

오프라인 교시작업을 위한 통합 로봇제어시스템의 구현

Integrated Robot Control System for Off-Line Teaching

° 안철기*, 이민철*, 손권**, 이장명***, 김성권****

*부산대학교 기계공학과 (Tel: (051) 510-2439; Fax: (051) 512-9835; E-mail: mclee@hyowon.cc.pusan.ac.kr)

**부산대학교 기계공학과 (Tel: (051) 510-2308; Fax: (051) 512-9835; E-mail: kson@hyowon.cc.pusan.ac.kr)

***부산대학교 전자공학과 (Tel: (051) 510-2378; Fax: (051) 515-5190; E-mail: jmlee@hyowon.cc.pusan.ac.kr)

****삼성전자 (Tel: (0331) 200-2400; Fax: (0331) 200-2434;)

Abstract : An integrated Robot control system for SCARA robot is developed. The system consists of an off-line programming(OLP) software and a robot controller using four digital signal processor(TMS320C50). The OLP has functions of teaching task, dynamic simulator, three dimensional animation, and trajectory planning. To develop robust dynamic control algorithm, a new sliding mode control algorithm for the robot is proposed. The trajectory tracking performance of these algorithm is evaluated by implementing to SCARA robot(SM5 type) using DSP controller which has conventional PI-FF control algorithm. To make SCARA robot operate according to off-line teaching, an interface between OLP and robot controller in the integrated system is designed. To demonstrate performance of the integrated system, the proposed control algorithm is applied to the system.

Keywords : Integrated robot control system, SCARA robot, Off-line programming software, Sliding mode control, Digital signal processor.

1. 서론

다품종 소량생산으로 나아가는 현재의 산업동향으로 인해 조립용 로봇의 작업환경도 다양하게 변화하고 있고, 작업 자체도 복잡해지고 있다. 유연적으로 변화하는 작업환경에 유연하게 대처하기 위해, 부하변동으로 인한 외란에 강한 로봇제어가 필요하다. 또한 보다 간편하고 안전하게 로봇의 작업을 교시할 수 있고, 로봇의 다양한 정보를 보다 손쉽게 사용자에게 전달할 수 있는 사용자 인터페이스를 갖추어 작업의 변화에 신속하게 대응할 수 있는 조립용 로봇제어시스템이 요구되고 있다.

본 연구팀에서는 위와 같은 요구를 충족시키기 위해 세 가지의 연구주제를 설정하여 연구를 진행시켜 오고 있다. 즉, 강한 로봇의 제어 알고리즘에 대한 연구, 보다 빠르고 많은 메모리를 갖춘 로봇제어기에 관한 연구, 그리고 안전하고 사용하기 편한 사용자 인터페이스 시스템으로서 오프라인 프로그래밍에 관한 연구이다. 다년간에 걸친 연구로 로봇제어 알고리즘으로는 외란에 강인하면서 채터링을 경감시킨 슬라이딩 모드 제어 알고리즘^[2]을 개발하였고, 로봇제어기에는 고속의 DSP(TMS320C50)를 사용한 4축 스카라 로봇제어기^[1]가 개발되었다. 그리고 로봇의 3차원 애니메이션을 제공하는 동적시뮬레이터를 갖추어 로봇 제어 환경을 가상적으로 실현한 오프라인 프로그래밍(OLP) 소프트웨어^[1]가 개발되어 왔다. 그러나 이러한 연구들은 개별적으로 진행되어 왔기 때문에 유연한 로봇 제어 시스템으로서의 종합적인 연구는 되지 못하고 있는 실정이었다.

이에 본 연구에서는 개발된 로봇제어기와 OLP 소프트웨어 사이에 인터페이스를 구축하고, 로봇제어 알고리즘으로 개발된 슬라이딩 모드 제어를 적용하여 통합 로봇제어시스템을 구현하였다. 개발된 슬라이딩 모드 제어 알고리즘은 실제로 산업현장에서 사용되는 로봇에 적용하여 기존의 산업용 제어와 성능비교평

가^[1]를 행하여 제안한 제어 알고리즘의 우수성을 입증하였다. 제안된 강한 제어 알고리즘과 오프라인 교시기능을 갖춘 통합 로봇제어시스템을 구현함으로써 생산성과 안정성을 확보하고자 한다.

2. 통합 로봇제어시스템

본 연구에서 구현하고자 하는 통합 로봇제어시스템의 기본 골격은 로봇의 제어환경을 가상적으로 실현하는 OLP 소프트웨어와 실제 로봇의 구동을 실현하는 온라인 로봇제어기로 이루어진다. OLP는 개인용 컴퓨터 상에서 동작하고, 로봇제어기는 DSP를 사용한 관절제어기와 서보드라이브로 구성된다. 이 두 가지 시스템의 통합은 하드웨어와 소프트웨어의 연결로 이루어진다. 하드웨어의 연결은 개인용 컴퓨터로 이루어지는 호스트 컴퓨터와 온라인 로봇제어기와 하드웨어적인 인터페이스를 의미한다. 소프트웨어의 연결은 호스트 컴퓨터 상에서 동작하는 OLP 소프트웨어와 로봇제어기상에서 동작하는 제어프로그램간의 통신을 의미한다. 구성된 통합 로봇제어시스템의 전체구조는 그림 1과 같다.

2.1 하드웨어 구조

하드웨어의 구성은 호스트 컴퓨터와 로봇제어기로 이루어진다. 로봇제어기는 4축제어를 위한 4개의 관절제어기와 서보드라이브로 구성된다. 본 연구에서 구성되는 통합 로봇제어시스템의 하드웨어 구조는 그림 2와 같다.

호스트 컴퓨터는 IBM PC 586을 사용한다. 호스트 컴퓨터는 총괄적인 로봇제어를 담당한다.

관절제어기는 고속의 처리 속도를 가지는 TI사의 32bit 정수형 DSP인 TMS320C50을 메인 프로세서로 사용하며 한 개의

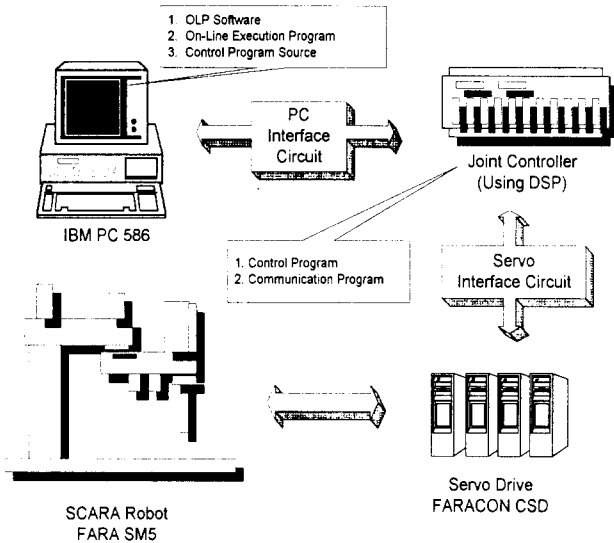


그림 1. 통합로봇제어시스템 구성도

Fig. 1. Composition of the integrated robot control system

관절제어기가 로봇의 한 축을 담당하게 된다. 각 축의 관절제어기는 아날로그 입출력을 위해 12비트 A/D, D/A 변환기를 내장하고 있으며 프로그램 메모리와 데이터 메모리로써 각각 64kbyte의 RAM을 사용한다^[4]. 그리고, 4장의 관절제어기를 관리하기 위해 메인 보드가 존재한다. 메인 보드에는 공통 메모리로서 64kbyte의 RAM이 설치되어 있어 호스트 컴퓨터와 4개의 관절제어기가 공유하게 된다. 그리고 변조정회로가 있어 데이터의 충돌을 방지하도록 설계되어있다. 관절제어기를 구동하기 위한 제어프로그램은 ROM을 사용하거나, 메인 보드의 공통메모리를 통해 호스트 컴퓨터에서 다운로드하는 두 가지 방법을 사용할 수 있다.

서보드라이브는 디지털형의 서보드라이브인 FARACON CSD를 사용하고, 제어대상으로는 조립용으로 최근에 생산된 FARA SCARA SM5를 사용하였다.

로봇제어기를 구성하기 위해 먼저 관절제어기와 서보드라이브를 연결하는 회로를 구성하였다. 사용된 서보드라이브는 단축모터용으로 4축의 로봇제어를 위해서는 인터페이스 회로가 필요하게 된다. 서보 인터페이스에는 모터의 엔코더 신호의 계수를 위한 16비트 병렬 업다운 카운트회로와 3축 브레이크 제어를 위한 릴레이, 로봇의 영점 복귀와 안전성 확보를 위한 리미트 센서를 인식하는 회로를 내장하도록 설계했다. 영점 복귀를 위해 각 축 모터의 Z 상 신호를 관절 제어기의 인터럽트에 연결하였다. 그리고 서보의 온(on), 오프(off), 리셋동작을 관절제어기에서 제어하도록 하고, 서보의 알람신호를 관절제어기에 인식하도록 하였다.

통합 로봇제어시스템을 구현하기 위한 호스트 컴퓨터와 관절제어기간의 인터페이스는 호스트 컴퓨터의 메모리 맵 방식과 I/O 맵 방식의 두 가지 종류의 인터페이스를 사용한다.

먼저 메모리 맵 방식의 인터페이스를 사용하여 호스트 컴퓨터가 메인 보드의 공통메모리에 접근할 수 있도록 해준다. 이 방법에 의해 호스트 컴퓨터는 공통메모리를 관절제어기와 공유할 수 있게 된다. 이 공통메모리를 통해 시스템 초기화 시에 호스트 컴퓨터에서 제어 프로그램을 각 축 제어기에 공급한다. 로봇의 운전 중에는 공통메모리의 특정 번지를 할당하여 호스트 컴퓨터에서 위치 명령과 서보 제어명령을 관절제어기에 보내며, 로봇의 실제 데이터값과 서보의 상태정보가 관절제어기에서 호스트 컴

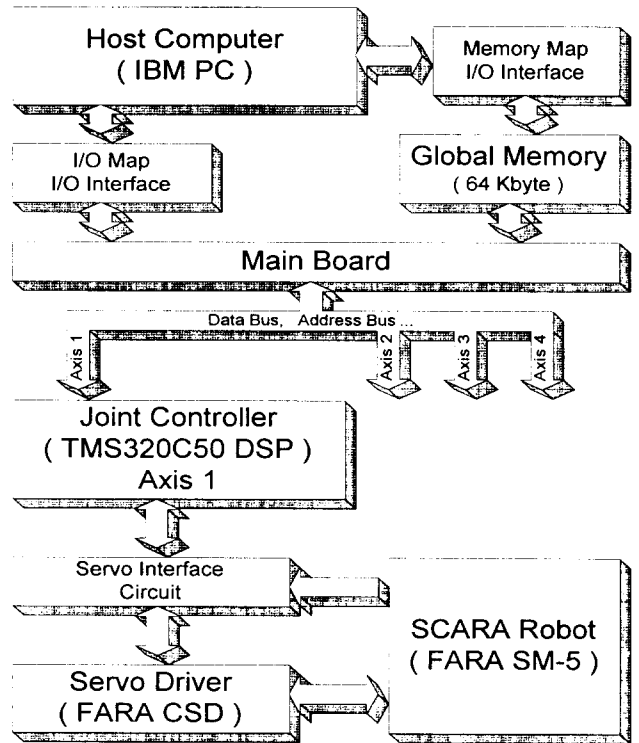


그림 2. 통합로봇제어시스템의 하드웨어 구조

Fig. 2. Structure of hardware in the integrated robot control system

퓨터로 전송된다.

I/O 맵 방식의 인터페이스는 호스트 컴퓨터가 관절제어기의 메인 프로세서(DSP) 제어단자를 직접 제어할 수 있도록 하기 위해 사용하였다. 이 방법에 의해 호스트 컴퓨터가 관절 제어기의 초기화 동작, 즉 공통메모리에 다운로드되어 있는 제어프로그램을 관절제어기의 프로그램메모리로 옮기는 작업을 제어할 수 있게 된다. 그리고 관절제어기의 신호선을 확인하여 제어프로그램이 정확하게 다운로드 되었는지를 확인할 수 있게 된다. 또한 4개의 관절제어기를 동시에 구동하기 위하여 호스트 컴퓨터가 관리하도록 설계되어있다.

2.2 소프트웨어 구조

오프라인 교시기능을 갖는 OLP 소프트웨어와 온라인 로봇제어기를 연결하기 위해서 본 연구에서는 호스트 컴퓨터와 관절제어기가 공유하는 공통메모리의 특정번지를 할당하여 16msec 간격으로 통신을 하도록 하였다. 소프트웨어의 구성은 호스트 컴퓨터에서 동작하는 프로그램과 관절제어기에서 동작하는 프로그램으로 이루어진다. 통합 로봇제어시스템을 구성하는 소프트웨어의 구조는 그림 3과 같다.

호스트 컴퓨터에는 OLP 소프트웨어, 온라인 실행 프로그램, 데이터 확인 프로그램이 있고, 통합환경 프로그램이 이 세 프로그램을 연결하도록 구성되어 있다.

OLP 소프트웨어는 로봇과 작업환경을 컴퓨터에서 가상으로 구현하여 교시, 계획계획, 시뮬레이션, 성능평가 등의 일련의 작업을 오프라인 상태에서 수행할 수 있도록 되어 있다. 본 연구에서 사용되는 OLP의 주된 기능은 교시기능과 계획생성기능이다. OLP 상에서의 교시작업화면은 그림 4와 같다.

온라인 실행 프로그램은 관절제어기와 통신을 하는 프로그램이며, 로봇제어기를 실제로 제어할 수 있게 된다. 산업용 로봇제

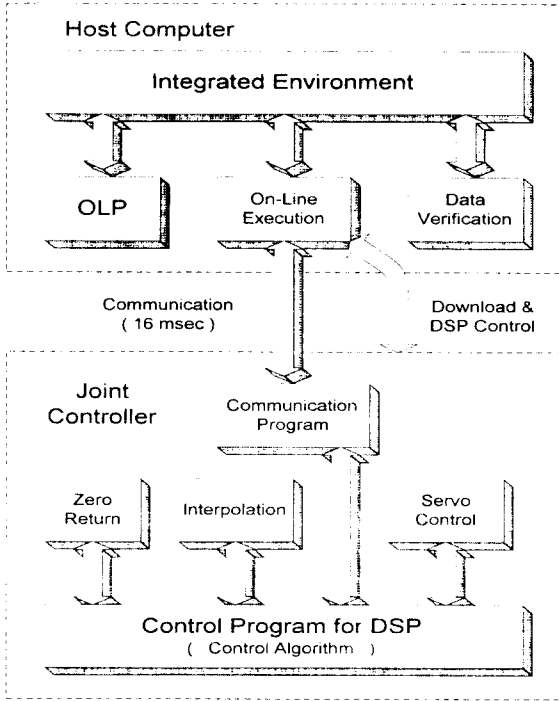


그림 3. 통합로봇제어시스템의 소프트웨어 구조
 Fig. 3. Structure of software in the integrated robot control system

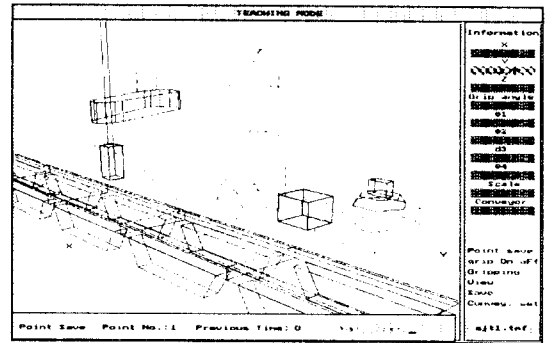


그림 4. OLP상의 교시작업
 Fig. 4. Teaching task on OLP

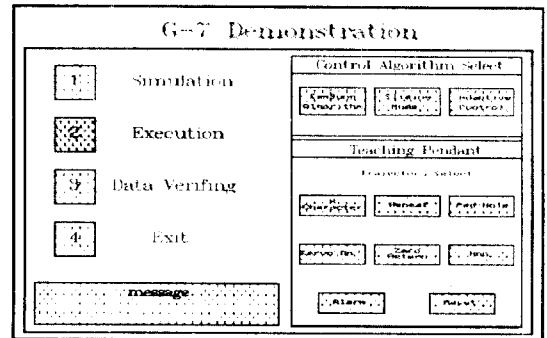


그림 5. 통합환경에서의 온라인 실행
 Fig. 5. On-line execution in the integrated environment

여기의 교시상자 기능을 이 온라인 실행 프로그램에서 하게 된다. 관절제어기 제어프로그램의 다운로드도 행하게 된다. 온라인 실행화면은 그림 5와 같다.

데이터 확인 프로그램은 로봇제어를 시행한 후 그 결과데이터를 모니터 화면상에 바로 보여 줄 수 있는 프로그램이다. 데이터 확인화면은 그림 6과 같다.

통합환경 프로그램은 위의 세 프로그램을 포함하여 화면상에서 선택할 수 있도록 하는 프로그램이다.

관절제어기의 DSP용 제어프로그램은 1 msec의 샘플링시간마다 동작하는 제어 알고리즘외에 16 msec 주기의 통신프로그램과 영점 복귀 프로그램, 16 msec간격의 궤적을 1msec간격의 궤적으로 만들기 위한 보간 프로그램, 그리고 서보의 온, 오프, 리셋 등의 동작을 지시하고, 서보의 오동작을 검사하는 서보 제어 프로그램으로 이루어진다.

3. 로봇제어 알고리즘

본 연구의 통합 로봇제어시스템에 적용된 제어 알고리즘으로 외란에 강한 특성을 보이는 슬라이딩 모드 제어 알고리즘을 사용하였다. 적용된 제어 알고리즘은 기존의 산업용 제어 알고리즘과 성능을 비교 평가하여 제어성능의 우수성을 검증하였다.

3.1 슬라이딩 모드 제어

가변구조제어이론을 근간으로 하는 슬라이딩 모드 제어는 비선형성, 파라미터 변동, 잡음 등에 강한 제어 시스템을 실현할 수 있는 제어 이론으로 제어대상의 모델링시 어느 정도의 불확실성이 포함되더라도 우수한 제어 추종 성능을 부여한다. 그러나, 과도한 전환제어입력으로 인해 채터링이 발생하여 소음, 진동의 문제를 야기시키는 문제점이 있다. 본 연구팀은 이러한 채터링의 경감을 위해 불감대, 퍼지제어, 속도오차 보상기법을 연

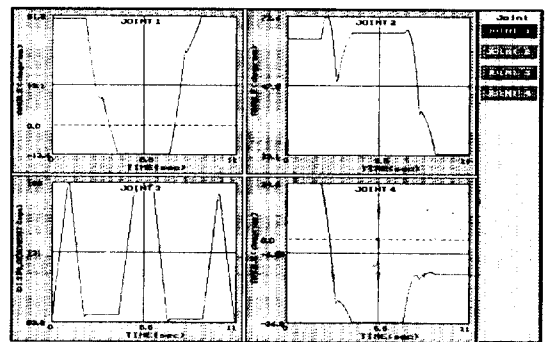


그림 6. 데이터 확인
 Fig. 6. Data verification

구해왔다. 본 연구의 통합 로봇제어시스템에는 불감대와 속도오차 보상기법을 적용한 슬라이딩 모드 제어 알고리즘을 적용하여 외란에 강인하면서, 채터링을 경감시킨 제어효과를 얻었다^[3].

3.2 기존의 산업용 제어와의 성능 비교 평가

제안된 슬라이딩 모드 제어의 성능을 검증하기 위해 산업현장에서 사용되고 있는 로봇 시스템에 적용하여 기존의 산업용 제어와 비교함으로써 그 성능을 평가하였다. 평가대상으로 삼은 로봇시스템은 FARACON SRC401로서 로봇제어 알고리즘으로는 PI-FF(proportional, integral, and feedforward compensation)제어를 사용한다^[5]. 제어대상인 로봇은 통합 로봇제어시스템에서 사용하는 로봇과 같은 FARA SCARA SM5 로봇을 사용한다.

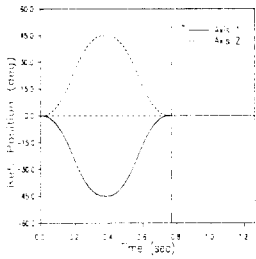


그림 7. 1,2축의 위치계적
Fig. 7. Reference position for axis 1 and axis 2.

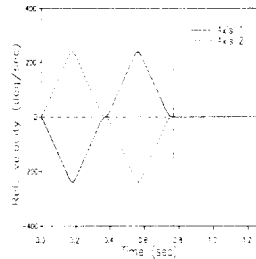


그림 8. 1,2축의 속도계적
Fig. 8. Reference Velocity for axis 1 and axis 2.

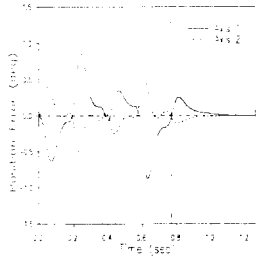


그림 9. 무부하시의 산업용 제어
Fig. 9. PI-FF with no payload.

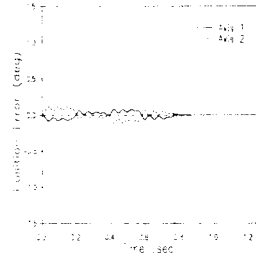


그림 10. 무부하시의 슬라이딩모드제어
Fig. 10. SMC with no payload.

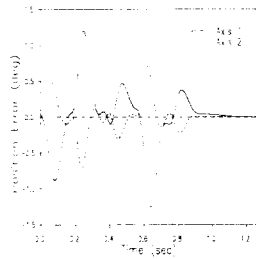


그림 11. 2 kg 부하시의 산업용 제어
Fig. 11. PI-FF with 2 kg payload.

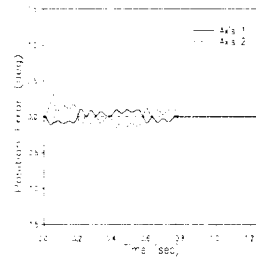


그림 12. 2kg 부하시의 슬라이딩 모드 제어
Fig. 12. SMC with 2 kg payload.

성능평가를 위한 로봇 수행작업은 1,2축은 영점기준위치에서 각각 45°씩 움직였다가 다시 영점위치로 복귀하는 작업이다. 이 작업을 수행했을 때의 결과로써 슬라이딩 모드 제어 알고리즘과 기존 산업용 제어 알고리즘(PI-FF)을 비교하였다. 이 작업은 PTP(point to point)방식으로 궤적계획을 행하도록 교시하였고 보다 정확한 비교평가를 위해 로봇작업은 매니플레이터의 비선형성분이 가장 두드러지게 나타나도록 최고속도로 교시하였다. 주어진 작업에 대한 PTP방식에 의한 1,2축의 위치계적은 그림 7과 같고, 속도계적은 그림 8과 같다.

부하변동에 대한 성능평가를 위해 부하를 달지 않은 상태와 2 kg의 부하를 달았을 때의 실험을 두 제어알고리즘에 대해 각각 수행하였다. 그림 9는 무부하시의 기존 산업용 로봇제어시의 1,2축의 위치오차선도이고, 그림 10은 무부하시의 슬라이딩 모드 제어(sliding mode control; 이하 SMC라 명함)시의 1,2축의 위치오차를 나타낸다. 궤적추종성능이 확연히 개선되었음을 볼 수가 있

다. 또한 SMC의 특징으로 오버슈트가 극히 작음을 알 수 있다.

그림 11과 그림 12는 2 kg의 부하를 달았을 때의 기존 산업용 로봇제어와 SMC의 위치오차를 나타낸다. SMC가 부하변동에도 강한 특성을 보임을 볼 수가 있다.

이 결과로부터 SMC가 기존 산업용 로봇제어보다 우수한 것을 볼 수 있고 특히 부하 변동 시에 많은 차이가 있는 것으로 보아 SMC의 외란에 강한 특성을 입증할 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 오프라인 교시기능을 갖춘 스카라 로봇에 대한 통합 로봇제어시스템을 개발하였다. 스카라 로봇의 동적 제어 실현을 위해서 고속 처리 속도의 32bit DSP(TMS320C50)를 이용하여 개발된 4축의 관절제어기를 이용한 관절제어기와 서보 드라이브와의 인터페이스를 실현하여, 로봇제어기를 구성하였다. 그리고, 호스트 컴퓨터와 로봇제어기간의 인터페이스를 구현하였다. 이를 통해 호스트 컴퓨터가 로봇제어기와 통신을 가능하게 하여 로봇에의 작업교시 및 동작 상태 점검을 수행할 수 있도록 하였다. 오프라인으로 이루어지는 가상의 로봇제어시스템(OLP)과 온라인으로 구동하는 개발된 실제의 로봇제어시스템을 통합함으로써 로봇을 구동하기 전에 오프라인으로 교시작업을 행하고, 그 결과를 가상적으로 실현하여 확인할 수 있도록 하였다. 따라서 기존의 교시상자 방식에 비해 보다 안전하고, 효율적인 로봇 구동이 가능해졌다. 이와 같이 로봇의 제어에 보다 편리한 사용자 환경을 제공함으로써 다양하게 변화하는 작업환경에서 보다 능동적으로 대처할 수 있을 것으로 사료된다.

로봇제어 알고리즘으로는 로봇 실시시스템에 적용이 용이하고, 외란에 강한 제어특성을 지니는 슬라이딩 모드 제어 알고리즘을 개발하여 적용하였다. 스카라 로봇(SM5)에 대한 실험을 통하여 그 성능 평가를 수행하여 기존의 제어기와 비교분석한 결과, 개발된 슬라이딩 모드 제어는 부하의 증가 및 기타 외란에 대하여 강한 제어성능을 나타냄으로써 기존의 제어기에 비하여 매우 강한 제어성능이 유지됨을 검증하였다.

향후 본격적인 유연 생산시스템으로의 발전을 위해서, 본 연구에서 개발한 통합 로봇제어시스템에서 OLP상의 가상 로봇 환경과 실제 로봇 환경을 일치시키도록 보정하는 것이 중요한 과제로 남아있다.

참고 문헌

- [1] K.Son, C.W.Jung, M.H.Lee, M.C.Lee, J.M.Lee, D.S.Ahn, And S.H.Han, "A Human-Robot Interface System Developed in PC's", 12th JRSJ Conference, pp. 101~104, 1994.
- [2] M.C.Lee, et al, "Implementation of a New Sliding Mode Control for SCARA Robot", '95 ACC, vol.1, pp. 1387~1391, 1995.
- [3] 안철기, 이민철, 이만형, 김성권, 김진오, "산업용 스카라 로봇 제어와 슬라이딩 모드제어의 성능 비교평가", 대한기계학회 '96춘계학술대회논문집, pp. 389~383, 1996.
- [4] 장정규, 박의열, 이장명, "DSP를 이용한 SCARA 로봇의 동적 제어 시스템 설계", '95한국자동제어학회학술대회논문집, pp. 455~458, 1995.
- [5] 최상진, 강준혁, 이진원, 황찬영, 김동일, 김성권, "DSP chip을 이용한 full digital 4축 서보 보드의 개발", '95한국자동제어학회학술대회논문집, pp. 625~628, 1995.