

# 기업의 환경책임과 정부의 환경보조금이 복점산업의 환경 R&D 리스크 선택에 미치는 영향\*

## Effects of Corporate Environmental Responsibility and Environmental R&D Subsidy on the Environmental R&D Risk Choices in a Duopoly Market

조수미\*\*·이상호\*\*\*

Sumi Cho · Sang-Ho Lee

본 연구는 기업의 환경책임(Corporate Environmental Responsibility; CER)과 정부의 환경보조금정책이 오염기업들의 환경 R&D(Environmental Research and Development; ER&D) 리스크 선택에 미치는 영향을 분석하였다. 오염기업들이 생산량 경쟁을 하는 복점산업을 대상으로 한 분석결과는 다음과 같다. 첫째, 기업의 ER&D 리스크 선택은 정부가 부과하는 환경보조금이 클수록, 그리고 기업의 CER의 정도가 높을수록 ER&D 리스크가 큰 투자 프로그램을 선택한다. 둘째, 기업들이 ER&D 협조를 한 경우가 각 기업이 ER&D 경쟁을 한 경우보다 ER&D 리스크 수준이 항상 높다. 셋째, 환경보조금이 낮고(높고) 산업의 CER 수준이 낮으면(높으면) 기업의 ER&D 리스크 수준은 사회적으로 과소(과다)하다. 따라서 정부는 기업이 수행하는 CER의 정도가 낮은 경우 환경보조금의 크기를 높이거나 기업이 ER&D를 공동으로 투자할 수 있도록 유도하는 정책이 요청된다. 반면에 기업이 수행하는 CER의 정도가 높은 경우 환경보조금의 크기를 낮추거나 기업이 ER&D를 경쟁적으로 투자하도록 조정하는 정책이 필요하다.

**국문 색인어:** 기업의 환경책임, 사회차선, 생산량 경쟁, 환경보조금, 환경 R&D 리스크

**한국연구재단 분류 연구분야 코드:** B030103, B030200, B030902, B030904

\* 이 논문은 2021년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구입니다 (NRF-2021S1A5B5A16075826). 논문을 보완하는 데 유익한 논평을 해주신 두 분 심사위원에게 감사드립니다.

\*\* 전남대학교 지역개발연구소 학술연구교수(esumii@jnu.ac.kr), 제1저자

\*\*\* 전남대학교 경제학부 교수(sangho@jnu.ac.kr), 교신저자

논문 투고일: 2022. 8. 23, 논문 최종 수정일: 2022. 11. 8, 논문 게재 확정일: 2023. 5. 19

## I. 서론

최근 기후변화로 인한 전 지구적 위협은 학계나 환경운동가 그룹은 물론 일반시민에게도 구체적이고 실존적인 위협으로 인식되고 있다. 이에 따라 많은 국가에서 환경의 질 향상을 중시하는 환경규제정책을 개발하는 동시에 오염을 유발하는 산업에 대한 사회적 환경책임을 강화하고 있다.<sup>1)</sup> 예로 각국 정부는 환경오염원에 대해 탄소세를 부과하거나 배출권 거래제를 시행하거나 혹은 더 엄격한 환경기준을 제시하여 기업들의 자발적인 동참을 유도하는 등의 환경규제를 적극 활용하고 있다.

그러나, 저탄소 사회로의 전환과정에서 기후환경문제를 해결하는 핵심적 열쇠는 기술 혁신에 있으며(Heyen 2016), 친환경 기술혁신은 환경연구개발(Environmental R&D; ER&D)과 밀접한 관련이 있다. 특히, ER&D 보조금정책은 친환경 기술의 도입과 확산에 핵심적인 역할을 담당하는 것으로 널리 알려져 왔다. 즉, ER&D 보조금을 받는 오염기업들은 저탄소로의 전환과정에서 재정적 부담 없이 오염저감 노력에 대한 유인을 충분히 갖게 되어 ER&D를 더욱 적극적으로 수행하게 된다.<sup>2) 3)</sup>

한편, 환경규제를 강화하는 국가정책의 변화는 산업경제와 기업전략에 중요한 영향을 미치고 있다. 저탄소 정책으로의 변화에 대응하여 기업들은 환경의 질을 개선하는 ER&D를 적극 수행하는 동시에 환경의 질에 대한 환경책임(Corporate Environmental Responsibility; CER)을 기업들의 경영목표에 반영하고 있다. 또한, 최근 경제학 문헌에서는 환경의 질과 시장구조

- 1) 기후환경변화에 대한 전 지구적 대응으로 2015년 12월 포스트2020 신기후체계의 근간이 되는 파리협정을 채택하였고, 선진국과 개도국의 구분 없이 모든 국가가 참여하는 보편적 기후변화체제가 구축되고 있다. 우리나라는 2015년 6월에 2030년까지 국가온실가스 배출 전망치를 37% 감축한다는 목표를 설정하였고 2021년 8월에 '탄소중립기본법'을 통과시키는 등 기후변화에 대응하는 법체계화를 진행시키고 있다. 김선화(2019); Garcia et al.(2018); Lee and Park(2021) 참조.
- 2) 최근, 온실가스 배출에 대한 국제적 규제도 강화되는 추세에 있다. 섬유·패션산업에서는 REACH(Registration, Evaluation, Authorisation and restriction of Chemicals, EU의 新화학물질관리제도) 프로그램의 세계적 확산으로 인해 지금까지 사용되고 있던 많은 화학물질이 규제대상이 되고 있으며, 제품 출하단계에서부터 검출 확인단계까지 섬유소재 및 패션제품 생산공정에서 투입관리방식을 도입하여 해당 화학물질이 검출되지 않도록 유도하고 있다. 윤석한·박윤철(2020) 참조.
- 3) ER&D 규제정책의 경제적 효과성에 대한 이론적 논의는 Poyago-Theotoky(2003), David and Sinclair-Desgagné(2005, 2010); Youssef and Dinar(2011); Lee and Park(2019, 2021) 참조.

그리고 기업의 경쟁전략에 대한 관심이 두드러지게 나타나고 있다. CER에 대한 최근의 연구는 기업전략적인 관점에서 CER이 기업의 평판을 높이고, 기업의 수익성을 개선하는지에 대한 분석이 주를 이루어지고 있다.<sup>4)</sup> 예를 들어, Fukuda and Ouchida(2020)와 Wang(2021)은 독점시장에서 정부의 오염배출세 정책과 기업의 CER 간의 관계를 분석했는데 CER에 대한 기업의 홍보가 소비자 잉여와 이윤, 그리고 사회후생을 개선하는 효과는 있지만 반드시 환경에 바람직한 것은 아니라고 하였다.

그러나, 기업은 ER&D 투자와 관련하여 기업관리의 양적 측면에서 ER&D에 얼마나 많은 예산을 쓸 것인지 뿐만 아니라 질적 측면에서 ER&D 예산을 어떤 방법으로 지출할 것인지에 초점을 맞출 필요가 있다(Anderson and Cabral 2007). 기업의 주요 ER&D 프로젝트에 대한 결정은 다양한 위험 수준을 가진 선택의 문제일 수 있기 때문이다. 예를 들어, 오염을 배출하는 오염산업에서 생산단위당 유발되는 배출량을 줄이기 위해서 기업들은 기존에 사용하고 있던 (투자위험도가 낮은) 구기술이나 장비를 개조하여 한계적 수준에 해당하는 최소한의 오염을 줄이는 데 집중할 수도 있지만, 또다른 방법으로 (투자위험도가 높은) 새로운 친환경 기술장비에 연구개발 투자를 하여 배출량을 더 많이 줄이는 공정혁신에 집중할 수도 있다. 그러나, 일반적으로 새로운 기술에 대한 연구개발은 성공할 확률이 낮고, 사후의 고장 발생률 또한 높기 때문에 기존에 사용하고 있던 기술과 장비를 개조하여 배출량을 줄이는 것보다 훨씬 더 큰 위험을 내포하고 있다. 그럼에도 불구하고 기업이 ER&D 투자를 통하여 새로운 장비 연구개발에 성공한다면 기존에 비해 생산단위당 배출량을 상당히 줄일 수 있다.

이처럼 R&D 투자의 성공과 실패에 대한 불확실성이 중요한 연구주제가 됨에 따라 최근에는 많은 학자들이 R&D 리스크에 관심을 갖고 집중적으로 다루고 있다.<sup>5)</sup> 1990년대 이후부터 R&D투자의 시점과 리스크 분석에 대한 연구가 이루어졌으며, 주로 R&D 투자의 성공과 실패에 대한 평균과 분산을 고려하여 전략적인 R&D 리스크 선택을 분석하고 있

4) 이와 관련한 논의는 Khojastehpour and Johns(2014); Liu et al. (2015); Hirose et al. (2021); Buccella et al.(2021, 2022); Xu et al.(2022) 등을 참조.

5) 이윤을 추구하는 대기업들이 수행하는 R&D 투자의 불확실성에 대한 리스크 선택에 대한 대표적인 연구는 Anderson and Cabral(2007); Tishler(2008); Whalley(2011); Zhang, et al.(2013); Xing(2014, 2017) 등을 들 수 있다.

다. 최근 연구로 Xing(2017)은 R&D 확산효과가 존재하는 경우 기업의 R&D 경쟁은 R&D 리스크 수준을 감소시키는 반면, R&D를 공동으로 투자하게 되면 R&D 리스크 수준을 증가시킨다고 하였다. 이상호(2017)은 생산량 경쟁을 하는 혼합복점을 고려하여 공기업과 사기업의 R&D 리스크 선택과 민영화 효과를 분석하였다. Xing(2019)은 혼합복점 모형을 생산량 경쟁과 가격경쟁을 고려한 R&D 리스크 수준을 선택하는 연구로 확장하였으며, 분석결과 공기업과 사기업 모두 가격경쟁의 경우가 더 높은 R&D 리스크 수준을 선택한다는 점을 확인하였다. 이상호·조수미(2020)는 생산량 경쟁과 가격경쟁을 하는 복점 시장을 가정하여 사회적 책임의 정도와 상품차별화의 정도가 R&D 리스크 선택에 미치는 영향을 분석하였다. 특히, 기업의 사회적 책임의 정도와 상관없이 가격경쟁에서의 R&D 리스크가 높지만, 상품차별화의 정도가 낮은 경우에는 가격경쟁을 하는 기업의 R&D 리스크가 높고 생산량경쟁을 하는 기업의 R&D 리스크가 낮다는 사실을 확인하였다.

한편, 오염을 배출하는 기업은 정부가 실시하는 엄격한 환경규제 정책뿐만 아니라 다른 기업과의 치열한 경쟁에도 직면해 있다. 시장경쟁의 상황에서 적절한 유형의 ER&D 프로젝트를 선택하는 것은 기업의 관리자에게 혼란을 가중시킬 수 있다. 몇몇 학자들이 ER&D 지출이 환경규제에 미치는 효과에 관심을 갖고 있다. Tsai et al.(2016)와 Haruna와 Goel(2019)은 혼합복점에서 전략적 ER&D 투자를 고려하여 ER&D 투자가 민영화에 미치는 영향을 분석하였다. Youssef와 Dinar(2011)는 환경세와 R&D 보조금 정책을 사용하여 복점시장에서 ER&D 지출이 사회최적을 달성하는지 여부를 살펴보았다. Xing(2019)은 정부가 실시하는 R&D 보조금과 환경세 정책이 혼합복점 시장에서 공기업과 사기업의 ER&D 인센티브에 어떻게 영향을 미치는지에 대해 살펴보았다. 또한, Xing et al.(2021)은 차별화된 상품을 생산하는 기업들이 경쟁하는 복점시장에서 환경세가 ER&D위험 선택에 미치는 영향을 생산량 경쟁과 가격경쟁을 비교·분석하였다. 그들은 생산량경쟁보다는 가격경쟁을 할 때 더 위험수준이 높은 ER&D 프로그램을 선택한다는 점을 발견하였다.

그러나, 이들 연구들은 ER&D 리스크 선택에 대해 기업 관리자의 관점에서 경쟁과 협조 여부는 살펴보지 않았다. 기업의 CER 활동은 기업의 생산과정과 가격결정과정에서 상당한 영향을 미치기 때문에 당연히 기업의 CER 수준은 기업의 ER&D 규모에 대한 선택뿐만 아

니라 ER&D 리스크의 선택에도 영향을 미치게 된다. 기업이 직면하고 있는 환경오염규제 환경하에서 경쟁 전략에 영향을 미치는 CER 활동과 ER&D 리스크 선택에 대한 연구는 중요함에도 불구하고 이에 대한 분석을 시도하고 있는 연구는 찾기 어렵다.

본 연구는 기업의 환경책임과 정부의 환경보조금정책이 기업들의 ER&D 리스크 선택에 어떻게 반영하는지에 대해 구체적으로 분석하고자 한다. 구체적으로 동일한 상품을 생산하는 두 기업이 생산량 경쟁을 하는 경우 ER&D 리스크 선택에 대한 분석을 통해 정부의 환경정책에 대한 정책적 시사점을 제시하고자 한다.

본 논문의 주요 결과는 다음과 같다. 첫째, 기업의 ER&D 리스크 선택에 대하여 ER&D 경쟁과 협조를 할 때, 각 기업의 균형 ER&D 리스크 수준은 정부가 부과하는 환경보조금이 클수록, 그리고 자사의 CER의 정도가 높을수록 ER&D 리스크가 큰 투자 프로그램을 선택한다. 둘째, 균형에서 각 기업은 ER&D 협조를 한 경우가 ER&D 경쟁을 한 경우보다 ER&D 리스크 수준은 항상 높다. 셋째, 환경보조금을 고려한 경우 기업이 수행하는 CER 수준이 높고(낮고) 정부가 부과하는 환경세가 낮다면(높으면), 두 기업이 협조할 경우(사회 차선)의 ER&D 리스크 수준이 더 높다. 따라서 정부는 기업이 수행하는 CER의 정도가 높을 경우 환경보조금의 크기를 낮춤으로써 기업이 ER&D를 공동으로 투자할 수 있도록 유도하는 정책이 필요하다. 반면에 기업이 수행하는 CER의 정도가 높은 경우 환경보조금의 크기를 낮추거나 기업이 ER&D를 경쟁적으로 투자하도록 조정하는 정책이 필요하다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제II절은 CER을 고려한 두 기업이 경쟁하는 기본모형을 제시한다. 제III절은 환경기업에 대한 2단계 생산량 경쟁의 균형을 분석한다. 제IV절은 환경기업은 1단계에서 ER&D 투자의 리스크 수준을 분석하기 위해 ER&D 투자의 리스크를 경쟁적으로 혹은 협조적으로 선택하는 경우를 분석하고 이를 사회 후생의 관점에서 비교한다. 제V절은 결론을 제시한다.

## II. 기본모형

동질적인 상품을 생산하는 두 기업( $i=0,1$ )이 Cournot 생산량 경쟁을 하는 복점 시장을 고려하기로 한다. 대표적인 소비자의 효용함수는 Singh and Vives(1984)를 따라 다음 식(1)로 가정한다.

$$U(q_1, q_2) = a(q_1 + q_2) - \frac{1}{2}(q_1 + q_2)^2 \quad (1)$$

여기서  $q_1$ 과  $q_2$ 는 각 기업의 생산량을 나타낸다. 식(1)이 준선형(Quasi-linear)이라는 점에서 한계효용이  $\frac{\partial U(q_1, q_2)}{\partial q_i} = p_i$ 이기 때문에 각 기업이 직면하는 역수요함수는 다음과 같이 선형함수로 나타낼 수 있다.<sup>6)</sup>

$$p = a - q_1 - q_2 \quad (2)$$

여기서  $p$ 는 각 기업이 생산하는 상품의 시장가격이다. 소비자잉여는 소비자의 효용  $U(q_1, q_2)$ 에서 총지출액 ( $p q_1 + p q_2$ )를 제외한 값으로 다음과 같은 식(3)으로 정의할 수 있다.

$$CS = U(q_1, q_2) - p q_1 - p q_2 = \frac{1}{2}(q_1 + q_2)^2 \quad (3)$$

기업의 생산비용은 분석의 편의상 생산량에 대해서 선형함수를 가정하며, 일반화에 무리가 없으므로 0으로 표준화하기로 한다. 그러나, 기업들은 생산과정에서 생산 단위당  $e_i$  ( $e_i > 0$ )만큼의 오염을 배출한다. 즉, 기업  $i$ 의 총배출량은 다음과 같다.

$$E_i = e_i q_i \quad (4)$$

이때,  $e_i$ 는 기업  $i$ 의 환경 R&D(Environmental R&D, 이하, 'ER&D'라 함) 투자를 반영한 단위 생산량당 오염배출계수이다. 각 기업은 생산과정에서 오염배출감소에 대한 친

6) 식(1)에서 정의한 소비자의 효용함수를 예산제약하에서 극대화하는 문제를 해결하기 위해 Roy's 항등식을 적용하면 수요함수가 도출되는데, 이를 이용하여 식(1)과 같은 역수요함수를 도출할 수 있다.

환경 투입관리방식을 도입하고 ER&D 투자를 통한 오염저감활동을 수행한다.<sup>7)</sup> 이하에서는 ER&D를 통해 오염 배출량을 감소시키는 통합청정기술(integrated clean technology)을 가정하며,  $e_i$ 는 기업의 ER&D 투자를 반영한 오염배출계수로 다음과 같이 정의된다.

$$e_i = e - x_i, \quad i = 1, 2 \quad (5)$$

여기서  $x_i$ 는 기업의 ER&D 투자비용에 따른 ER&D 성과를 나타낸다. ER&D 성과는 불확실하기 때문에 확률분포함수인  $x_i \sim [\mu_i, \sigma_i]$ 를 따른다. 여기서  $\mu_i$  ( $\mu_i \geq 0$ )는 ER&D 성과의 평균이고  $\sigma_i$  ( $\sigma_i \geq 0$ )는 분산으로 ER&D 투자에 대한 리스크(위험도)를 나타낸다 (즉,  $E(x_i) = \mu_i$ ,  $V(x_i) = \sigma_i$ ). 이때, Tishler(2008)와 Xing(2014, 2017, 2019)을 따라 각 기업의 ER&D 리스크는 상대 기업의 ER&D 리스크에 독립적이라고 가정한다 (즉,  $Cov(x_1, x_2) = 0$ ). 또한, 각 기업은 ER&D 리스크에 대해 위험중립적(Risk-neutral)이라고 가정한다. 이때, 각 기업은 ER&D 성과  $x_i$ 를 달성하기 위해 ER&D 투자비용  $I_i(\mu_i, \sigma_i)$ 를 지출한다. ER&D 투자비용은  $\frac{\partial I_i(\mu_i, \sigma_i)}{\partial \mu_i} \geq 0$ ,  $\frac{\partial I_i(\mu_i, \sigma_i)}{\partial \sigma_i} \geq 0$ 을 만족한다고 가정한다. 또한,  $\sigma_i = 0$ 이면,  $\frac{\partial I_i(\mu_i, \sigma_i)}{\partial \sigma_i} = 0$ 이고,  $\sigma_i \neq 0$ 이면,  $\frac{\partial^2 I_i(\mu_i, \sigma_i)}{\partial \sigma_i^2} > 0$ 이다.<sup>8)</sup>

환경피해함수는 기업이 배출하는 오염의 선형함수이며 다음과 같이 정의한다.

$$ED = d \sum_{i=1}^2 E_i \quad (6)$$

여기서  $d$ 는 한계환경피해를 나타내며, 계산의 편의를 위해  $d = 1$ 로 가정한다.<sup>9)</sup>

7) 예를 들어, 최근 완성차 업계는 탈탄소라는 글로벌 추세에 맞춰 원료부터 제작과정 그리고 폐기까지 자동차 전 생애주기에서 발생하는 탄소배출량을 줄이기 위해 생산공정에 새로운 기술을 도입하는 등 이산화탄소 배출을 줄이기 위한 노력을 하고 있다. 예를 들어 현대자동차는 콘셉트카인 세븐에 실내용 친환경페인트를 생산과정에서 재생가능한 원료를 적용하여 환경오염을 줄이고 있으며, 기아자동차는 전기차인 EV6의 실내에 친환경 또는 재활용 소재를 적용해 탄소배출 감축에 동참하고 있다. 현대자동차, 기아자동차 홈페이지 참조.

8) 이 가정은 ER&D 투자성과에 대한 리스크의 증가는 ER&D 투자비용을 점증적으로 증가시키는 볼록성(Convexity)을 만족시킨다는 것을 의미한다. 이는 ER&D 투자의 리스크 분석에 대한 내부해가 존재하기 위한 1계조건과 2계조건을 보장하는 조건이다.

한편, 정부는 환경오염의 피해를 낮추기 위한 제도로 기업이 생산과정에서 오염 배출을 저감하기 위해 ER&D에 투자할 경우 ER&D 성과  $x_i$ 에 대해  $s (> 0)$ 의 보조금을 지급하여 단위생산량당  $s x_i$ 의 환경보조금을 지급한다. 여기서 분석의 내부해를 보장하기 위해  $s$ 는 일정한 상한을 갖는 것으로 가정한다.<sup>10)</sup>

이제, 환경보조금하에서 각 기업의  $i$ 의 이윤함수는 식(7)로 정의할 수 있다.

$$\pi_i = pq_i + s x_i q_i - I_i(\mu_i, \sigma_i) \quad (7)$$

한편, 복점시장에서 경쟁을 하고 있는 두 기업은 환경책임(Corporate Environmental Responsibility, 이하, 'CER'이라 함)에 대한 의무가 있는 환경기업으로 가정한다.<sup>11)</sup> 환경기업은 이윤을 극대화하는 일반기업과는 달리, 자사 기업의 이윤뿐만 아니라 환경을 고려한 CER 활동을 반영하여 환경피해에 대한 관심을 반영한 목적함수를 극대화한다. 구체적으로 Hirose et al.(2017)과 Lee and Park(2019), Xu et al.(2022)에 따라 환경기업의 목적함수는 자사 기업의 이윤과 환경피해비용의 선형결합으로 가정하여 식(8)과 같이 정의한다.<sup>12)</sup>

$$V_i = \pi_i - \theta_i ED \quad (8)$$

여기서  $\theta_i \in [0, 1]$ 는 기업이 수행하는 CER의 정도를 나타낸다. 특히,  $\theta_i = 0$ 인 경우는 CER을 하지 않은 경우를 나타내며, 이 경우 기업은 이윤을 극대화를 추구하는 순수 사기업으로 행동하게 된다. 따라서, 환경기업은 순수 사기업의 경우도 포함하는 개념이다. 본 연구에서는 동일한 오염산업에 있는 두 기업이 직면한 사회적으로 요구하는 환경책임의무

9) Petrakis and Xepapadeas(1998), Youssef and Dinar(2011), 그리고 Tsai et al.(2016)의 연구에서는 분석의 편의를 위해 환경피해함수를 선형으로 가정하여 분석하였다.

10) 구체적으로  $0 < s < 12 - \theta$ 로 가정한다. 여기서,  $\theta \in [0, 1]$ 는 기업이 수행하는 CER의 정도를 나타내며 식(8)에서 소개하고 있다.

11) 예로, Hirose et al.(2017, 2020)과 Lee and Park(2019); Xu et al.(2022)은 환경을 고려하는 환경기업을 대상으로 CER의 경제적 효과를 분석하고 있다.

12) 환경기업이 자사에 의해 직접적으로 발생한 환경피해비용만을 목적함수로 고려하는 경우에도 환경기업의 기대보수만 달라질 뿐 본 연구의 균형에는 변화가 없다. 따라서, 본 연구의 주요 결론도 성립한다.



가 동일하여 CER의 정도가 같다고 가정한다. 즉,  $\theta_1 = \theta_2 = \theta$ 이다.

마지막으로 환경보조금 정책하에서의 사회후생은 소비자잉여와 생산자잉여의 합에서 환경피해와 환경보조금에 따른 재정지출을 제외한 것으로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$W = CS + \sum_{i=1}^2 \pi_i - ED - S \quad (9)$$

여기서  $S = \sum_{i=1}^2 s x_i q_i$ 로 정부의 ER&D 보조금 총지출액을 나타낸다.

이하에서는 주어진 환경보조금 규제하에서 환경기업이 선택하는 ER&D 투자의 리스크 수준을 분석한다. 이때, 환경기업은 ER&D 투자의 리스크를 경쟁적으로 혹은 협조적으로 선택할 수 있다. 본 연구에서는 이들이 선택하는 ER&D 투자 리스크의 수준을 사회 후생의 관점에서 비교하고 평가하고자 한다. 이를 위해 본 연구에서 분석하는 게임의 순서는 다음과 같은 2단계로 구성된다. 각 기업은 1단계에서 환경을 위한 ER&D 투자의 리스크 수준을 선택하고, 2단계에서 생산량을 동시에 선택한다. 이때, 각 기업은 식(8)에 정의된 자신의 목적함수를 극대화한다. 게임의 균형은 역진귀납법(Backward induction)에 의해 구하고 게임의 해는 부분게임 완전균형이다. 따라서 2단계에서 생산량을 먼저 구하고 ER&D 리스크 선택이 생산량 경쟁에 미치는 영향을 파악한 이후, 1단계에서 ER&D 리스크 수준을 구한다.

### III. 생산량 경쟁단계의 균형

환경기업은 식(8)을 극대화하는 과정에서 1단계에서 이미 결정된 ER&D 성과  $x_1$ 와  $x_2$ 의 실현값을 확인한 후, 2단계에서 다음과 같은 1계조건에서 생산량을 동시에 결정한다.

$$\frac{\partial V_i}{\partial q_i} = a - e\theta - 2q_i - q_j + (s + \theta)x_i = 0. \quad (10)$$

식(10)을 동시에 풀면 균형 생산량을 얻을 수 있다.

$$q_i^S = \frac{a - e\theta + (s + \theta)(2x_i - x_j)}{3} \quad (11)$$

여기서 상첨자  $S$ 는 환경보조금 규제에서 2단계의 균형생산량을 나타낸다. 식(11)에서 환경기업의 생산량은 정부가 지급하는 환경보조금과 CER의 정도의 상대적인 크기에 의존한다. 즉, 환경보조금의 수준이 증가할수록 생산량은 증가하는 반면, CER의 정도가 증가할수록 생산량은 감소한다. 즉,  $\frac{\partial q_i^S}{\partial s} = \frac{2x_i - x_j}{3} > 0 > \frac{\partial q_i^S}{\partial \theta} = \frac{-(e - 2x_i + x_j)}{3}$  이다. 이때, 환경보조금의 수준과 CER의 정도는 서로 상반된 효과를 보여주지만 환경보조금의 영향이 더 강하다.<sup>13)</sup>

이제, 식(11)을 이용하면 각 기업에 대한 ER&D 투자결정이 이루어진 후 2단계에서 시장의 경쟁균형결과는 다음과 같이 정리할 수 있다.<sup>14)</sup>

$$\pi_i^S = \frac{\left\{ \frac{(a - e\theta + (s + \theta)(2x_i - x_j))}{(a + 2e\theta + (2s - \theta)x_i - (s + \theta)x_j)} \right\}}{9} - I_i(\mu_i, \sigma_i),$$

$$V_i^S = \frac{\left\{ \begin{array}{l} (a - 4e\theta)(a - e\theta) + 4(s + \theta)^2 x_i^2 - x_j(a(2s - \theta)) \\ + e\theta(4s + 7\theta) - (s + \theta)(s + 7\theta)x_j \\ + (s + \theta)x_i(4a - e\theta - (4s + 7\theta)x_j) \end{array} \right\}}{9} - I_i(\mu_i, \sigma_i). \quad (12)$$

또한, ER&D 총지출액, 환경피해, 소비자 잉여, 그리고 사회후생을 구하면 다음과 같다.

$$S^S = \frac{\left\{ \frac{s(2(s + \theta)x_i^2 + x_i(a - e\theta - 2(s + \theta)x_j))}{+ x_j(a - e\theta + 2(s + \theta)x_j)} \right\}}{3},$$

$$ED^S = \frac{\left\{ \frac{(e - x_i)(a - e\theta + (s + \theta)(2x_i - x_j))}{+ (a - e\theta - (s + \theta)(x_i - 2x_j))(e - x_j)} \right\}}{3}, \quad (13)$$

13) 1단계에서  $x_i$ 와  $x_j$ 는 각 기업의 ER&D 성과에 대한 불확실성을 반영한 확률분포함수이지만, 2단계에서는 이미 ER&D의 불확실성이 해소되어 ER&D의 성과는 (사후적으로) 실현되어 각 기업은 관찰할 수 있게 된다.

14) 여기서  $I_i(\mu_i, \sigma_i)$ ,  $i=1,2$ 는 1단계에서 ER&D 투자로 인해 발생하는 비용이므로 2단계에서는 이 투자비용은 매몰되어 각 기업의 ER&D 투자 후의 총이익(Gross profit)은  $\pi_i^S + I_i(\mu_i, \sigma_i)$ 이고, 총보수는  $V_i^S + I_i(\mu_i, \sigma_i)$ 로 각각 나타난다. 또한, 균형생산의 내부해가 존재하기 위해  $a - e\theta + (s + \theta)(2\mu_i - \mu_j) > 0$ 이고  $V_i^S + I_i(\mu_i, \sigma_i) > 0$ 이 성립한다고 가정한다.

$$CS^S = \frac{2[a - e\theta + (s + \theta)(x_i + x_j)]^2}{18},$$

$$W^S = \frac{\left\{ \begin{array}{l} 4(2a - e(3 - \theta))(a - e\theta) + (12 - s - \theta) \\ (s + \theta)x_i^2 + 2(a(3 + s + \theta) - e(2(3 - \theta)\theta \\ + s(3 - 2\theta)))x_j + (12 - s - \theta)(s + \theta)x_j^2 \\ + 2x_i(a(3 + s + \theta) - e(2(3 - \theta)\theta \\ + s(3 - 2\theta)) - (s + \theta)(6 + s + \theta)x_j) \end{array} \right\}}{18} - \sum_{i=1}^2 I_i(\mu_i, \sigma_i).$$

이제, 식(12)와 식(13)의 결과를 이용하여 ER&D 투자 전에 얻을 것으로 예상되는 기대 생산량, 기대총이윤, 기대보수, 기대총지출액, 기대환경피해, 기대소비자잉여, 그리고 기대사회후생 등을 각각 구하면 다음과 같다. 여기서,  $i = 1, 2$ 이다.

$$E(q_i^S) = \frac{a - e\theta + (s + \theta)(2\mu_i - \mu_j)}{3},$$

$$E(\pi_i^S) = \frac{\left\{ \begin{array}{l} (a - e\theta)(a + 2e\theta) + 2(2s - \theta)(s + \theta)\mu_i^2 \\ + \mu_i(a(4s + \theta) + e\theta(2s + 5\theta)) \\ - (s + \theta)(4s + \theta)\mu_j - (s + \theta)[(2a + e\theta)\mu_j \\ - (s + \theta)\mu_j^2 - (4s - 2\theta)\sigma_i - (s + \theta)\sigma_j] \end{array} \right\}}{9} - I_i(\mu_i, \sigma_i),$$

$$E(V_i^S) = \frac{\left\{ \begin{array}{l} ((a - 4e\theta)(a - e\theta) + 4(s + \theta)^2\mu_i^2 - (a(2s - \theta)) \\ + e\theta(4s + 7\theta))\mu_j + (s + \theta)(s + 7\theta)\mu_j^2 \\ + (s + \theta)\mu_i(4a - e\theta - (4s + 7\theta)\mu_j) \\ + (s + \theta)(4(s + \theta)\sigma_i + (s + 7\theta)\sigma_j) \end{array} \right\}}{9} - I_i(\mu_i, \sigma_i),$$

$$E(S^S) = \frac{\left\{ \begin{array}{l} s(2(s + \theta)\mu_i^2 + (a - e\theta)\mu_j + 2(s + \theta)\mu_j^2 \\ + \mu_i(a - e\theta - 2(s + \theta)\mu_j) + 2(s + \theta)(\sigma_i + \sigma_j) \end{array} \right\}}{3},$$

$$E(ED^S) = \frac{\left\{ \begin{array}{l} 2e(a - e\theta) - 2(s + \theta)\mu_i^2 - (a - e(s + 2\theta))\mu_j \\ - 2(s + \theta)\mu_j^2 - \mu_i(a - es - 2e\theta - 2(s + \theta)\mu_j) \\ - 2(s + \theta)(\sigma_i + \sigma_j) \end{array} \right\}}{3}, \quad (14)$$

$$E(CS^S) = \frac{\left\{ \begin{aligned} &4(a - e\theta)^2 + (s + \theta)[(s + \theta)\mu_i^2 \\ &+ 4(a - e\theta)\mu_j + (s + \theta)\mu_j^2 + 2\mu_i(2(a - e\theta)) \\ &+ (s + \theta)\mu_j + (s + \theta)(\sigma_i + \sigma_j)] \end{aligned} \right\}}{18},$$

$$E(W^S) = \frac{\left\{ \begin{aligned} &4(2a - e(3 - \theta))(a - e\theta) + (12 - s - \theta) \\ &(s + \theta)\mu_i^2 + 2(a(3 + s + \theta) - e(2(3 - \theta)\theta \\ &+ s(3 - 2\theta)))\mu_j + (12 - s - \theta)(s + \theta)\mu_j^2 \\ &+ 2\mu_i(a(3 + s + \theta) - e(2(3 - \theta)\theta \\ &+ s(3 - 2\theta))) - (s + \theta)(6 + s + \theta)\mu_j \\ &+ (12 - s - \theta)(s + \theta)(\sigma_i + \sigma_j) \end{aligned} \right\}}{18} - \sum_{i=1}^2 I_i(\mu_i, \sigma_i).$$

이상에서 다음과 같은 [정리 1]을 얻을 수 있다.

**[정리 1]** (i)  $\frac{\partial E(V_i^S)}{\partial \sigma_i} > 0$ ,  $\frac{\partial E(V_i^S)}{\partial \sigma_j} > 0$ 이고  $s \begin{cases} > \\ < \end{cases} \theta$ 이면  $\frac{\partial E(V_i^S)}{\partial \sigma_i} \begin{cases} > \\ < \end{cases} \frac{\partial E(V_i^S)}{\partial \sigma_j}$ ;

(ii)  $\frac{\partial E(CS^S)}{\partial \sigma_i} > 0$ ; (iii)  $\frac{\partial E(ED^S)}{\partial \sigma_i} < 0$ ; (iv)  $s \begin{cases} > \\ < \end{cases} \theta$ 이면  $\frac{\partial E(W^S)}{\partial \sigma_i} \begin{cases} < \\ > \end{cases} 0$ .

[정리 1]은 ER&D 리스크의 선택이 생산량 균형에 미치는 영향을 나타내고 있다. 이에 대한 경제적 설명은 아래와 같다. 먼저, (i) 환경기업의 기대보수는 자사 및 타사의 ER&D 리스크의 정도에 대해 증가하는 반면, 상대적인 반응 정도는 환경보조금의 수준과 기업의 CER의 정도에 의존한다. 환경기업은 ER&D 리스크가 높은 투자 프로그램을 선택하여 투자가 성공하게 되면 환경오염을 크게 줄일 수 있는 반면, 실패하더라도 투자비용만 잃게 되기 때문에 더 높은 기대보수를 얻을 수 있다. 따라서 ER&D 리스크가 높은 프로그램을 선택하여 얻을 수 있는 기대투자이익이 기대투자손실보다 크게 되어 환경기업은 ER&D 리스크가 높은 투자를 선호하게 된다. 이때, 만약 환경보조금의 수준이 CER의 정도보다 크다면( $s > \theta$ ), 상대 기업의 ER&D 투자 리스크의 정도보다 자신의 ER&D 투자 리스크에 더 민감하게 반응하게 된다. 이는 2단계에서 자사 기업의 생산량은 환경보조금의 수준에 증가하는 반면, CER의 정도에 감소하기 때문이다. 따라서, 만약  $s > \theta$ 이라면, 자신의

ER&D 투자 리스크를 과감하게 결정하는 것이 자사의 기대보수를 높이는 선택이 된다. 그러나, 반대로  $s < \theta$  이라면, 역의 관계가 성립한다. 다음으로, 환경보조금과 CER에 무관하게 ER&D 투자 리스크의 정도에 대해 (ii) 기대소비자잉여는 증가하는 반면, (iii) 기대환경피해는 감소하게 된다. 즉, 환경기업이 ER&D 리스크가 높은 투자 프로그램을 선택하여 투자가 성공하게 되면 환경오염을 크게 줄일 수 있고, 이에 따라 과감한 생산활동으로 기대소비자잉여를 높이게 될 뿐만 아니라 기대환경피해를 낮추게 된다. 마지막으로 (iv) 기대사회후생은 환경보조금의 수준과 CER의 정도에 의존한다. 즉, 환경보조금이 CER보다 크면 ER&D 투자 리스크의 정도에 대해 기대사회후생은 증가하는 반면, 환경보조금보다 CER의 정도가 더 크면 ER&D 투자 리스크의 정도에 대해 감소한다. 이와 같은 결과는 (ii)의 기대소비자잉여가 증가하고 (iii)의 기대환경피해가 감소하지만 기업의 기대이윤이 감소하고 정부의 기대 ER&D 총지출이 증가하는 상반된 결과에서 비롯되는 것으로 이를 종합한 기대사회후생은 환경보조금의 수준과 CER의 정도의 상대적인 크기에 의해 결정된다는 것을 의미한다.

## IV. ER&D 리스크의 선택

### 1. 경쟁적 ER&D 투자 리스크 선택

환경기업은 1단계에서 ER&D 투자의 리스크 수준을 선택한다. 이하에서는 ER&D 투자의 리스크를 경쟁적으로 혹은 협조적으로 선택하는 경우를 분석하고 이를 사회 후생의 관점에서 비교하기로 한다.

먼저, 환경기업이 경쟁적으로 자신의 ER&D 투자의 리스크를 결정하는 상황을 분석하기로 한다. 각 기업은 확률분포에 의해 불확실한 상황에서 다양한 위험수준을 지닌 ER&D 프로그램을 동시에 각자 선택하게 된다. 이때 ER&D 성과의 평균은 일정한 상수이기 때문에 각 기업이 결정하는 ER&D 투자에 대한 결정은 ER&D의 분산(리스크, 즉,  $\sigma_i$ )을 결정하는 문제와 동일하게 된다. 즉, 각 기업은 자신의 보수를 극대화하는 ER&D 리스크를 선택하게 된다. 각 기업은 식(14)에 정의되어 있는 자신의 기대보수를 극대화하는 ER&D 리

스크를 동시에 선택하게 된다. 이때 1계조건은 다음과 같다.

$$\frac{\partial E(V_i^S)}{\partial \sigma_i} = \frac{4}{9}(s+\theta)^2 - \frac{\partial I_i(\mu_i, \sigma_i)}{\partial \sigma_i} = 0. \quad (15)$$

식(15)에서 보듯이 각 기업의 ER&D 리스크 수준은 각 기업의 ER&D 성과의 평균에 의해 영향을 받는다. 분석의 편의상 이하에서는 환경보조금과 CER이 각 기업의 ER&D 리스크 수준에 미치는 영향을 비교하기 위해 ER&D 투자의 리스크를 경쟁적으로 선택하는 경우 두 기업의 ER&D 성과의 평균이 같은 대칭균형을 대상으로 분석한다.<sup>15)</sup> 즉,  $\mu_1 = \mu_2$

이면,  $m(\sigma_i) = \frac{\partial I_i(\mu_i, \sigma_i)}{\partial \sigma_i}$ ,  $i = 1, 2$ 이고  $\frac{\partial m(\sigma_i)}{\partial \sigma_i} = \frac{\partial I^2(\mu_i, \sigma_i)}{\partial \sigma_i^2} > 0$ 이다. 즉, 식(15)에

서 각 기업의 최적 ER&D 리스크 수준은 다음을 만족한다.

$$\frac{4}{9}(s+\theta)^2 = m(\sigma_i^{NS}) \quad (16)$$

여기서 ER&D 리스크를 경쟁적으로 선택하는 균형을  $\sigma_i^{NS}$ 라고 정의하면, 동일한 두 환경기업의 ER&D 리스크 수준은 같다. 즉,  $\sigma_1^{NS} = \sigma_2^{NS}$ 이다. 식(16)을 이용하여 다음과 같은 [정리 2]를 얻을 수 있다.

**[정리 2]**  $\frac{\partial \sigma_i^{NS}}{\partial s} > 0$ 와  $\frac{\partial \sigma_i^{NS}}{\partial \theta} > 0$ .

[정리 2]에 따르면 환경기업이 경쟁적으로 ER&D 투자 리스크를 선택할 때, 각 기업의 균형 ER&D 리스크 수준은 정부의 환경보조금의 수준이 클수록, 그리고 기업의 CER의 정도가 커질수록 ER&D 리스크 수준이 높은 프로그램을 선택하게 된다. 이러한 결과는 환경보조금이 크거나 CER의 정도가 클수록 환경기업이 ER&D 투자 리스크를 과감하게 선택하여

15) 예를 들어, ER&D 투자비용이  $I_i = \frac{r}{2}\mu_i^2 + \frac{w}{2}\sigma_i^2$  형태로 평균과 분산이 독립적인 경우를 생각해 볼 수 있다(Xing 2019). 이 경우  $9r > (s+\theta)(4s+\theta)$ 이라면, 식(14)에서  $\frac{\partial E(V_i^S)}{\partial \mu_i} = 0$ 인 1계조건을 통해 대칭균형은  $\mu^{NS} = \frac{(s+\theta)(4a-e\theta)}{(9r-(s+\theta)(4s+\theta)}$ 를 얻을 수 있다.

환경오염피해를 줄이고 총생산량을 과감히 늘리는 것이 자사의 기대보수를 높이기 때문이다.

## 2. 협조적 ER&D 투자 리스크 선택

다음으로 환경기업이 협조적으로 자신의 ER&D 투자의 리스크를 결정하는 상황을 분석하기로 한다. 1단계에서 두 기업은 기대보수의 합인 식(17)을 극대화하는 ER&D 리스크를 선택하게 된다.

$$E(V_1^S + V_2^S) = E(V_1^S) + E(V_2^S)$$

$$= \frac{\left\{ \begin{array}{l} 2(a - 4e\theta)(a - e\theta) + (s + \theta)(5s + 11\theta)\mu_1^2 \\ + (2as + 5a\theta - 5es\theta - 8e\theta^2)\mu_2 \\ + (s + \theta)(5s + 11\theta)\mu_2^2 + \mu_1(2as + 5a\theta \\ - 5es\theta - 8e\theta^2 - 2(s + \theta)(4s + 7\theta)\mu_2) \\ + (s + \theta)(5s + 11\theta)(\sigma_1 + \sigma_2) \end{array} \right\}}{9} - \sum_{i=1}^2 I_i(\mu_i, \sigma_i) \quad (17)$$

이때 1계조건은 다음과 같다.

$$\frac{\partial E(V_1^S) + E(V_2^S)}{\partial \sigma_i} = \frac{1}{9}(s + \theta)(5s + 11\theta) - \frac{\partial I_i(\mu_i, \sigma_i)}{\partial \sigma_i} = 0. \quad (18)$$

협조적으로 ER&D 투자의 리스크를 선택하는 경우 두 기업의 ER&D 성과의 평균이 같은 경우를 고려하면, 즉,  $\mu_1 = \mu_2$ 이면,  $m(\sigma_i) = \frac{\partial I_i(\mu_i, \sigma_i)}{\partial \sigma_i}$ ,  $i = 1, 2$ 로 나타낼 수 있다.

이제 식(18)에서 각 기업의 최적 ER&D 리스크 수준은 다음을 만족한다.

$$\frac{1}{9}(s + \theta)(5s + 11\theta) = m(\sigma_i^{CS}) \quad (19)$$

여기서 ER&D 리스크를 경쟁적으로 선택하는 균형을  $\sigma_i^{CS}$ 라고 정의하면, 동일한 두 환경기업의 ER&D 리스크 수준은 같다. 즉,  $\sigma_1^{CS} = \sigma_2^{CS}$ 이다. 식(19)을 이용하여 다음과 같은 [정리 3]을 얻을 수 있다.

[정리 3]  $\frac{\partial \sigma_i^{CS}}{\partial s} > 0$ 와  $\frac{\partial \sigma_i^{CS}}{\partial \theta} > 0$ .

[정리 3]에 따르면 환경기업이 협조적으로 ER&D 투자 리스크를 선택할 때, 각 기업의 균형 ER&D 리스크 수준은 정부의 환경보조금의 수준이 클수록, 그리고 기업의 CER의 정도가 커질수록 ER&D 리스크 수준이 높은 프로그램을 선택하게 된다. 이러한 결과는 경쟁적인 ER&D 투자 리스크 선택과 마찬가지로 환경보조금이 크거나 CER의 정도가 클수록 환경기업이 ER&D 투자 리스크를 과감하게 선택하여 환경오염피해를 줄이고 총생산량을 과감히 늘리는 것이 자사의 기대보수를 높이기 때문이다.

### 3. ER&D 투자 리스크 선택의 비교

이제, 두 기업의 ER&D 투자 리스크의 수준을 경쟁과 협조 환경에서 비교하기로 한다.<sup>16)</sup> 이하에서는 경쟁적으로 ER&D 투자 리스크를 선택하는 경우와 협조적으로 ER&D 투자 리스크를 선택하는 경우에 두 기업의 ER&D 성과의 평균이 같은 경우를 비교하고자 한다.<sup>17)</sup> 즉, 모든 경우에  $\mu_1 = \mu_2$ 라고 놓으면, 이제 식(16)과 식(19)를 이용하여 다음과 같은 [정리 4]를 얻을 수 있다.

16) 일반적으로 동일시장에서 경쟁하는 기업들이 선택하는 R&D의 투자수준 및 Project의 리스크 수준은 제반 경쟁제도적 여건에 따라 다양하다. 가장 대표적으로는 경쟁적으로 독자적인 선택을 하는 경우를 상정할 수 있다. 이외에 R&D의 투자수준 및 Project의 리스크 수준을 완전히 통제하는 R&D 카르텔이 있다. 뿐만 아니라 RJV(Research Joint Venture) 혹은 공동랩 운영(Joint Lab)을 통해 기업들이 합의하는 공동계약조건에 따라 R&D 투자수준을 적절히 분담하기도 하고 혹은 독자적인 R&D 분담수준에 대해 Project 리스크 선택만을 결정하기도 한다. Kamien et al.(1992); Amir et al.(2019); Lee and Muminov(2021) 참조. 본 논문에서는 동일한 ER&D 기대성과를 기준으로 논의의 초점이 되고 있는 두 기업의 ER&D 리스크 수준을 중심으로 평가하기로 한다.

17) 본 연구는 Tishler(2008); Zhang et al.(2013); Xing(2014, 2017, 2019) 등이 제안했듯이 위험성이 있는 선택의 확률분포에 대해 평균보존퍼짐(Mean-preserving spread)의 정도를 따지는 2차 확률우위(the Second-order stochastic dominance)의 개념을 사용한다. 이는 서로 다른 환경에서 이루어지는 ER&D 투자의 리스크 간의 직접적인 비교를 가능하게 한다. 그러나, 확률분포의 평균과 분산이 독립적이지 않거나 혹은 서로 다른 기대 평균을 가지고 있는 경우 ER&D 프로그램의 리스크 선택은 ER&D 기대성과뿐만 아니라 누적확률분포에 영향을 받는다. 이에 대한 논의는 Tishler and Milstein(2009) 참조.



**[정리 4]**  $\sigma_i^{CS} > \sigma_i^{NS}$ .

[정리 4]는 균형 ER&D 리스크 수준에서 두 기업은 협조할 경우의 ER&D 리스크 수준이 경쟁의 경우보다 항상 더 높다.<sup>18)</sup> 이러한 현상은 협조적 ER&D 리스크 선택의 경우 더욱 과감한 ER&D 투자선택이 이루어지고 이에 따른 기대보수의 합이 증가하기 때문이다. 이에 대한 경제적 직관은 다음과 같다. 각 기업은 개별 기업의 R&D 리스크 수준보다 공동 R&D 투자에서 더 높은 리스크 수준을 선택한다. 즉, 각 기업은 ER&D 경쟁을 할 경우에는 자신의 기대보수를 극대화함으로써 ER&D 리스크 수준을 결정한다. 그러나, ER&D 협조를 하는 경우에는 상대 기업의 기대보수를 고려하게 된다. 즉 ER&D 협조를 한 경우에는 [정리 1]의 (i)에 따라 각 기업의 기대보수는 상대기업의 ER&D 리스크 수준이 증가함에 따라 증가할 뿐만 아니라 ER&D 협조를 한 경우 ER&D 리스크를 채택할 유인이 ER&D 경쟁을 할 경우보다도 더 크다.

#### 4. 사회적으로 바람직한 ER&D 투자 리스크 선택

이제 기업이 시장에서 선택한 ER&D 투자 리스크의 수준이 사회적으로 바람직한지를 평가하고자 한다. 이때, 2단계의 생산물 시장에서 불완전경쟁에 의해 결정되는 생산물은 주어진 것으로 하고 1단계의 ER&D 투자 리스크의 선택에 따른 사회후생을 최대화하는 ER&D 투자 리스크의 수준을 사회차선(second-best)의 ER&D 리스크 수준이라고 정의한다.<sup>19)</sup> 기대사회후생을 극대화하는 수준은 다음과 같은 1계 조건을 만족한다.

$$\frac{\partial E(W^S)}{\partial \sigma_i} = \frac{1}{18}(12 - s - \theta)(s + \theta) - \frac{\partial I_i(\mu_i, \sigma_i)}{\partial \sigma_i} = 0. \quad (20)$$

사회차선의 경우에도 두 기업의 ER&D 성과의 평균이 같은 경우를 고려하면,

18) 이러한 결과는 사기업간 공동R&D 투자효과를 분석한 Xing(2017)의 연구결과와 유사하다.

19) 생산량 경쟁의 시장균형인 식(11)에서 보듯이 기업의 산출량은 환경보조금의 수준에 의존한다. 따라서, 환경보조금의 수준이 사회후생을 최대화하는 수준에서 결정된다면 사회최선(First-best)을 정의할 수 있다.

$m(\sigma_i) = \frac{\partial I_i(\mu_i, \sigma_i)}{\partial \sigma_i}$ ,  $i = 1, 2$ 로 나타낼 수 있다. 이제 식(20)에서 사회차선의 ER&D 리스크 수준은 다음을 만족한다.

$$\frac{1}{18}(12 - s - \theta)(s + \theta) = m(\sigma_i^{OS}) \quad (21)$$

여기서 사회차선의 ER&D 리스크 수준을  $\sigma_i^{OS}$ 라고 정의하면, 동일한 두 환경기업의 ER&D 리스크 수준은 같다. 즉,  $\sigma_1^{OS} = \sigma_2^{OS}$ 이다. 식(21)을 이용하여 다음과 같은 [정리 5]를 얻을 수 있다.

**[정리 5]**  $\frac{\partial \sigma_i^{OS}}{\partial s} > 0$ 와  $\frac{\partial \sigma_i^{OS}}{\partial \theta} > 0$ .

[정리 5]에 따르면 사회차선의 ER&D 투자 리스크 수준은 정부의 환경보조금의 수준이 클수록, 그리고 기업의 CER의 정도가 커질수록 ER&D 리스크 수준이 높은 프로그램을 선택하는 것이 바람직하다. 이러한 결과는 기업이 경쟁적으로 혹은 협조적으로 ER&D 투자 리스크를 선택하는 경우와 마찬가지로 환경보조금이 크거나 CER의 정도가 클수록 환경기업이 ER&D 투자 리스크를 과감하게 선택하여 생산량을 증가시키는 것이 두 기업의 기대보수 뿐만 아니라 기대소비자후생을 높이는 반면, 기대환경피해를 낮추기 때문이다.

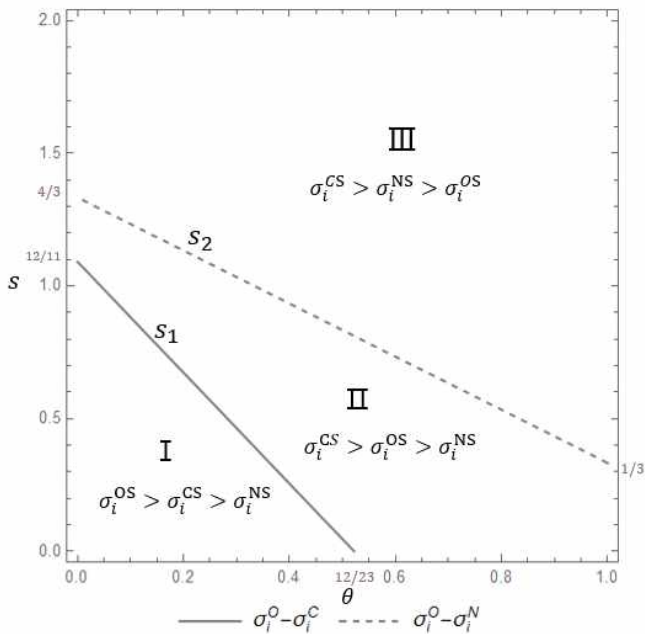
## 5. ER&D 투자 리스크 선택의 비교

이하에서는 ER&D 경쟁, ER&D 협조, 그리고 사회차선의 ER&D 리스크를 비교하기로 한다. 분석의 편의를 위해 시장에서 경쟁적이거나 혹은 협조적으로 ER&D 투자의 리스크를 선택하는 경우와 사회차선의 관점에서 ER&D 투자의 리스크를 선택하는 경우에 두 기업의 ER&D 성과의 평균이 같은 경우를 비교한다. 즉, 모든 경우에  $\mu_1 = \mu_2$ 라고 놓으면, 세 가지의 경우가 모두 단일함수,  $m(\sigma_i) = \frac{\partial I_i(\mu_i, \sigma_i)}{\partial \sigma_i}$ ,  $i = 1, 2$ 로 나타낼 수 있다. 이를 이용하면, 다음과 같은 [정리 6]을 얻을 수 있다.

**[정리 6]** 주어진  $0 < \theta < 1$ 와  $0 < s < 12 - \theta$ 에 대해, (i) I영역 ( $0 < s < s_1 = 1/11(12 - 23\theta)$ )이고  $0 < \theta < 12/23$ 이면  $\sigma_i^{OS} > \sigma_i^{CS} > \sigma_i^{NS}$  (ii) II영역 ( $s_1 < s < s_2 = 1/3(4 - 3\theta)$ )이고  $12/23 < \theta < 1$ 이면  $\sigma_i^{CS} > \sigma_i^{OS} > \sigma_i^{NS}$ , (iii) III영역 ( $s_2 < s < 12 - \theta$ )이고  $\theta > 12/23$ 이면,  $\sigma_i^{CS} > \sigma_i^{NS} > \sigma_i^{OS}$ 이다.

[정리 6]은 <Figure 1>으로 보여줄 수 있는데, 각 기업이 수행하는 ER&D 리스크 수준은 세 영역으로 구분하여 설명할 수 있다. 먼저, I 영역은 사회차선에서 달성하는 ER&D 리스크 수준이 가장 높은 반면, II영역과 III영역에서는 두 기업이 협력할 때의 ER&D 리스크 수준이 가장 높다.

<Figure 1> Comparison of ER&D risk choices



구체적으로 [정리 6]은 다음과 같은 정책적 시사점을 준다. 먼저, 환경보조금의 수준과 CER의 정도가 모두 낮은 경우인 I영역에서는 시장에서 선택하는 ER&D 리스크 수준이 사회차선의 관점에서 항상 과소하게 선택된다. 즉, 환경보조금의 크기가 작고 기업의 CER의 정도가 작으면 ER&D를 경쟁적으로 결정하든 협조적으로 결정하든 상관없이 사회적으로 과소한 ER&D 투자의 리스크가 선택된다. 그러나, [정리 4]에서 보여주듯이 협조적인 ER&D 투자의 리스크 선택이 경쟁적인 그것보다 더 높은 수준을 선택하게 된다. 따라서 정부는 기업이 수행하는 CER의 정도가 낮은 경우 환경보조금의 크기를 높이거나 기업이 ER&D를 공동으로 투자할 수 있도록 유도하는 정책이 필요하다. 즉, 환경책임에 대한 규제의 강도가 약할 경우 기업들의 협조적 ER&D 투자의 리스크 선택을 유도하는 것이 사회적으로 바람직하다.

반면, 환경보조금의 수준과 CER의 정도가 모두 높은 경우인 III영역에서는 두 기업이 시장에서 수행하는 CER의 정도에 상관없이 환경보조금의 크기가 높으면 ER&D를 경쟁적 또는 협조적으로 선택하는 것이 사회차선에서 달성하는 ER&D 리스크 수준보다 항상 더 높아 과다하게 선택된다. 따라서, 기업이 수행하는 CER의 정도가 충분히 높은 경우 환경보조금의 크기를 낮추거나 기업이 ER&D를 경쟁적으로 투자하도록 조정하는 정책이 필요하다. 즉, 환경책임에 대한 규제의 강도가 높을수록 기업들의 협조적 ER&D 투자의 리스크 선택은 사회적으로 바람직하지 않다.

마지막으로 II영역에서는 환경보조금의 수준과 CER의 정도가 상반되게 역비례하는 경우이다. 이때는 기업이 협조적으로 ER&D에 투자하는 경우 ER&D 리스크 수준이 사회차선보다 더 높은 프로그램을 선택할 가능성이 있지만, 이들이 경쟁적으로 ER&D에 투자하는 경우 ER&D 리스크 수준이 사회차선보다 더 낮은 프로그램을 선택할 가능성이 있다. 이 경우 주어진 환경책임  $\theta$ 에 대해 정부의 ER&D 보조금  $s$ 를 높인다면 III영역으로 이전하게 되어 기업이 시장에서 선택하는 ER&D 리스크의 수준이 사회차선에서 달성하는 ER&D 리스크 수준보다 과다하게 될 수 있다. 또한, 이 경우 주어진 정부의 ER&D 보조금  $s$ 에 대해 환경책임  $\theta$ 를 완화한다면 I영역으로 이전하게 되어 기업이 시장에서 선택하는 ER&D 리스크의 수준이 사회차선에서 달성하는 ER&D 리스크 수준보다 과소하게 될 수 있다. 따라서, 정부는 ER&D 투자 리스크의 수준이 협조적인 수준보다 낮고 경쟁적인 수

준보다 높도록 하이브리드 형태로 적절히 조정할 필요가 있다.

한편, [정리 6]의 결과는 기존의 R&D 리스크 선택에 대한 연구와 차별되는 특징이 있다. 먼저 Xing(2017)은 정부정책이 없는 상태에서(즉,  $s = 0$ ) 기업이 이윤극대화를 추구하는 순수 사기업인 경우(즉,  $\theta = 0$ )를 분석하였다. 그는 R&D 확산효과라는 양의 외부성이 존재하는 경우 개별 기업의 R&D 리스크 수준보다 공동 R&D 리스크 수준이 더 높지만 여전히 사회최적의 R&D 리스크 수준이 항상 높다. 즉,  $\sigma_i^{OS} > \sigma_i^{CS} > \sigma_i^{NS}$ 이다. 그러나, 본 연구에서는 환경오염에 대한 음의 외부성 효과가 존재할 때, ER&D 보조금이 지원되고 또한 환경책임이 충분히 높게 부과된다면 기업의 ER&D 수준은 I영역 이외에 다른 결과가 성립한다는 것을 보이고 있다. 또한, 조수미·이상호(2020)는 정부정책이 없는 상태에서(즉,  $s = 0$ ) 기업이 이윤뿐만 아니라 사회적 책임을 추구하는 경우(예로,  $\theta > 0$ 인 경우와 유사한 경우)를 분석하여  $\sigma_i^{OS} > \sigma_i^{NS}$ 을 보였다. 이와 같은 맥락에서 본 연구에서는  $s$ 가 작은 경우  $\theta$ 에 상관없이 I영역 혹은 II영역에서 이러한 결과가 성립한다는 것을 보이고 있다. 한편, Xing et al.(2021)은 차별화된 복점시장을 가정하여 환경세가 경쟁적인 ER&D 리스크 선택에 미치는 영향을 분석하였다. 이들은 환경세가 높을수록 더 높은 ER&D 리스크 프로그램을 선택하도록 하며, 상품차별화의 정도가 커질수록 더 낮은 ER&D 프로그램을 선택할 가능성이 있음을 보였다. 특히, 정부가 부과하는 환경세가 한계오염피해보다 작은 경우에는 항상  $\sigma_i^{OS} > \sigma_i^{NS}$ 가 성립함을 한다는 점을 보였다.<sup>20)</sup> 반면, 본 연구에서는 오염 기업에게 환경책임  $\theta$ 가 강하게 부과된다면 Xing et al.(2021)과 달리 III영역에서  $\sigma_i^{OS} < \sigma_i^{NS}$ 가 발생할 수 있다는 것을 보이고 있다.

## V. 결론

본 연구는 정부가 환경보조금을 지원하는 정책을 실시하고 오염기업은 환경책임활동을

20) Xing et al.(2021)은 정부가 부과하는 오염배출세의 범위를  $t > 0$ 로 가정하였다. 만일 정부가 부과하는 오염배출세 수준이 상당히 높다면 ( $t > 1$ ), 기업 간 공동투자를 하지 않더라도 사회최적보다 개별기업의 ER&D 리스크 수준이 더 높게 되는  $\sigma_i^{OS} < \sigma_i^{NS}$ 가 성립할 수 있음을 보였다.

반영하는 기업경영을 수행하는 경우를 대상으로 동질적인 상품을 생산하는 복점기업들의 환경R&D 리스크 선택에 미치는 영향을 분석하였다. 특히, ER&D 리스크를 경쟁적으로 수행하는 경우와 협조적으로 수행하는 경우를 비교·분석하였으며 사회차선의 관점에서 평가하였다. 본 연구의 주요한 분석결과는 다음과 같다. 첫째, 기업의 ER&D 리스크 선택은 정부가 부과하는 환경보조금이 클수록, 그리고 산업의 CER의 정도가 높을수록 ER&D 리스크가 큰 투자 프로그램을 선택한다. 둘째, 각 기업은 ER&D 협조를 한 경우가 ER&D 경쟁을 한 경우보다 ER&D 리스크 수준은 항상 높다. 셋째, 환경보조금이 낮고(높고) 산업의 CER 수준이 낮으면(높으면) 기업의 ER&D 리스크 수준은 사회적으로 과소(과다)하다. 따라서 정부는 기업이 수행하는 CER의 정도가 낮은 경우 환경보조금의 크기를 높이거나 기업이 ER&D를 공동으로 투자할 수 있도록 유도하는 정책이 필요하다. 반면에 기업이 수행하는 CER의 정도가 높은 경우 환경보조금의 크기를 낮추거나 기업이 ER&D를 경쟁적으로 투자하도록 조정하는 정책이 필요하다.

본 연구는 분석의 편의를 위해 동질적인 상품을 생산하는 복점기업을 가정하였고 오염이라는 음의 외부성을 고려하였으나 기업 간 ER&D의 확산효과라는 양의 외부성을 고려하지 않았다. 또한 본 연구는 두 사기업 간 ER&D 리스크 선택에 대한 분석에 한하여 두 기업의 CER의 정도가 같은 경우를 분석하고 있다. 향후 차별적인 제품을 생산하는 과점시장으로 확장하거나 ER&D 성과의 확산효과를 고려해 볼 수 있다. 또한, 기업들의 속성이 다른 경우도 중요한 향후 연구과제이다. 예를 들어, 공기업과 사기업이 공존하는 경우인 혼합시장이나 기업의 자발적인 CER 수준이 서로 다른 경우 그리고 기업들의 오염저감 기술의 수준이 다른 경우 등을 분석해 볼 수 있다. 마지막으로 기업들의 ER&D 리스크 선택에 대해 배출권거래제나 배출목표 상한을 정한 후 이를 초과한 배출에 대해 세금을 부과하는 정책을 실시하는 등 정부가 실시하는 다양한 정책들을 고려하여 분석하는 것 등도 향후 연구주제로 남겨두기로 한다.

## 참고문헌

- 김선화 (2019), “온실가스 배출규제가 기업 가치와 부채조달비용에 미치는 영향”, **중소 기업금융연구**, 제39권 제2호, pp. 1-26.
- (Translated in English) Kim, S. (2019). “The Effect of Greenhouse Gas Emissions Regulations on Firm Value and Debt Capital Cost: A Comparison between Small-Medium and Large Companies”, *The Journal of SME Finance*, 39(2):1-26.
- 이상호 (2017), “혼합복점시장에서 R&D 리스크 선택과 민영화”, **보험금융연구**, 제28권 제3호, 보험연구원, pp. 53-79.
- (Translated in English) Lee, S. (2017). “The Choices of R&D Risks in a Mixed Duopoly Market and Privatization Policy”, *Journal of Insurance and Finance*, Korean Insurance Research Institute, 28(3):53-79,
- 이상호·조수미 (2020), “기업의 사회적 책임과 상품차별화된 시장의 R&D 리스크 선택”, **보험금융연구**, 제31권 제1호, 보험연구원, pp. 53-86.
- (Translated in English) Lee, S. and S. Cho (2020). “Corporate Social Responsibility and the R&D Risk Choices in a Product Differentiated Market”, *Journal of Insurance and Finance*, Korean Insurance Research Institute, 31(1):53-86.
- 윤석한·박윤철 (2020), **친환경 섬유 기술동향 및 전망**, 한국산업기술평가관리원 PD Issue Report.
- (Translated in English) Yoon, S. and Y. Park (2020). “Eco-friendly Textile Technology Trends and Prospects”, Korea Evaluation Institute of Industrial Technology, PD Issue Report.
- Amir, R., H. Liu, D. Machowska and J. Resende (2019). “Spillovers,

- Subsidies, and Second-best Socially Optimal R&D”, *Journal of Public Economic Theory*, 21(6):1200-1220.
- Anderson, A. and L. Cabral (2007). “Go for Broke or Play it Safe? Dynamic Competition with Choice of Variance”, *The RAND Journal of Economics*, 38(3):593-609.
- Buccella, D., L. Fanti and L. Gori (2021). “To Abate, or not to Abate? A Strategic Approach on Green Production in Cournot and Bertrand duopolies”, *Energy Economics*, 96, 105164.
- \_\_\_\_\_ (2022). “ ‘Green’ Managerial Delegation Theory”, *Environment and Development Economics*, 27:223-249.
- David, M. and B. Sinclair-Desgagné (2005). “Environmental Regulation and the Eco-industry”, *Journal of Regulatory Economics*, 28(2):141-155.
- \_\_\_\_\_ (2010). “Pollution Abatement Subsidies and the Eco-industry”, *Environmental and Resource Economics*, 45(2):271-282.
- Fukuda, K. and Y. Ouchida (2020). “Corporate Social Responsibility (CSR) and the Environment: Does CSR increase Emissions?”, *Energy Economics*, 92, 104933.
- Garcia, A., M. Leal and S. Lee (2018). “Time-inconsistent Environmental Policies with a Consumer-friendly firm: Tradable Permits versus Emission tax. *International Review of Economics & Finance*, 58:523-537.
- Haruna, S. and R. Goel (2019). “Optimal Pollution Control in a Mixed Oligopoly with Research Spillovers”, *Australian Economic Papers*, 58(1):21-40.
- Heyen, D. (2016), “Strategic Conflicts on the Horizon: R&D Incentives for Environmental Technologies”, *Climate Change Economics*, 7(04),



1650013.

- Hirose, K., S. Lee and T. Matsumura (2017). "Environmental Corporate Social Responsibility: A Note on the First-mover Advantage under Price Competition", *Economics Bulletin*, 37(1):214-221.
- \_\_\_\_\_ (2020). "Noncooperative and Cooperative Environmental Corporate Social Responsibility", *Journal of Institutional and Theoretical Economics*, 176(3):549-571.
- Kamien, M., E. Muller and I. Zang (1992). "Research Joint Ventures and R&D Cartels", *American Economic Review*, 82:1293-1306.
- Khojastehpour, M. and R. Johns (2014). "The Effect of Environmental CSR Issues on Corporate/brand Reputation and Corporate Profitability", *European Business Review*.
- Lee, S. and T. Muminov (2021). "R&D Information Sharing in a Mixed Duopoly and Incentive Subsidy for RJV Competition," *Bulletin of Economic Research*, 73:154-170.
- Lee, S. and C. Park (2019). "Eco-firms and the Sequential Adoption of Environmental Corporate Social Responsibility in the Managerial Delegation", *The BE Journal of Theoretical Economics*, 19(1).
- \_\_\_\_\_ (2021). "Corporate Environmentalism in a Managerial Delegation and Abatement Subsidy Policy", *Asia-Pacific Journal of Accounting and Economics*, 28(5):546-561.
- Liu, C. L. Wang and S. Lee (2015). Strategic Environmental Corporate Social Responsibility in a Differentiated Duopoly Market. *Economics Letters*, 129:108-111.
- Petrakis, E., and A. Xepapadeas (1998). "Does Government Precommitment Promote Environmental Innovation?", No. 88, *Nota di Lavoro*.

- Poyago-Theotoky, J. (2003). "Optimal Environmental Taxation, R&D Subsidization and the Role of Market Conduct. University of St. Andrews", Department of Economics.
- Tishler, A. (2008). "How Risky should an R&D Program be?", *Economics Letters*, 99:268-271.
- Tishler, A., and I. Milstein (2009). "R&D Wars and the Effects of Innovation on the Success and Survivability of Firms in Oligopoly Markets", *International Journal of Industrial Organization*, 27:519-531.
- Tsai, T., C. Wang and J. Chiou (2016). "Can Privatization be a Catalyst for Environmental R&D and Result in a Cleaner Environment?", *Resource and Energy Economics*, 43:1-13.
- Wang, C. (2021). "Monopoly with Corporate Social Responsibility, Product Differentiation, and Environmental R&D: Implications for Economic, Environmental, and Social Sustainability", *Journal of Cleaner Production*, 287, 125433.
- Whalley, A. (2011). "Optimal R&D Investment for a Risk-Averse Entrepreneur", *Journal of Economic Dynamics and Control*, 35:413-429.
- Xing, M. (2014). "On the Optimal Choices of R&D Risk in a Market with Network Externalities", *Economic Modelling*, 38:71-74.
- \_\_\_\_\_ (2017). "The Optimal Risk Choice of Cooperative and Noncooperative R&D in Duopoly with Spillovers", *Bulletin of Economic Research*, 69:0307-3378.
- \_\_\_\_\_ (2019). "Strategic R&D Risk Choices of Public and Private Firms", *Economic Research*, 32(1):717-741.
- Xing, M., T. Tan and X. Wang (2021). "Emission Taxes and Environmental

R&D Risk Choices in a Duopoly Market”, *Economic Modelling*, 101, 105530.

Xu, L., Y. Chen and S. Lee (2022). “Emission Tax and Strategic Environmental Corporate Social Responsibility in a Cournot-Bertrand Comparison”, *Energy Economics*, 107, 105846.

Youssef, S. and Z. Dinar (2011). “Regulation of a Duopoly and Environmental R&D”.

Zhang, Y., S. Mei and W. Zhong (2013). “Should R&D Risk Always be Preferable?”, *Operations Research Letters*, 41:147-149.

## Appendix: 정리에 대한 증명

[정리 1의 증명] (i)  $\frac{\partial E(V_i^S)}{\partial \sigma_i} = \frac{4}{9}(s+\theta)^2 > 0$ ,  $\frac{\partial E(V_i^S)}{\partial \sigma_j} = \frac{1}{9}(s+\theta)(s+7\theta) > 0$

이고,  $s > \frac{1}{2}\theta$ 에 대해  $\frac{\partial E(V_i^S)}{\partial \sigma_i} - \frac{\partial E(V_i^S)}{\partial \sigma_j} = \frac{1}{3}(s-\theta)(s+\theta) > 0$ 이 성립한다. (ii)

$\frac{\partial E(CS^S)}{\partial \sigma_i} = \frac{1}{18}(s-\theta)^2 > 0$ . (iii)  $\frac{\partial E(ED^S)}{\partial \sigma_i} = -\frac{2\theta}{3} < 0$ . (iv)  $s > \frac{1}{2}\theta$ 에 대해

$\frac{\partial E(W^S)}{\partial \sigma_i} = \frac{1}{18}(\theta-s)(12+s-\theta) < 0$ 이다.

[정리 2의 증명] 경쟁적 ER&D 리스크 선택에서  $\mu_1 = \mu_2$ 이면, 식(16)에서  $m(\sigma_i)$ 은  $\sigma_i$ 에 대해

단조증가함수이다. 따라서,  $\frac{\partial m(\sigma_i^{NS})}{\partial s} = \frac{8(s+\theta)}{9} > 0$ 와  $\frac{\partial m(\sigma_i^{NS})}{\partial \theta} = \frac{8(s+\theta)}{9} > 0$

이 성립한다.

[정리 3의 증명] 협조적 ER&D 리스크 선택에서  $\mu_1 = \mu_2$ 이면, 식(19)에서  $m(\sigma_i)$ 은  $\sigma_i$ 에

대해 단조증가함수이다. 따라서,  $\frac{\partial m(\sigma_i^{CS})}{\partial s} = \frac{2(5s+8\theta)}{9} > 0$ 와  $\frac{\partial m(\sigma_i^{CS})}{\partial \theta} =$

$\frac{2(8s+11\theta)}{9} > 0$ 이 성립한다.

[정리 4의 증명] 경쟁적 ER&D 리스크 선택과 협조적 ER&D 리스크 선택에서 모든 경우  $\mu_1 = \mu_2$ 이면, 식(16)과 식(19)에서  $m(\sigma_i)$ 은  $\sigma_i$ 에 대한 단일한 형태의 단조 증가함수이

다. 또한,  $m(\sigma_i^{CS}) - m(\sigma_i^{NS}) = \frac{1}{9}(s+\theta)(5s+11\theta) - \frac{4}{9}(s+\theta)^2 = \frac{1}{9}(s+\theta)$

$(s+7\theta) > 0$ 이 성립하므로  $m(\sigma_i^{CS}) > m(\sigma_i^{NS})$ 이다. 따라서,  $m(\sigma_i)$ 은  $\sigma_i$ 에 대해 단조 증가함수라는 성질에 의해  $\sigma_i^{CS} > \sigma_i^{NS}$ 이 성립한다.

[정리 5의 증명] 사회차선의 ER&D 리스크 선택에서  $\mu_1 = \mu_2$ 이면, 식(19)에서  $m(\sigma_i)$ 은

$\sigma_i$ 에 대해 단조 증가함수이다. 따라서,  $\frac{\partial m(\sigma_i^{OS})}{\partial s} = \frac{(6-s-\theta)}{9} > 0$ 와  $\frac{\partial m(\sigma_i^{OS})}{\partial \theta} = \frac{(6-s-\theta)}{9} > 0$ 이 성립한다.

**[정리 6의 증명]** 사회차선에서의 ER&D 리스크 선택이 시장균형에서의 (경쟁적 혹은 협조적) ER&D 리스크 선택과 동일하게 모든 경우,  $\mu_1 = \mu_2$ 이면, 식(16)과 식(19), 그리고 식(21)에서 모두  $m(\sigma_i)$ 은  $\sigma_i$ 에 대한 단일한 형태의 단조증가함수이다. 또한, [정리 4]에서  $\sigma_i^{CS} > \sigma_i^{NS}$ 이다. 이제,  $m(\sigma_i^{OS}) - m(\sigma_i^{CS}) = \frac{1}{18}(s+\theta)(12-11s-23\theta)$ 이다. 이를  $s$ 에 대해 정리하면  $s_1 = \frac{1}{11}(12-23\theta)$ 이다.  $0 < s < s_1$ 이고  $0 < \theta < \frac{12}{23}$ 이면,  $m(\sigma_i^{OS}) > m(\sigma_i^{CS})$ 이고,  $s > s_1$ 이면  $m(\sigma_i^{OS}) < m(\sigma_i^{CS})$ 이 성립한다. 다음으로  $m(\sigma_i^{OS}) - m(\sigma_i^{NS}) = \frac{1}{6}(s+\theta)(4-3s-3\theta)$ 이다. 이를  $s$ 에 대해 정리하면  $s_2 = \frac{1}{3}(4-3\theta)$ 이다.  $s < s_2$ 이면  $m(\sigma_i^{OS}) > m(\sigma_i^{NS})$ 이고  $s > s_2$ 이면,  $m(\sigma_i^{OS}) < m(\sigma_i^{NS})$ 가 성립한다. 따라서  $m(\sigma_i)$ 은  $\sigma_i$ 에 대해 단조 증가함수라는 성질에 의해 증명이 성립한다.

## Abstract

This study investigates the effects of corporate environmental responsibility (CER) and environmental R&D (ER&D) subsidy on the ER&D risk choices in a duopoly market under quantity competition. Our findings are summarized as follows: First, irrespective of whether ER&D competition or cooperation, firms increase ER&D risks as the rate of ER&D subsidy increases and the level of CER increases. Second, firms choose higher ER&D risks under ER&D cooperation than under ER&D competition. Finally, market choices on the ER&D risks are higher (lower) than those of second-best when both the rate of ER&D subsidy and the level of CER are low (high). Therefore, when the level of CER is low, the government is required to increase the rate of ER&D subsidy or encourage firms to choose a higher ER&D risk program through ER&D cooperation. However, when the level of CER is high, the government is required to decrease the rate of ER&D subsidy or induce the firms to choose a lower ER&D risk program under ER&D competition.

※ Key words: Corporate environmental responsibility, ER&D risk choice, ER&D subsidy, Quantity competition, Second-best