

## 석유화학 플랜트의 RBI 적용시 손익분기점 분석

이미해, 최송천1\*, 김용수2\*\*

서울산업대학교 에너지환경대학원, \*한국가스안전공사 연구개발원1, \*\*서울산업대학교 안전공학과

## The break-even point analysis due to the RBI application of the petrochemistry plant

Lee mee-hae, Choi song-chun1\*, Kim yong-soo2\*\*

SNUT Graduate school of Energy and Environment, Industrial Gas Safety R&D2, \*

Seoul National University of Technology Dep. Safety Engineering3

### 1. 서론

석유화학 산업은 고도의 기술이 집약된 대규모 장치산업으로서 중대산업사고의 잠재 위험성이 큰 산업이라 할 수 있다. 노동부 재해 통계에 따르면 2005년 한 해 동안 화학제품제조업의 총 재해자 수는 3,176명으로 나타났으며, 석유화학산업 특성상 경우 이러한 개별 사고하나가 지역 전체로 파급되는 대형 사고로 발전될 수도 있다.

석유화학산업의 재해에 따른 간접손실비용등은 기계기구제조업 또는 전기제품제조업 등 타 제조업에 비하여 더 높은 1 : 7.9로 조사되고 있으며, 생산손실비, 산재보험 보상비, 회사 자체보상비, 특수손실비, 인적손실비, 물적손실비의 순으로 조사된<sup>1)</sup> 바 있다.

이렇게 간접비가 높은 석유화학산업의 경우 위험도에 근거하는 안전관리를 수행하여 위험요소에 대한 안전관리를 집중하는 관리 방식이 경영에 매우 효율적이며 경제적이다.

위험도에 기반을 둔 RBI(Risk-Based Inspection) 검사기법은 설비의 운용 및 효율성에 대한 우선순위를 위험도에 근거하는 방법으로써 위험을 정량적으로 표현 할 수 있다.

기업은 RBI 도입에 따라 투자에 대한 선택과 집중을 할 수 있을 뿐만 아니라 여유 자금을 다른 기계장치와 같은 실물자산에 재투자 할 수 있다.

본 연구에서는 고압압력용기를 사용하는 화학플랜트의 RBI도입에 따른 경제성을 분석하고자 하며, 특히 RBI 시스템 구축에 따른 손익분기점을 계산하여, 그 경제성을 정량적으로 계산하여 제시하고자 한다.

특히 H<sub>2</sub>를 첨가하여 발열반응에 따른 급격한 온도 상승이 많이 발생하는 D-공정을 선정하여, Exchanger에 대한 검사주기<sup>2)</sup> 탄력운영에 대한 경제성을 평가하고자 한다.

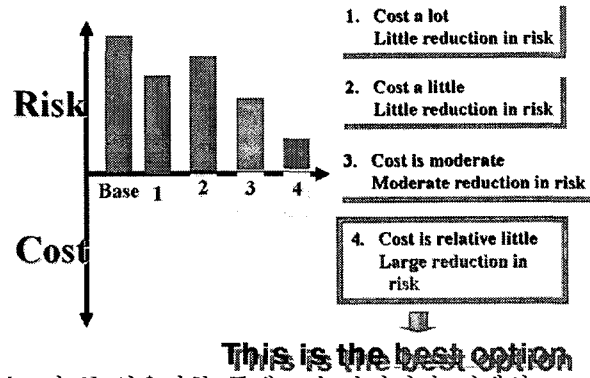
### 2. 선행연구

석유화학플랜트의 안전투자비용에 대한 경제성 연구는 선행 비용편익분석등의 연구보고서를 검토하였으며, 이를 경제이론으로 재검토하였다.

선행연구는 지난 6년간(2000~2005) 국내 학회지에 게재된 비용투자 분석과 관련 연구기관이 연구보고서를 대상으로 비용편익 분석 기법, 경제성 분석 등을 중점적으로 다루었다.

### 2-1. 설비안전의 경제학<sup>3)</sup>

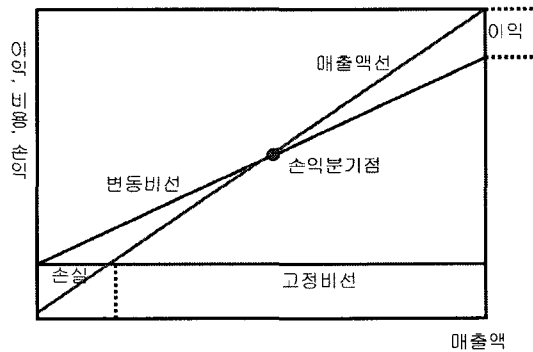
사업주들이 안전에 투자하는 비용은 최저 법적기준, 근로자 또는 장치 관리자등에 의하여 주관적인 안전가치를 반영하는 것이 대부분이었다. 근로자 및 장치관리자들은 설비가 비싸지더라도 자신과 설비의 안전을 위하여 보다 안전성이 확보된 시설을 원하고 있는 것이 현실이다. 안전에 대한 투자는 주로 CEO 또는 투자 주체자의 안전성에 대한 주관적 가치를 바탕으로 투자자금을 결정하였다. 이러한 과정은 시행착오법(Trial-and error system)으로 불리고 있으며, 이는 정보가 언제나 완전하게 정확하지 않기 때문인 것으로 보인다. 설비투자로 인한 안전의 확보는 기업의 측면에서 보면 하나의 상품이 될 수 있다. 제조자에게는 추가 비용이 필요하게 되지만, 결과적으로 소비자에게 좀더 높은 가격으로 보상될 수 있다. 그러나 설비의 안전에 대한 투자는 결과적으로 근로자의 안전불감증(설비의 안전성에 대한 맹목적 믿음), 장치관리자에게는 안전감시 소홀, 정부의 규제 완화효과 등을 가져올 수 있으며 이에 대한 Fool proof, Fail safe 등의 설비적 대책이 다시 수립되어야 하는 반복의 안전확보 과정이 있어야만 한다.



[그림 2] 석유화학 플랜트의 안전성과 경제성

### 2-2. 화학공장의 검사비용 투자의 손익분석 기법

손익분기점 분석은 비용 및 매출액의 수준과 이익사이의 관계를 분석하는 기법으로서 비용-조업도-이윤분석(cost-volume-profit analysis ; CVP 분석)이라고도 불리우고 있으며, 매출액에 따른 비용과 수익의 움직임을 분석할 수 있다.



[그림 2] 손익분기도

기업에서는 손익분기점을 통하여 제품이나 부품의 생산 또는 구매, 구매시기 또는 생산설비

투자의 시기, 설비투자 방법등을 제공받을 수 있다.

과거 연구된 “석유화학공장의 RBI 기법 적용시 동태적영향분석” 연구 결과, 고압압력용기를 사용하는 사업장에 RBI를 도입함에 따라 순현재가치법(Net Price Value Method)을 계산한 결과 검사주기가 6년으로 판정된 Exchanger의 잔여 수명이 높으면 높을 수록 경제성이 가장 많이 확보된 것으로 연구된바 있으며, 투자비용보다 그에 따른 편익이 상대적으로 높다는 것을 제시된바 있다.

본 연구에서는 투자가치가 있다는 가정하에 RBI시스템 구축시 소요되는 경비를 계상하고 이에 대한 손익분기점(Break-even analysis)을 분석하고자 하였으며, RBI 검사기법에 도입된 필요한 직접비로 그 범위를 한정하였다.

본 연구에 사용된 손익분기점 수식은 매출을 수입으로 보는 경우에 응용할 수 있는 수식(1)을 활용하였다.

$$X = \frac{F}{1-r} \dots \dots \dots (1)$$

$$\text{단, } r = \frac{V}{S} \dots \dots \dots (2)$$

- X : 손익분기 매출액
- F : 일정기간의 고정비
- V : 일정기간의 변동비
- S : 동기간의 매출액
- r : 일정한 매출액에 대하여 지출되는 변동비의 비율(변동비)

손익분기점은 기업경영에 관한 정보를 제공하는데 많이 이용되고 있으나, 그것을 정책에 이용하는 데에는 한계를 가진다. 그러나 기업에서는 손익분기점을 통하여 제품이나 부품의 생산 또는 구매, 구매시기 또는 생산 설비 투자의 시기, 설비투자의 방법 등의 정보로 활용할 수 있다.

### 3. 고압압력용기 플랜트의 RBI 도입에 따른 안전성 평가

RBI가 도입되기 전 석유플랜트의 정량적 위험성 평가는 주로 FTA, ETA 등을 주로 사용하였다. FTA의 경우 화재, 폭발, 누출 등의 특정사고에 초점을 두어 장치이상이나, 작업자의 실수를 조합하는 수식이며, RBI기법과 비교하여 불 때 경제성평가보다는 피해예측에 주로 사용되고 있다. RBI의 경우 위험도를 수반하는 주요인자(Key Factor)에 대한 검사계획을 수립함으로써 경제성을 제고 할 수 있는 유용한 검사 기법으로서 2년 또는 4년의 획일적인 법정검사주기가 4년 범위 내에서 탄력적으로 자율적용 될 수 있어 검사주기 별도의 이중정비로 인한 소요 경비가 절감되고 생산일정에도 도움이 될 수 있게 되었다.

실제 석유화학 NCC플랜트의 정제공정에 RBI 검사기법을 적용한 결과, 설비개수가 가장 많은 Pipe를 제외하고, Exchanger가 중점적인 설비안전관리가 필요하며, 검사주기 또한 1년에서 8년까지 그 기간이 다양하게 나타났다. [그림 3]은 NCC플랜트의 D-공정에서 Exchanger의 RBI 결과를 나타내고 있다.

5	11	2	4	23	4
4	5	0	0	2	0
3	6	1	0	10	11
2	24	0	14	47	48
1	0	0	0	0	0
	A	B	C	D	E

Risk Category	Total	Percentage(%)
4.HIGH	38	17.92
3.MEDIUM HIGH	77	36.32
2.MEDIUM	66	31.13
1.LOW	31	14.62
<b>Total</b>	<b>212</b>	<b>100.00</b>

[그림 3] D공정 Exchanger RBI 결과

#### 4. 잔존 수명 평가

설비의 경제성에 대한 비교대상을 찾고자 NCC 플랜트 정제공정에서 감육에 의한 잔여수명을 평가하였다. 내부 개방 재검사 주기선정은 API 581의 감육손상에 따른 잔여수명 평가와 API 581에서 제시하는 준정량적 평가 결과인 Risk Matrix를 근거로 검사주기를 산정하였다. 또한 잔존수명을 식(3)에 의거하여 계산하였고, 손상허용치를 계산하기 위한 손상보조인자 중의 하나인 ar/t를 0.4로 기준하였다. ar/t는 식 (4)에 의거하여 계산하였다.

$$\text{잔존수명 (year)} = \frac{\text{손상허용치 (units)}}{\text{손상속도 (units/yr)}} \dots \dots \dots (3)$$

$$ar/t = \frac{mby \cdot r}{t} \dots \dots \dots (4)$$

mby : 부식속도(in/year)

r : 가동연수(year)

t : 설계 두께(in)

RBI 기법을 통하여 나타난 Exchanger와 Exchanger-TS의 잔존수명 예측결과와 검사주기는 표 <1>과 같다.

<표 1> 잔존수명 및 검사주기 결과

Inspection Interval(yr)	Total	Percentage (%)
1	44	20.75
4	23	10.85
6	114	53.77
8	31	14.62
<b>Total</b>	<b>212</b>	<b>100.00</b>

RBI검사기법에 의하면 약 68%의 Exchanger 또는 Exchanger-TS는 2년에서 4년이었던 확실적

인 검사보다는 범상 최대 검사기준을 준용하여 검사하는 것이 경제적인 것으로 조사되었다.

### 5. RBI 도입에 따른 손익분기점 분석

고압압력용기를 사용하는 사업장에 RBI를 도입함에 따라 얼마나 경제성이 있는지를 조사한 결과, 검사주기가 6년으로 판정된 Exchanger의 잔여 수명이 높으면 높을수록 경제성이 가장 많이 확보된 것으로 나타났다.

본 연구에서는 약 8천만원의 RBI 시스템 도입 투자비에 따라 손익분기점이 발생하는 매출액을 분석을 위하여 손익계산서를 참고하였다. 손익분기점을 계산하기 고정비와 변동비 항목을 구분하여야 하나, <표 1>과 같이 손익계산서를 이용할 수 있는 “최소자승법”을 이용하여 변동비와 고정비를 구분하였다.

<표 3> NCC 플랜트 손익계산서에 따른 고정비율 및 변동비 예시

(단위 : 억원)

분기	x(매출액)	y(비용)	xy	x <sup>2</sup>
1분기	5,406.5	3,987.1	21,556,256.15	29,230,242.25
2분기	4,859.6	3,889.9	18,903,358.04	23,615,712.16
3분기	5,397.4	4,245.8	22,916,280.92	29,131,926.76
4분기	5,464.4	4,685.6	25,603,992.64	29,859,667.36
합계	21,127.9	16,808.4	88,979,887.75	111,837,548.53

$$b(\text{변동비율}) = \frac{\sum x \sum y - n \sum xy}{(\sum x)^2 - n \sum x^2} = 0.82$$

$$a(\text{고정비}) = \frac{\sum y - b \cdot \sum x}{n} = 516.4 \text{ 억원}$$

이를 손익분기점 구하는 식 (1)에 대입하면 다음과 같은 손익분기점 매출이 나타난다.

$$X = \frac{17,324.89}{1 - \frac{516.4}{21,127.9}} = 1,7769.1 \text{ 억원}$$

손익분기점 계산에 의하면 RBI프로그램 설치에 따른 순수 비용만 포함하고, 이를 변동비라 가정할 때, 매출액 17,769억원 이후 이익이 발생할 수 있을 것으로 계산되었다.

### 6. 결 론

정량적 위험성평가방법 중 한국형 RBI(Risk-Based Inspection)의 경우 플랜트 내의 장치들을 위험도에 따라 구분할 수 있으며, 이는 효과적인 투자로 연계되어 안전성과 경제성을 동시에 추

구할 수 있다.

이에 본 연구에서는 고압압력용기를 사용하는 사업장에 RBI를 도입함에 따라 얼마나 경제성이 있는지를 조사한 결과, 검사주기가 6년으로 판정된 Exchanger의 잔여 수명이 높으면 높을수록 경제성이 가장 많이 확보된 것으로 나타났다. 또한 RBI를 도입함에 있어, 투자비용보다 그에 따른 편익이 상대적으로 높다는 것을 제시하였다.

또한 RBI 구축에 따른 투자비용 계상한 결과 매출액 17,769억원이후 RBI 투자가치를 얻을수 있을 것으로 조사되었다.

손익 분기점을 낮추는 것이 기업의 경쟁력을 높이는 방법이나, RBI시스템을 도입하면, 수리 및 교체 비용등을 줄일 수 있으므로, 고정비와 변동비를 줄일수 있게 된다.

이미 미국등의 선진외국에서는 이와 같은 방법을 활용하여 최적화된 경제성분석을 수행하고 있으나 국내의 경우 투자효과분석 및 경제성 분석은 상대적으로 상당히 저조하다. 이러한 점 감안하여 차후에는 국내 현실을 반영하여 안전투자로 인한 기업의 간접편익을 계상할 수 있는 지표가 마련되어야 할 것으로 사료된다.

## 참고문헌

1. 이미혜외 6인, "석유화학플랜트의 RBI 기법 적용시 동태적 영향분석", 춘계화학공학회, 2006
2. 정원호, "손익분기점분석의 전제에 대한 고찰", 전남대학교, 1997, p 5~6,
3. 김용수의 9인, "산업재해로 인한 직간접손실비", 한국안전학회, 1999, p129
4. 박교식의 9인, "NCC 플랜트 위험성 기반검사(RBI)구축",2005, p1~44
5. DouglasC, North, "The Economics of public issues', 진영사, 1994, p 18~23
6. 양준언외 2인, "화학공장의 위험기반 비용·편익 분석 기법 개발" 한국산업안전공단, 2001, p41~75
7. 김규영, "투자론", 박영사, 2003, p28~31
8. 고재욱외 5인, "화학사고의 안전습의 경제성 분석 모델 개발", 한국산업안전공단, 2002
9. 김용수, "프레스교체, 개조 등 자금지원 사업의 효과분석", 한국안전전문기관협의회, 2002
10. 김영배외 4인, " 화학공장 사고예방 기술 세미나", 한국산업안전공단, 2005