Values of the Balanced Decision-Making between Supply Chain Partners

Jongjoo Kim · Bowon Kim
KAIST Graduate School of Management
Seoul, 130-722, Korea

Abstract

Coordination between supply chain partners is viewed critical to effective supply chain management. Depending on the bargaining power balance between them, it is determined who will be able to exert more influence in making decisions related with such coordination. We consider two cases of the decision-making structure in the context of a simple supply chain consisting of two players, i.e., (1) the first case in which a supply chain partner dominates the decision-making process and the other passively follows the dominant player's decision, and (2) the other case in which the two players share the decision-making process equally. In this paper, we examine *which of the cases is better for the companies* and *where comes the value of the better case*. To answer the research questions, we set up an optimal control theory model and derive an analytical solution. The analysis outcome indicates that the shared decision-making in general produces better results for both companies in the supply chain, and the value of the shared decision-making comes from more effective resource utilization than the dominated case.

1. Introduction

Supply chain 내부의 구성원간의 조정 및 협력 활동의 중요성은 널리 인지되고 있으며, 또 많은 연구가 이루어지고 있다(Zeng 1999). Supply chain 의 성과를 결정하는 많은 요인들이 최근의 집중적인, 실증적, 이론적 연구를 통해 규명되어왔으며 기업간 협력에 있어서 '의사결정 권한의 구조' 역시 그 중의 하나이다(Anand and Mendelson 1997). 본 연구에서는 일반적인 의사결정 권한 구조의 차이만으로 supply chain 내의 기업들의 행태 및 성과에 영향을 줄 수 있는지 또 그 효과는 어떠한지에 대해서 알아보고자 한다.

우리는 optimal control model 을 구성하여, supply chain 내의 기업이 상호 영향을 미치는 투자 결정을 내리는 문제를 모형화하고, 의사결정권한을 한 기업이 독점하는 경우와, 동등한 의사결정 권한을 가지고 쌍방의 이익을 최대화하려는 동기를 가진 경우를 비교하여, 균형적 의사결정 권한을 가진 경우가 supply chain 성과에서 더 우월함을 보임으로써 균형적 기업간 조정 및 협력 활동의 효과를 규명한다.

2. Literature Review

2.1 기업간 조정 및 협력 활동(Coordination)

많은 산업에서 그들의 supply chain 의 효율성을 제고하고자 하는 노력이 기울여지고 있으며, 이를 통한 잠재적인 효과는 실로 어마어마하다. 예를 들면, 미국 외식 산업의 경우, 140 억 달러의 비용 절감이 가능할 것으로 추산된다(Troyer 1996).

기업 간 조정 및 협력 활동(coordination activities)의 역할, 그 한계, 실행전략, 그리고 그 영향에 관한 이해는 많은 이론가들에게 최근 커다란 이슈가 되어왔으며 (Zeng 1999), 현장에서도 기업간의 협력이 중요한 경영학적 실천 과제로서 인식되어 왔다(Fuller et al. 1999, McGrath and Hoole 1992, Merrills 1989, Weng 1997, Parlar and Weng 1997).

Weng (1999) 은 coordination strategy 의 효율성에 대해 연구에서, 조정 및 협력 활동이 있는 경우와 없는 경우에 대해, 두 기업이 자신들의 개별적 목 표를 만족시키고자 할 때 최적 의사 결정에서 어떤 차이가 있는지를 비교한 바 있다. 또 많은 생산 경영 관련 분야의 문헌에서는 생산자와 구매자로 구성된 supply chain 에서 정보 공유나, 재고정책 관련 활동 등의 다양한 협력 메커니즘의 활용을 통해 생산자나 구매자가 얻을 수 있는 이득을 계량화하고 있다.(Lee and Rosenblatt 1986, Monahan 1984, Jeuland and Shugan 1983, Lal and Staelin 1984, Cachon and Fisher 1997, Gavirneni et al. 1999).

이상의 연구에서는 공통적으로 supply chain 에서의 coordination 활동이 지속적이기 위해서는 공급자와 구매자가 모두 조정 및 협력 활동을 통해 이익이 있어야만 한다고 지적하고 있다.

2.2. 의사결정 구조

Anand 와 Mendelson (1997)은 의사 결정 구조를 결정하는 세 가지 요인으로 의사 결정 권한, 의사 결정자의 인센티브, 그리고 조정 및 협력 구조(coordination structure)를 꼽았다. 과거 Jenson 과 Meckling(1992) 이 인센티브와 의사 결정 권한의 분배에 따른 기업 성과의 영향을 살펴보았는데, Anand 와 Mendelson (1997)은 조정

및 협력 구조의 차이가 미지의 수요를 직면하고 있는 기업에게 어떤 영향을 미치는지 연구하였다. 그들은 기업의 조정 및 협력 구조가 의사결정 권한의 분배와, 정보 구조에 의해 결정됨을 보이고, 1 명의 의사결정자에 의한 독점적 의사결정의 경우와 분산적인 의사결정의 경우를 비교하고, 조정 및 협력 활동의 가치를 측정한 바 있다.

3. Model Development

3.1 One-dominated case

두 명의 의사결정자가 존재하는 공급 사슬을 가정하기로 한다. 각각의 의사결정자는 매 시점 연속적으로 $u_i(i=1,2)$ 의 투자를 행하게 되며, 이 투자활동은 누적되어 채널 내의 기업들에게 가치를 가지는 $x_i(i=1,2)$ 라는 자산이 된다. 이 모형에서 두 명의 player 는 supply chain 을 구성하는 partner 로서 한 명의 자산이 상대방의 이익에 영향을 미치는 관계에 있다고 가정한다. 즉 i 의 이익에는 x_i 뿐만 아니라 x_j 도 영향을 미치게 된다.

일반적인 경제학의 가정에서 출발한다면, x_i 의 증가에 따른 전체 가치의 한계증가분은 점차 체감한다고 보는 것이 일반적일 것이다. 따라서 의사결정자가 받아들이게 되는 이익(revenue)은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\Pi_D = \left(x_1(t)+x_2(t)\right)\left(a_1-\left(x_1(t)+x_2(t)\right)\right)$$

한편 각각의 player 들이 매 시점 투자할 수 있는 u_i 에는 제약이 따르며, ρu_1^2 의 비용이 발생한다. 일반적으로 단위시간당 이루어지는 투자의 절대적 크기가 커지면 커질수록 발생하는 비용은 체증적으로 증가한다고 볼 수 있으므로 수식에서 제곱의 형태로 표현한다.

따라서, 이상의 내용을 가지고 아래와 같은 optimal control model 을 생각할 수 있다.

Maximize

$$\int_0^T \left\{(x_1+x_2)\left(a_1-(x_1+x_2)\right)-\rho u_1^2\right\}dt$$

Subject to

$$\dot{x}_1 = u_1$$
$$u_1 \le \bar{u}_1$$
$$\dot{x}_2 = u_2$$
$$u_2 \le \bar{u}_2$$
$$x_1(0)=\alpha_1,\; x_2(0)=\alpha_2$$

위 문제의 최적해에 대한 필요조건과 그에 따른 해는 아래와 같이 구해질 수 있다.

Necessary Conditions

$$L_{u_1} = -2\rho u_1 + \lambda_1 - w_1 = 0$$
$$L_{u_2} = \lambda_2 - w_2 \ne 0$$
$$\dot{\lambda}_1 = -L_{x_1} = 2(x_1+x_2)-a_1$$
$$\dot{\lambda}_2 = -L_{x_2} = 2(x_1+x_2)-a_1$$
$$w_1 \ge 0,\; w_1(\bar{u}_1-u_1)=0$$
$$w_2 \ge 0,\; w_2(\bar{u}_2-u_2)=0$$
$$\lambda_1(T)=\lambda_2(T)=0$$

i) $0<t<\hat{t}_0$

$$u_1^*(t)=\bar{u}_1,\; u_2^*(t)=\bar{u}_2$$
$$\lambda(t)=(\bar{u}_1+\bar{u}_2)t^2+(2(\alpha_1+\alpha_2)-a_1)t+k_1$$
$$x_1^*(t)=\bar{u}_1 t+\alpha_1,\; x_2^*(t)=\bar{u}_2 t+\alpha_2$$

ii) $\hat{t}_0<t<T$

$$u_1^*(t)=\frac{c_1}{2\rho}\left(e^{\frac{1}{\sqrt{\rho}}t}-e^{\frac{1}{\sqrt{\rho}}(2T-t)}\right)+\bar{u}_2\left(e^{\frac{1}{\sqrt{\rho}}(T-t)}-1\right)$$
$$u_2^*(t)=\bar{u}_2$$
$$\lambda(t)=c_1\left(e^{\frac{1}{\sqrt{\rho}}t}-e^{\frac{1}{\sqrt{\rho}}(2T-t)}\right)+2\rho\bar{u}_2\left(e^{\frac{1}{\sqrt{\rho}}(T-t)}-1\right)$$
$$x_1^*(t)=\frac{c_1}{2\sqrt{\rho}}\left(e^{\frac{1}{\sqrt{\rho}}t}+e^{\frac{1}{\sqrt{\rho}}(2T-t)}\right)-2\rho\sqrt{\rho}\bar{u}_2 e^{\frac{1}{\sqrt{\rho}}(T-t)}-2\rho\bar{u}_2 t$$
$$x_2^*(t)=\bar{u}_2 t+\alpha_2$$

$$\hat{t}_0=\frac{-(2(\alpha_1+\alpha_2)-a_1)\pm\sqrt{(2(\alpha_1+\alpha_2)-a_1)^2-4(\bar{u}_1+\bar{u}_2)(k_1-2\rho\bar{u}_1)}}{2(\bar{u}_1+\bar{u}_2)}$$

여기서 $\hat{t}_0$ 는 $w_1(\hat{t}_0)=0$ 을 만족시키는 시점으로 정의된다. 또 상수 k_1, c_1 는 $\lambda(t)$ 의 $\hat{t}_0$ 에서의 조건을 이용해 결정할 수 있다.

위의 최적해를 살펴보면, 두 번째 player 의 투자가 처음부터 끝까지 한계치까지 활용됨을 알 수 있다. 이는 직관적으로 볼 때 당연한 것으로, 의사결정자의 입장에서는 비용을 고려하지 않는 u_2 는 계속 최대한으로 활용하는 것이 바람직할 것이다.

3.2 Balanced Decision-making Case

앞 절의 모형과는 달리 이번에는 의사결정자가 u_2 의 비용까지도 함께 고려하는

경우를 생각하기로 한다. 즉, 앞 절에서는 매 시점 의사결정자가 자신의 투자비용만을 고려했지만, 이 문제에서는 $\rho_1 u_1^2 + \rho_2 u_2^2$ 의 비용이 목적식에 포함된다. 또 이제는 두 명의 의사결정자의 이윤의 합이 최대화되어야 하므로 이 문제는 다음과 같이 모형화될 수 있다.

Maximize

$$\int_0^T \left\{ (x_1 + x_2)\left(a_1 + a_2 - 2(x_1 + x_2)\right) - \rho_1 u_1^2 - \rho_2 u_2^2 \right\} dt$$

Subject to

$$\dot{x}_1 = u_1$$
$$u_1 \le \bar{u}_1$$
$$\dot{x}_2 = u_2$$
$$u_2 \le \bar{u}_2$$
$$x_1(0) = \alpha_1,\ x_2(0) = \alpha_2$$

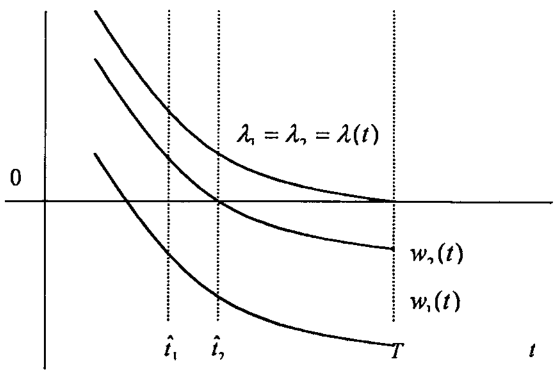
최적해에 대한 필요조건은 다음과 같다.

Necessary Conditions

$$L = (x_1 + x_2)\left(a_1 + a_2 - 2(x_1 + x_2)\right) - \rho_1 u_1^2 - \rho_2 u_2^2 + \lambda_1 u_1 + \lambda_2 u_2 + w_1(\bar{u}_1 - u_1) + w_2(\bar{u}_2 - u_2)$$

$$L_{u_1} = -2\rho_1 u_1 + \lambda_1 - w_1 = 0$$
$$L_{u_2} = -2\rho_2 u_2 + \lambda_2 - w_2 = 0$$
$$\lambda_1 = 2\rho_1 u_1 + w_1 \ge 0$$
$$\lambda_2 = 2\rho_2 u_2 + w_2 \ge 0$$
$$\dot{\lambda}_1 = 4(x_1 + x_2) - a_1 - a_2$$
$$\dot{\lambda}_2 = 4(x_1 + x_2) - a_1 - a_2$$
$$w_1 \ge 0,\ w_1(\bar{u}_1 - u_1) = 0$$
$$w_2 \ge 0,\ w_2(\bar{u}_2 - u_2) = 0$$

이 문제의 해를 구하기 위해 <Figure 1>와 같이 costate variable $\lambda(t)$ 의 행태를 생각할 수 있다.



<Figure 1. Behavior of the costate variable>

우선 $0 < t < \hat{t}_1$ 의 구간에서

$w_1, w_2 > 0$ 이므로 $u_1 = \bar{u}_1, u_2 = \bar{u}_2$ 이 성립한다.

따라서, 이때의 $\lambda(t)$ 는 다음과 같다.

$$\lambda = 2(\bar{u}_1 + \bar{u}_2)t^2 + \left(4(\alpha_1 + \alpha_2) - a_1 - a_2\right)t + k_2$$

그리고, $w_1 = \lambda - 2\rho_1 \bar{u}_1 = 0$ 을 만족시키는 $\hat{t}_1$ 는 아래와 같이 표현된다.

$$\hat{t}_1 = \frac{-\left(4(\alpha_1 + \alpha_2) - a_1 - a_2\right) \pm \sqrt{\left(4(\alpha_1 + \alpha_2) - a_1 - a_2\right)^2 - 8(\bar{u}_1 + \bar{u}_2)(k_2 - 2\rho_1 \bar{u}_1)}}{4(\bar{u}_1 + \bar{u}_2)}$$

두 번째로 $\hat{t}_1 < t < \hat{t}_2$ 의 구간에서는

$w_1 = 0, w_2 > 0$ 이므로 $u_1 < \bar{u}_1$, $u_2 = \bar{u}_2$ 이 성립한다.

따라서 각각 $\lambda = 2\rho_1 u_1$, $\lambda = w_2 + 2\rho_2 \bar{u}_2$ 식이 성립하고 이를 풀면

$$\lambda = c_1 e^{\sqrt{\frac{2}{\rho_1}}t} + c_2 e^{-\sqrt{\frac{2}{\rho_1}}t} - 2\rho_1 \bar{u}_2 \text{ 이다.}$$

또, $\hat{t}_2$ 시점에서 $w_2 = \lambda - 2\rho_2 \bar{u}_2 = 0$ 이어야 하므로 $\hat{t}_2$ 에 대하여 풀면,

$$\hat{t}_2 = \sqrt{\frac{\rho_1}{2}} \ln\left(\frac{(\rho_1 + \rho_2)\bar{u}_2 \pm \sqrt{(\rho_1 + \rho_2)^2 \bar{u}_2^2 - c_1 c_2}}{c_1} \right)$$

를 얻을 수 있다.

한편, 각 식의 상수들은 $t = \hat{t}_1$, $t = \hat{t}_2$ 시점의 조건으로부터, c_1, c_2 값을 결정할 수 있다.

마지막으로 $\hat{t}_2 < t < T$ 구간에서는 w_1, w_2 모두 0 의 값을 가지게 되고 다음 식이 성립한다.

$$u_1 = \frac{1}{2\rho_1}\lambda,\ u_2 = \frac{1}{2\rho_2}\lambda$$

이때 $\lambda(t)$ 는 다음과 같이 구해질 수 있다.

$$\lambda(t) = c_3\left(e^{\sqrt{\frac{2}{\rho_1}+\frac{2}{\rho_2}}t} - e^{\sqrt{\frac{2}{\rho_1}+\frac{2}{\rho_2}}(2T-t)}\right)$$

4. Numerical Examples & Discussions

앞 장에서 구한 Solution 에 대해 결과를 비교하기 위해 다음과 같이 모수값을 설정하고 목적함수의 결과를 구해볼 수 있다.

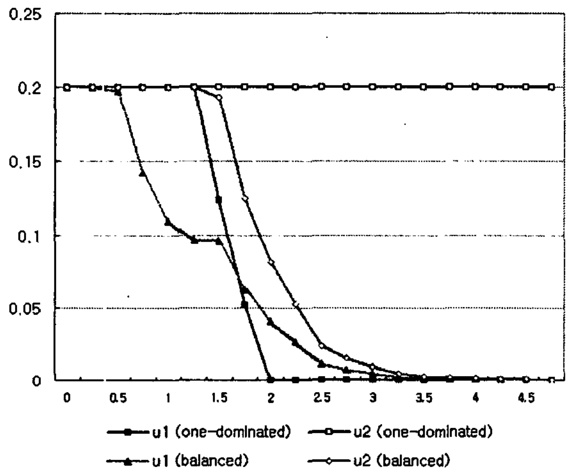
One-Dominated	Balanced Decision-making
$a_1 = 10, \rho_1 = 1, T = 10$ $\bar{u}_1 = 0.2, \bar{u}_2 = 0.2,$ $\alpha_1 = 0, \alpha_2 = 0$	$a_1 = 10, \rho_1 = 1, T = 10$ $\bar{u}_1 = 0.2, \bar{u}_2 = 0.2,$ $\alpha_1 = 0, \alpha_2 = 0$

<Table 1. Parameter values of the numerical analysis>

이때 최종 자산 x_1 값을 비교하면 One-Dominated Case 의 경우 0.3242 이고 Balanced Decision-making Case 의 경우 0.4733 이다. 이때 전체 supply chain 의 revenue 는 One-Dominated Case 의 경우 109.44 이며, Balanced Decision-making Case 의 경우 155.62 로 나타났다.

즉, 일반적으로 기업간의 의사결정 구조에 따라 supply chain 전체의 투자 활동이 차이가 날 수 있으며, 두 기업이 조정 및 협력(coordination) 활동을 통해 협력할 때, channel 참여자 모두의 이익이 더 큼을 알 수 있다.

이와 같은 최종 성과가 차이가 나는 원인은 두 경우의 자원 활용 전략이 차이가 있다는 점에서 찾아볼 수 있다. 이는 control variable 들을 비교해 봄으로써 알 수 있는데 앞의 두 경우의 control variable 들의 행태를 나타내면 다음 <Figure 2>와 같다.



<Figure 2. Behavior of the control variables>

5. Conclusions

본 연구에서는 일반적으로 받아들여질 수 있는 가정들을 사용한 수리적 모형을 통해 supply chain 상의 협력 기업간의 투자 결정 문제를 모형화하였다. 모형을 통해 얻은 결과를 바탕으로, Supply chain 구성원 간의 조정 및 협력 활동에 있어서 의사결정 권한이 한 기업에게 독점되어 있는 경우보다, 의사결정 권한이 동등하게 주어져 전체 비용의 최소화를 추구하는 경우에 supply chain 전체 수준에서의 성과가 더 나은 것으로 나타났다. 이러한 현상은 기업이 투자를 위해 사용하는 자원의 활용 정책이 차이가 나게 되기 때문이다. 이 결과를 통해 기업간 조정 및 협력 활동의 효과를 수리적으로 증명할 수 있다.

Reference

Anand, K. S., H. Mendelson (1997). "Information and Organization for Horizontal Multimarket Coordination." *Management Science, 43*, 1609-1627.

Fuller, J., J. O'Connor, and R. Rawlinson (1993). "Tailored logistics: The next advantage," *Harvard Business Review, 71*, 87-98.

Iyer, A. V. and M. E. Bergen (1997). "Quick response in manufacturer retailer channels." *Management Science, 43*, 559-570.

Jeuland, A. P. and S. M. Shugan (1983). "Managing channel profits." *Marketing Science, 2*, 239-272.

Lal, R. and R. Staelin (1984). "An approach for developing an optimal discount pricing policy." *Management Science, 30*, 1524-1539

Lee, H. L., K. C. So, and C. S. Tang (2000). "The value of information sharing in a two-level supply chain." *Management Science, 46*, 5, 626-643.

Lee, H. L. and M. Rosenblatt (1986). "A generalized quantity discount pricing model to increase supplier's profit." *Management Science, 32*, 1177-1185.

McGrath, M. and R. Hoole (1992). "Manufacturing's new economies of scale." *Harvard Business Review, 70*, 94-102.

Merrills, R. (1989). "How Northern Telecom competes on time." *Harvard Business Review, 67*, 108-114.

Monahan, J. P. (1984). "A quantity discount pricing model to increase vendor profits." *Management Science, 30*. 720-726.

Parlar, M. and Z. K. Weng (1997). "Designing a firm's coordinated manufacturing and supply decisions with short product life cycles." *Management Science, 43*, 1329-1344.

Weng, Z. K. (1999). "The power of coordinated decisions for short-life-cycle products in a manufacturing and distribution supply chain." *IIE Transactions, 31*, 1037-1049.