

추상화된 공작기계를 이용한 가공셀 제어

이창호*, 신동목*, 한형상*

Machining Cell Control using Abstract Machine Tool

Chang Ho Lee*, Dongmok Sheen*, and Hyung Sang Hahn*

ABSTRACT

Reconfiguration, expansion, or new establishment of FMS requires the availability of a shop floor control (SFC) system relevant to the FMS since it is closely related with the hardware components of FMS. Due to the expensive cost of its development, significant research efforts have been made to develop an SFC system that is reusable. This paper presents Abstract Machine Tool (AMT) approach applied to develop an SFC system that is reusable without additional programming. The AMT model enables us to design the SFC system independently of the hardware-dependent attributes of equipment; an AMT models a workstation by abstraction and presents an equipment-independent interface to machining cell controller. Specifically, we describe how we formalize the interfaces among equipment in order to build an AMT and how we design the machining cell control software based on AMT models. We also present MACHINIST the machining cell control system for IAE-FMS plant as an implementation example.

Key Words : abstract machine tool (AMT, 추상화된 공작기계), machining cell control(가공셀 제어), FMS(유연생산시스템), reusable software(재사용이 가능한 소프트웨어)

1. 서론

소비자의 욕구 다양화와 제품 수명주기 단축 추세에 따라 다품종 소량 생산에 적합한 생산시스템으로서 Flexible Manufacturing System(FMS, 유연생산시스템)에 대한 관심이 높아지고 있다. FMS를 구축하려면 먼저 생산 제품과 생산량을 고려하여 그 장비와 구성을 결정하게 된다. 이 중 FMS 운영 소프트웨어는 생산계획 수립, 스케줄링, 작업할당 등 소프트웨어적인 계산기능 뿐 아니라, 통신규약을 맞추어야 하고, 공작기계나 불류장비의 사양에 따른 제어기능 등 하드웨어 종속적인 기능도 함께 갖추고 있어야 한다. 이로 인하여 동일한

운영 소프트웨어를 서로 다른 FMS 시스템에 사용하는 것은 극히 제한적일 수 밖에 없으며, 그 결과 운영 시스템은 특정 FMS에만 적용될 수 있는 전용화된 소프트웨어로 설계되고 있는 실정이다. 이에 따라 상용화된 FMS 운영 시스템들간에는 상호 호환성이 없어 사용자의 장비 선택의 자유도가 크게 제한되고, 기존 FMS에 설비를 증설하거나 신규 FMS를 구축하더라도 장비나 구성에 변화가 있으면 이를 반영하기 위한 추가적인 노력이 요구되어 공급자의 입장에서도 FMS의 경제성을 저하시키고 있다.

다른 생산시스템에 비해 FMS가 갖는 가장 큰 장점은 유연성(flexibility)에 있다. 사용자의 입장에

* 고등기술연구원 생산기술연구소

서 보는 FMS의 유연성이란 생산 제품의 종류와 양의 변화에 유연하게 대처할 수 있는 능력으로 요약된다. 그러나 FMS 공급자 입장에서 요구되는 유연성은 기 개발된 FMS 운영 소프트웨어가 장비 구성이 다른 FMS에도 얼마나 잘 적용될 수 있는 가라는 관점에서의 확장 유연성이라고 말할 수 있다. 따라서 운영 소프트웨어의 호환성(compatibility)과 구조화 정도, 그리고 모듈화(modularity) 정도가 소프트웨어의 우수성을 가늠하는 척도가 된다.

FMS의 확장 유연성의 관건이 되는 운영 소프트웨어의 재사용성과 관련된 연구로는 90년대 들어 객체지향기술(object-oriented technology)⁽¹¹⁾을 이용한 운영 소프트웨어의 설계와 개발에 관한 연구⁽¹²⁾⁽⁶⁾가 활발히 진행되고 있다. 객체지향기술을 이용하면, 시스템은 실 세계의 사물을 반영한 개별 객체들의 구성으로 조직화되고, 이러한 객체들은 각각 고유의 속성과 메소드(method)를 포함하게 된다. 기존의 프로그래밍 방식과 달리 객체지향 프로그래밍에서는 속성과 메소드를 포함한 객체들이 정보엔캡슐(encapsulation)을 통하여 보다 수월하게 통합, 상속된다. 이런 특징은 실 세계 시스템에 대한 뛰어난 표현력(또는 추상화 능력)을 제공할 뿐 아니라, 객체의 재사용도 가능하게 해 준다. 객체지향기술을 이용한 운영 소프트웨어의 설계 및 개발에 관한 연구들이 소프트웨어의 재사용성에 관심을 가지고 있기는 하나, FMS 공급자 입장에서 관심이 있는, 물리적인 FMS 구성장비의 변화, 또는 정보흐름과 관련된 인터페이스 및 통신규약의 변화 등을 반영하는 실제 하드웨어와 연계된 운영 소프트웨어 구현에 관한 연구는 아직 미흡한 실정이다.

PetriNet 등 FMS의 기능적 특징과 상태변화의 분석을 통한 정형화된 모델에 관한 연구^{(4),(6)-(9)}도 시도되고 있는 바, 이러한 연구들에서는 FMS 운영 소프트웨어를 기능적으로 모듈화하고, 모듈별 인터페이스를 통해 FMS를 제어하게 된다. FMS 운영 소프트웨어의 구조(architecture)에 관한 연구⁽¹⁰⁾⁻⁽¹²⁾도 진행되어 왔는데, FMS 운영 소프트웨어의 계층적 협동과 분업화를 위한 인터페이스에 관한 연구가 주를 이루고 있다. 이 중 대표적인 것은 Fig. 1과 같이 Jones와 Saleh⁽¹⁰⁾가 제시한 장비(equipment), 워크스테이션(workstation), 샵(shop)의 세 가지 계층의 컨트롤러로 구성된 계층적 제어구

조(hierarchical control architecture) 모형이다. 최하위의 장비 계층의 컨트롤러는 CNC 컨트롤러나 로봇 컨트롤러등과 같이 주로 장비업체에서 제공하는 개별 장비단위의 컨트롤러를 지칭하는 것으로 센서정보와 연계하여 동작기계 베드의 이송제어, 로봇 암의 운동제어 등을 관장한다. 워크스테이션 계층의 컨트롤러는 이적재용 장비, 버퍼 장비, 동작기계 및 기타 장비들의 구성과 배치에 의해 결정되는 워크스테이션을 제어한다. 워크스테이션은 샵 계층의 컨트롤러가 AGV(Automated Guided Vehicle) 등 물류이송 장비에게 가공물 이송 명령을 내릴 때 이송위치로 정의하는 기본 단위로서 한 워크스테이션에서 공정이 끝난 가공물은 물류이송 장비를 거쳐야만 다른 워크스테이션으로 이동할 수 있다. 가공물을 치구에 장탈착하는 셋업 스테이션, 머시닝센터와 APC(Automatic Pallet Changer) 등으로 이루어진 머시닝센터 워크스테이션, 로봇과 한 대 이상의 CNC 선반으로 이루어진 선반가공 워크스테이션 등이 대표적인 워크스테이션들이다. 워크스테이션 계층의 컨트롤러는 '버퍼로 부터 동작기계 베드로 펠릿 이송'이나 '가공 프로그램 시작' 등과 같은 명령수행을 위하여 워크스테이션내의 장비 계층의 컨트롤러와 연계하여 통신매체나 통신규약과 같은 컨트롤러의 특성을 반영하여야 한다. 최상위의 샵 계층의 컨트롤러는 워크스테이션 계층의 컨트롤러들과 접촉되며, 가공품에 대한 생산량이나 시기, 동작기계와 물류장비의 가동율 등을 감안한 전체 시스템의 효율적 운영을 담당한다.

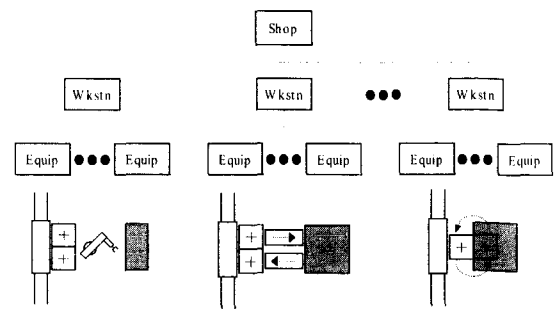


Fig. 1 Three-level hierarchical control architecture

이밖에 FMS 운영 소프트웨어의 장비 의존성으로 인한 개발 환경 구성의 어려움을 극복하기

위해, 컨트롤러 설계에 장비 에뮬레이터(emulator)를 이용하는 것에 대한 연구⁽³⁾도 있었다.

이처럼 운영 소프트웨어의 설계 및 개발에 관한 많은 연구들이 진행되고 있지만, 실제 장비와의 연결을 고려한 접근방법의 부재로 인하여 여전히 확장 유연성의 확보는 어려운 문제로 남아 있다. Fig. 1에서 보는 바와 같이, 장비 계층의 컨트롤러의 변화는 연쇄적으로 상 계층의 컨트롤러의 변화까지 요구하게 되기 때문이다.

본 연구에서는 장비 계층의 장비 구성 및 인터페이스와 운영 소프트웨어의 설계 및 개발에 있어서 일관된 관점으로 통합된 정형모형을 제시하여, 워크스테이션 계층의 컨트롤러와 상 계층의 컨트롤러의 재사용성을 향상시킴으로써 FMS의 확장 유연성을 제고하는 기법을 제시하고자 한다. 이 기법은 하드웨어적인 요소와 소프트웨어적인 요소로 대별되며, 장비 계층과 워크스테이션 계층 사이의 정형화된 인터페이스 방법 및 제어방법을 위하여 장비에 대하여 추상화(abstraction) 기법을 적용한다. 특히 본 논문에서는 이러한 기법을 가공셀(machining cell) 제어에 적용하는 방법을 제시하고, 응용사례로서 고등기술연구원 FMS의 가공셀 제어에 적용한 사례를 예시한다.

2. 가공셀 제어

가공셀은 기계가공 작업을 수행하는 공작기계와 가공을 위한 준비로 소재를 이적재 하거나 장탈착하는 보조장비로 구성된 워크스테이션 또는 다수의 워크스테이션으로 정의할 수 있다. Fig. 1을 기준으로 할 때, 가공셀에서 워크스테이션 계층의 컨트롤러는 상위 상 계층의 컨트롤러로부터 받은 명령을 수행하며, 워크스테이션내의 장비간 공작물 이송과 공정의 수행을 책임진다. 워크스테이션 계층의 컨트롤러로서의 가공셀 컨트롤러는 상 계층의 컨트롤러로부터 받은 명령을 해석하여 가공셀내의 공작기계와 그 보조장비들을 관장하는 각 장비 계층의 컨트롤러들에 명령을 내리고, 장비간의 조화로운 역할수행을 위해 장비들간의 동작을 동기화하며, 명령에 대한 장비들의 수행상태를 감시하게 된다. 또한 명령수행 상태를 계속 감시하여 상 계층의 컨트롤러에 보고하는 역할도 수행한다.

2.1 가공셀 구성장비

가공셀을 구성하는 장비들은 각기 고유의 기능을 가지고 유기적으로 연결되어 가공 작업을 수행한다. Smith 등⁽⁴⁾은 FMS를 구성하는 장비들을 Table 1과 같이 제어가 가능한 장비(controllable equipment)와 제어할 수 없는 장비(noncontrollable equipment)로 분류하였다.

Table 1 Equipments in Machining Cell⁽⁴⁾

Equipment	Explanation	
Controllable Equipment	Material Processor (MP)	MCT, TCT, CMM ...
	Material Handler (MH)	Intra-workstation Move
	Material Transporter (MT)	Inter-workstation Move
	Automated Storage (AS)	AS/RS
Noncontrollable Equipment	Buffer Storage (BS)	Passive Buffer
	Passive Device(PD)	Noncontrollable MP

제어가 가능한 장비는 장비 계층의 컨트롤러를 갖춘 경우이며, 제어할 수 없는 장비는 비파괴와 같이 장비 계층의 컨트롤러를 별도로 필요로 하지 않는 경우이거나 세척장비와 같이 공정에 소요되는 시간이 결정되어 있는 경우이다. 이때, 제어가 가능한 장비들은 Fig. 1에서 최하위 계층에 해당하는 장비 계층의 컨트롤러의 제어대상이 되는 장비들이다.

Smith 등⁽⁴⁾은 또한 상기 Table 1에 나타난 장비들이 수행하는 작업의 특성에 따라 분류하였는데, 객체지향 개념을 이용하여 추상화된 각 장비별 클래스를 Table 2와 같이 정의하였다.

Table 2의 물리적 모델(physical model)에서 나타내는 각 클래스에 해당하는 장비들의 상태를 나타내며, 화살표는 상태변화(state transition)를 일으키는 동작을 나타낸다. 가공셀의 경우 MP는 공작기계로서 장비내로 반입된 공작물을 소요 가공프로그램에 의해 원하는 공정을 수행한다. Table 2에서 MP의 예를 보면, 공작물을 장비내로 반입하기 전 또는 반입 후에 가공 프로그램을 준비한 다음, 준

바된 가공 프로그램에 의해 가공을 하고, 가공 후에 장비밖으로 반출하는 일련의 과정을 정의하고 있다. MH는 한 워크스테이션내에서 MP-MP, MP-BS, 또는 BS-BS 간 공작물의 위치를 이동시키는 역할을 한다. BS는 MP에서의 가공 전 공작물 대기장소 또는 MP에서의 가공 후 공작물 이송대기 위치로 사용된다. 따라서 BS는 공작물의 이동에 있어서 수동적이며, 제어할 수 없는 장비에 속한다. MT는 워크스테이션간에 공작물을 이송하기 위한 장비이다. MT는 서로 다른 워크스테이션에 속하는 BS 간의 공작물 이송에 사용된다.

Table 2 Equipment Class and Physical Model⁽⁴⁾

Class Name	Class Definition	Physical Model
MP	Material Processors	download mp_pick → download process → mp_pick →
MH	Material Handlers	pick → put →
BS	Buffer Storage	as_put → store → retrieve → as_pick →
MT	Material Transporters	port put → move → port pick →

2.2 장비간 인터페이스

가공셀에 속하는 워크스테이션에서 공작물의 반입, 가공, 반출에 이르는 일련의 작업들이 수행되기 위해서는 우선 Table 2에서 제시된 요소장비들이 적절히 구성되어 기계적으로 인터페이스되어야 한다. 장비간 연동이 원활히 이루어지기 위해서는 적절한 통신매체를 통하여 장비간 상태정보의 교환이 원활히 이루어져야 한다. 가공셀 컨트롤러는 워크스테이션 계층의 컨트롤러로서 일련의 작업들이 성공적으로 수행되도록 해당 장비에 명령을 내리고 수행상태를 감시하는 기능을 수행한다.

Fig. 2는 가공작업을 수행하기 위한 가공셀의 구성 예를 나타낸다. Fig. 2의 예에서는 MT 장비 클래스에 속하는 장비로 모두 스택커크레인(stacker crane)과 같은 RGV(Rail Guided Vehicle)를

사용하고 있으나, AGV나 컨베이어 등 다른 MT를 이용하여 구축할 수도 있다. MH로는 (a)에서는 로봇이, (b)와 (c)에서는 APC가 사용되었다. 이때, (b)의 경우는 별도의 APC를 공작기계에 설치한 것이고, (c)의 경우는 APC의 기능이 공작기계의 일부로서 제작된 경우이다. 전술한 바와 같이 로봇과 APC는 모두 MT 장비 클래스에 속하는 장비로서 워크스테이션내에서 BS와 MP 간에 공작물을 이동하는 역할을 담당하게 된다.

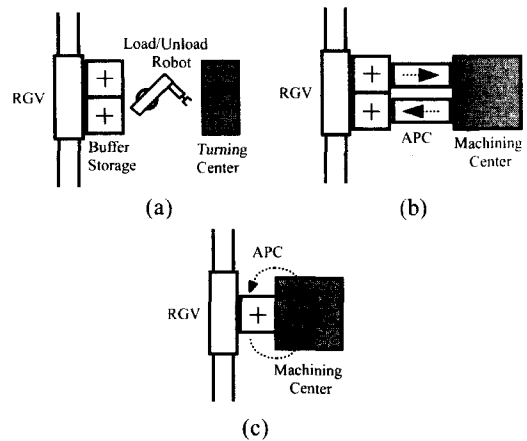


Fig. 2 Examples of equipment configuration in workstation for machining

BS로는 (a), (b)와 같이 두 개의 버퍼를 구성할 수도 있고, (c)와 같이 공작기계의 베드와 일체화된 회전형의 버퍼 하나만으로 구성할 수도 있다. 두 개의 버퍼로 구성된 경우에도 (a)와 같이 두 개의 버퍼 모두 반입과 반출용으로 사용될 수 있도록 구성할 수도 있고, (b)와 같이 하나는 반입 전용으로, 다른 하나는 반출 전용으로 구성할 수도 있다. 반입/반출 버퍼가 구별이 없는 경우는 (a)의 예와 같이 두 버퍼에 MT(RGV)나 MH(로봇)에 의해 접근이 가능하나, (b)와 같이 반입/반출 버퍼가 지정된 경우는 공작물의 상태(가공 전, 가공 후)에 따라 MT나 MH의 접근이 제한된다. 즉, 가공 전에는 공작물의 이동이 MT(RGV) → BS(반입 전용 버퍼) → MH(APC)의 순서를 따르고, 가공 후에는 공작물의 이동이 MH(APC) → BS(반출 전용 버퍼) → MT(RGV)의 순서를 따른다.

Fig. 2의 예에서 본 바와 같이, 가공셀을 구성하는 워크스테이션은 BS, MH 및 MP에 속하는 장비들을 적절한 수 만큼 연동이 되도록 구성된 생산단위로서, 공작물을 구성장비간에 상호교환해가면서 필요한 가공작업을 수행한다. 이때 워크스테이션간의 공작물 이동은 가공셀에 속하지 않는 장비 클래스인 MT가 담당한다. 가공셀을 구성하는 워크스테이션은 BS, MH, MP 클래스에 속하는 장비들의 및수와 구성에 따라 다양한 형태를 이루며, 장비간의 기구적인 연동 방법이나 장비 컨트롤러간의 인터페이스 방법, 워크스테이션과 MT 장비와의 인터페이스 방법 등에 따라서도 다양한 형태를 이룬다.

2.3 가공셀 제어 및 감시

가공장비(MP)는 상기한 바와 같이, 하나 이상의 BS 및 MH와 기구적, 전기적으로 인터페이스되어 필요한 가공작업을 수행한다. 필요한 가공작업의 수행을 위한 장비 제어는 각 장비의 개별 제어와 장비간의 동기화를 위한 제어로 대별된다. 여기서 구성 장비와 장비간 인터페이스 방법에 따라 제어방법과 제어명령의 흐름 및 입출력 데이터 등이 달라지게 된다.

기존 FMS에 새 장비를 투입하거나, FMS 구조를 변경하는 경우에는 장비 계층의 컨트롤러의 변경 또는 새로운 장비 계층의 컨트롤러의 추가가 필요하게 된다. 이때 워크스테이션 계층의 컨트롤러가 제어방법, 제어명령의 흐름, 입출력 데이터를 일관성있게 처리하지 못하면 샵 계층의 컨트롤러가 제대로 기능을 발휘하지 못하게 될 수도 있다. 즉, Table 2의 예에서 본 바와 같이 가공셀 컨트롤러는 가공을 위한 NC 프로그램을 다운로드하고 가공상태를 모니터링 하는 것 뿐 아니라, 공작물의 반출입을 위하여 이적재용 로봇이나 APC의 동작을 제어해야 한다. 이를 위해서는 로봇과 공작기계간의 동기화 뿐 아니라, 버퍼를 사이에 두고 RGV와 APC 간의 동시접근을 방지하기 위한 동기화도 요구된다. 로봇과 APC는 공히 MH 클래스에 속하며 같은 물리적 모델로 볼 수 있지만, 제어방식과 감시 데이터가 다르며 이러한 점은 다양한 워크스테이션에 대하여 호환성 있는 일반화된 가공셀 컨트롤러의 설계를 어렵게 하는 요인으로 작용한다.

3. 추상화된 공작기계(Abstract Machine Tool)

FMS 장비구성에 무관한 통일된 제어 방식의 구현이 어렵기 때문에, FMS 구축에 있어서 하드웨어 및 소프트웨어 구성에 제약을 갖게 된다. 본 연구에서는 FMS 신축 또는 확장에 있어서 운영 소프트웨어의 재사용성을 높이기 위하여, 물리적인 장비를 직접 제어하는 장비 계층의 컨트롤러간의 인터페이스 방법과 이 인터페이스에 기초하여 소프트웨어를 설계할 수 있도록 정형화된 모델을 제시한다. 이 방법을 이용하면 워크스테이션 계층의 컨트롤러에게 상이한 장비 계층의 컨트롤러의 구성과 인터페이스에도 동일한 워크스테이션 제어 모델을 제공하는데, 이 모델을 추상화된 공작기계(Abstract Machine Tool: 이하 AMT)라고 정의한다. 가공셀을 구성하는 하나의 워크스테이션은 하나의 AMT로 표현되며, 서로 상이한 워크스테이션들도 동일한 모델의 AMT에 대응된다.

3.1 AMT 모델의 정의

Fig. 3에서 보는 바와 같이 AMT는 각기 한대 이상의 BS, MH, MP로 구성된다.

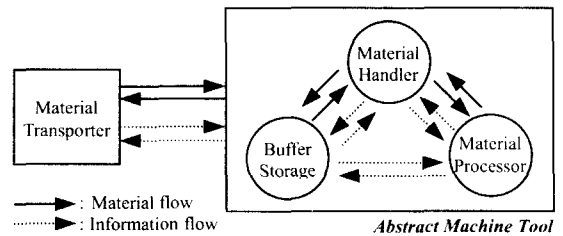


Fig. 3 Configuration of AMT

AMT는 한대의 MH가 하나 이상의 BS와 한대 이상의 MP 사이에 공작물을 이동시키는 형태가 된다. AMT는 MT로부터 BS를 통하여 공작물을 반입하고 가공 후 BS를 통하여 다시 MT로 반출한다. 이때, AMT는 충돌 방지와 원활한 공작물 흐름을 위하여 MT와 동기화 관련 정보를 교환하게 된다. AMT와 MT 상호간의 관계에서와 마찬가지로, BS와 MH 또는 MH와 MP 간에도 정보를 주고 받게 되며, 공작물의 직접 이동이 없는 BS와 MP 간에도 정보교환은 이루어진다. 이러한 정보들은 상위 워크스테이션 계층의 컨트롤러의 모니터링 정보가 되며, 제어를 위한 기초정보

가 된다.

AMT는 장비구성에서 나타날 수 있는 다양성을 하나의 추상화된 장비로 일반화하여 상위 워크스테이션 계층의 컨트롤러에게 동일한 관점을 제공함으로써 일관성 있는 제어 및 정보의 흐름을 제공하게 된다. 다만, 다양한 형태의 장비구성을 하나의 일반화된 모델로 적절히 표현하여 구현하는 방법이 문제가 되는데, 이를 해결하기 위해서는 AMT의 상태변화모델(state transition model)과 정보흐름모델(information flow model) 뿐만 아니라 이를 수용할 수 있는 하드웨어 구성방법론이 있어야 할 것이다.

3.2 AMT의 장비 구성

Fig. 2에서 예시된 사례들은 일반적인 상용 FMS의 구성 예들이다. 일반적으로 2개 이하의 반입/반출용 버퍼(BS)를 가지며, 공작기계(MP) 1대와 공작물을 공작기계로 장착하기 위한 장비(MH) 1대로 구성된다. FMS에 있어서 워크스테이션간의 공작물 이송은 물류장비(MT)에 의하여 BS를 통하여 주로 팰릿단위로 이루어진다. 그러나, 워크스테이션 내부에서 BS와 MP간의 공작물 이송은 반드시 팰릿 단위로 이루어지지 않는 바, Fig. 2 (a)의 CNC 선반의 경우와 같이 팰릿 위에 장착되어 이송된 공작물을 로봇(MH)이 공작기계(MP)에 공작물 단위로 직접 장착할 수도 있다. Fig. 2의 (b), (c)의 경우는 APC(MH)를 이용하여 팰릿 단위로 이송하는 예로서, 공작기계(MP)가 머시닝센터(machining center)인 경우에 주로 이용된다.

이와 같이 상이한 장비 구성은 일반적으로 상이한 제어방법을 요구하게 된다. 그러나 개별 장비들은 Table 2에 제시된 4가지 클래스 중의 하나에 속하며, 각각 Table 2에서 나타낸 물리적 모델을 따른다는 것을 알 수 있다. 즉, Fig. 2 (a)의 로봇은 공작물 단위로 버퍼와 CNC 선반간의 이적재 작업을 하고, Fig. 2 (b)의 APC는 팰릿단위로 버퍼와 머시닝 센터간의 팰릿 이적재 작업을 수행하지만, 로봇과 APC는 공히 MH 클래스의 인스턴스이며 같은 물리적 모델을 따른다. 즉, 동일한 AMT 구조를 가지며, 노드로 표현된 구성요소간 물류내용만 달라진다. 결국 이런 관점에서 Fig. 1에서 예시한 3가지 경우는 모두 Fig. 4와 같은 AMT로 추상화할 수 있다.

일반적으로 공작물은 이송방향과 경로를 가지

는데, 이는 MH의 동작특성, BS의 댓수 또는 운영정책 등에 의해 좌우되기도 한다. Fig. 2에서 분바와 같이, (a)의 경우는 반입 및 반출 버퍼가 구분되어 있지 않은 경우이고, (b)의 경우는 운영정책상 구분되어 있는 경우이며, (c)의 경우는 APC 동작특성상 두개의 팰릿이 동시에 교환되는 경우이다.

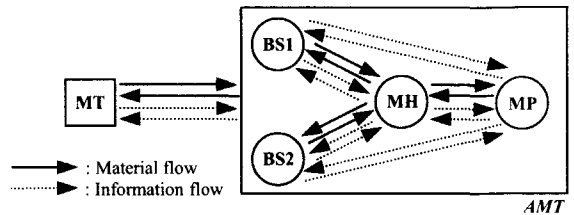


Fig. 4 Abstraction for three examples of [Fig. 1]

삽 계층의 컨트롤러는 자원의 효율적인 배분을 통한 적절한 생산통제를 위하여 버퍼의 상태, 공작물의 흐름, 공작물의 상태에 관심을 갖고 있다. 워크스테이션 계층의 컨트롤러는 삽 계층의 컨트롤러의 이러한 관심을 충족시키기 위하여 AMT 내의 물류흐름을 모니터링 및 제어하여야 한다. 워크스테이션 계층의 컨트롤러가 AMT 모델에 의해서 실제 장비들을 모니터링하고 제어하기 위해서는 결국 장비 계층의 컨트롤러들이 이러한 일반적인 모델에서 정의한 동작 특성을 충족시킬 수 있어야 한다. 일반적으로 장비 계층의 컨트롤러들은 로봇과 APC의 예처럼 동작특성이 서로 다르므로 서로 다른 장비 컨트롤러들이 사용된다. 따라서, 워크스테이션 계층의 컨트롤러가 하위 장비 계층의 컨트롤러를 감시하고 제어하기 위한 통일된 모델의 적용이 어려워지므로, 장비를 추가로 설치하거나 새로운 FMS를 구축할 때는 기존 모델을 사용하기가 어렵게 된다. 이러한 난점은 상위 삽 계층의 컨트롤러 재사용성에도 제한을 가져오게 된다.

3.3 AMT 제어 및 감시

워크스테이션 계층의 컨트롤러가 하부장비를 제어할 때, 서로 상이한 장비구성에 대해서도 동일한 AMT 모델을 적용하여 같은 입출력 데이터 형식과 제어 시퀀스(sequence)에 의한 제어를 가능하게 하려면 동일한 장비 클래스에 속하는 장비의 경우, 장비 계층의 컨트롤러들이 동일한 입출력

데이터 형식과 제어 시퀀스를 수용할 수 있어야 한다.

Fig. 5 는 Fig. 2 에 AMT 를 적용했을 경우의 제어 계층구조를 나타낸 것이다. 서로 상이한 장비들로 구성된 다양한 워크스테이션에 대하여 동일한 워크스테이션 계층의 제어 모델 및 소프트웨어를 적용하기 위하여 제어대상장비들을 하나의 추상화된 장비 즉, AMT 로 제어하는 것을 도식화한 것이다.

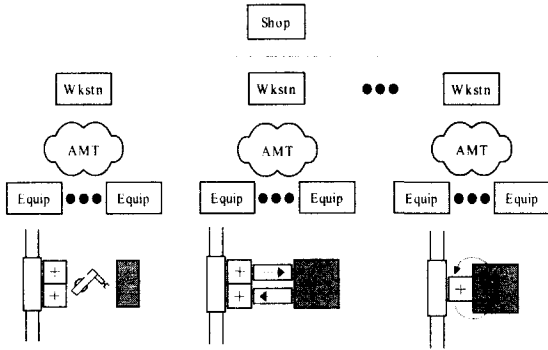


Fig. 5 Workstation Level Control by AMT

이 경우, Fig. 2 (a)와 같은 장비들로 구성되어 있는 기존의 FMS 에 Fig. 2 (b)와 같은 장비들로 구성된 워크스테이션이 추가되어도 동일한 AMT 모델을 적용하여 같은 워크스테이션 콘트롤 소프트웨어를 사용할 수 있다. 이는 상위 샵 계층의 콘트롤러도 계속 유효함을 의미한다. 상위 샵 계층의 콘트롤러의 관심사는 주로 물류 이동이며, 이외의 다른 장비들에 대해서는 작동여부만 알아도 운영이 가능하다. 결국 워크스테이션 계층의 콘트롤러는 샵 계층의 콘트롤러 명령을 수행하는 데, 실제 장비를 운영하면서 그 진행상황과 결과만을 샵 계층의 콘트롤러에게 전달하면 된다. 워크스테이션 계층의 콘트롤러가 필요로 하는 정보들을 요약해 보면 Table 3 과 같게 된다.

정보는 크게 두 가지로 나눌 수 있는데, 하나는 워크스테이션 계층의 콘트롤러가 장비에 내려 보내는 명령이고, 다른 하나는 장비가 워크스테이션 계층의 콘트롤러에게 보내는 감시정보이다. 제어명령은 가공 프로그램을 준비시키는 것과 실제 가공작업 시작을 지시하는 것으로 나뉜다. 감시정

보는 샵 계층의 콘트롤러가 관심을 갖는 공작물 이동 및 BS, MH, MP 의 상태를 나타내는 정보이나 이러한 정보들은 결국 공작물의 위치, 공작물의 상태, 공작물의 이동경로를 나타내는 정보로서 Fig. 5 에서처럼 다양한 구성의 장비를 하나의 AMT 를 이용하여 제어하기 위한 입출력 자료가 된다. 장비의 종류에 상관없이 Table 3 과 같은 정보를 입출력할 수 있는 장비 계층의 콘트롤러가 있으면 워크스테이션 계층의 콘트롤러는 다양한 장비 계층의 콘트롤러를 상대해야 하는 번거로움을 줄일 수 있으며, 워크스테이션 계층의 콘트롤러의 재사용성도 보장할 수 있다.

Table 3 Information Flow of AMT

정보흐름	제어정보	내용
Workstation Controller ->장비 (명령)	Program #	가공 준비 프로그램 번호
	Machining Start	가공시작 명령
	Program Download/upload	프로그램 Download/Upload
장비-> Workstation Controller (감시정보)	MH Working On/Off	MH Working or Idle
	MH Loading from BS1	공작물 반입 (BS1->MP)
	MH Loading from BS2	공작물 반입 (BS2->MP)
	MH Unloading to BS1	공작물 반출 (BS1<-MP)
	MH Unloading to BS2	공작물 반출 (BS2<-MP)
	BS1 On/Off	Buffer #1. Pallet 有無
	BS2 On/Off	Buffer #2. Pallet 有無
	MP On/Off	MP Ready 有無
	MP Machining On/Off	Machining or Idle
	MP Workpiece On/Off	MP 에 Workpiece 장착 有無
	Alarm On/Off	Alarm 有無
EMG Stop	Emergency	

워크스테이션 계층의 콘트롤러와 AMT 의 정보 교환용 인터페이스 창구는 MP 콘트롤러로 일원화한다. 이는 워크스테이션 계층의 콘트롤러는 가공

을 위한 NC 프로그램 다운로드 등의 목적으로 MP 측, 공작기계의 컨트롤러와 직접 인터페이스 되어야 하기 때문이다. AMT 를 구성하는 장비 중 에서 MH 는 AMT 내 물류이동을 담당하므로 MP 및 BS 와 신호교환을 통해 충돌 및 데드락 (deadlock) 발생을 방지해야 한다. 특히 이러한 신호 교환은 MT 와의 충돌 및 데드락 예방을 위해서도 대단히 중요하다. 따라서 MH 는 BS 및 MP 와 상호 정보교환할 수 있도록 인터페이스되어야 한다.

Fig. 6 은 MP, MH, BS 등의 장비 계층의 컨트롤러 간의 인터페이스 방법을 나타내고 있다. Table 1. 에서 본 바와 같이 MP 와 MH 는 제어 가능한 장비이고, BS 는 제어할 수 없는 장비이다. 이중 MP 컨트롤러가 워크스테이션 계층의 컨트롤러와 교신하게 되며, MH 컨트롤러나 BS 센서는 MP 컨트롤러에 종속되는 구조로 되어 있다.

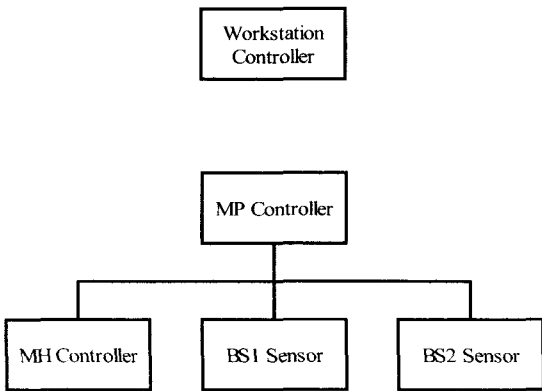


Fig. 6 Configuration of Equipment Controllers

Fig. 6 과 같은 장비 계층의 컨트롤러 구조에 의하여, 워크스테이션 계층의 컨트롤러는 MH 및 BS 의 하드웨어적인 구성의 차이와 동작특성에 무관하게 동일한 AMT 모델에 의하여 제어할 수 있다. 즉, MH 의 정형화된 모델에 근거하여 워크스테이션 컨트롤러가 필요한 입출력 데이터를 MP 컨트롤러를 통하여 제어, 감시할 수 있게 된다. 이는 마치 워크스테이션 계층의 컨트롤러가 하나의 MH 과 두개의 BS 를 가진 현대의 공작기계를 제어 및 감시하는 것과 같게 된다. 이 한 대의 추상화된 공작기계를 AMT 라고 지칭하는 것이다.

4. AMT 를 이용한 가공셀 컨트롤러 구현 (예 : MACHINIST)

Fig. 7 은 고등기술연구원에 설치된 IAE-FMS Pilot Plant 에 대한 도식이다. 가공물 저장 및 이송용 장비로는 RGV 의 일종인 스택크레인과 저장용 rack 으로 구성된 자동창고(AS/RS)가 있으며, 공작기계로는 대우 P8HC CNC 선반과 대우 AV65 수직형 머시닝센터 및 대우 AH63 수평형 머시닝센터가 1 대씩 있다. 머시닝센터에는 각각 펠릿 이적재용 APC 가 장착되어 있으며, CNC 선반에는 개별 공작물 이적재용으로 IRB 1500 로봇이 있다. 기타 장비로는 공작물의 셋업(setup) 및 셋다운(setdown)을 위한 2 대의 버퍼로 구성된 셋업스테이션이 있다.

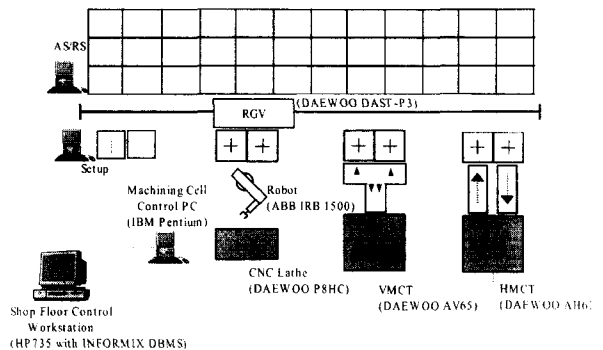


Fig. 7 Configuration of IAE-FMS

IAE-FMS 는 상기와 같은 장비구성의 Pilot Plant 에 72 시간의 무인 운전을 목표로 설계된 가공용 FMS 이다. IAE-FMS 를 통합운영하는 샵 컨트롤러로서 IAE-SFC 가 있다. 이는 상용 DBMS(Database Management System)인 Informix 로 구현된 생산데이터베이스(manufacturing database)와 함께 HP 社의 워크스테이션상에서 운영되고 있다. IAE-SFC 는 시스템의 작업일정을 계획하는 스케줄링기능과 시스템 자원을 분배하는 자원할당기능을 주로 수행하는데, 특히 자동적으로 작업일정의 진행을 제어하고 진행 조건들을 감시하며, 생산환경과 장비상태의 변화에 유연하게 대응하도록 설계되었다. IAE-

SFC는 HP-UX 운영체제상에서 C++ 언어를 이용하여 개발되었다.

워크스테이션 계층의 컨트롤러로는 스택커 라인 제어용으로 IBM PC 상에서 운용되는 SC MANAGER 및 셋업스테이션 운영용으로 다른 IBM PC 상에서 운용되는 SETMAN 이 있다. 가공용 워크스테이션으로는 CNC 선반과 수직/수평 머시닝 센터의 3 대의 공작기계가 각각 중심이 된 3 개의 워크스테이션이 있으며, 이들은 하나의 가공셀을 구성한다. 가공셀을 제어하는 MACHINIST 는 1 대의 IBM PC 상에서 3 개의 AMT 로 표현된 3 개의 워크스테이션을 동시제어하고 있다. MACHINIST 는 Windows NT 상에서 운용되며, Microsoft 社의 Visual C++를 개발언어로 이용하였다. 이외에 전체 시스템의 운영상황을 한 눈에 알 수 있는 모니터링 시스템인 MON 이 있으며, MON 은 SETMAN 과 SC MANAGER 와 같이 Borland 社의 Delphi 를 개발언어로 사용하였다. MACHINIST 의 관리대상이 되는 가공셀에 포함되는 장비 계층의 컨트롤러로는 로봇제어용 컨트롤러와 공작기계 제어용으로 FANUC CNC 컨트롤러가 사용되고 있다.

Fig. 8 은 IAE-FMS 의 가공셀 컨트롤러인 MACHINIST 의 소프트웨어 구조를 나타내고 있다.

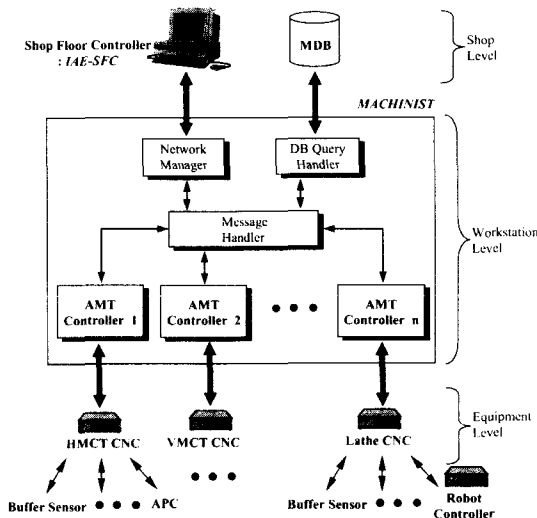


Fig. 8 Architecture of MACHINIST

공작기계를 중심으로 구성된 3 개의 워크스테이션별로 AMT 컨트롤러가 할당되어 독립된 프로

세스로서 제어 및 감시를 담당하고 있다. 워크스테이션 컨트롤러로서 AMT 컨트롤러는 MP 즉, 공작기계의 CNC 컨트롤러와 연결되어 있으며, AMT 내의 BS 및 MH 에 해당되는 기타 장비들인 APC, 로봇 및 버퍼의 정보와 관련된 센서들도 CNC 컨트롤러에 연결되어 있다. 따라서 AMT 컨트롤러는 각 공작기계 주변 장비들의 하드웨어적인 차이에 관계없이 동일한 AMT 컨트롤러를 이용하게 된다.

Fig. 8 에서 IAE-SFC 의 가공명령이 특정 공작기계에 내려지면, 그 명령은 Network Manager 를 통하여 MACHINIST 에 전달된다. Message Handler 는 대상 공작기계를 판별하고 해석하여 해당 공작기계의 AMT 컨트롤러에게 이 제어명령을 전달한다. 이때 AMT 컨트롤러는 필요한 가공 프로그램을 DB Query Handler 에 요청하여 필요한 가공 프로그램을 준비시킨다. 동시에 AMT 컨트롤러는 CNC 컨트롤러로부터 MP, MH, BS 의 상태정보를 수집하고 감시한다. 이 정보는 또한 Network Manager 를 통하여 SFC 에게 전달되고, 상태정보로서 데이터베이스에 기록된다. Message Handler 에 의해 전달되는 정보는 Table 3 에서 예시된 정보들이며, 이러한 정보는 미리 약정된 규약에 따라 전송된다. IAE-SFC 와 MACHINIST 간의 명령 및 메시지 교환이나, MDB 와 MACHINIST 간의 자료교환은 TCP/IP 를 기본 프로토콜로 이용하고 있다. MACHINIST 의 각 AMT 컨트롤러 및 Message Handler, Network Manager, DB Query Handler 와 같은 각 모듈들은 내부프로세서간 통신에 많이 이용되는 프로토콜로서 Named-pipe 를 이용하고 있다.

공작기계별로 AMT 컨트롤러가 하나씩 연결되는 MACHINIST 의 구조는 FMS 를 확장할 때 적용이 용이한 가공셀 컨트롤러의 구조가 된다. Fig. 8 에서 본 바와 같이 각 AMT 컨트롤러는 공작기계의 CNC 컨트롤러하고만 물리적으로 연결되어 있으며, 기타 로봇제어나 센서정보의 수집 등은 이 CNC 컨트롤러를 통해서 하고 있다. 이때 각 CNC 컨트롤러내의 입출력 정보를 갖게 하여 CNC 컨트롤러의 하부 장비 컨트롤러의 구성과 종류에 관계없이 같은 AMT 컨트롤러를 쓸 수 있게 하였다. 이렇게 하면, 추가되는 워크스테이션마다 AMT 컨트롤러를 하나 더 추가하기만 하면 된다. 물론 동일한 AMT 컨트롤러를 적용할 수 있으려면 동작내용과 입출력 데이터 양식이 잘 정의되어 있어야 하며, 하드웨어구성도 제시된 모형을 따라야 한다.

5. 결론

본 연구에서는 AMT를 통한 가공셀 제어방법을 제시하였다. AMT는 제어를 위해 추상화된 동작기계 모델로서 MP기능은 물론, MH와 BS의 기능도 갖춘 가상의 기계이다. AMT를 이용한 가공셀 제어를 실현하기 위해 각 장비 콘트롤러 및 센서간의 인터페이스 방법을 제안하였고, 소프트웨어 설계를 위한 AMT 모델의 구성예도 제시하였다. 또한 다수의 동작기계로 이루어지는 가공셀에 대한 콘트롤러 구성방안도 제시하였다. 제안된 방법들은 실제 FMS에 적용하여 그 유용성을 검증하였다.

AMT 모델을 이용하여 가공셀을 제어하게 되면, 기존의 소프트웨어 및 제어 구조에 대한 재사용성을 보장할 수 있고, 새로운 FMS를 설치할 때에도 기존의 소프트웨어를 재사용할 수 있으므로 FMS의 확장성을 크게 향상시킬 수 있다. 뿐만 아니라 이러한 AMT 모델은 운영 소프트웨어 개발시 실제 하드웨어와 연결하기 전에 미리 검증하기 위한 용도로도 사용될 수 있을 뿐만 아니라, 장비의 다양한 구성에 대해서도 동일한 소프트웨어를 적용할 수 있어 운영 소프트웨어의 개발기간 및 비용 감축 측면에서도 장점을 가지고 있다.

참고문헌

1. Booch, G., "Object-Oriented Analysis and Design with Applications," Addison-wesley, 1994.
2. O'grady, P., Seshadri, R., "X-Cell - intelligent cell control using object-oriented programming (Part I)", Computer Integrated Manufacturing Systems, Vol.4, No.3, pp.157-163, 1991.
3. Lin, L., Wakabayashi, M., and Adiga, S., "Object-oriented modeling and implementation of control software for a robotic flexible manufacturing cell," Int. J. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, Vol.11, No.1, pp.1-12, 1994.
4. Smith, J. S., Joshi, S. B., "A shop floor controller class for computer-integrated manufacturing," Int. J. Computer Integrated Manufacturing, Vol.8, No.5, pp.327-339, 1995.
5. Chen, K.-Y., Lu, S.-S., "A Petri-net and entity-relationship diagram based object-oriented design method for manufacturing systems control," Int. J. Computer Integrated Manufacturing, Vol.10, No.1-4, pp.17-28, 1997.
6. Smith, J. S., Joshi, S. B., "Formal model for shop floor control in automated manufacturing," Proceedings of the industrial Engineering Research Conference, pp.31-35, 1993.
7. Wysk, R. A., Smith, J. S., "Formal functional characterization of shop floor control," Computers & Industrial Engineering, Vol.28, No.3, pp.631-643, 1995.
8. Joshi, S. B., Mettala, E. G., Smith, J. S., and Wysk, R. A., "Formal models for control of flexible manufacturing cells: physical and system model," IEEE transactions on Robotics and Automation, Vol.11, No.4, pp.558-570, 1995.
9. 홍순도, 조현보, 정무영, "A Petri-Net Based Execution Model of Processing Equipment for CSCW-based Shop Floor Control in Agile Manufacturing," 한국경영과학회/대한산업공학회 춘계학술대회 논문집, pp.193-200, 1995.
10. Jones, A., Saleh, A., "A decentralized control architecture for computer integrated manufacturing systems," IEEE Symposium on Intelligent Control, Arlington, VA, pp.44-49, 1989.
11. Smith, J. S., Hoberecht, W. C., "Shop-floor control architecture for computer-integrated manufacturing," IIE Transactions, Vol.28, No.10, pp.783-794, 1996.
12. Duffie, N. A., Prabhu, V. V., "Heterarchical control of highly distributed manufacturing systems," Int. J. Computer Integrated Manufacturing, Vol.9, No.4, pp.270-281, 1996.
13. Witzerman, J. P., "Cellular Control Modeling Function with a Simulator/Emulator Workstation," Master Thesis, Purdue University, 1993.
14. Bauer, A., Bowden, R., Browne, J., Duggan, J., and Lyons, G., "Shop Floor Control Systems from design to implementation," Chapman & Hall, 1991.