

소매상의 비합리성을 고려한 공급사슬의 수익 공유 계약 설계에 대한 연구

이정민¹ · 서용원^{2*}

¹팀인터페이스 책임컨설턴트, ²중앙대학교 경영경제대학 경영학부

Designing Revenue Sharing Contract for Irrational Newsvendors

Jung Min Lee¹ · Yong Won Seo²

¹Principal Consultant, TeamInterface,

²College of Business and Economics, Chung-Ang University

■ Abstract ■

Irrational ordering decisions of supply chain members have been gaining growing importance in the area of supply chain management. Irrational ordering behaviors that deviate from the profit maximizing decisions in the newsvendor settings have observed with human experiments in recent research. These behaviors can be modeled with several typical decision bias elements. This bias in ordering decisions affects the performance of supply chain contracts designed based on the assumption that the supply chain members make optimal decisions, making it necessary to design supply chain contracts by considering the irrationality.

The purpose of this research is to derive a method to design the revenue sharing contract that considers human irrationality in ordering decisions. This research considers a simple two-echelon supply chain consisting of one supplier and one retailer, where the supplier is assumed to be perfectly rational while the retailer making newsvendor type ordering decisions displays irrational ordering behaviors. Under this environment, this research analytically models the revenue sharing contract to maximize the total supply chain profit or the supplier's own profits while considering the three decision bias patterns of the retailer, which include the pull-to-center effect, the prospect theory, and the increased subjective sensitivity to the revenue sharing ratio. Irrationality parameters are measured through human experiments based on which and through numerical simulations, we showed that significant improvements in the supply chain performance can be achieved.

Keywords : Supply Chain, Newsvendor Model, Irrational Ordering Behavior, Behavioral Experiment, Pull-to-Center Effect, Prospect Theory, Revenue Sharing Contract, Behavioral Operation Management

1. 서 론

공급사슬 구성원의 주문 의사결정에 관한 고전적인 연구에서는 공급사슬 구성원들이 반드시 위험 중립적이며 이익을 최대화하는 주문 의사결정을 내리는 것으로 즉, 완벽한 합리성을 갖고 있는 것으로 가정하고 있다[2, 3, 5]. 그러나 실제 환경에서는 공급사슬 구성원들은 완벽하게 합리적으로 의사결정을 내리지 않으며, 공급사슬 구성원의 비합리적 의사결정으로 인해 공급사슬의 조정을 위한 계약이 기대한 성과를 거두지 못할 수 있음을 입증하는 행동 실험 연구들이 다수 보고되고 있으며, 다양한 환경에서 이러한 비합리성이 관찰되고 있다[1]. 이렇게 공급사슬 구성원이 비합리적인 주문 의사결정 행태를 보인다면 공급사슬의 조정을 위한 계약도 이를 고려하여 수립될 필요가 있다.

본 연구는 신문판매원(newsvendor) 모형의 환경에서 비합리적 주문 의사결정 행태를 보이는 소매상에 대응하여 공급사슬의 이익이 최대화될 수 있도록 공급사슬 조정 계약을 최적화하는 방안을 모형화하고 거래 상대방의 비합리성을 고려한 의사결정의 효과 분석을 목적으로 한다. 이를 위해 신문판매원 환경에서 운영되는 소매상과 이를 대응하는 도매상으로 이루어진 2계층 공급사슬에서 공급사슬 조정 계약 중 수익 공유 계약을 대상으로 하여 소매상이 비합리적 주문 의사결정을 수행하는 경우 이에 대응하여 공급사슬의 전체 이익을 최대화할 수 있는 최적 수익 공유 비율을 도출하기 위한 의사결정 모형을 제시한다. 또한 소매상의 비합리적 주문 의사결정을 고려한 수익 공유 비율 결정 방법을 제시하고, 나아가 거래 상대방의 비합리성을 고려한 의사결정의 효과를 분석한다. 또한 실제 사람들을 대상으로 행동 실험을 수행하여 제시된 모형들을 검증한다.

2. 관련 연구

고전적인 연구에서 가정했던 것과는 달리 의사결정에 오류(bias)가 존재하며 의사결정자가 비합리적

행태를 보인다는 증거들이 인간을 대상으로 한 행동 실험 연구를 통해 제시되면서[13, 17], 비합리성이 발생하는 패턴을 찾는 연구들이 다수 등장하였다[22, 27].

이후 신문판매원 모형 하에서 소매상의 비합리적 주문량 결정 행태의 원인을 찾는 것에 초점을 둔 연구들이 발전되었다. 대표적인 소매상의 비합리적 주문 행태의 요인들로 평균 수렴효과(Pull-to-center effect), 전망이론(Prospect Theory preferences), 반품가에 대한 민감성이 있다[6, 10, 25]. 평균 수렴효과란 의사결정자가 최적 주문량과 평균 수요 사이에서 주문하는 경향이 있음을 의미하며, 이에 따라 고수익 제품은 너무 적게 주문하고 저수익 제품은 너무 많이 주문하는 경향을 보이는 것이다[25]. 이는 많은 논문에서 정형화되어 제시된 이후에 많은 연구들에서 가장 공동적으로 널리 동일한 효과가 발생함이 확인되었다[7, 8, 10]. 전망 이론이란 행동 경제학에서 등장한 이론으로 사람들은 이득보다 손실에 더 민감하고 자신의 기준점을 중심으로 이득과 손해를 평가한다는 것을 가정하는 이론이다[21]. Becker-Peth et al.[6]은 비합리성을 설명하기 위해 평균 수렴효과에 전망 이론(Prospect Theory)을 추가하여 모형을 설계하였다. 반품가에 대한 민감성이란 판매에서 발생하는 수익보다 반품으로부터 발생하는 수익을 더 높게 평가하는 것을 의미한다. Katok and Wu [23]에 따르면 공급 사슬 조정 계약에서 계약의 형태별로 사람들의 주문 행동이 다르게 나타난다고 하였으며, Becker-Peth et al.[6]은 반품 계약 상황에서 비합리성을 설명하기 위해 반품가에 대한 민감성을 고려하여 모형을 설계하였다.

한편 비합리성을 가진 소매상과의 의사결정 조정에 관한 연구들도 등장하였다. 비합리적 소매상의 거래에 있어서도 공급 사슬 조정 계약(Supply chain coordination contract)이 성과를 나타낼 수 있는가에 대한 실험 연구를 통해 소매상의 합리성을 가정한 공급사슬 조정 계약은 반드시 의도한대로 작동하지 않을 수도 있음을 밝혀냈고[14, 18, 23, 28], 소매상의 비합리성을 고려한 공급사슬 계약에 관한 연

구들이 수행되었다[6, 16, 20, 26]. Shen and Wang [26]는 소매상의 비합리성을 고려한 최적 도매가 도출 방법을 분석적으로 제시하면서 소매상이 비합리적인 수록 도매가를 높여서 공급자의 이익을 향상시킬 수 있음을 실험을 통해 증명하였으나 공급사슬 조정에 일반적으로 사용되는 반품 계약 또는 수익 공유 계약에 대해서는 연구하지 않았으며, Becker-Peth et al.[6]은 반품 계약에서 소매상의 비합리적 의사결정을 심리적 회계(mental accounting)의 결과로 해석하고, 이를 고려한 계약 설계를 통해 공급사슬의 성과를 개선할 수 있음을 입증하였다. 그들은 소매상이 반품가의 가치에 대해 주관적 인식을 가지고 있음을 행동실험을 통해 입증하였으나 반품가를 최적화하는 모형을 제시하지 않았으며 수익 공유 계약에 대해서는 다루지 않았다. 또한 이정민 외[4]에서는 소매상이 비합리적 주문량 결정을 수행하는 경우 이에 대응한 도매상의 최적 반품가 결정을 모형화하였다. 그러나 비합리성 요인으로 평균 수렴효과만을 고려하였고, 공급사슬 전체의 이익 최적화가 아닌 도매상의 최적 이익 관점에서 논의하였으며 수익 공유 정책은 다루지 않았다는 점에서 본 연구와의 차별성을 갖는다.

앞서 살펴 본 바와 같이 비합리적 주문 의사결정에 관해서는 의사결정자의 행태 패턴 또는 성향을 찾기 위한 행동 연구가 다수 이루어졌다. 그러나 비합리적 주문 의사결정을 고려한 공급사슬 조정 계약을 분석적으로 연구한 논문은 많지 않다. 따라서 본 연구에서는 공급사슬 조정 계약 중 수익 공유 계약을 대상으로 하여 소매상의 비합리성을 고려한 최적 수익 공유 비율을 도출하기 위한 의사결정모형을 제시하고자 한다.

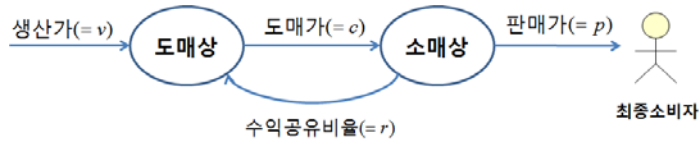
3. 모형 수립

3.1 모형의 가정

본 장에서는 하나의 소매상과 해당 소매상에게 상품을 공급하는 하나의 도매상으로 구성된 단순한 2

계층 공급사슬 시스템을 가정한다. 거래되는 품목은 단일하고 특정 시즌동안에만 수요가 발생하는, 즉 단일수요기간을 갖는 시즌상품(style good)이다. 고객 수요는 소매상에서만 발생하며 수요의 분포는 $[0, n]$ 사이의 균등 분포(Uniform Distribution)를 따른다고 가정한다. 도매상의 제품 제조 원가는 v 이고 생산용량에는 제한이 없다. 매 시즌의 시작에 소매상이 도매상에게 Q 만큼의 제품을 주문하며 각 제품 개당 c 만큼씩을 지불한다. 시즌 중에 제품은 개당 p 의 가격에 판매되며, 시즌 후 소매상의 판매 수익을 r 의 비율로 도매상과 공유한다. 일반적인 현실을 고려하여 $p > c$, $v > 0$, $r \geq 0$ 으로 가정한다. 여기서 p, c, v 는 정해진 값으로 가정하여 공급사슬의 조정은 수익 공유 비율 r 을 통해서만 이루어지는 것으로 가정한다. 도매상은 완벽하게 합리적이며, 소매상은 제한적인 합리성 수준을 갖는다.¹⁾ 여기서 합리적 주문량 의사결정은 위험 중립적으로 이익을 최대화하는 주문량 결정을 의미한다. 합리성의 수준이 낮아질수록 손실에 대해 민감하게 반응하는(loss sensitivity) 경향을 보이며, 주문량과 실제수요의 차이를 감소시키려는 경향 즉, 사후의 재고 오차에 대한 주관적 비용을 나타내 평균 수렴 성향을 따르는 주문량 의사결정을 수행한다. 또한 수익 공유 비율에 대한 민감성을 갖는다. 전망이론에서의 손실에 대한 민감도는 α , 주문량과 실제수요의 차이를 감소시키려는 경향은 δ , 수익 공유 비율에 대한 민감성은 β 로 표현되며 $\alpha, \delta = 0$ 이고 $\beta = 1$ 일 경우는 완벽한 합리성을 갖는 경우를 나타내고, α 와 β, δ 의 값이 높아질수록 비합리적 주문량 결정을 수행하는 경우를 나타낸다. 이때 공급사슬 전체

1) Becker-Peth et al.[6] 등 많은 선행연구에서 이러한 가정을 사용하고 있으나, 실제로는 도매상과 소매상 모두 의사결정자의 주관적 비합리성을 가지고 있는 것이 보다 현실적인 가정이라고 할 수 있다. 본 연구에서는 소매상의 비합리성에 대응한 수익공유계약의 설계 방법에 초점을 두고 있으므로 이러한 가정을 적용하고 있으나, 만약 두 의사결정자의 상호작용에 초점을 두고 분석한다면 양쪽에 모두 비합리성을 가정하고 분석하는 것이 더욱 현실적인 시사점을 제시할 수 있을 것이다.



[그림 1] 공급사슬 모형

의 이익 최대화를 목적으로 소매상의 비합리성을 고려하여 수익 공유 비율을 결정하고자 한다.

4. 합리적인 소매상을 대상으로 한 수익 공유 계약 분석

3.2 기호 정의

- v : 도매상의 제조비용
- c : 도매가
- p : 판매가
- Q_R : 완벽한 합리성을 가정한 경우에서 소매상의 이익을 최대화 하는 최적 일회 주문량
- \overline{Q}_R : 비합리성을 고려한 경우에서 소매상의 주관적 이익을 최대화 하는 최적 일회 주문량
- Q_T : 공급사슬의 이익을 최대화 하는 최적 일회 주문량
- x : 소매상에 발생하는 수요량을 나타내는 확률 변수
- $f(x)$: 소매상의 수요 분포를 나타내는 확률밀도 함수
- π_R : 합리적인 소매상의 이익
- π_T : 합리적인 소매상을 대응하는 공급사슬 전체의 이익
- $\overline{\pi}_R$: 비합리적인 소매상의 주관적 이익
- δ : 사후 재고 오차에 대한 주관적 비용
 단, $\delta=0$ 이면 사후의 재고 오차에 대한 주관적 비용이 없고, $\delta>0$ 이면 사후의 재고 오차에 대한 주관적 비용을 가짐
- α : 전망이론에서의 손실에 대한 민감성
 단, $\alpha=0$ 이면 수익과 손실을 동일하게 여기고, $\alpha>0$ 이면 손실에 민감함
- β : 수익 공유 비율에 대한 민감성
 단, $\beta=1$ 이면 수익 공유 비율에 대한 민감성이 없고, $\beta>1$ 이면 수익 공유 비율에 민감함

합리적인 소매상을 대상으로 한 수익 공유 계약의 분석은 Cachon[11], Cachon and Lariviere[11], Koullamas[24] 등에서 이미 분석된 바 있다. 여기서는 본 연구의 모형에 입각하여 최적 수익 공유 비율의 도출을 다음과 같이 다시 정리하여 기술한다.

앞서의 가정과 기호 정의로부터 합리적 소매상의 이익은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \pi_R &= \{(1-r)p-c\} \int_0^n Mn(Q,x)f(x)dx \quad (1) \\ &\quad -c \int_0^n \{Q-Mn(Q,x)\}f(x)dx \\ &= \{(1-r)p-c\}Q - \frac{Q^2}{2n}(1-r)p \end{aligned}$$

식 (1)은 Q 에 대한 2차식으로서 2차항의 계수가 음이므로 오목(concave)함수이다. 따라서 합리적인 소매상의 이익을 최대화 하는 주문량은

$$\frac{d}{dQ}\pi_R = \{(1-r)p-c\} - \frac{(1-r)p}{n}Q = 0 \quad (2)$$

으로 도출될 수 있으므로,

$$Q_R = \frac{(1-r)p-c}{(1-r)p}n \quad (3)$$

이 된다.

이 때, 합리적인 소매상을 대응하는 공급 사슬 전체의 이익함수는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \pi_T &= (c-v)Q + rp \left\{ \int_0^Q x f(x) dx + \int_Q^n Q f(x) dx \right\} \quad (4) \\ &+ \{(1-r)p-c\} \int_0^n Mm(Q,x) f(x) dx \\ &- c \int_0^n \{Q - Mm(Q,x)\} f(x) dx \\ &= (p-v)Q - \frac{pQ^2}{2n} \end{aligned}$$

식 (4)는 Q 에 대한 2차식으로서 2차항의 계수가 음(negative)이므로 오목(concave)함수이다. 따라서 공급사슬 전체의 이익을 최대화 하는 주문량은

$$\frac{d}{dQ} \pi_T = (p-v) - \frac{2pQ}{2n} = 0 \quad (5)$$

으로 도출될 수 있으므로,

$$Q_T = \frac{p-v}{p} n \quad (6)$$

이 된다. 공급사슬의 전체 이익이 최대화 되는 주문량 Q_T 는 판매가 중 공급사슬 전체의 마진과 최대 수요량의 비율로 나타나며, 이때 생산가 v 가 증가하게 되면 Q_T 는 감소하게 된다.

이때 식 (6)을 π_T 에 대입하면

$$\pi_T = \frac{(p-v)^2}{2p} n \quad (7)$$

로써, 이는 공급사슬이 가질 수 있는 전체 이익의 최대값이 된다.

합리적인 소매상이 공급사슬의 이익을 최대화하는 주문량을 선택하도록 하기 위한 수익 공유 비율은 다음과 같이 도출될 수 있다. 합리적인 소매상을 대상으로 공급사슬의 이익을 최대화하는 주문량을 결정하도록 하는 수익 공유 비율 r_T 를 도출하기 위해서는 소매상의 주문량이 공급사슬 이익을 최대화하는 주문량과 같아지도록 하면 된다. 즉, $Q_T = Q_R$ 로 두면

$$\frac{(p-v)}{p} n = \frac{(1-r)p-c}{(1-r)p} n \quad (8)$$

이 되고, 이를 r 에 대해 풀면,

$$r_T = \frac{(v-c)}{v} \quad (9)$$

이 된다.

위의 식 (9)에 나타난 수익 공유 계약은 c 의 값에 따라 여러 가지의 조합이 존재할 수 있다. 여기서 다음의 정리가 성립한다.

Proposition 1 : 합리적 소매상을 대상으로 하는 수익 공유 계약에서 $r_T = \frac{(v-c)}{v}$ 을 만족하는 모든 (c_T, r_T) 는 공급사슬 전체의 이익을 최대화한다.

Proof : 식 (7)에 의해 공급사슬이 가질 수 있는 최대 이익 $\pi_T = \frac{(p-v)^2}{2p} n$ 이다. 한편, 합리적인 소매상을 대상으로 $r_T = \frac{(v-c_T)}{v}$ 를 만족하는 (c_T, r_T) 를 제시하는 경우, 소매상의 이익함수는

$$\begin{aligned} \pi_R &= \{(1-r_T)p-c_T\}Q - \frac{Q^2}{2n}(1-r_T)p \\ &= \left[\left\{ 1 - \frac{(v-c_T)}{v} \right\} p - c \right] Q - \frac{Q^2}{2n} \left\{ 1 - \frac{(v-c_T)}{v} \right\} p \end{aligned}$$

이고, 여기에서 합리적 소매상의 이익을 최대화하는 주문량 Q_R 은

$$\frac{d}{dQ} \pi_R = 0$$

으로부터

$$\begin{aligned} Q_R &= \frac{\left\{ 1 - \frac{(v-c_T)}{v} \right\} p - c}{\left\{ 1 - \frac{(v-c_T)}{v} \right\} p} n \\ &= \frac{p-v}{p} n \end{aligned}$$

로 Q_T 와 동일한 값으로 도출된다. 이 값을 공급사슬

진체 이익의 함수 $\pi_T = (p-v)Q - \frac{pQ^2}{2n}$ 에 대입하면

$$\pi_T = \frac{(p-v)^2}{2p} n$$

으로 식 (7)에 나타난 공급사슬의 최대 이익과 동일하다. 따라서 증명이 성립한다. ■

5. 소매상의 비합리성을 고려한 수익 공유 계약 분석

5.1 소매상 비합리성의 모형화

앞서 논의한 바와 같이 본 연구에서는 비합리성의 요인으로 평균 수렴효과와 전망 이론, 수익 공유 비율에 대한 민감성을 고려하여 비합리적 소매상을 대상으로 하는 수익 공유 계약을 설계하고자 한다. Ho et al.[19]은 소매상의 이익에서 재고오차에 대한 주관적 비용을 뺀 것으로 평균 수렴효과를 모형화하였고, Becker-Peth et al.[6]은 소매상의 이익을 수익 항과 손실 항으로 나누어 가중치를 다르게 하는 것으로 전망이론에서의 손실에 대한 민감성을 모형화하고, 여기에 추가적으로 반품가에 대해 가중치를 주어 반품가에 대한 민감성을 모형화한 바 있다.

본 연구에서는 비합리적 소매상이 반품가 계약에서 반품가에 대한 민감성을 나타내는 것과 같은 맥락으로 수익 공유 계약 상황에서 수익 공유 비율에 대해 민감하게 반응하는 비합리성을 가진다고 가정하였다. 따라서, 본 연구에서는 평균 수렴효과와 전망이론에 의한 수익과 손실의 민감도 차이, 그리고 수익 공유 비율에 대한 주관적 민감도의 세 가지 요인을 고려하여 소매상의 비합리적 의사결정을 모형화한다. 평균 수렴효과는 Schweitzer and Cachon[25]에서와 같이 사후재고오차에 대한 주관적 비용 δ 를 부과하는 것으로 하고, 여기에 Becker-Peth et al.[6]에서와 같이 손실 항에 대해 수익 항에 $(1-\alpha)$ 로 다른 가중치를 부여하는 것으로 모형화하였다. 또한, 수익 공유 비율에 대한 민감도를 나타내기 위해 수

익 공유 비율 r 에 β 의 주관적 가중치를 부여하는 것으로 모형화하였다. 이들을 통합하여 수익 공유 계약에서의 비합리적 소매상의 주관적 이익함수는 다음과 같이 도출된다.

$$\overline{\pi_R} = (1-\alpha)\{(1-\beta r)p-c\} \int_0^n Mn(Q,x)f(x)dx \quad (10)$$

$$-c \int_0^n \{Q-Mn(Q,x)\}f(x)dx$$

$$-\delta \int_0^n |Q-x|f(x)dx$$

$$= (1-\alpha)\{(1-\beta r)p-c\} \left\{ \int_0^Q xf(x)dx + \int_Q^n Qf(x)dx \right\}$$

$$-c \int_0^Q (Q-x)f(x)dx$$

$$-\delta \left\{ \int_0^Q (Q-x)f(x)dx + \int_Q^n (x-Q)f(x)dx \right\}$$

$$= \frac{(1-\alpha)\{(1-\beta r)p-c\}}{2n} (-Q^2 + 2nQ)$$

$$-\frac{cQ^2}{2n} - \frac{\delta}{n} \left(Q^2 - Qn + \frac{n^2}{2} \right)$$

식 (10)은 Q 에 대한 2차식이다. 또한 $c \leq (1-\beta r)p$ 의 범위에서는 Q 의 2차항에 대한 모든 계수가 음의 값이다. $c > (1-\beta r)p$ 의 경우는 소매상의 주관적 수익 공유 금액이 도매상으로부터의 구매가 즉, 도매가보다 더 낮은 경우로서 주문이 발생할 수 없어 현실적이지 않으므로 여기서는 고려하지 않는다. 따라서 비합리적인 소매상의 주관적 이익을 최대화 하는 주문량은

$$\frac{d}{dQ} \overline{\pi_R} = \frac{(1-\alpha)\{(1-\beta r)p-c\}}{n} (-Q+n) \quad (11)$$

$$-\frac{cQ}{n} - \frac{\delta}{n} (2Q-n) = 0$$

으로 도출될 수 있으므로,

$$\overline{Q_R} = \frac{(1-\alpha)\{(1-\beta r)p-c\} + \delta}{(1-\alpha)\{(1-\beta r)p-c\} + c + 2\delta} n \quad (12)$$

이 된다. 이때 $\alpha=0, \beta=1, \delta=0$ 으로 두면 완벽한 합

리성을 가진 소매상의 주문량 \overline{Q}_R 와 동일해진다.

5.2 공급사슬 이익을 최대화하는 최적 수익

공유 비율

비합리적인 소매상이 공급사슬의 이익을 최대화하는 주문량을 선택하도록 하기 위한 수익 공유 비율을 도출하기 위해 비합리적인 소매상의 주문량이 공급사슬 이익을 최대화하는 주문량과 같아지도록 두면 최적 수익 공유 비율을 도출할 수 있다. 즉, $Q_T = \overline{Q}_R$ 로 하여 나타내면

$$\frac{(p-v)}{p}n = \frac{(1-\alpha)\{(1-\beta r)p-c\} + \delta}{(1-\alpha)\{(1-\beta r)p-c\} + c + 2\delta}n \quad (13)$$

가 되고, 이를 r 에 대해 풀면,

$$\overline{r}_T = \frac{(v-c)p - \alpha v(p-c) - \delta(p-2v)}{(1-\alpha)\beta p v} \quad (14)$$

이며, 이는 비합리적인 소매상을 대응하는 공급사슬의 이익을 최대화 하는 최적 수익 공유 비율이다. 이 또한 $\alpha=0, \beta=1, \delta=0$ 으로 두면 완벽한 합리성을 가정한 경우의 최적 수익 공유 비율 r_T 와 동일해진다.

여기서, 다음의 정리가 성립한다.

Theorem 1 : 손실에 대한 민감성 α , 수익 공유 비율에 대한 민감성 β , 사후 재고 오차에 대한 주관적 비용 δ 의 비합리성 요인이 고려된 수익 공유 계약에서 비합리적인 소매상을 대응하는 공급사슬의 이익을 최대화 하는 최적 수익 공유 비율 $\overline{r}_T = \frac{(v-c)p}{(1-\alpha)\beta p v} - \frac{\delta(p-2v)}{(1-\alpha)\beta p v}$ 를 만족하는 모든 (c_T, \overline{r}_T) 는 공급사슬 전체의 이익을 최대화한다.

Proof : 식 (7)에 의해 공급사슬이 가질 수 있는 최대 이익 $\pi_T = \frac{(p-v)^2}{2p}n$ 이다. 한편, 비합리적인 소매상을 대상으로 $\overline{r}_T = \frac{(v-c)p - \alpha v(p-c) - \delta(p-2v)}{(1-\alpha)\beta p v}$ 를 만

족하는 (c_T, \overline{r}_T) 를 제시하는 경우, 비합리적 소매상의 이익함수는 식 (10)으로부터

$$\begin{aligned} \overline{\pi}_R &= \frac{(1-\alpha)\{(1-\beta r)p-c\}}{2n}(-Q^2+2nQ) \\ &\quad - \frac{cQ^2}{2n} - \frac{\delta}{n}\left(Q^2 - Qn + \frac{n^2}{2}\right) \\ &= \frac{(1-\alpha)\left[1-\beta\left\{\frac{(v-c)p - \alpha v(p-c) - \delta(p-2v)}{(1-\alpha)\beta p v}\right\}\right](p-c)}{2n} \\ &\quad \times (-Q^2+2nQ) \\ &\quad - \frac{cQ^2}{2n} - \frac{\delta}{n}\left(Q^2 - Qn + \frac{n^2}{2}\right) \end{aligned}$$

이고, 여기에서 비합리적 소매상의 이익을 최대화하는 주문량 \overline{Q}_R 은

$$\frac{d}{dQ}\overline{\pi}_R = 0$$

으로부터

$$\begin{aligned} \overline{Q}_R &= \frac{(1-\alpha)\left[1-\beta\left\{\frac{(v-c)p - \alpha v(p-c) - \delta(p-2v)}{(1-\alpha)\beta p v}\right\}\right](p-c) + \delta}{(1-\alpha)\left[1-\beta\left\{\frac{(v-c)p - \alpha v(p-c) - \delta(p-2v)}{(1-\alpha)\beta p v}\right\}\right](p-c) + c + 2\delta} \\ &\quad \times n = \frac{p-v}{p}n \end{aligned}$$

로 Q_T 와 동일한 값으로 도출된다. 이 값을 공급사슬 전체 이익의 함수 $\pi_T = (p-v)Q - \frac{pQ^2}{2n}$ 에 대입하면

$$\pi_T = \frac{(p-v)^2}{2p}n$$

으로 식 (7)에 나타난 공급사슬의 최대 이익과 동일하다. 따라서 증명이 성립한다. ■

5.3 최적 수익 공유 계약의 존재 범위

앞 절에서 공급사슬의 이익이 최대화되는 최적 수

익 공유 비율을 도출하였다. 그러나 주어진 비용 구조에 따라서는 이러한 최적 수익 공유 계약이 항상 존재하지 않을 수도 있다. 가정에 의해 $0 \leq \bar{r}_T < 1$ 과 $(1-r_T)p > c$ 를 만족해야 하므로, 모든 c_T 에 대해 이 범위를 만족하는 \bar{r}_T 가 존재하지 않을 수도 있다. 다음의 정리는 공급사슬 이익 최대화를 가능하게 하는 최적 수익 공유 계약 (c_T, \bar{r}_T) 가 존재하기 위한 조건을 기술하고 있다.

Theorem 2 : 손실에 대한 민감성 α , 수익 공유 비율에 대한 민감성 β , 사후 재고 오차에 대한 주관적 비용 δ 의 비합리성 요인이 고려된 수익 공유 계약에서 공급사슬의 이익 최대화를 가능하게 하는 최적 수익 공유 계약 (c_T, \bar{r}_T) 는 다음의 조건 하에서 존재한다.

$$\frac{(1-\alpha)(1-\beta)pv - \delta(p-2v)}{p - (\alpha + \beta - \alpha\beta)v} < c_T \leq \frac{(1-\alpha)pv - \delta(p-2v)}{p - \alpha v}, \quad \text{if } p - (\alpha + \beta - \alpha\beta)v > 0 \quad (15)$$

$$c_T \leq \min \left\{ \frac{(1-\alpha)(1-\beta)pv - \delta(p-2v)}{p - (\alpha + \beta - \alpha\beta)v} - \epsilon, \frac{(1-\alpha)pv - \delta(p-2v)}{p - \alpha v} \right\}, \quad \text{if } p - (\alpha + \beta - \alpha\beta)v < 0 \quad (16)$$

(여기서 ϵ 는 매우 작은 양수)

$$c_T \leq \frac{(1-\alpha)pv - \delta(p-2v)}{p - \alpha v}, \quad (17)$$

if $p - (\alpha + \beta - \alpha\beta)v = 0$

Proof : $r_T \geq 0$ 으로부터,

$$\frac{(1-\alpha)pv - \delta(p-2v) - (p-\alpha v)c_T}{(1-\alpha)\beta pv} \geq 0$$

이다. 여기서 $(1-\alpha)\beta pv > 0$ 이므로, 양변에 $(1-\alpha)\beta pv > 0$ 를 곱하여 정리하면

$$(p-\alpha)c_T \leq (1-\alpha)pv - \delta(p-2v)$$

이다. 그런데 $(p-\alpha)c > 0$ 이므로, 양변에서 $(p-\alpha)c$ 를 나누면

$$c_T \leq \frac{(1-\alpha)pv - \delta(p-2v)}{(p-\alpha v)} \quad (18)$$

이다.

한편 $r_T < 1 - \frac{p}{c_T}$ 로부터

$$\frac{(1-\alpha)pv - \delta(p-2v) - (p-\alpha v)c_T}{(1-\alpha)\beta pv} < \frac{p-c_T}{p}$$

이고, $(1-\alpha)\beta pv > 0$ 이므로, 양변에 $(1-\alpha)\beta pv$ 를 곱하면

$$(1-\alpha)pv - \delta(p-2v) - (p-\alpha v)c < \frac{p-c}{p}(1-\alpha)\beta pv$$

가 된다. 이를 정리하면

$$p - (\alpha + \beta - \alpha\beta)v c_T < (1-\alpha)(1-\beta)pv - \delta(p-2v) \quad (19)$$

이다.

Case 1 : 만약 $p - (\alpha + \beta - \alpha\beta)v > 0$ 이면, 식 (19)로부터

$$c_T > \frac{(1-\alpha)(1-\beta)pv - \delta(p-2v)}{p - (\alpha + \beta - \alpha\beta)v} \quad (20)$$

이다. 식 (18)과 식 (20)으로부터

$$\frac{(1-\alpha)(1-\beta)pv - \delta(p-2v)}{p - (\alpha + \beta - \alpha\beta)v} < c_T \leq \frac{(1-\alpha)pv - \delta(p-2v)}{p - \alpha v}$$

이다.

Case 2 : 만약 $p - (\alpha + \beta - \alpha\beta)v < 0$ 이면, 식 (19)로부터

$$c_T < \frac{(1-\alpha)(1-\beta)pv - \delta(p-2v)}{p - (\alpha + \beta - \alpha\beta)v} \quad (21)$$

이므로, 식 (18)과 식 (21)으로부터

$$c_T \leq \min \left\{ \frac{(1-\alpha)(1-\beta)pv - \delta(p-2v)}{p - (\alpha + \beta - \alpha\beta)v}, -\epsilon, \frac{(1-\alpha)pv - \delta(p-2v)}{p - \alpha v} \right\}$$

이다.

Case 3 : 만약 $p - (\alpha + \beta - \alpha\beta)v = 0$ 이면, 식 (19)로부터

$$(1-\alpha)(1-\beta)pv - \delta(p-2v) < 0$$

이다. 이 식을 정리하면

$$(1-\alpha)pv - \delta(p-2v) < (1-\alpha)\beta pv \quad (22)$$

이다. 식 (22)에서 $(p - \alpha v)c_T \leq (1-\alpha)pv - \delta(p-2v)$ 이므로, 여기에 식 (21)을 적용하면

$$(p - \alpha v)c_T \leq (1-\alpha)pv - \delta(p-2v) < (1-\alpha)\beta pv \quad (23)$$

이다. 그런데

$$p - (\alpha + \beta - \alpha\beta)v = 0$$

이므로,

$$(1-\alpha)\beta pv = p(p - \alpha v)$$

이다. 따라서 식 (20)에 $(1-\alpha)\beta pv = p(p - \alpha v)$ 를 적용하면

$$(p - \alpha v)c_T \leq (1-\alpha)pv - \delta(p-2v) < p(p - \alpha v)$$

이다. 모든 변에서 $p(p - \alpha v)$ 를 나누면

$$c_T < \frac{(1-\alpha)(1-\beta)pv - \delta(p-2v)}{p - (\alpha + \beta - \alpha\beta)v} < p$$

이고, $c_T < p$ 이므로,

$$c_T < \frac{(1-\alpha)(1-\beta)pv - \delta(p-2v)}{p - (\alpha + \beta - \alpha\beta)v}$$

이다. ■

6. 행동 실험을 통한 검증

6.1 실험 내용

앞서 제시한 행동적 계약 설계를 적용하여 공급사슬의 이익을 개선시킬 수 있는가에 대한 검증을 위해 D대학 경영학과에 재학 중인 대학생 34명을 대상으로 하여 행동 실험(Laboratory experiment)을 시행하였다. 기존 연구 대부분에서 경영학과 대학생 또는 대학원생을 대상으로 실험하였으며, Bolton et al.[9]의 신문판매원 문제에 대한 실험에서 실무자와 학생 대상의 주문량 결정 행동에 차이가 없다는 결과에 따라 본 연구의 실험 대상에 무리가 없다고 볼 수 있다. 실험 방식 역시 기존 연구들에서 사용한 방식을 사용하였다[6, 7, 25 등].

실험은 실험에 대한 설명 약 7분, 간단한 테스트 약 5분, 예비실험 약 3분, 본 실험 약 40분으로 총 실험 시간은 약 60분 가량 소요되었다. Java 기반의 코드를 작성하여 행동 실험에 활용하였으며 가상의 화폐 단위 “환”을 사용하였다.

- 1) 실험 설명(약 7분 소요) : 신문판매원 문제에 관한 설명, 수익 공유 계약에 대한 설명 및 기본적인 이익 구조에 대해 설명하였다.
- 2) 테스트(약 5분 소요) : 수익 공유 계약의 기본적인 이익 구조에 대한 이해 여부를 확인하기 위해 수익 공유 계약 상황에서 물건을 팔다 남았을 때 발생하는 비용과 물건이 부족해서 판매 기회를 상실했을 때의 기회비용에 대해 6개 문항의 테스트를 하였다.
- 3) 예비실험(약 3분 소요) : 본실험에 들어가기 앞서 실험 화면에 대한 적응을 위해 본실험과 같은 구조에서 6회의 예비실험을 하였다.
- 4) 본실험(약 40분 소요) : 본실험에서는 각기 다른 c 와 v 값을 갖는 도매가 계약 9개, 수익 공

유 계약 95개, 총 104개 계약에 대해 주문량을 입력하도록 하였다. 계약은 연속적으로 발생하며 발생 순서와 수요는 무작위(random)로 발생하도록 하여 학습효과를 방지하였다. 각 계약 상황에서 주문량을 입력하면 피험자가 선택한 주문량과 그 주기에 발생한 수요, 부족분 또는 여분, 이익, 부족분에 따른 손실, 여분에 따른 손실의 요약표를 보여주고, 이를 누적되게 하여 이전 기에 대한 정보를 찾아볼 수 있게 하였다. 실험 종료 효과를 방지하기 위해 실험 기간은 알려주지 않았다. 판매가 $p = 100$ 으로 두고, 도매가 $c = 10 \sim 90$ 으로 20씩 증가, 수익 공유비율 $r = 0.025 \sim 0.875$ 으로 0.025씩 증가시켜 실험하였으며, 모든 주문이 끝나면 최종 누적 수익을 보여주고, 가상 화폐 환 단위로 나타난 최종 누적 수익의 10%를 실 화폐인 원 단위의 현금으로 환산하여 지급하였다. 실험 참가자에 대한 최고 지급액은 15,000원, 최저 지급액은 9,000원이다. 실험 화면은 [부록]에 첨부하였다.

6.2 실험 결과 요약

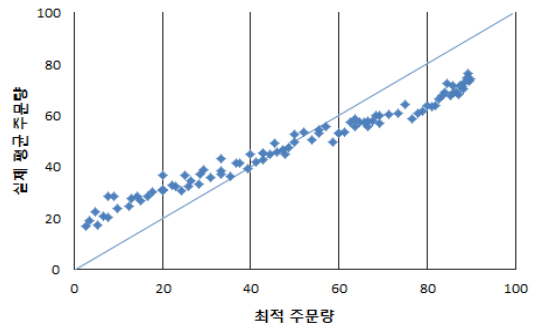
6.2.1 비합리성 계수의 추정

먼저 실제 주문행동에 비합리성이 존재하는가를 확인하기 위해 이론적 예측치인 최적 주문량과 실제 주문량에 차이가 존재하는가를 살펴보고자 한다. <표 1>에 c 와 r 의 변화에 따른 최적 주문량과 실제 평균 주문량을 표로 나타내었다. 표의 왼편에는 c 와 r 의 조합에 따른 이론적 예측치의 최적 주문량, 오른편에는 실제 평균 주문량이다. 여기서 실제 평균 주문량은 피험자 34명의 주문량에 대한 평균을 의미한다.

최적 주문량과 실제 평균 주문량 간에 통계적으로 유의한 차이가 존재하는지에 대한 확인을 위해 Be-zion et al.[7]에서와 같이 모든 조합의 계약 상황에 대해 대응 표본 t-test를 실시하였다. 그 결과 $t = 6.128$, $p = 0.00$ 로 이론적 예측치인 최적 주문량과 실제 주문 행동에 유의한 차이가 존재하는 것으로

나타났다. 즉, 기존의 많은 행동 실험 연구에서 관찰된 바와 같이 의사결정자가 반드시 완벽한 합리성을 가지고 자신의 이익을 최대화 시키는 주문량 의사결정을 하는 것은 아님을 보여주고 있다.

다음은 그림을 통해 이론적 예측치의 최적 주문량과 사람들의 실제 평균 주문량을 나타내었다. [그림 2]의 가운데 그려져 있는 45도의 직선은 이론에서의 최적 주문량과 실제 주문량이 같아지는 곳을 나타내고 있다. 앞서 표에서 살펴본 것과 같이 이론적 예측치의 최적 주문량과 사람들의 실제 평균 주문량에는 차이가 존재하는 것을 확인할 수 있다. 또한 이론적 예측치의 최적 주문량에서 C.R(Critical Ratio)이 낮은 경우에는 평균 주문량이 더 높게 나타나고, 이론적 예측치의 최적 주문량에서 C.R이 높은 경우에는 평균 주문량이 더 낮게 나타나는 것을 볼 수 있다. 이로써 기존의 많은 행동 실험 연구에서 관찰된 바와 같이 의사결정자의 실제 주문 행동에서 평균 수렴효과가 존재하고 있음을 확인할 수 있다.



[그림 2] 이론적 예측치의 최적 주문량과 실제 평균 주문량

실제 행동 실험을 통해 얻은 데이터를 비합리성 모형에 적용하여 비합리성 요인 즉, 손실에 대한 민감성 α , 수익 공유 비율에 대한 민감성 β , 사후재고 오차에 대한 주관적 비용 δ 를 추정하였다. 비합리성 계수의 추정은 Becker-Peth et al.[6], Bostian et al.[10], Su[28]에서 사용한 것과 같이 비선형 회귀 모형(Nonlinear Regression Model)의 최우추정치(Ma-

〈표 1〉 c, r 에 따른 이론적 예측치의 최적 주문량과 실제 평균 주문량

r	최적 주문량					실제 평균 주문량				
	c					c				
	10	30	50	70	90	10	30	50	70	90
0.025	89.74	69.23	48.72	28.21	7.69	74.41	59.88	47.26	33.06	20.06
0.05	89.47	68.42	47.37	26.32	5.26	73.29	60.15	46.38	34.35	17.18
0.075	89.19	67.57	45.95	24.32	2.70	76.26	57.88	45.85	30.71	16.88
0.1	88.89	66.67	44.44	22.22	-	74.65	57.76	44.79	32.97	-
0.125	88.57	65.71	42.86	20.00	-	72.88	57.59	42.65	30.56	-
0.15	88.24	64.71	41.18	17.65	-	70.29	57.29	41.62	30.18	-
0.175	87.88	63.64	39.39	15.15	-	71.12	58.76	39.44	26.50	-
0.2	87.50	62.50	37.50	12.50	-	71.41	57.41	41.24	24.56	-
0.225	87.10	61.29	35.48	9.68	-	68.12	53.35	36.38	23.50	-
0.25	86.67	60.00	33.33	6.67	-	68.82	53.18	37.12	20.71	-
0.275	86.21	58.62	31.03	3.45	-	69.03	49.65	35.85	18.88	-
0.3	85.71	57.14	28.57	-	-	71.74	55.71	37.03	-	-
0.325	85.19	55.56	25.93	-	-	67.56	54.15	32.47	-	-
0.35	84.62	53.85	23.08	-	-	72.35	50.56	32.15	-	-
0.375	84.00	52.00	20.00	-	-	68.97	53.65	31.09	-	-
0.4	83.33	50.00	16.67	-	-	67.76	52.47	28.38	-	-
0.425	82.61	47.83	13.04	-	-	66.44	44.74	27.71	-	-
0.45	81.82	45.45	9.09	-	-	63.79	49.18	28.62	-	-
0.475	80.95	42.86	4.76	-	-	63.35	45.32	22.44	-	-
0.5	80.00	40.00	-	-	-	63.68	44.74	-	-	-
0.525	78.95	36.84	-	-	-	61.56	41.32	-	-	-
0.55	77.78	33.33	-	-	-	61.03	38.56	-	-	-
0.575	76.47	29.41	-	-	-	58.85	38.62	-	-	-
0.6	75.00	25.00	-	-	-	64.32	36.71	-	-	-
0.625	73.33	20.00	-	-	-	60.85	30.82	-	-	-
0.65	71.43	14.29	-	-	-	60.35	28.44	-	-	-
0.675	69.23	7.69	-	-	-	57.03	28.26	-	-	-
0.7	66.67	-	-	-	-	55.59	-	-	-	-
0.725	63.64	-	-	-	-	55.56	-	-	-	-
0.75	60.00	-	-	-	-	52.97	-	-	-	-
0.775	55.56	-	-	-	-	52.85	-	-	-	-
0.8	50.00	-	-	-	-	49.79	-	-	-	-
0.825	42.86	-	-	-	-	45.35	-	-	-	-
0.85	33.33	-	-	-	-	43.03	-	-	-	-
0.875	20.00	-	-	-	-	36.65	-	-	-	-

ximum Likelihood Estimator, MLE)를 사용하였다. 분석에는 SPSS Statistics 21 통계패키지 프로그램을 이용하였다.

〈표 2〉 비합리성 계수의 추정값

	α	β	δ
추정값	0.108*** (0.017)	1.023*** (0.009)	21.809*** (0.706)

Note) 괄호 안은 표준편차를 나타냄.

* $p < 0.1$; ** $p < 0.05$; *** $p < 0.001$.

〈표 2〉는 피험자 전체의 주문량 데이터를 통해 비합리성 계수를 추정한 결과로 각각의 추정값은 $\alpha = 0.108$, $\beta = 1.023$, $\delta = 21.809$ 이다. 앞서 기존 이론에서 제시되어 온 비합리성을 고려하지 않은 경우의 모형은 본 연구에서 제시한 비합리성을 고려한 의사결정 모형에서 $\alpha = 0$, $\beta = 1$, $\delta = 0$ 으로 둔 것과 동일함을 설명한 바 있다(제 3장 참조). 따라서 α 와 δ 가 0과 통계적으로 유의한 차이가 있고, β 는 1과 통계적으로 유의한 차이가 있는가를 통해 기존의 이론에서 제시되었던 비합리성을 고려하지 않은 모형과 본 연구에서 제시한 비합리성을 고려한 의사결정 모형이 통계적으로 유의한 차이를 갖는지를 판단할 수 있다. 분석 결과 추정값은 세 가지 계수 모두 유의한 것으로 나타났으며, 이는 기존의 이론에서 제시되었던 비합리성을 고려하지 않은 모형과 통계적으로 유의한 차이를 갖는 것이라고 해석할 수 있다. 또한, 모형의 계수가 의미있는 값을 갖는다는 것은 본 연구에서 제시한 모형이 소매상의 비합리적 주문 행동을 적절하게 표현하고 있는 것으로 해석될 수 있다.

각 계수의 값을 살펴보면, 손실에 대한 민감성을 의미하는 α 의 추정값은 평균 0.108으로 앞서 논의한 전망 이론에서의 주장과 같이 손실에 대해 더 민감한 성향을 나타내는 것으로 해석할 수 있다. 즉, 의사결정자들은 손실이 발생하는 것보다 이익이 발생하는 것에 더욱 민감한 성향을 갖는 것으로 볼 수 있다. 수익 공유 비율에 대한 민감성을 나타내는 β 의 추정값은 평균 1.023으로 공급자에게 지급하는 수익 공유 비율에 대한 민감도를 가지고 있음을 나

타낸다. 사후 재고 오차에 대한 주관적 비용을 나타내는 δ 의 추정값은 평균 21.809로 주문량과 수요 불일치에 대한 민감성을 주문량 결정에 반영하고 있으며, 이에 따라 평균 수렴효과라는 비합리적 행태가 발생함을 보여주고 있다.

〈표 3〉 개인별 모형의 비합리성 계수 추정값

피험자	α	β	δ
1	0.026	0.969*	4.174***
2	-0.084	1.003	48.846***
3	0.234***	1.11***	29.684***
4	0.009	0.954	9.255***
5	0.155***	1.004	14.235***
6	-0.013	1.031	73.069***
7	0.194	0.918	50.898***
8	0.152***	1.032*	4.058***
9	0.187	0.765	72.443***
10	0.056	1.038	19.573***
11	0.035	1.053**	15.508***
12	0.372***	1.186*	50.811***
13	0.062	1.066**	15.904***
14	0.022	0.954***	1.098
15	0.296*	0.891	42.293***
16	0.218***	1.016	16.92***
17	0.218***	1.021	13.381***
18	0.068	1.059	36.596***
19	0.316	1.078	97.263***
20	0.167*	0.888*	14.434***
21	0.138**	1.088***	20.155***
22	-0.356***	1.014	18.423***
23	0.157**	1.071*	22.583***
24	0.457***	1.105	43.186***
25	0.023	1.009**	0.450
26	0.095	0.951	48.207***
27	0.232***	0.985	14.648***
28	0.096*	1.037	24.497***
29	0.145*	1.128***	29.827***
30	0.187***	1.038	15.17***
31	0.197***	1.17***	24.746***
32	0.076	0.913	59.126***
33	0.066	0.944***	1.356
34	0.070	1.055***	14.412***

비합리성의 모형을 개인별로 적용해보면 각각의 행태적 특성을 살펴볼 수 있다. <표 3>은 피험자 34명 각각에 대해 개인별 비합리성 계수를 추정한 결과이다. 분석 결과를 보면 개인별로 다양한 계수값을 가지고 있으며, 유의성 또한 각기 다르게 나타난다. 이 개인별 계수값은 각자의 손실에 대한 민감성이나 수익 공유 비율에 대한 민감성, 평균 수렴효과 등의 경향을 어느 정도 가지고 있는지를 나타낸다. 먼저 대부분의 피험자가 $\alpha > 0$ 으로 나타나고 있다. 즉, 대부분의 피험자가 손실에 민감한 성향을 갖는다. 그러나 일부 피험자(2, 6, 22)는 $\alpha < 0$ 의 값을 갖는다. 이들은 손실이 발생하는 것보다 이익이 발생하는 것에 더욱 민감한 성향을 갖는 것으로 볼 수 있다. 수익 공유 비율에 대한 민감성을 나타내는 β 의 추정값은 1 이상인 경우가 다수로 대부분의 경우 수익 공유 비율에 민감하게 반응하지만, 1 이하인 경우도 존재함을 볼 수 있다. 사후 재고 오차에 대한 주관적 비용을 나타내는 δ 의 추정값은 대부분이 유의한 값을 나타내 대부분의 경우에서 평균 수렴효과가 발생하고 있음을 알 수 있다.

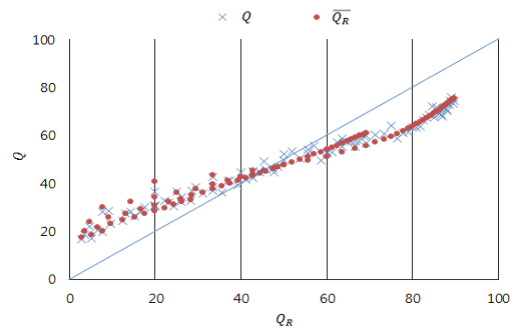
6.2.2 비합리적 의사결정 모형의 정확성

비합리성을 고려한 모형이 소매상의 완벽한 합리성을 가정한 기존 연구 모형보다 실제 사람들의 주문 행태를 더 잘 설명하고 있는지를 확인하기 위해 행동 실험을 통해 얻은 사람들의 실제 주문량 데이터를 기존 연구의 모형으로부터 도출된 최적 주문량과 본 연구에서 제시한 비합리성을 고려한 주문량과 각각 비교하였다.

앞서 정의한 바와 같이 기존 연구의 비합리성을 고려하지 않은 주문량을 Q_R , 본 연구에서 제시한 비합리성을 고려한 주문량을 \overline{Q}_R 로 나타내며, 행동 실험을 통해 얻은 사람들의 실제 주문량 데이터를 Q 로 나타내었다.

모형의 정확성 검증을 위해 Bostian et al.[10]에서와 같이 잔차를 설명력의 기준으로 두어 잔차의 차이를 분석하였다. 기존 연구의 비합리성을 고려하지 않은 주문량과 행동 실험을 통해 얻은 사람들의 실

제 주문량의 잔차와 본 연구에서 제시한 비합리성을 고려한 주문량과 행동 실험을 통해 얻은 사람들의 실제 주문량의 잔차 즉, $e_o = Q_R - Q$ 과 $e_b = \overline{Q}_R - Q$ 를 비교하였다. 이에 대한 차이 검정은 윌콕슨 부호 순위 검증(Wilcoxon's signed-ranks test)를 사용하였다. 그 결과 $SSE_o = 750816.48$, $SSE_b = 232591.08$ 으로 SSE_b 가 월등히 작게 나타났으며, $z = -5.159$, $p = 0.00$ $z = -5.159$, $p = 0.00$ 으로 통계적으로도 유의한 차이를 보였다. 즉, 비합리성을 고려하지 않은 최적 주문량 Q_R 보다 비합리성을 고려한 주문량 \overline{Q}_R 가 사람들의 실제 주문량 Q 를 설명하기에 더 적합하다고 말할 수 있다.



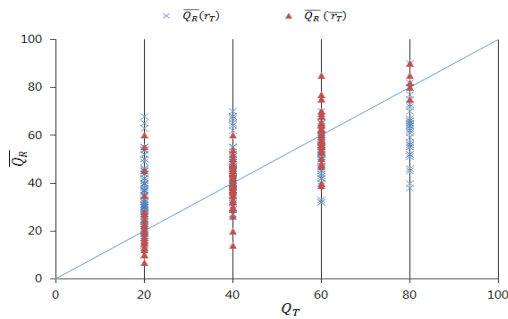
[그림 3] Q 의 평균, \overline{Q}_R 의 평균과 Q_R

다음은 그림을 통해 Q 의 평균, \overline{Q}_R 의 평균과 Q_R 을 비교하였다. [그림 3]의 가운데 그려져 있는 45도의 직선은 이론에서의 최적 주문량과 실제 주문량이 같아지는 곳 즉, $Q = Q_R$ 을 나타내고 있다. 그림에서 확인할 수 있듯이 비합리적 의사결정 모형이 실제 주문량에 잘 부합하여 비합리성을 고려하지 않은 이론적 모형보다 사람들의 실제 주문 행동을 잘 설명하고 있다.

6.2.3 비합리성 계수를 고려한 계약의 효과

본 절에서는 실제 행동 실험을 통해 비합리적 소매상을 대상으로 수익 공유 계약을 하고자 할 때 소매상의 비합리성을 고려한 수익 공유 비율 \overline{r}_T 를 제시하면 비합리적인 소매상이 공급사슬 최대의 이

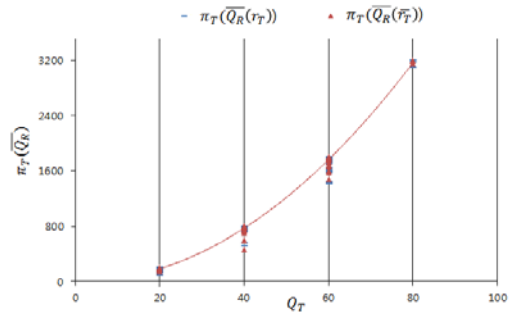
익을 만드는 주문량 Q_T 를 선택하도록 할 수 있는가를 확인하고자 한다. 이를 확인하고자 피험자 각각의 개인별 비합리성 계수를 적용하여 \bar{r}_T 를 도출하고 \bar{r}_T 를 적용하였을 때 피험자가 선택한 주문량이 Q_T 에 부합하는지를 확인하였다. 이를 위해 행동 실험에서 $c=10, 30, 50, 70, 90$ 인 경우에서 r 를 0.025~0.875까지 0.025단위로 증가시켜 가능한 모든 경우의 수익 공유 비율에 대해 실험하였고(제 6.1절 참조), 실험된 경우 중 \bar{r}_T 에 가장 근사한 값을 찾아 해당 수익 공유 비율에서 피험자가 Q_T 의 주문량을 선택하였는지를 확인하였다. 이때, $p = 100, v = 20, 40, 60, 80$ 으로 가정하였다.



[그림 4] r_T 와 \bar{r}_T 에 따른 실제 주문량

[그림 4]는 Q_T 가 20, 40, 60, 80인 경우에 대해서 실험 한 결과이다. r_T 를 제시하였을 때의 비합리적 소매상의 주문량 $\bar{Q}_R(r_T)$ 과 \bar{r}_T 를 제시하였을 때의 주문량 $\bar{Q}_R(\bar{r}_T)$ 를 비교를 통해 비합리성을 고려한 수익 공유 비율을 제시하였을 때의 주문량이 고려하지 않은 수익 공유 비율을 제시하였을 때의 주문량보다 Q_T 에 근접하게 나타나는지를 살펴보았다. 각 개인별 계수를 적용하여 Q_T 를 주문하게 하는 \bar{r}_T 를 도출하고, 실험된 r 중에서 \bar{r}_T 와 가장 근사한 값을 찾아 이 r 에서 피험자가 선택한 주문량을 확인하였다. 그 결과 [그림 4]에서 볼 수 있듯이 실제 사람들의 주문량은 \bar{r}_T 를 제시하였을 때가 r_T 를 제시하였을 경우보다 Q_T 에 매우 근접하게 나타나는 것을 볼 수 있다. 다시 말해, 개별 소매상의 비합리

성을 고려하여 수익 공유 비율을 제시하였을 때 실제로 소매상이 Q_T 를 주문하는 것을 관찰할 수 있다. 이는 개인별로 비합리성 계수를 고려해서 각자에게 적합한 수익 공유 비율을 제공할 때 비합리적인 소매상이 공급사슬 이익을 최대화 하는 주문량을 선택하도록 하는 것이 가능함을 시사하고 있다.



[그림 5] r_T 와 \bar{r}_T 에 따른 실제 공급사슬의 이익

또한 각각의 주문량을 선택했을 경우의 공급사슬 전체 이익이 얼마나 개선 가능한지를 살펴본 결과 약 1.76%의 이익 개선이 이루어졌다([그림 5] 참조). 이는 실제로 비합리성을 고려하여 적절한 계약을 설계하면 공급사슬 이익 개선에 도움이 될 수 있다는 가능성을 입증하였다고 볼 수 있다.

7. 비합리성 요인의 공급사슬의 영향에 대한 민감도 분석

비합리적 소매상을 대상으로 하는 공급사슬을 고려하여 판매가 $p=100$, 수요는 $U[0, 100]$ 인 경우에 대해 수익 공유 계약에서의 비합리성의 각 요인 α, β, δ 가 각각 변화함에 따라 수익 공유 비율, 주문량, 공급사슬 전체의 이익과 이익 개선율 등에 미치는 영향을 수치적으로 살펴본다. 또한 앞서 살펴본 공급사슬 이익을 최대화 하는 수익 공유 계약 (c_T, \bar{r}_T) 가 존재하는 구간을 비합리성 계수의 변화에 따라 도식화하여 나타내었다. 마지막으로 앞서 제시한 모형에 따라 소매상의 비합리성 정도를 고려하여 적절한 수익 공유 비율을 제시하면 원하는 주문량

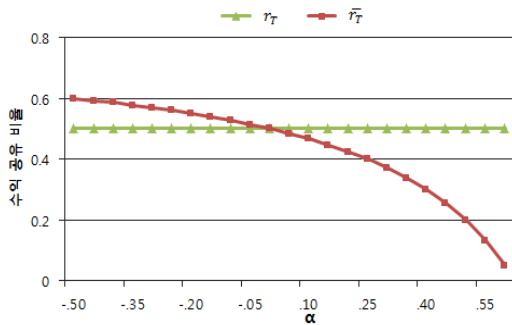
을 선택하도록 하는 것이 가능한지, 또한 가능하면 그로 인한 공급사슬 전체의 이익이 어느 정도 개선 가능한지에 대해 수치 예제를 통해 살펴보고자 한다.

7.1 손실에 대한 민감성 계수 α 에 의한 영향 분석

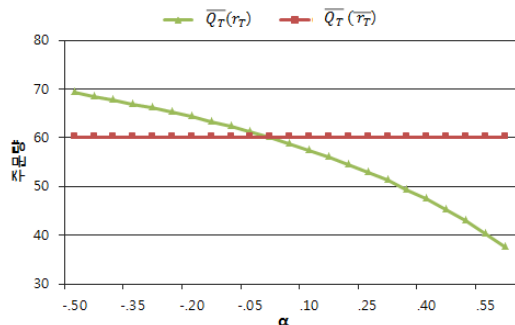
먼저 α 의 변화에 따른 수익 공유 비율, 주문량, 공급사슬 전체의 이익과 이익 개선율 등을 $v = 40, c = 20$ 인 경우에 대해 살펴보았다. α 의 변화 범위는 $-0.5 \sim 0.8$ 로 이는 제 6장의 실제 실험을 통해 나타난 비합리성 계수의 범위를 활용하여 설정하였다.

[그림 6](a)에서 $\alpha < 0$ 인 경우, 즉 손실보다 수익에 민감한 경우에는 비합리성을 고려한 경우의 수익 공유 비율이 비합리성을 고려하지 않은 경우의 수익 공유 비율보다 높게 나타나고 있다. 이때의 주문

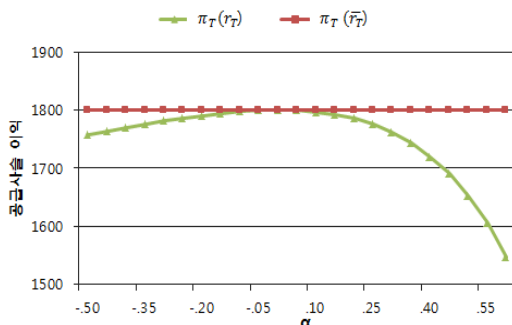
량을 보면 비합리성을 고려한 경우 수익 공유 비율을 높게 가져가더라도 공급사슬 이익이 최대가 되는 주문량인 $Q_T = 60$ 을 주문하며, 비합리성을 고려하지 않은 경우에는 Q_T 보다 더 많이 주문하고 있다([그림 6](b)). 이때의 공급사슬 전체 이익은 비합리성을 고려한 경우에는 목표한 최대 이익 $\pi_T(\bar{s}_T) = 1,800$ 에 도달하였다. 하지만 비합리성을 고려하지 않은 경우에는 소매상의 주문량이 높았음에도 불구하고 이익이 감소한 것을 볼 수 있다([그림 6](c)). 이는 손실보다 수익에 민감한 경우에는 오히려 너무 많이 주문하여 공급사슬 이익의 감소를 발생시키기 때문에, 이러한 경우에는 수익 공유 비율을 높게 가져가고 주문량을 줄이도록 유도하는 것이 공급사슬에게 유리하다고 해석할 수 있다. 이 경우 실험된 경우에서 최대 약 2.42%의 공급사슬 이익에 개선이 있음을 볼 수 있다([그림 6](d)).



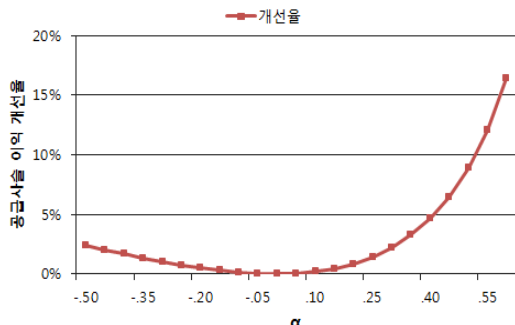
(a) 수익공유 비율



(b) 소매상의 주문량



(c) 공급사슬의 이익



(d) 공급사슬의 개선율

[그림 6] α 의 정도에 따른 공급사슬 영향 분석

비합리성이 존재하지 않는 경우인 $\alpha=0$ 에서는 [그림 6](a)~[그림 6](c) 모두에서 비합리성을 고려한 경우와 고려하지 않은 경우가 일치하는 것을 볼 수 있다. 이때 이익 개선을 또한 0%가 된다([그림 6](d)).

$\alpha>0$ 인 경우, 즉 수익보다 손실을 민감하게 여기는 경우에는 비합리성을 고려한 경우의 수익 공유 비율이 비합리성을 고려하지 않은 경우의 수익 공유 비율보다 낮아지고 있음을 볼 수 있다. 이 경우의 주문량을 보면 비합리성을 고려한 경우에는 목표한 주문량 Q_T 만큼 주문하고 있으며, 비합리성을 고려하지 않은 경우에는 주문량이 점점 감소하여 Q_T 보다 적게 주문하고 있다([그림 6](b)). 이때 공급사측 전체의 이익은 비합리성을 고려하지 않은 경우에는 주문량 감소에 따라 공급사측의 이익도 감소하고 있고, 비합리성을 고려한 경우에는 최대이익을 달성하고 있음을 볼 수 있다([그림 6](c)). 이는 손실에 민감한 소매상은 적게 주문하는 경향이 있으며, 이때는 수익 공유 비율을 낮게 가져가서 즉, 소매상이 가져가는 비율을 높게 주어 주문량을 늘이도록 유도할 수 있으며, 공급사측 이익 개선에 도움이 됨을 의미한다. 이 경우 실험된 경우에서 최대 약 16.38%의 공급사측 이익에 개선이 있다([그림 6](d)).

종합하자면, 손실보다 수익에 민감한 소매상의 경우에는 지나치게 많이 주문하여 공급사측 이익의 감소를 발생시킬 수 있으므로 이러한 경우에는 수익 공유 비율을 높게 가져가고, 이로써 주문량을 줄이도록 유도하는 것이 공급사측에게 유리하다. 반면, 손실에 민감한 소매상은 너무 적게 주문하는 경향이 있으므로 이때는 수익 공유 비율을 낮추고 소매상이 가져가는 비율을 높여주면 주문량을 증가시키도록 유도할 수 있고 공급사측 이익 개선에 도움이 된다. 이와 같은 결과를 통해 소매상의 손실에 대한 민감성을 고려하는 것이 공급사측의 이익에 영향을 미치며, 손실에 대한 민감성 정도에 따라 그 영향의 범위가 크게 달라질 수 있음을 알 수 있다. 따라서 소매상의 손실에 대한 민감성을 고려하여 수익 공유 계약을 설계하는 것이 중요함을 시사하고 있다.

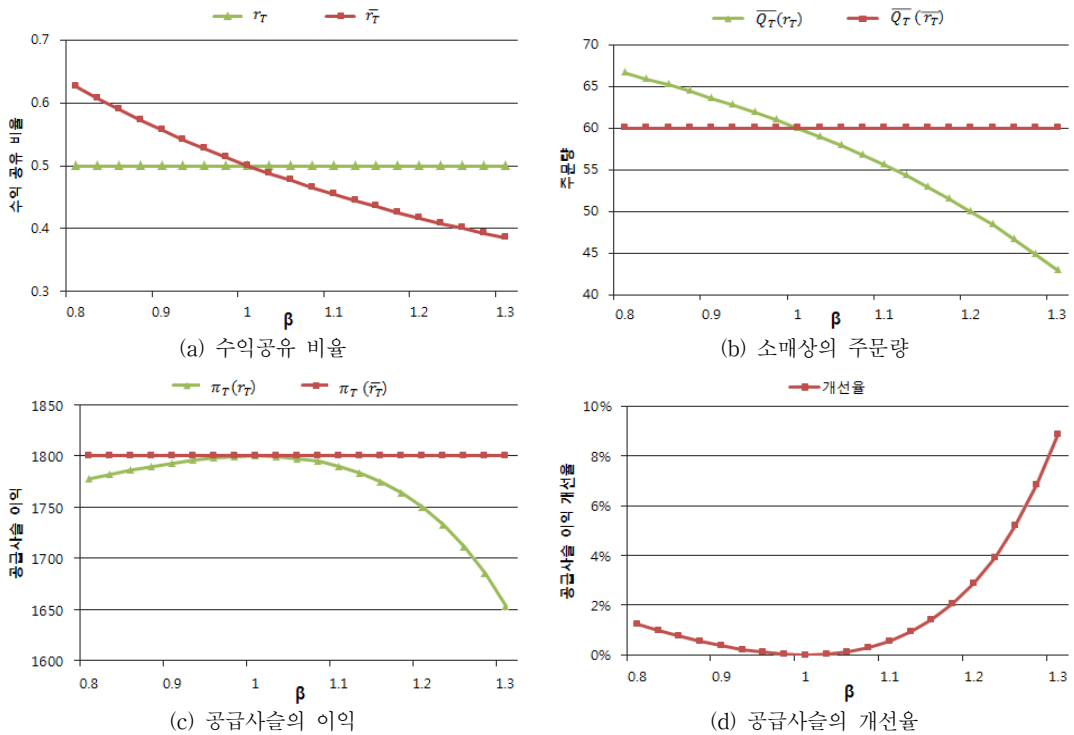
7.2 수익 공유 비율에 대한 민감성 계수 β 에 의한 영향 분석

다음으로 β 의 변화에 따른 수익 공유 비율, 주문량, 공급사측 전체의 이익과 이익 개선을 등을 $v=40$, $c=20$ 인 경우에 대해 살펴보았다. β 의 변화 범위는 0.8~1.3으로 이는 제 6장의 실제 실험을 통해 나타난 비합리성 계수의 범위를 활용하여 설정하였다.

[그림 7](a)에서 $\beta<1$ 인 경우, 즉 수익 공유 비율에 둔감한 경우에는 비합리성을 고려한 경우의 수익 공유 비율이 비합리성을 고려하지 않은 경우의 수익 공유 비율보다 높게 나타나고 있다. 이때 주문량을 보면 비합리성을 고려한 경우에는 수익 공유 비율을 높이 가져갔음에도 불구하고 $Q_T=60$ 을 주문하고 있다. 비합리성을 고려하지 않은 경우의 주문량은 Q_T 보다 더 많이 주문하고 있다([그림 7](b)). 이때의 공급사측 전체 이익은 비합리성을 고려한 경우에는 목표한 최대 이익 $\pi_T(\bar{r}_T)=1800$ 에 도달하였다. 하지만 비합리성을 고려하지 않은 경우에는 이익이 감소한 것을 볼 수 있다([그림 7](c)). 이는 소매상이 수익 공유 비율에 대해 둔감한 경우에는 수익 공유 비율을 많이 가져가는 편이 공급사측 전체 이익에 유리하다고 해석할 수 있다. 이 경우 실험된 경우에서 최대 약 1.25%의 공급사측 이익에 개선이 있음을 볼 수 있다([그림 7](d)).

비합리성이 존재하지 않는 경우인 $\beta=1$ 에서는 [그림 7](a)~[그림 7](c) 모두에서 비합리성을 고려한 경우와 고려하지 않은 경우가 일치하는 것을 볼 수 있다. 이때 이익 개선을 또한 0%가 된다([그림 7](d)).

$\beta>1$ 인 경우, 즉 수익 공유 비율에 민감한 경우에는 비합리성을 고려한 경우의 수익 공유 비율이 비합리성을 고려하지 않은 경우의 수익 공유 비율보다 낮아지고 있음을 볼 수 있다. 이때의 주문량을 보면 비합리성을 고려하여 수익 공유 비율을 적게 가져간 경우에는 목표 주문량 Q_T 만큼 주문하고 있다. 비합리성을 고려하지 않은 경우에는 Q_T 보다 적게 주문하는 경향을 보인다([그림 7](b)). 이때 공급사측 전체의 이익은 비합리성을 고려한 경우에는 최



[그림 7] β 의 정도에 따른 공급사슬 영향 분석

대이익을 달성하고 있으며, 비합리성을 고려하지 않은 경우에는 주문량 감소에 따라 공급사슬의 이익을 감소시키고 있다([그림 7](c)). 이는 수익 공유 비율에 대해 민감한 소매상에게는 수익 공유 비율을 조금만 가져가서 적절한 주문량을 선택하게 유도할 수 있음을 의미한다. 이 경우 실험된 경우에서 최대 약 8.89%의 공급사슬 이익에 개선이 있다([그림 7](d)).

종합하자면, 수익 공유 비율에 둔감한 소매상의 경우에는 수익 공유 비율을 많이 가져가도 상대적으로 중요하지 않게 느끼기 때문에 이때는 수익 공유 비율을 많이 가져가는 것이 공급사슬 이익 개선에 도움이 되며, 수익 공유 비율에 민감한 소매상의 경우에는 수익 공유 비율을 적게 가져가도 상대적으로 크게 느끼기 때문에 수익 공유 비율을 조금만 가져가는 편이 Q_T 를 주문하도록 유도하여 공급사슬 전체 이익의 증가를 가져올 수 있다. 이와 같은 결과를 통해 소매상의 수익 공유 비율에 대한 민감

성을 고려하는 것이 공급사슬의 이익에 영향을 미치며, 수익 공유 비율에 대한 민감성 정도에 따라 그 영향의 범위가 크게 달라질 수 있음을 알 수 있다. 따라서 소매상의 수익 공유 비율에 대한 민감성을 고려하여 수익 공유 계약을 설계하는 것이 중요함을 시사하고 있다.

7.3 사후 재고 오차에 대한 주관적 비용 계수 δ 에 의한 영향 분석

마지막으로 δ 의 변화에 따른 수익 공유 비율, 주문량, 공급사슬 전체의 이익과 이익 개선율 등을 살펴해보았다. 앞서 설명한 바와 같이 사후 재고 오차에 대한 주관적 비용의 계수가 증가 할수록 재고 오차를 줄이는데 중점을 두게 되어 주문량이 평균 수량에 근접하는 평균 수렴효과가 나타난다. 평균 수렴효과는 최적 주문량과 수요 평균 사이에서 주문

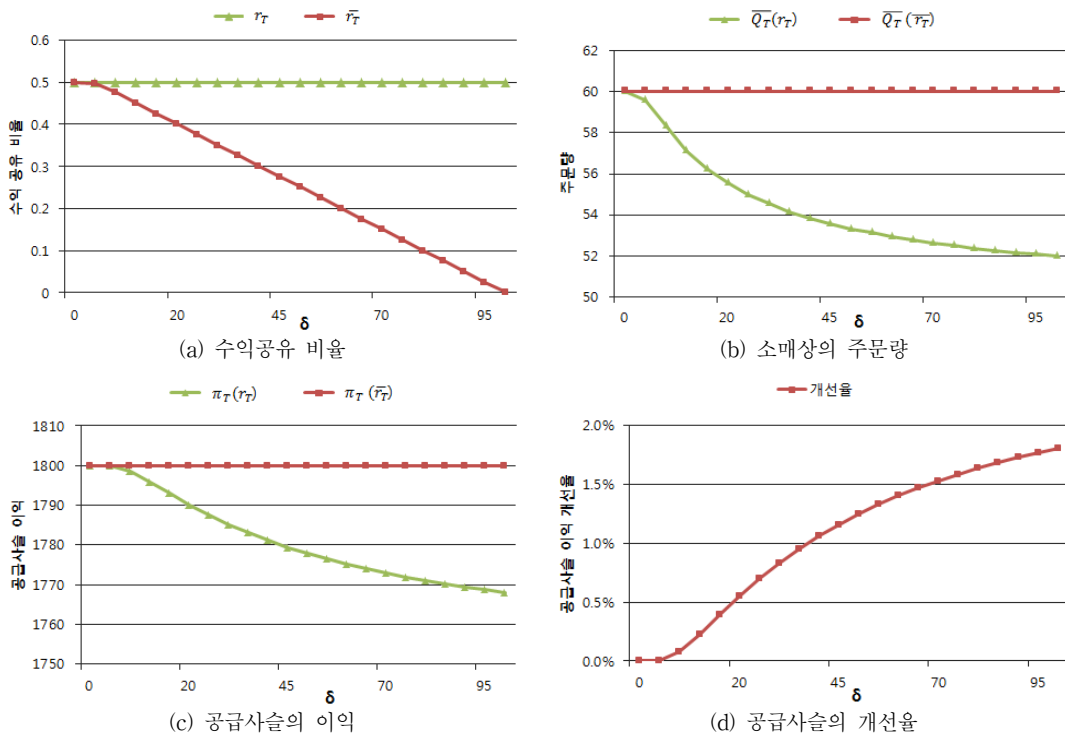
하는 경향을 의미하기 때문에 최적 주문량이 평균 수요보다 높은 경우($v=40, c=20$, 즉 $Q_T=60$)와 최적 주문량이 평균 수요보다 낮은 경우($v=60, c=30$, 즉 $Q_T=40$)의 두 가지로 나누어 살펴보았다. δ 의 변화 범위는 0~100으로 이는 제 6장의 실제 실험을 통해 나타난 비합리성 계수의 범위를 활용하여 설정하였다.

최적 주문량이 평균 수요보다 높은 경우 즉, $v=40, c=20$ 인 경우에는 비합리성이 증가함에 따라 평균 수렴효과가 강하게 나타나면서 주문량이 점차 감소하여 평균 수요인 50으로 수렴하고 있는 것을 볼 수 있다([그림 8](b)). 이때는 소매상의 비합리성을 고려하여 수익 공유 비율을 설계한다면 수익 공유 비율을 낮춰주는 것이 $Q_T=60$ 를 주문하도록 유도할 수 있다([그림 8](a)). 비합리성을 고려하지 않은 경우에는 평균 수렴효과가 강해짐에 따라 주문량이 감소하면서 공급사슬 전체의 이익이 줄어들게

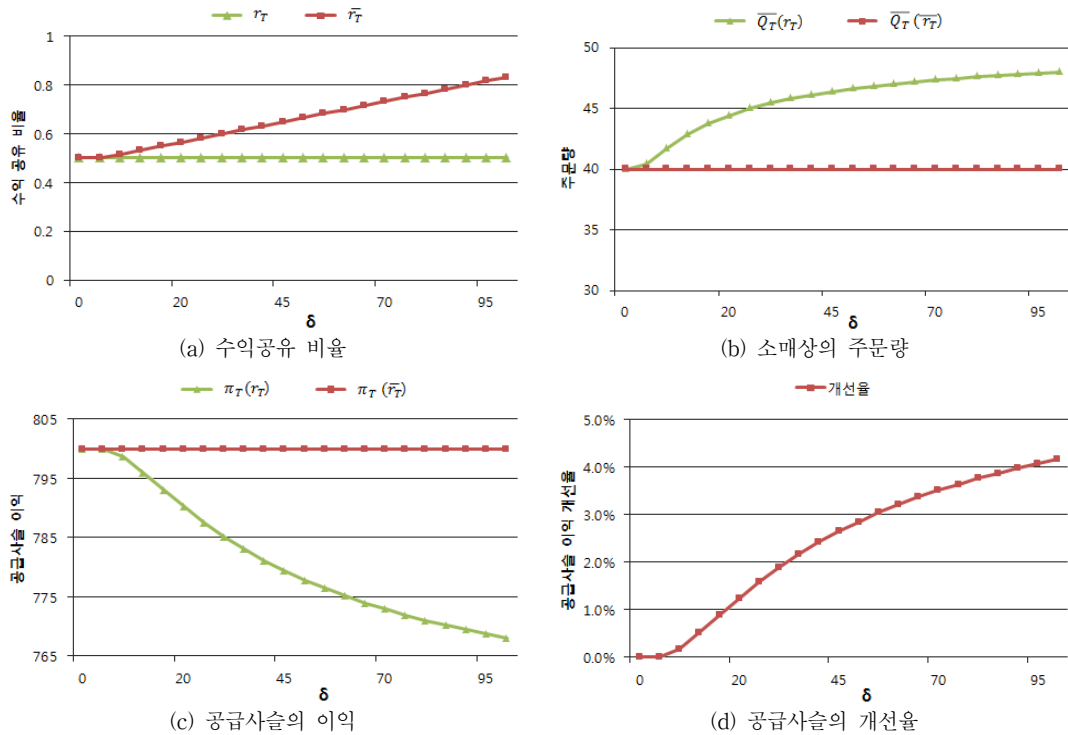
되지만, 비합리성을 고려하여 수익 공유 비율을 제시하면 실험된 경우에서 최대 약 1.81%의 이익이 개선될 수 있다([그림 8](c)와 [그림 8](d)).

최적 주문량이 평균 수요보다 낮은 경우 즉, $v=60, c=30$ 인 경우에는 비합리성이 증가함에 따라 평균 수렴효과가 강하게 나타나면서 주문량이 점차 증가하여 평균 수요인 50으로 수렴하고 있는 것을 볼 수 있다([그림 8](b)). 이때는 소매상의 비합리성을 고려하여 수익 공유 비율을 설계한다면 수익 공유 비율을 높게 가져가는 것이 $Q_T=40$ 를 주문하도록 유도할 수 있다([그림 8](a)). 비합리성을 고려하지 않은 경우에는 평균 수렴효과가 강해짐에 따라 주문량이 필요 이상으로 증가하면서 공급사슬 전체의 이익이 줄어들게 되지만, 비합리성을 고려하여 수익 공유 비율을 제시하면 실험된 경우에서 최대 약 4.17%의 이익이 개선될 수 있다([그림 8](c)와 [그림 8](d)).

종합하자면, 사후 재고 오차에 대한 주관적 비용



[그림 8] δ 의 정도에 따른 공급사슬 영향 분석($v=40, c=50$)



[그림 9] δ 의 정도에 따른 공급사슬 영향 분석($v = 60, c = 30$)

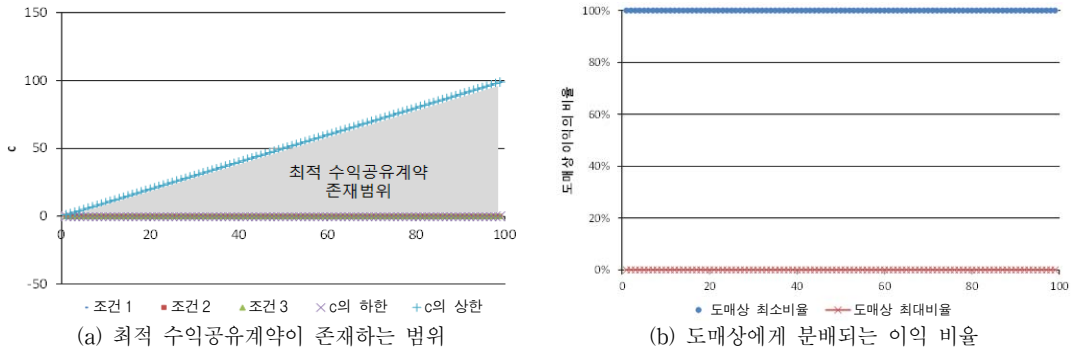
을 가진 소매상은 최적 주문량이 수요의 평균 값보다 높은 경우에는 적게 주문하는 경향이 있기 때문에 수익 공유 비율을 낮게 가져가는 것이 공급사슬 전체 이익 개선에 유리하며, 반대로 최적 주문량이 수요의 평균 값보다 낮은 경우에는 많이 주문하는 경향이 있기 때문에 수익 공유 비율을 많이 가져가는 편이 공급사슬 전체 이익의 증가를 가져올 수 있다. 이와 같은 결과는 소매상의 사후 재고 오차에 대한 주관적 비용을 고려하는 것이 공급사슬의 이익에 영향을 미치며, 사후 재고 오차에 대한 주관적 비용에 따라 그 영향의 범위가 크게 달라질 수 있음을 알 수 있다. 따라서 소매상의 사후 재고 오차에 대한 민감성을 고려하여 수익 공유 계약을 설계하는 것이 중요함을 시사하고 있다.

7.4 최적 수익 공유 계약의 존재 범위

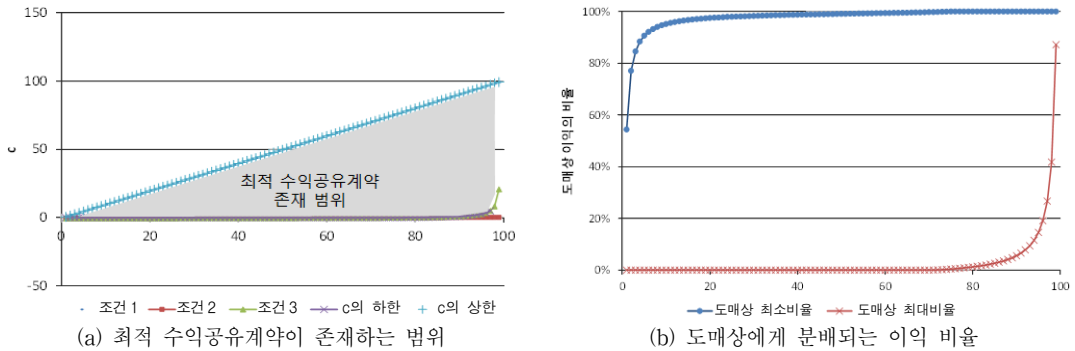
공급사슬 이익을 최대화 하는 수익 공유 계약 (c_T ,

\bar{r}_T)가 존재하는 구간을 비합리성 계수의 변화에 따라 [그림 10]~[그림 13]에 도식화하여 나타내었다. [그림 10]~[그림 13]에서 (a)는 v 의 변화에 따라 최적 수익 공유 계약이 존재하는 범위를 나타내었다. 그림에 나타난 c 의 상하한의 범위는 가정에서 설정한 $(1-r)p > c, 0 \leq \bar{r}_T < 1$ 과 Theorem 2에서 제시한 조건에 부합하는 범위를 고려하여 최적 수익 공유 계약이 존재하는 상하한선을 설정한 것이다. 이 구간을 벗어나는 경우에는 \bar{r}_T 가 음의 값을 갖거나 $(1-r)p > c_T$ 보다 커지는 등 최적 수익 공유 계약의 수립이 불가능하다.

[그림 10]는 소매상이 완벽하게 합리적인 경우를 고려하고 있으며, [그림 10]~[그림 13]은 소매상의 비합리성 정도가 높아짐에 따라 최적 수익 공유 계약의 존재 범위가 어떻게 달라지는지를 도식화하고 있다. 또한 각 그림에서 (a)는 v 에 따라 최적 수익 공유 계약이 존재하는 c 의 범위를 나타내고 있으며,



[그림 10] 합리적인 경우($\alpha=0, \beta=1, \delta=0$)



[그림 11] 비합리성 계수 α, β, δ 가 모두 매우 낮은 경우($\alpha=0.009, \beta=1.003, \delta=0.45$)

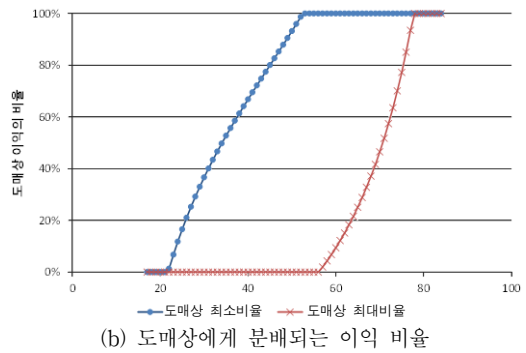
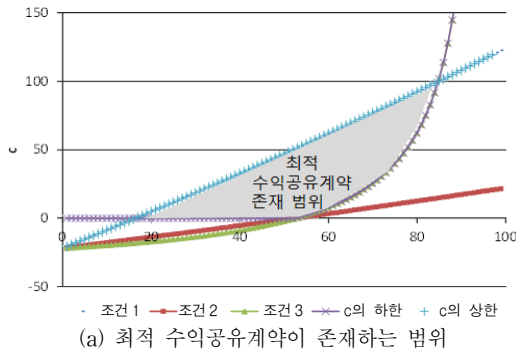
(b)는 동일한 경우에서 v 에 따라 전체 공급 사슬 이익 중 도매상의 이익 분배 비율의 상한과 하한을 함께 나타내고 있다.

먼저 소매상이 완벽한 합리성을 가진 경우($\alpha=0, \gamma=1, \delta=0$)라면 [그림 10](a)에 나타난 직삼각형 범위 내에서는 공급사슬 조정이 가능하게 되는 (c_T, \bar{r}_T) 조합이 존재한다. 또한 [그림 10](b)에서 보이는 바와 같이 이때 모든 v 의 범위에서 도매상과 소매상에 대해 임의의 비율로 이익을 분배하는 계약의 설계가 가능하다.

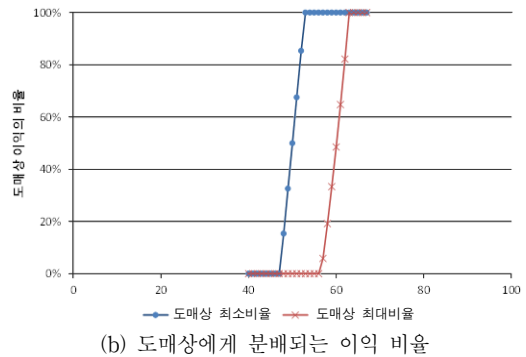
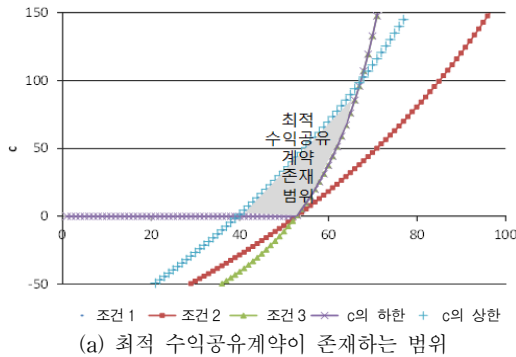
[그림 11]~[그림 13]은 소매상이 비합리성을 가진 경우에 최적 수익 공유 계약이 존재하는 범위를 나타내고 있다. 비합리성 계수 α, β, δ 가 모두 매우 낮은 경우($\alpha=0.009, \beta=1.003, \delta=0.45$), α, β, δ 가 모두 평균인 경우($\alpha=0.108, \beta=1.023, \delta=21.809$)와 α, β, δ 가 모두 매우 높은 경우($\alpha=0.5, \beta=1.2, \delta=95$)의 비

교를 통해 비합리성의 영향을 살펴보고자 한다.²⁾ α, β, δ 가 모두 낮은 경우에서 높은 경우로 갈수록 최적 수익 공유 계약의 존재 범위가 좁아지고 있는 것을 볼 수 있다([그림 11](a)~[그림 13](a)). 소매상의 비합리성 계수가 모두 낮은 경우에는 v 의 모든 구간에서 도매상이 가져갈 수 있는 이익의 비율의 범위가 비교적 넓어서 다양한 방법으로 최적 수익 공유 계약의 설계가 가능하다고 해석할 수 있다(그림 11의 (b)). 하지만 소매상의 비합리성이 증가함에 따라 v 의 좁은 구간에서만 최적 수익 공유 계

2) α, β, δ 의 값은 제 6장 행동실험의 결과로부터 도출된 실제 사람들을 비합리성 계수를 활용하였다. 이는 비합리성 계수에 따른 최적 수익 공유 계약의 존재 범위의 경향을 살펴보기 위함이기 때문에, 실제 사람들의 주문량 의사결정에서 도출한 α, β, δ 의 평균 값을 중심으로 최대 값과 최소 값의 근사치를 사용하였다.



[그림 12] 비합리성 계수 α, β, δ 가 모두 평균인 경우($\alpha=0.108, \beta=1.023, \delta=21.809$)



[그림 13] 비합리성 계수 α, β, δ 가 모두 매우 높은 경우($\alpha=0.5, \beta=1.2, \delta=95$)

약이 존재하게 되며, 이때 도매상과 소매상의 이익 분배 비율도 제한되게 된다. 이는 경우에 따라서는 도매상과 소매상이 모두 받아들이는 최적 수익 공유 계약의 구현이 불가능하게 될 수도 있음을 시사한다. 예를 들면 [그림 13](b)에서 $v=62$ 인 경우에는 도매상이 가져가는 최소 비율이 84%가 되며, 소매상은 공급사슬 전체 이익 722 중 최대 16%인 115.1만을 가져가게 된다. 이 경우 소매상이 계약 이전에 115.1보다 많은 이익을 얻고 있었다면 이러한 최적 수익 공유 계약의 구현은 어려울 것으로 예측할 수 있다.

고자 할 때 소매상의 비합리성을 고려한 수익 공유 비율 \bar{r}_T 를 제시하면 비합리적인 소매상이 Q_T 를 선택하도록 할 수 있는가를 살펴보기 위해 여러 경우의 비합리성 계수를 적용하여 \bar{r}_T 를 도출하였다.³⁾ 그리고 \bar{r}_T 를 적용하였을 때 적용하였을 때의 주문량이 공급사슬 이익이 최대화되는 주문량 Q_T 에 부합하는지를 확인하였다. $p=100, v=20, 40, 60, 80, c=10, 30, 50, 70$ 에 대해 살펴보았다.

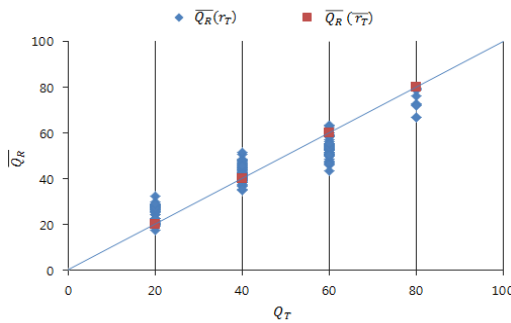
[그림 14]는 Q_T 가 20, 40, 60, 80인 경우에 대해서 실험한 결과이다. 가운데 그려져 있는 45도의 직선은 공급사슬 최적 주문량과 비합리적 소매상의 주

7.5 비합리성 고려에 따른 공급사슬 이익의 변화

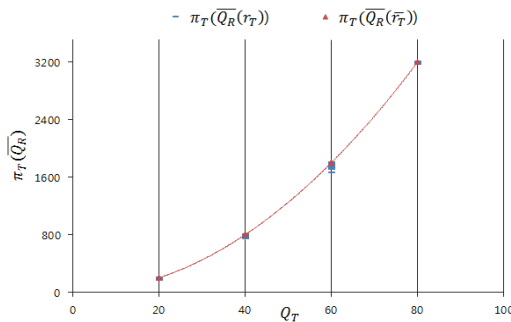
비합리적 소매상을 대상으로 수익 공유 계약을 하

3) 본 절에서 수치 예제를 통해 살펴본 결과를 제 6장의 실제 행동 실험의 결과를 비교하기 위해 α, β, δ 의 값은 제 6장 행동실험의 결과로부터 도출된 결과값을 활용하였다.

문량이 같아지는 곳을 나타내고 있다. r_T 를 제시하였을 때의 비합리적 소매상의 주문량 $\overline{Q_R}(r_T)$ 과 $\overline{r_T}$ 를 제시하였을 때의 주문량 $\overline{Q_R}(\overline{r_T})$ 의 비교를 통해 비합리성을 고려한 수익 공유 비율을 제시하였을 때의 주문량이 고려하지 않은 수익 공유 비율을 제시하였을 때의 주문량보다 Q_T 에 근접하게 나타나는지를 살펴보았다. 그 결과 [그림 14]에서 볼 수 있듯이 $\overline{r_T}$ 를 제시하였을 경우의 주문량이 r_T 를 제시하였을 경우의 주문량보다 Q_T 에 매우 근접하게 나타나는 것을 볼 수 있다. 다시 말해, 소매상의 비합리성을 고려하여 수익 공유 비율을 설계하였을 때 소매상이 공급사슬 이익을 최대화되게 만드는 Q_T 를 주문하도록 하는 것이 가능하다.



[그림 14] r_T 와 $\overline{r_T}$ 에 따른 주문량의 변화



[그림 15] r_T 와 $\overline{r_T}$ 에 따른 공급사슬 이익의 변화

또한 각각의 주문량을 선택했을 경우의 공급사슬 전체 이익이 얼마나 개선 가능한지를 살펴 본 결과, 비합리적 소매상에게 $\overline{r_T}$ 를 제시하였을 경우가 r_T

를 제시하였을 경우보다 공급사슬 전체 이익이 최대 24.10%, 평균 약 2.726% 개선되었다([그림 15] 참조). 이는 비합리성을 고려하여 적절한 계약을 설계하면 공급사슬 이익 개선에 도움이 될 수 있다는 가능성을 보여준다.

8. 결 론

본 연구는 신문판매원 모형에서 비합리적 소매상과 이에 대응하는 도매상으로 이루어진 2계층 공급사슬을 고려하였다. 여기서 비합리적인 소매상은 주문 의사 결정에 있어 반드시 합리적으로 이익을 최대화하는 주문량을 선택하지 않는 소매상을 의미하며, 이는 이미 많은 행동 실험 연구를 통해 입증된 바 있다. 만약 소매상이 비합리적인 주문 행태를 보인다면 이를 고려하여 공급사슬 계약이 수립되어야 한다. 이에 따라 본 연구에서는 공급사슬 전체 이익 최대화 관점에서 소매상의 비합리성에 대응하여 수익 공유 계약을 설계하는 방안에 대해 제시하고자 하였다.

비합리성의 요인은 Schweitzer and Cachon[25], Bostian et al.[10], Becker-Peth et al.[6] 등에서 제시되었던 소매상의 비합리적 주문 행태의 요인들을 종합하여 평균 수렴효과, 전망이론을 고려하였고, 여기에 Becker-Peth et al.[6]에서 제시한 반품가에 대한 민감성과 같은 맥락으로 수익 공유 계약 상황에서 수익 공유 비율에 대해 민감하게 반응하는 비합리성을 가진다고 가정하여 수익 공유 비율에 대한 민감성이라는 새로운 개념을 추가로 고려하였다. 본 연구에서는 이러한 비합리성 요인을 식별하고 이를 모형화하였으며, 이를 기반으로 도출한 비합리적 소매상의 주관적 이익함수로부터 소매상의 주문량 결정식을 도출하였다. 도출된 주문량을 통해 공급사슬 이익이 최대화 되는 수익 공유 계약을 설계하였다. 본 연구에서 제시한 설계 방안의 효과를 검증하기 위해 사람들을 대상으로 행동 실험을 수행하였다.

분석 결과 비합리적인 소매상을 대상으로 할 때, 비합리성을 고려한 수익 공유 비율의 결정이 공급 사

슬 전체의 이익에 상당한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 뿐만 아니라 소매상의 비합리성의 요인과 그 정도에 따라 영향의 범위가 크게 달라질 수 있음을 보였다. 또한 행동 실험을 통해 비합리성을 고려한 계약 상황에서 공급사슬 이익이 최대화되는 주문량을 선택함을 확인하였고, 실제로 비합리성을 고려하여 계약을 설계한 경우 이익 개선의 효과가 있음을 확인하였다.

이러한 결과는 행위자의 비합리성을 고려한 계약 설계의 중요성을 보여주고 있다. 이는 실제 공급사슬에 중요한 시사점을 제공한다. 신문판매원 환경에서 공급사슬 협력을 통해 수익을 증대시킬 수 있음은 이미 널리 입증되고 있으며 이견의 여지가 없다. 그러나 현실에서와 같이 소매상에 비합리성이 존재하는 경우에는 수익에 상당한 수준의 부정적 영향을 미칠 수 있음을 실험 결과는 보여주고 있다. 이는 소매상의 비합리성을 고려하는 것이 공급사슬 전체 이익에 미치는 영향이 상당함을 보여주고 있으며, 이에 따라 공급사슬의 협력 정책 설계 시에 비합리성에 대한 고려도 함께 이루어져야 함을 시사하고 있다.

본 연구는 소매상의 비합리성을 고려한 계약 설계에 관한 기존 연구들에서 아직 다루진 바 없는 수익 공유 계약에 대해 고려하였다. 또한 Becker-Peth et al.[6]에서 비합리성을 고려한 반품 계약 설계를 통해 공급사슬의 성과를 개선할 수 있음을 입증한 것에서 한발 더 나아가 수익 공유 계약에서 최적 계약을 닫힌 식(closed form)으로 도출함으로써 비합리성 정도에 따른 공급 사슬 영향 등을 분석할 수 있게 되었다.

본 연구에서는 최종 수요 분포를 균등분포로 가정하고 있으나, 추후의 연구에서는 더 일반적인 수요 분포에 대한 도출이 필요하다. 또한 소매상 주문량의 무작위 오차(random error)에 따른 영향을 고려하지 못했다는 한계를 가진다. 추후 연구에서는 수익 공유 계약 이외에 수량 할인 계약 등에 대한 응용을 통해 다양한 공급사슬 정책의 현실적 모형의 제시도 의미 있는 연구주제가 될 것이다.

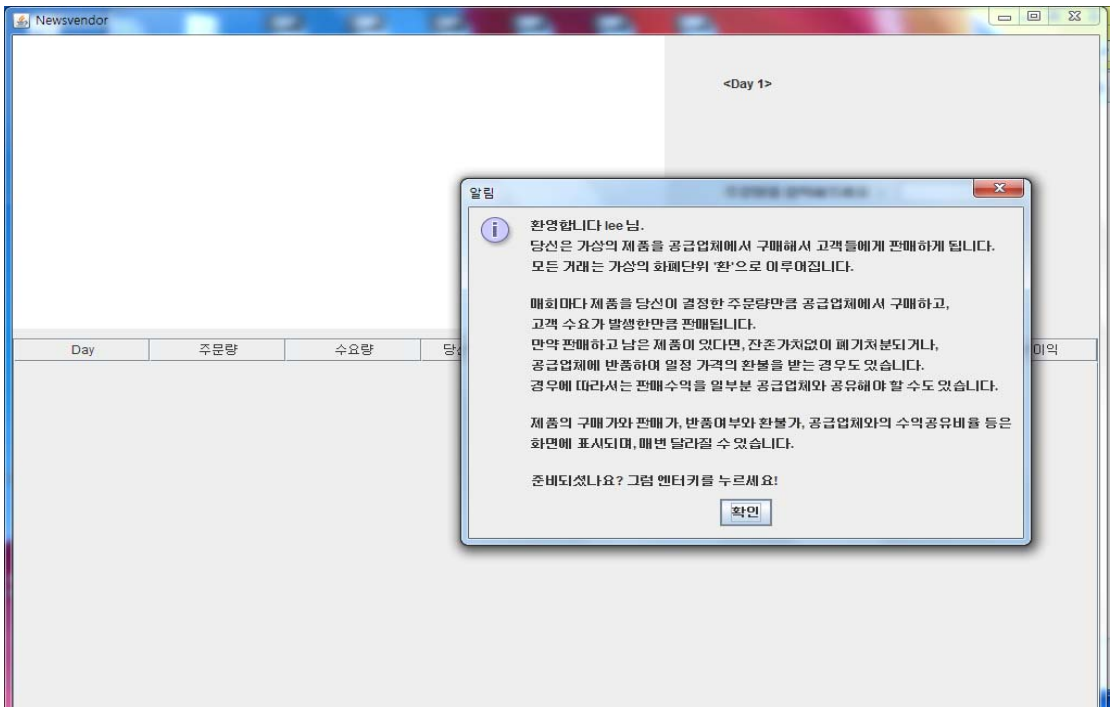
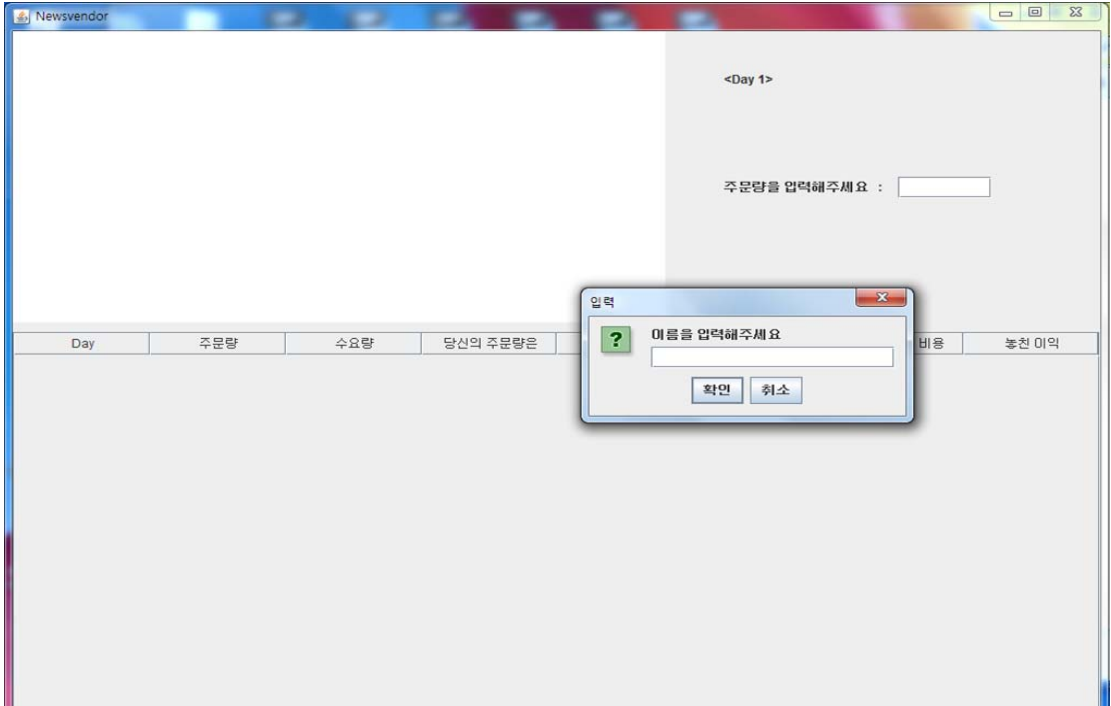
참 고 문 헌

- [1] 김승범, 최병철, “보상형 클라우드 펀딩 : 프로젝트의 펀딩 성공 이후 보상 약속 이행에 영향을 미치는 요인”, 『한국생산관리학회지』, 제27권, 제1호(2016), pp.47-68.
- [2] 박해철, “복수의 공급업체가 경쟁하는 공급사슬의 수입공유 거래 모형”, 『한국경영과학회지』, 제37권, 제1호(2012), pp.45-59.
- [3] 박해철, 조재은, “대여산업 공급사슬의 최적 수입공유모형”, 『한국경영과학회지』, 제34권, 제3호(2009), pp.55-69.
- [4] 이정민, 서용원, 박찬규, “소매상의 제한된 합리성이 반품가 결정에 미치는 영향에 대한 분석적 연구”, 『한국경영과학회지』, 제38권, 제3호(2013), pp.87-101.
- [5] 조 건, 소순후, “공급사슬 파트너십 하에서 공급자-구매자 이익공유와 가격결정 정책에 대한 계량 모형”, 『한국경영과학회지』, 제31권, 제1호(2006), pp.73-82.
- [6] Becker-Peth, M., E. Katok, and U.W. Thonemann, “Designing Buyback Contracts for Irrational But Predictable Newsvendors,” *Management Science*, Vol.59, No.8(2013), pp.1800-1816.
- [7] Benzion, U., Y. Cohen, R. Peled, and T. Shavit, “Decision-making and the newsvendor problem : an experimental study,” *Journal of the Operational Research Society*, Vol.59, No.9(2008), pp.1281-1287.
- [8] Bolton, G.E. and E. Katok, “Learning by doing in the newsvendor problem : A laboratory investigation of the role of experience and feedback,” *Manufacturing and Service Operations Management*, Vol.10, No.3 (2008), pp.519-538.
- [9] Bolton, G.E., A. Ockenfels, and U.W. Thonemann, “Managers and Students as Newsvendors,” *Management Science*, Vol.58, No.12

- (2012), pp.2225-2233.
- [10] Bostian, A.J.A., C.A. Holt, and A.M. Smith, "Newsvendor 'Pull-to-Center' Effect : Adaptive Learning in a Laboratory Experiment," *Manufacturing and Service Operations Management*, Vol.10, No.4(2008), pp.590-608.
- [11] Cachon, G.P., "Supply Chain Coordination with Contracts," In S.C. Graves and A.G. d. Kok (Eds.), *Handbooks in Operations Research and Management Science*, Elsevier, Vol.11, pp.227-339.
- [12] Cachon, G.P. and M.A. Lariviere, "Supply Chain Coordination with Revenue-Sharing Contracts : Strengths and Limitations," *Management Science*, Vol.51, No.1(2005), pp.30-44.
- [13] Carlson, J.A. and T.B. O'Keefe, "Buffer Stocks and Reaction Coefficients : An Experiment with Decision Making under Risk," *The Review of Economic Studies*, Vol.36, No.4(1969), pp.467-484.
- [14] Dimitriou, S., S. Robinson, and K. Kotiadis, "The impact of human decision makers' individualities on the wholesale price contract's efficiency : Simulating the newsvendor problem," *Paper presented at the Simulation Conference (WSC)*, Proceedings of the Winter. 2009
- [15] Eeckhoudt, L., C. Gollier, and H. Schlesinger, "The Risk-Averse (and Prudent) Newsboy," *Management Science*, Vol.41, No.5(1995), pp. 786-794.
- [16] Elahi, E., N. Lamba, and C. Ramaswamy, "How can we improve the performance of supply chain contracts? An experimental study," *International Journal of Production Economics*, Vol.142, No.1(2013), pp.146-157.
- [17] Fisher, M. and A. Raman, "Reducing the Cost of Demand Uncertainty Through Accurate Response to Early Sales," *Operations Research*, Vol.44, No.1(1996), pp.87-99.
- [18] Ho, T.H. and J.J. Zhang, "Designing pricing contracts for boundedly rational customers : Does the framing of the fixed fee matter?," *Management Science*, Vol.54, No.4(2008), pp. 686-700.
- [19] Ho, T.-H., N. Lim, and T.H. Cui, "Reference Dependence in Multilocation Newsvendor Models : A Structural Analysis," *Management Science*, Vol.56, No.11(2010), pp.1891-1910.
- [20] Jinlou, Z. and F. Song, "Modeling for Return Policy with Retailer's Combined Decision Bias," *Paper presented at the Risk Management and Engineering Management*, ICRMEM International Conference on, 2008.
- [21] Kahneman, D. and A. Tversky, "Prospect Theory : An Analysis of Decision under Risk," *Econometrica*, Vol.47, No.2(1979), pp.263-291.
- [22] Kahneman, D., P. Slovic, and A. Tversky, "Judgment under Uncertainty : Heuristics and Biases," *Cambridge University Press*, 1982.
- [23] Katok, E. and D.Y. Wu, "Contracting in Supply Chains : A Laboratory Investigation," *Management Science*, Vol.55, No.12(2009), pp. 1953-1968.
- [24] Koulamas, C., "A Newsvendor Problem with Revenue Sharing and Channel Coordination," *Decision Sciences*, Vol.37, No.1(2006), pp.91-100.
- [25] Schweitzer, M.E. and G.P. Cachon, "Decision bias in the newsvendor problem with a known demand distribution : Experimental evidence," *Management Science*, Vol.46, No.3, pp.404-420.
- [26] Shen, S. and H. Wang, "Supplier's pricing decision when facing irrational retailers," *Paper presented at the Service Systems and Ser-*

- vice Management (ICSSSM)*, 8th International Conference on, 2011.
- [27] Sterman, J.D., "Modeling Managerial Behavior : Misperceptions of Feedback in a Dynamic Decision Making Experiment," *Management Science*, Vol.35, No.3(1989), pp.321-339.
- [28] Su, X.M., "Bounded Rationality in News vendor Models," *Manufacturing and Service Operations Management*, Vol.10, No.4(2008), pp.566-589.

〈부록〉 실험화면



Newsvendor

<오늘의 계약 조건>

계약 형태 : 도매가 정책

도매가 = 40

판매가 = 100

못팔고 남은 물건은 폐기처분됩니다.

<Day 46>

주문량을 입력해주세요 :

Day	주문량	수요량	당신의 주문량은	오늘의 수익	누적 수익	남아서 생긴 비용	총천 이익
23	57	85	28개 부족함	428	16085	0	210
24	6	93	87개 부족함	120	16205	0	1740
25	26	76	50개 부족함	1820	18025	0	3500
26	43	53	10개 부족함	1290	19315	0	300
27	74	86	12개 부족함	3700	23015	0	600
28	53	38	15개 남음	500	23515	450	0
29	74	6	68개 남음	284	23799	136	0
30	8	36	28개 부족함	260	24059	0	910
31	53	4	49개 남음	-3488	20571	3528	0
32	74	83	9개 부족함	3700	24271	0	450
33	52	85	33개 부족함	520	24791	0	330
34	74	60	14개 남음	4032	28823	168	0
35	25	22	3개 남음	840	29663	150	0
36	64	54	10개 남음	1340	31003	280	0
37	73	71	2개 남음	3510	34513	40	0
38	75	21	54개 남음	-2274	32239	2484	0
39	45	1	44개 남음	-546	31693	616	0
40	37	4	33개 남음	-724	30969	924	0
41	8	26	18개 부족함	360	31329	0	810
42	53	98	45개 부족함	1988	33316	0	1688
43	45	8	37개 남음	-710	32606	1110	0
44	73	65	8개 남음	1822	34428	128	0
45	63	32	31개 남음	1450	35878	310	0

Newsvendor

<오늘의 계약 조건>

계약 형태 : 수익 공유 정책

도매가 = 10

판매가 = 100

도매상이 가져가는 비율 = 5%

내가 가져오는 비율 = 95

못팔고 남은 물건은 폐기처분됩니다.

<Day 36>

주문량을 입력해주세요 :

Day	주문량	수요량	당신의 주문량은	오늘의 수익	누적 수익	남아서 생긴 비용	총천 이익
1	45	85	40개 부족함	1350	1350	0	1200
2	36	71	35개 부족함	2520	3870	0	2450
3	46	61	15개 부족함	2415	6285	0	788
4	73	32	41개 남음	1910	8195	410	0
5	74	18	56개 남음	1284	9479	336	0
6	5	46	41개 부족함	350	9829	0	2870
7	25	90	65개 부족함	1062	10892	0	2762
8	46	24	22개 남음	1940	12832	220	0
9	45	54	9개 부족함	1912	14744	0	382
10	67	86	19개 부족함	3350	18094	0	950
11	85	4	81개 남음	-1338	16756	1458	0
12	37	41	4개 부족함	1110	17866	0	120
13	3	28	25개 부족함	165	18031	0	1375
14	6	40	34개 부족함	60	18091	0	340
15	47	47	정확함	118	18208	0	0
16	86	20	66개 남음	-460	17748	660	0
17	56	70	14개 부족함	3220	20968	0	805
18	93	8	85개 남음	-3660	17308	3740	0
19	27	90	63개 부족함	270	17578	0	630
20	15	25	10개 부족함	562	18141	0	375
21	25	39	14개 부족함	625	18766	0	350
22	46	11	35개 남음	-2050	16716	2380	0