프랙탈 기반 공급망 관리를 위한 골 모델 +

Goal model for the fractal-based SCM

오승진, 차영필, 정무영

포항공과대학교 산업경영공학과/제품생산기술연구소

Abstract

It has been well known that customer' needs have much influence on the structure of supply chains. Uncertainty in customer demands forces companies' supply chains to be very flexible. When a company can not meet customers' changing needs, competitiveness in market places will be jeopardized. To survive in the competitive market places, structure of supply chains should be reconfigurable. In this paper, fractal concept is adopted to handle the reconfigurable issue. In a fractal-based SCM, structure of supply chains can be automatically reconfigured through the dynamic restructuring process with a fractal goal model. Goal in the system is divided into sub-goals, which are represented by a fractal goal model. The fractal goal model is a formal model which can be evaluated, changed, and scaled easily. Thus a well-designed fractal goal model is indispensable for a fractal-based SCM, and enhances the reconfigurability. Fractal structure for reconfigurable SCM is designed and presented. Fractal goal model is applied to SCM and an exemplary case is also briefly illustrated.

Keywords: SCM, Fractal, Fractal goal model

1. Introduction

공급망 관리 (Supply chain Management)에 관한 연구는 과거로부터 전 세계 많은 연구자들에 의해서 수행되어 왔으며, 그 적용분야도 매우 다양하다 (Alvarado and Kotzab, 2001)(Korpela, Lehmusvaara and Tuominen, 2001). 과거의 SCM은 생산자와 공급자 사이의 관계에 초점을 두고 있다 (De Toni and Nassimbeni, 1999). 그러나 현대의 산업은 생산자가 아닌 소비자에 중점을 두는 방향으로 변화하고 있으며, 이러한 소비자의 요구는 날이 갈수록 다양화되고 있는 추세이다 (Korpela, Lehmusvaara and Tuominen, 2001). 소비자 요구가 다양화되고 기업 환경이 급격하게 변화하는 환경에서 과거의 생산자와 공급자 간의 관계에 초점을 맞춘 SCM으로는 고객의 만족을 이끌어내기가 힘들다. 이에 따라서 고객의 다양한 수요변화에 대응하고, 짧아진 제품 수명과 개발기간을 지원하기위해서 SCM구조를 재구성할 수 있는 능력을 갖춘 SCM에 관한 연구가 진행되고 있다. 이러한 연구의 한 분야로서 Fractal의 개념을 공급망 관리에 적용한 연구가 수행되었다 (Ryu and Jung, 2003).

본 연구에서는 Ryu가 제안한 프랙탈 기반 공급망 관리를 위한 프레임워크를 바탕으로 SCM 시스템을 프랙탈 기반 시스템으로 변경하고, 각 프랙탈의 개념적 골 (goal) 모델을 제시한다. 또한 이 상황에서 발생할 수 있는 구성요소들 간의 의견충돌을 해결하여 local optimum을 구하는 과정을 연구한다. 이후의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 프랙탈과 프랙탈 생산시스템에 관하여 소개한다. 3장에서 프랙탈 기반 공급망 구조에 대하여 설명하고 4장에서 가상시나리오를 통하여 의견충돌 해결 방법론을 설명한다.

2. 프랙탈 (Fractal)

2.1 Fractal Manufacturing System (FrMS)

프랙탈은 Mandelbrot에 의해 제시된 자가유사성 (self-similarity)을 갖는 기하학이다. 즉 확대/축소를 하여도 같은 모양과 패턴을 가지는 특징을 가지고 있다. 이러한 프랙탈을 기본 구성요소로 하는 생산시스템인 Fractal Manufacturing System (FrMS)이 제안되었다 (Ryu and Jung, 2003). <그림 1>에서 보듯이 FrMS는 계층적 제어구조 (Hierarchical Control Architecture)와 분산형 제어구조 (Distributed Control Architecture)의 복합 형태인 혼합형 제어구조 (Hybrid Control Architecture)를 따르고 있다.

특히 FrMS를 구성하는 각 프랙탈은 에이전트들의 집합이며, 이 에이전트들은 주어진 골 (Goal)을 달성하기 위해 작업을 수행한다. 프랙탈은 총 18개의 에이전트들로 구성되어 있으며 이 들은 그 기능에 따라서 다섯 개의 기능 모듈 (Observer, Analyzer, Resolver, Organizer, Reporter)을 형성한다. Observer와 Reporter는 프랙탈의 입력과 출력을 담

+ 이 논문은 2004년도 학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음 (KRF-2004-041-D00805).

당하는 모듈이다. Analyzer는 스케줄링과 시뮬레이션 등 여러 분석에 관련한 에이전트를 가지고 있다. Resolver는 골 생성이나 다른 프랙탈과의 협상, 의사결정 등 프랙탈이 당면한 문제들을 해결하기 위한 에이전트들을 가지고 있으며, Organizer는 프랙탈의 상태 체크 및 구조 변경에 관련된 에이전트들을 가지고 있다.

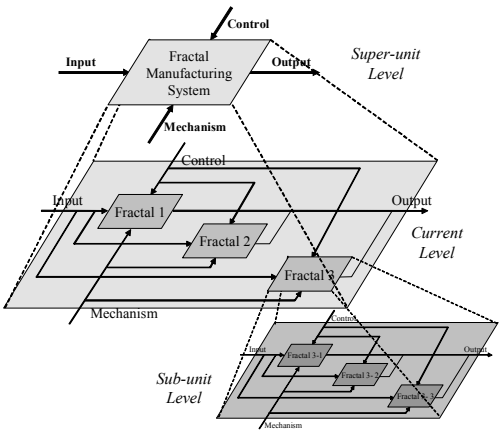

그림 1. FrMS의 구조
(Ryu. K. and Jung, M., 2003)

프랙탈은 FrMS에서의 레벨에 따라 주어진 역할이 다르며, 역할에 따라 수행하는 일도 다르다. 그러나 각 프랙탈은 주어진 역할을 수행하기 위한 내부 모듈의 차이는 있어도 자가유사성의 특징에 따라서 그 구조와 interface는 동일하다.

2.2 Fractal-based SCM

프랙탈을 SCM 시스템에 적용함으로서 가지는 장점은 아래와 같다 (Ryu. K., Son, Y., and Jung, M., 2003).

1) 프랙탈의 자가유사성으로 인해 복잡한 구조의 시스템이라도 이해하고 제어하기가 쉽다.
2) SCM 시스템은 프랙탈의 고유 특징인 자가유사성과 자가구성력을 유지할 수 있다.
3) 프랙탈의 고유 특징으로 인해 시스템은 자가재구성력 (Self-reconfigurability)을 가질수 있다. 자가재구성력은 시스템이 외부환경의 변화에 자동적으로 대응하는 능력을 부여함으로서, 시스템이 급격하게 변화는 시장과 고객의 요구에 적절히 대응할 수 있도록 한다.

Ryu. K.는 프랙탈을 구성하는 기능 모듈 중에서 SCM의 제어에 중요한 역할을 맡고 있는 analyzer와 resolver의 기능을 정의하고 이를 수학적 모델을 이용하여 표현하였다. 또한 각 프랙탈이 가지는 골(goal) 모델을 개념적으로 정의하고 이를 다시 수학적 모델로 표현하였다. 개념적 골 모델은 아래와 같다 (Ryu. K., Son, Y., and Jung, M., 2003).

$$\max\ P_f\ (\text{profit of the fractal } f)$$

where.

$$P_f = \sum_{i=1}^{n} P_i - C^f$$

$$P_i = \text{profit of sub-fractal } i\ (i = 1,\ldots,n)$$

$$C^f = \text{additional fixed cost for the fractal } f$$

또한 상위 프랙탈의 골은 하위 프랙탈의 골의 통합으로 표현할 수 있다 (Ryu. K., Son, Y., and Jung, M., 2003).

$$g_f = g_1 \oplus g_2 \oplus \Lambda \oplus g_n \oplus F_f$$

where,

$$g_i = \text{goal of the sub-fractal } i\ \ (i = 1,\mathrm{K}\ ,n)$$

$$F_f = \text{numerical expression for additional factors of fractal } f$$

3. Fractal structure for SCM

복잡한 구조를 가진 SCM이라도 각 구성요소의 관계는 기본적으로 생산자와 공급자의 관계이다. 즉 <그림 2>의 SCM은 작은 SCM들 (SCM_a, SCM_b, SCM_c)의 통합으로 이해 할 수 있다.

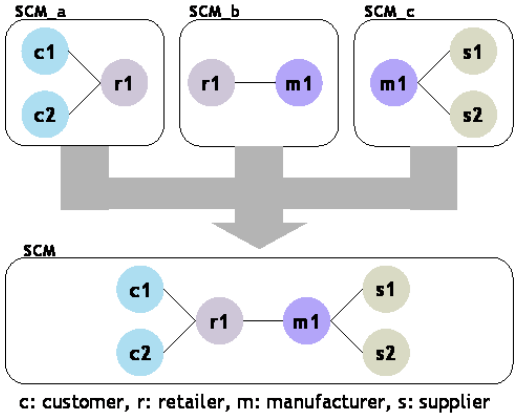

그림 2. SCM의 통합

<그림 3>과 같은 구조의 SCM역시 customer와 manufacturer로 이루어진 하위 SCM과 manufacturer와 supplier로 구성된 하위SCM의 구조로 나누어 이해할 수 있다. 이는 프랙탈의 자가유사성과 매우 흡사한 특징으로 이러한 특징을 바탕으로 SCM을 프랙탈 기반 시스템으로 구성할 수 있다.
<그림 4>는 <그림 3>의 SCM을 프랙탈로 나타낸 것이다. 이렇게 SCM을 프랙탈로 구성하는 방법은 다음과 같다.

Step 1) SCM의 각 구성요소들을 하나의 프랙탈로 정의한다.
Step 2) 각 프랙탈이 이루는 생산자와 공급자의 관계를 찾아내고 이 관계를 표현하는 프랙탈을 정의한다.
Step 3) 2)의 과정을 반복하여 전체 SCM구조를 표현하는 하나의 최상위 프랙탈을 정의한다.

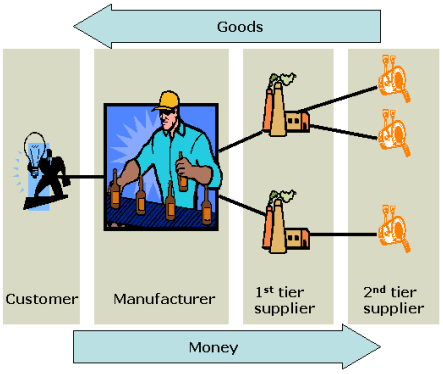

그림 3. SCM의 예

즉, <그림 3>을 프랙탈 구조로 변경하는 과정은 아래와 같다.

Step 1) SCM의 각 구성요소를 *fr_c1, fr_m1, fr_m2, fr_fs1, fr_fs2, fr_ss1, fr_ss2, fr_ss3*로 정의한다.
Step 2_1) 생산자와 공급자의 관계인 *fr_ss*들과 *fr_fs*들의 관계를 표현하는 *fr_s1*과 *fr_s2*를 정의한다.
Step 2_2) *fr_m2*와 *fr_s1, fr_s2*는 생산자와 공급자의 관계를 이루고 있다. 이 관계 역시 *fr_supply*로 정의하고 *fr_m1*과 *fr_c1*의 관계를 *fr_customer*로 정의한다.
Step 3) *fr_supply*와 *fr_customer*의 관계를 표현하는 *fr_super*를 정의한다.

이렇게 형성된 프랙탈의 계층 구조는 <그림 5>와 같다. 이때 각 프랙탈은 고유한 표기법에 따라 표현된다. 예로서, $f^{a,b}_{(c,d)}$에서 a는 프랙탈의 수준, b는 하위 프랙탈의 수, c는 상위 프랙탈을 나타낸다. d는 같은 수준에 존재하는 프랙탈의 순번을 표현한다.

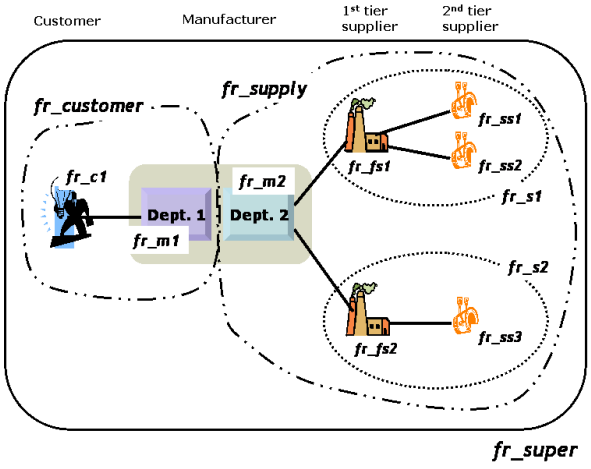

그림 4. SCM을 위한 프랙탈 구성

이렇게 형성된 프랙탈 구조에서 하위 프랙탈은 SCM을 구성하는 요소들을 나타내고 상위 프랙탈은 자신의 하위 프랙탈의 관계를 나타낸다. 이는 프랙탈 구조에서 어떤 수준의 구조에서 살펴보아도 모두 동일하게 적용된다. 즉 *fr_supply*는 *fr_m2, fr_s1, fr_s2*로 이루어진 SCM을 표현하는 프랙탈인 동시에 *fr_supper*에 의해서 표현된 SCM의 하나의 구성요소이기도 하다. 즉 SCM을 표현한 프랙탈 구조에서도 프랙탈의 자가유사성은 보존된다.

프랙탈들은 그들의 고유의 골 (goal) 모델을 가지고 있다. 모든 프랙탈들은 자가유사성에 의해서 개념적으로는 같은 골 모델을 갖는다. 또한 상위 프랙탈의 골은 하위 프랙탈의 골의 통합으로 표현된다.

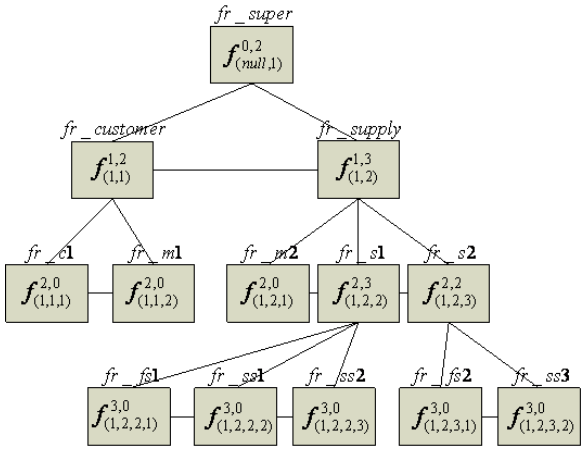

그림 5. 프랙탈의 계층 구조

이러한 골 모델의 최적해는 각 프랙탈들이 다른 프랙탈들의 정보를 완벽히 획득한 경우에 LP (linear programing)을 통하여 계산이 가능하다 (이정은, 홍유신, 2001). 그러나 현실적인 SCM문제에서는 한 회사가 다른 회사의 정보를 완벽히 획득하기가 불가능하기 때문에 LP를 이용한 최적해의 계산은 불가능하다. 예로서 *fr_s2*의 골 모델은 아래와 같다고 가정한다.

$$g_{fr_s2} = g_{fr_fs2} + g_{fr_ss3} + (p \times i \times j)$$
$$- \text{inventory cost} - \text{order cost}$$

이 경우에서 *fr_fs2*가 이익을 최대화 하기위한 제품의 구입가격과 EOQ가 *fr_ss3*의 최적화된 판매가격과 EOQ와 같지 않은 상황이 발생할 수 있다. 이는 *fr_fs2*와 *fr_ss3*가 서로의 inventory cost나 order cost 등의 정보를 완벽히 획득하고 있지 않기 때문이다. 이를 해결하기 위해서 프랙탈 간의 협상을 이용한다. FrMS에서 발생할 수 있는 프랙탈 간의 충돌을 해결하기 위한 방법론 (Shin and Jung, 2006)을 기본으로 협상을 진행한다. 협상 진행 과정은 아래와 같다. 이 경우에 협상 상대방에게 노출되는 정보는 가격과 order quantity뿐이다.

Step 1) 생산자 프랙탈은 공급자 프랙탈에게 구입 수량을 전달하고 공급자 프랙탈은 생산자 프랙탈에게 판매가격을 전달한다. 생산자 프랙탈은 전달된 가격에서 자신의 cost를 최소화 할 수 있는 Order Quantity를 계산하고 공급자 프랙탈은 전달된 수량에서 자신의 cost를 최소화 할 수 있는 Order Quantity를 계산한다. 계산된 Order Quantity를 상위 프랙탈에게 전달한다.
Step 2) 생산자와 공급자의 상위 프랙탈은 이들의 Order Quantity나 가격 사이에 충돌이 발생하는지 판단하고 충돌이 발생한다면 이를 생산자와

공급자 프랙탈에게 알린다. 생산자와 공급자가 제시한 Order Quantity 혹은 가격이 일치하지 않으면 충돌이 발생한 것이다.

Step 3) 생산자와 공급자 프랙탈은 최적의 가격과 Order Quantity뿐만 아니라 대안 (bid) 가격과 Order Quantity를 서로 교환한다. 이때 대안으로 제시되는 Order Quantity나 가격은 최적의 해보다 우수하지 못한 해를 보이는 것이어야 한다.

Step 4) 생성된 대안들에 대한 각 프랙탈의 만족도를 계산하고, 각 프랙탈의 최저 만족도 기준을 충족시키지 못하는 대안을 삭제한다. 이 과정 후에 남은 대안을 상위 프랙탈에게 전달한다. 상위 프랙탈은 각 프랙탈의 만족도의 합이 가장 높은 대안을 선택한다. 만약 최저 만족도 기준을 충족하는 대안이 없을 경우에 Step 3)으로 돌아가 새로운 대안을 생성한다.

이러한 협상 과정에서 생성되는 대안이 다양할수록 최적해에 가까이 접근할 수 있다. 생성된 대안의 평가에는 많은 계산 시간 (computation time)이 필요하지 않으며 대안의 수가 많아져도 계산 시간은 산술급수로 늘어나기 때문에 많은 대안을 평가하는 것이 바람직하다.

4. Exemplary scenario

협상과정의 예로서 <그림 4>의 *fr_fs2*가 재료를 주문하고 *fr_ss3*이 이를 판매하는 상황을 가정한다. *fr_fs2*와 *fr_ss3*의 기본 정보는 아래와 같다.

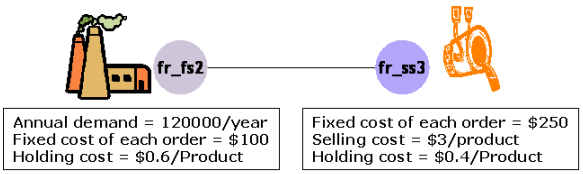

그림 6. 프랙탈의 기본 정보

이 경우에 충돌의 감지와 협상 과정은 아래와 같다.

Step 1) *fr_ss3*은 selling price 가 $3임을 *fr_fs2*는 전체 order의 양이 120000개임을 서로에게 알린다. 재료의 구입가격이 $3일 경우 *fr_fs2*의 최적의 Order Quantity는 6324개이고 *fr_ss3*의 Order Quantity는 12248개이다. 이를 <그림 7>에 요약하였다. 이를 상위 프랙탈인 *fr_s2*에게 전달한다.

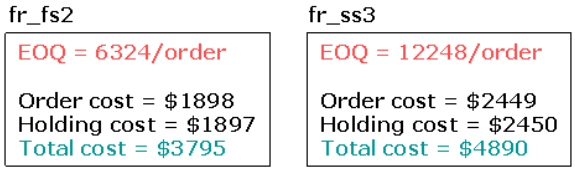

그림 7. 협상과정 1

Step 2) 각 프랙탈의 Order Quantity에서 충돌이 발생한다. *fr_s2*는 이를 각 프랙탈에게 알린다.

Step 3) *fr_ss3*과 *fr_fs2*는 Order Quantity와 가격에 대한 대안을 만든다. *fr_fs2*는 대안으로 Order Quantity가 8000개에 구입가격을 $3로 제시하고, *fr_ss3*은 Order Quantity가 9000개에 판매가격을 $3로 제시하였다. 이때에 초반에 계산한 최적의 Order Quantity와 가격도 교환한다. 즉, 각 프랙탈이 평가해야하는 대안은 네 가지씩으로 bid1은 Order Quantity = 6324이고 bid2는 Order Quantity = 12248, bid3은 Order Quantity = 8000, bid4는 Order Quantity = 9000이다.

Step 4) *fr_fs2*와 *fr_ss3*은 네 가지 대안에 따른 cost를 계산하고 이에 따라 대안의 만족도를 판단한다. 이를 <그림 8>에 요약하였다. *fr_fs2*와 *fr_ss3*의 최저 만족도 기준은 85라고 가정한다. 즉 bid 1과 bid 2는 삭제된다. 이렇게 계산된 만족도는 상위 프랙탈인 *fr_s2*에게 전달된다. 이때에 각 대안의 만족도 계산에 사용되는 식은 아래와 같은 매우 간단한 형태를 지닌다. 만족도 100이 가장 만족하는 수준이며 수치가 작아질수록 만족도는 떨어지는 것이다.

$$E(i) = \frac{\text{Optimum cost}}{\text{Bid cost}} \times 100 \qquad \text{... 식.1}$$

*fr_s2*는 전달받은 대안들과 대안에 대한 만족도 중에서 만족도의 합이 가장 큰 bid 4를 선택하고 이 결과를 하위 프랙탈에게 알린다.

그림 8. 협상과정 4

제시한 시나리오에서는 가격은 $3이며 order quantity는 9000이다.

5. Conclusion

본 연구에서는 빠른 기업환경의 변화와 다양한 고객의 요구에 대응할 수 있는 자가재구성력을 갖춘 SCM의 개발을 위하여 프랙탈 개념을 SCM에 적용하였다. 프랙탈의 자가유사성을 보존하면서 SCM을 프랙탈 구조로 변경할 수 있는 방법을 제시하였다. 이 방법론에 따라 프랙탈 구조를 형성하면 각각의 프랙탈은 SCM의 구성요소로서 작동함과 동시에 하위 프랙탈들의 관계를 표현하는 SCM 자체로도 작동한다. 또한 프랙탈들의 골 모델이 자신의 최적해를 찾는 과정에서 발생할 수 있는 골의 충돌을 협상을 통해서 해결하는 방법론을 제시하고 예시를 통해 간단한 충돌을 해결하였다.

추후 연구로는 협상과정에서 생성하는 대안들의 정교화와 다양화를 위한 방법론의 개발이 필요하며, 협상을 통해 얻어진 해가 최적해와 얼마나 차이가 나는지를 판단할 수 있는 평가 모델의 개발이 필요하다. 또한 개념적으로 표현된 프랙탈의 골 모델을 프랙탈의 수준에 따라서 구체화하는 연구가 필요하다.

References

[1] Alvarado, U.Y. and Kotzab, H., (2001), "Supply chain management: the integration of logistics in marketing", *Industrial Marketing Mangement, 30, (2), 183-198.*

[2] Korpela, J., Lehmusvaara, A., and Tuominen, M., (2001), "An analytic approach to supply chain development", *International Journal of Production Economics, 71, (1-3), 145-155.*

[3] De Toni, A. and Nassimbeni, G., (1999), "Buyer-supplier operational practices, sourcing polocies and plant performances: Results of an empirical research", *International Journal of Production Research, 37, 567-619.*

[4] Korpela, J., Lehmusvaara, A., and Tuominen, M., (2001), "Customer service based design of the supply chain", *International Journal of Production Economics, 69, 193-204.*

[5] Ryu. K., Son, Y., and Jung, M., (2003), "Framework of fractal based supply chain management of e-Biz companies", *Production Planning and Control, 14, (8), 720-733.*

[6] Ryu. K. and Jung, M., (2003), "Agent-based fractal architecture and modeling for developing distributed manufacturing systems" *International Journal of Production Research, 41, (17), 4233-4255.*

[7] 이정은, 홍유신, (2001), "하나의 중앙창고와 소매점으로 구성된 Supply Chain에서의 상호 협력적인 최적의 제품 가격 및 재고정책 모형", *2001년 한국 SCM학회 춘계학술대회 논문 cd, 고려대학교, 서울.*

[8] Shin, M., Cha, Y., Ryu, K, and Jung, M. (2006), "Conflict detection and resolution for goal formation in the fractal manufacturing system", *International Journal of Production Research, 44, (3), 447-465.*