

화학설비의 비용·편익 분석 시스템 개발에 관한 연구

홍재훈, 서재민, 유진환, 김정원, 고재욱
광운대학교 화학공학과

A Study on the Development of the Cost-Benefit Analysis System for Chemical Facilities

Jae Hoon Hong, Jae Min Seo, Jin Hwan Yoo, Joung Won Kim, Jae Wook Ko
Dept. of Chemical Engineering, Kwangwoon University

1. 서론

화학산업에서 발생되고 있는 사고는 인적·물적 손실과 더불어 사회적 책임이 증가하고있는 추세이다. 또한, 산업설비는 첨단화, 대형화, 고도화 되어가고 있고, 이로 인한 대형사고 발생 가능성은 확률적으로 더 높아지고 있다.

IMF 이후 국내 기업들은 계열분리 및 분사 등의 원가절감을 통해서 난관을 극복하려 하였다. 그러나 원가절감 효율화는 크게 진전을 보지 못하고 안전관리 조직 감축에만 역점을 두고 있어서 현장에서는 체계적인 안전관리의 부재로 안전 관련사고의 급증 등의 문제점이 나타나고 있다. 아직 대다수의 국내 기업의 위험관리(Risk Management)는 안전관리의 필요성을 인식하지 못하고 있으며, 안전관리전략으로서 투자비용에 대한 계획을 수립·실천하고 있지 못한 상태이다.

따라서 본 연구는 화학공장의 안전성 향상을 위하여 설비투자자를 시행하여야 할 필요가 있는 시설에 대한 투자 및 관리비용과 그에 따른 편익을 산출함으로써 체계적인 안전관리를 할 수 있도록 관련 항목들을 선정하여, 선정된 비용·편익 항목을 이용한 비용·편익 분석 시스템을 개발하였다.

2. 비용·편익 분석(Cost-Benefit Analysis) 기법

2. 1. 일반사항

1) 적용 대상

- 공장 수준(Plant Level)에 대한 안전성 향상 제고 시 적용
- 공정 수준(Process Level)에 대한 안전성 향상 제고 시 적용
- 기타 위험기반 비용·편익 분석이 필요한 모든 분야에 적용

2) 적용 시기

<p>1. 타당성 검토단계 투자에 앞서 타당성 조사 단계에서 투자가치가 있는지를 결정하는데 도움을 주기 위하여 적용할 수 있다.</p>
<p>2. 설계 단계 설계 및 건설단계에서 예상치 못한 설계 변경 상황이 발생할 경우 효용성 등을 판단하기 위하여 적용할 수 있다.</p>
<p>3. 운전 단계 설비가 건설되어 운전되고 있는 단계에서 안전성 향상이나 기타 목적을 위하여 투자를 하여야 할 경우, 효율적인 투자를 위한 의사 결정을 위해 적용할 수 있다.</p>
<p>4. 기타 다른 의사 결정이 필요한 경우</p>

3) 팀의 구성

위험기반 비용·편익 분석에 필요한 구성원은 분석 대상자에 따라 다르지만, 일반적으로 팀 리더가 위험도 분석, 운전, 유지/보수, 설계, 경리, 법규, 영업, 환경영향 평가, 보험 등의 관련 담당자로부터 자료를 입수하여 분석을 수행한다.

4) 수행 시 필요 자료

- 대상공장이나 공정 위험도의 정량화 결과 (혹은, 정성적 결과 자료)
- 안전성 향상 대안의 적용에 따라 소요되는 일반적인 비용과 안전성 향상을 통하여 얻어지는 편익 항목 조사 자료
- 기타 필요 자료

2. 2. 분석 절차

위험성에 대한 정량적인 분석 결과가 있다는 가정 하의 일반적인 위험기반 비용·편익 절차는 다음과 같으며, 아래의 그림 1은 비용·편익 분석의 일반적인 체계 구성도이다.

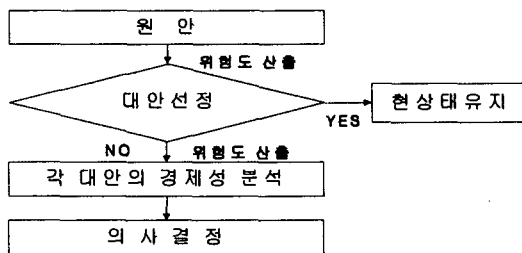


그림 1. 비용·편익 분석 체계

- 1) 정량적·정성적 결과 또는 전문가 판단에 따라 안전성 향상을 위한 분석 대상 및 분석 범위를 선정한다.
- 2) 분석 대상 위험도의 정량적 평가 결과 또는 과거의 사고 이력 등에 기초한 관련 전문가의 의견을 기반으로 대안을 선정한다.
- 3) 허용 가능한 위험도 기준을 설정한다.
- 4) 각 대안 수행 시의 위험도를 평가하고, 위험도 기준을 만족하는지를 판단한

- 다. 또한 위험도 기준을 만족하지 못하는 대안은 분석 대상에서 제외한다.
- 5) 선정된 각 대안들 수행시의 비용 및 편익 항목을 선정하고 평가한다.
 - 6) 각 대안을 수행할 경우의 위험도 변화를 고려한 편익을 평가한다.
 - 7) 각 대안을 비교하여 안전성 향상 및 비용·편익 측면에서 가장 효율적인 대안을 선택한다.

2. 3. 대상 및 대안의 선정

대상 및 대안을 선정하기 위하여 위험도 기준은 위험도 관리 방안을 필요로 하는 화학설비의 기본 위험도와 관련된 결정을 지원하기 위하여 사용되고 있다. 즉, 위험도 기준은 현존하는 위험도를 잠재적으로 수용 가능한 영역과 수용 불가능한 영역의 형태로 특성화하는 것을 도와준다. 이와 같은 위험도 기준은 인명에 대한 위험도와 환경에 대한 위험도로 구분할 수 있다. 그러나 비록 위와 같은 위험도 기준에 의해 어떤 화학설비가 사회에 잠재적으로 수용 불가능한 것으로 판명 되었더라도 이것이 최종적인 결정의 근거로 사용되는 것은 아니다.

인명 및 환경에 대한 위험도와 유사하게 경제성장, 지속성, 형평성 등 다른 결정 기준이 위험도 감소 방안의 수용 여부에 영향을 미칠 수 있으며, 역사적으로 지금까지는 인간에 대한 위험도가 환경에 대한 위험도 및 기타 위험도에 우선하여 화학설비의 위험 관리 방안의 수용 여부 결정에 사용되어 오고 있다.

일반적으로 위험을 다음과 같이 3단계로 구분할 수 있다.

- 1) 수용 불가 위험도(Unacceptable) : 위험도가 너무 높아 사회가 즉각적인 조치를 요구하는 수준의 위험도
- 2) 수용 가능 위험도(Acceptable) : 위험도가 인정할 만한 수준을 유지하여 일상생활에 무시할 정도의 위험도 수준
- 3) 위의 두 가지 극단적인 경우의 중간에 위치하는 위험도로 위험도 감소에 대한 비용·편익 분석을 고려할 만한 위험도

2. 4. 손실비용 평가모델

하인리히(H.W. Heinrich) 방식	사고로 인한 경제적 손실을 재해코스트(accident cost)라 정의하여, 직접비와 간접비로 구분하였으며, 그 비율은 1:4가 된다고 하였다. 즉, 재해코스트는 「직접비 + 간접비」로 계산되고, 직접비 : 간접비는 1:4 이므로 재해코스트는 「직접비 × 5」로 계산된다는 것이다.
버즈(F.E.Bird's) 방식	1926년 이래로 간접비의 구체적인 항목을 처음으로 소개한데 이어서, 그 중에서 주목받고 있는 연구로서 버즈가 주창한 간접비의 빙산원리(Iceberg principle of hidden costs)이론이다. 두 개의 범주로 나누어 설명하고 있는데, 하나는 쉽게 측정할 수 있는 보험으로 보상 가능한 비용이고, 다른 하나는 측정하기 어려운 비용으로 보상이 가능하지 않을 기타 비용이다. 각 부분에 대한 결과는 하인리히의 1:4 법칙 보다 더 높게 나타나고 있다. 즉 보험비 : 비보험 재산비용 : 비보험 기타 재산비용의 비율은 1 : 5~50 : 1~3 이 된다.
콤포스(Compes) 방식	콤포스는 총 재해손실비는 불변값을 갖는 공동비용과 개별비용의 합으로 보고 있다. 콤포스의 공동비용과 개별비용의 항목은 다음과 같다. 총 재해손실비용 = 개별비용 + 공동비용

<p>버즈(F.E.Bird's) 방식</p>	<p>1926년 이래로 간접비의 구체적인 항목을 처음으로 소개한데 이어서, 그 중에서 주목받고 있는 연구로서 버즈가 주창한 간접비의 빙산원리(Iceberg principle of hidden costs)이론이다. 두 개의 범주로 나누어 설명하고 있는데, 하나는 쉽게 측정할 수 있는 보험으로 보상 가능한 비용이고, 다른 하나는 측정하기 어려운 비용으로 보상이 가능하지 않을 기타 비용이다. 각 부분에 대한 결과는 하인리히의 1:4 법칙 보다 더 높게 나타나고 있다. 즉 보험비 : 비보험 재산비용 : 비보험 기타 재산비용의 비율은 1 : 5~50 : 1~3 이 된다.</p>
<p>시몬즈(R.H. Simonds) 방식</p>	<p>하인리히의 1:4의 직·간접 비율에 의한 재해손실비용 산출방안 대신에 평균치 계산방식을 제시하였다. 시몬즈 방식이 하인리히 방식과 다른 점은 다음과 같다.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 보험비용과 비보험비용으로 구분한다. 또한 사업체가 지불한 총 산재 보험료와 근로자에게 지급된 보상금과의 차이를 하인리히가 가산하지 않고 있는데 비하여 시몬즈는 보험비용에 가산하고 있다. 2) 하인리히의 간접비와 시몬즈의 비보험비용은 같은 개념이지만 그 구성 항목에는 차이가 있다. 3) 하인리히 방식인 1:4에 대해서는 전면적으로 부정하고 새로운 산정방식인 평균치법을 채택하고 있다. <p>₩(총재해비용산출방식) = 보험비용 + 비보험비용 = 보험비용 + (A×휴업상해건수) + (B×통원상해건수) + (C×응급처치건수) + (D×무상해사고건수) (A,B,C,D는 상수(금액)이며 각 재해에 대한 평균 비보험비용)</p>
<p>노구찌 방식</p>	<p>노구찌는 근본적으로 Simonds 의 재해비용 산정방식인 평균치법에 근거를 두고 일본의 상황에 맞는 방법을 제시하였다. 재해손실비를 법정 보상비, 법정 의 보상비, 인적손실, 물적손실, 생산손실, 특수손실 분류하고 있다. 비용의 요소에 대한 금액을 집계하면 재해 1건당 비용이 산출된다고 했다. 즉, 재해 1건당 코스트 M은</p> $M=A(\text{또는 } 1.15a+b)+B+C+D+E+F$ <p>가 된다. 여기서 a는 하인리히의 직접비용에 대응되는 요소이며, 1.15a는 시몬즈의 보험비용과 같은 것이다.</p>
<p>영국 산업안전 보건청(HSE)</p>	<p>HSE는 업종별 사고 유형을 보험비용과 비보험비용으로 구분하여 조사하였다. 조사결과 사고유형별로는 전체적으로 중대재해가 1 일 때 경미한 재해는 11이고 무상해 재해는 441로 분석되었고 건설업의 경우 무상해 재해가 다른 산업보다 많았으며, 전체적으로 상해재해 대비 무상해 재해는 1 : 37 이었다.</p>

2. 5. 비용·편익항목의 설정

비용이란 어떤 사업을 수행하는데 있어서 지불해야 하는 일체의 비용을 금액으로 표시한 값을 의미한다. 이와 같은 비용을 경제적 비용이라고 한다.

편익이란 어떤 사업을 수행함으로써 그 결과 사회에 제공하는 일체의 직·간접적인 효과를 의미한다. 편익에는 직업 창출, 안전성 향상 등과 같은 긍정적인 면과 환경오염 등과 같은 부정적인 면이 있을 수 있으며, 이 두 가지 측면을 모두 포함하는 사회 전체의 효과로 편익을 평가하는데 이를 사회적 비용이라고도 한다. 이와 같은 사회 전체의 효과를 비용·편익 분석에서는 총괄하여 편익이라고 한다.

본 연구에서는 화학공장에서 안전성 향상을 위해 투자되어야 할 것으로 기대

되는 모든 직·간접적인 항목을 비용항목으로 선정하였으며, 발생 가능한 사고가 특정 위험관리방안을 적용하여 안전성을 향상시킴으로써 예방되었을 때 지불하지 않아도 되는 비용인 재해손실 회피비용과 설비개선으로 인해 얻을 수 있는 생산성 향상과 같은 직접적인 비용을 편익항목으로 고려하였다.

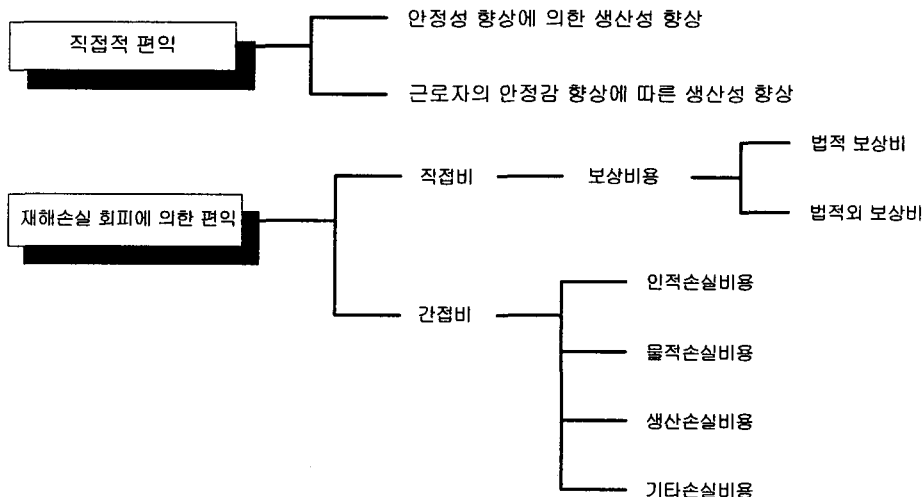
1) 비용항목

비용이란 특정 투자 대안을 시행할 때 투입되는 모든 자원을 의미한다. 일반적으로 투입되는 자원은 시설비, 인건비, 재료비 등 화폐단위로 환산되어 표시되며, 이를 더한 것이 특정 투자 대안의 비용이 된다. 다음은 앞 절의 손실비용 평가모델을 통하여 선정된 비용항목들이다.

- 초기 투자비 : 기존 설비의 철거비, 새로운 설비구입과 관련 설비에 대한 설치비(자재비, 공사비, 설계비, 건설 간접비, 부속 장치비), 시운전비 등
- 운영유지비 : 설비를 운영하고 정비·보수하는데 사용되는 비용 (안전성 유지를 위해 새로 추가한 시설물의 유지·보수·개선 비용, 감가상각비, 간접비용 등)
- 처분비용 : 추가 설비 투자 시에 교체되는 기존의 설비의 처분시 소요되는 비용(모터, 고철, 폐기물 등)을 고려한다.

2) 편익 항목

편익이란 투자 대안을 시행한 결과로 사회전체에 제공되는 모든 직·간접적인 효과를 의미한다. 여기서 효과란 단순히 투자 대안의 시행 이전과 시행 이후의 차이를 말하는 것이 아니라 투자 대안을 시행하였을 때와 시행하지 않았을 때의 차이를 말한다. 비용·편익 분석에 있어서 중요한 문제점 중의 하나는 편익을 평가하는 방법이라 말할 수 있다. 편익은 비용과 달리 항상 화폐가치로 평가할 수 있는 것이 아니고 각자의 입장에 따라서 중요성이 달리 평가될 수 있으므로 논란의 소지가 크기 때문이다. 따라서 편익항목은 설비 도입에 따른 직접적 편익과 재해손실이 발생함으로써 생기는 재해손실 회피에 따른 편익의 2가지로 크게 분류하였다.



3. 연구방법

본 연구는 화학설비의 설비투자 및 관리비용과 그에 따른 편익을 산출함으로써 체계적인 안전관리를 할 수 있도록 관련 데이터베이스를 구축하고, 구축된 데이터베이스를 이용하여 비용·편익 분석 시스템을 개발하는데 그 목적이 있다. 그림 2는 본 연구의 주요 내용 및 범위를 보여주고 있다. 먼저 대상공정을 선정하고 선정된 공정에서의 잠재위험을 확인하여 사고빈도와 사고 결과분석을 통해서 위험성을 표현하고 화재나 폭발 또는 독성물질로 인한 중대 사고에 의해서 인체나 건물에 미칠 수 있는 영향을 정량적으로 평가를 한다. 얻어진 결과를 기반으로 경제성 분석을 통해 다음과 같은 절차를 수행한다.

- 기초자료 조사 및 분석
- 설비투자방안 D/B 구축
- 비용·편익 D/B 구축

비용 D/B	(1) 초기투자비 - 철거비, 설비비, 설치비, 시운전비 (2) 운영 유지비 - 투자비에 대한 이자, 시설물의 유지·보수·개선 비용, 각종 시험 및 감시 비용(시공감리, 정기검사, 수시검사 등), 안전 교육비, 연구 및 관리비
편익 D/B	(1) 설비의 직접적 편익 (2) 보상비용 (3) 인적 손실 비용 (4) 물적 손실 비용 (5) 생산 손실 비용 (6) 환경 영향 비용 (7) 이미지 손실 비용 (8) 기타 처리 비용

- 경제성 평가 수치 모델 개발
- 평가 모델을 이용하여 화학설비에 대한 적정 위험도 산출
- 적절한 안전 투자비용 기준 제시

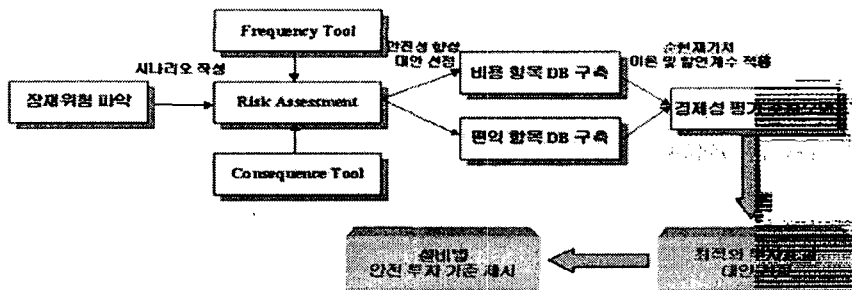


그림 2. 경제성 수치모형 체계

4. 비용·편익 분석 시스템(S/W)

비용편익 분석 시스템은 앞에서 연구된 비용·편익 분석 방법과 경제성 평가 방법에 기초하여 구축되었으며, 비용·편익항목에 대한 분석 및 항목에 따라 화폐가치로 환산된 비용을 입력할 수 있도록 하였다. 또한 환산된 비용과 편익을 순현재가치 이론을 사용하여 경제성을 평가할 수 있도록 하였으며, 더불어 report 기능을 부여하여 각 대안별로 경제성을 비교·분석할 수 있도록 구축하였다.

초기실행화면은 아래 좌측의 그림 3과 같이 'File, 플랜트, 대상설비, 원안, 대안, 작업종료'의 메뉴로 구성되어 있으며, 경제성 평가를 수행하기에 앞서서 생성된 데이터베이스에 포함될 기본 데이터를 입력하는 화면이다. 원안 추가 기입란에 사고빈도와 사망자를 입력시켜주게 되면 해당 위험도를 F-N Curve 상에서 파악할 수 있다.

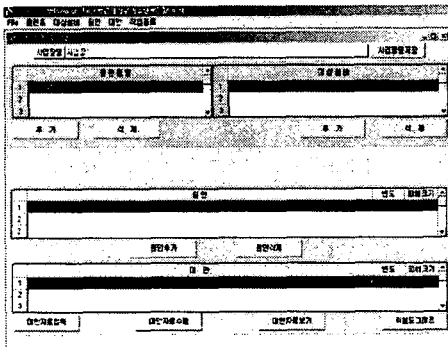


그림 3. 초기 실행화면

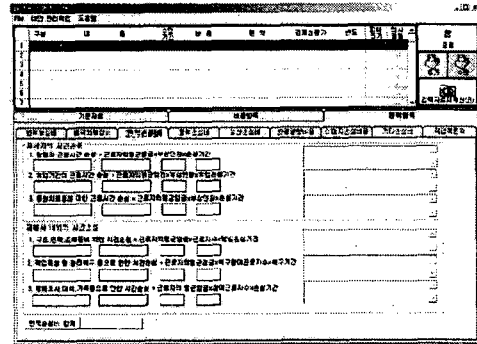


그림 4. 인적 손실비 입력화면

상단 우측의 그림 4는 인적 손실비 입력항목이며, 상단 메뉴를 보면 크게 '기본자료'와 '비용항목', '편익항목'으로 분류되어 있는 것을 볼 수 있다.

'기본자료'에서는 선정된 대안과 원안, 관련 자료들을 입력, 관리할 수 있으며, 대안별로 경제성을 비교·분석하기 위하여 보고서를 출력할 수 있다. '비용항목'은 초기투자비, 운영유지비, 처분비로 분류되어 있으며, 각 항목의 세부항목에 비용을 입력하게 된다. '편익항목'은 법적 보상비, 법적 외 보상비, 인적 손상비, 물적 손상비, 생산 손실비, 환경영향비용, 이미지 손상비용, 기타 손실비, 직접적 편익으로 구분되어 있다.

그림 5는 경제성 평가 결과 출력 화면이다.

구분	내 용	위험	비용	편 익	경제성평가	빈도	빈번	일시성
1	원안 C-Steel 갈 배관					0.00001		10
2	대안 C-Steel 갈 배관	15	305,095,500	5,344,056,000	28,180,383,949	0.00001		15
3	대안 배관을 Killed로 교체							
4								
5								
6								
7								

그림 5. 경제성 평가 결과 출력 화면.

5. 결론

본 연구에서는 화학사고와 안전설비의 경제성 분석 모델 개발을 위하여 위험성 평가 결과를 토대로 위험도의 기준을 선정, 경제성을 평가할 수 있는 프로그램을 개발하였다. 또한 본 연구의 목표인 화학설비의 경제적 투자를 통해 안전성을 확보할 수 있는 안전기준을 제시하고자 국외의 사회적 허용 위험도에 관한 자료를 수집·분석하여 국내 현실에 반영할 수 있는 사회적 허용 위험도(F-N Curve)기준을 제시하였으며, 경제성 평가 프로그램의 현장 적용성을 높이기 위하여 반복되는 현장 방문을 통하여 비용·편익 항목의 현실화와 경제성 평가 프로그램의 수정·보완을 꾀하였다.

향후 현장 적용성을 보다 더 높이기 위해서는 편익항목 중 정량화하기 모호한 환경영향과 회사 이미지 제고 등의 부분을 밀접하게 접근하여 정량화 하는 데에 있다고 할 수 있다. 또한, 프로그램의 현장 보급으로 보다 많은 양의 데이터가 축적된다면 국내에서도 선진국과 같이 법제화된 위험성 기준을 제시하여 화학설비의 안전성을 향상시킬 수 있을 것이라 판단된다.

6. 참고 문헌

1. 국립노동과학연구소, "재해손실비용 표준모델 개발에 관한 연구", 1988.
2. 박명수, "산업재해의 경제적 손실 및 산재예방투자효과에 대한 분석", 한국노동연구원, 1993.
3. 김수복, "산업재해보상보험법", 교학사, 1995.
4. 김동진, "비용·편익 분석", 박영사, 1997.
5. 비용·편익 분석 기법, 한국산업안전공단, 1999.
6. "Tools For Making Acute Risk Decisions", AICHE, 1995.
7. "Guide to Occupational Health and Safety Management Systems, BS8800", BSI.
8. "Total Cost Assessment Methodology", AICHE, 1999.