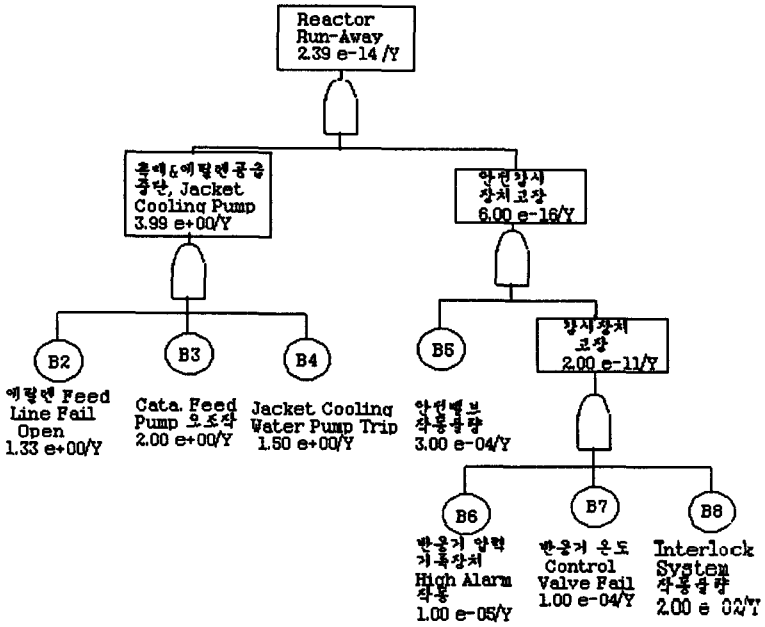
3.1.1 Reactor 폭주반응

촉매 Feed Line의 인적오류로 오조작하여 촉매 공급이 중단되고 에틸렌 Feed Line이 Fail Open 으로 에틸렌이 과다 공급되면서 동시에 Jacket Cooling Water Pump가 Trip되어 반응기 폭주반응이 예상됨.

- 고장모드 : 촉매 Feed Pump 오조작, 에틸렌 Feed Line Fail Open, Jacket Cooling Water Pump Trip
- 감시모드 : Pressure 경보장치 High Alarm, Temp. 경보장치 High Alarm 반응기 온도 Control Valve 작동안됨
- 반응기 설계압력 : 12 Kg/㎠

7개 Event를 Minimal Cut-Sets 계산한결과 폭주반응 가능성은 2.33×10^{-14} 회/년로 거의 가능성은 없다는 것을 알수있음

3.2 FTA



4. 사고피해 영향분석

4.1 반응기 Agitator Seal Rupture로 인한 혝산누출

4.1.1 조건

- 주요유체 : 혝산 Vapor
- 압력 : 10 Kg/㎠
- 누출직경 : Agitator의 Shaft가 100 m/m 이고 2 m/m의 Clearance가 발생할 경우

  $A = (3.14\ D_1^2 / 4) - (3.14\ D_2^2 / 4) = 0.000317$ ㎡

  대기온도 15 ° C

  분자량 : 86

4.1.2 누출량

상기 조건을 음속누출식 계산에 따라 계산하면 매초당 0.769 Kg의 혝산 증기가 누출됨.

4.1.3 제트 화재의 계산

- 인근의 Hot Space 및 기타 점화원에 의해 누출된 혝산 증기에 점화되면 제트화재를 예상할 수 있다.
- 제트 화재(Jet Fire)의 크기 (Considine & Grint 식 1984)

  L = 9.1 m = 7. 9 m

W = 0.25 L = 2 m
L : 제트화염의 길이 (m)
W : 제트화염의 원추반경 (m)
m : 유체의 누출속도 (Kg/Sec)

· 제트화재(Jet Fire)에 의한 위험범위 계산 (Crocker & Napier식) 식에 의하여 계산한 결과로서 Seal Rupture시 반응기 상부로부터 7.9 m 정도의 제트화재가 발생하며 화염방향으로 반경 14.4 m에 위치한 운전자는 사망하게 된다.

또한 화염이 반응기를 가열하여 Bleve를 발생할수 있으나 설치된 살수장치 및 모니터를 가동하면 Bleve를 방지할수 있다.

· 제트화재의 치명사 영역은 반경 14.4 m

5. 결론

평가대상 시설의 전체위험은 선진국의 부적절한 기준보다 높지 않으나 위험을 낮추기 위한 관리가 필요한 정도의 위험수준이다.

시설투자로 위험을 Acceptable 수준으로 낮추면 좋겠지만 위험관리시스템을 적절히 이용한다면 합리적인 방법이다.

주요 위험사항은 아래와 같으므로 운영요소와 시설개선요소로 구분하였다.

운영요소

· 핵산 Feed Pump 및 미반응 Compressor 주변 공정의 Trouble로 Seal Rupture되어 핵산이 누출되는 사고와 공정내 많은 배관 및 배관 이음매의 Repture로 인하여 화재사고의 빈도가 자주 발생한 것으로 평가된다.

그러므로 Feed 되는 에칠렌, 프로필렌, 수소, 촉매, 1-4 부텐, 핵산등의 Control 밸브가 Close 되지 않도록 하고 반응기 Lovel 관리가 중요하다.

· 또한 배관, 배관이음매 및 동력기기의 Seal의 주기적인 점검으로 장치의 신뢰성이 유지되어야 위험을 줄일수 있다.

즉 주기적인 계기 Calibration이 중요함.

· 반응기는 대형사고까지 연쇄적인 전개가 가능하며 이러한 반응기가 한 개의 Plant에 여러개 존재하므로 폭발시 그 피해범위는 상당히 크게 작용될것으로 사료되며 가스누설, 계기작동사항점검(주기적으로 Local Patrol), Agitator 운영상태, 반응기관련 Interlock System, Fail Mode 시 Control Valve 상태등을 잘 관리하여야함.

시설요소

· HDPE 중합은 대부분 Slarry 중합이기 때문에 노르말 핵산이 Solvet로 사용되기 때문에 화재시 반응기 주변 설비의 Structure는 Contrete Type 내화규조로 하여야 함. (대부분 내화페인트로 되어있음)

· 반응기에 Jacket 나 Baffle에 연결되어있는 Cooling Water Pump는 비상시나 정전시 반응기 온도상승방지를 위하여 역할이 아주 크므로 주위깊게 관리하여야 하며 전원은 비상발전기기나 UPS전원으로 항상 가동될수 있도록 하여야 함.

· 반응기내 폭주반응이나 이상압력상승시 제어할수 있는 것이 안전밸브나 HC Valve에 의존하고있는데 탈압설비 즉 PT와 PICA Control 밸브 설치요망

참고문헌

1. "박교식, 윤인섭, "공정안전공학", 청문각, 1995
2. 한국가스안전공사, 화학공정 정량적 위험분석(KGS-97-201)
3. CCPS, "Gideline For Chemical Process Quantitative Risk Analysis", AIChE (1989)
4. 한국가스안전공사, 장치산업에서의 정량적 위험평가 (KGS-97-019)