휴먼에러 방지를 위한 스마트 MCC 시스템에 관한 연구

A Study on the Improvement of Methods for Human Error Prevention using a Smart MCC System

이영삼* · 최종섭** · 장보경***

Lee, Youngsam*, Choi, Jongseob**, and Jang, Bogyeong***

Abstract

South Korea has seen remarkable growth in the world since its liberation. However, the incidence of industrial disasters has increased during its rapid industrial development, and South Korea is currently ranked as one of the Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) countries, with high rates of industrial accidents. In particular, the misuse of the Motor Control Center (MCC) panel switches leads to serious accidents caused by human error. Therefore, this study introduced and proposed the use of a smart MCC system for human error prevention to improve the inadequacies of the current Lock-Out, Tag-Out (LOTO) program. The present study compared and analyzed the existing and smart MCC systems. In addition, the durability and operation of the new system were verified by an authorized agency. Furthermore, a survey of users (operators and operating departments) reported good reliability, user convenience, and safety accident prevention of the new system. The on-site application of this system will contribute to the effective operation of electrical facilities and the prevention of the misuse (human error) of MCC switches and the development of accident prevention solutions combining ICT technology.

Key words : Human Error, System, Motor Control Center (MCC) Panel, Accident Prevention

요 지

우리나라는 해방 이후 세계가 놀랄 만한 성장을 하였다. 하지만 급속한 산업발전과 더불어 증가한 것이 산업재해이다. 그래서 현재 OECD 국가 중 산업재해율이 높은 나라에 포함되어 있다. 특히 전기설비를 작동시키는 전동기제어센터(MCC) 판넬 스위치의 오조작(휴먼에러)으로 인한 중대사고가 끊이지 않게 발생하고 있다. 따라서 본 연구에서는 기존 Lock-Out, Tag-Out (LOTO) 프로그램(시스템)의 미흡 사항을 개선하기 위해 휴먼에러 사고방지 스마트 MCC 시스템을 소개 및 제안하였다. 연구내용은 기존시스템과 스마트 MCC 시스템을 비교·분석한 것이다. 또한 공인된 기관에서 본 시스템의 내구성과 작동(운영)성을 검증하였다. 그리고 사용자(운전원, 운영부서)를 대상으로 시스템의 신뢰성, 사용자의 편의성, 안전사고 예방 측면을 설문조사 방식으로 검증한 결과 양호한 것으로 나타났다. 따라서 본 시스템을 현장적용 시 효율적인 전기설비운영과 MCC 스위치 오조작(휴먼에러)의 방지와 ICT 기술을 융합한 사고예방 기술 발전 등에 기여할 것으로 판단된다.

핵심용어 : 휴먼에러, 시스템, 전동기제어센터 판넬, 사고방지

1. 서 론

우리나라는 35년의 일제강점기와 6.25전쟁으로 인해 많

은 어려움을 겪었다. 정부에서는 경제적 어려움을 극복하기 위해서 경제개발 5개년 계획을 수립하여 성장위주의 경제 정책과 수출 주도형 성장 전략을 실행하였다. 그 결과 우리나라

*교신저자, 정회원, 한국발명진흥회 전문관(Tel: +82-2-3459-2889, Fax: +82-2-3459-2939, E-mail: win203203@kipa.org)

Corresponding Author, Member, Adviser, Korea Invention Promotion Association

** (주)로보멕 대표(E-mail: jsc1340@robomec.co.kr)

CEO, Robomec Company

*** 한국남동발전(주) 영흥발전본부 차장(E-mail: jang@koenergy.kr)

Senior Director, Korea South-East Power Company

따라서 본 연구에서는 이러한 문제점을 개선하기 위해 휴먼에러 이론을 분석하고, 스마트 기능이 추가된 휴먼에러 방지용 MCC 제어시스템의 제안을 통해 전기설비 휴먼에러 사고를 최소화하는 데 목적이 있다.

Year	2013	2014	2015	2016
Number of human error accident	285	286	196	195

2.1 연구의 이론

휴먼에러를 분류하는 여러 가지 방법이 있으나 통일된 분류방법은 없다. 휴먼에러 분류는 복합적인 원인이 존재하여 통합모델에 의한 분석이 필요하다. 휴먼에러 분류 중에서

첫 번째, 정보처리 과정에서 휴먼에러의 경우 Table 2와 같이 정보처리 단계의 인지, 판단(의사결정), 동작, 확인 등의 과정에서 발생한다고 하였다(Lim and Lee, 2012; Wickens et al., 2004).

Information Processing Stage	Cause
Lack of information	Improper information
Cognition / Identification Error	Could not sense
	Fail to cognize
	Could not cognize
	Lack of confirmation
Judgement / Decision-making Error	Mis-judgement
	Fail of decision-making and action
Manipulation / Action Error	turbulence in work posture
	Perplxed posture
	Lack of Posture
	Mistakes in selecting manipulator
	Mistakes in manipulation direction
Confirmation Error	Could not cognize errors
	Fail to recover

- 생략에러(Omission error)
- 지연에러(Delay error)
- 불확실한 수행에러(Incorrect action error)
- 순서 실행에러(Sequence error)
- 불필요한 수행에러(Undesirable action error)

(b) Lock-Out, Tag-Out (LOTO) sheet

98 한국방재학회논문집, 제19권 3호 2019년 6월

세 번째, 작업의 종류에 따른 휴먼에러의 경우 Meister (1971)의 분류방법을 많이 사용하고 있으며, 구체적 내용은 다음과 같다.

- 설계에러: 설비, 장치를 설계할 때 발생하는 에러
- 설치에러: 설비, 장치를 설치할 때 잘못된 설치와 조정을 한 에러
- 조작에러: 기계나 장치의 조작 시 발생하는 에러
- 제조에러: 조립을 주로 하는 제조과정에서의 에러
- 검사에러: 양품, 불량품을 구별하거나 결함을 검출 하는 도중에 발생하는 에러로 검사에 관한 기록상의 에러
- 보전에러: 점검, 보수를 주로 하는 보전작업상의 에러
- 관리에러: 작업장에서 잘못된 관리로 발생하는 에러

2.1.2 MCC 판넬

Fig. 2는 일반적인 모터제어센터(MCC) 판넬을 나타내고 있다.

Fig. 2. General Motor Control Center (MCC) Panel

MCC 판넬이란 모터(전동기)를 제어하기 위한 전기설비를 말한다. 산업 현장에 설치된 MCC 판넬은 여러 현장에 설치된 각각의 로컬판넬과 중앙통제실에 설치된 데스크 판넬이 서로 유선으로 연결되어 있다(Lee, 2007).

2.2 연구의 대상 및 방법

본 연구는 MCC 판넬 조작 시 발생될 수 있는 휴먼에러사고 방지용 스마트 MCC 판넬 시스템을 대상으로 하였다. 연구방법은 전기설비 휴먼에러 사고분석, 휴먼에러관련 이론분석, 2015년도 한국남동발전(주) 영흥발전소 1호기 시험사업에 설치된 스마트 MCC 판넬과 현재 산업현장에서 주로 사용되고 있는 Lock-Out, Tag-Out (LOTO) 프로그램과의 비교분석, 영흥발전소 운영관련부서 29명을 대상으로 스마트 휴먼에러 방지 시스템의 신뢰성, 사용자의 편의성, 안전사고 예방 등을 설문조사 및 분석하여 시스템을 검증하였다. 간략한 연구의 흐름도는 Fig. 3과 같다.

Fig. 3. Flow Chart of this Study

3. 연구내용

3.1 휴먼에러 방지 MCC 시스템의 개요

Fig. 4는 스마트 MCC 시스템의 구성도를 나타낸 것이다. 본 시스템은 Red Tag (작업지시서), 작업설계(작업감독/설계부서에서 운영) PC, Red Tag 등록시스템(Geni), Red Tag 발행기, 키오스크(Red Tag의 바코드 인식기), 전광판 위치표시기, 안내용 스피커, 차단기 보안커버유닛 및 작동상태표시 램프, 메인서버 시스템 등으로 구성되어 있다. 본 시스템의 특징은 인간공학의 인적오류(Human Error)를 개선하기 위하여 정보처리기술, 시각안내기술, 청각안내기술, 보안장치 기술 등이 융합한 기술이라는 것이다. 그리고 작업절차의 경우 작업설계 및 감독부서에서 Red Tag 발행설계, 시스템(Geni)에 Red-Tag 작업정보를 입력/등록, 작업운영부서에서 Red Tag를 출력, 카오스에 Red-Tag 정보를 스캔/인식, 키오스크 모니터에 작업 위치안내, 모니터 안내 종료 후 전광판 위치안내 및 음성안내방송, 해당차단기 보안커버유닛 동작(해당 스위치 LED점멸), 커버를 열고 스위치작동, 끝으로 스위치 커버를 닫으므로써 작업이 완료된다. 또한 모든 작업은 중앙모니터에서 실시간 확인 가능하도록 설계되어 있다.

3.2 기존 Lock-Out, Tag-Out (LOTO) 프로그램 (시스템)과 스마트 MCC 시스템의 비교분석

Fig. 5는 기존 LOTO 프로그램(시스템)과 스마트 MCC 시스템을 비교·분석하였다. 먼저 Fig. 5(a)의 경우 기존 시스템에는 스위치에 보안커버유닛이 없어, 누구나 임의로 조작이 가능하나 개선된 시스템에는 보안커버유닛이 있어 임의의 조작이 불가능하다. Fig. 5(b)의 경우 기존 시스템은 작업일지에 작업일시, 작업자, 확인자의 서명을 통해서 MCC 스위치 조작 작업이 진행되나 개선된 시스템에서는

모르나 개선된 시스템에서는 안내전광판에서 해당 MCC 패널과 유닛을 알려 주는 기능을 가지고 있어, 특히 신입 작업자의 경우 주변 설비에 대한 정보가 미흡하고 익숙하지 않아서 혼선이 생길 수 있는 문제점을 근본적으로 차단할 수 있는 기능이 있다. Fig. 5(d)의 경우 기존 시스템에는 스위치 조작 작업자가 MCC 패널의 많은 스위치 중 어느 것을 조작해야 할지 혼선이 생길 수 있으나 개선된 시스템에서는 해당 스위치의 보호커버유니트의 LED가 점멸함으로써 작업자가 스위치 조작을 정확하게 할 수 있어서 혼선을 방지할 수 있다. Fig. 5(e)의 경우 기존 시스템에는 음성안내 시스템이 없으나 개선된 시스템에서는 청각안내를 사용하여 휴먼에러를 최소화하였다. Fig. 5(f)의 경우 기존 시스템은 스위치 조작 작업 진행이 중앙관제센터에서 확인할 수 없기 때문에 현장에서 임의로 조작해도 확인할 수 없다. 하지만 개선된 시스템에서는 중앙관제센터에서 실시간으로 작업 진행 상황을 확인이 가능하고, 또한 모든 작업내용은 Data Base에 저장되어 기존 작업내용을 쉽게 확인할 수 있다.

3.3 휴먼에러 방지용 스마트 MCC 시스템의 설치

Fig. 6은 기존 MCC 패널 설비에 추가로 휴먼에러 방지용 스마트 MCC 시스템을 설치하는 그림이다. 본 시스템의 특징은 MCC 패널 제조공장에서 부품설치 공정 중 본 시스템 적용이 가능하고, 또한 현장에 운영 중인 MCC 시설에도 추가 설치가 가능하다는 것이다. 따라서 본 시스템은 호환성이 좋아 발전소뿐만 아니라 산업현장의 전기(변전)설비에도 적용이 가능하다.

Fig. 6. Installation of Smart MCC System on the Current MCC Panel

3.4 휴먼에러 방지용 스마트 MCC 시스템의 성능 검증

본 시스템은 일반 매뉴얼 타입보다 진보된 시스템이다. 하지만 본 시스템의 오작동 및 고장으로 인해 인명의 피해와 재산손실이 생길 수 있으므로 아래와 같이 성능검증 시험을 진행하였다.

3.4.1 스마트 MCC 시스템의 내구성시험

본 시스템의 내구성을 검증하기 위해 작동 내구성시험과 온도변화시험을 공인된 기관인 (주)원텍에 의뢰하여 시험을 진행하였다. Fig. 7은 보안커버유니트 작동 내구성 시험으로 시험기준은 제품의 10년 사용을 적용하였다. 시험방법은 제품에 전원을 인가하여 각 1초마다 ON/OFF 하여 총 10,000 회 동안 솔레노이드와 LED 깜박임의 정상 동작 유·무를 테스트하여 이상이 없음을 확인하였다. 그리고 Fig. 8은 시스템의 온도변화시험으로 시험기준은 냉난방기가 설치된 실내를 기준으로 하였다. 시험방법은 Environment Test Chamber에 시험체를 넣고 -10℃~60℃ 2회 반복하여 정상작동 여부를 테스트하였다. 확인결과 이상 없이 작동하였다. 또한 본 시스템에 대해 국립전파연구원에서 방송통신기자재의 적합 등록필증과 (주)유씨에스에서 방송통신기자재 전자파적합성의 시험성적서를 받았다.

Fig. 7. Durability Test of Unit System

Fig. 8. Temperature Change Test of Unit System

3.4.2 스마트 MCC 시스템의 작동시험

본 시스템의 정상작동 유·무를 검증하기 위해 공인된 기관에 의뢰하여 Fig. 9와 같이 작동시험을 6회 실시하였다. 시험방법 및 순서는 다음과 같다. 먼저 Fig. 9의 (a)와 같이 작업으로 예정된 레드테그(Red Tag)를 발행한다. 그다음 (b)와 같이 발행된 레드테그를 키오스크(바코드 스캔)에 인식시킨다. 그리고 그다음 (c)와 같이 안내용 전광판에 스위치 조작 작업 위치 및 MCC 유닛 번호가 표시되는지 확인을 하고, 또한 안내방송 유·무도 확인한다. 끝으로 (d)와 같이 조작할 해당 스위치의 보안커버유닛에 위치 표시등이 작동(점등)되었는지 확인 후 스위치 커버를 열고 스위치를 작동한다. 본 순서에 따라 작동시험을 진행한 결과 이상 없이 작동하는 것을 확인하였다.

Fig. 9. Operation Test of Smart MCC System

3.4.3 스마트 MCC 시스템의 만족도 분석

본 시스템의 인적검증을 위해 본 시스템을 설치 운영 중인 한국남동발전(주) 영흥발전소의 운영관련 부서 근무자 29명을 대상으로 본 시스템의 신뢰성, 사용자의 편의성, 사고 예방 측면에 대한 만족도 설문조사를 실시하였다. 조사의 기준은 Table 3과 같다.

Table 3. Survey Standard of Satisfaction of Smart MCC System (Point)

Very satisfied	Satisfied	Normal	Unsatisfied	Very unsatisfied
81-100	61-80	41-60	21-40	0-20

설문조사의 결과는 Figs. 10, 11, 12와 같이 나타났다. 먼저 시스템의 완성도 측면에 만족도인 Fig. 10은 첫 번째 질문 (Red-Tag 스캐닝으로 조작하려는 차단기 확인이 확실 해졌다)이 95.71점, 두 번째 질문(음성안내 시스템이 차단기 위치확인을 쉽게 해준다)이 89.29점, 세 번째 질문(LED 안내 전광판이 차단기 위치확인을 쉽게 해준다)이 91.43점, 네 번째 질문(차단기 커버로 인해서 조작실수 가능성은 줄어들 었다)이 92.86점으로 조사되었다. 따라서 전체가 매우만족 (81-100)으로 나타나서 시스템의 신뢰성이 전반적으로 양호 하다는 것을 알 수 있다.

Fig. 10. Survey Result of Satisfaction of System's Readiness Level

그리고 사용자의 편의성 측면에 만족도인 Fig. 11은 첫 번째 질문(키오스크의 조작 및 사용법은 사용하기가 편리하다)이 90.71점, 두 번째 질문(키오스크의 디스플레이 및 그래픽은 보기에 불편함이 없다)이 89.29점, 세 번째 질문(음성안내 시스템의 음질 및 음량 등은 듣기에 불편함이 없다)이 92.14점, 네 번째 질문(LED 안내전광판은 보기에 불편함이 없다)이 90.00점, 다섯 번째 질문(차단기 커버를 열고, 닫음에 있어 불편함이 없다)이 90.71점, 여섯 번째 질문(시스템의 전반적인 프로세스의 진행에 어려움은 없다)이 90.00

점으로 조사되었다. 따라서 전체가 매우만족(81-100)으로 나타나서 시스템 사용의 편의성이 전반적으로 양호하다는 것을 알 수 있다.

Fig. 11. Survey Result of Satisfaction of Using System

끝으로 사고 예방 측면의 만족도인 Fig. 12는 첫 번째 질문(시스템의 도입으로 전기사고 예방에 기여한다)이 95.00점, 두 번째 질문(시스템의 도입으로 설비 안정운영에 기여한다)이 90.71점, 세 번째 질문(시스템의 도입으로 전반적으로 차단기 조작 실수 가능성이 줄었다)이 95.00점, 네 번째 질문(시스템의 확대적용으로 인적실수 ZERO화가 가능하다)이 92.14점으로 조사되었다. 따라서 전체가 매우만족(81-100)으로 나타나서 시스템이 사고 예방에 매우양호하다는 것을 알 수 있다.

Fig. 12. Survey Result of Satisfaction of Accident Prevention

4. 결 론

본 연구는 MCC 판넬 조작의 실수 즉, 휴먼에러 방지 스마트 시스템 개발을 통해 사고 예방과 기존 매뉴얼 방식을 개선하는 연구를 수행하였다. 그리고 본 스마트 MCC 시스템의 현장적용성과 시스템에 정량적 및 정성적 검증을 실시하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 본 연구를 통해 기존 Lock-Out, Tag-Out (LOTO)

프로그램 등의 미흡사항인 MCC 판넬 스위치 조작의 실수를 근본적으로 개선하였고, 또한 기존 시스템에 부족한 체계적인 이력관리, 즉 데이터베이스 관리와 Information and Communications Technologies (ICT) 기술에 대한 융합방법을 제시하였다.

- (2) 본 시스템은 사고를 방지하기 위한 것이므로 시스템의 검증이 매우 중요하다. 그래서 본 시스템을 공인된 인증기관에 의뢰하여 시스템의 내구성 및 작동(운영) 시험을 통해 검증하였다. 또한 본 시스템을 관련 부서 작업자를 대상으로 시스템의 신뢰성, 사용자의 편의성, 사고 예방 측면에 대해 만족도를 조사하였고, 그 결과 전체가 “매우만족”으로 조사되었다.

따라서 본 시스템을 현장 적용시 효율적인 전기설비 운영과 MCC 스위치의 오조작(휴먼에러) 사고방지에 기여하고, 또한 ICT기술을 융합한 안전사고 예방기술 발전에 기여할 것으로 판단된다.

References

- Deibert, R. H. (1995). *Lockout/Tagout simplified: The OSHA lockout/tagout standard boils down to common sense and good management*. Stevens Publishing Corporation.
- Ki, H.K. (2002). *A study of the causes to human error: According to heavy industries by diagnosis of safety mentality*. Master's thesis, Dongguk University.
- Kim, Y.C., Jung, H.W., and Bae, H.C. (2011). Prevention of human error in shipbuilding industry. *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, Vol. 30, No. 1, pp. 127-135.
- Korea Electrical Safety Corporation (KESCO). (2017). *A statistical analysis on the electrical accident*. Vol. 27, pp. 59-65.
- Lee, T.O. (2007). Design and implementation of real-time management system for efficient operation of motor control center. *Journal of the Korea institute of information and communication engineering*, Vol. 12, No. 2, pp. 247-253.
- Lim, H.K., and Lee, S.H. (2012). 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.
- Meister, D. (1971). *Human factors: Theory and practice*. Wiley-Interscience.
- Park, Y.K. (2012). *The effect of the factors to induce human*

error on safety perceived by maintenance men: Focusing on nuclear power plants. Master's thesis, Soongsil University.

Swain, A.D., and Guttman, H.E. (1983). *Handbook of human reliability analysis with emphasis on nuclear power plant applications.* NUREG/CR-1278, US Nuclear Regulatory Commission.

Wickens, C., Gordon, S., and Liu, Y. (2004). *An introduction*

to human factors engineering (2nd ed.). Upper Saddle River, NJ: Person Prentice Hall.

Received	March 20, 2019
Revised	March 25, 2019
Accepted	April 10, 2019