

# 개방형 유연제조셀 제어를 위한 오퍼레이션 모델에 관한 연구

## Study on Operation Model for Open Architecture Flexible Manufacturing Cell Controller

최 경 현

K. H. Choi

**Key Words** : Flexible Manufacturing Cell(유연제조 셀), Object-Oriented Approach(객체지향접근법), Holon(홀론), Computer Integrated Manufacturing(컴퓨터 통합생산시스템), Operation Model(오퍼레이션 모델)

**Abstract** : Modern manufacturing systems should cope with the frequent changes in a product model and disturbances in manufacturing process. The control system of such systems must cover a constant adaptation and high flexibility. Holonic Flexible Manufacturing Cell(HFMC) is introduced to handle these issues more successfully. It is based on the concept of autonomous co-operating agent, called 'Holon', which is a building block of a manufacturing system for transforming, transporting, storing and/or validating information and physical objects. In this paper the basic structure of the HFMC is represented by using Unified Modeling Language and Open architecture cell controller is developed for effective integration components of a manufacturing system. Also a new control model, called MuLOM(Multi-Layered Operation Model), is suggested to represent the control behaviour for a holonic flexible manufacturing cell control system.

### 1. 서 론

현대의 제조환경은 소비자의 요구가 다양해지고 제품의 라이프사이클이 단축됨에 따라 소품종 대량생산체제에서 다품종소량생산의 변동변량 생산체제로의 전환이 빠르게 진행되고 있다. 이에 대응하기 위해 생산주문의 처리에서 설계, 가공, 판매에 이르는 생산활동의 다양한 부문에서 컴퓨터가 이용되고 있을 뿐만 아니라, 산업용 로봇, 공작기계, PLC, AGV, AS/RS, 컨베이어 등의 생산시스템의 주요 장비들에 마이크로프로세서가 탑재되어 자동화의 수준을 한층 더 증가시킴으로써 생산성 향상, 품질의 균일성 유지, 인건비 절감, 리드 타임의 단축 등의 어느 정도 효과를 거두었다<sup>1)</sup>. 그러나, 이러한 자동화는 전체적인 생산공정에 초점을 두지 못하고 각각의 독립적인 생산공정과 장비들에 대한 요소자동화에 치중함으로써 자동화의 섬

(Island of Automation)들을 형성하게 되었고, 정보 및 전체적인 통합화의 부족으로 인하여 기대했던 만큼의 생산성 향상의 효과를 거두지 못하는 한계에 이르렀다. 이로 인해 유연생산시스템(Flexible Manufacturing System, FMS), 컴퓨터 통합생산(Computer Integrated Manufacturing, CIM) 등과 같은 생산 시스템의 개념이 등장하였다<sup>2)</sup>. 이들은 기존의 생산 방식이 가지고 있던 모순, 즉 "Island of Automation"을 극복하기 위한 수단으로써 각 생산장비의 기능들을 통합하는데 역점을 두었다. 여기서 통합이란 각 부분들을 하나의 전체로 만든다는 의미로 실제로 통합을 위한 기술인 근거리 통신망(Local Area Network, LAN)이 자동화 분야에 도입됨으로써, 독립적인 공정과 장비들 간의 원활한 정보교환이 이루어지게 되었고, 컴퓨터 통합생산시스템을 구축할 수 있는 환경이 조성되었다<sup>3)</sup>. 그러나, FMS나 CIM 역시 각 생산요소들을 통합화하였다는 큰 의미를 제시하긴 하였지만 중앙 집중적인 제어 방식으로서 생산시스템 하위 레벨이 경직되는 단점을 표출하였다<sup>4,5)</sup>. 기존의 이러한 생산

접수일 : 2000년 9월 22일

최경현 : 제주대학교 기계에너지생산공학부

시스템의 형태인 계층적 구조(hierarchical organization structure)는 안정성이 높고 최적 제어 해를 구하기가 상대적으로 쉽지만, 시스템의 하위 레벨에서는 각 구성 요소들은 상호 협동적인 면이 배제되어 있어 환경 변화에 민첩하게 대응하기가 힘들다<sup>6)</sup>. 이를 해결하기 위하여 에이전트 개념을 도입하여 변화하는 작업환경에 쉽게 적응할 수 있고 시스템을 구성하는 각 단위 장비들 간에 독립적이고 상호 협동적인 제어시스템들이 개발되고 있다. 이를 해결하기 위하여 에이전트 개념을 도입하여 구성요소 간에 독립성과 협동성을 부여함으로써 작업환경의 변화에 유연적으로 대처할 수 있는 제어시스템들이 개발되고 있다<sup>7,8)</sup>.

본 논문에서는 UML(Unified Modeling Language)기법을 이용하여 제조셀을 구성하는 하드웨어 장비와 소프트웨어를 모델링 하였으며, 시스템의 구동을 위한 홀로닉 개방형 셀 제어를 홀론의 개념으로 구축하고, 실시간 제어모델로서 MuLOM을 제안하고자한다.

## 2. 홀로닉 유연제조셀

### 2.1 유연제조셀의 구성

Fig. 1에서 보는 바와 같이 일반적인 유연제조셀(Flexible Manufacturing Cell, FMC)은 NC 공작기계, 로봇, 컨베이어, AGV 및 센서들로 구성되며, 셀 제어기는 시스템의 구성요소를 요구되는 작업에 따라 관리 및 제어를 수행한다.

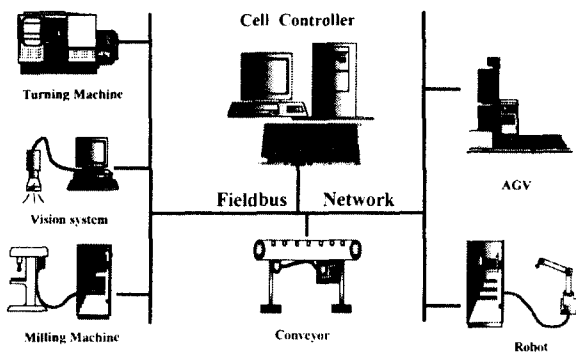


Fig. 1 Flexible manufacturing cell components

가공 공정을 수행하는 장비로서, NC 터닝센터와 NC 머시닝센터는 가공셀의 주요 구성요소이다. 이러한 머신들은 재프로그래밍이 가능할 뿐만 아니라 다양한 공구교환장치(Automatic Tool Changer, ATC)와 주축부교환장치(Head Changer)를 가지고

있어 시스템에 유연성을 증가시키고 비절삭시간 단축기능과 무인운전기능을 장착하여 자동화 생산 시스템에 적용하기가 쉽다.

로봇은 컨베어나 AGV에서 가공재료를 픽업(pick up)하거나 NC 공작기계 등에 재료를 로드(load), 언로드(unload)하는 취급 및 이송에 이용되고 있으며, 다른 장비에 비해 상대적으로 빠르고 쉽게 프로그래밍 할 수가 있다. 또한, 다양한 종류의 엔드이펙트를 장착하여 배치 생산(batch production)에서 주요한 역할을 담당하고 있다.

컨베이어는 상대적으로 대량이고, 고정된 경로를 따라 지정된 위치로 이동시키는 역할을 하며, AGV는 다양한 경로를 통해 재료를 이송하는데 사용되고 있으며, 생산시스템에서 두 장비는 셀 간의 연결에도 종종 사용되어진다.

센서는 제조셀 제어기에서 가장 기본이 되는 요소로서, 시스템을 모니터링하고 에러를 조사하여 시스템 제어기나 하위 제어기가 이를 이용할 수 있도록 부품의 위치, 방향, 형상 등의 물리적 데이터를 전기적 신호등으로 변환하여 제공한다. 최근에는 비전시스템을 이용한 부품의 형상정보와 위치정보의 인식 등과 같이 단순한 센서의 역할을 확장한 다양한 작업을 수행할 수도 있다.

이러한 구성 장비들은 제조셀의 유연성을 높이기 위해 생산시스템에서 높은 레벨의 자동화가 요구된다. 즉, 프로그래밍이 가능할 뿐 만 아니라, 시스템 변화에 따라 쉽게 사용자 설정이 가능해야한다.

### 2.2 홀로닉 유연제조셀

홀론이란 생산시스템에 있어서 자율적이면서도 협동적인 성질을 가진 시스템의 구성체로서 NC 공작기계, 로봇, 컨베이어, 센서와 같은 실제 시스템을 구성하고 있는 장비뿐만 아니라 포괄적으로 제품의 변환, 운송, 저장과 정보의 변환 및 생산계획, 생산통제 등이 될 수 있다. 홀론은 정보 처리 부분과 물리적 수행 부분으로 나누어지며 하나의 홀론은 다른 홀론과의 통신과 협력을 통하여 물리적인 개체를 유기적으로 연결하고 정보를 변환, 운반, 저장함으로써 제어기능을 할 수 있도록 적절한 지식 베이스(knowledge-base)를 가지고 있다.

Fig. 2와 같이 홀로닉 유연제조시스템을 UML기법을 이용하여 객체 모델링하였다. UML에 의한 시스템 모델링은 기계, 장비, 작업, 센서, 오퍼레이터, 네트워크 등과 같은 구성을 가진 실제 작업 현장 실체에 매우 근접하게 모델링 할 수 있을 뿐만 아니라, 시스템의 변경에 용이하게 대처할 수 있는

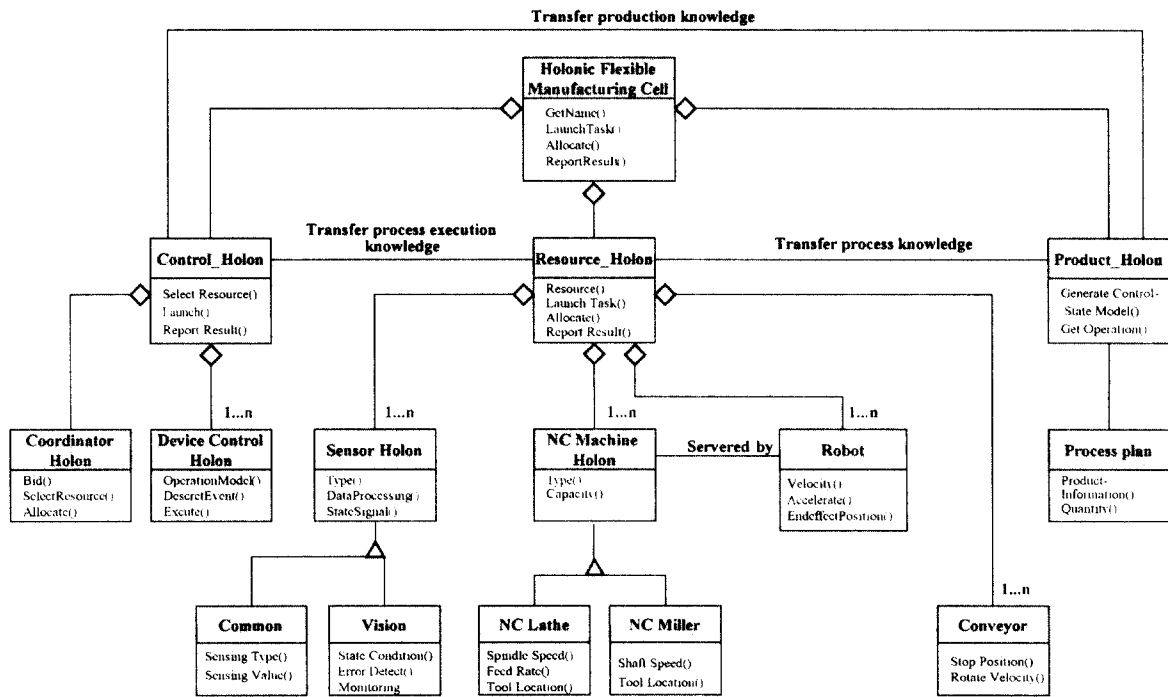


Fig. 2 Class structure of holonic manufacturing cell

개방적인 특성을 가지고 있다. 그림에서 보느냐와 같이, 홀로닉 유연제조셀은 리소스 홀론(resource holon), 제품 홀론(product holon), 제어 홀론(control holon)으로 구성되어 있다. 리소스 홀론은 로봇, NC, 컨베이어, 센서 홀론 등과 같은 시스템을 구성하고 있는 디바이스들에 대한 생산 리소스를 가진 물리적인 부분과 이것을 제어하는 정보처리 부분으로 구성되어 있다. 이러한 구성요소의 추상적인 개념을 클래스화 함으로써 시스템이 개방적인 특성을 지니도록 한다. 리소스의 용량에 따라 적절히 제어되도록 주위 홀론에게 정보를 제공한다.

제품 홀론은 생산공정과 제품에 대한 제반 정보를 가지고 목적하는 품질을 가진 제품을 얻도록 제품의 라이프사이클, 수요, 디자인, 공정계획 등에 대한 신속하고 정확한 정보를 포함하고 있다. 시스템의 요소가 각 순간에 어떠한 위치에서 어떠한 동작이 수행되어야 하는가에 대한 기술적인 부분과 관련해서 작업 후 변형된 제품에 대해 수정된 정보를 즉시 다른 홀론에게 제공한다.

마지막으로, 제어 홀론은 주어진 태스크가 제한된 시간 내에 정확하게 수행되는지를 제어하는 역할을 한다. 또한, 태스크 수행에 관련된 모든 논리 정보를 처리하고 제품생산에 대한 물리적인 부분을 수행한다.

이러한 세 가지 홀론은 시스템 내에서 지속적으로

로 각각의 지식과 정보를 교환하는 의사소통을 수행하고 있다. 리소스 홀론과 제품 홀론은 공정에 관한 정보와 지식을 교환하며, 제품 홀론과 제어 홀론은 생산에 관련된 지식을, 제어 홀론과 리소스 홀론은 공정 실행에 관한 지식을 주고받는다. 여기서 공정에 관한 지식은 어떤 리소스를 가지고 어떤 공정을 할 것인지에 대한 정보와 방법을 제공하고 있으며, 제품의 지식은 어떤 리소스가 어떤 제품을 어떻게 생산하는가에 대한 정보와 방법을 포함하고 있다. 공정 실행 지식은 리소스를 실행하는 공정의 진행에 관해 정보와 방법을 포함하며 어떤 리소스를 지정해서 어떻게 공정을 시작하고 어떻게 중단하고 공정의 결과에 대한 정보를 가지고 있다.

각 홀론들은 목적에 부합되게 정의된 규칙에 의해 동작하며, 시스템의 변하지 않는 특성, 구성요소의 배열과 기능적인 패턴 등으로 고유성이 결정되고, 이러한 홀론들의 재설정을 통하여 개방적인 특성과 높은 유연성이 구현될 수가 있다.

### 3. 개방형 홀로닉 셀제어기

생산시스템에서 사용되어지고 있는 일반적인 제어구조는 크게 중앙집중식 제어구조, 계층적 제어구조, 분산 제어구조로 나눌 수 있다. 중앙집중식

제어구조는 하나의 제어 시스템이 모든 자동화 장비들을 관리한다. 이 구조는 전체의 정보를 쉽게 얻을 수 있으며, 전체의 최적화가 가능하다. 그러나 시스템이 커지면 반응속도가 느리고, 제어시스템의 작동이 불가능하면 전체시스템이 멈추는 단점이 있다.

계층적 제어구조는 여러 자동화 제어기간의 인터페이스가 계층적 주종관계를 이루어진다. 이 구조에서는 상위제어기의 명령을 아래로 보내고, 하위 제어시스템은 시스템의 상태를 나타내는 메시지를 상부에 보낸다. 전체적인 구조의 이해가 쉽고, 전체 최적화를 구할 수 있다. 그러나 너무 많은 제어시스템을 요구하고, 하나의 제어시스템의 고장은 하위의 모든 제어시스템을 정지시키는 단점을 가지고 있다.

분산 제어는 기존의 계층적 제어 구조의 단점을 보완하는 구조로 각 제어기 간에 동등한 레벨의 인터페이스를 구축하여 태스크를 수행함에 있어서 서로 협상하여 일을 이끌어나가는 구조이다.

본 연구에서는 Fig. 3과 같이 유연생산시스템의 효율적인 운영을 위하여 홀론의 개념을 적용한 분산 제어시스템을 구축하였다. 홀론적 제어기는 세 홀론의 적절한 조합과 협동에 의해 유연제조셀을

제어 관리한다. 이러한 홀론들 간의 정보를 메시지 전달을 통하여 제공하고, 오퍼레이션 모델에 의해 각 제어기간의 코오디네이션(coordination)과 실시간 제어를 구현한다.

이때 정밀도 높은 고속화 장비를 유효한 오차 내에서 수행하기 위해서는 효율적인 네트워크 구축이 필요하므로 셀 내에서 각 홀론 간의 통신은 실시간 베이스를 제공해 주는 필드버스를 이용하고, 각각의 자동화 장비들이 수행해야 할 명령어 및 로봇/NC 프로그램들은 제어기로부터 RS232C 통신이나 컨베이어의 동작은 모션 드라이브에 의해 직접 전달을 받는다. 또한, 공정계획의 정보는 TCP/IP통신을 통해 상위 제어기로부터 전달을 받는다.

필드버스 통신구조는 셀 단위의 생산시스템에서 주로 생성되는 센서 및 구동기 신호, 메시지, 동기 신호 등과 같은 짧은 신호들의 실시간 통신을 지원하며 상대적으로 가격이 저렴하다는 이점이 있어 효율적인 네트워크 시스템을 구성할 수 있다. 특히 리소스 홀론을 통하여 개방화를 구현하는 방법으로 전용 제어기를 대신하여 PC와 모션제어기 보드를 이용하여 자동화 장비를 제어하도록 하였으며, 그 외에 전용 제어기를 가진 터닝센터와 머

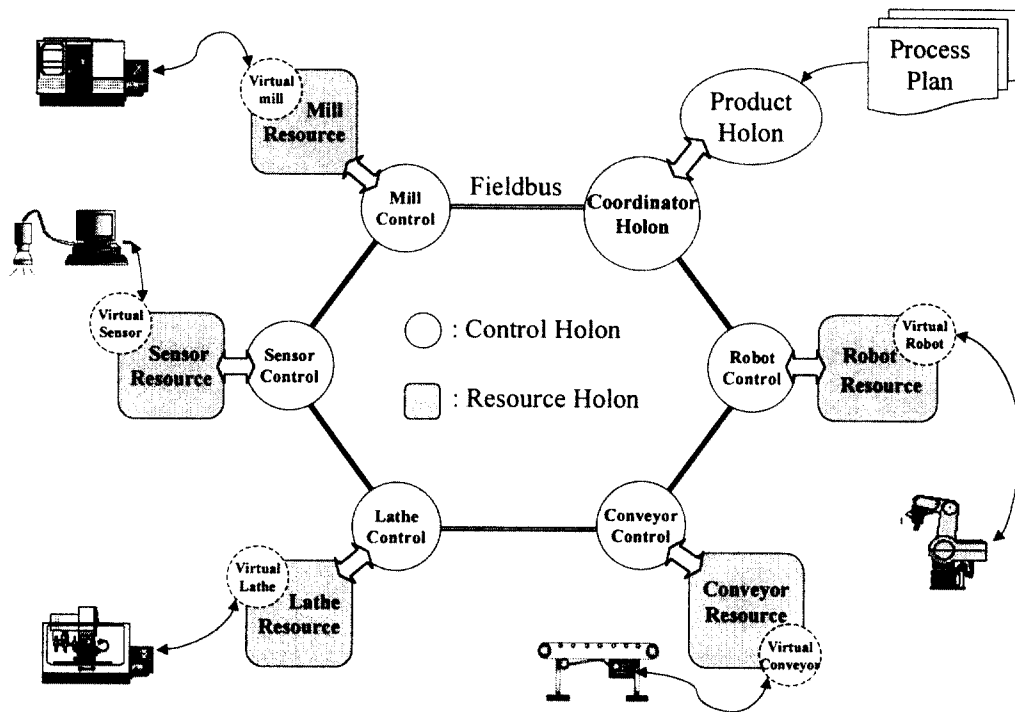


Fig. 3 Concept of holonic flexible manufacturing cell controller

시닝센터, 그리고 로봇 등의 가상디바이스를 포함한 PC를 셀 제어기와 연결하여 실시간 제어구조를 구축하고, 자동화 장비와는 허용된 통신구조를 통해 메시지 단위의 실행 데이터를 주고받도록 한다.

#### 4. 유연제조셀의 오퍼레이션 모델

홀로닉 제어기에서 가장 중요한 역할을 수행하는 코디네이터 홀론은 상위 제어기로부터 생산 정보를 수신하여, 해당 디바이스의 제어기로 태스크를 분배하는 작업을 수행한다. 태스크를 받은 해당 디바이스 제어기들은 상호 연동 신호를 주고 받으면서, 실시간 제어를 수행한다. 홀로닉 유연제조셀에서의 이러한 제어는 오퍼레이션 모델인 MuLOM을 이용하여 수행하였다.

MuLOM의 기본적인 구조는 태스크를 중심으로 상태와 사건으로 구성되어 있다. 코오디네이터 홀론은 태스크의 관리와 선정을 하고, 각 디바이스 제어기에서는 주어진 태스크의 작업을 다른 디바이스 제어기와 동기화를 실현하면서 수행하게 된다. 디바이스 제어기에서는 해당 장비의 작업과 상태의 내용만 인지하고 있으며, 제조셀 전체는 코오디네이터 홀론에서 관리하게 된다. 즉, 코오디네이터 홀론에서의 태스크는 관련된 디바이스 제어기에서는 상세한 작업으로 묘사된다. 장비의 모든 태스크는 NC공작기계에서 파트 프로그램이나 로봇에서 로봇프로그램으로 여겨 질 수 있다. 그러므로 태스크의 변경이 프로그램의 재 설정에 의해 구현 될 수 있기 제조셀의 유연성을 높일 수가 있다.

MuLOM은 아래와 같이 5-tuple로 정의된다.

$$\{ S, E, C, T, A \}$$

- S**   작업 사이의 상태들의 집합
- E**   일련의 사건 분류의 집합
- C**   통신 채널의 집합
- T**   각 작업에서 수행하는 태스크
- A**   기본 행위들의 집합

기본 행위는 다시 다음의 6개로 정의되어진다.

$$\{ S_s, G, M, O, Co, S_d \}$$

- S<sub>s</sub>**   시작 상태
- G**   통신 수행의 성공여부를 나타내며 불린값을 갖는다
- M**   채널을 통한 사건의 전달
- O**   상태들 사이에서 수행하는 작업 오퍼레이션의 이름과 제한시간을 둔다
- Co**   작업 수행의 성공여부
- S<sub>d</sub>**   목적상태

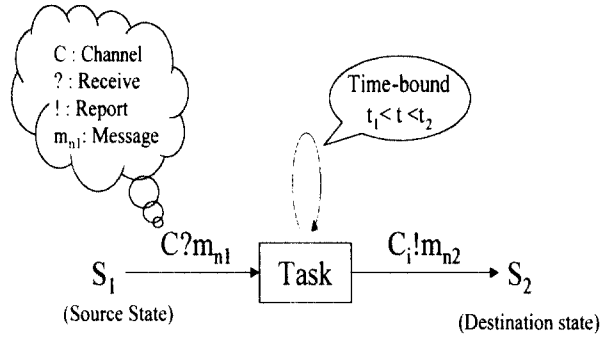


Fig. 4 MuLOM basic structure

Fig. 4에서  $S_1$  상태에서  $S_2$  상태로 가기 위해서는 태스크를 수행해야 하는데 우선  $S_1$ 에서 통신채널  $C$ 를 사용해서 메시지  $m_{n1}$ 을 받고 나면 태스크를 수행하게 된다. 여기서 작업시간을 체크하는 타임 바운드(time-bound)를 주어서 일반적으로 태스크 수행 중에 생기는 에러를 발견 할 뿐만 아니라 데드락(deadlock)을 방지 할 수가 있다. 태스크의 수행이 끝나면 채널  $C_i$ 를 통해 보고를 하고  $S_2$ 상태로 천이된다.

#### 5. 유연제조셀 제어 모델링 예

두 대의 NC공작기계와 로봇 그리고 컨베이어로 구성된 가공 셀에 대하여 MuLOM의 방법론에 의한 제어 모델링을 시도하였다. 가공 셀의 제어기는 코오디네이터 홀론에서 제어 및 관리를 하고 각 구성 요소인 로봇, NC공작기계, 콘베이어 등은 디바이스 레벨의 제어기로 실시간 제어한다.

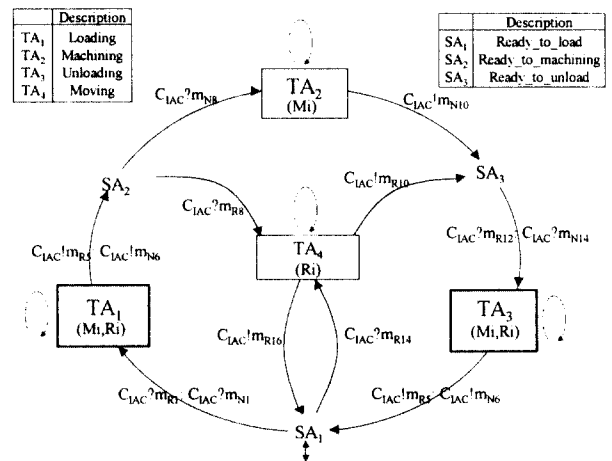


Fig. 5 Control model for Coordinator holon represented by MuLOM

Fig. 5에 코오디네이터 홀론을 위한 가공셀의 제어 모델이 보여진다. 여기서, 태스크나 상태는 조합(composite)된 형태이다. 즉, 디바이스 제어기에서 들어오는 상태를 분석하여 전체적인 가공 셀의 상태를 정의한다. 태스크(로딩 혹은 언로딩)도 각 디바이스 제어기에서 수행하는 오퍼레이션의 집합으로 엔캡슐레이션 되어있다.

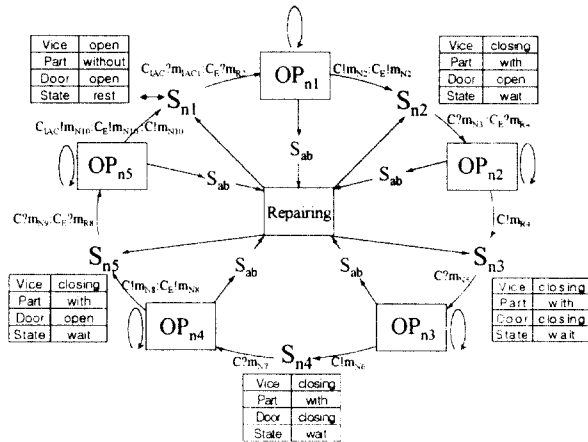


Fig. 6 Control model for NC machine represented by MuLOM

합으로 표현된다. 여기서 상태는 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 기다림(Wait)과 휴식(Rest)의 상태인데, 기다림은 한 오퍼레이션이 끝난 후 다른 디바이스 제어기로부터 동기화를 위해 이벤트를 기다리는 상태이며, 휴식상태는 코오디네이터 홀론으로부터 주어진 태스크를 위해 모든 오퍼레이션이 끝난후 코오디네이터 홀론에서 다음 태스크 수행 지시가 있을 때까지 기다리는 상태이다.

각 오퍼레이션에서 예기치 않은 에러가 발생하면  $S_{ab}$  상태로 옮겨진 후 에러 처리작업을 거친 후 그 전의 상태로 돌아간다. 상태에 표기된 기호  $\leftarrow$   $\rightarrow$  는 시스템이 처음 켜진 후의 처음 시작 상태를 표기한다. NC공작기계와 로봇의 상세한 상태와 오퍼레이션의 설명은 Table1~4에 나타나있다.

Table 1 NC Machine state

Symbol	State
$S_{n1}$	Ready_to_load
$S_{n2}$	In_part
$S_{n3}$	Ready_to_machining
$S_{n4}$	Machining completed
$S_{n5}$	Ready_to_unload
$S_{ab}$	unexpected state

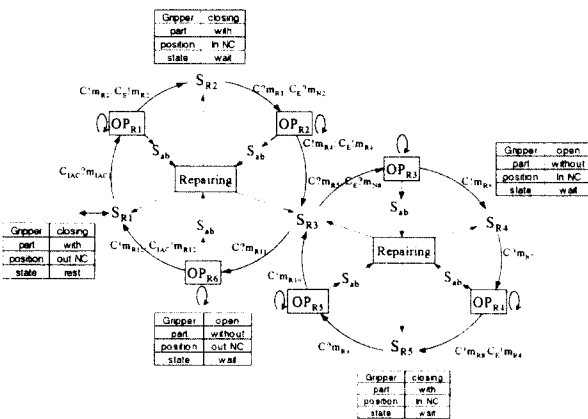


Fig. 7 Fig. 6 Control model for Robot represented by MuLOM

Table 2 NC Machine operation

Symbol	Operation
$OP_{n1}$	Vice closing
$OP_{n2}$	Door closing
$OP_{n3}$	Machining
$OP_{n4}$	Door opening
$OP_{n5}$	Vice opening
Repairing	Repairing unexpected operation

Table 3 Robot state

Symbol	State
$S_{R1}$	Ready_to_load
$S_{R2}$	In_NC_i_with_part
$S_{R3}$	Ready_to_unload
$S_{R4}$	In_NC_i_without_part
$S_{R5}$	In_NC_i_with_part
$S_{ab}$	unexpected state

Fig. 6과 7에는 NC공작기계와 로봇의 MuLOM을 이용한 제어 모델이 나타나있다. NC공작기계에서의 각 상태 표기는 4개의 서브 상태로부터 결정되어진다. 즉, 바이스 상태, 작업물 여부, 문의 개폐 여부, 그리고 기계의 동작 여부의 조합에 의해 NC공작기계의 상태가 결정된다. 로봇의 상태는 그립퍼 열림 여부, 파트의 여부, 그립퍼의 위치의 조

Table 4 Robot operation

Symbol	Operation
OP <sub>R1</sub>	Moving in NC <sub>i</sub> with part
OP <sub>R2</sub>	Gripper opening & moving back
OP <sub>R3</sub>	Moving in NC <sub>i</sub> without part
OP <sub>R4</sub>	Gripper closing
OP <sub>R5</sub>	Moving back & put down
OP <sub>R6</sub>	Picking
Repairing	Repairing unexpected operation

### 6. 결 론

본 논문에서는 유연성 있는 생산시스템을 개발하기 위한 방안으로 유연제조셀의 객체들을 홀론의 특성을 홀로닉 유연제조셀을 제안하였다. UML을 이용한 객체지향 접근법에 의한 모델링은 홀론으로 구성된 홀로닉 유연제조셀을 실제 제조셀에 근접하게 묘사하고, 이를 포괄적인 제어모델로 이용함으로써 시스템의 변경에 적절하게 대응할 수 있다. 또한, 생산시스템의 구성요소를 모듈화하고 유연성 있는 클래스로 분류함으로써, 시스템은 개방적이고 분산화되어 다변하는 제조환경으로 인한 잦은 변화에 효과적으로 대처할 수 있게 된다.

이러한 홀로닉 유연제조셀의 제어 구조는 분산 제어구조이며, 코오디네이터 홀론이 태스크의 관리와 선정을 하고, 각 디바이스 제어기에서는 주어진 태스크의 작업을 다른 디바이스 제어기와 동기화를 실현하면서 수행하게 된다. 제어 모델로서 태스크 기반의 MuLOM을 개발하였다. MuLOM은 다른 기존의 제어 모델들과 달리 태스크를 중심으로 모델링이 이루어짐으로 적용 예를 통하여 알 수 있듯이 유연제조셀의 특성에 가장 잘 맞는다고 여겨진다.

### 참고문헌

1. N. Gayed, "A Strategy for the Migration of Existing Manufacturing Systems to Holonic Systems", Proceeding of the 1988 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. 1, pp. 319~324, 1988
2. JoWyns, "Reference Architecture for Holonic Manufacturing Systems", UDC 658.513 pp. 1~34, 1999
3. U.Rembold, A.Storr, "Computer Integrated

- Manufacturing", Addison-Wesley Publishing Company, 1994
4. Ching-Yuen Chan, "Cell Control Architecture for Manufacturing Application", Journal of Mechanical Processing Technology, Vol.66 pp. 137~145, 1997
5. N. A. Duffie, R. Chitturi and J. I. Mou, "Faulttolerant Heterarchical Control of Heterogeneous Manufacturing System Entities", Journal of Manufacturing Systems, Vol. 7, No. 4, 1988
6. 이영해, "홀로닉 생산시스템의 개요 및 연구 방향", 제어·자동화·시스템공학회지 제3권 제1호, pp. 33~39, 1997
7. L. Bonagaerts, "Integration of Scheduling and Control in Holonic Manufacturing Systems", UDC 658.513, pp. 43~47, 1998
8. A. H. C. Ng, "HSCS-the Design of a Holonic Shopfloor Control System", Proceedings of the 1996 IEEE Conference on Emerging Technologies and Factory Automation Vol. 1, pp. 179~185, 1996