

인적 요인을 중심으로 하는 산업재해 평가 모델에 대한 연구

배성규 · 박동현[†]

인하대학교 기계공학부

(2003. 8. 18. 접수 / 2003. 12. 1. 채택)

An Evaluation Model for Human Attributes of Industrial Accidents

Sung Kyu Bae · Donghyun Park[†]

School of Mechanical Engineering, Inha University

(Received August 18, 2003 / Accepted December 1, 2003)

Abstract : The intensity of industrial accidents has been increased while the number of industrial accidents has been decreased in these days. It represents that we need safety guidelines based on personal attributes as well as physical attributes. This study tries to identify major causative factors for industrial accidents and to suggest an evaluation model based on personal attributes. Specifically, relationship between self-efficacy belief associated with industrial safety and other relative personal attributes has been analyzed.

First, FGI(Focus Group Interview) was conducted to identify important personal attributes of industrial accidents. The questionnaire was prepared based on the results of FGI and was applied to identifying personal attributes.

The relationship between personal attributes identified in this study and self-efficacy belief was assessed using fuzzy logic and fault tree analysis. The results of the assessment showed that self-efficacy belief was closely associated with industrial accidents. Specifically, workers with accident experience had higher level of self-efficacy beliefs than workers without accident experience.

Key Words : industrial safety, safety self-efficacy belief, personal attributes, major causative factors

1. 서 론

산업현장에서 발생하는 재해의 일반적인 원인은 안전시설의 미비 또는 부실함과, 기타 작업환경 자체에 존재하는 잠재적인 위험요인에 기인하는 물적 요인과 안전관리의 소홀이나 근로자들의 부주의한 행동 그리고 그릇된 마음가짐에서 비롯되는 인적요인으로 크게 구분하여 생각할 수 있다. 일반적으로 물적요인에 대한 분석이나 대책에 대해서는 그동안 많은 연구와 조사가 이루어져 왔으며, 어느 정도 많은 효과를 보아 왔다고 볼 수 있다. 그러나 이와 같은 물적요인에 대한 안전대책은 현 시점에서 볼 때 산업재해예방의 효율성 측면에서 어느 정도 한계가 있었다고 사료된다. 반면 요즘 같이 날로 증대하는 사회심리적 스트레스 등과 같은 인적요인의 산업재

해와의 관련성에 대한 연구나 대책은 아직까지 많이 미흡하였다. 실제로 Heinrich¹⁾ 등은 일찍이 작업자의 불안정한 행동이 대부분의 재해에 영향을 준다고 지적하였으며, Salminen 등²⁾의 연구 결과에 의하면 재해의 84~94%는 인적요인에 의한 것으로 나타났다. 이러한 결과들로 미루어 보아 산업재해를 감소시키고, 보다 적극적인 차원에서 예방하기 위해서는 인적요인에 대한 연구와 대책의 개발이 무엇보다도 중요하다.

이제까지 인적요인에 대한 연구는 인간과 관계된 여러 요인들의 특성 때문에 주로 정성적인 방법에 의한 평가가 주류를 이루었다. 이와같은 정성적인 접근의 이유는 인간이 행하는 위험요인에 대한 평가 및 판단을 수행할 때 평가자마다 기준이 다를 수 있으며, 또한 주관적인 애매함이 수반되는 것은 피할 수 없기 때문이었다. 따라서 인적요인을 중심으로 하는 모델을 구성하는데 있어서는 인간이 주체가 되는 시스템을 해석하는데 수반되는 이러한 문제점

[†]To whom correspondence should be addressed.
dhpark@inha.ac.kr

을 반영하기 위한 일련의 과정이나 방법의 적용이 불가피하다. 이런 측면에서 볼 때, 인간의 판단은 어느 정도 애매한 것일 수 밖에 없다는 전제하에 종래의 이진논리(binary logic)에 근거한 방법을 확장한 퍼지이론의 적용은 이 상황에 대한 하나의 해결 방법일 수 있다. 이에 본 연구에서는 퍼지이론을 이용하여 산업재해와 관련된 인적요인을 평가하고자 한다.

그동안 인적요인을 정량적으로 파악하려는 시도는 여러 연구에서 진행되었다. Watada³⁾는 인간의 일상언어를 이용하여 구조물의 안전성에 대한 인간신뢰성의 영향을 다루었고, Karwowski⁴⁾ 등은 인간-기계시스템에 있어서 인적 요인의 영향에 대하여 조사하였다. 또한 인간의 신뢰성에 영향을 미치는 요인으로서 작업부하, 스트레스, 능력, 주의력배분 등을 고려하여 인간의 신뢰성을 과오의 가능성이라고 하는 [0,1]상의 퍼지집합으로 표현한 Onisawa⁵⁾ 등의 연구가 있었다. 우리나라에서는 김정만⁶⁾의 연구에서 작업조건, 스트레스, 적성 등을 고려한 인간의 신뢰성을 퍼지 FTA를 통하여 종합적으로 평가하는 방법 등을 제시한 적이 있다. 그러나 이러한 연구들은 안전행동 및 재해의 관점에서 볼때 인적요인과 관련된 심층적인 요인들을 충분히 반영하지 못한 한계성이 있었다고 사료된다. 본 연구에서는 산업현장에서 재해와 관련된 인적요인이 무엇인지를 좀더 세부적으로 살펴보고, 도출된 인적요인을 평가할 수 있는 모델을 제시하고자 하였다.

따라서, 본 연구에서는 재해와 안전행동에 관계된 인적요인이 무엇이며, 이러한 인적요인들은 안전행동과 어떤 관계가 있는가를 알아보았으며, 도출된 인적요인을 정량화하여 평가하고자 하였다. 즉, 도출된 핵심인적요인을 이용하여 산업안전에 관련되는 효능감⁷⁾을 언어적으로 평가할 수 있는 방법을 찾고자 하였다. 산업현장에 있어서 안전효능감은 안전과 관련된 직무를 수행할 수 있는 자기의 능력에 대한 확신으로 정의될 수 있다. 기본적으로 Bandura는 자기효능감(Self-efficacy belief)을 “개인이 지향하는 결과를 얻는데 필요한 행동을 성공적으로 수행할 수 있는 기술에 대한 신념”으로 정의하였다. 또한 Bandura⁷⁾는 자기효능감의 주된 내용으로서 자기에 대한 직접적으로 관련된 측면 뿐만아니라, 환경에 대한 통제 및 조절, 사회와 주변의 도움을 유발하는 효능감을 포함하였다. 자기와 관련된 자기조절 효능감은 개인의 심리로서 정서와 인지 및 개인의

행동에 대한 조절 및 통제를 포함한다. 본 연구에서는 Bandura의 정의에 기초하여 이 개념을 산업안전에 적용하여 안전에 대한 자기효능감을 “안전효능감”이라고 정의하였다. 본 연구에서는 교육심리학적 기법을 토대로 한 설문조사를 통하여 안전효능감과 관련된 핵심인적요인을 도출하고 퍼지이론을 이용한 이 요인들에 대한 평가 모델을 제시하고자 하였다.

2. 방법

2.1. 인적요인과 안전효능감

그동안 인적요인의 안전에 있어서의 중요성에 대한 지적은 많이 있었으나, 그에 대한 체계적인 연구는 부족하였다. 본 연구에서는 앞서 언급한 바와 같이 산업현장의 재해와 인적요인과의 관계를 살펴보고자 하였는데 그 중에서도 특히 개인의 자기 효능감과의 관계에 초점을 맞추고자 하였다. 박동현⁸⁾의 연구에 의하면 작업자의 안전효능감은 산업현장에서의 안전행동이나 재해율과 밀접히 관련되어 있다고 나타났다. 따라서 기존의 연구에서 물리적인 결과치에만 기초해서 인간신뢰성만을 평가하고 해석하는 것은 안전행동과 재해에 관하여 인적요소를 제대로 반영할 수 없다는 문제점이 있었다고 사료된다.

본 연구에서는 기존의 연구들에서 산업안전과 관련하여 많이 언급되었던 인간신뢰성의 문제를 안전효능감과 관련지어 넓게 해석하고자 하였다. 즉, 본 연구에서는 Bandura의 정의에 기초하여, 안전효능감을 안전에 대한 자기효능감, 즉 안전과 관련된 과제를 수행할 수 있는 자기의 능력에 대한 확신으로 정의하고 이 안전효능감을 산업재해관련 인적요인을 평가하는 지수로서 적용하였다.

안전효능감의 분석을 위하여 안전관리자 및 현장 작업자를 대상으로 한 Focus Group Interview^{9,10)}를 수행하였고, FGI(집중면담결과)를 종합 정리하여 설문형식을 개발하였다. 안전효능감 질문지는 Bandura¹⁰⁾의 이론을 기초로하여 연구자가 제작하였다. 이 연구에서는 작업자의 안전효능감을 안전한 작업을 위해 자기를 조절할 수 있는 효능감과 안전을 위해 주위 사람의 도움을 받을 수 있는 효능감 및 안전을 위해 주위환경을 통제할 수 있는 효능감으로 정의하였다. 설문대상은 현장의 작업자(546명)들이었다. 설문형식은 정량적인 Scale로 표시되는 Likert Type

으로 설계하였고 설문문의 신뢰도는 Cronbach α 계수에 의하여, 타당도는 요인분석(Factor Analysis)에 의하여 검증하였다.

2.2. 가능성 분포함수

Onisawa¹²⁾는 가능성분포함수를 이용한 인간신뢰성의 접근법에서 인간 및 기계의 신뢰도를 $[0, 1]$ 상의 퍼지집합으로 표현하여, (1)식을 인간의 경우, $F(x)$ 를 과오가능성이라고 정의하며 기계의 경우, 고장을 가능성이라 정의하고 다음과 같은 해석법을 제안하였다.

$$F(x) = \frac{1}{1 + 20 \times |x - x_0|^m} \quad (1)$$

여기에서, $0 \leq x, x_0 \leq 1$ 이고 x_0 는 $x = x_0$ 일 때 $F(x)$ 의 최대값을 부여한 것이며, m 은 평가의 애매함에 관한 것이다. 모든 $x \in [0, 1]$ 에 대해서 $E(x) > 0$ 이므로, 식 (1)은 x_0 가 아무리 작아도 인간이 오류를 범할 가능성이 있음을 나타내고 있으며, 이 값이 1에 가까울수록 신뢰도가 낮다는 것을 의미하고, 이 값이 0에 가까울수록 신뢰도가 높다고 해석하고 있다.⁵⁾

여기서 언어로 표현된 안전효능감의 의미를 Onisawa가 제안한 퍼지집합으로 표현하면 이 퍼지집합은 주관적 신뢰도상에서 정의될 수 있다. 김정만⁶⁾의 연구에서는 가능성 분포함수를 이용하여 인간의 과오가능성을 표현하여 신뢰도를 해석하였으나, 본 연구에서는 신뢰도의 개념을 확대하여 안전효능감을 언어로써 표현하여 해석하고자 하였다. 위의 가능성 분포를 그림으로 표시하면 다음과 같다(Fig. 1).

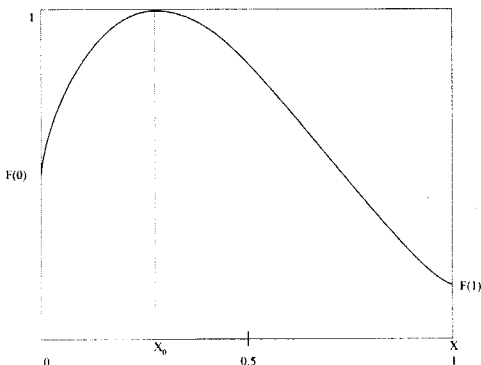


Fig. 1. Possibility distribution function

2.3. 퍼지추론에 의한 안전효능감의 표현

일반적으로 Fault Tree(결합수나무)에서 정상사상(Top)의 구조함수를 계산할 때, 기본사상의 갯수나 Gate의 수가 많아지면 논리연산이 복잡하게되고, 따라서 정상사상의 구조함수 $\Phi(x)$ 의 추정이 용이하지 않다. 그러나 퍼지집합으로 표현된 Fault Tree에서는 다음의 식으로 정상사상에 대한 구조함수 Φ 의 값을 직접 계산 할 수 있어 계산의 간략화를 도모할 수 있다¹³⁻¹⁵⁾.

$$\Phi_{AND}(x) = \bigwedge_{i=1}^n x_i \triangleq \min x_i; \quad (2)$$

$$\Phi_{OR}(x) = \bigvee_{i=1}^m x_i \triangleq \max x_i; \quad (3)$$

그러나 안전효능감의 평가에서 퍼지집합으로 표현된 인간의 안전효능감 평가 결과를 언어로 해석하는 것은 여러 가지 수준의 해가 존재하므로 어려운 문제이다. 따라서 일반적인 신뢰도에 대한 평가는 다수의 수법이 제안되어 왔지만 일반적인 해법은 존재하지 않는다. 본 연구에서는 다음과 같은 2 종류의 퍼지집합의 거리를 기준으로 하는 안전효능감 패턴의 유사도를 평가하였는데, 구체적으로는 전형적인 패턴함수와 퍼지추론에 의한 정상사상(Top Event)의 퍼지집합간의 거리가 짧을수록 유사도가 높은 것으로 평가하였다.

첫째, 전형적인 패턴의 귀속도 함수는 식 (1)에 x_0 의 대표치를 사용하여 $\alpha \in [0, 1]$ 상에서 일정 간격의 대집합상에 $k(K = 1, 2, 3, \dots, l)$ 로 나타낼 수 있다. 본 연구에서는 간격을 0.1로 하였을 때 전형적인 패턴의 수를 9개로 표현하였다(Fig. 2).

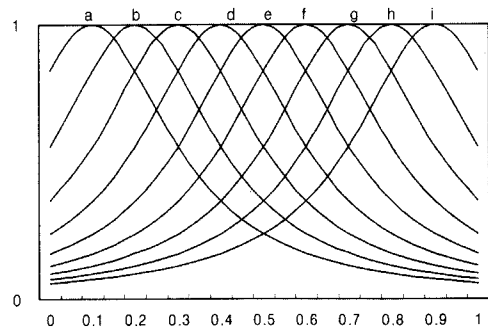


Fig. 2. Safety self-efficacy belief of pattern data

안전효능감의 평가는 식 (1)과 Fig. 2에서 9개의 패턴은 χ_0 값이 1에 가까울수록 안전효능감 낮다는 것을 의미하고, χ_0 값이 0에 가까울수록 안전효능감이 높다고 해석하고 있다⁵⁾.

- 여기서, a(0.1)는 매우 높다.
- b(0.2)는 높다.
- c(0.3)는 조금 높다.
- d(0.4)는 높은 편이다.
- e(0.5)는 보통이다.
- f(0.6)는 낮은 편이다.
- g(0.7)는 조금 낮다.
- h(0.8)는 낮다.
- i(0.9)는 매우 낮다.

등의 9가지 전형적 패턴을 나타낸다.

둘째, 정상사상의 퍼지집합은 각 기본사상을 가성 분포 함수(식 (2))의 구조함수로 표현하고, AND GATE 및 OR GATE의 논리연산을 수행하여 정상사상(Top)의 귀속도 함수를 구한다.

여기서 정상사상의 종합적 신뢰도의 귀속도 함수를 $\mu_{E_r}(x)$, 전형적인 패턴의 귀속도 함수를 $\mu_{E_i}(x)$ 라 하면, 이 두 귀속도함수의 거리를 유사성의 척도로써 다음과 같이 나타낼 수 있다^{6,16)}.

$$V_k = \int_0^1 | \mu_{E_r}(x) - \mu_{E_i}(x) | dx \quad (4)$$

그 결과, 정상사상의 귀속도 함수와 각 패턴간의 유사도를 식 (4)에 의해 V(a), V(b),..., V(i)를 구할 수 있으며, 이 값이 작을수록 인간의 안전효능감은 각 전형적인 안전효능감패턴에 가까운 특성을 가진다고 할 수 있다.

3. 연구결과

먼저 안전효능감에 영향을 주는 요인을 찾기 위해서 FGI(집중면담)를 실시하여, 여기서 나온 결과를 토대로하여 작업자에 대한 체계적인 설문지를 설계하였고, 이 설문을 이용한 설문조사를 통하여 산업재해에 관련되는 중요한 인적요인이 무엇인지를 밝히고자 하였다. 또한 그 결과로 나온 인적요인과 안전효능감과의 관계를 알아보기 위하여 작업자의 기본 안전효능감을 Onisawa가 주장한 가능성 분

포 함수를 이용하여 정량적으로 평가하였다¹³⁾.

집중면담의 대상은 기업, 안전교육기관 및 정부 기관으로 하였다. 기업에서 작업자를, 안전교육기관에서 안전관리자를, 정부기관에서 안전담당 공무원을 표집하였다. 집중면담에 참석한 대상자는 총 30명이었으며, 각 집단별로 5~10명 정도이었다. 집중면담을 실시한 결과, 산업현장에서 재해의 주된 원인은 안전과 관련된 잘못된 의식으로 나타났다. 작업자 안전의식의 구체적인 문제점으로는 안전의식 결여와 무관심, 안전과 생산성에 대한 잘못된 인식, 안전에 대한 자만심과 안전관리 부족, 형식적인 안전, 안전 중요성 인식 부족, 잠재적인 위험상황에 대한 소극적 대처 등이었다. 또한 안전사고와 관련된 개인 특성으로는 경력, 전문성, 결혼여부, 부주의, 음주, 피로와 불안 등이 지적되었다. 이외에 안전행동에 장애가 되는 요소로서 안전장치 및 시설의 문제점이 지적되었는데, 안전장치의 불량, 미부착과 같은 관리시설 자체의 문제점 외에도 안전장치의 비활용이나 잘못된 활용과 같은 사용자의 문제점이 지적되었다. 이와같은 집중면담(FGI) 결과에 기초하여 안전행동과 관련된 변인을 선정하여 설문지를 제작하였다. 측정변인은 작업자의 개인적 특성인 안전효능감, 행동적 특성과 소속회사의 특성 및 재해의 정도로 정리되었다. 안전효능감 설문지는 Bandura⁷⁾의 이론을 기초로 연구자가 제작하였다. 본 연구에서는 작업자의 안전효능감을 안전한 작업을 위해 자기를 조절할 수 있는 효능감과 안전을 위해 주위 사람의 도움을 받을 수 있는 효능감 및 안전을 위해 주위환경을 통제할 수 있는 효능감으로 정의하였다. 안전효능감의 측정은 '전혀 못한다'에서 '매우 잘한다'의 5점 척도상에 해당하는 정도를 표시하였다.

안전효능감 설문지에서 하위변인별 측정 문항과 내용과 각 Cronbach alpha 신뢰도는 Table 1과 같다.

다음으로 산업안전과 관련된 안전효능감에 영향을 주는 중요 인적요인을 도출하기 위해서 요인분석을 실시하였다. 요인분석에서 적용된 요인추출방법은 principal component analysis였으며, 회전 방법으로는 vari-max rotation이 적용되었다¹⁷⁾. 요인분석에서 요인의 수의 결정은, 고유근이 1.0을 넘는 요인중에 대한 scree test 결과, 대표적인 요인으로 판단되는 것을 연구자가 선정하였다. 요인분석의 결과는 다음과 같다.

Table 1. Contents and reliability of the questionnaire

Variables	Contents	Reliability
Self-regulation	How can you do safe work when you are tired and bored?	0.79
	How can you do safe work when you have some problem with the company?	
	Are you willing to participate at safety education even when you are bored?	
	How well can you do the safety management to prevent accident?	
	How well do you plan for the safe work?	
Enlisting social support	How well do you get some support from other workers for safe work?	0.83
	How well do you get some support from your boss for safe work?	
	How well do you get some support from safety managers for safe work?	
	How well do you use your safety education class for accident prevention?	
	How well do you get some support from family members for comfortable work?	
Controlling the environment	Do keep clean your work place for safety work?	0.87
	How can you contribute for safe working environment of your company?	
	How well can you keep your working place safe?	
	How well can you use safety equipment of your company?	
	Can you affect other workers for more interest on industrial safety?	

Table 2. Results of the factor analysis

Major Variables	Factors	
	Self - efficacy belief	Personal characteristics
life satisfaction	0.70	
psychological stress	-0.62	
physical stress	-0.62	
degree of safety enforcement	0.58	
safety education system	0.55	
smoking and drinking habit	-0.55	
understanding of industrial safety	0.50	
age		0.73
experience		0.68
academic background		0.61
Percentage of trace	30.1%	11.4%

첫 번째 요인에는 작업자의 행동적 특성으로서 ‘생활만족도’, ‘스트레스’, ‘안전실천정도’ 및 ‘안전중요성 인식’ 등이 포함되었으며, 소속 회사의 특성으로서 안전교육의 체계성이 포함되었다. 그러므로 요인 1을 “안전사고 원인과 안전의식” 요인으로 명명하였다. 요인 1에 포함되어 있는 변인들의 요인 부하량을 살펴볼 때, 심리적, 신체적 스트레스와 작업자의 피로와 음주가 적은 작업자일수록, 안전의 중요성을 인식하고 안전교육 시스템에 신뢰를 가지며 또한 회사의 안전교육 내용을 실천하는 정도가 높다고 결론 내릴 수 있다. 또한 두 번째 요인에는 ‘연

령’, ‘경력’ 그리고 ‘학력’ 변인이 높은 정적 부하량을 보이며, 설명변량 백분율은 11.4%로 나타났다. 이러한 결과로 미루어 보아, 연령이 높을수록 더 많은 학력과 경력이 더 많은 경향이 있음을 알 수 있다. 이러한 변인들로 구성된 요인 2는 “개인의 외적 특성” 요인이라고 명명하였다.

위의 핵심인적 요인과 안전효능감의 관계는 상관의 정도에 따라 언어적으로 다음과 같이 표현할 수 있다. 즉,

생활만족도가 높은 작업자는 안전효능감이 높다.
생활만족도가 낮은 작업자는 안전효능감이 낮다.
심리적 스트레스가 많은 작업자는 안전효능감이 낮다.

심리적 스트레스가 적은 작업자는 안전효능감이 높다.

신체적 스트레스가 많은 작업자는 안전효능감이 낮다.

신체적 스트레스가 적은 작업자는 안전효능감이 높다.

안전 실천 정도가 높은 작업자는 안전효능감이 높다

안전 실천 정도가 낮은 작업자는 안전효능감이 낮다

안전 교육이 체계적으로 이루어지는 회사의 작업자는 안전효능감이 높다.

안전 교육이 형식적으로 이루어지는 회사의 작업자는 안전효능감이 낮다.

작업자의 피로와 음주가 많으면 안전효능감이 낮다.

작업자의 피로와 음주가 적으면 안전효능감이 높다.

안전의 중요성을 잘 인식하는 작업자는 안전효능감이 높다.

안전의 중요성을 인식하지 못하는 작업자는 안전효능감이 낮다.

연령이 많으면 안전효능감이 높다.

연령이 낮으면 안전효능감이 낮다.

작업자의 경력이 높으면 안전효능감이 높다.

작업자의 경력이 적으면 안전효능감이 낮다.

작업자의 학력이 높으면 안전효능감이 높다.

작업자의 학력이 낮으면 안전효능감이 낮다.

으로 표현할 수 있다. 이와 같이 언어로 표현된

안전효능감을 퍼지집합으로 변환하기 위해서 안전 효능감과 인적요인과의 관계를 상관의 정도에 따라 3개로 분류하여 귀속도를 구하였다. 여기서 두 변인 간의 상관계수 $r \geq 0.6$ 인 경우엔 귀속도함수를 $w_i = 2a^2\mu(0.5 - a) + \frac{1}{\sqrt{0.7}}\sqrt{a-0.3}\mu(a-0.5)$ 으로, $0.6 > r \geq 0.4$ 인 경우엔 $w_i = (1 - a)$ 으로, $0.4 > r$ 인 경우엔 $w_i = \frac{1}{\sqrt{2}}\sqrt{a}\mu(0.5 - a) + (1 - \frac{1}{\sqrt{2}}\sqrt{1-a})\mu(a-0.5)$ 으로 상관계수에 따른 신뢰도 값에 영향을 주게 하였다. 아래의 식에서 **a**=생활만족도, **b**=심리적 스트레스, **c**=신체적 스트레스, ..., **j**=학력은 [0,1]사이의 인적요인에 대한 평가결과이며, **w**는 퍼지집합의 귀속도를 나타낸다.

$$\begin{aligned}
 w1 &= 2a^2\mu(0.5 - a) + \frac{1}{\sqrt{0.7}}\sqrt{a-0.3}\mu(a-0.5) \\
 w1 &= \frac{1}{\sqrt{1-x_0}}\sqrt{x_1-x_0}u(x_1-x_0) \\
 u2 &= (1-a)^2 \\
 u2 &= \frac{1}{(x_0-1)^2}(x_2-1)^2u(x_2-x_0) \\
 u3 &= 2b^2\mu(0.5 - b) + \frac{1}{\sqrt{0.7}}\sqrt{b-0.3}\mu(b-0.5) \\
 u3 &= \frac{1}{(x_0-1)^2}(x_3-1)^2u(x_3-x_0) \\
 u4 &= (1-b)^2 \\
 u4 &= \frac{1}{\sqrt{1-x_0}}\sqrt{x_4-x_0}u(x_4-x_0) \\
 u5 &= c \\
 u5 &= \frac{1}{(x_0-1)^2}(x_5-1)^2u(x_5-x_0) \\
 u6 &= (1-c) \\
 u6 &= \frac{1}{\sqrt{1-x_0}}\sqrt{x_6-x_0}u(x_6-x_0) \\
 u7 &= 2d^2\mu(0.5 - d) + \frac{1}{\sqrt{0.7}}\sqrt{d-0.3}\mu(d-0.5) \\
 u7 &= \frac{1}{(x_0-1)^2}(x_7-1)^2u(x_7-x_0) \\
 u8 &= (1-d)^2 \\
 u8 &= \frac{1}{\sqrt{1-x_0}}\sqrt{x_8-x_0}u(x_8-x_0) \\
 u9 &= \frac{1}{\sqrt{2}}\sqrt{e}\mu(0.5 - e) + (1 - \frac{1}{\sqrt{2}}\sqrt{1-e})\mu(e-0.5) \\
 u9 &= \frac{1}{(x_0-1)^2}(x_9-1)^2u(x_9-x_0)
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

$$\begin{aligned}
 w10 &= (1-e)^2 \\
 w10 &= \frac{1}{\sqrt{1-x_0}}\sqrt{x_{10}-x_0}u(x_{10}-x_0) \\
 w11 &= f \\
 w11 &= \frac{1}{\sqrt{1-x_0}}\sqrt{x_{11}-x_0}u(x_{11}-x_0) \\
 w12 &= (1-f) \\
 w12 &= \frac{1}{(x_0-1)^2}(x_{12}-1)^2u(x_{12}-x_0) \\
 w13 &= \frac{1}{\sqrt{2}}\sqrt{g}\mu(0.5 - g) + (1 - \frac{1}{\sqrt{2}}\sqrt{1-g})\mu(g-0.5) \\
 w13 &= \frac{1}{(x_0-1)^2}(x_{13}-1)^2u(x_{13}-x_0) \\
 w14 &= (1-g)^2 \\
 w14 &= \frac{1}{\sqrt{1-x_0}}\sqrt{x_{14}-x_0}u(x_{14}-x_0) \\
 w15 &= \frac{1}{\sqrt{2}}\sqrt{h}\mu(0.5 - h) + (1 - \frac{1}{\sqrt{2}}\sqrt{1-h})\mu(h-0.5) \\
 w15 &= \frac{1}{\sqrt{1-x_0}}\sqrt{x_{15}-x_0}u(x_{15}-x_0) \\
 w16 &= (1-h)^2 \\
 w16 &= \frac{1}{(x_0-1)^2}(x_{16}-1)^2u(x_{16}-x_0) \\
 w17 &= \frac{1}{\sqrt{2}}\sqrt{i}\mu(0.5 - i) + (1 - \frac{1}{\sqrt{2}}\sqrt{1-i})\mu(i-0.5) \\
 w17 &= \frac{1}{(x_0-1)^2}(x_{17}-1)^2u(x_{17}-x_0) \\
 w18 &= (1-i)^2 \\
 w18 &= \frac{1}{\sqrt{1-x_0}}\sqrt{x_{18}-x_0}u(x_{18}-x_0) \\
 w19 &= j \\
 w19 &= \frac{1}{(x_0-1)^2}(x_{19}-1)^2u(x_{19}-x_0) \\
 w20 &= (1-j) \\
 w20 &= \frac{1}{\sqrt{1-x_0}}\sqrt{x_{20}-x_0}u(x_{20}-x_0) \\
 u(x) &= \begin{cases} 0, & x \leq 0 \\ 1, & x > 0 \end{cases}
 \end{aligned}$$

위의 식에서 **a, b, ..., j**는 인적요인에 대한 평가 결과를 나타내고, 귀속도 함수(w_i)와 연관된 우변으로부터 대표치 x_0 를 구한다. x_0 가 구해지면, 귀속도함수(w)는 인적요인 10개항목 즉, 생활만족도(**a**), 심리적 스트레스(**b**), 신체적 스트레스(**c**), 안전 실천 정도(**d**) 안전 교육 시스템(**e**), 작업자의 피로와 음주

(f), 안전의 중요성 인식(g), 연령(h), 경력(i), 학력(j)에 대한 평가치를 고려하여 안전효능감을 나타내는 퍼지집합으로 인간의 안전효능감을 표현한다. 퍼지집합으로 표현되는 안전효능감의 대표치 χ_0 는

$$\chi_0 = \frac{\sum_{k=1}^{20} x_k \cdot w_k}{\sum_{k=1}^{20} w_k} \quad (6)$$

와 같이 구한다(김정만 등, 1996).

작업자의 종합적인 안전효능감은 작업자가 수행하는 작업을 결합수 나무 형태로 표현하여 종합적인 정상사상(Top)의 상태로 평가할 수 있다. 각 기본사상을 퍼지집합으로 표현하기 위하여 식 (6)의 값을 가능성 분포 함수(식 (2))의 구조함수로 표현하고, AND GATE 및 OR GATE의 논리연산을 수행하여(식 (2), (3)) 정상사상(Top)의 귀속도 함수를 구한다. 정상사상의 귀속도 함수와 전형적인 패턴의 귀속도 함수를 식 (4)와 비교하여 이들간의 유사도가 가장 많은 패턴을 구하여 평가하게 된다^{6,14)}.

본 연구에서는 위와 같은 퍼지 FTA연산을 기본 개념으로하여 자동차 부품제조회사 현장작업자를 대상으로 직접 평가를 실시하였다. 작업자들의 작업은 크게 소재투입, 부품절단, 금형교체로 나뉘어지며, 현장에서 취득한 주요인적요인의 내용은 다음 Table과 같다¹⁹⁾.

각 사상(Event)에 대한 대표치 χ_0 는 식 (5), (6)에 의해 계산된 결과는 아래와 같다.

$$\begin{aligned} \chi_{01} &= 0.579 & \chi_{02} &= 0.460 & \chi_{03} &= 0.487 & \chi_{04} &= 0.485 \\ \chi_{05} &= 0.517 & \chi_{06} &= 0.528 \end{aligned}$$

각 사상을 퍼지집합으로 표현하기 위하여 식 (2)에 위의 χ_0 대표치를 대입한 결과 각 사상의 퍼지집합은 다음 Table과 같다.

Table 3. Evaluation for personal attributes of each job

	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j
transportation	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.3	0.7	0.8
position	0.5	0.6	0.5	0.4	0.2	0	0.5	0.3	0.7	0.8
punching	0.1	0.5	0.1	0.2	0.5	0.1	0.5	0.3	0.7	0.8
grinding	0.5	0.1	0.5	0.3	0.5	0.1	0.5	0.3	0.7	0.8
inspection	0.5	0.5	0.5	0.3	0.1	0	0.1	0.3	0.7	0.8
mold exchanging	0.1	0.5	0.1	0.4	0.5	0.1	0.4	0.3	0.7	0.8

Table 4. Membership function of each event

	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
$\mu_{E_1}(x)$	0.13	0.18	0.26	0.39	0.61	0.89	0.99	0.77	0.51	0.33	0.22
$\mu_{E_2}(x)$	0.19	0.28	0.43	0.66	0.93	0.97	0.72	0.46	0.3	0.21	0.15
$\mu_{E_3}(x)$	0.17	0.25	0.38	0.59	0.87	1	0.8	0.52	0.34	0.23	0.16
$\mu_{E_4}(x)$	0.18	0.25	0.38	0.59	0.87	1.00	0.79	0.52	0.34	0.23	0.16
$\mu_{E_5}(x)$	0.16	0.22	0.33	0.52	0.79	0.99	0.88	0.6	0.38	0.25	0.18
$\mu_{E_6}(x)$	0.15	0.21	0.32	0.49	0.75	0.98	0.91	0.63	0.4	0.27	0.18

Table 5. Membership function of head event

x	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
$\mu_T(x)$	0.16	0.22	0.33	0.52	0.79	0.99	0.91	0.63	0.4	0.27	0.18

Table 6. Evaluation for similarity distance

Pattern	a	b	c	d	e	f	g	h	i
similarity distance	4.71	4.15	2.91	1.50	0.21	1.92	3.26	4.43	4.93

위의 Table의 귀속도간 논리연산은 식 (2), 식 (3)에 의하여 구한 결과, 정상사상(Top)에 대한 귀속도 함수는 다음과 같다.

안전효능감의 평가는 Table 5의 정상사상의 귀속도 함수와 전형적인 9개의 패턴과의 유사도를 식 (6)에 대입한 결과 $V(a) = \int_0^1 4.71da = 4.71$ 로 계산된다. 9개의 유사도는 다음과 같다.

따라서, 사례에서 분석한 작업자의 안전효능감은 이들 값 중 전형적인 패턴에 가장 유사한 특성을 가진 V(e)로써 안전효능감은 '조금 낮다'로 평가할 수 있다.

Table 7. Comparisons of case studies regarding self-efficacy beliefs on industrial accidents by safety managers

	Types of Industries	Experience of Accidents	Results of Evaluations*
case 1	chemical product	yes	3
case 2	wood product	yes	2
case 3	mechanical product	yes	3
case 4	mechanical product	yes	4
case 5	auto part product	no	5
case 6	auto part product	no	7
case 7	mechanical product	no	6

* 안전효능감의 척도

- 1: 매우 낮다.
- 2: 낮다.
- 3: 조금 낮다.
- 4: 낮은 편이다.
- 5: 보통이다.
- 6: 높은 편이다.
- 7: 조금 높다.
- 8: 높다.
- 9: 매우높다.

위와 같은 과정으로 다른 사업장에 있는 일선의 현장 안전관리자가 안전효능감 평가를 수행한 결과는 다음과 같다. 본 연구에서 제시한 인적요인의 평가모형을 통한 안전효능감을 평가한 결과를 사고 경험자와 사고 무경험자에 대하여 비교했을 때 대부분 사고 경험자인 경우에 안전효능감이 전반적으로 낮은 편으로 나타났다.

4. 결론 및 고찰

이 연구에서는 안전행동과 재해에 관련된 안전효능감과 핵심인적요인의 도출을 위하여, FGI 근거한 질문지를 제작하여 분석을 하였는데 구체적으로는 안전효능감과 산업재해, 안전행동, 관련변인과의 관계를 규명하고자 하였다. 또한 정량적 평가를 위한 가능성 분포함수를 적용하여 종합적으로 안전효능감을 평가할 수 있도록 하였다.

먼저, 산업안전과 관련된 안전효능감에 영향을 주는 주요 인적요인을 도출하기 위해서 요인분석을 실시하였다. 생활만족도, 심리적 스트레스, 신체적 스트레스, 안전 실천 정도, 안전 교육 시스템, 작업자의 피로와 음주, 안전의 중요성 인식, 연령, 경력, 학력이 산업재해와 관련된 주요 인적요인으로 파악되었다.

종래의 연구에서와 달리 확률적 의미의 신뢰성을 배제하고 Bandura의 효능감을 적용하여 작업자의 안전효능감을 평가하였다¹²⁾. 평가할 주요 인적요인은 실제 작업자로부터 표집된 자료를 통하여 분석되었으며, 이러한 분석결과 작업자의 안전효능감은 산업 재해와 밀접한 관련이 있는 것으로 확인되었다. 즉 작업자의 자기조절 효능감과 주위사람도움 효능감, 주위환경조절 효능감이 높을수록, 회사에서 받은 안전교육의 내용을 실천하는 정도가 높았다. 또한 안전효능감이 높은 작업자가 소속한 회사일수록, 중대재해나 가벼운 재해가 발생한 횟수가 적을 뿐 아니라, 다른 회사와 비교했을 때 상대적으로 재해도 적었다. 이는 개인의 자기효능감이 행동과 밀접히 관계됨을 지적한 Bandura¹⁰⁾의 이론과 일치하는 결과이다. 이러한 결과들을 볼 때, 작업자의 안전효능감은 산업현장에서의 안전행동이나 재해율과 밀접히 관련되어 있음을 알 수 있다. 안전효능감이 높은 작업자가 소속한 회사의 재해율이 낮았다는 결과 이외에도, 작업자의 개인적인 특성과 관련하여 볼 때, 경력이 많은 작업자일수록 안전효능감이 높았

다. 안전효능감이 높을수록 안전사고의 원인이나 사장이나 안전관리자 및 정부기관 종사자의 잘못이라고 생각하는 정도가 낮고 안전의식의 기여가 안전사고의 주요원인으로 지각하는 경향이 높고 안전의 중요성을 강하게 인식하고 있다.

기존의 연구에서처럼 애러울 등을 정량화 하는데 있어서의 한계점, 인간자체에 대한 평가에 따른 애매함을 수반할 수 밖에 없는 문제점 등을 고려하여 본 연구에서는 산업재해와 관련된 인적요인들과 안전효능감과 관계를 피지집합으로 정량화를 시도하였다. 정량적인 안전효능감을 파악하기 위하여 주요요인과 안전효능감과의 관계를 파악하여 가능성 분포를 이용함으로써 정량화 방안을 제시하였다. 인적 요인에 대한 평가는 김정만⁹⁾ 등이 제시한 인간 신뢰성에 대한 피지추론적 해석을 신뢰성보다 넓은 의미의 안전효능감¹⁰⁾을 적용한 평가모형을 제시하였으며, 이는 작업자의 어느 한 시점에서의 안전효능감을 평가하는 것이 아니라, 단위작업의 인과 관계를 결합수 나무로 표현하여 종합적인 상태를 평가하고자 시도하였다. 본 연구에서 제시한 안전효능감의 정량화 방법에 따라 몇몇 사례에 대해서 실시해본 결과 사고 무경험자 집단과 사고 경험자 집단에 대한 평가 결과를 분석해 본 결과 사고 무경험자 집단의 경우는 안전효능감이 다소 높게 평가된 반면, 사고 경험자 경우는 보통에서 낮은 수준의 안전효능감을 가지는 것을 알 수 있었다. 추후 연구에서는 업종별 또는 안전관리 특성별 비교분석을 통한 안전효능감의 평가가 이루어져야 한다고 사료된다.

참고문헌

- 1) H.W. Heinrich, D. Peterson, N. Roos, "Industrial Accident Prevention", McGraw-Hill Co. 1980.
- 2) S. Salmine, J. Saari, K. Saarela, T. Rasanen, "Organizational Factors Influencing Serious Occupational Accidents", Scandinavian journal of Work environment and health, 19. 1993.
- 3) J. Watada, K.S. Fu, "Linguistic Assessment of Structural Damage". Technical Report, Purdue Univ., CE-STR Vol. 84, No. 30, 1984.
- 4) W. Karwowski, "Potential Applications of Fuzzy Sets in Industrial Safety Engineering", Fuzzy Sets and Systems, Vol. 19, 1986.
- 5) T. Onisawa, Y. Nishiwaki, "Fuzzy Human Reli-

- ability Analysis on the Chernobyl Accident”, Fuzzy Sets and Systems, Vol. 28, pp. 115~127, 1998.
- 6) 김정만, 이동춘, 이상도, “Fault Tree구조로 나타낸 인간신뢰성의 퍼지추론적 해석”, 대한인간공학회 학술논문집, 제16호, 제2호, pp. 1~14, 1997.
 - 7) A. Bandura, “Self-efficacy - The exercise of Control”, New York, W. H. Freeman and Company, 1977.
 - 8) 박동현, 이형배, “신체장애 유발원인 분석을 통한 프레스 등 위험기계의 안전대책 연구”, 한국산업안전공단, 1996.
 - 9) J.S. Krueger, “Focus Groups; A Practical Guide for Applied Research”, Thousand Oaks, CA, Sage 2nd ed., 1994.
 - 10) A. Bandura, “Social foundations of thought and action: A social theory”, Englewood Cliffs, NJ Prentice-Hall, 1984.
 - 11) 박동현, 박영신, 김의철, “기업의 안전문화 정착을 위한 교육적 시사: 규제 완화정책의 영향 분석과 안전효능감에 대한 고찰”, 한국사회교육학회, 사회교육학연구, 제5권, 제2호, pp. 161~193, 1997.
 - 12) T. Onisawa, “An Application of Fuzzy Concepts to Modeling of Reliability Analysis”, Fuzzy Sets and Systems, Vol. 37, 1990.
 - 13) T. Onisawa, “A Model of Subjective Reliability Analysis”, Proc. of 2nd Conf. on Fuzzy Systems, FUZZ-IEEE San Francisco, pp. 757~761, 1993.
 - 14) H. Tanaka, L.T. Fan, F.S. Lai and K. Toguchi, “Fault Tree Analysis by Fuzzy Probability”, IEEE Trans. Reliability, Vol. 32, No. 5, pp. 453~457, 1983.
 - 15) L.A. Zadeh, “A Theory of Approximate Reasoning”, Tech. Memo., University of California, Berkeley, M77/58, 1977.
 - 16) D.H. Jang, “Fuzzy Fault Tree Analysis”, Journal of the KSQC, Vol. 20 No. 1, pp. 107~117, 1992.
 - 17) 조중재, 한정혜, 박병선, “SAS 통계자료분석”, 교우사, 1996.
 - 18) D. Dubois, H. Prade, “Fuzzy Sets and Systems: Theory and Applications”, Academic Press, New York, 1980.
 - 19) 대한산업안전협회, “재해사례연구”, 1998.