

## 스마트 안전보건활동이 근로자의 의도된 행동에 미치는 영향

## The Effect of Smart Safety and Health Activities on Workers' Intended Behavior

조춘환<sup>1,2,3\*</sup>Choonhwan Cho<sup>1,2,3\*</sup><sup>1</sup>Executive Officer, Housing, DL E&C, Seoul, Republic of Korea<sup>2</sup>Researcher, Disaster Punishment Law Major Course, Yonsei University Law School, Seoul, Republic of Korea<sup>3</sup>Ph.D, Construction Safety, Kyonggi University Graduate School, Suwon, Republic of Korea

\*Corresponding author: Choonhwan Cho, cho387@naver.com

## ABSTRACT

With the aim of preventing safety accidents at construction sites, the company aims to create safe behaviors intended through variables called smart safety and health activities to help reduce industrial accidents. **Purpose:** It analyzes how smart safety and health activities affect accidents caused by unsafe behavior and changes in worker behavior, which is the root cause, and verifies the hypothesis that it helps prevent safety accidents and protect workers' lives. **Method:** Smart safety and health activities were selected as independent variables (X), and intended safety and anxiety, which are workers' behavioral intentions, were set as dependent variables (Y), attitude and subjective norms, and planned behavioral control as parameters (M). Exploratory factor analysis, discriminant validity analysis, and intensive validity analysis of safety and health activities were used to analyze the scale's reliability and validity. To verify the hypothesis of behavior change, the study was verified through Bayesian model analysis and MC simulation's probability density distribution. **Result:** It was found that workers who experienced smart safety and health activities at construction sites had the highest analysis of reducing unstable behavior and performing intended safety behavior. The research hypothesis that this will affect changes in worker behavior has been proven, the correlation between variables has been verified in the structural equation and path analysis of the research analysis, and it has been confirmed that smart safety and health activities can control and reduce worker instability. **Conclusion:** Smart safety and health activities are a very important item to prevent accidents and change workers' behavior at construction sites.

**Keywords:** Safety and Health Activities, Hands-on Education, Virtual Experience, Intended Behavior, Attitude, Subjective Norms, Planned Behavior Control

## 요약

건설 사업장에서 발생하는 안전사고 예방을 목표로 건설 현장의 불안정한 행동이라는 고질적 어려움과 고충을 해소하기 위해서 스마트 안전보건활동이라는 변수를 통하여 의도된 안전한 행동을 만들고, 이러한 행동 변화로 산업재해 감소에 도움이 되고자 한다. **연구목적:** 스마트 안전보건활동이 불안정한 행동으로 발생하는 사고와 근본 원인인 근로자 행동 변화에 어떤 영향을 미치는지 분석하고, 이 활동은 근로자의 안전 경험치가 향상되고, 불안정한 행동을 의도된 안전한 행동으로 변화되며, 작업중에 나타나는 불안정 행동이 줄어들므로 안전사고 예방과 근로자 생명 보호에 도움이 된다는 가설을 검증한다. **연구방법:** 스마트 안전보건활동을 독립변수(X)로 선정하였고, 근로자 행동 의도인 의도된 안전과 불안정을 종속변수(Y), 태도와 주관적 규범, 계획된 행동 통제를 매개변수(M)로 정하였다. 척도의 신뢰성과 타당도 분석은 안전보건활동에 관한 탐색적 요인분석과 판별타당도분석, 집중타당도를 분석했으며, 행동 변화의 가설검증을 위해서 주요 변수의 경로분석과 근로자 행동 변화의 실증분석으로는 베이지안모델 분

Received | 3 July, 2023

Revised | 2 August, 2023

Accepted | 2 August, 2023

OPEN ACCESS



This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted noncommercial use, distribution, and reproduction in anymedium, provided the original work is properly cited.

© Society of Disaster Information All rights reserved.

석과 MC시뮬레이션의 확률밀도 분포를 통해 연구를 검증했다. **연구결과:** 건설 현장의 스마트 안전보건활동을 경험한 근로자는 불안정한 행동이 줄고, 의도된 안전 행동을 한다는 분석이 가장 높게 나타남을 알 수 있었다. 이는 근로자 행동변화에 영향을 미칠 것이라는 연구가설이 입증되었고, 연구분석의 구조방정식과 경로분석에서 변수간의 상관관계 확인, 실증분석을 통해 스마트 안전보건활동이 근로자 불안정한 행동을 통제하고, 감소시킬 수 있다는 점을 확인하였다. **결론:** 건설 현장에서 사고를 예방하고 근로자의 행동을 변화시키기 위해서는 스마트 안전보건활동이 매우 중요한 항목이란 것을 알 수 있었다.

**핵심용어:** 안전보건활동, 체험교육, 가상체험, 의도된 행동, 태도, 주관적규범, 계획된 행동 통제

## 서론

우주항공과 4차산업의 시대적 배경으로 건설업이 고도화(高度化) 및 최첨단화로 가고 있으며, 스마트 기술이 접목되어 안전을 도모하는 기술이 날로 발달하고 있다. 특히 IoT사물인터넷, Big Data, AI기능, VR·AR기술, 로봇트기술, GPS기술, 드론기술은 스마트 안전보건활동이 활발하게 진행된다.

이러한 변화에도 건설환경은 외국인 근로자와 고령근로자, 신규근로자가 늘어나고, 건설인력구조의 변화는 새로운 안전 관리가 요구되며, 현업의 건설기술자와 안전관리자가 해결해야 할 과제가 증가된다. 특히 외국인 근로자는 언어적인 소통 문제와 고령 근로자는 행동의 제약 및 둔감한 부분이 안전관리에 문제가 되고, 신규근로자는 작업환경의 경험이 부족하여 위험 요인 인식의 문제로 인하여 안전사고의 위험과 재해 발생률이 높아지는 것은 건설업의 환경적 요인이라고 말할 수 있다. '21년 우리나라의 사고성 사망만인율이 선진국 등과 비교하면 아직 높은 수준에 머물러 있고 주요 국가별로는 Table 1과 같이 본, 독일, 미국, 영국보다 높은 것으로 조사되었다.

**Table 1.** Accidental death toll rate by major countries

구분	한국	일본	독일	미국	영국
사고 사망만인율	0.46	0.14	0.14	0.37	0.03

본 연구에서 다른 산업보다 불안정한 행동으로 중대재해(사망사고)가 상대적으로 많이 발생하고 있는 이유는 건설 산업이 노동력을 통해 이루어지는 산업이기 때문이라고 본다. 즉 노동력이 주축이 되는 인력의존 주체가 근로자이고, 이들이 작업에서 안전한 행동을 하느냐에 따라 사고 발생확률이 달라지기 때문이다. 그러므로 건설근로자의 작업중에 이루어지는 행동이 일상적인 상황 또는 위험한 상황에서 나타나는 행동들은 태도, 문화, 의식, 교육, 규범에 따라 행동이 변화되므로 행동 변화에 가장 큰 효과를 낼 수 있는 체험교육과 스마트 안전보건 활동을 통해 불안정한 행동을 의도된 안전한 행동으로 변화됨을 분석하고자 한다. 스마트 안전보건활동은 안전문화 안전의식, 안전보건경영시스템 구축, 체험안전교육, 안전감수성으로 이러한 교육과 활동이 건설 현장에서 작업하는 근로자를 작업중에 나타나는 행동을 의도된 안전한 행동으로 변화되고, 불안정한 행동이 줄며 안전사고 예방에 도움이 된다는 것을 증명하고자 한다.

## 이론적 배경과 선행연구 고찰

### 의도된 행동 변화

의도된 행동은 의도된 안전과 의도된 불안전 2가지가 있으며, 이는 적극적으로 행동하는 근로자 개인의 태도와 밀접한 관

련이 있고, 태도는 교육과 활동을 통하여 변화될 수 있다고 했다. 의도된 안전한 행동은 위험 상황을 인지하고, 문제를 분석하여 해결하는데 긍정적이고 능동적인 태도를 보인다는 점과 산업현장에서 근로자의 안전한 행동은 사업장에서 요구하는 안전활동 참여와 안전수칙 준수하는 것이다. 반대로 의도된 불안정한 행동은 위험을 인지하고도 위험을 강행하는 Risk taking 이다. 이러한 행동은 정보와 지식이 미약할 때 나타나는 행동이며, 과거 성공한 경험이 많을수록 위험을 강행하게 된다. 작업장에서 근로자의 작업환경과 작업 범위는 매일 매일 명확히 규정할 수 없으며, 작업장의 변화성은 의도치 않게 항상 존재하고 실시간으로 예측할 수 없는 작업의 특수한 상황에서 벌어지므로 이러한 위험으로부터 신속한 대응을 위해서 근로자의 의도된 안전한 행동이 요구되므로 불안정한 행동 감소에 어떠한 영향을 미치는지 확인하고자 한다.

### 계획된 행동 통제

선행연구에서 태도, 주관적 규범, 지각된 행동통제에 대한 근로자의 태도가 행동의도에 미치는 영향을 Fig. 1과 같이 정리하였으며, 추가 변수인 인식된 일반 규범도 안전 규칙에 대한 근로자의 행동 의도와 관련이 있는지 조사했다. 또한 지각된 일반적 규범이 행동의도에 직접적인 영향을 미치는 것으로 판단하고, 안전수칙에 대한 태도, 주관적 규범, 계획된 행동통제 순으로 나타난다고 했다.

본 연구에서는 합리적 행위이론(TRA), 정보기술수용 모델(ITAM), 기술수용 모델(TAM), 플로우(Flow) 이론 등과 같은 모델들이 안전수칙에 대한 행동의도의 선행연구를 조사하고, 이를 통해 스마트 안전보건활동이 건설근로자 태도, 주관적 규범, 계획된 행동 통제가 매개변수로 의도된 행동 변화에 어떤 영향을 미치는지를 파악하고자 한다.

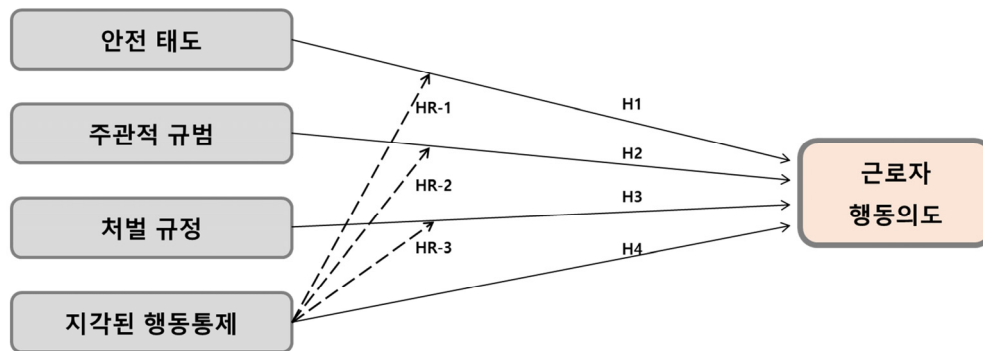


Fig. 1. The relationship model between worker attitude and behavioral intention

### 스마트 안전보건활동

건설 현장의 스마트 안전보건활동은 안전문화·안전의식, 안전보건경영시스템, 체험교육(가상체험, 실물체험), 안전감수성, 가설공법체험 등으로 불안정한 행동으로 발생하는 사고와 근본 원인인 근로자 행동 변화에 어떤 영향을 미치는지 분석하고자 한다. 본 연구는 이론적 배경과 선행연구를 바탕으로 건설근로자의 행동 변화와 관련하여 Fig. 2과 같은 연구모형과 가설을 설정하였다.

연구가설은 스마트 안전보건 활동이 매개변수(태도, 주관적 규범, 계획된 행동 통제)라는 매개를 통하여 근로자 행동 변화에 정(+) 또는 반(-)의 영향을 미친다고 설정하였다.

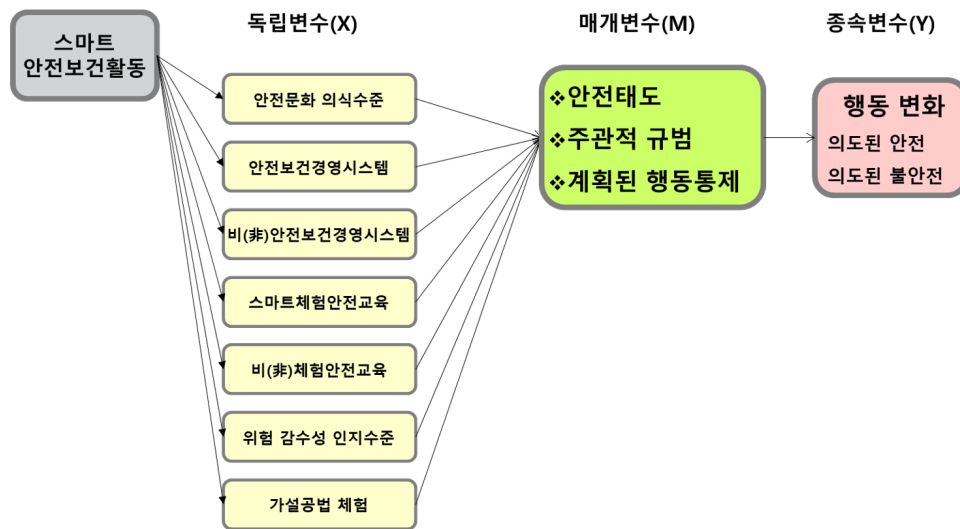


Fig. 2. A study hypothesis model of smart safety and health activities

## 연구 방법

### 연구 조사

건설 현장 종사자(근로자-관리자) 약 420명을 대상으로 설문이 진행되었고, 응답은 근로자 190명(45%)으로 가장 많았다. 척도의 신뢰도와 타당성 분석을 위해서 SAPP 21 버전을 사용하여 탐색적요인 분석과 판별타당도 분석을 진행했으며, 개념 내(內)의 일관된 측정도구를 확인하기 위해 집중타당도 분석을 추가하였다. 회전된 요인에서는 79개 문항중 2개를 제외하고는 모두 잘 조합됨을 확인하였다.

### 척도의 신뢰도와 타당도 분석

설문 문항의 내용 타당도와 신뢰도를 파악하기 위해서 신뢰도 측정의 구성개념을 통하여 여러 번 확인했을 때도 비슷한 결과의 값이 나타났으며, 변수와 요인을 구성하는 항목들 상호 간에 일관성이 있게 만들고, 신뢰도를 높이기 위한 분석 방법으로 크론바하(Cronbach's) 알파 계수를 이용하였다. 그리고 신뢰성의 기준 계수는 0.7 이상의 값을 측정기준으로 선정하였다. 타당도 검사 측정도구는 정확성을 확인하고자 실제로 무엇을 측정하였는가와 조사 분석자가 측정할 수 있는 추상적 개념이 제대로 측정도구에 의해서 적절하게 측정되었는가를 검정하기 위한 분석 방법으로 주성분 분석(PCA)을 이용하였으며, 처음에 도출한 요인의 명확한 해석을 위해 요인 회전은 직각회전법인 Varimax방식이 사용되었고, 요인적재량은 0.4 이상이면 유효한 것으로 기준을 선정하였다.

본 연구의 근로자 행동 변화에 대한 탐색적 요인은 선행연구 표본적합도의 기준 KMO가 0.7 이상이면 적합하며 최소한 0.5 이상이면 받아들일 수 있다고 판단에 근거하여 KMO=0.9320로 상당히 높은 것으로 확인되었으며, Bartlett의 구형성 검정의 근사카이제곱( $\chi^2$ )=26862.06, 자유도(df)=.2775, 유의확률(p)<0.000로 요인분석 모형의 적합성과 유의확률의 적합을 확인했다.

## 연구 분석

### 계획된 행동 통제에 대한 판별타당도 분석

본 연구의 계획된 행동 통제에 대한 판별타당도 분석 결과는 Table 2와 같이 태도의 AVE(평균분산추출)는 0.7907, 개념 신뢰도(C.R) 0.9630로 양호한 수준으로 나타났으며, 가설공법 체험집단의 AVE(평균분산추출)는 0.7415, 개념신뢰도(C.R)는 0.9522로 양호한 수준이며, 주관적 규범의 AVE(평균분산추출)는 0.7138, 개념신뢰도(C.R) 0.9211로 양호한 수준이고, 행동통제의 AVE(평균분산추출)는 0.7926, 개념신뢰도(C.R) 0.9500으로서 판별타당도 분석내용은 기준 설정 값을 모두 만족하는 양호한 수준으로 확인되었다.

**Table 2.** Results of discrimination validity analysis for planned behavior control

구분	안전태도	가설공법체험	주관적 규범	계획된 행동통제	AVE	C.R
안전태도	1				0.7907	0.9630
가설공법체험	.506(.256) ***	1			0.7415	0.9522
주관적 규범	.621(.386) ***	.419(.176) ***	1		0.7138	0.9211
계획된 행동통제	.632(.399) ***	.422(.178) ***	.671(.450) ***	1	0.7926	0.9500

※ Note. \* P < .05, \*\* P < .01, \*\*\* P < .001

### 의도된 행동의 연구 구조모형 분석

본 연구에서는 SPSS 21 통계분석 프로그램을 통하여 Fig. 3과 같은 예측 연구 구조방정식 모형과 4개의 관찰된 변인을 얻었고, 여기서 잠재변인 안전경영시스템은 경영시스템과 비(非)경영시스템으로 하위요소를 구성하였고, 잠재변인 안전체험교육은 체험교육과 비(非)체험교육으로 하위요소를 구성되었다. 잠재변인 안전문화수준은 안전문화, 처벌규정, 안전태도, 주관적 규범으로 하위요소를 구성하였고, 잠재변인 안전예방책은 가설공법체험과 위험감수성, 인지된 행동으로 하위요소를 구성하여 모델링하였다. 궁극적으로 건설업의 안전사고를 줄이고 예방 능력을 향상시키기 위해서 스마트 안전보건활동인 안전보건경영시스템과 체험교육을 실시하여야 한다는 가설에 대한 구조방정식 모형이다.

그리고 연구모형의 적합도는 Table 3과 같이 Model Fit Summary의 CMIN은 Default model NPAR=36, CMIN=389.595, DF=55, P=0.000, CMIN/DF=7.084로 분석이 되었고, RMR과 GFI는 Default model의 RMR=0.939, GFI=0.943, AGFI=0.969, PGFI=0.920으로 모두 0.9 이상으로 모형 적합성이 확인되었다.

본 연구의 의도된 행동의 구조모형 분석결과 Table 4와 같이 연구가설 각 항목인 계획된 행동 ← 안전경영시스템의 Estimates=0.268, SE=0.253, CR=1.062 P=288로 분석되었으며, 계획된행동 ← 안전체험교육의 Estimates=-0.597, SE=0.521, CR=-1.146, P=0.252 분석되었다. 계획된행동←안전문화수준의 Estimates=0.217, SE=0.666, CR=0.326, P=0.744, 위험감수성 ← 안전예방의 Estimates=0.999, SE=0.080, CR=12.434, P=\*\*\*, 안전태도 ← 안전문화수준의 Estimates=1.089, SE=0.085, CR=12.765, P=\*\*\*, 비(非)경영시스템←안전경영시스템의 Estimates=-0.778, SE=0.081, CR=-9.621,

P=\*\*\*, 주관적규범 ← 안전문화수준의 Estimates=1.136, SE=0.100, CR=11.351, P=\*\*\*, 비(非)체험교육 ← 안전체험교육의 Estimates=0.687, SE=0.088, CR=7.824, P=\*\*\*로 확인되었다.

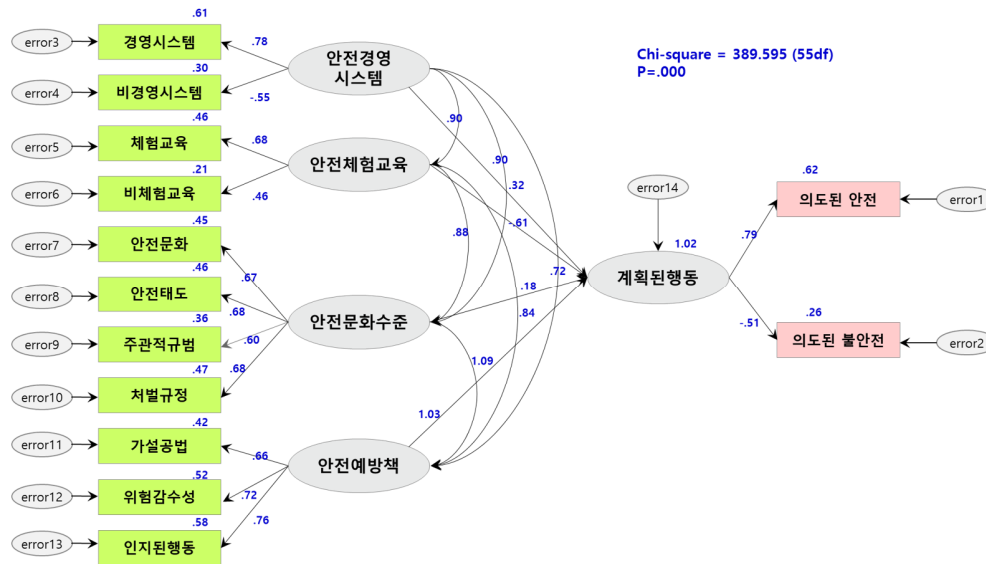


Fig. 3. Research structural model(Structural mode)

Table 3. Results of model suitability analysis of intended behavior

Model	RMR	NFI	PGFI	IFI	AGFI	CFI
Default model	.939	.926	.920	.943	.969	.943

Table 4. Results of the analysis of the degree of concentration on the intended behavior

연구가설	비표준화	표준화	S.E	C.R	P	비고
계획된 행동 ← 안전경영시스템	0.268	0.316	0.253	1.062	.288	기각
계획된 행동 ← 안전체험교육	-0.597	-0.613	0.521	-1.146	.252	기각
계획된 행동 ← 안전문화수준	0.217	0.176	0.666	0.326	.744	기각
계획된 행동 ← 안전예방책	1.187	1.092	0.355	3.341	***	
위험감수성 ← 안전예방책	0.999	0.721	0.080	12.434	***	
안전태도 ← 안전문화수준	1.089	0.678	0.085	12.765	***	
비경영시스템 ← 안전경영시스템	-0.778	-0.549	0.081	-9.621	***	
의도된 불안전 ← 계획된행동	-0.964	-0.513	0.095	-10.189	***	
인지된 행동 ← 안전예방책	1.224	0.762	0.094	12.988	***	
주관적 규범 ← 안전문화수준	1.136	0.596	0.100	11.351	***	
비체험 교육 ← 안전체험교육	0.687	0.463	0.088	7.824	***	
처벌규정 ← 안전문화수준	1.343	0.684	0.104	12.859	***	

※표준화계수 P < 0.001\*\*\*, C.R공식 = Estimates / S.E



### 주요 변수에 대한 경로분석

본 연구의 의도된 안전 및 불안전에 대한 경로모형 분석을 위해 근로자 의도된 안전행동 척도중 가설공법 하위요인(처벌 규정, 경영시스템, 비경영시스템, 주관적 규범)에 대한 평균 점수를 적용한 가설공법 간의 매개를 통해 의도된 안전· 의도된 불안전 행동의 총 효과에 대해 실증분석을 하였다. 주요변수 경로분석은 ‘부트스트랩’ 방법으로 간접효과 유의성 확인했으며, ‘X(독립변인) → M(매개변인) → Y(종속변인)’와 같이 X(독립변인)가 Y(종속변인)에 직접적으로 영향이 미치지 않고, M(매개변인)을 거쳐 효과가 간접적으로 나타나는지를 확인했다. 분석 대상 표본을 기준으로 표본 재추출 및 분석 후 표본별 분석을 진행하고 다시 결합한 후 최종 통계량을 추정하는 방법으로 진행한 결과 Fig. 4과 같은 모형을 얻었다.

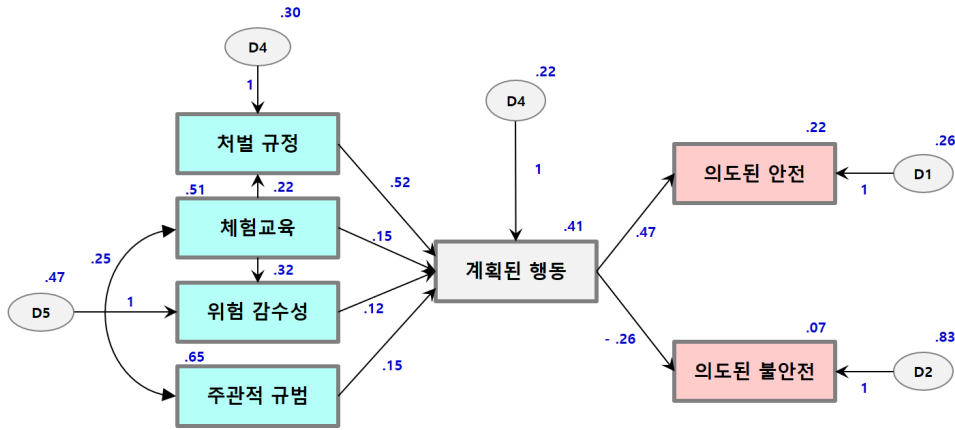


Fig. 4. Analysis of the path model of smart safety and health activities

주요변수의 가설 경로분석 결과는 Table 5와 같이 주관적 규범은 체험교육을 매개로 가설공법체험 간의 간접효과에 대한 표준화 계수는 0.295이며, t값(C.R = 6.586 > 1.96, p<.025)로 유의성이 확인되어 가설이 채택되었다. 그리고 처벌규정은 비(非)안전보건경영시스템을 매개로 가설공법 간의 간접효과에 대한 표준화 계수는 0.154이며, t값(C.R = 3.695 > 1.96, p<.025)로 유의성이 확인되어 가설이 채택되었다. 그 외 비(非)안전보건경영시스템과 가설공법체험에 대한 가설 경로만 기각되고 나머지는 모두 채택되었다.

Table 5. Path analysis of safety and health management system variables

구분	Estimate	S.E.	C.R.	베타(β)	P	비고
경영시스템 ← 처벌규정	0.464	0.041	11.253	0.489	***	
비경영시스템 ← 처벌규정	-0.429	0.048	-8.94	-0.407	***	
가설공법체험 ← 처벌규정	0.179	0.048	3.709	0.202	***	
가설공법체험 ← 경영시스템	0.295	0.045	6.586	0.316	***	
가설공법체험 ← 비경영시스템	-0.036	0.038	-0.927	-0.042	0.354	기각
가설공법체험 ← 주관적규범	0.154	0.042	3.695	0.169	***	
의도된안전 ← 가설공법체험	0.438	0.039	11.153	0.486	***	
의도된불안전 ← 가설공법체험	-0.36	0.064	-5.616	-0.27	***	

스마트 안전보건경영시스템 변인의 경로분석에서 보면 A=0.18(차별규정-가설공법), B=0.46(차별규정-경영시스템), C=0.29(경영시스템-가설공법), D=-0.43(차별규정-비경영시스템), E=-0.04(비경영시스템-가설공법)의 부분 매개효과의 경로를 분석결과 다음과 같은 (1)의 수식을 통해 유효한 값(T=0.296)을 얻을 수 있다.

$$T = A + (B \cdot C + D \cdot E) \tag{1}$$

$$A = 0.18$$

$$B = 0.46, C = 0.29, \therefore B \cdot C = 0.133$$

$$D = -0.43, E = -0.04, \therefore D \cdot E = -0.017$$

$$= 0.296$$

## 연구 결과

### 행동 변화의 '베이지안 모델' 분석 결과

본 연구는 스마트 안전보건활동에 대한 건설근로자의 행동 변화를 베이지안 이론(Bayesian theory)을 통해 가설검증하고, Fig. 5과 같이 베이지안(Bayesian theory) 구조모형을 얻었다. 여기서 잠재변인 공정은 가설공법과 위험감수성로, 위험인지는 인지된 행동과 처벌규정, 체험으로 체험안전교육과 비 체험안전교육, 안전수준은 안전태도, 주관적 규범, 안전문화로 모델링 하였다.

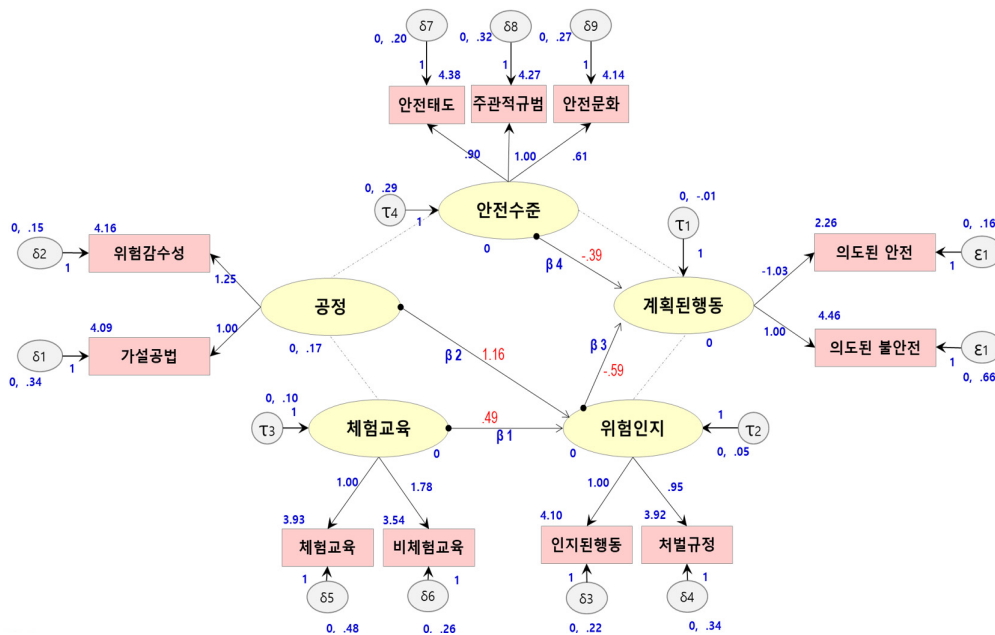


Fig. 5. Bayesian structural equation modeling

본 연구의 회귀 가중치 및 분산에서 ‘우도함수’ 분석 결과는 Table 6와 같이 λ의 부호가 양(+)수이므로 체험식 안전교육은 건설근로자의 계획된 행동과 안전수준의 효과가 증가된다는 것이며, 그리고 여기에 학습효과를 증가시키는 오락적 체험과 심미적 체험이 반영될 때 체험교육에 대한 만족도가 높아지게 된다. 경로계수를 나타내는 β부호의 최소-최대값 모두 음(-)으로 된 수는 의도된 안전에 대한 음(-)의 방향으로 증가된다는 것을 의미한다. 즉 건설근로자의 체험식 교육을 경험하지



못하면 의도된 안전과 인지된 행동이 낮고, 낮아질수록 의도된 불안전 행동이 증가하게 되므로 ‘연구가설’ 근로자의 행동 변화에 영향을 미친다는 결과를 알 수 있다.

**Table 6.** The result of maximum likelihood method in regression weights & variances

Parameter	Mean	S.D.	95% Lower bound	95% Upper bound	Skewness	Kurtosis	Min	Max
$\lambda_2$	0.943	0.079	0.795	1.106	0.208	0.118	0.611	1.374
$\lambda_3$	2.901	1.945	0.997	8.52	1.738	2.885	0.328	11.842
$\lambda_4$	0.917	0.103	0.733	1.139	0.441	0.53	0.542	1.563
$\lambda_5$	0.619	0.08	0.472	0.785	0.287	0.254	0.316	1.036
$\lambda_1$	1.263	0.149	1.014	1.599	0.682	1.053	0.785	2.327
$\beta_2$	0.503	0.148	0.249	0.829	0.612	1.097	0.025	1.655
$\beta_3$	-0.589	0.081	-0.756	-0.439	-0.213	0.113	-1.022	-0.276
$\beta_1$	1.196	0.146	0.936	1.512	0.411	0.431	0.663	2.093
$\beta_4$	-0.402	0.086	-0.582	-0.244	-0.276	0.201	-0.907	-0.079
$\tau_3$	0.087	0.048	0.019	0.198	0.87	1.085	0.011	0.519
$\tau_2$	0.049	0.026	-0.001	0.101	0.076	0.246	-0.069	0.191
$\tau_4$	0.287	0.047	0.202	0.386	0.291	0.207	0.121	0.592
$\tau_1$	-0.007	0.02	-0.046	0.031	-0.046	0.164	-0.106	0.098
$\delta_3$	0.222	0.025	0.176	0.273	0.226	0.128	0.119	0.347
$\delta_4$	0.348	0.031	0.29	0.413	0.251	0.106	0.232	0.505
$\delta_5$	0.505	0.057	0.392	0.613	-0.124	0.284	0.065	0.747
$\delta_6$	0.086	0.339	-0.895	0.434	-1.71	2.854	-1.719	0.623
$\delta_7$	0.199	0.027	0.145	0.254	0.001	0.223	0.051	0.326
$\delta_8$	0.325	0.037	0.255	0.400	0.144	0.112	0.176	0.502
$\delta_9$	0.271	0.023	0.228	0.318	0.238	0.159	0.189	0.414
$\delta_1$	0.349	0.03	0.294	0.411	0.245	0.105	0.243	0.501
$\delta_2$	0.154	0.029	0.095	0.209	-0.251	0.517	-0.014	0.275
$\varepsilon_2$	0.675	0.052	0.58	0.784	0.282	0.144	0.483	0.947
$\varepsilon_1$	0.163	0.023	0.119	0.209	0.119	0.152	0.063	0.276

※ CFI(Comparative Fit Index)= 0.597, NFI(Normed Fit Index)= 0.588, IFI(Incremental Fit Index)=600

경로변수의 베이저안 이론(Bayesian theory) 사후분포 다이어그램은 Fig. 6에서 표현된 평균에 대한 설명은 계산식 (2)로 표현되며, 여기서 N은 MC 관측치의 수, B는 변인 관측치의 수,  $X_i$ 는 i번째 관측 수치에 대한 단일 추정치의 값을 의미한다.

$$\bar{X} = \frac{1}{N-B} (X_{B+1} + X_{B+2} + \dots + X_N) \quad (2)$$

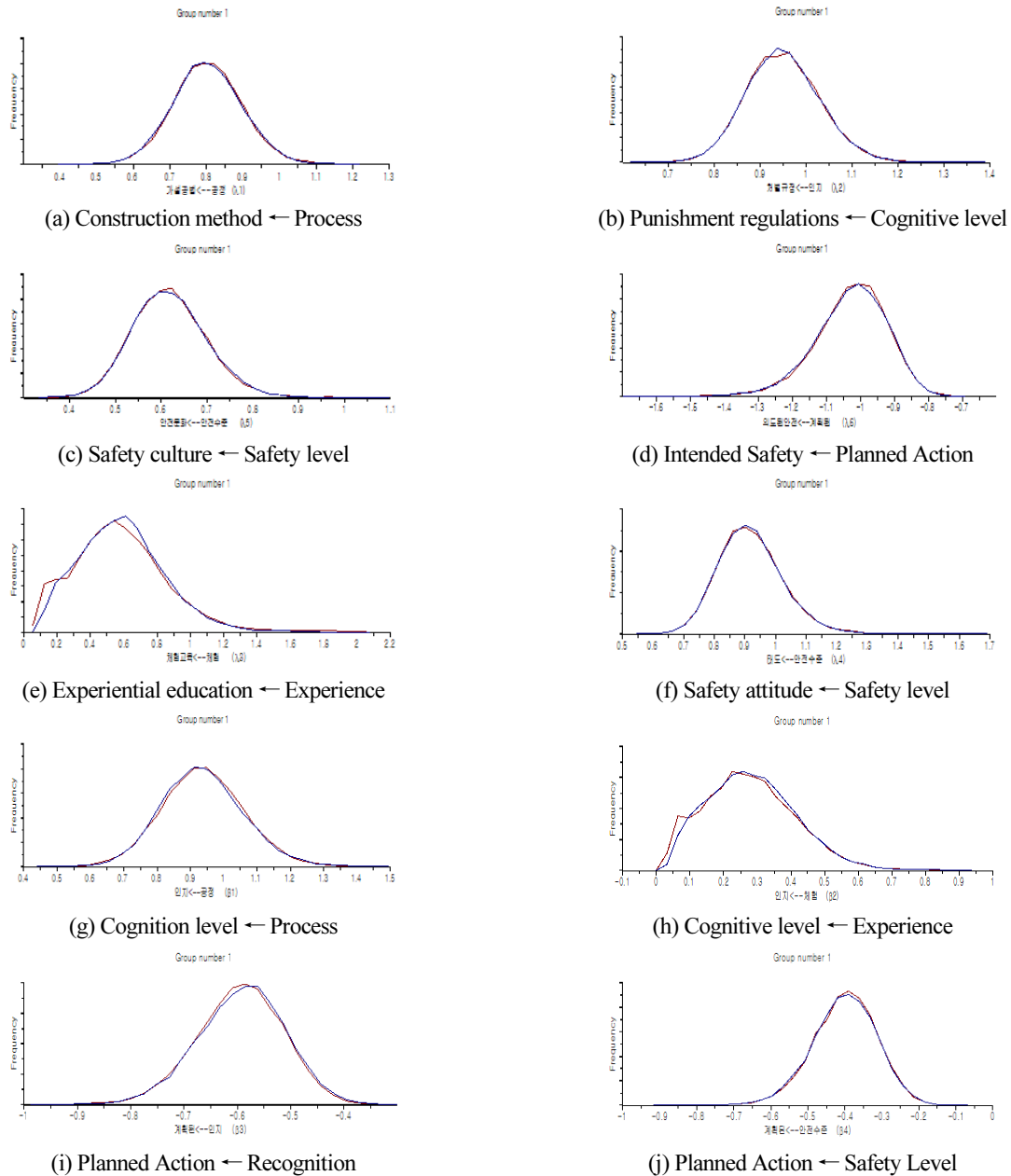


Fig. 6. Bayesian theory post-distribution diagram of path variables

경로의 신뢰구간은 유의성 검증이 목적이 아니고, 구간의 신뢰성 검증을 의미하며, 확률 분포의 비대칭성을 측정하는 왜도(skewness)와 확률 분포의 꼬리의 두께와 꼬리의 중앙 부분의 뾰족함을 측정하는 첨도(kurtosis)를 살펴보면, 왜도는 각각의 관찰 값의 편차에 표준편차를 나눈 값에 3제곱을 하여 합친 값으로 계산식을 표현하면 다음의 (3)과 같다.

$$E = \left[ \left( \frac{X - \mu}{\sigma} \right)^3 \right] \tag{3}$$

왜도(skewness)가 -1보다 작거나 +1보다 크면 분포가 심하게 치우친 것으로 판단하며, 왜도가 -1과 -5사이 또는 +5와 +1사이 이면, 분포가 적정하다고 판단한다. 왜도가 -5와 +5사이 이면, 분포가 거의 비대칭에 가까워 완전한 종 모양이 된다. 그러므로 경로분석 결과에서 (a)가설공법과 (b)처벌규정, (c)안전문화, (g)위험인지는 정규분포에 가까운 결과를 보여주는 사후분포 다이어그램을 확인했다. 그러나 (d)의도된 안전과 (j)계획된 행동 통제는 양수(+)인 오른쪽으로 긴 꼬리를 가지고 분포가 오른쪽으로 치우쳐져 있는 것을 알 수 있었다.

**의도된 행동의 'MC 시뮬레이션' 실증분석 결과**

본 연구에서는 Monte Carlo 시뮬레이션 분석을 활용하여 모델의 핵심 출력에 대한 불확실성의 영향을 도출하고, 시뮬레이션 실행단계에서 모델은 거의 무한한 수의 가능한 조합에서 대표 표본을 만들 수 있는 충분한 결과가 수집될 때까지 반복해서 진행했고, 시뮬레이션 동안 위험 변수의 값은 지정된 확률 분포에 따라 무작위로 생성되도록 했다.

시뮬레이션의 목표인 의도된 행동(의도된 안전과 의도된 불안전)에 대하여 6개월 동안 모의실험 ‘안전문화운동’을 전개한 후 달성할 확률을 파악하는 것과 같이 진행되었으며, 실행할 때마다 모델의 결과(의도된 행동)가 반복 계산되어 통계분석을 위해 저장한 후 통계분석이 위험 분석의 마지막 단계까지 진행했다. 결과 Fig. 7과 같이 의도된 행동의 시뮬레이션 데이터는 1,000,000번 반복하여 ‘확률밀도분포’ 다이어그램을 얻었고, 위험분석에서 활용된 확률분포의 ‘정규분포’는 (b)비체험교육, (d)주관적규범, (g)위험감수성으로 나타남을 확인할 수 있었다.

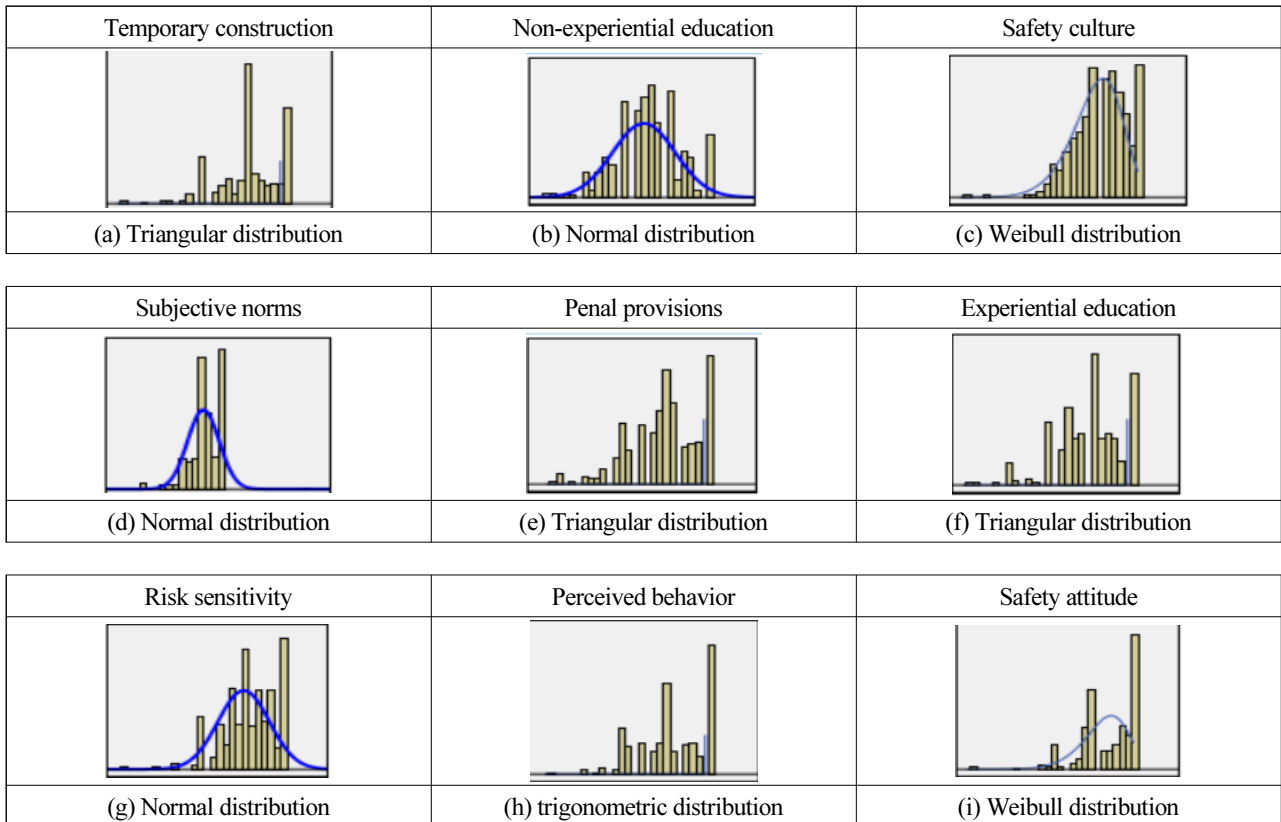


Fig. 7. Results of probability density distribution analysis used in risk analysis

이것을 다시 의도된 행동의 확률밀도분포를 시뮬레이션 해보면 Fig. 8과 같은 분석 결과이며, 분포도를 살펴보면 하위영역 간의 상관관계 계수를 다음과 같이 확인할 수 있다. 의도된 안전(A)과 하위영역 간의 상관관계는 양(+)의 관계가 있으며 상관관계의 강도 순서에 따라서 인지된 행동( $r=0.83$ ), 처벌 규정( $r=0.81$ ), 위험 감수성( $r=0.75$ ), 안전 태도( $r=0.71$ ), 주관적 규범( $r=0.70$ ), 가설공법 체험( $r=0.69$ ), 안전문화( $r=0.64$ ), 체험식 안전교육( $r=0.55$ ), 비(非) 체험교육( $r=0.44$ ) 순으로 나타났고, 의도된 안전(A)은 체험 교육과 비(非)체험 교육뿐만 아니라 인지된 행동, 처벌 규정, 위험감수성 등의 수치에서도 상관관계가 높다는 것을 확인할 수 있으며, 이는 건설근로자의 행동 변화는 여러 가지 요인에 의해서 달라진다는 것을 알 수 있었다.

그리고 본 연구 결과 의도된 불안전(B)은 음(-)방향의 상관관계가 나타나고, 인지된 행동이 낮을수록, 주관적 규범이 낮을수록, 안전 태도가 낮을수록, 처벌 규정을 낮게 인식할수록, 위험감수성 및 안전문화 인식이 낮을수록, 가설비계 체험, 갯폼 체험, 가설 작업대 체험 등의 체험교육의 경험이 낮을수록 안전행동 < 불안전행동이 높고, 사고 위험이 증가하는 것을 볼 수 있다. 즉 안전체험교육을 받지 않을수록 건설근로자 행동은 음(-) 방향으로 증가하는 것이 확인된다. 그리고 비(非) 체험교육 집단일수록 의도된 불안전한 행동(B)이 나타나고, 안전 체험교육을 이수한 건설근로자는 의도된 안전 행동(A)이 나타나고 있는 결과를 시뮬레이션 통해 얻을 수 있었고, 가설이 검증되었다.

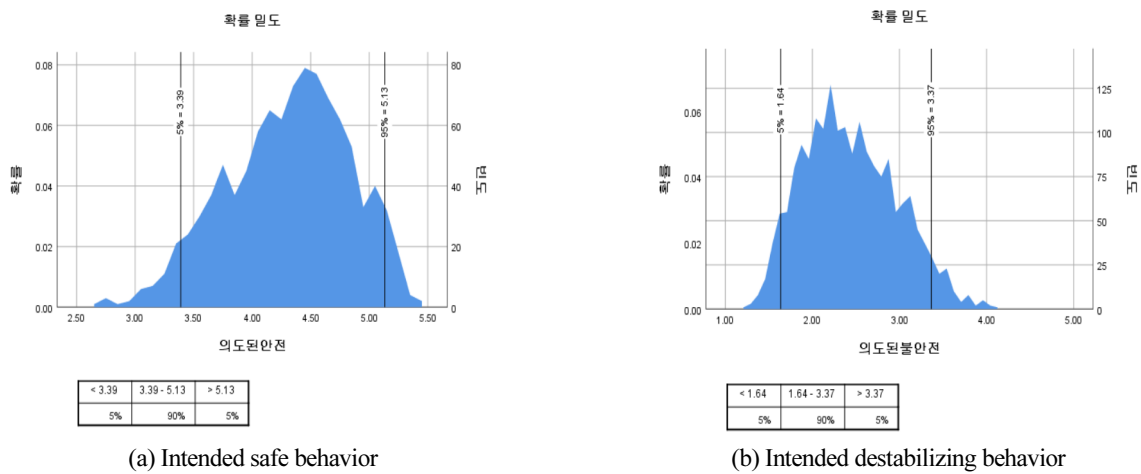


Fig. 8. Analysis of probability density distribution of intended safety and intended anxiety

### 결론 및 제언

연구 결과 스마트 안전보건활동의 확률밀도분포를 보면 의도된 불안전(B)은 음(-)수 방향의 상관관계가 나타났다. 이는 인지된 행위 낮을수록, 주관적 규범이 낮을수록, 안전 태도가 낮을수록, 처벌 규정을 낮게 인식할수록, 위험감수성 및 안전문화 안전의식이 낮을수록, 가설공법체험(비계체험, 갯폼체험, 가설작업대체험), 가상체험교육 등의 경험이 낮을수록 안전한 행동보다 불안전한 행동의 확률이 높고, 안전사고 위험이 증가하는 결과를 확인할 수 있었다.

건설근로자의 의도된 안전한 행동에 미치는 영향 분석으로 베이지안모델과 MC시뮬레이션의 확률밀도분포 분석에서 스마트 안전보건활동을 접하지 않은 근로자일수록 작업 중에 나타나는 행동은 불안전한 행동(B)이 증가한다는 근거는 확률밀도분포도 종모양이 비대칭 음(-)수 방향으로 치우치는 것을 보면 알 수 있다. 그러므로 불안전한 행동으로 인하여 안전사고 발

생 가능성이 높음을 추정할 수 있었다. 반대로 체험교육과 스마트 안전보건활동을 접한 근로자는 의도된 안전 행동(A)이 나타나고 있는 결과를 얻을 수 있었고, 연구의 독립변수(X)로 제시된 체험교육과 스마트 안전보건활동을 접한 근로자는 모든 작업에서 의도된 안전 행동을 한다는 분석이 가장 높게 나타남을 알 수 있었고, 이는 결국 작업중에 근로자의 불안전 행동이 줄어들므로 안전사고가 감소할 수 있다는 결과로 귀결되며, 연구에서 제시한 가설은 검증과 건설 현장에서 근로자의 행동을 변화시키기 위해서는 체험교육과 스마트 안전보건활동이 매우 중요한 항목이란 것을 알 수 있었다. 그러므로 스마트 안전보건활동은 산업재해 예방대책으로 중대산업재해 감소에 많은 영향을 미칠 것이므로 향후 후행 연구자들이 건설현장에 대한 스마트 체험교육과 안전보건활동의 연구가 계속 진행되기를 기대하면서 연구를 마친다.

## References

- [1] Ban, H.-S. (2008). Comparative Analysis of Safety Experience Facilities. Master Thesis, Graduate School of Urban Sciences, University of Seoul.
- [2] Cho, C.-H. (2023). "A study on behavior changes in workers who completion of experiential safety education." *Journal of the Society of Disaster Information*, Vol. 19, No. 1, pp. 161-172.
- [3] Cho, C.-H. (2023). "A study on the necessity of reducing industrial accidents through the introduction of the fair wage system." *Journal of the Society of Disaster Information*, Vol. 19, No. 1, pp. 1-9.
- [4] Choi, H. (2019). A Study on Construction Site VR Experience Safety Education in the Era of the 4th Industrial Revolution. Master Thesis, Kyonggi University Graduate School of Engineering.
- [5] Chung, H.H. (2021). "A study on the effects of convergence learning using virtual reality on educational effectiveness in safety experience center activities among elementary school students." *The Korean Society of Science & Art*, Vol. 39, No. 4, pp. 461-473.
- [6] Jang, Y.-H. (2022). A Study on the Improvement of Safety Experience Facility Planning Standards. Ph. D. Dissertation, Seoul National University of Science and Technology.
- [7] Kim, J. (2019). An Empirical Study on the Effect of Construction Safety Education using Virtual Augmented Reality on Accident Prevention. Ph. D. Dissertation, Myongji University Graduate School.
- [8] Kim, K. (2019). A Study on the Introduction of VR Education Methods to Increase Field Safety Education Effects. Master Thesis, Kyunghee University.
- [9] Kim, S.H., Leem, C.S. (2020). "Factors affecting the transfer intention of VR construction safety training: A task-technology fit perspective." *Journal of Global Business*, Vol. 17, No. 3, pp. 300-318.
- [10] Kim, Y.-G. (2021). "[Project report] Iksan safety experience training center." *Review of Architecture and Building Science*, Vol. 65, No. 9, pp. 70-73.
- [11] Lim, B.-S. (2017). A Study on the Activation of Safety Experience Education for Construction Site Workers. Master Thesis, Graduate School of Construction and Industry, Kyonggi University.
- [12] Moon, S.-I. (2019). A Study on Effectiveness Improvement Plans for Safety and Health Education. Master Thesis, Graduate School, University of Ulsan.
- [13] Moon, S.-I. (2022). A Study on the Effects of Safety Experience Education Using VR on Safety Accident Prevention and Safety Education Satisfaction. Ph. D. Dissertation, Graduate School, University of Ulsan.