

Polyol공정에 대한 위험성 평가에 의한 안전비용 산정에 관한 연구

이준석 · 이영순^{*†} · 박영구^{**}

한국산업안전공단 서울북부지도원 · ^{*}서울산업대학교 안전공학과 · ^{**}삼척대학교 환경공학과
(2001. 10. 26. 접수 / 2002. 3. 5. 채택)

A Study on Safety Cost Estimation Using Process Risk Assessment for Polyol Process

Jun-Suk Lee[†] · Young-Soon Lee^{*†} · Young-Ku Pak^{**}

Korea Occupational Safety & Health Agency · ^{*}Department of Safety Engineering, Seoul National University of Technology

^{**}Department of Environmental Engineering, Samchok National University

(Received October 26, 2001 / Accepted March 5, 2002)

Abstract : A research on accident loss calculation for polyol process without safety management activities, and safety cost estimation using process risk assessment has been implemented. In order to estimate a magnitude of loss, accident scenarios were made by combining result made from HAZOP Study method with accident possibility analysis results implemented with FTA. Also effect assessment was implemented for accident consequence of each scenario. And minimum possible loss cost has been calculated when safety investment do or not. Result from cost-benefit analysis was shown as approximately ₩335 billion(=US\$44,000 billion), as cost after subtracting safety management cost from minimum possible loss cost.

Key Words : safety cost estimation, cost-benefit analysis

1. 서 론

산업사고 방지를 위한 안전관리가 효율적으로 추진되고 있는지를 알아보기 위해서는 안전관리 활동에 대한 경제성 분석이 실시되어야 한다.¹⁻⁶⁾ 기업에서의 안전관리 활동은 그의 경제성 분석을 통한 타당성이 입증되어야만 적극적으로 추진될 수 있기 때문이다.

IMF 체제 이후 기업에서는 경영혁신과 감량경영을 실시하여 안전보건조치가 축소되고 안전관련 투자가 경감되었으며 노동시장의 유연화 등 산재발생요인은 지속적으로 증가되고 있다. 그러나 기업경영에 대한 경제적 여건의 악화로 기업에서는 비용효과적인 사업만이 추진된 것으로 예측된다.

이러한 요구에 따라 여기에서 Polyol 공정의 안전관리 활동의 타당성을 알아보기 위해 몇 가지 사고

시나리오를 가정하여 이에 대한 사고결과 피해예측을 수행하고, 안전관리 활동을 강화함으로써 이러한 사고를 예방할 경우를 대비하여 안전비용을 산정하여 안전 활동의 경제성 분석을 실시하는 기초연구를 실시하였다.

2. Polyol 공정에 대한 안전투자비용 산출

2.1. 대상공정 개요

이 공정은 수산화칼륨(KOH) 촉매 존재하에 프로필렌옥사이드(PO, C₃H₆O)와 에틸렌 옥사이드(EO, C₂H₄O)를 원료로 폴리올(Polyol)을 제조하는 회분식 공정으로 주반응기 주변의 공정흐름은 Fig. 1과 같다.

2.2. 안전투자비용

Polyol 공정에 대한 안전투자 비용은 Table 1에서와 같이 안전장치 설치비, 위험기계 기구 점검비, 시설보수비, 안전관련 교육비, 관련연구 개발비, 안

[†]To whom correspondence should be addressed.
lysoon@duck.snut.ac.kr

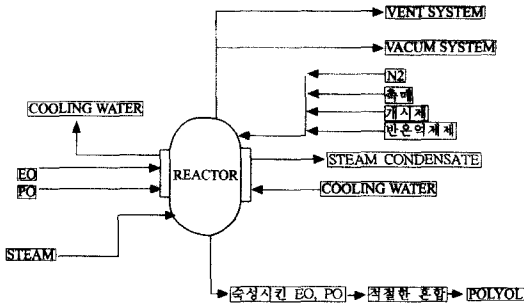


Fig. 1. Process Flow diagram for polyol process

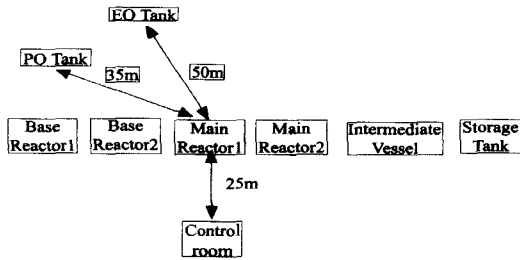


Fig. 2. Schematic diagram of polyol process

전투자의 시설비 등으로 나누어 산출하였다.

Table 1에서 제시한 안전투자비용 항목을 기준으로 최근 3년간 Polyol 공정에서의 안전관리분야 투자비용을 할인율을 적용하여 현재가치로 환산하면 Table 2와 같이 나타낼 수 있다.

Table 1. Items for Safety Investment Cost

안전투자비용	세부항목
안전장치 설치비	관련 법령 및 규정에 의하여 설치되는 안전설치비, 안전성을 향상시키기 위해서 필요한 설치비(예를 들면, 릴리프 밸브, 체크 밸브, Vent 시설 등)
위험기계·기구 점검비	안전진단, 정기점검, 특별점검, 수시점검 등 안전점검에 사용된 비용
시설 보수비	EO 탱크, PO 탱크, Base reactor, Main reactor, 중간용기, 각종배관 등의 시설보수비
안전보건 교육비	정기교육, 특별교육, 아침교육 등 공장 안전을 위한 관련 교육비
안전 관련 연구비	Polyol 공정 관련 연구비용
안전투자비 외 시설비	EO 탱크, PO 탱크, Base reactor, Main reactor, 중간용기, 각종배관 등의 시설비

Table 2. Safety investment cost

(단위 : 억원)

분야	연도			
	1997	1998	1999	계
매출액	1,173.9	1,529.85	1,926	4,629.75
안전장치 설치비	0.32	0.32	0.2	0.8
위험기계·기구 점검비	0.945	0.735	0.8	2.4
시설 보수비	0.105	0.105	0.1	0.3
안전보건 교육비	1.785	0.63	0.8	3.1
안전 관련 연구비	0.1575	0.32	0.2	0.55
계	3.3125	2.11	2.1	7.5225
안전투자비/매출액(%)	0.28	0.13	0.11	0.16

할인율 5% 적용

3. Polyol 공정의 비용편익분석 적용

3.1. 공정사고 시나리오 작성

사고 시나리오는 Fig. 1의 Polyol 공정에 대한 HAZOP Study 실시결과와 FTA²⁷⁾ 실시 후 가장 가능한 것으로 예측되는 다음의 3가지로 작성하였다.

1) 시나리오 1(위험기계·기구 점검관련비용)

10Kg/cm² G, 200°C에서 운전하고 있는 높이 3m, 지름 1.8m의 반응기에 PO를 공급하는 3inch 공급배관에서 1인치 크기의 누출공이 생성되어 PO가 누출되었다. 누출이 발생한지 5분이 경과 한 후 미지의 점화원에 의해 점화되어 화재가 발생하였다.

2) 시나리오 2(시설 보수관련비용)

시나리오 1과 같은 화재에 의하여 발생한 복사열은 주변 반응기를 가열하여 반응기 내의 압력과 온도의 상승을 가져왔고, 이때 안전장치까지 고장이 발생하여 사고발생 일정시간 후에 BLEVEs(Boiling Liquid Expanding Vapor Explosions)가 발생하였다.

3) 시나리오 3(안전보건 교육비)

운전자가 실수로 유량 설정을 잘못하여 EO 약 200 Kg이 과잉으로 공급되어 미반응 EO 모노머가 증가되어 폭발반응(Runaway Reaction)이 일어났다.

3.2. 공정 사고결과 영향평가 및 손실액 산정

3.2.1. 시나리오별 사고결과 영향분석

예상 시나리오대로 사고가 진행되었다고 가정하

고 그 사고가 발생했을 때 주위에 미치는 영향의 크기를 알아보기 위해 SAFER Trace 8.2(Dupont)를 이용하여 각 시나리오별 사고결과 영향평가⁷⁻⁹⁾를 실시한 바 그 결과는 다음과 같다.

1) 시나리오 1에 대한 분석결과

시나리오 1에 대한 사고결과 영향분석⁷⁻⁹⁾결과는 Table 4와 같다.

Table 4에 의하면, 누출지점 주위에 있는 공정장치들은 37.5 kW/m²의 복사열에 노출될 수 있는 위치에 있다. 따라서 시나리오 1의 사고결과는 Main reactor를 중심으로 주위의 공정장치들은 모두 파괴될 수 있다.

2) 시나리오 2에 대한 사고결과 분석

시나리오 2에 대한 사고결과영향 중 폭발 과압⁷⁻⁹⁾을 중심으로 한 분석결과는 Table 5와 같다.

시나리오 1,2에 대한 사고결과 영향분석 결과 나타난 피해범위 안에 들어 있는 장치가 모두 손상을 받았다고 가정하고 이 사고로 인한 최소가능손실액을 계산하면 다음과 같다.

Base reactor 8천만원, Main reactor 설치비가 1억 원이므로 이들 각각 두 대씩 파손되면 3억 6천만원의 손실이 발생한다. 또한 이 사고로 인한 최소손실일수를 조사·분석하니 사고조사 일수 7일, 철거일수 3일, 설치일수 60일, 시험운전일수 4일이고, 이를 합하면 74일이다. 따라서 하루 운전을 하지 않을 경우 공장의 손실액은 Table 2의 3년간의 총매출액 4,629.75억원을 1095일(3년)로 나누어서 얻은 값 4억 2천3백만원으로 볼 수 있다.

따라서 모든 손실일수에 따른 전체 손실비용은 모든 손실일수에 하루 손실액을 곱하여 얻어지는데 이 값은 313.02억원이 된다. 따라서 시나리오 1,2의 최소가능손실액은 손실일수에 따른 313.02억원에

Table 4. Radiation heat intensity data from scenario 1

Distance(m)	-56.4	-32.4	-14.3	-8.3	-2.4	3.6	9.5	33.6	56.4
Thermal radiation (kW/m ²)	0.9	2.9	12.8	37.6	37.6	37.6	31.1	2.7	0.9

Table 5. Explosion overpressure data from scenario 2

Distance(m)	1.8	10.6	25.4	40.1	60.8
Overpressure(psi)	279.2	9.5	3.4	1.4	0.8

Table 6. Explosion overpressure data from scenario 3

Distance(m)	1.9	23.1	44.2	72.5
Overpressure(psi)	312.5	4.4	1.6	0.8

Table 7. Loss cost for scenarios

시나리오	영향에 따른 손실 비용		
	물적손실(원)	조업중단일수(원)	총액
시나리오 1, 2	3.6억원	313.02억원	316.62억원
시나리오 3	4.2억원	334.17억원	338.37억원
총액	7.8억원	651.39억원	654.99억원

장치파손비 3.6억원을 더한 316.62억원이 된다.

3) 시나리오 3에 대한 사고결과 분석

시나리오 3의 사고가 발생했다고 가정한 사고결과영향 분석결과는 Table 6과 같다.

Table 5에서 주요장치를 파손시킬 수 있는 과압(3.4psi)이 미치는 거리는 25.4m였으나 Table 6에서는 비슷한 거리에 미치는 과압이 4.4psi로 폭발결과 미치는 영향이 시나리오 2보다 훨씬 크다. 이는 시나리오 3에 의해 발생한 사고는 시나리오 2보다 많은 손실을 입을 수 있음을 의미한다.

따라서 시나리오 3이 발생했다고 가정하면 시나리오 2에 의해 파손된 장치 외에 저장탱크 1기(6천만원)가 더 파손될 수 있다. 이때 이에 대한 최소가능손실액은 시나리오 2에 발생한 장치파손비 3억 6천만원보다 많은 4억 2천만원이 된다.

또한 최소손실일수는 사고조사 일수 7일, 철거일수 3일, 설치일수 65일, 시험운전일수 4일로 이들을 모두 합하면 79일이다. 그리하여 손실일수에 따른 손실액은 334.17억원이 되고 이에 장치파손비인 4억2천만원을 더하면 338.37억원이 된다.

이렇게 각각의 시나리오를 평가하여 최소가능손실액을 산출하여 정리하면 Table 7과 같다.

4. 비용편익분석

Polyol 공정 안전관리비에 대한 비용편익분석을 순 현재 가치 평가방법¹⁰⁻¹¹⁾을 이용하여 실시하였는 바 그 결과를 정리하면 다음과 같다.

1) 연구대상 공정에 대한 3년간의 총 안전투자비용은 7.5225억원이다.

2) 시나리오 1, 2에 의한 사고가 발생했다고 가정 한 최소가능손실액은 316.62억원이었다. 이것은 위험기계·기구 점검비와 시설 보수비의 안전투자비용을 투자하지 않았을 경우를 가지고 계산하였다. 또한 시나리오 1, 2를 예방하기 위하여 소요된 안전 투자비는 2.7억원으로 추정되었다.

3) 시나리오 3이 발생했을 때 최소가능손실액은 338.37억원이다. 이것은 안전보건 교육비의 안전투자비용을 투자하지 않았을 경우를 가지고 계산하였다. 또한 시나리오 3을 예방하기 위하여 투자한 안전투자비용은 3.1억원이었다.

4) 위의 계산결과 시나리오 1, 2, 3에 대한 비용편익분석에서 얻어진 편익을 살펴보면 다음과 같다.

- ① 시나리오 1, 2의 316.62억원(최소가능손실액)에서 2.7억원(안전투자비용)을 뺀 313.92억원이 안전투자를 하였을 때의 편익이다.
- ② 시나리오 3의 338.37억원(최소가능손실액)에서 3.1억원(안전투자비용)을 뺀 335.27억원이 안전투자를 하였을 때의 편익이다.

5. 결 론

Polyol 공정을 연구 대상으로 하여 안전관리 투자에 대한 비용편익분석을 실시하였다.

분석은 ① 대상공정 선정 ② 공정사고 시나리오 작성(HAZOP Study, FTA) ③ Polyol 공정의 최근 3년(1997~1999년)간의 안전투자비용 조사 ④ 사고 결과 영향평가 실시 ⑤ 최소가능손실액 산정 ⑥ 편익 산정의 절차로 실시하였다.

안전관리를 철저히 수행하여 시나리오 1, 2와 같은 사고가 발생하지 않을 때는 약 313억원, 시나리오 3과 같은 사고도 발생하지 않을 때는 약 335억원의 편익이 예상된다.

참고문헌

- 1) 한국산업안전학회, "산업재해로 인한 업종별 직-간접 손실액 산출기준에 관한 연구," 한국산업안전공단 산업안전보건연구원, pp. 8-45~50, 1999.
- 2) Sassone P. G., and Schkaffer W. A., A Handbook : Cost-Benefit Analysis, Academic Press, New York, San Francisco, London, 1978.
- 3) Robert J. Brent, Applied cost-benefit analysis, E. Elgar Pub., 1996.
- 4) Tefvik F. Nas, Cost-benefit analysis, Sage Pub., 1996.
- 5) 김정희, "직장의료보험에서 실시하는 B형간염 예방사업의 비용편익분석," 서울대보건대학원, 1998.
- 6) Diana Fuguitt and Shanton J. Wilcox, "Cost-benefit analysis for public sector descion makers," Quorum, 1999.
- 7) 한국산업안전공단, "종합위험관리체제 구축을 위한 연구보고서," 한국산업안전공단, pp. 8~45~60, 1998.
- 8) AICHE, "Guidelines for Process Equipment Reliability Data," AEA, 1989.
- 9) AICHE, "Guidelines for chemical process quantitative risk analysis," AEA, 1989.
- 10) 김홍배, 비용편익분석론, 홍문사, 2000.
- 11) 김동건, 비용·편익분석, 박영사, 1999.