

## 고속 지능형 수치 제어 시스템 개발



윤 원 수

□(주)터보테크 기술연구소  
□wsyun@turbotek.co.kr



이 강 주

□(주)터보테크 기술연구소  
□kjee@turbotek.co.kr



김 찬 봉

□(주)터보테크 기술연구소  
□chanbong@turbotek.co.kr

관심 분야

■ 개방형 제어기 기술  
■ 표준화된 인터페이스 기술  
(Filed Bus, OPC, XML)

■ 컴퓨터를 이용한 수치제어 장치(CNC)개발  
■ 개방형 제어기(Open Controller)개발

■ CNC 및 일반 제어기  
■ 나노 단위 정밀도 구현 방법 및  
IT 융합을 통한 제어기의 기술혁신

### 1. 서 론

수치 제어(Computer Numerical Control, CNC) 시스템 기술은 기계 장치 산업 및 제조 산업 전반에 걸쳐 큰 영향을 미치게 되는 국가적인 핵심 기반 기술이라고 할 수 있다. CNC 시스템은 주로 공작기계 제어를 위해 사용되어 왔으며, FANUC, Siemens 등으로 대표되는 소수 대형 기업체의 CNC 제품들이 전 세계 시장을 독점하고 있다. 국내의 경우에도 대부분의 CNC 시스템을 국외 제품에 의존하고 있는 실정이다. 이러한 선진 기술은 기존의 시장 장악력과 기술력을 바탕으로 고속/지능형 가공 시스템으로 기술을 확대해 가고 있다. 이에 선진 기술과의 기술 격차를 줄이는 것은 물론이고 고속/지능형 시스템을 선도하고, 국내의 시장에 진출하기 위해서는 고정밀도의 고속/지능형 수치 제어 시스템의 실용화 기술이

개발되어야 한다.

이러한 고속/지능형 가공 시스템의 기술이 개발되기 위해서는 개방형 Platform의 CNC 개발이 우선적으로 개발되어야 하며, 인터넷 원용 감시/진단/서비스 시스템, NURBS 보간 기능, 절삭 시뮬레이션 등의 고속/지능형 단위 요소 기술들이 함께 개발되어야 한다. 또한 이러한 기술들이 효과적으로 개방형 CNC에 탑재되어야 한다.

제어 시스템 기술의 국제적인 경향을 살펴보면, 먼저 PC와 주변 기술의 발달에 따라서 전용의 하드웨어 기반 제어 시스템에서 모듈화된 개별 소프트웨어 제어 시스템으로 변하고 있다. 또한 소수의 전문가들만에 의해 지원되는 시스템에서 소비자 제품으로 변하고 있으며, 네트워크 기술의 발전과 함께 폐쇄된 고립 기술에서 네트워크 분산 기술로 나아가고 있다<sup>[1][2]</sup>. 이러한 국제적 흐름에 맞추어 본 연구진은 고속/지능



형 가공 시스템에 적합한 개방형 제어기 기술을 수년간 개발해 왔다.

개방형 제어(Open Architecture Control)<sup>[2][3][4]</sup>는 공작기계 제어 분야에서 널리 알려진 용어이다. 1990년대 초반부터 미국(OMAC), 유럽(OSACA) 그리고 일본(JOP)<sup>[5][6]</sup>에서는 컨소시움을 구성하여 개방형 제어기에 대한 연구를 오랜 기간동안 진행해 왔다.

한편 대학 연구기관으로 미국의 미시간 대학 내에 있는 RMS/ERC<sup>[2]</sup>에서는 재구성형 가공 시스템을 개발하고 있다. 재구성형 가공 시스템의 핵심은 재구성형 제어 시스템이며 이를 위해 개방형 제어 시스템을 연구해 왔다.

국내의 경우에도, 국제적인 흐름에 따라 국내에서도 CNC 제어장치 전문 업체와 공작기계 업체들 간에 컨소시움을 구성하여 1995년부터 1999년까지 PC 기반 CNC 장치를 개발하기 위한 과제를 수행하였다<sup>[7]</sup>. 그러나 국제적인 컨소시움에서 소외되어 있어 개방형 제어기의 아키텍처, Global Common HMI, API, 그리고 소프트웨어 PLC 등의 국제 표준에 대한 기술 분석이 부족한 형편이다.

터보테크는 한국기계연구원이 총괄하는 “고속 지

능형 가공 시스템 기술 개발”의 중기거점 과제 제 6 과제 주관기관으로서 “고속 지능제어 및 원격 통신 시스템 기술”을 1999년부터 개발해 오고 있다. 이에 현 시점까지의 연구 내용과 결과들에 대해서 다음과 같이 소개하도록 한다.

## 2. 연구 목표

본 과제의 최종 목표는 고속지능형 공작기계에 적합한 Plug/Play 기술을 도입한 고속 지능형 CNC 시스템 개발을 목적으로 하며, 1, 2단계로 구분하여 연구가 진행되고 있다. 현재는 2단계 1차년도가 종료되어 가는 시점이며, 과제의 최종 년차를 남겨두고 있다.

1999년 12월부터 2002년 9월까지의 1단계 기간 동안의 연구 개발 목표는 고속·지능형 공작기계에 적합한 PLUG/PLAY 기술을 도입한 개방형 CNC 시스템을 개발하는 것이었다.

본 과제에서는 PC(Personal Computer)를 기반으로 제어시스템의 개방형 PLUG/PLAY 기술을 개발하기 위하여, 제어 시스템의 하드웨어 및 소프트웨어를 기능별 모듈로 정의하고 표준 인터페이스 방식을

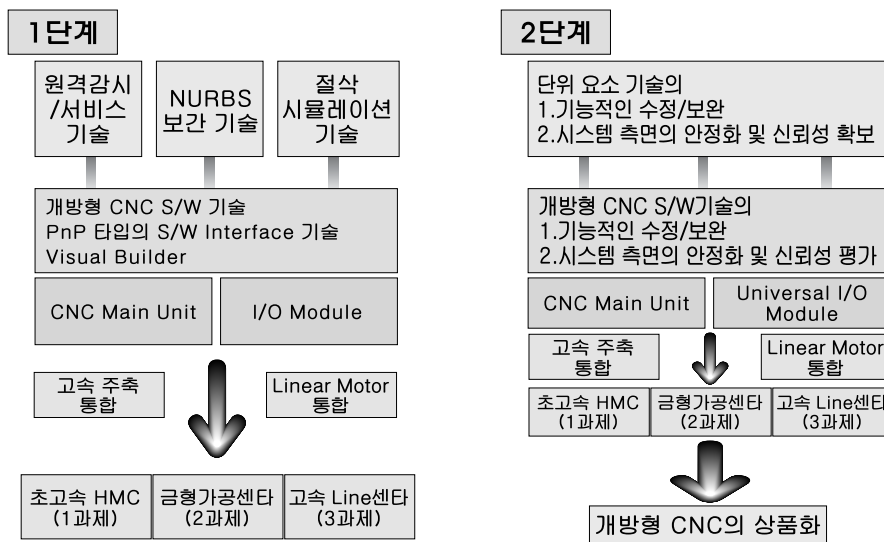


그림 1. 단계별 주요 연구 내용 및 개발 추진 체계





설계하도록 하였다. 또한 다양한 종류의 가공 시스템을 적용 될 수 있도록 인터페이스 방식을 설계하는 것을 목표로 하였다. PLUG/PLAY 기술은 인터페이스의 개방화된 모듈을 손쉽게 시스템으로 구성시키는 기술이다. 여러 가공 산업분야 또는 다양한 개발 환경에서 각 개발자가 앞에서 정의한 개방형 모듈 기술을 이용하여 모듈을 개발하고 이 개발된 모듈을 가지고 가공 제어장치를 구성시켜 신뢰성, 적응성, 생산성을 대단히 크게 높일 수 있다.

본 기관은 1단계 과제에서 개방형 CNC 시스템의 하드웨어와 소프트웨어를 성공적으로 개발하였으며, 또한 고속/지능형 요소 기술로서 이상상태 감지 및 원격 서비스 시스템, NURBS 보간기 그리고 절삭 시뮬레이션 소프트웨어 등이 위탁기관의 연구를 통하여 개발되었다. 이러한 고속/지능형 요소 기술들은 터보테크의 CNC 시스템에 실장되었으며 성능 평가가 진행 중이다.

본 과제의 2단계(2002년 10월 ~ 2004년 9월) 개발에서는 1단계에서 개발된 개방형 CNC 시스템과 단위 요소 기술에 대한 현장 적용 테스트를 통해 신뢰성을 확보하고, 필요한 경우에 대해서 수정 보완하도록 하여, 사업화가 가능하도록 개발 작업을 완료하는 것을 주요 목표로 한다. 그림 1은 각 단계별 주요 개발 목표와 개발 추진 체계를 나타내고 있다.

### 3. 연구 내용 및 결과

본 과제의 주요 연구는 크게 CNC 소프트웨어 개발, CNC 하드웨어 개발 그리고 시스템 통합의 3가지 주제로 구분할 수 있다.

#### 3.1 CNC 소프트웨어 개발

##### 3.1.1 개방형 HMI(Human Machine Interface)

HMI는 화면 구성, CNC 시스템 내의 공유 메모리(shared memory)의 맵 데이터 파일 정보 출력, 그리고 조작자의 요구에 따라서 주어진 업무를 수행하는 3가지 주요 기능을 담당하게 된다.

HMI는 개방형 구조로 설계되며 사용자는 화면 구

성 및 화면 전환에 대한 HMI 데이터 파일을 이용하여 자신의 응용에 맞게 구성할 수 있도록 하였다. 이러한 방식을 채용함으로써 다른 기종에 응용할 경우에도 CNC 소프트웨어의 재컴파일 없이 손쉽게 화면을 구성할 수 있다.

##### 3.1.2 화면 편집기(Screen Editor)<sup>[8]</sup>

3.1.1절에서 제시한 개방형 HMI의 경우, 사용자 혹은 개발자가 화면 구성에 필요한 파일들을 수작업으로 작성해야 하는 어려움이 있다. 보통의 경우, CNC는 대략 20여개의 화면으로 구성되지만 사용자 혹은 대상 기계에 따라 보다 많은 개수로 확장되거나 화면이 수정될 수 있다. 화면 편집기는 각각의 화면들을 카테고리에 맞추어 트리화하여 보여주는 Screen Tree Space와 직접 객체를 추가, 삭제, 편집할 수 있는 작업영역(Workspace), 객체가 가지고 있는 속성을 열람하고 변경할 수 있는 속성창의 세 부분으로 나눌 수 있다. 화면 편집기의 주요 기능은 다음과 같다.

- HMI 데이터 파일의 입출력 확인, 각 개체의 속성 편집
- 화면 추가/제거시 Screen Tree Space의 Tree 자동 확장 및 화면별 8개의 Function key 개체 자동 추가 기능
- 파라미터 편집 기능
- 기존 Machine의 HMI 데이터 및 파라미터 파일 가져오기 기능
- 편집된 HMI 데이터 및 파라미터 파일을 해당 Machine으로 보내기 기능
- ASF 모듈 등록/추가/삭제 기능
- 편집/재구성한 CNC 화면 미리보기 기능

##### 3.1.3 ASF(Application Specific Function)<sup>[8]</sup>

ASF는 개방형 HMI 기능으로 구현이 불가능한 응용 기능을 구현 하는데 목적이 있다. NC 프로그램 편집 기능이나 공구 경로 보기 같은 기능이 이에 포함된다. 각종 제어기 시스템을 개발하기 위해서는 다양한 기능의 소프트웨어 모듈들을 정의하고 각각을



개발하여 통합하는 과정을 거치게 된다. 이러한 소프트웨어 모듈을 개발하고 통합하는 과정에서 새로운 모듈을 추가하거나, 모듈을 시스템에서 제거하거나, 또는 다른 모듈로 교체하는 등의 작업에 어려움이 발생하게 된다. ASF 기술은 모듈에서 사용되는 기본적인 함수를 정형화하고 인터페이스 방식을 정의함으로써, 소프트웨어 모듈에 대한 확장, 유지보수, 통합에 대한 편의성을 제공한다. 본 연구에서 개발한 CNC 시스템 대부분의 기능들이 ASF 방식으로 개발되었다. 대표적인 ASF 적용 모듈로는 가공 프로그램을 관리하는 프로그램 관리 기능, 가공 경로를 확인할 수 있는 공구경로보기 기능, 사용자 편의를 고려한 프로그램 선택 기능, 간편한 CAM프로그램인 대화형 프로그래밍 기능 등이다. 현재 20여 가지 이상의 모듈들이 개발되어져 있다.

#### 3.1.4 Visual Builder

기존의 CNC로 새로운 기종을 개발하거나 보완하기 위해서는 화면 편집, 파라미터 설정 작업이 필요하다. 이 작업들은 자주 발생하는 일이지만 효율적으로 이루어지지 못했으며 많은 시간이 소모되었다. 파라미터 설정은 파라미터 에디터에서 이루어진다. 그러나 이 작업은 파라미터에 대해서 잘 알지 못하는 사람은 하기 어려운 일이다. 따라서 Visual Builder는 이와 같은 기존의 문제들을 해결하는 동시에 통합적인 개발 환경을 제공하는 것을 목표로 개발되었다. 개발자는 Visual Builder를 사용하여 보다 쉽고, 효율적으로 새로운 기종을 개발, 업그레이드할 수 있다. Visual Builder는 세 가지 모듈로 구분된다.

#### ◆Configurator

Configurator는 CNC의 전체에 해당하는 사항에 대한 세부 항목을 설정한다. 즉, Machine에 대한 정의, 축 설정, HMI설정, 그리고 Realtime 항목을 지정해준다. 이를 통하여 사용자는 CNC의 파라미터를 원하는 형태로 구성할 수 있다.

#### ◆화면 편집기 (Screen Editor)

3.1.2절에 제시한 화면 편집기가 Visual Builder의 하부 모듈로 삽입되어 있다.

#### ◆PLC Viewer

CNC에서 사용하는 PLC의 Ladder Diagram을 보여준다.

### 3.2 CNC 하드웨어 개발

#### 3.2.1 Universal I/O 모듈

본 연구에서는 기존의 I/O 모듈<sup>(8)</sup>을 모듈 타입으로 수정하여 Universal I/O Module을 개발하였다. 기존 I/O 모듈과 마찬가지로, 상위인 CNC 메인 유니트 내의 NC Interface 보드와 SERCOS 통신을 통하여 작업을 수행한다. SERCOS 통신 속도는 2Mbps 또는 4Mbps이다.

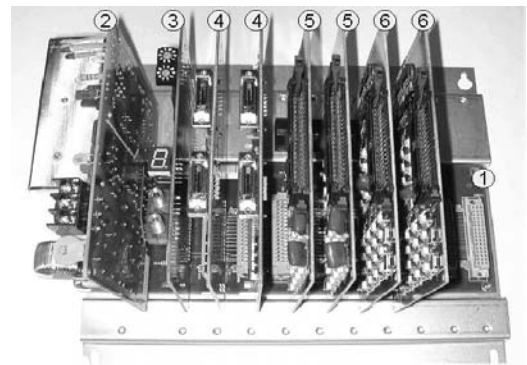


그림 2. I/O Module 사진과 기능 보드

- |                   |               |
|-------------------|---------------|
| ①: UIO-BACKPLANE, | ②: UIO-POWER  |
| ③: UIO-SERCOS,    | ④: UIO-SERVO  |
| ⑤: UIO-INPUT,     | ⑥: UIO-OUTPUT |

Universal I/O Module은 기본 모듈 보드인 UIO-BACKPLANE, UIO-POWER, UIO-SERCOS 보드와 기능 모듈 보드인 UIO-INPUT, UIO-OUTPUT, UIO-SERVO, UIO-STEPPING 보드로 구성된다. 모듈 자체는 내부 규약에 의한 내부 Bus를 사용하고 있다. 체결 방식은 Backplane인 UIO-BACKPLANE 보드에 UIO-POWER, UIO-SERCOS 보드를 기본으로 장착하고 적용 대상과 용도에 따라 UIO-INPUT, UIO-OUTPUT, UIO-SERVO, UIO-STEPPING 보드를 장착하여 I/O 모듈을 구성할 수 있다.



그림 2는 외장 사출물을 분해했을 때의 조립 상태를 보여주고 것으로 UIO-BACKPLANE 보드 위에 UIO-POWER, UIO-SERCOS 의 기본 보드가 탑재되어 있고, UIO-INPUT, UIO-OUTPUT, UIO-SERVO 보드가 각각 2개씩 탑재되어 있다.

### 3.2.2 CNC Main Unit

본 연구에서는 기 수행한 연구를 통하여 개발한 CNC 시스템에서 고속, 지능형 시스템 성능에 맞도록 CNC 메인 유닛을 수정/설계하였다.

기존에 본 기관에서 개발하였던 메인 보드는 Intel 의 Pentium 133Mhz급의 CPU를 사용하는 반면 본 과제를 통하여 개발된 Main board는 Pentium Celeron 533Mhz급의 CPU를 사용하고 있다. 따라서 기존 CPU의 수행 속도 개선뿐만 아니라, 단가 측면에서의 장점, 메인 모듈 내에서의 인터페이스의 간소화로 사후관리를 효율적으로 할 수 있다.

메인 모듈은 확장 보드를 위한 슬롯을 가지고 있으며, 확장 보드에 NC Interface 카드를 장착하는 구조로 되어 있다. NC Interface 카드는 SERCOS 통신, MPG(Manual Pulse Generator), CAN 통신 Interface를 수행하는 것으로 앞 절의 Universal I/O 모듈과 SERCOS 통신을 통하여 데이터를 주고 받게 된다.

본 과제에 적용된 Main 모듈의 사양은 표 1과 같다. Main 모듈에 사용된 CPU는 Intel Celeron 533 Mhz이다. Main memory는 SDRAM으로 필요에 따라서 32Mbyte부터 256Mbyte까지 사용 가능하다. 보조 기억 장치로는 20 Giga byte의 하드 디스크와 1.44M byte의 플로피 디스크를 지원한다. 운영체제는 Windows NT 4.0에 실시간 운영체제인 RTX 4.2를 채택하고 있다. 그래픽은 TFT LCD 모듈과 Analog RGB를 지원하며, 2개의 Serial port와 PS2 Keyboard, Mouse를 지원한다. 그리고 on-board Ethernet을 채택하고 있다.

CNC 메인 유닛은 TFT/LCD를 포함하는 MDI Unit, Main CPU 모듈(Main Board), 확장 보드, 그리고 NC Interface Card 등으로 구성된다. 그림 3은 CNC 메인 유닛의 구성도를 나타내고 있다.

표 1. Specification of main board

항 목	사 양
CPU	Intel Celeron 533 Mhz
Main Memory	SDRAM 128 Mbyte
Secondary Storage Device	HDD 20 Gbyte
Operating System	Windows NT 4.0 with RTX
Graphic Interface	TFT LCD, Analog RGB
I/O Interface	2 serial ports, Keyboard, Mouse

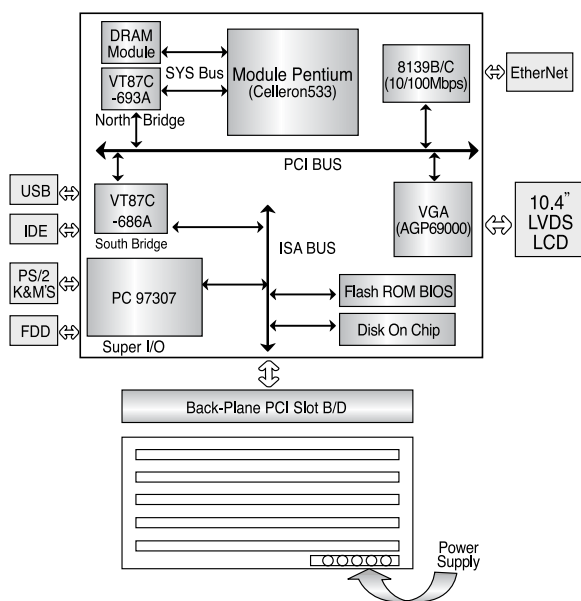


그림 3. 메인 유닛 인터페이스 개략도

## 3.3 System Integration

### 3.3.1 단위 요소 기술들의 통합

앞서 제시한 바와 같이 본 과제에서는 고속 지능형 제어 시스템 개발을 위하여 범용의 I/O 모듈과 CNC Main Unit을 포함하는 개방형 CNC H/W와 화면 편집기, ASF, Visual Builder 를 포함하는 개방형 S/W를 개발하였다. 본 절에서는 한국기계연구원<sup>[9]</sup>, 한국과학기술원<sup>[10]</sup>, 포항공대<sup>[11]</sup>의 3개 연구 기관에서 각각 개발한 “고속·지능형 가공 시스템 구현을 위한 원격감시 및 고장진단 기술”, “NURBS 곡선용 고

속 CAD/CAM 기술”, 그리고 “자유 곡면의 고속 절삭 시뮬레이션 시스템 기술” 등을 개방형 CNC 시스템에 탑재한 사례에 대해서 기술하도록 한다.

먼저 기계연구원에서는 개방형 CNC를 가지는 공작기계에서 고장을 지능적으로 진단하고 공작기계의 상태를 인터넷을 기반으로 원격 서비스할 수 있는 시스템을 개발하였다. 지능형 고장진단을 위해서는 진단모델이 적용된 FDS (Fault Diagnosis System)를 본 기관의 CNC에 실장하였다. 원격서비스를 위해서는 웹 서버, 원격지 공작기계 클라이언트, 서비스를 요구하는 클라이언트로 구성되는 시스템을 구축하고 이의 운용결과를 제시했다.

또한 한국과학기술원에서 개발한 NURBS 보간 알고리즘은 NCK (NC Kernel)와 통합되어 현재 본 기관이 자체 제작한 시뮬레이터에서 성능 시험 중이다. 이를 통하여 구현된 NURBS 보간기는 3차원 밀링 공구 경로의 NURBS 보간 기능, 실시간 운동명령생성, 기하학적/동력학적 특성을 고려한 이송속도의 최적화, 그리고 매개변수 근사법에 의한 보간전 가감속 구현 등의 기능을 가지고 있다.

마지막으로 포항공대에서는 CNC 가공에서 이송 속도를 최적화하기 위한 방법으로 이송 속도 스케줄링에 관한 연구를 수행하였으며, 독립적인 S/W로서 개발되었다. 이송 속도 스케줄링 모델을 개발함으로써 CNC의 성능을 향상시킬 수 있다. 그러나 CNC 시스템의 특성상, 포항공대에서 개발한 모듈은 CNC에 독립적인, 즉 off-line 시뮬레이션용 도구로서 활용할 예정이며, 향후 본 기관에서 CNC S/W의 보조 도구로서 확장하여 상용화할 것이다.

3개의 위탁기관의 연구 결과들은 터보테크의 제어 시스템에 탑재되거나 보조 도구로서 사용되고 있으며, 성능 평가 중이다.

### 3.3.2 CNC 하드웨어 Configuration

본 연구에서 개발한 CNC Main Unit과 Universal I/O module을 통합하고, 부가적인 기능 요소들을 추가하여 CNC 하드웨어 시스템을 구현할 수 있다. 본 CNC 시스템은 기본적으로 SERCOS 통신을 탑재하고 있기 때문에 아날로그 방식의 서보 드라이브 및

디지털 방식의 서보 드라이브와도 통신할 수 있으며, 일반 범용의 PC 와 결합하여 CNC 하드웨어를 구성할 수 있다. 또한 본 연구에서 개발한 I/O 모듈은 2개 이상의 Universal I/O 모듈을 SERCOS 통신으로 연결하고 ID setting 등의 단순한 작업을 통하여 확장이 가능하다.

본 과제에서 개발한 CNC 시스템은 다음의 4가지 유형으로 하드웨어를 구성할 수 있다.

- Analog Interface Configuration
  - 아날로그 서보/스핀들 드라이브 인터페이스
- Hybrid Interface Configuration
  - 아날로그/디지털 서보/스핀들 복합 인터페이스
- Digital Interface Configuration
  - 디지털 서보/스핀들 인터페이스
- Standard PC platform Configuration
  - 표준 PC를 이용하는 경우의 인터페이스

그림 4는 디지털 서보와 아날로그 스핀들 드라이브를 사용하는 복합형에 대한 하드웨어 구성을 보여주고 있다.

## 4. 연구 결과 및 결론

본 과제의 주관 기관인 (주)터보테크는 고속 지능형 제어 시스템 개발을 위하여 범용의 I/O 모듈과 CNC Main Unit을 포함하는 개방형 CNC H/W와 화면 편집기, ASF, Visual Builder 를 포함하는 개방형 S/W를 개발하였다. 한국기계연구원, 한국과학기술원, 포항공대의 3개 위탁 기관에서는 각각 “고속·지능형 가공 시스템 구현을 위한 원격감시 및 고장진단 기술”, “NURBS 곡선용 고속 CAD/CAM 기술 개발”, “자유 곡면의 고속 절삭 시뮬레이션 시스템 개발”을 통하여 제어 시스템의 고속, 지능형 기술을 탑재할 수 있도록 하였다.

본 과제의 1단계 개발을 통하여 개방형의 제어 시스템을 구축하였고, NURBS 보간기와 같은 고속 기술들을 개발하여 실장하였다. 그리고 CNC 내부 진단 모듈과 원격 서비스 모듈을 통합하여 지능형 기술



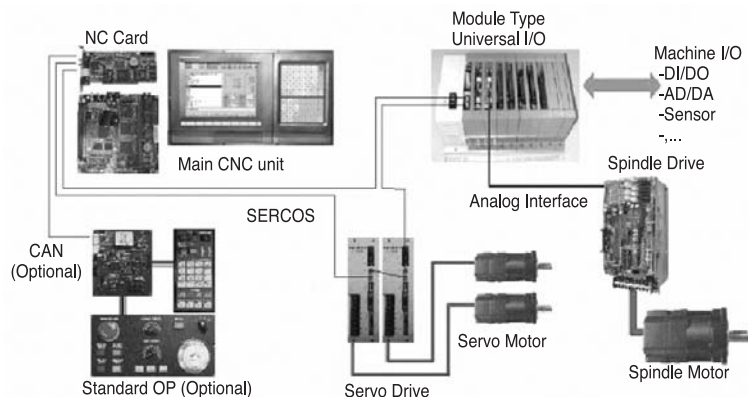


그림 4. 디지털 서보와 아날로그 스피들 드라이브에 대한 하드웨어 구성도

을 확보하였다. 또한 이송 속도 스케줄링과 같은 지능형 기술을 확보하여 생산성 향상에 도움을 줄 수 있도록 하였다.

본 과제의 2단계의 주요 목표는 개발 제품의 실용화, 상용화에 있다. 따라서 당해연도에는 실용적으로 활용가능한 지능형 소프트웨어 모듈(e-Service 모듈)을 개발하였으며, 1단계 개발하였던 화면편집기의 실용화를 위하여 실제 CNC 시스템 구축에 적용하여 그 실용성을 검증하였다.

또한 하드웨어의 성능 향상을 위하여 CNC 메인 보드의 CPU 성능을 533 MHz에서 733 MHz 급으로 수정, 보완하였다. 상용화를 위하여 Universal I/O 모듈의 상용화를 위하여 외장 설계를 재구성하였으며, CNC 하드웨어 시스템의 신뢰성 평가를 위하여 노이즈 테스트 및 환경 시험을 수행하였다. 신뢰성 평가 결과 본 과제를 통하여 개발한 하드웨어는 국제적인 규격을 충분히 만족하고 있는 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

[1] ARC Advisory Group, <http://www.arcweb.com>  
 [2] R. Katz, B. K. Min, and Z. Pasek, "Open Architecture Control Technology Trends," ERC/RMS Report #35, September 2000.  
 [3] Noker, P. M., "The PC'S CNC Transformation," Manufacturing Engineering, 1995. 11.

[4] Wright, P. K., "Principles of Open-Architecture Manufacturing," J. of Manufacturing Systems, Vol. 14, No. 3, 1995.  
 [5] "OSEC-I 보고서," OSE 연구회편, 1995. 9.  
 [6] "OSEC-II 보고서," OSE 연구회편, 1996. 10.  
 [7] "수치제어장치 기술개발에 관한 연구," 개발 보고서, 1998.  
 [8] 윤원수, 김찬봉, 권용찬, 한기상, 양희구, 김세광, 김주한, 박종권 "PLUG/PLAY 방식 고속 지능형 가공 시스템의 연구," 한국공작기계학회, 2000년도 추계학술대회 논문집, pp. 483-488  
 [9] 김선호, 김동훈, 한기상, 김찬봉 "공작기계의 지능형 고장진단 및 원격 서비스 모델," 한국정밀공학회지, 제19권 제12호, pp.168-178, 2002.  
 [10] 양민양, 최인휴, 김수진, 김주한, 김찬봉, "NURBS 보간 S/W 개발," 제2회 고속지능형 가공 시스템 기술 workshop, pp. 159-166, 2001.  
 [11] J.H. Ko, W.S. Yun, D.W. Cho, "Off-line Feed Rate Scheduling Based on Cutting Process Simulation in Pocket Machining", 2nd. International conference on advances in production engineering, Warsaw, Poland, June 7-9, 2001, part 2 pp.153-160.

