

◆ 특집 ◆ 산업용 듀얼 암 로봇(AUTOMAN) 개발

듀얼 암 로봇의 소개 및 요소기술

Introduction to Dual Arm Robot and Key Technology

고석조^{1,✉}, 이영진², 박경택³, 박찬훈³
Seok Jo Go^{1,✉}, Young Jin Lee², Kyoung Taik Park³ and Chan Hun Park³

1 동의과학대학 컴퓨터응용기계계열 (Division of Mechanical Engineering, Dongeui Institute of Technology)

2 (주)오토파워 (AUTOPOWER Co. Ltd)

3 한국기계연구원 로봇/지능기계연구실(Department of Robotics & Intelligent Machinery, Korea Institute of Machinery and Materials)

✉ Corresponding author: sjgo@dit.ac.kr, Tel: 051-860-3152

Key Words: Single Arm Robot (싱글 암 로봇), Dual Arm Robot (듀얼 암 로봇), SCARA Robot (스카라 로봇), DLR (독일항공우주연구소), Master Robot (마스터 로봇), Slave Robot (슬레이브 로봇)

1. 서론

로봇산업은 기계 및 전자 산업의 첨단기술이 결합된 산업으로 20 세기 후반부터 제조업 현장에 투입되기 시작한 이 후 현재까지 산업용 로봇이 주류를 이루고 있다. 최근에는 로봇산업의 선진기술을 보유한 미국, 일본 등을 중심으로 인간생활과 밀접한 서비스 로봇의 개발이 활발하게 진행되고 있다.

1980 년대 말부터 생산현장에 본격적으로 투입된 우리나라의 로봇산업은 2007 년 제조용 로봇의 경우 일본, 미국, 독일에 이어 세계 4 위의 규모를 나타내고 있다.¹ 그러나 우리나라의 로봇산업은 로봇 생산에 필요한 핵심기술 부품에 대한 수입 의존도가 높고 기술수준이 선진국에 비해 열위에 있어 관련 산업의 경쟁력 확보를 위한 전반적인 기술수준의 향상이 요구되고 있다.² 일본은 로봇산업을 시작한 초기단계부터 정부와 업계의 적극적인 정책지원과 투자 등으로 현재 세계 로봇시장에서 우월적인 지위를 차지하고 있는데, 이는 우리나라 로봇산업의 향후 발전에 있어 시사한 바 크다고 할 수 있다.

자동차 및 기계부품 산업에서는 생산성의 향상

을 위해서 다양한 형태의 로봇시스템이 연구되어 왔으며, 현재까지 많은 공정이 로봇으로 대체되어 성공적으로 운용되고 있다. 정밀부품 조립 분야에 사용되고 있는 산업용 로봇의 경우에는 기존의 싱글 암 로봇(single arm robot)이 이미 현장에서 사용되고 있지만, 근본적으로 그 적용의 범위와 기능에 한계가 있어 왔다. 즉, 사람처럼 두 팔을 사용해서 수행해야 하는 작업 동작이 요구되는 분야에서는 싱글 암 로봇의 적용이 근본적으로 적합하지 않으므로 다축 유연동작을 갖는 로봇에 대한 개발이 요구되어 왔다.

국내에서 듀얼 암 로봇(dual arm robot)에 관련된 연구는 거의 없는 실정이다. 반도체 웨이퍼 이송 로봇 가운데 듀얼 암 로봇이 있지만, 양팔을 독립적으로 제어하고 있으며, 작업 효율을 극대화하는 것이 목적이므로 듀얼 암 로봇의 개발 목적과는 큰 차이가 있다. 그리고 대부분 스카라(SCARA) 형태의 듀얼 암 로봇이어서 그 적용 범위가 매우 제한될 수 밖에 없다.

듀얼 암 로봇에 대한 해외 연구 동향을 보면 2006 년도 독일에서 개최된 AUTOMATICA 에서 독일항공우주연구소(DLR)의 서비스용 듀얼 암 로봇과 (주)야스카와전기(YASKAWA)의 산업용 듀얼

암 로봇이 출시되었다.³ 특히 ㈜야스카와전기는 자동차 생산라인에 투입이 가능한 듀얼 암 로봇을 생산하고 있으며, 성공적으로 상용화된 유일한 듀얼 암 로봇 중 하나이다.⁴ 물론 그 외에도 스카라 형태의 듀얼 암 로봇은 다수 존재하지만, 수직다관절형의 팔을 가지는 산업용 듀얼 암 로봇으로서 는 ㈜야스카와전기가 유일하다. ㈜야스카와전기에서 최초로 상용화한 듀얼 암 로봇의 출시에 따라 새로운 신규시장이 창출될 것으로 예상되며, 이러한 듀얼 암 로봇에 대한 핵심기술을 확보하지 못하면, 로봇기술에 있어서의 기술적 중속성이 더욱 심화될 것으로 예상된다.

본 특집호에서는 듀얼 암 로봇에 대한 국내의 개발 현황을 소개하고 듀얼 암 로봇에 필요한 요소 기술을 설명하고자 한다.

2. 듀얼 암 로봇 개발 동향

듀얼 암 로봇에 관한 연구는 주로 미국, 일본, 독일을 중심으로 이루어지고 있으며 이들 중 대표적인 연구기관에 대한 연구 동향을 살펴보고자 한다.

2.1 Tohoku University

Tohoku 대학에서는 우주공간에서 사용할 용도로 Fig. 1 과 같은 2 개의 7 자유도의 팔(arm)로 구성된 DARTS(Dual Arm Robot Teleoperation in Space)를 개발하였다.⁵ 각각의 팔은 6 자유도 햅틱 인터페이스(haptic interface)를 통하여 원격 조작(teleoperation)에 의해서 제어될 수 있으며 양팔의 협력 작업이 가능하다. 이를 위해서 6 자유도의 힘토크(force/torque) 센서가 양 손목에 붙어 있으며 물건을 옮겨줄 수 있는 간단한 구조의 손이 부착되어 있다. 제어는 실시간 운영체제인 VxWorks 상에서 PC 환경으로 구현되었다.

DARTS 의 가장 특징적인 것은 듀얼 암 로봇은 우주공간에 있지만 햅틱 시스템은 지구상에 있어 슬레이브(slave)와 마스터(master)가 매우 먼 시간적 공간적 거리를 가진다는 것이다. 이 때문에 지상의 마스터 운전자는 가상현실(virtual reality)에 의해서 구현된 가상 듀얼 암 로봇을 보면서 작업을 하게 된다. 그리고 Fig. 2 와 같이 2 개의 7 자유도의 플렉시블 암(flexible arm)으로 구성된 듀얼 암 로봇 ADAM 을 개발하였다. ADMA 은 우주에서 우주정거장의 패널을 열고 커넥터를 끼우거나 전선을 연

결하는 등의 역할을 한다.

2.2 University of Texas at Austin

University of Texas at Austin 에서는 Fig. 3 과 같이 2 개의 7 자유도 팔과 3 자유도의 몸통(torso) 부분이 결합되어 총 17 자유도로 구성된 듀얼 암 로

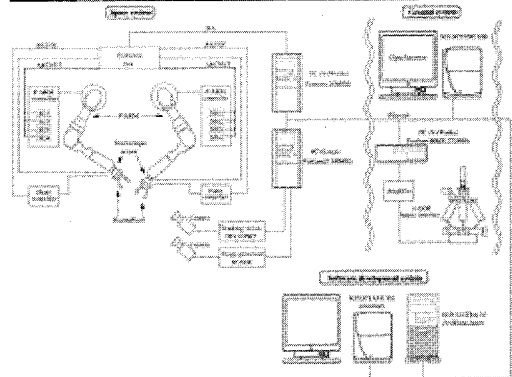
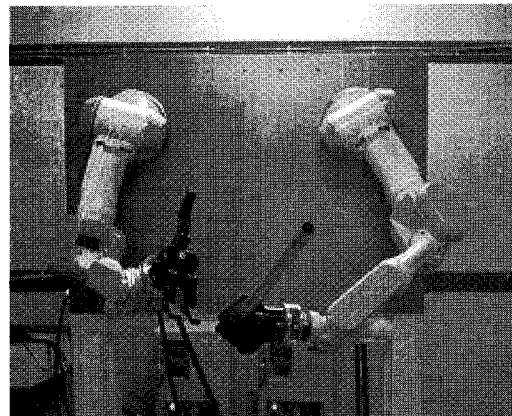


Fig. 1 DARTS(Tohoku University)

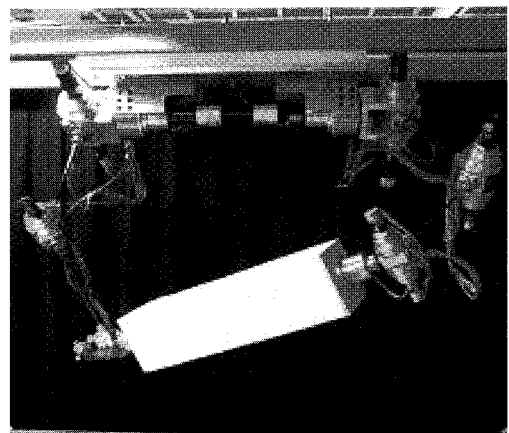


Fig. 2 ADAM(Tohoku University)

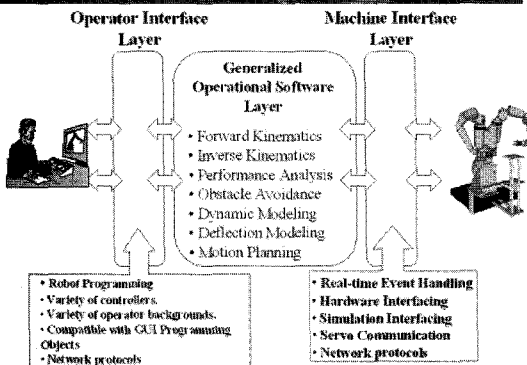
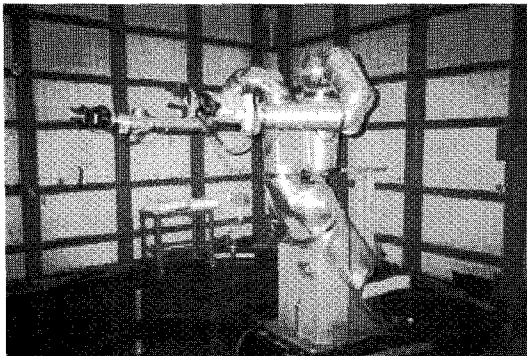


Fig. 3 Dual Arm Robot(The University of TEXAS at Austin)

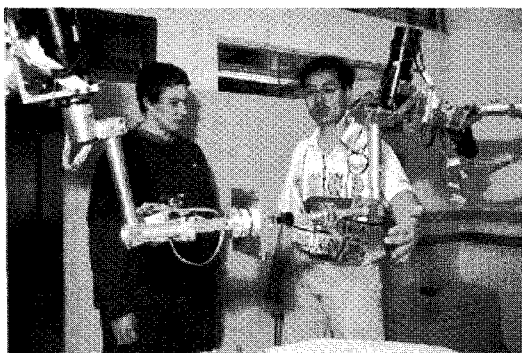


Fig. 4 Dual Arm Robot(Mcgill university)

봇을 개발하였다.⁶ 이 로봇은 보통의 인간형 로봇과는 다른 독특한 기구학적 특징을 가지고 있다. 이 로봇의 양 팔은 대부분의 인간형 로봇과 달리 어깨의 측면에 부착되어있지 않고 어깨 위에 부착되어 있다. 이 때문에 로봇의 움직임이 인간의 움직임과는 많은 차이가 있다. 그러나 이것은 로봇 암과 몸체의 간섭을 최소화하고 작업영역은 최대화하기 위한 것이다.

손목의 끝에는 6 자유도의 힘토크 센서가 장착

되어 있다. 또한 사용하기 쉽고, 범용성을 고려한 OSCAR(Operational Software Component for Advanced Robotics) 로봇 운영 프로그램을 개발하여 제어에 적용하였다.⁷ 로봇 각각의 팔은 6.9kg의 가반하중(payload)를 가지며, 양팔을 모두 이용할 경우 13.8kg의 가반하중을 가진다. 비교적 작은 가반하중을 가지는 것이 단점이지만, 고부하의 작업용으로 개발되었던 것은 아니다. 양팔을 벌렸을 때 최대 길이는 1,960 mm이다.

2.3 McGill University

Mcgill university에서는 Concordia university, Bombardier Inc.와의 공동연구로 두 개의 7 자유도의 암과 Rediestro-1, Rediestro-2으로 구성된 Fig. 4의 듀얼 암 로봇을 개발하였다.⁸ 이 로봇 시스템은 협력작업의 구현을 위한 힘 제어 기법의 연구용으로 개발되었으며 원격조작으로 동작된다.

2.4 독일항공우주연구소(DLR)

Fig. 5는 2006년 AUTOMATICA에 전시되었던 DLR의 서비스용 듀얼 암 로봇이다.⁹ DLR에서는 휴머노이드의 작업력 향상에 주력하여 로봇을 개발하였다.

DLR 로봇의 팔에는 각 관절에 부착된 토크센서를 이용하여 외력에 대한 대응력을 높였으며 허리의 3 자유도는 사람과의 충돌에 대비하여 스프링(spring) 효과를 가지도록 제작하였다. DLR 로봇은 로봇 손의 기능이 매우 우수하고 모듈(modular)로 설계되어져 있다. 즉, 로봇의 손과 로봇의 팔의 마지막 부분은 단지 파워 케이블과 신호선 한 가닥만으로 전기적 연결을 유지하고 있다. 이 때문에 각기 다른 기능의 로봇 손을 로봇 팔에 탈착할 수 있다. 이러한 모듈 설계는 DLR 로봇의 모든 모터와 전류제어기가 DLR 자체에서 개발되었기 때문에 가능하였다. DLR 로봇은 이러한 매니플레이터, 핸드, 그리고 비전 시스템을 이용하여 세계에서 가장 진보된 휴머노이드 상체를 개발하였다. DLR 로봇의 정교한 손은 각각 4개의 손가락으로 구성되어 있으며 각각 4 자유도를 가지고 있다. 따라서 한 개의 손에서만 16 자유도가 발생한다. 두 개의 손을 가지고 있으므로 손에서만 32 자유도가 발생한다. 각각의 팔이 7 자유도를 가지고 있으므로 양팔에서 14 자유도가 발생한다. 머리는 제외하더라도 허리에서 3 자유도를 가지므로 총 49 자유도를 가진다. 물론 머리 부분의 자유도를 합하면

50 자유도를 훨씬 상회한다. 그러나 모두 모듈화되어 있으므로 로봇의 외부로는 파워 케이블과 통신 케이블 한 가닥만 나와 있을 뿐이다. 모든 부분이 모듈화되어있기 때문에 모든 부분을 서로 다른 연구기관에서 별도로 연구하는 것이 가능하다. 이것은 연구의 효율성 면에서 매우 특별한 의미를 가진다.

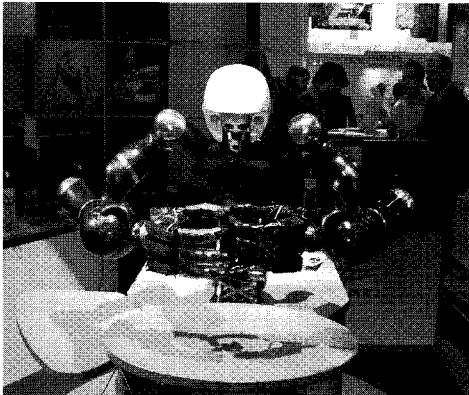


Fig. 5 Dual Arm Robot(DLR)



Fig. 6 MOTOMAN DA20

Table 1 Specifications of MOTOMAN DA20

Controlled Axes	13(Right 6, left 6, rotate 1)	
Payload	20kg/arm	
Repeatability	±0.1mm	
Maximum Speed	Rotate	2.97rad/s, 170°/s
	S, L, U	2.97rad/s, 170°/s
Speed	R, B	5.24rad/s, 300°/s
	T	10.1rad/s, 580°/s
Mass	240kg	

2.5 Yaskawa

성공적으로 상용화된 듀얼 암 로봇시스템으로서 Fig. 6 과 같은 (주)야스카와전기의 AUTOMAN DA20 이 있다.^{3,4} DA20 은 Table 1 과 같이 13축 다관절 타입의 듀얼 암 로봇으로 가반하중 20kg/arm 이고 한쪽 팔은 6 축에 의한 고자유도, 고가반의 로봇이다. 일반적인 산업용 6 축 다관절 로봇과 동일한 기구학적 구조를 가진 양 팔이 어깨의 앞쪽에 부착되어 있는 점에서 일반적인 인간형 로봇과는 구조적인 차이를 보인다. 새로운 축 구성에 의한 간편한 구조와 넓은 동작영역, 자유자재로운 자세와 유연한 움직임으로 핸들링 및 조립용도 등에서의 복잡하고 수준 높은 작업이 가능하여 자동차 생산라인에 투입 가능하도록 개발되었다.

DA20 로봇은 양팔을 사용함으로써 생산성을 극대화시키는 것이 일차적인 목표이다. 즉 양팔에 서로 다른 그리퍼(gripper) 혹은 공구를 장착함으로써 공구의 착탈 작업으로 인한 시간의 손실없이, 연속적으로 진행되어야 하는 작업을 상대적으로 더 빠른 시간에 마칠 수 있다. 로봇의 양팔은 스카라 형태의 로봇이며, 스카라 로봇이 몸통의 전면에 부착된 것으로 보면 된다. 따라서 지면과 수평한 작업 면에서의 작업이 다수인 경우에 매우 유리한 구조이다. 물론 구조적으로 스카라 로봇보다 훨씬 다양한 작업공간의 확보가 가능하다. 그리고 또 하나의 장점은 바로 양팔을 이용한 협력작업을 수행하는 것이다. 이러한 기능으로 인하여 양팔의 사용이 필요한 조립라인에 투입하는 것이 가능하게 되었다. Fig. 7 은 듀얼 암 로봇 2 대와 싱글 암 로봇 한대가 서로 협력하여 조립작업을 진행하고 있는 것을 보여주고 있다.

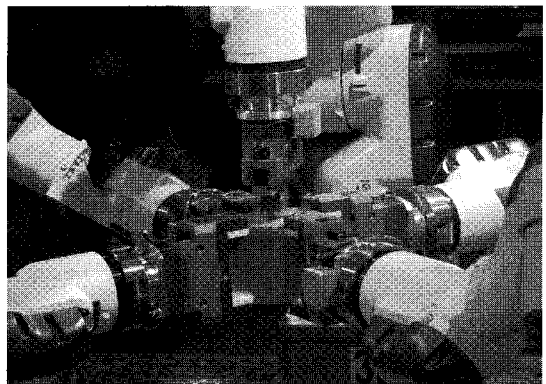


Fig. 7 Assembly task of MOTOMAN

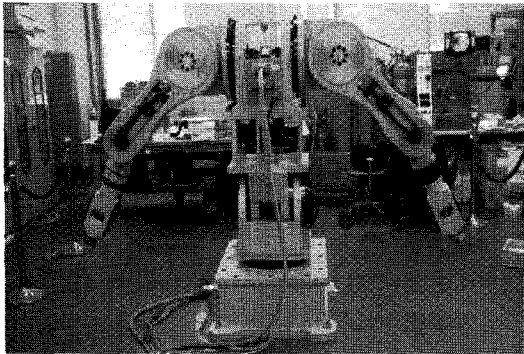


Fig. 8 Dual arm Robot(Wia Co. Ltd)

Table 2 Specifications of dual arm robot(WIA)

	Specification
Controlled Axes	14
Repeatability	±0.02-±0.07 mm
Position accuracy	±2.41 mm
Payload	10 kg/arm
Maximum Torque	9 kgf-m
Torque accuracy	0.44 kgf-m
Maximum velocity	1-3axis 100 deg/s
	4-6axis 130 deg/s

2.6 국내 개발 동향

국내에서는 듀얼 암 로봇시스템에 관련된 연구가 거의 없는 실정이다. 반도체 웨이퍼 핸들링 로봇 시스템 가운데 듀얼 암 로봇 시스템이 있지만 힘 제어를 통한 협력 작업이 전혀 이루어지고 있지 않다.

위아(위)에서는 듀얼 암 로봇에 대한 독자 기술 확보와 신규 시장 창출에 미리 대비하기 위해 Fig. 8 과 같은 듀얼 암 로봇을 개발하였다.^{10,11} 개발된 듀얼 암 로봇은 2 자유도의 몸체(torso), 각각 6 자유도의 양팔을 가지고 있다. Table 2 는 로봇의 사양을 나타낸다. 그러나 듀얼 암 로봇의 무게 대비 가반하중 부족, 부피와 무게 증대로 인한 서버모터의 용량 증대, 케이블 동선에 의한 디자인의 제약 등의 문제점이 있었다.

3. 듀얼 암 로봇의 요소 기술

3.1 기술 동향

산업용 로봇은 단순한 반복 작업을 효과적으로 수행하기 위하여 사용되었으며 생산성의 향상은

이미 오랜 시간 동안 입증되어 왔다. 그러나 지금까지 산업용 로봇은 주로 싱글 암의 형태를 가지고 있었으므로 그 적용의 범위가 매우 한정될 수밖에 없었다. 사람이 양팔을 사용해서 작업해야 하는 정교한 작업에서는 싱글 암은 여전히 부적합하였다.

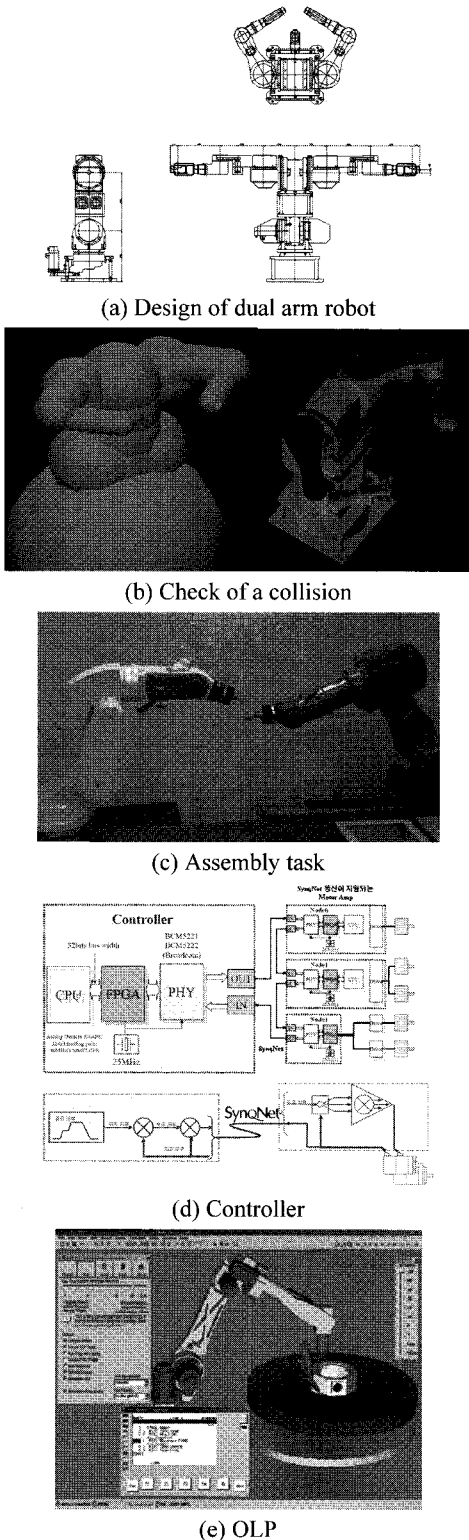
저임금을 앞세운 중국과 최첨단의 로봇 기술을 앞세운 일본의 자동차 산업에 대응하기 위해서는 자동차 생산라인에 적합한 다기능로봇시스템(multi task robot system)의 빠른 도입은 필수적인 것으로 생각된다. 그러나 이러한 로봇의 도입에 있어서 듀얼 암 로봇 시스템에 대한 핵심기술의 확보없이 일본의 시스템을 가감없이 도입한다면 로봇기술에 있어서의 현재의 기술적 종속성은 더욱 심화될 것으로 사료된다.

3.2 주요 요소 기술

고정밀 로봇의 기본 구성 부품들에 대한 생산 기술이 국내에서는 충분히 준비되어 있지 않으므로 대부분의 주요 부품들을 수입에 의존하고 있다. 로봇은 크게 기구부의 개발과 제어로 구분할 수 있는데, 로봇 전용 제어기에 관련된 기술은 상당 부분 수입에 의존될 수밖에 없다. 상용화에 적합한 국내 로봇 제어기를 사용할 수 있다면 기구부의 개발과 제어 알고리즘에 집중할 수 있겠지만 현실적으로 불가능하므로 결국 기술적 종속성을 피하기 위해서는 제어기의 독자개발이 필요하다. 이 때문에 제한된 시간과 자원을 기구부의 개발과 제어기의 개발로 나누어 사용해야 한다는 것이 큰 어려움이 된다. 그러나 국내에서도 이론적인 연구는 이미 상당수준까지 진전되어 있으므로 이러한 연구결과를 바탕으로 실용화에 박차를 가한다면 충분히 가능하리라고 생각된다.

양팔을 사용하여 협력 작업을 할 수 있는 산업용 정밀부품 조립용 듀얼 암 로봇 시스템의 개발에 필요한 요소기술은 다음과 같다(Fig. 9).

- ① 듀얼 암 로봇시스템의 설계/제작 기술
- ② 정밀 조립을 위한 Wrist/Gripper 설계/제작 기술
- ③ 듀얼 암 로봇을 위한 교시 기술
- ④ 듀얼 암 로봇을 위한 협력작업 기술
- ⑤ CAD 데이터로부터 3 차원 작업경로 생성 알고리즘 및 소프트웨어 기술
- ⑥ Off-Line Program(OLP) 기술
- ⑦ 시스템 통합 기술



본 특집호에서는 국내에서 처음 개발된 산업용 듀얼 암 로봇에 대한 소개와 개발에 요구되는 요소기술들에 대한 연구 결과에 대해서 순차적으로 소개하고자 한다.

4. 결론

사람의 두 팔에 해당하는 듀얼 암 로봇 시스템은 아직 산업체에서 보편화되지는 않았지만 대학이나 연구소 등에서 연구를 주도하고 있으며, 최근 일본 도요타 자동차와 야스카와 로봇 회사에서 자동차 생산 라인에 적용하기 시작하였다. 기존의 산업용 로봇 시스템으로 작업하기가 어려운 정밀 부품 조립공정에 로봇의 적용 범위를 확대하기 위해서는 부품 조립공정에 필요한 유연동작과 협력 작업을 할 수 있는 듀얼 암 로봇의 개발이 시급하다. 따라서 듀얼 암 로봇 개발을 통해 자동차 및 기계 부품 산업의 생산 라인에 유연성을 갖는 로봇 시스템을 적용하고 국내 로봇산업의 활성화를 기대할 수 있을 것으로 사료된다.

후 기

본 연구는 산업자원부 지역산업중점기술개발사업의 지원에 의한 것입니다.

참고문헌

1. IFR Statistical Department, "WORLD ROBOTICS 2008," International Federation of Robotics, pp. 9-15, 2008.
2. Jung, M. T., "2020 Vision and Strategy of Robot Industry," KIET, pp. 11-28, 2007.
3. <http://www.automatica-muenchen.de>
4. YASKAWA Co. Ltd, <http://www.motoman.com>
5. Yoon, W. K., Tsumaki, Y. and Uchiyama, M., "An Experimental Teleoperation System for Dual-Arm Space Robotics," Journal of Robotics and Mechatronics, Vol. 12, No. 4, pp. 378-384, 2000.
6. University of Texas at Austin, <http://www.robotics.utexas.edu/rrg/>
7. Kapoor, C. and Tesar, D., "A Reusable Operational Software Architecture for Advanced Robotics," Ph. D. Dissertation, Mechanical Engineering, The University of Texas at Austin, 1996.

Fig. 9 Key technology for design of dual arm robot

8. McGill University, <http://cim.mcgill.ca/research/1999AnnualReport/html/node144.html>
9. DLR, <http://www.dlr.de/en/>
10. Go, S. J., Lee, Y. J., Boo, K. S. and Shin, Y. S., "Development of Control System and OLP for Dual Arm Robot," ISIS 2007 Proc. of the 8th Symposium on Advanced Intelligent Systems, pp. 636-640, 2007.
11. Go, S. J., Han, H. G., Lee, Y. C., Jung, C. G., Shin, Y. S. and Lee, Y. J., "Study on Development of Hollow Shaft Servo Assembly for Dual Arm Robot," Proc. of KSPE Spring Conference, pp. 43-44, 2008.