

머신비전 기반의 엔진마운트 부품 자동공급시스템

이형근*, 이문규**

An Automated Machine-Vision-based Feeding System for Engine Mount Parts

Hyeong-Geun Lee* and Moon-Kyu Lee**

ABSTRACT

This paper describes a machine-vision-based prototype system for automatically feeding engine-mount parts to a swaging machine which assembles engine mounts. The system developed consists of a robot, a feeding device with two cylinders and two photo sensors, and a machine vision system. The machine vision system recognizes the type of different parts being fed from the feeding device and estimates the angular difference between the inner-hole center of the part and the point predetermined for assembling. The robot then picks up each part and rotates it through the estimated angle such that the parts are well assembled together as specified. An algorithm has been developed to recognize different part types and estimate the angular difference. The test results obtained for a set of real specimens indicate that the algorithm performs well enough to be applied to the prototype system.

Key Words : Machine Vision(머신비전), Part Feeding(부품 공급), Engine Mount(엔진 마운트), Orientation Recognition(방향인식)

1. 서론

머신비전(machine vision)은 영상처리 및 분석을 통하여 획득된 디지털영상의 이진데이터를 이용하여 제조공정 등을 제어하는 산업기술로서 인간의 시각기능을 기계의 인공적 시각기능으로 대체하기 위하여 사용된다. 본 연구는 자동차 부품의 하나인 엔진마운트(engine mount)의 조립생산성 제고를 위하여 이러한 머신비전기술을 응용하여 부품공급장치를 자동화하는 것이다. 엔진마운트는 자동차 1대당 4개가 사용되는데, 엔진의 전후에 각각 2개씩 고정되어 엔진의 진동과 소음이 차체에 전달되지 않도록 하는 역할을 한다. 이러한

엔진마운트는 현재 로타리 스웨이징머신(rotary swaging machine)에서 그림 1에 나타난 바와 같이 2개의 서로 다른 엔진마운트 부품인 부쉬(bush)와 브래킷(bracket)을 조립함으로써 제작된다. 부쉬와 브래킷은 자동차의 종류에 따라 사용되는 유형이 다른데, 그림1에서는 흔히 사용되는 2가지 유형을 보여주고 있다.

자동차 종류가 변경될 때마다 그에 따른 부쉬와 브래킷을 고정시키기 위한 지그(jig) 등과 같은 고정장치를 장착하여야 하는데, 이에 상당한 준비시간이 소요된다. 그 뿐만 아니라 다양한 차종을 취급할 수 있기 위하여 다종의 지그 및 고정구를 제작하고 보관해야 하는 비용으로 인하여 채산성

* 계명대학교 대학원 생산시스템공학과

** 계명대학교 산업공학전공

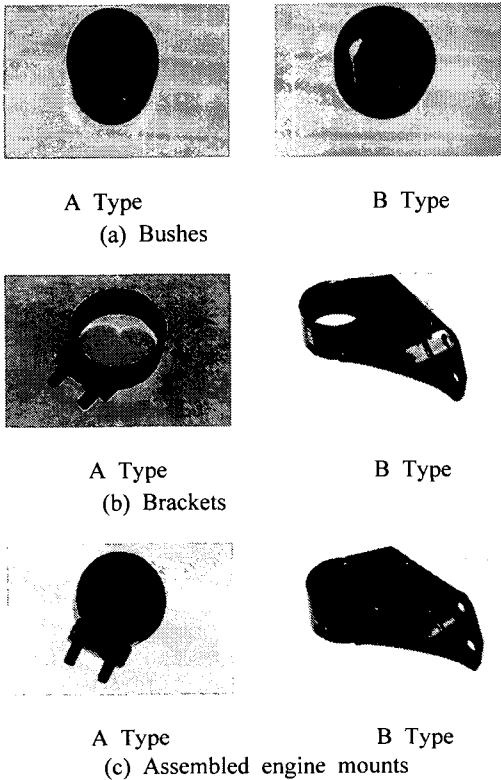


Fig. 1 Types of bush, bracket, and assembled engine mounts considered.

이 크게 떨어지고 있다. 이러한 상황에서 작업시작 전에 부품을 한꺼번에 적재하여 자동으로 하나씩 공급되게 하고 비전기술을 이용하여 부품의 종류와 위치를 인식한 후 로봇으로 하여금 특정위치에 고정시키게 할 수 있는 부품자동공급장치는 조립생산성의 제고에 결정적인 역할을 할 것이다.

본 연구에서는 이에 따라 우선 엔진마운트 부품 증자동화가 비교적 용이한 부위를 대상으로 하는 공급자동화장치의 메카니즘(mechanism)을 설계하고, 프로토타입 시스템(prototype system)을 구축하였다. 이 시스템에서는 부품을 하나씩 일정한 각도판독 위치에 공급되게 하고 비전시스템을 이용하여 부품의 편심위치와 조립각도와와의 편차를 검출한다. 검출된 편차에 따라 로봇으로 하여금 조립시의 각도로 보정하게 하여 로타리 스웨이징 머신에 장착(loading)시키게 된다. 이 시스템을 개발하기 위하여 CCD카메라와 프레임그래버를 통해 획득된 영상자료를 이용하여 대상부품의 편심

위치와 보정각도를 신속하고 정확하게 계산할 수 있는 알고리즘을 개발하였다. 본 연구에서는 또한 컨베이어벨트 등으로 부품이 공급될 때 일정하지 않는 두 부품사이의 간격을 측정할 필요가 없이 부품의 간격을 일정하게 공급하는 기구부를 첨가하여 반복된 공정을 제어기기가 프로그램된 내용대로 단순 반복 작업을 하도록 기구부를 설계하였다.

2. 공급장치 자동화와 관련된 기존 연구

조립자동화에 있어서 가장 중요하고도 어려운 과제는 부품공급과 취급(handling) 자동화의 난이도를 극복하는 것이다. 그러므로 자동조립 생산 시스템에 있어서 대부분의 문제는 부품 공급장치나 그에 관련된 부분에서 발생하고 있다. 이 분야에 있어서 최근에 발표된 연구들의 일부는 다음과 같다.

윤종민³은 부품과 부품 트레이와의 상대적인 운동특성을 규명하고, 각각의 부품 정렬 효율에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 3차원진동을 이용한 부품의 이송 및 정렬에 관한 연구를 하였다. 이장용 & 전경진⁵은 공업용 침송 재봉기의 튼니와 바늘대 이송 메카니즘의 해석 및 최적설계에 관하여 연구하였다. Rao et al.¹⁰은 조립라인 등에서 산업용 부품의 신속한 급송을 위해 컨베이어벨트 위에 놓여진 부품에 대해 비전시스템을 이용하여 각각의 각도와 위치를 계산하고 요구되는 각도로 운반하는 유연한 부품공급 시스템을 제안하였다. Lee & Bleni⁸는 저비용으로 고속 고정밀도를 가진 유연한 통합 비전시스템의 원형 개발을 위해서 산업용 부품을 복합적으로 취급할 수 있고 짧은 시간 동안에 부품의 각도와 위치를 계산하여 이송 공급시키는 효과적인 머신비전시스템의 설계를 위한 개념을 제시하였다. Chang & Lo⁷는 신경망과 Fourier descriptor를 사용하여 바코드의 특징을 보고 부품의 자세를 판독하는 자재취급 시스템을 발표하였다.

이와 같이 다양한 공급장치들에 대한 자동화 방안들과 기초적인 개념들이 개발되어 왔으나 본 연구의 대상이 되는 로타리 스웨이징 머신에 대한 부품공급장치 자동화에 대한 연구는 아직까지 발표된 것이 없어 보인다.

3. 엔진마운트 조립장치

3.1 조립 대상부품

조립대상부품은 앞의 그림 1에 도시된 부쉬와 브래킷이다. 부쉬가 압입되어지는 브래킷의 외부 사양은 유형에 따라 크게 다르나 부쉬는 단순한 원통형의 형태로 되어 있다. 본 연구에서 고려한 부쉬의 유형은 2가지 유형인데 그림 2에 나타나 있다. 이러한 2가지 유형은 표 1에 주어진 것처럼 외경의 크기와 외경을 기준으로 한 중심점과의 편심거리가 서로 다르다. 또한 조립시 내부구멍의 위치가 특정한 곳에 고정되도록 해야 하는데, 그 위치는 Y축을 기준으로 한 표준경사각으로 주어진다. 그림 2의 부쉬평면도에는 조립기준점 A를 기준으로 한 표준경사각이 도시되어 있다.

Table 1 Measurement items for the bushes.

Type	Outside Dia.(mm)	X-axis Offset(mm)	Y-axis Offset(mm)	Standard Offset Angle
A	79.0±0.2	-1.0±1.5	3.8±1.5	14.74°
B	75.7±0.2	5.5±1.5	0.0±1.5	-90°

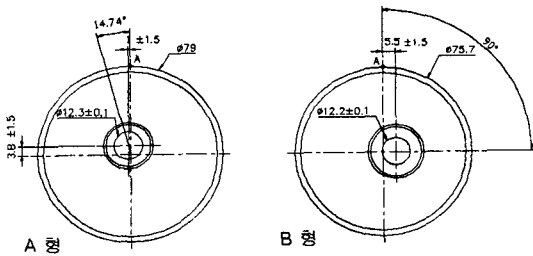


Fig. 2 Plan view of the two bush types (A: fiducial point for assembling)

3.2 엔진마운트 조립장치

엔진마운트는 조립용설비인 로타리 스웨이징머신에서 부쉬와 브래킷이 서로 조립되어 제작된다. 로타리 스웨이징머신은 그림 3에 나와 있는 바와 같이 스웨이징 다이(swaging die) 및 가압실린더(punching cylinder), 회전대(indexing turn table), 브래킷공급부, 부쉬공급부로 나뉘어진다. 전체적인 조립과정은 부쉬의 단면을 축소시키는 스웨이징

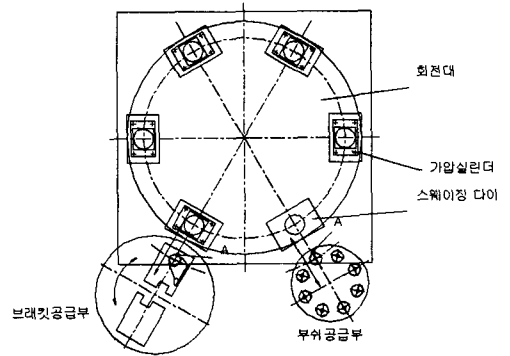


Fig. 3 Plan view of the rotary swaging machine (A: fiducial point for assembly).

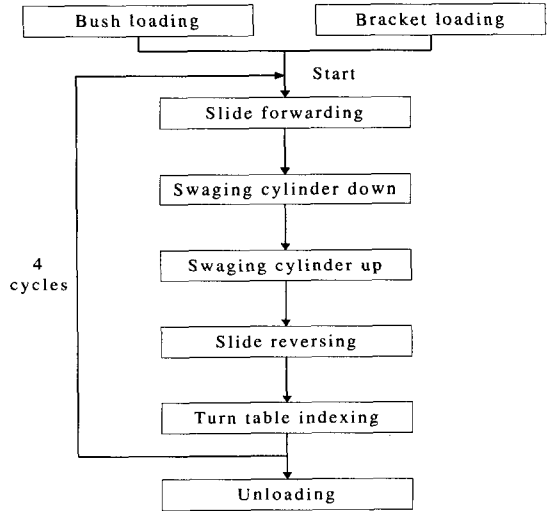


Fig. 4 Assembly procedure of the engine mount at the rotary swaging machine.

(swaging)공정을 4회 반복하여 브래킷 내부에 자동으로 압입하는 것이다. 이러한 조립과정이 그림 4에 나타나 있다.

기존의 엔진마운트 조립장치에서는 자동차의 종류가 변경되면 부쉬의 모양도 달라지기 때문에 매 차종마다 부쉬 조립시의 각도를 맞추어 주는 지그가 장착된 회전대를 교환해 주어야 한다. 이와 같이 비경제적인 문제를 근원적으로 해결하기 위해 본 연구에서는 머신비전을 이용한 각도보정 방법을 개발하고 이를 기반으로 한 부쉬 자동공급 장치의 메카니즘을 제안한다. 엔진마운트의 또 다

른 부품인 브래킷에 대한 공급장치 자동화는 본 연구에서 다루지 않는데, 그 이유는 부쉬공급장치의 자동화가 스웨이징 머신의 완전자동화에 가장 중요한 관건인 것으로 판단되었기 때문이다.

4. 부품공급자동장치 하드웨어

4.1 전체시스템의 구성

4.1.1 개요

엔진마운트 공급장치의 전체시스템은 그림 5에 나타난 바와 같이 대상부품을 자동적으로 분리하여 공급하는 부품공급기구인 오토로더(auto loader), 근접센서, PLC, 조명장치, CCD카메라와 프레임그래버, 다관절 로봇으로 구축되어 있다. 구축된 엔진마운트 공급장치는 기존의 부쉬 수동공급장치를 완전 자동화한 것이다. 표 2에는 시스템에서 사용된 각종 기기 및 부품들에 대한 사양이 주어져 있다.

4.1.2 오토로더

그림 6에 도시된 오토로더는 부쉬가 저장용량만큼 적재된 워크매거진(work magazine)에서 한 개씩 조립장치에 공급하는 단기능 공급방식을 채택하였다. 그러나 확대 적용할 경우에는 머신비전시스템에서 판정된 각도에 의거하여 로봇으로 하여금 다종의 부쉬를 서로 다른 조립장치에 공급하는 다기능 공급도 가능하다. 실험장치에서는 제한된 수량의 부품과 동작시간의 단축을 위하여 최소한의 급송거리를 검토하였으며 중력하에서 경사진 경사로를 따라서 미끄러지도록 하였고 스톱퍼(stopper)를 두어 위치가 결정되도록 하였다. 스톱퍼에는 대상부품이 충돌로 인하여 원하지 않는 자세로 놓여지는 것을 방지하기 위해 부드러운 완충재를 부착하였다. 분리기구는 2개의 게이트를 사용하지 않고 대상부품이 적절히 분리되도록 단순한 형태의 기구를 고안하였다. 한편 부품의 정렬을 위해 경사진 통로면의 측면에 가이드를 부착하였다.

4.1.3 부품공급장치의 작동과정

본 연구에서는 경사진 통로로 투입되는 부쉬의 내부편 구멍의 편심위치와 수평축(X축)에 대한

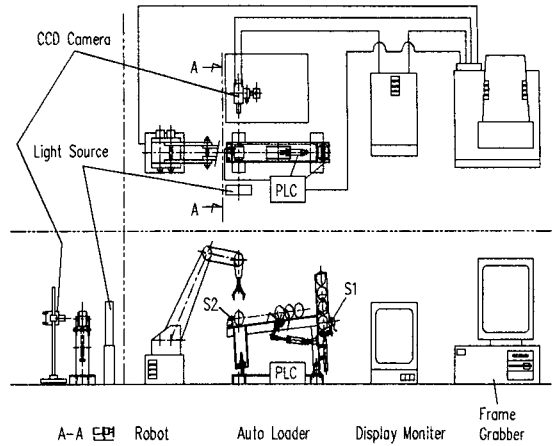


Fig. 5 Configuration of the automated engine mount feeding system.

Table 2 Specification of the equipments used in the feeding system.

Item	Specification	Usage
Photo sensor	BYD50-DDT-T (AUTONICS)	Part detection
Proximity sensor	PR12-2DN (AUTONICS)	Part detection
Air cylinder 1	CXSL-20-90(SMC)	Part feeding
Air cylinder 2	CDM2C-25-55D-H6A (SMC)	Part segregation
Solenoid valve	4KB4-29-00-MIS-AC200V(CKD)	Actuation of air cylinder
PLC	MASTER-K10(금성)	Control of cylinders and sensors
CCD camera	Teli CS8320B	Image acquisition
Frame grabber	CI-512	Image processing
Light system	High frequency fluorescent lamp	Back lighting
Articulated robot	LG TOP-1	Part handling

경사각도를 검출하여 조립시 적절한 위치에 고정시키기 위한 각도보정방법을 고안하였다. 그림7에는 이러한 부품공급장치의 개략적인 정보흐름이 도시되어 있다.

오토로더에 의해 하나씩 분리되어 공급된 부쉬

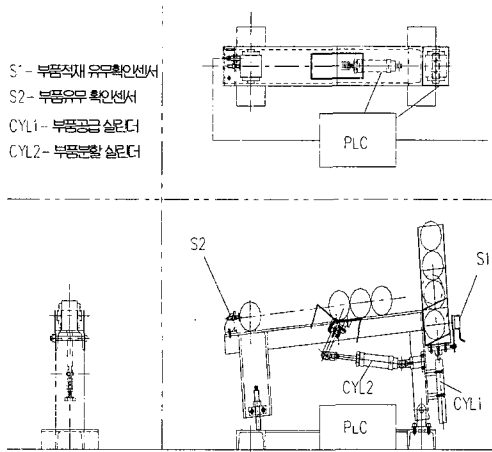


Fig. 6 Auto loader - Bush feeding system.

설정하고 외부원의 중심에서 내부편구멍의 중심과의 편심거리 및 기준지점과의 각도를 측정하여 조립을 위한 각도보정을 수행한다. 보정각도가 계산되면 제어프로그램은 로봇에 신호를 전달하여 부품을 집어내고 보정해야 할 각도만큼 회전시킨 후에 정해진 위치인 조립설비의 투입위치에 내려 놓도록 한다. 로봇이 부품을 집어내면 근접센서 S2의 부품없음 신호를 받아 PLC는 오토로더의 부품분할 실린더2를 작동시켜 하나의 부품을 투입시키게 한다. 이때 부품공급 실린더1은 인터록(interlock)을 걸어두어 동시에 작동하지 않게 한다. 부품분할 실린더2가 부품을 분할하여 카메라 촬상 위치에 보내고 난 다음에 부품공급 실린더1을 상승시킨다.

5. 보정각도 추정 알고리즘

각도보정 시스템에서는 앞 장에서 기술한 바와 같이 엔진마운트 부품인 부쉬가 카메라가 설치된 위치로 공급이 되면 우선 부품의 유형을 판단한 후 현재의 부품방향을 인식하여 보정해야 할 회전각도를 계산하게 된다. 부품이 카메라의 영상 획득 영역으로 항상 일정하게 들어오기는 하지만 그 회전방향은 일정하지 않다. 따라서 로봇이 부품을 집어서 조립위치로 이동할 때 적당한 양만큼 회전시켜 줄 수 있어야 한다. 이를 위하여 우선 정밀측정을 위한 카메라 교정(camera calibration)이 선행되어야 하고 이를 바탕으로 한, 2가지 부품유형을 구별하기 위한 인식 알고리즘이 필요하다. 다음으로는 인식된 부품이 가지고 있는 고유 기하학적 특성을 이용하여 조립시 위치해야 할 방향으로 적합하게 회전할 수 있도록 기준위치와의 상대적인 위상차를 구하기 위한 보정각도 추정 알고리즘이 요구된다. 따라서, 각도보정 시스템은 그림 8에 주어진 바와 같이 카메라 교정, 부쉬 유형인식, 각도보정량 추정 순으로 수행된다.

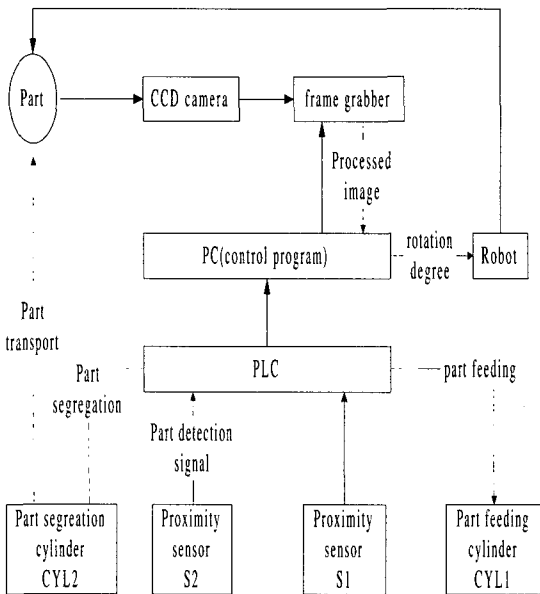


Fig. 7 Information flow for the bush feeding system.

가 CCD카메라 촬상위치에 도달하면 근접센서 S2에 의해 이것이 포착되어지고 그에 따라 도착 신호를 부제어기인 PLC를 통하여 주제어기인 PC의 제어 프로그램으로 보낸다. 제어프로그램은 이 신호를 받아 프레임그래버를 통해서 입력되는 부품 영상에 대하여 수평기준선과 수직기준선을

5.1 카메라 교정

정량적인 제품의 특성인 치수나 면적, 직경 등의 측정을 통한 양·불량검사를 위한 머신비전 시스템에서는 반드시 영상좌표계와 실세계 좌표계와의 관계를 규명하는 카메라 교정 작업이 선행되어야 한다. 본 논문에서는 이러한 카메라 교정을

위하여 참고문헌²에 제시된 알고리즘을 사용하였다. 이 방법은 카메라와 측정 대상물이 서로 수직인 경우(즉, 악조건하)에 매우 유용한 방법이다. 이 결과를 이용하여 외부원의 중심좌표(XOC,YOC), 내부원의 중심좌표(XIC,YIC), 외부원 상에 있는 기준점 등 측정지점들에 대한 실세계 좌표를 구하였다(그림 9, 10 참조).

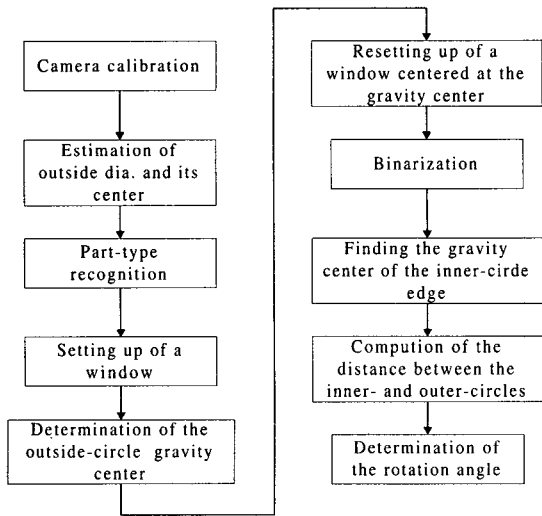


Fig. 8 Information flow for the bush feeding system.

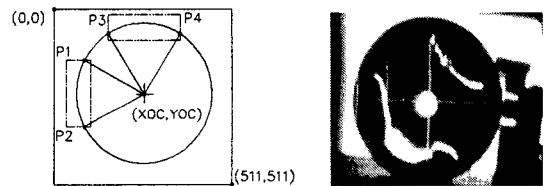
5.2 부품유형 인식 알고리즘

미리 알고 있는 부쉬 외부원의 직경을 영상에서 추정된 외부직경값과 비교하므로써 부쉬의 유형을 구분한다. 대상부품의 영상을 획득하기 위한 위치가 항상 동일하도록 스톱퍼를 설치하고 측면에 CCD카메라를 설치하였으나 부품이 활상위치에 회전하면서 들어오기 때문에 정지된 상태는 부품마다 가변적이다(그림 6참조). 이와 같이 가변적인 정지상태를 인식할 수 있도록 하기 위하여 부품유형인식 알고리즘이 유연성을 갖도록 하였다.

0~255까지의 명암도(gray level)를 갖는 흑백 입력영상으로부터 물체와 배경을 분리한 영상을 구하고 분리된 물체로부터 영상의 외경을 구하기 위하여 그림 9에서 보는 바와 같이 먼저 영상의 좌측상단의 기준점(0,0)에서 일정거리만큼 떨어진 위치에 수직 사각윈도우(P1-P2)과 수평 사각윈도우(P3-P4)를 설정한다. 그런 다음 수직 사각윈도우

와 대상부품의 영상과 만나는 화소들의 평균 Y좌표 값으로 수평선을 설정한다. 여기서 대상부품으로 인식하기 위한 화소의 명암도 임계치 값은 경험적으로 설정한 것을 사용하였는데 대략 40이하이다. 마찬가지로, 수평 사각윈도우와 대상부품의 영상과 만나는 화소들의 평균 X좌표 값으로 수직선을 설정한다. 그러면 두직선의 교점이 대상부품의 외부원의 중심이 된다.

부쉬 영상의 윤곽은 잡영(noise)과 조명에 따라 변화할 수 있기 때문에 이렇게 구한 외부원의 중심으로부터 P1과 P2, P3와 P4사이의 원주상에 있는 각 점까지의 거리를 구하여 평균한 값을 부쉬의 반경으로 추정한다. 여기서, 외부원의 중심과 원주상에 있는 각점들의 좌표들은 모두 앞 절의 카메라 교정을 이용하여 얻은 카메라의 내부인자인 초점거리, 렌즈 왜곡인자, 축척인자, 프레임그래버의 중심좌표값과 외부인자인 카메라의 위치벡터, 회전각도벡터들의 값을 이용하여 실세계 좌표



(a) Partial sections selected for diameter estimation (b) Real image diameter estimation

Fig. 9 Estimation of the outer-circle diameter for bush-type recognition.

로 변환한 것을 사용한다. 따라서, 부쉬의 외경은 이렇게 구한 반경의 2배가 되는데. 이것을 가지고 미리 알고 있는 부쉬 유형들의 표준 외경값과 비교하여 유형을 인식하게 된다. 본 연구에서는 표3.1에 주어진 2종의 유형만을 고려하고 있는데 각 유형의 표준 외경값이 뚜렷한 차이가 있기 때문에 쉽게 구별된다. 보다 정밀하게 외경과 그 중심점을 추정하기 위해서는 원주상에 있는 점들의 좌표를 가지고 오차를 최소화하는 추정치를 구하는 기법¹⁰ 등을 활용할 수 있는 것이다.

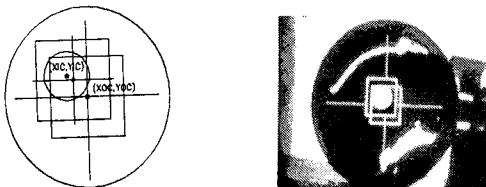
5.3 보정각도 추정알고리즘

최근 들어 자동화의 유연성과 정확도를 높이기 위하여 머신비전 기술이 다양한 분야에서 활용되

고 있다. 특히, 대상 부품을 자동으로 장착하거나 조정하기 위하여 현재 부품의 방향과 위치를 인식해야 할 경우가 많다. 이를 위해서는 대상 부품의 중심과 방향을 정밀하게 측정해야 한다. 그간에 이러한 측정작업에 활용될 수 있는 다양한 알고리즘들이 개발되어 왔다. 예로서, SMD(surface mounting device)의 자동검사 및 조립을 위한 방향과 위치 탐지를 위하여 개발된 알고리즘만도 상당하다. 즉, 십자 템플레이트(cross template¹, 수리형태학(morphology)의 수축과 라돈변환², 허프(Hough) 변환⁶, 모멘트⁹ 등을 이용한 방법들을 들 수 있다. 여기서는 위에서 언급된 방법들과 같이 수리적으로 복잡한 기법을 피하여 대상 물체의 특성을 활용하고 기본적인 영상처리만을 사용하는 간단한 알고리즘을 개발하였다.

5.3.1 내부원의 중심추정

엔진마운트에는 엔진을 고정하는 데 사용되는 내부원 구멍이 있는데, 이 구멍은 외부원의 중심으로부터 일정거리 만큼 편심되어 있다. 이 내부원의 중심을 찾게되면 기준이 되는 위치와의 위상차를 계산할 수 있다. 그림 10-a에 나타나 있는 것처럼 외부원의 중심에서 일정크기의 사각원도우를 설정한다. 이 사각원도우에 포착된 내부원의 영상은 일부분이기는 하나 관통되어 있는 형상이기 때문에 대체로 백색과 가깝게 나타나므로 다른 부위와 쉽게 구별된다. 이 내부원의 중심을 추정한 다음 내부원의 영상이 전체적으로 나타날 수 있도록, 추정된 내부원의 중심에서 일정한 크기의 사각원도우를 재설정한다(그림 10-b). 내부원 부분의 영상이 백색으로 나타나고 그외의 부분은 흑색으로 나타나도록 이진처리(binanzation)를 한다.



(a) Windows for finding the inner-circle center (b) Real image

Fig. 10 Determination of the inner-circle center.

이렇게 이진처리된 영상에서 백색부위의 중심위치

를 계산하여 내부원의 중심으로 추정한다. 결과적으로 추정된 내부원의 중심과 외부원의 중심사이의 편심거리 BD는

$$BD = \sqrt{(XIC - XOC)^2 + (YIC - YOC)^2}$$

이 된다.

5.3.2 보정각도 산출

그림 11에는 내부원의 현재 위치가 실선으로 나타나 있고 조립을 위한 기준 위치는 점선으로 나타나 있는데 보정각도는 외부원의 중심점을 기준으로 한 이들간의 각도차이를 나타낸다. 현재 위치에 주어진 부품을 보정각도 만큼 회전시키게 되면 조립가능한 위치로 이동된다. 이러한 보정각도는 다음과 같이 계산된다. 우선 조립기준점으로부터 내부원 중심까지의 경사각도 θ_3 는

$$\theta_3 = \cos^{-1}(|YIC - YOC|/BD)$$

단, $\theta_3 = \theta_3$, if $XIC \leq XOC$ and $YIC > YOC$;

$$\pi - \theta_3, \text{ if } XIC \leq XOC \text{ and } YIC \leq YOC;$$

$$\pi + \theta_3, \text{ if } XIC \geq XOC \text{ and } YIC \leq YOC;$$

$$2\pi - \theta_3, \text{ otherwise}$$

이고 보정각도 θ_5 는 A형부쉬일 때는

$$\theta_5 = \theta_4 - \theta_3 \text{ (CCW)}, \text{ if } 0 < \theta_3 \leq \theta_4$$

$$\theta_3 - \theta_4 \text{ (CW)}, \text{ if } \theta_4 < \theta_3 \leq \pi + \theta_4$$

$$2\pi - (\theta_3 - \theta_4) \text{ (CCW)}, \text{ if } \pi + \theta_4 < \theta_3 \leq 3\pi/2$$

$$(2\pi - \theta_3) + \theta_4 \text{ (CCW)}, \text{ otherwise}$$

이고 B형부쉬일 때는

$$\theta_5 = \theta_3 + \theta_4 \text{ (CW)}, \text{ if } \theta_3 > 0 \text{ and } \theta_3 \leq \pi/2$$

$$(\pi - \theta_4) + (\pi - \theta_3) \text{ (CCW)}, \text{ if } \pi - \theta_4 < \theta_3 \leq \pi$$

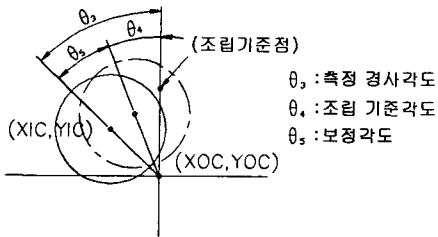
$$(\pi - \theta_4) - (\theta_3 - \pi) \text{ (CCW)}, \text{ if } \pi < \theta_3 \leq 3\pi/2$$

$$(\pi - \theta_4) - (2\pi - \theta_3) \text{ (CW)}, \text{ otherwise}$$

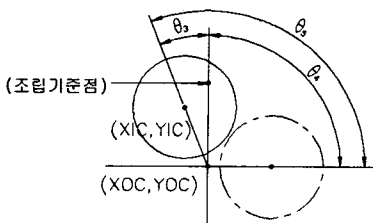
가 된다.

5.3.3 각도보정 알고리즘의 성능평가

본 연구에서는 각도보정 알고리즘의 성능을 평가하기 위하여 생산현장에서 채집된 2가지 유형의 부쉬 부품을 대상으로 실험을 수행하였다. 부쉬 부품을 매거진에 적치한 후 부품분할 위치로 공급되게 한 후 한 개씩 분할시켜서 카메라의 촬상위치로 이동시킨 후 전술한 알고리즘에 따라 부품 영상분석을 하여 보정각도를 추정하였다. 부쉬



(a) A-type bush



(b) B-type bush

Fig. 11 Fiducial points for assembly and rotation angles.

의 내부핀 구멍의 위치는 분할 위치로부터 중력하에 굴러 내려가므로 무작위로 결정된다.

부품의 외경은 각각 20번씩 예비실험하여 최대와 최소범위를 정하였다. 다음 부품관별능력을 평가하기 위하여 두 개의 부품을 혼합하여 총 25회의 추가실험을 하였다. 이 결과 부품 관정은 표 3에 주어진 바와 같이 100% 정확하였다.

알고리즘에 의해 추정된 보정각도의 정확도를 평가하기 위해서는 실측치를 측정해야 한다. 그러나 대상부품의 각도편차를 측정할 표준방법이 없기 때문에 본 연구에서는 가능한 목적을 정확하게 하도록 하기 위해서 다음과 같이 측정하였다. 먼저 부쉬의 외경D를 측정한다. 다음에 그림 12에 주어진 바와 같이 부쉬의 내부핀 구멍이 있는 부분에 가로 방향으로 0.5mm의 정밀도를 가진 스테인리스 재질의 눈금자를 대어 거리 A, B, C, 높이 H1, H2를 측정한다.

삼각형 ABC의 세 각의 크기 A, B, C와 세 변의 길이 a, b, c 및 외접원의 반지름R 사이의 관계는

$$\frac{a}{\sin A} = \frac{b}{\sin B} = \frac{c}{\sin C} = 2R$$

이다. 이 식을 이용하여 원주상의 세 점을 측정

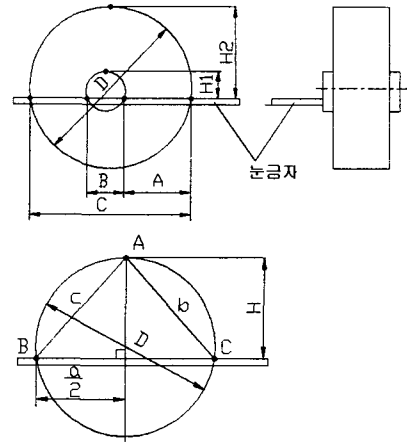


Fig. 12 Reference data for manual measurement.

한 부쉬의 외부원과 내부핀 원의 직경과 중심좌표를 구하고 두 원의 중심을 연결한 직선과 수직축 Y와의 각도를 구한다. 이것은 CCD카메라 촬상면의 반대편에서 측정한 값이므로 CCD카메라에서 측정한 값과 180도의 각도차이가 생긴다.

총 25개의 표본에 대하여 이와 같이 구한 실측치와 알고리즘에 의하여 구한 추정치를 비교하였는데 표3에서 보듯이 절대오차의 평균이 0.008 라디안이고 범위는 0.0001~0.016라디안으로서 각도보정에 주어진 허용오차인 ± 0.0175 라디안($\pm 1^\circ$)을 벗어나지 않는 것으로 나타났다. 따라서, 본 연구에서 개발된 알고리즘의 성능이 만족할 만한 것으로 평가되므로 부품자동공급장치에 성공적으로 활용될 수 있을 것으로 보인다.

6. 결론

본 연구에서는 엔진마운트를 조립하는 로타리 스웨이징머신의 생산성 제고를 위하여 엔진마운트 부품의 하나인 부쉬 자동공급장치를 개발하였다. 머신비전시스템을 활용하여 적절한 각도로 공급되기 위한 보정각도를 산출할 수 있는 알고리즘을 개발하였고 이를 이용하여 로봇이 부쉬를 조립위치로 장착할 수 있게 하였다. 시스템의 유연성 확보를 위하여 다종의 부쉬를 다룰 수 있는 부품 유형인식 알고리즘을 제시하였다.

본 연구의 성과 중 하나는 엔진마운트의 조립