

자율적이고 지능적인 리소스 모델에 기반한 프랙탈 생산시스템¹⁾

Fractal Manufacturing System (FrMS) based on Autonomous and Intelligent Resource Model (AIR-model)

신문수*, 정무영**

* 포항공과대학교 산업경영공학과 / 제품생산기술연구소 (shinms@postech.ac.kr)

** 포항공과대학교 산업경영공학과 / 제품생산기술연구소 (myjung@postech.ac.kr)

Abstract

Autonomous and intelligent resource model (AIR-model) defines a building-block of complex systems to pursue value creation by means of diverse resources, referred to as an AIR-unit, and presents a collaboration model with the AIR-units. An AIR-unit represents a piece of resources, such as machines, labor, raw materials, and other assets, considered individually by a complex system as means to accomplish given tasks. It is defined with its own service capability and a goal, and pursues achieving the goal by means of the capability. Moreover, an Air-unit is equipped with autonomy and intelligence, whereby it makes a decision on its course of action on its own initiative. Air-units collaborate on system operations with each other through goal-oriented negotiations. In this research, distinctive features of the AIR-model are addressed and described in detail. Principal components of the AIR-model are also designed via object-oriented modeling techniques. A prototype system based on the AIR-model is finally presented as an embodiment tool of a fractal manufacturing system (FrMS).

Key words: resource model, autonomy, goal-orientation, negotiation, FrMS

1. 서론

하나의 생산시스템은 다양한 리소스(resource)들로 구성된 복합체이다. 생산시스템은 이들 리소스를 활용하여 제품의 생산을 위한 일련의 작업(task)을 완수하며, 이로써 가치창출(value-creation)이라는 본연의 목적을 달성한다. 리소스는 각종 장비(equipment), 작업자(human operator), 재료(material) 그리고 자산(assets) 등 가치창출에 소요되는 모든 도구적 요소들을 포괄한다. 이들은 각자 본연의 서비스 역량(service capability)을 가지며, 이를 이용하여 작업의 수행 과정에 참여한다.

1) 본 논문은 2004년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음 (KRF-2004-041-D00805).

생산시스템의 운영을 위해 고려되는 대부분의 문제는 리소스의 효율적인 활용에 관한 것으로 이해할 수 있다. 실제로 생산계획 수립이나 생산스케줄링 작업(Musselman and Uzsoy 2001)은 주어진 제품 생산 작업을 수행하기 위한 리소스의 활용 방안을 마련하는 작업이다. 또한 생산시스템의 구축 과정을 위한 필수 작업인 장비 배치도의 설계 작업(Kusiak 2000)이나 제어구조 수립(Dilts *et al.* 1991, Cho 1995) 작업은 리소스의 효율적인 관리와 통제의 틀을 마련하는 작업이다.

또한 생산시스템 자체도 보다 큰 범주의 복합체에 속하는 하나의 리소스이다. 생산시스템을 보유하고 있는 기업의 관점에서 볼 때, 그 생산시스템은 제품의 생산이라는 작업을 수행하기 위한 도구적 요소이다. 이러한 개념은 공급사슬망(supply chain network)이나 가상기업(virtual enterprise)의 범주에도 확장 적용할 수 있다. 즉, 여러 독립적인 기업들로 구성되는 이들 복합체의 관점에서는 개별 기업들도 특정한 작업을 수행하는 리소스이다.

본 논문은 가치창출을 목적으로 하는 다양한 복합체들의 체계적인 운영을 위한 자율적이고 지능적인 리소스(autonomous and intelligent resource; AIR) 모델을 제시한다. 또한 본 논문에서는 AIR 모델을 기반으로 하는 프랙탈 생산시스템(fractal manufacturing system; FrMS)의 설계와 구현 메커니즘을 제시한다. AIR 모델은 생산시스템 뿐만 아니라 기업, 더 나아가 다양한 기업들로 구성되는 기업군의 설계/운영에도 활용할 수 있다.

2. 관련연구

2.1 리소스 제어 아키텍처

리소스 활용 방식은 리소스의 제어 아키텍처에 따라 중앙집중 방식과 분산 방식으로 구분할 수 있다(Dilts *et al.* 1991). 중앙집중 방식의 제어 아키텍처(Achatz and Parrish 1987, Hammer 1987)에서는 하나의 제어기가 시스템 내의 모든 리소스의 활용 방안을 결정하고 통제한다. 개별 리소스는 중앙의 의사결정 개체로부터 지시를 받아 작업을 수행한다. 이는 가장 보편적인 리소스 활용 방식이다. 그러나 시스템 운영상 발생할 수 있는 모든 상황에 대한 인식모델과 문제해결 메커니즘이 중앙의 의사결정 노드에 장착되어 있어

야만 하므로 유연한 시스템 운영이 어렵다.

본 논문에서 제안하고자 하는 AIR 모델은 프랙탈 구조에 기반한 분산형태의 리소스 제어 방식을 적용한다. 기존의 분산제어 시스템은 리소스 간의 계층구조를 확립하고 계층에 따라 상이한 형태로 리소스를 설계하는 계층적 제어 방식(Cho 1995)을 취하거나, 계층구조를 없애는 대신 이질적이지만 동위의 리소스만을 정의하는 이질적 제어 방식(Lu and Yih 2001)을 취하였다. 그러나 계층구조의 확립은 시스템 유연성을 저해하며, 이질적 제어 방식은 발생하는 문제의 해결을 오히려 복잡하게 만드는 문제점이 있다(Kim *et al.* 2003). 반면에 AIR 모델은 모든 리소스가 서로 의존적이지 않도록 설계하는 동시에 계층구조를 도입함으로써 시스템의 유연성을 확보하고 리소스간의 교류 과정에서 발생하는 문제를 단순화한다.

2.2 생산시스템의 프랙탈 구조

프랙탈이란 언제나 부분이 전체를 닮는 자가 유사성(self-similarity)과 순환성(recursiveness)을 갖는 형상이다(Mandelbrot 1982). Mandelbrot은 그의 저서에서 프랙탈이 현실세계 도처에서 발견되고 있음을 주장하고, 프랙탈의 핵심 특성들을 규명하며, 이 둘을 혼돈이론과 비선형역학과 연관하여 설명하고 있다. 다양한 개체로 구성된 복합체에서 하나의 개체가 그 속에 또 하나의 유사한 형태의 복합체를 포함하고, 그 복합체는 또 다른 개체들로 구성되며, 이 개체들 역시 또 하나의 복합체를 포함하고 있다면 이러한 복합체는 프랙탈 구조를 갖고 있는 것이다. 본 논문에서 다루고자 하는 생산시스템 영역에서도 프랙탈 구조가 존재한다. 공장이란 하나의 제조설비는 작업장이라는 제조설비 단위로 구성되며, 개별 작업장은 다시 각종 생산장비들로 구성된다. 이러한 순환적 구조는 생산시스템의 계층구조의 수립과정에서 반복적으로 반영된다. 프랙탈 구조의 자가 유사성과 순환적 설계 패턴은 생산시스템 설계와 구현, 유지/보수 작업을 단순화시킬 수 있다.

프랙탈 구조를 생산시스템의 설계에 반영하려는 노력은 Tirpak *et al.*(1992)과 Warnecke (1993)로부터 시작한다. Tirpak *et al.*은 생산시스템에서 반복적으로 형성되는 임의의 형태를 프랙탈 유닛으로 정의하고, 여러 하부 유닛들과 운송설비, 그리고 이들의 통제를 위한 각종 제어모듈을 하나의 기본 프랙탈 유닛(basic fractal unit; BFU)으로 모델링한다. 특히 제어모듈에는 'observer', 'analyzer', 'resolver' 등의 의사결정 모듈이 탑재된다. Warnecke는 독립적으로 행동하는 집합적 개체를 프랙탈로 정의하고, 자가 유사성(self-similarity), 자가 조직화(self-organization), 자가 최적화(self-optimization), 목표 지향성(goal-orientation) 그리고 역동성(dynamics)을 프랙탈의 핵심 특성으로 제시한다. 그러나 Tirpak *et al.*의 BFU 모델은 정적인 계층적 제어 구조를 답습하고 있으며, Warnecke의 연구는 지나치게 관념적이다. 최근 Ryu and Jung (2003, 2004)과 Ryu *et al.* (2003)은 프랙탈 생산시스템(fractal manufacturing system; FrMS)을 제안하였다. Warnecke가 제안한 관념들의 구현 메커니즘을 제시하고 있으며, 특히 동적제어 구성 프로세스를 통해 시스템 구성요소간의 자유로운 관계형성을 지원한다. 그러나 그의 연구는 프랙탈 구현을 위한 하부 모듈의 설계와 기능 구현에 치중하고 있어 시스템 전반의 운용 메커니즘으로서는 한계를 지니고 있다. 개체간의 관계 설정과 협력 모델 제시가 필요하다. 본 논문은 이러한 문제점을 해결하기 위해 자율적이고 지능적인 리소스 모델 기반 프랙탈 생산시스템(air-FrMS)을 제안한다.

3. 자율적이고 지능적인 리소스 모델 (AIR-model)

AIR 모델은 신개념의 리소스 활용 메커니즘이다. AIR 모델은 생산시스템이 포함하는 각종 리소스의 기능(function)과 행태(behavior)에 대한 유개념(類概念, generic concept)을 제시하고, 자율적이고 지능적인 리소스(autonomous and intelligent resource; AIR)의 개념을 정의한다. AIR의 개념은 AIR 유닛으로 구현하며, AIR 유닛간의 협력모델을 통해 생산시스템 전반의 운영과정을 설계한다. 그림 1은 AIR 모델의 구성요소를 도해한 것이다.

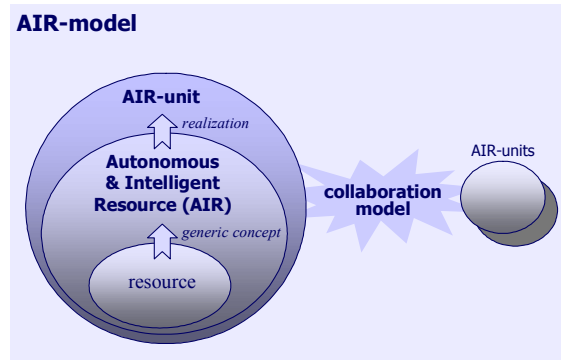


그림 1. AIR 모델의 구성요소

3.1 기본 개념

AIR 모델은 다음과 같은 개념적 정의를 바탕으로 리소스의 유개념을 도출한다.

- 정의 1. (리소스; resource)
본연의 서비스 역량을 지니며, 임의의 시스템 개체가 임의의 작업을 수행하기 위한 수단으로서 인지하는 모든 독립적인 개체
- 정의 2. (사용자; user)
임의의 작업을 수행하기 위해 특정 리소스의 서비스 역량을 활용하고자 하는 시스템 개체
- 정의 3. (서비스 역량; service capability)
리소스의 업무 수행 능력

각종 설비를 포함하여 작업자, 재료, 그리고 자산 등 제품 생산을 위해 필요한 모든 도구적 개체들이 리소스로서 정의되며, 리소스는 고유의 서비스 역량을 갖는다. 서비스 역량은 리소스가 수행할 수 있는 작업의 범주로 표현된다. 예를 들어 CNC 선반은 금속공작물의 선삭가공과 구멍가공, 홈가공 등의 능력을 서비스 역량으로서 가지며, 작업자는 연마한 기술이나 이수한 교육의 내용에 따라 특정 설비의 운용이나 관리 능력을 서비스 역량으로 갖는다.

또한 리소스가 존재하는 본연의 목적은 가치의 창출이다. 예를 들어 생산시스템의 운용 목적은 원자재에 각종 리소스의 서비스 역량을 활용하여 가공을 가함으로써 제품을 생산하고 가치를 창출하는 것이다. 일반적으로 생산시스템은 적은 비용으로 큰 가치의 제품을 생산함으로써 보다 큰 이윤을 얻는 것을 목표로 운용된다. 이때 개별 리소스는 시스템 전반의 가치창출을 위한 도구로써 활용된다. 따라서 리소스의 운용 목적 또한 가치의 창출이며, 개별 리소스는 이를 위한 세부적인 목표치를 갖는다.

개별 리소스는 자신의 서비스 역량에 따라 특정한 역할을 부여받고, 역할에 따라 일련의 작업을 수행한

다. 즉 리소스는 작업 수행을 위한 도구적 존재이며, 리소스의 사용자는 리소스가 가진 서비스 역량의 효율적인 활용 방안을 마련하고 작업 계획을 수립한다. 그러나 AIR 모델은 리소스에 자율성과 지능을 부여함으로써 개별 리소스가 의사결정의 주체가 되도록 설계한다. 즉 AIR 모델에서 리소스는 단순한 도구적 존재가 아니며, 사용자에게 종속되지 않는 주체적 존재이다. AIR의 개념을 구현하는 AIR 유닛은 자신의 서비스 역량 활용방안을 마련하기 위한 의사결정 프로세스에 능동적으로 참여한다.

3.2 자율적이고 지능적인 리소스 (AIR)

AIR 모델은 AIR를 리소스 본연의 도구적 존재인 동시에 다음과 같은 특성을 갖는 개체로서 정의한다.

- 가치창출 지향의 주체적 존재 (value creation-oriented subject)
- 사용자/리소스의 고용관계 (employment relationship between user/resource)
- 계층적 구조에 따른 집합적 정의 (hierarchy-based aggregated model)

3.2.1 가치창출 지향의 주체적 존재

AIR 모델은 개별 리소스를 가치창출을 지향하는 주체적 존재로써 모델링한다. 일반적인 생산시스템이 시스템 전반의 이윤 극대화를 목표로 개별 리소스를 운용하는 반면, AIR 모델에서는 개별 리소스가 독자적인 가치모델을 기반으로 행동 계획을 자발적으로 수립한다. 이는 모든 리소스가 개별 AIR 유닛들에 의해 분산되어 되며, 단순한 도구적 존재가 아닌 독자적 의사결정 주체이기 때문에 가능하다. 개별 리소스의 가치 모델은 특정한 골(goal)의 형태로 구체화되며, 리소스는 골의 달성을 위한 행동계획을 수립하고 이행한다.

3.2.2 사용자/리소스의 고용관계

AIR 모델은 생산시스템의 운영을 사용자와 리소스간의 상호작용 과정으로 설계한다. 특히 사용자와 리소스는 고용관계를 바탕으로 협업을 진행한다. 즉 사용자는 특정 리소스와 고용계약을 체결함으로써 작업 수행에 필요한 서비스 역량을 제공받고, 리소스는 사용자로부터 작업을 할당 받는다. 리소스는 서비스 역량을 제공하고 작업을 수행하는 대가로 가치창출의 기회를 얻는다. 사용자/리소스의 고용관계는 협상에 의한 계약을 기반으로 형성되므로 동적으로 자유롭게 형성된다. 그림 2는 사용자와 리소스 협력구조의 개념적 도해이다. 사용자/리소스의 상호작용은 AIR 유닛간의 협력모델로 구체화되며 3.4 절에서 상세히 다룬다.

3.2.3 계층적 구조에 따른 집합적 정의

AIR 모델은 리소스의 계층구조를 수립하고, 개별 리소스를 계층구조에 따라 집합적으로 정의한다. 즉 계층구조상 차상위 수준의 리소스는 차하위 수준의 리소스들의 집합으로 정의된다. 예를 들어 제조 설비는 추상화 수준에 따라 물리적으로 공장과 작업장 그리고 개별 장비로 구분하여 정의할 수 있다. 공장은 작업장들로 세분되며, 개별 작업장은 각종 장비들로 세분된다. 이때 계층구조상 상위 리소스의 서비스 역량은 하위 리소스들이 갖는 서비스 역량의 집합으로 정의된다. 즉 기계가공 장비들로 구성된 작업장은 기계가공 능력을 서비스 역량으로 가지며, 조립장비들로 구성된 작업장은 조립 능력을 서비스 역량으로 갖는다. 계층구조상 상위의 리소스는 의사결정 주기가 보다 길며, 보다 추상적인 형태의 작업수행을 위해 의사결정 프로세스를 진행한다.

일반적인 리소스의 계층구조는 물리적 종속관계를 기반으로 설계된다. 물리적 종속관계에 의한 계층구조 수립은 계층적 제어시스템 구축에 보편적으로 사용되는 접근법으로 구조의 설계가 용이하다. 이는 공장/작업장/장비와 같이 물리적으로 명확하게 정의되는 개체들 간의 관계를 다룰 뿐만 아니라 개체 간의 관계가 확정적이기 때문이다. 그러나 개체간의 확고한 정적 관계로 인해 시스템 전반의 유연성이 저해된다. 예를 들어 공장과 작업장의 관계나 작업장과 개별 장비의 관계를 해소하기 위해서는 막대한 시간과 비용이 소요되므로 현실적으로 이들의 관계는 고정적이다.

그러나 AIR 모델은 물리적 종속관계 이외에 논리적 가상 리소스 개체를 계층구조에 포함시킴으로써 개체 간 관계 설정의 유연성을 높인다. 상황에 따라 특정 장비들의 그룹으로 형성되는 가상 셀(virtual cell)과 같은 리소스 개체가 한 예이다. 가상 셀은 작업장이나 개별 장비에 대해 물리적으로 종속되지 않는 논리적 리소스 집합체이다.

또한 AIR 모델은 사용자/리소스 관계에 기반 하는 계층구조를 수립한다. 즉 공장/작업장/장비와 같은 계층구조를 물리적 종속관계에 의해 형성된 관계가 아닌 개체 간 협상에 의한 고용관계에 의해 형성된 것으로 설명한다. 따라서 개체간의 관계가 일방에 종속적이지 않고 자유롭게 형성될 수 있다. 사용자/리소스 관계는 계층구조상 인접한 수준의 리소스 간에서 형성되며, 계층구조에 따라 반복적으로 수립된다.

리소스의 계층구조 수립은 의사결정 과정에서 다루어지는 문제를 단순화하며, 리소스간의 상호작용 설계를 쉽게 한다. 만일 개별 장비 간의 상호작용만으로 시스템의 움직임을 모델링한다면, 그 복잡성으로 인해 시스템 작용의 예측과 제어가 매우 어렵게 된다

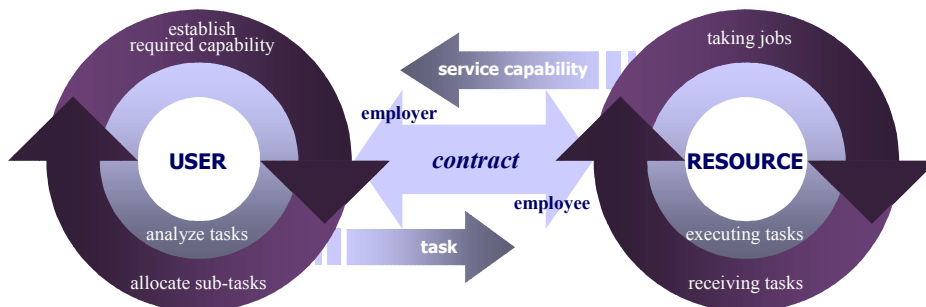


그림 2. 사용자와 리소스의 협력구조

(Waldrop, 1992). 즉 복잡한 상호작용으로 인해 리소스 간의 협력구조의 설계가 어려워지고 시스템 운영의 효율성이 저하된다. 리소스의 계층화는 문제의 복잡성을 해소할 수 있는 주요 해법 중의 하나이다(Koestler, 1989). 실제로 기업 차원에서 생산시스템을 다룰 때에는 개개의 장비 보다는 공장이라는 대규모의 추상적 리소스를 다루게 된다. 공장에 포함된 하위 리소스들에 대한 정보는 공장이라는 상위 리소스의 형태로 집합적으로 정의하여 은폐한다(information hiding). 기업 차원의 의사결정 과정에서 하위 리소스에 관한 구체적인 정보는 문제를 복잡하게 할 뿐 의미가 없다. 단지 공장 수준의 추상적인 정보만이 고려 대상이다. 개별 리소스는 계층적 위상에 따른 추상화 수준에 따라 적절한 의사결정 과정에만 참여한다.

3.3 자율적이고 지능적인 리소스 유닛 (AIR-unit)

3.3.1 기초구조

AIR 유닛은 AIR의 개념을 구현하며, 다수의 리소스의 협업을 요하는 복합 시스템의 기본 구성단위이다. AIR 유닛은 자율적이고 지능적인 의사결정 주체이며, 특히 자율적으로 생성한 목표의 달성을 위해 노력하는 목표 지향적(goal-oriented) 개체이다. AIR 유닛의 목표지향성은 리소스의 역할 결정, 즉 서비스 역량의 활용 계획 수립과 역할에 따른 작업계획 수립 과정에 반영된다. 리소스의 운용을 위한 의사결정 과정은 목표달성에 적합한 리소스의 서비스 역량 활용 방안 마련 과정이다. AIR 유닛은 목표 달성에 보다 적합한 역할을 할당 받고, 작업계획을 수립하기 위해 능동적으로 의사결정 프로세스에 참여한다. AIR 유닛은 목표달성을 위해 능동적으로 작업을 수주하며, 효율적인 작업 수행을 위한 실행계획을 수립한다.

AIR 유닛은 실제 리소스를 의미하는 물리적인 개체인 동시에 리소스 제어를 위해 각종 정보를 처리하는 논리적인 개체이다. 기존의 생산시스템이 리소스와 리소스의 제어 시스템을 분리하여 설계한 반면, AIR 유닛은 리소스와 제어 시스템을 통합함으로써 리소스의 분산 제어를 실현한다. AIR 유닛은 리소스를 모니터링하고 제어하는 제어기 본연의 기능을 가지며, 리소스의 서비스 역량에 따라 작업을 수주하고, 수주한 작업을 실행하기 위한 의사결정을 한다. 그림 3은 AIR 유닛의 기초구조를 도해한 것이다.

AIR 유닛은 정보처리기 (information processor; IP), 제어 API (application programming interface) 그리고 리소스의 3층(3-tier) 구조를 갖는다. 정보처리기 층은 논리적 개체로서 리소스 운용에 필요한 각종 정보의 처리와 의사결정 기능을 수행하며, 중간층(middle-tier)인

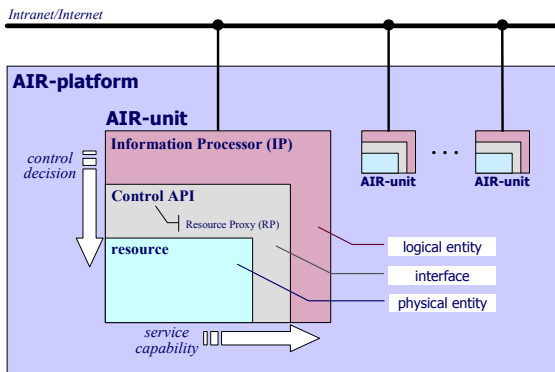


그림 3. AIR 유닛 기초구조

제어 API를 통해 리소스가 제공하는 서비스 역량을 활용한다. 리소스 층은 물리적 개체로서 AIR 유닛이 제어할 실제 물리적 리소스를 의미한다. 제어 API는 AIR 유닛의 논리적 개체와 물리적 개체 사이의 인터페이스 역할을 수행하며, 리소스 프록시(proxy)로 구현된다. 또한 모든 AIR 유닛은 AIR 모델이 제안하는 리소스 간의 협력 모델을 지원하는 특정한 운영체제 상에서 존재하며, 이는 AIR-플랫폼(platform)으로 구현된다.

3.3.2 설계

AIR 모델은 계층적 위상에 관계없이 모든 리소스를 AIR 유닛으로 구현한다. AIR 유닛은 계층적 위상에 따른 추상화 수준에 따라 서비스 역량과 수행할 작업의 형태가 다를 뿐이다. 더구나 계층구조에 따른 서비스 역량과 작업의 형태 정보 또한 객체지향(object-oriented) 설계의 상속 메커니즘을 통해 동일한 인터페이스로 구현한다. 따라서 모든 리소스는 계층구조상의 위상에 관계없이 AIR 유닛으로 정의되어 운용된다.

AIR 유닛은 그림 4와 같은 추상모델로 구현된다. 그림 4는 AIR 유닛의 클래스 다이어그램이며, AIR의 기능적/행태적 특성을 다양한 클래스와 인터페이스를 통해 구체화하고 있다. 표 1과 표2는 각각 주요 클래스와 인터페이스의 책임 영역을 나타내고 있다.

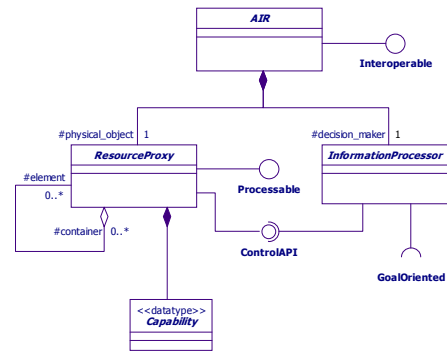


그림 4. AIR 유닛의 클래스 다이어그램

표 1. AIR 유닛의 주요 클래스 책임 영역

이름	책임 영역 (responsibility)
AIR	<ul style="list-style-type: none"> AIR 유닛 개체 생성/관리 Interoperable 인터페이스 구현
InformationProcessor	<ul style="list-style-type: none"> 정보처리기 개체 생성/관리 골 지향적 의사결정 서비스역량 활용계획 및 작업수행 계획 수립 리소스 모니터링 및 작업 수행 명령 생성 이벤트 처리
ResourceProxy	<ul style="list-style-type: none"> 리소스 개체 생성/관리 서비스역량 정보 등록/관리 사용자/리소스 고용관계 등록/관리 ControlAPI 인터페이스 구현 Processable 인터페이스 구현

표 2. AIR 유닛의 주요 인터페이스 책임 영역

이름	책임 영역 (responsibility)
Interoperable	<ul style="list-style-type: none"> AIR 유닛간의 협력모델 정의 외부 인터페이스 정의
GoalOriented	<ul style="list-style-type: none"> AIR 유닛의 골(goal) 모델 정의 골 지향성 정의
Processable	<ul style="list-style-type: none"> AIR 유닛의 서비스 역량 정의 서비스 역량 사용 메커니즘 정의
ControlAPI	<ul style="list-style-type: none"> 리소스 모니터링/제어 기능 정의

그림 5는 생산시스템의 리소스에 대한 집합모델의 예이며, 다음과 같은 5단계의 계층구조를 바탕으로 한다.

- 공장(factory)
- 작업부(department)
- 작업장(shop)
- 셀(cell)
- 장비(equipment)

공장은 물리적으로 하나 이상의 작업장의 집합인 동시에, 논리적으로는 작업장들의 그룹인 작업부들의 집합이 될 수 있다. 작업부는 필요에 따라 소수의 작업장을 묶어 관리하기 위해 형성되는 가상의 리소스이며, 개별 작업장들은 작업부에 소속되지 않을 수도 있다. 이와 같은 형태로 하나의 작업장은 여러 장비의 집합인 동시에 논리적으로 존재하는 장비들의 그룹인 셀의 집합이다. 셀은 작업장 단위의 의사결정 문제를 보다 단순화하기 위해 생성된다. 예를 들어 작업장에서 수행되어야 하는 작업의 종류가 많을 경우 셀의 생성을 통해 개별 작업의 수행을 전담시킴으로써 시스템 운영의 효율성을 향상시킬 수 있다. 또한 셀은 논리적으로 존재하는 객체이므로 셀 간에 장비의 공유가 가능하다.

리소스의 계층구조는 시스템의 특성에 따라 혹은 설계자의 의도에 따라 다양한 형태로 정의될 수 있으며, 시스템 환경의 변화에 의해 동적으로 변화한다. 따라서 그림 5에서 보이는 리소스의 계층구조는 시스템 운용상 나타날 수 있는 일시적인 모습이다.

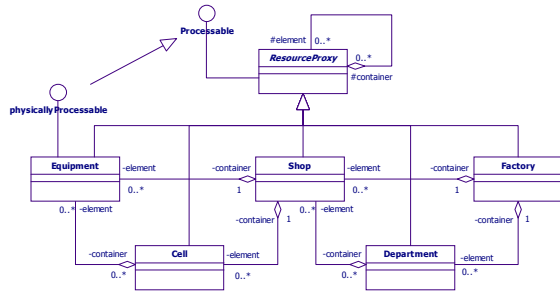


그림 5. 리소스의 집합 모델

3.4 AIR 유닛의 협력 모델

AIR 모델에서 임의의 복잡체를 구성하는 모든 리소스는 사용자와 리소스의 입장에서 관계를 형성하고, 협력 프로세스를 진행한다. AIR 유닛간의 협력모델은 사용자/리소스의 고용관계를 기반으로 하며, 고용계약의 체결과 계약의 이행 과정으로 설계된다. 그림 6은 AIR 유닛간의 협력모델에 기반한 AIR 유닛의 쓰임새 다이어그램을 도해한 것이다. 각각의 쓰임새는 AIR 유닛들이 사용자와 리소스 입장에서 수행하는 협력 프로세스로 구체화된다.

사용자와 리소스의 협력 프로세스는 두 개별적인 개체에 의해 이원적으로 진행된다. 사용자와 리소스는 각각 주어진 작업의 수행과 수행할 작업의 수주를 목적으로 협력모델에 참여한다. 먼저 사용자는 주어진 작업을 분석하여 수행에 필요한 서비스 역량을 파악한다. 리소스와의 협상을 통해 원하는 서비스 역량을 확보하기 위한 계약을 체결하고, 이를 바탕으로 적절한

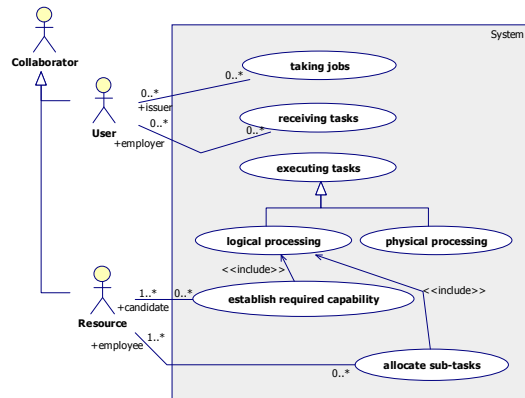


그림 6. AIR 유닛의 쓰임새 다이어그램

시점에 작업을 리소스에 할당한다. 또한 리소스는 사용자와 체결한 계약을 통해 서비스 역량의 활용 계획을 수립하고, 이를 바탕으로 작업을 수주한다. 작업의 할당/수주 과정 역시 사용자/리소스 간의 협상을 통해 이루어지며, 실시간으로 진행된다. 작업을 수주한 리소스는 별도의 쓰레드를 통해 작업을 수행한다.

그림 7은 이러한 협력모델을 바탕으로 진행되는 작업할당 프로세스의 흐름도를 도해한 것이다. 사용자가 리소스와 고용계약을 체결함으로써 필요한 서비스 역량을 확보하는 단계는 작업수행 계획을 수립하는 (planning) 과정이며, 고용계약을 바탕으로 리소스에 작업을 할당하는 단계는 스케줄링(scheduling) 과정으로 이해할 수 있다. 고용계약 체결 과정에서 사용자/리소스의 관계는 동적으로 자유롭게 형성되므로 AIR 유닛의 계층구조와 계층구조에 따른 리소스의 집합적 정의 또한 동적으로 재구성된다.

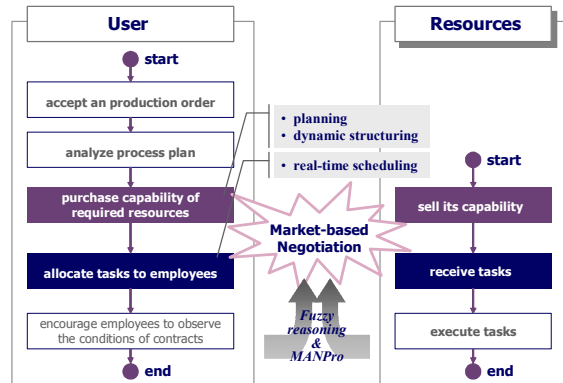


그림 7. 작업 할당(task-allocation) 프로세스의 흐름

4. AIR 모델 기반의 프랙탈 생산시스템

프랙탈 생산시스템(FrMS)은 리소스의 제어구조가 프랙탈 구조를 갖는 임의의 생산시스템을 의미한다. 프랙탈은 반복되는 자가 유사한 임의의 패턴을 의미한다. AIR 모델이 정의하는 사용자/리소스 관계는 리소스의 계층구조에 따라 반복적으로 형성된다. 또한 모든 AIR 유닛들은 계층적 위상에 관계없이 동일한 인터페이스와 클래스 구조를 가지므로 시스템상에서 존재하는 모든 사용자/리소스 관계는 자가 유사한 형태로 구현된다. 따라서 AIR 유닛들의 사용자/리소스 협력 체계를 하나의 프랙탈로 정의할 수 있다. 즉 하나의

생산시스템은 사용자/리소스 관계가 반복적으로 형성되는 프랙탈 구조로 설계된다.

AIR 모델 기반의 프랙탈 생산시스템(air-FrMS)은 AIR 유닛을 기본 구성 요소로 하며, AIR 유닛들의 협력 모델을 통해 프랙탈의 개념을 구현하는 신개념의 생산시스템 아키텍처이다. Ryu and Jung (2003, 2004)과 Ryu *et al.* (2003)의 FrMS 모델은 단위 리소스의 제어 패턴을 자가 유사한 형태로 설계하고 이를 프랙탈로 정의한다. 또한 리소스의 지능적 제어를 위한 다양한 기능 구현에 중점을 두는 기능중심설계(function-centered design) 접근법을 따르고 있다. 반면, air-FrMS 모델은 개체간의 관계기반설계(relation-driven design) 접근법을 따른다. 개체간의 원활한 상호 작용 지원이 가능하며, 보다 구체화된 시스템 운용 메커니즘을 제공한다. 또한 AIR 유닛 사이의 관계는 계약에 의해 자유롭게 형성되므로 air-FrMS는 별도의 동적 재구성 메커니즘을 구축할 필요가 없다. 그림 8은 AIR 모델 기반의 프랙탈 구조의 예를 도해한 것이다.

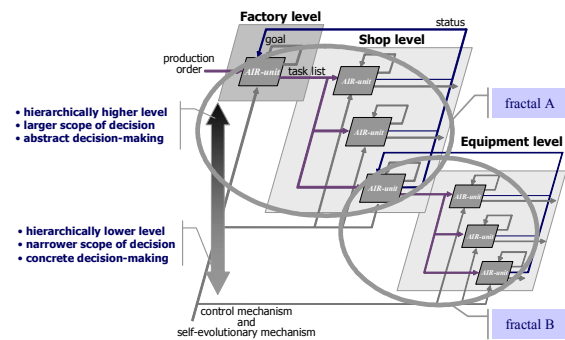


그림 8. AIR 모델 기반의 프랙탈 구조

5. 결론

본 논문은 신개념의 리소스 활용 메커니즘인 자율적이고 지능적인 리소스(AIR) 모델을 제시한다. AIR는 단순한 도구적 존재가 아닌 가치창출 지향의 주체적 존재이며, 사용자/리소스의 고용관계를 맺는다. 또한 계층적 구조에 따라 집합적으로 정의되고 리소스 본연의 서비스역량을 기반으로 표현된다. AIR 모델은 AIR의 개념을 AIR 유닛으로 구체화한다. AIR 유닛은 자율적이고 지능적인 의사결정 능력을 가지며, 목표 지향적이고, 계약 기반의 협업을 진행한다. 본 논문에서는 AIR 유닛의 구현을 위한 추상모델을 제시함으로써 AIR 모델 기반의 시스템 설계의 기초를 제공한다. AIR 모델은 프랙탈 생산시스템의 구현을 위한 관계기반설계(relation-driven design) 접근법이다. 개체간의 사용자/리소스 관계를 기반으로 시스템의 구조설계와 운용 메커니즘을 제공한다.

본 논문이 갖는 궁극적인 목표는 생산시스템의 자가 진화(self-evolution) 메커니즘을 개발하는 것이다. 자가 진화 생산시스템은 환경의 변화에 따라 스스로 자신의 꼴을 형성하고 조정하며, 시스템 구조를 자유롭게 재구성한다. AIR 모델은 자가 진화 생산시스템의 기본 구성요소로서 설계되었으며, 추후 연구에서는 다음을 주제로 다룬다.

- 목표 지향성의 구현을 위한 골 모델(goal model)
- 골 조정(goal-regulation) 메커니즘

- 개체 간 협상 메커니즘
- 프랙탈 구조 기반의 자가진화 메커니즘 구현

참고문헌

- Achatz, R. and Parrish, D.J. (1987), Host Computer Controls FMS at All Levels, *The FMS Magazine*, 5(1), 21-25.
- Cho, H. and Wysk, R.A. (1995), An Intelligent Workstation Controller for Computer Integrated Manufacturing: Problems and Models, *Journal of Manufacturing Systems*, 14(4), 252-263.
- Dilts, D.M., Boyd, N.P., and Whorms, H.H. (1991), The Evolution of Control Architectures for Automated Manufacturing Systems, *Journal of Manufacturing Systems*, 10(1), 79-93.
- Hammer, H. (1987), Flexible Manufacturing Cells and Systems with Computer Intelligence, *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, 3, 39-54.
- Kim, B., Heragu, S.S., Graves, R.J., and Onge, A. (2003), A Hybrid Scheduling and Control Architecture for Warehouse Management, *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, 19(6), 991-1001.
- Koestler, A. (1989), *The Ghost in the Machine*, Arkana Books, London.
- Kusiak, A. (2000), *Computational Intelligence in Design and Manufacturing*, 2nd edition, Wiley, New York.
- Lu, T. and Yih, Y. (2001), An Agent-based Production Control Framework for Multiple-line Collaborative Manufacturing, *International Journal of Production Research*, 39(10), 2155-2176.
- Mandelbrot, B. (1982), *The Fractal Geometry of Nature*, Freeman, New York.
- Musselman, K. and Uzsoy, R. (2001), *Handbook of Industrial Engineering: Technology and Operations Management*, 3rd edition, Ch. 78, Wiley, New York.
- Ryu, K. and Jung, M. (2003), Agent-based Fractal Architecture and Modelling for Developing Distributed Manufacturing Systems, *International Journal of Production Research*, 41(17), 4233-4255.
- Ryu, K. and Jung, M. (2004), Goal-orientation Mechanism in the Fractal Manufacturing System, *International Journal of Production Research*, 42(11), 2207-2225.
- Ryu, K., Son, Y., and Jung, M. (2003), Modeling and Specifications of Dynamic Agents in Fractal Manufacturing Systems, *Computers in Industry*, 52(2), 161-182.
- Tirpak, T.M., Daniel, S.M., LaLonde, J.D., and Davis, W.J. (1992), A Note on a Fractal Architecture for Modeling and Controlling Flexible Manufacturing Systems, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 22, 564-567.
- Waldrop, M. M. (1992), *Complexity: The Emerging Science at the Edge of Order and Chaos*, Simon & Schuster, New York.
- Warnecke, H. J. (1993), *The Fractal Company: a Revolution in Corporate Culture*, Springer-Verlag, Berlin.