

# 계량적 안전성 평가 개관

## -Overview of Quantified Safety Assessment-

최성운\*  
Choi, Sungwoon\*

### 요 약

안전성 평가는 재해 사고의 사전예방을 위한 평가 행위로 정량적 평가는 정성적 평가와 더불어 중요한 역할을 한다.

본 연구에서는 안전정보시스템(SIS)의 기초 DB요소 뿐 아니라 객관적인 분석을 위한 계량적 기법을 통계적 접근방법, 동적접근방법, 퍼지접근방법 등으로 분류하여 고찰한다.

## 1. 서론

### 1.1 연구배경 및 목적

- 안전성평가 : 위험요인과 위험성을 평가하여 그에 따른 개선대책을 수립하는 전반적인 과정을 말하며, 사업장내에 존재하는 위험요인에 대한 원인과 잠재적 결과를 찾아 내어, 위험요인으로 인한 사고의 발생시 결과를 평가하고, 그 위험성을 감소, 제거 또는 개선할 수 있는 방안을 수립하는 것이다.

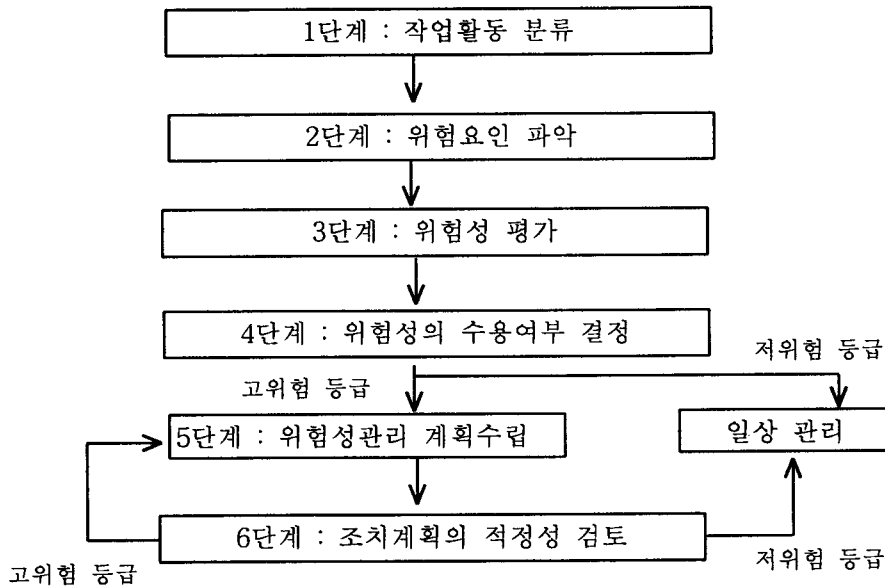


도표1. 안전성평가 개관

\* 경원대학교 교수

- 정량적 안전 관련 데이터를 측정, 예측, 제어할 수 있는 안전 전문가의 능력향상

## 1.2 연구방법

- 통계적(Statistical) 접근방법
- 동적(Dynamic) 접근방법
- 퍼지(Fuzzy) 접근방법

## 2. 계량적 안전성 평가

### 2.1 통계적 접근방법[1]

#### 2.1.1 안전 성과기준

$$\cdot A_L = \int (W_{ij}, (O_{ik}), (P_{el}), (S_{gm}))$$

여기서  $A_L$  : 사고수준

$W$  : 작업자

$O$  : 설비 및 치공구

$P$  : 물리적 환경

$S$  : 사회적 환경

- ANSI 지표

$$DIFR = \frac{(\# \text{ of disabling(lost-time) injuries})(\text{one million})}{(\# \text{ of employee hours worked})}$$

$$DISR = \frac{(\# \text{ of days lost or charged})(\text{one million})}{(\# \text{ of employee hours worked})}$$

$$ADC = \frac{DISR}{DIFR} = \frac{\# \text{ of days lost or charged}}{\# \text{ of disabling(lost-time) injuries}}$$

여기서 DIFR : Disabling Injury Frequency Rate : 도수율

DISR : Disabling Injury Severity Rate : 강도율

ADC : Average Days Charged : 평균강도율

- BLS/OSHA 지표

$$IR_{OSHA} = \frac{(\# \text{ of recordable injuries}) \times (200,000)}{(\# \text{ of employee hours worked})}$$

여기서 200,000 = 100 full-time employees at 40 hours per week for 50 weeks

· 도수율 =  $\frac{(\text{재해발생 건수})(200,000)}{(\text{년 근로시간 일수})}$

· 강도율 =  $\frac{(\text{근로손실 일수})(200,000)}{(\text{년 근로시간 일수})}$

· Girmaldi and Simonds의 재해손실비(accident cost) 산정방법

Total Accident Cost(AC) = Insured Cost(IC) + Uninsured Cost(UC)

IC = Insurance Premium - Insurance Refund

UC = A[ # of lost work-day cases with days away form work (lost days) ]

+

B[ # of doctor's cases (OSHA non-lost workday cases that are attended by a doctor )

+

C[ # of first aid cases ]

+

D[ # of non-injury "accidents" ]

A, B, C, D계산시 WAM(Wage Adjustment Multiplier)으로 adjust

· Optimal Cost-Benefit Model

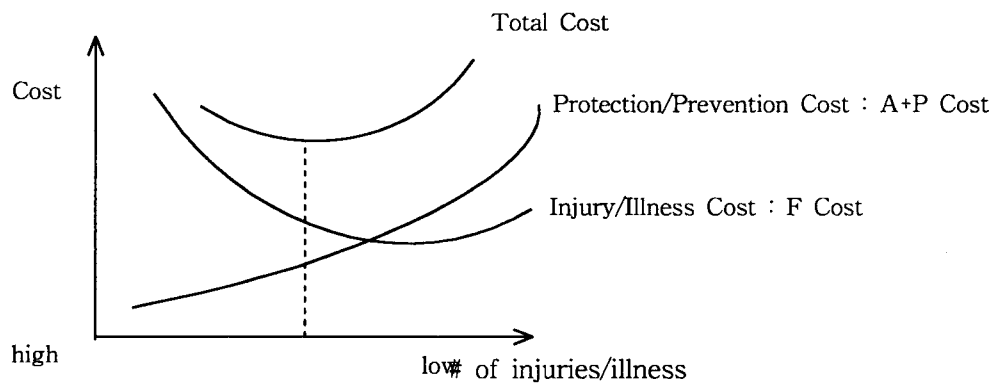


도표2.a. 최적 재해수준

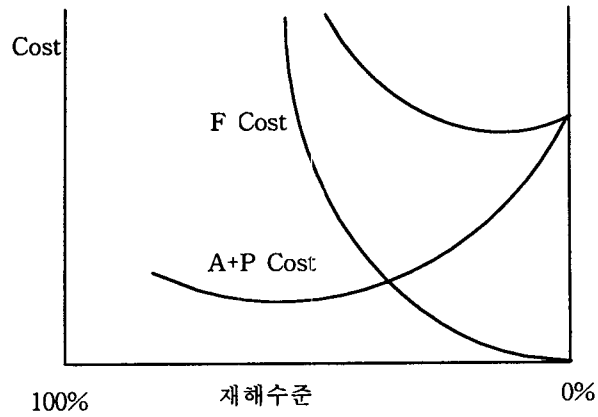


도표2.b. Zero Injury(ZI)에 이르는 최저재해수준

### 2.1.2 통계적 분석

· 이산 pdf :  $P [ X = x_i ] = P(x_i)$

여기서  $X$  : 주어진 기간에서 사고의 수

· 연속 cdf :  $F(x) = P [ X \leq x ]$

여기서  $X$  : 특정 재해유형에 따른 손실시간

· 포아송분포 :  $P[X=k] = \frac{e^{-\lambda} \lambda^k}{k!}$

여기서  $\lambda$  : 한달간 평균 사고수

· 표준정규분포 :  $Z = \frac{\bar{x} - \mu_{\bar{x}}}{\sigma_{\bar{x}}} = \frac{\bar{x} - \mu_{\bar{x}}}{\frac{\sigma_x}{\sqrt{n}}}$

$$\bar{x} \sim N(\mu_{\bar{x}}, \sigma_{\bar{x}}^2)$$

여기서  $\bar{x}$  : 랜덤샘플인  $n$ 개 섬유회사의 평균 사고율

· t 분포 :  $t = \frac{\bar{x} - \mu_x}{\frac{s}{\sqrt{n}}}$

여기서  $\bar{x}$  :  $n$ 개 랜덤샘플의 공장에 의해 방출된  $S_2$ 의 일일 평균량

· Z 검정 :  $Z = \frac{\bar{x} - \mu_h}{\sigma_{\bar{x}}}$

작업장에서 소음수준의 저하

· t 검정 :  $t = \frac{(\bar{x} - \mu_h)\sqrt{n}}{s}$

· 두 모평균차 검정 :  $t = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)\sqrt{n_1 n_2 (n_1 + n_2 - 2)}}{\sqrt{(n_1 - 1) s_1^2 + (n_2 - 1) s_2^2 (n_1 + n_2)}}$

공장에서 두 유사분서간의 사고기록 비교

· p 관리도 :  $\bar{p}$  = the sample mean

$$\text{Accident Frequency} = \frac{\text{Total number of disabling injuries}}{\text{Total exposure time}} \times \text{base factor}$$

$$\text{Standard Deviation } (\sigma_p) = [ (p \times \text{base factor}) / (\text{exposure interval}) ]^{1/2}$$

$$\text{UCL, LCL} = \bar{p} \pm 2\sigma_p$$

### 2.1.3 안전 Behavior Sampling

· 총 요구 관측수 :  $N = (K/S)^2 p(1-p)$

여기서  $p = \frac{N_2}{N_1} = \frac{\text{Number of observations in which the unsafe behavior was observed}}{\text{Total number of observations made}}$

S : desired accuracy

K : the value obtained form standardized normal tables for a given level of confidence

· 상관관계된 작업(Correlated Work)

$$SD_B = \sqrt{V_B}$$

$$V_B = \frac{\sum_{j=1}^J [Y(k,j)]^2 / m[j] - NP^2k}{N(J-1)}$$

J : total number of observation rounds made during a study

$m(j)$  : total number of workers(or machines) observed on the  $j$ th observation round of the study

$Y(k,j)$  : total number of workers(or machines) found in the  $k$ th work category on the  $j$ th observation round

$$P = \frac{\sum_j m(j)}{\sum_j y(k,j)}$$

- 안전 Behavior p 관리도

$$UCL, LCL = \bar{p} \pm 2\sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})/N}$$

p : fraction of time each worker is involved in unsafe acts or the mean percent unsafe behavior of the entire group during the observation period

## 2.1.4 안전검사

- Safety Appraisal Scores Compiled Each Committee Member

$$H = \frac{12}{N(N+1)} \left[ \frac{R_1}{n_1} + \frac{R_2}{n_2} + \frac{R_3}{n_3} \right] - 3(N+1) \quad : \quad X^2_{\alpha, v}$$

여기서  $R_1$  (Rank sum for appraisal 1)

$R_2$  (Rank sum for appraisal 2)

$R_3$  (Rank sum for appraisal 3)

- $CS = K_1(SBS) + K_2(USC) + K_3(CFS)$

여기서 CS : Composite Score

SBS : Safety Behavior Sampling Score

USC : Unsafe Conditions Score

CFS : Contributing Factor Score

CS의  $\bar{x}$ -R 관리도

## 2.1.5 SIS(안전정보시스템)

- 사고통계의 통계적 분석
  - Univariate Distribution
  - Univariate Distribution by Department
  - Bivariate Distribution
  - Statistical Calculation
  - Incidence Rates

$$\text{Injury Rate} = \frac{\text{No. recordable injury cases} \times 2,000,000}{\text{workers-hours}}$$

$$\text{Frequency Rate} = \frac{\text{No. Lost days cases} \times 2,000,000}{\text{workers-hours}}$$

$$\text{Severity Rate} = \frac{\text{Total lost days} \times 2,000,000}{\text{workers-hours}}$$

workers-hours = (plant population average per month)  
 × (no. work-days in the month)  
 × (no. shifts) × (duration of shifts)

- Statistical Comparison
- Data Listing
- Univariate Listing
- Univariate Listing by Department
- Bivariate Listing

### 2.1.6 자동화 수준과 안전

·  $LA = f(AP_i, AM_j, AC_k)$

LA : Level of Automation

AP : ith level of process automation

AM : jth level of material handling system automation

AC : kth level of control automation

### 2.2 동적접근방법[2]

- PSA(Probabilistic Safety Assessment)에서 Time Dependencies Categories

Time-dependent failure rates { ageing  
learning

Time-dependent unavailabilities { test interval dependencies  
test arrangement dependencies  
latent failures not revealed in tests

Time dependencies of accident sequences { time-dependent success criteria  
timing of safety system operation  
timing of operator actions  
time dependency of operator error probabilities  
time-dependent recovery probabilities  
time-dependent physical phenomena

- FTA에서 Object hierachy를 이용한 Dependent FT Evaluation Algorithm 사용

### 2.3 퍼지접근방법

· 퍼지논리 응용 4단계 리스크 인덱스 선정방법

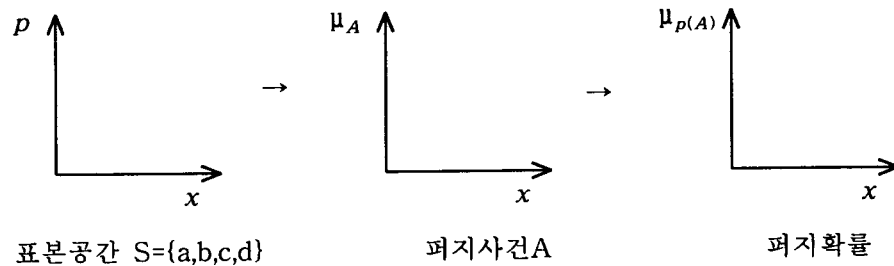
· Probabilistic-fuzzy model :  $p(a)=0.2, p(b)=0.3, p(c)=0.4, p(d)=0.1$

$$A = \{(a,1), (b,0.8), (c,0.8), (d,0.3)\}$$

$$A_{0.3} = \{a,b,c,d\}, \quad A_{0.5} = \{a,b,c\}, \quad A_{0.8} = \{a,b\}, \quad A_1 = \{a\}$$

$$p(A_{0.3})=1, \quad p(A_{0.5})=0.9, \quad p(A_{0.8})=0.5, \quad p(A_1)=0.2$$

$$p(A) = \{(1,0.3), (0.9,0.5), (0.5,0.8), ((0.2,1))\}$$



· 기타 : 요인분석, 분산분석, 회귀분석, 다변량분석, Bath-tub curve와 분포

· 위험요인파악 : Process/System Checklists, Safety Review, What-if Analysis, Relative Ranking, PHA, HAZOP, FMECA, HEA

· 위험성 평가 : FTA, ETA, Cause-Consequence Analysis

### 3. 결론

안전전문가가 상해 예방을 위한 사전평가행위인 안전성평가를 수행할 경우 안전관련 데이터를 측정, 예측, 제어할 수 있는 능력을 향상하기 위해서는 계량적기법의 이해가 절대적으로 필요하다.

본연구에서는 계량적 기법을 크게 통계적접근방법, 동적접근방법, 퍼지접근방법 등 3가지로 구분하여 고찰하였다.

### 참고문헌

- [1] Raouf, A., and Dhillon, B.S., Safety Assessment, Lewis Publishers, 1994.
- [2] Aledmir, et al., Reliability and Safety, Springer-Verlag, 1994.
- [3] Onisawa, T. et al., Reliability and Safety Analyses under Fuzziness, Physica-Verlag, 1995.
- [4] 최성운, "퍼지논리를 응용한 리스크 인덱스", 산업경영시스템학회 추계학술대회, 2000.