

불완비정보하에서의 부품 공급자와 생산자간의 품질인증 신호게임*

김도환
세종대학교 경영학과 부교수
(dhkim@sejong.ac.kr)

본 연구에서는 부품 공급자와 부품을 납품받아 완제품을 생산하는 생산자 사이에서 부품에 관한 품질 정보가 상호 비대칭적인 경우 부품 공급자의 품질인증을 통한 신호게임을 모형화하였다. 부품 공급자들이 고품질의 부품을 생산하는 유형과 저품질의 부품을 생산하는 유형으로 구분되고 자신의 유형이 사적 정보인 경우, 정보 비보유자인 생산자는 부품시장에서 부품에 관한 평균 불량률을 기준으로 모든 의사결정을 수행하여야 하므로 불완비정보 시장에서의 비효율성이 존재한다. 본 논문에서는 저품질의 부품을 생산하는 공급자는 품질인증을 획득하지 못하는 반면, 고품질의 부품을 생산하는 공급자는 자신의 유형을 암시하는 행동으로써 공인된 인증기관으로부터 품질인증을 획득하는 것이 완전베이즈 분리균형으로 성립되어 정보 비보유자인 생산자로 하여금 자신의 유형을 인식하고 완전정보 시장에서의 효율적 의사결정을 유도할 수 있음을 보이고 있다.

주제어: 공급사슬, 품질인증, 신호게임, 완전베이즈 균형

1. 서론

오늘날처럼 경쟁이 심한 글로벌 환경에서 품질은 기업의 경쟁력 우위 확보를 위하여 선택적 요소가 아닌 기업 생존을 위한 필수 전략 요소로 부각되고 있다.(Alker, 1991; Juran, 1994) 품질이 기업 경쟁력의 주요 요소로 부각된 현상을 Feigenbaum (1994)은 '품질 스트라이크(quality strike)'라고 표현하면서 이는 소비자의 행태 변화에 기인한다고 하였다. 즉, 과거에는 소비자가 제품 혹은 서비스를 구매할 때 대부분 품질보다 가격에 더 많은 관심을 가졌지만, 최근에는 가격보다 품질을 중요시 하거나 최소한 가격과 품질을 동등하게 보는 소비자 행태 변화로부터 품질의 중요성을 강조하였다.

품질 이슈와 관련된 연구로서 소비자 행태와 관련된 마케팅적 시각의 연구 이외에도 전통적으로

생산 및 운영관리 문헌에서는 전략적으로 책정된 품질수준에 도달하기 위해 비용을 최소화하는 단일 기업 최적화 문제로 많이 연구되어 왔다. 통계이론을 품질관리에 적용한 Shewhart(1931)의 통계적 품질관리를 효시로 하여, 전수검사를 통한 품질 규격 하한과 공정 평균과의 최적화 연구(Hunter and Kartha, 1977), 1종 과오(type I error)와 2종 과오(type II error)간 최적 균형을 분석한 샘플링 검사 설계(Von Collani, 1988), 동적계획법을 적용한 순차적 품질검사 절차(Chen, Yao and Zheng, 1998) 등 대부분의 연구는 다양한 기법을 이용한 단일 기업의 품질관리 최적화 모형(single-person optimization model)의 설계이다. 그러나 게임이론의 등장으로 단일 기업의 최적화 모형은 기업간 전략적 행동의 분석으로 발전하였고, 이는 1990년대부터 생산 및 운영관리에 적용되어 새로운 패러다임의 최적화 모형으로 정착되

기 시작하였다. (Kalai, Kamien and Rubinovitch, 1992; Li, 1992; Li and Lee, 1994; Reyniers 1992; Reyniers and Tapiero, 1995; Lim, 2001)

특히 Reyniers와 Tapiero(1995)는 부품 공급자(supplier)가 고품질의 부품을 생산할 것인지 혹은 저품질의 부품을 생산할 것인지를 전략 선택과 부품을 공급받아 완제품을 생산하는 생산자(producer)가 납품받은 부품에 대해 품질검사를 수행할 것인지 혹은 수행하지 않을 것인지를 위한 공급자와 생산자의 전략 선택을 정형화된 게임이론으로 분석하였다. 그들은 생산자가 품질검사를 수행하여 불량 부품을 검출하였을 경우 부품 수리와 더불어 부품가격에 대한 가격 리베이트(price rebate) 조건과 품질검사를 수행하지 않았을 경우 발생할 수 있는 완제품에 대한 실패비용의 품질보증(warranty) 조건에 대한 계약을 모수화하여 부품 공급자와 생산자간의 내쉬균형(Nash equilibrium)을 정태적으로 분석하였다. Lim(2001)은 Reyniers와 Tapiero (1995)의 모형을 근간으로 품질경영 분야에서는 처음으로 불완비정보(incomplete information) 상황에서 부품 공급자와 생산자간의 전략적 선택을 분석하였다. 일반적으로 부품 공급자는 자신이 생산하는 부품의 품질 수준을 정확히 파악하고 있는 반면 부품을 공급받는 생산자는 자신에게 납품한 공급자가 고품질의 부품을 생산하는 업체인지 혹은 저품질의 부품을 생산하는 업체인지에 대한 정확한 정보를 가지고 있지 않다. Lim(2001)은 부품 공급자와 생산자간 비대칭 정보(asymmetric information)가 존재하는 상황에서의 시장 실패 가능성과 시장의 비효율성을 지적하면서 생산자의 차선의 전략 선택(2nd best solution)을 분석하였다. 그의 연구에서는

정보 비보유자(principal)로서 생산자가 정보 보유자(agent)인 부품 공급자에게 먼저 유인계약(incentive contract)을 제시하면서 게임이 시작된다. 가격 리베이트와 실패비용의 공급자 분담분으로 구성되는 유인계약은 고품질의 부품을 생산하는 공급자 대상과 저품질의 부품을 생산하는 공급자 대상에게 각각 차별적으로 제시된다. 그는 Myerson(1979)의 현시원리(Revelation Principle)를 적용하여 생산자가 제시하는 유인계약을 각 유형의 부품 공급자가 거절하지 않으면서(individual rationality condition) 자신의 유형을 대상으로 제시된 유인계약을 타 유형의 유인계약보다 더욱 선호하는(incentive compatibility condition) 두 가지 조건이 동시에 만족되는 유인계약을 제시하였다. 그러나 불행히도 그의 모형에서는 고품질의 부품을 생산하는 공급자와 저품질의 부품을 생산하는 공급자를 완벽히 구분할 수 있는 분리균형(separating equilibrium)으로서의 차별화된 유인계약은 존재하지 않았으며, 단지 모든 유형의 부품공급자가 동일한 유인계약에 의해 시장에 참여하게 되는 비분리균형(pooling equilibrium)만이 존재하였다.

본 논문에서는 Reyniers와 Tapiero(1995)가 미결의 문제(open question)로 제시한 품질게임의 비대칭 정보 상황을 Lim(2001)의 접근방법과 다른 시각으로 분석하고자 한다. Lim(2001)은 불완비정보 상황에서 정보 비보유자인 생산자가 납품계약을 제시하고, 정보 보유자인 공급자가 이에 대해 수동적으로 수락 여부만을 결정하는 역선택(adverse selection) 모형을 게임 이론적으로 분석하였다. 그러나 본 연구는 정보 보유자인 공급자가 납품계약을 체결하기 이전에 능동적인 행위를 통하여 자신의 유형을 신호로 먼저 제공하는 신호

게임(signaling game) 모형을 이론적으로 분석하였다. 즉, 정보 비보유자로서 생산자가 정보 보유자인 부품 공급자에게 유인계약을 제시하기 이전에 부품 공급자가 자신의 유형을 암시하는 행동을 먼저 취하여 정보 비보유자인 생산자로 하여금 자신이 어떤 유형임을 인식하도록 할 수 있다는 점에서 Lim(2001)의 연구 주제와 차별화된다. 정보 보유자의 행동을 관찰한 정보 비보유자는 상대방의 유형을 짐작할 수 있게 되고, 이를 근거로 하여 최선의 선택을 하게 된다. 물론 정보 보유자는 정보 비보유자가 최선으로 선택하게 될 전략이 자신에게 유리하다고 판단될 경우에만 자신의 유형을 암시하는 행동을 할 것이다. 이와 같이 사적 정보 보유자가 정보 비보유자의 합리적인 선택을 유도하도록 자신의 유형을 암시하는 행동을 할 수 있도록 고안된 게임을 신호게임이라 한다.(Fudenberg와 Tirole, 1991; Myerson, 1991; Rasmusen, 2001)

저품질의 부품을 생산하는 공급자는 굳이 자신의 유형을 드러내고 싶어 하지 않을 것이다. 그러나 고품질의 부품을 생산하는 공급자가 자신의 유형을 암시하는 행동을 먼저 취하여 생산자로 하여금 자신이 고품질의 부품을 생산하는 업체라고 인식하게 하는 것이 유리하다고 판단될 경우 그는 전략적으로 자신이 고품질의 부품을 생산하는 업체라는 신호를 보낼 것이다. 국제 ISO 9000 시리즈 혹은 국내 KSA 9000 시리즈 등은 기업 또는 공장의 품질경영 시스템이 규격에 적합한지를 공인된 제3자 인증기관이 심사하여 인증하는 품질인증 제도이다. 따라서 고품질의 부품을 생산하는 공급자가 자신에게 유리하다고 판단될 경우 그는 생산자에게 신호로서 품질인증을 획득할 것이다. 그러나 품질

인증 획득을 위한 비용이 지나치게 크거나 혹은 시장 내에서의 고품질 부품을 생산하는 공급자 비율, 불량 부품에 대한 수정비용, 실패비용에 대한 공급자 분담 비율 등 여러 가지 변수의 크기에 따라 오히려 품질인증 획득을 포기하는 것이 유리할 수 있다. 이러한 경우 고품질의 부품을 생산하는 업체는 자신의 유형을 암시하는 품질인증 획득을 포기할 것이다. 본 연구에서는 고품질의 부품을 생산하는 공급자가 품질인증을 획득하는 행동이 과연 공급자에 대한 정보를 모르는 생산자에게 의미있는 신호로 전달되어 생산자가 바람직한 의사결정을 하게 되는가를 살펴보기로 한다.

본 연구 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 2절에서는 부품 공급자와 생산자간의 신호게임을 분석한다. 먼저 Reyniers와 Tapiero(1995)의 모형을 기반으로 기본 모형을 제시하고 완전정보(perfect information) 시장과 불완비정보 시장을 비교한다. 불완비정보 시장에서 품질인증 획득을 통한 신호게임을 모형화하고, 완전베이즈균형(perfect Bayesian equilibrium)에 의하여 최적 균형을 도출한다. 3절에서는 논문의 요약과 더불어 시사점을 도출한다.

II. 게임이론적 분석

2.1 기본 모형¹⁾

시장에는 부품을 생산하는 다수의 부품 공급자와 이 부품을 납품받아 조립, 가공작업을 통해 특정

1) 본 기본 모형은 부품공급자와 생산자간의 품질관련 전략적 행동을 게임 모형으로 정형화하고 내쉬균형 개념의 정태적 분석을 처음으로 시도한 Reyniers와 Tapiero(1995)의 모형을 기초로 구성하였다.

제품을 생산하는 생산자가 있다. 생산자는 부품 공급자로부터 부품을 단위당 가격 π 로 구입한다. 부품 공급자는 고품질의 부품을 생산하는 업체와 저품질의 부품을 생산하는 업체 두 가지 유형 ($\theta \in \{\theta_h, \theta_l\}$)으로 구분된다. 고품질의 부품을 생산하는 공급자(θ_h)의 한계생산비용은 c_h 이고, 불량률은 p_h 이다. 반면, 저품질의 부품을 생산하는 공급자(θ_l)의 한계생산비용은 c_l (단, $c_l < c_h$)이고, 불량률은 p_l (단, $p_l > p_h$)이다. 즉, 저품질의 부품은 상대적으로 저렴한 비용으로 생산할 수 있지만, 불량률은 상대적으로 높다.

생산자는 공급자로부터 부품을 납품받아 완제품을 생산하고 단위당 s 의 수익으로 최종 소비자에게 판매된다. 공급자로부터 부품을 납품받을 때 생산자는 부품의 불량 여부를 확인하기 위해 품질검사를 수행할 수 있다. 이때 생산자는 불량 부품을 완벽하게 가려낼 수 있으나, 단위당 T 의 검사비용이 소요된다. 검사결과 불량 부품이 발견되면 즉시 공급자에게 반품되어 공급자에게는 불량 부품에 대한 제반 수리비용 R 이 발생하게 된다. 한편 생산자는 품질검사를 하지 않으면서 검사비용을 절감할 수도 있지만, 이러한 경우 불량 부품으로 인해 사후적으로 완제품 불량률이 발생할 수 있다. 이때 발생하는 소비자의 반품 처리 및 생산자의 신용도 하락 등 품질 실패비용은 F 이며, 이 비용은 부품 공급자와 생산자간의 품질보증계약에 의해 부품 공급자와 생산자는 각각 $1-\alpha$ 와 α (단, $0 \leq \alpha \leq 1$)의 비율로 분담한다. 즉, 부품 공급자는 부품 불량으로 인해 발생하는 완제품 불량률의 품질 실패비용의 일정분 $(1-\alpha)F$ 을 품질보증계약에 의해 책임진다.

이와 같은 상황에서 생산자가 품질검사를 수행하는 경우 생산자의 기대수익(U)은 $s - \pi - T$ 이고, 공

급자의 기대수익(V^i)은 $\pi - c_i - p_i R$ ($i = h \text{ or } l$)이 되고, 생산자가 품질검사를 수행하지 않는 경우 생산자의 기대수익(U)은 $s - \pi - p_l \alpha F$ 이고, 공급자의 기대수익(V^i)은 $\pi - c_i - p_i (1 - \alpha)F$ ($i = h \text{ or } l$)이 된다.

공급자로부터 납품받은 부품에 대해 생산자가 T 의 비용으로 품질검사를 수행하게 되면 불량 부품을 완벽하게 가려낼 수 있기 때문에 공급자에게는 수리비용은 발생할 수 있으나 불량 부품으로 인한 실패비용의 분담분은 발생하지 않는다. 만약 실패비용을 모두 공급자에게 부담시킬 수 있다면 ($\alpha = 0$) 생산자는 어떠한 경우에서도 품질검사를 수행할 유인이 없게 된다. 한편 $0 < \alpha \leq 1$ 에 대해서도 $p_h \alpha F \leq p_l \alpha F$ 이므로, 만약 품질검사 비용이 고품질 부품에 대한 실패비용의 생산자 부담분보다 작은 경우($T \leq p_h \alpha F$)에는 생산자 입장에서 언제나 품질검사를 수행하게 된다. 마찬가지로 품질검사 비용이 저품질 부품에 대한 실패비용의 생산자 부담분보다 큰 경우($p_l \alpha F \leq T$)에는 생산자는 언제나 품질검사를 수행하지 않게 된다. 따라서 생산자의 특정 전략이 어떠한 경우에서도 항상 열등한 전략(dominated strategy)이 되는 상황을 방지하기 위하여 $\alpha \neq 0$ 및 $p_h \alpha F \leq T \leq p_l \alpha F$ 을 가정한다.

2.2 완전정보 시장과 불완비정보 시장의 비교

부품 공급자는 자신의 유형에 대해 정확히 알고 있다. 부품을 납품받는 생산자가 공급자의 유형을 정확히 알 수 있다면 완전정보 시장이 형성되지만, 생산자가 θ_h 유형의 공급자로부터 부품을 공급받게 되는지, θ_l 유형의 공급자로부터 부품을 공급받게 되는지 정확히 알 수 없다면 불완비정보 시장이 형성된다. 즉, 불완비정보하에서 공급자는 자신의 유

형을 사적정보로 가지며, 다만 생산자는 부품시장에서 고품질의 부품을 생산하는 업체의 비율이 β 이고, 저품질의 부품을 생산하는 업체의 비율이 $1-\beta$ 라는 사전적 확률분포(prior probability)만 알게 된다.

완전정보 시장에서 생산자가 θ_h 유형의 공급자로부터 부품을 공급받았는지 알게 되면 $s-\pi-T \leq s-\pi-p_h\alpha F$ 이므로 항상 품질검사를 수행하지 않는다. 반면 생산자가 θ_l 유형의 공급자로부터 부품을 공급받았는지 정확히 알게 되면 $s-\pi-p_l\alpha F \leq s-\pi-T$ 이므로 항상 품질검사를 수행한다. 그러나 불완전정보시장에서 생산자는 부품시장의 평균 불량률을 기준으로 의사결정을 할 수 밖에 없으며 이때 생산자의 기대수익은 다음과 같다.

$$EU = \begin{cases} s-\pi-T & \text{if inspection is done.} \\ s-\pi-\{\beta p_h + (1-\beta)p_l\}\alpha F & \text{if inspection is not done.} \end{cases}$$

즉, 생산자는 사전확률 β 에 따라 의사결정을 할 수 밖에 없으며²⁾ 이때 기대수익은 완전정보하에서의 수익보다 줄어들게 된다.

한편 완전정보 시장에서 θ_h 유형의 공급자 수익은 $\pi-c_h-p_h(1-\alpha)F$ 이고, θ_l 유형의 공급자의 수익 $\pi-c_l-p_lR$ 으로 확정되지만, 불완비정보 시장에서는 β 에 따른 생산자의 품질검사 여부에 따라 기대수익이 달라지게 된다. 예를 들면, β 가 충분히 작아 생산자가 품질검사를 수행할 경우에 θ_h 유형 공급자의 수익이 오히려 줄어들 수 있고, 반

대로 β 가 충분히 커서 생산자가 품질검사를 수행하지 않을 경우에 θ_l 유형 공급자의 수익이 줄어들 수도 있다.³⁾ 이와 같이 완전정보 시장에 비해 불완비정보 시장에서는 시장의 비효율성이 발생하게 되고, 고전적인 Akerlof(1970)의 중고차 시장 모형과 같이 고품질의 부품을 생산하는 공급자보다는 저품질의 부품을 공급하는 공급자가 더 많은 혜택을 받게 되어 고품질의 부품을 생산하는 공급자가 사라지고 시장실패가 발생하는 현상을 배제할 수 없다.

2.3 품질인증 획득으로 인한 신호게임(Signaling Game) 모형

고품질의 부품을 생산하는 공급자가 자신의 유형을 암시하는 행동으로 생산자에게 자신이 고품질의 부품을 생산하는 업체라고 인식하게 하는 것이 유리하다고 판단되면 그는 전략적으로 자신이 고품질의 부품을 생산하는 업체라는 신호를 보낼 것이다. 본 절에서는 고품질의 부품을 생산하는 공급자가 공인된 기관으로부터 ISO 9000과 같은 품질인증을 사전에 획득하고 이것이 과연 생산자에게 자신의 유형을 암시하는 신호로 전해지며 균형으로 성립되는가를 살펴보기로 한다.

θ_h 유형의 공급자는 생산자에게 부품을 납품하기에 앞서 공인기관으로부터 품질인증을 획득할 수 있다. 이때 품질인증을 획득하기 위해 소요되는 단위당 제반 비용은 Q 이다.⁴⁾ 그러나 θ_h 유형의 공

2) 만약 $\beta < \frac{p_l\alpha F - T}{(p_l - p_h)\alpha F}$ 이면 생산자는 항상 품질검사를 수행하고, 그렇지 않은 경우 품질검사를 수행하지 않는다.

3) 이에 대한 자세한 분석은 2.4.2 비분리균형에서 논의하기로 한다.

4) 일반적으로 품질인증 심의는 생산 프로세스 및 시스템을 대상으로 시행된다. 따라서 본 연구에서 모형화하고 있는 부품단위당 제반 품질인증 비용 Q 는 다소 현실적이지 못하다. 그러나 본 연구 모형은 Reyniers와 Tapiero(1995)의 모형을 기초로 구성되었기 때문에 이미 공급자와 생산자의 기대수익을 구성하고 있는 단위당 품질 검사 비용 T , 부품 수리 비용 R 및 품질 실패 비용 F 등 제반 비용과의 일관성 유지 및 기대수익 설정의 편의를 위해 단위당 품질 인증 비용 Q 를 공급자 기대수익에 계상하기로 한다.

급자가 품질인증 획득이 자신에게 혜택이 되지 못한다고 판단했을 경우에는 굳이 추가비용을 들여 품질인증을 획득하지 않을 수도 있다. 따라서 x_h 를 θ_h 유형 공급자의 전략이라 하면 $x_h \in \{\text{인증}, \text{비인증}\}$ 이 된다. 반면 저품질의 부품을 생산하는 θ_l 유형의 공급자는 생산기술 및 공정이 상대적으로 미흡하여 품질인증을 획득할 수 없다. 따라서 θ_l 유형의 공급자 전략 x_l 은 항상 비인증이 된다. ($x_l \in \{\text{비인증}\}$)

생산자는 공급자로부터 부품 공급을 받기에 앞서 공급자의 품질인증 획득 여부를 인식하게 된다. 공급자의 품질인증 획득 여부를 관찰한 생산자는 공급받은 부품에 대해 품질검사를 수행할 수도 있고, 수행하지 않을 수도 있다. 즉, 생산자는 공급자의 전략선택을 목격한 후 자신의 전략 $y|x_i \in \{\text{검사}, \text{비검사}\}$ 을 결정하게 된다.

이와 같이 진행되는 게임에 대해 각 게임 참여자의 기대수익은 다음과 같다.

〈공급자의 기대수익〉

- (1) θ_h 유형의 공급자가 품질인증을 획득한 경우

$$V^h(x_h = \text{인증}, y|x_h = \text{검사}) = \pi - c_h - p_h R - Q$$

$$V^h(x_h = \text{인증}, y|x_h = \text{비검사}) = \pi - c_h - p_h(1 - \alpha)F - Q$$

- (2) θ_i 유형($i = h$ or l)의 공급자가 품질인증을 획득하지 않은 경우

$$V^i(x_i = \text{비인증}, y|x_i = \text{검사}) = \pi - c_i - p_i R$$

$$V^i(x_i = \text{비인증}, y|x_i = \text{비검사}) = \pi - c_i - p_i(1 - \alpha)F$$

〈생산자의 기대수익〉

$$U(x_i = \text{인증}, y|x_i = \text{검사}) = s - \pi - T$$

$$U(x_i = \text{비인증}, y|x_i = \text{검사}) = s - \pi - T$$

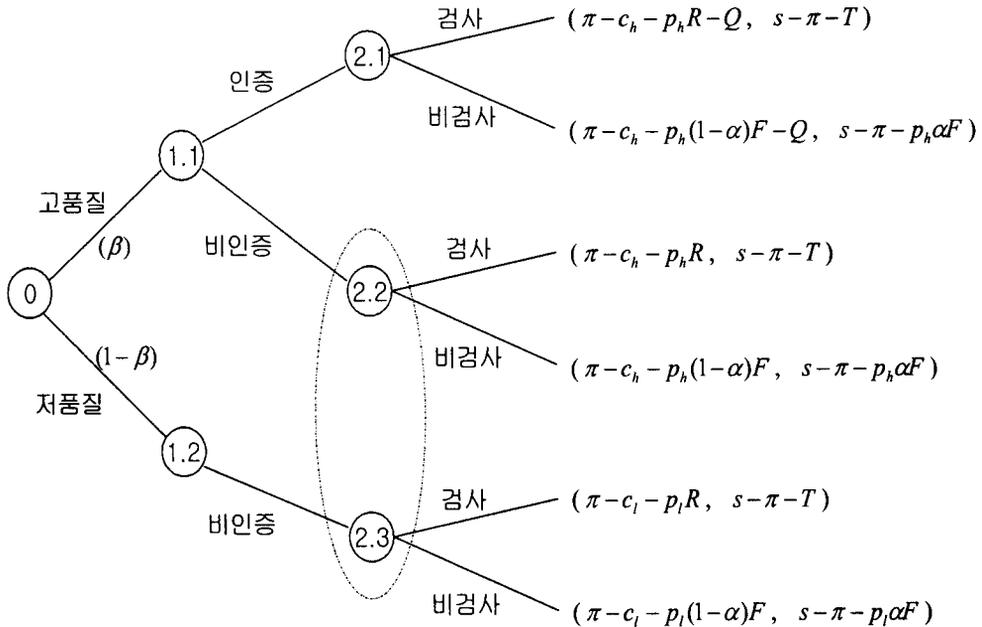
$$U(x_h = \text{인증}, y|x_h = \text{비검사}) = s - \pi - p_h \alpha F$$

$$U(x_l = \text{비인증}, y|x_l = \text{비검사}) = s - \pi - p_l \alpha F$$

〈그림 1〉은 이상의 상황을 전개형 게임으로 나타낸 것이다. 자연의 법칙(state of nature)에 의해 부품 공급자의 유형이 마디(node) 0 에서 정해진다. θ_h 유형의 공급자는 품질인증 획득 혹은 미획득의 두 가지 전략선택 대안이 있으나(마디 1.1), θ_l 유형의 공급자는 품질인증을 획득할 수 없다(마디 1.2). 공급자와 생산자가 부품 공급계약을 체결하기에 앞서 공급자가 품질인증을 획득한 경우에는 생산자는 공급자가 고품질의 부품을 생산하는 업체임을 인지할 수 있다(마디 2.1). 그러나 공급자가 품질인증을 획득하지 않았을 경우에는 생산자는 부품 공급업체의 유형을 정확히 알 수 없다(마디 2.2와 2.3). 이와 같은 불완비정보의 상황이 〈그림 1〉에서 점선의 타원형으로 표시되어 있다. 어떠한 경우에도 생산자는 공급자로부터 부품을 납품받게 되고, 이 부품에 대한 품질검사를 수행하거나 혹은 수행하지 않을 수 있다. 각 경우에서 공급자와 생산자의 기대수익은 우측 종결마디에 나타나 있다.

2.4 신호게임 모형의 완전베이즈균형 (Perfect Bayesian Equilibrium)

완전베이즈균형은 동태적 불완비정보 게임(dynamic incomplete information game)에서 사용되는 균형 개념으로 완전정보하에서 순차적으로 진행되



〈그림 1〉 품질인증 신호게임의 전개

는 게임의 부분게임완전균형(subgame perfect Nash equilibrium) 개념과 불완비정보하에서 진행되는 게임의 베이시안균형(Bayesian equilibrium) 개념이 동시에 적용되는 균형 개념이다. (Fudenberg and Tirole, 1991; Myerson, 1991) 즉, 부분게임완전균형의 후방귀납법(backward induction)에 따라 게임 참여자의 최적 전략이 선택되면서, 불완비정보하에서 게임이 순차적으로 진행되기 때문에 게임 참여자는 자신이 속해있는 정보 집합(information set)에서의 신념(belief)을 근거로 최선의 선택을 해야 한다. 이때 경기자의 신념이란 두개 이상의 의사결정 마디로 구성된 정보 집합에서 대안을 선택할 때 자신이 정보 집합내의 어느 의사결정 마디에 와 있는지에 대한 추측이고, 이러한 추측은 베이즈법칙이 적용되어 논리적으로 일관성을 지니는 사후 확률(posterior probability)로

표현된다. 〈그림 1〉에서 마디 2.2와 2.3은 생산자에게 동일한 정보 집합이 되며 이때 생산자의 신념은 자신이 마디 2.2의 상황인지 혹은 2.3의 상황인지에 대해 공급자의 행동을 목격한 뒤 베이즈법칙이 적용된 사후 확률로 나타난다.

본 논문의 품질 신호게임에서 완전베이즈균형은 다음 세 가지 조건을 모두 만족하는 각 부품 공급자들의 최적 전략(x_h^*, x_l^*)과 생산자의 최적 전략($y^*|x_i$) 및 생산자의 신념($\mu(\theta|x_i)$)이다.

조건 1: 각 유형의 부품 공급자는 각각 자신의 유형에 따라 최선의 선택을 한다.

$$x_h^* \in \operatorname{argmax}_{x_h} V^h(x_h, y^*|x_i)$$

$$x_l^* \in \operatorname{argmax}_{x_l} V^l(x_l, y^*|x_i)$$

조건 2: 생산자는 부품 공급자의 신호를 보고 신념에 따라 최선의 선택을 한다.

$$y^*|x_i \in \operatorname{argmax}_y \sum_{\theta \in \{\theta_h, \theta_l\}} \mu(\theta|x_i) U(x_i, y|x_i) \\ \forall x_i \in \{\text{인증}, \text{비인증}\}$$

조건 3: 생산자의 신념은 부품 공급자의 신호에 따른 사후 확률이다.

$$\mu(\theta_h|x_i) = \frac{\beta \operatorname{prob}(x_i|\theta_h)}{\beta \operatorname{prob}(x_i|\theta_h) + (1-\beta) \operatorname{prob}(x_i|\theta_l)} \\ \mu(\theta_l|x_i) = 1 - \mu(\theta_h|x_i)$$

완전베이즈균형을 도출하는 과정에서 자신의 유형을 알고 있는 정보 보유자의 최적 전략이 각 유형에 따라 서로 다른 전략을 선택할 것인지 혹은 자신의 유형에 관계없이 동일한 전략을 선택할 것인지에 따라 분리전략(separating strategy)과 비분리전략(pooling strategy)로 나뉜다. θ_l 유형의 부품 공급자가 품질인증을 획득하지 못하는 반면, θ_h 유형의 부품 공급자가 품질인증을 획득하는 전략을 선택하는 것이 균형 상태를 형성하면 이를 분리균형(separating equilibrium)이라 한다. 반면, 공급자의 유형에 관계없이 모든 부품 공급자가 품질인증을 획득하지 않는 것이 균형 상태를 형성할 경우 이를 비분리균형(pooling equilibrium)이라 한다.

2.4.1 분리균형(Separating Equilibrium)

본 절에서는 θ_h 유형의 공급자가 품질인증을 획득하고, θ_l 유형의 공급자가 품질인증을 획득하는

않는 분리전략을 사용하는 경우의 균형 상태를 살펴보기로 한다. θ_l 유형의 공급자는 품질인증을 획득할 수 없으므로 $\operatorname{prob}(\text{인증}|\theta_l) = 0$ 이고, 각 유형의 공급자는 서로 다른 분리전략을 사용하므로 $\operatorname{prob}(\text{비인증}|\theta_h) = 0$ 이기 때문에 (조건 3)에 의해 베이즈법칙이 적용된 생산자의 신념은 다음과 같다.

$$\mu(\theta_h|\text{인증}) = 1, \quad \mu(\theta_l|\text{인증}) = 0 \\ \mu(\theta_h|\text{비인증}) = 0, \quad \mu(\theta_l|\text{비인증}) = 1$$

이와 같은 생산자의 신념하에서 (조건 2)에서 제시된 생산자의 최적 전략 선택은 다음과 같다. 부품 공급자가 품질인증을 획득한 사실을 목격한 생산자는 마디 2.1 상황에서 최적의 선택은 품질검사를 수행하지 않는 것이다. 왜냐하면 $p_h \alpha F \leq T$ 이므로, 항상 $U(x_h = \text{인증}, y|x_h = \text{검사}) \leq U(x_h = \text{인증}, y|x_h = \text{비검사})$ 이 성립하기 때문이다. 한편 공급자가 품질인증을 획득하지 않은 사실을 목격한 생산자는 마디 2.2와 2.3 상황의 동일한 정보집합내에 있게 된다. 그러나 $\mu(\theta_h|\text{비인증}) = 0$, $\mu(\theta_l|\text{비인증}) = 1$ 이라는 신념에 따라 자신은 마디 2.3에 있다는 것을 확신하고 최적의 선택으로 품질검사를 수행한다. 왜냐하면 $T \leq p_l \alpha F$ 이므로, 항상 $U(x_l = \text{비인증}, y|x_l = \text{검사}) \geq U(x_l = \text{비인증}, y|x_l = \text{비검사})$ 이 성립하기 때문이다.

동일한 정보 집합내의 마디 2.2와 2.3 상황에서 생산자는 $\mu(\theta_l|\text{비인증}) = 1$ 이란 신념에 따라 항상 품질검사를 수행하게 되므로 이러한 것을 예견할 수 있는 θ_h 유형의 공급자는 자신이 분리전략으로 부터 이탈하여 품질인증을 획득하지 않음으로써 마디 2.2 상황이 전개된다 하더라도 생산자는 이러한 자신의 이탈 사실을 감지할 수 없어 생산자 자

신의 신념을 바탕으로 품질검사를 수행할 것이라는 사실을 안다. 따라서 내쉬균형의 원리에 따라 θ_h 유형의 공급자가 마디 1.1 상황에서 분리균형으로부터 이탈하여 비인증을 선택할 유인이 없으려면 항상 $V^h(x_h = \text{인증}, y^*|x_h = \text{비검사}) \geq V^h(x_h = \text{비인증}, y^*|x_h = \text{검사})$ 즉, $Q \leq \max\{p_h(R - (1 - \alpha)F), 0\}$ 조건이 만족되어야 한다. 이상의 논의는 다음과 같은 Lemma로 정리된다.

Lemma 1: 만약 $Q \leq \max\{p_h(R - (1 - \alpha)F), 0\}$ 이면, 다음과 같은 완전베이지 분리균형이 존재한다.

$$\begin{aligned} x_h^* &= \text{인증}, x_l^* = \text{비인증}, \\ y^*|_{\text{인증}} &= \text{비검사}, y^*|_{\text{비인증}} = \text{검사}, \\ \mu(\theta_h|\text{인증}) &= 1, \mu(\theta_l|\text{인증}) = 0, \\ \mu(\theta_h|\text{비인증}) &= 0, \mu(\theta_l|\text{비인증}) = 1. \end{aligned}$$

즉, 품질인증 비용이 충분히 작은 경우, θ_h 유형의 공급자는 품질인증을 획득하고, θ_l 유형의 공급자는 품질인증을 획득하지 않는다. 공급자가 품질인증을 획득한 사실을 목격한 생산자는 공급자가 θ_h 유형이란 신념으로 부품에 대해 품질검사를 수행하지 않고, 품질인증을 획득하지 않은 사실을 목격한 생산자는 공급자가 θ_l 유형이란 신념으로 품질검사를 수행한다.

2.4.1 비분리균형(Pooling Equilibrium)

본 절에서는 θ_h 유형 혹은 θ_l 유형의 모든 공급자가 품질인증을 획득하는 않는 비분리전략을 사용하는 경우의 균형 상태를 살펴보기로 한다. θ_l 유형의 공급자는 품질인증을 획득할 수 없으므로 $\text{prob}(\text{인}$

증 θ_l) = 0 이고, θ_h 유형의 공급자가 비분리전략으로 품질인증을 획득하지 않으므로 $\text{prob}(\text{비인증}|\theta_h) = 1$ 이기 때문에 (조건 3)에 의해 베이즈법칙이 적용된 생산자의 신념은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \mu(\theta_h|\text{인증}) &= 1, & \mu(\theta_l|\text{인증}) &= 0 \\ \mu(\theta_h|\text{비인증}) &= \beta, & \mu(\theta_l|\text{비인증}) &= 1 - \beta \end{aligned}$$

모든 유형의 공급자가 동일한 행동을 하기 때문에 생산자는 공급자가 어떤 유형인지 알 수 없기 때문에 (조건 3)에 의한 사후확률은 결국 사전확률과 동일한 결과가 된다. 이와같은 생산자의 신념하에서 (조건 2) 생산자의 최적 전략의 선택은 다음과 같다. 만약 공급자가 품질인증을 획득한 사실을 목격하게 되면 앞서 설명한 바와 같이 생산자는 항상 품질검사를 수행하지 않는다. 그러나 공급자의 비분리전략에 의해 모든 유형의 공급자가 품질인증을 획득하지 않으면 생산자는 마디 2.2와 2.3 상황의 동일한 정보 집합내에서 자신이 β 의 확률로 마디 2.2에 있으며, $1 - \beta$ 의 확률로 마디 2.3에 있다고 생각하게 된다. 따라서 공급자가 품질인증을 획득하지 않은 사실을 목격한 생산자의 기대 수익은 자신의 전략 선택에 따라 다음과 같다.

$$\begin{aligned} U(x_i = \text{비인증}, y|x_i = \text{검사}) &= s - \pi - T \\ U(x_i = \text{비인증}, y|x_i = \text{비검사}) &= s - \pi - \{\beta p_h + (1 - \beta)p_l\}\alpha F \end{aligned}$$

따라서 부품 공급자가 품질인증을 획득하지 않은 사실을 목격한 생산자는 β 값의 범위에 따라 서로 다른 의사결정을 하게 된다.

$$\text{Case 1: } 0 \leq \beta < \frac{p_l \alpha F - T}{(p_l - p_h) \alpha F}$$

이 경우 생산자는 $U(x_i = \text{비인증}, y|x_i = \text{검사}) > U(x_i = \text{비인증}, y|x_i = \text{비검사})$ 이므로 품질검사를 수행하는 것이 최선의 선택이다. 따라서 (조건 2) 생산자의 최적 전략 선택은 전 절에서 설명한 분리균형과 마찬가지로 마디 2.1 상황에서는 품질검사를 수행하지 않고, 동일한 정보 집합내의 마디 2.2 와 2.3 상황에서는 품질검사를 수행하는 것이 최적적이다. 이러한 사실을 예견할 수 있는 θ_h 유형의 공급자가 과연 비분리전략으로 품질인증을 획득하지 않는 것이 최선의 선택인가는 분리균형의 경우와 반대로 $V^h(x_h = \text{인증}, y^*|x_h = \text{비검사}) \leq V^h(x_h = \text{비인증}, y^*|x_h = \text{검사})$ 이 만족되어야 하므로 $Q \geq p_h \{R - (1 - \alpha)F\}$ 조건하에서만 비분리 균형이 존재한다. 이상의 논의는 다음과 같은 Lemma로 정리된다.

Lemma 2: 만약 $0 \leq \beta < \frac{p_l \alpha F - T}{(p_l - p_h) \alpha F}$ 이고,

$Q \geq p_h \{R - (1 - \alpha)F\}$ 이면,

다음과 같은 완전베이즈 비분리균형이 존재한다.

$$\begin{aligned} x_h^* &= \text{비인증}, x_l^* = \text{비인증}, \\ y^*|_{\text{인증}} &= \text{비검사}, y^*|_{\text{비인증}} = \text{검사}, \\ \mu(\theta_h|\text{인증}) &= 1, \mu(\theta_l|\text{인증}) = 0, \\ \mu(\theta_h|\text{비인증}) &= \beta, \mu(\theta_l|\text{비인증}) = 1 - \beta. \end{aligned}$$

Lemma 1과 Lemma 2에 의하면 부품 시장내 고품질의 부품을 생산하는 공급자의 비율이 상대적으로 적은 경우에는 분리균형과 비분리균형이 서로 양립할 수 없게 된다. 즉, $0 \leq \beta < \frac{p_l \alpha F - T}{(p_l - p_h) \alpha F}$ 인 경우 품질인증 획득을 위한 제반비용 Q 가 상대적으로 적다면 θ_h 유형의 공급자는 가지 1.1 상황

에서 비분리 전략이 아닌 품질인증을 획득하는 것이 최적이므로 비분리 균형이 존재하지 않는다. 반대로 Q 가 상대적으로 크다면 θ_h 유형의 공급자는 비분리 전략으로 품질인증을 획득하지 않는 것이 최적이므로 Lemma 1에서 제시된 분리균형은 존재하지 않게 된다.

$$\text{Case 2: } \frac{p_l \alpha F - T}{(p_l - p_h) \alpha F} \leq \beta \leq 1$$

이 경우 생산자는 $U(x_i = \text{비인증}, y|x_i = \text{검사}) \leq U(x_i = \text{비인증}, y|x_i = \text{비검사})$ 이므로 품질검사를 수행하지 않는 것이 최선의 선택이다. 따라서 생산자는 모든 마디 2.1, 2.2, 2.3 상황에서 품질검사를 수행하지 않게 된다. 이러한 사실을 예견할 수 있는 θ_h 유형의 공급자는 $V^h(x_h = \text{인증}, y^*|x_h = \text{비검사}) \leq V^h(x_h = \text{비인증}, y^*|x_h = \text{비검사})$ 이 항상 만족되므로 비분리전략으로부터 이탈할 유인이 없다. 이상의 논의는 다음과 같은 Lemma로 정리된다.

Lemma 3: 만약 $\frac{p_l \alpha F - T}{(p_l - p_h) \alpha F} \leq \beta \leq 1$ 이면,

다음과 같은 완전베이즈 비분리균형이 존재한다.

$$\begin{aligned} x_h^* &= \text{비인증}, x_l^* = \text{비인증}, \\ y^*|_{\text{인증}} &= \text{비검사}, y^*|_{\text{비인증}} = \text{비검사}, \\ \mu(\theta_h|\text{인증}) &= 1, \mu(\theta_l|\text{인증}) = 0, \\ \mu(\theta_h|\text{비인증}) &= \beta, \mu(\theta_l|\text{비인증}) = 1 - \beta. \end{aligned}$$

즉, 부품시장내 고품질의 부품을 생산하는 공급자의 비율이 상대적으로 큰 경우 생산자는 항상 품질검사를 하지 않게 되며 이를 예견할 수 있는 θ_h 유형의 공급자는 추가적인 비용을 들여 품질인증을 받을 필요가 없는 것이다.

III. 결론

본 연구에서는 부품 공급자와 생산자간 비대칭적 정보가 존재하는 경우 부품 공급자의 품질인증을 통한 신호게임을 분석하였다. 부품 공급자들이 고품질의 부품을 생산하는 유형과 저품질의 부품을 생산하는 유형으로 구분되고 자신의 유형이 사적 정보인 경우 이에 관한 정보 비보유자인 생산자는 부품시장에서 평균 불량률을 기준으로 모든 의사결정을 수행하여야 한다. 그러나 고품질의 부품을 생산하는 공급자가 자신의 유형을 암시하는 행동으로 생산자에게 자신이 고품질의 부품을 생산하는 업체라고 인식하게 하는 것이 바람직하다고 판단할 경우 그는 품질인증을 획득하여 생산자에게 자신의 유형을 신호로 표현하게 된다. 이같은 품질인증 신호게임 모형으로 부터 세 개의 Lemma를 도출하였고, 완전베이지균형은 다음과 같이 요약할 수 있다.

첫째, 품질인증 획득 비용이 상대적으로 적은 경우, 저품질의 부품을 생산하는 공급자는 품질인증을 획득하지 못하는 반면 고품질의 부품을 생산하는 공급자는 품질인증을 획득한다. 부품공급자가 품질인증을 획득한 사실을 목격한 생산자는 그가 고품질의 부품을 생산하는 공급자라는 신념으로 품질검사를 수행하지 않고, 품질인증을 획득하지 않은 사실을 목격한 생산자는 그가 저품질의 부품을 생산하는 공급자라는 신념으로 품질검사를 수행한다.

둘째, 품질인증 획득 비용이 상대적으로 큰 경우, 고품질의 부품을 생산하는 공급자는 품질인증 획득을 포기한다. 즉, 저품질의 부품을 생산하는 공급자나 고품질의 부품을 생산하는 공급자나 모두 품질인증을 획득하지 않게 된다. 이때 생산자는 부품 시장 내에 고품질의 부품을 생산하는 공급자 비

율이 상대적으로 크다고 판단할 경우에는 품질검사를 수행하지 않고, 저품질의 부품을 생산하는 공급자의 비율이 상대적으로 크다고 판단할 경우에는 품질검사를 수행한다.

두 번째 완전베이지 비분리 균형에서는 각 유형의 부품 공급자가 동일한 전략을 선택하여 품질인증 제도가 작동하지 못하고 부품 공급자와 생산자간의 정보의 비대칭으로 인한 시장의 비효율성이 개선되지 못했다. 그러나 첫 번째 완전베이지 분리 균형에서는 품질인증 제도가 불완비정보 시장에서의 비효율성을 제거할 수 있는 유효한 제도로서 작동할 수 있음을 보였다. 이와 같은 품질인증 제도의 작동 여부는 부품 공급자 입장에서 수리비용, 실패비용의 분담분 등이 고려된 품질인증 획득 비용의 상대적 크기에 따라 좌우된다. 우리나라의 한국품질인증센터의 경우 품질인증과 관련된 제반 상담은 무료로 제공되고 있으며, ISO 9000 시리즈 품질인증 심사비용으로 심사일수 당 50인 이하의 업체에게는 65만원, 50인 이상 200인 이하의 업체에게는 80만원, 200인 이상의 업체에게는 90만원의 심사비용이 적용되고 있어 품질인증 획득 비용은 업체에게 커다란 부담으로 작용하지 않는 것으로 판단된다.

본 연구는 부품 공급자와 생산자간의 품질 게임을 비대칭 정보 상황에서 처음으로 분석한 Lim (2001)의 모형과 달리 능동적인 부품 공급자의 행위를 모형으로 제시하였다는 점에서 그 의의를 찾을 수 있다. Lim(2001)은 불완비정보 상황에서 정보 비보유자인 생산자가 납품계약을 제시하고 정보 보유자인 공급자가 이에 대한 수락 여부를 결정하는 역선택(adverse selection) 모형을 게임 이론적으로 분석하였지만, 본 연구는 정보 보유자인 공급자가 능동적인 행위를 통하여 자신의 유형

을 신호로 먼저 제공하는 신호게임 모형을 이론적으로 분석하였다. 이와 같이 비대칭 정보 상황에서의 대표적인 두 가지 모형 이외에 품질게임에서 도덕적 해이(moral hazard) 모형을 게임 이론적으로 분석한 연구는 현재까지 발표되어 있지 않다. Lim(2001)의 모형에서나 본 연구 모형에서나 모두 게임이 시작하기에 앞서 자연의 법칙에 의해 공급자는 부품시장에서 각 유형으로 결정되어지고, 이 정보가 생산자에게 알려지지 않은 비대칭 정보 상황이었다. 그러나 생산자가 먼저 부품 공급자에게 납품계약을 제시하고 이를 수락한 부품 공급자가 고품질의 부품을 생산할 것인가 혹은 저품질의 부품을 생산할 것인가의 행위 자체가 생산자에게 알려지지 않는 도덕적 해이의 문제는 향후의 좋은 연구과제가 될 수 있다.

참고문헌

- Akerlof, G. (1970), "The market for lemons: Qualitative uncertainty and the market mechanism," *Quarterly Journal of Economics*, 84, 488-500.
- Alkers, J. F. (1991), "World-class quality: nothing less will do," *Quality Progress*, Oct. 26-27.
- Chen, J., Yao, D. D. and S. Zheng (1998), "Quality control for products supplied with warranty," *Operations Research*, 46(1), 107-115.
- Feigenbaum, A. V. (1994), "How total quality counters three forces of international competition," *National Productivity Review*, Summer, 327-330.
- Fudenberg, D., and J. Tirole (1991). *Game Theory*, MIT Press, Cambridge.
- Juran, J. M. (1994), "The upcoming century of quality," *Quality Progress*, Aug. 29-37.
- Kalai, E., M. I. Kamien, and M. Rubinovitch (1992), "Optimal service speeds in a competitive environment," *Management Science*, 38(8), 1154-1163.
- Li, L. (1992), "The role of inventory in delivery-time competition," *Management Science*, 38(2), 182-197.
- Li, L., and Y. S. Lee (1994), "Pricing and delivery-time performance in a competitive environment," *Management Science*, 40(5), 633-646.
- Lim, Wei Shi (2001), "Producer-supplier contracts with incomplete information," *Management Science*, 47(5), 709-715.
- Myerson, R. B. (1979), "Incentive compatibility and the bargaining problem," *Econometrica*, 47, 61-73.
- Myerson, R. B. (1991). *Game Theory: Analysis of Conflict*, Harvard University Press, Cambridge.
- Rasmusen, E. (2001). *Games and Information: An Introduction to Game Theory*, Blackwell, Oxford.
- Reyniers, D. J. (1992), "Supplier-customer interaction in quality control," *Annals of Operations Research*, 34, 307-330.
- Reyniers, D. J., and C. S. Tapiero (1995), "The delivery and control of quality in supplier-producer contracts," *Management Science*, 41(10), 1581-1589.
- Shewhart, W. A. (1931). *Economic Control of Quality Manufactured Product*, Van Nostrand.
- Von Collani, E. (1988), "Economic product control by routine testing of small samples," *The Statistician*, 37, 333-341.

Producer-Supplier Quality Assurance Signaling Game with Incomplete Information

Dowhan Kim*

Abstract

This paper studies the quality assurance signaling game of suppliers when the producer purchases parts from a supplier, and there is incomplete information regarding the quality of the parts. I develop an asymmetric information game model between the supplier who knows his own type of quality and the producer who has only ex-ante beliefs about the supplier's level of technology and the quality of parts. Quality assurance is a way of signaling for a supplier to communicate his type under the possibility of adverse selection. In the perfect Bayesian separating equilibrium, the supplier with high quality acquires the quality assurance to prove that he really produces high quality parts under the relatively small assurance cost. Producer who observes the supplier's signal can make an efficient decision making under the updated posterior belief.

Traditionally in the operations management literature, quality issues are studied as one-person decision problems for the supplier, where he minimizes costs subject to achieving a predetermined quality level. Recently, there has been a paradigm shift in the study of operations management issues - from a one-person optimization model to a game theoretic framework. In particular, Reyniers and Tapiro (1995) considered the effect of contractual parameters such as price rebate and after-sales warranty on the choice of technology (and thus quality) by the supplier and solved for the Nash equilibria of the game. Following the game model of Reyniers and Tapiro (1995), Lim (2001) investigated the contract design problem of a producer when he purchases parts from a supplier, and there is incomplete information regarding the quality of the parts which is the first game-theoretic model of quality control that captures the informational asymmetry.

* Professor, School of Business Administration, Sejong University

When a supplier and a producer negotiate a deal, there is an inherent tendency for the supplier to overstate its quality of parts when the producer has incomplete information about the capability of the supplier. In the model of Lim's study, the producer designs a mechanism first, and the supplier accepts or rejects the contract. The supplier who accepts the contracts plays the game according to the specifications of the accepted contract. In his model, the supplier plays a completely passive role in the design of contract. He found the pooling equilibrium such that the supplier compensates the producer by the same amount, regardless of his quality type.

Key words: signaling game, supply chain, quality assurance, asymmetric informaion, Bayesian equilibrium