http://dx.doi.org/10.7735/ksmte.2014.23.6.580

J. Korean Soc. Manuf. Technol. Eng. ISSN 2283-4846(Online) / ISSN 2233-6036(Print)

# 복수의 양팔로봇을 적용한 휴대폰 셀 생산시스템의 자동화

도현민<sup>a\*</sup>, 김두형<sup>a</sup>, 경진호<sup>a</sup>

# Automation of Cell Production System for Cellular Phones based on Multi-dual-arm Robots

Hyun Min Do<sup>a\*</sup>, Doo Hyeong Kim<sup>a</sup>, Jin Ho Kyung<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Department of Robotics and Mechatronics, Korea Institute of Machinery and Materials 156 Gajeongbuk-ro, Yuseong-gu, Daejeon 305-343, Korea

#### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received 20 October 2014 Revised 1 December 2014 Accepted 10 December 2014

Keywords: Automation Dual-arm robots Cell production

Cellular phone packing process

#### **ABSTRACT**

Demands for automation in the cell production process of IT products are becoming increasingly sophisticated. In particular, the dual-arm robot has drawn attention as a solution because it has a flexibility and works similarly to humans. In this paper, we propose an automation system for cellular phone packing processes using two dual-arm robots. Applied robots are designed with specifications to meet the requirements of cellular phone packing jobs. In addition, a robotic cell production system is proposed by applying a method of task allocation for efficient packing of cellular phones. Specifically, a task is assigned to reduce takt-time and to avoid collision between two robots. Finally, we discuss some experimental results that include the packing job of five unit boxes with seven kinds of accessories.

# 1. 서 론

자동차 산업 등 기존의 대량 생산 시스템에서는 단순반복적인 작업이 요구되기 때문에 고속, 고정밀의 로봇을 이용한 자동화 공정이 구축되어 적용되고 있다. 하지만 휴대폰, 태블릿 등의 경우에는 빠른 공정의 변화, 다양한 부품의 핸들링, 혼류 생산 대응 등이 필요하기 때문에 셀 생산 방식으로 공정이 구축되어 있고, 일부 공정에 있어 자동화 장치의 도입을 시도하고 있으나 제품 변화에 대한 유연성이 떨어지는 문제점으로 인하여 본격적인 적용이 어려운 상황이다. 이에 현재 대부분의 생산 작업이 사람 작업자에 의한 수작업으로 이루어지고 있는 실정이다. 이러한 IT제품의 셀생산방식의 자동화에 가장 적합한 자동화 방법은 로봇을 적용하

는 것이라고 할 수 있다. 왜냐하면 로봇은 자동화를 가로막고 있는 유연생산 문제에 대응 가능한 해결방법이기 때문이다<sup>[1,2]</sup>. 로봇을 이용하여 생산시스템을 구성할 경우 가장 큰 문제점이 로봇에 적합한 환경으로 생산 환경을 개선하는 것이다. 특히 기존의 산업용로봇들은 로봇의 작업 공간에 맞추어 작업이 가능하도록 환경을 개선하여야 하고 또한 로봇과 전장시스템을 설치하기에 필요한넓은 공간, 안전을 확보하기 위한 안전펜스의 설치 등이 요구된다. 이러한 환경개선은 많은 비용과 시간을 요구하기 때문에 소규모 중소기업에서는 로봇의 장점을 알면서도 로봇을 쉽게 적용하지 못하여 왔다.

이러한 문제를 해결하기 위하여 최근 주요 로봇 메이커들을 중심 으로 다양한 연구가 이루어지고 있는데, 기존에 산업현장에서 주로

Fax: +82-42-868-7135

E-mail address: hmdo@kimm.re.kr (Hyun Min Do).

<sup>\*</sup> Corresponding author. Tel.: +82-42-868-7507

사용되고 있는 싱글 암 로봇은 그 적용범위가 제한적이므로<sup>[3,4]</sup> 양팔로봇, 특히 인간작업자와 유사한 형상 및 크기의 양팔로봇을 만들어 사람작업자가 작업하던 환경에 그대로 적용할 수 있는 산업용로봇을 개발하는 것에 관한 연구가 많이 이루어지고 있다<sup>[5,6]</sup>.

이러한 연구에 있어서 가장 먼저 시제품을 제시한 기업이 ABB 이다. ABB에서 제시한 인간 협업형 로봇인 YuMi<sup>[7]</sup>는 유럽의 FP-7 프로그램 내에서 추진한 로제타 프로젝트<sup>[8]</sup>의 결과물로서 사 람작업자와 유사한 크기의 양팔 로봇, 인간과 같은 작업 공간에서 작업이 가능한 안전 기능, 쉬운 설치를 주요한 특징으로 내세우고 있다. 상용화되어 실제 공정에 적용된 사례는 아직 제시된 바가 없 고, 2015년 4월에 정식 제품으로 론칭 예정이다. 제어기 측면에서 는 기존의 ABB 로봇에 적용되고 있는 제어기를 그대로 도입하여 로봇 비전문가가 사용하기에는 어려움이 예상된다. 그리고 이보다 조금 늦게 발표되었지만, Rethink Robotics사의 Baxter [9]가 유사 한 개념으로 출시되었다. 이 로봇은 현재 상용화되어 판매가 이루 어지고 있고, 실제 공정에 적용된 사례도 발표되고 있다. 하지만 이 로봇 또한 실제 생산 공정에 적용된 사례보다는 주 작업자의 작업을 옆에서 보조하는 보조 작업자 역할을 주로 하고 있고, 실제 로 제품에서 특징으로 강조하고 있는 부분도 쉬운 교시를 통한 직 관적인 사용 및 인터페이스, 인간과 같은 작업 공간에서 작업이 가 능한 수준의 안전 기능, 쉬운 설치 등이다.

본 논문에서는 휴대폰 생산 공정, 그중에서도 특히 유닛박스 포장공정을 복수의 양팔로봇을 적용하여 자동화시키기 위한 방법론을 제안하고 있다. 이 연구는 로봇을 적용한 생산 공정 자동화라는 연구 흐름의 연속선상에서 실 생산 공정을 분석하여 양팔로봇의 요구사항을 도출하고 이를 만족시킬 수 있는 양팔로봇을 개발, 생산 공정 자동화에 적용하였으며, 양팔로봇이 효율적으로 작업할수 있는 작업분배방법을 제안하고 있다. 또한 양팔로봇 개발 관점에서 본 연구에서 개발한 양팔로봇은 앞에서 기술한 타사의 양팔로봇 개발 흐름의 연장선상에 있다. 개발 시작 단계에서는 ABB나 Rethink Robotics사의 로봇이 발표되기 전이었으나, 개발초기단계에 이러한 개발 흐름을 잘 파악하여 세계적인 연구추세 및시장의 필요성을 충족시키는 방향으로 연구가 진행되었고, 개발초기부터 실 공정 적용을 목표로 공정적용기술을 동시에 개발함으로써, 개발로봇의 생산 공정 적용의 타당성 검증을 수행할수있었다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 대상공정인 휴대폰 생산 공정 중 포장공정에 대한 분석을, 3장에서는 공정분석 결과를 근거로 로봇을 이용한 셀 공정 자동화를 하기 위한 전략을 제안한다. 4장에서는 복수로봇의 효율적 작업을 위한 작업 분배 방법을 제시하고, 5장에서는 실제 구현 및 실험결과를 기술하겠다. 끝으로 6장에서 결론 및 추후 연구계획에 대하여 논하겠다.

# 2. 휴대폰 생산 공정 분석

본 논문에서 대상으로 하고 있는 공정은 휴대폰 생산 공정 중 포장공정이다. 휴대폰 포장공정은 크게 유닛박스 포장공정과 마스터박스 포장공정으로 구분된다. 유닛박스 포장공정은 휴대폰 모델에 따라서 조금씩 다르지만 Fig. 1과 같은 기본적으로 휴대폰에 필요한 각종 액세서리, 즉, 배터리, 이어폰, USB케이블, 휴대용 충전기, 충전 크래들, 매뉴얼 등을 휴대폰 박스(이를 유닛박스라고부른다)에 담고, 최종적으로 휴대폰 본체를 넣고 박스 덮개를 덮는 과정으로 구성된다. 마스터박스 포장공정은 이렇게 포장된 유닛박스를 이송을 위하여 일정 단위로 묶어서 큰 포장 상자(이를 마스터박스라고 부른다)에 담는 공정을 말한다. 이 중 본 논문에서는 유닛박스 포장공정을 양팔로봇을 이용하여 자동화 공정으로 구현하는데 집중하고자 한다.

유닛박스 포장공정을 자동화하는 데 있어서 가장 어려운 점은 휴대폰 모델에 따라서 필요한 액세서리들의 크기 및 종류가 달라지고, 또한 유닛박스의 크기 및 포장방법도 달라지는 것이다. 휴대폰의 모델 변경주기가 매우 짧고, 또한 한 라인에서 여러 종류의 모델을 섞어서 생산하는 혼류 생산이 빈번히 이루어지는 점을 고려할때, 이러한 유닛박스 포장공정을 자동화 장치만을 이용하여 구현하는 것은 모델 변화에 신속히 대응해야 하는 유연성이 현저히 떨어지는 문제점이 있다. 또한 현재의 생산시스템에서는 각종 액세서리의 공급이 전용의 공급 장치가 아닌 일정한 크기의 액세서리박스에무작위로 담겨져서 공급되고 있어 사람작업자에 의한 작업 시에는문제가 되지 않지만, 자동화를 위해서는 빈 픽킹 기술[10]이 반드시필요하다. 이렇듯 유닛박스 포장공정을 자동화 장치만으로 구현하기에는 그 기술적 한계가 존재하므로, 본 논문에서는 인간형 양팔로봇을 도입하여 기존의 사람 작업자가 작업하는 방식과 유사하게



Accessory name	Cradle	Travel Adapter	Earphone	USB Cable	Manual	Battery	Middle Cover
quantity	1	1	1	1	1	2	1
picture					Open Control of the C		

Fig. 1 Accessories and unit box of cellular phone

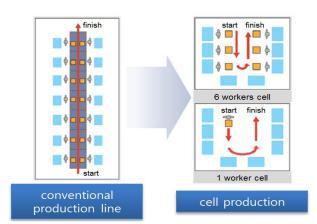


Fig. 2 Concept of cell production

자동화 공정을 구성하고자 한다. 이를 위하여 우선 기존 사람 작업자의 공정 환경에 대하여 논의하겠다. 현재 사람작업자가 작업하고 있는 공정 환경 또한 휴대폰의 종류 및 공정 구성에 따라 다양한형태가 존재한다. 다수의 작업자로 구성된 다인 셀의 경우를 예로들어 설명하면 Fig. 2의 6인 셀 사례에서 보듯이 수 명의 작업자가각자 담당하고 있는 액세서리를 유닛박스에 넣고 해당 액세서리포장작업이 완료된 유닛박스는 컨베이어를 타고 다음 작업자로 이동하게 된다. 최종적으로 마지막 작업자가 작업을 완료하게 되면하나의 유닛박스 포장이 완료되게 된다. 액세서리의 공급은 각 작업자가 작업하는 데 있어 작업시간을 최소화할 수 있도록 각 작업자 주변에 배치되어 이루어지고, 액세서리는 각각의 공급 박스에무작위로 담겨져 공급되는데 이는 액세서리 공급 비용을 낮추고작업 편의성을 높이가 위한 것이다. 컨베이어는 정해진 속도로 이동하여 작업자에게 정해진 작업시간(Tact Time; T/T)을 달성하도록 하고 있다.

# 3. 로봇을 이용한 셀 공정 자동화를 위한 전략

앞 절에서 기술한 휴대폰 생산 공정을 로봇을 이용하여 자동화시키기 위해서, 로봇이 기존 사람 작업자와 동일한 작업을 수행할 수 있다면 사람 작업자의 위치에 로봇을 그대로 배치시키기만 하면된다. 하지만 로봇이 사람 작업자와 동일한 작업지능을 가지고 작업하는 것이 현재의 기술 수준으로는 어려우므로 로봇이 동일한작업을 할 수 있도록 공정을 재구성하는 것이 필요하다.

로봇을 적용한 공정 재구성에 있어서 가장 먼저 고려해야 할 점은 로봇의 작업 공간을 고려한 로봇의 배치가 되겠다. 이 때 복수로봇간의 상호 간섭으로 인한 충돌 및 작업 지연이 발생하지 않도록 하여야 한다. 또한 로봇의 배치를 중심으로 하여 액세서리 공급박스가 작업 공간에 포함되도록 액세서리 박스의 배치가 이루어져야 하고, 로봇의 이동 궤적을 고려하여 작업시간을 줄일 수 있도록하여야 한다. 그리고 비용 및 공간 등을 고려하여 배치되어야 할

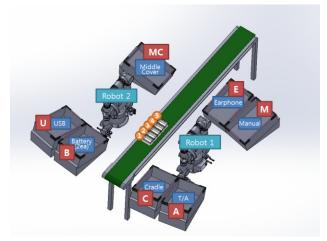


Fig. 3 Layout of accessory boxes and robots in cell production line of unit box

로봇의 대수를 결정하야여 한다. 로봇의 가격 및 설치 면적을 고려한다면, 기존 사람 작업자 수보다 적은 수의 로봇이 설치될 필요가 있다. 이에 따라서 각 로봇이 담당해야 할 작업을 재분배하고, 공정설계에 맞는 결과물이 나올 수 있도록 작업 순서를 결정해야 한다. 추가적으로 로봇만으로 모든 작업이 불가능할 경우 이를 보조할수 있는 자동화장치를 설계해서 배치하여야 한다.

구체적으로 휴대폰 포장 공정을 복수의 양팔 로봇을 이용하여 자동화하기 위한 전략으로 다음과 같은 점을 고려하였다.

첫째, 로봇의 이동경로를 최소화하고 로봇의 작업이 이루어지도 록 셀 구성이 이루어져야 한다. 양팔로봇의 장점을 살리기 위하여 양팔이 두 개의 액세서리를 동시에 잡을 수 있도록 액세서리 박스 를 배치한다.

둘째, 복수개의 로봇이 서로 간섭되지 않고 작업이 가능하도록 로봇의 배치 및 셀 구성이 이루어져야 한다.

셋째, 로봇의 작업 대상을 액세서리 6종을 유닛박스에 담고 중간 덮개를 덮는 작업으로 선정하였다. 이는 전체 작업 라인의 길이 및 대상 작업물의 크기를 고려하여, 유닛박스 하부박스의 공급은 이전 공정에서 자동 공급 장치를 사용하여 자동화시키고, 휴대폰 본체 및 상부박스의 포장작업은 후속공정으로 구성하였다.

넷째, 로봇이 컨베이어를 따라서 이동 중인 유닛박스에 액세서리를 넣는 것은 작업의 난이도가 높으므로 성공률 향상을 위하여 5개의 유닛박스를 1개 단위로 하여, 정지된 유닛박스 5개를 대상으로 작업 완료 후 컨베이어를 움직여 이동 후 다시 정지 후 5개 단위로 작업하는 방식으로 구성하였다. 상기 주요 사항들을 고려하여 로봇 및 작업 셀 배치 안을 Fig. 3과 같이 설계하였다. 이제 기존의 포장 작업을 구체적으로 분석하여 로봇의 작업 재구성을 하도록 하겠다. 양팔로봇의 작업 대상으로 선정한 액세서리 6종의 포장 및 중간덮개 덮기 작업은 모두 7회의 pick & place 작업이 요구된다. 액세서리의 경우 유닛박스 하부박스 속에 넣는 단순한 placing 작업이지

만, 중간덮개 덮기의 경우 하부박스와의 공차가 타이트하여 끼워 맞춤 방식의 조립작업에 근접하는 난이도를 가지는 작업이다. 따라 서 이 작업은 로봇이 양팔을 동시에 사용하여 한 팔로 하부박스를 고정시키고 다른 팔로 중간덮개를 끼워 넣는 작업이 이루어져야만 한다. 중간덮개 이외의 단순한 액세서리 pick & place 작업은 양팔 로봇이 양팔을 사용하여 2종류의 액세서리를 동시에 잡아서 차례 대로 유닛박스에 넣도록 하였다. 이에 2대의 로봇을 사용하여, 1대 의 로봇은 4종의 액세서리를 담당하고, 다른 1대의 로봇은 2종의 액세서리 및 중간덮개를 담당하도록 작업을 분배하였다. 이 때 2대 의 로봇이 일렬로 배치될 경우 로봇간의 충돌을 고려한 여분 공간 을 확보해야 하므로 셀 라인이 길어지는 문제가 있고, 또한 액세서 리 박스의 배치가 용이하지 않은 문제점이 있다. 이를 해결하기 위 하여 2대의 양팔로봇을 컨베이어 라인을 중앙에 놓고 마주보게 함 으로써 셀이 길어지는 문제를 해소하고, 또한 2대 양팔로봇의 작업 공간이 겹치는 부분을 유닛박스가 위치한 컨베이어의 위 공간으로 제한하여, 두 로봇의 공통 작업 대상인 유닛박스 대상 작업의 타임 시퀀스만 조절함으로써 충돌을 피할 수 있도록 하였다. 즉, 암의 스윙궤적만을 고려하는 것이 아니라 2대의 로봇이 향하는 방향 자 체를 완전히 달리하는 것이 필요하였다. 또한 허리 회전 시 암의 움직임을 제한하여 이동 중 충돌이 발생하는 것을 막았다. 액세서 리 박스의 경우 로봇의 좌우 회전반경내에 있고 컨베이어에 최대한 가깝게 배치함으로써 허리 회전을 통하여 쉽게 접근이 가능하도록 하였고, 또한 로봇의 두 팔이 두 개의 액세서리를 동시에 잡을 수 있도록 로봇의 작업공간을 고려하여 배치하였다.

# 4. 복수로봇의 효율적 작업을 위한 작업 분배

본 논문에서 자동화작업으로 제안한 휴대폰 포장작업은 그 모델에 따라서 액세서리의 종류 및 유닛박스의 형태, 그리고 포장구성 방법 등이 상이하다. 따라서 모든 경우에 해당하는 일반적인 방법론을 제안하기에는 어려움이 있으므로 작업 대상으로 선정한 특정모델의 포장 작업을 수행하기 위한 두 대 양팔로봇의 작업 분배방법을 제시하고자 한다. 타 모델의 경우에도 액세서리의 종류 및박스 형태 등이 유사하므로 동일한 방법론을 사용할 수 있을 것으로 사료된다.

#### 4.1 작업순서 - Case Study

휴대폰 유닛박스의 포장된 내용물을 살펴보면 공간상의 제약을 고려하여 액세서리가 담겨지는 순서를 결정해야 한다. 그리고 포장 순서에 따라서 박스 하부에 들어 가야하는 액세서리부터 pick & place가 이루어져야 한다. 본 논문의 대상 모델의 경우 하부부터 크래들, travel adapter (T/A), 배터리(2ea), USB케이블, 이어폰,

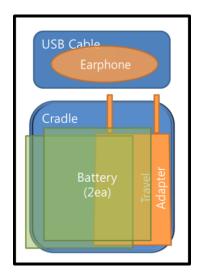


Fig. 4 Arrangement of accessories in unit box

매뉴얼의 순으로 배치할 경우 모든 액세서리가 허용된 공간 안에 포장될 수 있다. 이 때 하부박스의 크기가 각 액세서리의 크기보다 더 크기 때문에 모든 액세서리가 한 열로 수직으로 적재되는 것은 아니고 Fig. 4와 같이 공간을 분할하여 수직방향으로 적재되게 된다. 이때 작업 조건 및 두 대 로봇의 양 팔에 부착되는 그리퍼 기능을 고려하여 포장순서를 결정해야 한다. 여기서는 역으로 각 액세서리별로 picking에 필요한 그리퍼의 기능을 정하고 이에 따라서 분류를 하여, 각 로봇의 팔에 작업 대상을 할당하였다. 주어진 작업 대상물에서 요구되는 그리퍼의 기능은 두 가지로, 흡착을 하여 잡는 것과, 그리핑을 하여 잡는 것으로 구분된다.

우선 액세서리별로 효과적인 그리퍼의 기능을 분류하도록 하겠다. 배터리의 경우 2개를 동시에 핸들링 하여야 하므로 그리핑을 사용하여야 한다. 중간덮개의 경우에도 끼워 맞춤 방식의 조립을 위해서는 얇은 측면에서 힘을 가할 수 있어야 하므로 반드시 그리핑이 필요하다. 그 외 액세서리들(이어폰, USB케이블, 크래들, T/A, 매뉴얼)은 비닐포장형태 및 각각의 형태 등을 고려할 경우 흡착 방식이 효과적이다. 이어폰 및 USB케이블은 그리핑 방식도 사용 가능하나, 유연물이므로 제품의 손상 가능성이 있어 적합하지 않다. Table 1에 액세서리별 포장순서 및 핸들링 방법을 제시하였다.

Table 1 Packing sequence and handing method of accessories

packing sequence	accessory name	handling method	
1	cradle	suction	
2	T/A	suction	
3	battery(2ea)	gripping	
4	USB cable	suction	
5	earphone	suction	
6	manual	suction	
7	middle cover	gripping	

Table 2 Task allocation of two dual-arm robots

robot number	accessory name	handling method	
1	cradle	suction	
1	T/A	suction	
2	battery(2ea)	gripping	
2	USB cable	suction	
	earphone	suction	
1	manual	suction	
2	middle cover	gripping	

## 4.2 2대 양팔로봇의 작업분배

다음으로 이러한 포장순서에 따른 작업을 2대의 양팔로봇(4개 팔)으로 작업하기 위한 분배 방안을 제시하고자 한다. 우선적으로 고려해야할 것은 중간덮개 덮기 작업으로 이 경우 1대의 양팔로봇이 양팔을 동시에 사용하여 작업을 해야 한다. 따라서 표 1에서 1~6의 순서대로 1번 로봇과 2번 로봇에 작업을 분배하고 중간덮개는 1대의 로봇이 맡아서 작업을 수행해야 한다. 이 결과를 표 2에 나타내었다.

Table 2의 분배안대로 작업을 할 경우 1번 로봇의 경우 작업 대 상 액세서리가 suction으로 핸들링이 가능하므로 양팔에 suction 용 그리퍼를 부착하였다. 또한 2번 로봇은 suction과 그리핑을 모 두 사용하므로 양팔에 각각 한 종류씩의 그리퍼를 부착하였다. 중 간덮개 덮기의 경우 한 팔으로는 중간덮개를 그리핑하고, 다른 팔 의 그리퍼를 이용하여 유닛박스 하부박스를 지지하도록 하였다. 그 리고 마지막으로 각각의 로봇이 왼팔과 오른팔로 핸들링 할 액세서 리를 결정해야 하는데 이는 작업순서 및 로봇의 배치와 밀접한 관 련이 있다. Fig. 3의 배치도를 보면 1번 로봇과 2번 로봇이 컨베이 어를 중심으로 마주보고 있고 1번 로봇 왼쪽에 2종의 액세서리, 오른쪽에 2종의 액세서리, 2번 로봇 오른쪽에 2종의 액세서리, 왼 쪽에 중간덮개가 배치되어 있다. 1대의 로봇이 컨베이어에 놓여 있 는 유닛박스에 작업을 하기 위해서는 다른 로봇이(왼쪽 또는 오른 쪽으로) 허리를 회전하여 작업공간을 확보해 주어야 한다. 또한 회 전방향에 따라서 유닛박스에 가까운 쪽이 왼팔이 될 수도 있고 오 른팔이 될 수도 있다. 이러한 점들을 고려하여 Fig. 5와 같이 작업 을 분배하였다. Fig. 5의 알파벳 기호는 액세서리를 나타내기 위한 약자로 그림 하단의 약자 설명을 참조하기 바란다.

#### 4.3 고찰

제안한 작업분배안의 효율성을 검토하도록 하겠다. 작업의 효율성에 있어 가장 중요한 것이 작업시간(Tact Time; T/T)이다. 이를 위해서는 두 대의 로봇이 공백시간 없이 지속적으로 작업을 할 수 있어야 하고, 또한 핸들링 해야 할 액세서리의 종류에 따른 툴 체인지를 최소화해야 한다.

	robo	ot 1	robot 2		
step	left-arm (Suction)	right-arm (Suction)	left-arm (Gripping)	right-arm (Suction)	
1-1	Turr	n left	Ready	Ready	
1-2	A pick C pick		Turn right		
2-1	Ret	urn			
2-2	A place	C place	B pick	U pick	
3-1	Turn	right	Return		
3-2	E pick	M pick	B place	U place	
4-1			Turr	left	
4-2	Ret	urn			
4-3	E place	M place	MC pick	Ready	
5	Ready	Ready	MC insert	Box hold	

\* A:T/A, C:Cradle, B:Battery(2ea), U:USB cable M:Manual, E:Earphone, MC: Middle Cover

Fig. 5 Task allocation and robot motion

Fig. 5를 보면 6회의 pick & place 작업과 중간덮개 pick & insert 작업 및 box hold 작업, 총 8회의 작업이 요구되는데, 이를 2대의 로봇이 교대로 작업할 수 있도록 분배하되 robot1이 4회의 작업, robot2가 4회의 작업을 하도록 균일하게 분배하였다. 또한 동일한 기능의 그리퍼로 툴 체인지 없이 반복 작업이 가능하도록 포장순서 및 액세서리박스 배치를 결정하였다. 즉, robot1의 경우 suction으로 핸들링 가능한 A(T/A), C(크래들), E(이어폰), M(매뉴얼) 4종에 대 한 작업을 수행하고, robot2의 경우 그리핑이 필요한 B(배터리) 및 MC(중간덮개)를 담당하도록 하고 이 2종의 액세서리도 동시가 아닌 순차적으로 처리하도록 하여 한쪽 팔의 그리핑용 그리퍼로 작업이 가능하도록 하였다. 이 때 반대쪽 팔에는 suction용 그리퍼를 장착하 여 U(USB케이블)를 담당하도록 하고, 중간덮개 삽입 시에는 그리퍼 의 바디로 유닛박스를 지지하는 역할을 수행하도록 하였다. 즉, 2대 로봇이 동시에 작업할 수 없는 유닛박스 대상 작업인 placing 작업 시 2대 로봇이 중복되지 않도록 하여 공백 없이 2대의 로봇이 작업을 하도록 하였다(Fig. 5의 2-2, 3-2, 4-3 스텝 참조).

## 5. 구현 및 실험

## 5.1 생산 공정용 양팔로봇 개발

본 논문에서 제안한 휴대폰 포장공정 자동화에 적합한 양팔로봇 시스템은 다음과 같은 사양을 만족시켜야 한다.

- 사람작업자와 유사한 크기 (암 리치 포함)
- 작업 공간 확장을 위한 허리 자유도
- 휴대폰 유닛박스 및 마스터박스 핸들링이 가능한 수준의 가반 하중
- 요구 작업시간(택 타임)을 만족시킬 수 있는 조인트 회전 속도
- 포장작업이 가능한 수준의 반복정밀도

### 5.1.1 설계사양 도출

상기 요구 조건을 만족시키기 위한 로봇 설계를 진행하였다. 우선 사람작업자와 유사한 크기의 로봇을 설계하기 위하여 암 리치 및 토르소 크기를 성인 남자의 표준치수를 참고하여 선정하였다. 작업 공간 확장을 위해서 부가적으로 회전축 및 벤딩 축의 허리 2축을 구성하였다. 이를 통하여 양팔로봇의 작업 공간 확장이 가능하였다.

또한 가반하중 및 조인트 속도에 대한 요구조건을 찾기 위하여실 공정 정보를 활용하였다. 우선 휴대폰 유닛박스의 경우 액세서리 및 휴대폰을 모두 포함하여 약 600 g의 무게를 가지고 있다. 또한 그리퍼의 무게를 2 kg 정도로 가정할 때 한 팔이 5개의 유닛 박스를 핸들링 할 경우 600 g\*5개 = 3 kg이므로 5 kg 이상의 가반하중이 요구된다. 조인트 속도는 사람 작업자의 포장작업을 재연하면서 모션 캡처를 통하여 각 관절의 속도를 계산하였다. 모션 분석결과 각 조인트 각도의 최대치는 어깨 및 팔꿈치 조인트의 경우 150도/sec를 넘지 않았으며, 속목 조인트의 경우 250도/sec 미만에서 대부분의 작업이 이루어짐을 확인할 수 있었다.

그리고 양팔로봇 구동부의 요구 사양을 도출하기 위하여 5 kg의 부하를 장착 후, 2, 4, 6축이 동시에 가속되는 상황을 시뮬레이션 하였는데, 이 때 각 조인트의 최대부하를 결정하는 가장 큰 요소가 가속시간이다. 가속시간은 짧을수록 좋겠지만 구동부와 베어링 요소의 요구사양이 과도하게 되는 문제가 있어, 가속시간 0.2초에 대하여 시뮬레이션을 수행, Table 3과 같은 필요토크를 산출하였다.

# 5.1.2 양팔로봇 설계 및 제작

상기 설계사양을 만족시킬 수 있도록 3종의 구동모듈을 개발하고 이를 적용한 양팔로봇을 제작하였다. 3종의 구동모듈은 그 필요토크에 따라서 1/2축용, 3/4축용, 5/6/7축용으로 구분되고, 간결함 및 유지보수성을 고려하여 중공형으로 개발하였다. 또한 양팔로봇의 각 암은 7자유도로 구성하여 필요한 작업을 수행할 수 있도록 하였다. 링크설계는 로봇의 암 리치 및 조인트 동작 범위를 만족하며 경량화 및 슬림화, 유지보수성, 기내배선방안을 고려하여 설계를 진행하였다. 경량화를 위하여 모터 드라이버를 링크에 내장하고 EtherCAT<sup>[11]</sup> 통신으로 연결하여 모터 제어를 수행하도록 하였다.

Table 3 Required torque

	maximum torque (Nm)	continuous stall torque (Nm)
joint 1,2	120	60
joint 3,4	70	30
joint 5,6	25	11

Fig. 6은 제작한 로봇의 모습과 암 리치를 보여주고 있다. 로봇 설계 및 제작에 관한 상세한 내용은 저자들의 기존 연구<sup>[12,13]</sup>를 참고하기 바란다.

#### 5.2 휴대폰 포장 셀 개발

본 논문에서 제안한 셀 공정 자동화 및 포장작업 셀 공정을 구현하기 위하여 우선 휴대폰 포장 셀 라인을 구축하였다. Fig. 3의 배치 개념도대로 컨베이어 라인을 중심으로 두 대의 양팔로봇이 마주보도록 배치하였고 로봇의 주위에 액세서리 박스를 배치하였다. 이때 액세서리 박스의 위치는 로봇의 작업 공간 시뮬레이션을 통하여로봇의 이동범위를 최소화하도록 결정하였다. 로봇과 액세서리 박스의 상세 배치도는 Fig. 7과 같다. 각 액세서리 박스의 상부에는액세서리의 위치 및 자세 인식을 위한 카메라가, 컨베이어 라인 위쪽에는 유닛박스 위치 인식을 위한 카메라를 설치하였다. 최종적으로 구현된 휴대폰 포장 셀 라인은 Fig. 8에 제시하였다.

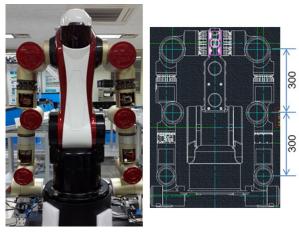


Fig. 6 Proposed dual-arm robot and arm reach

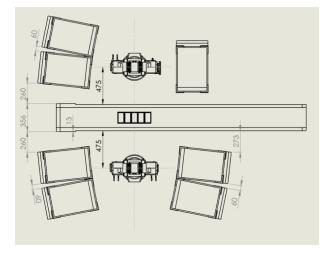


Fig. 7 Layout of cell line for packing cellular phone including two dual-arm robots



Fig. 8 Implemented cell line for packing cellular phone

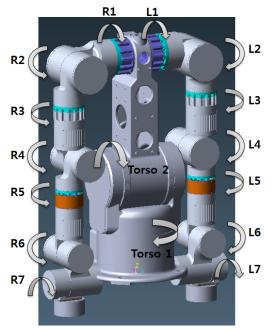
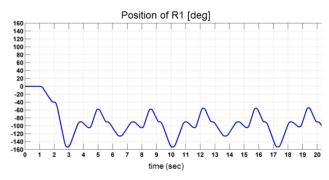
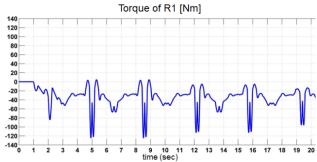


Fig. 9 Simulation model for validation in RecurDyn

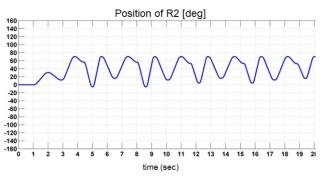
## 5.3 타당성 검증

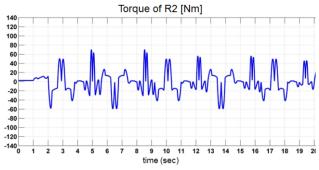
단위작업별 구성의 타당성을 검토하기 위하여 단위작업별 작업시간 목표에 맞도록 경로계획을 수행하고 이에 따른 동역학 시뮬레이션을 수행하였다. 경로계획 시에는 각 조인트의 최대 속도 및 최대 가속도를 고려하여 동작이 가능한 범위 내에서 경로를 산출하도록 하였다. 동역학 시뮬레이션에서는 실제 조인트의 마찰 등이 정확히 고려되기는 어렵지만, 계획된 경로가 개발된 양팔로봇으로 구현 가능한 수준인지 확인할 수 있었다. 시뮬레이션은 RecurDyn<sup>[14]</sup>으로 수행하였고, 이 때 사용한 모델은 Fig. 9와 같다. 시뮬레이션의 목적은 주어진 T/T 조건을 만족시키는 포장작업을 수행하기 위하여 계획한 로봇의 경로가 각 구동모듈의 구현 가능한 범위 내에 있는지를 확인하여, 작업분배 및 셀 설계가 타당하게 되었는지를 확인하기 위함이다. 주어진 조건에 맞게 각 축별로 시뮬레이션을 수행한 결과, 토크 변동치가 각 구동모듈별 허용 토크 범위를 초과





(a) Position and torque profile of joint R1





(b) Position and torque profile of joint R2

Fig. 10 Position and torque trajectory in simulation

하지 않았다. Fig. 10에 포장작업 수행 시뮬레이션 결과를 제시하고 있는데 모든 축에 대한 결과를 제시하기는 분량이 너무 많아 대표적으로 오른팔 1번 축과 2번 축의 위치 및 토크 변화를 제시하였다. Fig. 10의 그래프에서 보면 1번 축의 경우 토크 최대치가 120 Nm, 2번 축의 경우 70 Nm로, 두 경우 모두 1, 2축용으로 설계된 구동모듈의 최대토크 허용 범위 내임을 확인할 수 있었다.

나머지 관절의 경우에도 시뮬레이션 결과를 제시하지는 않았지만 각각의 관절용으로 설계된 구동모듈의 최대토크 범위 내에 있음을 확인할 수 있었다. 즉, 4절에서 제안한 작업 분배 방안에 따른 작업 을 개발한 로봇으로 수행할 수 있음을 확인할 수 있었고, 구현 가능 한 범위내로 작업분배 및 셀 설계가 이루어졌음을 확인할 수 있었다.

# 5.4 포장작업 구현 및 결과 분석

제안한 양팔로봇과 휴대폰 포장 셀을 이용하여 휴대폰 포장작업을 수행하였다. 전체 작업은 2대의 양팔로봇이 7종의 액세서리를 5회 반복하여 포장하는 작업으로 작업이 완료되면 5개의 유닛박스 포장이 완료되고 이후 컨베이어를 따라 다음 공정으로 이동하여 포장작업을 완결하게 된다. 포장순서는 앞 절에서 기술한대로 크래들, T/A, 배터리, USB케이블, 이어폰, 매뉴얼, 그리고 중간덮개의 순으로 이루어진다. Fig. 11은 로봇을 포함한 시스템의 전체적인 작업 순서를 나타내는 상세 과정을, Fig. 12는 포장작업을 수행한 구현결과를 제시하고 있다. 작업시간 조건은 현재 사람 작업자의 작업시간 대비 3배의 작업시간을 목표로 설정하였는데, 구체적인 작업시간은 해당기업의 보안사항으로 기술하기가 어렵다. 3배의 작업시간을 목표로 한 것은 구현의 난이도 때문으로 우선 3배의 작업시간을 목표로 한 것은 구현의 난이도 때문으로 우선 3배의

작업시간을 달성하고, 향후 추가 연구를 통하여 최종적으로는 사람 작업자와 동등한 수준까지 구현하는 것을 목표로 하고 있다. Fig. 12에 상세한 구현 결과를 제시하고 있는데, 이로부터 본 논문에서 제안한 방법을 적용하여 5개의 유닛박스에 7종의 액세서리를 포장하는 작업이 성공적으로 이루어졌음을 확인할 수 있었다. 향후 작업시간 단축을 위해서는 몇 가지 점이 개선되어야 하는데 주요한 내용으로 경로 최적화 및 고속 모션 제어 알고리즘의 개발이다. Fig. 10의 시뮬레이션 결과에서도 제시하였듯이 본 연구에서 개발한 양팔로봇으로 3배의 작업시간은 달성할 수 있었으나, 단순히 작업시간을 1/3로 줄여서 시뮬레이션을 해보면 그 토크변동치가 구동모듈의 허용 범위를 넘어서는 것을 확인할 수 있었다. 이는 현재계획된 경로가 최적화되지 않아 불필요한 경로가 많고 또한 경유점에서의 감가속으로 인하여 큰 토크가 요구되기 때문이다. 또한 고속 모션 시 세틀링 타임의 감소 및 정확성 향상을 위해서 고속 모션 제어 알고리즘의 개선이 필요하다.

### 6. 결론 및 추후연구

본 논문은 양팔로봇 2대를 적용한 휴대폰 유닛박스 포장 자동화

		robot 1		robot 2		
st	ер	left-arm (suction)	right-arm (suction)	left-arm (gripping)	right-arm (suction)	
1		A pick	C pick	Ready	Ready	position from vision & path from planner for step 2 should be ready
		A place	C place	B pick	U pick	position from vision & path from planner for step 3 should be ready
	2-1	move both arms from acc. box to target box  move both arms from target box to acc. Box (with gripper ready)		acc. Box	move to target position (target unit box and B & U) via planned path	
2	2-2	drop A to target box	wait	pick B from	pick U from	move to target position (target unit box and B & U)
	2-3	ready pos.	drop C to target box	acc. box	acc. box	via planned path
	2-4	wait	ready pos.	ready pos.	ready pos.	move back to ready position via planned path
	3	E pick	M pick	B place	U place	position from vision & path from planner for step 4 should be ready
	4	E place	M place	MC pick	Ready	position from vision & path from planner for step 5 should be ready
		A pick	C pick	MC insert	Box hold	position from vision & path from planner for step 6 should be ready
	5-1	box to	ms from target acc. Box per ready)	move to target box	move to hold position	move to target position (target unit box and A & C) via planned path
5	5-2	pick B from	pick U from	insert MC	hold	move to target position (target unit box and A & C)
	5-3	acc. box	acc. box		hold on	via planned path
	5-4	ready pos.	ready pos.	ready pos.	release & ready pos.	move back to ready position via planned path
	:					

<sup>\*</sup> A: T/A, C: Cradle, B: Battery(2ea), U: USB cable, M: Manual, E: Earphone, MC: Middle Cover

Fig. 11 Detailed job flow

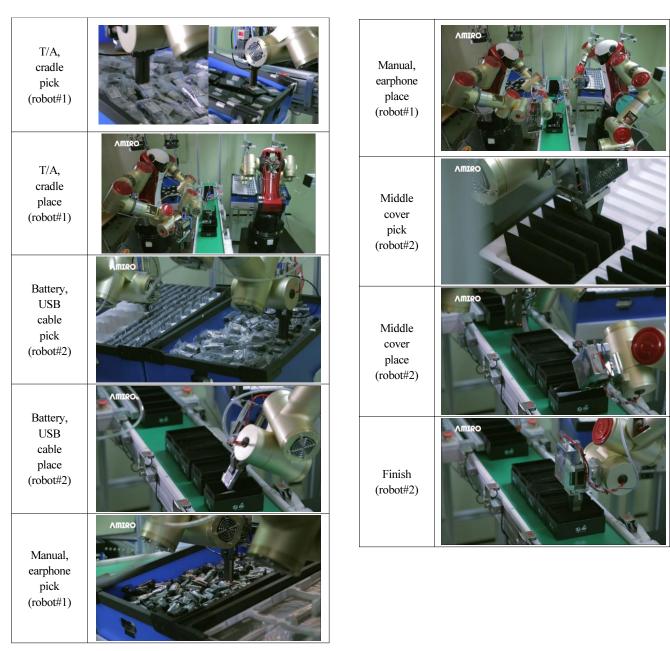


Fig. 12 Experiments for packing cellular phones

시스템을 제안하였다. 자동화에 필요한 양팔로봇을 개발하기위하여 대상 공정을 분석하고, 이에 따라 작업 대상물인 휴대폰 액세서리의 핸들링을 고려한 로봇 사양 설계 및 제작을 수행하였다. 또한기존의 사람작업자가 수행하던 공정을 2대의 양팔로봇에 적합하게재구성하여 효율적인 작업이 이루어지도록 하였고, 이에 맞도록 작업 셀을 개발하여 휴대폰 포장 작업을 구현하였다. 작업시간 측면에서 보면, 제안한 시스템을 사용할 경우 현재 사람 작업자의 작업시간에 비하여 약 3배 정도의 시간이 소요되고 있으나, 향후 경로최적화 및 모션 고속화를 통하여 사람작업자와 동등한 수준까지향상시켜 실 공정에 적용할 예정이다.

# 후 기

본 논문은 산업통상자원부가 출연하고 한국산업기술평가관리원에서 위탁 시행한 2014년도 로봇산업융합핵심기술개발사업[과제번호:10038660]의 지원으로 이루어졌습니다.

#### References

[1] Bogdan, S., Lewis, F. L., Kovacic, Z., Gurel, A., 2002, An implementation of the matrix-based supervisory controller of flexible

- manufacturing systems, IEEE Tran. Control System Technology 10:5 709-716.
- [2] Moore, K. W., Newman, R., Chan, G., Leech, C., Allison, K., Coulson, J., Simpson, P. B., 2007, Implementation of a High Specification Dual-Arm Robotic Platform to Meet Flexible Screening Needs, Journal of the Association for Laboratory Automation 12:2 115-123.
- [3] Park, C., Park, K., Park, D. I., Kyung J. H., 2009, Dual arm robot manipulator and its easy teaching system, IEEE Int. Symp. Assembly and Manufacturing 242-247.
- [4] Park, C., Park, K., 2008, Design and kinematics analysis of the dual arm robot manipulator for precision assembly, IEEE Int. Conf. Industrial Informatics 430-435.
- [5] Do, H. M., Park, C., Kyung, J. H., 2012, Dual arm robot for packaging and assembling of IT products, IEEE Int. Conf. Automation Science and Engineering 1063-1066.
- [6] Stolt, A., Linderoth, M., Robertsson, A., Johansson, R., 2012, Force Controlled Robotic Assembly without a Force Sensor, IEEE Int. Conf. Robotics and Automation 1538-1543.
- [7] ABB, n.d. YuMi, viewed Oct. 2014, <a href="http://new.abb.com/products">http://new.abb.com/products</a>

- /robotics/yumi>.
- [8] ROSETTA, n.d. The ROSETTA project, viewed Oct. 2014, <a href="http://www.fp7rosetta.org">http://www.fp7rosetta.org</a>.
- [9] Rethink Robotics, n.d. Baxter | Redefining Robotics and Manufacturing, viewed Oct. 2014, <a href="http://www.rethinkrobotics.com/baxter">http://www.rethinkrobotics.com/baxter</a>.
- [10] Rodrigues, J. J., Kim, J. -S., Furukawa, M., Xavier, J., Aguiar, P., Kanade, T., 2012, 6D pose estimation of extureless shiny objects using random ferns for bin-picking, IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems 3334-3341.
- [11] EtherCAT Technology Group, n.d. viewed Oct. 2014, <a href="http://www.ethercat.org/default.htm">http://www.ethercat.org/default.htm</a>.
- [12] Do, H. M., Park, C., Park, K., Kyung, J. H., 2013, Design of Dual-Arm Robot for Cell Production, Advances in Intelligent Systems and Computing 208 921-929.
- [13] Do, H. M., Park, C., Choi, T. Y., Kyung, J. H., 2013, Design and Control of Dual-arm Robot for Cell Manufacturing Process, IEEE Int. Conf. on Mechatronics and Automation 1419-1423.
- [14] FunctionBay, Inc. n.d. viewed Dec. 2014, <a href="http://eng.functionbay.co.kr/home/eng/products.php?q=multibody">http://eng.functionbay.co.kr/home/eng/products.php?q=multibody</a>.