

WEDM 을 위한 개방형 제어시스템의 구조에 관한 연구

박진호[#], 남성호^{*}, 권신^{*}, 양민양^{**}

A Study on the Open Architecture CNC System for WEDM

Jinho Park[#], Sungho Nam^{*}, Shin Kwon^{*} and Minyang Yang^{**}

ABSTRACT

This paper deals with the design and implementation of an open architecture CNC system for Wire-EDM, with a consideration of the difference between Wire-EDM and NC cutting machines. Recent open architecture controller (OAC) related research results could be applied to directly access Wire-EDM systems at the CNC level. However, previous research about OAC is mostly aimed at NC cutting machines such as milling or lathes, and hence these results are inadequate to apply to Wire-EDM. To close the gap between previous general research on OAC and Wire-EDM specific needs, an open architecture NC model for Wire-EDM composed of a synchronization kernel and a NC functional module is proposed. Based on the control information flow and Wire-EDM specific machining process, the conceptual CNC model and the detailed implementation model for Wire-EDM is suggested.

Key Words : Wire-EDM(와이어 방전가공기), CNC(수치제어장치), Open architecture controller(개방형 제어기), PC-NC

1. 서론

와이어컷 방전가공(Wire-cut Electric Discharge Machining, 이하 Wire-EDM)은 팽팽하게 장력을 건 금속제 와이어를 가공전극으로 사용하는 방전가공법이다. Wire-EDM 가공은 일반 형조가공법(Electric Discharge Machining, EDM) 공정의 가공원리에 기초하지만 EDM 공정에서의 원리와 구별되는 Wire-EDM 고유의 기술적인 관심사는 방전 와이어의 사용으로부터 비롯하는 안정적인 공정의 유지와 가공물의 정밀도 문제이다. Wire-EDM에서는 가공

을 위한 전극으로 가는 와이어를 사용하기 때문에 가공도중 와이어의 단선에 의한 가공 중단 문제와 공구에 해당하는 와이어의 진동 및 변형에 의해 최종 형상의 정밀도가 저하되는 문제가 발생한다.¹⁻⁵

이러한 문제점들에 접근하기 위해 다양한 형태의 연구가 진행되어 왔다. Rarjukar, Spedding³⁻⁴ 등은 와이어의 단선예측을 위한 실시간 모니터링 시스템을 통해 단선을 회피함으로써 가공성능을 향상시키려 하였다. Chae⁵ 등은 와이어의 진동에서 비롯되는 가공정밀도의 저하등에 대해 연구하였다.

[†] 접수일: 2003년 6월 16일; 게재승인일: 2004년 5월 7일

[#] 교신저자: (주)에자일텍

E-mail: agiletect@yahoo.co.kr Tel. (042) 869-4025

^{*} 한국과학기술원 기계공학과(원)

^{**} 한국과학기술원 기계공학과

최근의 개방형 제어장치(Open Architecture Controller, OAC)⁶⁻¹² 관련 연구에서는 수치제어장치(Computer Numerical Controller, CNC)에 대한 개방성의 부여를 통해 시스템 혹은 사용자 고유의 요구 사항과 기능을 추가하기 용이하게 하려하고 있다. 이러한 기존 연구가 주로 절삭가공기를 대상으로 하고 있고, 모션제어 부문에 주요 관심을 가지고 있는데 반해 오히려 가공 프로세스의 복잡함이 크고, 가공프로세스 제어의 중요성이 큰 Wire-EDM을 대상으로 하는 경우는 거의 없었다.

절삭가공 프로세스의 경우 가공 프로세스 자체는 오픈루프이지만 Wire-EDM의 경우는 가공 프로세스 자체가 피드백 프로세스이며, 다양한 가공조건에 따른 상이한 가공결과가 야기되기 때문에 이를 고려한 제어시스템의 구조와 구성을 통해 더욱 다양한 접근이 가능해질 수 있다.

본 연구에서는 Wire-EDM의 프로세스 모델을 바탕으로 프로세스와 제어기능모듈의 논리적인 모델을 제안하고 추상 논리제어 모델을 기반으로 한 개방형 제어시스템을 통해 Wire-EDM 시스템에 적합한 제어모형을 제시하려한다.

2. Wire-EDM을 위한 수치제어모형

2.1 수치제어장치 기능모형

Wire-EDM의 기본적인 구조는 Fig.1에서 보는 바와 같이 공작물이 고정되어 있는 정반은 X축, Y축 서보 모터에 의해 수치제어방식으로 제어되고 가공을 위한 와이어 전극은 릴(reel)로부터 항상 일정한 속도로 보내지며 이는 방전작용에 수반되는 전극의 소모를 보정해준다. 또한 방전작용을 용이하게 하기 위해서 일반적으로 물이나 등유와

같은 절연액을 공급해주는 가공액 공급장치를 구비하고 있다.

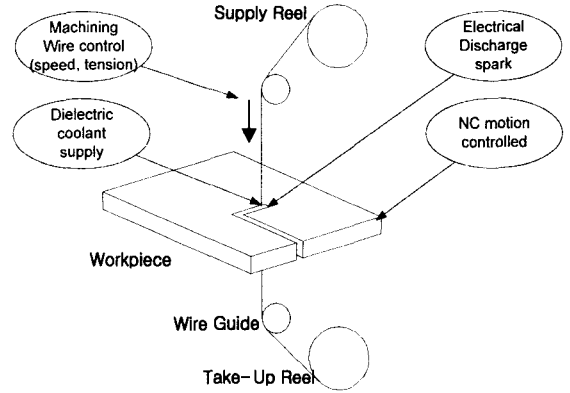


Fig. 1 Operation principle of Wire-EDM

이러한 Wire-EDM 전체 시스템을 개별적인 기능요소 단위로 구분할 수 있다고 가정했을 때, Table 1은 개별 요소들을 구분하는 특성표를 나타낸다. 예로서, 방전제어를 담당하는 부분이 하나의 제어기능 단위로써 구분된다고 할 때, 이는 아래의 표에서 연속계, 하드실시간, 방전제어, 가공제어, NC 장치제어군의 특성을 가지게 된다.

Fig.2는 제어정보의 시간적인, 논리적인 흐름에 따른 구성을 나타낸다. 수치제어장치에 있어 제어정보의 흐름에 따른 계층모형은 개방형 제어장치에 대한 다양한 선행연구에서 많이 사용되고 있는 방법이다.⁶ 계층모형에서 제어정보의 흐름은 상층 단계에서의 추상적인 단계에서 하부 계층으로 흐르면서 구체적인 형태로 가공되게 된다. 상위 계층의 제어정보는 가공시스템의 운용을 위한

Table 1 Wire-EDM control elements grouping in accordance with properties

Control Theory	Time Critical Property	Control Elements	Control Group	System elements
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">Discrete time</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 5px;">Continuous time domain</div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">Non-Realtime</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px; margin-left: 20px;">Soft Realtime</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-left: 40px;">Hard Realtime</div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">Motion Control</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">Discharge cnt</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">Wire spd,tension</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">Coolant/ temp,ion,rate</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">Status/ Limit,error,....</div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">Machining Control</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px; margin-left: 20px;">System Management</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-left: 40px;">External communication</div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">NC Sys. State</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">NC Device cnt</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">NC Information</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">NC Offsets</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">NC Alarms</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">NC Data stores</div>

포괄적인 정보로 구성되지만 하층의 단계로 내려가면서 시스템의 구체적인 특성과 가공프로세스에 부합되는 형태의 구체화된 정보로의 변환이 필요하며, 이는 개별 모듈의 구성형태에 따라 상이한 형태를 지닐 수 있다. 또한, 상세화된 정보는 제어 정보의 양은 많아 지지만 개별정보 단위의 처리를 빠르게 처리할 수 있는 형태로 변환됨에 따라 실시간 처리에 유리한 형태로 변환된다.

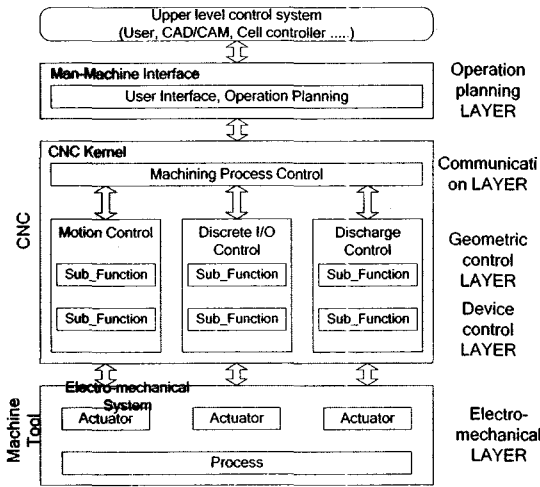


Fig.2 Wire-EDM control system structures along with information flow hierarchy

2.2 프로세스 맵핑을 통한 제어기 구성

공작기계의 제어를 위한 제어장치의 구성을 위해 본 연구에서는 가공 공작기계의 기본적인 목표인 공작물의 가공제어를 기본적인 가공 메커니즘의 원리와 이에 대한 확장과 근사로서 정의된다. Fig.3 은 Wire-EDM 프로세스의 진행 과정을 나타낸다. 먼저 접촉하지 않은 두 도체 사이에 고압의 전압을 인가함으로써 가공하고자 하는 공작물에 국부적인 순간 용융현상을 일으키는 것이 Wire-EDM 에 있어서의 기본적인 가공 원리이다. 한번의 물리적 가공현상이 발생한 후 공작물과 공구의 상대적인 이송을 통해 연속적으로 첫번째의 가공현상을 일으킴으로써 원하는 기하학적인 형상을 창성하는 과정이 다음 과정이 된다. 마지막으로 안정화단계는 이러한 일련의 과정이 진행되는 데 필요한 조건을 형성하고 안정시키는 부분이다. Fig.3 의 가공프로세스 구분은 물리적인 프로세스

를 형성하기 위해 필요한 제어시스템의 형태에 대한 요구사항이 된다.

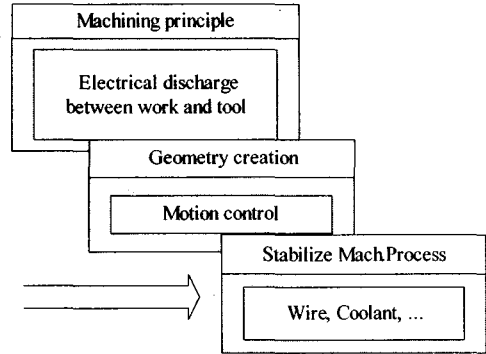


Fig.3 CNC modeling by physical process analogies

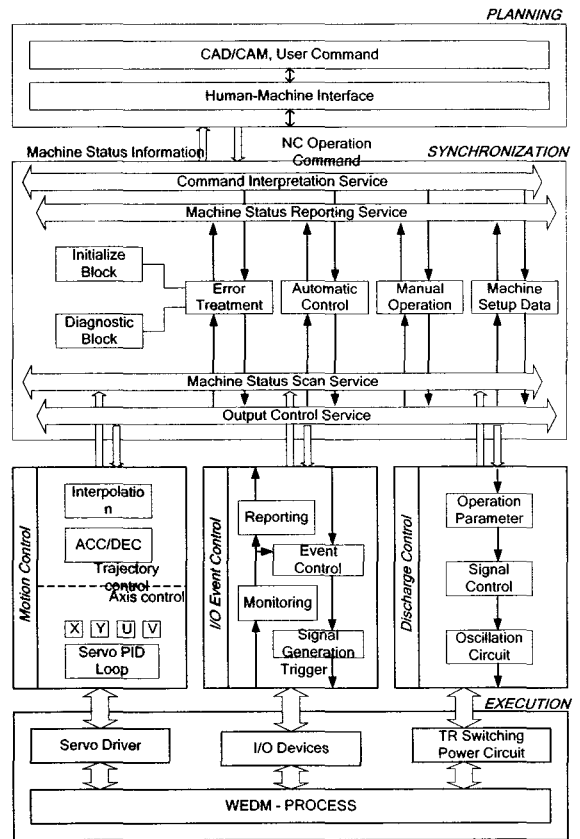


Fig. 4 Detailed implementation model

Fig.4 는 제안된 모델에 의한 상세 구현 모델이다. 구현모델은 계층별, 그룹별 정의와 내부기능,

상부 시스템과의 관련에 대한 모든 정보를 가지는 모델로서 개별적으로 실제화 되는 실제화모델이다. Fig.4 의 모델은 동기화 계층에서부터 요소제어 계층까지의 부분을 상세하게 계층화하고, 각 요소모듈의 기능과 개별 모듈간의 통신을 정의한 추상화 기능과 추상화 프로토콜로 정의된다. Fig.5 는 요소 계층에서 제공하는 추상화 계층서비스와 내부 기능정의의 예이다. 아래계층은 하위 계층의 서비스를 이용해 자신의 내부 기능을 수행하게 되며, 이때 수행된 결과는 상위 계층에 대한 서비스를 제공하게 된다.

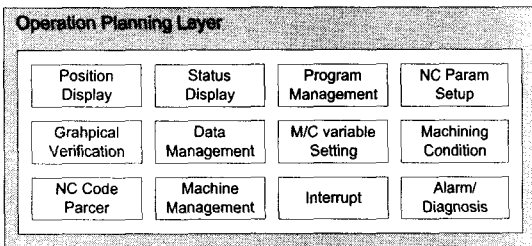


Fig. 5 Abstract layer service and internal function

3. 시스템 구현

3.1 제어모델 맵핑을 통한 시스템구현

제안된 제어모델을 실제의 제어시스템으로 구현하기 위해서는 적절한 하드웨어 플랫폼과 각종 기능 요소의 실현을 위한 소프트웨어가 필요하다. 구현모델에 따라 개별 계층별 하드웨어 플랫폼을 설계하고, 각 계층에 주어지는 서비스 모델에 따라 내부적인 기능을 구현하였다. 내부 기능은 시스템 플랫폼에 따라 소프트웨어 형태로 존재할 수도 있고 전용 하드웨어 형태로 존재할 수도 있다. 이는 구현모델에서의 개별 계층별, 모듈별 단위의 내부 기능에 대한 정의로부터 비롯한다. 각 단위 요소는 계층 서비스와 내부기능에 의해 담당하는 역할이 정해지고 이에 대한 직접적인 구현 방법론은 정해지지 않기 때문에 기능 구현을 위한 가장 적절한 방법을 채용하면 된다. 이는 개방형 시스템의 구현을 위한 전제 조건이기도 하다.

본 연구에서는 시스템 최상위 플랫폼으로 PC-NC 형태의 플랫폼을 사용하였으며 내장형 시스템(Embedded system), 전용 하드웨어 형태의 요소들이 혼재된 형태로 전체 시스템을 구현하였다. 개방형 시스템을 구축하는데 가장 용이한 방법은

하나의 완전한 하드웨어 플랫폼에 내부 기능을 전적으로 소프트웨어적으로 구현하는 방법이 될 수 있으나, 본 연구에서는 다양한 형태의 하드웨어 플랫폼이 제어장치의 모델에 의해 구현됨을 보이기 위해 혼합플랫폼을 사용하였다.

3.2 하드웨어 플랫폼

본 연구에서 제안한 모델은 구체화된 기능 모델에 근거하지만 각 요소 단위의 정의는 추상화된 개념이기 때문에 특정 하드웨어 및 소프트웨어 플랫폼을 지정하지는 않는다. PC 시스템은 최상위의 오퍼레이션 계획 계층을 구현하기 위한 플랫폼으로 채용되었으며, 단지 이 계층을 위한 가능한 방법 중의 하나로서 그래픽, 통신, 데이터 베이스 처리를 위한 적절한 플랫폼으로서 지정되었다. Fig.6 은 구현된 하드웨어 플랫폼 구조이다.

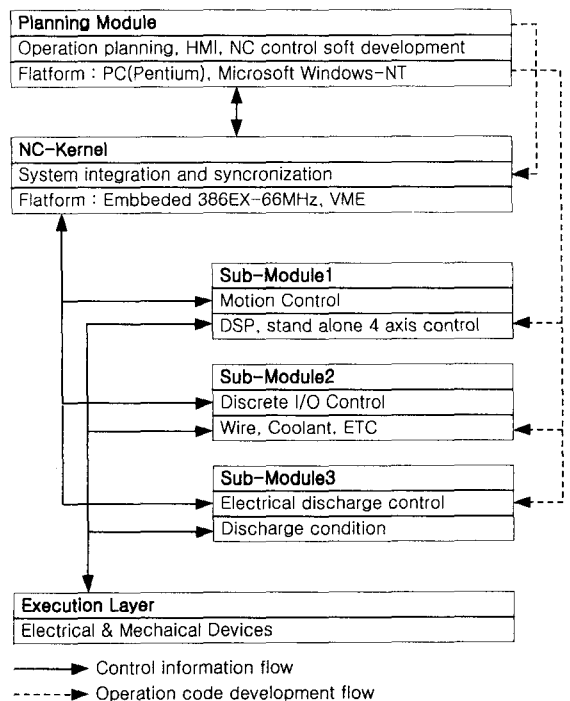


Fig. 6 Hardware implementation architecture

동기화 계층과 형상제어 계층의 운동제어 모듈은 내장형 프로세서(Embedded processor)와 DSP(Digital signal processor)를 각각 사용하는 내장형 시스템(Embedded system) 구조로 설계되었다.

동기화 계층이하의 계층들은 실시간 연산능력과 제어 특성을 요구하기 때문에 이에 적합한 하드웨어 플랫폼으로 내장형 구조를 사용하였다.

전용형 하드웨어 구조를 사용하는 부분은 직접적인 전기신호 형태로 동작하면서 하위 시스템을 제어해야 하는 부분들로서 마이크로 프로세서 등에 의해 소프트웨어적으로 제어 알고리즘을 가지기 보다는 전용 하드웨어 구조를 통해 하위 모듈을 제어하게 된다.

3.3 소프트웨어 아키텍처

3.3.1 가상머신 기반의 소프트웨어 구성

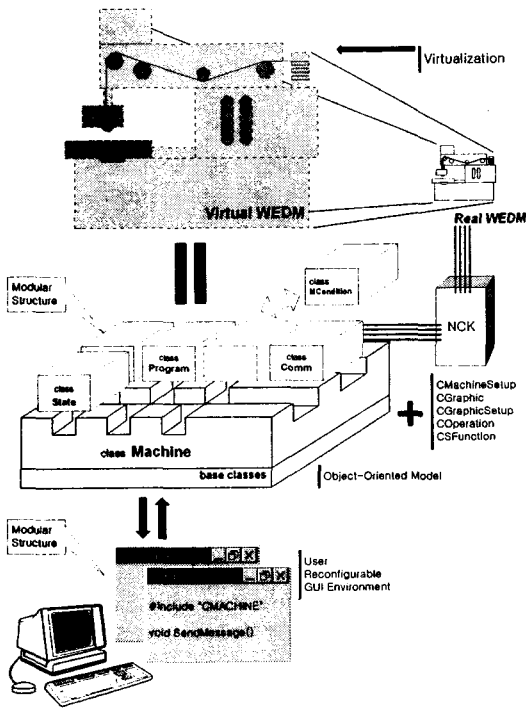


Fig.7 Virtual WEDM

Fig.4의 상세모델에 대한 소프트웨어 상사는 제어모델에 대한 가상머신을 Fig.7의 정의를 통해 구현하였다. 가상머신은 제어모델의 각 개별요소에 대해 동등한 기능구성의 소프트웨어적인 가상머신으로 구현된다. 실제의 Wire-EDM 기계 요소 및 제어요소들의 결합 및 연관관계를 바탕으로 상세 제어모델이 설계되었으므로, 제안된 모델의 상사로부터 구현된 소프트웨어 구성은 원칙적으로

실제 시스템과 동일한 논리적 구성을 가진다.

3.3.2 추상화된 가상 프로토콜과 구현

제안된 모델의 개방성을 실제화하기 위해서 각 모듈의 역할 정의와 모듈간의 통신을 위한 추상화된 프로토콜의 정의를 기반으로 시스템을 구현한다. 개별 단위 요소의 기능과 서비스는 상세화 모델의 정의를 통해 구현된다.

일반적으로 통신 프로토콜은 물리적인 단계에서부터 추상적인 단계에 이르기까지 구체적인 형태로 정의되는 것이 일반적이나, 제어모델에 대한 실제의 구현방안이 고정되지 않기 때문에 개별 단위간의 메시지 전달을 위한 프로토콜은 추상성을 지닌 형태로 정의된다. Fig.8은 추상화 통신 프로토콜의 예로서 MMI, NCK와 Servo 제어부간의 NC 코드 전송을 위한 예를 보인다.

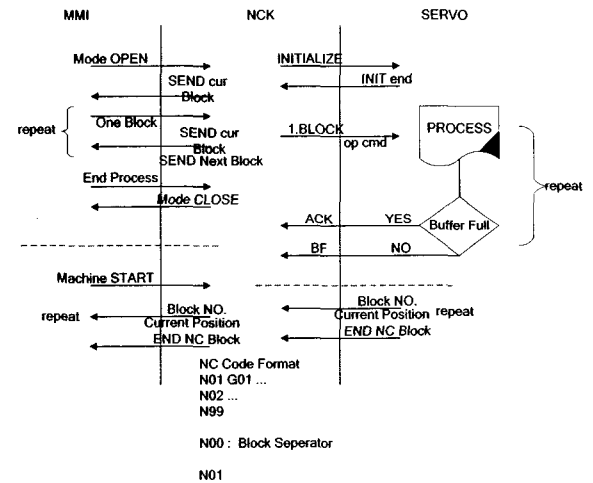


Fig.8 NC code transferring protocol sequence

3.4 구현사례

제안된 상세화 모델을 바탕으로 프로토타입 제어시스템을 구현하였다. 구현된 프로토타입 CNC 시스템을 기존의 Wire-EDM에 적용시켜 개방형 구조로 설계된 시스템의 적용 가능성을 확인하였다. 일반적인 절삭가공기와는 달리 Wire-EDM의 경우는 요소제어 계층의 방전제어 모듈이 범용적으로 사용되는 장비가 아니기 때문에 기존 상용 시스템에 대한 리트로핏(Retrofit)을 통해 프로토타입 시스템을 적용하였다. Fig.9는 기존 상용 Wire-

EDM 시스템을 이용한 CNC 리트로핏 과정을 나타낸다.

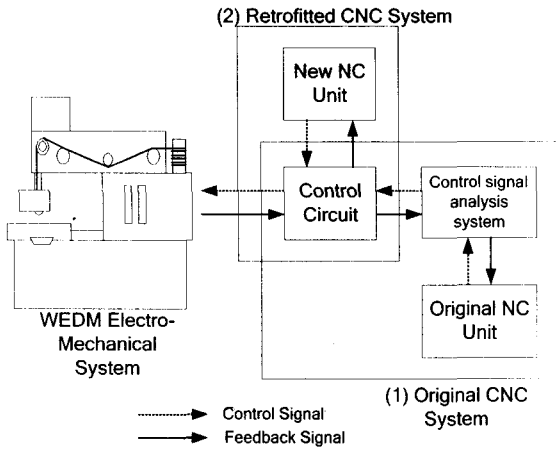


Fig. 9 CNC retrofit procedure for WEDM

해 구성된 Wire-EDM의 사진이다. Fig.11은 시험가공된 시편형상을 나타내며, 시험가공을 위한 가공 조건은 Table 2와 같다.

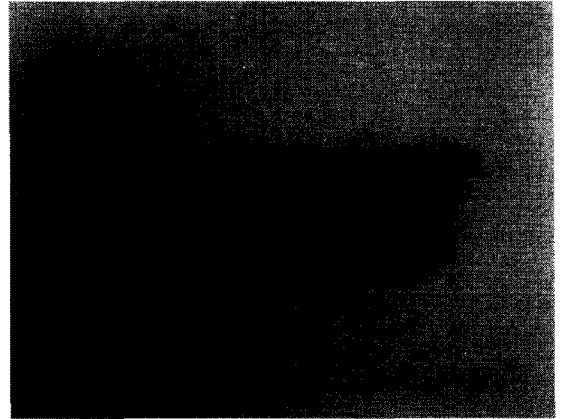


Fig. 11 Test cut sample



Fig. 10 CNC system retrofit example

Fig.10은 제안된 프로토타입 제어시스템을 통

Table 2 Experimental conditions

Items	Experimental Value
Workpiece	Copper
Feeding wire	Brass
Electrical conditions	Current 40~60A, Volt 45~60V Automatic Control
Wire speed	120mm/sec

4. 결론

Wire-EDM은 수치제어 공작기계의 중요한 한 분야이지만 물리적 가공 프로세스와 가공기 구조가 복잡하여 이를 다루기가 용이하지 않았다. 본 연구에서는 Wire-EDM의 물리적 가공프로세스에 기반한 개방형 수치제어 장치에 대해 연구를 수행하였으며 이를 통해 다음의 결과들을 얻을 수 있었다.

첫째, 가공프로세스 자체에 대한 피드백제어를 기반으로 하는 복잡한 Wire-EDM 프로세스에 대한 적절한 반영을 위해 가공프로세스와 제어시스템의 제어정보 흐름을 기반으로 하는 추상화 모델을 제안하였다. 추상화 모델은 Wire-EDM의 제어정보의 흐름에 따른 계층적 구조와 Wire-EDM의 물리적 가공 프로세스에 근거한 요소 단위의 중첩에 의한 개념 모델과 상세화 구현 모델의 두 가지 형태로 제안되었다. 추상화 모델은 실제의 상세 모델로

구현하기 위해 모델의 개별 요소를 각각 그에 상응하는 하드웨어와 소프트웨어 모듈로 맵핑하는 방법을 통해 효과적으로 실제화할 수 있었다.

둘째로, 제안된 구현모델에 근거한 실험용 프로토타입 CNC 시스템을 설계 및 제작함으로써 제안된 방법의 유효성을 보였다. 프로토타입 시스템은 제안된 상세모델의 개별 요소를 정확히 상사하는 방법으로 구현하였으며, 상이한 하드웨어 및 소프트웨어 플랫폼의 혼재를 통해 추상화 요소 정의 방법에 의한 설계방안이 실제화 되는데 문제가 없음을 확인하였다.

개발된 프로토타입 CNC 장치를 리트로핏 방법에 의해 기존 Wire-EDM 시스템에 실장시키고 시험가공을 수행하였으며, 이를 통해 구현요소의 개별적인 동작성과 더불어 전체 시스템으로서의 완결성을 확인할 수 있었다.

참고문헌

1. Junkar, M. and Valentin, I., "Towards Intelligent Control of Electrical Discharge Machining," Proceedings, 31st CIRP International Seminar on Manufacturing Systems, Berkley, California, pp. 442-447, 1998.
2. Kunieda, M., "Challenges in EDM technology," International Journal of Japan Society for Precision Engineer, Vol. 33, pp. 276-282, 1999.
3. Rajurkar, K. and Wang, W., "On-Line Monitor and Control for Wire breakage in Wire-EDM," Annals of the CIRP, Vol. 40, No. 1, pp. 219-222, 1991.
4. Spedding, T.A. and Wang, Z.Q., "Study on modeling of wire EDM process," Journal of Materials Processing Technology, Vol. 69, No. 1-3, pp. 18-28, 1997.
5. Chae, H.J. and Lee, S.Y., "Vibration Characteristics and Tension Control of a Wire in WEDM," J. of KSPE, Vol. 18, No. 11, pp. 86-92, 2001.
6. Fujita, S. and Yoshida, T., "OSE: Open system Environment for Controller -Development of an Open Architecture CNC with OSEC Specification," 7th IMEC, pp. 234-244, 1996.
7. Matsuka, H. and Sawada, C., "Japanese PC-based Open Control Systems for Manufacturing Equipment," International Journal of Japan Society for Precision Engineer, Vol. 30, No. 3, pp 204-209, 1996.
8. Sperling, W. and Lutz, P., "Designing Application for an OSACA Control," Proceedings of the ASME, MED-Vol .6-1, pp. 91-104, 1997.
9. Rober, S. J. and Shin, Y. C., "Modeling and Control of CNC Machines using a PC-Based Open Architecture Controller," Mechatronics, Vol.9, No.4, 1995.
10. Wright, P. K., "Principles of Open-Architecture Manufacturing," J. of Manufacturing Systems, Vol. 14, No. 3, 1995.
11. Balley, T. and Renton, D., "PC Based Open Architecture Machine Tool Control," Proceedings of the ASME, MED-Vol .6-1, pp. 39-48, 1997.
12. Yun, W.S. and Min, B.K., "Development of Virtual CNC using a Software Based Open Architecture Controller," J. of KSPE, Vol. 19, No. 6, pp. 23-28, 2002.
13. Koren, Y., Computer Control of Manufacturing Systems, McGraw-Hill, pp.134-141, 1983.
14. Altintas, Y., Manufacturing Automation, Cambridge univ. Press, pp. 159-209, 2000.