

화학공장의 안전 설비 투자를 위한 비용·편익 분석 시스템 개발

서재민·김대흠·[†]고재욱

광운대학교 화학공학과

(2003년 12월 2일 접수, 2003년 12월 17일 채택)

Development of the Cost-Benefit Analysis System for the Investment of Safety Facilities in Chemical Plant

J. M. Seo · D. H. Kim and J. W. Ko

Dept. of Chemical Engineering, Kwangwoon University

(Received 2 December 2003 ; Accepted 17 December 2003)

요 약

본 연구에서는 화학설비의 취약점을 파악하여 안전성을 경제적으로 확보할 수 있는 대안에 대한 설비별 안전투자비용과 그에 따른 편익을 산출하고, 분석함으로써 경제적인 안전 투자 대안을 제시할 수 있는 시스템을 개발하였다. 이를 위해 화학설비의 위험성을 정량적으로 평가하기 위한 사고 빈도 분석 모듈과 사고 피해 예측 모듈을 개발하고, 중대산업사고 사례 및 선진국(네덜란드, 호주, 미국, 영국, 독일 등)의 사회적 위험성을 비교·분석하여 국내 현실에 반영할 수 있는 사회적 위험성(societal risk : F-N Curve) 기준을 제시하였다. 또한, 현장 방문을 통하여 공정에 대한 투자비용과 그에 따른 편익 항목을 분석·선정하여 앞의 결과들을 통하여 화학설비에서 발생하는 비용·편익에 대한 안전투자대안의 순현재가치(NVP, Net Present Value)를 도출하여 안전성을 향상시킬 수 있는 대안들을 분석하고 비교할 수 있는 시스템을 개발하였다.

Abstract - The objective of this study is to develop a Cost-Benefit analysis system which would help us to make optimal decision among safety investment alternatives, calculating and comparing costs and benefits for facilities in chemical plants. So, the accident frequency analysis module and the accident damage prediction module were developed for estimating quantitative risks in chemical facilities, and domestic societal risk criterion was presented after the comparative analysis of major industrial cases and societal risk criteria of advanced countries like the Netherlands, Australia, U.S.A., U.K., and Germany. Also, the Cost-Benefit Analysis System which compares the safety investment alternatives based on their deduced net present values was developed through the selection of proper cost and benefit items by field studies

Key words : CBA(Cost-Benefit Analysis), frequency analysis, accident damage prediction, societal risk criterion

1. 서론

화학산업에서 발생되고 있는 사고는 인적·물적 손실과 더불어 사회적 책임이 증가하고

있는 추세이다. 또한, 산업설비는 첨단화, 대형화, 고도화 되어가고 있고, 이로 인한 대형사고 발생 가능성은 확률적으로 더 높아지고 있다. IMF 이후 국내 기업들은 계열분리 및 분사 등

[†]주저자 : jwko@daisy.kw.ac.kr

의 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.

본 연구에서는 국내 화학산업의 안전성 확보를 위하여 정량적 위험성 평가를 수행할 수 있는 사고 빈도 분석 모듈과 피해 예측 분석 모듈을 개발하고, 선진국의 사회적 적용 범위에 관한 자료의 비교 및 분석을 통하여 국내의 사회적 위험성 기준을 제시하였다. 또한, 위험성 평가 결과를 통하여 화학 설비에서 발생하는 비용·편익에 대한 안전투자대안의 순현재가치(NPV)를 도출하여 안전성을 향상시킬 수 있는 최적의 대안을 선택할 수 있는 시스템을 개발하였다.

II. 개발 절차

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. Fig. 1. 는 본 연구의 주요 내용 및 범위를 보여주고 있다. 먼저 대상공정을 선정하고 선정된 공정에서의 잠재위험을 확인하여 사고 빈도와 사고 결과분석을 통해서 위험성을 표현하고 화재나 폭발 또는 성물질로 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
- 경제성 평가 수치 모델 개발
- 평가 모델을 이용하여 화학설비에 대한 적정 위험도 산출
- 적절한 안전 투자비용 기준 제시

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(시공관리, 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

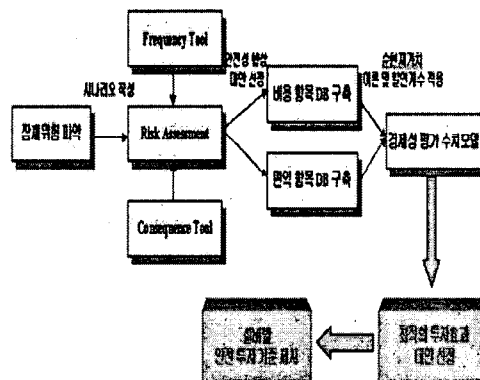


Fig. 1 Procedure for development of Cost-Benefit analysis.

III. 비용·편익 분석 시스템

본 연구에서 개발된 비용·편익 분석 시스템은 그 기능에 따라 사고 빈도분석 모듈 (accident frequency analysis module), 피해 예측 분석 모듈 (damage prediction analysis module), 비용·편익 분석 모듈 (cost-benefit analysis module)로 구성되어 있으며, 시스템의 평가 체계는 Fig. 2.과 같이 기본적인 6단계로 이루어져 있다.

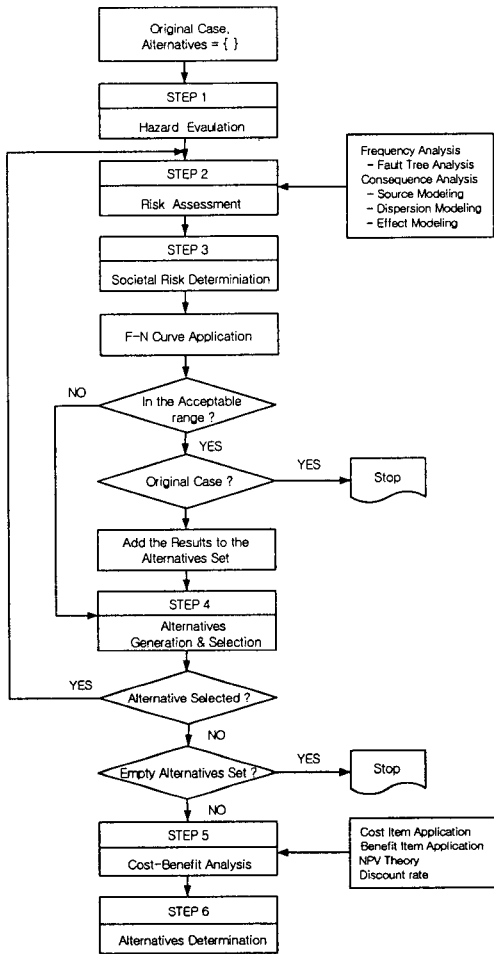


Fig. 2 Assessment procedure of Cost-Benefit analysis system.

Step 1 : Hazard Evaluation

공정에 존재하고 있는 잠재위험을 평가하는 단계이며, HAZOP, FMEA, What-If, Checklist 등의 정성적 방법을 이용하여 화학공장에서 사고 가능성이 가장 높은 설비를 찾아내고 다양한 사고 시나리오를 선정한다.

Step 2 : Risk Assessment

사고 빈도 분석 모듈과 피해 예측 분석 모듈을 이용하여 step 1에서 찾아낸 잠재적 사고 가능성이 높은 설비(원안)에 대한 정량적 위험성 평가를 실시한다.

사고 빈도 분석 모듈은 Fig. 3와 같이 화학설비의 정량적인 위험성 분석방법중 하나인 FTA 방법을 효과적으로 수행하기 위한 drawing tool의 역할과 FTA에 관련된 calculation 기법을 사용하여 해당 설비의 사고 빈도를 분석할 수 있다.

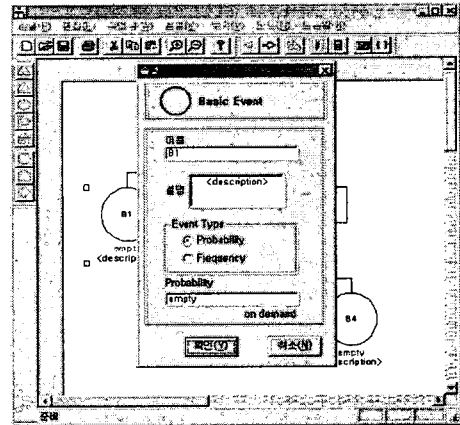


Fig. 3 Accident frequency analysis module.

피해 예측 분석 모듈은 화학공장 내의 폭발성 및 독성 물질을 저장하고 있는 위험시설에 대한 사고 영향을 수행하기 위하여 개발되었으며, 피해 결과 분석에 필요한 다양한 모델을 내장하여 계산할 뿐만 아니라 분석결과를 Fig. 4과 같이 텍스트 및 그래픽 형태로 나타내 줌으로써 분석효과를 극대화시킬 수 있다.

Step 3 : Societal Risk Determination

Step 2에서 계산된 정량적 위험성 평가 결과를 F-N Curve에 적용함으로써 사회적 위험성의 가용여부를 판단하여 평가를 종료할 것인지 혹은 대안을 선정하여 비용·편익 분석을 수행할 것인지를 결정한다. 또한, 대안을 선정하게 된다면 각 대안에 대하여 위험성 평가를 수행하고 사회적 위험성의 가용여부를 판단하게 된다.

Step 4 : Alternatives Generation & Selection

Step 3에서 원안이 F-N Curve 적용시 unacceptable zone에 포함된다면 안전성을 향

상시킬 수 있는 여러 가지 대안들을 선정하고, acceptable zone에 포함되면 경제성 평가를 실시하지 않아도 된다. 대안은 장치의 교체 또는 안전장치의 추가 설치 및 방호장비의 설치 등 안전성을 향상시킬 수 있는 조치를 고려하면 된다. 또한, 선정된 대안들에 대하여서는 step 2로 다시 돌아가 위험성 평가 및 사회적 위험성의 가용여부를 판단하게 된다.

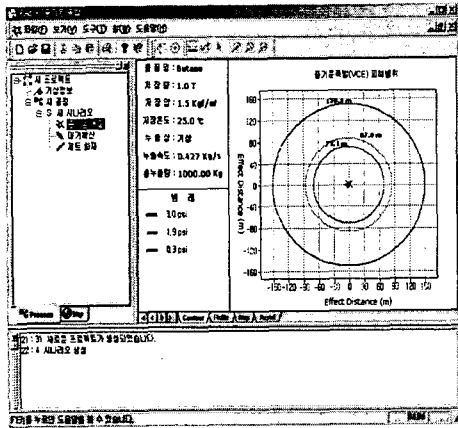


Fig. 4 Accident damage prediction module.

Fig 5는 선정된 대안의 입력 화면으로, 대안 관련내용 및 위험성 평가 모듈을 통해 계산된 결과값, 수명기간, 할인율을 입력하는 기본자료 항목과, 비용항목, 편익항목으로 구성되어 있다.

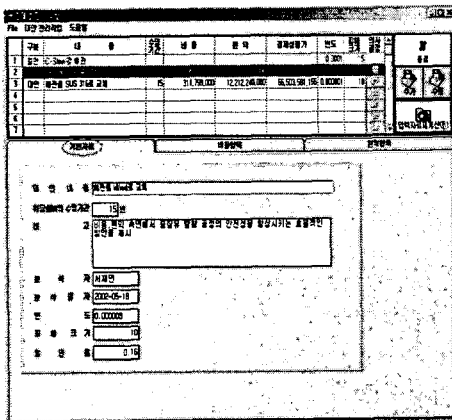


Fig. 5 Input picture of alternatives.

비용 항목에 필요한 항목들은 다음과 같다.(Fig. 6 참조)

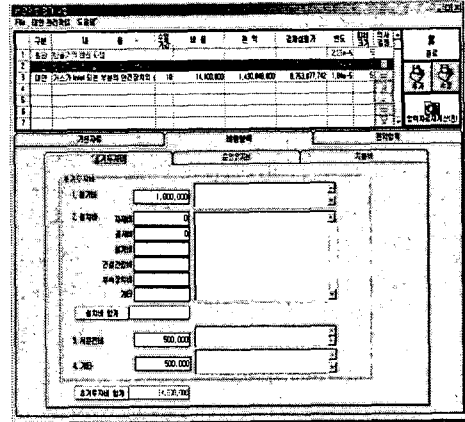


Fig. 6 Input picture of early investment cost.

- 1) 초기투자비 : 설치비, 시운전비, 철거비 등
- 2) 운영유지비 : 시설물의 유지, 붓, 개선 비용, 간접 비용 등
- 3) 처분비

편익 항목에 필요한 항목들은 다음과 같다.

편익 항목에 필요한 항목들은 다음과 같다.

- 1) 직접적 편익 : 설비 도입으로 인한 생산성 향상, 근로자의 안정감 향상에 따른 생산성 향상
- 2) 법적, 법적 외 보상비 : 사망·부상자 보상비용, 위로금, 퇴직금 할증액 등
- 3) 인적 손실비 : 재해 근로자 시간손실, 정상 근로자 시간 손실
- 4) 물적 손실비 : 파손설비, 복구비용 등
- 5) 생산 손실비 : 생산 차질, 위약금 등
- 6) 기타 손실비 : 규제강화에 따른 비용, 벌금·행정명령 이행비, 계약미수연체금, 보험료 증가비용 등

Step 5 : Cost-Benefit Analysis

선정된 대안은 step 2로 feedback되어 위험성을 재평가하며 그 결과가 Fig. 7와 같은 F-N Curve의 acceptable zone에 포함되면 해

당 설비로 인하여 발생할 수 있는 비용·편익을 고려하고 비용·편익 분석 시스템을 통하여 경제성을 판단하게 된다.

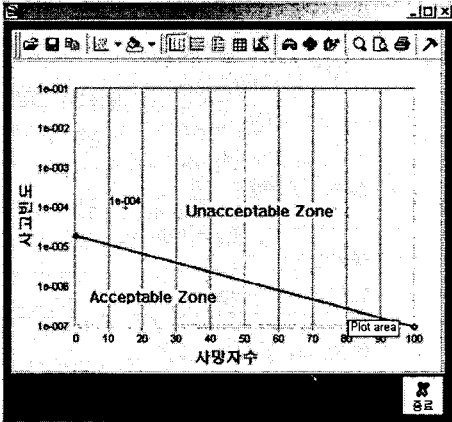


Fig. 7 Output picture of original case F-N Curve.

비용·편익 분석체계는 step. 4에서 입력한 세부항목들을 이용한 순현재가치(NPV, Net Present Value)와 할인율(discount rate) 기법으로 평가되며, 비용·편익 분석에서의 의사결정 기본원칙은 어떠한 상황에서도 가장 큰 순편익을 제공해 주는 대안을 선택하는 것이다. 투자대안에 대하여 계산된 순현재가치가 0보다 크면 그 투자 대안의 편익이 비용보다 크다는 것이므로 투자할 만한 가치가 있다는 의미가 된다.

Step 6 : Alternatives Determination

각 대안들에 대한 경제성을 평가한 결과들을 비교하여 비용·편익에 대한 안전투자대안의 NPV(순현재가치)가 가장 높은 대안을 결정한다.

Fig. 8은 비용·편익 분석 결과를 report한 예시 화면으로서, 대안 1은 높은 비용을 투자하여 높은 경제성을 얻을 수 있고, 대안 2는 사고 빈도가 높아 사회적 위험성의 허용범위 내에 포함되지 않아 고려대상에서 제외됨을 알 수 있으며, 대안 3과 대안 4는 동일한 비용을 투자하여 동일한 편익을 얻을 수 있지만 경제성 평가결과와 사고빈도 및 피해크기가 크게 차이가 남을 알 수 있다. Fig. 9은 각 대안별 비용·편익 분석결과를 나타낸다.

비용·편익 분석

시공종류 :
 용인도량 : 사업장(외)용연회1
 대상설비 : 사업장(외)용연회1의 대안설비

원 인 : C-Shell공해

대안	비율	수명기간	투자비	편익	경제성평가	빈도	피해크기	역사성
대안1	비율 0.5 3152 교체	5	2,437,900,125	53,392,720,116	271,535,721,014	10e-5	21	
대안2	비율 0.5 3152 교체	5	335,097,463	53,775,275,170	240,550,153,822	10e-4	4	
대안3	비율 0.5 3475 교체	15	21,065	161,467	11,395,593	10e-8	10	
대안4	대안	3	21,065	161,467	1,335,639	10e-6	70	

Fig. 8 Result picture of Cost-Benefit analysis.

대안별 비용·편익 분석

분석자 홍재홍
 분석일자 2002-10-11

원 인 : C-Shell 공해

대안 내용 : 연회용 Killed로 교체
 대 고 : 비용, 편익 측면에서 동일무 탈황공정의 안전성을 향상시키는 효율적인 방안을 제시

수명기간 : 15년
 할인율 : 0.15

빈도	피해크기	위험도	비용	편익	경제성평가
0.000023	15		305,095,000	5,344,056,000	28,180,383,000

비율합계 : 합계 : 305,095,000

초기 투자비	합계 : 70124000
1. 설계비	13,400,000 운영비용 포함한 한 시스템의 설계
2. 설치비	56784000
지배비	1,245,000 지배비 : Birch sch. 1009의 Killed 배관 구입비
공사비	2,400,000
설계비	450,000
건설감리비	3,000,000
부속장치비	
기타	
합계비	다지거나 설계비 1만 * 5일 = 450,000
건설감리비	비파괴 검사비용 = 2,000,000
	기밀실임 = 1,000,000

Fig. 9 Result picture of Cost-Benefit analysis for alternative.

사회적 위험성의 허용을 충족시키는 범위에서 투자시기와 재무상황을 포함한 투자여건과 조업상황을 고려하여 최적의 대안을 선정할 수 있을 것이다.

IV 결론

본 연구에서 개발된 비용·편익 분석 시스템은 화학설비의 취약점을 파악하여 안전성을 경제적으로 확보할 수 있는 대안에 대하여 정량적 위험성 평가를 수행할 수 있으며, 그에

따른 안전투자를 시행하여야 할 필요가 있는 설비에 대한 비용·편익 분석을 통하여 경제적 근거를 제시함으로써 최적의 안전투자 결정에 도움을 줄 수 있다. 또한, 이를 통하여 안전활동 및 안전투자의 효율성을 증진시키고 안전성 향상과 관련된 정책 결정시 활용하여 화학공장의 효율적인 안전 관리 성과를 도출할 수 있는 장점이 있다.

감사의 글

이 연구결과는 과학기술부와 한국과학기술기획평가원(KISTEP)의 인위재해방재기술개발사업의 지원결과로 수행되었으며 연구비 지원에 감사 드립니다.

참 고 문 헌

- [1] 국립노동과학연구소, “재해손실비용 표준모델 개발에 관한 연구”, 1988.
- [2] 박명수, “산업재해의 경제적 손실 및 산재예방투자효과에 대한 분석”, 한국노동연구원, 1993
- [3] AIChE/CCPS, *Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis*, 2nd Ed., New York (2000)
- [4] AIChE/CCPS, *Guidelines for Hazard Evaluation Procedures*, New York (1985)
- [5] AIChE/CCPS, Process Safety Management Conference, Atlanta, New York(1989)
- [6] AIChE/CCPS, Arther D. L Little, Inc., *Total Cost Assessment Methodology-Internal Managerial Decision Making Tool*, New York
- [7] Boone, Corinne. *Full Cost Accounting at Ontario Hydro*, Presentation to Corporate Environmental Accounting Conference, Houston, TX. May (1995).