

부품 조립/분해를 위한 사람-협동로봇 협업 시스템

이승준, 최대웅, 오천인, 윤대섭

한국전자통신연구원

e-mail : {lsj0209, dwchoi92, cioh, eyetracker}@etri.re.kr

A Human-Robot Collaboration System for Component Assembly and Disassembly

Seung-Jun Lee, Daewoong Choi, Cheonin Oh and Daesub Yoon
Electronics&Telecommunication Research Institute (ETRI)

요약

본 연구에서는 인간과 협동로봇(cobot)이 함께 부품을 조립 및 분해하는 협업 시스템을 개발하였다. 사람은 나사를 조립 및 분해하는 작업을 수행하고, 협동로봇은 사람의 신장에 최적화된 높이와 위치에서 조립기판을 고정하여 작업의 편의성을 높인다. 인간 대상 실험을 통해, 이러한 협업 방식이 작업 시간을 단축시키고, 하리나 목을 굽히는 자세를 최소화하는 데 효과적임을 확인하였다.

I. 서 론

협동로봇의 보급화로 인해 물품제조 공장에서 협동로봇이 도입되는 사례가 증가하고 있다. 협동로봇은 프로그래밍된 동작을 반복적으로 수행할 수 있으며, 기존 산업로봇에 비해 범용적으로 사용할 수 있다는 측면에서 다양한 활용방안이 연구되고 있다 [1]. 또한 협동로봇은 기존 산업로봇과 다르게 작업자와 같은 공간에서 작업을 수행할 수 있도록 산업안전보건기준에 규정되어 있기 때문에 작업자가 협동로봇과 협업하여 생산성을 높이는 운영방법을 제안할 수 있다[2].

본 논문에서는 물품제조 생산라인의 작업 중 하나인 나사를 통한 물품 조립/분해 작업을 작업자와 협동로봇이 협업하여 작업하도록 하는 시스템을 제안한다. 물품 조립/분해 작업은 협동로봇에 카메라와 객체인식 기술을 적용하여 협동로봇이 단독으로 수행하는 기술이 상용화되고 있다. 그러나 해당 기술은 정형화된 작업을 대량으로 수행할 때 설치 및 운행하기 적절하며, 생산량이 적은 공장이나 물품 품종이 다양한 공장의 경우, 사람이 작업하는 것이 경제적이다. 본 논문에서 제안하는 사람-협동로봇 협업 시스템은 사람이 물품 조립/분해하는 작업으로 인해 누적되는 신체적 부하를 줄이고 생산성을 높이기 위한 목적이 있다.

II. 사람-협동로봇 협업 시스템

본 논문에서 제안하는 협업 시스템에서는 작업자가 나사 조립/분해 작업을 수행하고, 협동로봇은 작업자가 작업하기 편하도록 물품을 임의의 높이에서 잡고 있도록 설계되었다. 일반적으로 사람은 협동로봇과 같은 공간에서 작업을 수행하는 경우 협동로봇의 움직임으로 인해 충돌 등 불안함을 느낄 수 있다[3]. 협업 시나리오를 설계 시, 사람이 위협을 느끼지 않도록 해야 하며, 본 협업 시스템에서는 작업자가 물리버튼을 통해

협동로봇이 물품을 운반하고, 작업자가 작업이 끝나면 협동로봇이 해당 물품을 옮긴 후 다음 물품을 준비하도록 하였다.

그림 1은 협업 시스템을 구성하는 요소들의 인터페이스를 나타낸다. 본 협업 시스템은 사람, 물리버튼, PC, 협동로봇 및 웨어러블 보조기기로 구성되어 있으며, 협동로봇 및 웨어러블 보조기기는 PC를 통해 제어된다. 웨어러블 보조기기는 오른팔에 착용할 수 있도록 설계되었으며, 사람이 조립/분해 작업을 수행 시, 이상적인 작업 자세를 안내하기 위한 역할과 장시간 작업으로 인해 쌓이는 피로를 줄이기 위한 역할을 수행한다.

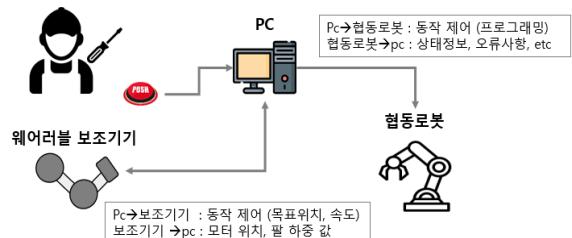


그림 1. 협업 시스템 구성요소 간 데이터 송수신

III. 시스템 구현

3.1 협동로봇 동작 구현

협동로봇은 Universal Robot 사의 UR 10e 제품을 사용했으며, PC 와 MODBUS 프로토콜을 통해 통신한다. 작업자가 물리버튼을 통해 협동로봇을 호출하면 협동로봇은 물품을 작업자 앞으로 운반하고 작업자가 조립/분해 작업이 종료될 때까지 물품을 지탱하고 있다. 협동로봇이 물품을 작업자 앞으로 운반 시, 물품의 높이는 작업자의 키에 의해 결정된다. 산업안전 기준 중에 근골격계질환을 일으킬 수 있는 유해요인을

평가하기 위한 기법으로 Rapid Entire Body Assessment (REBA)가 있다[4]. REBA는 작업자가 작업 시 취하는 머리, 허리, 팔, 다리 등의 각도를 모니터링하여 위험도를 수치화한다. 본 협업 시스템에서 사람이 조립/분해 작업을 수행 시, REBA 위험도 점수가 낮게 형성되도록 물품 높이를 설정하였다. 해당 높이로 물품을 제시하면 작업자는 허리를 굽히지 않고, 팔을 최소한으로 굽히고 작업할 수 있도록 설계하였다.

3.2 웨어러블 보조기기 설계 및 동작 구현

웨어러블 보조기기는 사람의 오른팔 자세를 교정 및 작업자세를 유지하기 위해 설계되었으며, 그림 2 와 같다. 어깨와 팔꿈치부 각도를 제어할 수 있도록 구동부에는 총 2 개의 모터를 사용하였으며 모터 무게 부하를 분산하기 위해 모터는 사람 등 위치로 배치하였으며 와이어를 통해 관절부를 제어하도록 설계하였다. 제어기는 Robotics 사의 OpenCR 을 사용하였으며 모터 제어는 위치 제어 방식을 채택하였다.

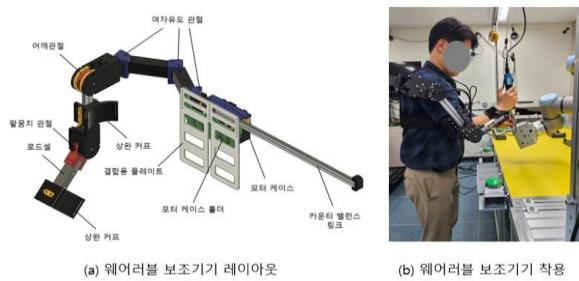


그림 2. 웨어러블 보조기기 및 착용 예시

IV. 테스트 방법 및 결과

협업 시스템이 작업자의 작업 효율성과 작업자세에 주는 영향을 검증하기 위해, 협업을 통해 나사 조립/분해 작업을 하는 경우와 작업대에 배치된 물품을 협동로봇의 협업 없이 나사 조립/분해하는 경우로 나누어서 비교 실험을 수행하였다. 그림 3 은 협업작업과 비협업 작업 실험을 나타낸다. 실험자는 협업 작업 및 비협업 작업 두 가지를 수행하였으며, 순서효과를 배제하기 위해 두 그룹으로 나누어서 협업과 비협업 시나리오 순서를 다르게 진행하였다.



그림 3. 협업 및 비협업 비교 실험

표 1 은 총 30 명의 실험대상자를 통해 협업 작업과 비협업 작업의 수행속도를 비교한 결과를 나타낸다. 협업 작업으로 수행했을 때 빠르게 작업을 완료한 것을 확인할 수 있으며, 그 원인으로는 작업 높이가 표준 작업대 높이보다 높기 때문에 작업하기 수월했을 수 있으며, 협동로봇이 견고하게 물품을 지탱하고 있었기 때문에 실험대상자들은 나사 조립 및 분해 작업에 집중할 수 있었다고 볼 수 있다.

작업	협업 작업시간 (분)	비협업 작업시간 (분)
조립 (협업 먼저)	5.25	5.36
조립 (비협업 먼저)	4.99	5.78
분해 (협업 먼저)	2.61	2.62
분해 (비협업 먼저)	2.74	3.04

표 1. 협업 작업 및 비협업 작업의 수행속도 비교

III. 결론

본 논문에서는 작업자가 물품을 조립 및 분해하는 작업의 편의성을 높이고, 장시간의 작업에서도 근골격계 위험부담 요인을 줄이기 위한 사람-협동로봇 협업 시스템을 제안하였다. 또한 작업자의 작업 자세 교정 및 피로누적 저감을 목적으로 웨어러블 보조기기를 제작하였으며, 협동로봇과 웨어러블 보조기기 간 인터페이스를 정의하였다.

작업자가 협동로봇 없이 물품을 조립 및 분해하는 작업보다, 협동로봇이 물품을 잡고 작업하기 수월한 위치에서 잡고 있을 경우가 작업시간이 줄어들었으며, 근골격계 위험부담이 적은 자세로 작업하고 있음을 확인하였다. 실험 전 예상으로는 물품 조립 및 분해 작업을 수행할 때 팔의 피로도를 줄이기 위한 자세를 선호할 것이라 생각했으나, 조립 작업면과 눈과의 거리도 자세 형성에 영향을 준다는 것을 확인하였다. 따라서 향후 연구에서는 작업자의 팔 자세 뿐만 아니라 조립 작업면과 눈 사이의 거리를 감안하여 협동로봇이 물품을 운반하는 위치 및 제시하는 각도를 도출하여 사용자에게 제공하는 연구가 필요할 것이다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 2025년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구결과입니다.(RS-2025-00167198, 스마트 제조를 위한 AI 기반 인간중심 로봇상호 작용 기술 개발)

참 고 문 헌

- [1] Sherwani, Fahad, et al., "Collaborative robots and industrial revolution 4.0 (ir 4.0)," 2020 international conference on emerging trends in smart technologies (ICETST), 2020.
- [2] Ajoudani, Arash, et al., "Progress and prospects of the human-robot collaboration," *Autonomous robots*, 2018.
- [3] Matheson, E et al., "Human-robot collaboration in manufacturing applications: a review," *Robotics*, 2019.
- [4] Hignett, Sue, and Lynn McAtamney, "Rapid entire body assessment (REBA)," *Applied ergonomics*, 2000.