工業經營學會誌 第17卷 第31輯 1994年 9月 177

재해 예방을 위한 안전작업의 설계 및 안전도 측정에 관한 연구

- A Study on the Design of Safety Work and the Measure of Safety for Accident Prevention -

이 근 희*
김 도 희**

Abstract

Most causes of accidents are due to physical unsafety conditions and human unsafety actions. The design of safety work by ergonomics method is one of the methodes which effectively reduce these unsafety conditions and unsafety actions.

This paper presents considerations in design of safety work.

And when we try to analyze the accident event by means of probability, there exist some problems because of fuzziness in physical unsafety conditions' components and human unsafety actions' components which are the causes of basic event. For this reason, it is impossible for input probability of basic event to define a crisp value.

In consideration of the uncertain probability of components, this paper deals with the Fuzzy set theory by membership value and suggests calculation procedure and analysis of disaster event.

1. 서론

제조현장에서 발생되는 수 많은 인간과 기계의 상호적인 생산활동은 인간에게 재화(財貨)를 공급하고 있다. 특히 근래에 들어서는 과학기술의 발달과 기계의 집중화로 인해 사업장에는 과거와는 비교가 않될 만큼 에너지의 집중현상이 이루어지고 있다. 에너지의 집중현상은 인간에게 육체적인 노동력의 감소라는 편의점을 주고는 있지만 일단 안전사고가 발생되면 중대재해의 결과를 낳는 경향이 뚜렷해지고 있다[1].

이러한 사고의 원인의 대부분은 크게 불안전 행위(人的) 와 불안전 상태(物的)에 의해 야기된다고 볼 수 있다[1,5]. 이러한 불안전 행위와 불안전 상태를 가장 효과적으로 줄일 수 있는 방법이 인간공학적인 방법에 의한 안전작업의 설계이다.

또한 불안전 행위와 불안전 상태는 그 요소들 간의 관계를 분류하는데 모호성(Fuzziness)이 존재하게 된다. 그러므로 여기서 발생되는 확률을 확정된 하나의 값으로 정의한다는 것은 불가능하다.

본 논문에서는 불안전 행위와 불안전 상태를 줄일 수 있는 인간공학적인 방법에 의한 안전 작업설계시 고려되어야 할 사항에 대해서 알아보고, 불안전 행위와 불안전 상태의 요소간의 불확실한 확률을 고려하여 퍼지집합론에 의하여 재해 사상에 대한 안전도 측정 과정을 중점적으로 알아보고자 한다.

---

* 한양대학교 산업공학과 교수
** 한양대학교 산업공학과 박사과정

· 이 論文은 1993년도 후기 漢陽大學校 校內硏究·助成支援金에 의해 硏究됨.

2. 본론

2.1 안전 작업의 설계

안전 작업의 설계는 인간이나 기계만의 설계를 의미하는 것이 아니고 인간과 기계를 하나의 시스템, 즉, 인간-기계 시스템으로 보아서 이 시스템이 안전해지도록 설계하는 것을 의미한다. Meister는 인간-기계 시스템의 설계를 위한 기본적인 가정을 다음과 같이 설정하였다[7].

① 인간-기계의 관계는 인간, 기계, 그리고 시스템의 환경으로 구성되어 있는 시스템이다.
② 인간-기계 시스템은 특별히 지정된 입력을 근거로 특별한 출력을 산출하기 위한 인위적 실체이다.
③ 인간-기계 시스템은 여러 가지 수준의 크기와 복잡성 그리고 시간과 공간에서 서브 시스템의 기능을 수반해야 한다.
④ 인간-기계 시스템의 전반적인 요구는 서브 시스템, 입력, 출력의 요구를 정의해 준다.
⑤ 인간-기계 시스템의 서브 시스템들은 상호 관련성을 가지며 영향력을 발휘한다.
⑥ 인간-기계 시스템은 입력과 출력이 시스템 요구를 개략적으로 평행시키는 것을 수행하여야 할때 가장 효과적이다.
⑦ 인간-기계 시스템의 요구를 달성하지 못함은 인간-기계 시스템 활동에 있어서 변화를 초래한다.
⑧ 서브 시스템의 요구의 충족은 서브 시스템의 상태와 요구를 끊임없이 비교하는 것을 의미한다.

인간-기계 시스템은 이러한 가정하에서 설계시 고려할 사항들은 다음과 같다[3].

① 인간, 기계 혹은 목적으로 하는 대상물을 조합하는 종합 시스템 중에 존재하는 사실들을 파악하고 필요한 조건들을 명확히 표현한다.
② 인간이 수행하여야 할 조작이 연속적인가 아니면 불연속적인가를 알아보기 위해 특성조사를 실시한다.
③ 동작경제의 원칙이 만족되도록 고려하여야 한다.
④ 대상이 되는 시스템이 위치할 환경조건이 인간에 대한 한계치를 만족하는가의 여부를 조사한다.
⑤ 단독의 기계에 대하여 수행해야할 배치는 인간의 심리 및 기능과 부합되어 있어야 한다.
⑥ 인간과 기계가 다같이 복수인 경우 전체를 포함하는 배치로부터 발생하는 종합적인 효과가 가장 중요하다.
⑦ 기계조작 방법을 인간이 습득하려면 어떤 훈련방법이 필요한지 시스템을 활용해 가면서 인간에게 어느 정도 필요한지를 명확히 해두어야 한다.
⑧ 시스템 설계의 완료를 위해 조작의 안전성, 능률성, 보존의 용의성, 제작의 경제성 측면에서 재검토되어야 한다.
⑨ 완성된 시스템에 대해 최종적으로 불량의 여부에 대한 결정을 수행하여야 한다.

이렇게 안전 작업의 설계는 ① 연구 대상물의 파악, ② 작업특성 조사, ③ 동작경제원칙 적용, ④ 작업환경조건, ⑤ 작업의 배치, ⑥ 교육 및 훈련 방법, ⑦ 안전성, 능률성, 보존의 편의성, 제작의 경제적 측면에서의 재검토, ⑧ 최종적인 시험 등에 대하여 충분히 검토되어야 한다.

2.2 불안전 상태와 불안전 행위

재해는 불안전 상태에 불안전 행위가 겹쳐진 곳에서 일어나고 있다. 다시말해서 물적인 요인인 불안전 상태에 인적인 요인인 불안전 행위가 합해짐에 따라 재해가 발생할 수 있는 것이다. 그런데 이 두 요인이 겹쳐져서 재해를 발생시켰을 경우 그 재해의 원인으로서 불안전 행위만이 눈에 띄기 쉽다. 그러나 안전화를 위해서는 작업자의 불안전 행위만을 제거하고자 노력하는 것이 아니라 외부조건에 결여가 있을 경우 그러한 물적요소를 보완할 수 있는 노력이 아울러 수행되어야 한다[1].

<표 2.1>은 위 두 요인을 구성하고 있는 요소들이다[1,5].

<표 2.1> 불안전 상태와 불안전 행위의 요소들

불안전 상태	불안전 행위
① 기계자체의 결함	① 위험장소의 접근
② 안전방호장치의 결함	② 안전장치의 기능제거
③ 복장보호구의 결함	③ 복장보호구의 잘못된 사용
④ 기계의 배치 및 장소불량	④ 기계, 기구의 잘못된 사용
⑤ 작업환경의 결함	⑤ 운전중인 기계에의 손질
⑥ 생산공정의 결함	⑥ 불안전한 속도조작
⑦ 경계표시설비의 결함	⑦ 위험물 취급의 부주의
⑧ 기타	⑧ 불안전 상태의 방치
	⑨ 불안전한 자세에 의한 작업
	⑩ 감독 불충분
	⑪ 기타

위 두 요인의 요소들 간의 관계를 분류하는데 모호성(Fuzziness)이 존재하게 된다.
또한, 재해사고의 발생위험성의 크기는 "물적 불안전 조건"과 인적 "불안전 조건"의 크기들에 대한 적(product)라고 할 수 있다[1]. 그러므로 재해사상을 집합 개념에서 보게되면 불안전 상태에 의한 사상과 불안전 행위에 의한 사상의 교집합 관계가 성립하게 된다.

2.3 퍼지 집합론의 개념 및 연산

2.3.1 퍼지 집합론의 개념

1965년 Zadeh에 의해 최초로 제안된 퍼지 집합론은 불확실한 경계를 갖고 있는 집합의 인식을 기초로 한다. 즉, 어떤 대상이 명확하게 정의되지 않은 경우(a boderline case)이다[2,6].

어떤 모집합(universes of discourse) X의 퍼지 부분집합 A는 X내의 각 원소 x의 멤버쉽 함수(membership function) $\mu_A(x)$에 의해 나타내어 진다. 즉, A를 구성하는 X내의 각 원소 x는 A의 완전한 요소가 되는 것이 아니라 [0,1] 사이 값을 갖는 $\mu_A(x)$에 의해 A에 x가 속할 정도(grade of membership)로 나타내어 진다. 즉, $\mu_A(x)$값이 양인 X의 원소들이 A의 구성원소(support)가 된다.

$$\text{supp } A = \{ x \in X ,\ \mu_A(x) > 0 \} \tag{2.1}$$

기존의 집합론에서의 보통부분집합(crisp subset) C에 x가 속할 정도는 다음과 같다.

$$\mu_C(x) = \begin{cases} 1 & \text{if } x \in C \\ 0 & \text{if } x \notin C \end{cases} \tag{2.2}$$

유한 모집합 X가 $X = \{ x_1, x_2, \cdots, x_n \}$로 구성되어 있다면 X의 퍼지 부분집합 A는 다음과 같이 나타낸다.

$$A = \{ \frac{\mu_A(x_1)}{x_1}, \frac{\mu_A(x_2)}{x_2}, \frac{\mu_A(x_3)}{x_3}, \cdots, \frac{\mu_A(x_n)}{x_n} \} \tag{2.3}$$

그리고 기호 ∨와 ∧는 다음과 같다.

$$a \vee b = \max(a, b) \quad \begin{cases} a & \text{if } a \geq b \\ b & \text{if } a < b \end{cases} \tag{2.4}$$

$$a \wedge b = \min(a, b) \quad \begin{cases} a & \text{if } a \leq b \\ b & \text{if } a > b \end{cases}$$

2.3.2 퍼지집합론의 연산

A의 여집합 A'는

$$A' = \{ \frac{1-\mu_A(x_1)}{x_1}, \frac{1-\mu_A(x_2)}{x_2}, \frac{1-\mu_A(x_3)}{x_3}, \cdots, \frac{1-\mu_A(x_n)}{x_n} \} \quad (2.5)$$

으로 정의하며 이 연산자는 부정 'NOT'에 상응한다.

퍼지집합 A와 B의 합집합(union)은

$$A + B = \{ \frac{\mu_A(x_1) \vee \mu_B(x_1)}{x_1}, \frac{\mu_A(x_2) \vee \mu_B(x_2)}{x_2}, \cdots, \frac{\mu_A(x_n) \vee \mu_B(x_n)}{x_n} \} \quad (2.6)$$

으로 정의한다.

퍼지집합 A와 B의 교집합(intersection)은

$$A \cap B = \{ \frac{\mu_A(x_1) \wedge \mu_B(x_1)}{x_1}, \frac{\mu_A(x_2) \wedge \mu_B(x_2)}{x_2}, \cdots, \frac{\mu_A(x_n) \wedge \mu_B(x_n)}{x_n} \} \quad (2.7)$$

으로 정의한다.

2.4 사상의 수립과 계산

2.4.1 기호 설명

H : 인간과 관계가 있는 위험 원소로 이루어진 집합(불안전 행위의 집합)
M : 기계와 관계가 있는 위험 원소로 이루어진 집합(불안전 상태의 집합)
h_i 또는 m_i : H 또는 M의 원소
P_{h_i} 또는 P_{m_i} : h_i 또는 m_i의 확률
E_H 또는 E_M : 퍼지 부분집합으로 나타낼 수 있는 H 또는 M과 관련된 사상
E_H' 또는 E_M' : E_H 또는 E_M의 여집합
$\mu_{E_H}(h_i)$ 또는 $\mu_{E_M}(m_i)$: 단조 감소 함수로써 h_i 또는 m_i가 E_H 또는 E_M에 속할 맴버쉽의 정도
E_{H_α} 또는 E_{M_α} : E_H 또는 E_M의 α-level 집합
$P(E_{H_\alpha})$ 또는 $P(E_{M_\alpha})$: E_H 또는 E_M의 α-level 집합의 확률
$P_Y(E_H)$ 또는 $P_Y(E_M)$: E_H 또는 E_M의 확률의 척도(measure)
w_i : $P_Y(E_H)$ 또는 $P_Y(E_M)$의 구성원소(support)
$P_Y^*(E_H)(w)$ 또는 $P_Y^*(E_M)(w)$: 명제 "퍼지사상 E_H 또는 E_M의 확률이 적어도 w이다." 의 참값
$P_Y^*(E_H')(w)$ 또는 $P_Y^*(E_M')(w)$: 명제 "퍼지사상 E_H' 또는 E_M'의 확률이 적어도 w이다." 의 참값
$P_{*Y}(E_H)(w)$ 또는 $P_{*Y}(E_M)(w)$: 명제 "퍼지사상 E_H 또는 E_M의 확률이 최대한 w이다." 의 참값
$\hat{P}_Y(E_H)(w)$ 또는 $\hat{P}_Y(E_M)(w)$: 명제 "퍼지사상 E_H 또는 E_M의 확률이 정확하게 w이다." 의 참값

2.4.2 사상의 확률표현

2.1절에서 설명한 불안전 행위와 불안전 상태의 유한 모집합은 $H = \{ h_1, h_2, \cdots, h_n \}$, $M = \{ m_1, m_2, \cdots, m_n \}$으로 표현할 수 있다. 이때 각 원소의 확률을 P_{h_i} 또는 P_{m_i}이라고 하자. 우선 불안전 행위와 관련된 사상 E_H를 먼저 보면

$$E_H = \{ \frac{\mu_{E_H}(h_1)}{h_1}, \frac{\mu_{E_H}(h_2)}{h_2}, \frac{\mu_{E_H}(h_3)}{h_3}, \cdots, \frac{\mu_{E_H}(h_n)}{h_n} \} \quad (2.8)$$

$\mu_{E_H}(h_i) \subsetneq [0,1]$ (단, i = 1, 2, 3, ···, 11)

로써 $\mu_{E_H}(h_i)$는 단조 감소 함수이다. 즉,

$$\mu_{E_H}(h_1) > \mu_{E_H}(h_2) > \mu_{E_H}(h_3) > \cdots > \mu_{E_H}(h_n) \tag{2.9}$$

가 된다.

E_H의 α-수준집합(α-level set)은

$$E_{H_\alpha} = \{ h \mid \mu_{E_H}(h) \geq \alpha \text{ 이고 } h \subsetneq E_H \} \tag{2.10}$$

과 같이 정의되고 $P(E_{H_\alpha}) = \sum_{h \subsetneq E_{H_\alpha}} P(h)$로 나타낼 수 있다.

그리고 Yager의 정의를 이용하여 사상 E_H의 확률의 척도로써 $P_Y(E_H)$는

$$P_Y(E_H) = \bigcup_{\alpha \subseteq I} \left\{ \frac{\alpha}{P(E_{H_\alpha})} \right\}, \quad I = [0,1] \tag{2.11}$$

과 같이 정의 할 수 있고 $P(E_{H_\alpha})$를 구할 수 있다[8].

$$\begin{aligned}
&E_{H_\alpha} = \{ h_1, h_2, \cdots, h_n \}, \quad P(E_{H_\alpha}) = 1, \quad 0 \leq \alpha \leq \mu_{E_H}(h_n) \\
&E_{H_\alpha} = \{ h_1, h_2, \cdots, h_{n-1} \}, \quad P(E_{H_\alpha}) = 1 - P_{h_n}, \quad \mu_{E_H}(h_n) < \alpha \leq \mu_{E_H}(h_{n-1}) \\
&\cdot \\
&\cdot \\
&\cdot \\
&\cdot \\
&E_{H_\alpha} = \{ h_1 \}, \quad P(E_{H_\alpha}) = 1 - \sum_{i=2}^{n} P_{h_i}, \quad \mu_{E_H}(h_2) < \alpha \leq \mu_{E_H}(h_1)
\end{aligned} \tag{2.12}$$

따라서

$$P_Y(E_H) = \left\{ \frac{\mu_{E_H}(h_n)}{1}, \frac{\mu_{E_H}(h_{n-1})}{1-P_{h_n}}, \frac{\mu_{E_H}(h_{n-2})}{1-(P_{h_n}-P_{h_{n-1}})}, \cdots, \frac{\mu_{E_H}(h_1)}{1-\sum_{i=2}^{n} P_{h_i}} \right\} \tag{2.13}$$

이 된다.

여기서 수정된 Yager의 모델[8]을 통해 보통 부분집합(crisp subset)으로 된 $P_Y(E_H)$를 부분적 연속 부분집합(piecewise continous subset)으로 된 $P_Y^*(E_H)$로 바꿀 수 있다.

$w_1 < w_2 < w_3 < \cdots < w_n$을 $P_Y(E_H)$의 구성원소(support)라 하고 $w_0=0$ 그리고 $w_{n+1} = u > 1$ 라고 하자. 이때, w에 대해서 $P_Y^*(E_H)$는 다음과 같은 성질이 있다.

$$\begin{aligned}
&P_Y^*(E_H)(w_i) = P_Y(w_i), \quad i = 1, 2, \cdots, n \\
&P_Y^*(E_H)(0) = 1 \\
&P_Y^*(E_H)(w) = 0, \quad w < 0 \text{ 또는 } w > 1
\end{aligned} \tag{2.14}$$

그리고 모든 w에 대해

$$P_Y^*(E_H)(w) = P_Y^*(E_H)(w_{i+1}), \quad w_i < w < w_{i+1} \tag{2.15}$$

이 된다. 그리고 $P_Y^*(E_H)$는

$$P_Y^*(E_H)(w) = \sup_{\alpha} \{ \alpha \mid Prob(E_{H_\alpha}) \geq w \}, \quad w \subsetneq [0,1] \tag{2.16}$$

과 같이 정의 될 수 있고 이 정의에 의해 $P_Y^*(E_H) \supset P_Y(E_H)$ 이고 $w \subsetneq I$ 에 대해 $P_Y^*(E_H)(w) \geq P_Y(E_H)(w)$가 된다.

식 (2.5)에 의해 $\mu'_{E_H}(h)$는

$$\mu'_{E_H}(h) = 1 - \mu_{E_H}(h) \tag{2.17}$$

가 된다. 그러면 $P_Y^*(E_H')(w)$는

$$P_Y^*(E_H')(w) = \sup_{\alpha} \{ \alpha \mid Prob(E'_{H_\alpha}) \geq w \} \tag{2.18}$$

이 되고 $P_{*Y}(E_H) = 1 - P_{*Y}(E_H')$로 정의된다.

여기서 E_H의 확률 $\hat{P}_Y(E_H)$는 다음과 같이 정의된다.

$$\hat{P}_Y(E_H) = P_Y^*(E_H) \cap P_{*Y}(E_H) = \mathrm{Min}\,[\,P_Y^*(E_H)(w),\ P_{*Y}(E_H)(w)] \tag{2.19}$$

2.4.3 $\hat{P}_Y(E_H)$의 계산과정

$H = \{ h_1, h_2, \cdots, h_n \}$ 일때

$$P_Y^*(E_H) = \begin{cases} \mu_{E_H}(h_1), & w_0 \le w \le w_1 \\ \mu_{E_H}(h_2), & w_1 < w \le w_2 \\ \vdots & \\ \mu_{E_H}(h_n), & w_{n-1} < w \le w_n \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \tag{2.20}$$

과 같다. 이때 E_H'는

$$E_H' = \left\{ \frac{1-\mu_{E_H}(h_1)}{h_1}, \frac{1-\mu_{E_H}(h_2)}{h_2}, \frac{1-\mu_{E_H}(h_3)}{h_3}, \cdots, \frac{1-\mu_{E_H}(h_n)}{h_n} \right\}$$

이 된다. 그러므로 $E_{H.}'$에 따른 $P_Y^*(E_{H.}')$ 는

$$\begin{array}{lll} E_{H.}' = \{ h_1, h_2, \cdots, h_n \}, & P_Y^*(E_{H.}') = 1, & \alpha = 1-\mu_{E_H}(h_1) \\ E_{H.}' = \{ h_2, \cdots, h_n \}, & P_Y^*(E_{H.}') = 1-P_{h_1}, & 1-\mu_{E_H}(h_1) < \alpha \le 1-\mu_{E_H}(h_2) \\ E_{H.}' = \{ h_3, \cdots, h_n \}, & P_Y^*(E_{H.}') = 1-(P_{h_1}+P_{h_2}), & 1-\mu_{E_H}(h_2) < \alpha \le 1-\mu_{E_H}(h_3) \\ \vdots & & \\ E_{H.}' = \{ h_n \}, & P_Y^*(E_{H.}') = 1-\sum_{i=1}^{n-1}(P_{h_i}), & 1-\mu_{E_H}(h_{n-1}) < \alpha \le 1-\mu_{E_H}(h_n) \\ E_{H.}' = \varnothing, & P_Y^*(E_{H.}') = 0, & 1-\mu_{E_H}(h_n) < \alpha \le 1 \end{array} \tag{2.21}$$

가 된다.

따라서 $P_{*Y}(E_H) = 1 - P_Y^*(E_H')$ 이므로 $P_{*Y}(E_H)$는

$$P_{*Y}(E_H) = \begin{cases} 1-\mu_{E_H}(h_1) & w_0 \le w < w_1 \\ 1-\mu_{E_H}(h_2) & w_1 \le w < w_2 \\ \vdots & \\ 1-\mu_{E_H}(h_n) & w_{n-1} \le w < w_n \\ 1 & w=1 \end{cases} \tag{2.22}$$

가 된다. 따라서 $\hat{P}_Y(E_H)(w)$값은 식(2.19)에 의해 위에서 구한 $P_Y^*(E_H)(w)$와 $P_{*Y}(E_H)(w)$의 구간별 최소값에 의하여 구한다. 그리고 불안전 상태와 관련된 사상 E_M에 대해서도 앞에서 한 과정에 의해서 $\hat{P}_Y(E_M)(w)$값을 구할 수 있다. 최종사상 즉, 불안전 상태와 불안전 행위에 의해 재해가 일어날 최종확률은 식 (2.7)에 의해 E_H와 E_M의 교집합을 구하면 된다. 단, 이때의 최종확률은 잠재확률이다.

3. 수치예제

어떤 작업에서 불안전 행위와 불안전 상태의 발생확률과 그 소속의 정도가 <표 3.1>과 같다고 가정하여 보자.

< 표 3.1 > 수치예제

불안전 상태의 요소	소속정도 $\mu_{E_M}(m_i)$	발생확률 P_{m_i}	불안전 행위의 요소	소속정도 $\mu_{E_H}(h_i)$	발생확률 P_{h_i}
⑤ 작업환경의 결함	1	0.05	⑤ 운전중인 기계의 손질	1	0.07
① 기계자체의 결함	0.6	0.1	① 위험장소의 접근	0.8	0.2
③ 복장보호구의 결함	0.4	0.08	⑨ 불안전한 자세에 의한 작업	0.6	0.15
⑦ 경계표시설비의 결함	0.35	0.2	④ 기계, 기구의 잘못된 사용	0.4	0.12
② 안전방호장치의 결함	0.3	0.07	⑧ 불안전 상태의 방치	0.3	0.1
④ 기계의 배치 및 장소불량	0.25	0.2	⑦ 위험물 취급의 부주의	0.25	0.15
⑥ 생산공정의 결함	0.1	0.25	② 안전장치의 기능제거	0.2	0.05
⑧ 기타	0.05	0.05	⑥ 불안전한 속도조작	0.15	0.03
			⑩ 감독 불충분	0.12	0.02
			③ 복장보호구의 잘못된 사용	0.08	0.1
			⑪ 기타	0.04	0.01

$\mu_{E_M}(m_i)$과 $\mu_{E_H}(h_i)$는 단조 감소 함수이다.

E_H, E_M, $E_{H\alpha}$, $E_{M\alpha}$, $P_Y(E_H)$, $P_Y(E_M)$는 식(2.8), (2.10), (2.11), (2.12), (2.13)에 의해서 다음과 같이 계산 할 수 있다. 우선 불안전 상태에 대해서를 먼저 계산하여 보자.

$$E_H = \{ \frac{1}{h_1}, \frac{0.8}{h_2}, \frac{0.6}{h_3}, \cdots, \frac{0.04}{h_{11}} \}$$

$$E_{H\alpha} = \{ h_1, h_2, \cdots, h_{11} \}, \quad P(E_{H\alpha}) = 1, \quad 0 \le \alpha \le 0.04$$

$$E_{H\alpha} = \{ h_1, h_2, \cdots, h_{10} \}, \quad P(E_{H\alpha}) = 1 - 0.01, \quad 0.04 < \alpha \le 0.08$$

.
.
.
.

$$E_{H\alpha} = \{ h_1 \}, \quad P(E_{H\alpha}) = 1 - 0.93, \quad 0.8 < \alpha \le 1$$

따라서

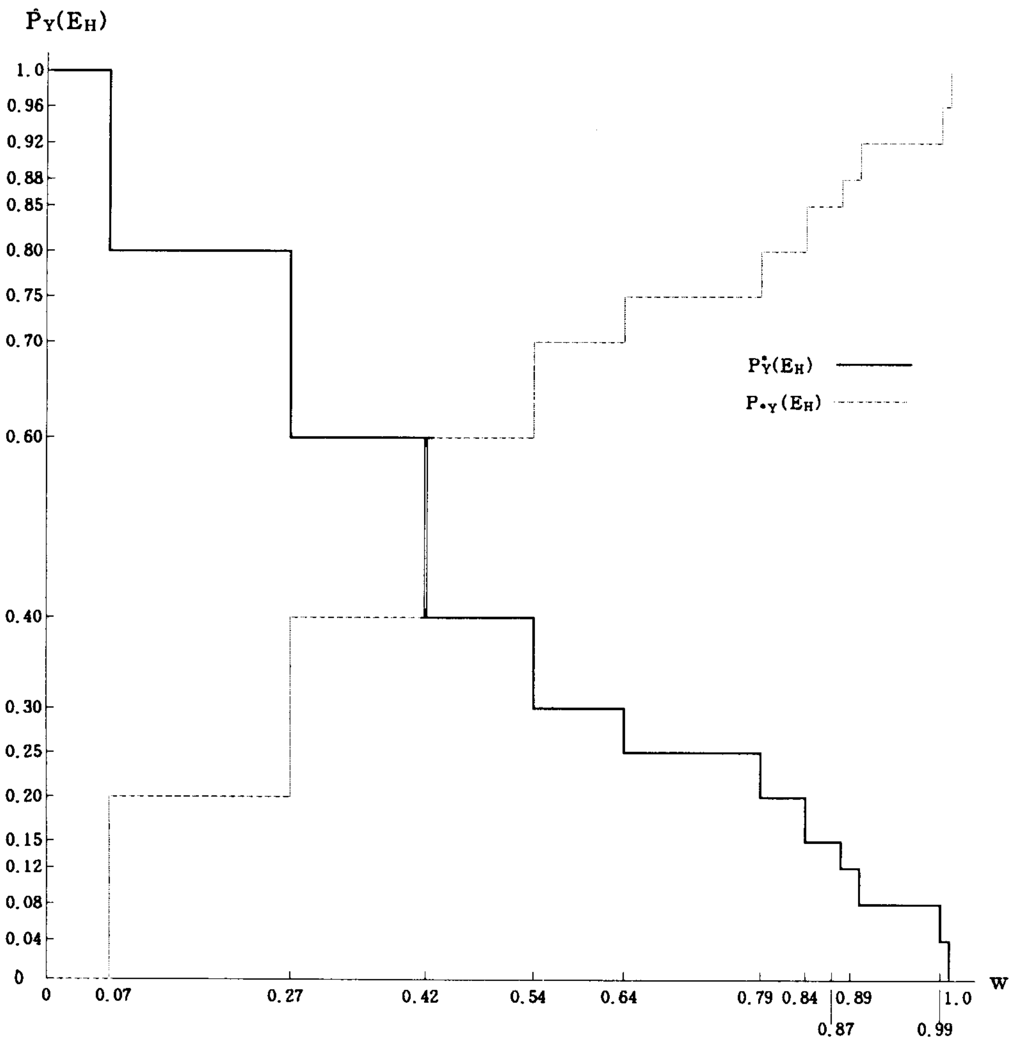
$$P_Y(E_H) = \{ \frac{0.04}{1}, \frac{0.08}{0.99}, \frac{0.12}{0.89}, \cdots, \frac{1}{0.07} \}$$

이 된다. $P^*_Y(E_H)$와 $P_{*Y}(E_H)$는 식 (2.20)과 식 (2.22)에 의해서 다음과 같이 구할 수 있다.

$$P^*_Y(E_H) = \begin{cases} 1, & 0 \le w \le 0.07 \\ 0.8, & 0.07 < w \le 0.27 \\ \vdots & \\ 0.04, & 0.99 < w \le 1 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

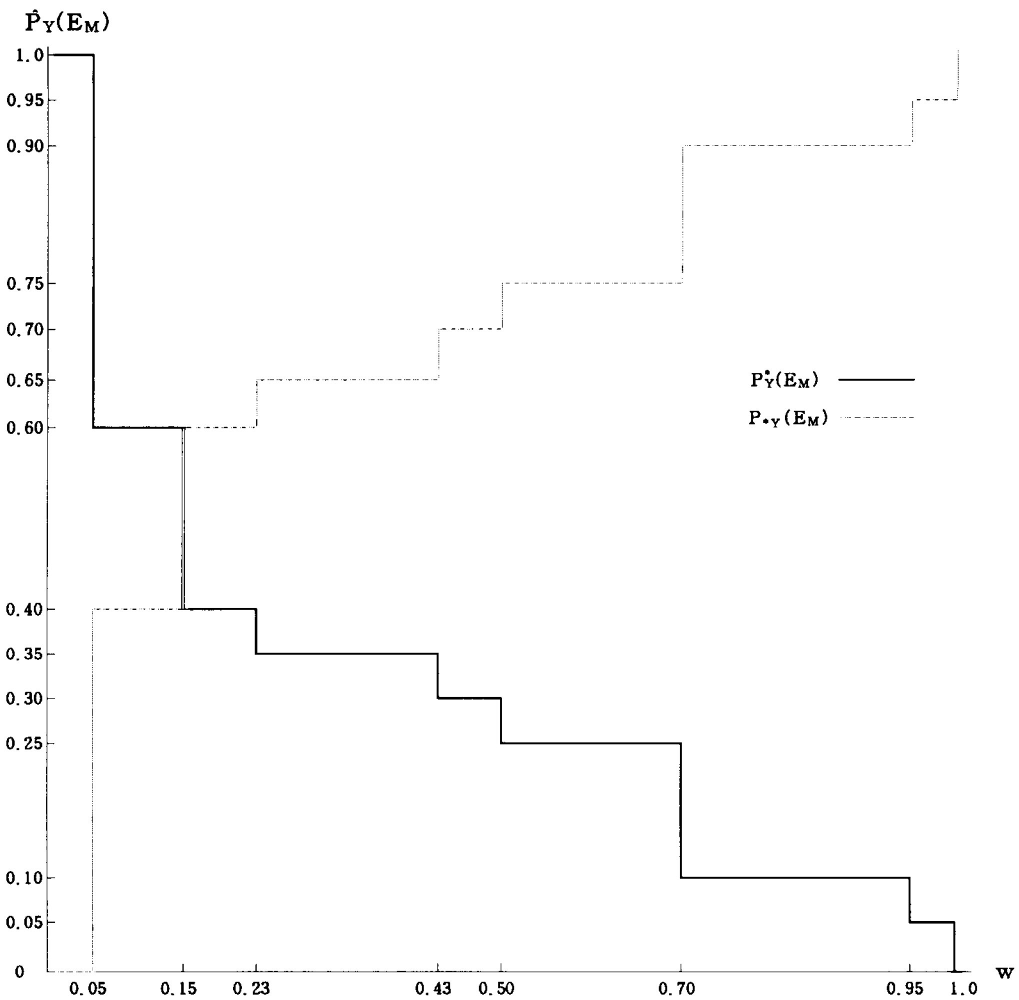
$$P_{*Y}(E_H) = \begin{cases} 0 & 0 \le w \le 0.07 \\ 0.2 & 0.07 < w \le 0.27 \\ \cdot & \\ \cdot & \\ \cdot & \\ 0.96 & 0.99 < w \le 1 \\ 1 & w = 1 \end{cases}$$

따라서 $\hat{P}_Y(E_H)(w)$값은 식(2.19)에 의해 위에서 구한 $P_Y^*(E_H)(w)$와 $P_{*Y}(E_H)(w)$의 구간별 최소값에 의하여 구한다. <그림 3.1>은 불안전 행위에 따른 재해 확률을 나타낸다.

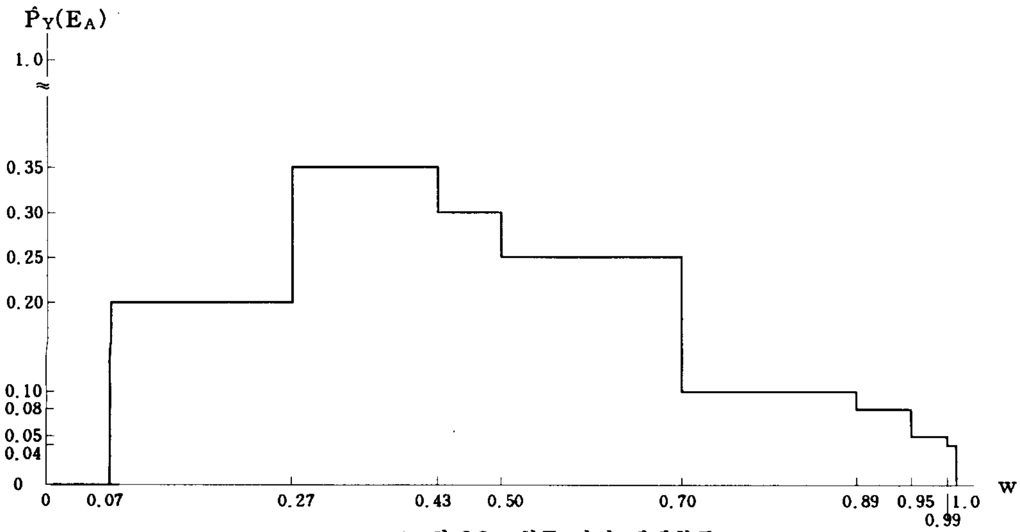


<그림 3.1> 불안전 행위와 관련된 사상의 재해확률

그리고 불안전 상태와 관련된 사상 E_M에 대해서도 앞에서 한 과정에 의해서 $\hat{P}_Y(E_M)(w)$값을 구할 수 있다. <그림 3.2>은 불안전 행위에 따른 재해 확률을 나타낸다.



<그림 3.2> 불안전 상태와 관련된 사상의 재해확률



<그림 3.3> 최종 사상 재해확률

최종사상 즉, 불안전 상태와 불안전 행위에 의해 재해가 일어날 최종 확률 $\hat{P}_Y(E_A)$은 식 (2.7)에 의해 E_H와 E_M의 교집합을 구하면 된다. <그림 3.3>은 최종사상을 나타낸다.

<그림 3.3>을 분석해 보면 다음과 같다.

"재해가 일어날 잠재확률이 정확하게 0~7%이다"가 참이될 가능성은 0%이다.
"재해가 일어날 잠재확률이 정확하게 7~27%이다"가 참이될 가능성은 20%이다.
"재해가 일어날 잠재확률이 정확하게 27~43%이다"가 참이될 가능성은 35%이다.
"재해가 일어날 잠재확률이 정확하게 43~50%이다"가 참이될 가능성은 30%이다.
"재해가 일어날 잠재확률이 정확하게 50~70%이다"가 참이될 가능성은 25%이다.
"재해가 일어날 잠재확률이 정확하게 70~89%이다"가 참이될 가능성은 10%이다.
"재해가 일어날 잠재확률이 정확하게 89~95%이다"가 참이될 가능성은 8%이다.
"재해가 일어날 잠재확률이 정확하게 95~99%이다"가 참이될 가능성은 5%이다.
"재해가 일어날 잠재확률이 정확하게 99~100%이다"가 참이될 가능성은 4%이다.

6. 결론

본 연구에서는 인간-기계 시스템 차원에서 안전작업 설계시 고려사항에 대하여 알아 보았고, 또한 재해사상 분석시 재해사상의 직접적 원인이 되는 불안전 상태와 불안전 행위의 요소들 간의 관계를 모호하다고 보고 퍼지집합론에 의하여 최종 재해사상이 발생할 가능성을 통해 안전도를 측정하였다.

특히 이전의 연구에서는 재해확률을 확정적인 단일 확률로 인식하는데 비해 본 연구에서는 Yager의 모델을 이용하여 연속 부분집합(piecewise continous subset)으로 표현하여 구간별 재해잠재확률을 구하였다.

앞으로는 간헐적 사건과 같은 특정 사건에 대한 Fuzzy fault tree분석에 의한 인간의 신뢰도 분석과 멤버쉽 값의 함수화에 대한 실제적인 연구가 수행된다면 효과적인 재해분석이 기대된다.

참고문헌

1. 이근희·홍상우, 안전관리학, 창지사, 서울, 1994.
2. 이광형·오길록, 퍼지 이론 및 응용 I, II, 홍릉출판사, 서울, 1991.
3. 이순요, 인간공학, 박영사, 서울, 1992.
4. 이근희, 인간공학, 상조사, 서울, 1994.
5. H. W. Heinrich, Dan Person and Nester Ross, Industerial Accident Preventtion, Fifth Ed., McGraw-Hill, New York, 1980.
6. Lotfi A. Zadeh, "Outline of Neew Approach to Analysis of a Complex System and Decision Processes," IEEE Trans. on SMC, Vol. SMC-3, No. 1, pp. 28-44, 1973.
7. Meister, D., Human Factors : Theory and Practice, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1971.
8. R. R. Yager, "A Represention of the Probability of a Fuzzy Subset," Fuzzy Set and System, Vol. 13, No. 3, pp. 273-283, 1986.