

# 관계주도형 프랙탈 조직에서의 고용계약 기반 생산자원 관리모형

신문수<sup>†</sup>

한밭대학교 산업경영공학과

## Employment Contract-Based Management Model of Production Resources on Relation-Driven Fractal Organization

Moonsoo Shin

Department of Industrial and Management Engineering, Hanbat National University

Up-to-date market dynamics and intense competition have forced a production system to be more widely distributed and decentralized than ever, and the production system itself can be regarded as a collaborative network of autonomous production resources in which the responsibility of decision making is also decentralized into individual autonomous entities. The conventional resource management models, however, are not suitable for the distributed and decentralized environment because of their centralized nature. In this paper, an agent-based resource management model is proposed. The proposed model applies employment relation-driven fractal organization (FrOrg) into organizational model for distributed production resources and presents a resource management framework based on employment contracts. The fractal organization is a structured association in which a self-similar pattern recursively appears, and employment relations between production resources are recursively constructed throughout the entire production system.

**Keywords:** Distributed Production System, Employment Network, Fractal Organization, Resource Management, Planning, Scheduling

### 1. 서론

급변하는 경제 환경과 소비자의 강화된 입지로 인한 시장의 역동성은 생산시스템 구축에 있어 새로운 패러다임을 요구하고 있다. 오늘날의 역동적 시장 환경에서 경쟁력을 확보하기 위해서는 제품 수요 혹은 생산 품목의 변화에 유연하게 대응할 수 있으며, 급변하는 기술을 반영하고, 생산과정에서 발생하는 불량제품의 처리, 생산지연, 기계고장 등 예측하지 못한 상황에 대해 원활하게 대처할 수 있어야 한다. 따라서 변화에 대한 유연성(flexibility)과 적응성(adaptability), 반응성(responsiveness)을

갖춘 생산시스템의 구축이 필요하다(Tharumarajah, 2003).

하나의 생산시스템은 다양한 생산자원과 이를 운용하는 각종 의사결정 시스템으로 구성된다(Groover, 2001). 그런데 시장의 역동성과 치열한 경쟁 환경이 생산자원 관리의 분권화를 촉진하고 있으며, 이에 따라 중앙 집중적 형태의 전통적인 의사결정 시스템이 한계를 보이고 있다(Caramia and Dell'Olmo, 2006). 기업들은 시장의 세계화 추세 속에서 생산자원을 전 세계 각지에 분산하여 운용하고 있으며, 역동적 시장 환경에서 유연성과 적응성, 민첩성을 확보하기 위해 생산자원 관리의 분권화가 불가피하다. 또한 생산자원의 관리 영역이 개별 기업 중심에서 벗

이 논문은 2011년도 한밭대학교 교내학술연구비의 지원을 받았다.

이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(2012R1A1A1013217).

<sup>†</sup> 연락처 : 신문수 교수, 305-719 대전광역시 유성구 동서대로 125(덕명동) 한밭대학교 산업경영공학과, Tel : 042-821-1758, Fax : 042-821-1591, E-mail : shinms@hanbat.ac.kr

2013년 1월 28일 접수; 2013년 2월 14일 수정본 접수; 2013년 2월 20일 게재 확정.

어나 공급사슬망(supply chain) 전반으로 확대됨에 따라 다양한 관리주체에 속하는 생산자원들을 종합적으로 관리하는 체계가 필요하다. 이로 인해 다양한 형태의 다지점(multi-site) 생산시스템 모형이 개발되고 있으며(Kanyalkar and Adil, 2007; Nigro *et al.*, 2006; Seo and Lim, 2011), 생산시스템을 분산화된 생산네트워크(production network)로 구현하려는 시도가 이루어지고 있다(Chen *et al.*, 2009; Wiendahl and Lutz, 2002). 이처럼 물리적으로 분산되어 있을 뿐만 아니라 서로 다른 관리주체에 속하는 생산자원을 종합적으로 운용해야 하는 상황에서 중앙의 의사결정시스템이 역동적인 시장 환경변수를 모두 고려하여 효율적인 의사결정을 수행하는 것은 현실적으로 어려운 일이다. 또한 중앙 집중적인 자원관리 시스템으로는 분권화된 의사결정 구조를 효과적으로 반영할 수 없을 뿐만 아니라, 변화에 대한 유연성과 적응성, 반응성이 매우 제한적이다(Shin *et al.*, 2009a). 즉, 중앙 집중적인 자원관리모형으로는 역동적인 시장 환경과 생산자원의 분산화 및 분권화 경향에 적절히 대응할 수 없으며, 분산형 자원관리모형에 의한 의사결정 시스템 구축이 필요하다.

본 논문은 생산시스템의 유연성과 적응성, 민첩성을 구현하기 위한 분산형 생산자원 관리모형 제시를 목표로 한다. 생산자원의 분산형 관리란 시스템 전반의 생산자원 운용문제를 여러 작은 문제로 분할하여 해결하는 것인데, 본 논문에서는 이를 위해 개별 생산자원에 자율적이고(autonomous) 지능적인(intelligent) 의사결정 기능과 권한을 부여하고, 생산자원들 간의 능동적인 협력(collaboration)을 통해 분할된 문제를 해결한다. 특히 전반적인 자원관리 문제를 자율적인 생산자원들의 동적인 조직화 과정에 연계하여 정의한다. 본 논문에서는 분산된 생산자원들의 조직화 모형으로써 관계주도형 프랙탈 조직을 제시하고, 이를 기반으로 고용계약 기반의 생산자원 관리모형을 제안한다.

본 논문의 이후 구성은 다음과 같다. 제 2장에서는 기존의 분산형 생산자원 관리모형을 고찰하고 본 연구의 차별화된 특성을 설명하며, 관계주도형 프랙탈 조직의 개념을 제시한다. 제 3장에서는 고용계약 기반의 자원관리 프레임워크를 제안하고, 제 4장에서는 이에 기반하는 관리모형을 제안한다. 제 5장에서는 제안된 관리모형에 근거한 자원운용 가이드라인을 제시하며, 마지막으로 제 6장에서는 결론과 추후 연구과제를 제안한다.

## 2. 관련 연구

### 2.1 생산자원 관리모형

생산자원의 관리모형은 크게 1) 배치구조, 2) 제어구조, 그리고 3) 운영 메커니즘, 세 가지 관점에서 정의할 수 있다. 생산자원의 배치구조 모형은 생산자원을 작업장(shop-floor)에 물리적으로 배치하는 틀을 의미하며, 생산자원의 제어구조 모형은 생산자원 간의 정보와 의사결정 흐름을 정의하고 생산자원간

의 논리적 연관관계 유형을 제시한다. 이러한 배치구조 모형과 제어구조 모형의 설계 문제는 생산자원의 조직화 문제로 이해할 수 있다. 반면 생산자원의 운영 메커니즘은 구조적으로 조직화된 생산자원을 효과적으로 활용하기 위한 체계를 의미하며, 전통적인 PPC(production planning and control) 방법론이 이에 해당한다.

역동적인 시장 환경에 적응하기 위해서는 생산설비의 배치구조가 유연하게 설계되어야 하며, 변화에 따른 재구성이 쉬워야 한다. Benjaafar *et al.*(2002)은 이러한 요구조건을 만족하는 배치구조로서 1) dynamic layout, 2) reconfigurable layout, 3) robust layout, 그리고 4) distributed layout을 제시하였으며, 불확실성이 높고 재배치 비용이 높은 급변하는 환경에서는 distributed layout이 가장 효율적임을 증명하였다. Distributed layout은 생산자원의 작업장으로서의 분배를 최적화함으로써 변화에 대한 강건성(robustness)을 확보하고 부품(parts)의 이송거리를 최소화하는 것을 설계목적으로 한다(Baykasoğlu, 2003). 대표적인 예로 holonic layout(Askin *et al.*, 1999)과 fractal layout(Venkatadri *et al.*, 1997; Montreuil *et al.*, 1999; Saad and Lassila, 2004) 등이 있다. 또한 기계가공 분야를 중심으로 FMS(flexible manufacturing system)와 RMS(reconfigurable manufacturing system) 개념을 통해 생산설비 자체가 유연성과 확장성을 갖도록 함으로써 배치구조의 적응능력을 향상시키고자 하는 연구가 진행된 바 있다(Koren *et al.*, 1999). 그러나 이러한 접근법은 생산설비가 범용 공정능력을 갖추거나 신속한 기능조정 능력을 갖추고 있어야 하므로 고가의 생산설비가 요구되는 문제를 안고 있다.

유연한 배치구조의 구현을 통한 생산시스템의 재구성 능력 확보는 급변하는 시장 환경에 대한 대응력을 제고할 수 있다. 하지만 적용 효과의 범위가 작업장 내부에 국한되므로, 생산자원 관리의 범위가 기업 간 네트워크로 확장되고 있는 현상 상황에서는 효용성이 제한적이다. 물리적으로 분산된 생산자원을 다변화된 관리주체에 의해 효과적으로 운용하기 위해서는 유연한 의사결정 흐름을 기반으로 생산자원 전반을 효과적으로 조직화할 수 있어야 한다.

생산자원의 제어구조 설계는 개별 생산자원들을 효과적으로 제어하기 위한 조직화 문제로 정의할 수 있다. 생산자원의 배치구조 모형이 물리적인 조직화 문제를 다루는 반면, 제어구조 모형은 의사결정 흐름을 중심으로 논리적으로 존재하는 가상의 조직화 문제를 다룬다. 분산제어 생산시스템은 제어권한의 분권화 정도에 따라 hierarchical 구조에서부터 heterarchical 구조로 구분할 수 있다(<Figure 1> 참조). Hierarchical 구조는 생산자원의 제어 모듈이 계층구조를 형성함에 따라 차상위 제어 모듈로부터 조율된 행동을 취함으로써 전역최적화를 추구할 수 있는 반면에, 차상위 제어 모듈에 대한 의존성으로 인해 시스템 전반의 적응능력이 제한적이다(Dilts *et al.*, 1991). Heterarchical 구조는 모든 제어 모듈이 동등한 입장에서 협상하고, 판단하며, 행동하기 때문에 변화에 대한 적응능력이 뛰어난

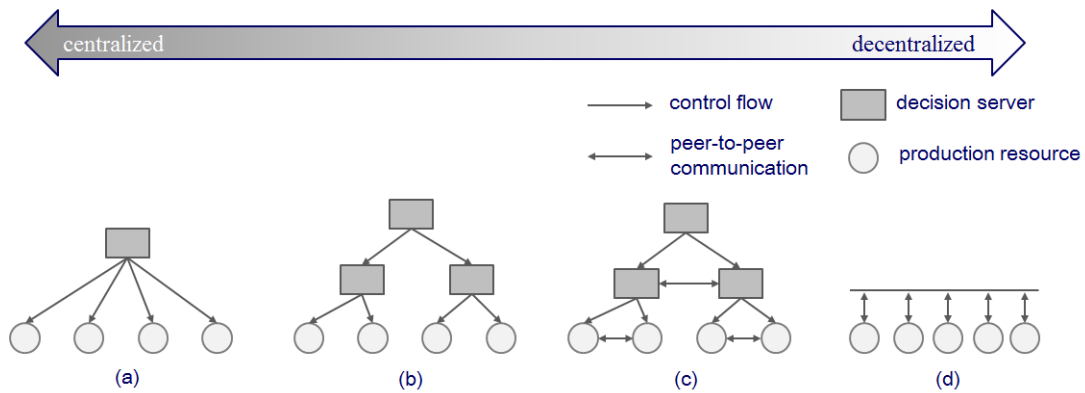


Figure 1. Control architecture. (a) centralized model, (b) hierarchical model, (c) hybrid(quasi-heterarchical) model, (d) heterarchical model

특징을 갖지만 전역 최적화가 어렵다는 한계를 갖는다(Heragu *et al.*, 2002). 이에 Hierarchical 구조와 heterarchical 구조를 혼합한 hybrid 구조가 주목을 받게 되었다. 이는 느슨한 형태의 계층구조 속에서 동위의 계층에 속한 제어 모듈 간에는 heterarchical 제어구조에서와 같은 자율적인 협업체계를 형성한다. Bongaerts *et al.*(2000)에 따르면 확고한 계층구조는 변화에 대한 유연한 대응이 제한적인 반면, 느슨하고 유연한 계층구조는 전역 최적화의 기회를 제공 받는 동시에 역동적인 환경에서 적응능력을 확보할 수 있는 장점을 갖는다. BMS(bionic manufacturing system)(Okino, 1993; Ueda, 1993), HMS(holonc manufacturing system)(Van Brussel *et al.*, 1995; Van Brussel *et al.*, 1998), 그리고 FrMS(fractal manufacturing system)(Ryu and Jung, 2003; Lee *et al.*, 2011)는 heterarchical 시스템에 느슨한 계층구조를 적용한 hybrid(혹은 quasi-heterarchical) 제어구조를 기반으로 한다.

생산자원의 운영 메커니즘은 기본적으로 생산계획(production planning), 일정계획(scheduling), 제어(control), 그리고 예외처리(exception-handling) 등의 기능을 다룬다. 일반적으로 이러한 기능들은 MRP(material requirement planning), MRP II(manufacturing resource planning), 그리고 ERP(enterprise resource planning) 등의 계획시스템, 혹은 독자적인 APS(advanced planning and scheduling) 시스템과 SFCS(shop floor control system), MES(manufacturing execution system) 등의 제어시스템을 구축하여 지원받는다. 그런데 기존의 전통적인 접근법은 중앙집중적인 의사결정 모듈에 의존하고 있어 역동적인 환경에 대한 유연성과 확장성이 제한적이다. 따라서 최근에는 multi-agent 기법을 활용한 분산형 PPC (Rahimifard, 2004; Wang *et al.*, 2004; Lima *et al.*, 2006; Nigro *et al.*, 2006; Jung, 2012) 방법론과 분산형 일정계획(Dewan and Joshi, 2002; Shen, 2002; Shin and Jung, 2005) 방법론 연구가 활발히 이루어지고 있다.

앞서 제시한 연구들은 각각의 분산형 생산자원 관리모형을 통해 생산시스템의 유연성과 적응성, 민첩성을 구현하고 있으나, 배치구조 혹은 제어구조, 운영 메커니즘 각각에 특화된 제

한적인 해법만을 제시하고 있다. 또한 적절히 구조화된 생산자원 조직을 전제로 운영 메커니즘을 제시하거나, 운영 메커니즘과는 별개로 조직화 문제만을 다루고 있다. 특히 생산자원 관리문제를 조직화 관점에서 접근하는 시도는 아직까지 보고되지 않고 있다. 반면 본 연구에서 제안하는 생산자원 관리모형은 조직화 과정과 운영 메커니즘을 하나의 프레임워크로 통합하는 특징을 갖는다. 단, 모형의 확장성(scalability) 확보를 위해 물리적인 설비배치 문제는 배제한다.

### 2.2 관계주도형 프랙탈 조직

프랙탈은 재귀적으로 구성되는 자가 유사한(self-similar) 현상을 의미한다(Mandelbrot, 1982). 여기서 자가 유사성이란 하나의 패턴이 또 다른 유사한 패턴 속에 끊임없이 반복되는 것을 의미한다. 프랙탈의 개념은 단순하고 반복적인 공통의 메커니즘을 규명하여 활용함으로써 보다 복잡한 시스템 전반을 보다 쉽게 구성할 수 있다는 사실을 바탕으로 ‘공장안의 또 다른 공장’이라는 개념으로 발전되어 생산시스템 분야에 적용되고 있다. Fractal factory(Warnecke, 1993), basic fractal unit model(Tirpak *et al.*, 1992), fractal layout(Venkatadri *et al.*, 1997; Montreuil *et al.*, 1999; Saad and Lassila 2004) 등이 대표적인 사례이며, HMS와 FrMS 또한 프랙탈 구조를 보이는 생산시스템이다 (Shin *et al.*, 2009b).

Shin *et al.*(2009b)은 ‘공장안의 또 다른 공장’의 개념을 기반으로 프랙탈 구조를 갖는 모든 시스템의 상위 개념으로서 프랙탈 조직(fractal organization)을 제안하였다. 프랙탈 조직이란 자가 유사한 패턴이 재귀적으로 나타나는 분산된 개체들의 구조화된 연합체를 의미하며, 자가 유사한 패턴을 구현하는 단위 연합체를 프랙탈로 정의한다. 즉 프랙탈 조직은 여러 프랙탈이 구조화된 시스템이다. 프랙탈은 적용분야 및 구현방식에 따라 다양한 형태를 보일 수 있다. 예를 들어 HMS에서는 ‘부분과 전체(part-whole)’ 관계를 단위 프랙탈로서 정의할 수 있으며, FrMS에서는 단위 제어모듈 자체를 프랙탈로서 정의하고

있다(Ryu and Jung, 2003).

또한 Shin *et al.*(2009b)은 HMS와 FrMS가 quasi-heterarchical 제어구조를 기반으로 자가 재구성능력(self-reconfigurability)을 갖고 있지만, 구체적인 조직화 메커니즘을 제시하지 못하고 있음을 지적하고 관계주도형 조직화 메커니즘을 제시하였다. 특히 생산자원간 가상의 ‘고용관계(employment relation)’를 기반으로 생산자원 전반을 조직화하는 모형인 r-FrMS(relation-driven fractal organization for distributed manufacturing systems)를 제시하고 유효성을 입증하였다. <Figure 2>는 고용계약 기반의 관계주도형 프랙탈 조직의 구조를 보이고 있다. 관계주도형 조직화란 분산 개체들 사이에서 논리적인 제어구조 수립 과정에 재귀적으로 나타나는 특정 관계를 자가 유사한 패턴으로 정의하고, 이를 기초로 조직 전반을 구조화하는 것을 의미

한다. 예를 들어 HMS의 ‘부분과 전체’ 관계를 바탕으로 생산 시스템 전반을 설계하는 방식이다. 그러나 ‘부분과 전체’의 관계는 생산자원들 간의 물리적인 포함 관계를 기반으로 직관적인 조직화가 가능하지만, 조직화 과정과 생산자원의 운영 메커니즘이 이원적으로 운용되어야 한다. 즉, 생산자원의 조직화 문제와 운영 메커니즘이 별개로 설계되므로 조직화 결과 운영 메커니즘의 제약요소로 작용하게 된다. 반면 생산자원간의 논리적인 관계인 ‘고용관계’를 기반으로 생산자원 전반을 조직화하면, 조직화 과정 속에서 생산자원의 운용 메커니즘을 일원적으로 운용할 수 있는 장점이 있다. <Table 1>은 HMS, FrMS와 r-FrMS의 차이를 요약하여 나타내고 있다. Shin *et al.*(2009b)의 연구는 관계주도형 프랙탈 조직화 메커니즘의 제시와 이의 유효성 입증 예제를 다루고 있는 반면, 본 논문은

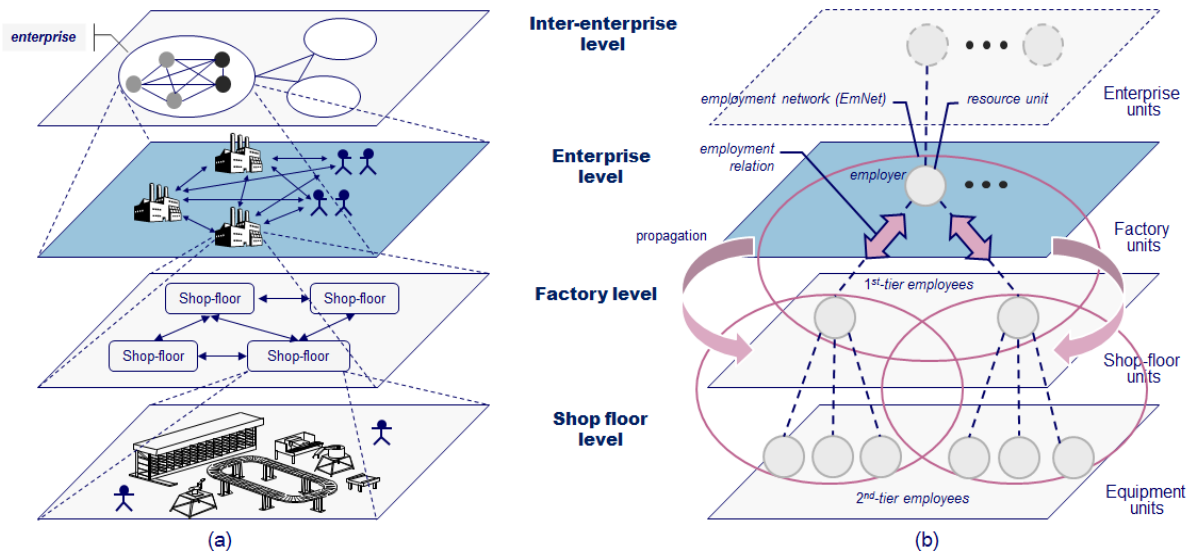


Figure 2. Relation-driven fractal organization, (a) layered structure of distributed manufacturing system, (b) employment contract-based fractal structure (Shin and Ryu, 2013)

Table 1. Comparison of HMS, FrMS, and r-FrMS(Shin *et al.*, 2009b)

	HMS	FrMS	r-FrMS
Basic unit	Holon : a functionally decomposed entity, such as part, resource, order and staff	Fractal(BFU) : a set of functional modules including observer, analyzer, resolver, organizer and reporter	Fractal(BFU) : an employment network of production resources, which are primitive composing entities
Self-similar pattern	Holon itself implying part-whole relation with others	Fractal itself implying self-similar recursion, but no definite description	Fractal itself signifying employment relation between production resources
Organizational structure	Holarchy, which is a system of holons	Fractal structure, which is a hierarchy composed of control units, namely fractals	Fractal structure, which emerges out of recursively built-up employment networks
Meaning of organizing	To generate aggregate holons by means of self-organizing interaction of holons or explicit pre-design	To build fractal structure	To build an employment network and to propagate it into the entire system

서는 관계주도형 프랙탈 조직에서의 생산자원 운용 메커니즘으로서 조직화 과정과 일원화된 고용계약 기반의 생산자원 관리모형을 제시한다.

### 3. 고용계약 기반의 자원관리 프레임워크

#### 3.1 조직화 모형

하나의 생산시스템은 공장과 공장 내의 개별 작업장 및 생산설비 등으로 구성되는 물리적인 계층구조를 가지며, 이를 구성하는 모든 개체를 생산자원으로 정의한다. SCM 등 기업간 협업 문제를 다룰 경우 생산자원의 범주는 개별 기업 및 기업간 협력체까지 확대될 수 있다. 개별 생산자원은 일종의 생산자원 에이전트(resource agent)로서 목표 지향적인(goal-oriented) 의사결정 능력을 가지며, 생산자원간의 상호협력을 통해 고용 네트워크(employment network; *EmNet*)를 구성한다. 고용 네트워크는 일종의 가상 조직이며, 생산자원간의 자율적인 협상을 통해 체결되는 고용계약에 기반하여 동적으로 구성된다. 고용 네트워크 속에서 개별 생산자원은 고용자(employer)인 동시에 피고용자(employee)의 역할을 동시에 수행한다.

고용 네트워크는 식 (1)과 같은 방향성 그래프(directed graph) 형식으로 표현한다.

$$G_{EmNet} = (V_{res}, E) \tag{1}$$

$V_{res}$ 는 각각의 노드로 표현되는 개별 생산자원의 집합이며,  $E$ 는 노드간의 방향성 모서리로 표현되는 생산자원간 고용관계의 집합이다. 각각의 고용관계는 관계강도(relation intensity) 값을 가지며,  $i$ 번째 생산자원이  $j$ 번째 생산자원을 고용하는 강도를  $I_{ij}$ 로 표시한다. 관계강도란 피고용자가 고용관계를 맺음으로써 고용자에게 제공하기로 한 작업처리용량(capacity)의 총 처리용량 대비 비율을 의미한다.

<Figure 3>은 고용 네트워크로 구현된 프랙탈 조직의 개념이다. 여기서 하나의 고용자를 중심으로 다수의 피고용자들이 구성하는 고용 네트워크가 단위 프랙탈이다. 이때 단위 프랙

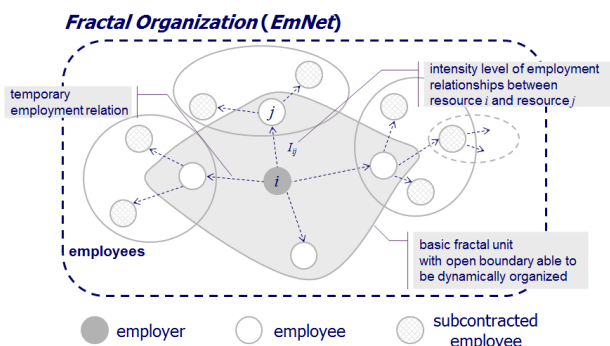


Figure 3. Fractal organization based on *EmNet*

탈은 피고용자의 상황변화(예, 설비고장, 긴급주문 발생 등)에 따라 동적으로 조직화될 뿐만 아니라, 개방 경계(open-boundary) 구조를 갖는다. 즉, 고용계약 자체가 동적으로 형성되고, 고용의 대상이 물리적인 배치구조에 제약받지 않는다.

전통적인 자원관리모형에서는 개별 생산주체(예, 공장 혹은 작업장 등)에 할당된 생산 물량을 하부의 종속된 생산자원(예, 작업장 혹은 생산설비)에 배분하여 처리한다. 반면, *EmNet* 모형에서는 개별 생산주체 역시 하나의 생산자원으로 정의되며, 특정 생산자원이 하부의 종속된 생산자원을 보유하는 형태가 아니라 필요시 최적의 생산자원을 일시적으로 고용하는 형태로 조직화가 이루어지고, 고용한 생산자원에 개별 작업을 배분하여 처리하도록 한다. 이때 피고용자에 해당하는 생산자원은 자신이 할당받은 작업을 처리하기 위해 또 다른 생산자원을 고용할 수 있으며, 고용의 대상은 시스템에 속하는 모든 생산자원이다. 따라서 구성되는 조직의 범주가 물리적으로 제한되지 않으며, 시간의 흐름에 따라 동적으로 재구성된다.

#### 3.2 협업 프레임워크

*EmNet* 상에서 개별 생산자원 간의 협업은 관계형성(relation-forming) 단계와 작업할당(task-allocating) 단계로 구성된다(<Figure 4> 참조). 관계형성 단계(Phase I)는 자율적인 생산자원들 간의 고용계약이 체결되는 과정이며, 개별 생산자원이 자신에 주어진 작업(task)을 수행하기 위해 필요한 공정능력(capability)을 다른 생산자원들을 고용함으로써 확보한다. 이때 공정능력은 작업처리용량과 구별되는 개념이며, 절삭가공, 조립 등과 같은 처리 가능한 작업의 종류를 의미한다. 고용자 역할의 생

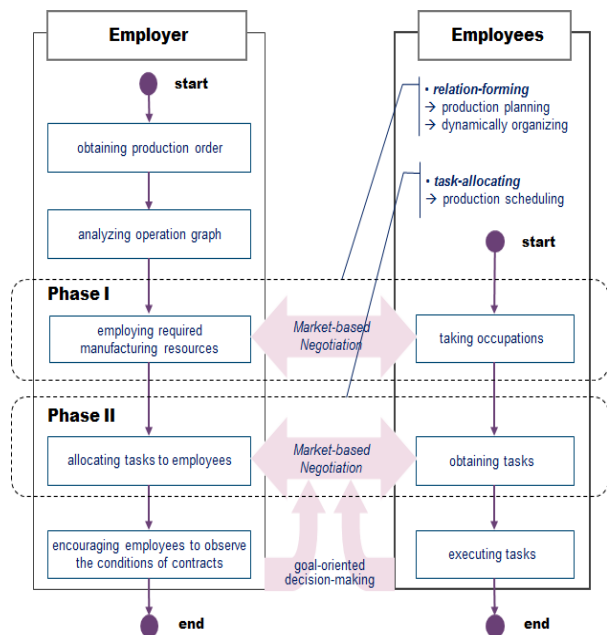


Figure 4. Employment contract-driven resource management framework

산자원은 수주한 작업을 분석하여 필요한 세부 공정능력을 도출하고, 잠재적인 피고용자들과 고용협상을 진행한다. 예를 들어 절삭가공 작업을 수주한 고용자가 실제 밀링(milling) 작업과 선반가공(turning) 작업을 수행할 생산자원을 고용하는 과정이 전개된다. 이때 잠재적인 피고용자들은 작업을 수주하기 위해 고용협상에 참여하며, 고용계약을 통해 직업(job)이 정해진다. 고용관계 형성을 통해 고용자는 자신이 수주한 작업을 주어진 시간동안 어떤 생산자원을 통해 처리할 것인지를 결정함으로써 생산계획을 수립하게 된다.

작업할당 단계(Phase II)는 체결된 고용계약을 기반으로 개별 생산자원에 작업을 할당하는 과정이다. 관계형성 단계에는 개별 피고용자가 주어진 시간동안 어떤 작업을 수행할 것인지를 결정한 반면, 작업할당 단계에는 개별 생산자원의 시간 축상에 실제 작업을 할당함으로써 일정계획을 수립한다. 고용자는 동일한 공정능력을 제공하는 복수의 생산자원을 고용한 경우, 시간 축 상에서 최적의 피고용자에 작업을 할당한다. 피고용자 또한 복수의 생산 작업에 고용된 경우, 최적의 작업을 선별하여 할당 받는다. 즉, 고용자와 피고용자 모두 협상 과정에서 목표 지향적인 의사결정(goal-oriented decision-making)을 수행한다.

#### 4. 생산자원 간의 고용계약 모형

본 논문에서 제시하는 생산자원 관리모형은 생산자원들 간의 고용계약을 기반으로 개별 생산자원의 직업을 정하고, 직업에 따라 고용자로부터 작업을 할당받아 처리함으로써 생산자원 전반이 운용되는 패턴이다. 본 장에서는 고용계약의 대상물인 공정능력을 공정계획 관점에서 살펴보고, 고용계약의 결과물인 직업과 작업의 속성을 구체화한다. 또한 고용계획 수립을 위한 목표지향 의사결정의 참조모형을 제시한다.

##### 4.1 표기법

본 논문에서는 사용하는 주요 기호는 다음과 같다.

<i>job</i>	고용계약에 따라 피고용자에게 부여된 직업
<i>task</i>	직업에 따라 피고용자에게 할당된 작업
<i>cap</i>	공정능력(capability)
$G_{op}$	공정계획(process plan)
<i>BD</i>	고용계약의 시작시점(beginning date)
<i>ED</i>	고용계약의 종료시점(end date)
<i>PL</i>	고용계약을 통해 약정한 조업도(production level) (단위, 시간)
<i>R</i>	고용계약에 따라 피고용자에게 배부되는 예상수익
<i>C</i>	고용계약에 따라 발생하는 예상 비용
<i>a</i>	고용계약에 대한 가중치, $-1 \leq \alpha \leq 1$

<i>W</i>	고용기간 동안 피고용자의 총 작업처리용량(단위, 시간)
<i>RD</i>	작업의 약정 시작시점(release date)
<i>DD</i>	작업의 약정 종료시점(delivery date)
<i>CD</i>	작업의 실제 종료시점(completion date)
<i>PL<sub>T</sub></i>	작업 수행에 필요한 조업도(production level)(단위, 작업수량)
<i>R<sub>T</sub></i>	작업수행에 따라 피고용자에게 배부되는 수익
<i>C<sub>T</sub></i>	작업수행에 따라 발생하는 비용
$W_p$	계획기간 동안의 총 작업처리용량(단위, 시간)
<i>B</i>	작업수행 예산(즉, 고용자에게 약속한 비용을 의미)
<i>E</i>	작업수행에 실제 소요된 비용
$C^{employees}$	작업수행을 위해 고용한 피고용자들에 대한 신용도, $0 \leq \alpha \leq 1$

#### 4.2 속성정의

##### (1) 공정능력

고용자는 수주한 작업에 대한 공정계획(process plan) 상에서 소요 공정능력을 도출하고, 해당 공정능력을 확보하기 위해 필요한 경우 다른 생산자원을 고용한다. 제안된 모형은 식 (2)와 같은 AND/OR 그래프 형태의 계층적 공정계획을 적용한다.

$$G_{op} = (V_{op}, E_{op}) \tag{2}$$

$V_{op}$ 는 노드의 집합이며,  $E_{op}$ 는 노드간의 선후관계 집합이다. 각각의 노드는 공정노드(operation node)와 분기노드(branch node)로 분류되며, 공정노드는 제품 생산을 위한 단위공정을 의미하고, 분기노드는 공정계획 상의 대안흐름과 병렬흐름을 표시한다. 대안흐름은 SO(split-or) 노드로 분기되며 하나의 경로만 선택하여 진행하면 되는 경우이고, 병렬흐름은 SA(split-and) 노드로 분기되며 모든 경로를 진행해야 하지만 순서는 무관한 경우이다. 따라서 다양한 공정 경로(route)가 존재할 수 있으므로 고용자는 공정 경로를 우선 결정하고 경로상의 단위공정수행에 필요한 공정능력을 산출한다.

또한 개별 공정노드는 공정의 추상화 수준에 따라 상세 공정계획으로 구체화될 수 있다(<Figure 5> 참조). 예를 들어 <Figure 5>의 'R1' 공정은 'M1'과 'M2', 'T1' 공정으로 구성된다. 따라서 'R1'에 관련된 고용계약을 체결한 피고용자는 'M1'과 'M2', 'T1'에 관련된 공정능력을 확보해야 한다. 즉 해당 공정의 처리능력을 갖춘 생산자원을 고용해야 한다.

##### (2) 직업(Job)과 작업(Task)

직업은 관계형성 단계의 고용계약을 통해 결정되는 생산계획상의 단위 구성정보이며, 작업은 주어진 직업을 기준으로 개별 피고용자에게 할당되는 생산활동으로서 일정계획상의 단위 구성정보이다. 각각의 생산자원은 자신의 직업이 명시한 공정



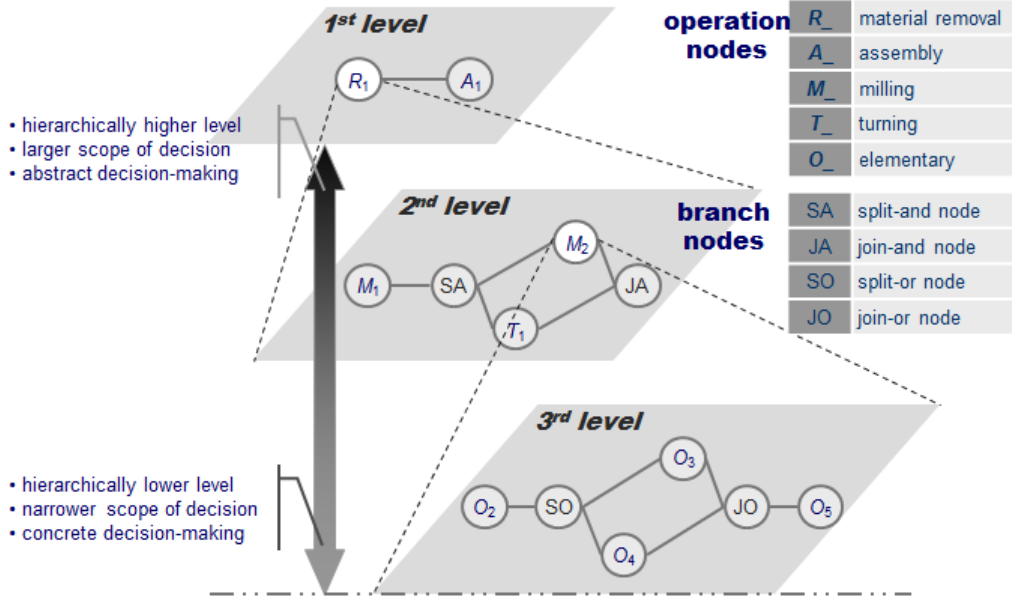


Figure 5. Fractal-like operation graph

능력을 약정된 시간동안 약정된 수량 만큼 고용자에게 제공해야 하며, 이를 위해 일정계획 상에 작업을 할당받아 수행한다.

직업은 피고용자가 고용자에게 자신의 공정능력을 일정 기간 동안 제공하는 것을 약정하는 정보를 기본 속성으로 가지며, 식 (3)과 같이 표현할 수 있다.

$$job = (cap, BD, ED, PL, R, C, \alpha) \quad (3)$$

조업도(PL)는 피고용자가 고용자에게 약정된 공정능력(cap)을 제공하는 양을 의미하며, 제안된 모형에서는 작업시간으로 표현된다. 즉, 고용계약을 통해 피고용자는 고용기간(BD~ED) 동안 PL 만큼의 시간 동안 cap와 관련되어 고용자로부터 할당 받은 작업을 수행하도록 약정한다. 고용기간 동안의 총 작업 처리용량(W) 대비 조업도(PL)는 고용자와 피고용자간의 관계 강도를 의미한다. 고용자는 원청 고용자로부터 배부받은 수익을 피고용자에게 전액 배부하며, 피고용자는 원가회계 시스템상의 단위 조업도당 표준원가를 기준으로 비용(C)을 책정한다. 또한 고용자와 잠재적 피고용자 사이의 협상 과정에서 작업수행에 대한 가중치(a)를 책정한다. 작업수행 가중치는 작업의 상대적 중요성을 의미하며, 생산자원의 활용도 관점의 가동률 산출에 반영된다. 예상되는 수익은 적지만 전반적인 작업진행 효율을 위해서는 우선진행이 필요할 경우 높은 가중치를 부여받는다.

작업은 식 (4)에서 보이는 속성을 통해 일정계획상의 단위 구성정보로 활용된다.

$$task = (job, G_{op}, RD, DD, PL_T, R_T, C_T) \quad (4)$$

개별 작업은 구체적인 공정정보를 주요 속성으로 가지며, 이

는 해당 직업(job)에서 명시한 공정능력을 제공하기 위한 공정 계획( $G_{op}$ )의 형태로 표현한다. 또한 작업수행에 따르는 수익( $R_T$ )과 비용( $C_T$ )을 작업할당 단계의 협상과정에서 재설정한다. 고용계약에서 명시한 수익과 비용을 기준으로 하지만, 일정계획상의 동적인 특성을 반영하여 해당 직업에 대한 수익과 비용의 총량 안에서 조정할 수 있도록 한다. 총량을 초과하는 경우에는 계약 위반에 대한 불이익(penalty)이 책임소제에 따라 고용자 혹은 피고용자에게 부여된다.

### 4.3 의사결정 모형

#### (1) 목표달성(goal achievement) 모형

모든 생산자원은 주어진 작업의 수행을 통해 이익(profit)과 활용도(utilization) 및 신용도(credibility)의 극대화를 목표로 한다. 각각의 항목에 대한 목표달성 수준은 퍼지 집합(fuzzy set)을 통해 평가하며, 식 (5)에서 보이는 퍼지 연산을 통해 전반적인 목표달성 수준(GA)을 산출한다.

$$GA = GA^P \otimes GA^U \otimes GA^C \quad (5)$$

$GA^P, GA^U, GA^C$ 는 각각 이익과 활용도, 신용도 측면에서의 목표달성 수준을 의미한다. 퍼지 연산자  $\otimes$ 가 가중합산이라고 할 때 식 (5)는 식 (6)으로 바꾸어 표현할 수 있다.

$$GA = w_p \times \mu_p(x_p) + w_u \times \mu_u(x_u) + w_c \times \mu_c(x_c), \quad (6) \\ s.t. w_p + w_u + w_c = 1$$

$x_i$ 와  $w_i(i \in \{p, u, c\})$ 는 각각 항목별 산출지수와 가중치를 의미하며,  $\mu_i(i \in \{p, u, c\})$ 는 각 항목별로 “목표를 달성했음”에 대한

소속 함수(membership function)이다. 식 (7)은 시그모이드(sigmoid) 형 소속 함수의 예시이다.

$$\mu_i(x_i) = \left(1 + e^{-\frac{(x_i - g_i)}{N_i}}\right)^{-1} \quad (7)$$

$g_i$ 는 항목별 목표수준을 의미하고,  $N_i$ 은 항목별 정규화 상수를 의미한다.

이익과 활용도, 신용도 지수는 식 (8)~식 (10)에 의해 산출한다.

$$x_p = \sum(R - C) \quad (8)$$

$$x_u = \sum(PL \times (1 + \alpha)) / W \quad (9)$$

$$x_c = GA^B \otimes GA^D \otimes GA^E \quad (10)$$

이익과 활용도는 주어진 작업을 기준으로 산출하는 반면, 신용도는 실제 작업수행 결과를 대상으로 평가되므로 수행한 작업을 기준으로 산출한다. 식 (10)에서 보이는 바와 같이 신용도의 평가는 예산대비 지출( $GA^B$ ), 약정납기 대비 완료시점( $GA^D$ ), 그리고 피고용자들에 대한 신용도( $GA^E$ ), 세 가지 하부 항목에 대해 이루어지며, 식 (11)에서 보이는 퍼지 연산을 통해 산출된다.

$$x_c = \sum(w_b \times \mu_b(B - E) + w_d \times \mu_d(DD - CD) + w_e \times \mu_e(\sum C^{employees})), \quad (11)$$

s.t.  $w_b + w_d + w_e = 1$

$x_i$ 와  $w_i$ ,  $\mu(i \in \{b, d, e\})$ 는 각각 항목별 산출지수와 가중치, 소속 함수를 의미한다.

(2) 협상 모형

잠재적인 고용자와 피고용자 간의 협상은 각자의 목표달성도를 극대화하기 위한 의사결정 과정이다. 관계형성 단계에 고용자는 공급받고자 하는 공정능력에 대한 고용정보를 공지하고(announce), 잠재적인 피고용자들은 이를 분석하여 자신의 목표달성도를 극대화할 수 있는 안을 만들어 입찰한다(bid). 고용자는 입찰된 안을 비교 분석하여 목표달성도 측면에서 보다 유리한 조건을 유도하기 위해 고용정보를 조정하여 제공지할 수 있으며, 피고용자는 이에 따라 안을 보완하여 재입찰한다.

<Figure 6>은 피고용자의 의사결정을 위한 입찰력 정보를 보이고 있다. 관계형성 단계에서 고용자는 피고용자에게 필요한 공정능력( $cap$ )과 배부할 예상수익( $R$ ), 그리고 작업수행에 대한 가중치( $\alpha$ )를 고용정보로서 제시한다. 잠재적인 피고용자는 이러한 고용정보에 대한 입찰 안으로서 고용계약의 시작시점( $BD$ )과 종료시점( $ED$ ), 조업도( $PL$ ), 그리고 예상비용( $C$ )을 고용자에게 제시한다. 이때 고용자는 잠재적 피고용자에게 보다 나은 조건의 제안을 받기 위해 작업수행에 대한 가중치를 조

정한다. 상대적으로 높은 가중치의 작업에 대해서는 피고용자 입장에서 동일한 고용기간 동안 높은 조업도 수준을 제시하는 것이 목표달성도 측면에서 유리하다. 단, 작업수행 가중치의 조정은 식 (12)에 의해 제약을 받는다. 즉, 피고용자에게 배부할 예상수익의 가중총량이 본래의 예상수익 총량과 같도록 한다. 이는 특정 고용자가 자신의 모든 작업에 대한 가중치를 높게 설정함으로써 합리적인 의사결정을 방해하는 상황을 방지하기 위함이다.

$$\sum(R \times (1 + \alpha)) = \sum R \quad (12)$$

작업할당 단계에는 고용자가 피고용자들을 대상으로 작업 정보를 공지하고, 피고용자가 이에 대한 일정계획을 안으로서 입찰에 참여한다. 작업정보는 관련한 직업(job), 공정계획( $G_{op}$ ), 작업수행에 필요한 조업도( $PL_T$ ), 그리고 예상수익( $R_T$ )으로 구성되며, 단위 일정계획은 작업의 시작시점( $RD$ )과 종료시점( $DD$ ), 작업수행에 할당하는 조업도( $PL_T$ ), 그리고 예상비용( $C_T$ )으로 구성된다. 이때 피고용자는 기존의 일정계획을 고려하여 고용자가 요구하는 조업도 수준을 조정하여 제시한다. 또한 개별 작업에 대한 수익과 비용을 조정함으로써 고용자와 피고용자 모두의 목표달성 수준을 제고한다. 고용자는 개별 작업에 보다 높은 수준의 수익을 배부함으로써 보다 나은 조건을 유도하고, 피고용자는 비용을 낮춤으로써 보다 나은 조건의 작업을 할당받도록 유도한다. 단, 개별 작업에 배부되는 수익의 총량은 변하지 않도록 유지하며, 작업수행에 따라 발생하는 비용은 주어진 작업의 공정조건(예 : 작업 난이도)과 예상 배부수익 등을 고려하여 설정한다. 특히 복수의 피고용자로부터 공정능력을 공급받는 차상위 피고용자의 경우에는 상대적으로 성능이 우수한 피고용자에게 목표달성 공헌도가 높은 작업을 할당한다.

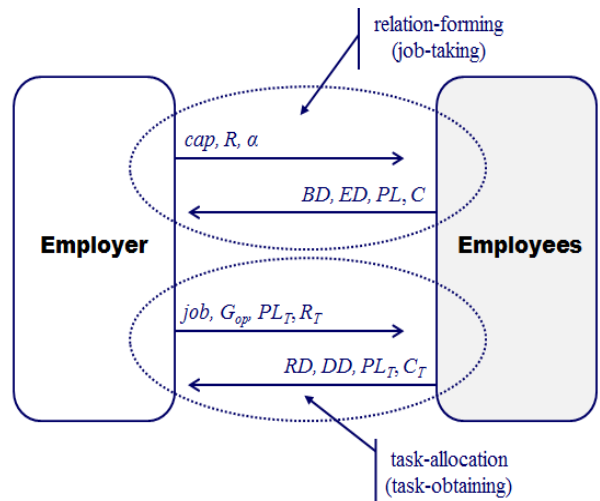


Figure 6. Input/output information for employees' decision-making



## 5. 생산자원 운용 가이드라인

### 5.1 플랫폼(platform) 구축

본 논문에서 제안하는 자원관리모형을 적용하기 위해서는 우선 관리의 대상이 되는 생산자원을 특정하고 이를 구체화해야 한다. 기본적으로 느슨한 형태의 계층적 자원관리를 전제하고 있으므로 <Figure 2>에서 보이는 바와 같이 개별 생산설비에서부터 작업장, 공장, 개별 기업 등이 관리의 대상이 된다. 운영특성에 따라 작업자를 생산자원의 관리영역에 포함할 수 있으며, 생산시스템의 운영영역이 특정한 계층까지로 제한되는 경우에는 해당 계층에 속하는 생산자원만으로 한정한다. EmNet 자체도 하나의 생산자원으로 인식할 수 있으며, 최상위 고용자에 해당하는 생산자원이 네트워크 외부에 대한 프락시(proxy) 역할을 수행하게 된다.

특정된 모든 생산자원은 처리 가능한 공정능력을 구체화한다. 계층구조상 최하단에 위치하는 개별 생산설비는 공정능력이 명확히 정의되는 반면, 이외의 생산자원은 역동적인 환경요인을 반영하여 공정능력을 정의해야 한다. <Figure 5>에서 보이는 바와 같이 생산자원의 추상화 수준에 따라 공정능력의 추상화 수준도 다르게 정의한다. 단, 전통적인 계층적 생산시스템에서는 종속된 생산자원을 확정적으로 보유하므로 공정능력(cap) 또한 확정적으로 명시할 수 있는 반면, 본 논문에서 제안하는 관계주도형 프랙탈 조직에서는 고용계약에 기반하여 공정능력을 확보하므로 확정적인 공정능력 명시가 불가능하다. 따라서 과거 고용계약 체결이력을 기반으로 공정능력을 정의하며, 약정한 공정능력을 확보하지 못하는 경우 해당 생산자원의 신용도가 낮아지도록 한다.

생산자원에 대한 명확한 정의가 이루어진 이후 분산형 생산자원 관리를 위해 모든 생산자원을 자율성과 지능을 갖춘 에이전트 시스템으로 구현한다. 즉, 모든 생산자원을 각각의 에이전트로 대응시키며, 에이전트는 제 4.4절에서 제안한 목표달성 모형과 협상 모형에 기반하는 의사결정 메커니즘을 장착하도록 한다. 특히 모든 에이전트에 대해 이익과 활용도, 신용도 측면에서의 목표수준을 설정한다.

생산자원 에이전트의 목표지향적 의사결정 메커니즘을 구현하기 위해서는 주어진 의사결정 문제에 대해 목표달성 수준을 평가할 수 있어야 하며, 환경의 변화에 따라 목표 수준을 자율적으로 조정할 수 있어야 한다. 추가적으로 고용계약 기반의 생산자원 관리모형을 운용하기 위해서는 고용자와 피고용자 입장에서 다음과 같은 문제를 고려해야 한다.

- 고용자
  - AND/OR 그래프 형태의 계층적 공정계획에 대한 공정경로 선정
  - 단위공정에 대한 수익배분
  - 고용계약별 작업수행에 대한 가중치 조정
  - 작업할당 단계에서 배부수익 조정

- 피고용자
  - 공지된 고용정보에 대한 생산계획(안) 수립
  - 공지된 작업정보에 대한 일정계획(안) 수립

생산자원 운용을 위한 플랫폼 개발의 마지막 단계로 생산자원을 등록/관리하기 위한 레지스트리 시스템을 개발한다. 생산자원 에이전트는 생산자원 레지스트리에 자신을 등록함으로써 잠재적인 고용자에게 자신의 공정능력 정보를 제공한다. 고용자는 잠재적인 피고용자들에게 고용정보를 공지함으로써 다자간 협상 프로세스가 시작된다. 모든 생산자원은 계층구조상의 위치에 관계없이 동등한 입장에서 레지스트리에 등록된다. 레지스트리 시스템은 다양한 공정능력에 대한 표준화된 표현 양식을 제공해야 하며, 생산자원 에이전트간의 피어투피어(peer-to-peer) 방식의 통신 인터페이스를 지원해야 한다.

### 5.2 생산계획 수립

생산자원 에이전트들은 다자간 협상을 통해 관계형성 프로세스를 진행함으로써 생산계획을 수립한다. 본 절에서는 작업장(SF) 내부에서의 자원운용 문제를 대상으로 생산계획 수립 과정을 설명한다. 작업장에 할당된 작업이 <Figure 5>의 공정계획을 따른다고 가정하며, 특히 절삭가공( $R_1$ ) 공정에 대한 생산계획 문제를 다룬다. 또한 작업장이 두 개의 구역( $SF_1, SF_2$ )으로 구분되고 각각 세 개씩의 생산자원이 배치되어 있다고 가정한다. 생산자원들이 보유한 공정능력은 <Table 2>에서 보이는 바와 같다. 가령,  $SF_1$ 의 경우  $M_1$  및  $M_2, M_3$ 와  $T_1$ 에 대한 공정수행이 가능하다.

Table 2. Capability matrix for exemplary manufacturing resources

resource \ cap	milling			turning			
	$M_1$	$M_2$	$M_3$	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_4$
SF	■	■	■	■	■	■	■
$SF_1$	■	■	■	■			
$Eq_{11}$	■	■	■				
$Eq_{12}$		■	■				
$Eq_{13}$	■			■			
$SF_2$				■	■	■	■
$Eq_{21}$				■	■	■	
$Eq_{22}$					■	■	■
$Eq_{23}$					■		■

$R_1$  공정은  $M_1, M_2, T_1$  공정으로 세분되므로 SF는 관련한 공정능력을 갖춘 생산자원을 고용해야 한다. 일단 SF는 주어진 작업을 전담 처리하기 위한 가상 생산자원( $VC_1$ )을 생성한다.  $VC_1$ 은 일종의 가상제조셀(virtual manufacturing cell)이며, SF와 가상의 고용관계(virtual employment relation)를 맺고 SF를 대행하여 EmNet을 조직한다.  $VC_1$ 은  $M_1, M_2, T_1$  공정능력을 모두 갖춘  $SF_1$ 을 우선 고용하지만,  $SF_1$ 의  $T_1$  공정에 대한 작업처리용량이

부족하므로  $SF_2$ 를 추가 고용한다. 실제로  $SF_1$ 은 밀링공정( $M_1, M_2, M_3$ )을 위한 다수의 설비를 보유한 반면 선반가공( $T_1$ ) 작업 능력을 갖춘 생산설비를 한 대만 보유하고 있으므로 상대적으로  $T_1$ 에 대한 작업처리용량이 부족하다.  $VC_1$ 은 과거 고용계약 체결이력에 따라 이러한 사실을 파악할 수 있다.  $SF_1$ 과  $SF_2$ 는 각각 또 다른 가상 생산자원  $VC_2$ 와  $VC_3$ 을 생성하여 위의 과정을 반복함으로써 생산설비( $Eq_{11}, Eq_{12}, Eq_{13}, Eq_{21}$ )를 고용한다. <Figure 7>은 이러한 과정을 통해 형성된 생산자원들의 프랙탈 구조를 보이고 있으며, <Table 3>은 체결된 고용계약 내역이다.  $T_1$  공정은 단위시간당 기대 수익 수준( $120/320 = 180/480 = 0.375$ )이 상대적으로 낮으므로 고용계약( $J_5, J_6$ ) 체결을 위해 상대적으로 높은 가중치가 설정되었다. 또한  $SF_1$ 에서  $M_2$  공정에 대한 작업처리용량이 상대적으로 크기 때문에 관련한 고용계약( $J_4, J_5$ )에 대한 가중치가 상대적으로 낮게 설정되었다.

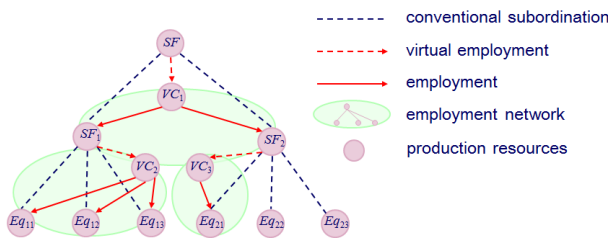


Figure 7. Resulting fractal structure

Table 3. Resulting employment contracts

JOB ID	Employer	Employee	cap	BD (min)	ED (min)	PL (min)	R	C	$a$
$J_1$	$VC_1(SF)$	$SF_1$	$R_1$	0	800	980	680	560	-0.06
$J_2$	$VC_1(SF)$	$SF_2$	$R_1$	200	800	320	120	120	0.36
$J_3$	$VC_2(SF_1)$	$Eq_{11}$	$M_1$	0	400	200	200	180	0.15
$J_4$	$VC_2(SF_1)$	$Eq_{11}$	$M_2$	0	400	120	120	80	-0.28
$J_5$	$VC_2(SF_1)$	$Eq_{12}$	$M_2$	100	500	180	180	120	-0.28
$J_6$	$VC_2(SF_1)$	$Eq_{13}$	$T_1$	150	800	480	180	180	0.30
$J_7$	$VC_3(SF_2)$	$Eq_{21}$	$T_1$	200	800	320	120	120	0.00

5.3 일정계획 수립

생산계획이 수립되면 고용자와 피고용자 간의 작업할당 과정을 통해 일정계획을 수립한다. 본 절에서는 <Table 3>의 고용계약을 기준으로 일정계획 수립과정을 설명한다. 모든 작업

은 다섯 개의 배치(batch)로 구성되며,  $SF_1$ 과  $SF_2$  간의 이송시간을 80분으로 가정하고, 구역 내의 이송시간은 무시한다.  $VC_2$ 와  $VC_3$ 는 공정경로상의 공정순서에 따라 각 공정에 해당하는 작업을 순차적으로 피고용자에게 할당한다.

$M_1$  공정은  $Eq_{11}$ 을 통해서만 작업수행이 가능하므로 전량  $Eq_{11}$ 에 할당된다.  $M_2$  공정은  $M_1$  공정의 첫 번째 배치가 완료되는 40분부터 작업이 가능하지만  $Eq_{12}$ 가 가용한 시점인 100분부터 작업을 시작한다. <Table 4>는 40분 시점을 기준으로 이루어지는 협상내역을 보이고 있다.  $Eq_{11}$ 의 경우에도  $J_4$ 에 의해  $M_2$  공정을 진행할 수 있지만,  $Eq_{11}$ 의 입장에서 40분 시점에  $M_1$  공정의 두 번째 배치를 이어서 진행하는 것이 GA 입장에서 유리하다. 단위 시간당 기대수익은  $M_1$  공정과  $M_2$  공정 모두  $1(=40/(80-40) = 60/(100-40))$ 로 같지만, 고용계약에 따른 작업수행 가중치( $a$ )가 각각 0.15( $J_3$ )와 -0.28( $J_4$ )로 차이를 보이고 있으며, 가중치가 높을수록  $GA^U$  값이 커지므로  $M_1$  공정을 선호하는 결과가 나타난 것이다. 고용자인  $VC_2$  입장에서도  $Eq_{11}$ 보다는  $Eq_{12}$ 가  $M_2$  공정을 진행하는 것이 유리하다. 이는  $Eq_{11}$ 이 40분 시점에  $M_2$  공정을 진행하기 위해서는 공정변경에 따른 추가 비용이 20단위 발생함을 가정하고 있기 때문이다. GA 값은 계산의 편의를 위해 항목별 가중치( $w_i$ )를 1/3으로 설정하고, 생산자원별  $g_i$ 와  $N_i$  값을 동일하게 설정하여 산출하였다. <Figure 8>은 수립된 일정계획을 간트차트(gantt-chart) 형식으로 나타낸 것이다.  $VC_3$ 는  $M_2$  공정의 두 번째 배치가  $SF_2$ 로 이송되는 시점을 고려하여 300분부터  $T_1$  공정을  $Eq_{21}$ 에 할당하였음을 확인할 수 있다.

6. 결론

본 논문은 분산형 생산자원 관리모형 개발을 목표로 하며, 분산화 및 분권화 특징을 갖는 생산자원에 대한 조직화 모형과 조직화 과정에서의 구성개체 간 협업 프레임워크를 제안하고 있다. 특히 개별 생산자원을 자율성과 지능성을 갖는 에이전트 개체로 모델링하고, 생산자원 간의 자율적인 고용계약을 통한 고용 네트워크 구성 및 운용 모형을 제시하였다. 고용 네트워크는 일종의 관계주도형 프랙탈 조직으로서 고용관계라는 자가 유사한 패턴이 생산시스템 전반에 재귀적으로 형성됨으로써 구성된다. 따라서 다양한 형태의 생산자원으로 구성된 하나의 복잡한 시스템을 생산자원 간의 고용관계 모형을 반복 적용함으로써 쉽게 조직화할 수 있을 뿐만 아니라 동적인 고

Table 4. Task offers and bids at time 40

Employer	Employee	task-offer				task-bid				GA	
		job	$G_{op}$	$PL_T$	$R_T$	RD	DD	$PL_T$	$C_T$	Employer	Employee
$VC_2(SF_1)$	$Eq_{11}$	$J_3$	$G_{op}(M_1)$	1batch	40	40	80	1batch	36	0.599	0.613
$VC_2(SF_1)$	$Eq_{11}$	$J_4$	$G_{op}(M_2)$	1batch	60	40	100	1batch	60	0.500	0.553
$VC_2(SF_1)$	$Eq_{12}$	$J_5$	$G_{op}(M_2)$	1batch	60	100	160	1batch	40	0.881	0.606

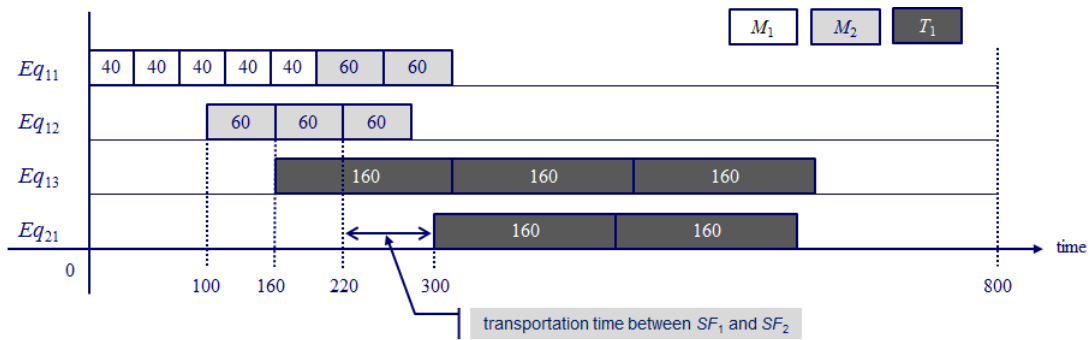


Figure 7. Production schedule

용관계 형성을 통해 자유로운 재조직화가 가능하므로 변화에 대한 유연성과 적응성, 반응성이 우수한 시스템 구축이 가능하다. 또한 생산계획 및 일정계획 수립과 같은 자원운용 문제를 조직화 과정에서의 관계형성과 작업할당 단계에 대응하여 해결하므로 생산자원의 조직화 문제와 조직화된 생산자원의 활용 문제를 일원화된 메커니즘을 통해 해결할 수 있다. 생산자원 운용에 관한 대부분의 연구가 생산자원의 조직화 문제를 자원운용과 별개로 구분하고 있었던 반면, 본 논문에서는 이를 통합하여 해결하는 모형을 제시하고 있다는 점에서 의의가 있다고 평가할 수 있다.

본 논문에서 제시한 플랫폼 구축 가이드라인을 포함한 자원운용 방법론에 대해 실증적인 사례를 통한 적용, 검증 연구가 후행되어야 한다. 본 논문은 목표달성 모형을 중심으로 하는 의사결정 모형을 제시하고 이에 관련한 주요 의사결정 문제를 정의하고 있으나 구체적인 문제해결 알고리즘은 다루지 않고 있다. 후행 연구를 통해 각종 문제해결 알고리즘을 구체화하고 실증적인 사례에 적용함으로써 다양한 알고리즘들과의 비교뿐만 아니라 제한된 생산자원 관리모형의 유효성과 효과성에 대한 정량적인 평가가 필요하다.

## 참고문헌

- Askin, R. G., Ciarallo, F. W., and Lundgren, N. H. (1999), An empirical evaluation of holonic and fractal layouts, *International Journal of Production Research*, **37**, 961-978.
- Baykasoğlu, A. (2003), Capability-based distributed layout approach for virtual manufacturing cells, *International Journal of Production Research*, **41**(11), 2597-2618.
- Benjaafar, S., Heragu, S., and Irani, S. (2002), Next generation factory layouts : research challenges and recent progress, *Interfaces*, **32**(6), 58-76.
- Bongaerts, L., Monostori, L., McFarlane, D., and Kádár, B. (2000), Hierarchy in distributed shop floor control, *Computers in Industry*, **43**, 123-137.
- Caramia, M. and Dell'Olmo, P. (2006), *Effective Resource Management in Manufacturing Systems : Optimization Algorithms for Production Planning*, Springer, London.
- Chen, W., Huang, C., and Lai, Y. (2009), Multi-tier and multi-site collaborative production : illustrated by a case example of TFT-LCD manufacturing, *Computers and Industrial Engineering*, **57**(1), 61-72.
- Dewan, P. and Joshi, S. (2002), Auction-based distributed scheduling in a dynamic job shop environment, *International Journal of Production Research*, **40**(5), 1173-1191.
- 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.
- Groover, M. P. (2001), *Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing*, Prentice Hall, New Jersey, USA.
- Heragu, S. S., Graves, R. J., Kim, B., and St. Onge, A. (2002), Intelligent agent based framework for manufacturing systems control, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, **32**(5), 560-573.
- Jung, D. (2012), Just-in-time scheduling with multiple competing agents, *Journal of the Korean Operations Research and Management Science Society*, **37**(1), 19-28.
- Kanyalkar, A. P. and Adil, G. K. (2007), Aggregate and detailed production planning integrating procurement and distribution plans in a multi-site environment, *International Journal of Production Research*, **45**(22), 5329-5353.
- Koren, Y., Heisel, U., Jovane, F., Moriwaki, T., Pritschow, G., Ulsoy, A. G., and Van Brussel, H. (1999), Reconfigurable manufacturing system, *Annals of the CIRP*, **48**(2), 527-540.
- Lee, K., Ryu, K., Moon, I., and Jung, M. (2011), Framework for self-reconfigurable and collaborative supply chains and revenue sharing strategy based on trust models of enterprises, *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, **37**(4), 323-330.
- Lima, R. M., Sousa, R. M., and Martins, P. J. (2006), Distributed production planning and control agent-based system, *International Journal of Production Research*, **44**(15), 3693-3709.
- Mandelbrot, B. B. (1982), *The Fractal Geometry of Nature*, Freeman, New York.
- Montreuil, B., Venkatadri, U., and Rardin, R. L. (1999), Fractal layout organization for job shop environments, *International Journal of Production Research*, **37**, 501-521.
- Nigro, G. L., Bruccoleri, M., and Perrone, G. (2006), Negotiation in distributed production planning environments, *International Journal of Production Research*, **44**(15), 3743-3758.
- Okino, N. (1993), Bionic manufacturing systems, *Proceedings of the CIRP Seminar on Flexible Manufacturing Systems Past-Present-Future*, 73-95.
- Rahimifard, S. (2004), Semi-heterarchical production planning structures in the support of team-based manufacturing, *International Journal of Production Research*, **42**(17), 3369-3382.
- Ryu, K. and Jung, M. (2003), Agent-based fractal architecture and model-

- ling for developing distributed manufacturing systems, *International Journal of Production Research*, **41**(17), 4233-4255.
- Saad, S. M. and Lassila, A. M. (2004), Layout design in fractal organizations, *International Journal of Production Research*, **42**(17), 3529-3550.
- Seo, M. and Lim, D. (2011), Development of web-based simulator for supply chain network with reconfigurable manufacturing system and multi-layered distributed center, *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, **37**(4), 279-288.
- Shen, W. (2002), Distributed manufacturing scheduling using intelligent agents, *IEEE Intelligent Systems*, **17**, 88-94.
- Shin, M. and Jung, M. (2005), Bid generation and evaluation for MANPro-based real time scheduling, *International Journal of Production Research*, **43**(18), 3821-3836.
- Shin, M., Mun, J., and Jung, M. (2009a), Self-evolution framework of manufacturing systems based on fractal organization, *Computers and Industrial Engineering*, **56**, 1029-1039.
- Shin, M., Mun, J., Lee, K., and Jung, M. (2009b), r-FrMS : a relation-driven fractal organisation for distributed manufacturing systems, *International Journal of Production Research*, **47**(7), 1791-1814.
- Shin, M. and Ryu, K. (2013), Agent-based resource model for relation-driven fractal organization, *ICIC Express Letters*, **7**(5), 1539-1544.
- Tharumarajah, A. (2003), A self-organising view of manufacturing enterprises, *Computers in Industry*, **51**, 185-196.
- 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.
- Ueda, K. (1993), A generic approach toward future manufacturing system, *Proceedings of the CIRP Seminar on Flexible Manufacturing Systems Past-Present-Future*, 211-228.
- Van Brussel, H., Valckenaers, P., Bongaerts, L., and Wyns, J. (1995), Architectural and system desing issues in holonic manufacturing systems, *Proceedings of 3rd IFAC Workshop on Intelligent Manufacturing Systems*.
- Van Brussel, H., Wyns, J., Valckenaers, P., Bongaerts, L., and Peeters, P. (1998), Reference architecture for holonic manufacturing systems : PROSA, *Computers in Industry*, **37**, 255-274.
- Venkatadri, U., Rardin, R. L., and Montreuil, B. (1997), A design methodology for fractal layout organization, *IIE Transactions*, **29**, 911-924.
- Wang, K., Veeramani, D., and Chen, J. (2004), Distributed production planning using a graph-based negotiation protocol, *International Journal of Production Research*, **42**(15), 3077-3099.
- Warnecke, H. J. (1993), *The Fractal Company : A Revolution in Corporate Culture*, Springer-Verlag, Berlin.
- Wiendahl, H. and Lutz, S. (2002), Production in Networks, *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, **51**(2), 573-586.