

홀로닉 생산시스템을 위한 일정계획 모델

이 용 수**, 이 영 해*, 전 성 진*

** 연변대학교 시스템공학연구소

* 한양대학교 산업공학과

ABSTRACT

Holonic manufacturing system is a new approach to the organization and architecture of decentralized, autonomous and cooperative manufacturing system. The new paradigm combines the concepts of hierarchical systems and the integration of autonomous elements in distributed system.

Today's scheduling and control techniques are mostly based on a centralized structure. Only little work has been done on scheduling and control of decentralized, autonomous and cooperative manufacturing system. This paper proposes a new approach IPM(Interactive Prediction Method) for scheduling and control of holonic manufacturing system.

1. 서론

지금의 생산시스템 운영 방식은 고정적인 대량생산 방식으로서 예측 불가능한 고객의 수요 및 사양을 충분히 만족시킬 수 없으며, 또한 시스템의 부분 고장 또는 시스템의 확장 시 변경이 제한적이며, 많은 비용이 소요된다. 이러한 단점은 주로 시스템이 Hierarchy 구조로서 집중적이고, 주종 관계의 운영 방식에서 초래된 것이다. 한편, Heterarchy 구조의 운영 방식도 연구되었으나, 시스템 구성요소의 과다한 분산으로 인하여 전체 시스템의 최적화에 크게 영향을 미치기 때문에 차세대에 추구하는 이상적인 운영 구조가 될 수 없다.

따라서, 생산시스템의 기술 발달과 현대 소비자의 생활 수준이 높아짐에 따라서 다양한 제품을 요구하고, 제품의 수명 주기가 단축되기 때문에 변종 변량 생산방식을 필요로 하고 있다. 이러한 상황하에서 지금의 유연 생산시스템 (Flexible Manufacturing System ; FMS)의 제어 방법으로 사용되고 있는 Hierarchical Models와 최근 제시되고 있는 Heterarchical Models의 제어 방법은 위의 실제 문제들을 해결하는데 있어서 타당하지 못하므로 반드시 분산화(decentralization), 자율화(autonomy), 협력화(cooperation) 및 소규모화로 구성된 새로운 운영 구조의 도입으로 시스템의 운영 효율을 높여야 한다.

생산시스템의 운영 과정의 효율성 판단기준은 Reliability / Fault-tolerance, Modifiability / Extensibility, Reconfigurability / Adaptability 그리고 운영 비용 등의 기능으로 평가할 수 있으며, 시스템의 운영 및 제어 구조가 다름에 따라 이러한 기능을 발휘하는 효과가 다르다[1]. 왜냐하면 제어 구조가 시스템 구성요소 사이의 내부적 관계를 결정하며, 상이한 의사 결정에 따른 운영 과정을 수행하는 메커니즘을 결정하기 때문이

다.

최근에 제시된 홀로닉 생산시스템(Holonic Manufacturing Systems ; HMS)은 제조업의 운영을 보다 효율적으로 실행할 수 있고 또한 분산화와 자율화로 서로 협력할 수 있는 생산시스템을 적절하게 구현하는 시스템의 새로운 구조로서 생산시스템의 여러가지 문제를 해결할 수 있는 새로운 방법이다 [1,2].

따라서, 본 논문에서는 HMS의 기본 내용을 설명하고, 또한 이것을 중심으로 다음과 같은 내용을 포함한다.

- 1) Hierarchical control models 구조와 Heterarchical control models 구조의 특징과 단점
- 2) HMS의 기본 내용(HMS의 정의, HMS의 구성, HMS의 특징, HMS의 모델 개발에 있어서의 필요 사항 등)
- 3) HMS의 지능적 모델의 제시 및 모델과 관련된 내용의 해석
- 4) HMS의 일정계획 알고리듬(IPM)의 제시
- 5) HMS 관련 향후 연구의 영역의 제시

2. Hierarchical 모델 구조와 Heterarchical 모델 구조의 특징과 단점

제조업의 최종 목표는 시스템 구성요소의 운영에 따라 재료를 가공하여 완제품을 생산하는 것이다. 이 과정에서 관련된 문제를 크게 생산 계획 문제(planning), 생산 일정계획 문제(scheduling), 생산 통제 문제(control)로 나눌 수 있다.

생산 계획 문제는 부품 종류 선택, 기계군 형성 문제, 생산 제품 비율 문제, 자원 할당 문제 등이 있다. 생산 일정계획 문

제에는 부품 투입 순서 결정 문제, 작업 순서 결정 문제, 기계 선정 문제, 부품 우선 순위 문제, 물자 이송 장치 선택 문제, 교통 통제 문제, 작업자 선정 문제 등이 있다. 생산 통제 문제에는 NC 기계의 고장 및 수리 문제, 수요 변동이나 기계 고장에 따른 일정계획의 재조정 및 대체 공정 결정, 재공품 및 공구 관리 및 공구 교환 통제, 완제품의 검사 정책 결정, 정보 수집 및 공정 통제, 피드백 등이 있다[4]. 이러한 문제들을 어떤 순위로 어떻게 선정하고 어떻게 연결시켜 생산 효율을 높이는가 하는 것이 생산시스템에 있어서의 운영 모델 결정이 주요 과제이다.

2.1. Hierarchical Control Models의 구조

Hierarchical Control Models (HICM)에서는 planning, scheduling, control의 세 부분이 계층적으로 운영되고 있다.(그림. 1(a)) 이런 경우에 제어 시스템의 모든 요소는 시스템 디자인이 이미 결정해 놓은 생산 일정계획에 따라 정확하고 엄격히 운영되고 있으며 제일 상위 계층의 요소가 시스템 전체 목표와 장기간의 발전 전략을 결정하고 하위 계층의 모든 생산 요소는 상위 계층에서 결정된 의무를 수행할 권리 밖에 없다. 따라서, 각 계층 간의 의사 결정은 엄격한 주종 관계를 지켜야 하며 supervisor가 아래 계층의 모든 생산 요소를 통제하고 협력하여 시스템을 운영하기 때문에 시스템의 안정성은 높으나 운영 방식이 고정되어 있다. 이런 제어 모델 구조의 단점은 각 계층 요소가 엄밀한 주종의 운영 방식을 가지고 있어 각 구성 요소들의 자율성이 거의 없으며 외부 환경의 변화에 따른 구조 조절이 어려우며, 따라서 Fault-tolerance, Flexibility, Reconfigurability / Adaptability 등이 낮으며, 동적이고 복잡한 시스템의 응용에 적합하지 못하다.

2.2 Heterarchical Control Models의 구조

Heterarchical Control Models (HECM)에서는 시스템의 구성 요소들이 주종 관계가 없이 분산화된 구조를 가지고 있으며(그림. 1(b)) 각 요소가 자율적인 의사결정 권리와 수행 권리를 가지고 있어 시스템의 복잡성을 감소시키고 환경 변화에 빨리 적응되며 시스템 정보처리도 아주 신속하게 할 수 있으나, 이런 구조하에서 제어 요소가 너무 분산되고, 자율화되어 시스템의 운영이 확실적이지 못하고, 안정성을 보장 못하며, 각각 요소의 최적화는 실현될 수 있으나, 전체 시스템 목표의 최적화는 실현되기 어렵다.

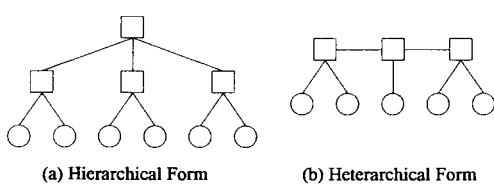


그림. 1 두 가지 모델의 구조

3. Holonic Manufacturing System의 기본 원리

앞에서 서술한 바와 같이 HICS는 반응 시간이 빠른 반면, 동적 적응 제어가 불가능하고, HECS는 동적 적응 제어는 가능하지만, 반응시간이 느리고 국부적인 최적화만 가능한 특징을 갖고 있다. HMS는 HICS의 빠른 반응 시간과 HECS의 동적 유연성 및 자율성의 특징을 결합시켜 분산화, 자율화, 협력화 방식으로 시스템을 운영하여 동적 환경에서도 시스템의 빠른 반응 시간을 유지하고, 유용한 자원을 충분히 이용하여 환경 변화에 적응하면서도 시스템의 운영을 최적화할 수 있는 제어 구조라고 볼 수 있다.

3.1 HMS의 기본 개념

HMS는 시스템 구성요소들이 자율적이면서도 협력적인 특징을 가지고 있는 구조로서 아래와 같은 내용들이 포함된다 [1].

- 1) Holon ; Holon은 생산시스템에 있어서 자율적이면서도 협력적인 성질을 가진 시스템의 구성 요소 및 과정으로서 제품의 변환, 운송 및 저장, 정보의 가공 처리, 생산 계획, 생산 일정계획, 생산 통제 등 일련의 과정에서 스스로 의사결정을 내릴 수 있는 적절한 단위이며 이들은 서로 독립적으로 수행하고 통신망을 통해 서로 협력하여 생산 활동을 수행한다. Holon은 정보 처리 부분과 물류 처리 부분으로 나누어지며, 한 Holon은 다른 Holon의 부분으로도 될 수 있다.
- 2) Autonomy (자율성) ; HMS의 모든 개체(entity)가 자기의 계획, 전략 및 운영을 창조적, 통제적 및 스스로 수행할 수 있는 능력을 말한다.
- 3) Cooperation ; HMS의 모든 개체가 공동으로 협의하여 계획을 정하고, 수행하는 과정을 말한다.
- 4) Holarchy ; Holon으로 구성된 하나의 구조로서, Holon의 자율성을 충분히 발휘하고 Holon 사이에 협력할 수 있는 기본 규칙(basic rules)이라고 할 수 있다.
- 5) Holonic Manufacturing System ; 생산시스템에서의 제품의 수주, 설계, 생산, 판매 등 모든 활동을 Holon의 형식으로 구현하고 이들의 자율적이고 협력적인 기능을 통합하여 민첩한(agile) 제조 운영을 보증하는 holarchy 구조의 시스템이다. HMS의 최종 목적은 고도로 분산되면서도, 규격화, 자율화, 협력화, 지능화를 구비한 메커니즘을 형성하여 예측 불가능한 고객의 수요 및 사양을 충분히 만족시키는 생산시스템을 실현하는 것이다.

3.2 HMS의 특징

HMS는 다음과 같은 특징을 가지고 있다[2].

1) HMS는 Holon으로 구성된 holarchy 구조이기 때문에 Holon의 자율성을 충분히 발휘시키고, 협의를 기초로 한 Holon 사이의 협력으로 분산화를 제어하는 것이 기본 규칙으로 운영된다.

2) HMS는 고정적인 운영시스템이 아니라 환경 혹은 자체의 변화에 따라 수시로 목표를 조절하고 자율적으로 빨리 변화에 적응되는 동적 시스템이다.

3) HMS는 HICS와 HECS의 모든 장점을 충분히 포함하는 반면, 단점을 극복할 수 있는 시스템이다.

그림. 2는 HMS의 개념을 나타낸 것이다.

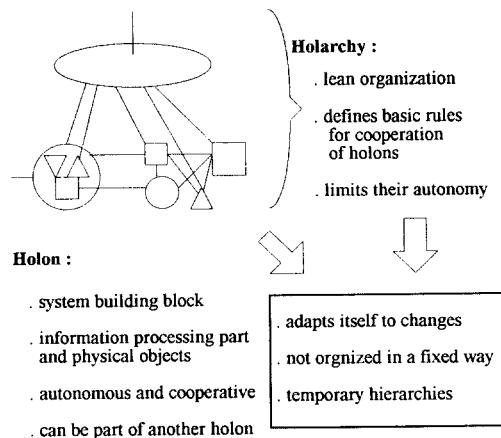


그림. 2 HMS의 개념

3.3 HMS의 모델 개발에 대한 필요 사항

HMS 개발에 있어서, 주된 사항은 자율적이고 협력화 할 수 있는 「Holon」을 설계하는 것이다. 설계 과정에서 HMS의 특징을 위하여 우선 제품에 관한 데이터를 자유로이 교환할 수 있는 유연하고 규격화된 데이터 형식이 필요되며, 이러한 형식은 반드시 상이한 시스템 사이에 정보처리와 전송에 부합되어야 한다. 따라서 HMS의 설계에 있어서 아래와 같은 요구가 필요하다[1].

- 각각의 서브 시스템은 자체 제품 또는 운영을 위한 데이터의 규격을 사용할 수 있다.
- 반드시 정보 통신을 위한 메커니즘을 설계하여야 한다.
- Holon은 스스로 적당한 정보 데이터 교환 형식을 선택할 수 있어야 한다.
- Holon은 수시로 정보 데이터 교환 형식을 바꿀 수 있어야 한다.

생산시스템의 특징으로부터 Holon의 종류 및 구조는 그림. 3과 같다[6].

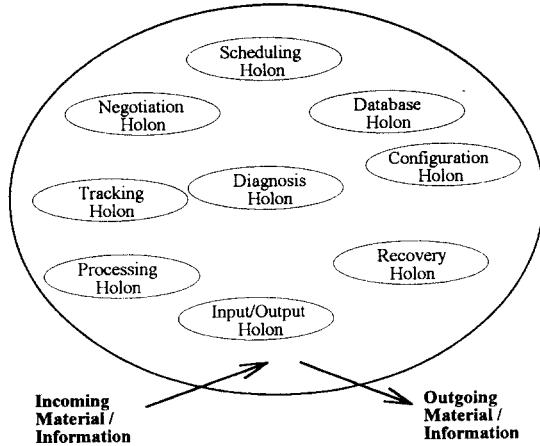


그림. 3 Holon의 종류 및 구조

4. 홀로닉 생산시스템의 지능 제어 모델

생산시스템의 연구에 있어서 최근 몇 년간 지능생산시스템 (Intelligent Manufacturing Systems ; IMS)에 대한 연구가 많이 진행되어 왔다. IMS의 주요 목적은 생산시스템의 연구에 지능적 이론과 방법을 도입하여 생산시스템 분야에 나타나는 복잡하고 다양한 문제와 전통적인 수학적 방법으로 해결할 수 있는 문제를 Heuristic 지식으로서 정량적인 방법과 정성적인 방법을 결합시켜 처리함으로써 미래 생산시스템의 제어 요구를 만족시키는 새로운 이론과 방법을 창조하는 것이다. 이와 같은 IMS의 목적을 실현하는데 있어서의 특정 연구 영역이 HMS 연구이다. 왜냐하면 HMS의 연구는 Holon의 자율성과 Holon 사이의 협력성으로서 시스템의 유연성, Reliability / Fault-tolerance, Reconfigurability / Adaptability 등의 성질을 구현함으로서 시스템이 복잡하고 다양한 문제를 신속하게 처리하고 해결하여 최적화를 얻는 것이기 때문이다. 여기서 특히 Holon 사이를 어떻게 협력하여 자율성의 효율을 높이는가 하는 것은 아주 복잡한 문제로서 반드시 지능화한 이론과 방법으로 충분한 협력을 수행하여야 한다고 인정한다. 이러한 요구로 부터 아래와 같은 HMS의 지능 제어 모델인 ICMH (Intelligent Control Models for Holonic manufacturing systems)를 제시한다.

정의 1 : ICMH $\equiv (U, Y, IOH, PH, IH, ES, SO)$ 를 HMS의 지능적 협력 모델이라 부른다. 여기에서 U는 시스템 운영을 위해 입력된 재료와 필요한 정보의 집합이며, Y는 시스템의 출력 요소의 집합으로서 여러가지 제품 및 연관된 정보 등이다.

IOH(Input/Output Holon)은 입력/출력 Holon으로서 데이터 혹은 정보를 다른 Holon에 입력시키거나 다른 Holon으로부터 출력시키는 작용을 한다. $PH = \{ H_1, H_2, H_3, \dots, H_n \}$ 는 n 개 Holon 들의 집합으로서 시스템의 운영에 사용되는 Holon으로 구성된다. 예를 들면 그림. 3에서 인용한 Holon구조에서

$\text{PH} = \{ \text{Tracking Holon}, \text{Scheduling Holon}, \text{Configuration Holon}, \text{Diagnosis Holon}, \text{Recovery Holon} \}$ 으로 정의할 수 있다. 여기서 Tracking Holon은 소재, 제품 또는 제어 목적을 추적하여 제조 환경에서의 모든 Holon의 정상적이고 순차적인 실행을 보장하는 것이다. 이 Holon은 HMS의 입력 혹은 출력의 정보를 다른 Holon에 전송하여 Holon 사이를 연결시키는 작용을 한다. Scheduling Holon은 HMS의 전체 목표, 즉, 제품의 요구가 해결되기 위한 모든 생산 일정 계획을 담당한다. Configuration Holon은 Holon의 증가 또는 감소 및 부분 고장 등을 알아 낸 후 다른 Holon과의 협상을 거쳐 해결하기 위한 전략을 결정하며, 시스템의 Reconfigure를 담당한다. Diagnosis Holon은 제어 Holon의 단점을 감시하고 그 원인을 해석, 분석하고 시스템의 국부적 혹은 전체적인 정상 운영 여부를 판단한다. Recovery Holon은 시스템 요소의 기능 부족을 회복하는 방법과 대책을 제공한다.

IH(Intelligent Holon)는 지능적 Holon의 집합으로 Holon 사이의 협의를 위한 Holon 및 그에 필요한 Database Holon, Knowledge-Base Holon, Negotiation Holon, Algorithm Holon 등으로 구성된다. 예를 들면 그림 3에서 $\text{IH} = \{ \text{Database Holon}, \text{Negotiation Holon} \}$ 으로 정의할 수 있다. Database Holon은 Set-up table, Negotiation, Condition monitoring 등 모든 임무에 필요되는 과거 데이터, 현재 정보 및 파일의 보관을 담당한다. Negotiation Holon은 Holon 협력 방법과 그 협력을 위한 핵심 사항을 결정한다. 일반적으로 이 Holon은 지능 제어 방법과 이론을 이용한 분산화된 협력적인 최적화 알고리듬 혹은 기술로서 매개 Holon에 전체적인 목표를 할당하고 또 매개 Holon의 국부적인 목표를 규명한다. 이 Holon은 전체 ICMH의 핵심적인 Holon이다.

ES는 시스템 환경 요소로 구성된 집합으로서 생산시스템에 영향을 주는 모든 복잡하고 다양한 환경 요소를 포함한다. 예를 들면 시스템의 자체 변화(시스템의 어느 구조가 파괴되었거나 고장 혹은 부품의 수량 감소 또는 증가 등)와 환경 변화(제품에 대한 예측 불가능한 고객의 요구, 새로운 기술 도입, 제품 소재의 변화 등)를 포함한다.

SO는 System Objective 집합으로서 시스템의 전체적인 목표와 국부적이고, 단계적인 세부 목표를 포함한다.

정의 1에 의한 HMS의 지능 제어 모델은 그림. 4와 같은 구조로서 표현할 수 있다.

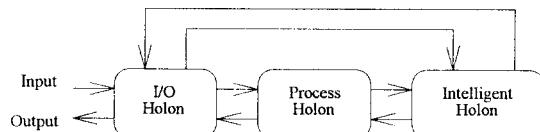


그림. 4 ICMH의 구조

ICMH는 IMS의 목적과 HMS 기본 기능을 통합한 것으로서 그의 전체적인 목적은 다음과 같이 묘사할 수 있다.

생산시스템의 환경 요소 ES와 시스템 목표 SO 및 시스템의 입력 U에 근거하여 지능 Holon의 협력적인 기능이 종합적으로 발휘되고, Holon의 자율적인 효율과 기능을 통하여 환경 변화에 적응되고 시스템 목표를 달성하며 시스템 운영 및 출력 Y의 최적화를 수행하는 것이다.

5. HMS의 일정계획 모델 및 알고리듬

5.1 일정계획의 수학적 모델링

생산시스템의 일정계획에 관한 수학적 모델링은 많지만 여기서 P.B.Luh & D.J.Hoitemt의 기법을 사용한다[3]. 일정계획문제를 수학적으로 기술하고 그 알고리듬을 개발하기 위하여 기호와 변수를 다음과 같이 정의한다.

(p, i, j) : 제품 $p(p=1, 2, \dots, k)$ 를 생산하기 위하여 수행해야 할 작업 $i(i=1, 2, \dots, m)$ 에서의 요소작업 $j(j=1, 2, \dots, n)$;

b_{pij} : 요소작업 (p, i, j) 의 시작시간

C_{pij} : 요소작업 (p, i, j) 의 완료시간

t_{pij} : 요소작업 (p, i, j) 에 소요되는 가공시간,

$$\text{즉}, C_{pij} - b_{pij} + 1 = t_{pij}$$

$$\delta_{pijh} = \begin{cases} 1, & \text{기계 } h \text{에서 } k \text{시간에 요소작업 } (p, i, j) \text{이 진행중,} \\ 0, & \text{기타} \end{cases}$$

β_{pij} : 요소작업 (p, i, j) 의 시작지연 가중치

W_{pij} : 요소작업 (p, i, j) 의 완료지연 가중치

T_{pij} : 요소작업 (p, i, j) 의 완료지연시간,

$$\text{즉}, T_{pij} = \max[0, C_{pij} - d_{pij}]$$

(이 시간은 기대완료시간을 초과한 부분을 의미)

E_{pij} : 요소작업 (p, i, j) 의 시작지연시간,

$$\text{즉}, E_{pij} = \max[0, b_{pij} - b_d]$$

(이 시간은 요구시작시간을 초과한 부분을 의미)

d_{pij} : 요소작업 (p, i, j) 의 납기

b_d : 요소작업 (p, i, j) 의 요구시작시간

여기에서 생산시스템 일정계획의 기본 목적은 생산시스템의 제약 조건(작업선행조건, 생산능력조건 등) 하에서 정기적인 제품생산과 생산 현장의 재고 감소를 보증하는 것이다. 이러한 목적을 수학적으로 표시하면 다음과 같다.

$$(1) \text{ 목적 함수: } J = W_{pij} T_{pij}^2 + \beta_{pij} E_{pij}^2 \quad (1)$$

$$(2) \text{ 작업선행조건: } C_{pij} + 1 \leq b_{pil} \quad (j < l) \quad (2)$$

이 제약 조건은 요소작업 (p, i, l) 의 시작 시간은 선행요

소작업(p, i, j)의 시작시간보다 크거나 같아야 한다는 것을 의미한다.

$$(3) \text{ 생산능력조건 : } \sum_{pij} \delta_{pijh} \leq M_{kh} \quad (3)$$

이 제약 조건은 기계 h 가 k 시간에 처리 중에 있는 요소 작업의 총 수는 k 시간에 유용한 h 유형의 기계 총 수 M_{kh} 보다 작거나 같아야 하는 것을 의미한다.

전체 생산시스템의 일정계획 문제는 작업선행조건과 생산 능력조건 만족을 기본으로 요소작업(p_i, j)의 시작시간 b_{pj} 를 설정하여 목적 함수 J 를 최소화 하는 것이다.

5.2 HMS의 일정계획 알고리듬

위에서 서술한 일정계획 문제의 해법은 여러가지가 있다. 참고문헌[3]에서는 Lagrangian Relaxation 기술로서 제약조건식(2)와 식(3)을 Lagrange Multiplier로서 목적함수에 통합시킨 후 iteration 방법으로 최적해를 구한다. 이러한 해법은 iteration 과정에 제약 조건을 만족시키지 못하며 계산이 끝난 후 제약 조건이 만족됨으로 최적화 과정으로 말하면 비가능해법(infeasible methods)이라 할 수 있다. 때문에 실제 온라인의 의사결정 응용에서 제한을 받고 있다. 이러한 단점을 극복하기 위하여 아래에 IPM(Interactive Prediction Method)의 알고리들을 제시한다.

(1) IPM 알고리듬의 기본 원리

IPM 알고리듬의 기본 원리는 모든 제약조건을 만족시키는 것을 전제로 하고 먼저 일정한 규칙으로 가능한 요소작업시작시간 b_{pi} 를 예측하고 선정하여, 복잡한 일정계획 문제를 분해하고 식(1)-(3)의 최적화를 통하여 b_{pi} 를 구한다. 그 다음 또 일정한 평가 기준에 의해 다른 b_{pj} 를 선정한 후 계속하여 최적화한다. 이러한 반복을 통하여 최적의 일정계획을 구하는 것이다.

IPM 알고리듬의 가장 큰 특징은 iteration과정에 항상 제약조건 식(2)와 식(3)을 만족할 뿐만 아니라 협력변수 (coordination variable) b_{pair} 는 지능적 방법으로도 선정할 수 있다. 기 때문에 알고리듬의 효율을 높일 수 있다.

(2) IPM 알고리듬의 단계

IBM 암고리들의 닉네임은 아래와 같다.

단계 1 : Heuristic 방법 [5]를로 $h^{(s)}$ 를 선정한다.

여기서 S 는 iteration 수이다 ($S=0$ 부터 시작)

단계 2 : 수리계획방법으로 식(1)-(3)의 최적화를 구하여 b_j 를 선정한다.

단계 3 : $|J(S) - J(S-1)| \leq \varepsilon$ (ε 는 아주 작은 양수)를 만족하면
끝나고, 만족하지 못하면 $S=S+1$ 을 계산한 후,
단계 1로 돌아간다.

5.3 일정계획 Holon의 구현

생산시스템에 있어서 생산과정의 요소와 IPM 알고리듬을 결합하여 그림. 5와 같은 Holon 구조로서 구현할 수 있다.

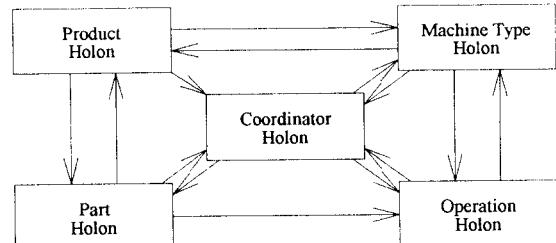


그림 5 Holon의 구조

그림 5에서 각 Holon의 기능은 다음과 같다.

- (1) Machine Type Holon : 이 Holon은 기계유형(조립유형, AGV 유형 등)에 관한 정보를 포함하고 알고리듬 단계 2의 최적화를 통해 요소작업과 Machine 유형을 결정한다.
 - (2) Operation Holon : 이 Holon은 생산계획과 일정계획에서 요소작업의 응용 조건 등에 관한 정보를 포함하고 있으며 요소작업의 응용 조건과 부품의 특징을 비교하여 요소작업의 진행 여부를 결정한다.
 - (3) Product Holon : 이 Holon은 제품의 최종적인 형태, 납기, 선행권 등 특징에 관한 정보를 포함하고 있으며 알고리듬 단계 1의 Heuristic 과정에 필요한 정보를 제공하여 부품과 요소작업의 협력을 수행한다.
 - (4) Part Holon : 이 Holon은 부품의 형태, 조립 순서, 부품의 성질 등에 관한 정보를 포함하며 부품의 특징과 제품의 특징을 비교하여 적당한 요소 작업을 선정하고 생산 과정을 협력한다.
 - (5) Coordination Holon : 이 Holon은 일정계획의 활동을 협력하여 주는 것으로서 알고리듬 단계 1을 통하여 Coordination 변수 R 을 선정하여 준다.

6 결론

생산시스템에 있어서 대규모 계층적인 생산시스템으로부터 단품종 소량 생산 및 변종 변량 생산으로의 전환 추세에 따라 분산화, 자율화, 협력화를 요구하는 실제로부터 출발하여 본 논문에서는 최근 연구되고 있는 HMS 시스템의 기본 원리 및 특징을 종합하여 서술하였고 이것을 기초로 하여 HMS의 특징과 지는 생산시스템의 본격에 따라 ICMH의 모델을 제시

하였고, 향후 HMS 연구의 활성화를 위한 이론적 체계를 제
공하였다. 마지막으로 홀로닉 생산시스템의 일정계획 알고
리듬을 제시하고 이 알고리듬의 실현을 위한 홀로닉 구현에
대해 간단한 해석을 첨가하였다. 그러나 이러한 연구는
HMS 연구의 시작으로서 아직도 많은 내용이 연구되고, 개발
되어야 한다. 따라서 HMS에 있어서의 앞으로의 연구 방향
을 아래와 같이 제시한다.

- 1) Holon의 기본 개념과 Holarchy 구조에 관한 발전된 연구
및 Holon, Subsystem, System elements 등 개념의 공통점과
차이점 등에 관한 연구
- 2) Holon의 설계 문제, 특히 Planning Holon, Scheduling Holon,
Control Holon 등의 개발 연구
- 3) 자율화의 증가에 대응하는 협상을 기초로 한 지능화 협
력 알고리듬의 개발
(지능 이론 및 방법과 Holon 기능 사이의 결합 문제)
- 4) 내부 Holon 사이의 상호 연결과 정보 통신을 위한 유연하
고 효율적인 정보 데이터 교환 또는 전송 규칙 및 메커니
즘의 연구
- 5) 홀로닉 제어 기능의 선정
- 6) HMS의 응용

결론적으로, HMS에 관한 연구는 비록 시작에 불과하지만,
그 기본 이론과 원리로 보아 생산시스템 연구에 있어서 참신
하고 유망한 연구분야라고 생각된다.

"Holonic Control of a Water Cooling System for a Steel Rod
Mill", International Conference on CIM, 134-141, 1994

7. 참고문헌

1. P.Valckenaers, F.Bonneville, H.V.Brussel, L.Bongaerts and J.Wyns, "Results of the Holonic Control System Benchmark at KULeuven", International Conference on CIM, 128-133, 1994
2. H.K.Tonshoff, M.Winkler and J.C.Aurich, "Product Modeling for Holonic Manufacturing Systems", International Conference on CIM, 121-127, 1994
3. P.B.Luh and D.J.Hoitomt,"Scheduling of Manufacturing Systems Using the Lagrangian Relaxation Technique",IEEE Transactions on Automatic Control, Vol.38, No.6, 1066-1080, 1993
4. 문장석, 박진우, 장성용, "자치적 객체들간의 Bidding을
통한 FMS생산현장 통제에 관한 연구 ", '93추계학술발표
대회 논문집', 대한산업공학회, 38-47, 1993
5. L.Z.Li, et al., "Intelligent Interactive Prediction Method for Multiobjective Optimization of Large Scale Systems", IFAC Symp. LSS'92 Large Scale Systems ; Theory and Applications, August 22-25, Beijing, P.R.China, 1992
6. J.R.Agre, G.Elsley, D.McFarlane, J.Cheng and B.Gunn,