

위험성 평가를 통한 협동로봇 활용 자동차부품 조립공정의 안전성 향상 방안 : 디스크 스냅링 조립공정 위주로

조규선

호서대학교 안전행정공학과

Improvement for the Safety on the Automobile-Parts Assembly Process using Collaborative Robot through Risk Assessment : Disk snap ring assembly process mainly

Guy-Sun Cho

Department of Safety and Public Administration, Hoseo University

요약 최근 국내에도 협동로봇이 산업용로봇 시장에 진입하면서 제조업을 중심으로 설치되고 있으나 산업안전보건법 제93조 안전검사에 따른 산업용로봇의 안전규제를 그대로 적용받고 있어 안전보호 대책인 펜스와 매트를 설치하여야 하는 상황이었다. 협동로봇을 설치할 사업장은 ISO 10218-2과 ISO 12100에 따라 로봇-인간, 작업환경, 작업방식에 대한 위험성평가를 실시하고 위험도를 낮추어야 한다. 그러나, 국내 산업현장에 협동로봇의 도입 초기인 관계로 협동로봇에 대한 새로운 위험성도 알려지지 않고 있으며 위험성평가도 활성화되지 않아 사업장에서는 위험성평가가 낮설고 어렵게 받아들여지고 있다. 협동로봇의 위험성평가는 로봇과 인간이 공존하는 개념에서 출발해서 작업자의 이상행동, 인적 오류, 설비결함, 인터록 기능에 초점을 맞춰 실제 일어날 가능성이 높은 위험을 발굴하고 개선하는데 그 목적이 있으며 본 연구는 국내 자동차부품 제조업에 적용된 사례를 통해 입증하고자 하였다. 향후에도 협동로봇의 위험성평가를 다양한 공정 및 작업에 대해 사례 발굴함으로써 중소기업의 안전성 향상에 유용할 것으로 기대한다.

Abstract Recently, as the collaborative robot has been introduced into the domestic industrial robot market, it is installed mainly in the manufacturing industry. Collaborative robots are subject to the safety regulations of industrial robots by Article 93 of the Safety Inspection of the Industrial Safety and Health Act. The sites where collaborative robots are to be installed must perform risk assessments for robots-humans, work environments, and work methods and reduce the risks according to ISO 10218-2 and ISO 12100. On the other hand, because it is early in the introduction of collaborative robots, new risks for collaborative robots have not been issued, and risk assessments are unfamiliar and difficult to apply in the workplace. The risk assessment of collaborative robots aims to identify and reduce the risk of a high probability of occurrence by focusing on the abnormal behavior of humans, human errors, equipment defects, and interlock functions. In this study, a risk assessment was applied to a domestic automobile parts production plant, and improvement measures were drawn. This risk assessment is expected to be useful for improving the safety of small businesses by continuously discovering risk assessment examples of collaborative robots.

Keywords : New Technology Hazard, Cobot, Collaborative Robot, Risk Assessment, Robot Safety,
Automobile Parts

*Corresponding Author : Guy-Sun Cho(Hoseo University)

email: cho1395@hoseo.edu

Received May 19, 2020

Accepted August 7, 2020

Revised June 10, 2020

Published August 31, 2020

1. 서론

1.1 연구 배경 및 목적

최근 인간과 같은 공간에서 활용되는 협동로봇(Collaborative robot)이 시장에 확산되고 있다. 기존 산업용 로봇은 안전펜스와 안전매트를 설치하여 인간과 로봇을 공간적으로 격리하여 사용하나 협동로봇은 작업자와 직접 접촉하며 작업공간을 공유하는 안전이 내재화되어서 저속, 저에너지의 안전기능이 보강된 산업용 로봇의 일종으로 작업자와 협업하는 작업용 로봇이다.

이 로봇은 산업용 로봇에, 숙련된 인력수급이 어렵고 작업공간이 협소한 중소기업에 사용할 목적으로 2000년대 초 유럽을 중심으로 개발되었고 이후, 안전이 보강된 협동로봇으로 발전하게 된다[1]. 국내에서는 협동로봇, 협업로봇, 코봇 등으로 불리었으나 2012년에 KS B ISO 8373이 제정되면서 협동로봇으로 통일되었다[2]. 협동로봇 시장은 2016년 8.4백만 달러(2016) → 19백만 달러(2017) → 668.6백만 달러(2025)까지 연평균 52.4% 성장하는 것으로 전망되고 있다[3].

협동로봇은 산업용로봇과 달리 상대적으로 저속, 저에너지의 특징이 있으므로 다품종 소량생산공정, 생산품을 주기적으로 변경해야 하는 공정에 적용이 유리하여 중소기업의 좁은 작업장에서도 근로자와 함께 단순 반복작업, 힘을 보조하는 작업에 적합하다. 또한, 작업자의 고령화와 주 52시간 근무제 도입으로 협동로봇의 수요는 확대될 것으로 예상된다.

그러나, 협동로봇은 같은 공간에서 작업자와 함께 작업을 해야 하므로 알려지지 않은 위험에 노출될 수 있다. 협동로봇의 종류, 설치된 환경, 작업자의 숙련도, 작업자의 몸상태 등에 따라 정형화하기 어려운 다양한 형태의 위험요인이 발생할 수 있다.

Lee에 따르면, 2008년부터 2017년까지 제조업중 산업용로봇 재해현황(Fig. 1)은 '17년에 사망 1건을 포함하여 전체 33건의 재해가 발생하였다[4]. 산업용로봇의 위험도가 972로서 대표적 위험기계인 컨베이어 348, 크레인 497 보다 월등히 높은 것으로 산업용로봇과 작업자간, 신체 충돌, 로봇접점 중 부딪힘, 끼임, 감전 등 로봇과 작업자의 격리실패로 인한 산재사고가 사망 등 중대재해이기 때문이다.

본 연구는 산업현장에 보급되기 시작한 협동로봇이 설치된 공정을 ISO 12100 국제표준에 기반한 기계류 위험성평가 방법을 활용하여 위험요인을 발굴하고 저감 대책에 대해 논하고자 한다.

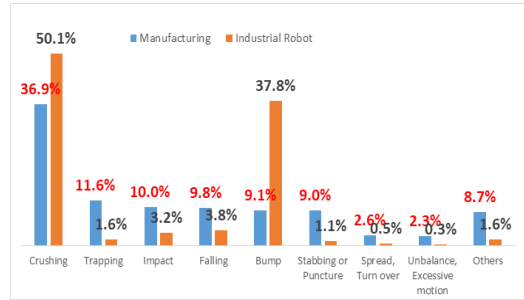


Fig. 1. Industrial Robot-related Accidents

1.2 연구방법 및 절차

본 연구는 설치현장의 주변상황 확인, 작업자 동선 파악, 작업자 접근 횟수와 시간 조사 등 설치현장조사를 시작으로 업무매뉴얼을 통한 작업공정과 작업표준을 분석하고, 이를 바탕으로 위험요소(Hazard)를 발굴, 위험성(Risk) 결정, 허용여부 판단, 개선 조치까지 마무리 하는 절차를 아래 Fig. 2와 같이 제시하였다.

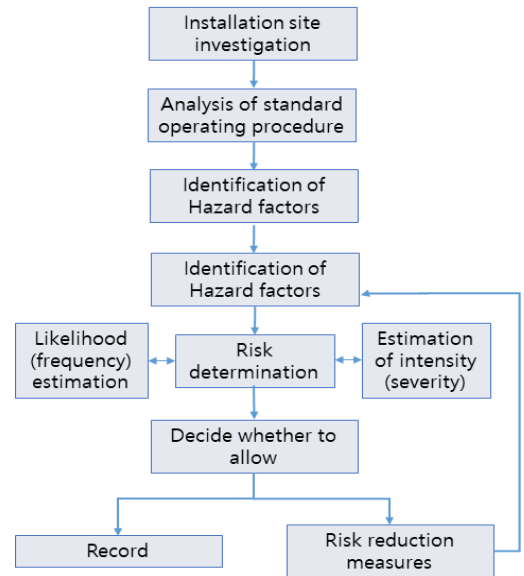


Fig. 2. Research method and procedure.

2. 디스크 스냅링 조립공정의 위험성평가

2.1 주요 위험요인

협동로봇의 위험성은 Fig. 3과 같이 사람과 로봇이 장소적·시간적으로 겹쳐지는 영역에서 발생하며, 위험성은 겹치는 영역이 커질수록 커진다[5].

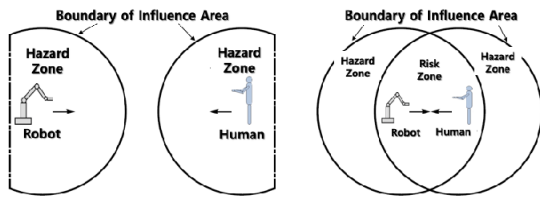


Fig. 3. Human-Robot Risk Concept

ISO 12100 표준을 적용받는 협동로봇은 기계적 위험, 전기적 위험, 열적 위험, 인체공학적 위험, 소음, 진동, 방사선, 재료 및 물질 등의 위험이 있다.

특히, 기계적 위험은 로봇 암의 정상/우발 동작, 말단장치 또는 로봇셀의 정상/우발 동작, 말단장치 고장/분리, 정비 시 말단장치의 동작, 작업 시 기계 또는 로봇셀 부품의 우발 동작, 재료 및 제품의 낙하/분출, 도구의 우발 풀림, 말단장치에서 날카로운 도구의 회전/동작 등이 있고 압착(Crushing), 전단(Shearing), 절단(Cutting), 말림(Entanglement), 충격(Impact), 찔림(Stabbing or Puncture) 등의 재해가 발생할 수 있다.

2.2 대상 공정의 작업분석

Fig. 4는 위험성평가를 실시하고자 하는 디스크 스냅링 조립공정의 공정 개념도이다. 협동로봇은 ① 스냅링 자동공급기에서 디스크 셋을 넣고 스냅링을 선택하여 ② 두께 측정 후 ③ 압입된 내 이재하고 최종적으로 작업자가 압입기로 끼워 고정한다.

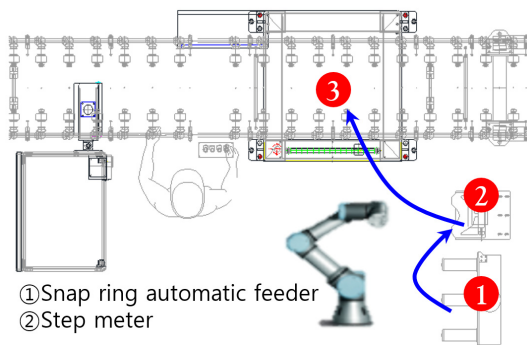


Fig. 4. Co-Robot Workspace Diagram

작업분석 과정을 통해 사고의 주 원인인 작업자가 작업방법을 무시하거나 생략 혹은 오인 행동, 작업순서 반대 실행, 과부하로 인한 만성피로 상태의 작업 등을 수행 등 사고의 원인을 파악할 수 있다. 따라서, 면밀한 작업분석을 통해 올바른 작업방법과 절차를 파악하고 위험요인

을 발굴하는 기초작업을 충분히 하여야 한다.

작업분석 절차는 위험성평가 과정에서 작업자가 표준 작업 방법을 충분히 이해하고 있으며 실제 작업표준대로 행동하는지를 현장조사 단계에서 확인하는 기준으로 활용된다.

협동로봇 제원

- 중량 : 28.9 kg
- 가반하중 : 10 kg
- 미치는 범위 : 1300 mm
- 관절범위 : +/- 360°
- 자유도 : 6 회전관절
- 동력전원 : 100~240 VAC
- 재질 : 알루미늄, PP 플라스틱

2.3 위험성평가 기준 정립

협동로봇의 위험성평가 일반원칙은 ISO 12100에 기반하여 Fig. 5와 같이 사전 평가계획을 수립하는 것에서부터 출발한다.

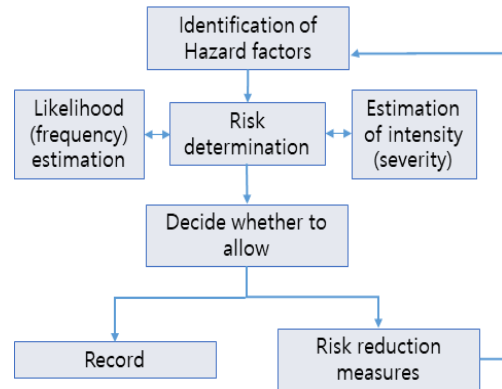


Fig. 5. Risk Assessment Procedure

Table 1과 같이 위험의 발생가능성인 빈도 1점은 작업 중 사고가 매년 1회 발생, 2점은 작업 중 사고가 매년 2회 발생, 3점은 작업 중 사고가 매년 3회 이상 발생 할 경우로 정의하였다[6].

Table 1. Possibility (frequency) criteria table

Frequency	Criteria
High	3 or more accidents occur during annual work
Medium	2 or more accidents occur during annual work
Low	1 or more accidents occur during annual work

Table 2와 같이 위험의 심각성(치명도)인 강도 1점(경미)은 운전성 향상을 위한 개선을 목적으로 하는 무시할 수준의 손실일수 없는 사고, 2점(보통)은 휴업일수 4일 미만의 사고, 3점(중대함)은 휴업일수 4일 이상 90일 미만의 사고, 4점(치명적)은 사망, 휴업일수 90일 이상의 사고로 정의하였다[6].

Table 2. Strength (severity) criteria table

Severity		Criteria	
Highest	Critical	4	Death, or accidents over 90 days off
High	Grave	3	Accidents between 4 days and less than 90 days
Medium	Significant	2	Accidents with less than 4 days off
Low	Slight	1	An accident with negligible loss with the aim of improving driving performance

위험성 추정은 행렬 조합법으로 Table 3과 같이 정의하였다[7].

Table 3. Risk Matrix of Checklist

Frequency Severity	3	2	1
4	5	5	3
3	4	4	2
2	3	2	1
1	2	1	1

위험성결정의 위험수준(Table 4)은 사업장에서 일반적으로 사용하는 체크리스트 기법을 준용하여 1점(무시할 수 있는 위험)은 현재의 안전대책을 유지, 2점(경미한 위험)은 보호구 착용, 안전난간 설치, 안전정보 및 주기적 표준작업 안전교육 제공이 필요하나 현 상태로 작업이 가능, 3점(상당한 위험)은 조건부로 계획된 기간에 안전대책을 세워야하는 위험, 4점(중대한 위험)은 긴급 임시 안전대책을 세운 후 작업을 하되 계획된 기간에 안전대책을 세워야하는 위험, 5점(허용불가한 위험)은 즉시 작업중단(작업을 지속하려면 즉시 개선을 실행해야 하는 위험)이 필요한 위험이다[8].

Table 4. Risk Management Criteria

Risk level		Improvements	
Unacceptable	5	Risks that require immediate shutdown (risk of immediate improvement to continue work)	
Serious	4	Risks of working after establishing emergency temporary safety measures, but establishing safety measures during the planned period	
Significant	3	Risk of establishing safety measures during a conditionally planned period	
Minor	2	It is necessary to provide protective gear, install safety railings, provide safety information, and provide safety training on a regular basis, but work is possible as is.	
Negligible	1	Maintain current safety measures	

2.4 위험성평가 결과

발생빈도와 강도는 위험성평가 전문가 1명과 설치업자 2명, 생산관리자 1명, 안전관리자 1명, 대학 안전학과 교수 1명이 브레인스토밍 방식으로 결정하였다.

위험성추정은 행렬 조합법으로 Table 5와 같이 결정하였다. Table 5의 빈도, 강도, 위험도를 상하로 나눈 것은 개선 전과 후의 위험을 표시한다.

Table 5. Main Risk Factors and Risk

Num-ber	Form	Hazard factors	Frequency	Severity	Risk
M-1	Impact	Robot control display is not clear, unexpected inter-mediate products from the previous process or unexpected movement of the robot causes collision with workers.	3	2	3
			2	2	2
M-2	Impact	Collision detection stop function is not activated, there is a possibility of collision with workers.	3	2	3
			2	2	2
M-3	Impact	Robot is operated manually, there is a risk of collision due to unexpected movement.	3	2	3
			1	2	1
M-4	Impact	Operation pendant is located within the working radius of the robot, there is a risk of collision when operating the pendant.	3	2	3
			1	2	1
M-5	Impact	Risk of collision due to no emergency stop button.	3	2	3
			2	2	2

위험성평가결과 작업자와 로봇의 충돌사고 위험이 제어상태 미표시, 라이트커튼 기능 해제, 교시운전 중 불시기동, 조작팬던트의 위험지역 내 보관, 비상정지버튼 미설치 등의 원인으로 파악되었고 작업개시 전에 개선되어야 할 수준이었다.

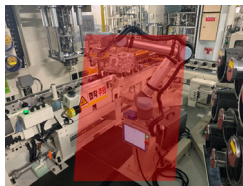
3. 공정 안전성 향상 방안

3.1 위험성 저감 조치

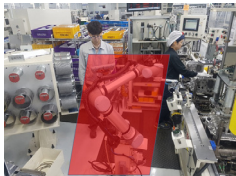
- (a) 로봇의 운전상태를 명확히 표시되지 않은 부분은 발광 누름버튼으로 교체하고 터치 화면에 조작상태를 명확히 표시하도록 개선하였다.
- (b) 작업자와 로봇 사이에 설치된 라이트 커튼의 무효기능을 제거하고 설정한 영역(스캔범위)에 접근시 항상 로봇이 급정지하도록 하였다.
- (c) 로봇 수동조작 시 예상치 못한 작동을 방지하기 위해 작동속도를 250 mm/s 이하로 제한하였으며, 충돌 감지정지기능을 활성화하였다.
- (d) 위험구역 내 조작 팬던트는 안전한 구역으로 위치를 변경하여 보관하였다.



(a) Control Display Using Push Button and Touch Screen.



(b) Rapid Stop Light Curtain Installation.



(c) Speed Reduction Light Curtain Installation.



(d) Change the Position of the Operation Pendant.



(e) Emergency Stop Device Installation.

Fig. 6. Site Risk Assessment Results

- (e) 작업자와 인접한 위치에 비상정지버튼을 설치하여 위급 시 신속히 비상정지되도록 하였다.

3.2 국제규격에 의거한 저감 조치

ISO TS 15066 표준에 따른 협동운전의 4가지 유형별 위험성 감소 방법은 Table 6과 같다[9]. 협동로봇의 핵심적 특징 중 하나는 공정 재배치가 용이하다는 점이다. 따라서, 기존 작업 방식의 변동이 있을 경우, 동 표준에서 제시하고 있는 협동운전 유형별 안전기준을 숙지하고 준수하여야 한다. 이때 주의 할 것은 바뀐 환경을 고려하여 위험성평가를 재실시하는 것이 안전하다.

Table 6. Method to Reduce the Risk of Cooperative Driving(Example)

Operation	Method to reduce the risk	Safeguards (Example)
Safe monitored stop	When movement in the cooperative work area is detected, the robot stops according to the specified procedure.	Light curtain, Laser scanner, Vision sensor, etc.
Hand guiding	Robot operation only by operator guiding	Teaching device driven by enabling device
Speed and position monitoring	Robot operates only when the distance between human and robot is more than the safe distance	Laser scanner, Proximity sensor, Vision sensor, etc.
Power and force limiting	Limits the driving force or power of the robot in the case of human-robot contact	Torque sensor, Laser scanner, Vision sensor, etc.

4. 결론

조립공정에 설치된 협동로봇의 위험성평가 결과, 위험성은 작업자와 로봇의 충돌위험이었으며 개선 전 위험도는 3(충분한 위험)으로 신속히 안전대책을 세워야 하는 수준으로 개선 후 위험도를 1~2(무시 또는 경미한 위험)로 낮춰 작업자 안전교육 및 감시로 안전을 유지할 수 있는 수준으로 낮출 수 있었다.

국내 산업현장에 협동로봇이 도입되지 얼마되지 않아 협동로봇에 대한 위험성은 무지의 세계와 같다고 표현하여도 과언이 아니다. 현장의 작업자들 대다수에게 위험성평가는 생소하여 현장에서는 어렵게 받아들여지고 있는 현실이다. 로봇과 인간이 공존하는 현상이 지속적으로 확대될 것이므로 작업자의 이상행동, 인적 오류, 설비결함

을 고려하여 실제 일어날 가능성이 높은 위험을 발굴하고 개선함으로써 협동로봇 활용 작업의 안전성을 강화하여야 할 것이다.

로봇기술 발전과 로봇산업의 확대, 스마트팩토리·IoT, 빅데이터, 5G 등 4차산업혁명 관련 기술이 현실화됨에 따라 생산시스템 전반에서 생산 환경 변화는 불가피하다. 협동로봇은 그 시발이 되는 도구이자 기술로서 작업자와 로봇이 작업공간을 공유함에 따라 안전펜스가 없어지고 작업의 유연성과 공간 절약의 장점은 가져왔으나 새로운 유형의 위험에 노출되는 문제점을 해결해 나가야 할 과제를 안게 되었다.

특히, 중소기업은 구직의 어려움, 협소한 작업공간, 잦은 공정변경 등의 이유로 협동로봇의 도입 확대가 예상되므로 관련 위험에 더욱 직면할 가능성이 높다. 본 연구가 중소기업의 다양한 공정에서 위험성평가를 실시하고 그 결과를 공유, 확산하여 안전한 작업장을 만드는데 기여하기를 기대한다.

<http://www.kosos.or.kr/>

- [8] Korea Occupational Safety & Health Agency, "Risk Assessment Guideline", pp. 39-41, 2017.
<http://www.kosha.or.kr/kosha/info/getLaw.do#/a>
- [9] ISO/TS 15066 : Robots and Robotic Devices -Collaborative robots, 1st edition, ISO, 2016.

조 규 선 (Guy-Sun Cho)

[정회원]



- 2020년 8월 : 송실대학교 대학원 안전보건융합공학과 (공학박사)
- 1992년 1월 ~ 2018년 2월 : 한국 산업안전보건공단 부장
- 2018년 3월 ~ 현재 : 호서대학교 안전공학과 교수
- 기계안전기술사, 인간공학기술사
- 고용노동부 작업증지해제위원

<관심분야>

공정안전, 안전보건경영시스템, 로봇안전, 위험성평가

References

- [1] Technology and innovation, KOITA, pp. 25-27, 2018.6.
<https://www.koita.or.kr/>
- [2] J. W. Jun, "A Study on Development of Safety Certification Scheme for Co-Robot Cells based on International Standards", Ph.D dissertation, Soongsil University, p 10, Feb. 2020.
<http://www.riss.kr/link?id=T15499936>
- [3] M&M Research, Collaborative Robot Market - Global forecast to 2025, Markets&Markets, USA, 2018.
<https://www.marketsandmarkets.com/>
- [4] Y. S. Lee, "A Study on the Improvement of Safety and System through the Analysis of Industrial Accident Cases of Industrial Robots", Master's thesis, University of Ulsan, 2018.
<http://www.riss.kr/link?id=T15088403>
- [5] J. W. Jun, "A Study on Development of Safety Certification Scheme for Co-Robot Cells based on International Standards", Ph.D dissertation, Soongsil University, p 28, Feb. 2020.
<http://www.riss.kr/link?id=T15499936>
- [6] Korea Occupational Safety & Health Agency, "Technical Guidelines for Risk Assessment at Workplace Using Checklist", pp. 9-12, 2014.
<http://www.kosha.or.kr/kosha/info/getLaw.do#/a>
- [7] G. S. Cho, Application of JSA and Checklist in Asbestos Sealing, Journal of the Korean Society of Safety Vol. 35, No. 2, pp. 61-66, April 2020.