

최근 자동차 제조라인에서의 공정자동화 문제

Process Automation Problems in Recent Automotive Production Line

박 종 오
J. O. Park



박 종 오
· 1955년 9월생
· 한국과학기술연구원 기전연구부 책임연구원.
· 지능형 산업용 로봇, 원격조종로봇, 공장자동화

1. 머릿말

이 란에서 필자는 로봇을 이용한 공정자동화 관점에서 우리나라 자동차 제조산업에서의 최근 관심동향 및 그와 관련된 필자의 연구내용을 소개코자 한다.

자동차 제조분야는 로봇 및 관련자동화가 요구되는 가장 대표되는 산업이다. 전기/전자 제품 조립분야는 80년대 후반부터 이미 공정자동화 단계를 지나 라인 관리합리화 단계에 들어섰다. 그러나 자동차분야에서는 현재 조립공정 자동화단계로서 다양한 노력들이 계속 필요하다. 특히 자동차 제조라인은 로봇을 이용한 공정자동화에서 전형적인 3차원 공간 위치/방향 오차 인식 및 보정기능이 요구되는 고기능 센서지원 지능형 로봇이 필요한 특성으로 인해 연구자의 입장에서는 기

술개발과 산업화라는 두가지 관점이 적용될 수 있는 매력적인 분야라고 생각한다. 그러나 우리나라는 현재 세계에서 그 성장속도가 가장 클 정도로 비약적인 발전을 거듭하고 있으므로 이에 따라 요구되는 로봇시스템 기술도 큰 발전을 하고 있다. 어느정도 기술적인 난이도가 있는 공정자동화도 이제는 대부분 회사 자체연구 개발진에 의해 진행되고 있으므로 이제는 보다 기술적으로 난이도가 높아 집중적인 연구가 요구되는 공정자동화에 필자는 초점을 맞추고 있다.

자동차 제조라인은 점용접, 프레스, 도장, 조립등의 공정으로 대별될 수 있는데 여기서는 필자가 최근 몇년사이에 나름대로 자동차산업의 관심공정과 또 이에 따른 노력을 일반적인 관점에서 기술코자 한다.

2. 가공자동화

가공분야에서의 로봇이용 공정자동화는 3D 공정 합리화라는 관점에서 그 당위성은 높다. 특히 로봇자동화에서 가장 난이도가 높다고 보는 가공자동화가 우리나라에서 큰 관

심을 가지고 있는 이유를 필자는 우선 관련 로봇자동화기술의 성숙, 우리나라 산업수준 향상 그리고 로봇자동화에 대한 긍정적인 관심으로 생각하고 있다.

이 공정은 크게 차체 가공과 자동차 부품 가공으로 나눌수 있다. 차체 가공의 경우 Roof Bead 절삭, 연삭, 연마 등을 그 예로 들 수 있고 자동차 부품 가공의 경우 엔진블럭이나 T/M 케이스를 예로 들 수 있다. 가공자동화는 일반적으로 해당되는 표준이 없으며 각 공정에 맞는 최적 특이해가 있을 따름이며 모든 품질은 결국 가공품질에 귀결되기 때문에 로봇 공정자동화 기술과 함께 가공품질 최적화도 무시해서는 안된다. 특히 고객 눈에 보이는 차체 가공품질은 기술적으로도 신뢰성이 요구되는 분야로서 다양한 고려가 요구된다.

각 자동차 제조라인마다 가공공정이 다르기 때문에 동일한 방식으로 접근하기는 어렵다. 예를 들어 브레이징 공정의 자동화 유무, 절삭 공정의 유무, 가공부위의 형상 특성, 그리고 라인 싸이클 타임에 따라 그 해가 달라질 수 밖에 없겠다. 먼저 가공 로봇의 목표기능을 어디까지 둘 것인가가 첫번째 고려사항이 되겠다. 일본에서 하고 있는 것처럼 기존 로봇프로그램을 들은 차체마다 기준점들을 측정하여 3D Shift하는 방식이나 또는 보다 범용성을 살려 다양한 차체 및 동일모델 차체의 상호차이까지 감안할 것인가를 결정해야 한다. 그 다음 고려사항으로 오차를 어떻게 가공공정에 연계시킬 것인가이다. 우선 가장 중요한 차체 가공공정의 특징으로서 단순 용접비드 제거가 목적이 아닌 주변차체 형상과 매끈한 곡면을 유지해야 한다는 점이다. 이는 기준이 비드가 아닌 차체곡면이 된다는 점이다. 그러므로 비드 형상을 측정하여 가공하는 일반 용접비드 지능 가공로봇과

는 접근방향이 차이가 있다. 또 그러므로 가공자동화이므로 가공력을 측정하여 가공을 지능형으로 하고자 하는 일반적인 관심사항도 위의 관점에서 수정이 필요하다. 결과적으로 브레이징 비드는 절삭또는 황삭공정에서는 비드를 인식하여 비드만을 제거하고 후속공정인 연삭공정에서는 전체적인 차체곡면을 고려한 가공공정으로 방향을 잡을 수 있다. 즉 지능로봇 관점에서는 절삭/황삭 공정의 경우 비드만을 역각 센서 또는 비전센서로 인식할 수 있고 연삭(중삭) 공정에서는 주변 차체곡면을 CAD 데이터를 이용하든지 또는 비전센서로 인식하는 방법이 있다. 그러나 당연히 CAD 데이터 이용은 이론적이며 실제 차체 가공부위는 프레스된 각 차체의 접합부위이기 때문에 부적합하다.

또 한가지 특기사항으로서 차체부위를 전체적으로 인식하여 로봇경로를 생성하는 방법과 기존 로봇프로그램을 기준점 측정에 의한 3D Shift 하는 방법이 서로 전혀 다른 해결방법임에는 틀림이 없으나 1회 로봇 프로그램을 하는 경우에도 결과적으로는 전체를 인식하여 로봇프로그램을 해주어야 한다는 점이다. 다시 설명하자면 일반 로봇 프로그램을 할 경우에도 수동으로 할 경우 매우 어렵기 때문에 차체 형상을 전체적으로 인식한 후 최적 로봇프로그램을 해야 그 품질을 보장할 수 있다. 왜냐하면 가공은 단순히 로봇이 차체에 접근하는 것 외에 일정한 가압력과 접근각도가 요구되기 때문이다. 이는 차체가공만이 아닌 일반적인 가공로봇 전체에 해당되는 사항이다. 이에 대한 해로서 비전에 의한 차체형상인식과 이에 따른 최적 로봇경로 생성이 있겠다. 이 기술은 나중에 다시 언급되겠지만 중요하며 또 재미있는 연구 주제로 생각된다. 즉 함수적으로 의미가 없는 차체표면의 거리정보를 알려주는 비전데

이타를 표면모델링하는 기법이 필요하며 이 기술은 확장될 경우 3차원 표면재구성이라는 기술과 연계되고 있다. 다음 그림 1은 비전 데이터를 표면 모델링하여 재구성한 형상을 보여주고 있다.

이러한 접근에서 주의할 점은 3차원 표면 재구성은 아직까지 완전한 해법이 없다는 점이며 게다가 이러한 차체가공로봇은 사무실이 아닌 현장의 라인 싸이클타임을 고려해야 하는 온라인이라는 점이다. 결국 대상라인에 적합하며 해결가능한 기법을 사용하여 빠른 시간안에 처리되어야 한다는 점이다.

가공최적화도 매우 중요한 주제로서 최적 공구 선정, 공정제어 기타 주변기능의 고려가 필요하다. 작업자가 가공할 경우에는 인체특성을 고려한 공구가 필요하며 로봇이 사용할 경우에는 로봇특성에 적합한 방식이 필요하다. Robotomic Tool이라고도 불리는데 로봇특성에 맞는 공구는 우선 다양한 외적환경에서도 일정한 출력을 내줄 수 있어야 한다는 점이 가장 중요하다. 고주파 전동공구를 예로 들수 있다.

필자는 이러한 가공로봇 기술을 보다 확장하여 범용 3차원 형상인식과 지능형 로봇 가공제어 기술이 복합된 자동 가공로봇 시스템을 개발 중에 있다. 로봇이 주물 형상을 인식

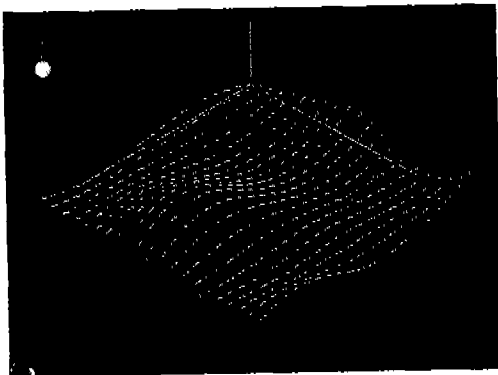
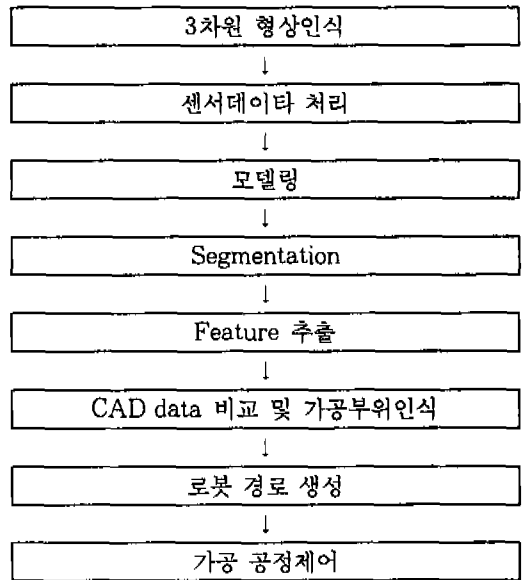


그림 1 비전 데이터에 의한 차체 표면 재구성

하여 스스로 다양한 가공 부위를 유연성 있게 자동 가공할 수 있는 H/W, S/W 개발 및 통합 시스템 기술 개발이 주된내용으로 이제까지의 수작업 프로그램에 의한 가공로봇의 적용 제약조건을 뛰어넘을 수 있으며 엔진블럭등의 복잡하고 어려운 가공작업에 적용가능하다. 필요한주요 기술들은 다음과 같다.



- * 3차원 표면 측정
- * 측정 데이터의 처리
- * 3차원 표면 모델링
- * CAD 데이터와 비교 및 가공부위 인식
- * 로봇 가공제어

이에 대한 공정흐름은 다음과 같다.

2.1 3차원 형상측정 :

그림 2는 복잡한 주물의 한 예로서 주철 엔진블럭을 보여주고 있다. 지능로봇은 지능을 갖추기 위한 대상물 형상인식과 적합한 처리 S/W가 필요하며 이는 추가적인 시간소요를 의미한다. 결국 지능성은 유연성을

의미하며 생산성을 희생할 수 밖에 없다. 그러므로 지능형 가공로봇의 경우 가공시간이 가급적 긴 공정에 적합하며 알루미늄 디버링



그림 2 주철 엔진블럭 가공의 수작업 광경

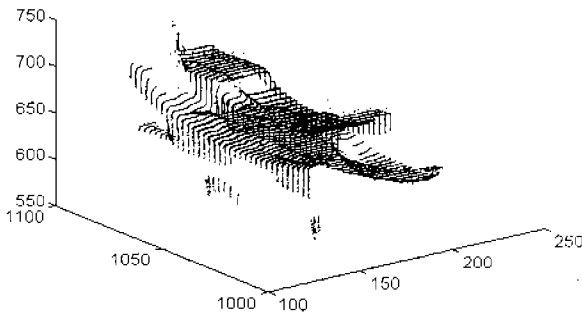


그림 3 센싱 데이터

같은 고속작업에서는 실제 현장가공시간에 처리할 경우에는 그 부담이 크다. 주철주물의 경우 가공속도자체가 느리기 때문에 동시에 지능성을 고려할 수 있다.

그림 3은 레이저 라인 비전으로 대상물의 표면을 스캐닝 하여 추출한 표면 정보이다. 엔진 블럭 중에서도 복잡한 형상의 버가 존재하는 Crank Shaft 부분을 83mm×85mm×130mm(x×y×z)공간을 2.5mm 간격으로 35번 센싱한 것이다.

그림에서 보듯이 센싱 데이터에는 정보가 부족한 부분도 존재하고, 여러 가지 Noise 성분이 포함 될 수도 있다. 부족한 정보를 보충하고 Noise 성분을 제거하는 등의 전처리나 정확한 모델링 데이터 생성을 위한 여러가지 화상 처리 알고리즘들이 다음 단계에서 적용된다. 각 처리 알고리즘들은 각 스캔 라인마다 차례로 적용되고 처리 결과들은 각 스캔 라인단위로 메모리에 저장된 후 모든 처리가 완료된 후 다시 합쳐 진다.

2.2 측정 데이터의 처리

측정 데이터 처리 단계에서는 Bottom 영역 제거, Line Connection, Noise Elimination, Image Coding, Segmentation, Feature Extraction등의 화상 처리 알고리즘들

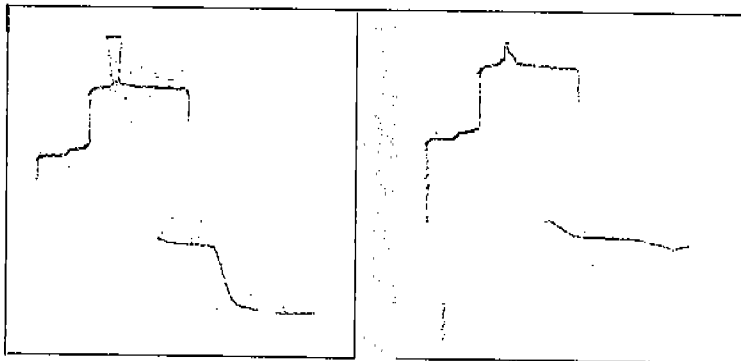


그림 4 Raw 데이터

이 적용 되었으며 다음에 몇가지 알고리즘 처리 결과들을 보여준다.

(1) 12번째와 18번째의 데이터

Bottom영역 제거-위의 그림 4에서 고립된 Bottom 영역은 관심의 대상이 아니므로

먼저 잘라 제거하는 과정이 필요하다.

Line Connection-Raw 데이터에서 정보가 부족한 부분한 부분을 보완하기 위해 11×11 window내의 Neighbor Pixel들의 방향성을 조사하여 그 반대 방향으로 Line 픽

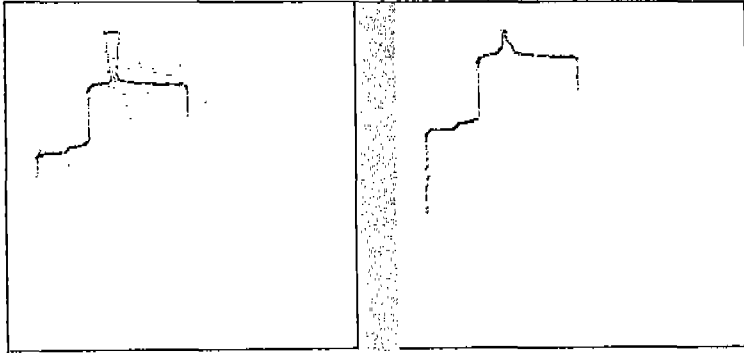


그림 5 Bottom영역을 제거한 데이터

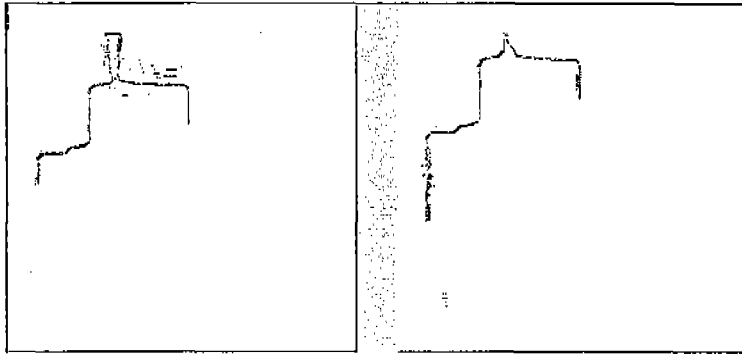


그림 6 Line Connection한 데이터

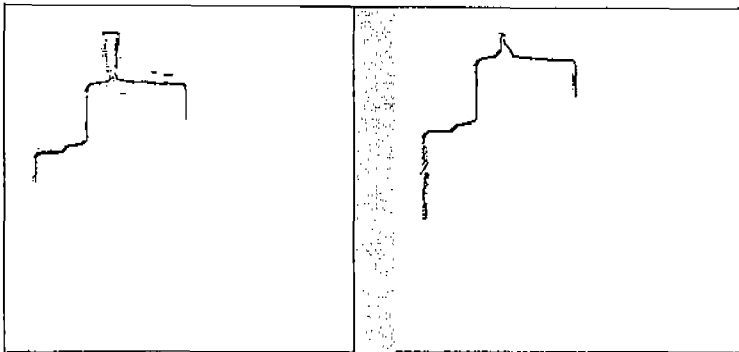


그림 7 Noise Elimination한 데이터

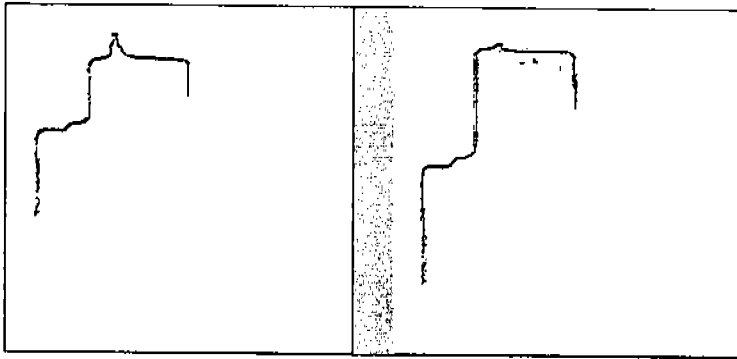


그림 11 Noise Elimination한 데이터

셀을 확장하여 보충한다.

Noise Elimination—대상 픽셀의 3×3 window내의 Neighbor Pixel을 조사하여 주위의 모든 픽셀이 바탕 픽셀의 값을 가지면 그 픽셀을 바탕 픽셀로 대치하여 잡음을 제거한다.

(2) 17번째와 25번째의 데이터

2.3 3차원 표면 모델링

Surface Modeling—센싱 데이터를 이용하여 표면에 대한 곡면식을 도출해 내는 과정이다. 이 곡면식으로 Sensing되지 못한 부분에 대한 Data를 구할 수 있다.

다음 그림 12는 Test를 위하여 실제 센싱 데이터에서 인위적으로 burr부분의 데이터를 추출하여 3차원 모델러를 이용하여 모델링한 것이다.

위와 같은 가공로봇분야는 기술적인 관점에서는 연구개발을 해야할 주제가 많고 신기술 접목이라는 점과 산업적인 관점에서는 3D 공정 합리화라는 당위성으로 인해 향후 계속 그 수요가 증대될 전망이다.

3. 조립자동화

자동차 제조라인은 현재 조립자동화 단계

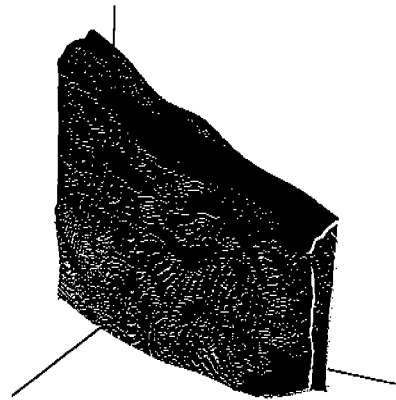


그림 12 Burr 모델링

라고 볼 수 있다. 또 현재 다양한 노력들이 진행되고 있다. 전체적으로 볼 때 조립대상 부위의 3차원 오차 인식 및 로봇 조립공정에 의 피드백 그리고 공정에 맞는 다양한 주변 장치 제작을 일반적인 특징으로 볼 수 있다. 조립자동화 대상이 되는 공정은 매우 다양하며 단지 그 중요성의 순서에 따라 투자 순위만 달라질 따름이다. 여기서는 그 한 예가 될 수 있는 타이어 조립자동화를 구체적인 예로 들고자 한다. 타이어 조립공정은 우선 타이어가 무겁기 때문에 조립자동화의 당위성이 제기될 수 있다. 일반적으로 타이어조립 수작업 공정은 다음과 같다.

차체 이송 < 10초

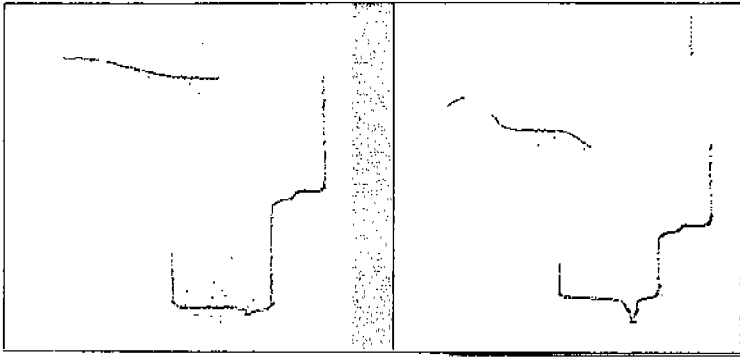


그림 8 Raw 데이터

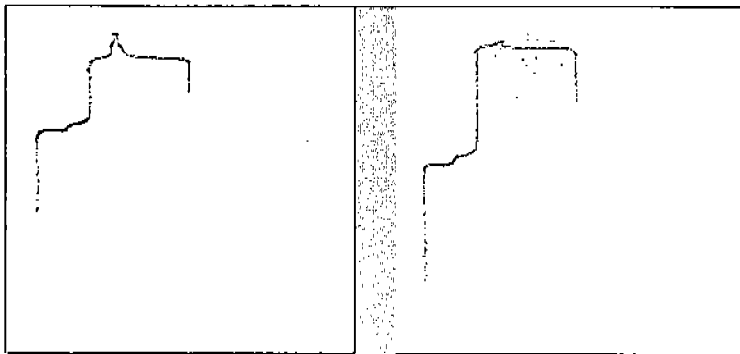


그림 9 Bottom영역을 제거한 데이터

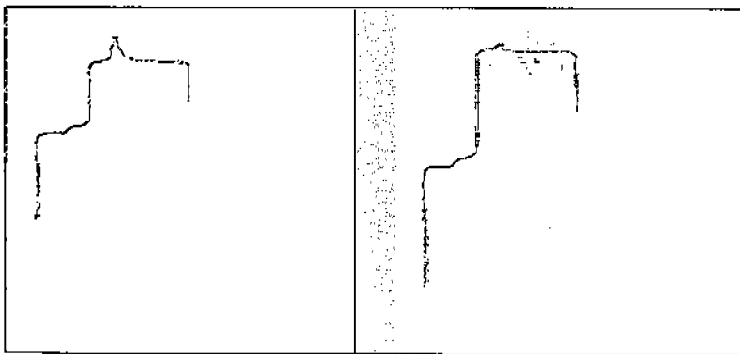


그림 10 Line Connection한 데이터

- 타이어 이송 < 4초
- 타이어 장착 < 3초
- 너트 준비 < 3초
- 너트 가체결 < 10초
- 너트 러너지동 < 5초
- 너트 완전체결 < 5초

이러한 타이어 조립공정은 다양한 주변장치 제작과 함께 조립방식의 결정이 가장 중요한 작업이 되겠다. 타이어 조립은 라인특성에 따라 다르며 외국과 한국의 타이어 허브의 조립특성이 다르기 때문에 자체판단에 의한 최적화가 필요하겠다. 각 자동차회사마다 특성이 다르나 일본의 몇가지 예를 정리하면 다음과 같다.

참고로 기존 수작업라인이 행거방식일 경우 로봇이 행거이동에 동기시켜 조립코자 하는 검토가 있을 수 있다. 실제로 외국에서도 이러한 시도들이 있었으나 공정정지 문제등의 이유로 다시 철회한 사례가 있다.

여기서는 다시 다양한 요소기술 개발 및 너트러너지동의 주변장치 제작외에 타이어 허브에 있는 볼트 위치/방향 인식에 의한 타이어 조립 공정에 초점을 맞추어 본다. 강제 정렬방식외에 인식/체결의 경우 1980년대에는 CCD 비전과 거리측정센서의 적용을 대부분 채택하고 있다. 일반 CCD 카메라는 다양한 공정에서 자동화에 응용되고 있으나 외부 조명에 의존하여 민감한 센싱 특성을 나타내므로 조립 공정의 환경을 일정하게 유지시켜 주어야하며 카메라 센서만으로는 정밀한 허브 볼트의 위치를 알아내기 힘들다. 따라서 LDS라는 부가적인 레이저 거리 센서로 3점을 측정하여 타이어 허브의 법선을 측정한 다음에 이 법선의 방향으로 카메라를 위치시키는 방법으로 허브 볼트를 찾는다.

KIST에서는 90년대에 사용되기 시작한 레이저 라인비전을 사용하여 현장 신뢰성 향상과 신공정 개발을 목표로 하였으며 여기에

	HIRATA	NISSAN	Mitsubishi	KANTO
기본 방식	지그 이동	지그 이동	지그 이동	지그 이동
	오차인식/보정	강제 정렬	오차인식/보정	오차인식/보정
	1 스테이션	1 스테이션	1 스테이션	2 스테이션 1:인식/장착/ 가체결 2:완전체결
주요 구성 요소	6축 다관절로봇(I)	(6+1)축 직교로봇	(6+1)축 갠트리 직교로봇	6축 다관절로봇
	앞바퀴 장착	허브강제정렬	허브 인식	타이어 장착
	가체결	타이어 장착	타이어 장착	비전인식
		너트 체결	너트 체결	가체결
	6축 다관절로봇(II), 뒷바퀴 장착, 가체결	2축 인덱스기계, 너트 공급	4축 스카라로봇, 너트 공급	3축 직교로봇, 거리인식 센서
1축직교로봇, 너트러너 이송, 비전센서, 너트공급로봇(2) 타 이어정렬공급기(2)	타이어 정렬/공급기	타이어 정렬/공급기, 너트 공급기(3)	6축 직교로봇,완전 체결,타이어 정렬/공 급기,1축 인덱스기계 너트 공급	

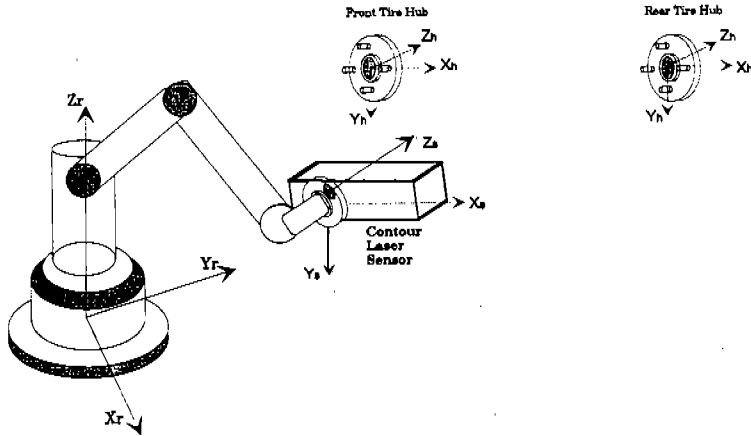


그림 13 타이어 허브 인식/조립 로봇 외관

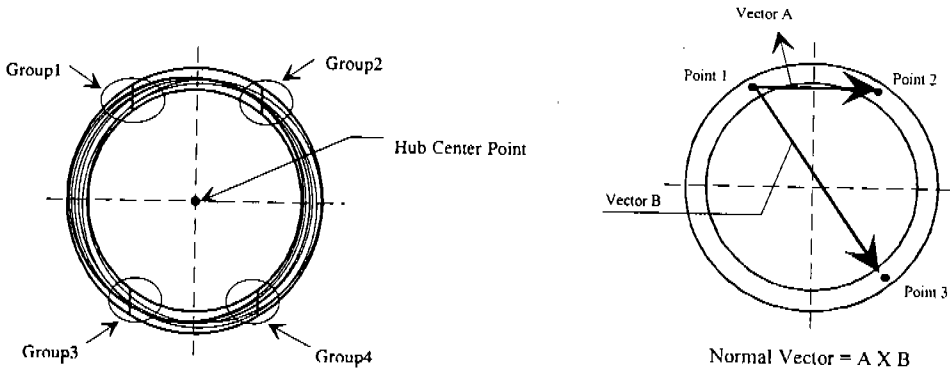


그림 14 타이어 허브 중심점 계산 알고리즘

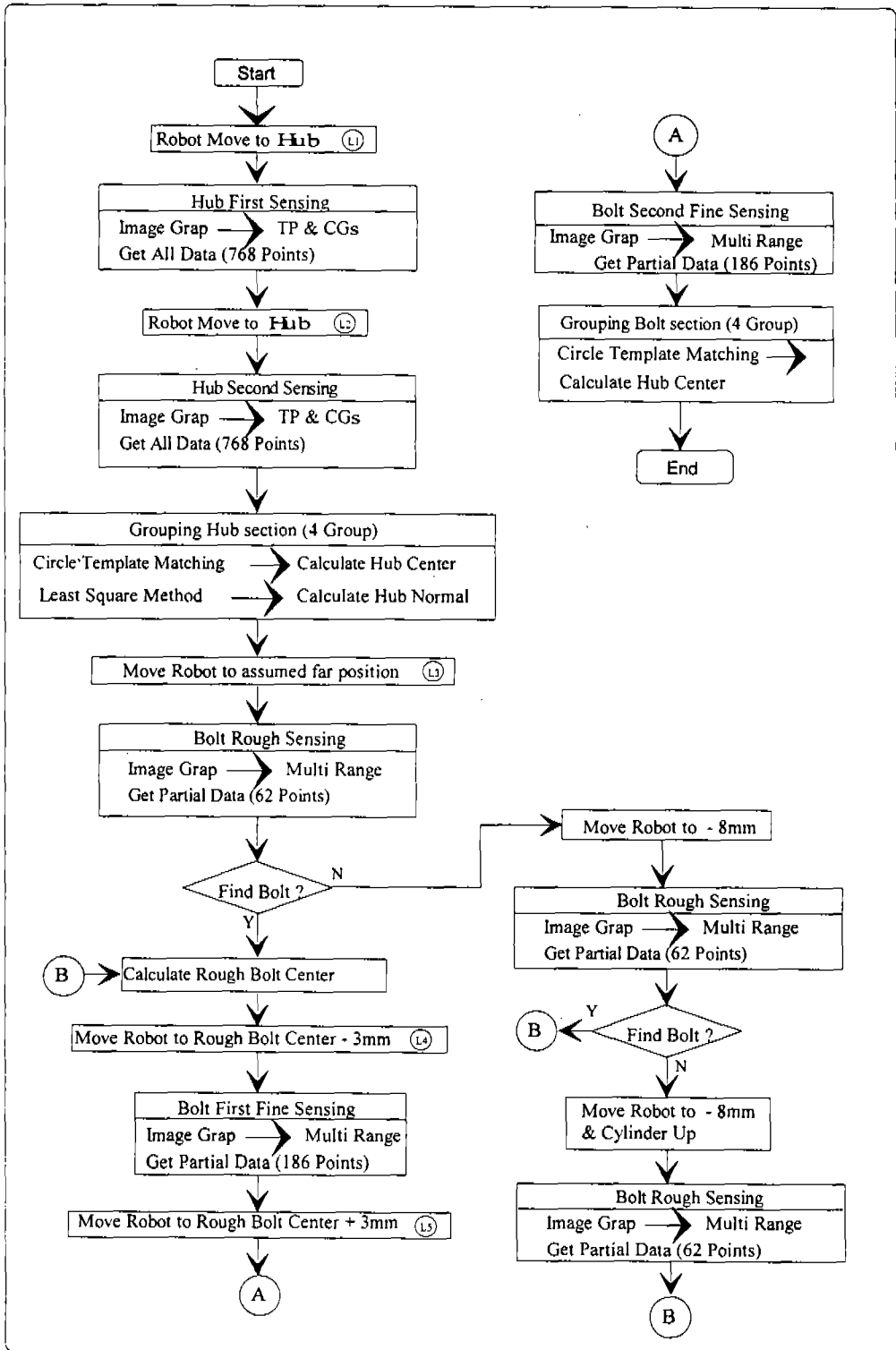
맞는 비전데이터 처리 알고리즘들이 개발되었다. 우선 대상 타이어허브 인식로봇의 외관은 다음 그림 13과 같다.

다음 표는 전체 타이어 허브 인식 로봇의 공정흐름을 보여주고 있다.

개발된 알고리즘은 단면이 원을 이루고 있는 물체를 레이저 센서로 측정 할 때 대상 물체의 제조 공차, 모서리의 모양, 물체와 센서 사이의 원근의 효과에 의하여 생기는 측정 오차를 보정하면서 측정 물체의 정밀한 중심점을 찾아 낸다. 기존의 시각 처리 알고

리즘중에서 성능을 비교하기 위하여 고려된 DOG 필터는 가우스 함수를 미분하여 만든 연산자를 통하여 오차를 보상해 주면서 모퉁이점(Edge)을 계산하여 중심점을 찾지만 개발된 방법은 측정된 모퉁이점 뿐만 아니라 이웃의 측정점까지 고려하여 중심점을 구한다. Auto-CAD 상에서 53,125 가지의, 테이타 종류를 생성하여 물체의 중심점을 비교하여 본 결과로 x 축으로는 11.33% , y 축으로는 88.13%의 성능의 향상을 가져왔다.

다음 그림 14는 타이어 허브 중심점 찾는



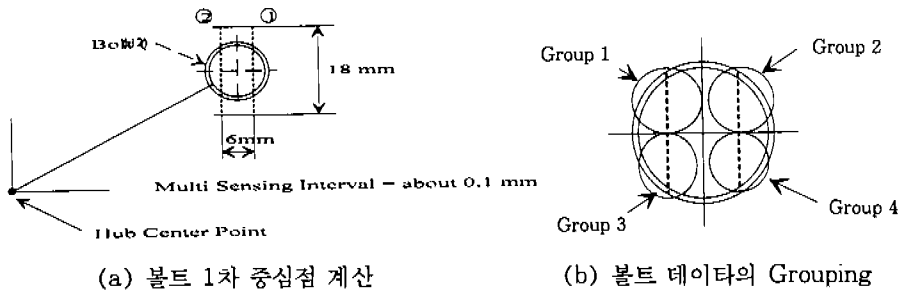


그림 15 볼트 1차 중심점 계산 및 정보 Grouping

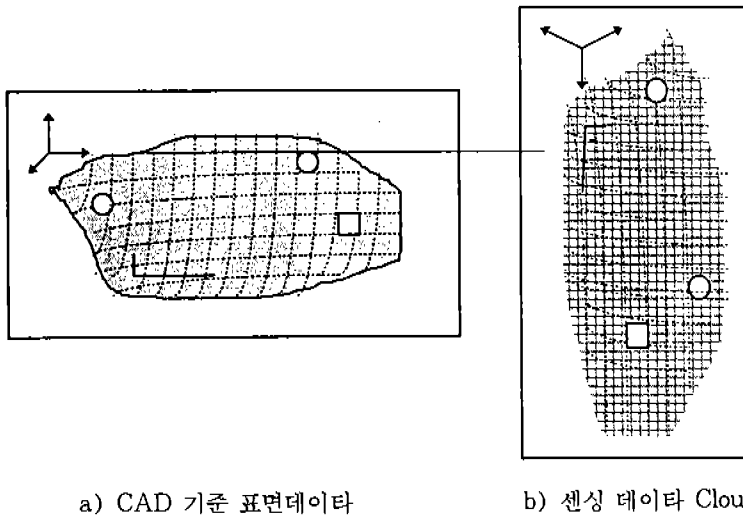


그림 16 프레스 단품 CAD/센싱 Data Cloud

알고리즘을 보여주고 있다.

이와 동일한 방법으로 볼트의 1차 중심점 계산 알고리즘을 그림 15에서 보여주고 있다.

여기서는 조립자동화의 한 예로서 타이어 조립자동화를 들었고 그 한 요소기술인 타이어 허브 인식 알고리즘을 설명하였다. 이와 같은 조립자동화는 매우 다양하며 그러나 전체적으로 볼때 각 조립공정의에 차체 오차인식은 공통기술로서 적용이 될 걸로 보인다.

4. 측정자동화

90년대 초부터 품질관리 기술의 중요성은

계속 강조되었으며 현재는 각 공정별 품질관리 자동화가 확산되고 있는 상태이다. 여기서는 오차측정에 의한 공정자동화가 아닌 공정이 끝난후의 품질측정 및 검사를 논하고 있다.

예를 들어 차체 형상 인라인 측정 시스템이나 프레스 단품 형상측정 시스템을 들 수 있다. 여기서는 프레스 단품 형상측정 자동화에 초점을 맞추어 본다. 이러한 자동화 기술은 자동차 제조라인 뿐 아니라 다양한 분야에서 그 수요가 있다. 가장 큰 당위성으로서 기존 수작업으로 측정할 경우 수동 고정 지그가 모델별로 필요하며 수작업 측정의 주

관성, 낮은 생산성 그리고 피드백 시간 지연 문제를 들 수 있다.

일부 시스템 제조회사에서 이러한 측정 자동화 장치를 개발하고 있는데 그 진전이 매우 더딘 상황이다. 가장 큰 이유로서 시장의 다양성을 수렴하기 위해 범용성을 고려하기 때문인데 결국 범용성은 오히려 실제 적용성을 떨어뜨려 오히려 취약성을 가지고 있다.

여기서는 각 적용라인의 특수성 고려보다는 측정시스템에 대해 일반적으로 고려할 기술적인 사항들을 간략히 나열코자 한다.

4.1 CAD로 부터 표면 정보 추출 및 프레스 부품 특징 파악

- 해당 CAD 시스템에 들어있는 표면 정보 저장방식 파악(Polynomial equation, Coefficient, Exact equation 등)
- 표면정보 함수 등으로 부터 필요위치 좌표값 추출
- 기준을 위한 특징 부위(Feature)들을 선택

4.2 센싱 데이터로 부터 특징 부위 추출

- 프레스 단품 표면 센싱
- 특징 부위들을 추출

■ Feature 추출 루틴 개발

4.3 센싱 좌표계를 CAD 좌표계에 일치

- 단품 자체 중력 변형 해석 루틴
- 좌표 변환 Matrix 계산 루틴

4.4 CAD/센싱 정보 비교 평가, SPC, 이력관리

위와 같은 측정시스템을 개발함으로써 수작업Checking Fixture 경비 절감, 신차 및 Tooling 프로그램 시간 단축, 저렴한 유지보수 경비 그리고 수작업 측정의 주관성 배제를 기대할 수 있다.

5. 결 론

본 란에서는 우선 로봇을 이용한 공정 자동화 관점에서 자동차 제조라인과 관련된 공정 자동화를 가급적 구체적으로 거론코자 하였고 그 대상으로 가공, 조립 그리고 측정분야를 택하여 현황 및 필자의 관련 기술내용을 간략히 소개하였다. 여기서 소개된 기술은 공정이 다를 수 있어도 범용성을 가지며 계속 발전할 걸로 예상된다.