

화학공장 화재폭발 위험성 평가

안 광 현

(위험관리정보센터 과장)

1. 머리말

석유화학공장에서 취급하는 원·부자재 및 제품은 대부분 가연성·폭발성 물질로 한번의 사고에 의한 손실 규모가 크기 때문에 당해 사업장은 물론 보험분야의 위험관리 업무에서도 이를 주요 관심사로 취급하고 있다.

지금까지 위험과 손실의 관계를 계량화하는 많은 종류의 위험성 평가 기법이 소개된 바 있으나 이들 대부분이 전문가가 아니면 적용이 용이하지 않을 뿐 아니라 보험 업무의 많은 요소 가운데 일부만으로 이용이 한정되는 단점 때문에 실용화에 이른 것은 많지 않은 실정이다.

“DOW Index”는 미국의 다국적 화학기업인 DOW Chemical사가 과거의 수많은 사고 사례를 데이터 베이스화하여, 화재·폭발시의 피해 정도를 예측하기 위해 개발한 위험성 평가 프로그램이다.

이 기법은, 화학공장에서 사용되는 물질의 위험도와 공정의 일반위험·특별위험 및 손실방지 신뢰계수를 환산하여 그 값을 지수(Index)로 나타낸 것으로서, 화재·폭발시의 직접피해는 물론 조업중단 일수와 기업휴지에 관한 자료를 동시에 산출할 수 있으므로, 석유화학공장의 재해예방 업무는 물론 보험업무 자료 구축에 가장 적합한 방법으로

알려져 있다.

또한 간단한 프로그램의 개발로 위험공정에 대한 평가를 손쉽게 처리할 수 있어 비전문가의 입장에서 업무에 직접 응용할 수 있다.

본 평가는 국내 30개 석유화학공장의 대표 공정에 DOW Index 기법을 직접 적용하고, 그 결과를 분석한 것으로 평가 대상 및 주요 결과는 다음과 같다.

가. 평가 대상

국내 석유화학공장 30개 사업장을 분석 대상으로 선정함.

(1) 지역별

- 울산 지역 : 13개 업체
- 여천 지역 : 15개 업체
- 대산 지역 : 2개 업체

(2) 공정별

공정명	평가건수
· NCC(Naphtha Cracking Center) Plant	3
· PTA (Phthalic Anhydride) Plant	3
· BTX (Benzene Toluene Xylene) Plant	2
· Epoxy Plant	2
· LDPE (Low Density Poly Ethylene) Plant	2
· LLDPE (Linear Low Density Poly Ethylene) Plant	2
· SM (Styrene Monomer) Plant	2
· VCM (Vinyl Chloride Monomer) Plant	3
· 기타 공정	11

2. 평가결과 분석

가. 위험지수

(1) 위험도별 지수 분포

분석 대상 30건에 대한 위험등급별 분포는 다음과 같다.

DOW Index 범위	위험 등급	해당 건수
1 ~ 60	경미	1
61 ~ 96	낮음	9
97 ~ 127	중간	5
128 ~ 158	높음	7
159 이상	매우 높음	8

- DOW Chemical사에서는 Index가 128 이상 되는 공정을 “위험공정”으로 분류하고, 이에 대해서는 더욱 자세한 위험분석을 요구하고 있다.

- 본 분석 대상 30건 중 Index가 128 이상 되는 위험공정은 15건으로, 전체 30건의 50%를 차지하고 있다. 또한 Index 평균값은 128.9로 높게 나타났다.

(2) 공정별 지수 분포

공정	Index 범위	위험 등급	해당 건수
LDPE	185.3	매우 높음	2
LLDPE	159.6	매우 높음	2
Epoxy	158.7	높음	2
NCC	140.0	높음	3
VCM	135.6	높음	3
PTA	131.8	높음	3
SM	89.7	낮음	2
BTX	65.2	낮음	2
기타	121.4	중간	11

- LDPE, LLDPE, NCC 공정의 Index가 높게 나온 것은 고압·고온 공정 및 고위험 물질의 취급에 의한 것으로 분석된다.

- Epoxy 공정의 Index가 높은 위험으로 나타난 것은, 분석 대상 공정 중 1개 공정이 Batch 공정으로 실내에서 작업했기 때문인 것으로 분석된다.

- BTX 공정이 낮은 위험으로 나타난 것은 공정이 비교적 간단하고 특히, 저온·저압 공정이기 때문인 것으로 분석된다.

나. 피해반경

분석 대상 장치의 피해반경은 다음과 같이 계산된다.

- 평균 피해반경은 33.0m로 나타났다.

화재폭발 피해반경 범위	위험 등급	해당 건수
1.0m ~ 15.4m 이상	경미	1
15.5m ~ 24.6m 이상	낮음	9
24.7m ~ 32.5m 이상	중간	5
32.6m ~ 40.6m 이상	높음	7
40.7m 이상	매우 높음	8

다. 손실금액

단위공정에 대한 피해금액을 어느 정도까지 수용할 것인지는 각 사업장의 위험관리 프로그램에 따라 달라질 수 있는 사항이다.

DOW Index에서는 일반적으로 단위공정에서의 사고시 피해금액(실제 최대예상손실액)이 200만 불 이하이면 비교적 잘 설계된 공정으로 평가하고, 400만불을 초과할 경우에는 공정의 재검토를 요구하고 있다.

(1) 기본 최대예상손실 (Base MPPD)

- 기본 최대예상손실은 평균 201.6억원으로 나타났다.

Base MPPD	해당 건수	비고
50억 미만	3건	※가액 산정이 가능한, 15개 사업장에 대하여 분석한 것임
50억 이상~100억 미만	3건	
100억 이상~150억 미만	1건	
150억 이상~200억 미만	-	
200억 이상~300억 미만	3건	
300억 이상	5건	

(2) 실제 최대예상손실 (Actual MPPD)

- 실제 최대예상손실의 평균 손실액은 953만 불(114.3억원)로 나타났다.

- 최대예상손실 400만불을 초과하는 공정이 2

Actual MPPD	상태	조치	해당 건수
200만불 미만	양호	가동	3건
200~400만불 이하	보통	가급적 개선	2건
400만불 초과	불량	재검토	10건

※ 가액 산정이 가능한, 15개 사업장에 대하여 분석한 것임.

/3 이상으로 나타난 것은, 주로 각 사업장의 주요 공정을 평가대상으로 하였기 때문이며, 다른 원인으로는 국내 석유화학공장의 경우 전반적으로 외국에 비하여 부지가 협소하기 때문에 장치들이 집중되어 손실액 규모가 크게 나타난 것으로 분석된다.

라. 조업중단일수

조업중단일수는 기업휴지보험을 인수하는 데 필요한 사항이다.

DOW Index에서는 손실금액에 ±30%의 휴업일수를 증감하여 휴지기간을 산정하고 있다.

즉, 예비품을 확보하고 있는 경우에는 표준 휴업일수에서 30%를 감하도록 하고, 예비품이 없거나 조달하기 어려운 경우에는 30%를 증가시킨다.

그러나 외국에 주문하여 설치하는 경우 등에는 DOW Chemical사에서 제시한 금액에 의한 휴업일수를 산정하는 대신 실제 조달에 소요되는 일수

[표 1]

조업중단일수	해당 건수	최고일수	최저일수	평균일수
30일 미만	3건	135일	7일	71일
30일~60일	4건			
61일~90일	1건			
91일 이상	7건			

[표 2] 피해반경 및 손실금액 비교

구분	피해반경	피해면적	피해금액		Index/EML2.0	
			Base MPPD	Actual MPPD	Base MPPD	Actual MPPD
EML 2.0	100% 피해 62.8m	12,383.7㎡	894.97억원			(100%)
	80% 피해 104.1m	21,643.9㎡				
	20% 피해 194.8m	85,126.1㎡				
	5% 피해 421.5m	438,705.7㎡				
DOW Index	32.22m	3,259.7㎡	184.2억원	104.4억원	20.6%	11.7%

를 산정하여 적용하도록 하고 있다.

본 분석의 결과는 (표 1)과 같다.

— 조업중단일수 90일(3개월)을 초과하는 물건이 조사 건수의 47%인 7건으로 집계되었다.

3. 위험도 분석 비교

가. 실제 사고와 비교

— 지난 10년(1988-1997)간 대규모 화학공장 주요 사고 피해액을 조사하여 분석하면, 사고당 평균손실액은 120.2억원으로, DOW Index 분석에 의한 예상 손실액 평균 114.3억원에 비하여 약간 높은 것으로 나타났는데, 이는 실제사고를 대형사고만을 대상으로 하였기 때문인 것으로 추정된다.

나. EML2.0과 비교

협회에서 1995년도에 개발하여 사용하고 있는 EML2.0 프로그램으로 산정한 피해반경과 손실금액을 DOW Index 값과 비교하면 (표 2)와 같다.

— EML2.0은 화학공장에서 발생할 수 있는 최악의 사고인 증기운폭발을 기준으로 화재·폭발 예상 피해범위를 산정하였으나, DOW Index는 증기운폭발 사고가 거의 없는 실제 사고를 통계적으로 처리하여 예상 피해범위를 산정하였기 때문에 피해범위에서 상당한 차이가 발생한다.

— 기본 예상최대손실(Base MPPD) 기준으로는 DOW Index에 의한 값이 EML2.0 값의 20.6%이고, 실제 예상최대손실(Actual MPPD) 기준으

로는 EMI 2.0 값의 11.7%로 나타났다.

즉, 실제 최대손실은, DOW Index에 의한 값이 EMI 2.0에 의한 예상손실액의 약 12%로 간주할 수 있다.

다. 방호대책 적용 전·후의 효과 비교

DOW Index에서는 위험을 감소시키는 항목으로 손실방지 신뢰계수를 산정하고 있다. 손실방지 항목에는 공정제어(C1), 물질차단(C2), 방화설비(C3) 등이 포함되어 있다.

손실방지를 고려하지 않은 상태에서 발생할 수 있는 기본 예상최대손실 (Base MPPD)로부터 손실방지 대책을 감안하였을 때의 실제 예상최대손실 (Actual MPPD)을 감한 것이 “방재효과”이다. 이와 같이 계산된 방재효과 값을 이용하여 특정 공정에 대한 손실방지 투자 여부를 결정할 수 있다.

— 각 사업장의 방재효과는 (표 3)에서 보는 바와 같이 평균 29.2억원으로 나타났다.

[표 3] 방호대책 적용 전·후의 효과 비교

사업장	C3 값		실제 예상최대피해		방재효과
	개선전	개선후	개선전	개선후	
A사	0.867	0.676	29.3억원	22.9억원	6.4억원
B사	0.876	0.676	30.1억원	23.3억원	6.8억원
C사	0.876	0.635	10.3억원	7.6억원	2.7억원
D사	0.832	0.663	306.5억원	244.1억원	62.4억원
E사	0.876	0.635	197.3억원	142.8억원	54.5억원
F사	0.912	0.635	173.5억원	120.7억원	52.8억원
G사	0.912	0.635	153.1억원	120.7억원	32.4억원
H사	0.867	0.635	11.6억원	8.2억원	3.4억원
I사	0.876	0.635	154.4억원	111.9억원	42.5억원
J사	0.902	0.540	51.4억원	34.7억원	16.7억원
K사	0.912	0.635	190.2억원	132.2억원	58.0억원
L사	0.849	0.635	203.9억원	152.8억원	51.1억원
M사	0.841	0.635	134.0억원	101.2억원	32.8억원
N사	0.876	0.683	67.8억원	53.2억원	14.6억원
O사	0.866	0.635	2.0억원	1.4억원	0.6억원
평균	0.875	0.639	114.4억원	85.2억원	29.2억원

즉, 방화설비 개선을 위한 투자비가 29.2억원 미만이라면 투자 이익이 발생할 수 있다는 것을 의미한다.

— 선정된 공정 중 단위면적당 투자비가 높은 공정일수록 개선되는 방재효과가 크게 나타났다.

라. 재보험 개선권장사항과 DOW 체크리스트와 비교

재보험 Surveyor가 국내 업체 12개의 사업장에 대해 Survey를 실시한 후 권장한 사항과 DOW Index의 항목을 비교하였다.

12개 사업장에 대한 개선권장항목은 약 230개였으며, 이를 DOW Index에서 체크하는 항목과 비교하면 (표 4)와 같다.

— DOW Index의 체크리스트에서 Software적 요소는 정상적으로 수행되고 있다고 가정하여 생략되어 있다. 왜냐하면 DOW Chemical사에서 규정한 자체안전 Standard는 각 사업장에서 당연히 준수되는 것으로 가정하기 때문이다. 예를 들면 외국 Surveyor가 가장 많이 지적하는 사항 가운데 하나인 컨트롤 룸의 안전기준은 DOW Standard에 맞게 건설 및 유지관리되는 것으로 가정

[표 4] 재보험 개선권장사항과 DOW 체크리스트가 일치하는 사항

구 분	재보험 개선권장사항과 DOW 체크리스트가 일치하는 사항
공정제어 (38)	· 비상전원 3건 · 폭발방지 2건 · 비상운전정지 2건 · 컴퓨터제어 2건 · 불활성가스 1건 · 운전지침 27건 · 공정위험분석 1건
물질차단 (26)	· 원격차단밸브15건 · 덩프 1건 · 배출시설 9건 · 인더로크 1건
방화설비 (63)	· 누설감지 6건 · 철골구조물 12건 · 소화용수 9건 · 특수설비 11건 · 스프링클러 5건 · 수막설비 6건 · 모니터 9건 · 케이בל방화 5건
특수공정위험	12건
합 계	139건

하여 체크리스트 항목에서 배제하였다.

- 외국 Surveyor의 권고사항 중 위 표에 속하지 않은 91건은 DOW Chemical사 자체 안전기준(Standard)에 포함되는 사항이 상당수 있다.

- 위 표에서 배제된 91건을 대별하면 컨트롤룸 14건, 공장 점검부서의 조직내 역할 16건, 엔지니어링 기술 및 기술협약 8건, 압력용기시험 품질보증 4건, 배관설비의 분류표시 4건, 훈련 및 교육 7건, 문서 및 자료보존 3건 등이다. 이와 같은 내용은 DOW Chemical사의 안전기준에 의거하여 이미 준수되고 있는 사항으로 간주한다.

- 이를 종합하면 230건의 재보험 Surveyor 개선권고사항 중 약 85%인 195건이 DOW Index 체크리스트에 포함되었다.

- DOW Index의 체크리스트는 DOW Chemical사의 수많은 실제 사고사례를 분석하여 개발되었기 때문에 체크리스트 항목 하나하나의 사고와 관련된 중요한 의미를 지니고 있다.

예를 들면, 회전장치 중 펌프류의 경우 75마력 이상 용량의 것이 단위공정에 사용되고 있다면 페널티 0.5를 적용한다. 이것은 75마력 이상 용량의 펌프에서 많은 사고가 발생하였다는 것을 의미하기 때문에 공정 서베이 업무시 특히 관심있게 체크하여야 한다.

이러한 관점에서 재보험 Surveyor의 권고사항과 DOW Index의 체크리스트와는 상당히 밀접한 관계가 있으며, 화학공장 점검시 본 체크리스트를 사용한다면 큰 도움이 될 것이다.

사업장의 평균 예상손실 방지효과가 29.1억원으로 나타났다.

- DOW Index기법에서 제시하는 체크리스트를 재보험 Surveyor 권장사항과 비교한 결과 85%이상 일치하는 것으로 나타나, 이 기법의 신뢰성을 확인할 수 있었다.

- 각 공정의 기기·장치별 피해금액 및 조업중단일수 산정이 가능하기 때문에 보험의 공제금액(Deductible) 산정과 기업휴지보험(BI)의 기초자료로 활용할 수 있다.

- EML2.0과의 비교에서는, DOW Index 기법에서 산정된 실제 예상최대손실(Actual MPPD)의 약 10배를 예상최대손실(EML) 값으로 적용할 수 있다.

나. 향후 계획

위의 분석은 30개 사업장의 대표 공정에 한하여 DOW Index를 적용한 것이기 때문에 사업장간의 비교 또는 공정간의 비교에 한계가 있다. 따라서 향후 다음 사항의 보완을 통하여 본 기법의 활용도를 제고토록 할 계획이다.

- 화협 안전점검시 자료의 지속적인 집적을 통하여 분석의 신뢰도 제고.

- 분석 결과를 가공 개발하여, 언더라이팅 및 사업장 위험관리 자료로 활용.

- 본 기법을 컴퓨터 프로그램으로 개발하여 활용도 향상. ☺

4. DOW Index 분석결과 종합

가. 분석결과

- 최근 10년(1988년~1997년)간 국내 화학공장의 실제 대형사고와 비교한 결과, 거의 유사한 피해금액을 나타냈다.

- 방재설비에 대한 투자효과를 분석한 결과, 매