



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공 학 석 사 학 위 논 문

생산능력 투자가 필요한 공급망에서
교섭력을 고려한 생산능력
최적화 공급계약

2022년 8월

부 경 대 학 교 대 학 원

산업및데이터공학과

정성문

공 학 석 사 학 위 논 문

생산능력 투자가 필요한 공급망에서
교섭력을 고려한 생산능력
최적화 공급계약

지도교수 구평희

이 논문을 석사학위논문으로 제출함

2022년 8월

부 경 대 학 교 대 학 원

산업및데이터공학과

정성문

정성문의 공학석사 학위논문을 인준함.

2022년 8월 26일



위원장 공학박사 고시근 (인)

위 원 공학박사 김영진 (인)

위 원 공학박사 구평희 (인)

목 차

표목차

그림목차

논문요약

1. 서론.....	1
2. 기존 연구.....	4
3. 모델링.....	10
3.1. 문제정의.....	10
3.2. Centralized Chain.....	14
3.3. Decentralized Chain.....	17
3.4. 투자비용 공유계약.....	19
3.5. 생산능력 보상계약.....	22
4. 수치예제.....	26
4.1. Centralized Chain.....	27
4.2. Decentralized Chain.....	28
4.3. 투자비용 공유계약.....	30
4.4. 생산능력 보상계약.....	32

5. 결론.....	36
------------	----

참고문헌

영문초록



표 목차

표 1. 기존 연구	9
표 2. 논문에서 사용되는 기호	10
표 3. 수익 공유비율 ϕ 에 따른 투자비용 공유비율 θ 와 손실 보상비용 γ ...	34



그림 목차

그림 1. 공급망 구성원의 의사 결정 절차	11
그림 2. 생산능력 투자가 필요한 일반적 상황의 공급망	13
그림 3. 생산능력 투자가 필요한 공급망의 타임라인	14
그림 4. Centralized Chain	15
그림 5. Decentralized Chain	17
그림 6. 투자비용 공유계약이 적용된 공급망의 타임라인	19
그림 7. 투자비용 공유계약이 적용된 공급망	20
그림 8. 생산능력 보상계약이 적용된 공급망의 타임라인	23
그림 9. 생산능력 보상계약이 적용된 공급망	23
그림 10. 수익공유비율 $\emptyset$ 에 따라 성립하는 계약의 범위	25
그림 11. 수치 예제의 공급망	26
그림 12. 균일 분포를 따르는 수요의 누적 분포 함수	27
그림 13. 수익공유에서 수익공유비율 $\emptyset$ 에 따른 공급망 이익	29
그림 14. 공유계약에서 수익공유비율 $\emptyset$ 에 따른 공급망 이익	32
그림 15. 보상계약에서 수익공유비율 $\emptyset$ 에 따른 공급망 이익	33
그림 16. 계약에 따른 공급망 구성원의 이익.....	35

생산능력 투자가 필요한 공급망에서 교섭력을

고려한 생산능력 최적화 공급계약

정성문

부경대학교 대학원 산업및데이터공학과

요 약

본 연구는 부품공급업체와 완제품생산업체로 구성된 공급망에서 공급망 구성원의 교섭력을 고려하여 최적의 생산능력 확보를 위한 공급계약 문제를 다룬다. 일반적으로 부품공급업체는 수요의 변동성 때문에 투자 위험을 갖고 있고, 생산능력 확보에 보수적이다. 부품공급업체가 충분한 생산능력을 확보하지 못하면 완제품생산업체의 생산능력에 관계없이 부품공급업체의 생산능력 이상으로 제품을 생산할 수 없다. 따라서 공급망의 구성원들이 최적의 이익을 얻기 위해서는 생산능력을 최적화하는 것이 필요하다. 본 연구는 공급망 구성원의 상대적인 교섭력이 주어진 환경에서 공급망 전체 최적화를 위한 공급계약 방안인 투자비용 공유계약과 초과능력 보상계약을 제시한다. 두 계약은 공급업체의 투자위험을 생산업체가 공유하여 최적의 생산능력을 확보할 수 있도록 유도한다. 투자비용 공유계약은 완제품생산업체가 부품공급업체의 투자비용을 공유하고, 초과능력 보상계약은 완제품생산업체가 부품공급업체의 낭비된 생산능력을 보상한다. 본 연구에서는 공급자의 교섭력이 큰 경우 공유계약을 적용하고, 생산자의 교섭력이 큰 경우 보상계약을 적용하여 최적의 생산능력을 확보할 수 있음을 보여주고 있다. 본 연구는 부품을 공급받아 완제품으로 생산하는 산업체에서 최적의 생산능력 확보를 위해 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

제 1 장. 서론

본 연구는 공급업체로부터 부품을 공급받아 생산업체가 조립작업 등을 통하여 완제품으로 완성하는 공급자-생산자로 이루어진 2 단계 공급망에서의 공급계약 문제를 다룬다. 특히 공급망 구성원이 독자적으로 의사결정을 하는 분권화된 공급사슬에서 공급사가 선제적으로 생산능력에 투자하는 상황에서 공급망 전체 최적화를 위한 공급계약 설계 방안을 연구한다. 일반적으로 제품 생산을 위한 설비투자는 장시간 소요되므로 설비투자에 대한 의사결정은 수요가 불확실한 상태에서 이루어지게 된다 (Hu, 2021). 이러한 불확실한 수요에 따른 투자 위험은 보통 해당 자본을 투자하는 기업이 부담하므로 (Wu et al. 2005) 부품공급업체는 과잉투자에 대한 리스크로 인해 생산능력 투자에 있어서 보수적이고 이는 결국 공급망 전체 이익을 극대화하는 수준의 투자를 하지 못하게 된다.

본 연구에서 다루는 공급망의 완제품생산업체는 유일한 부품공급업체를 갖고 있으며, 부품공급업체는 부품의 납품을 위해 사전에 생산능력을 확보해야 한다. 생산능력 확보는 긴 리드타임을 갖고 있어, 사전에 생산능력을 확보하지 못한 경우 제품 판매 시즌에 추가 수요 발생 시 대응이 불가능하며, 완제품생산업체는 부품공급업체로부터 전용부품을 공급받기 때문에 현물시장이 없는 상황을 가정한다. 또한 공급망 구성원들이 서로의 정보를 대칭적으로 공유한다고 가정한다. 이러한 비즈니스 상황은 부품공급업체로부터 전용부품을 공급받는 경우에서 자주 볼 수 있다. 고객사에서 설계도를 받아

반도체를 납품하는 파운드리 기업의 경우 고객사의 전용 반도체 생산을 위해 사전에 생산능력을 투자해야 하며, 현물시장이 존재하지 않는다. 또한 완성차 생산업체의 경우도 차량 생산에 일정부분 전용부품을 사용한다. 상대적으로 더 많은 전용부품이 사용되는 전기차와 하이브리드차의 수요 증가로 자동차 부품회사의 생산능력 확보는 점점 더 중요해지고 있다.

앞에서 언급하였듯이 부품공급업체에서는 과잉투자에 대한 위험 때문에 설비능력 투자 의사결정에 있어서 보수적인 경우가 대부분이다. 이는 결국 공급망 전체의 비효율성을 유발하는 이중마진(double marginalization)현상을 초래하게 된다. 이중마진 현상이란 공급망 멤버가 각자의 이익을 최대화하기 위한 의사결정이 전체 공급망 측면에서는 효율을 감소시켜 공급망 전체최적화를 달성하지 못하는 현상을 말한다.

이러한 이중마진 현상에 의한 공급망의 비효율성은 수직적 통합 (즉 하나의 기업이 공급망 구성원을 관리함) 환경 하에서의 의사결정으로 해결될 수 있다 (Cachon, 2003). 그러나 수직적 통합 환경은 현실적으로 불가능한 경우가 많으므로 공급망 구성원 간의 적절한 공급계약에 의해 전체 최적화를 달성 하려는 연구가 최근 많이 진행되고 있다. 반품계약 (Pasternack, 2005), 수익공유계약 (Veen and Venugopal, 2005), 수량유연성계약 (Tsay, 1999)이 그 대표적인 예이다. 그러나 이러한 계약형태에서는 대부분 공급자의 생산능력으로 고려하고 있지 않다. 공급자의 생산능력 투자를 고려한 공급계약은 Yang et al. (2017), Li, et al. (2021), Shantia elt al. (2021) 에서 찾아 볼수 있으나, 이들 논문에서는 공급망 구성원의 상대적 market power 를 나타내는 교섭력의 영향을 고려하지 않고 있다. 최적의 공급계약이

도출되었더라도 공급망 구성원들의 상대적 교섭력을 만족하지 못한다면 그 결과를 적용하는데 한계가 있다.

본 연구에서 제시하는 공급계약과 기존의 공급계약의 차별점은 교섭력에 대한 고려라고 할 수 있다. 상대적으로 교섭력이 큰 납품업체가 주도하는 계약에 국한되지 않고, 공급망 구성원들의 교섭력에 따른 계약방법과 계약 선택 기준을 제시한다. 공급망 구성원들의 상대적인 교섭력을 고려하여 공급망 전체를 최적화하는 생산능력을 확보하는 방안을 제시한다.

본 연구는 1 장 서론을 시작으로 하여 2 장에서 공급계약과 관련한 기존의 연구에 대해 정리한다. 기존 연구의 한계를 본 연구의 차별점으로 하여 3 장에서 문제에 대해 간단히 정의하고 Centralized Chain 과 Decentralized Chain 을 비교 분석하여 문제를 더 구체적으로 정의한다. 해당 문제를 해결하기 위한 두 가지 계약 방법에 대해 제시한 후, 4 장에서 두 계약에 대해 수치 예제를 통해 실험하고, 5 장에서 본 연구에 대한 결론으로 끝맺는다.

제 2 장. 기존 연구

기존에 연구된 공급계약은 반품 계약(Pasternack, 1985), 수량 유연성 계약(Tsay, 1999), 수익 공유 계약(Veen, Venugopal, 2005) 등이 있다. 반품계약은 공급받은 제품 중에 시즌말까지 판매되지 못하고 남은 미판매 재고를 판매자가 자체적으로 처분하는 대신에 일정한 금액을 받고 생산자에게 반납하는 방식을 말한다. 이때 반품가는 미판매재고의 처분가보다 높게 설정되어 판매자의 입장에서는 반품계약을 통하여 미판매로부터 발생하는 손실위험을 줄일 수 있다. 이러한 위험감소는 판매자가 주문량을 늘리는 역할을 하게 되고 결국 기대되는 판매량이 증가하여 전체 공급망의 총이익을 증가시키게 된다(구평희, 2020). Pasternack(1985)은 반품계약을 통해 위험중립적인 참여자들로 구성된 공급망이 전체 최적화를 이룰 수 있다는 것을 증명하고, 반품계약에서 공급가가 주어지면 공급망 이익을 최대로 하는 최적 반품가는 유일하게 존재한다는 것을 밝혀냈다.

Tsay(1999)는 공급망의 불확실성을 해결하기 위한 방안으로 수량 유연성을 제공하는 공급계약을 제시했다. 수량 유연성 계약에서 소매업체는 최소한의 구매수량을 제시하고 공급업체는 최대 공급 가능 수량을 제시하여 최소 수량과 최대 수량 사이에서 구매 수량의 유연성을 제공하여 공급망의 구성원들이 재고비용과 재고부족 비용을 공유할 동기를 부여한다. 시장 수요의 불확실성을 갖고 있는 소매업체와 공급업체로 구성된 공급망에서 소매업체는 품질 비용을 발생시키지 않기 위해 공급업체에게 과생산을 요구하고,

공급업체는 재고 비용을 발생시키지 않기 위해 소매업체에게 정확한 주문량을 요구하게 된다. 이러한 상반된 요구사항은 공급망 전체에 비효율을 초래하기 때문에 이를 조절할 장치가 필요하다. Tsay(1999)는 적당한 유연성을 제공하는 경우 공급망 전체의 이익을 극대화함을 증명하였고, 이렇게 증가한 이익을 공급망의 유연성에 따라 공급업체와 소매업체에게 배분하는 계약 방법을 제시하였다. 공급업체가 높은 유연성을 제공한 경우 공급업체에 더 많은 이익을 제공하고 더 정확한 수요 예측을 통해 정확한 구매 수량을 제공한 경우 소매업체에게 더 많은 이익을 제공하여 소매업체는 더 정확한 수요 예측을 하게끔 하고 공급업체는 더 높은 유연성을 제공하게끔 하는 동기를 제공한다.

Veen & Venugopal(2005)는 비디오 대여점과 비디오 공급업체가 서로 수익을 공유하는 계약을 분석하여 공급망의 이익을 최대화하는 수익 공유 계약을 제시했다. 수익 공유 계약의 체결을 통해 비디오 공급업체는 비디오 대여점에 훨씬 저렴한 가격으로 비디오를 공급하고 비디오 대여점은 이전보다 훨씬 많은 양의 비디오를 구매할 수 있게 된다. 이로 인해 더 많은 소비자에게 원하는 비디오를 대여할 수 있고, 이는 공급망 전체의 이익 증가를 가져오는 결과를 낳았다. 그리고 이렇게 증가한 이익의 절반을 비디오 공급업체에게 배분함으로써 공급망 전체의 수익을 공유한다. 해당 공급망에서 수익 공유 계약의 체결 결과, 비디오 대여가 75% 상승했고 시장점유율이 1 년만에 25%에서 31%로 상승했다. 그 결과 공급망 전체의 이익은 7% 상승했다. Cachon & Lariviere(2005)는 이러한 수익 공유 계약의 한계에 대해서 분석했다. 수익 공유 계약은 소매업체의 이익을 공급업체와 공유하기 때문에

소매업체의 정보를 공급업체가 파악할 수 있어야 한다. 이러한 특징은 공급망에 관리 비용을 유발한다. 따라서 해당 비용이 소매업체에 치중되는 경우 공급망에 수익 공유 계약을 체결하는 것이 제한될 수 있다. 다음으로 소매업체의 노력은 계약에 명시할 수 없기 때문에 소매업체의 서비스 수준에 따라 공급망의 이익이 제한될 수 있다는 점 또한 시사했다. 따라서 소매업체가 고객에게 높은 수준의 서비스를 제공하고자 하는 동기부여를 위한 방법에 대한 추가 연구가 진행되는 계기가 되었다.

수익 공유 계약은 기존의 계약보다 훨씬 간편하고 단순한 계약으로 공급망의 이익을 상승시킬 수 있다는 장점이 있지만 해당 계약은 소매업체의 이익증가에만 초점이 맞춰져 있어, 해당 계약이 소매업체의 서비스 수준에 영향을 미치지 못한다는 한계가 있었다. 따라서 수익 공유를 기반으로 한 계약에 반품 계약이나 수량할인을 적용시키는 연구가 진행되었다. 박세호, 이영해(2011)는 수익 공유 계약에 반품 계약과 수량할인을 적용하였을 때 어떤 효과가 있는지 연구하였다. 수익 공유 계약에 반품 계약을 적용한 결과 공급망 전체의 이익은 최적화되지만, 공급업체는 기존보다 더 높은 이익을 얻게 되고 소매업체의 이익은 낮아지는 것으로 나타났다. 수익 공유 계약에 수량 유연성 계약을 적용했을 때도 공급업체의 이익은 높아지고 소매업체의 이익은 낮아지는 결과가 나타났다. 박세호, 외(2011)는 수량 유연성 계약을 적용시킨 수익 공유 계약에 대한 후속연구를 통해 공급업체와 소매업체 모두가 win-win 할 수 있는 새로운 계약 방법을 제시했다. 제시된 새로운 계약 방법은 공급자의 측면을 고려하여 공급자의 이익을 증가시킬 수 있는

수량 유연성 계약을 수익 공유 계약에 적용하여 수익 공유 계약의 문제점을 해결했다.

Yang, et al.(2017)은 소매업체가 제조업체의 투자비용을 일정부분 공유하는 계약을 제시했다. 투자비용 공유계약은 제조업체의 투자비용을 소매업체가 조건 없이 일정부분 공유하는 Full capacity cost sharing contract(FCCSC)와 제조업체가 일정 수준의 생산용량을 확보하는 경우에만 투자비용을 공유하는 Partial capacity cost sharing contract(PCCSC), 두 종류가 있다. PCCSC 방법의 경우 소매업체는 상대적으로 많은 투자비용을 지불하고도 상대적으로 낮은 생산용량을 제공받는 것으로 나타났다. 또한 PCCSC 방법에서 투자비용의 공유를 결정하는 threshold 에 따라서도 소매업체와 제조업체가 선호하는 방법이 상이하기 때문에 해당 연구에서는 2 단계 순차적 결정 모델을 제안했다. 소매업체가 먼저 투자비용의 공유비율을 제조업체에게 제시하고, 이에 따라 제조업체는 생산용량 수준을 제시하게 된다. 두 방법 모두 공급망의 이익을 최적화한다는 것을 증명했고, 계약방법과 threshold 에 따라 제조업체와 소매업체가 가져가는 이익의 비율이 달라진다.

Li, et al.(2021)은 생산능력을 확보하는데 긴 시간이 걸리는 하이테크 산업에서 생산능력을 예약하는 계약을 제시했다. 생산능력 예약계약을 위한 파라미터로는 예약비용, 행사비용, 패널티비용이 사용된다. 해당 연구에서는 생산능력 예약계약과 수량 유연성 계약을 비교 분석하였으며, 수량 유연성 계약의 경우 소매업체의 이익이 높게, 생산능력 예약계약의 경우 제조업체의 이익이 높게 나타났다. 또한, 상대적으로 높은 시장 교섭력을 가진 제조업체의 경우 생산능력 예약계약을 선호하는 점을 언급했다.

위의 투자비용 공유계약과 생산능력 예약계약 모두 공급망의 생산능력을 최적화하는 계약방법을 제시했지만, 공급망 구성원의 교섭력을 고려하지 않았다. Shantia, et al.(2021)은 기술 투자가 필요한 공급망에서 교섭력이 생산능력 투자에 미치는 영향을 연구했다. NC(no contract), PC(price commitment), SI(shared investment)의 세 가지 경우를 비교했으며, 세 경우 모두 공급망 구성원의 교섭력에 따라 공급망의 이익이 달라졌다. 따라서, 생산능력에 대한 투자가 필요한 공급망의 최적화를 위해서는 교섭력에 대한 고려가 필요하다. Shantia, et al.(2021)의 연구에서 SI(shared investment)계약의 경우 0~1 사이의 값을 갖는 모든 범위의 교섭력에 대해 NC(no contract)보다 더 많은 이익을 얻는 것으로 나타났지만, 항상 최적의 이익을 얻지는 못했다. 본 연구에서는 교섭력에 관계없이 항상 최적의 이익을 얻는 생산능력의 확보를 위해 투자비용 공유계약과 생산능력 보상계약을 제시한다. 두 계약은 공급망 구성원의 교섭력에 따라 계약의 성립 여부가 결정된다. 투자비용 공유계약과 생산능력 보상계약을 통해 모든 범위의 교섭력에 대해 항상 최적의 이익을 얻는 생산능력을 확보할 수 있다. 아래 표 1 에서 기존 연구의 연구 범위를 정리하였다.

표 1. 기존 연구

계약	생산능력 투자	수익 공유	능력비용 공유	교섭력	최적화
수량 유연성 계약 (Andy Tsay)	X	X	X	X	O
수익 공유 계약 (Veen, Venugopal)	X	O	X	X	O
수익 공유 반품 계약 (박세호, 이영해)	X	O	X	X	O
수익 공유 할인 계약 (박세호, 이영해)	X	O	X	X	O
투자 비용 공유 계약 (Feng Yang, et al.)	O	X	O	O	O
생산능력 예약 계약 (Jianbin Li, et al.)	O	X	X	O	O
투자 비용 공유 계약 (Ali Shantia, et al.)	O	X	O	O	X
본 연구	O	O	O	O	O

제 3 장. 모델링

3.1. 문제정의

본 연구에서는 완제품 생산자가 단일 부품 공급자로부터 부품을 공급받아 완제품으로 완성하여 판매하는 공급자-생산자로 이루어진 2단계 공급망을 대상으로 공급망 전체 이익을 최대로 하는 최적의 생산능력 결정을 위한 공급계약 방안을 연구한다. 공급자가 공급하는 부품은 생산자가 전용으로 필요한 종속부품으로 이 부품에 대한 현물 시장은 존재하지 않는다고 가정한다. 따라서, 수요가 생산능력보다 적으면 초과되는 생산능력은 과투자 손실로 이어지고, 반대로 수요가 생산능력을 초과하면 품질 손실이 발생한다. 편의를 위하여 본 논문에서 사용되는 기호와 그에 대한 설명이 표 2에 정리되어 있다.

표 2. 논문에서 사용되는 기호

기호	내용
K_1, K_2, K_{sc}	부품공급업체, 완제품생산업체, 공급망의 생산능력
c_m	부품공급업체의 단위당 생산비용
c_r	완제품생산업체의 단위당 생산비용
k_m	부품공급업체의 단위당 생산능력 투자비용
k_r	완제품생산업체의 단위당 생산능력 투자비용
p	완제품 판매가격
θ	부품공급업체의 생산능력 투자비용 부담 비율

$\emptyset$	부품공급업체의 판매수의 공유 비율
γ	부품공급업체의 초과능력에 대한 완성품생산업체의 단위당 보상 비용
x	시장 수요(확률변수)
$S(K)$	판매량(생산량, 공급량)의 기댓값
$I(K)$	초과능력의 기댓값
π	이익의 기댓값
q	생산량
sc, m, r	공급망, 부품공급업체, 완성품생산업체의 첨자

공급망의 생산능력은 예측된 수요를 기반으로 결정된다. 수요 x 는 생산자가 시장을 조사하여 예측하여 확률적으로 알고 있고, 확률밀도함수 $f(\cdot)$, 누적분포함수 $F(\cdot)$ 를 따른다고 가정한다. 제품의 판매가격은 정해져 있고 단위당 투자비용 및 생산비용은 알려져 있으며, 모든 정보는 공급자와 생산자 양측에게 동일하게 알려져 있다고 가정한다. (즉, 대칭적 정보 공유) 공급망 구성원 간의 기본적인 의사 결정 절차는 그림 1과 같다.

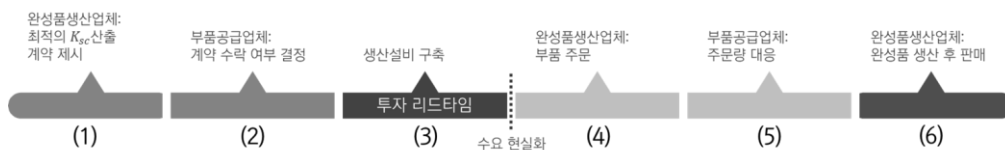


그림 1. 공급망 구성원의 의사 결정 절차

(1) 생산자는 수익과 비용과 관련된 파라미터와 예측된 수요를 기반으로 이익을 최대화 하는 생산능력 K 를 산출한 후 공급계약을 수립하여 공급자에게 제시한다. 계약내용은 계약 형태에 따라 상이할 수 있으며,

확보할 생산능력, 공급가 (또는 수익공유비율), 투자비용공유율 (투자비용 공유의 경우), 과투자보상비율 (보상계약의 경우) 등이 포함된다.

- (2) 공급자는 계약내용을 확인하고 계약 수락 여부를 결정한다.
- (3) 생산자와 부품 공급자는 K 만큼의 능력을 미리 확보한다.
생산능력투자비는 규모에 비례한다고 가정한다.
- (4) 제품의 판매시점이 되면 생산자는 확정된 수요를 기반으로 부품공급자에게 부품을 주문한다.
- (5) 부품공급자는 생산능력 한도 내에서 주문량을 최대한 대응해 준다.
- (6) 생산업체는 공급받은 부품을 이용하여 완제품으로 만들고 고객에게 판매한다.

완성품 생산자와 부품 공급자는 자신들의 이익을 최대화하기 위한 의사결정을 하게 된다. 이익은 수익에서 비용을 감하여 계산된다. 여기서 수익은 판매에 의해서 창출되고 판매량은 생산능력 K 와 실제수요 x 에 의해 결정된다. 즉, $x \geq K$ 이면 (실제수요가 생산능력보다 큰 경우) K 만큼 생산하여 판매되고, $x < K$ 이면 (실제수요가 생산능력보다 작은 경우) 수요만큼 생산해서 판매하게 된다. 따라서 부품공급업체의 부품 공급량(동일하게 판매량)은 $\min(x, K)$ 으로 표현할 수 있다. 공급업체가 생산하여 공급해 주는 부품 수의 기댓값 $S(K)$ 는 아래와 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 S(K) &= E[\min(x, K)] = \int_0^K xf(x)dx + \int_K^\infty Kf(x)dx \\
 &= KF(K) - \int_0^K F(x)dx + K(1 - F(K)) = K - \int_0^K F(x)dx \quad (1)
 \end{aligned}$$

생산능력이 K 인 상태에서 x 만큼 생산하여 공급해 주면 생산에 투입하지

못하고 남은 잉여생산능력은 $(K - x)^+$ 가 된다. (여기서 $(a)^+$ 는 $\max(a, 0)$ 을 의미함.) 잉여생산능력의 기댓값 $I(K)$ 는 생산능력에서 생산량의 기댓값을 뺀 값이므로 식 (1)로부터 다음과 같이 구할 수 있다.

$$I(K) = E[(K - x)^+] = K - S(K) = \int_0^K F(x)dx \quad (2)$$

생산능력 투자가 필요한 일반적 상황의 공급망에서 부품공급업체는 제품의 수요에 따라 최적의 이익이 발생하도록 생산설비에 투자하고 이를 완제품생산업체에 납품한다. 완제품생산업체는 부품을 납품 받아 완제품을 생산하고 고객에게 제품을 판매한다. 이를 그림으로 나타내면 그림 2와 같다.

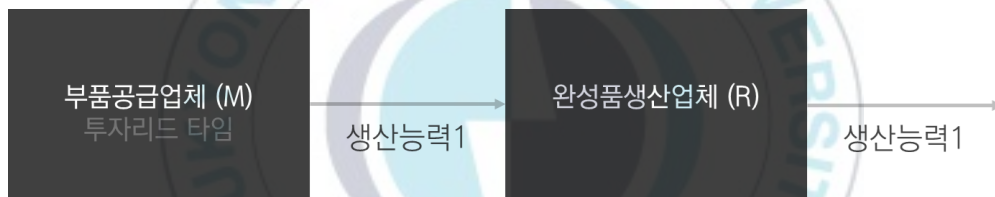


그림 2. 생산능력 투자가 필요한 일반적 상황의 공급망

이 과정에서 부품공급업체는 완제품생산업체에게 제품을 납품하면서 마진을 남기고 완제품생산업체는 고객에게 제품을 판매해 마진을 남긴다. 이러한 이중마진 현상 때문에 공급망 전체의 마진이 최적화되지 않고 개별 구성원이 자신의 이익만을 최대화하는 선택을 하게 된다. 일반적으로 부품공급업체는 수요 변동성에 따른 리스크 때문에 최적의 생산능력보다 적은 생산능력을 확보하게 된다. 완제품생산업체가 충분한 생산능력을 확보한다 하더라도 부품공급업체의 생산능력 이상으로는 생산을 할 수 없다. 제품 판매 단계에서 실제 수요가 많이 발생한다 하더라도 생산능력 확보에는 긴 시간이 걸리기 때문에 실제 수요에 대응할 수 없다. 따라서 공급망의 이중마진 현상을

해결하기 위해 공급망 전체의 이익이 개별 구성원에게 돌아가도록 하는 방안이 필요하다.

다음으로 부품공급업체의 생산능력 확보를 위한 투자 리스크를 완화하는 방안이 필요하다. 부품공급업체가 충분한 생산능력을 확보하여 공급망 이익이 전체 최적화가 된다 하더라도 투자설비를 통한 수익을 창출하는 데는 상당히 긴 시간이 걸리기 때문에 부품공급업체의 경영이 악화되어 사업을 포기하게 되는 상황이 발생한다. 해당 공급망의 타임라인은 그림 3에서 확인할 수 있다.



그림 3. 생산능력 투자가 필요한 공급망의 타임라인

이러한 현상을 해결하기 위해 본 연구에서는 두 가지 공급 계약 방법 즉, 투자비용 공유계약과 생산능력 보상계약을 제시한다. 투자비용 공유계약은 생산능력 투자에 대한 부품공급업체의 위험을 줄이기 위해 완성품생산업체가 부품공급업체의 생산능력 투자비용의 일정부분을 부담하는 계약형태이다. 반면에 생산능력 보상계약은 과투자된 부품공급업체의 생산능력에 대해 그 투자비의 일정부분을 완성품생산업체가 부담하는 계약이다.

3.2. Centralized Chain

Centralized Chain 에서는 공급망 구성원들이 공급망 전체의 이익이 최대가 되도록 의사결정을 한다. 공급망 구성원들이 부품과 완성품을 동일한 기업에서 생산하는 수직 통합 환경을 가정하고 생산능력에 대한 의사결정을 하면 공급망 전체의 이익을 최대화할 수 있다. (Cachon, 2003) 부품공급업체의 생산능력이 K_1 이고 완성품생산업체의 생산능력이 K_2 일 때 $K_1 < K_2$ 이면 완성품생산업체의 생산능력에 관계없이 공급망의 생산능력은 K_1 이므로 Centralized Chain 에서 $K_1 = K_2$ 이다. 해당 공급망을 그림으로 나타내면 그림 4 와 같다.

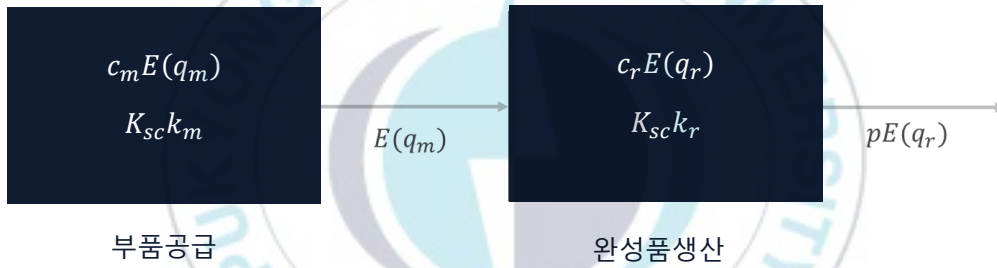


그림 4. Centralized Chain

이때, 공급망은 공급망의 최대생산능력이상으로 제품을 생산할 수 없고, 또한 수요 이상으로 제품을 생산하지 않는다. 따라서 공급망의 생산량 q_{sc} 는 다음과 같다.

$$q_{sc} = \min[x, K_{sc}] \quad (3)$$

이를 통해 공급망의 기대생산량을 구해보면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} E(q_{sc}) &= E\min[x, K_{sc}] = \int_0^{K_{sc}} xf(x) dx + \int_{K_{sc}}^{\infty} K_{sc}f(x)dx \\ &= K_{sc} - \int_0^{K_{sc}} F(x)dx \end{aligned} \quad (4)$$

공급망이 $E(q_{sc})$ 만큼 제품을 생산했을 때 기대이익은 매출에서 생산비용과 투자비용을 제외한 다음 식과 같다.

$$\pi_{sc}(K_{sc}) = pE(q_{sc}) - (c_m + c_r)E(q_{sc}) - K_{sc}(k_m + k_r) \quad (5)$$

공급망의 최적 생산능력을 구하기 위해 공급망의 이익식을 K_{sc} 에 대해 편미분하면 다음과 같다.

$$\frac{\partial \pi_{sc}(K_{sc})}{\partial K_{sc}} = (p - c_m - c_r)[1 - F(K_{sc})] - (k_m + k_r) \quad (6)$$

공급망의 이익식의 이계도함수는 다음과 같고, 모든 K_{sc} 에 대해 음수이므로 공급망의 이익식은 위로 볼록한 모양이며 공급망의 이익을 최대로 하는 생산능력 K_{sc} 는 유일하다.

$$\frac{\partial^2 \pi_{sc}(K_{sc})}{\partial K_{sc}^2} = (p - c_m - c_r)[-f(K_{sc})] < 0 \quad (7)$$

이때, 공급망의 이익을 최대로 하는 최적 생산능력은 다음과 같다.

$$K_{sc}^* = F^{-1}\left(1 - \frac{k_m + k_r}{p - c_m - c_r}\right) \quad (8)$$

완성품생산업체는 공급망 전체의 이익을 최대로 하는 K_{sc}^* 의 능력을 구축하는 것이 최적이다. 완성품생산업체의 생산능력은 자체생산능력 뿐 아니라 부품공급업체의 공급능력에 의해서도 영향을 받는다. 부품공급업체의 생산능력이 K_{sc}^* 보다 작으면 완성품생산업체의 생산능력이 K_{sc}^* 보다 부품공급 부족으로 K_{sc}^* 를 모두 활용할 수 없고, 반대로 K_{sc}^* 보다 크면 주문량이 K_{sc}^* 를 초과하지 않을 것이므로 초과능력손실이 발생한다. 따라서 부품공급업체의 생산능력도 완성품생산업체의 생산능력과 같이 K_{sc}^* 로 하는

것이 합리적이다. 본 논문에서는 부품공급업체의 생산능력 의사결정 과정에서 자신의 이익을 최대로 하기 위한 투자규모가 전체 최적화를 위한 투자규모와 동일하게 되도록 하는 공급계약을 제시한다.

3.3. Decentralized Chain

수익공유가 적용된 Decentralized Chain에서는 공급망의 구성원들이 자신의 이익이 최대가 되도록 의사결정을 한다. 부품공급업체와 완제품생산업체는 생산용량 구축을 위해 투자를 하고 제품을 생산한다. 부품공급업체는 완제품생산업체로부터 주문을 받아 부품을 납품하고 완제품생산업체는 이를 가공하여 고객에게 판매한다. 제품 판매 시즌이 끝나고 부품공급업체와 완제품생산업체는 매출의 일정부분을 나눠 갖는다. 해당 공급망을 그림으로 나타내면 그림 5와 같다.

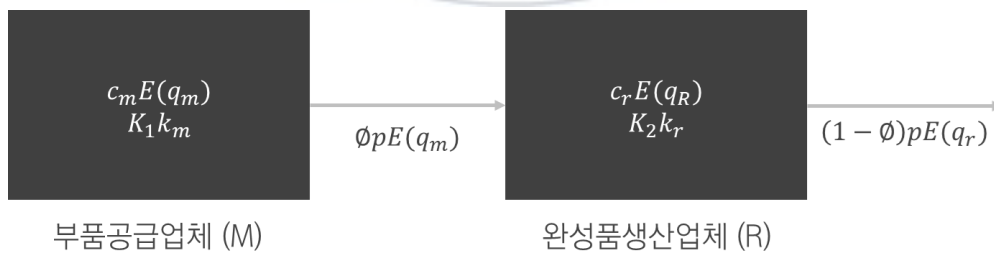


그림 5. Decentralized Chain

이때, 부품공급업체는 자신의 최대생산능력이상으로 제품을 생산할 수 없고, 또한 수요 이상으로 제품을 생산하지 않는다. 따라서 부품공급업체의 기대생산량 $E(q_m)$ 은 다음과 같다.

$$E(q_m) = E\min[x, K_1] = \int_0^{K_1} xf(x) dx + \int_{K_1}^{\infty} K_1 f(x) dx = K_1 - \int_0^{K_1} F(x) dx \quad (9)$$

부품공급업체가 $E(q_m)$ 만큼 제품을 생산했을 때 기대이익은 매출에서 생산비용과 투자비용을 제외한 다음 식과 같다.

$$\pi_m(K_1) = \phi p E(q_m) - c_m E(q_m) - K_1 k_m \quad (10)$$

부품공급업체의 최적 생산량을 구하기 위해 부품공급업체의 이익식을 K_1 에 대해 편미분하면 다음과 같다.

$$\frac{d\pi_m(K_1)}{dK_1} = (\phi p - c_m)[1 - F(K_1)] - k_m \quad (11)$$

이때, 부품공급업체의 이익을 최대로 하는 최적 생산능력은 다음과 같다.

$$K_1^* = F^{-1}\left(1 - \frac{k_m}{\phi p - c_m}\right) \quad (12)$$

K_1^* 을 공급망 전체의 이익을 최대로 하는 생산능력인 K_{sc}^* 와 같다고 두고 ϕ 에 대해 정리하면 다음과 같다.

$$\phi^* = \frac{pk_m + c_mk_r - c_r k_m}{pk_m + pk_r} \quad (13)$$

이때, 완성품생산업체의 이익식은 다음과 같고, $\phi = \phi^*$ 일 때 최적이다.

$$\pi_r(K_2) = (1 - \phi)pE(q_r) - c_r E(q_r) - K_2 k_r \quad (14)$$

수익공유가 적용된 Decentralize Chain에서는 $\emptyset$ 가 특정 상수일 경우 공급망의 이익을 최대로 할 수 있다. 여기서 $\emptyset$ 는 공급망 매출에서 부품공급업체가 가져가는 비율 즉, 수익공유 비율이다. 수익공유 비율은 시장지배력이나 공급망 구성원의 교섭력에 의해 결정되므로 $\emptyset$ 가 목표 교섭력을 만족하지 않는 경우가 대부분이다. $\emptyset \neq \emptyset^*$ 인 경우 이중마진 현상 때문에 공급망의 이익은 최적일 수 없다. 따라서 $\emptyset$ 에 관계없이 공급망의 이익이 최적일 되도록 부품공급업체의 최적생산능력이 Centralized Chain에서의 최적생산능력과 같도록 즉, $K_1^* = K_{sc}^*$ 가 되도록 하는 계약방법이 필요하다.

3.4 투자비용 공유계약

투자비용 공유계약에서는 계약 체결 후 완성품생산업체가 부품공급업체에게 투자비용의 일부를 선지급한다. 이후 부품공급업체는 생산설비를 구축하고 수요가 현실화되는 시점에 주문을 받아 부품을 생산하고 완성품 생산업체에 납품한다. 완성품 생산업체는 부품을 납품 받아 완성품으로 가공하고 고객에게 제품을 판매한다. 투자비용 공유계약이 적용된 공급망의 타임라인은 그림 6과 같다.

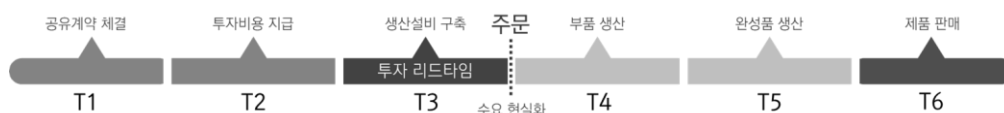


그림 6. 투자비용 공유계약이 적용된 공급망의 타임라인

부품공급업체는 생산비용과 공급망 생산능력 투자비용의 일정부분을 부담하여 완성품생산업체에게 납품하고 공급망 이익의 일정부분을 지급받는다. 완성품생산업체는 생산비용과 공급망 생산능력 투자비용의 일정부분을 부담하여 완성품을 고객에게 판매하고 이를 통한 수익의 일부분을 가져간다. 해당 공급망을 그림으로 나타내면 그림 7 과 같다.

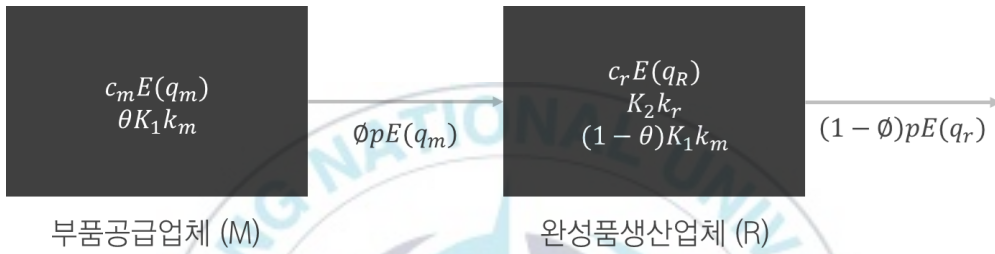


그림 7. 투자비용 공유계약이 적용된 공급망

이때, 부품공급업체는 자신의 최대생산능력이상으로 제품을 생산할 수 없고, 또한 수요 이상으로 제품을 생산하지 않는다. 따라서 부품공급업체의 기대생산량 $E(q_m)$ 은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 E(q_m) &= E\min[x, K_1] = \int_0^{K_1} x f(x) dx + \int_{K_1}^{\infty} K_1 f(x) dx \\
 &= K_1 - \int_0^{K_1} F(x) dx
 \end{aligned} \tag{15}$$

부품공급업체가 $E(q_m)$ 만큼 제품을 생산했을 때 기대이익은 매출에서 생산비용과 투자비용을 제외한 다음 식과 같다.

$$\pi_m(K_1, \theta) = \phi p E(q_m) - c_m E(q_m) - \theta K_1 k_m \tag{16}$$

부품공급업체의 최적 생산능력을 구하기 위해 부품공급업체의 이익식을 K_1 에 대해 편미분하면 다음과 같다.

$$\frac{\partial \pi_m(K_1, \theta)}{\partial K_1} = (\phi p - c_m)[1 - F(K_1)] - \theta k_m \quad (17)$$

이때, 부품공급업체의 이익을 최대화 하는 최적 생산능력은 다음과 같다.

$$K_1^* = F^{-1}\left(1 - \frac{\theta k_m}{\phi p - c_m}\right) \quad (18)$$

부품공급업체와 공급망 전체의 최적 생산능력을 같게 하는 최적의 θ 을 구하기 위해 식 (18)의 K_1^* 과 식 (8)의 K_{sc}^* 를 같다고 두고 θ 를 구하면 다음과 같다.

$$\theta^* = \frac{(\phi p - c_m)(k_m + k_r)}{[p - c_m - c_r]k_m} \quad (19)$$

$\theta = \theta^*$ 일 때, 완성품생산업체의 이익식은 다음과 같다.

$$\pi_r(K_2, \theta) = (1 - \phi)pE(q_r) - c_rE(q_r) - (1 - \theta^*)K_1k_m - K_2k_r \quad (20)$$

공유계약에서는 θ 를 특정 상수로 설정함으로써 공급망 구성원들의 생산능력과 공급망 전체의 최적 생산능력을 같게 하여 공급망 전체의 이익을 최적화할 수 있다. 여기서 θ 는 부품공급업체가 부담하는 투자비용의 비율이며 ϕ 에 의해 결정된다. 부품공급업체는 계약 체결 전 K_1k_m 만큼의 투자비용을 부담했으나, 공유 계약 체결 후 θK_1k_m 만큼의 투자비용을 부담하게 됐다. θ 가 0 인 경우 부품공급업체의 투자비용을 전부 완성품생산업체가 부담하고, θ 가 1 인 경우 부품공급업체가 자신의 투자비용을 전부 부담하게 된다. 이때, θ 가 1 보다 크면 부품공급업체는 계약 체결 전보다 더 많은 투자비용을 부담하게

되기 때문에 합리적인 계약에서는 θ 가 1 보다 클 수 없다. 따라서 공유계약이 성립하는 범위는 θ 가 1 보다 작은 범위인 다음과 같다.

$$\theta^* = \frac{(\emptyset p - c_m)(k_m + k_r)}{[p - c_m - c_r]k_m} < 1 \quad (21)$$

이를 공급망 전체의 이익에서 부품공급업체가 가져가는 비율인 $\emptyset$ 에 대해서 정리하면 다음과 같다.

$$\emptyset < \frac{pk_m + c_mk_r - c_rk_m}{pk_m + pk_r} \quad (22)$$

(19) 식의 우변은 모두 상수로 이루어져 있다. 따라서 공유계약은 $\emptyset$ 가 특정 상수보다 작은 경우 계약이 성립한다. 수익 공유 비율은 공급망 구성원의 시장지배력이나 교섭력에 따라 0~1 사이의 값을 갖는다. (19) 식의 우변을 계약 성립 상수라 하면, $0 < \emptyset < \text{계약성립상수}$ 인 경우 공유계약을 통해 공급망의 생산능력을 최적화할 수 있다. 하지만 $\emptyset$ 는 0~1 사이의 값을 갖기 때문에, 계약성립상수 $< \emptyset < 1$ 의 범위에서 공급망의 생산능력을 최적화하는 계약이 필요하다.

3.5. 생산능력 보상계약

생산능력 보상계약에서는 계약 체결 후 부품공급업체가 생산설비를 구축하고 수요가 현실화되는 시점에 완성품생산업체부터 주문을 받아 부품을 생산하고 완성품생산업체에 납품한다. 완성품생산업체는 부품을 납품 받아 완성품으로 가공하고 고객에게 제품을 판매한다. 완성품생산업체는 K_{sc} 에

미치지 못한 부품공급업체의 낭비된 생산능력만큼 보상비를 지급한다. 생산능력 보상계약이 적용된 공급망의 타임라인은 그림 8 과 같다.



그림 8. 생산능력 보상계약이 적용된 공급망의 타임라인

부품공급업체는 생산비용과 생산능력의 투자비용을 부담하여 완성품생산업체에게 일정 가격으로 납품한다. 완성품생산업체는 생산비용과 자신의 생산능력 투자비용을 부담하여 완성품을 고객에게 판매하여 수익을 남기고, 부품공급업체에게 보상비를 지급한다. 해당 공급망을 그림으로 나타내면 그림 9 와 같다.

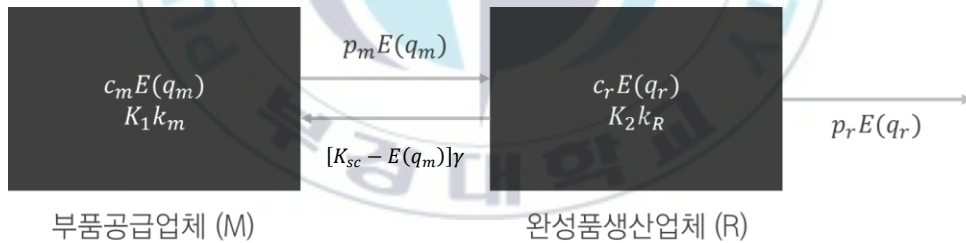


그림 9. 생산능력 보상계약이 적용된 공급망

부품공급업체가 $E(q_m)$ 만큼 제품을 생산했을 때 기대이익은 매출에서 생산비용과 투자비용을 제외하고 보상비를 계산한 다음 식과 같다.

$$\pi_m(K_1, \gamma) = \phi p E(q_m) - c_m E(q_m) - K_1 k_m + [K_{sc} - E(q_m)]\gamma \quad (23)$$

부품공급업체의 최적 생산능력을 구하기 위해 부품공급업체의 이익식을 K_1 에 대해 편미분하면 다음과 같다.

$$\frac{\partial \pi_m(K_1, \gamma)}{\partial K_1} = (\emptyset p - c_m - \gamma)[1 - F(K_1)] - k_m \quad (24)$$

이때, 부품공급업체의 이익을 최대로 하는 최적 생산능력은 다음과 같다.

$$K_1^* = F^{-1}\left(1 - \frac{k_m}{\emptyset p - c_m - \gamma}\right) \quad (25)$$

부품공급업체와 공급망 전체의 생산능력을 같게 하는 최적의 γ 을 구하기 위해 식 (25)의 K_1^* 과 식 (8)의 K_{sc}^* 를 같다고 두고 γ 를 구하면 다음과 같다.

$$\gamma^* = \emptyset p - c_m - \frac{(p - c_m - c_r)k_m}{k_m + k_r} \quad (26)$$

$\gamma = \gamma^*$ 일 때, 완성품생산업체의 이익식은 다음과 같다.

$$\pi_r(K_2, \gamma) = (1 - \emptyset)pE(q_r) - c_rE(q_r) - K_2k_r - [K_1 - E(q_m)]\gamma \quad (27)$$

보상계약에서는 γ 를 특정 상수로 설정함으로써 공급망 구성원들의 생산능력과 공급망 전체의 최적 생산능력을 같게 하여 공급망 전체의 이익을 최적화할 수 있다. 여기서 γ 는 완성품생산업체가 부품공급업체에게 지급하는 단위당 보상비이며 유일하게 존재하는 상수다. 부품공급업체는 보상계약의 체결을 통해 K_1k_m 만큼의 투자비용을 부담하고, 낭비된 생산능력 한 단위당 γ 만큼 보상받게 된다. 이때, γ 가 0 보다 작으면 부품공급업체는 생산능력이 낭비되면 낭비될수록 완성품생산업체에게 보상비를 지급해야 하기 때문에 γ 는 0 보다 작을 수 없다. 따라서 보상계약이 성립하는 범위는 γ 가 0 보다 큰 범위인 다음과 같다.

$$\gamma^* = \emptyset p - c_m - \frac{(p - c_m - c_r)k_m}{k_m + k_r} > 0 \quad (28)$$

이를 공급망 전체의 이익에서 부품공급업체가 가져가는 비율인 $\emptyset$ 에 대해서 정리하면 다음과 같다.

$$\emptyset > \frac{pk_m + c_mk_r - c_rk_m}{pk_m + pk_r} \quad (29)$$

(23) 식의 우변은 모두 상수로 이루어져 있다. 따라서 보상계약은 $\emptyset$ 가 계약성립상수보다 큰 경우 계약이 성립한다. 앞서 살펴본 $0 < \emptyset < \text{계약성립상수}$ 인 경우 공유계약을 통해 공급망의 생산능력을 최적화할 수 있고, 계약성립상수 $< \emptyset < 1$ 인 경우 보상계약을 통해 공급망의 생산능력을 최적화할 수 있다. 따라서, 공유계약과 보상계약을 이용하면 시장지배력이나 교섭력에 의해 0~1 사이의 값을 갖는 모든 범위의 $\emptyset$ 에 대해 생산능력의 최적화가 가능하다. 계약성립상수를 t 라 하고, 계약성립의 범위를 그림으로 나타내 보면 그림 10와 같다.



그림 10. 수익공유비율 $\emptyset$ 에 따라 성립하는 계약의 범위

제 4 장. 수치 예제

공급망 구성원의 상대적 교섭력에 따라 공유계약 혹은 보상계약을 선택하고 이를 통해 공급망의 생산능력을 최적화하는 것의 이해를 돕기 위해 계약의 매개변수 도출 절차를 수치 예제를 통해 알아보겠다. 수요는 계산의 용이성을 위해 균일분포를 가정한다. 부품공급업체는 제품 한 단위당 4 만원의 생산비용과 7 만원의 투자비용을 부담하여 완성품생산업체에게 납품하고 완성품생산업체는 부품을 납품 받아 제품 한 단위당 5 만원의 생산비용과 3 만원의 투자비용을 부담하여 완성품으로 가공하고 고객에게 제품 한 단위당 40 만원에 판매한다. 그림으로 정리한 수치 예제의 가정은 그림 11 과 같다.

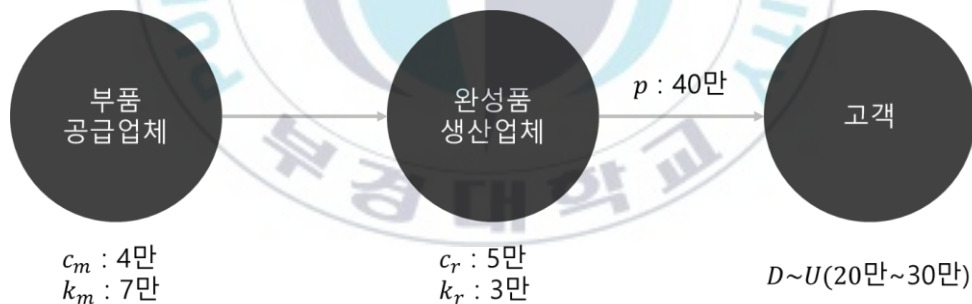


그림 11. 수치 예제의 공급망

위와 같은 상황을 가정하여, 먼저 Centralized Chain 에서 최적 생산능력과 그때의 최적 이익을 계산한다. 다음으로 Decentralized Chain 에서 공급망 구성원들의 교섭력에 따라 공급망의 이익이 달라지는 것을 확인한 후, 투자비용 공유계약과 생산능력 보상계약을 적용하여 공급망 구성원의 교섭력에 관계없이 공급망의 이익을 최적화하는 예를 살펴본다.

4.1. Centralized Chain

공급망의 최적의 이익을 구하기 위해 먼저 식 (8)을 이용하여 Centralized Chain 에서의 최적 생산능력을 구한다.

$$K_{sc}^* = F^{-1}\left(1 - \frac{k_m + k_r}{p - c_m - c_r}\right) = F^{-1}(0.677) = 26.8$$

최적 생산능력이 위와 같을 때, 수요가 x 라면 공급망의 생산량은 다음과 같다.

$$q_{sc} = \min[x, K_{sc}^*]$$

따라서, 공급망의 기대생산량은 식 (1)에 의해 다음과 같다.

$$E(q_{sc}) = E\min[x, K_{sc}] = K_{sc} - \int_0^{K_{sc}} F(x)dx$$

이 때, $\int_0^{K_{sc}} F(x)dx$ 는 수요가 균일분포를 따른다는 가정에 따라 아래 그림 12 에서 색칠한 부분의 넓이이다.

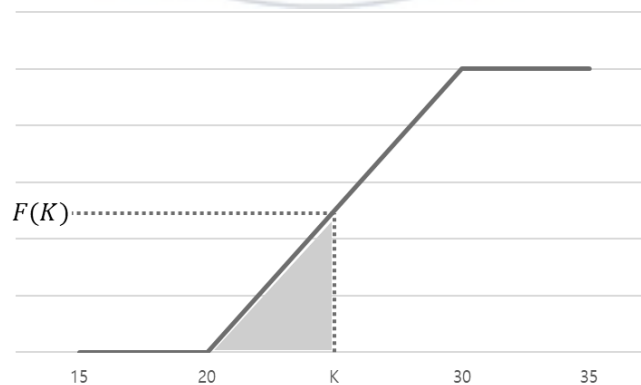


그림 12. 균일 분포를 따르는 수요의 누적 분포 함수

따라서, $\int_0^{K_{sc}} F(x)dx$ 는 다음과 같다.

$$\int_0^{K_{sc}} F(x)dx = \frac{(K_{sc} - A)^2}{2(B - A)} = \frac{(26.77 - 20)^2}{2(30 - 20)} = 2.3$$

결과적으로, 공급망의 기대생산량은 다음과 같다.

$$E(q_{sc}) = Emin[D, K_{sc}] = K_{sc} - \int_0^{K_{sc}} F(x)dx = 26.77 - 2.29 = 24.5$$

공급망의 기대생산량이 위와 같을 때, 공급망의 기대이익은 다음과 같다.

$$\pi_{sc}(K_{sc}) = pE(q_{sc}) - (c_m + c_r)E(q_{sc}) - K_{sc}(k_m + k_r) = 491.1$$

Centralized Chain에서는 항상 공급망의 이익이 최적이 되는 의사결정을 하기 때문에, Centralized Chain을 가정하고 구한 기대이익은 공급망 전체의 최대 이익이 된다.

4.2. Decentralized Chain

다음으로 수익공유가 적용된 Decentralized Chain에서 공급망의 이익이 어떻게 되는지 살펴본다. 먼저 공급망의 최적 생산능력을 구하기 위해 $\emptyset$ 를 계산한다.

$$\emptyset^* = \frac{pk_m + c_mk_r - c_rk_m}{pk_m + pk_r} = 0.6425$$

$\emptyset = 0.6425$ 일 때, 부품공급업체와 완제품생산업체의 최적 생산능력은 다음과 같다.

$$K_1^* = K_2^* = F^{-1}\left(1 - \frac{k_m}{\phi p - c_m}\right) = 26.8$$

이 때, 부품공급업체와 완제품생산업체의 기대이익은 다음과 같다.

$$\pi_m(K_1) = \phi p E(q_m) - c_m E(q_m) - K_1 k_m = 343.8$$

$$\pi_r(K_2) = (1 - \phi)p E(q_r) - c_r E(q_r) - K_2 k_r = 147.3$$

따라서, 공급망 전체의 이익은 다음과 같다.

$$\pi_{sc}(K_1, K_2) = \pi_m(K_1) + \pi_r(K_2) = 491.1$$

Decentralized Chain 에서는 $\phi = 0.6425$ 일 때, 최적의 이익을 갖는다. 하지만 ϕ 는 부품공급업체가 공급망 이익에서 가져가는 비율이므로 시장 지배력이나, 교섭력에 의해 변할 수 있다. 이때, ϕ 에 따른 공급망의 이익은 그림 13 과 같다.

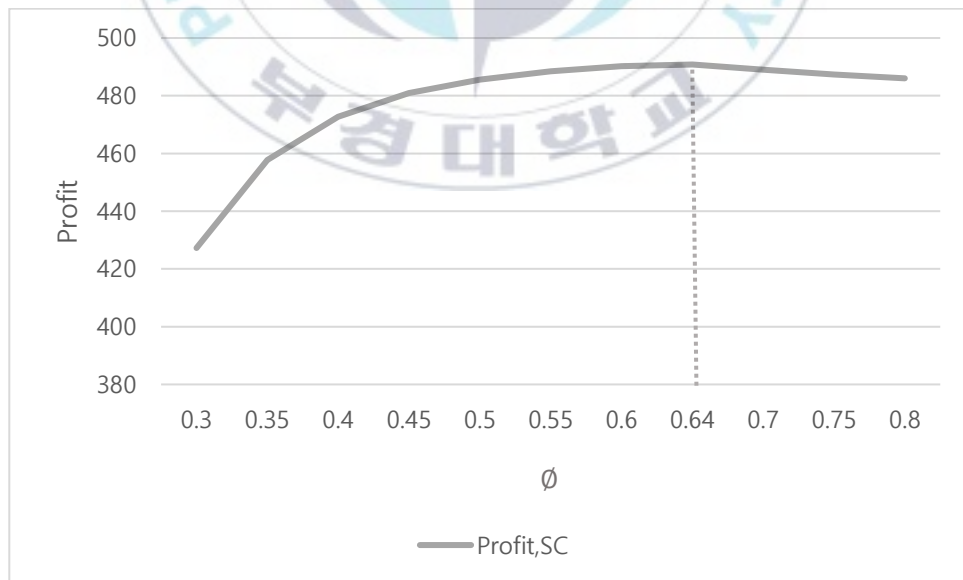


그림 13. 수익공유에서 수익공유비율 ϕ 에 따른 공급망 이익

수익 공유가 적용된 Decentralized Chain 에서는 $\emptyset = 0.6425$ 일 때만 공급망의 이익이 최적이며 $\emptyset$ 가 변함에 따라 공급망의 이익이 최적이 아닌 값으로 달라지게 된다. 예를 들어, 수익 공유 비율 $\emptyset = 0.5$ 인 경우 부품공급업체의 최적생산능력 $K_1^* = 25.6$ 이고 이때 부품공급업체와 완제품생산업체의 기대이익은 각각 205.3 과 280.3 이다. 따라서, 공급망 전체의 이익 $\pi_{sc}(K_1, K_2) = 485.6$ 이 되어 글로벌 최적의 경우보다 5.53 만 큼 이익이 감소하게 된다. 이러한 문제를 해결하는 방안이 투자비용 공유계약과 생산능력 보상계약이다.

4.3. 투자비용 공유계약

공유계약과 보상계약의 적용을 위해 먼저 계약성립상수를 계산한다.

$$\emptyset = \frac{pk_m + c_mk_r - c_rk_m}{pk_m + pk_r} = 0.6425$$

$\emptyset$ 가 위 계약성립상수보다 작은 경우 공유계약이 성립하고 큰 경우 보상계약이 성립한다. 먼저 $\emptyset$ 가 계약성립상수보다 작은 경우인 $\emptyset = 0.5$ 케이스를 살펴보겠다.

공급망의 최적 생산능력을 계산하기 위해 식 (19)를 이용하여 θ 를 계산한다.

$$\theta = \frac{(\emptyset p - c_m)(k_m + k_r)}{[p - c_m - c_r]k_m} = 0.7373$$

다음으로 식 (18)을 이용하여 공급망의 최적 생산능력을 계산한다.

$$K_1^* = F^{-1}\left(1 - \frac{\theta k_m}{\phi p - c_m}\right) = 26.8$$

다음으로 식 (15)를 이용하여 공급망의 기대 생산량을 계산한다.

$$E(q_m) = E_{\min}[x, K_1] = K_1 - \int_0^{K_1} F(x)dx = 24.5$$

이를 이용해 부품공급업체의 이익을 계산하면 식 (16)에 의해 다음과 같다.

$$\pi_m(K_1, \theta) = \phi p E(q_m) - c_m E(q_m) - \theta K_1 k_m = 253.5$$

같은 방식으로 완제품생산업체의 이익을 계산하면 식 (20)에 의해 다음과 같다.

$$\pi_r(K_2, \theta) = (1 - \phi)p E(q_r) - c_r E(q_r) - (1 - \theta)K_1 k_m - K_2 k_r = 237.6$$

따라서 공급망 전체의 이익은 다음과 같다.

$$\pi_{sc} = \pi_m(K_1, \theta) + \pi_r(K_2, \theta) = 491.1$$

공유 계약이 성립하는 범위인 $\phi < 0.6425$ 내에서는 항상 공급망의 이익이 최적이 된다. ϕ 에 따른 공급망의 이익은 그림 14와 같다.

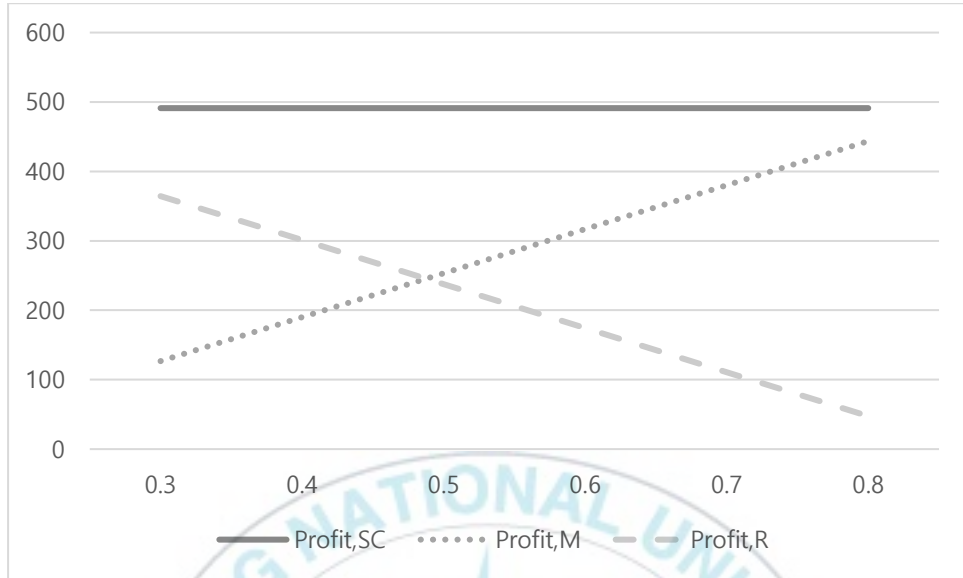


그림 14. 공유계약에서 수익공유비율 ϕ 에 따른 공급망 이익

하지만 만약 $\phi = 0.7$ 이라면 $\theta = 1.11$ 이므로 공유계약이 성립하지 않는다. $\phi > 0.6425$ 범위에서 공급망의 이익을 최적화하는 생산능력 보상계약에 대해 알아본다.

4.4. 생산능력 보상계약

다음으로 ϕ 가 계약성립상수보다 큰 경우인 $\phi = 0.7$ 케이스를 살펴보겠다.

공급망의 최적 생산능력을 계산하기 위해 식 (26)을 이용하여 γ 를 계산한다.

$$\gamma = \phi p - c_m - \frac{(p - c_m - c_r)k_m}{k_m + k_r} = 2.3$$

다음으로 식 (25)를 이용하여 공급망의 최적 생산능력을 계산한다.

$$K_1^* = F^{-1}\left(1 - \frac{k_m}{\phi p - c_m - \gamma}\right) = 26.8$$

다음으로 식 (15)를 이용하여 공급망의 기대 생산량을 계산한다.

$$E(q_m) = E\min[x, K_1] = K_1 - \int_0^{K_1} F(x)dx = 24.5$$

이를 이용해 부품공급업체의 이익을 계산하면 식 (16)에 의해 다음과 같다.

$$\pi_m(K_1, \gamma) = \phi p E(q_m) - c_m E(q_m) - K_1 k_m + [K_1 - E(q_m)]\gamma = 405.4$$

완성품생산업체의 이익을 계산하면 식 (20)에 의해 다음과 같다.

$$\pi_r(K_2) = (1 - \phi)p E(q_r) - c_r E(q_r) - K_2 k_r - [K_1 - E(q_m)]\gamma = 85.8$$

따라서 공급망 전체의 이익은 다음과 같다.

$$\pi_{sc} = \pi_m(K_1) + \pi_r(K_2) = 491.1$$

보상 계약이 성립하는 범위인 $\phi > 0.6425$ 내에서는 항상 공급망의 이익이 최적이 된다. ϕ 에 따른 공급망의 이익은 그림 15 과 같다.

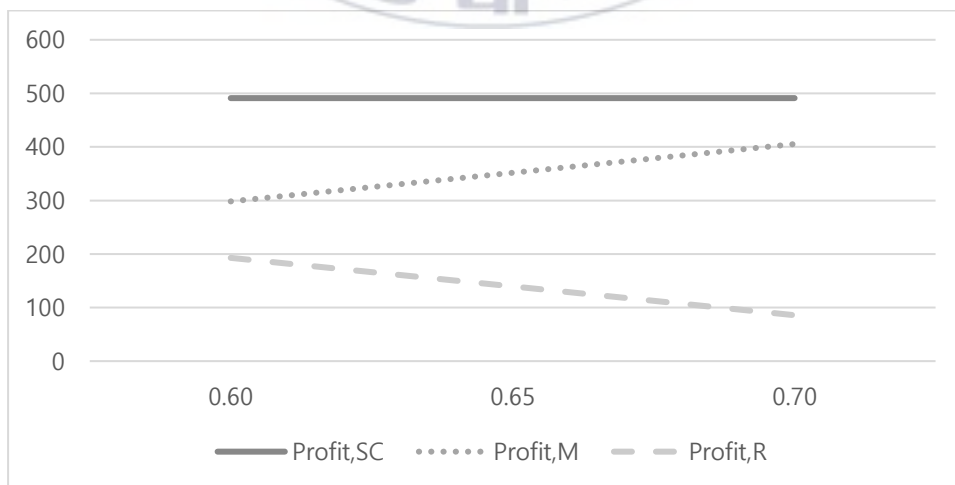


그림 15. 보상계약에서 수익공유비율 ϕ 에 따른 공급망 이익

수익공유비율 $\emptyset$ 에 따른 θ 와 γ 는 표 3 과 같다.

표 3. 수익 공유비율 $\emptyset$ 에 따른 투자비용 공유비율 θ 와 손실 보상비용 γ

$\emptyset$	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5	0.55	0.6	0.65	0.7	0.75	0.8
θ	0.37	0.46	0.55	0.65	0.74	0.83	0.92	1.01	1.11	1.2	1.29
γ	-13.7	-11.7	-9.7	-7.7	-5.7	-3.7	-1.7	0.3	2.3	4.3	6.3
π_{sc}	491.1	491.1	491.1	491.1	491.1	491.1	491.1	491.1	491.1	491.1	491.1

표 3에서 계약성립상수인 $\emptyset = 0.6425$ 를 기준으로 성립하는 계약이 달라지는 것을 확인할 수 있다. $\emptyset < 0.6425$ 범위에서는 $\theta < 1$ 로 공유계약이 성립하는 한편, γ 가 0 보다 작기 때문에 보상계약은 성립하지 않는다. $\emptyset > 0.6425$ 범위에서는 θ 가 1 보다 크기 때문에 공유계약은 성립하지 않는 한편, $\gamma > 0$ 로 보상계약이 성립한다. 이를 계약이 성립하는 전체범위의 $\emptyset$ 에 대해 공급망 구성원의 이익을 나타내 보면 그림 16 과 같다.

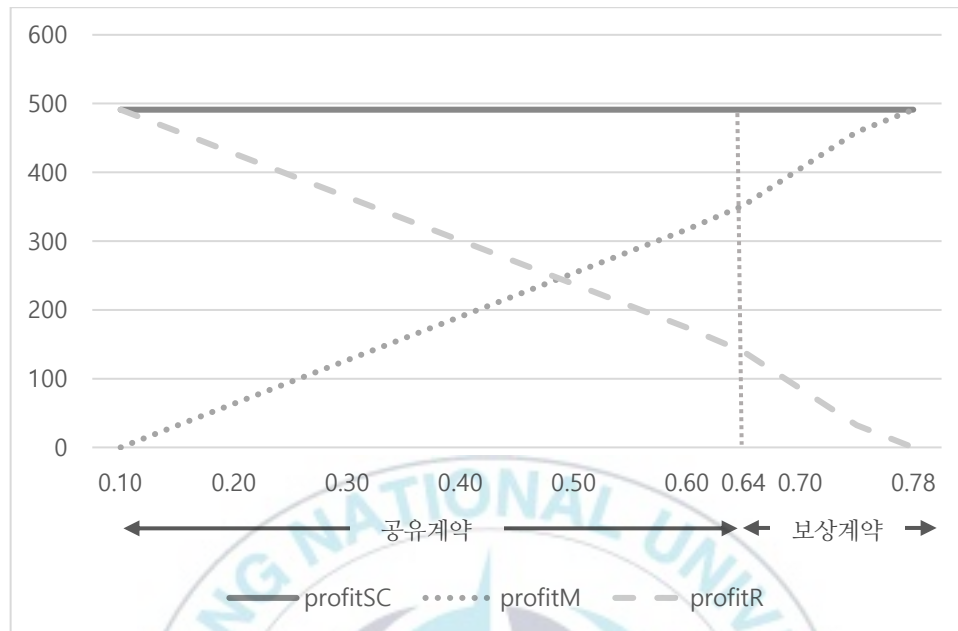


그림 16. 계약에 따른 공급망 구성원의 이익

계약 성립 기준인 $\theta = 0.6425$ 를 기준으로 공유계약과 보상계약이 성립한다. 공유계약이 성립하는 범위인 $\theta < 0.6425$ 에서 $\theta < 0.1$ 일 때, 부품공급업체의 이익이 음수가 되기 때문에 공유계약이 성립하는 범위는 $0.1 < \theta < 0.6425$ 이다. 반면 보상계약이 성립하는 범위인 $\theta > 0.6425$ 에서 $\theta > 0.78$ 일 때, 완제품생산업체의 이익이 음수가 되기 때문에 보상계약이 성립하는 범위는 $0.6425 < \theta < 0.78$ 이다. 이상 공유계약과 보상계약을 통해 공급망 구성원의 교섭력에 관계없이 공급망 전체의 이익을 최적화하는 예를 살펴보았다.

제 5 장. 결론

본 연구에서는 생산능력 확보에 리드타임을 갖고 있는 공급망의 구성원들이 공급망의 이익을 최대로 할 수 있는 생산능력을 확보하게 하는 계약을 제시하는 것을 주제로 했다. 이를 위해 Centralized 공급망에서 최적의 생산능력을 계산하고, 매개변수를 활용한 계약을 적용하여 Decentralized 공급망에서의 생산능력 또한 최적의 생산능력이 되도록 최적의 매개변수를 도출했다. 제시한 계약은 공유 계약과 보상 계약이며, 두 계약은 공급망 구성원들의 교섭력에 따라 계약의 성립범위가 결정된다. 수치 예제를 통해 살펴본 결과, Decentralized 공급망에서는 공급망 구성원들의 교섭력에 따라 공급망 전체의 이익이 달라지는 반면, 공유 계약과 보상 계약이 적용된 공급망에서는 공급망 구성원들의 교섭력에 관계없이 항상 최적의 이익을 내는 것을 확인할 수 있었다. 본 연구에서 제시된 계약 방법은 제품 생산을 위해 공급망의 구성원들이 긴 시간과 비용을 투자해야 하는 경우에 유용하게 사용될 수 있다. 공급망 구성원들의 교섭력을 고려하여 계약을 설정했기 때문에, 상대적으로 교섭력이 낮은 공급망 구성원의 리스크를 공유하여 공급망 전체의 생산 능력을 최적화할 수 있다.

본 연구는 공급망 구성원 모두 제품을 생산하며, 이를 위해 사전에 생산능력을 확보해야 하는 경우를 연구했다는 데에서 기존 연구와 차별된다. 이러한 특이점 때문에 공급망 구성원들은 다른 구성원이 충분한 생산능력을 확보하지 못하는 경우, 기존의 공급망에서 기회비용을 잃는 것에 추가로 투자비용까지 낭비되기 때문에 공급망의 최적 생산 능력 확보가 중요하다.

본 연구는 2 단계로 구성된 공급망의 구성원들이 모두 생산을 위해 투자를 해야 하는 경우 수익공유 만으로는 공급망의 생산능력을 최적화할 수 없다는 것을 보여주고 있다. 수익공유가 적용된 일반적 상황의 공급망에서는 수익공유의 비율인 θ 가 특정 상수일 경우에만 공급망의 최적화가 가능하다. 하지만 수익공유 비율은 공급망 구성원들의 시장지배력이나, 교섭력에 의해 달라지므로 일반적으로 수익공유 비율은 특정 상수를 만족하지 않는 경우가 대부분이다. 따라서 θ 의 값에 관계없이 공급망의 생산능력을 최적화하는 계약 방법을 제시했으며, 계약성립상수를 기준으로 성립하는 두 계약방법을 제시했다.

본 연구의 한계점은 공급망의 구성원들이 서로의 정보를 완벽하게 알고 있다고 가정하고 있다는 점이다. 공급망의 구성원들이 본 연구에서 제시하는 최적의 생산능력을 알기 위해서는 수요에 대한 정보를 공유해야 하며, 서로의 원가 정보에 대해서도 공유해야 한다. 공급망의 구성원들이 서로의 모든 정보를 공유하는 것은 현실적으로 어려움이 있으므로, 원가 정보 등의 매개변수를 줄이면서도 계약이 성립하는 방안에 대한 후속연구가 필요하다.

또한 본 연구는 부품공급업체와 완제품생산업체로 구성된 2 단계 공급망에 대해 연구하는 한편, 주어진 교섭력을 고려하여 공급망의 생산능력을 최적화하는 계약방법을 제시하고 있다. 하지만 완제품생산업체의 교섭력이 상대적으로 큰 경우, 단일 부품공급업체가 아니라 여러 공급업체로부터 부품을 공급받고 있을 수 있다(예: 완성차 생산업체, 스마트폰 생산업체). 이때, 특정 부품공급업체가 충분한 생산능력을 확보한다 하더라도 다른 부품공급업체가 충분한 생산능력을 확보하지 못한 경우 나머지 부품공급업체 또한 생산능력에

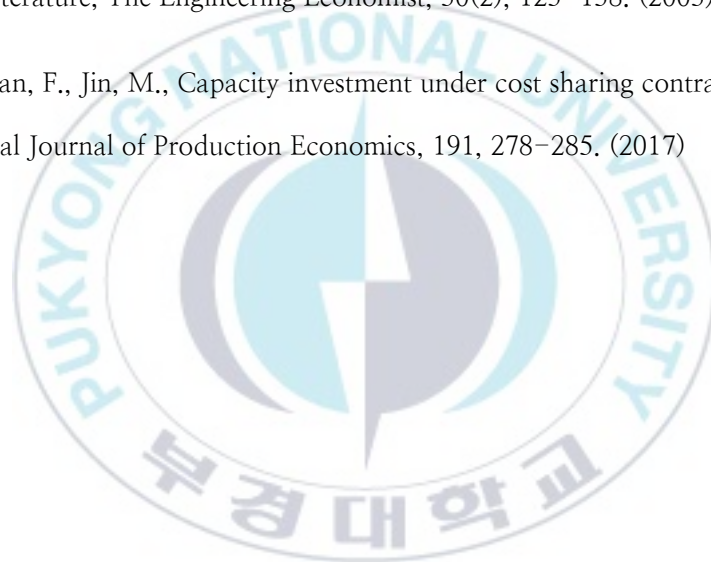
투자한 만큼 생산을 할 수 없다. 이 경우 완성품생산업체는 특정 부품공급업체가 충분한 생산능력을 확보하지 못함을 이유로 다른 부품공급업체에게 보상비를 지급해야 하는 상황이 발생한다. 따라서 $N:1$ 공급망의 경우 부품공급업체가 완성품생산업체에게 보상비를 지급하는 경우에 대한 고려가 필요하다.



참고문헌

- 구평희, 생산자-판매자 2 단계 공급망에서 이익배분율과 판매자 위험 성향을 고려한
반품계약에 대한 연구, Journal of the Korea Management Engineers Society, 25, 25-
37. (2020)
- 박세호, 이영해, 공급사슬에서 수입공유를 위한 계약방법의 분석, 대한산업공학회
추계공동학술대회 논문집, 5, 1215-1221. (2011)
- 박세호, 이영해, 조동원, 수익공유 기반 공급사슬에서 가격과 서비스 수준을 고려한
새로운 계약방법, 대한산업공학회 추계학술대회 논문집, 11, 700-707. (2011)
- 박세호, 이영해, 조동원, 공급사슬에서 수량할인과 수익공유를 반영한 계약, 한국
SCM 학회지, 10, 121-134. (2012)
- Cachon, G. and Lariviere, M., Supply Chain Coordination with Revenue-Sharing
Contracts: Strengths and Limitations, Management Science, 51, 30-34. (2005)
- Hu, Q., Specific Capacity Investment in Supply Chain, Omega, 103, 102417. (2021)
- Li, J., Luo, X., Wang, Q., Zhou, W., Supply chain coordination through capacity
reservation contract and quantity flexibility contract, Omega, 99, 102195. (2021)
- Simchi-Levi, D., P. Kaminsky and E. Simchi-Levi., Designing and Managing the
Supply Chain, McGraw-Hill Companies, Inc. (2007)
- Shantia, A., Aflaki, S., Masini, A., Contracting for technology improvement: The
effect of asymmetric bargaining power and investment uncertainty, European Journal
of Operational Research, 293, 481-494. (2021)

- Tsay, A. A., The Quantity Flexibility Contract and Supplier Customer Incentives, *Management Science*, 45, 1339–1359. (1999)
- Veen, J. A. A. and Venugopal, V., Using Revenue Sharing to Create Win–Win in the Video Rental Supply Chain, *Journal of the Operational Research Society*, 56, 757–762. (2005)
- Wu, S.S., Erkoç, M., and Karabuk, S., Managing capacity in the high–tech industry: a review of literature, *The Engineering Economist*, 50(2), 125–158. (2005)
- Yang, F., Shan, F., Jin, M., Capacity investment under cost sharing contracts, *International Journal of Production Economics*, 191, 278–285. (2017)



Supply Contracts Optimizing Production Capacity Considering Bargaining Power in Supply Chains that Require Investment in Production Capacity

Seong Mun Jeong

Department of Industrial and Data Engineering, The Graduate School,
Pukyong National University

Abstract

This study deals with the issue of supply contracts to secure optimal production capacity in consideration of the bargaining power of supply chain members in a supply chain composed of component supplier and finished product manufacturer. In general, component suppliers are conservative in securing production capacity, because they have investment risks due to volatility in demand. If the component supplier does not secure sufficient production capacity, the products cannot be produced beyond the production capacity of the component supplier regardless of the production capacity of the finished product manufacturer. Therefore, it is necessary to coordinate production capacity for the supply chain members for global supply chain optimization. This study presents capacity cost sharing(CCS) contracts and excess capacity compensation(ECC) contracts for optimizing the entire supply chain in an environment where relative bargaining power of supply chain members is given. The two contracts share the vendor's investment risk with the manufacturer to ensure optimal production capacity. In the CCS contract, the capacity building cost of the supplier is shared with the manufacturer, while in the ECC contract, the wasted capacity cost at the supplier is compensated by the manufacturer. This study shows that the optimal production capacity can be secured with the CCS contract when the supplier's bargaining power is high and with the ECC contract when the producer's bargaining power is high. This study is expected to be used to secure optimal production capacity in industries that receive parts and produce them as finished products.

감사의 말씀

저는 남들이 대학을 졸업할 나이에 뒤늦게 대학에 들어와서 많은 분들의 도움으로 석사 학위 논문에 감사의 말씀을 쓰고 있습니다. 지난 5 년 6 개월동안 한순간도 쉬지 않고 열심히 살아왔지만, 지난 날을 돌아보며 감사한 분들에 대한 생각은 미처 하지 못했습니다. 이 학위 논문의 마지막 페이지를 빌려 감사한 분들에 대한 감사 인사를 전하고자 합니다. 기술경영 수업시간에 서원철 교수님께서서는 김민수 교수님의 자바 수업을 듣는 학생들에게 프로그래밍에 대한 말씀을 해주셨습니다. 프로그래밍 수업이 너무 어려우면 어렵다고 교수님께 얘기하라 하시면서, 학부생 때 프로그래밍에 능숙하지 못했던 본인은 자신의 연구를 하면서 프로그래밍이 필요한 순간에 결국 프로그래밍을 하게 되더라는 말씀을 해주셨습니다. 이때부터 저는 제게 프로그래밍이 필요한 순간을 찾아다녔습니다. 이운식 교수님의 경영과학 수업에서 Job Sequencing 문제, 구평희 교수님의 시설계획 수업에서 Capacity Balancing 문제를 프로그래밍을 이용하여 풀었습니다. 이 모습을 좋게 봐주신 구평희 교수님께서서는 감사하게도 대학원 진학을 제안하셨고, 제 성향에 딱 맞는 데이터 공학을 전공할 수 있었습니다. 대학원에서 들었던 첫번째 수업인 구평희 교수님의 SCM 강의에서는 태어나 처음으로 영어로 강의를 듣고 영어로 토의를 하고 과제를 하면서 영어를 이용한 커뮤니케이션에 자연스러울 수 있었습니다. 다음으로 들었던 이지환 교수님의 강화학습 수업에서 겪은 좌절은 저로 하여금 스스로 공부하는 능력과 의지를 만들어 주었습니다. 서원철 교수님의 산학협력세미나와 김민수 교수님의 산업데이터실습 과목에서 다양한 데이터를 사용해보고 그에 맞는 여러 기법을 사용한 경험은 제가 여러 인공지능 대회에서 상을 받을 수 있게 했습니다. 감사합니다. 그리고 최성철 교수님의 특허데이터공학에서 배운 자연어처리는 취업에 아주 강력한 한방이 되었습니다. 감사합니다. 끝으로 저의 지도 교수이신 구평희 교수님께 감사의 인사를 드리고 싶습니다. 구평희 교수님의 지도는 양육이라는 말이 더 어울립니다. 다른 사람의 입장에서 생각해보고 다른 사람이 이해할 수 있도록 작성해야 하는 논문은, 막연히 내가 아는 건 다른 사람도 알거라고 생각하는 제게 너무 어려운 일이었습니다. 이런 제게 구평희 교수님께서서는 논문의 한문장, 한문장을 피드백 해주시며 어린 아이 가르치듯 저를 교육해주셨습니다. 교수님의 애정어린 관심이 제 졸업에 가장 큰 버팀목이었습니다. 감사합니다.