

# 홀로닉 생산시스템의 개요 및 연구 방향

이영해, 김 정

한양대학교 산업공학과

## 1. 서 론

20세기 초에는 소품종 대량생산 체계를 갖춤으로써 시스템의 생산성을 극대화시킬 수 있었으나 21세기가 가까워 오면서 소비자들의 욕구가 매우 다양해지고 기업간, 국가간의 경쟁이 더욱 치열해지고 있다. 고객의 요구가 다양해짐으로써 생산시스템에 들어오는 주문의 형태도 매우 다양해지고, 제품 모델의 변경을 수시로 급작스럽게 요구할 뿐만 아니라 변화하는 환경에 대처하는 민첩한 생산과 높은 품질 수준을 요구함으로써 이에 대응되는 방향으로 생산시스템도 변화하지 않으면 안되게 되었다.

오늘날 생산시스템이 맞게 된 도전들을 극복하고 미래 생산시스템의 형태를 생각하여 홀로닉 생산시스템의 연구가 시작되었다.

본 글에서는 홀로닉 생산시스템의 출현 배경, 기본 개념 및 구성요소를 기술하고, 홀로닉 생산시스템의 제어 구조를 전통적인 생산시스템의 제어 구조와 비교하여 설명한다. 또한, 홀로닉 생산시스템에 대하여 그 동안 이루어진 연구들을 고찰하고 홀로닉 생산시스템의 주요 연구분야를 소개한다.

## 2. 홀로닉 생산시스템의 출현 배경 및 개요

생산시스템은 경영 환경 및 소비자의 요구에 부응하여 점점 생산시스템 관련 하드웨어 및 소프트웨어의 지능화, 자율화 및 분산화가 요구되고 있다. 생산시스템 운영의 극대화를 위해 이러한 하드웨어 및 소프트웨어를 적절히 통제하여 생산시스템이 제 기능을 발휘할 수 있도록 도와 주는 적절한 제어기술이 요구된다. 그러나, 기존의 방법으로는 생산시스템의 운영을 극대화시키는 것이 매우 어렵다.

이러한 현실적인 도전에 직면하여 일본, 미국, 호주, 캐나다, EU의 과학자들은 제조(Manufacturing)를 위한 IMS(Intelligent Manufacturing Systems)라고 불리는 국제 공동 연구 프로그램을 만들었다. IMS 프로그램은 다음 6개의 세부 프로젝트로 구성되어 있다[15].

- ① Clean Manufacturing in the Process Industry
- ② Global Concurrent Engineering
- ③ Enterprise Integration for Global Manufacturing
- ④ Rapid Product Development
- ⑤ Holonic Manufacturing Systems
- ⑥ Knowledge Systemization

홀로닉 생산시스템(Holonic Manufacturing Systems : HMS)은 위에 언급한 바와 같이 IMS 프로젝트들 중의 하나로서 1994년도 이후부터 연구가 본격화 되었다. HMS 프로젝트팀은 21세기 생산시스템의 요구들에 대한 보다 폭넓은 이해와 이러한 요구들을 만족시킬 수 있는 차세대 생산시스템을 구현하기 위해 연구를 계속해 왔다.

홀론(Holon)이라는 용어는 1967년경 형가리의 작가이자 철학자였던 Arthur Koestler가 생물학적, 사회학적 시스템들의 기본 단위를 묘사하기 위해 처음 사용하였다[6]. Holon은 그리스어에서 전체라는 의미를 지닌 holos와 낱개(Neutron or Proton) 의미의 접미사 on의 조합이다. Koestler는 생명 조직과 사회 조직 속에서 완전하게 자신만을 돌보고 상호작용을 하지 않는 개체들은 존재하지 못한다는 것을 관찰하였다.

동물의 단위 세포나 사회의 가족 단위와 같이 개별적인 조직 단위는 다른 단위들과 타협하면서 동시에 거대한 조직 단위의 한 부분을 이룬다. Koestler가 언급하였듯이 홀론은 독특한 신분을 가진 시스템의 한 부분이다. 한편 홀론은 더 작은 부분들로 구성될 수 있다.

기존의 시스템 형태는 크게 계층적 구조(hierarchical organizational structures)와 수평적 구조(heterarchical organizational structures)로 구분할 수 있다[3]. 계층적 구조에서는 제일 높은 계층의 요소가 시스템 전체의 운영을 지배하여 아래 계층의 모든 시스템 요소들은 위 계층에서 이미 결정해 준 의무를 수행할 책임을 부여 받게 된다. 계층적 구조에서의 의사결정은 엄격한 주종관계를 유지하도록 중앙 통제 시스템이 하위 계층의 생산요소들을 통제한다. 이러한 제어 시스템은 상위 요소가 하위 요소를 엄격히 통제하기 때문에 운영에 있어서 안전성이 높고 전체 최적 해를 제시해 줄 수 있으나 시스템의 구성 요소들은 자율성이 거의 없으므로 환경의 변화에 민첩하게 대처해 나가는 면이 부족하다. 따라서 계층적 구조는 환경과 시스템 요소의 변화가 빈번하게 발생할 수 있는 동적 시스템의 응용에는 적합한 구조라고 보기 어렵다.

한편 수평적 구조에서는 시스템의 구성요소들이 주종 관계가 없이 분산된 구조를 가지고 있으며(Fig. 1) 각 요소가 자율적인 의사결정 권리와 수행 권리를 가지고 있어서 시스템 제어의 복잡성을 감소시켜주고 환경 변화에 빠른 적용이 가능하다. 또한 정보처리도 아주 신속하게 이루어진다. 그러나 이런 구조하에서 제어 요소가 너무나 분산되고 자율화되어 시스템의 운영에 있어서 통일적이지 못하고, 안전성을 보증 못하며 개개 요소의 최적화는 가능하게 실현될 수 있으나 전체 시스템 목표의 최적화는 실현되기 어렵다.

앞에서 서술한 바와 같이 계층적 구조는 안정성이 있으며 시스템의 최적 해를 줄 수 있는 반면 동적 환경에서의 적용이 매우 어렵고, 수평적 구조는 동적 환경 변화에 적용이 가능하지만 시스템 전체의 최적화를 실현하기가 어렵다.

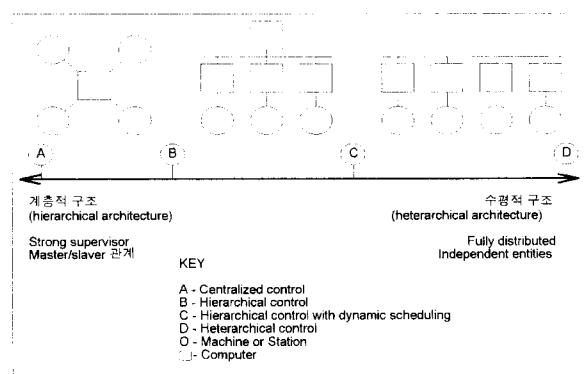


Fig. 1. 제어 모델의 구조.

HMS는 계층적 구조와 수평적 구조의 중요한 장점들을 조합한 개념이다[16]. 이러한 개념은 계층적 구조의 안정성을 살려주면서도 수평적 구조의 동적인 유연성을 제공한다. 따라서 홀로닉 생산시스템은 환경 변화에 적응되면서도 국부적인 최적화가 아닌 시스템 전체의 최적화를 이룰 수 있

게 한다.

HMS는 시스템 구성요소들이 자율적이면서도 협력적인 특징을 가지고 있는 구조로서 아래와 같은 내용들을 포함한다.

- Holon : Holon은 생산시스템에 있어서 자율적이면서도 협력적인 성질을 가진 시스템의 구성 요소 및 과정으로서 제품의 전환, 운송 및 저장, 정보의 가공 처리, 생산계획, 생산 일정계획, 생산 통제일 수도 있다. 또한 Holon은 정보 처리 부분과 물류 처리 부분으로 나누어지며 하나의 Holon은 다른 Holon의 부분으로도 될 수 있다.
- Autonomy : HMS의 모든 개체(entity)가 자기의 계획, 전략 및 운영을 스스로 수행할 수 있는 능력을 말한다.
- Cooperation : HMS의 모든 홀론들은 시스템 공동의 목표 수행을 위해 서로 협력하여 필요한 업무들을 수행한다.
- Holarchy : 공동의 목표 수행을 위해 협력할 수 있는 홀론들의 구조로서, Holon들의 협력을 위한 기본적인 규칙을 정의한다. 따라서 Holarchy는 각 홀론의 자율성(Autonomy)을 어느 정도 제한할 수 있다.

홀로닉 생산시스템의 개념은 FMS의 경우와는 달리 시스템 요소들이 상위 계층의 지시에 따라 맹목적으로 행동하지 않고 자율적으로 행동한다. 따라서 상위 레벨과 주종관계를 이루고 있다고 보다는 협력관계에 있다고 보는 것이 타당하다. 홀로닉 생산시스템에서 자동 제어, 자율 기계 기술은 핵심 기술이라고 할 수 있다[19].

### 3. 기존 연구의 고찰

HMS의 연구가 최근 2~3년간 이루어져 왔으며 현재에도 세계 곳곳에서 계속 이루어질 것으로 생각된다. Agre et al은 홀론 개념을 Steel rod를 생산하는 시스템에 적용하였다 [1].

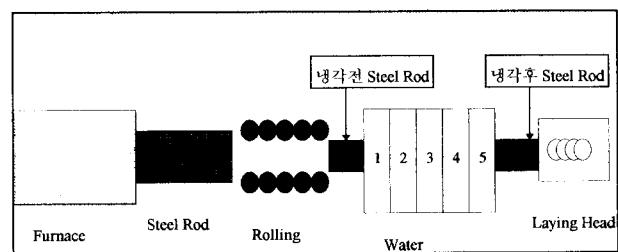


Fig. 2. Water cooling system 개략도.

Rolling Stand와 Laying Head 사이에 5개의 냉각 박스가

연속적으로 놓여 있다. 냉각 박스에는 여러 개의 노즐이 있어서 냉각수를 공급한다. 그리고 박스 내에는 Regulating 벨브가 있어서 철을 냉각시키기 위해 박스 내로 흘러 들어오는 물의 양을 조절한다. 또한 Flow 센서가 있어서 오류를 감지하게 된다. 한편 Pyrometer는 bar의 표면 온도를 측정하는 임무를 수행한다. 이러한 생산시스템에서 Agre et al는 Water Box Cooling Control Holon(WCCH), Value Control Holon(VCH), 그리고 Maintenance Holon(MH) 등 3 종류의 홀론을 구성하였다. WCCH는 온도를 측정한 후에 참조온도와 비교하여 이에 대한 정보를 관리하는 역할을 수행한다. VCH은 WCCH의 정보를 참조하여 현재 시스템에서 가장 적절한 물의 양을 파악하고 현 시스템의 상태 즉 노즐의 막힘이나 고장 등을 참조하여 물의 양을 조절하는 역할을 수행한다. 그리고 MH는 노즐 등에 이상이 발생할 때 VCH로부터 정보를 입력받아서 노후화된 부품을 수리하거나 교체해주는 역할을 수행한다.

Agre et al의 연구는 HMS를 하드웨어의 제어에 응용하였다는 것에 의미가 있다. HMS의 실현 가능성을 타진하기 위해 적용한 testbed로써 이의 실제적인 적용을 위해서는 데이터 베이스의 구축 및 정보의 표준화가 요구된다. 이러한 홀론들의 정보교환 및 조정을 위해 Smith는 “Contact Net Model”을 이용하였다[12].

Tonshoff et al은 홀로닉 개념을 제품 모델링에 적용하였다[13, 14]. 제품 모델링을 위해 Business System, Scheduling, CAD, 및 CAPP에 대한 홀론을 구성하고 필요한 정보교환이 이루어지게 하였다. 홀론들은 자신의 정보를 관리하고 시스템 전체의 목표 수행을 위해 협력한다. 협력을 위한 알고리듬은 시스템의 목표에 따라 지정되는데 제품의 모델링을 위해 정보 교환 루트를 갖는다. 각 홀론들은 다른 홀론과 정보를 교환할 수 있도록 공통의 데이터 형식을 갖게 된다. 제품 모델링에 홀로닉 개념을 사용함에 있어서 홀론 간에 데이터 형식의 인식이 매우 중요하며 또한 협력과 협상을 위한 알고리듬을 구성하는 것이 요구된다.

Tonshoff et al는 제품의 Feature들을 데이터 베이스화하여 이를 정보 교환에 이용하였다.

Valckenaers et al은 생산시스템의 제어를 위해 홀로닉 개념을 적용하였다. 생산시스템의 제어를 위해 스케줄러, 공정 계획, 제어 시스템에 대한 홀론을 구성하고 제품 주문이 시스템에 도착할 때 시스템의 상황을 고려한 제어 방법을 제안하였다[16].

Luh는 생산 계획 및 스케줄링을 위해 홀로닉 개념을 적용하는데 있어서 문제를 제품의 스케줄링 수준에서 부품 수준으로 Decomposition하는 것이 유리함을 보였다[9].

Kruth et al.은 홀로닉 NC 콘트롤러에 대하여 연구하였다. NC 콘트롤러의 홀론을 위해 객체 수행 모델을 제시하였는데, 이 모델은 홀로닉 시스템의 특정 요구, 즉 자기 진단 및

자기 보수를 위한 것으로써 이전 NC 기계가 오퍼레이션을 수행할 때 갑작스럽게 발생하는 시스템 환경 변화에 민첩하게 대처하기 위한 것으로써 제시되었다[7].

임·과 高橋는 자율분산협조형 시스템에서 운영되는 AGV 경로 계획을 위한 알고리듬을 제시하였다[10]. AGV가 자신의 환경을 인식하고 주어진 작업에 맞춰 자신이 계획한 최적의 동작을 수행하게 할 필요가 있는데 이를 위해 효율적인 경로를 생성 및 선택하고 장애물에 충돌을 회피하는 동작을 생성하며 협조 동작의 생성에 관한 새로운 알고리듬을 제시하였다.

국내에서의 HMS에 관한 연구는 이제 막 시작되었다고 할 수 있는데, 96년 말부터 시작될 2단계 G7 프로젝트 중 첨단생산시스템 개발에 HMS에 관한 연구가 포함되어 있다.

이·등은 홀로닉 생산시스템의 지능 제어 모델을 제시하고 HMS의 기본적인 개념을 소개하였다[11]. 김·과 이·는 홀로닉 개념을 이용하여 스케줄링을 수립하는 절차를 객체 지향 개념을 이용하여 개발하여 제시하였다[17]. Kim et al.은 오퍼레이션 할당 문제를 해결하기 위해 필요한 홀론을 구성하고 협상 절차를 제시하였다[5]

김·과 이·는 기계 홀론을 구성하여 기계간의 협상을 통한 오퍼레이션의 할당 및 수행 순서 결정을 위한 알고리듬을 제시하였다[18]. 박·은 기업에 대한 기준의 관점과 HMS의 관점을 Table 1과 같이 비교하고 있다[20, 21].

Table 1. 기업에 대한 기준의 관점과 HMS의 관점.

기준의 관점	Holon 관점
1. 기업은 각 활동과 각 부서의 단순한 합으로 나타난다.	1. 기업은 모든 과정과 구조를 포함한 하나의 총체적인 시스템이다.
2. 기업은 선형적, 안정적, 예측 및 제어 할 수 있는 형태와 방법속에서	2. 기업은 비선형적 제어는 사전에 결정된 것이 아닌 훨씬 복잡한 방법에 따라서 발전과 변화를 지향한다.
3. 조직의 형태는 계급조직적인 구조이다.	3. 조직의 형태는 Holon들로 구성된 상호 연결된 Hierarchy구조이다.
4. 납품업체, 경쟁사, 판매관계에서 자사	4. 모든 기업의 관계들은 실제로 공개 손해를 본다면 타사는 이익 동의 이익을 지향한다.
5. 기업 내의 각 부서 간이나 기업과 경제가 존재한다.	5. 경계가 뚜렷하지 않고 경쟁호흡에 따라 연결되어 있다.
6. 정보는 일시적인 필요에 의해서 요구되며 계급적인 구조에 의해 부서별로 선별되어진다.	6. 정보는 모든 곳으로부터 접근 가능하고 이용도에 따라 평가되고 선별되어진다.
7. 계획적으로부터의 오차는 주기적으로 평가되어 다른 계획에 의해서 추적 혹은 수정되거나 자원의 비축으로서 보상한다.	7. 활동 계획이 상세히 지시되지 않는다. 자주적으로 행동하고 조직력을 갖는 단위가 목표를 향해 항해한다.
8. 인간은 자동화에서 하나의 방해요소이다.	8. 창의성, 문제 변화에 뛰어난 적응력을 가진 인간을 생산에 통합시킨다.

현재까지 연구는 단지 홀로닉 생산시스템의 타당성을 검토하기 위한 시험 단계에 머무르고 있는 실정이다. 그런데 현재까지 발표된 연구 내용을 통해서 보건대 홀로닉 생산시스템의 구성을 위해 갖추어야 할 요소를 다음과 같이 요약

할 수 있다.

첫째, 시스템의 목표에 영향을 줄 수 있는 시스템 요소들에 대한 홀론을 구성할 필요가 있다. 예를 들면 제품 생산을 위해 품질관리, 생산계획, 기계 관리 등이 참여할 필요가 있을 시 이들에 대해서 홀론을 구성하여야 한다.

둘째, 시스템의 목표 성취를 위해 각 홀론들의 역할이 명확하게 정의되어야 한다. 각 홀론은 어떤 정보를 유지해야 하고 또 누구에게 자신이 가지는 정보를 어떤 형태로 제공해야 하는지, 다른 홀론들과 어떤 관계를 갖게 되는지 등이 명확하게 정의되어야 한다.

셋째, 홀론 간의 협력 및 협상을 위한 툴이 명확하게 정의되어야 한다.

## 4. 홀로닉 생산시스템의 세부 연구분야

홀로닉 생산시스템에 대한 세부 연구는 IMS 프로젝트에서 수행하는 HMS 과제들을 중심으로 분류하면 다음과 같다[22].

- 시스템의 설계 및 엔지니어링(System Design and Engineering)
- 시스템 운영(System Operation)
- 홀로닉 자원 관리 시스템(Holonic Resource Management System)
- 홀로닉 머시닝 유닛(Holonic Machining Unit)
- 홀로닉 픽스처링 시스템(Holonic Fixturing System)
- 홀로닉 물류 시스템(Holonic Handling System)
- 홀로모빌(Holomobiles)

### 4.1 시스템의 설계 및 엔지니어링

시스템의 설계 및 엔지니어링을 통해 홀론, 홀로닉 시스템 및 홀로닉 시스템의 프로세스를 위한 지원 툴과 정보 모델 등을 발생시킬 수 있다. 시스템의 설계 및 엔지니어링을 통해 나온 결과들은 다른 분야의 연구를 지원할 수 있는데 그 세부 분야는 아래와 같다.

#### 4.1.1 홀로닉 시스템의 구조

홀로닉 생산시스템에 대한 구조적인 모델을 정의하는 것으로써 다음과 같은 것들과 관련이 있다.

- 가. 홀로닉 생산시스템의 수명 주기
- 나. 홀론의 범위와 역할
- 다. 분산된 홀로닉 제어
- 라. 조정, 협상 및 협력
- 마. 의사소통 전략
- 바. 시스템의 전체 목표를 이룰 수 있는 메커니즘

#### 4.1.2 홀론 구조(Holon architecture)

홀로닉 생산시스템을 구성하는 개개의 홀론에 대해 다음

과 같은 측면에서 구조 모델을 정의하는 것과 관련된 연구이다.

- 가. 홀론의 수명 주기
- 나. 홀로닉 콘트롤러
- 다. 자율적인 계획, 스케줄링, 실행, 진단, 수선, 및 유지
- 라. 의사소통 인터페이스

#### 4.1.3 형식적인 정보 모델(Formal Information Models)

4.1.1과 4.1.2에서 모델링된 홀로닉 시스템의 구조적인 면들을 나타내는 형식적인 정보 모델에 대한 연구이다.

#### 4.1.4 홀로닉 시스템 엔지니어링(HSE)의 프로세스 모델

HSE의 프로세스 모델에 대한 연구는 1) HMS의 설계 방법, 2) HSE 프로세스에서 사용되고 만들어지는 가공물과 수행되는 업무, 3) 4.1.1에서 정의된 모델의 HSE 업무의 맵핑과 4.1.2에서 정의된 모델의 수명 주기와 시스템 요소들에 대한 가공물 및 4) HSE프로세스에 대한 형식적인 모델을 IDEF0이나 다른 프로세스 모델링 방법을 사용하여 정의한다.

#### 4.1.5 HSE의 환경과 도구

이 연구는 4.1.3에서 연구된 정보 모델을 기반으로 4.1.4에서 정의된 가공물을 이용 및 생산이 가능하게 하는 HSE 지원 환경에 대한 정보 하부 조직에 관한 연구이다. 이것은 완전히 상업적인 툴을 만들려는 것이 아니라 이 업무에서 연구되는 정보 하부 조직을 이용하여 Open HSE 환경에서 도구 통합을 이루기가 편리하다는 것을 설명하기 위한 것이다.

#### 4.1.6 HMS 표준 Profiles

이 연구는 다음과 같은 것들을 만들고 유지할 것이다.

- 가. HMS에 적용하게 될 국제 표준을 지정하는 HMS 표준 프로파일
- 나. HMS에 적용하기 위해 현재 개발 중에 있는 국제 표준에 대한 목록들과 HMS 사용을 위한 표준들을 적용하기에 필요한 요구 사항들

#### 4.1.7 HMS STEP 응용 프로토콜

이 연구는 HMS와 HSE 프로세스를 위한 전체 정보 모델을 개발하고 국제 표준인 STEP 등에서 정의된 응용 프로토콜(AP)의 형태에서 환경을 지원한다. 이 연구의 결과는 홀로닉 생산시스템의 다른 영역에서 이용될 수 있다.

## 4.2 시스템 오퍼레이션(System operation)

이 연구는 홀로닉 생산시스템의 운영적인 면을 다루게 되는데 다음과 같은 영역에서 다른 연구들을 지원한다.

- 가. 다른 연구에서 일어나는 시스템 운영상에서의 기술 개발과 특정 요구 사항의 응용 연구를 지원한다.
  - 나. R & D 결과의 일반적인 내용을 추상화하고 체계화하는 것을 지원한다.
  - 다. 내외적인 HMS의 자원으로부터 나오는 새로운 R & D 결과들의 개발을 촉진하고 지원한다.
  - 라. 시스템 운영 분야에 대한 연구들 사이에서 존재하는 기술 이전과 조정을 관리하는 것을 지원한다.
- 시스템 운영에 대한 연구는 다음의 8개 분야에 대하여 이루어질 수 있다.

#### 4.2.1 의사소통(Communication)

의사소통에 대한 연구는 모든 실시간 운영을 지원하는 분산된 Communication 하부구조에 대한 방법들, 표준, 그리고 주요한 일반적 요소들을 개발한다. 이 연구 결과는 여러 고객들(vendors)로부터 제조 홀론들이 매끄럽게 통합될 수 있도록 지식 표현 지원, 메세지 클래스, 그리고 프로토콜을 포함한다. 인간과 기계에 대한 Communication도 다루어진다. 이 연구를 통해서 다음의 결과들이 기대된다.

- 가. Communication을 위한 시스템 오퍼레이션 저장 요소들
- 나. HMS의 광범위한 Communication 모듈 사양과 설계

#### 4.2.2 협상과 협력(Negotiation and Cooperation)

홀론들이 협력과 협상을 위한 기능들에 대하여 연구하는 것이 필요하다. 이 연구는 홀론들로 하여금 시스템 전체의 목표를 이루기 위해 요구되는 일치된 활동 계획의 수립을 가능하게 한다. 이 연구는 기존의 방법들을 평가하고, 새로운 향상된 방법들을 개발하며, 홀론들을 지원해 주는 일반적인 정보 기술 요소들을 개발하는 것과 관련된다. 이 연구의 결과들로써 HMS의 협상 및 협력을 위한 체계, 표준 및 정보 기술 요소들 등이 기대된다.

#### 4.2.3 시스템 재구성(System Reconfiguration)

시스템의 구성이 자동적으로 이루어지도록 시스템의 재구성을 위해 필요한 기능들을 연구할 필요가 있다. Plug-and-play가 HMS의 궁극적인 목표이다. 이 연구를 통해 시스템 구성을 위한 소프트웨어, 재구성 방법 및 도구가 개발될 수 있다. 이 연구의 결과로써 다음의 사항들이 개발될 것으로 기대된다.

- 가. HMS의 광범위한 Communication 모듈 사양과 설계
- 나. HMS의 시스템 재구성의 체계 및 표준
- 다. HMS의 재구성 능력을 보여줄 수 있는 방법

#### 4.2.4 시스템 신뢰성

HMS의 운영 프로세스를 모니터링하고 오류를 발견한 후

이를 회복시키는 것에 대한 연구를 수행할 필요가 있다. 이 연구는 홀론과 광범위한 시스템 측면들의 일반적인 기능에 초점을 맞추어 수행되어야 한다. 이 연구의 결과로써 다음 사항들이 기대된다.

- 가. HMS 운영의 신뢰성을 위한 체계 및 정보 기술 요소들
- 나. 환경 변화에 민첩하게 대처하는 HMS 운영을 가능하게 하는 운영 방법

#### 4.2.5 자원 할당(Resource Allocation)

홀로닉 생산시스템은 기존의 톱다운 할당 시스템보다는 더욱 유연하고 동적이며 시기 적절하게 생산에 필요한 자원을 작업 요소에 할당할 수 있도록 연구될 필요가 있다. 이 연구의 결과로써 HMS 자원 할당을 위한 체계 및 정보 기술 요소의 개발이 기대된다.

#### 4.2.6 인간-기계 통합 시스템

홀로닉 생산시스템의 중요한 능력은 인간 상호 작용의 다양한 수준하에서 만족스럽게 기능을 수행하는 것이다. 인간과 기계 사이에서 협력이 이루어져야 하는 반면에, 그들 각각의 자율적인 능력은 연속적인 인간-기계 간의 상호 작용이 없이도 제 기능을 독립적으로 발휘할 수 있어야 한다. 이 연구의 결과로써 홀로닉 인간-기계 통합을 위한 체계와 정보 기술 요소의 개발이 기대된다.

#### 4.2.7 HMS 시뮬레이션 환경

효과적인 HMS의 모델링 및 시뮬레이션은 홀론 라이브러리, API(Application Program Interfaces), 분산된 응용 시스템, 및 분산된 이산 사건 시뮬레이션 커널(kernel)을 제공하는 개발 쉘(Shell)의 존재로 인해 향상될 것이다. 이를 위해 필요한 HMS 쉘을 개발하고 응용 testbed 프로젝트에서 사용을 지원할 수 있게 하는 연구를 수행할 필요가 있다. 이러한 연구를 통해서 다음과 같은 결과들이 기대된다.

- 가. 시뮬레이션 쉘 기능 요구 체계
- 나. HMS 시뮬레이션 개발 환경 소프트웨어

### 4.3 홀로닉 자원 관리 시스템

홀로닉 자원 관리 시스템에 대한 연구는 사업 목적을 이루기 위하여 사용되는 자원의 복잡한 관리 및 통제와 관련된 문제와 의사결정 문제를 다루게 된다. 자원 관리 시스템은 예측하지 못한 사건이나 요구 사항들에서 변화가 있을 시, 자원 할당이 최적으로 이루어질 수 있도록 설계되어야 한다. 홀론들은 자원의 사용에 있어서 다른 홀론들과 협상하면서 독립적인 의사결정을 내릴 권한이 있어야 하는데 유용 가능한 자원에는 사람, 기계, 재료, 에너지 및 시간 등을 포함할 수 있다. 홀로닉 자원 관리 시스템은 전통적인 시스

템과 홀로닉 생산시스템을 가름하는 매우 중요한 부분을 차지한다. 홀로닉 자원 관리 시스템은 HMS를 지원하고 전통적인 시스템들을 HMS와 적절하게 어울릴 수 있어야 한다. 홀로닉 자원 관리 시스템 팩키지에 대한 연구는 분산된 홀로닉 시스템에서 동적인 자원 할당과 진단을 포함하는 자기 자원 관리를 위한 전략과 구조를 개발한다. 이 연구는 단위 자원들의 재 조직화 및 협력을 통해 업무 프로세스들이 지속적으로 이루어지게 한다. 자원 할당 관리 시스템의 세부 분야로는 다음과 같은 것들이 있다.

#### 4.3.1 자원 관리, 할당 및 통제를 위한 개념과 구조

이 연구는 홀로닉 자원 관리 시스템의 핵심을 이룬다. 3.3.3의 메시지 시스템과 3.3.2의 일반적 모델링을 기반으로 분산된 홀로닉 시스템에서 진단과 동적 자원 할당이 설계되도록 연구가 이루어질 수 있는데 이의 연구 결과로써 다음의 사항들이 기대된다.

- 가. 홀로닉 자원 관리 시스템의 사용자 및 기술적인 요구 사항
- 나. 홀로닉 자원 관리 시스템의 개념 및 설계

#### 4.3.2 모델링

자원 관리 시스템에 의해 관리되기 위한 자원들, 사건들 및 프로세스 모델의 개발에 관한 연구이다. 이 모델링은 홀로닉 자원 관리 시스템에 요구되는 정보, 개체 및 기능들에 관련되어 있는데 이 연구의 결과로써 다음의 사항들이 기대된다.

- 가. 홀아키 모델
- 나. 홀론 모델
- 다. 제품 특성 모델

#### 4.3.3 홀로닉 자원 관리의 의사소통을 위한 응용 레벨 Messaging System

분산된 자원 관리 시스템은 홀론 간의 협력과 의사소통을 위한 도구를 필요로 한다. 응용 레벨의 메시지들은 inter/intra 홀론 협력과 의사소통을 위한 기초로써 사용될 수 있다. 기존의 일반적인 messaging 툴이나 홀로닉 자원 관리 시스템의 필요에 맞는 새로운 설계들이 연구되어 다음 사항의 연구 결과들을 기대할 수 있다.

- 라. Messaging System을 위한 사용자 및 기술적 요구 사항
- 마. Messaging 개념 설계

#### 4.4 홀로닉 머시닝 유닛

이 연구는 응용 영역인 machining, finishing, fixturing 및 tooling 문제를 다룬다. 홀로닉 머시닝 유닛(HMU)의 실제 하드웨어와 소프트웨어 요소들을 개발하고 그것을 실제

환경에서 테스트하는 것이다. 홀로닉 머시닝 유닛은 홀로닉 생산시스템의 목적을 실현하기 위해 분산된 제조 홀아키에 있는 중요한 요소들 중의 하나이다. 이 연구는 홀로닉 원리를 기반으로 머니싱 프로세스를 위한 새로운 세대의 제어 시스템을 개발하고 실제 산업 현장에서 개발된 콘트롤러를 검증하는 것을 목적으로 한다. 지능적인 생산 준비, 프로세스 발생(마무리 오퍼레이션, 환경 변화에 신속하게 반응하고 자원의 가용성에 제조 목적이 적응하기 위해 분산되고 반응적이며 시기에 적절히 대응하는 공정 계획) 및 HMU 검사 팔레트, 자기진단, 프로세스 모니터링, 품질 보증 및 가공중의 실시간 제어에 의한 가공 툴의 정확성 및 생산성의 향상을 이 콘트롤러의 중요한 면이 된다.

#### 4.5 홀로닉 픽스처링 시스템

##### (Holonic Fixturing System : HFS)

머시닝 프로세스 상의 픽스처링을 다룬다. 사용자 요구 사항들과 HMS의 가능성 연구를 통해 얻어진 주요 요인 분석을 고려하면서 개발된 것들을 기반으로 HFS를 실현하는 실제의 H/W와 S/W 요소들을 개발한다. 제안된 본 연구의 목적은 자율적이면서 유연성이 있는 작업물 픽스처링 시스템의 기능을 갖는 HFS를 개발하는 것이다. 작업물 픽스처링 전략과 계획은 제안된 HFS에 의해 자율적으로 발생된다. HFS의 이러한 기능들은 세 가지 요소 즉 픽스처링 설계와 시뮬레이션 모듈, 작업물 식별 모듈, 그리고 홀로닉 픽스처링 스테이션을 개발하여 통합함으로써 실현된다.

#### 4.6 홀로닉 물류 시스템

물류 시스템에는 로보트나 그와 유사한 장비들이 제조를 위한 기본적인 툴로써 응용될 수 있다. 이런 것들은 재료나 부품의 이동 및 처리 등을 포함한다. 필수적으로 홀로닉 물류 툴은 동작 모듈과 센서 모듈을 포함하는데 그것들은 모듈화와 표준화된 부품들이나 생산장비로 구성되어 있으며 가용한 자원들의 세트와 최적 요구 사항들에 의존하여 다양한 환경에서 실행될 수 있다. 이 연구의 중요한 결과들은 진보된 동작 계획과 제어, 센서 인테그레이션, 제품 모델링과의 연결, 협상 전략들을 기반으로 한 전체 시스템의 제어 및 인간 인테그레이션을 위한 자율과 협력을 명확히 설명하는 방법을 포함한다. 이 연구의 목적은 로보트, 툴, 부품 피더, AGV, 센서 등으로 구성된 조립 및 마무리 파일럿 실행에서 홀로닉 물류 시스템의 유연성, Robustness 및 재구성 능력(Reconfigurability)을 증가시키기 위해 홀로닉 기술들을 개발하고 설명하고 평가하는 것이다.

지금까지 HMS에 대한 연구 분야를 살펴 보았는데 이를 요약하여 Table 2에 나타낸다.

Table 2. 홀로닉 생산시스템과 관련된 연구분야.

범 위	세 부 구 분
Systems Design and Engineering	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Holonic Systems Architecture</li> <li>2. Holon Architecture</li> <li>3. Formal Information Models</li> <li>4. Holonic Systems Engineering (HSE)Process Model</li> <li>5. HSE Environment and tools</li> <li>6. HMS Standards Profile</li> <li>7. HMS STEP Application Protocol(AP)</li> </ol>
Holonic Systems Operation	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Communication</li> <li>2. Negotiation and Cooperation</li> <li>3. System Reconfiguration</li> <li>4. Systems Reliability</li> <li>5. Resource Allocation</li> <li>6. Man-Machine Integration</li> <li>7. HMS Simulation Environment</li> </ol>
Holonic Resource Management System	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Concept and Architecture for Resource Management, Allocation and Control</li> <li>2. Generic modeling</li> <li>3. Application level Messaging System for Communication in Holonic Resource Management</li> </ol>
Holonic Machining Units	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. User Requirements and System Analysis</li> <li>2. Intelligent Manufacturing Preparation</li> <li>3. Quality Assurance</li> <li>4. In-Process Control</li> </ol>
Holonic Fixturing System	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Requirements analysis for Holonic Fixturing System</li> <li>2. Fixturing Design and Simulation</li> <li>5. Development of the Workpiece Identification Module</li> <li>4. Handling and Fixturing Strategy</li> <li>5. Prototyping Holonic Fixturing Station and its Performance Evaluation</li> </ol>
Holonic Handling System	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Requirements and Functional Specification</li> <li>6. Motion Modules for Autonomy and Co-operation</li> <li>3. Co-operative Task Planning and Coordination</li> <li>4. Sensor Modules for Holonic Handling Systems</li> <li>5. Human Integration and User Interfaces</li> </ol>

## 5. 결 론

본 연구는 홀로닉 생산시스템의 개요와 연구 방향에 관한 것으로써 홀로닉 생산시스템의 출현 배경, 개념, 기존 연구 결과 및 주요 연구 분야에 대하여 서술하였다. 생산시스템은 하드웨어의 발전과 더불어 이의 운영 기법이 시대에 필요에 맞게 발전해 왔는데 홀로닉 생산시스템은 오늘날의 소비 패턴과 시스템 내외의 환경 변화에 부응하여 새롭게 제시된 시스템이다. 시스템의 구성요소들은 자신의 목표를 수행하면서 동시에 시스템 공동의 목표 수행을 위해 서로 협력 및 협상 한다. 아직까지 뚜렷한 시스템이 구축되어 가동되고 있는 예는 없고 연구 중에 있지만 홀로닉 생산시스템은 차세대 생산 시스템의 새로운 방향을 제시할 수 있을 것으로 사료된다.

### 참고문헌

[1] J. R. Agre, G. Elsley, D. McFarlane, J. Cheng and B.

Gunn, "Holonic control of a water cooling system for a steel rod mill", Proceedings of 4th International Conference on CIM and Automation Technology, Oct. 11-12, Troy, New York, pp. 134-141, 1994

- [2] R. U. Ayres, W. Haywood, M. E. Merchant, J. Ranta and H. J. Warnecke, Computer Integrated Manufacturing-The Past, The Present, and The Future, Chapman & Hall, 1992.
- [3] N. A. Duffie, R. Chitturi and J. I. Mou, "Fault-tolerant heterarchical control of heterogeneous manufacturing system entities", Journal of Manufacturing Systems, vol. 7, no. 4, 1988.
- [4] J. Hutchison, K. Leong, D. Snyder and P. Ward, "Scheduling approaches for random job shop flexible manufacturing systems", Intl. J. of Production Research., vol. 29, no. 5, pp. 1053-1067, 1991.
- [5] J. Kim, Y. H. Lee and L. Z. Lee, "Holonic scheduling

- methods for advanced manufacturing systems”, Proceedings of 20th International Conference on Computers and Industrial Engineering, 37-40, Kyongju, Korea, Oct., 6-9, 1996.
- [6] A. Koestler, The Ghost in the Machine, Arkana Books, 1967
- [7] J. P. Kruth, P. I. Tanaya and J. Detand, “An object execution model for a machine controller holon”, Proceedings of Computer Integrated Manufacturing and Automation Technology, 1996.
- [8] S. Lee, Wisk R. A. and Smith J. S., “Process planning interface for a shop floor control architecture for computer integrated manufacturing”, Intl. J. of Production Research, vol. 33, no. 9, pp. 2415-2435, 1994.
- [9] P. B. Luh and L. Gou, “Holonic manufacturing systems”, Proceedings of NSF Design and Manufacturing Grantees Conference, 1996.
- [10] 임재국, 高橋 輝男, “자율분산협조형 시스템에 있어서의 자율형 AGV를 위한 경로계획에 관한 응용연구”, 추계학술대회 논문집, 한국경영과학회, 1996. 10.
- [11] 이용수, 이영해, 전성진, “Holonic 생산시스템의 자동 제어모델”, 한국경영과학회/대한산업공학회, ‘95춘계 공동학술대회 논문집’, 1995.
- [12] R. G. Smith, “The contract net protocol : High level communication and control in a distributed problem solver”, IEEE Trans. Computer, vol. 29, no. 12, pp. 1104-1113, 1980.
- [13] H. K. Tonshoff, M. Winkler and J. C. Aurich, “Product modeling for holonic manufacturing systems”, Proceedings of 4th International Conference on CIM and Automation Technology, pp. 121-127, Oct., 11-12, Troy, New York, 1994.
- [14] H. K. Tonshoff, N. D'Agostino and M. Winkler, “Information integration and product modeling for intelligent manufacturing systems”, Proceedings of the 3rd CIRP Workshop on Design and Implementation of Intelligent Manufacturing Systems, Jun., 1996.
- [15] P. Valckenaers and H. Van Brussel, “Holonic manufacturing systems ; Technical overview”, Technical Report, Katholieke Univ. Leuven, Division PMA Belgium, Dec., 1995.
- [16] P. Valckenaers, F. Bonneville, H. V. Brussel, L. Boogaerts and J. Wyns, “Results of the holonic control system benchmark at KULeuven”, Proceedings of 4th International Conf. on CIM and Automation Technology, pp. 128-133, Oct. 11-12, Troy, New York, 1994.
- [17] 김정, 이영해, “홀로닉 생산시스템을 위한 스케줄링 기법 개발”, 한국경영과학회/대한산업공학회, ‘96춘계 공동학술대회 논문집’, pp. 115-119, 1996.
- [18] 김정, 이영해, “홀로닉 생산시스템의 스케줄링 알고리듬”, 추계학술대회 논문집, 한국경영과학회, 1996. 10.
- [19] 문장석, 박진우, 장성용, “자치적 객체들간의 Bidding 을 통한 FMS 생산 현장 통제에 관한 연구”, ‘93추계 학술발표대회 논문집’, 대한산업공학회, 38-47, 1993.
- [20] 박홍석, “생산구조의 혁신”, IE Interfaces 산업공학, 제8권, 제2호, pp. 185-197, 1995.
- [21] 박홍석, Holonic 개념하의 자주 협동적인 시스템”, 춘계학술대회 논문집, 한국정밀공학회, 1996. 6.
- [22] Full Scale Project Description, Holonic Manufacturing Systems, Aug., 1995.

## 저자 소개



### 이영해

1977 고려대학교 산업공학, 학사,  
 1983 Univ. of Illinois, 산업공학, 석사,  
 1986 Univ. of Illinois, 기계공학/  
 산업공학, 박사,  
 1977~1981 대우중공업  
 1990 오사카대학 전자제어기계공학과  
 객원교수  
 1986~현재 한양대학교 산업공학과 교수

관심분야: 생산시스템 설계 및 운영, CIM, CAIS, 시뮬레이션

(425-791) 경기도 안산시 사1동

Tel. 0345-400-5262, Fax. 0345-409-2423.



### 김정

1987 한양대학교 산업공학과 학사  
 1993 한양대학교 산업공학과 석사  
 1993~현재 한양대학교 산업공학과  
 박사과정  
 1987~1990 오뚜기식품  
 관심분야: 홀로닉생산시스템  
 (425-791) 경기도 안산시 사1동

Tel. 0345-408-9139, Fax. 0345-409-2423.