

협동 로봇을 이용한 냉연강 슬리터 나이프 가공 공정에서의 작업 위험도 도출에 관한 연구

임사랑¹, 김태훈^{2*}

¹호서대학교 수소에너지안전기술공학과, ²호서대학교 안전공학과

A Study on the Derivation of Work Hazards in Cold-rolled Steel Slitter Knife Machining Process using Collaborative Robot

Sa Rang Lim¹, Tae Hun Kim^{2*}

¹Department of Hydrogen Energy Safety Technology Engineering, Hoseo University

²Department of Safety and Administrative Engineering, Hoseo University

요약 본 연구는 JSA(작업 위험성 평가)를 통해 협동 로봇을 이용한 냉연강 슬리터 나이프 가공 공정에서의 작업 위험도 도출에 관한 연구이다. 작업 공정 분석을 통해 작업 절차와 환경을 분석하고, 각 작업 단계별로 위험성 평가를 수행하여 주의사항과 개선사항을 도출했다. 연구 결과로는 작업 영역의 겹침으로 인한 사고가 가장 큰 위험성으로 나타났다. 이를 최소화하기 위해 작업 영역을 분리하고 표준 작업 절차를 도출해야 한다. 또한, 협동 로봇과 사람의 충돌에 대한 대응도 필요하다. 현재까지는 기능적인 분석은 많이 이루어졌지만, 실제 작업 환경에서의 위험요소에 대한 인지와 대처 방안이 부족하다. 따라서, 더 많은 연구가 필요하며, 본 연구는 안전성 향상과 작업자와 협동 로봇의 원활한 협력을 위한 참고 자료로 활용될 수 있다.

Abstract This study examined the work risk in the cold-rolled steel slitter knife processing process using a cooperative robot through the JSA (work risk assessment). The work procedure and environment were analyzed through work process analysis, and precautions and improvements were derived by performing a risk assessment for each work step. This study found that accidents due to the overlap of work areas posed the greatest risk. The work area should be separated and standard work procedures should be derived to minimize this. In addition, it is necessary to respond to collisions between cooperative robots and people. Thus far, functional analysis has been conducted, but the awareness of risk factors in the actual work environment and countermeasures are insufficient. Therefore, more research is needed, and this study can provide reference material for improving safety and smooth cooperation between workers and cooperative robots.

Keywords : Cobot(Collaborative Robot), Cold Rolling, Knife Processing, Safety Improvement, Steel Slitter

1. 서론

국내 산업현장에서는 생산성과 효율성을 높이기 위해 로봇의 채택이 증가하고 있다. 이는 노동력 부족 문제를 해결하고 고품질 생산과 운영 비용을 관리하기 위한 수

단으로 사용되고 있다. 이에 국내에서도 1980년에 최초로 산업용 로봇이 개발되었고, 현재는 여러 업체에서 산업용 로봇을 개발하면서 협동 로봇에 관심이 집중되고 있다. 그러나 로봇의 채택은 인간-로봇 협업 환경의 안전에 대한 우려도 함께 가져왔다. 특히, 2011년에서 2015

*Corresponding Author : Tae-Hun Kim(Hoseo Univ.)

email: emttx@hoseo.edu

Received November 23, 2023

Accepted January 5, 2024

Revised December 19, 2023

Published January 31, 2024

년 사이에 제조업에서 산업용 로봇에 의한 재해 발생이 증가하였으며, 한 해 평균 41.4명의 재해가 발생한 것으로 나타났다[1].

이러한 안전 문제를 해결하기 위해 고용노동부는 산업용 로봇의 위험 평가를 강조하고 있다. 위험 평가는 산업용 로봇의 안전 검사와 안전 및 건강 규칙에 대한 중요한 요소이다. 현재는 산업안전보건 기준에 관한 규정에서 위험성 평가에 관한 내용이 명시되어 있으나, 산업용 로봇을 구체적으로 다루는 조항은 제한적이다. 따라서 작업 안전을 확보하기 위해서는 위험 요인을 개선하고 사고 예방 대책을 마련할 필요가 있다.

최근에는 인간과 직접 상호작용하도록 설계된 로봇인 협동 로봇이 등장하면서 치명적인 사고를 예방하기 위해 법적 안전을 보장하는 수단으로 위험성 평가가 더욱 강조되고 있다. 이에 많은 연구자가 산업용 로봇과 관련된 산업재해 예방을 위한 방안을 모색해왔다. Lee 등[2]은 재해 분석을 통해 로봇 가동 범위 내에 작업자가 들어가지 못하도록 안전 방책 내에 있는 조작반 등과 같은 설비를 방책 밖에 설치하는 방안을 제시하였다. 위험 요인을 도출하였던 Song[3]의 연구에서는 안전검사 항목별 위험도를 전문가에 의한 위험도로 평가하였으나 사고 건수와 관련된 안전검사 항목 비교는 없었다. 산업재해 예방을 위한 산업용 로봇에 대한 제도 개선으로 Lee[4]은 설치 단계에서의 제도 개선을 제시하였으나, 안전검사 항목에 대한 구체적 제안 내용은 없었다. Jun[5]는 위험성 평가 방법을 제시하였으나 작업상의 안전검사 항목에 대한 내용은 없었다.

본 연구에서는 냉간 압연 강철 슬리터 나이프 공정을 대상으로 협동 로봇과 작업자의 협업작업에 대한 안전성을 분석하고 개선하는 구체적인 대책을 제시한다. 이를 위해 JSA(Job Safety Analysis) 평가 방법을 사용하여 작업 영역을 분석하고, 협동 로봇과 작업자의 협업작업에 필요한 안전성을 향상시키기 위한 조치를 제안한다. 이를 통해 산업현장에서의 로봇 사용에 따른 안전사고를 최소화하고 작업자들의 안전을 보장할 수 있다.

2. 이론적 배경

2.1 로봇의 위험성

로봇은 생산성 향상과 작업 효율성 증대 등 다양한 장점을 가지고 있다. 이에 국제로봇 연맹의 보고서에 따르면 전 세계적으로 산업용 로봇 시장은 성장하고 있다.

2023년까지 전 세계적으로 59만 대 이상의 로봇이 사용될 것으로 예상되며, 세계 기록을 2년 연속으로 초과하는 성장세를 보이고 있다[8].

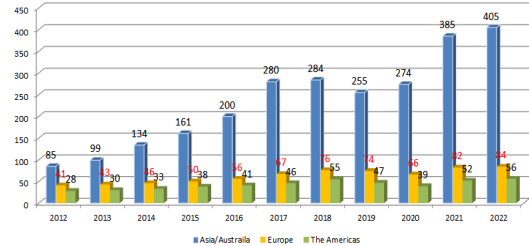


Fig. 1. Annual installations of industrial robots-World

그럼에도 로봇은 중량, 속도, 작업 영역, 제어 시스템 등으로 인한 물리적인 위험성이 존재한다. 실제로 제조업에서 2011년부터 2015년까지 5년 동안 산업용 로봇을 다루다 15명이 사망했으며, 같은 기간 재해자는 207명(사망자 포함)이 발생했다. 특히, 로봇 방책 내부에서 90.7%, 방책 외부에서 9.3%가 발생하였다[8]. 이러한 위험성을 고려하여 로봇의 작업 환경과 작업자의 안전을 보장하는 것이 중요하다. 이러한 위험성은 다음과 같은 원인으로 인해 발생할 수 있다.

첫째, 로봇의 중량: 로봇은 대부분 무거운 중량을 가지고 있어서 이동 중에 작업자에게 직접적인 충돌이나 압박을 일으킬 수 있다. 특히 로봇이 불안정한 상태에서 작업을 수행하거나, 로봇의 부품이 파손되어 비산하여 떨어지는 경우 더 큰 위험성이 발생할 수 있다.

둘째, 로봇의 속도: 로봇은 빠른 속도로 움직일 수 있으므로 작업자가 로봇과의 충돌을 피하기 어려울 수 있다. 특히 로봇이 예측 불가능한 움직임을 보이거나, 제어 시스템에 오류가 있는 경우에는 작업자의 안전을 위협할 수 있다.

셋째, 로봇의 작업 영역: 로봇은 다양한 작업 영역에서 작업을 수행할 수 있다. 로봇이 작업자와 동시에 작업을 수행할 경우 충돌 가능성이 있다. 작업자가 로봇의 작업 영역에 들어가거나, 로봇이 작업자의 작업 영역으로 침범하게 되면 충돌로 인한 사고가 발생한다.

넷째, 로봇의 제어 시스템: 제어 시스템의 오류로 예기치 않은 동작을 수행하는 경우 로봇의 작업이 예상치 못한 결과를 초래할 수 있다. 이는 작업자의 안전을 위협할 수 있으며, 로봇의 제어 시스템의 안정성과 신뢰성이 중요한 역할을 한다.

이러한 위험성을 고려하여 로봇의 작업 환경과 작업자

의 안전을 보장하는 것이 중요하다. 로봇의 동작 특성, 작업자의 역할과 위치, 로봇의 제어 시스템의 안전 기능 등을 평가하여 로봇과 작업자 간의 안전을 보장하는 방법을 도출할 수 있다.

2.2 로봇의 위험성 평가

산업용 로봇의 위험성 평가는 로봇의 동작, 제어 시스템, 안전장치 등의 기능적인 측면을 평가하여 작업자의 안전을 보장하는 것을 목표로 한다. 그리고 이를 위한 국제적으로 적용되는 표준 절차와 가이드라인이 제공되고 있다. ISO 10218-1 및 ISO 10218-2는 로봇 시스템의 안전성을 평가하기 위한 국제 표준이다. ISO 10218-1은 로봇 시스템의 설치와 통합에 대한 요구사항을 다루고, ISO 10218-2는 로봇과 작업자의 상호작용에 대한 요구사항을 다루고 있다[6]. 또한, ISO 12100은 기계의 안전성 평가를 위한 표준으로써 기계의 설계, 구축, 운영, 유지 보수 등의 단계에서 위험성을 평가하고, 적절한 안전조치를 적용하는 방법을 제시한다[7].

하지만 산업안전보건법에는 산업용 로봇을 구체적으로 다루는 조항은 세 개뿐이며 안전보건 규정은 단 한 조항에 불과하다. 그러므로 법·제도에 근거하여 작업 안전을 확보하는 것은 한계가 있다. 사고는 안전점검 항목과 직결되기 때문에 이러한 항목을 대상으로 위험요인을 개

선하고 사고예방 대책을 마련하는 것이 필수적이다.

로봇의 위험성 평가를 수행하기 위해서는 이러한 국제 표준을 참고하여 절차를 수행할 수 있다. 로봇의 구조, 동작, 제어 시스템, 작업 환경 등을 종합적으로 고려하여 위험성을 분석하고 제어하는 방법을 도출할 수 있다. 이를 통해 로봇과 작업자 간의 안전을 보장하고 작업 환경을 개선하는 데 도움이 된다. 그러나 기존의 위험성 평가에서는 사람의 돌발 행동이나 절차 누락과 같은 인적 요소에 대한 분석이 충분히 다루지 못하는 경우가 있다.

따라서 본 연구에서는 JSA를 안전 작업 절차를 적용하여 인적 요소에 대한 분석을 강화하고자 하였다. 그리고 더 나아가 JSA를 통해 작업 위험성 평가를 수행하여 로봇과 사람의 협동 작업에 대한 위험성을 평가한다.

3. 연구 방법

3.1 분석 대상

분석 대상은 냉간 압연 강철 슬리터 나이프 가공 공정이고 평가하는데 대상이 되는 공정의 도면은 Fig. 2와 같다. 협동 로봇이 있고 스페이서 4개, 나이프 1개가 있는 나이프와 스페이서를 공급하는 장치이다. 이때 작업자가 협동 로봇이 인양한 나이프를 밀어 넣고, 중간에 있는 얇

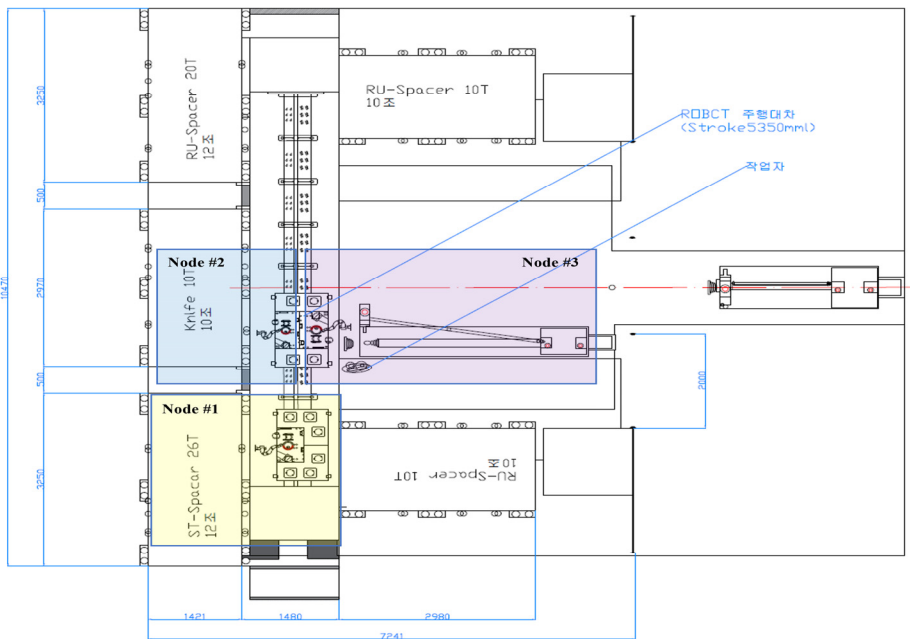


Fig. 2. Overview of the process to be evaluated

은 판으로 공간 확보하는 공정을 수행한다. 한편 로봇은 스페이서 거치대를 거쳐 버퍼에 거치 후 칼날 거치대에서 칼날을 받아 버퍼로 이동한다.

3.2 공정 도면

Fig. 2에 제시된 협동 로봇의 주요 설비는 스페이서 거치대, 버퍼, 칼날 거치대, 슬리터 장비 등으로 구성되어 있으며, 각 공정 설명은 다음과 같다.

배열 프로그램: 작업자가 수동으로 작업에 맞춰 작업 지시를 선택하여 배열 정보를 저장하고 협동 로봇에 전송한다.

나이프 배열: 협동 로봇의 작동 버튼을 클릭하여 작동을 시작한다. 로봇이 체인저로 이동 후 나이프 & 스페이서 그립 하여 버퍼에 거치한다. 로봇이 슬리터 캡 안으로 이동하여 버퍼에서 나이프 & 스페이서를 캡에 거치한다. 작업자가 수작업으로 거치를 하고 완료 버튼을 클릭한다.

Table 2. JSA sheet sample : JOB List, JSA analysis

Place of business / process name	JOB LIST	Classification number	PSP-HGM-JS-01
		Date of review	June 07th, 2023
		Revised order	1

[Target Task Name: Full Work 1]

JOB No.	Work name / photo	How to work in detail		note	
#01	Aarray program	#J-01]-01	Select a work instruction		
		#J-01]-02	Storage of array information		
		#J-01]-03	Click Add Arbor		
		#J-01]-04	Transfer to cooperative to cooperative		
		Protection tools required protection	(Example) Safety shoes, safety helmets, gas masks, air-breathing masks, etc		
		Equipment/Tools Required required data	(Example) Forklifts, chain blocks, etc		
		(Example) Work plan, work permit, MSDS, drawings (P&ID, electrical open circuit diagram, etc.)			
Safety equipment required	(Example) Gas detectors, fire extinguishers, etc				

Place of business / process name	JSA Analysis Table	Classification number	PSP-HGM-JS-01
		Date of review	2023
		Revised order	1

Work name	[#J-01] Array program	Job number		Revised date	
		Writer		Date of preparation	
Department name					
Protection tools required protection	(Example) Safety shoes, safety helmets, gas masks, air-breathing masks, etc				
Equipment/Tools Required	(Example) Forklifts, chain blocks, etc				
required data	(Example) Work plan, work permit, MSDS, drawings (P&ID, electrical open circuit diagram, etc.)				
Safety equipment required	(Example) Gas detectors, fire extinguishers, etc				

No	Step	HAZARD	CONTROLS	Risk rating			Action schedule	The person in charge
				Frequency	Strength	Rating		
1.	Select a work instruction	-defective production caused by poor work	-Worker education -Double check of worker and work instructor					
2.	Save array information	-defective production error information input error	-Worker training and reconfirmation procedures					
3.	Click Insert Arbor	-You can't work when you are missing	-Worker education -You know the driver's manual					
4.	Send to Cooperative Robot	-You can't work when you are missing	-Worker education -You know the driver's manual					

나이프 배출: 작업자가 슬리터 장비의 캡에 나이프&스페이서 거치하고 로봇이 그림을 하여 버퍼에 거치한다. 작업자가 수작업으로 나이프&스페이서를 제거 후 완료 버튼을 클릭한다. 로봇이 체인저로 이동하고 보관한다.

3.3 Job Safety Analysis

협동 로봇을 활용한 냉간 압연 강철 슬리터 나이프 가공 공정은 총 3개의 NODE로 나누어 Table 1과 같이 평가를 진행하였다.

Table 1. Summary: Total 3 NODE

Node No.	Task Step Description
#01	(Arrangement Program)
	From task instructions to sending to cooperative robots
#02	(Knife Array)
	From cooperative robot operation to manual completion
#03	(Knife discharge)
	From knife & spacer holder to storage operation

NODE 1은 작업지시 선택, 작업지시 확인, 작업지시 전송 단계로서 작업자는 작업을 수행하기 위해 작업지시를 선택하고, 선택한 작업지시를 확인하고 작업의 정확성을 확인한다. 작업자는 선택한 작업지시를 협동 로봇에 전송한다.

NODE 2는 스페이서 고정 단계로서 작업자는 스페이서를 안전하게 고정하기 위해 적절한 방법과 장치를 사용하며, 작업자는 슬리터 장비에 안전한 접근 경로와 방법을 사용하여 작업을 수행한다. 작업자는 칼날과 슬리터 장비와의 충돌을 방지하기 위해 안전 장비를 사용하고 작업 절차를 따른다.

NODE 3은 나이프 작업과 스페이서 보관 작업 단계로서 작업자는 협동 로봇이 나이프를 안전하게 받아들 수 있도록 안전 장비를 착용하고 작업 절차를 따른다. 또한 작업자는 스페이서의 안전한 보관 위치를 확인하고 협동 로봇이 스페이서를 안전하게 보관할 수 있도록 작업 절차를 따른다.

나누어진 NODE에 따라 Job list를 식별하고, 각 JOB에 대한 위험 요인을 기록하여, JSA를 수행한다. Table 2는 NODE에서 시행되는 Job list와 JSA 기법을 활용하여 식별된 위험 요인을 제시하고 NODE 1을 구체적인 예시로 제시하고 있다.

4. JSA를 통한 위험 요인을 도출

연구 대상 작업 단계에 대한 JSA를 Table 2와 같이 단계별로 수행하여 위험 요인을 도출하였다.

JSA 분석 결과로 작업 절차별 위험 요인은 총 64개가 도출되었으며 작업 절차는 첫 번째 NODE에서는 4개의 세부 작업, NODE 2에서는 3개, NODE 3에서는 7개의 세부 작업으로 구분되었으며, 각 위험 등급별 분포는 Table 3과 같다.

Table 3. Hazardous Factors by NODE: Derived a total of 64

Node No.	1	2	3	4	5	6	7	8	Total
#01	1	1	1	1	X	X	X	X	4
#02	1	5	7	6	5	7	2	1	34
#03	4	4	6	1	1	5	6	X	27
Total	6	10	14	8	6	11	8	1	64

도출된 위험 요인에서 나타날 수 있는 오류를 휴먼 에러(Human error), 로봇 에러(Robot error), 휴먼·로봇 에러(Human & Robot error)별로 구분했다.

휴먼 에러는 인간의 실수, 부주의, 지식 부족, 집중력 결핍 등으로 인해 발생하는 오류를 의미한다. 이는 작업 환경이나 조건에 따라 발생할 수 있으며, 이는 산업현장에서도 중요한 문제로 간주된다. 그리고 작업자의 행동, 결정, 인지 능력 등에 영향을 미치며, 작업 안전과 생산성에도 영향을 줄 수 있다.

로봇 에러는 로봇 시스템의 동작 중에 발생하는 문제를 의미한다. 로봇은 프로그래밍된 명령에 따라 작업을 수행하지만, 하드웨어 오류, 소프트웨어 버그, 센서 등의 오작동이 발생할 수 있다. 이로 인해 발생하는 오류는 로봇 시스템의 안전성과 신뢰성에 영향을 미칠 수 있으며, 작업 환경에서의 안전과 효율성에 영향을 줄 수 있다.

휴먼·로봇 에러는 휴먼 에러와 로봇 에러가 동시에 발생할 수 있는 에러를 의미한다.

작업 절차에서 나타난 총 64개의 위험 요인들을 휴먼 에러, 로봇 에러, 휴먼·로봇 에러로 구분해서 구체적인 내용을 Table 4에 정리하였다. 그리고 Table 4에 정리한 64개의 에러 중 휴먼 에러가 총 31개, 로봇 에러가 총 23개, 휴먼·로봇 에러가 총 10개이었고, 각 에러별 분포는 Table 5에 정리한 바와 같다.

Table 4. 64 hazard risks derived

Node	Hazardous Risk Factors	Countermeasures/Safety Work Methods
#01	1. Select a work instruction: Defective products due to incorrect work instruction	Human error
	2. Storage of array information: Error entering array information, resulting in defective product	Human error
	3. Click Insert Arbor: Inactivated if missing task	Human error
	4. Send to cooperative robot: inactivated if missing work	Human error
#02	1. Cooperative Robot Operation Click: Unable to operate when missing work	Human error
	2. Robots moving to the changer: immovable and faulty due to the inflow of foreign matter into the rail (chained)	Robot error
	Risk of collision when a person enters a driving area	Human& & Robot Overlapping Error
	3. Life damage caused by the rail gap between rail gap	Human error
	collision with the surrounding devices and workers	Human& & Robot Overlapping Error
	damage to the load in the driving zone	Human error
	damage/discharging due to insufficient grip and payment due to insufficient grip	Robot error
	Job defect caused by a chain	Human error
	damage/she shall be damaged due to excessive supply of age of age and Pay	Human error
	damage caused by the robot Jung-dong, the collision caused by the collision of robot Jung-dong	Human error
	Move wrong chain to the wrong chain	Human error
	collision/ cooperation with robot and attachment in the operator driver's driving zone	Human& & Robot Overlapping Error
	4. Mount in buffer: chained and broken changer conduction due to jamming	Robot error
	Knives & Spacers Fall Off Due to Lockdown	Robot error
	It's a knife and spacer rain because of the robot's poor speed	Robot error
	Work failure due to power failure	Human error
	5. Robot moves to front of Slitter Cap: Bad work due to other buffer position moves	Human error
	Damage due to buffer position error	Robot error
	Unable to move and failure due to inflow of foreign substances into the rail (chain break)	Human error
	Risk of collision when a person enters a driving area	Human error
	Lives lost due to footfall in rail gap	Human error
	Collisions with peripherals and workers due to robot out of position	Human& & Robot Overlapping Error
	Damage when the load is left unattended in the driving area	Human error
	6. Mounted on knife & spacer slitter cap in buffer: Unable to mount knife & spacer due to robot out of position and falling off	Robot error
	Drop due to lack of grip	Robot error
	Risk of collision when a person enters a driving area	Human& & Robot Overlapping Error
	Unable to work due to poor grip position	Robot error
	Defective products due to knife & spacer order error	Human error
	Risk of collision when activated before manual worker operation is completed	Human error
	Damage due to collision between knives and spacers when operator knife & spacer movement work is omitted	Human& & Robot Overlapping Error
	7. Manual mounting of worker: Defective product due to worker mistake	Human error
	Click on the "Manual" button: Spacer and robot damage due to operator error	Human error
8. Click on the manual operation completion button: Operation delay due to missing operation	Human error	
#03	1. Operator puts knife & spacer on cap in slitter equipment: cannot be recovered if missing work	Human error
	Knives & Spacers Fall Off Due to Excessive Force	Robot error
	Poor grip due to knife & spacer shaking	Robot error
	Work failure due to two or more knives & spacers mounting due to worker error	Human error
	2. Robotic Knife & Spacer Grip from Slitter Cap : Knife & Spacer Grip Not Possible and Fall Off Due to Robot Out of Position	Robot error
	Unable to work due to poor grip position	Robot error
	Damage/damage/work failure due to knife & spacer fall due to insufficient grip	Robot error
	Collision/collusion/collusion with the robot due to entry into the operator's driving area	Human error
	3. Mount in buffer: Slitter damage due to malfunction	Robot error

Node	Hazardous Risk Factors	Countermeasures/Safety Work Methods
	Knives & Spacers Fall Off Due to Lockdown	Robot error
	It's a knife and spacer rain because of the robot's poor speed	Human error
	Work failure due to power failure	Human error
	Bad job due to another buffer location movement	Robot error
	Damage due to buffer position error	Robot error
	4. Operator manual knife & spacer removal: spacer drop due to operator mistake damage to spacer and robot	Human& & Robot Overlapping Error
	5. Click on the manual operation completion button: Operation delay due to missing operation	Human error
	6. Robots moving to the changer: immovable and faulty due to the inflow of foreign matter into the rail (chained)	Human& & Robot Overlapping Error
	Risk of collision when a person enters a driving area	Human error
	Lives lost due to footfall in rail gap	Human error
	Collisions with peripherals and workers due to robot out of position	Human& & Robot Overlapping Error
	Damage when the load is left unattended in the driving area	Human error
	7. Store from buffer to changer: Damage/injury/work failure due to knife & spacer drop due to insufficient grip	Robot error
	Damage due to collision with the changer due to robot out of position (overmovement)	Robot error
	Failed and fallen knife & spacer storage due to robot out of position (lack of movement)	Robot error
	Bad follow-up due to storage in the wrong changer	Robot error
	Failure to follow up due to archive error when gripping in the wrong buffer position	Robot error
	Collision/collusion/collusion with the robot due to entry into the operator's driving area	Human& & Robot Overlapping Error

Table 5. Distribution by Error

Error type	Distribution quantity
Human error	31
Robot error	23
Human & Robot error	10

휴먼 에러가 전체 위험 요인 중에서 가장 많은 비중을 차지하고 있는 결과를 확인할 수 있다. 이러한 결과는 JSA를 통해 로봇과 사람의 협동작업으로 인한 에러를 다른 위험성 평가 방법에 비해 효과적으로 도출하였음을 알 수 있다. 이를 통해 작업자들의 안전을 높이고 작업 환경에서의 위험을 최소화하기 위한 안전 대책 수립이 가능하다.

5. 결론

본 연구에서는 위험성 분석을 통해 주요 관리 대상인 위험 요소를 도출하였다. JSA 분석을 통해 총 64개의 위험 요소가 도출되었으며, 그 중 31개는 휴먼 에러로 분류되었다. 이를 바탕으로 다음과 같은 주요 관리 대상이 도출되었다.

첫째, 배열 정보 입력 시 작업자의 실수로 인한 불량 발생 가능성이 있다. JSA는 작업자 숙련도에 따라서 평가하는 기법은 아니다. 배열 정보 입력 시 작업자의 실수

는 일반적인 작업 단계에서 일어날 수 있는 위험 요인이다. 이를 해결하기 위해 작업자 교육 강화, 자동화 시스템 개선, 정기적인 실무 교육 및 훈련과 같은 다양한 대책을 마련할 수 있다. 이러한 분석은 작업자들이 더욱 신속하고 정확하게 배열 정보를 입력할 수 있도록 도와 안전성을 향상시키는데 도움이 된다.

둘째, 거치 수작업(나이프, 스페이서 거칠할 때) 중첩 작업 가능성이 높다. 특히, 협동 로봇이 사람이 거치한 스페이서를 처리하는 중에, 과도한 힘으로 인해 나이프 또는 스페이서가 떨어질 가능성이 있다. 이는 사람이 스페이서를 안전하게 쥐고 있지 않을 경우 발생할 수 있는 상황이다. 이때, 로봇이 스페이서를 강하게 쥐어 작업 중에 사람의 손이 중첩되면 다양한 안전 문제가 발생할 수 있다. 따라서 이에 대한 대응책으로 로봇의 그립 강도를 작업에 적합한 수준으로 조절하고, 안전 잠금 장치를 설치하여 스페이서가 로봇 그립에서 떨어지지 않도록 보호해야 함을 도출할 수 있었다. 이러한 예방 조치를 통해 거치 수작업 중첩 작업의 위험성을 최소화하고 작업 환경을 더욱 안전하게 만들 수 있다.

셋째, 수작업으로 뿔 때도 협동 로봇과의 충돌 가능성이 많다. 작업자가 로봇이 그립한 나이프 또는 스페이서를 수작업으로 뿔 때, 로봇과의 충돌이 발생할 수 있다. 이로 인해 작업자의 손이 로봇의 동작 영역에 들어가 충돌하면 다칠 가능성이 크다. 이를 방지하기 위해 작업자의 동작을 감지하고 로봇을 즉각적으로 정지시키는 안전

장치를 설치하고, 로봇의 동작 감지 센서를 강화하여 충돌을 사전에 예방하는 시스템을 도입해야 하는 대책을 마련할 수 있다.

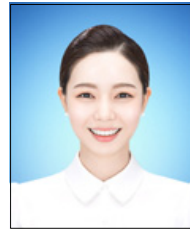
총 64개의 위험요인 중에서도 휴먼 에러가 31개로 도출 되어 주요 관리 대상임을 확인할 수 있다. 이 중에서 협동 로봇과의 작업 중에서 가장 위험하다고 도출된 위험 요소는 위에현장에서의 안전성을 향상시키고 작업자들의 안전을 보장할 수 있다.

References

- [1] H.-W. Yeo, research report, "Study on safety accident prevention measures such as installation of automated facilities(industrial robots)", Korea Safety and Health Agency, Korea Institute for Industrial Safety and Health.
- [2] J. S. Lee, K. G. Lee, "A Study on the Characteristics of Industrial Accidents and Actual Conditions for Industrial Robots", Occupational Safety and Health Research Institute, 2011.
- [3] G. S. Song, "Qualitative Risk Assessment of Industrial Robots in Automated Inspection Process", Korea National University of Transportation, 2021.
- [4] Y. S. Lee, "A Study on the Improvement of Safety and System through the Analysis of Industrial Accident Cases of Industrial Robots", Ulsan university, 2018.
- [5] J. W. Jun, "A Study on Development of Safety Certification Scheme for Co-Robot Cells based on International Standards", Graduate School of Soongsil University, 2020.
- [6] Korea Safety and Health Agency, Occupational Safety and Health Research Trend Vol.11 No.1, Technical Report, Korea, October, 2017. pp.209-234
- [7] Risk assessment, robot cell risk assessment (based on KS B ISO 12100, 13849-1)

임 사 랑(Sarang Lim)

[정회원]



- 2018년 8월 ~ 현재 : 호서대학교 대학원 수소에너지안전기술공학과 (석사과정)
- 2023년 5월 ~ 현재 : 호서대학교 산학협력단 안전환경센터 교육강사

<관심분야>

위험성평가, 로봇안전, 안전문화, 시스템안전

김 태 훈(TaeHun Kim)

[정회원]



- 2009년 8월 : 호서대학교 일반대학원 안전공학과 (공학박사)
- 2013년 12월 ~ 2022년 2월 : 한국안전학회 이사
- 2010년 3월 ~ 현재 : 호서대학교 안정공학과 교수
- 2014년 12월 ~ 현재 : 가스기술기 준위원회 분과위원
- 2018년 1월 ~ 현재 : 한국가스학회 이사

<관심분야>

위험성평가, 가스안전, 공장안전, 시스템안전