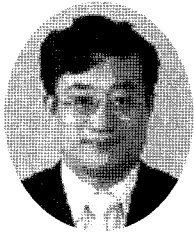
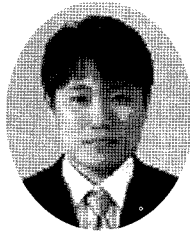


다그룹 다계통 지원이 가능한 수치제어장치 개발



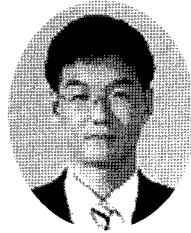
성 대 중

두산인프라코어
공작기계 연구센터
daejung.sung@doosan.com



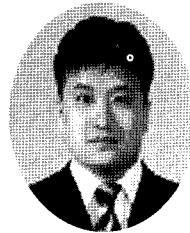
정 대 혁

두산인프라코어
공작기계 연구센터
daehyuk.chung@doosan.com



장 태 성

두산인프라코어
공작기계 연구센터
Taesung.jang@doosan.com



김 종 태

두산인프라코어
공작기계 연구센터
Jongtae.kim@doosan.com

1. 서론

1951년 MIT Servo 연구실에서 최초의 NC(Numerical Control) 공작 기계를 개발한 이래로, NC는 전자 기술 발전과 함께 자동화 시스템에 있어 필수불가결한 요소로서 자리매김하고 있다. 특히 1990년대 컴퓨터 성능의 발전과 함께 과거 전자회로에 의해 이루어진 수치제어장치의 구성 요소들이 컴퓨터와 소프트웨어로 대체됨으로써, 수치제어 장치는 CNC(Computerized Numerical Control)로 진화하게 되었다. NC의 CNC화는 NC의 수행속도와 기능적인 측면에서 커다란 발전을 가져왔으며, 특히 PC-Based NC의 등장과 함께 다양한 PC 기반 기술들과 소프트웨어 기술들이 CNC에 적용됨으로써, CNC의 기능은 과거에 비해 빠

르게 발전하게 되었다.

이러한 CNC 기술의 발전은 다양한 구조와 기능의 공작 기계의 출현을 가능하게 만들었으며, 고급 제어기술의 개발을 통해 기계의 성능과 기능을 비약적으로 발전시키고 있다. 이와 같은 CNC 기술의 중요성으로 인해 독일, 일본, 미국, 중국등의 제조업이 발전한 국가에서는 CNC 기술 자립에 힘을 쏟고 있으며, 개발된 기술의 이전, CNC 제품의 수출입은 국가에 의해서 통제되고 보호되고 있다.

국내의 경우에도 이러한 CNC 기술의 중요성을 인식하고, 1980년대부터 국가적인 투자를 진행하여 국산 CNC를 개발하는데 성공하였으며⁽¹⁾, 최근에는 두산인프라코어(주), 현원에서 CNC 제품을 개발 판매하고 있다. 그러나 중소기업의 경우, 해외 경쟁사에 뒤처지는 기술, 가격, 품질의 문

제로 인해 공작 기계에서 가장 큰 시장을 차지하는 범용기 시장이 아닌 전용기 시장에 주력하고 있으며, 두산인프라코어(주)만이 유일하게 자체 CNC를 Turning Center, Milling Center, Wire EDM에 적용 부착하여 판매하고 있다. 그러나, 이것 또한 2축 TC, 3축 MC등 기본 공작 기계에 국한된 것으로서, 최근 사용이 늘고 있는 4축 이상의 공작 기계와 다계통 복합기, 초정밀 공작 기계에는 해외 메이커의 제품을 전량 수입하여 사용하고 있는 실정이다.

이에 따라 두산인프라코어(주)에서는 다계통 수치제어장치분야에서의 선진 기술 확보 및 기술 자립을 위해 (주)동진, (주)리얼타임웨이브, 한국기계연구원, 한국생산기술연구원, 포항공과대학교, 단국대학교등과 함께 2005년 8월에서 2010년 1월까지 연구 개발을 통해 다계통 수치제어장치 개발에 성공하였다.

다음 장에서부터는 두산인프라코어(주)가 개발한 다그룹 다계통 수치제어장치인 다계통 e-CNC를 소개하며, 독자의 이해를 돕기 위해 먼저 2장에서는 다계통 수치제어장치와 복합 공작기계를 소개한다.

2. 다계통 수치제어장치와 복합 공작기계 소개

수치제어장치는 산업용 기계를 제어하는 모션 제어 장치로서, 기계의 동작을 정의한 프로그램을 해석하고, 이를 축 동작 명령으로 변환시키는 NCK(NC Kernel), 축 동작을 제외한 공작기계의 On/Off 동작을 제어하는 PLC(Programmable Logic Control), 공작기계의 축을 동작시키는 Servo & spindle 시스템으로 구성된다.

공작기계는 절삭 가공의 메커니즘, 기계의 구조에 따라 다양한 종류로 나뉘며, 가공 메커니즘의 상이성에 따라 기계를 제어하는 방식, 가공 메커니즘을 제어하는 방식, 사용자의 인터페이스 등에서 차이가 발생한다. 이에 따라, 공작 기계의 종류만큼이나 수치제어장치도 다른 형태로 발전해 왔다.

그러나, 1990년대 이후부터는 상이한 가공을 수행하기 위해 가공물을 옮기는 과정에서 발생하는 셋업 오차를 줄

이고, 가공의 효율성을 높이기 위해 복수개의 공정을 하나의 공작 기계에서 수행할 수 있는 복합 공작 기계가 개발되기 시작했다. 밀링과 선반을 하나의 기계에서 수행할 수 있는 Mill-Turn은 대표적인 복합 공작 기계의 예이며, 복합 공작 기계의 발전에 맞추어 수치제어장치도 복합 공정을 하나의 장치에서 제어할 수 있는 다계통 수치제어장치로 발전하게 되었다.

이미 많은 문헌들을 통해 다계통 수치제어장치와 복합 공작 기계의 정의 및 기술적 특징⁽²⁾과 장점^(3,4)들에 대해서 언급하고 있기에 본 논문에서는 이에 대한 설명을 생략한다.

3. 다계통 e-CNC 개발

CNC의 발전은 공작 기계의 발전과 함께하며, 공작 기계의 고속화, 고정밀화, 복합화, 지능화를 지원할 수 있는 방향으로 진행되고 있다. 즉, 복합화와 지능화를 위해 다계통 다그룹 지원 기능, PLC 기능의 강화, 제어 가능 축수를 늘리는 방향으로 발전이 이루어지고 있으며, 고속/고정밀화를 위해 Look ahead 기능의 강화와 나노 단위의 내부 연산 기능 지원, PLC 및 NC 작업의 고속화는 최근 CNC 기능 발전의 특징이라고 할 수 있다.

이미 일본, 독일등의 선진 메이커에서는 위에서 언급한 경향에 맞추어 3그룹 10계통의 고성능 제어기를 개발하고,

Table 1 Target Specification of Multi-Path e-CNC

성능 지표	목표 성능
최대 기계 Group수	3 Group
최대 계통수	10 계통
최대 제어 서보축 수	32축
최대 제어 주축 수	8축
최소 지령 단위(μm)	1nm
계통간 자동 오차 보정 기능	1μm
Look Ahead 블록 수	1000블록
블록 수행 시간(ms)	0.5ms
PLC 최대 프로그램 용량	112,000step(64,000/계통)
PLC 최소 Scan 시간(ms)	4ms
PLC 최대 접점수(입력/출력)	4096/4096 접점

- 계통 간 간섭체크: 프로그램의 오류 또는 다른 설정 오류로 인해서 두 개의 터렛이 간섭할 가능성이 있는 경우, 공구 파손이나 기계 자체의 파손 등을 방지하기 위해, 두 터렛이 접촉하기 전에 두 터렛 모두 감속 정지시키는 기능 개발이 필요하다.
- Balance Cut: 선반 가공 시, 피삭재의 직경이 길이에 비해 작은 경우, 피삭재가 휘어지는 현상이 발생한다. 이를 방지하기 위해 피삭재의 두 대칭점에서 가공 수행을 하며, 이 때 피삭재의 진동을 막기 위해 본 기능을 적용한다. Fig 4는 Balance Cut의 예를 보여주는 것으로서, 피삭재의 회전축을 중심으로 상하에 위치한 터렛 혹은 밀링 헤드등의 Tool post들이 동시에 가공하는 모습을 나타낸 것이다.
- 동기혼합제어: 한쪽 터렛의 임의의 축(계통 1)과 다른 쪽 터렛의 임의의 축(계통 2)을 동기 시켜 이동시키고,

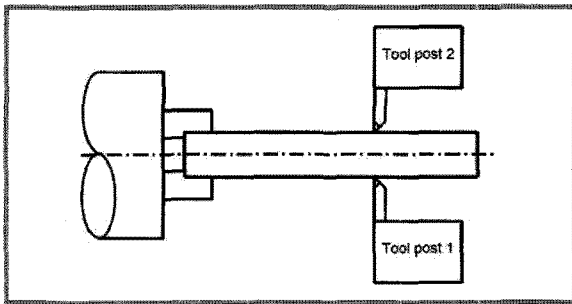


Fig. 4 Balance Cut

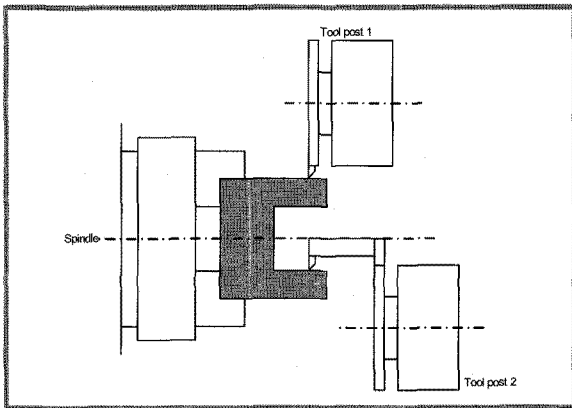


Fig. 5 Example of Synchronous Composite Control

한쪽 터렛의 임의의 축과 다른 쪽 터렛의 임의의 축의 이동지령을 바꾸어 넣어 입력해서 각각의 축을 이동시키는 기능을 의미한다. Fig. 5에서와 같이 하나의 공작물에 두 개의 터렛이 동시에 가공을 수행하는 것은 동기혼합제어 기능의 한 예이다.

- 계통간 주축제어: 특정 계통에 속하는 주축이 임의의 계통의 주축지령에 따르도록 주축 제어권을 전환하는 기능을 의미한다. 각 계통이 임의의 계통에 속하는 임의의 주축의 포지션코더 피드백 데이터를 받을지를 전환할 수 있으므로 계통1축에서 계통2축에 속하는 주축을 써서 나사절삭과 회전당 이송을 시행하는 등의 다계통 주축을 이용하는 제어가 가능하다. Fig 1에서 M35, M105, M135들이 계통간 주축 제어를 위해 사용되는 M

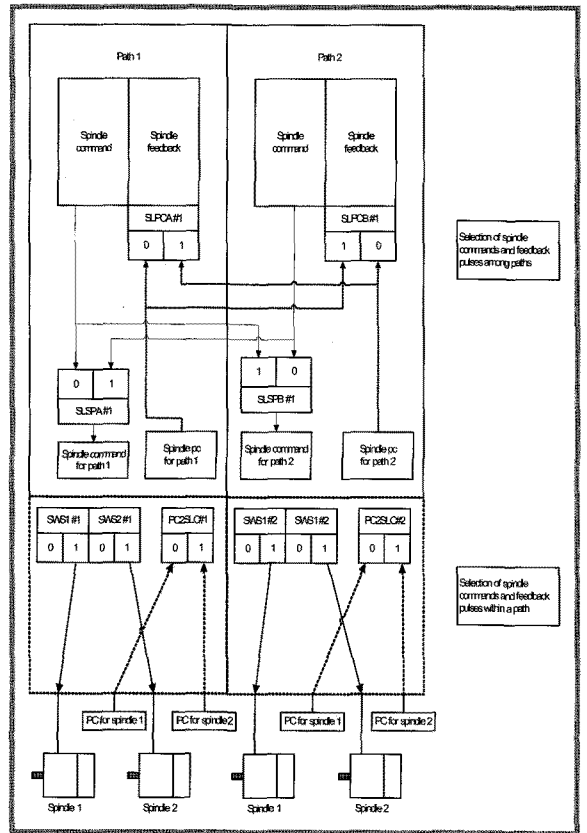


Fig. 6 Configuration of two paths' sharing four spindles belong to path 1 and 2⁽⁵⁾

코드들이다. Fig. 6은 2개의 계통이 4개의 주축을 공유하는 구성 예를 나타낸 것으로서, 각 계통이 2개의 주축을 포함하고 있지만, 주축 지령 선택 및 주축 피드백 선택 기능에 의해 계통에 상관없이 각 계통은 4개의 주축을 제어할 수 있다.

- 계통간 공통메모리: 여러 계통을 가지는 기계에 있어서 각 계통에 독립적으로 존재하고 있는 Custom Macro Common 변수 및 공구보정 메모리를 Parameter 설정에 의해 계통간 공통화하는 기능을 의미한다.

3.2 개방형 HMI(Human Machine Interface)

수치제어장치의 개방화는 사용자 그룹의 오랜 요구사항이었으며, OMAC⁽⁶⁾, OSACA⁽⁷⁾ 등과 같은 개방형 수치제어장치에 관한 연구들이 수행되어왔다. 그러나, 최근에는 NC의 안전성과 조작의 개방성을 극대화 시키기 위해 HMI 시스템에 국한된 개방화가 진행되고 있다. 즉, 수치제어장치 메이커들은 HMI 화면을 벤더 및 사용자가 일반 PC에서 직접 디자인할 수 있도록 구성해주는 HMI Customization 도구(e.g., Mitsubishi社의 NC designer) 와 외부 프로그램으로부터의 접근을 보장하기 위한 전용 라이브러리(e.g., FANUC사의 FOCAS Library)를 제공함으로써 개방화를 실현하고 있다.

다계층 e-CNC의 경우에도 HMI의 개방화를 제공하기 위해 Fig. 7과 같은 구조의 두산 고유의 HMI Framework을 설계 구현 하였다.

HMI Framework에서 CNC 전체 시스템은 기능 간의 상호 연관성에 따라 high-cohesion, low-coupling을 이루도록 다음의 3계층으로 구성되도록 설계하였다.

- Component 계층: 좌표축 표시, 알람 메시지 표시와 같은 응용 서비스를 제공하며, 하나의 응용 서비스는 기능적으로 독립된 개별적인 컴포넌트로 구현된다.
- Middleware 계층: Component 계층과 Hard-ware 계층을 연결해 주며, Component 계층을 위한 이벤트 처리, Menu Manager, NC 모니터링과 같은 플랫폼 서비

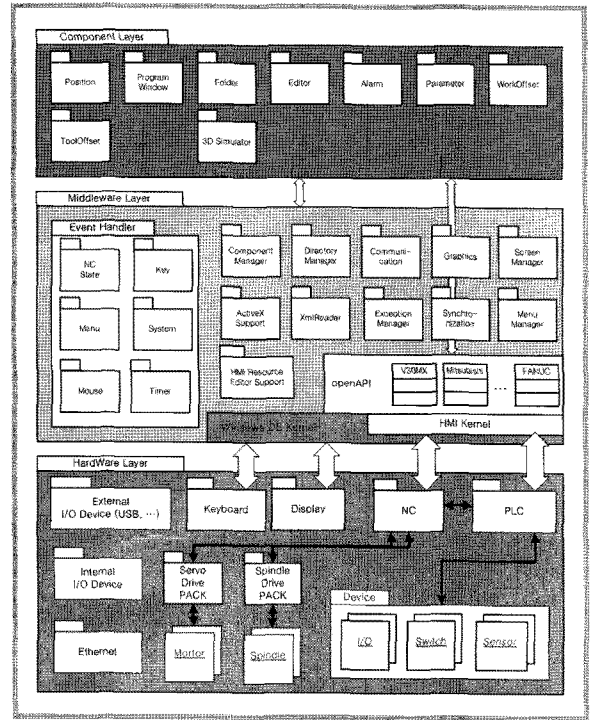


Fig. 7 3-Layed Architecture for HMI Framework

스를 제공한다.

- Hardware 계층: NC/PLC, Servo/Spindle, keyboard 등의 하드웨어와 드라이버 서비스를 제공한다.

아래 있는 계층은 저 수준, 일반적인 서비스를 제공하고 위에 있는 계층은 개별 응용 기능 서비스를 제공하며, 인접한 계층만이 정해진 인터페이스에 따라 통신을 하게 된다⁽⁸⁾. 이러한 3계층 HMI Framework은 계층간 독립적인 서비스를 제공하고 내부 정보를 은닉함으로써 높은 수준의 개방성을 얻을 수가 있다. 특히, NC 제어/모니터링 시그널링을 체계적으로 분석하여 완전한 함수 집합을 제공하는 Middleware 계층의 OpenAPI는 NC 독립적인 HMI 시스템을 가능하게 해준다.

HMI의 개방성을 위해서는 개방성을 뒷받침 할 수 있는 구조외에도 사용자로 하여금 화면을 작성할 수 있도록 만들 수 있는 HMI Builder의 제공이 필수적이다. 이에 따라, 다계층 e-CNC는 Fig. 8과 같은 HMI Builder를 제공한다.

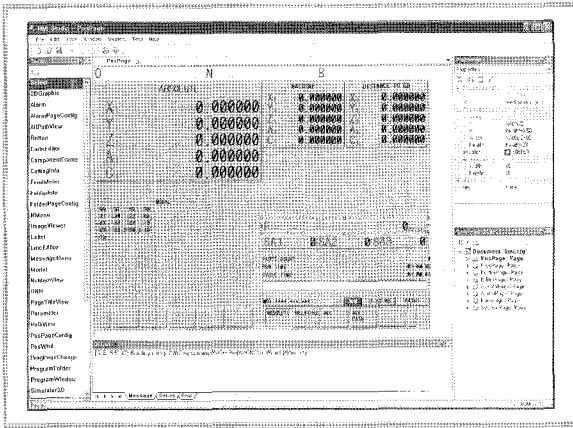


Fig. 8 HMI Builder for e-CNC

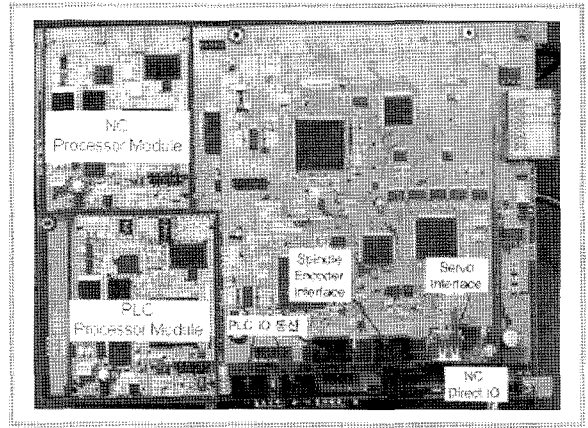


Fig. 10 NC&PLC modules of e-CNC

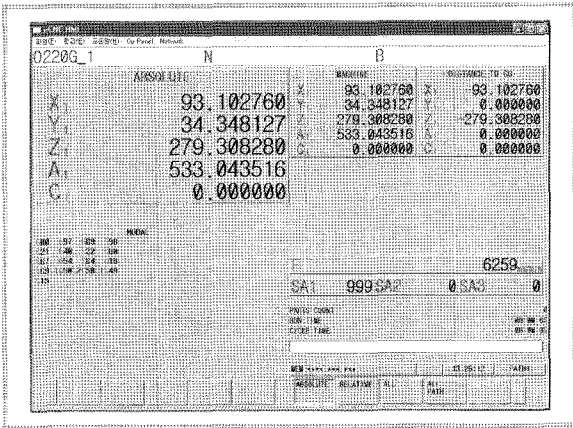


Fig. 9 Screen Shot of e-CNC HMI

HMI Builder는 패널의 크기를 인식해 자동으로 HMI 화면을 조절하며, 그 밖에 draw-overriding, ActiveX 지원, 다국어 지원등의 다양한 기능을 제공함으로써, 사용자들이 기존 HMI 화면을 쉽게 바꿀 수도 있고, 직접 개발한 컴포넌트를 삽입할 수 있도록 할 수 있다. Fig. 9는 HMI Builder를 이용하여 작성한 HMI화면의 실제 동작 장면을 나타낸 것이다.

3.3 NC & PLC H/W

공작 기계가 운영되는 작업장의 환경은 일반 사무실에 비

해 열악한 것이 사실이다. 특히, 작업 현장의 분진, 기름, 습기등이 장시간 CNC H/W에 유입되는 경우, CNC의 오작동의 원인이 될 수 있으며, 이러한 원인을 제거하기 위한 노력이 꾸준히 이루어지고 있다.

이에 따라, PC 하드웨어 기술의 발전과 함께 CNC H/W의 경량화를 추구하고, 이를 공작 기계의 전장반에서 분리하여 밀폐시키는 방법이 선호되고 있으며, 다계통 e-CNC H/W도 이러한 추세를 따라 콤팩트 구조를 갖는 H/W를 개발하게 되었다.

또한, 다계통 e-CNC의 신뢰성을 높이고, 고사양의 목표 성능을 만족시키기 위해 CNC 시스템의 각 기능들을 분리하고, 독립된 CPU에 의해 동작 될 수 있는 분산 구조 방식을 적용하여 설계하였다.

Fig. 10은 다계통 e-CNC에 적용된 H/W를 나타낸 것으로서, NC, PLC, H/W, 통신 모듈이 별도의 프로세서를 채용한 분산 구조를 갖도록 설계 되었다.

3.4 Digital Serial Communication

CNC 시스템은 NC, HMI, 서보, 스핀들, PLC, I/O모듈들이 유기적으로 결합된 시스템으로서, 이들 모듈들을 연결시킬 수 있는 통신 시스템은 CNC 시스템의 개발에 있어 중요한 요소이다.

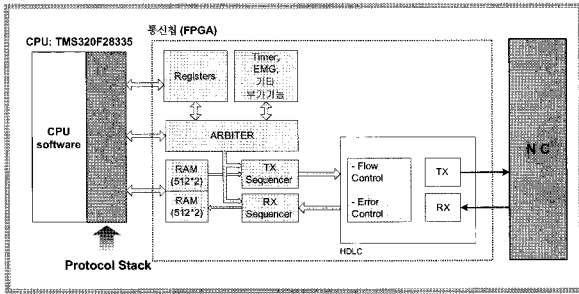


Fig. 11 Schematic Diagram of Comm. Chip between NC and Servo Drive

다계통 e-CNC는 디지털 고속 통신 시스템을 채용함으로써 각 시스템들간의 결선의 간소화와 통신의 정확성을 높였으며, 고유 통신 시스템을 개발하기 위해 고유 통신 프로토콜과 함께 Fig. 11의 구조를 갖는 전용 통신칩을 개발하고, 이를 제품에 적용 하였다.

3.5 교육용 솔루션

CNC 장치는 사용자와 공작 기계를 연결하는 접점으로 서, 각 MTB(Machine Tool Builder)과 CNC Maker들은 고유의 HMI를 제공하고 있다. 이 때문에 사용자들은 공작 기계를 구매함과 동시에 공작 기계의 사용 방식에 대한 교육을 받아야 한다. 이 때문에, MTB와 CNC Maker들은 자체 교육용 솔루션(e.g., FANUC사의 NC Guide Pro)을 개발하고, 이를 사용자들의 교육용으로 활용하고 있다.

다계통 e-CNC 또한 Fig. 12에서와 같이 NC, HMI, PLC 개발에 사용된 S/W와 두산인프라코어(주) 고유의 공작 기계

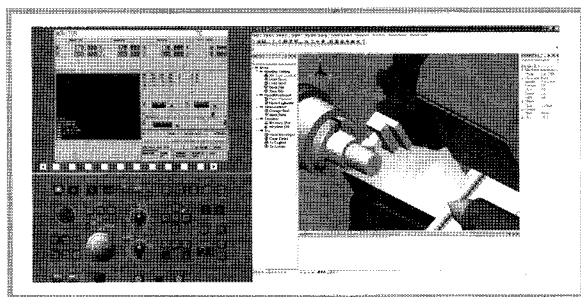


Fig. 12 Educational Solution of e-CNC

모델을 결합하여 PC상에서 CNC와 공작 기계의 조작을 수행하고, 피삭재의 가공 상황을 시뮬레이션 할 수 있는 교육용 솔루션을 별도 개발하였다.

4. 다계통e-CNC의 검증 및 양산 적용

개발된 다계통 e-CNC는 양산 적용에 앞서 아래의 순서에 의하여 기능 및 성능 평가를 진행하였다.

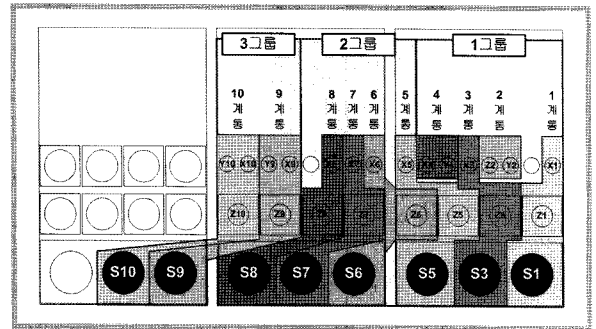


Fig. 13 Multi - Path Testing Jig with 3 Groups, 10 Paths, and 40 axes

먼저, 다계통 e-CNC의 기본 기능 검증을 Fig. 13에서 보이는 3그룹 10계통의 지그를 이용하여 수행하였다. 현존하는 공작 기계 중 3그룹 10계통 40축을 필요로 하는 공작 기계는 존재하지 않으며, Mill Turn 복합 기계의 경우 최대 3계통을 넘어서는 제어 기능을 필요로 하지 않는다. 이에 따라, 3그룹 10계통의 기능 시험은 실제 기계를 대신하여 지그를 대상으로 실시하였다. 본 시험에서는 그래픽 시뮬레이터를 통해 각 축이 의도한 대로 움직이는 지 여부를 확인하고, G, M, S, T 코드의 움직임과 각 그룹과 계통간 동기화 기능을 검증하였다.

두 번째로는 다계통 e-CNC의 가공 성능을 검증하였다. 수치제어장치는 단순히 축을 이송시키는 것이 중요한 것이 아니라, 일정 수준의 정밀도를 유지하며 가공을 수행하는 것이 필요하다. 이에 따라 Fig. 14와 같이 실제 양산 판매중인 2대의 Turning Center와 1 대의 Machining Center, 1 대의 Gantry Loader를 3그룹 4계통으로 조합하여 Jig를

구성하고, 이를 이용하여 G, M, S, T 코드에 기반한 기본 가공 시험, 위치 결정 정밀도, 윤곽 제어 정밀도, Backlash 및 Pitch error 보정 기능등에 대한 검증을 수행하였다.

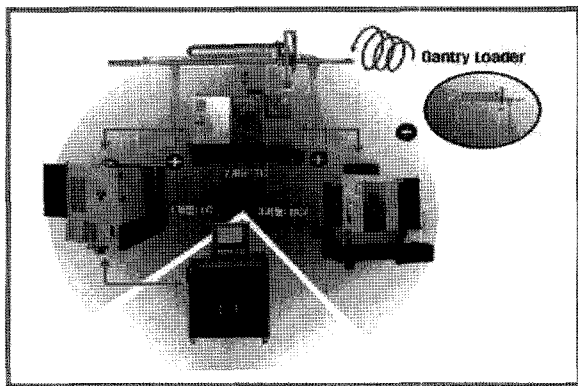


Fig. 14 Test Jig for 3 Group 4 Path Control

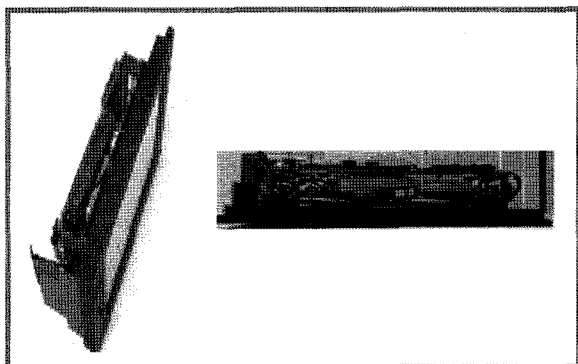


Fig. 15 초박형 단계통 e-CNC Panel H/W

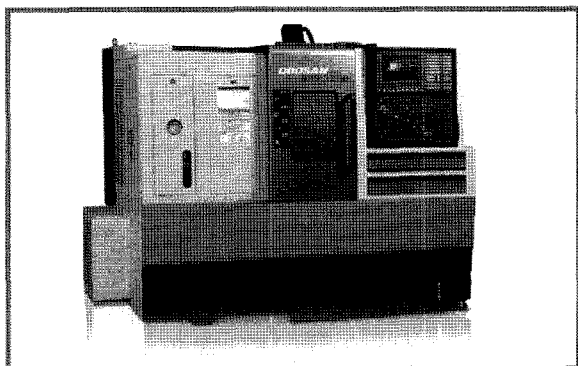


Fig. 16 초박형 단계통 e-CNC 적용 공작 기계

5. 결론

최근 공작 기계의 고속화, 고정밀화, 다기능화에 맞추어 수치제어장치도 다계통 수치제어장치로 발전하고 있으며, 다계통 수치제어장치는 공작 기계를 구성하는 복수개의 터렛, 주축들의 개별적인 동작뿐만 아니라 주축 동기화등의 다양한 협업 기능을 제공함으로써 복합 공작 기계의 생산성 향상을 가능케 하는 산업 기계의 핵심 장비이다. 또한 다계통 수치제어장치는 선진국으로부터의 기술이전이 불가능한 고부가가치 제품이며 국내 산업의 대표적인 무역 역조 상품 중 하나로서, 국내 수치제어장치뿐만 아니라 공작 기계 산업의 경쟁력 향상을 위해 반드시 국산화 해야 하는 대표적인 상품이다.

또한 다계통 e-CNC는 최소 10년 이상의 장기적인 CNC와 공작 기계의 발전 방향에 대비한 고사양의 수치제어장치로서, 현재의 공작 기계에 적용하기에는 높은 성능을 제공하고 있다. 이에 따라, 우선적으로 Fig. 15에서와 같은 두께 150mm의 초박형 구조를 갖는 단계통의 panel형 PC-based CNC를 개발하여 Fig. 16의 2축 Turning Center에 양산 적용 판매 중에 있으며, 추가로 3계통 버전의 파생제품을 개발 중에 있다.

현재 다 계통 e-CNC의 성공적인 산업체 보급을 위해서는 타 CNC 대비 가격적인 측면에서의 경쟁력 확보와 국산 CNC로서의 국내 사용자에게 맞는 특화된 기능 개발이 꾸준히 진행되어야 한다.

참 고 문 헌

- (1) 중기거점 과제, 수치제어장치 시험/평가기술 개발에 관한 연구 최종 보고서, 산업자원부, 1999.
- (2) Frederick Mason, "Double double your turning power. There's no single spindle like it," *American Machinist*, Special Report 815, pp. 33-42, 1992.
- (3) Chuck Mathews and Eric Stoveland, "B-Axis Turn/Mills Have Their Place," *MMS Online*, 15th September 2003.
- (4) 성대중, 정대혁, 박승규, 박종명, "다계통 e-CNC 개발," 한국

- 정밀공학회지, Vol. 26, No. 4, pp. 7-15, 2009.
- (5) FANUC, "FANUC Series 30i-Model A Connection Manual (Function)," pp. 766, 2003.
 - (6) GMPTG, "Open Modular Architecture Controls at GM POWERTRAIN - Technology and Implementation: Version 1.0," white paper downloaded from <http://www.arcweb.com/omac>, May 1996.
 - (7) ESPRIT III Project 6379 & 9115, "Open System Architecture for Controls within Automation Systems: OSACA I & II Final Report," ESPRIT, April 1996.
 - (8) Craig Larman, "Applying UML and Patterns," Prentice Hall, pp. 450-453, 2002.