

## Dow Index 기법을 활용한 방재효과 평가법의 제안

정 창 기\*

### 1. 서 설

Dow Index란 미국의 다국적 화학기업인 Dow Chemical사가 화재 또는 폭발사고 발생시 예상되는 위험정도를 과거의 사고사례를 Data Base화하여 개발한 것으로 화재·폭발의 정도를 指數(F&EI : Fire and Explosion Index)로 표시한 방법이다.

DOW Index 기법은 원래 보험계약의 목적을 위하여 만들어 졌는데, 보험계약 체결에 있어서 보험자와 피보험자(Dow 사)와의 견해차이에서 발생되었던 것이다. 즉, 보험자는 가능한 한 최악의 사고를 기준으로 하고자 하였으며, 피보험자는 실제로 발생할 수 있는 최대 손실을 기준으로 하고자 하였다.

이 기법은 주로 다음과 같은 목적에 사용된다.

- ① 실제로 일어날 가능성이 있는 화재·폭발 사고로 인한 예상손실 산정과
- ② 시설이 위험에 처해 있다는 것을 확신시키기 위하여 보다 세부적인 위험의 확인을 요하거나 Risk분석을 필요로 하는 High-Risk공정지역을 파악하고자 할 때,
- ③ 중대한 사고의 경우를 대비하여 비상계획이나 대책의 정도를 결정하고자 할 때,
- ④ 새로운 시설의 입지나 계획의 Layout을 평가하고자 할 때.

이러한 목적에 부응함으로써 공정지역에 대한 예상손실을 파악하고 손실을 주게 되는 요인을 분

석하여 사고로 인한 예상손실액을 순차적이면서 효과적으로 감소시킬 수 있다. 반면에 DOW Index는 사람들에 대한 Risk나 독성물질을 Control하도록 위험을 상세하게 제시하는 것은 아니다.

그러나, 본고에서는 기법의 이해를 돕기 위해 기법의 적용지침을 간략히 서술한 후, 기법이 지니고 있는 본래의 적용의미를 음미하고 데이터를 재해석해봄으로써 기법 본래의 기능 이외에 제3의 효과 즉, 방재효과의 평가측면에서 활용 가능한 방안을 제안해보고자 한다.

### 2. 적용범위

DOW Index 시스템은 인화성 물질, 가연성 물질 또는 반응성 물질을 저장, 취급하는 공정에 우선 적용하며, 사무실, 수처리 및 공급시설, 변압기 등 전기설비, 보일러, 발전소 등에는 적용이 안된다. 그러나, 자산이 아주 작은 공장에서 위험물질 사용에 따른 위험도를 평가하는 데에 본 기법을 사용할 수 있기 때문에 Pilot Plant에는 반드시 이 기법을 사용한다. 본 기법을 적용할 때는 순서에 따라 수행해야 하며, 그 결과를 응용할 때는 어느 쪽에도 치우치지 않은 공정한 감각과 노련한 판단력이 요구된다.

### 3. 분석의 진행과정

위험평가의 진행과정을 간략하게 예시하면 다음과 같다.

\* 한국화재보험협회 위험관리정보센터(기술사)

순번	내용	비고
1	공정 선정	
2	물질 계수 산정(MF)	
3	일반위험공정계수 산정(F1)	
4	특수위험공정계수 산정(F2)	
5	단위공정위험지수 산정(F3)	$F1 \times F2$
6	화재·폭발지수 산정(F&EI)	$F3 \times MF$
7	손실방지 신뢰계수 산정(C) -공정관리(C1) -물질차단(C2) -방화조치(C3)	$C1 \times C2 \times C3$
8	단위손실지수 산정(D)	도표 7
9	사고시 노출반경(ft) 산정	$F \& EI \times 0.84^*$
10	노출지역 자산가치(\$ ) 산정	
11	기본 예상최대손실액(Base MPPD) 산정	$\$ \times D$
12	실제예상 최대손실(Actual MPPD) 산정	$(\$ \times D) \times C$
13	예상최대 조업중단 일수(MPDO) 산정	도표 9
14	기업휴지(BI) 손실 산정	$(MPDO/30) \times VPM \times 0.7^{**}$

# : 잔존가치 제외, ## : 고정비 + 이익

#### 4. 진행 절차의 이해

Dow Index 기법을 잘 운용하기 위해서는 각 단계가 지니고 있는 의미를 깊이 이해해야 한다. 분석순서에 따라 각 요소의 의미를 검토해보기로 한다.

##### 가. 공정선정시 고려사항

본 기법에서는 F&EI(Fire & Explosion Index)를 구하는 과정이 이 기법의 핵심이다. F&EI 값은 단위공정에 대한 손실의 정도를 말하는데, F&EI 값이 정해지면 나머지 Factor를 구하는 것은 어려운 일이 아니다. 따라서, F&EI의 산정에 가장 크게 영향을 미칠 수 있는 단위공정을 중심으로 평가해야 한다.

##### 나. 물질 계수(Material Factor : MF)

MF란 F&EI를 평가하는 데 기초가 되는 수치로서 어떤 물질이 연소나 다른 화학 반응에 의해서 화재나 폭발이 일어날 때 발생하는 물질 고유의 에너지 방출량을 수치화 한 것이다. 그러나 공정중에 혼합물로 투입되는 경우가 많으므로 이들에 대한 합리적인 MF산정이 필요하다. 일반적으로 이런 혼합물의 MF는 매뉴얼의 부록 B에 나타난 바와 같이 반응성 시험자료에 의하여 얻어진다. 만일, 반응성 시험자료가 없을 경우에는 혼합

물중 가장 높은 MF값을 사용한다.

##### 다. 일반위험 공정(F1)

여기에서 평가하는 항목은 대부분의 공정에서 적용시킬 수 있는 항목들인데, 이들 각 항목은 과거의 화재나 폭발에 심각한 영향을 끼친 것들이다. 이들을 고려할 때는 가장 위험한 순간을 기준으로 하여 평가해야 한다. 각 평가항목의 계수는 Penalty로서 원인과 결과 분석의 Data Base로부터 얻은 것이며, 각 항목을 합산하는 이유는 사고 발생원인이 동시에 발생하지 않는다는 것을 의미한다.(즉, FTA에서의 OR gate의 개념이다).

이들 일반공정 Penalty의 합에 기본계수(1.00)를 더한 값이 일반위험공정계수(F1)이다.

##### 라. 특수위험공정(F2)

특수위험공정도 1차적인 손실발생에 기여하는 요인들이며 그들 자신이 중대한 화재 및 폭발사고를 일으키는 특수공정으로 구성되어 있다. 여기에서도 사고가 동시에 발생하지 않는다는 것을 개념하에서 각 항목의 Penalty를 합산하고 기본계수(1.00)를 더한 값이 특수위험 공정계수(F2)이다.

##### 마. 단위공정 위험지수(F3) : $F3 = F1 \times F2$

단위공정 위험지수(F3)는 일반위험공정계수(F1)과 특수위험공정계수(F2)를 곱한 것이다.

F1과 F2에 열거된 위험요인들이 상호 복합적인 관계를 가지고 있으므로 F1과 F2의 승보다는 F1과 F2의 곱을 사용한다. 이는 동시에 발생할 수 있다는 의미로서 AND gate의 개념이다.

단위공정 위험지수는 과거의 사고사례에서 본 단위공정의 위험발생 빈도라고 할 수 있다. F3는 1에서 8까지의 범위안에서 존재하는데 일반적으로 8.0을 초과하지는 않지만 만일 초과시에는 최대치를 8.0으로 한다. 이는 DOW Index의 기본관점이 평균적 관점임을 의미하고 있다.

바. Fire and Explosion Index(F & EI) :  $F & EI = F3 \times MF$

이 단계는 본 기법의 핵심인 F&EI를 구하는 과정이다. DOW Index기법을 일반적으로는 'Hazards Index'라고 칭하기도 하는데 이는 Dow index기법 중에서도 이 단계만을 간략하게 호칭한 것이다. 그러나, F&EI를 구하는 과정이 본 기법 중의 핵심이기는 하지만 본 기법의 목적은 아니다. 즉, F&EI는 공장에서 하나의 사고로 발생하는 손실을 추정 평가하는데 사용된다. 인화성 물질이 누출되었을 때 화재나 폭발의 결과는 그들의 직접적인 원인에 따라 다음과 같이 분류할 수 있다.

- ① 폭발파(Blast Wave)나 폭연(Deflagration)
- ② 1차적으로 발생하는 화재
- ③ 용기폭발시 비산된 파편에 의한 배관이나 장치의 파손
- ④ 2차적인 사고로 누출되는 다른 연료원

여기서 2차적인 사고는 MF와 F3를 증가시키기 때문에 중요한 요소이다.

F&EI는 MF와 F3의 곱으로 나타낸다. 우리는 여기서 F&EI가 의미하는 바를 재해석해 볼 필요가 있는데, 이는 당해공정이 가지고 있는 純粹危險(위험을 감소시키거나, 제어하는 요소가 고려되지 않은)으로 야기된 被害半徑(ft)이다. 단순히 수치만 가지고서도 여러 측면에서 활용할 수 있다. F&EI는 수치에 따라 위험도를 구분할 수도 있는데 일반적 위험도를 구분하면 다음과 같다.

F & EI의 범위	위험 정도
1 ~ 60	경미
61 ~ 96	약간 위험
97 ~ 127	위험
128 ~ 158	대단히 위험
159 이상	심각한 위험 상태

그러나, 위 데이터는 일반적인 추세로서 참고하기 바라지만, 위험을 어디까지 수용하느냐 하는 것은 해당공장의 수용능력 차원에서 논의되어야 한다.

危險度(Risk)는 危險의 頻도와 危險의 深度의 곱이라고 할 수 있는데, F3가 위험의 頻도라면 MF는 위험의 深度이며 F&EI는 危險度라고 할 수 있다. 따라서, DOW Index기법은 위험관리의 논리와도 잘 일치하고 있음을 알 수 있다.

사. 손실방지 신뢰 계수(C)의 산정 :  $C = C1 \times C2 \times C3$

화학 플랜트는 기본적으로 ASME, NFPA, ASTM, ANSI 등 여러종류의 코드나 스탠다드의 요구조건을 준수하여 설계된다. 이러한 기본적인 설계조건 외에도 중대한 사고가 일어날 가능성과 크기를 줄이기 위해 여러가지 경험에 따라 손실을 방지해야 한다. 손실방지는 일반적으로 다음 3가지로 분류된다.

즉, C1 : 공정관리, C2 : 물질차단, C3 : 방화조치

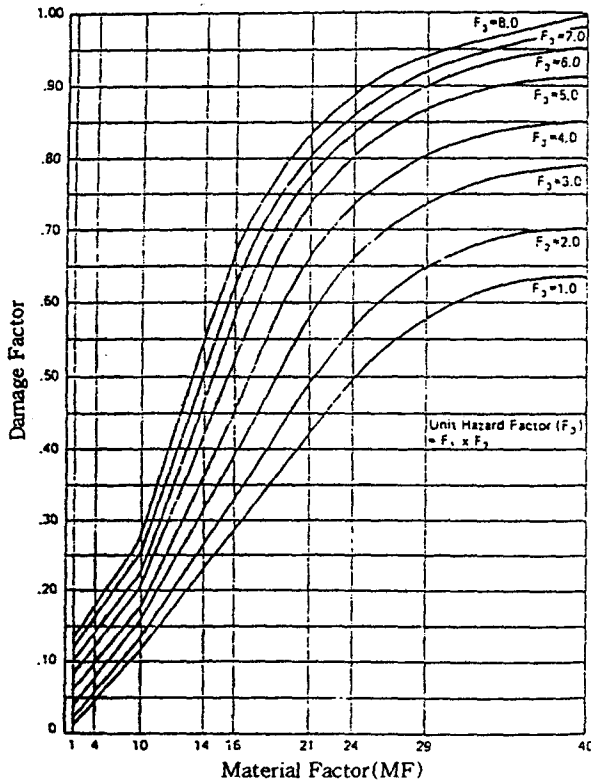
손실방지를 함으로써 평가하고자 하는 단위위험을 실제로 감소시키거나 제어할 수 있다. 이 손실방지 신뢰계수를 산정하는 기본개념도 AND gate개념인데, 손실방지 측면에서는 이들 3가지 요소를 동시에 고려할 수 있기 때문이다.

본 기법중에서 손실방지 설비별, 요인별 등의 신뢰계수를 별도로 산정할 수 있음은 원래의 목적 이외에 Data의 재해석으로 중요한 결과를 얻을 수 있는데, 이는 손실방지에 필요한 계획이나 방재설비의 효과를 직접 정량화 할 수 있다는 점이다. 이는 다음 항에서 재검토하겠다.

아. Damage Factor

단위손실 계수는 단위위험계수(F3)와 물질계수

도표 1. Damage Factor



(MF)를 구한 후 도표1에서 구할 수 있으며 연료 누출로부터 발생하는 화재 및 폭발의 모든 결과나 단위공정에서 발생하는 반응에너지의 결과를 나타낸다. 다시말하면, DF값이 0.45라면 노출반경에 의해 둘러싸인 부분의 피해가 45%임을 의미한다. 그러나, 이 개념은 다수 사고의 평균적 개념에 근거한 것이다.

자. 노출반경의 산정(R) :  $R = F \& E I \times 0.84$

노출지역은 노출반경에 의해 표시된다. 노출지역이라 함은 평가하고자 하는 단위공정에서 화재나 폭발에 노출될 수 있는 장치 등이 있는 지역을 의미하며, 일반적으로 단위공정을 원형으로 둘러싸고 있는 공장지역의 면적으로 표시한다.

그러나, 화재나 폭발사고에 의한 실제 손해는 모든 방향에서 똑같은 원 모양으로 확산되지는 않으며 장치의 위치, 풍향, 배수시설, 손실방지 설계에 영향을 주는 Factor에 의하여 영향을 받는다.

따라서, 이를 평가하기 위하여 다음과 같은 방법을 생각하였다. 즉, 단위공정중의 인화성 액체의 양을 3in(8cm) 높이로 쌓을 때의 면적과 증기-공기 혼합물의 과압이 걸리는 부분의 면적을 원의 반경으로 나타내어 그래프로 작성한 것이 도표 3의 노출 반경이다. 이 도표의 노출 반경은 앞에서 결정된 F&EI 값에 0.84를 곱한 값과 동일하다. 따라서, 0.84라는 값의 의미는 장치의 위치, 풍향, 손실방지 설계 영향 등의 제요소를 감안한 평균적 관점의 Factor로서 원 모양으로 일정치 않게 확산되는 요소를 감안한 값이다.

이러한 요소가 감안됨으로써, 노출반경은 이론적 피해반경인 F&EI보다는 좀더 실제에 접근한 피해 반경이라 할 수 있다.

차. 노출 반경내 재산가액의 산정(₩)

지금까지 노출지역과 손실계수를 구할 수 있었으므로 이제는 이론상의 노출 지역내에 존재하는 장치에 대한 재산가치를 구할 필요가 있다. 노출 지역의 재산가치는 노출지역내에 있는 재산의 대체비용(제조달 가액)으로 구할 수 있다.

$$\text{대체비용} = \text{원가} \times 0.82 \times \text{물가 상승률}$$

여기서 계수 0.82는 부지, 도로, 지하배관 및 기초, 토목공사비 등과 같이 손실되지 않거나 대체될 수 없는 비용을 고려한 수치이다.

노출지역의 재산가액을 계산할 때 기계장치의 가액과 더불어 저장물품의 가액도 포함해야 한다. 저장탱크의 경우 탱크용량의 80%를 사용하고, Column이나 탑, 펌프, 반응기 등의 경우에는 저장품목의 체적이나 연결되어 공급되는 물질의 15분간의 유동량중 더 적은 것을 이용한다. 그러나, 보다 정확한 평가방법이 있다면 그 방법을 채택할 수도 있다.

카. 기본 예상 최대 손실액(Base MPPD) :  $B. MPPD = ₩ \times DF$

다음 단계는 기본예상최대손실액의 산정이다. 이 단계는 단순히 노출 반경내 재산가액에 Damage Factor를 곱해주면 된다. 즉, 노출 반경내 재

산가액에 대한 損害率(또는 損壞比率)을 고려해 주는 것이다.

타. 실제 예상 최대 손실액(Actual MPPD) :  
 $A. MPPD = B. MPPD \times C$

기본예상최대손실액이 구해지면 기계장치나 구조물 등에 설치된 방재요소를 고려해준다. 기본예상최대손실액(B. MPPD)에 손실방지 신뢰계수(C)를 곱해주면 실제로 예상되는 최대 손실액이 구해진다. 이것이 보험사에서 말하는 Estimated Maximum Loss(EML)이다.

파. 최대추정휴지일수(MPDO)

사고로 인한 기업휴지시 손실비용은 제품 저장량, 제품의 수요, 특정 제조업 분야에서의 시장 점유율 등에 따라 다르며, 다음의 여러가지 다른 조건에 따라 재산손실로 인한 MPDO는 변화할 수 있다.

① Cable Tray에 있는 Cable이 손상을 입었을 때 재산손실 자체는 작을지라도 복구하는 데 많은 시간을 요할 수 있다.

② 필수원료 공급배관의 손상은 재산손실은 적으나 MPDO가 큰 사고이다.

③ 구입하기 어려운 품목, 단 한 종류만 있는 품목은 공장 가동정지 일수가 길어질 수 있다.

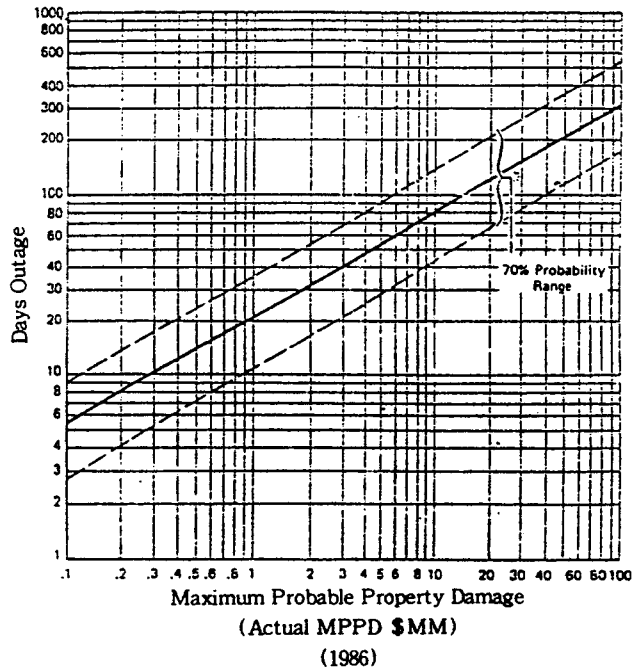
④ 손실된 기기장치의 공급선이 해외에 있는 품목으로써 절품된 것을 보충할 수 있는 데 많은 시간이 소요된다.

⑤ 공장 상호 의존체제로 된 부자재를 상호 공급하는 경우 타 공장에 미치는 손실 및 가동상의 비용이 커질 수 있다.

최대 추정 휴지일수는 실제 MPPD를 통하여 도표 2에서 MPDO를 구한다. 도표는 사고사례에 대한 피해액의 분포를 최대, 최소, 평균피해의 관점에서 D/B화한 것이다.

도표에서 MPDO를 선정할 때는 신중히 판단하여야 하며, 일반적으로 약 70%의 유동 가능범위를 가지도록 하였다. 도표상의 MPDO값을 무시할 수 있는 확실한 조건이 있다면 70%의 범위를 적용하는 것에서 벗어날 수도 있다. 예를 들면, 압축기의 중요한 부품이나 예비펌프, 정류기가 저장

도표 2. Maximum Probable Days Outage(MPDO)



품으로 비축되어 있을 수도 있다. 이러한 경우는 70% 가능 범위내의 낮은 LINE을 적용하는 것이 합리적이다. 반면에 구하기 어려운 품목 또는 단 한종류만 있는 품목일 경우 70% 범위의 높은 LINE 근처에서 MPDO를 찾아야 할 것이다. 대안으로써 화재 및 폭발의 영향에 대한 개인적 분석 자료를 도표2 대신에 사용할 수 있다.

$BI = MPDO / 30 \times VPM$  (월간 생산제품의 가치)  $\times 0.70$

※ 여기서 Factor 0.70은(고정비용+이익)을 말한다.

### 5. Dow Index의 재해석

앞에서 손실방지신뢰계수가 별도로 산정될 수 있음으로써 손실방지효과와 산정이 가능함을 언급하였다. 손실방지신뢰계수를 산정에는 3가지 분야 즉, 공정관리(C1), 물질차단(C2), 방화조치(C3)이며, 이들 분야에 대한 세부항목은 다음과 같다.

● 공정관리(C1 : 적용된 항목들의 곱)

a) 비상전원 : 0.98

주요시설(계장용 공기, 제어기기, 교반기, 펌프 등)에 전원 차단시 자동적으로 비상 전원공급 시스템으로 전환되도록 설비되어 있는 곳에 이 값을 적용한다.

이 비상전원을 적용시는 평가할 공정단위내 사고를 제어할 수 있는 것과 관련이 있을 때만 적용하여야 한다.(이하 세부항목만을 제시한다)

b) 냉각설비 : 0.97-0.99

c) 폭발방지 대책 : 0.84-0.98

d) 비상 가동정지(EMERGENCY SHUT-DOWN) : 0.96-0.99

e) 컴퓨터 제어 : 0.93-0.99

f) 불활성 가스 퍼지 : 0.94-0.96

g) 운전지침서 및 절차 : 0.91-0.99

h) 반응성 화학물질의 검토 : 0.91-0.98

● 물질차단(C2 : 적용된 항목들의 곱)

a) 원격차단밸브 : 0.96-0.98

b) DUMP / BLOWDOWN : 0.96-0.98

c) 유출확산 방지조치(시설) : 0.91-0.97

d) 연동 안전장치(INTERLOCK) : 0.98

● 방화조치(C3 : 적용된 항목들의 곱)

a) 누설감지 : 0.94-0.98

b) 철 구조물의 내화조치 : 0.95-0.98

c) 매립 및 2중벽 탱크 : 0.84-0.91

d) 소화용수시설 : 0.94-0.97

e) 특수 소방시설 : 0.91

f) 스프링클러 설비 : 0.74

g) 수막설비(WATER CURTAIN) :

0.97-0.98

h) 포소화설비 : 0.92-0.97

i) 소화기 및 MONITOR : 0.95-0.98

j) CABLE 방화조치 : 0.94-0.98

이들의 적용에 대해 별도 분류가 가능함으로써 이들 각각의 효과에 대한 세부적인 평가가 가능하다. 그러나 주의할 것은 Dow Index기법이 과거의 사고 사례를 수많은 항목으로 분류 Data Base화한 것이므로, 절대적인 것이 아니라는 것이다. 다

만, 과거의 피해와 피해를 제어한 결과에 대한 추세를 도출한 것이므로 이들 세부항목은 그들 각의 추세를 반영한 것이라고 할 수 있다. 왜냐하면, 어떤 설비이고 그 설비를 잘 관리하고 유효적절하게 사용하였다면 그 효과는 커질수 있는 것이고 그렇지 못할 경우에는 그 효과는 저감할 것이다. 따라서, 이 이론은 그러한 바탕위에서 이해하여야 한다.

계산의 개념은 다음과 같다.

基本 MPPD의 의미는 손실을 방지하지 않은 상태에서 공정중에서 생길수 있는 豫想最大損失額이며, 實際 MPPD는 손실을 방지할 수 있는 여러가지 방지대책을 감안하였을 때의 豫想最大損失額이다. 따라서, 기본 MPPD에서 실제 MPPD를 감한 평가액은 사고 발생시 손실방지 시설을 설치하여 얻을 수 있는 이익 즉, 방재설비의 설치나 대책수립에 의한 기여효과이다. 이 평가결과는 방재설비의 기여효과를 計量化시켜 봄으로써 금후 방재시설에 대한 투자지침으로 활용할 수 있도록 하기 위하여 제시한 것이다.

따라서, 효과측정의 개념은 다음과 같이 정립할 수가 있다.

방재 효과 = 기본 MPPD - 실제 MPPD
---------------------------

이 개념에 의하면, 실제 MPPD는 평가항목에 따라 달라질 수 있다. 이 평가항목들은 공정관리, 물질차단, 방화조치로 크게 나눌 수 있으며, 이들 3분야의 하위 레벨에는 각 설비나 대책에 대한 세부적인 적용지침이 Penalty별로 분류되어 있어 어떤 특정항목에 대한 방재 효과를 측정할 수가 있다.

6. 위험분석의 실례

다음은 어느 기계공장에서 가장 위험한 부분으로 도장공정을 선정하고, 그에 대해 평가를 실시한 예이다. 본 기법의 매뉴얼과 평가순서에 따른 평가의 실례를 다음에 기술한다.

여기에서는 2가지 방향 즉,

- ① 위험 방지를 위해 설치된 시설 또는 계획

② 여러가지 소화설비 중에서 Halon 소화설비를 임의로 선정하여 비용적 측면에서 투자효과를 측정해보고자 한다. 분석순서는 앞에서 언급된 3항을 참조하기 바란다.

1) 일반공정 위험계수 산정(F1)

▶ 기본 계수 : 1.0

A. 발열반응 공정 : 해당공정이 없으므로 Penalty 미적용

B. 흡열반응 공정 : 해당공정이 없으므로 Penalty 미적용

C. 물질 취급 및 이송 : 배합과정에서 인화성 물질을 수동으로 첨가하고 공기가 유입되어 인화성 위험을 야기할 우려가 있으므로 Penalty 0.5를 적용

D. 밀폐 또는 실내에 있는 공정 : 실내공정으로 Penalty 0.5를 적용하나 강제배기 설비가 적합하게 설치되어 있으므로 Penalty에서 50%를 감하였다. 그러므로 Penalty는  $(0.5 \times 0.5) = 0.25$ 를 적용

E. 접근로 : 공정지역이 정방형이고 규모가 커 소화작업에 문제가 있으므로 Penalty 0.35를 적용

F. 배출 및 유출조치 : 공정 지역이 평평하고 유

출물이 번져나가 화재발생시 넓은 면적이 노출될 수 있으므로 Penalty 0.5를 적용

• Penalty의 합(F1) =  $1 + 0.5 + 0.25 + 0.35 + 0.5 = 2.6$

2) 특수공정 위험계수 산정(F2)

▶ 기본 계수 : 1.0

A. 독성물질 : 연소물질이 일시적으로 무기력증을 야기시키며 신속한 의료조치가 요망되므로 Penalty는  $0.2 \times 2 = 0.4$

B. 대기압 이하의 압력 : 常壓에서 공정이 이루어지므로 미적용

C. 인화범위내(근처)에서의 운전 : 설비나 장치의 고장시 인화범위내 또는 근처에 있을 수 있으므로 Penalty 0.3

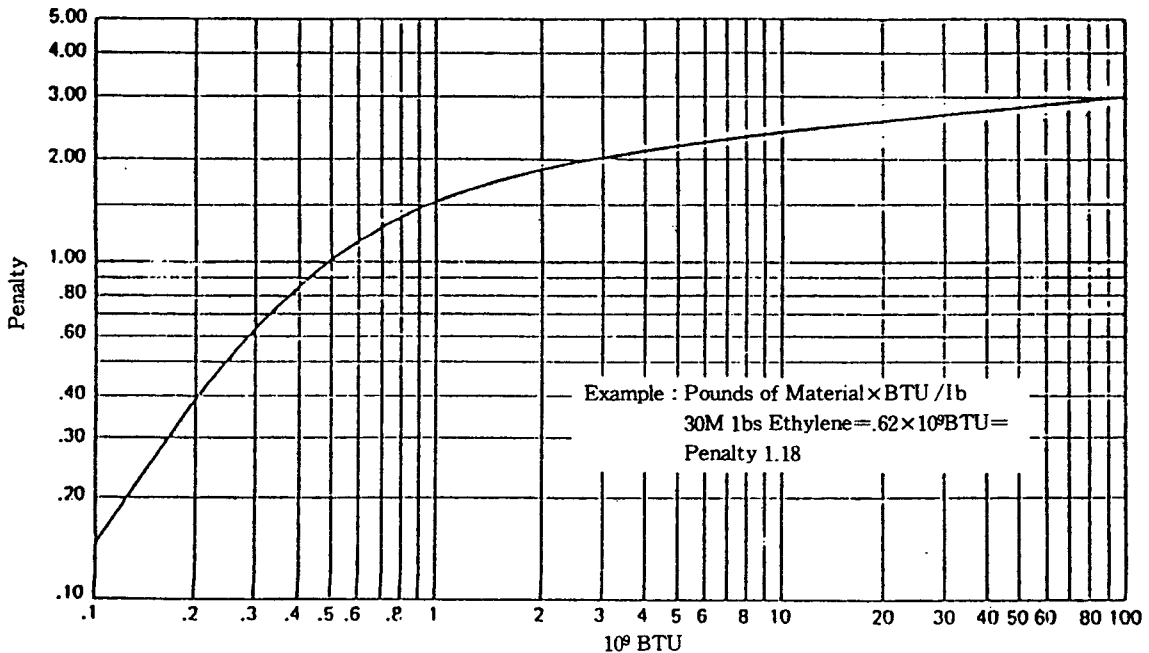
D. 분진폭발 : 분진이 발생되지 않으므로 미적용

E. Relief 압력 : 대기압 공정이므로 미적용

F. 저온 : 저온에 따른 위험이 없으므로 미적용

G. 인화성 및 불활성 물질의 양 : 도장 Booth의 내용적(만일,  $6m \times 80m \times 3.5m = 1,680m^3$ 의 연소범위(1.1~7.1)로부터 용제의 중량을 구하고, 용

도표 3. Liquids or Gases in Process



제의 연소열(19.2btu/lb)을 곱해주어 도표 3으로부터 Penalty를 구하면 Penalty 0.1

H. 부식 및 마모 : 부식이나 마모의 위험이 없으므로 미적용

I. 누설-Joint 및 Packing : 미량 누설될 가능성이 있으므로 Penalty 1.0

J. 가열용 히터의 사용 : 가열기가 인화성 물질을 가열하므로 Penalty 1.0

K. 열매유를 사용하는 열교환 설비 : 열교환설비가 없으므로 미적용

L. 회전기기 : 회전기기가 없으므로 미적용

• Penalty의 합(F2)=1.0+0.4+0.3+0.1  
+1.0+1.0=3.8

• 단위공정 위험지수 F3=F1×F2=2.6×3.8  
=9.88≒8

• 화재 및 폭발지수(F & EI)=F3×MF  
=8×16=128

### 3) 손실방지 보정계수

가. 공정제어(C1)

A. 비상전원 : 안전측면의 비상전원이 확보되지 않았으므로 미적용

B. 냉각설비 : 냉각시스템이 설치되지 않았으므로 미적용

C. 폭발방지 대책 : 도장 Booth 및 로봇트 장치는 정전기 방지를 위해 접지되어 있으므로 Penalty 0.84를 적용

D. 비상가동정지 : 공정상 품질에 문제가 발생되었을 때 Shutdown Sequence가 작동되도록 되어 있으며 국소적으로 예비시스템이 설치되어 있으므로 Penalty 0.98 적용

E. 컴퓨터 제어 : CCR(조정실)에서 Fail-Safe Logic에 의해 공정이 제어되므로 Penalty 0.97을 적용

F. 불활성 가스 퍼지 : 불활성 가스퍼지 시스템이 없으므로 미적용

G. 운전지침서 및 절차

-운전개시 절차 : 0.5

-Shutdown시 절차 : 0.5

-평상시 운전조건 : 0.5

-가동률을 낮출 때의 운전조건 : 지침이 없으므로 미적용

므로 미적용

-대기 상태의 운전조건 : 지침이 없으므로 미적용

-설계용량 이상의 과부하 운전 : 자동 정지되도록 되어 있으므로 1.0

-비상 가동정지 : 1.5

-정비작업절차(작업허가, 오염방지, 시건장치) : 1.5

-공정장치와 배관의 개조 및 추가설치 : 미적용

-예상 가능한 비정상 상태의 조치 : 미적용  
계=0.5+0.5+0.5+1.0+1.5+1.5=5.5

Penalty=1.0-5.5/150=0.963

H. 반응성 화학물질의 검토 : 반응성이 없으므로 미적용

• 이들의 곱(C1)=0.84×0.98×0.97  
×0.963=0.76922552

나. 물질 차단(C2)

A. 원격차단밸브 : 비상시 CCR에서 원격차단 가능하고 년1회 이상 정기점검되므로 Penalty 0.96을 적용

B. Dump/Blowdown : 증기의 비상 누출용으로 배기덕트가 설치되어 있으므로 Penalty 0.96을 적용

C. 유출확산 방지조치 : 도장 Booth 하부에 다량의 누출물을 제거하기 위한 배유구 역이 확보되고 적정 경사도를 갖추고 있으므로 Penalty로 0.91 적용

D. 연동 안전장치(Interlock) : 설치되지 않았으므로 미적용

• 이들의 곱(C2)=0.96×0.96×0.91=0.838656

다. 방화조치(C3)

A. 누설감지 : 가스 누설시 해당 위치와 경보만 발하도록 되어 있으므로 Penalty 0.94 적용

B. 철 구조물의 내화조치 : 나철골로 전혀 보호조치 없으므로 미적용

C. 매립 및 2중벽 탱크 : 미적용

D. 소화용수시설 : 옥외소화전에서 채수할 수 있으므로 Penalty 0.97 적용



표. 특수 소방시설 : 할론 소화설비가 적합하게 설치되어 있으므로 Penalty 0.91 적용

F. 스프링클러 설비 : 설치되지 않았으므로 미적용

G. 수막설비 : 설치되지 않았으므로 미적용

H. 포소화 설비 : 설치 되지 않았으므로 미적용

I. 소화기 및 Monitor : 인화성 물질이 다량 유출될 가능성이 있고 화재시 소화기로는 효과적으로 소화시킬 수 없으므로 미적용

J. Cable 방화조치 : Cable 에 대한 방화조치가 없으므로 미적용

• 이들의 곱(C3) =  $0.94 \times 0.97 \times 0.91 = 0.829738$

■ 손실방지 보정계수(C) =  $C1 \times C2 \times C3$   
 $= 0.76922552 \times 0.838656 \times 0.829738$   
 $= 0.535276925$

이들 평가결과를 재정리하면 다음과 같다.

### 화재 및 폭발지수

물건명 : ○○ 공업 (주)	단위공정 : 도장공정	일자 :
취급물질 및 공정		
공정내 취급물질 : 액화석유계 가스	축매 :	용매 :
공정상태(① 조업시작 ② 조업종료 ③ 정상운전중) [3]		
물질계수(MF)	21	
1. 일반공정위험	적용 Penalty	
기본계수	1.0	
A. 발열화학반응(0.30~1.25)		
B. 흡열반응공정(0.20~0.40)		
C. 물질취급 및 이송(0.25~1.05)	0.5	
D. 밀폐 또는 실내에 있는 공정(0.25~0.90)	0.25	
E. 접근로(0.2~0.35)	0.35	
F. 배출 및 유출조치(0.25~0.50)	0.5	
일반위험공정지수(F1 : 1항의 Penalty합계)	2.6	
2. 특수공정위험		
기본계수	1.0	
A. 독성물질(0.20~0.80)	0.4	
B. 대기압 이하의 압력(<mmHg)(0.50)		
C. 인화범위내(또는 근처에서)의 운전 불활성가스 봉입[유·무] : 유		
① 탱크저장지역에 저장된 인화성 액체(0.50)		
② 공정이상 혹은 불활성가스 봉입 실수(0.30)	0.3	
③ 상시 인화범위내(0.80)		
D. 분진 폭발(0.25~2.00)		
E. Relief Pressure 운전[     psig] 안전밸브설정[     psig]		
F. 저온(0.20~0.30)		
G. 인화성 및 불안정성 물질의 양 : 量[     lbs], 연소열[19.2 Btu/Lb]		
① 공정내의 액체 또는 가스(도표 1 참조)	0.1	
② 저장소 내의 액체 또는 가스		
③ 적장소내의 가연성 고체 / 공정내 분진		
H. 부식 및 마모(0.10~0.75)		
I. 누설-Joint 및 Packing(0.10~1.50)	1.0	
J. 가열용 히터 사용(도표 5 참조)	1.0	
K. 열매유를 사용하는 열교환 설비(0.15~1.15)		
L. 회전기기(0.50)		
특수위험공정지수(F2 : 2항의 Penalty합계)	3.8	
단위공정 위험지수(F3 : F1 × F2)	9.88 ⇒ 8.0	
화재 및 폭발지수(F&EI : F3 × MF)	8 × 16 = 128	

## 손실방지 신뢰계수

### 1. 공정관리(C1)

- a) 비상전원 :
- b) 냉각설비 :
- c) 폭발방지 대책 : 0.84
- d) 비상 가동정지 : 0.98
- e) 컴퓨터 제어 : 0.97
- f) 불활성 가스 봉입 :
- g) 운전지침서 및 절차 : 0.96<sup>3</sup>
- h) 반응성 화학물질의 검토 :

$$C1(\text{적용된 항목의 곱})=[0.76922552]$$

### 2. 물질차단(C2)

- a) 원격차단변 : 0.96
  - b) DUMP / BLOWDOWN : 0.96
  - c) 유출확산 방지조치 : 0.91
  - d) 연동 안전장치 :
- $$C2(\text{적용된 항목의 곱})=[0.838656]$$

### 3. 방화조치(C3)

- a) 누설감지 : 0.94
  - b) 철 구조물의 내화조치 :
  - c) 매립 및 2중벽탱크 :
  - d) 소화용수시설 : 0.97
  - e) 특수 소방시설 : 0.91
  - f) 스프링클러설비 :
  - g) 수막설비 :
  - h) 포소화설비 :
  - i) 소화기 및 모니터 :
  - j) Cable 방화조치 :
- $$C3(\text{적용된 항목의 곱})=[0.829738]$$

$$\text{손실방지 신뢰계수}(C1 \times C2 \times C3) \\ = [0.535276925]$$

## 위험분석 종합

- 1. 화재폭발지수(F&EI) : 128
- 2. 노출반경(R) :  $R=(F\&EI) \times 0.84 \times 0.3048 \approx 32.77m$

### 3. 노출지역 자산 가치

이 평가는 여러 개의 도장line 중 가장 인화성이 강하고, 가장 많은 량의 인화물질이 투입되는 도장 line을 중심으로 평가한 것이다. 이 도장 line (즉, 도장 Booth)의 중심에서 반경 32.77m인 원을 그려 원内の 재산을 평가한다.

#### (가정 1)

재산의 편의를 위해 노출반경 32.77m내의 재산평가액을 200억원으로 가정함.

※ 반경 32.77m 내에 분포된 재산(기계장치, 건물, 원·부재료)가액을 식가에 가장 근접한 가격(즉, 제조달 가액)으로 환산한다.

### 4. 손실지수

단위공정 위험지수(F3=8.0)와 물질계수(MF=16)를 도표 1에서 읽으면 손실지수는 0.67이 된다.

### 5. 기본 MPPD(예상 최대손실)

Basic MPPD=노출지역내 재산평가액×손실지수=200억원×0.67=134억원

### 6. 손실방지 신뢰계수(C) : 0.535276925

7. 실제 MPPD=기본 MPPD×C=134억원×0.535276925≈71.7억원≈920만\$

### 8. 조업중단일수(MPDO)

실제 MPPD를 이용하여 도표 2에서 읽으면, 조업중단일수는 최대 150일, 평균 78일, 최저 42일로 평가됨.

### 9. 기업휴지손실(Business Interruption Loss)

(가정 2) 공장의 연간 매출액 : 2조원

(가정 3) 연간 조업일수 : 220 일

(가정 4) 우회생산이 불가능한 전면 Shutdown

그러면, 일일 매출액 : 2조원 / 220일 = 91억원

따라서, 기업휴지 평균 손실=91억/일×78일  
 $\times 0.7 \div 4,968.6$ 억원  
 기업휴자 최대 손실=91억/일×150일  
 $\times 0.7 \div 9,555$ 억원  
 기업휴지 최소 손실=91억/일×42일  
 $\times 0.7 \div 2,675.4$ 억원

## 방재효과 계산실례

前丈의 위험분석종합에서 방재효과를 계산하기 위해 필요한 Factor만을 추출해보면 :

- ① 기본 MPPD=134억원
- ② 손실방지 신뢰계수(C)=0.535276925
- ③ 실제 MPPD=71.7억원

### A. 총체적인 방재설비의 효과의 計算

• 방재 효과=기본 MPPD-실제 MPPD=134억원-71.7억원=62.3억원

#### • 결과의 해석 :

비용으로 제시된 이 방재효과는 설비의 설치나 대응책을 수립함으로써 얻은 손실 방지에 기여한 효과이다. 여기에서는 어느 한 설비나 대응책에 대한 명확한 효과를 지시하고 있는 것은 아니고, 방재설비의 총체적인 효과를 비용으로 나타낸 것이다.

### B. 개별시설의 설치에 따른 방재효과 計算(예 : Halon 소화설비의 소화 효과)

앞장의 화재·폭발지수에서 얻은 결과로서 필요한 Factor는 마찬가지로 :

- ① 기본 MPPD=134억원
- ② 손실방지 신뢰계수(C)=0.535276925
- ③ 실제 MPPD=71.7억원

여기에서 손실방지 신뢰계수는 모든 총체적인 방재시설에 대한 계수이다.

따라서, 이 계수에는 도장 Booth에 설치된 Halon 소화설비의 효과가 포함되어 있다. 만일, Halon소화설비가 설치되지 않았다면 손실방지신뢰계수 C는 다음과 같이 계산 된다.

즉,  $C3=0.94 \times 0.97=0.9118$

그러면, 손실방지 보정계수

$$C=C1 \times C2 \times C3 \\ =0.76922552 \times 0.838656 \times 0.9118 \\ =0.588216402$$

그런데, 기본 MPPD=134억원이므로

실제 MPPD=기본 MPPD×C=134억원×0.588216402÷78.8억원

∴ Halon의 설치 효과=Halon이 설치되지 않았을 경우에는 실제 MPPD-Halon이 설치되었을 경우에 실제 MPPD=78.8억원-71.7억원=7.1억원

#### • 결과의 해석

(1) 상기 결과는 노출반경 32.77M 이내의 재산가액을 200 억원으로 가정하고, 이 가액을 근거로 하여 평가된 결과이다. 따라서, 실제로 적용할 경우에는 가장 위험 정도가 높은 도장 Booth의 중심으로부터 반경 32.77M 이내의 재산가액을 재조달가액으로 시가기준으로 평가하여야 할 것이다.

(2) 또한, 조업중단일수의 해석도 과거피해의 사례를 Data Base한 것을 근거로 산출된 것이므로 피해를 입은 회사의 복구방침, 우회생산의 가능성 등을 고려한다면 상기 기업휴지로 인한 손실은 대폭 감소될 수도 있다. 따라서, 본공장에 있어서는 도장 Booth가 하나일 경우 우회생산이 불가능한 경우를 가정했으나 실제로 제2, 제3의 도장 line이 존재할 수 있으므로 기업휴지 손실액은 상기 액수의 1/n(도장 line의 수)로 감소될 수 있다.

(3) Dow Index 기법은 과거의 사고사례를 수많은 항목으로 분류 Data Base를 구축한 것이다. 여기서, 기본 MPPD의 의미는 손실을 방지하지 않은 상태에서 공정상 생길 수 있는 예상된 최대 피해액이다. 또한, 실제 MPPD는 손실을 방지할 수 있는 여러가지 방지대책을 감하였을 때 예상되는 최대 피해액이다. 따라서, 기본 MPPD에서 실제 MPPD를 감한 평가액은 사고 발생시 손실방지 시설을 설치하여 얻을 수 있는 이익 즉, 방재설비를 설치하여 얻은 효과이다.

(4) 그럼에도 불구하고, 평가 결과는 절대적인 것은 아니다. 다만, 과거 사고의 경험(손실발생 기

도표 4. Material Factors(MF)

Compound	MF	Hc BTU/lb $\times 10^{-3}$	NFPA Classification			Flash Point · F	Boiling Point · F
			Nh	Nf	Nr		
Ethyl Propyl Ether	16	15.2	1	3	0	< -4	147
p-Ethyl Toluene	10	17.7	-	2	0	108	324
Fluorine	29	-	4	0	3	-	-310
Fluorobenzene	24	13.4	-	3	0	5	185
Formaldehyde	24	8.0	2	4	0	Gas	-3
Formic Acid	4	3.0	3	2	0	156	213
Fuel Oil #1 to #6	10	18.7	0	2	0	100-150	304-574
Furan	21	12.6	1	4	1	32	88
Gasoline	16	18.8	1	3	0	-45	100-400
Glycerine	4	6.9	1	1	0	390	554
Glycolonitrile	14	7.6	1	1	1	-	-
Heptane	16	19.2	1	3	0	25	209
Hexachlorobutadiene	14	2.0	2	1	1	-	410
Hexachloro Diphenyl Oxide	29	5.5	2	1	1	-	446
Hexanal	16	15.5	2	3	1	90	268
Hexane	16	19.2	1	3	0	-7	156
Hydrazine(anhydrous)	24	7.7	3	3	2	100	236
Hydrogen	21	51.6	0	4	0	Gas	-422
Hydrogen Cyanide	29	10.3	4	4	2	0	79
Hydrogen Peroxide(35%)	24	2	2	0	2	-	-
Hydrogen Sulfide	21	6.5	3	4	0	Gas	-76
Hydroxylamine	29	3.2	1	3	3	4	158
Hydroxy Ethyl Acrylate	14	8.9	2	1	2	154	375
Hydroxy Propyl Acrylate	14	10.4	2	1	2	149	11
Isobutane	21	19.4	1	4	0	Gas	-
Isobutyl Alcohol	16	14.2	1	3	0	82	225
Isobutylamine	16	16.2	2	3	0	15	150
Isobutylchloride	16	11.4	2	3	0	<70	156
Isopentane	21	21.0	1	4	0	< -60	82
Isoprene	21	18.9	2	4	1	-65	93
Isopropanol	16	13.1	1	3	0	53	181
Isopropeny Acetylene	24	-	2	4	2	<19	92
Isopropyl Acetate	16	11.2	1	3	0	35	194
Isopropylamine	21	15.5	3	4	0	-35	89
Isopropyl Chloride	21	10.0	2	4	0	-26	95
Isopropyl Ether	16	15.6	2	3	1	-18	156
Jet Fuel A & A-1	10	21.7	0	2	0	110-150	-
Jet Fuel B	16	21.7	1	3	0	-10to+30	-
Kerosene	10	19.8	0	2	0	100-162	304-574
Lauryl Bromide	4	12.9	1	1	0	291	356
Lauryl Mercaptan	4	16.8	2	1	0	262	289
LORSBAN · 4E	14	3.0	1	2	1	85	165
Lauryl Peroxide	40	15.0	0	1	4	-	-
Lube Oil	4	19.0	0	1	0	350-400	-
Magnesium	14	10.6	0	1	1	-	-
Malic Anhydride	14	5.9	3	1	1	215	396
Methacrylic Acid	24	9.3	3	2	2	171	316
Methane	21	21.5	1	4	0	Gas	259
Methyl Acetate	16	8.5	1	3	0	14	140
Methylacetylene	40	20.0	2	4	2	Gas	-10

여도를 Factor화)을 근거로 하여 추상적인 기여 효과를 계수화 한 것이다. 따라서, 이 평가결과는 방재설비의 효과에 대한 경영상의 의사결정을 위한 투자지침으로 활용할 수 있도록 하기 위하여 제시한 것이다.

## 7. 결 론

DOW Index 기법을 활용하여 방재효과를 평가하기 위한 방법을 제안하기 위해 본 기법의 평가법을 장황하게 제시하였다. 왜냐하면, 방재효과를 추출하기 위해서는 본 기법의 적용지침과 의의를 일일이 이해해야 하기 때문이었다.

방재효과 측정방법의 논리적 접근방법을 다음과 같이 제안하고자 한다.

- 총체적 방재효과=기본 MPPD  
- 실제 MPPD
- 개별적인 손실방지 항목에 대한 방재효과
  - ① 정상적인 평가단계를 거쳐 실제 MPPD를 계산
  - ② 효과를 평가하고자 하는 항목(설비, 대응책이 될 수 있음)을 제외하고 손실방지신뢰계수(C)를 재계산
  - ③ 기본 MPPD에 재계산된 손실방지신뢰계수를 곱함
  - ④ 상기 ①-②=평가하고자 하는 항목(설비, 대응책)의 효과

방재효과의 측정방법은 이론상으로는 매우 간단하다. 그러나, 보다 더 중요한 것은 모든 평가방법이나 모델에 대한 개념이 잘 정립되어 있으면, 제2, 제3의 새로운 개념의 창출이 가능하다는 것이다. 모든 사실이 시험과 객관적 인증을 얻어야 될 것이나 제안된 방안에 대하여는 아직 그러한 시간을 얻지 못했다. 한가지 아쉬운 것은 사무실 등 일반건물 용도의 방재효과 측정에는 적용이 안된다는 것이다. 아마도 일반 건물용도에는 열복사 현상과 연기의 이동현상에 따른 피난효과의 정량화 방안이 복합적으로 논의되어야 할 것이다.

이 분야에 관심있는 이들의 따지를 바라마지 않는다.

## 참 고 문 헌

1. 'Dow Fire and Explosion Index Hazard Classification Guide' 6th, ed. 85, AIChE, NY
2. H. Ozog., Hazard Identification, Analysis and Control, Chemical Engineering, 85, 2, p. 161~170
3. 'Guidelines for Damage Estimation' 87th, ed. Swiss Re
4. 'SFPE Handbook of Fire Protection Engineering' 1st., ed. 4-98
5. 한국화재보험협회. '위험진단보고서', p. 190~208, 95. 6
6. 한국화재보험협회. 95 위험관리세미나, '화학공장에서 PSM수행을 위한 위험평가기법'