

생성형 인공지능 Job File 생성 및 작업자 행태 이슈에 대한 현장 실증연구

김낙일*¹, 김원현*², 윤승정**

Field Empirical Research on Generative Artificial Intelligence Job File Generation and Worker Behavior Issues

Nakil Kim*¹, Wonhyun Kim*², and SeongJeong Yoon**

본 연구는 (재) 울산정보산업진흥원의 '메타버스, XR 산업 융합 콘텐츠 개발 지원 사업'으로 수행한 결과물임

요 약

최근 제조업 분야에서 산업용로봇을 활용하는 것을 넘어 협동로봇 도입을 확대하고 있다. 이는 생산성을 높이고 작업자 안전 확보에 목적이 있다. 그러나 여전히 산업용로봇을 제어하기 위한 제어코드 Job file 생성에는 최소 6개월 이상이 소요된다고 한다. 또한 작업자의 안전이 확보되었다고는 하지만 여전히 해결해야 할 현장의 목소리를 담지는 못한 상황이다. 따라서 현장관리자의 인터뷰를 통하여 향후, 자동차 생산공정에서 인공지능 요소를 적용할 절차, 기능 및 역할을 제시하여 현장의 문제를 해결하고자 한다. 더불어 작업자의 위험도가 높은 곳에 왜 자동화가 필요한지 구체적으로 조사할 것이다. 본 연구를 통하여 로봇제어에 필요한 생성형 인공지능 코드 생성 절차 및 작업자의 안전 확보 중점 관리 요인을 제시하고자 한다.

Abstract

In the recent manufacturing sector, there has been an expanding adoption of collaborative robots beyond industrial robots. The primary objective is to enhance productivity and ensure the safety of workers. However, it has been reported that generating the control code, known as the Job file, for industrial robot control still takes a minimum of six months or more. Furthermore, while worker safety has improved, there are still unresolved issues and concerns in the field. Therefore, through interviews with on-site managers, the aim is to propose procedures, functions, and roles for the application of artificial intelligence elements in the automotive production process in the future. This is to address the issues in the field effectively. Additionally, a specific investigation will be conducted to determine why automation is needed in places where worker risk is high. Through this research, the goal is to provide guidelines for generating artificial intelligence-based code for robot control and emphasize key management factors for ensuring worker safety.

Keywords

generative AI, industrial robots, Job Files, worker behavior, work risk

* 슈타겐 대표

- ORCID¹: <https://orcid.org/0000-0002-3852-1608>

- ORCID²: <https://orcid.org/0009-0006-8803-2796>

** 슈타겐 수석컨설턴트(교신저자)

- ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5188-801X>

• Received: Dec. 21, 2023, Revised: Jan. 22, 2024, Accepted: Jan. 25, 2024

• Corresponding Author: SeongJeong Yoon

Dept. of #C-708, 40, Dongcheon 1-gil, Jung-gu, Ulsan, Korea

Tel.: +82-52-294-2524, Email: sjyoon@shutagen.com

I. 서론

본 연구는 자동차 제조생산공정의 효율성과 작업자의 위험 상황을 현장에서 직접 인터뷰하여 향후 중점 관리 요인을 제시하는 것이 목적이다. 기존 연구에서는 자동차 제조 생산공정 연구라는 것은 대부분 산업용 로봇의 제어에 초점을 두고 있다. 왜냐하면 현재 운영되고 있는 자동차 제조생산공정은 산업용 로봇을 제외해서는 안 되기 때문이다[1]-[3].

그러나 이제는 현장의 산업용로봇 개선점을 기술적으로 해결하려는 시도 이외에 신기술을 적용이 시급하다는 인터뷰 결론을 얻었다. 구체적으로 산업용 로봇을 제어하기 위한 제어 코드를(Programmable logic control) 기획하고 코드 생성하는데 최소 6개월 이상 소요된다고 한다. 제어코드를 생성 후에도 보정작업을 통하여 제어코드를 수정하는 작업은 3개월이 추가로 소요된다고 한다. 이는 신차 생산을 위해 최소 9개월 이상 소요되며, 추가로 기획하고, 파일럿 테스트하기까지는 1년 이상 소요된다고 한다. 이렇게 사람이 산업용로봇을 제어하기 위하여 3D를 이용하여 수작업으로 수차례의 작업을 수행한 결과는 많은 시간이 소요되며, 다양한 차종을 설계하고 로봇을 제어하는데 한계가 존재한다. 또한, 최근 자동차 시장수요의 변화에 주목할 필요가 있다. 많은 국가에서는 내연 기관 자동차 생산에서 전기/수소 추진 자동차 생산체제로 급변하고 있다[4]. 특히, 유럽은 수년 이내에 내연 기관 자동차를 수출하지 못하는 규제들이 나타나고 있다[5]. 이렇게 급변하는 시장의 수요 대응을 위해서는 신속하고 정확성이 높은 고품질의 제어코드 생성이 필수적이다. 두 번째 측면에선 작업자들은 산업용로봇에서 협동 로봇으로 협업하는 작업체계가 형성될 것이다. 기존 연구에서는 협동 로봇의 개선을 통하여 사람과의 작업에 안전을 확보하는 동시에 효율적 작업을 할 수 있는 환경을 제공하는 것이 필요하다고 강조하고 있다[6]-[8]. 이에 대하여 구체적으로 왜 위험도가 높은지 현장 인터뷰하여 실제로 건강상 어떤 문제들이 발생했는지 조사하고자 한다.

따라서, 본 연구의 주요 구성은 H사의 현장관리자와 설계 및 작업자들 대상으로 현장 인터뷰하여, 위험도가 높은 곳이 어디인지와 수작업이 많이 필

요한 공정은 어느 부분인지 조사하고 PLC 전문가 C사의 인터뷰를 통하여 생성형 인공지능 제어코드 생성에 필요한 절차를 제시하고자 한다.

II. 관련 연구

2.1 생성형 인공지능 제조업 적용 사례

기존연구에서 제조업 영역에서 생성형 인공지능 적용한 사례에 관한 연구는 없다. 다만 공개된 기사를 기준으로 생산 현장에서의 인공지능 역할에 대하여 설명한 것은 있다. 최근 H사 그룹에서 ‘18년 인공지능 연구조직 AIR Lab(에어랩)의 연구성과를 자동차 생산 및 모빌리티 서비스에 적용하고 ‘19년 인공지능 전담 조직 AIRS로 재편했다고 한다[9]. 자동차 생산에 인공지능 기술을 접목한 스마트팩토리 연구 개발에도 집중하고 있다고 한다. 구체적으로 적용한 부분은 “도장 검사 시간과 차종, 이상 유형 및 발생 위치 등을 빠르게 추출해 빅데이터를 구축하고, 사람의 손길 없이 도장 공정에서 발생한 문제나 오류를 빠르게 파악해 품질 향상을 도모”하였다고 한다. “자동차 디자인 과정에서도 인공지능 기술이 접목되어 휠 디자인 자동 생성기”를 구축했다고 한다.

미국 자동차 Ford에서는 인공지능을 활용하여 로봇을 사용하여 3D프린터를 적극적으로 활용하고 있으며, 24시간 감독 없이 인공지능을 활용하여 디자인을 지속 개선한다고 발표하고 있다[10]. 3D로봇의 더 높은 정확성을 달성하고 오류 한계를 줄일 수 있도록 프린터 데이터로부터 지속적인 학습을 통하여 고품질, 일관성 있는 품질, 다양한 품질을 생성하도록 하고 있다.

최근 2023년 8월 CIO 기사에 의하면 메르세데스 벤츠 그룹 AG CIO 얀 프레히트는 “자동차 기업의 디지털 전환의 원동력은 이제 생성형 AI”라고 답하였다[11]. 이 기사에서는 메르세데스 벤츠는 오랫동안 머신러닝 및 인공지능에 활용해왔으며 “최근에는 데이터 기반 디지털 생산 시스템 이른바 메르세데스 벤츠 오퍼레이션 360(Mercedes-Benz Cars Operations 360, MO360)에도 생성형 AI를 적용했다”라고 한다.

이를 적용한 후 어떤 반응이 있는지 다음과 같이 설명하고 있다. “디지털화 및 강력한 AI 시스템 사용이 증가함에 따라 생산 및 관리 분야에서 직무 역할도 변하고 있다” 또한 AI는 직원의 일상 업무를 개선 및 촉진하기 위한 필수적인 기술이라고 하였다. 이처럼 생성형 AI를 통하여 생산성 향상뿐만 아니라 일상이 변화가 일어날 것이다.

2.2 작업자 위험 요인분석

K. S. Cho[12]의 연구에서는 작업자의 위험성 평가를 통한 안전성 향상 방안을 제시하였다. 산업안전보건법 제93조 안전 검사에 따른 산업용 로봇의 안전 규제를 그대로 적용받고 있어 펜스와 매트 설치는 필수적이다. 그의 연구에서는 “협동 로봇을 설치할 사업장은 ISO10218-2과 ISO12100에 따라 로봇-인간, 작업환경, 작업방식에 대한 위험성 평가를 통해 위험도를 낮추어야 한다고 한다.” 위험성 평가를 위해 발생 가능성에 따라 정량화하였다. 예를 들어 매년 1회 발생은 1점, 사고가 매년 2회 발생은 2점, 3회 이상은 3점으로 측정하였다. 위험성의 심각도(치명도)를 기준으로 측정하였는데 경미 한 수준은 1점, 휴업 일수 4일 미만의 사고는 2점, 휴업 일수 4일 이상 90일 미만인 사고는 중대함으로 3점, 사망, 휴업 일수 90일 이상의 사고는 치명적 4점으로 정의하였다. 이를 아래와 같은 측정 매트릭스로 위험성을 평가하였다.

표 1. 위험성 측정 매트릭스
Table 1. Risk matrix of checklist

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

그의 위험성 평가 결과를 요약하면 다음과 같다.

K. S. Cho[12]의 연구에서 제시하는 주요 위험성 요인을 표 2와 같이 재편집하여 제시하면 로봇의 위험요인, 발생빈도, 심각도에 대한 최종 위험성을 평가한 결과를 볼 수 있다.

표 2에서 빈도, 심각도, 위험성이 두 줄은 윗줄은 개선 전, 아래는 개선 후를 의미한다. 그러나 본 연구에서는 로봇 자체의 비정상적 동작에 대한 개선을 목표로 하는 것이 아니다. 작업자의 위험 요인을 수집, 학습, 분석하여 협동 로봇에 제어 알고리즘에 투입하려는 입력값을 도출하기 위한 것이다. 이에 우선 본 연구에서는 현장에서 위험 요인이 일어나는 인터뷰를 통하여 도출하고자 한다.

표 2. 주요 위험성 요인
Table 2. Main risk factors and risk

Risk factor	Improvement	Frequency	Severity	Risk
The unclear robot control display led to unexpected intermediate product issues in the previous process and collisions with workers due to unexpected robot movements.	Before	3	2	3
	After	2	2	2
The collision detection stop function is not activated, which increases the risk of collisions with workers.	Before	3	2	3
	After	2	2	2
The robot is being operated manually, and there is a risk of collision due to unexpected movements.	Before	3	2	3
	After	1	2	1
The operating pendant is located within the robot's working radius, and there is a collision risk when operating the pendant.	Before	3	2	3
	After	1	2	1
Lack of an emergency stop button poses a collision risk.	Before	3	2	3
	After	2	2	2

2.3 자동차 생산공정의 변화분석

20세기 초기 자동차 생산 방식은 수동적으로 공장 내에서 많은 수작업이 대부분이어서 공정은 비효율적이며, 생산량이 제한적이어서 1910년대에서 헨리포드가 조립라인을 도입하여 대량생산을 시작하게 되었다.

그 결과 자동차 생산이 대폭 증가하고 가격도 저렴해지면서 대중화되는 시기에 들어서게 된다. 20세기 중반에 와서는 혼류생산 방식으로 자동차 제조사들이 다양한 모델과 스타일을 혼합하여 제조하는 혼류생산 방식을 도입하게 되었다. 결국, 소비자에게 다양한 옵션을 제공하고 더 많은 수익을 창출하게 되었다[13].

최근 21세기 초반에는 전기자동차와 수소차의 등장으로 환경 문제와 에너지 효율성을 고려한 결과이다. 분명히 내연 기관의 자동차는 다른 기술과 생산공정이 요구된다. 배터리 제조 및 관련 기술을 통한 변화와 함께 전기차 및 수소차의 생산이 늘어나고 있다[14].

현재 내연기관설계 및 기획 단계에서부터 생산공정이 들어가기 전까지 최소 몇 년 이상이 소요되는 것이 사실이다. 이에 대한 소요되는 단계는 다음과 같다. 설계 및 기획 단계, 부품공급 및 제작, 생산시설 준비, 공정개발 및 최적화, 시험생산 및 품질 향상, 생산 준비 및 인력교육, 시스템 테스트로 구성되어 있다[15].

III. 연구 방법론

위에서 언급한 바와 같이 제어코드 생성의 신속성과 정확성 및 작업자의 안전 확보에 대하여 현장의 요구사항이 무엇인지 H사의 자동화기술부 관리자 1명, 책임자 3명, 작업자 3명, 대학교수 3명의 포커스 그룹 인터뷰를 통하여 실질적으로 개선해야 할 요인을 제시하고자 한다.

표 3에서 포커스 그룹 인터뷰 사항을 요약하였으나, 일정과 현장 접근 보안문제로 매우 제한적인 인터뷰를 실시하였다. 논문의 내용에 대하여 H사의 관리자/책임자의 보안 요구에 따라 일부 내용은 삭제하여 아래와 같이 결과를 제시하는 바이다. 연구 방법은 표 4의 순서로 수행하였다.

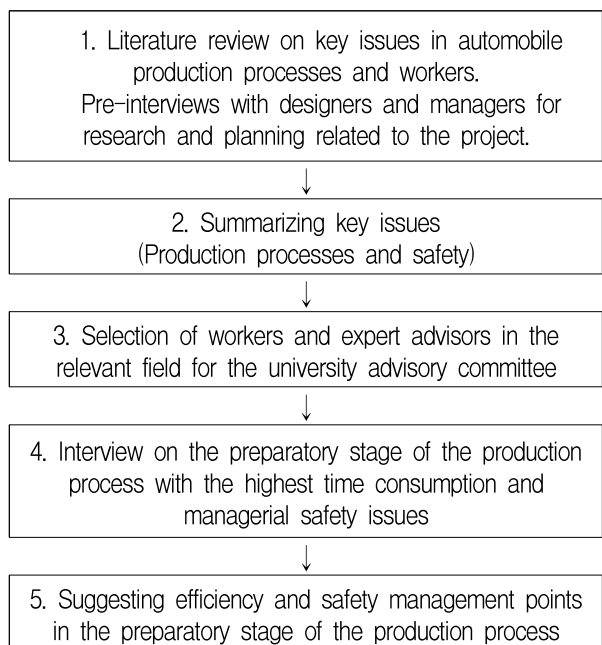
본 연구에서는 자동차 생산공정에 대하여 준비단계에서 가장 시간이 많이 소요되거나 작업자의 안전을 위협요인과 지점을 찾아내고자 하는 것이다. 우선 이를 위해 문헌 조사와 기획/설계자와 관리자에게 사전 인터뷰하였다. 또한, 주요 이슈를 정리하여 작업자와 대학 전문가(교수)에게 인터뷰하였다.

그 이유는 현장의 이슈를 실제로 이렇게 도출한 이슈가 타당한지와 해결할 방안을 수집하고자 하였다. 정량적인 숫자로 정량적 설문을 구성한 것이 아니라 실제로 현장의 문제를 직관적으로 이해할 수 있도록 인터뷰한 것이다. 본 연구에서 제시하려는 결론은 생산공정의 효율화와 작업자의 안전에 대한 이유와 관리 포인트를 찾고자 하는 것이다. 따라서, 기획/설계자, 작업자, 관리자에게 그 결과를 현장에 적용할 수 있도록 제시하고자 한다.

표 3. 포커스 그룹 인터뷰
Table 3. Focus group interview

Factor	Explanation
Interviewee	1 manager, 3 supervisors, 3 workers, 3 university professors.
Interview period	2023.09.14.~23.10.12
Key interview content	-The process of generating control code for generative artificial intelligence identifying areas in the production process where manual labor is most required - Recognizing risk factors related to worker safety
Interview method	In-person (at production and research facilities, company H).
Sequence	Manager, supervisors, workers, university professors.

표 4. 연구프로세스
Table 4. Research process



IV. 분석 결과

4.1 생성형 인공지능 제어코드 생성 분석

표 5에서는 제어코드 생성 절차를 기획/설계자에게 설명한 후 시간 소요가 가장 많은 절차를 제시하도록 하였다. 표 5의 절차에 대하여 가장 시간이 많이 소요되는 과정이 무엇인지 기획/설계 책임자의

인터뷰 한 결과를 요약하면 다음과 같은 이슈 사항을 제시할 수 있다.

“[기획/설계자] 신차개발에 있어 시스템 테스트와 실제 생산라인 통합에 시간이 가장 많이 소요되나, 2번의 제어 시스템 설계, 3번의 PLC 프로그래밍 과정도 역시 가장 집중해야 하고 상당한 시간이 소요된다. 따라서 생성형 AI를 통하여 제어설계와 프로그래밍 가능한다면 많은 시간이 절약될 것 같다.”

표 5. 자동차 생산 제어 코드 생성 절차

Table 5. Procedure of control code

Number	Process[16]	Explanation
1	Requirements analysis	This step involves defining the requirements for the automotive production process control system. In this phase, considerations include production volume, product types, quality standards, production line configuration, and more.
2	Control system design	Designing the architecture of the control system involves incorporating hardware components such as PLC (Programmable Logic Controller), HMI (Human-Machine Interface), sensors, actuators, and others.
3	PLC programming	Programming the PLC to control each stage of the production line involves implementing program logic to manage the functions and interactions of various components within the production line.
4	HMI development	Developing an HMI (Human-Machine Interface) allows operators to monitor and control the production process through a graphical interface. The HMI displays system status and data through visual graphics, enabling easy interaction with the control system.
5	Connecting sensors and actuators	Connecting sensors and actuators to the production line and integrating them with the PLC involves setting up the hardware components to collect data from the production process (sensors) and control the operations of the production line (actuators) through the PLC's logic and control.
6	System testing	Testing the developed control system in a simulation environment allows for the verification of system behavior, identification of issues, and necessary modifications without impacting the actual production process.
7	Integration of production lines	Integrating the control system into the actual production line and verifying its functionality involves confirming that the system operates as intended in a real-world setting. During this phase, stability is tested by gradually increasing production volume to ensure the system's reliability and performance under operational conditions.
8	Production startup	Once the control system is functioning properly, production can commence. During this phase, initial product manufacturing takes place, and quality inspections are carried out to ensure that the products meet the specified quality standards.
9	Maintenance and optimization	During the ongoing production, it is essential to perform regular maintenance and optimize the performance of the control system. This includes handling any malfunctions, implementing software updates, and continuously working on quality improvements to ensure smooth and efficient production processes.
10	Continuous monitoring	The production line should be continuously monitored to promptly address system errors or performance degradation. By collecting system data and analyzing the production process, it becomes possible to identify areas for improvement and make data-driven enhancements to the system's overall performance.

또한, 표 6은 PLC 개발 담당자에게 제어코드 중에 가장 많이 소요되는 부분을 인터뷰하였다. 그 결과는 다음과 같았다.

표 6. 제어코드 예시
Table 6. Control code example

Automobile production control code“(PLC ladder logic)
PLC Ladder Logic - Start/Stop button StartButton := Input1; StopButton := Input2; - Status of motor and sensor Motor := Output1; Sensor1 := Input3; Sensor2 := Input4; - Control logic If StartButton = 1 Then - When the start button is pressed Motor := 1; -- Motor operation start - Product manufacturing process If Sensor1 = 1 Then - When Sensor 1 detects - Performing a specific task End If; If Sensor2 = 1 Then - When Sensor 1 detects - Performing the following task End If; Else - When the start button is not pressed Motor := 0; -- Motor stop End If; - When the stop button is pressed, the motor stops immediately. If StopButton = 1 Then Motor := 0; End If;

“[기획/설계자] 표 6에서는 제어코드 시작, 센서감지, 특정 작업 수행과정은 고정된 루틴이다. 여기서 감지의 하드웨어의 성능에 매우 의존적으로 시간 소요가 많지 않다. 그러나 특정 작업 수행이라는 것은 제어코드를 어떻게 구성하느냐에 따라 상당한 시간이 소요된다. 설령, 제어코드가 개발된 후에도 시뮬레이션 환경에서 수차례의 테스트를 진행은 필수적이다. 이 단계에서 코드의 정확성, 안전성 및

성능을 확인하고 문제해결에 상당한 시간이 소요된다. 따라서 이러한 특정 작업 수행 제어코드를 생성형 인공지능이 프로그램을 만들어 준다면 상당한 시간이 줄어들 뿐 아니라 정확성과 안정성을 더 높일 수 있을 것 같다.”

“그리고 실제로 제어코드를 실제 생산 라인에 통합하고 작동 여부를 확인하는 과정에서 시간이 가장 많이 소요되며, 이 단계에서는 물리적인 설치와 연결작업, 초기설정, 장애 처리, 라인 조정 및 최적화가 필요하다. 그리고 복잡도가 높아지면 더 많은 시간이 소요된다.”

4.2 작업자 인식 위험요인 분석

자동차 생산공정의 위험 요인분석은 S. H. Kim and K. S. Cho[21]의 연구와 같이 정량적으로 측정하지는 않았지만, 관리자가 아닌 작업자의 인식에 출발한 위험요인을 직접 인터뷰하여 다음과 같은 결론을 제시하고자 한다. 단, H사의 교대 근무 및 보안으로 인해 인터뷰에 상당한 시간이 소요되었다. 또한, 현장에서 실제 일어나는 다양한 위험을 수집하고 근거를 찾아 표 6과 같이 위험요인에 대하여 가장 위험한 순위와 이유를 조사하였다. 작업자가 인식하는 위험요인의 순위를 제시하면 다음과 같다. 작업자가 인식하는 가장 큰 위험요인은 “피로 및 스트레스”에서 반복되는 작업이 많다고 호소하고 있다. 두 번째는 작업자가 실수하는 것에 대하여 협동 로봇이 인간의 실수를 감지하여 협업하는 기능 구현 필요성에 대하여 제시하였다.

특히, 3번째 기계적 위험은 협동 로봇이 작업자의 힘을 잘못 인식하고 반응하여 과한 동작을 하는 경우를 말한다. 4번째 순위에서는 소음에 대하여 작업자들은 적응력으로 버티고 있으나 여전히 스트레스로 작용하고 있다고 할 수 있다. 5번째에서는 떨어지는 물체에 대한 위험보다는 로봇이 작업자를 인식하지 못한 결과 일관된 행동으로 최근 사망사고가 일어난 것에 걱정하고 있었다. 6번째 작업환경은 구체적인 예를 들어 부품이 작업자의 허리까지 올라와야 하는데 가슴까지의 높이로 올라와 오히려 밑으로 당겨야 하는 과정을 반복하는 사례도 있었다.

7번, 8번째는 산업용 로봇을 대체하고 있고, 자체 안전규정 및 소방시설 및 설비가 준비되어 있다. 위의 결과에 대한 주요 이슈를 요약하면 다음과 같다. 기존의 연구처럼 작업자의 안전을 위해 협동 로

봇의 연구 개발에만 집중할 것이 아니라 사람의 행태를 분석하여 협동 로봇의 제어코드에 입력하여 작업자의 다음 행태에 대하여 점차 안전함을 느낄 수 있게 해야 한다는 결과이다.

표 7. 작업자 인식 위험요인

Table 7. Worker perception of hazards

Number	Risk factor [17]-[20]	Explanation	Raking	Reasons
1	Mechanical hazards	Workers on the automobile production line are exposed to mechanical hazards, which entail the risk of injuries due to contact with moving parts, robotic arms, conveyor belts, and the like	3	In the process of working with collaborative robots, they sometimes operate excessively due to poor recognition of my (the worker's) force, or they can be overly sensitive, and at times, they operate too slowly
2	Chemical exposure	In processes such as automobile assembly and painting, chemicals need to be handled, which can potentially expose workers to hazardous substances.	7	The painting process is done by industrial robots, which is not a major issue
3	Loud noise and vibrations	In highly automated production lines, mechanical vibrations and high-level noise can occur, exposing workers to noise and vibration-related issues	4	There might be noise, which is inevitable. However, it seems that stress cannot be entirely avoided.
4	Working environments	When a comfortable working environment is not provided for the workers, it can lead to increased discomfort and stress, potentially negatively impacting the health and safety of the workers	6	In hinge assembly processes, many tasks are often performed manually by individuals using physical strength, and it seems that there are frequent challenges in recognizing human body size, work posture, and positioning accurately.
5	Falling objects	Automobile parts or tools can potentially fall from high places, which can result in injuries to workers	5	While most tools are connected with safety tethers, heavy components rely on robots, and it is not always clear if it is entirely safe.
6	Fatigue and stress	Continuous work and excessive workload can lead to increased levels of fatigue and stress among workers.	1	There are many repetitive tasks, and it is true that there is a high level of fatigue.
7	Fire and explosion hazards"	In automobile production facilities, there may be a risk of fire and explosion due to the interaction between workers and hazardous substances such as fuel, lubricants, and electrical systems.	8	You are in compliance with our own safety regulations, and fire facilities and equipment are in place
8	Worker errors	Worker errors can lead to serious issues in automobile assembly and quality inspection stages, posing risks associated with worker mistakes or lack of attention.	2	Worker errors can lead to serious issues in automobile assembly and quality inspection stages, posing risks associated with worker mistakes or lack of attention.

4.3 자문회의 결과

서울, 울산, 포항 지역의 자동차 공학 및 생산공정 자동화 기술, 미래 자동차 전공의 현직 교수님들에게 위의 결과를 제시하고 이에 대한 조언을 종합하면 다음과 같다.

서울의 모 대학에서 근무 중인 A 교수 “자동차 생산공정보다는 이를 준비하는 과정이 매우 길다. 신차개발에는 공법 설계에서 생산 준비단계까지 평균 1년에서 1년 6개월이 소요된다. 그중에 제어코드를 생성하는 것은 본 연구의 결과와 같이 쉬운 일이 아니며 작업의 복잡도가 높아지면서 더 많은 시간과 비용이 소요될 것이다. 따라서 본 연구를 고도화시키려면 이러한 복잡도 및 주변 환경변수를 고려해야 할 것이다. 특히, 자동차 생산공정 변화는 수년 내에서 전기차와 수소차와 같은 차세대 차량 생산 형태의 급변에 대응이 절실할 것이다.”

울산의 모 대학에서 근무 중인 B 교수 “울산은 H 자동차의 생산공장이 있는 곳이다. 자동차에 대한 많은 자문을 수행하고 있다. 그런데 대부분 협동 로봇에 대한 향상 및 개선을 위한 것이었다. 작업자의 형태 데이터수집, 분석, 제어코드 반영은 기술적으로 개발해야 하는 부분이 있기는 하지만 매우 필요한 연구이다. 사실, 협동 로봇의 개선은 제조사의 기술 발전에 따라 그 수준이 다르다. 그런데, 본 연구에서처럼 제조사와 관계없이 작업자의 형태 데이터를 제어코드에 반영하는 방식은 생산공정의 개선과 작업자의 안전 확보에 매우 적합한 것이다. 최근 출시된 협동 로봇을 접해 보면 작업자의 행동에 너무 민감하거나 그대로 멈추거나, 과도하게 반응하는 등의 안전을 위협할 수준으로 작동할 수 있다. 따라서 작업자의 형태를 수집, 분석하고 이를 제어코드에 피드백하여 지속적인 데이터 입력을 통해 새로운 데이터로 갱신하는 것은 작업자의 안전 확보에 절실하다고 할 수 있다.”

포항의 모 대학에서 근무 중인 C 교수 “본 연구의 내용을 이해한 바로는 생성형 인공지능을 통해 제어코드를 신뢰성 있게 생성하는 것과 작업자의 형태를 분석하여 제어코드에 다시 피드백하여 협동 로봇의 인지 부하를 줄이는 것이 목표인 것 같다.

그런데 사용자가 어떻게 제어코드를 보고 편집을 할 수 있는지 인터페이스 개발이 필요해 보인다. 따라서 생성형 인공지능과 작업자의 형태 분석을 통하여 자율로직제어(Autonomous logic control)를 개발하는 것이 필요하다. 그리고 관리자, 작업자, 외부 MRO 작업자를 구분하여 생성형 인공지능과 메타버스를 적용하여 이 문제를 해결하지 않으면 안 된다. 관리자는 현재 생산공정의 문제를 해결할 수 있도록 메타버스를 구현하고 책임자에게 바로 연락하여 조치할 수 있는 가상회의 공간도 필요할 것이다. 또한, 작업자는 실제로 제어코드를 생성하고 수정할 수 있는 인터페이스가 있어야 한다. 만약, 외부 유지보수 업체가 현장에 접근할 수 없는 경우 메타버스 기반 시뮬레이션이 가능해야 하겠다. 이를 해결할 수 있는 애플리케이션은 필수적으로 개발이 필요하다.”

4.4 분석결과 요약

본 연구는 생산공정의 효율성과 작업자의 안전 확보를 위한 요인과 시점을 찾고자 하는 것이었다. 우선 생산공정의 효율성과 관련하여 생성형 인공지능을 도입하여 제어코드를 생성할 부분은 아래와 같다. 제어코드 시스템 개발과 PLC 프로그래밍이었다. 특히 PLC 제어코드 부분에서는 센서로 인식하는 것은 고정된 형태로 시간이 많이 소요되지 않는다. 그러나 특정 작업을 수행하는 제어코드는 기획/설계자의 수많은 반복을 통하여 수작업으로 로봇이 알아들을 수 있도록 학습시켜야 하는 부분이다. 이러한 이유로 표 6에서 “특정한 작업을 수행하는 제어코드 : performing a specific task”의 제어코드를 생성형 인공지능으로 대체할 필요가 있다는 것이다.

두 번째는 작업자의 안전에 있어 반복된 작업으로 인해 “과로와 스트레스: Fatigue and stress”가 누적되는 상태에서 작업하는 경우가 가장 위험한 요인으로 밝혀졌으며, “기계적 위험: Mechanical hazards”에 앞서 “작업자의 실수: Worker errors”에 의한 위험도가 가장 높게 나왔다. 기계적 위험은 사람의 움직임을 이해하지 못하는 상황에서 입력된 그대로 로봇이 움직이는 상황이 위험하다는 결론이다.

결국, 외부적인 환경 때문이 아니라 작업자 자신의 상태에 따라 위험도가 매우 의존적이라는 것이다. 따라서, 생성형 인공지능은 사람의 행태를 인식, 수집, 분석하여 다시 제어코드에 반영하는 피드백 작업을 구축할 필요가 있다.

V. 결론 및 향후 과제

본 연구의 결론을 제시하면 다음과 같다. 우선 생산공정의 효율성과 작업자의 안전은 사람이 관리하고 계획한다고 극복할 수 있는 요인이 아니라는 것이 밝혀진 것이다. 현장에 있는 다수의 이해관계자에게 인터뷰한 결과를 제시한 것처럼 해결할 방법이 없어 일부 자동화하여 사람이 작업에 참여하는 방식을 조금씩 제거하려는 노력을 가하고 있다.

그 결과 자동차 생산공정에 대하여 새로운 기술을 적용하여 비약적인 발전을 할 수 있었다. 하지만 여전히 자동차 생산공정을 마련하는데 최소 1년 6개월 이상이 소요되며, 작업자 안전은 사람이 안전 교육을 하고/받고, 안전구호를 외치며, 안전 장비를 착용하고 일부 안전기구는 매달고, 입고하여 결국 사람이 주의해야만 하는 방식을 벗어나지 못하고 있다는 것이 결론이다.

따라서 생산성 향상을 위해 공정 준비단계 중 제어코드 생성에 있어 생성형 인공지능을 적용하는 것은 고려해 볼 사항이 아니라 필수 사항이 될 것이다. 또한, 작업자 안전 확보를 위하여 향후 IoB(Internet of Behavior)의 연구에 대하여 집중할 필요가 있다.

또한, 본 연구의 차별성과 향후 기여 및 이슈를 정리하면 다음과 같다. 첫째 차별성에서는 기존연구에서는 주로 협동 로봇[22] 및 산업용 로봇 등에 대한 기술적인 측면에서 개선[23]하려는 연구가 대부분이었다. 그러나 본 연구에서는 이러한 하드웨어의 개선을 위한 연구가 아니다. 본 연구에서는 생산공정에서 가장 시간이 많이 소요되고, 작업자의 예러가 가장 많이 발생하는 곳을 현장 인터뷰를 통하여 찾고자 하는 것이다. 특히, 반복 테스트 및 로봇 보정을 위해 티칭이 필요한 곳에 시간 소모가 상당하다. 이는 현장에서 직접 운영하는 관리자, 설계자,

작업자에게 직접 인터뷰한 것이다. 또한, 작업자의 위험 인식 순위를 도출하였다는 것이 차별점이다.

두 번째 주요 이슈를 정리하여 향후 과제를 제시하면 다음과 같다. 자동차 생산공정이 내연 기관 자동차에서 수년 내에 전기/수소차의 생산공정으로 대체가 불가피한 시점에서 신기술을 도입하여 이를 해결할 대안이 없다는 것을 모두가 인식하고 있다. 향후 연구에서는 새로운 생산공정 라인에서 어떻게 제어코드를 생성할 것이며, 작업자의 행태를 다시 제어코드에 반영할 것인지 기술적인 코드 레벨의 연구가 필요하다.

세 번째 본 연구의 기여에 대하여 논하면 다음과 같다. 현장의 기획/설계자를 대상으로 코드 레벨에서 가장 시간이 많이 소요되는 곳을 명확히 다시 확인하였다. 당위적인 것 같지만, 현장에서 직접 확인한 사실을 기반으로 생성형 인공지능의 적용 포인트를 확인할 수 있었다. 또한, 작업자 안전은 이미 협동로봇, 설비, 시설, 규정, 법 등에 의하여 지켜지고 있다. 하지만 작업자의 행태를 제어코드에 피드백하여 지속적인 업데이트가 실행되게 하는 방식도입이 현장에 매우 필요하다는 것을 찾게 되었다.

마지막으로 향후 과제에서는 위에서 생성형 인공지능을 도입했을 경우 제어코드의 시간, 비용 절감 효과 및 정확성, 안정성을 정량적으로 효율성/효과성 평가하는 연구가 필수적이다. 또한, 작업자의 행태를 수집, 인식, 분석하여 제어코드에 피드백을 줄 수 있는 알고리즘 개발이 연구되어야 하겠다.

References

- [1] J. H. Kim and K. Y. Kwak, "A Study on Trends in Human-Robot Interaction Using BERTopic", *Journal of intelligence and information systems*, Vol. 29, No. 3, pp. 185-209, Sep. 2023. <https://dx.doi.org/10.13088/jiis.2023.29.3.185>.
- [2] D. H. Yoon, D. Y. Yu, and J. W. Lee, "Vision-Based Position Deviation Fault Injection Method for Building Cooperative Robot Motion Fault Dataset", *Journal of the Korean Institute of Information Scientists and Engineers*, Vol. 50, No.

- 9, pp. 795-804, Sep. 2023. <http://dx.doi.org/10.5626/JOK.2023.50.9.795>.
- [3] J. Kim, "Design and Implementation of Real-time Digital Twin for Heterogeneous Robots Using OPC UA", *Journal of the Institute of Internet, Broadcasting and Communication*, Vol. 23, No. 4, pp. 189-196, Aug. 2023. <https://doi.org/10.7236/JIIBC.2023.23.4.189>.
- [4] Ulsan Journal, "[Planning] Changes in Production Methods due to the Transition to Electric Vehicles (Part 1)", Nov. 2023. <https://m.usjournal.kr/news/newsview.php?ncode=1065568686969074> [accessed: Oct. 12, 2023]
- [5] Towncar, "Trends in Global Ban on Sales of Internal Combustion Engine Vehicles by 2030", Sep. 2023. <https://www.towncar.co.kr/post/global-trends-on-the-2030-gasoline-new-car-sales-ban> [accessed: Sep. 21, 2023]
- [6] J. B. Kim, S. H. Kwon, and M. S. Lee, "A Study on the Development of Safety Systems for Industrial Robot Workspaces", *Journal of the Korean Society of Safety Management*, Vol. 25, No. 3, pp. 17-22, Sep. 2023.
- [7] Y. S. Yoon, W. C. Shin, and K. S. Song, "A Study on Safety Improvement Measures through Inspection Items for Industrial Robots", *Journal of the Korean Society of Facilities Management*, Vol. 25, No. 4, pp. 37-46, Jan. 2020.
- [8] H. C. Kim and S. B. Kwon, "A Case Study of Open Innovation in Small and Medium-Sized Robot Companies: Focus on the Case of Company R Using UX Analysis", *Industrial Innovation Research*, Vol. 39, No. 3, pp. 1-19, 2023.
- [9] TechM, "AI and Mobility Integration Gaining Momentum Research Division 'Air Lab' Upgraded to CIC", Jun. 2020. <https://www.techm.kr/news/articleView.html?idxno=72365> [accessed: Sep. 15, 2023]
- [10] RobotNewsPaper, "Ford Motor Company Increases Production Speed by 15% with Smart Robots, May 2021. <https://www.irobotnews.com/news/articleView.html?idxno=24784> [accessed: Oct. 28, 2023]
- [11] CIO, "Q&A | The Driving Force Behind Automotive Companies' DX Is Now Generative AI", Mercedes-Benz Group AG CIO Jan Brecht, Sep. 2023. <https://www.ciokorea.com/news/306691> [accessed: Oct. 18, 2023]
- [12] K. S. Cho, "Enhancing Safety in the Automotive Parts Assembly Process Using Collaborative Robots through Risk Assessment: Focusing on the Disc Snap Ring Assembly Process", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 21, No. 8, pp. 342-347, Aug. 2020. <https://doi.org/10.5762/KAIS.2020.21.8.342>.
- [13] S. J. Jo, "Changing Labor in Automobile Industry After the Advent of Electric Vehicle Era", *Economics and Society*, No. 134, pp. 12-43, Jun. 2022. <http://dx.doi.org/10.18207/criso.2022..134.12>.
- [14] J.-W. Kwon, S. Lee, J. Kim, and S.-H. Seo, "A Study on DID-based Vehicle Component Data Collection Model for EV Life Cycle Assessment", *KIPS Transactions on Computer and Communication Systems*, Vol. 12, No. 10, pp. 309-318, Oct. 2023. <https://doi.org/10.3745/KTCCS.2023.12.10.309>.
- [15] H. J. Jo and J. J. Ho, "Changes in the Nature of Skills and Organizational Capabilities of Hyundai Motor's Engineers: A Focus on the Relation between Production Design Technology and Process Technology", *Industrial Labor Studies*, Vol. 28, No. 1, pp. 201-232, 2022.
- [16] E. A. Boateng, et al., "Unsupervised Ensemble Methods for Anomaly Detection in PLC-based Process Control", *arXiv preprint arXiv:2302.02097*, Feb. 2023. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2302.02097>.
- [17] J. K. Nduka, et al., "Mobility pattern, risk assessment of heavy metals in soil-dust and hazards of consuming vegetables at auto-body workshops", *International Journal of Environmental Science and Technology*, Vol. 20, No. 5, pp.

4943-4958, Jun. 2023. <https://doi.org/10.1007/s13762-022-04288-4>.

- [18] C. Abanga, W. Moturi, and S. Makindi, "Determinants of Compliance with Occupational and Safety Regulations in the Vehicle Body Manufacturing Industry in Kenya", *Open Access Library Journal*, Vol. 10, No. 4, pp. 1-13, Apr. 2023. <https://doi.org/10.4236/oalib.1109912>.
- [19] M. T. Siraj, et al., "Evaluating barriers to sustainable boiler operation in the apparel manufacturing industry: Implications for mitigating operational hazards in the emerging economies", *Plos one*, Vol. 18, No. 4, pp. 1-23, Apr. 2023. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0284423>.
- [20] M. Bitarafan, K. A. Hosseini, and S. H. Zolfani, "Evaluating Natural Hazards in Cities Using a Novel Integrated MCDM Approach (Case Study: Tehran City)", *Mathematics*, Vol. 11, No. 8, pp. 1936, Apr. 2023. <https://doi.org/10.3390/math11081936>.
- [21] S. H. Kim and K. S. Cho, "A Study on the Free Fall Distance According to the Horizontal Lifeline Sag in High Elevation Work in Large Chemical Plants", *Journal of the Korean Society of Industrial and Applied Mathematics*, Vol. 24, No. 3, pp. 423-429, Mar. 2023. <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2023.24.3.423>.
- [22] J. H. Choi, N. Kim, W. Kim, and S. J. Yoon, "A Study on Research Trends and Key Issues of Industrial Collaborative Robots and Workers", *Journal of the Korean Information Technology Society*, Vol. 21, No. 8, pp. 61-78, Aug. 2023. <https://doi.org/10.14801/jkiit.2023.21.8.61>.
- [23] S. H. Kim and S. H. Lee, "Improved Indoor Mobile Robot Positioning Using Augmented Reality", *Journal of the Korean Information Technology Society*, Vol. 15, No. 3, pp. 33-40, Mar. 2017.

저자소개

김 낙 일 (Nakil Kim)



2010년 : 건국대학교 컴퓨터공학 (석사)
 2016년 : 건국대학교 경영공학 (박사)
 2023년 ~ 현재 : 슈타겐 대표 아키텍트
 관심분야 : 스마트공장, 디지털전환, 소프트웨어공학, 디지털트윈, 인공지능, 산업공학

김 원 현 (Wonhyun Kim)



2003년 : 한양대학교 도시학(석사)
 2007년 : 독일 하펜시티 함부르크 대학교 생태 및 환경계획 (박사과정)
 2012년 : 국토연구원 책임연구원
 2023년 ~ 현재 : 슈타겐 대표이사
 관심분야 : 디지털전환, 산업형 메타버스, 디지털트윈, 스마트공장

윤 승 정 (SeongJeong Yoon)



2010년 : 건국대학교 정보시스템 감리 전공(공학석사)
 2014년 : 경희대학교 경영학(박사)
 2014년 ~ 2022년 : 기술/경영/정책전략 컨설팅 수행
 2023년 ~ 현재 : 슈타겐 수석컨설턴트/CIO

관심분야 : 클라우드 서비스, 빅데이터, 협동로봇, 인공지능, 산업공학, 데이터시각화, 네트워크 분석, 프로파일링(특성 및 트렌드) 분석, 스마트시티