

화재폭발지수 개선에 대한 사례 연구

나건문* · 서재민** · 이미정*** · 백종배****†

Case Study on Advanced Fire and Explosion Index

Gun Moon Na* · Jae Min Seoe** · Mi Jeong Lee*** · Jong-Bae Baek****†

†Corresponding Author

Jong-Bae Baek

Tel : +82-43-841-5337

E-mail : jbbak@ut.ac.kr

Received : July 2, 2020

Revised : August 31, 2020

Accepted : December 14, 2020

Abstract : The F&EI technique is one of the risk assessments with many advantages. It can save time and effort compared to quantitative risk assessment (QRA). By using the evaluation result of this technique, it is possible to check the effectiveness of the investment cost. In addition, a relative risk ranking can be created and used to establish the facility management cycle and to prioritize investment. However, evaluating the target process can be evaluated more than the actual risk since the LCCF, a loss prevention measure, is too limited. In addition, calculating premiums via this method can result in excessive premiums, making it difficult to evaluate the risk precisely. Therefore, new safety guard was added to the LCCF of the F&EI risk assessment with reference to HAZOP and LOPA techniques. Newly added LCCFs are Deflagration arrester, Check valve, SIS, and Vacuum beaker, etc. As a case study, F&EI risk assessment was performed on Acetone storage tank of a API (Active pharmaceutical ingredient) plant to compare actual MPPD. The estimated loss amount was 592,558\$ for the existing technique and 563,571\$ for the improved technique, which was reduced by about 5% compared to the previous one. This proved that a more precise evaluation is possible and that the efforts for safety at the workplace are reflected in the evaluation results.

Copyright©2020 by The Korean Society of Safety All right reserved.

Key Words : fire and explosion index, process safety, risk assessment

1. 서론

화재폭발지수(F&EI ; Fire and explosion index) 위험성평가는 미국 다우 케미칼에서 개발한 것으로 현재 7판(1994년)이 사용되고 있다. 우리나라에서는 “상대 위험순위결정” 기법으로 불리며 공정안전보고서의 제출심사확인 및 이행상태평가 등에 관한 규정에서 제시하는 공정위험성평가 기법 중 하나이다¹⁾. 이 기법은 대상 공정의 사고에 대한 리스크를 손실금액으로 표현할 수 있기 때문에 이해가 쉽다. 뿐만 아니라 상대적 위험순위로 표현하여 순차적, 효과적으로 감소시킬 수 있는 장점이 있다. 이 기법은 대상 공정의 보험료 산정 시 보험자는 가능한 최악의 사고를 기준으로 하고자 하고, 피보험자는 실제로 발생할 수 있는 최대한

실을 기준으로 하고자 하는 견해 차이를 해소하기 위해 개발되었다²⁾. 이 평가방법은 다음과 같은 경우에 주로 사용한다.

- 1) 실제로 발생할 가능성이 있는 화재폭발 사고로 인한 예상 손실을 산정할 때
- 2) 시설의 유해위험요인을 세부적으로 확인하거나 높은 리스크 공정 지역을 파악하고자 할 때
- 3) 중대 산업사고 대비를 위한 비상계획이나 대책의 수준을 결정하고자 할 때
- 4) 새로운 시설계획의 Lay out을 평가하고자 할 때

이 기법은 화학공장뿐만 아니라 하수처리시설, 보일러, 발전소 등의 위험성평가와 본질안전설계에도 적용

*코오롱생명과학주식회사 환경안전팀 과장 (ESH Team of Kolon Life Science Inc)

**고용노동부 산재예방보상정책국 산업안전과 전문위원 (Ministry of Employment and Labor)

***한국교통대학교 안전공학과 석사과정 (Department of Safety Engineering, Korea National University of Transportation)

****한국교통대학교 안전공학과 교수 (Department of Safety Engineering, Korea National University of Transportation)

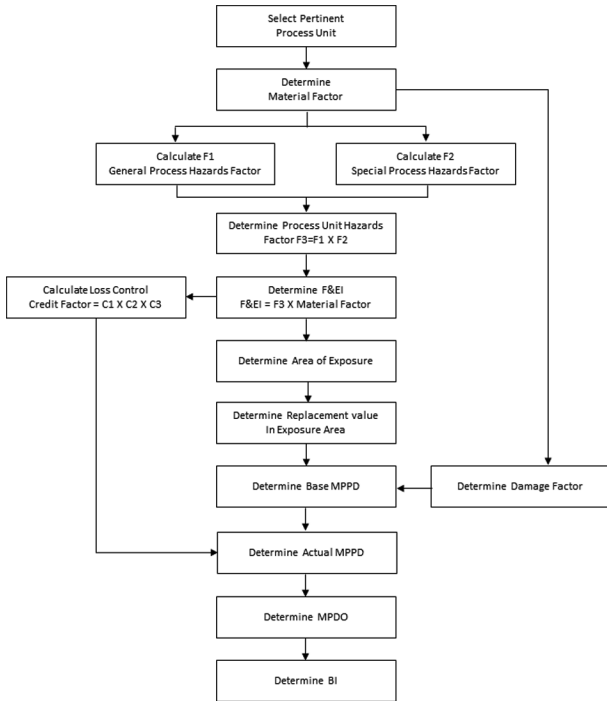


Fig. 1. Procedure for calculating fire & explosion index and other risk analysis information.

되어왔다^{3,4)}.

F&EI 절차는 매우 간단하다. 먼저 대상공정의 화학 물질 취급량 등을 고려한 일반 공정 위험지수(F1, General Process Hazards Factor)와 운전조건 등을 고려한 특수공정 위험지수(F2, Special Process Hazards Factor)를 곱하여 단위공정위험도(F3, Process Unit Hazards)를 구하고 물질계수(MF, Material Factor)를 곱하여 화재폭발지수(F&EI)를 결정한다. 그다음 화재폭발로 인한 노출면적 내의 자산 가치를 고려한 기본 최대 가능 재산손실(Base MPPD (Maximum Probable Property Damage))을 구하고 공정제어, 소화설비 등을 고려한 손실관리 신뢰지수(LCCF, Loss Control Credit Factors)를 조합하여 실제 최대 가능 재산손실(Actual MPPD)을 산출한다. 나아가 최대 예상 조업중지 일수와 사업휴지손실금액도 예측이 가능하다. 평가 절차는 Fig. 1과 같다.

Actual MPPD는 아래의 식과 같이 표현할 수 있다.

$$\text{Actual MPPD} = \text{Base MPPD} \times \text{LCCF} \quad (1)$$

식(1)과 같이 손실예방조치인 LCCF가 낮아지면 Actual MPPD도 낮아진다. 그러나 LCCF에 사용되는 안전장치는 1994년 소개된 이후에 개정된 적이 없다. 따라서 기존 F&EI 기법은 안전계장 설비(SIS ; Safety

Instrument System) 등과 같은 안전장치가 없고 급격하게 발전하는 안전기술을 적용한 장치 산업에 적용하기에는 무리가 있을 수 있다⁵⁾. 또한 안전 관련 투자가 점차 늘어나고 있는데 이러한 사업장의 안전을 위한 노력이 평가에 반영되지 않을 수 있으며, 대상 공정의 리스크가 실제보다 과대평가될 수도 있다. 리스크 수준을 정확하게 파악하고 보험을 가입하는 것은 중요하다^{6,7)}.

F&EI의 개선에 대한 연구는 F&EI지수를 수정하는 것 외에는 국내 및 해외의 연구사례가 없어 이에 대한 연구가 필요하다.

따라서 이 연구는 F&EI, HAZOP, LOPA등의 Safety guard인 LCCF, Safety guard, Protection layer를 서로 비교하고 LCCF를 보완하여 이 기법을 개선하는 것에 목적이 있다. 또한 개선된 F&EI 기법을 사례연구를 통해 검증하고자 한다.

2. 선행연구 검토 및 연구 방법

2.1 F&EI 수정

Jai.P.Gupta는 F&EI에 손실예방조치 (LCM : Loss Control Measure) 즉, 손실 관리 신뢰지수 (LCCF)의 효과성을 반영한 Offset F&EI를 제안하였다. 이를 통해 예상 피해 반경 감소, 보험료 감소, 보다 가까운 설비 배치, 이로 인한 배관 비용 감소와 손실 통제조치 투자비용 대비 이점을 더욱 쉽게 평가 할 수 있다고 주장하였다⁸⁾.

$$\text{Offset F&EI} = \text{LCCF}^{0.5} \times \text{F&EI} \quad (2)$$

하지만 손실예방조치가 반영되지 않은 F&EI만을 가지고 보험료를 산정하면 과도한 보험료가 산정될 수밖에 없다. 이는 기법에 문제가 있는 게 아니라 그렇게 보험료를 산정하는 보험사의 방법에 문제가 있는 것이다. 또한 사고결과 분석(Consequence analysis)시 보통, 손실예방조치의 성능은 고려하지 않은 최악의 시나리오로 평가하는데 Offset F&EI를 통해 평가된 피해 반경은 실제보다 과소평가될 우려가 있다.

Wang Fangfang은 Styrene 생산 설비를 대상으로 평가하여 Offset F&EI가 기본 F&EI보다 41.25% 감소함을 확인하였다⁹⁾. 또한 F&EI는 공정의 고유한 리스크를 나타내고 Offset F&EI는 현실적인 리스크 수준을 의미한다고 하였다. 이는 사업장의 손실예방조치가 반영된 수치가 실질적인 대상공정의 리스크가 크다는 것을 알 수 있다.

Jensen과 Jørgensen은 Offset F&EI는 감소된 리스크 수준을 보여주고 보험료가 감소하는 등 효과성이 있지

만, Offset F&EI는 왜곡된 결론을 도출할 수 있다고 주장하였다¹⁰⁾. 그리고 공정 설계단계에서는 단위 면적당 장비 가치 등의 데이터를 이용하기 어렵기 때문에 이때 적용할 수 있는 LL(Likely Loss)-F&EI라는 새로운 방법론을 제시하여 기본 F&EI 위험성평가에 정밀성을 더하고자 하였다.

$$LL\ F\&EI = 0.205939 \times LCCF \times DF \times (F\&EI)^2 \quad (3)$$

Jai. P. Gupta는 F&EI가 선진국 경험을 바탕으로 작성되었고 개발도상국에서는 교육, 태도 등 여러 가지 여건의 차이가 있으므로 평가방법을 수정하지 않고 사용하면 F&EI 위험성평가가 과소평가될 수 있다고 주장하였다¹¹⁾. 이를 개선하거나 새로운 자료를 추가하는 것은 F&EI 위험성평가를 더욱 역동적이고 반응적으로 만들기 위한 것이라고 말하고 개발도상국에 적용할 수 정된 F&EI 위험성평가를 제안하는 것이었다. 또한 국가, 사업장 특성에 맞게 F&EI 위험성평가가 수정되어야 한다고 주장하였다. 이는 F&EI 위험성평가의 LCCF를 현실에 맞게 수정하고자 하는 이 연구의 계기가 되었다.

2.2 F&EI의 활용

정창기는 F&EI 위험성평가를 활용한 방재효과 평가를 다음과 같이 정의하였다¹²⁾.

$$\text{방재효과} = \text{Base MPPD} - \text{Actual MPPD} \quad (4)$$

여기서, Base MPPD는 예상 피해 범위 내의 자산 손실 금액을 나타내며, 대상 공정의 손실 예방 조치를 고려하지 않는다. Actual MPPD는 예상 피해 범위 내의 실제 자산 손실금액을 나타내며 대상 공정의 손실 예방 조치를 고려한다.

손실 예방 조치 중 Halon 소화 설비를 예를 들어, 설치되었을 경우와 설치되지 않았을 경우의 손실금액을 비교해보았다. 그리고 이 기법을 통해 나타난 결과를 활용하여 투자 타당성 검토에 활용할 수 있도록 제안하였다. 그런데 정확한 방재효과를 평가하기 위해서는 Actual MPPD에 영향을 미치는 LCCF의 종류가 다양해야 한다. 새로운 안전장치를 추가하고자 하는데 F&EI Guide의 LCCF에 해당하지 않는 장치라면 방재 효과를 파악하는 것은 불가능하다.

2.3 연구 방법

F&EI 위험성평가 방법을 개선하는 것은 F&EI 지수

자체를 수정하는 것 외에는 국내 및 해외의 연구사례가 없어 이에 대한 연구를 진행하였다.

먼저 HAZOP Study를 실시하여 Safety guard와 F&EI 위험성평가의 LCCF를 비교하였다. 그다음 LOPA의 Protection layer인 IPL과 비교하였다¹³⁾. LOPA의 IPL을 선택한 이유는 2015년에 발표된 자료로써 최근의 안전장치들이 반영되었을 것이라고 판단하기 때문이다¹⁴⁾.

3. 연구 결과

3.1 HAZOP Safety guard

Acetone 저장탱크를 대상으로 한 HAZOP Study 결과는 다음과 같다. Acetone이송 중 이송 호스 파손 및 작업자 실수에 의한 누출 그리고 화재 폭발 시나리오가 가장 심각한 사고로 확인되었다. Safety guard로는 Flexible hose pre-check, Trench drain, Supervisor enrollment, Gas detector, Form monitor, High alarm 등이었다. 평가결과는 Table 1과 같다.

Table 1. HAZOP study worksheet

Deviation	Causes	Consequence	Safe guard
No/Less flow	Pump failure	Process delay	Spare pump
No/Less flow	Flexible hose leak	Workplace pollution Fire or explosion worker injury	Flexible hose precheck Trench drain Gas detector Supervisor enrollment Pump EOCR Form monitor Earthing Emergency response
More level	Operation mistake Level gauge failure	Overflow Workplace pollution Fire or explosion worker injury	Dike High alarm Gas detector Form monitor Earthing Equipment inspection
No/Less level	Backflow	Process delay Workplace pollution	Check valve

Safety guard 대부분이 LCCF에 있는 안전장치들이지만 Emergency response, Equipment inspection은 LCCF에 포함되지 않았다.

3.3 LOPA Protection Layer

가장 최근(2015년)에 발표된 Guidelines for Initiating Events and Independent Protection Layer of Protection Analysis의 IPL과 F&EI Guide 7판의 LCCF를 비교해 본 결과 Table 2와 같이 Explosion control(Rupture)은 F&EI Guide와 LOPA에도 모두 활용되었다.

Table 2. F&Ei guide LCCF and LOPA IPL

Feature	Method	F&Ei	LOPA
Process control credit factor (C1)			
Emergency power		O	
Cooling		O	
Explosion control (Rupture)		O	O
Emergency shutdown		O	
Computer control		O	O
Inlet gas		O	
Operating instructions/Procedures		O	
Deflagration arrester			O
Check valve			O
SIS			O
Vacuum breaker			O
Explosion isolation valve			O
Explosion panels on process equipment			O
Excess flow valve			O
Multiple mechanical pump seal system with seal failure detection and response			O
Material isolation credit factor (C2)			
Dump/Blowdown		O	O
Drainage		O	O
Interlock		O	O
PPE			O
Fire protection credit factor (C3)			
Leak detection		O	O
Structural steel		O	O
Fire water supply		O	
Special systems		O	
Sprinkler systems		O	O
Water curtains		O	
Foam		O	
Hand extinguishers/ Monitors		O	
Cable protection		O	

그 외에도 Dump/Blowdown, Structural Steel, Sprinkler Systems도 두 가지 방법에서 활용되었다. 그러나 SIS, Deflagration arrester, Check valve, PPE 등은 LOPA에서는 활용되고 있으나 F&Ei Guide에서는 활용되지 않았다. 특히, SIS는 세계 각국의 석유화학공장에서 공정의 위험을 예방하고 감소시키기 위한 대책으로 도입하고 있는 시스템인데¹⁵⁾ F&Ei 위험성평가에서는 활용되지 않았다. 그러므로 이미 SIS를 도입한 사업장의 경우 F&Ei Guide를 통해 리스크를 평가하면 실제보다 과대 평가될 수 있는 문제가 있다.

3.4 Advanced LCCF of F&Ei

F&Ei Guide LCCF에 언급되지 않은 LOPA의 Protection Layer와 HAZOP에서 도출된 Safety guard를 추가해 보았다.

Table 3. Advanced LCCF of F&Ei

Feature	Method	LCCF	Reference
Process control credit factor (C1)			
Emergency power		0.98	
Cooling		0.97 to 0.99	
Explosion control (Rupture)		0.84, 0.98	
Emergency shutdown		0.96 to 0.99	
Computer control		0.94 to 0.96	
Inlet Gas		0.91 to 0.99	
Operating Instructions/Procedures		0.91 to 0.98	
Deflagration arrester		0.99	LOPA
Check valve		0.99	LOPA
SIS		0.99	LOPA
Vacuum breaker		0.99	LOPA
Explosion isolation valve		0.99	LOPA
Explosion panels on process equipment		0.99	LOPA
Excess flow valve		0.99	LOPA
Multiple mechanical pump seal system with seal failure detection and response		0.99	LOPA
Material isolation credit factor (C2)			
Remote control valves		0.96 to 0.98	
Dump/Blowdown		0.96 to 0.98	
Drainage		0.91 to 0.97	
Interlock		0.98	
PPE		0.99	LOPA
Fire protection credit factor (C3)			
Leak detection		0.94 to 0.98	
Structural steel		0.95 to 0.98	
Fire water supply		0.94 to 0.97	
Special systems		0.91	
Sprinkler systems		0.74 to 0.97	
Water curtains		0.97 to 0.98	
Foam		0.92 to 0.97	
Hand extinguishers/ Monitors		0.93 to 0.98	
Cable protection		0.94 to 0.98	
Level high alarm		0.99	HAZOP
Equipment inspection		0.99	HAZOP
Emergency response		0.99	HAZOP

각 Protection layer별 신뢰 계수는 계산 방법이 공개 되지 않아 가장 낮은 0.99를 모두 적용하였다. 0.99를 적용하면 신뢰계수 0.01이 감소하는데 이는 손실금액의

1%가 감소하는 꽤 큰 수치이다. SIS의 경우 SIL 등급에 따라 더 낮은 신뢰계수를 적용할 수도 있을 것이다. 기존에 이미 부여된 LCCF 신뢰계수는 수정하지 않았다.

이로써 새로운 LCCF가 추가된 Advanced LCCF가 만들어 졌다.

4. 사례 연구

4.1 대상공정

사례 연구 대상으로 원료의약품 공장의 Acetone 저장탱크를 대상으로 사례 연구를 실시하였다. 해당 공장의 공정 중에서 저장량이 가장 많고 사고결과 분석(CA)에서 영향범위가 가장 크게 나타났기 때문이다.

Table 4. F&EI of Acetone storage tank

Material	Acetone	
Material factor	16	
1. General process hazards	Penalty factor range	Penalty factor used
Base factor	1.00	1
A. Exothermic chemical reactions	0.3~1.25	0
B. Endothermic process	0.2~0.4	0
C. Material handling and transfer	0.25~0.85	0.5
D. Enclosed or indoor process units	0.25~0.95	0.225
E. Access	0.2~0.35	0
F. Drainage and spill control	0.25~0.50	0
General process hazards factor(F1)		1.725
2. Special process hazards		
Base factor	1.00	1
A. Toxic material(s)	0.20~0.80	0.2
B. Sub-atmospheric pressure (<500mmHg)	0.50	
C. Operation in or near flammable range () Inerted () Not inerted		
1. Tank farms storage flammable range	0.5	
2. Process upset or purge failure	0.3	0.3
3. Always in flammable range	0.8	
D. Dust explosion	0.25~2.00	0
E. Pressure		0.18
F. Low temperature	0.20~0.30	0
G. Quantity of flammable/Unstable material Quantity Lbs Hc = Btu/Lb	139,685 63,360	Lbs kg
1) Liquids or gases in process		
2) Liquids or gases in storage		0.45
3) Combustible solids in storage, dust in process		
H. Corrosion and erosion	0.10~0.75	0.2
I. Leakage - Joints and packing	0.10~1.50	0.1
J. Use of fired equipment		
K. Hot oil heat exchange system	0.15~1.15	0
L. Rotating equipment	0.5	0.5
Special process hazards factor (F2)		2.93
Process unit hazards factor (F1 X F2=F3)		5.06
Fire and explosion index (F3 X MF)=F&EI		81

Level high alarm은 저장탱크에 주입할 때 Over fill로 인한 누출을 예방하는 장치이다. Dike는 누출 발생 시 확산 범위를 줄여주는 장치이다. PPE는 화재 또는 누출 발생 시 근로자 또는 방문객의 건강을 보호해 주는 장구이다.

Acetone저장탱크의 F&EI 평가 결과는 Table 4와 같다. 평가된 화재폭발지수를 기반으로 노출 반경을 산정하고 노출 지역 내 자산 가격을 조합하면 Base MPPD는 \$834,476 그리고 Actual MPPD는 LCCF가 반영되기 때문에 그보다 낮은 \$592,558이었다. 평가 과정은 Table 5와 같다.

Table 5. Process unit risk analysis summary

1. Fire & Explosion index (F&EI)	81
2. Radius of exposure (m)	68.03 m
3. Area of exposure (m ²)	14534 m ²
4. Value of area of exposure	15,848,324\$
5. Damage factor	0.53
6. Base maximum probable property damage (4X5)	834,476\$
7. Loss control credit factor (LCCF)	0.71
8. Actual maximum probable property damage (6X7)	592,558\$

현재의 F&EI guide에 의한 LCCF 평가결과는 0.71이다. 평가 과정은 Table 6과 같다.

Table 6. LCCF of acetone storage tank

1. Process control credit factor(C1)					
Feature	Credit factor range	Credit factor used	Feature	Credit factor range	Credit factor used
a. Emergency power	0.98	0.98	f. Inert Gas	0.94~0.96	0.96
b. Cooling	0.97~0.99	1	g. Operating Instruction	0.91~0.99	0.98
c. Explosion control	0.84~0.98	1	h. Reactive Chemical Review	0.91~0.98	1
d. Emergency	0.96~0.99	1	i. Other process hazard analysis	0.91~0.98	0.92
e. Computer control	0.93~0.99	1			
C1 Value					0.85
2. Material isolation credit factor(C2)					
Feature	Credit factor range	Credit factor used	Feature	Credit factor range	Credit factor used
a. Remote control valves	0.96~0.98	0.98	c. Drainage	0.91~0.97	1
b. Dump/ Blow down	0.96~0.98	1	d. Interlock	0.98	1
C2 Value					0.98

3. Fire protection credit factor (C3)

Feature	Credit factor range	Credit factor used	Feature	Credit factor range	Credit factor used
a. Leak detection	0.94~0.98	0.98	f. Water curtains	0.97~0.98	1
b. Structural steel	0.95~0.98	0.98	g. Foam	0.92~0.97	0.97
c. Fire Water supply	0.94~0.97	0.94	h. Hand extinguishers/ Monitors	0.93~0.98	0.97
d. Special systems	0.91	1	I. Cable protection	0.94~0.98	1
e. Sprinkler systems	0.74~0.97	1			
				C3 Value	0.85
				LCCF	0.71

앞서 말한 것과 같이 LCCF의 종류가 한정적이기 때문에 새로운 장치를 추가 반영한 LCCF 평가 결과는 0.68이다. 기존보다 0.03 감소하였다. 평가 과정은 Table 7과 같다.

Table 7. Advanced LCCF of acetone storage tank

1. Process control credit factor(C1)					
Feature	Credit factor range	Credit factor used	Feature	Credit factor range	Credit factor used
a. Emergency Power	0.98	0.98	Check valve	0.99	0.99
b. Cooling	0.97~0.99	1	Level high alarm	0.99	0.99
c. Explosion control	0.84~0.98	1	Equipment inspection	0.99	0.99
d. Emergency	0.96~0.99	1	Emergency response	0.99	0.99
e. Computer control	0.93~0.99	1			
f. Inert gas	0.94~0.96	0.96			
g. Operating instruction	0.91~0.99	0.98			
h. Reactive chemical review	0.91~0.98	1			
i. Other process hazard analysis		0.92	C1 Value		0.82
2. Material isolation credit factor(C2)					
Feature	Credit factor range	Credit factor used	Feature	Credit factor range	Credit factor used
a. Remote control valves	0.96~0.98	0.98	c. Drainage	0.91~0.97	1
b. Dump/blowdown	0.96~0.98	1	d. Interlock	0.98	1
			Personal protect equipment	0.99	0.99
				C2 Value	0.97

3. Fire protection credit factor (C3)

Feature	Credit factor range	Credit factor used	Feature	Credit factor range	Credit factor used
a. Leak detection	0.94~0.98	0.98	f. Water curtains	0.97~0.98	1
b. Structural steel	0.95~0.98	0.98	g. Foam	0.92~0.97	0.97
c. Fire Water supply	0.94~0.97	0.94	h. Hand extinguishers / Monitors	0.93~0.98	0.97
d. Special systems	0.91	1	I. Cable protection	0.94~0.98	1
e. Sprinkler systems	0.74~0.97	1			
				C3 Value	0.85
				Advanced LCCF	0.68

이를 Actual MPPD에 반영하면 기존 평가방법으로는 592,558\$ 새로운 평가방법으로는 563,517\$로 기존 보다 약 29,041\$ 감소되었다. 이를 정리하면 Table 8과 같다.

Table 8. Advanced actual MPPD

Category	Actual F&EI risk assessment	Advanced F&EI risk assessment
F&EI	81	81
LCCF	0.71	0.68
Base MPPD	834,476\$	834,476\$
Actual MPPD	592,558\$	563,517\$

Actual MPPD는 안전장치가 고려된 대상 공정의 실제 리스크이다. 대상 공정의 리스크를 평가할 때에는 Base MPPD와 Actual MPPD 두 가지 모두의 결과를 고려하여야한다. 마찬가지로 대상공정의 보험료를 산정할 때에도 두 가지 요소를 고려하여 산정하면 기존보다 정확한 보험료를 산정할 수 있다.

5. 결론

F&EI 기법은 장점이 많은 위험성평가 중 하나이다. 정량적 위험성평가(QRA)에 비해 시간과 노력을 줄일 수 있다. 이 기법의 평가 결과를 활용하여 투자비용 대비 효과성이 얼마인지 금액으로 확인할 수 있다. 또한 상대 위험 순위를 만들어 설비관리 주기 설정 및 투자 우선순위 결정에 활용할 수 있다.

그러나 손실예방 조치인 LCCF가 너무 한정적이기 때문에 대상공정을 평가하면 실제 리스크보다 크게 평가될 수 있다. 또한 이 방법을 통해 보험료를 산정하면 과도한 보험료가 산출될 수 있어 정밀한 위험성평가라

고 보기 어렵다.

따라서 HAZOP과 LOPA기법을 참고하여 F&EI 위험성평가의 LCCF에 새로운 안전장치를 추가하여 보완하였다. 새롭게 추가된 LCCF는 Deflagration arrester, Check valve, SIS, Vacuum beaker 등이다.

사례연구로써 원료의 약품 공장의 Acetone 저장탱크를 대상으로 F&EI 위험성평가를 수행하여 Actual MPPD를 비교하였다. 기존 기법은 592,558\$, 개선된 기법은 563,517\$로 예상 손실금액이 기존보다 약 5% 수준인 29,041\$가 감소하였다. 이로써 보다 정밀한 평가가 가능하고 사업장의 안전을 위한 노력이 평가 결과에 반영된 것을 입증하였다.

보험사에서 보험금액산정을 위한 평가 방법, 공정안전 12대 요소의 분야별 평가 방법, 공정안전보고서 이행 수준 평가 방법도 이러한 측면에서 검토될 수 있을 것으로 생각된다.

이 연구를 기반으로 기술변화를 반영하여 LCCF를 추가하거나 LCCF의 지수를 수정할 필요가 있다.

이 연구를 통해 개선된 F&EI 위험성평가 방법으로 대상 공정의 보다 정밀한 리스크 평가로 활용되길 바라며 궁극적으로는 사업장에서 리스크를 낮추는 활동으로 연계되기 바란다. 또한 이를 통해 AIChE의 F&EI Guide 7판이 새로운 LCCF가 추가되어 개정되길 바란다.

감사의 글: 이 연구는 한국교통대학교의 지원을 받아 수행하였음.

※ 주저자의 석사학위논문인 “원료 의약품 공장에서의 개선된 화재 폭발 지수 적용”(한국교통대학교, 2020)의 일부 내용을 보완하여 작성하였음.

References

- 1) KOSHA Guide P-13-1998, “DOW INCICES”, Korea Occupational Safety & Health Agency, 1998
- 2) C. K. Chung, “Proposal of Disaster Prevention Effect Evaluation Method using DOW Index Technique”, Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering, Vol. 9, No. 2, p. 71, 1995.
- 3) AIChE, Dow's Fire & Explosion Index Hazard Classification Guide 7th Edition, p. 2, 1994.
- 4) J. Suardin et al., “The Integration of Dow's Fire and

- Explosion Index (F&EI) Into Process Design and Optimization to Achieve Inherently Safer Design”, Journal of Loss Prevention in the Process Industries, Vol. 20, Issue 1, pp. 79-90, 2007.
- 5) G. M. Na, “Application of Advanced Fire & Explosion Index for API Plant”, Master's thesis, Department of Safety Engineering of Korea National University of Transportation, 2019.
- 6) S. J. Ahn, “Insurance Measures at Chemical Plants, Disaster Precenton and Insurance, Korea Fire Protection Association” Vol. 157, pp. 23-25, 2015.
- 7) S. K. Huh, “A Study on Safety Management Improving Methods based on Estimated Maximum Loss Accident for the Insurance Cost Saving of Petrochemical Plant, Master's Thesis of Chung-Ang University”, 2016.
- 8) J. P. Gupta et al., “Calculation of Fire and Explosion Index (F&EI) Value for the Dow Guide taking Credit for the Loss Control Measures”, Journal of Loss Prevention in the Process Industries, Vol. 16, pp. 235-241, 2003.
- 9) F. Wang and Y. Wang, “Safety Assessment of Production Process of Styrene”, Procedia Engineering, Vol. 45, pp. 139-143, 2012.
- 10) N. Jensen and S. B. Jorgensen, “Taking Credit for Loss Control Measures in the Plant with the Likely Loss Fire and Explosion Index (LL-F&EI)”, Process Safety and Environment Protection, Vol. 85, Part B, pp. 51-58, 2007.
- 11) J. P. Gupta, “Applicaition of DOW's Fire and Explosion Index Hazard Classificaiton Guide to Process Plants in the Developing Conuntries”, Journal of Loss Prevention in the Process Industries, Vol. 10, No. 1 pp. 7-15, 1997.
- 12) C. K. Chung, “Proposal of Disaster Prevention Effect Evaluation Method using DOW Index Technique”, Journal of Korean institute of Fire Science & Engineering, Vol. 9, No. 2, p. 76, 1995.
- 13) KOSHA Guide P-113-2012, Technical Guidelines for LOPA Techniques, Korea Occupational Safety & Health Agency, 2012.
- 14) S. L. Kwak et al., “Improving Applicability of Incident Event and Frequency Analysis for Off-site Assessment and Safety Enhancement in Korea”, Crisisonomy, Vol. 14, No. 9, p. 88, 2018.
- 15) C. H. Tae, “Risk Matrix Development for the SIS (Safety Instrumented System) Application of the Petrochemical Plants”, Doctor's Thesis of Kwangwoon University, 2016.