

IT 제품의 조립 공정 맞춤형 그리퍼 개념 설계에 관한 연구

김현국¹, 황순웅¹, 안보영¹, 허준형², 최윤성³, 신규식⁴, 한창수^{*}

¹한양대학교 메카트로닉스공학과, ²한양대학교 융합시스템학과,
³한양대학교 기계공학과, ⁴한양대학교 로봇공학과

A Study on Concept Design of Customized Gripper for Assembly Process of IT Products

Hyeon-Guk Kim¹, Soon-Woong Hwang¹, Bo-Young An¹, Jun-Hyung Heo²,
Youn-Sung Choi³, Kyoo-Sik Shin⁴, Chang-Soo Han^{*}

¹Department of Mechatronics Engineering, Hanyang University

²Department of Interdisciplinary Engineering Systems, Hanyang University

³Department of Mechanical Engineering, Hanyang University

⁴Department of Robot Engineering, Hanyang University

요약 본 논문은 제품 교체 주기가 비교적 짧고 정기적인 IT 제품의 조립 공정 맞춤형 그리퍼 개념 설계에 관한 내용을 담고 있다. 제조 현장에서 쓰이는 그리퍼는 대부분 1~2 자유도로 간단하게 구성되고 한 번에 다양한 물체가 아닌 정해진 것만 다룬다. 또한 가격이 중요한 비중을 차지한다. 만약 공정에 적합한 그리퍼를 빠르고 쉽게 개발 할 수 있다면 제품 및 공정의 잦은 변경에 따른 자동화의 어려움을 일부 해소할 것으로 기대한다. 연구에 필요한 조립 공정은 제조사의 기밀인 관계로 공정 분석 진행 절차와 방법을 정의하고 기술하였다. 공리적 설계를 이용해 테블릿 PC 조립을 위한 그리퍼의 기능 요구와 설계 파라미터를 도출하였다. 이러한 파라미터를 결정함으로써 그리퍼의 개념 설계가 이루어질 수 있도록 설계 방법을 제안하였다. 타당성 검토를 위해 특정 공정을 선택하고 그리퍼 설계 진행 과정을 예제로 기술하였다. 그리퍼 설계 지침에 관한 연구가 있지만 고려 사항이 너무 일반적이고 아이디어 도출의 자유도가 높은 문제가 있다. 본 논문은 제품 및 자동화 시장이 활성화 된 IT 제품의 조립 공정을 바탕으로 그리퍼의 기능을 정의하였다. 이를 통해 물체를 잡는 것에 그치지 않고 조립 과정을 반영한 설계를 목표로 하였다.

Abstract This paper describes the conceptual design of a customized gripper for the assembly process of IT products, which has a relatively short and regular product replacement cycle. The grippers that are used in the manufacturing field are mostly composed of one to two degrees of freedom and they can only handle one object, not multiple ones. Cost is also an important factor. If it were possible to develop a gripper suitable for the assembly process quickly and easily, some of the difficulties involved in its automation caused by the frequent changes of product and process could be solved. The assembly process utilized for this research is defined and described as the procedure and method of the process analysis due to the confidentiality of the manufacturer. We used an axiomatic design to derive the functional requirements and design parameters of the gripper used for the tablet PC assembly process. We proposed a design method for the conceptual design of the gripper by determining these parameters. For the feasibility study, a specific process was selected and the progress of the gripper design was described as an example. Although there have been studies on the design guidelines for grippers, their considerations are too general and their degree of freedom is too high. This paper defines the function of the gripper based on the assembly process of the IT products, which allows their production to be streamlined and automated. In this research, we attempted to produce a design that reflects the assembly process, not just one that enables objects to be held.

Keywords : Axiomatic design, Customized gripper, Design methodology, Gripper design, IT product

본 논문은 산업통상자원부가 출연하고 한국산업기술평가관리원에서 위탁 시행한 산업핵심기술개발사업(과제번호: 10060110)의 지원으로 수행되었음.

*Corresponding Author : Chang-Soo Han(Hanyang Univ.)

Tel: +82-31-400-5247 email: cshan@hanyang.ac.kr

Received November 13, 2017

Revised (1st January 15, 2018, 2nd January 29, 2018)

Accepted February 2, 2018

Published February 28, 2018

1. 서론

로봇을 이용한 조립 자동화는 다양한 물체를 어떻게 잡을 것인가라는 문제를 직면한다. 현장에서는 다양한 개수의 그리퍼 다리와 대상 제품의 형상에 맞춘 그리퍼 팁(Tip)을 이용해 문제를 해결하였다[1-4]. 하지만 인간의 손과 달리 하나의 그리퍼로 다룰 수 있는 물체의 종류는 한계가 있다. 또한 그리퍼란 이름 그대로 잡는 것에 목적을 둔 것으로 수직으로 눌러 끼우기, 옆으로 삽입하기, 주변과 간섭 없이 삽입하기 등 조립 작업에 따라 특화된 그리퍼가 필요할 수 있다.

이러한 문제로 인해 인간의 손과 같이 다양한 기능을 수행할 수 있는 로봇 핸드에 관한 연구는 꾸준히 이어져 왔다[5,6]. 하지만 과거에 비해 높은 수준의 기술 개발에도 불구하고 인간의 손 보다 큰 크기, 다룰 수 있는 부품의 무게 제한과 비싼 가격 등으로 아직 연구 단계에 머물러 있다.

반면 현장의 조립 자동화는 다양한 제품에 걸쳐 진행되었고 더욱 범위를 넓혀가고 있다. 특히 태블릿 PC, 스마트폰과 같은 모바일 기기는 시장의 확대 속도만큼 빠르게 자동화가 이루어지고 있다. 다만 제품 수명이 짧고 조립 공정, 사용 부품의 변화가 빨라 이로 인한 자동화의 어려움이 존재한다.

본 연구는 다음 두 가지 이유에서 착안하게 되었다. 현장에서 쓰이는 그리퍼는 대부분 1~2 자유도로 간단하게 구성되어 정해진 물체만 다루는 점, 가격 문제가 중요하다는 점이다[7]. 즉, 제품 교체 주기가 짧을지라도 전용 그리퍼를 빠르고 쉽게 만들 수 있다면 로봇 자동화의 어려움을 일부 해결할 수 있을 것이라는 주장이다.

전용 그리퍼 개발에 대한 지침이나 절차가 있다면 어

떨까? 새로운 작업 대상과 공정이 주어졌을 때, 정해진 절차에 의해 개념 안이 도출 될 수 있다면 그리퍼를 빠르고 쉽게 개발하는 것에 큰 도움이 될 것이다. 하지만 많은 로봇공학 관련 서적에서는 그리퍼의 종류에 대해서만 언급할 뿐 설계 방법에 관한 내용은 없다[7]. 일부 문헌에서 그리퍼 설계 지침에 관한 연구 결과를 담고 있으나 IT 제품 조립에 적용하기에는 너무 범위가 넓고 요구 기능이 다른 문제점이 있다[8,9].

이런 배경으로 제품 교체 주기가 짧고 공정 및 사용 부품의 변화가 빠른 IT 제품 조립을 연구 대상으로 한다. IT 제품에 사용되는 부품과 조립 공정의 특성을 파악하기 위해 조립 공정 분석 절차를 마련하였다. 분석 결과를 바탕으로 그리퍼가 가져야 하는 기능 요구와 이에 대응하는 설계 파라미터를 선정하였으며 근거와 함께 기술하였다. 하나의 조립 공정을 대상으로 그리퍼 개념 설계 및 제작 과정을 예제로 기술하여 적용 가능성에 대해 평가할 수 있도록 하였다.

2. IT 제품의 조립 공정 분석

2.1 대상 제품의 선정

본 연구의 1차적인 목적은 조립 대상 물체의 잦은 변경에 대응하기 위한 그리퍼 설계 방법 개발이다. 이러한 목적에 적합한 종류를 IT 제품이라 판단하였다. 시장의 활성화 및 주기적인 제품 교체를 고려하여 태블릿 PC, 스마트폰을 후보에 올려 두었다. 이 중 스마트폰은 배터리 및 메인보드, 액정 등 몇 가지를 제외하고 부품 크기가 1cm 이하의 얇은 판 형태로 조립 방법 및 형태가 제한적인 특징이 있다. 반면 태블릿 PC는 부품의 크기가



Fig. 1. Components of the tablet PC

다양하고 같은 부품에 대해서 다른 조립 방식을 취할 여지가 있다. 이에 연구 진행 대상 제품을 S社의 태블릿 PC로 선정하였다. Fig. 1은 직접 분해하여 정리한 대상 태블릿 PC의 부품들이다.

2.2 조립 공정 분석 방법

제품의 조립 공정은 제조사의 영업 기밀로 취급된다. 본 연구진은 부품의 조립 과정을 이해해야 해당 조립 작업에 필수적인 그리퍼의 기능 도출이 가능 할 것으로 판단했다. 이에 조립 순서도 도출부터 부품 별 조립 방법 분석까지의 과정을 정리하여 근거를 마련하였다. 다음은 연구 과정에서 조립 순서도 도출을 위해 실제 수행한 절차이다.

- 제품을 조립 가능한 최소 수준으로 분해하고 촬영하여 자료로 남긴다.
- 3명의 연구원이 각자 재조립하여 전원이 켜지는 상태를 확인한다.
- 위의 과정을 반복하여 각자 생각하는 조립 순서를 작성한다.
- 도출된 수 개의 조립 순서를 함께 토의하여 2개로 정리한다.

- 위 과정에 참여하지 않은 초보자가 조립 순서에 따라 수행 후 의견을 제시한다.
- 피드백을 검토하여 최종 조립 순서도를 작성한다.

이러한 절차의 결과물로 Fig. 2의 조립 순서도를 도출하였다. 실제 제품 조립 순서를 확인할 수 없는 상황에서 Fig. 2의 조립 순서도는 공정 흐름도의 역할을 대신한다.

다음으로 조립 순서도를 따라 각 부품에 대한 조립 방법 분석을 진행한다. 조립 방법 분석 내용에는 서로 조립 관계에 있는 부품과 부품의 사이즈, 하나의 조립 공정에 대한 조립 방법 및 주의점 등을 정성적, 정량적으로 기술한다. 하지만 이는 인간의 기준에서 진행되었기에 조립 자동화를 위해 필요한 기능을 추가로 정리하였다. 조립 공정 분석 내용 및 이용 방법은 4장의 예제에서 설명한다.

3. 공정 분석 기반의 공리적 설계

3.1 공리적 설계

공리적 설계는 독립공리와 정보공리라는 두 가지의 공리로 이루어진다. 독립공리는 기능요구의 독립성을 유

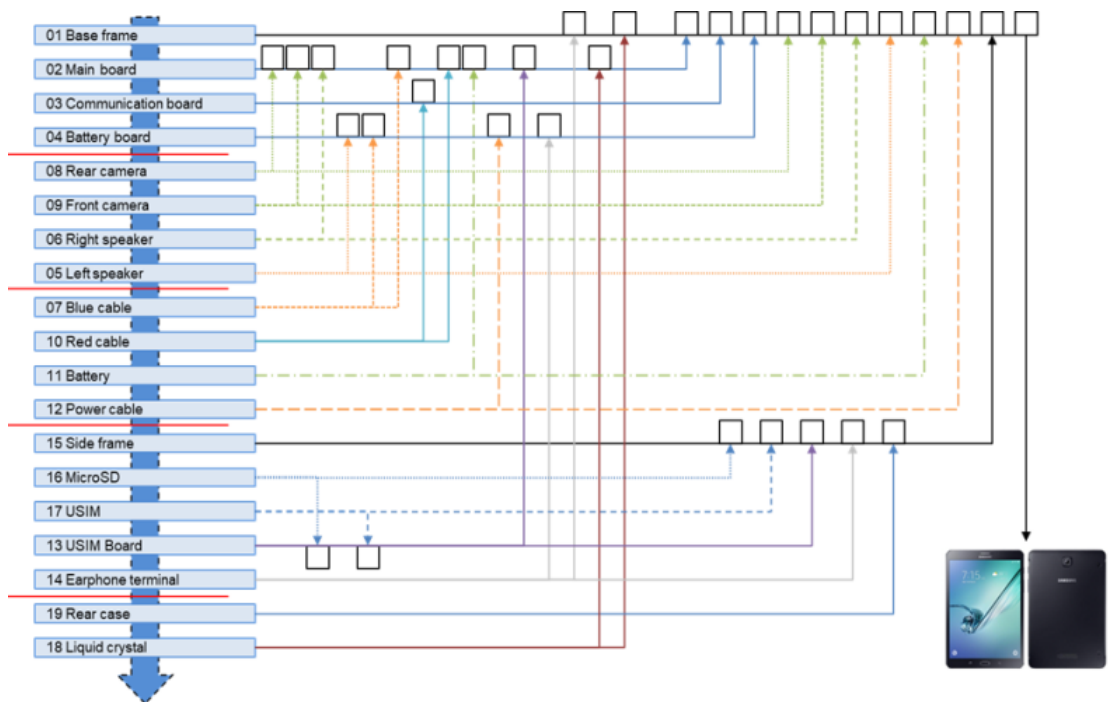


Fig. 2. Assembling flowchart

지하라는 것으로, 복잡한 시스템을 설계 할 경우 적절한 설계 파라미터를 선정하여 대상 기능요구를 독립적으로 만족시키는 것이 좋은 설계라는 것을 의미한다. 또한 정보공리는 독립공리를 만족하는 다수의 설계를 발견할 경우 정보량을 최소화하는 설계를 선택하라는 의미이다 [10,11].

하지만 현재까지 공리적 설계에 관한 연구들은 주로 독립공리에 치중해 있어 실제 설계에서 정보공리를 이용하는 것은 쉽지 않은 일이다[12]. 이에 본 연구에서는 독립공리를 이용하여 그리퍼 기능 정의 및 설계 파라미터 도출에 집중하였다.

3.2 대상 그리퍼의 기능 요구와 설계 변수

본 연구의 1차적 목표는 IT 제품 조립 공정 맞춤형 그리퍼의 기능 요구를 정리하는 것이다.

공정 상 제한 조건을 반영한 기능 요구가 정리되면 물리적으로 구현하기 위한 설계 파라미터는 상대적으로 쉽게 도출할 수 있다.

기본적으로 그리퍼가 가져야 하는 기능 요구는 대상에 따라 크게 차이하지 않는다. 하지만 파지 후 수행 작업에 따라 제한 조건은 매우 달라질 것이다. 본 연구에서는 대상 제품인 태블릿 PC 조립 공정 분석을 통해 각 부품 조립 과정에서 공통적인 기능 요구 및 제한 조건을 도출하고자 노력하였다. 설계 파라미터의 경우 실제 현장 상황과 가격 등을 고려하여 파지 메커니즘을 흡착식과 기계식으로 제한하고 진행하였다.

다음은 도출한 기능 요구와 설계 변수이다.

- FR1 최소한의 접촉면 개수로 잡는다.
- FR2 조립 시 다른 물체와 그리퍼 간 간섭이 없어야 한다.
- FR3 접촉면의 형상에 맞춰 잡는다.
- FR4 파지 공간(크기)를 만족해야 한다.
- FR5 파지 직후 물체와 그리퍼를 포함한 시스템이 정적 평형 상태에 있어야 한다.

- DP1 (흡착패드/Tip)의 개수
- DP2 (흡착패드/Tip)의 위치
- DP3 (흡착패드/Tip)의 형상
- DP4 (흡착패드/Tip)의 크기
- DP5 흡착력/파지력

3.3 기능 요구와 설계 변수 도출 근거

FR1/DP1 : 설계 대상은 임의의 물체를 다룰 수 있는 로봇 핸드가 아니다. 공정에 적합하고 간단하며 빠르게 구현할 수 있는 그리퍼의 개발을 1차 목표로 두고 있다. 따라서 물체를 파지하기 위해 필요한 패드 및 그리퍼 다리의 개수는 최소한이 되어야 한다.

FR2/DP2 : 단순히 물체를 잘 잡는 것이 아니라 조립 공정을 수행해야 한다. 따라서 조립 대상물, 환경 및 방법을 고려해 작업 수행 중 그리퍼가 방해되지 않도록 해야 할 것이다. 제한 조건을 고려할 때 적합한 패드 및 Tip의 위치를 결정해야 한다.

FR3/DP3 : 파지를 위한 접촉면의 개수와 위치가 결정됐다면 실질적인 접촉 부분의 설계 문제가 남는다. 접촉면이 얇고 평평한지, 단차가 있는지, 일부 구멍이 존재하는지 등에 따라 물체와 접촉하는 그리퍼 끝단의 모양도 달라져야 할 것이다.

FR4/DP4 : FR1~FR3을 모두 만족했다 하더라도 물리적 실현 가능성에 따라 그리퍼의 크기가 달라질 수 있을 것이다. 파지 공간에 따라서도 접촉 부분의 크기가 다양하게 구현 될 수 있다. 그러므로 조립 과정에서도 파지 공간을 만족하는 최소한의 크기로 접촉 부분 설계가 이루어져야 할 것이다.

FR5/DP5 : 물체를 안정적으로 잡는다는 것을 역학적으로 표현하자면 시스템이 정적 평형 상태에 있다고 할 수 있다. 따라서 FR5를 만족하는 설계가 이루어질 경우 실질적으로 필요한 기능은 모두 만족하는 것이다. 하지만 정적 평형을 이루기 위해서 고려해야 할 내용은 힘의 작용점 위치, 개수, 힘의 크기 등으로 다양한 것을 알 수 있다. 결정 순서를 마지막에 위치시킴으로써 선행 기능을 구속 조건으로 사용하였다.

공리적 설계 관점에서 가장 좋은 설계는 비연성설계(uncoupled design)이나 현실적으로 이를 만족하기는 매우 까다롭다. 따라서 설계 파라미터를 정하는 순서에 따라 기능 요구를 독립적으로 만족할 수 있는 비연성화설계(decoupled design)도 많이 이용하며 본 설계 내용이 이에 해당한다.

$$\begin{bmatrix} FR1 \\ FR2 \\ FR3 \\ FR4 \\ FR5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \times & \circ & \circ & \circ & \circ \\ \times & \times & \circ & \circ & \circ \\ \circ & \circ & \times & \circ & \circ \\ \circ & \times & \times & \times & \circ \\ \times & \times & \times & \times & \times \end{bmatrix} \begin{bmatrix} DP1 \\ DP2 \\ DP3 \\ DP4 \\ DP5 \end{bmatrix} \quad (1)$$

식 (1)은 도출한 기능 요구와 설계 파라미터 간 관계를 표현한 것이다. FR과 DP가 서로 의존 관계에 있으면 'X', 없으면 'O'로 표현한다. 기능 요구를 순서대로 맞춰 가며 설계 파라미터를 결정하면 구속 조건이 발생하는 형태이다. 후순위 기능을 만족하지 못할 경우 해당 설계 파라미터를 수정하여 다시 진행해야 함을 의미한다.

4. 그리퍼 도출 예제

4.1 조립 대상 부품 선정 및 분석

대상 태블릿 PC를 분석한 결과 19개의 부품과 이를 20개의 조립 공정을 도출하였다. 이 중 파지 구조나 방식, 그리퍼의 형태에 있어 다양한 아이디어가 도출 될 가능성이 있는 공정을 선택하였다.

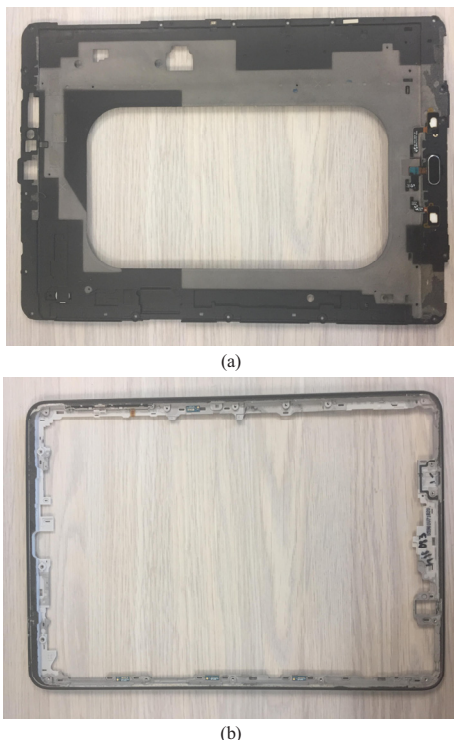


Fig. 3. Appearance of the example parts
(a)base frame (b)side Frame

베이스 프레임과 사이드 프레임의 조립은 상대적으로 큰 부품간의 조립 공정이다. 이는 그리퍼의 크기와 파지 위치, 파지 방법 등에 있어 구속 조건이 상대적으로 적음

을 의미한다. Fig. 3은 조립 대상인 두 부품의 외형이고 Fig. 4는 부품 간 조립 과정을 나타낸다.

두 부품 간 조립 공정에서 특히 유의해야 할 점은 Fig. 4와 같은 조립 방법이다. 수직으로 두 부품을 조립 시 아주 작은 자세 오차로도 공차에 의한 조립 실패가 발생할 수 있다. 공정 분석에 의해 Fig. 4 와 같이 표시된 틈에 맞춰 기울여 조립하는 과정이 효율적임을 알 수 있었다.



Fig. 4. Assembly procedure between base frame and side frame

4.2 공리적 설계 진행 과정

공정 분석에 따라 기울여 끼워 맞추는 조립 방법이 필요하다. 외력이 가해지는 조건과 프레임의 크기 등을 고려해 완전한 기계적 구속 가능한 그리퍼 설계안을 목표로 하였다.

- DP1 : 4개의 그리퍼 팁(Tip)
- DP2 : 베이스 프레임 내부의 4면 직교
- DP3 : 1mm 틈을 갖는 'c' 모양 요철 형태
- DP4 : 18mm 폭과 6mm 높이의 그리퍼 팁
- DP5 : 4면을 밀어줄 수 있는 충분한 힘

DP1 : 조립 시 완전한 기계적 구속이 필요하므로 최소 2개 이상의 팁이 필요하다. 최소한의 팁 개수에 따르면 2개로 선정해야 하지만 적은 힘으로

비틀림 등을 방지하고자 4면지지 방법을 선택하였다.

DP2 : 단순히 베이스 프레임의 잡기 위해서는 내, 외부 선택부터 4개 팁의 배치 등과 같이 파지 위치가 상당히 다양할 수 있다. 하지만 조립 과정을 볼 때 외부 파지 방법은 사이드 프레임과의 간섭 위험이 상당하다. 내부 4면을 서로 수직으로 파지 할 경우 사이드 프레임과의 직접적인 간섭 위험은 거의 없다고 할 수 있다.

DP3 : 베이스 프레임의 파지 위치는 두께 1mm 미만의 평평한 플라스틱 판으로 되어 있다. 또한 내부 4면의 파지 위치는 바닥으로부터 일정 높이만큼 떨어져 있다. 얇고 평평한 판을 잡기 위해 복잡한 형상이나 구동 장치 사용 보다는 공차를 가지는 요철 형태로 간단히 파지하는 것을 선택하였다.

DP4 : 부품 조립 시 베이스 프레임의 윗부분으로 그리퍼가 돌출 되는 것은 간섭의 위험이 없다. 다만 프레임의 아랫부분은 지면과의 높이 차를 고려하여 설계를 진행해야 한다.

DP5 : 정적 평형을 만족하고 파지 순간 부품의 자세가 크게 어긋나는 것을 막기 위해 4면 동시 파지가 이루어져야 한다. 고정 지그(jig)가 있는 경우에는 상관없지만 그렇지 않은 경우, 어느 한 쪽에서 먼저 접촉이 일어나면 부품의 자세가 바뀌게 된다. 이를 줄이고자 구조적으로 4면 동시 파지가 이루어 질 수 있도록 고안하였다.

4.3 설계안 도출 및 평가

Fig. 5는 1차 도출된 그리퍼의 모습이다. 1축 수직 운동을 4면 동시 접촉 운동으로 변환하기 위해 메커니즘을 설계하였고 Fig. 6과 같이 기구학 해석으로 각 링크 길이를 1차 선정하였다. 1축 운동은 어떠한 구동 방식(수동, 모터, 공압 등)에도 적용 가능한 유연성을 가진다.

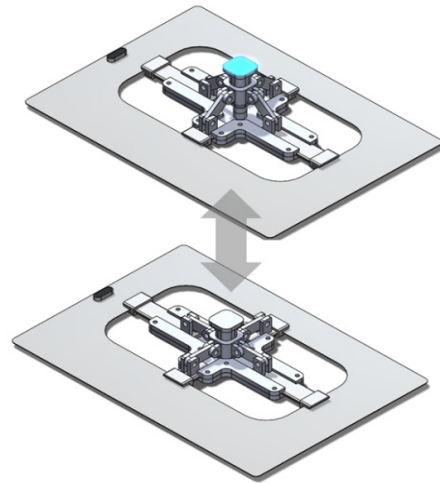


Fig. 5. Initial version of the gripper

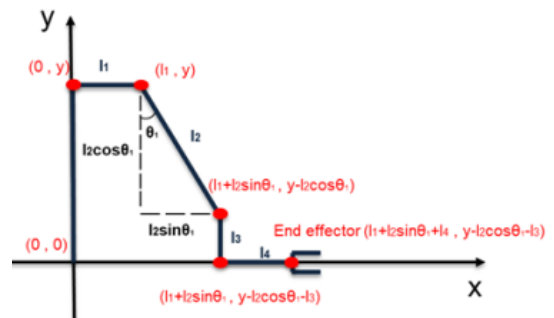


Fig. 6. Forward kinematics of the gripper's leg



Fig. 7. Gripping feasibility test

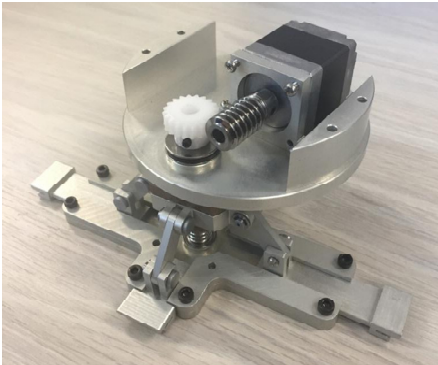
4.4 최종 설계안

Fig. 8은 설계안 검증을 위해 실제 제작된 모습이다. Fig. 8의 (a)는 스크류를 이용하여 1축 운동을 4면 동시 접촉 운동으로 변환하는 메커니즘을 구현한 모습이다. 1축 수직 운동은 앞서 언급한 바와 같이 구동 방식 선정에 제한이 없으나 본 연구에서는 전체 시스템 제어의 편

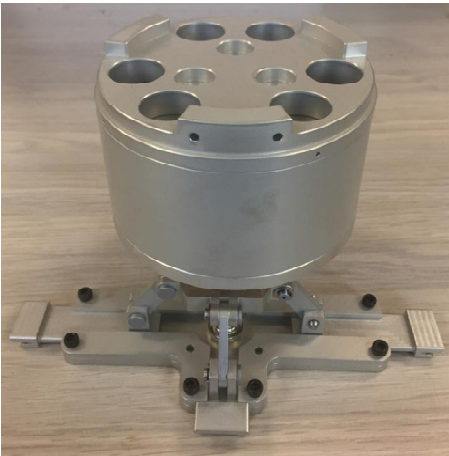
의성을 위해 모터를 이용하였다. Fig. 8의 (b)가 수직 운동을 위한 1축 구동부이다. Fig. 8의 (c)는 매니플레이터 말단부와 결합을 위한 인터페이스 부분을 포함한 것으로 최종 제작된 모습이다.



(a)



(b)



(c)

Fig. 8. Mechanical gripper with actuator
(a)basic mechanism (b)with actuator (c)assembly

5. 결론

본 논문은 IT 제품의 조립 공정 분석을 바탕으로 한 효율적이고 빠른 전용 그리퍼 설계 방법을 담고 있다. 제품 교체 주기가 짧고 비교적 정기적인 IT 제품 중 태블릿 PC를 선정하여 연구를 진행하였다.

- (1) 조립 공정은 제조사의 기밀인 관계로 연구진의 진행 내용을 바탕으로 연구를 수행하였다. 다만 타당성을 갖추고자 진행 절차와 방법을 정의하고 기술하였다. 공정 분석은 태블릿 PC 1개 제품, 19개 부품, 20개 조립 공정으로 결과를 도출하였다. 이를 공통적으로 아우를 수 있는 기능 요구와 설계 파라미터 항목을 도출한 근거와 결과를 정리하였다.
- (2) 조립 공정 1개를 대상으로 그리퍼 설계를 진행한 과정을 예제로 제시하였으며 설계안 도출에 대한 유용성을 정성적으로 보였다고 판단한다.
- (3) 제안한 설계 방법은 다섯 개의 기능을 각각 만족하는 설계 변수를 채워나가는 것이다. 기능 요구와 설계 변수의 도출 과정과 결과에 동의하는 사용자라면 대상 공정과 부품에 대해 다섯 개의 변수를 결정하는 것으로 새로운 그리퍼의 개념 안을 도출할 수 있다.

비슷한 크기와 형태, 종류의 부품을 취급하는 IT 제품 대상의 그리퍼 설계 방법론의 기초 연구로써 기여하였다고 생각한다. 공리적 설계 내용의 세분화를 통해 체계적인 그리퍼 설계 방법론에 관한 연구를 수행할 것이다.

References

- [1] A. Bertetto and M. Ruggiu, "A two degree of freedom gripper actuated by SMA with flexure hinges", *J. of Field Robotics*, vol. 20, no. 11, pp. 649-657, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1002/rob.10114>
- [2] D. Pham and S. Yeo, "Strategies for gripper design and selection in robotic assembly", *Int. J. of Production Research*, vol. 29, no. 2, pp. 303-316, 1991. DOI: <https://doi.org/10.1080/00207549108930072>
- [3] M. Wagner, J. Morehouse, and S. Melkote, "Prediction of Part Orientation Error Tolerance of a Robotic Gripper", *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, vol. 25, no. 2, pp. 449-459, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2008.02.006>
- [4] S. Ragunathan and L. Karunamoorthy, "Modular Reconfigurable Robotic Gripper for Lim Material Handling in Garment Industries", *Int. J. of Robotics and Automation*, vol. 23, no. 6, pp. 213-219, 2008

[5] W. Townsend, "The Barrett Hand Grasper-Programmable Flexible Part Handling and Assembly", *Industrial Robot: an Int. J.*, vol. 27, no. 3, pp. 181-188, 2000.

[6] C. Gosselin, F. Pelletier, and T. Laliberte, "An anthropomorphic underactuated robotic hand with 15 dofs and a single actuator", *Proc. of the 2008 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp. 749-754, May, 2008.
DOI: <https://doi.org/10.1109/ROBOT.2008.4543295>

[7] G. Causey, "Guidelines for the design of robotic gripping systems", *Assembly automation*, vol. 23, no. 1, pp. 18-28, 2003.
DOI: <https://doi.org/10.1108/01445150310460033>

[8] M. R. Cutkosky, "On grasp choice, grasp models, and the design of hands for manufacturing task", *IEEE Transactions on robotics and automation*, vol. 5, no. 3, pp. 269-279, 1989.
DOI: <https://doi.org/10.1109/70.34763>

[9] R. G. Brown and R. C. Brost, "A 3-D modular gripper design tool", *Proc. of the 1997 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp. 2332-2339, 1997.
DOI: <https://doi.org/10.2172/437676>

[10] N. P. Suh, *Asiomatic Design: Advances and Applications*, Oxford University Press, pp. 10-51, 2001.

[11] G. H. Ko, "Analysis for waterjet propulsion system with axiomatic approach", Master Thesis, Yonsei University, pp. 25-37, 2003.

[12] G. S. Shin, J. W. Yi, S. I. Yi, Y. D. Kwon, and G. J. Park, "Calculation of Information Contents in Axiomatic Design", *J. of Korean Society of Precision Engineering*, vol. 22, no. 6, pp. 183-191, 2005.

김 현 국(Hyeon-Guk Kim) [정회원]



- 2012년 8월 : 한양대학교 메카트로닉스공학과 (공학석사)
- 2012년 9월 ~ 현재 : 한양대학교 메카트로닉스공학과 박사과정

<관심분야>
로봇 설계 방법론, 불충분구동 시스템, 로봇 운동 제어

황 순 응(Soon-Woong Hwang) [정회원]



- 2009년 2월 : 한양대학교 메카트로닉스공학과 (공학석사)
- 2016년 2월 : 한양대학교 메카트로닉스공학과 (공학박사)
- 2016년 3월 ~ 6월 : 한국산업기술대학교 외래교수
- 2016년 3월 ~ 현재 : 한양대학교 박사후과정

<관심분야>
로봇의 수학적 모델링, 성능해석, 설계 방법론, 모션 최적화, Biomechanics

안 보 영(Bo-Young An) [정회원]



- 2015년 8월 : 경희대학교 생체의공학과 (공학석사)
- 2015년 9월 ~ 현재: 한양대학교 메카트로닉스공학과 박사과정

<관심분야>
로봇 모션 플래닝, 로봇 제어

허 준 형(Jun-Hyung Heo) [정회원]



- 2017년 3월 ~ 현재: 한양대학교 융합시스템학과 석사과정

<관심분야>
로봇 그리퍼 설계

최 윤 성(Youn-Sung Choi)

[정회원]



- 2017년 8월 : 한양대학교 기계공학과 (공학박사)
- 2017년 9월 ~ 현재 : 한양대학교 박사후과정

<관심분야>

로봇 모션 플래닝, 로봇 제어

신 규 식(Kyo-Sik Shin)

[정회원]



- 1990년 5월 : University of Texas at Austin (공학석사)
- 1995년 8월 : University of Texas at Austin (공학박사)
- 1995년 5월 ~ 2008년 3월 : 삼성 SDS R&D Consultant
- 2008년 3월 ~ 2009년 8월 : 포항 지능로봇연구소 연구부장
- 2009년 9월 ~ 2012년 12월 : 한양대학교 기계정보경영학부 부교수
- 2013년 1월 ~ 2015년 8월 : 한양대학교 로봇공학과 부교수
- 2015년 9월 ~ 현재 : 한양대학교 로봇공학과 교수

<관심분야>

로봇 설계 방법론, 고효율 에너지 로봇설계

한 창 수(Chang-Soo Han)

[정회원]



- 1985년 2월 : Texas at Austin 기계공학과 (공학석사)
- 1989년 2월 : Texas at Austin 기계공학과 (공학박사)
- 1990년 3월 ~ 2012년 12월 : 한양대학교 기계정보경영학부 교수
- 2013년 1월 ~ 현재 : 한양대학교 로봇공학과 교수

<관심분야>

로봇 메커니즘 설계 및 해석, 건설로봇, 서비스로봇, 재활로봇, Wearable robot