휴먼에러를 중심으로 한 위험요인 도출 방법론에 관한 연구

정상고 · 장성록*

부경대학교 안전공학과

(2013. 9. 9. 접수 / 2014. 4. 25. 채택)

A Study on the Risk Assessment System for Human Factors

Sang Kyo Jung · Seong Rok Chang[†]

Department of Safety Engineering, Pukyong National University

(Received September 9, 2013 / Accepted April 25, 2014)

Abstract : Human error is one of the major contributors to the accidents. A lot of risk assessment techniques have been developed for prevention of accidents. Nevertheless, most of them were interested in physical factors, because quantitative evaluation of human errors was difficult quantitatively. According to lack of risk assessment techniques about human errors, most of industrial risk assessment for human errors were based on data of accident analysis. In order to develop an effective countermeasure to reduce the risk caused by human errors, a systematic analysis is needed. Generally, risk assessment system is composed of 5 step(classification of work activity, identification of hazards, risk estimation, evaluation and improvement). This study aimed to develop a risk identification technique for human errors that could mainly be applied to industrial fields. In this study, Ergo-HAZOP and Comprehensive Human Error Analysis Technique were used for developing the risk identification technique. In the proposed risk identification technique, Ergo-HAZOP was used for broad-brush risk identification. More critical risks were analysed by Comprehensive Human Error Analysis Technique. In order to verify applicability, the proposed risk identification technique was applied to the work of pile head cutting. As a consequence, extensive hazards were identified and fundamental countermeasures were established. It is expected that much attention would be paid to prevent accidents by human error in industrial fields since safety personnel can easily find out hazards of human factors if utilizing the proposed risk identification technique.

Key Words : human error, Ergo-HAZOP, comprehensive human error analysis technique, risk assessment system

1. 서론

Heinrich는 불안정한 행동의 원인으로 지식의 부족(Lack of Knowledge), 기능의 미흡(Insufficient Skill), 태도의 불량(Improper Attitude), 휴먼에러(Human Error) 등 4가지를 들었다¹⁾. 하지만 최근에 와서는 지식의 부족이나 기능의 미흡도 관리 활동의 부적절에 기인하는 것이므로 휴먼에러의 범주에 포함시켜야 한다고 주장하는 학자들도 있다. 반면 태도의 불량은 고의적인 규정위반(Intentional Violation)으로 파악되어야 한다는 주장이 높다²⁾. 본 연구에서 말하는 휴먼에러의 범위는 이와 같이 고의적인 규정위반에 의한 에러를 제외한 휴먼에러를 모두 포함하는 범위로 설정하였다.

이러한 휴먼에러가 고장이나 사고에 얼마나 많은 영향을 미치는지에 대한 연구는 오래전부터 이루어져 왔다. Meister는 장비고장의 약 20%~30%가 직·간접적으

로 휴먼에러에 의해 기인한다고 하였다³⁾. Dhillon은 시스템 고장의 상당비율이 휴먼에러에 기인하는데, 전자 장비에서 고장의 약 50%~70%가 인간에 의해 유발되고, 항공기 시스템에서는 고장의 50%~60%가 휴먼에러에 의하여 발생한다고 연구하였다⁴⁾. 또한 Rouse & Rouse는 항공, 전력생산 및 공정작업에서 주요한 사고의 60%~90%가 휴먼에러에 의해 발생한다고 하였다⁵⁾.

하지만 이러한 휴먼에러에 대한 정량적인 측정이나 평가가 쉽지 않다. 이로 인해 현재 산업현장에서는 주로 물적 요인에 치중해서 위험성 평가가 이루어지다 보니 인적요인과 물적 요인간의 긴밀한 인과관계가 소홀히 취급되었다. 실제로 현재 화학플랜트나 해양플랜트 산업에서 가장 널리 쓰이는 위험성 평가 기법은 주로 물적 요인에 대해 평가하는 HAZOP(Hazard and Operability study)이나 FMEA(Failure Mode and Effects Analysis)등이 주로 사용되고 있다⁶⁾.

* Corresponding Author : Seong Rok Chang, Tel : +82-51-629-6468, E-mail : srchang@pknu.ac.kr

Department of Safety Engineering, Pukyong National University, 365, Sinseon-ro, Nam-Gu, Busan 608-739, Korea

Table 1. Comparison of accident analysis techniques²⁾

	Learnability	Cause of human errors
Checklist	◎	X
Fish-Bone Diagram	○	X
Event Tree Analysis	○	X
Fault Tree Analysis	X	△
MORT	X	X
Accident Dynamics	○	X
Root Cause Analysis	○	X
Variation Tree Analysis	X	X

또한 사고원인을 분석하는 사고 원인 조사 기법들도 휴먼에러에 대한 접근성은 미약한 수준이다. Table 1에는 여러 가지 사고 원인 분석 기법들의 학습용이성 및 휴먼에러 원인에 대한 접근성에 대한 정도를 나타내었다²⁾.

여러 가지 사고 원인 분석 기법들 중 FTA(Fault Tree Analysis)가 휴먼에러 원인에 대한 접근성을 조금 가지고 있을 뿐 다른 기법들에서 그 가능성을 찾기란 쉽지 않다.

이렇듯 휴먼에러에 대한 정량적인 평가를 할 수 있는 기능과 높은 사용성을 갖춘 위험성 평가 기법의 부재로 인해 휴먼에러에 대한 위험성 평가는 추상적으로 이루어지기 쉽다. 또한 산업현장에서의 다양한 경험과 휴먼에러에 대한 전문적인 지식을 모두 갖춘 전문가들의 부족으로 인해 휴먼에러에 대한 위험요인 도출은 주로 재해분석 자료에 근거해서 이루어지다 보니 새로운 위험요인을 도출하는 것이 쉽지 않다.

본 연구에서는 이러한 문제점들을 해소하고자 휴먼에러에 대하여 Ergo-HAZOP⁹⁾을 이용하여 인간의 행위를 변수로 하여 위험 요인을 도출하고, 고위험도를 가지는 위험요인에 대해서는 통합적 휴먼 에러 분석 모델¹⁰⁾을 이용하여 상세분석을 할 수 있는 위험요인 도출 방법론에 대해 연구 하였다.

2. 위험요인 도출 방법론

현재 위험성 평가 시스템은 Fig. 1과 같이 공정선택 단계, 위험요인 도출 단계, 위험도 계산 및 평가단계, 개선대책 수립 순으로 이루어진다⁷⁻⁸⁾.

본 연구에서는 이러한 일련의 단계들 중 휴먼에러로 인한 위험요인을 도출하는 방법론에 대해 연구하였으며, 제안하는 방법론은 Ergo-HAZOP과 통합적 휴먼에러 분석 모델을 기초로 하여 연구하였다. Ergo-HAZOP은 작업에 행해지는 인간의 행위와 지침어(Guide-

Fig. 1. Flow of risk assessment system

words)를 조합하여 위험요인을 도출하는 방법론이기 때문에 폭넓고 쉽게 작업에 대한 위험요인을 도출할 수 있는 장점이 있다⁹⁾. 하지만 작업자의 행위만으로 위험요인을 도출하기 때문에 작업 및 시스템을 설계, 제조 및 설치하는 과정에서의 에러로 인한 위험요인을 도출하기는 쉽지 않다. 또한 산업현장에서는 휴먼에러로 인한 위험요인을 도출하더라도 휴먼에러를 야기시키는 원인을 제거하거나 적절한 개선대책을 수립하기가 쉽지 않다. 이러한 점을 보완하기 위해 통합적 휴먼에러 분석 모델을 추가하였다. 통합적 휴먼에러 분석 모델은 작업자, 시스템의 에러 원인뿐 만 아니라 설계 단계에서의 에러와 원인을 분석할 수 있기 때문에¹⁰⁾ 근본적인 대책 수립을 도모할 수 있다.

2.1 위험 요인 도출(Ergo-HAZOP)

기존의 HAZOP은 유량, 온도, 압력등과 같은 공정변수를 변수로 하여 지침어와의 조합을 통해 이탈현상을 규명하는 방식으로 전개되었다. 이러한 HAZOP을 공간으로 해서 차다, 누르다, 빠다 등과 같이 인간의 행위를 변수로 하여 HAZOP과 같은 방식으로 이탈현상을 규명하고 사고로 전개되어 가는 사고 메커니즘을

Fig. 2. Flow of revised risk assessment system

Fig. 3. Conceptual comparison of HAZOP and Ergo-HAZOP⁹⁾

밝히는 방식으로 전개되는 것이다. 즉, 인간이 실수를 저질렀을 때나 건망증, 지식의 부족 등 여러 가지 원인으로 인해 정상상태에서 벗어난 행위를 함으로 인해 사고로 이어진다는 것이 Ergo-HAZOP의 기본 개념인 것이다⁹⁾.

이러한 인간의 행위는 재해분석을 통해 사고와 밀접한 관계가 있는 동작 45가지로 분류되었고 지침어와 조합된 조합표를 통해 위험요인을 도출하는 방식이다. 본 연구에서는 산업안전보건공단에서 제공하는 2007~2010년 산업재해 원인조사 보고서¹¹⁻¹⁴⁾를 분석하여 기존의 Ergo-HAZOP의 조합표에서 ‘미끄러지다’, ‘휘두르다’와 같이 지침어와 조합되지 않더라도 인간의 행위 그 자체만으로 위험요소로 발전할 수 있는 행위와 2인 이상의 작업에서 사고로 발전 시킬 수 있는 행위들을 선별하여 이에 대한 항목을 추가 하였으며, 지침어와 인간의 행위가 조합되었을 때 ‘추가로 미끄러지다’, ‘부분만 서다’와 같이 부적절한 조합은 제거하는 등 부분적으로 수정하였다.

2.2 통합적 휴먼 에러 분석 모델

인적 요인에 대해 원인분석을 하기 위해 연구된 몇몇 모델들은 각각 학자의 연구 목적이나 관심에 따라 개발된 것이므로, 휴먼에러를 야기하는 인지적 과정이나 심리적 특성에 초점을 맞춘 것이 많은 반면, 휴먼에러의 근본적인 원인에 맞추어 구체적으로 작업 상황에서 무엇을 개선해야 하는지 제시하는 기능이 부족하였다. 이러한 문제점들을 개선하고자 이관석 등은 산업 현장에서 발생하는 휴먼에러의 원인을 규명하고, 개선점을 도출하기 위하여 통합 모델을 개발하였다¹⁴⁾. 이 모델은 인적 요소들과 관련된 여러 요인들의 사고 연쇄를 차례대로 체계적으로 검토할 수 있는 기능적 틀을 제시할 수 있다는 데서 가장 큰 장점을 찾을 수 있다. 즉, 이 분석의 1단계에서는 시스템 운용 및 폐기

단계에서 발생한 에러를 대상으로 작업자의 정보처리 과정을 주로 검토하며, 2단계에서는 사용자의 행동과 판단에 영향을 미친 행동형성요인(Performance Shaping Factors)들과 배후 요인들의 해당 여부를 분석한다. 이어, 3단계에서는 시스템의 설계 및 개발 혹은 설치 단계에서 발생한 시스템 설계자의 에러 요인을 분석하며, 4단계에서는 다시 설계자의 행동과 판단에 영향을 미친 조직적, 관리적 배후 요인들을 분석한다¹⁵⁾.

이러한 단계들을 통하여 도출된 근본적인 원인을 바탕으로 개선대책을 수립함으로써 인해 근본적인 위험의 제어가 가능하게 되는 것이다.

3. 적용 사례

본 연구에서 제안한 위험요인 도출 방법론을 건설업의 파일(Pile) 두부정리 작업을 대상으로 다음과 같이 적용하여 위험성 평가를 하였다.

3.1 작업개요

파일 두부정리 작업개요는 Fig. 4와 같이 작업자가 그라인더(grinder)를 들고 파일주위를 돌며 파일의 끝단을 절단하는 작업이다. 작업자는 쪼그려 앉은 상태로 이동하며 절단작업을 하고 있으며, 지면 상태는 고르지 못하고 물기가 많으며 단단하지 못한 상태이다.

3.2 위험요인 도출

위험요인을 도출하기 위해 먼저 예상되는 인간행위요인을 나열된 인간행위요인 중에서 선택하고, 지침어와 조합하였다. 이러한 작업에 행해지는 인간 행위는 작업 절차서 및 작업 영상을 분석하였으며, 작업에 행해지는 인간의 행위와 지침어의 조합들 중에서 Fig. 5

Fig. 4. Pile head cutting

	Act of Human	Quick Word									
		No. 1st. More	More, High, Large, Fast	Less, Low, Small, Slow	Part of	As Well As	Reverse	Other Than	Risk of act		
Hand	Grasp/Grip/Upbold	No grasp	More Grasp	Less Grasp	Grasp part of something	As Well as grasp for something	Grasp Reverse	Grasp for Other than something			
	Full	No full	More Full	Less Full	Full part of something	As Well as full for something	Full Reverse	Full for Other than something	Full		
	Push/Pulse	No push	More push	Less push	Push part of something	As Well as push for something	Push Reverse	Push for Other than something	Push/Pulse		
	Press	No press	More press	Less press	Press part of something	As Well as press for something	Press Reverse	Press for Other than something			
	Stretch	No stretch	More stretch	Less stretch	Stretch part of something	As Well as stretch for something	Stretch Reverse	Stretch for Other than something			
	Touch	No touch	More touch	Less touch	Touch part of something	As Well as touch for something	Touch Reverse	Touch for Other than something	Touch		
	Stroke	No stroke	More stroke	Less stroke	Stroke part of something	As Well as stroke for something	Stroke Reverse	Stroke for Other than something			
	Polish	No polish	More Polish	Less Polish	Polish part of something	As Well as Polish for something	Polish Reverse	Polish for Other than something			
	Lift up	No lift up	More Lift up	Less Lift up	Lift up part of something	As Well as Lift up for something	Lift up Reverse	Lift up for Other than something			
	Lay	No lay	More Lay	Less Lay	Lay part of something	As Well as Lay for something	Lay Reverse	Lay for Other than something			
	Spin	No spin	More Spin	Less Spin	Spin part of something	As Well as Spin for something	Spin Reverse	Spin for Other than something			
	Shake	No shake	More Shake	Less Shake	Shake part of something	As Well as Shake for something	Shake Reverse	Shake for Other than something			
	Throw	No throw	More Throw	Less Throw	Throw part of something	As Well as Throw for something	Throw Reverse	Throw for Other than something	Throw		
	Stab	No stab	More Stab	Less Stab	Stab part of something	As Well as Stab for something	Stab Reverse	Stab for Other than something			
	Swing	No swing	More Swing	Less Swing	Swing part of something	As Well as Swing for something	Swing Reverse	Swing for Other than something	Swing		
	Hit	No hit	More Hit	Less Hit	Hit part of something	As Well as Hit for something	Hit Reverse	Hit for Other than something	Hit		
Arm	Indoctrinate	No indoctrinate	More indoctrinate	Less indoctrinate	Indoctrinate part of something	As Well as indoctrinate for something	Indoctrinate Reverse	Indoctrinate for Other than something			
	Extract	No Extract	More Extract	Less Extract	Extract part of something	As Well as Extract for something	Extract Reverse	Extract for Other than something			
	Assemble	No Assemble	More Assemble	Less Assemble	Assemble part of something	As Well as Assemble for something	Assemble Reverse	Assemble for Other than something			
	Disassemble	No Disassemble	More Disassemble	Less Disassemble	Disassemble part of something	As Well as Disassemble for something	Disassemble Reverse	Disassemble for Other than something			
	Incline	No incline	More incline	Less incline	Incline part of something	As Well as incline for something	Incline Reverse	Incline for Other than something	Incline		
	Evert	No Evert	More Evert	Less Evert	Evert part of something	As Well as Evert for something	Evert Reverse	Evert for Other than something			
	Roll	No Roll	More Roll	Less Roll	Roll part of something	As Well as Roll for something	Roll Reverse	Roll for Other than something			
	Scratch	No scratch	More Scratch	Less Scratch	Scratch part of something	As Well as Scratch for something	Scratch Reverse	Scratch for Other than something			
	Hang	No hang	More Hang	Less Hang	Hang part of something	As Well as Hang for something	Hang Reverse	Hang for Other than something			
	Turn on	No Turn on	More Turn on	Less Turn on	Turn on part of something	As Well as Turn on for something	Turn on Reverse	Turn on for Other than something			
Leg	Turn Off	No Turn off	More Turn off	Less Turn off	Turn off part of something	As Well as Turn off for something	Turn off Reverse	Turn off for Other than something			
	Slip	No Slip	More Slip	Less Slip	Slip part of something	As Well as Slip for something	Slip Reverse	Slip for Other than something	Slip		
Foot	Step	No step	More Step	Less Step	Step part of something	As Well as Step for something	Step Reverse	Step for Other than something			
	Kick	No kick	More Kick	Less Kick	Kick part of something	As Well as Kick for something	Kick Reverse	Kick for Other than something			
Body	Stand	No stand	More Stand	Less Stand	Stand part of something	As Well as Stand for something	Stand Reverse	Stand for Other than something			
	Sit	No sit	More sit	Less sit	Sit part of something	As Well as Sit for something	Sit Reverse	Sit for Other than something			
	Bend	No bend	More Bend	Less Bend	Bend part of something	As Well as Bend for something	Bend Reverse	Bend for Other than something			
	Spread	No spread	More Spread	Less Spread	Spread part of something	As Well as Spread for something	Spread Reverse	Spread for Other than something			
	Twist	No twist	More Twist	Less Twist	Twist part of something	As Well as Twist for something	Twist Reverse	Twist for Other than something			
	Lay Down	No Lay Down	More Lay Down	Less Lay Down	Lay Down part of something	As Well as Lay Down for something	Lay Down Reverse	Lay Down for Other than something			
	Prostrate	No prostrate	More Prostrate	Less Prostrate	Prostrate part of something	As Well as Prostrate for something	Prostrate Reverse	Prostrate for Other than something			
	Tuck	No tuck	More Tuck	Less Tuck	Tuck part of something	As Well as Tuck for something	Tuck Reverse	Tuck for Other than something			
	Dress	No dress	More Dress	Less Dress	Dress part of something	As Well as Dress for something	Dress Reverse	Dress for Other than something			
	Disrobe	No disrobe	More Disrobe	Less Disrobe	Disrobe part of something	As Well as Disrobe for something	Disrobe Reverse	Disrobe for Other than something	Disrobe		
	Walk	No walk	More Walk	Less Walk	Walk part of something	As Well as Walk for something	Walk Reverse	Walk for Other than something			
	Run	No run	More Run	Less Run	Run part of something	As Well as Run for something	Run Reverse	Run for Other than something			
	Lean	No lean	More Lean	Less Lean	Lean part of something	As Well as Lean for something	Lean Reverse	Lean for Other than something			
	Jump	No jump	More Jump	Less Jump	Jump part of something	As Well as Jump for something	Jump Reverse	Jump for Other than something	Jump		
	Maintain/Shake/Retire	No Shake	More Shake	Less Shake	Shake part of something	As Well as Shake for something	Shake Reverse	Shake for Other than something			

Fig. 5. Combinatorial analysis of human actions in pile head cutting

와 같이 위험요인으로 발전할 수 있는 이탈현상을 도출하였다. 두부정리와 관련이 있는 인간행위로는 그라인더를 잡을 때의 ‘잡다’ 행위와, 불안정한 자세를 유지하기 위한 ‘유지하다’, 그라인더 전기선을 권상하는 ‘걸다’ 행위 등 총 9가지 행위를 도출하였고, 지침어와 조합을 통해 사고로 발전할 수 있는 6가지의 이탈현상을 도출하였다.

사고로 발전할 수 있는 이탈현상을 도출하고, Fig. 6과 같이 이러한 이탈현상들이 어떻게 사고로 이어지는지 사고메커니즘과 재해 형태를 기입하였다. 두부정리 작업에는 그라인더를 잡지 못하고 놓쳤을 때 작업자와 날이 접촉할 수 있는 위험과, 작업이 끝난 뒤 그라인더를 빠르게 빼내다가 주변 작업자와 날이 접촉할 수 있는 위험만 만 아니라 그라인더의 전기선을 권상하지

Work activity	Deviation	Predicted accident	Classification	S	F	Risk	Result	Countermeasure
Pile head cutting	Not grasp	When workers miss the grinder, workers come into contact with blade.	Contact					
	Quickly extract	When worker extract the grinder quickly, adjacent workers come into contact with blade.	Contact					
	Slip	When workers slip, workers come into contact with blade.	Contact					
	Not hang	When cables aren't hung, workers are electrocuted.	Electric shock					
		When cables aren't hung, workers overturn by cables.	Overturn					
	Not lean	When workers can't lean or keep a posture, workers come into contact with blade.	Contact					
	Not keep							

Fig. 6. Identification of hazards in pile head cutting

못하였을 때 감전 및 전도 위험이 있는 것으로 분석되었다.

3.3 위험도 계산 및 평가

본 사례에서는 한국산업안전보건공단의 위험도 계산 및 평가 방법⁷⁾을 사용하였으며, 향후 본 위험성 평가 시스템을 사용할 경우 위험도 계산 및 평가 방법은 적용 산업이나 회사 실정에 맞게 사용자가 선택하도록 권장한다.

위험도 계산 및 평가 결과 Fig. 7과 같이 나왔으며, 평가 점수가 가장 높은 전기선을 권상하지 못하였을 때, 감전 위험에 대하여 원인 분석 및 개선대책을 수립하도록 결정하였다.

3.4 원인 분석

원인분석의 첫 번째 단계는 예상되는 사고가 일어날 때 당시의 인적 요소를 모두 기입하였다. 그라인더 전기선을 권상하지 못함에 따른 감전사고 발생 당시의 작업자 에러는 Fig. 8과 같이 업무계획에서 피복상태 확인하는 것을 잊었거나, 물이 있는 지면에 전기선이

Work activity	Deviation	Predicted accident	Classification	S	F	Risk	Result	Countermeasure
Pile head cutting	Not grasp	When workers miss the grinder, workers come into contact with blade.	Contact	3	2	6	Insignificant risk	
	Quickly extract	When worker extract the grinder quickly, adjacent workers come into contact with blade.	Contact	4	2	8	Minor risk	
	Slip	When workers slip, workers come into contact with blade.	Contact	3	2	6	Insignificant risk	
	Not hang	When cables aren't hung, workers are electrocuted.	Electric shock	4	3	12	Considerable risk	
		When cables aren't hung, workers overturn by cables.	Overturn	3	3	9	Minor risk	
	Not lean	When workers can't lean or keep a posture, workers come into contact with blade.	Contact	3	1	3	Negligible risk	
	Not keep							

Fig. 7. Risk estimation and evaluation

Life cycle		System design and installation			System operation and disuse				
		Design	Production	Installation	Plan	Test	Operation	Check	Destruction
		LC-1	LC-2	LC-3	LC-4	LC-5	LC-6	LC-7	LC-8
Information Processing	Sensory Register								
	Perception								
	Working Memory				Worker forget the check of covering.				
	Choice of reaction						Cable on the ground		
	Execution of reaction						Worker slip.		
	Environmental feedback								
PSF	Man								
	Machine								
	Method								
	Environment								
	Management								

Fig. 8. Cause analysis - Phase 1

접촉하도록 방지하고, 몸의 중심을 잃어 신체가 접촉하는 등의 요인들을 모두 분석하는 단계이다.

두 번째 단계는 1단계에서 분석된 에러 행위자의 행동에 영향을 준 행동형성요인들을 찾아서 기입하였다. Fig. 9와 같이 피복상태 확인하는 것을 잊은 행위는 조급함이나 서두름 등의 개인적인 요소뿐 만 아니라 안전교육 미흡, 전기기구 점검 미흡 등의 관리적인 요소에 기인한 것이다. 또한 그라인더 전기선을 지면에 놓는 에러는 전기선을 권상할 수 있는 장치나 시설의 부재에 기인한 것으로 분석되었다.

세 번째 단계에서는 시스템 설계 및 설치 과정에서 근본적으로 원인을 찾아내는 단계이다. Fig. 10과 전기선을 권상할 수 있는 시설의 부재는 작업 설치 단계에서 전기선 권상에 대한 점을 고려하지 않았기 때문이며, 작업자가 불안정한 자세가 지속되고 불안정한 지면 위에서 지속적으로 작업이 이루어지는 것은 지면상태와 작업 자세에 대한 위험을 고려하지 않은 이유에서 기인한다. 또한 안전교육 미흡이나 전기기구 점검 미흡은 교육 매뉴얼의 작성이 미흡하거나 안전교육을 제대로 실시하지 않은 것에서 기인한다.

Life cycle		System design and installation			System operation and disuse				
		Design	Production	Installation	Plan	Test	Operation	Check	Destruction
		LC-1	LC-2	LC-3	LC-4	LC-5	LC-6	LC-7	LC-8
Information Processing	Sensory Register								
	Perception								
	Working Memory				Worker forget the check of covering.				
	Choice of reaction						Cable on the ground		
	Execution of reaction						Worker slip.		
	Environmental feedback								
PSF	Man				Hastiness, Carelessness		Hastiness, Carelessness		
	Machine						No device for a cable winding		
	Method						Continuance of instable posture		
	Environment						Instability of the ground		
	Management				Insufficient safety education	Insufficient check about electric device			

Fig. 9. Cause analysis - Phase 2

Life cycle		System design and installation			System operation and disuse				
		Design	Production	Installation	Plan	Test	Operation	Check	Destruction
		LC-1	LC-2	LC-3	LC-4	LC-5	LC-6	LC-7	LC-8
Information Processing	Sensory Register	Winding device be omitted by designer							
	Perception	No consideration about winding device							
	Working Memory	Senior moment of a winding device(Worker)		Senior moment of a winding device(Manager)			Worker forgets check of covering.		
	Choice of reaction			Absence of installation of device for a winding			Cable on the ground		
	Execution of reaction			Absence of communication			Worker slip.		
	Environmental feedback			Insufficiency of prepare for safety education					
PSF	Man				Hastiness, Carelessness		Hastiness, Carelessness		
	Machine				No device for a cable winding				
	Method				Continuance of instable posture				
	Environment				Instability of the ground				
	Management				Insufficient safety education	Insufficient check about electric device			

Fig. 10. Cause analysis - Phase 3

마지막 단계는 다시 작업 설계자나 관리자의 행동과 판단에 영향을 준 행동형성요인들을 찾아냄으로 인해 근본적인 원인을 분석하는 단계이다. Fig. 11에서 볼 수 있듯이 가장 근본적인 원인은 안전관리와 관련된 배경지식의 부족과 교육 매뉴얼 또는 표준안전작업 작성에 대한 데이터의 부족으로 분석되었다.

3.5 개선대책 수립

통합적 휴먼에러 분석모델을 이용하여 도출된 위험요인에 대한 원인분석이 이루어졌다. 마지막 단계에서 밝혀진 근본적인 원인에 대한 개선대책은 장기 대책으로 하여 매뉴얼 작성자의 수준을 향상시키고 원인분석 결과와 관련된 데이터의 수집 등의 방안이 필요할 것이며, 2번째 단계와 3번째 단계에서 밝혀진 원인들을 종합하여 지면 상태 고려 및 전기선 권상을 위한 장치설치 등의 단기 대책을 마련하게 되면 두부정리 작업에 대한 위험성 평가는 완료된다.

Life cycle		System design and installation			System operation and disuse				
		Design	Production	Installation	Plan	Test	Operation	Check	Destruction
		LC-1	LC-2	LC-3	LC-4	LC-5	LC-6	LC-7	LC-8
Information Processing	Sensory Register	Winding device be omitted by designer							
	Perception	No consideration about winding device							
	Working Memory	Senior moment of a winding device(Worker)		Senior moment of a winding device(Manager)			Worker forgets check of covering.		
	Choice of reaction			Absence of installation of device for a winding			Cable on the ground		
	Execution of reaction			Absence of communication			Worker slip.		
	Environmental feedback			Insufficiency of prepare for safety education					
PSF	Man	Lack of knowledge about safety management		Hastiness, Carelessness			Hastiness, Carelessness		
	Machine	Produce no winding device		No device for a cable winding					
	Method	Design don't use preparation for safety device		Continuance of instable posture					
	Environment			Instability of ground condition			Instability of the ground		
	Management	Lack of safety education for designer		Lack of communication training		Lack of data for a manual	Insufficient safety education	Insufficient check about electric device	

Fig. 11. Cause analysis - Phase 4

Work activity	Deviation	Predicted accident	Classification	S	F	Risk	Result	Countermeasure
Pile head cutting	Not grasp	When workers miss the grinder, workers come into contact with blade.	Contact	3	2	6	Insignificant risk	
	Quickly extract	When worker extract the grinder quickly, adjacent workers come into contact with blade.	Contact	4	2	8	Minor risk	
	Slip	When workers slip, workers come into contact with blade.	Contact	3	2	6	Insignificant risk	
	Not hang	When cables aren't hung, workers are electrocuted.	Electric shock	4	3	12	Considerable risk	• Installation of the winding device • Tagging • Using the guideline for safety design
		When cables aren't hung, workers overturn by cables.	Overturn	3	3	9	Minor risk	
	Not lean	When workers can't lean or keep a posture,						
	Not keep	workers come into contact with blade.	Contact	3	1	3	Negligible risk	

Fig. 12. Risk control action in pile head cutting

4. 결론 및 고찰

인간요소는 복잡하고 다양하기 때문에 인적요인에 대한 위험성을 평가하고 제어하기는 쉽지 않다¹⁶⁾.

본 연구에서는 산업현장에서 발생하고 있는 휴먼에러를 제어하고 감소시키기 위해 휴먼에러 위험요인을 도출하는 방법론을 제안하였다. 그리고 모델을 실제 작업에 적용시켜 본 결과, 개괄적인 위험요인 이후 상세 분석을 통한 근본적인 위험요인을 도출하는 과정에서 체계적인 위험요인 도출이 이루어지는 것을 확인할 수 있었다. 본 위험요인 도출 방법론을 적용하여 파일 두부정리 작업에 대해 위험성 평가를 해 본 결과 전기선을 권상하지 않았을 때의 감전 위험이 가장 높은 위험도를 가지는 것으로 분석 되었으며, 상세 분석을 통해 전기선을 권상할 수 있는 장치를 설치하는 등의 개선대책을 수립할 수 있었다. 동일 작업에 대해 실제 산업현장에서 위험성 평가 한 결과를 분석해보면 교육 등의 개선대책을 제안하고 있었다. 이에 비해 본 방법론을 이용한 위험성 평가를 했을 때, 객관적이고 실질적인 개선대책을 강구 할 수 있다는 점을 알 수 있었다. 하지만 연구를 하는 과정에서 통합적 휴먼에러 분석 모델을 사용함에 있어, 분석자의 인간공학적 지식 수준에 따라 결과가 상이하게 나오는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 점을 보완하기 위한 추후 연구가 지속적으로 이루어 진다면 현장에서의 활용도를 더욱 높일 수 있을 것으로 사료된다.

감사의 글: 이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구(2014년)에 의하여 연구되었음

References

- 1) H.W. Heinrich, D. Petersen and N. Roos, "Industrial Accident Prevention", McGraw-Hill Co, 1980.
- 2) K.S. Lee, H. K. Lim, S. H. Shin, S. R. Chang, Y. C. Kim, D. K. Lee and K. W. Rhie, "Control and Prevention Human error", Hansol Academy, 2011.
- 3) D. Meister and G. F. Rabideau, "Human Factors Evaluation in System Development", John Wiley & Son, 1962.
- 4) B. S. Dhillon, "Human Reliability with Human Factors", Pergamon Press, 1987.
- 5) W. B. Rouse and S. H. Rouse, "Analysis and Classification of Human Error", IEEE Trans. on SMC, Vol. SMC-13, No.4, pp.539-549, 1983.
- 6) H. R.Greenberg and J. J. Cramer, "Risk Assessment and Risk Management for the Chemical Process Industry, Van Nostrand Reinhold, 1991.
- 7) KOSHA, 4M Risk Assessment Technique, 2011.
- 8) International Organization for Standardization, "Risk Management - Principles and guidelines, ISO 31000, 2009.
- 9) D. G. Kim, "Identification and Prevention of Human Errors based on Risk Assessment in Nuclear Facility Decommissioning Process", Chungbuk National University, 2012.
- 10) K. S. Lee, H. K. Lim, S. R. Chang, K. W. Rhie and Y. C. Kim, "Development of a Comprehensive Model for Human Error Prevention in Industrial Fields", Journal of the Ergonomics Society of Korea, Vol. 27, No. 1, pp. 37-43, 2008.
- 11) OSHRI, "Analysis of Industrial accidents in 2007", KOSHA, 2008.
- 12) OSHRI, "Analysis of Industrial accidents in 2008", KOSHA, 2009.
- 13) OSHRI, "Analysis of Industrial accidents in 2009", KOSHA, 2010.
- 14) OSHRI, "Analysis of Industrial accidents in 2010", KOSHA, 2011.
- 15) H. K. Lim and S. H. Lee., "Analysis of Accidents Causes in an Auto-Glass Manufacturing Company using the Comprehensive Human Error Analysis Model", Journal of the Korean Society of Safety, Vol. 27, No. 4, pp. 90-95, 2012.
- 16) S. K. Bae and D. H. Park, "An Evaluation Model for Human Attributes of Industrial Accidents", Journal of the Korean Society of Safety, Vol. 18, No. 4, pp. 155-163, 2003.