



빅 송 오*
 (*한국과학기술연구원 후면로봇연구센터 책임연구원)

1. 제조분야와 지능로봇과의 관계

제조분야에서 주로 사용하는 단어들은 고생산성, 경제성 그리고 고신뢰성 같은 단어들이며, 유연성이나 지능성은 부차적인 단어로 간혹 앞 단어들과 다름이 생길 경우 대부분 회생되고 있는 개념이다. 그리고 지능로봇이란 다양한 주변 환경에 대한 유연한 대처능력을 의미하며 이는 바로 고생산성과 직결하지 않고 또 경제성과 대치되는 개념일 경우가 많다. 결국 제조분야에서의 지능로봇 응용은 다른 해법이 없고 사용이 불가피할 경우에만 시도되는 것 같아 보인다. 제조분야에서의 지능로봇을 구축시키는 중요한 요소중의 하나로서 장비의 보수 유지성을 들어야만 한다. 보수유지는 연구개발자가 아닌 일반 제조현장의 공무부가 담당하기 때문에 장비의 범용성과 친숙도가 관건이 되겠다. 그렇기 때문에 로봇의 기본 모듈(기구부, 제어부)을 대기업이 아닌 중소기업이나 또는 학교/연구소에서 직접 만들 경우 제조분야에서 사용하기 어렵다. 결국 제조현장에서 지능로봇은 우선 로봇시장에 출시되고 있는 로봇 기본모듈이 얼마나 지능을 갖출 환경이 되어 있는지가 기본 전제조건이 되어야만 한다. 그러므로 본 원고의 주제인 지능로봇 응용 사례를 얘기하기 전에 우선 최근의 로봇 기본모듈의 기능이나 동향을 간단히 언급하고자 한다. 다음 그림 1은 독일의 KUKA 로봇인데 최근 유럽전략 프로그램에 참여하여



그림 1. KUKA 로봇 외관

개발된 PC 방식의 로봇제어기를 그 특징으로 하고 있다. 아직도 연구자가 직접 개발한 고기능 S/W와의 효율적인 통합 기능등이 보완될 필요는 있으나 산업용 로봇 기술의 한단계 도약이라고 평가할 만 하다. 이유는 윈도우스 95를 기본

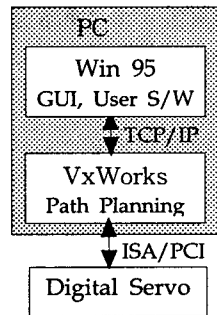


그림 2. KUKA로봇 제어기 구조

OS로 하여 이제까지의 PC와 로봇제어기를 통합시켜 사용자에게 친숙하게 환경을 구축하였다. 이는 이제까지의 GUI 환경만을 윈도우즈로 하거나 PC는 로봇제어기와 별도로 하던 방식을 탈피한 개념이다. 그림 2는 제어기의 구조를 보여주고 있다.

이와 같은 구조는 로봇에 사용자가 지능성을 부여하는 데 매우 효율적이다. 지능성은 주로 대상공정에 맞게 고기능의 S/W가 집적되어야 하는데 일반적으로 로봇 기본모듈 개발자와 다른 연구 개발팀일 경우가 대부분이다. 그러므로 로봇 기본모듈의 자체의 지능성과 함께 공개성 여부가 중요한 인자가 된다. KUKA 로봇은 로봇에 지능성을 부여하기 위해 다양한 고급기능을 추가로 개발할 경우에 대비한 좋은 모델이 될 수 있다. 공통적인 현상이나 전세계적으로 다양한 센서를 갖춘 지능로봇의 예는 자동차 제조분야가 가장 많다. 그 이유는 다음과 같은 표를 보면 이해될 수 있다. 다음 표는 필자의 경험에 따른 일반치이므로 개별 공정마다 편차는 있을 수 있다.

표 1. 각 제조분야의 특성

제조 분야	자동차	가전제품	물류
발생 위치오차	< 2 mm	< 0.5 mm	< 5 mm
요구 정밀도	~ 0.3 mm	~ 0.2 mm	~ 1 - 2 mm
오차 특성	3 차원	2 차원	2/3 차원
장비 가격	> 1 억원	< 0.5 억원	~ 0.5 억원
Cycle time	< 60 초	< 10 - 20 초	< 10 초

위 표에서 알수 있듯이 로봇이 다양한 유연성과 지능성을 갖추기 위해서는 추가적으로 처리 시간에 대한 여유, 투자 경비 등이 가능해야 하는데 자동차 제조분야가 가장 적합한 분야임을 알 수 있다. 위 표에서 가전제품은 고속성과

【 제조분야에서의 지능로봇 응용사례 】

경제성 그리고 2차원적인 오차를 그 특성을 들었는데 이러한 특성을 감안한 새로운 로봇제품을 예로 들 수 있다. 그림 3은 ABB에서 새로 출시된 로봇으로 고속성을 그 대표적인 특징이다.



그림 3. ABB Flexpicker

컨베이어에 정렬안된 다양한 부품들을 2차원 CCD 비전을 인식하여 정렬 및 선별하는 작업에 적합하게 개발되었다. 독특한 기계적인 기구학이 특징이다.

또 다른 예로서 오랫동안 연구대상이었던 병렬형 로봇 기구부가 강한 강성을 바탕으로 가공용 로봇으로 이미 출시된 바 있으나 또 다른 예로서 다음 그림 4를 들 수 있다. 여기서는 점용접 건 핸들링 기능을 보여주고 있다.

표 2. Flexpicke의 성능

가반하중	1 Kg
축 수	3/4
위치 반복정도	± 0.05 mm
작업 공간	D 1130 mm x H 250 mm
최대 속도	10 m/sec, 3600° /sec
Cycle time	0.4 sec

다음 장부터는 필자가 실제로 수행해온 과제를 중심으로 제조분야에서의 지능로봇 응용사례를 몇가지 열거하고 그 방향을 짐작해보고자 한다.

2. ARC WELDING

Arc Welding 은 이미 1980년대부터 시각 기능을 집적시킨 지능로봇 사례들이 꾸준히 발표되어 왔다. 그동안 Arc welding의 특수환경 (고주파 노이즈, 고광도, 고온)에 적합한 방식의 시각 인식 센서, 접촉식 센서 그리고 토오치 전류를 입력신호로 활용하는 전류센서들이 개발 및 적용되어 왔다. 이제까지 Arc welding분야는 센서없이 또는 전류센서 방식을 주로 사용하는 방식이었다. 최근까지는 조선분야에서 레이저 비전을 이용한 사례들이 있었으나 활용도 면에서 충분



그림 5. FANUC 병렬형 Positioner

하지 못했다. 그 이유로서 비전과 같은 고기능 센서는 처리 S/W가 복잡하므로 센서와 구동부 그리고 S/W를 포함한 제어부가 전체적으로 통합되어야 하는데 개발주체가 서로 다름으로 인해 인터페이스에서 성능이 저하되기 때문이다. 최근에는 조선분야 뿐 아니라 자동차 차체용접에서도 고품질을 겨냥한 지능형 로봇들이 개발되고 있다. 여기서는 그러한 사례를 소개하고자 한다. 이제까지는 수작업으로 하던지 또는 기계식으로 차체를 고정된 다음 로봇이 센서없이 사전에 프로그램된 경로를 용접하는 방식이 사용되어 왔다. 수작업은 3D 특성외에 용접 품질이 매우 불균일하고 단순로봇 적용은 발열에 의한 변형문제와 모서리 부분의 용접 불가능문제가 있다. 결국 용접 Seam을 인식하여 각 차체에 맞게 용접 경로를 생성시키고 또 용접 중에 발열로 인해 생기는 용접 Seam 변형까지를 인식하는 지능형 용접 로봇 개발이 필요하게 되었다. 용접 Seam 인식용 비전센서는 이제 레이저 방식으로 통일되었으며 강한 용접광 문제와 처리속도가 빠른 Flying Spot 방식이 주종을 이루고 있다. 향후 Arc 용접 시장 규모에 따라 다양한 센서들이 개발될지만 현재는 Servorobot과 Selcom 센서가 주종을 이루고 있다. 그림 5는 적용된 센서와 차체와의 관계를 보여주고 있다. 센서의 정도는 폭과 높이 방향으로 ±0.1 mm이고 센싱 폭은 30 mm이다.

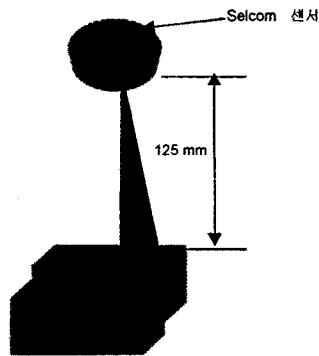


그림 5. 레이저 센서

지능 용접로봇의 개발 목표로서 임의의 방향에서의 차체오차 10 mm를 전체 로봇 시스템 오차 0.3 mm로 줄이고 균일 품질을 보장하게 하였다. 이를 위해 다음 그림 7과 같은 작업흐름으로 알고리즘이 개발되었다. 크게 기준 경로 생성 루틴과 용접시 경로보정 루틴으로

구성되었으며 기준경로 생성 루틴에서는 용접하지 않고 먼저 센서가 대략의 위치를 지나감으로서 용접 Seam을 인식 기준로봇 용접경로를



그림 7. 센서가 장착된 용접 건

생성한다. 이는 라인 싸이클 타임이 충분하므로 가급적 고신뢰성을 위한 방식이다. 그런 후 용접이 시작되며 용접시 일정위치 앞에 있는 센서는 용접 Seam을 다시 인식하여 용접중에 발생할 수 있는 열변형 등의 변경정보를 다시 한번 로봇경로에 보정시키는 방식이다. 실제 구현시키는 과정에



서 적용된 로봇제어기의 센서와의 실시간 통신 기능, 로봇 제어기의 특성에 따른 프로그래밍 기법, 통신속도 한계에 따른 시퀀스의 최적화, 용접건과 센서거리 그리고 전체 용접 Seam거리 관계에 따른 수정, 공정 특성상 나타나는 고열 감소를 위한 냉각 지그 사용에 따른 문제, 그리고 효율적인 용접 최적화를 위한 시스템적인 분석기법의 도입 등이 본 용접용 지능로봇 개발시 고려되었던 문제들이다.

다음 그림 8은 여러 가지 작업중에서 모서리를 찾는 루틴의 결과를 보여주고 있다.

공정을 로봇을 이용하여 자동화하는 작업을 설명코자 한다. 이 작업의 자동화시 문제점으로서 차체의 3차원 위치 오차 외에 형상오차를 어떻게 수렴할 것이며 단순한 용접 Bead 제거가 아닌 주변곡면을 고려한 매끈한 곡면 생성 문제를 들 수 있다. 그리고 이 작업은 기존 생산라인에서 규정된 Cycle time 안에 완료되어야 한다는 점이다. 이러한 대표적인 문제점에 대해 다음과 같은 해결방향을 설정하였다.

1) 차체 위치/형상 오차 수렴성

일본에서는 보통 3D Shift 기능을 사용하나 이는 차체 위치오차는 수렴가능하나 형상 오차는 해결 불가능한 불안정한 방식으로서 여기서는 매 차체마다 Finishing 부위를 인식하여 그 정보를 이용함으로써 다양한 오차를 전체 수렴하는 방식을 채택

2) 용접 Bead가 아닌 주변곡면과의 매끈한 곡면 Finishing 기준정보를 용접 Bead가 아닌 주변곡면로 하였고 용접 Bead 특성은 초기 Robot Finishing 시 고려하였다. 결국 용접 Bead 크기에 따라 Finishing 공정변수를, 예, Finishing 깊이, 변화시켰으며 전체적으로 주변곡면을 기준으로 Finishing 이 되도록 하였다.

3) Cycle time 차체 표면 센싱, 센싱 정보 처리, 표면 모델링, 로봇 경로 생성, 로봇 Finishing 그리고 다양한 구성기기들간의 정보통신 시간 소요등을 기존 설정된 Cycle time 내로의 수렴이 절대적인 요건으로, 이에 맞추는

3. Finishing Robot

또다른 지능로봇 분야로서 Finishing분야를 들 수 있다. 일반적으로 로봇 적용목적은 생산성 향상이나 작업 합리화를 말하고 있다. 특히 작업 합리화라는 명제는 더 당위성이 크다고 볼 수 있다. 여기서 Finishing이란 기계가공이 끝난 후 수작업으로 가공부위를 마무리하는 후처리작업을 말하는데 이때 발생하는 유해한 분진, 수작업 공구 핸들링으로 인한 위험성으로 무엇보다도 로봇 적용에 의한 자동화의 당위성이 크나 기술적인 어려움으로 많은 진척이 없는 분야이다. 그러나 이러한 Finishing 분야는 향후 적용당위성이 커지고 기술적으로 해결해야할 사항이 많은, 지능로봇의 개발이 계속 필요한 대표적인 분야로 생각된다. 여기서는 자동차 차체를 용접한 후 수작업으로 용접 Bead를 제거하고 주변 곡면과 함께 매끈한 곡면을 만드는 차체 제조 끝

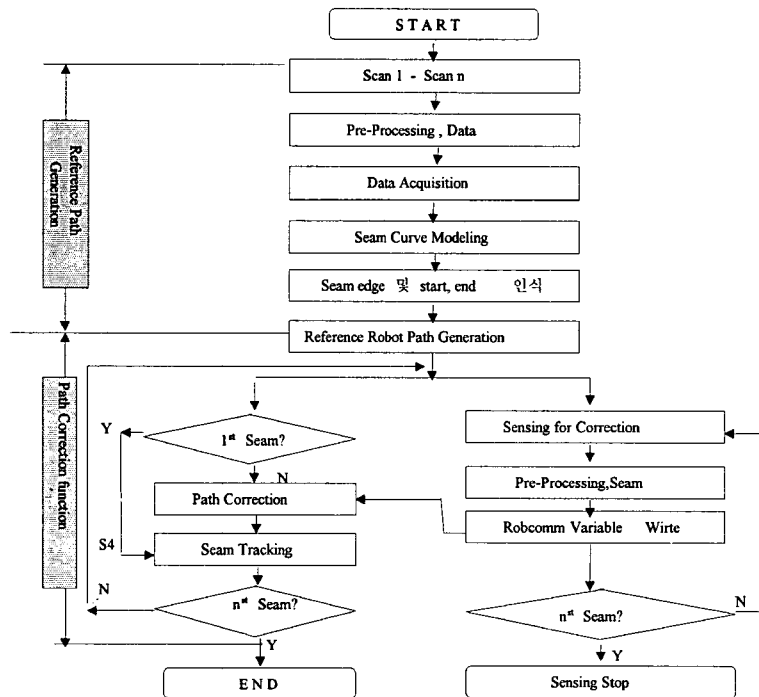


그림 7. 작업 흐름

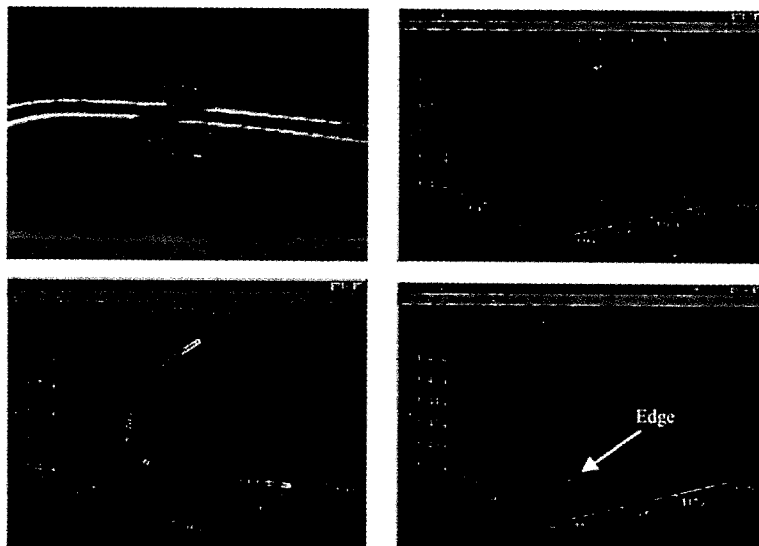


그림 8. 모서리 찾기 루틴

【 제조분야에서의 지능로봇 응용사례 】

최적화 작업과 시스템 신뢰성 확보작업이 진행되었다.

전체 공정은 다음과 같다. 우선 차체가 도착하면 레이저 라인 비전 센서가 Finishing해야 할 부위 전체를 인식한다.

인식정보는 PC에서 처리하는 데 비드 정보와 주변곡면 정보를 분리시켜서 비드 정보는 Finishing 로봇의 가공경로의 기준선과 비드 높이에 따라 적합한 공정변수 도출에 사용된다. 주변곡면 정보는 전체적인 Finishing로봇 경로의 기준이 된다. 일반 CCD 비전에 비해 레이저 비전이 주변 환경에 보다 신뢰성이 높으나 이는 상대적인 비교이며 마찬가지로 다양한 노이즈에 대한 필터링 기법이 필요하다. 차체면 센싱정보로부터의 표면 모델링은 무엇보다도 처리시간의 고속성과 매끈한 곡면 유지 제한요건을 고려해야 한다. 여기서는 Ferguson Fitting기법을 이용하였고 차체와 같은 완만한 곡면에서는 매우 효율적이다. 그리고 위와 같은 작업시 무엇보다도 처리시간의 제한요건 때문에 센싱부위의 최소화에 대한 노력이 많이 필요하다. 이는 용접 Bead부위는 촘촘한 센싱과 주변부위는 성긴 센싱밀도로 해결하였고 센싱 피치 최적화도 필요하다. 이와 같은 전체적인 공정흐름은 다음 그림 9와 같다.

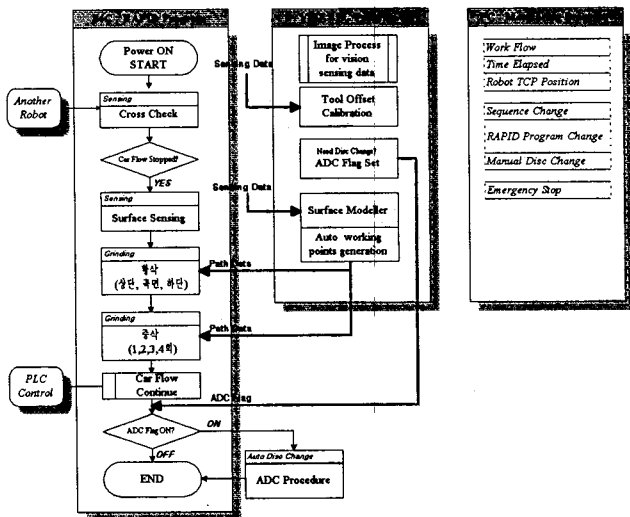


그림 9. 전체적인 공정흐름도

다음 그림 10은 센싱경로와 센싱정보의 처리결과를 보여주고 있다. 왼쪽그림은 차체 센싱부위이고 가운데 그림은 센싱하여 추출한 Bead 정보이며 오른쪽 정보는 전체적인 차체 주변곡면 정보 처리를 보여주고 있다.

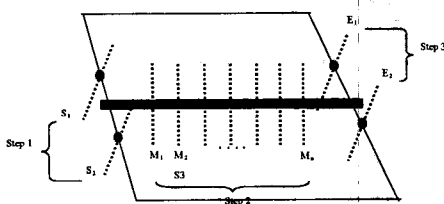


그림 10. 센싱 경로 및 센싱정보 처리 결과의 예

그리고, 사용하는 Finishing 디스크가 강성이 크기 때문에 Finishing 횟수가 늘어감에 따라 디스크 마모가 늘고 이에 대한 경로 보정 기능이 필요하다. 디스크 마모량을 주기적으로 센싱하여 마모량을 로봇경로에 피드백 하거나 또는 경험칙에 의해 로봇 경로 즉 가공 깊이를 수정시키는 방안이 있다. 다음 그림 11은 차체 센싱용 레이저 라인 비전센서에 의한 디스크 형상인식 결과를 보여주고 있다.

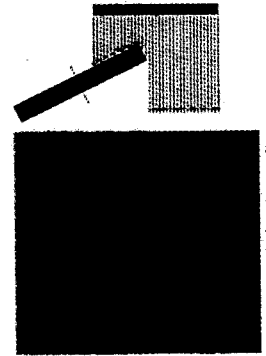


그림 11. 디스크 마모 센싱

4. 측정 자동화

검사, 측정은 객관적이며 정량화되어야 한다는 관점과 품질경쟁 시대로의 돌입 관점에서 검사측정의 자동화는 계속 그 중요성을 더해가고 있다. 로봇이라는 운동 자동화 기기와 연계하여 검사, 측정 로봇분야는 90년대 후반부부터 매우 중요한 연구개발 대상이 되어왔다. 여기서는 검사 측정과 로봇이 어떻게 연계되어 어떤 공정에 필요한가를 예를 들어 설명하고자 한다. 현재 자동차 회사에서는 프레스 패널을 작업자가 눈으로 판별하여 결함을 가려내거나 일정 주기마다 프레스기계에서 나온 패널을 Mechanical Fixture에 고정시킨 후 일일이 치수정밀도와 표면 결함을 검사하고 있다. 이러한 방식은 매번 나오는 패널 종류마다 정밀지그를 제작해야 하고 모두 보관해야 하고 또 참여하는 작업자들의 인건비 외에 검사의 주관성을 문제점으로 들 수 있다. 이 공정을 자동화하고자 하나 기술적인 문제점 때문에 아직까지 자동화가 되어 있지 못하다. 이러한 문제는 크게 보면 구체적인 대상의 표면 형상을 인식하고 기준 정보와의 비교를 해야하고 또 자동 판별 및 검사를 하는 일련의 작업들이 집적되어야만 한다. 이에 대한 필자의 연구내용을 간략히 소개하고자 한다. 임의의 복잡한 형상을 검사 즉 센싱하기 위해 레이저 라인비전 센서를 적용하였으며 기준 정보는 CAD 정보를 사용하며 센싱정보와 CAD정보간의 비교방식을 개발하였다. 이제까지는 센싱정보와 CAD 정보를 비교하기 위해 다양한 S/W 적인 작업들이 필요하고 정보들간의 호환성과 특히 현장성이 결여되었다.

그림 12는 일반적인 형상검사 방식을 설명하고 있다. (a)방식은 CAD를 기준 정보를 사용하는 방안이며 (b)는 표준시편을 기준 정보를 활용하는 방안이다. 각자

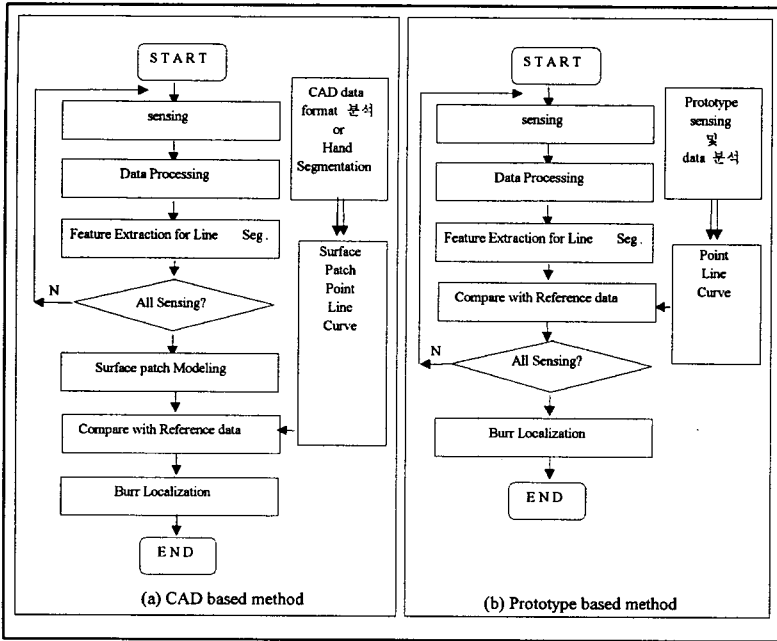
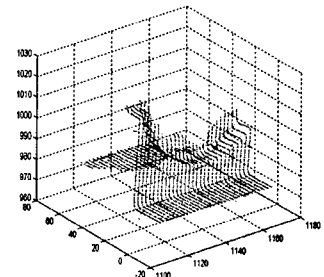


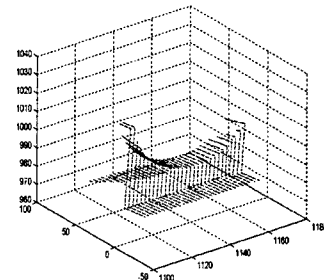
그림 12. 기존 형상 검사 방식

장단점이 있다. 특히 CAD정보와의 비교하는 작업은 센싱 정보를 함수화된 표면정보로 변환하는 과정에서 매우 많은 시간이 소요되고 신뢰성이 떨어지며 또 현장에서 처리되기 어려움 단점이 있다. 여기서는 새로이 가상센싱(Virtual Sensing) 기법을 개발하여 사용하였다. 간단히 요약하면 실제 환경에서 센서가 부착된 로봇이 대상체를 측정하는 것처럼, 가상 로봇에 가상센서를 부착하여 가상 대상체를 측정하게 한다. 가상센싱의 가장 큰 특징으로서 실제 센싱정보와 가상센싱 정보 구조가 동일하기 때문에 전체적으로 정보처리 및 변환이 필요없이 바로 실제정보에서 가상정보를 뽑으므로 목표로 하는 정보를 추출할 수 있다는 점이다. 이 방식을 이용하기 위해 먼저 적용할 센서의 모델링 및

실제센서와의 캘리브레이션, 로봇/대상체의 실제와 가상간의 캘리브레이션 기술 등이 기본 요소기술들이다.



(a) 실제 센싱 결과



(b) 가상 센싱 결과

그림 14. 실제 센싱과 가상 센싱 결과 비교

5. 결 론

이제까지 여러 가지 제조분야에서의 지능로봇 응용 현황을 실제 수행과제를 중심으로 소개를 하였다. 최근 우리나라 제조업체들은 여러 가지 외적인 요인에 의해 자동화 추진이 어려워으나 다시 회복세와 함께 지능로봇의 제조 현장 적용이 늘어날 걸로 판단된다. 수작업에 주로 시각과 촉각을 이용하듯이 향후 지능로봇에도 판단기능의 고도화와 함께 시각 및 촉각 기능의 개별 내지는 통합 집적방향으로 진척이 예상된다. 단지 로봇 기본모듈의 성능이 빠른 시일 내에 향상이 되어야하는 전제조건은 있겠다. 우리나라에서는 아직 수요는 없으나 향후 초정밀 조립 내지는 마이크로 부품 제조/조립 자동화에도 연구개발이 필요하다. 왜냐하면 기업은 이윤관점에서 볼때 이러한 자동화 해법 까지를 제시하지 못하기 때문이다.

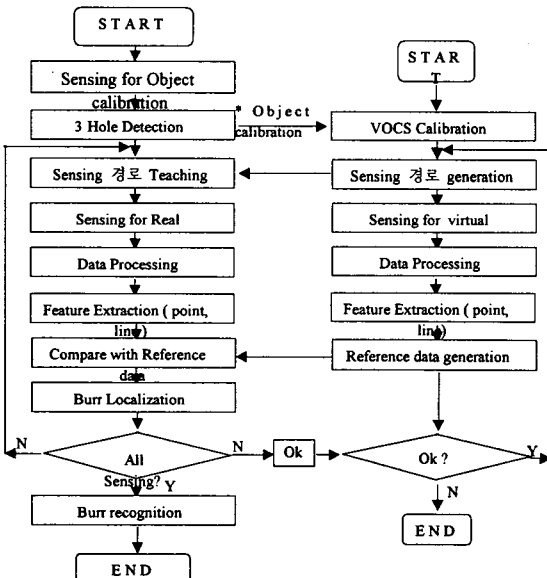


그림 13. 가상센싱 알고리즘

저 자 소개



박종오(朴鍾午)

1955년 9월 13일생. 1978년 연세대 기계공학과 졸업. 1981년 KAIST 최적설계 졸업(석사). 1987년 독일 Stuttgart대 로봇공학 졸업(공박). 1987년-현재 KIST 책임연구원.