

배출권 가격 불확실성을 고려한 중소기업의 연료 전환 사업 실물옵션 연구

이재형*

요약

2015년 배출권거래제가 시작된 이후 배출권 거래시장의 활성화를 위해 시장의 이해관계자들은 외부사업을 적극적으로 개발하고 있다. 이 중 본 논문에서는 시장에서 활발히 추진되고 있는 연료 전환 사업 대상으로 배출권 가격 불확실성에 따른 투자 의사결정 모형을 개발하였다. 그 결과 연료 전환 사업이 중소기업의 온실가스 감축에 기여하는 것은 사실이나, 중소기업별로 사업 전 연료의 종류 및 가격에 따라 최적투자분기점(p^*)이 상이하였다. 즉, 사업 후 연료비가 감소(전환편익 >0)되는 경우는 배출권 가격 불확실성과 상관없이 연료 전환 사업에 즉각 투자할 것이다. 반면 사업 후 연료비가 증가(전환편익 <0) 되는 경우는 p^* 가 배출권 현물가(p_{spot}) 보다 높기에 연료 전환 사업은 경제성이 없는 것으로 나타났다. 그렇기에 연료 전환 사업 활성화를 위해서는 현재의 초기투자비 지원 정책 뿐 아니라, 연료비 지원 같은 정책도 도입해야 할 것이다. 이를 위한 재원으로 배출권거래제 유상할당에 따른 경매수입을 활용할 수 있을 것이다.

주요 단어 : 연료전환, 외부사업, 경매수입, 불확실성, 실물옵션
경제학문헌목록 주제분류 : C6, D8, Q3

* SK텔레콤 SV Innovation 센터 매니저(주저자). for385@hanmail.net

I. 서 론

「대기환경보전법」에서는 ‘생활환경상의 대기오염물질 배출 규제’를 위해 동법 제42조 및 동법 시행령 제41조부터 제43조에서는 연료사용 규제 기준¹⁾을 설정하고 있다. 또한, 「수도권 대기환경개선에 관한 특별법(이하 ‘수도권대기법’)」에서는 ‘사업장 대기오염물질 총량관리제도’를 도입하고 있는데, 이는 ‘사업장에 연도별로 배출허용총량을 할당하고 할당량 이내로 오염물질 배출을 허용’하는 제도이다(환경부·한국환경공단, 2018). 사업장 대기오염물질 총량관리제도에 포함된 사업장은 사업장에서 발생하는 대기오염물질을 줄이기 위해 대기오염 허용기준 이하로 대기오염물질을 배출을 위한 ‘대기오염방지시설’²⁾ 설치를 의무화하고 있다. 하지만, 이러한 방지시설의 설치는 사업장에서 사용하는 에너지원의 전환 없이는 근본적인 대책이 될 수 없기에, 기업들은 에너지원을 전환하는 ‘연료 전환 사업’을 추진하고 있다.

한편, 2015년 배출권거래제가 시작된 이후 배출권 거래시장의 활성화를 위해 시장의 이해관계자들은 외부사업을 적극적으로 투자하고 있다. 최근 들어 국내 외부사업의 등록건수가 급증하고 있으며, 이 중 많은 수가 ‘연료 전환 사업’이다(이충국, 2019). 이렇게 연료 전환 사업이 활성화된 이유는 타 방법론에 비해 사업경계의 규명이 쉽고, 추가성 분석 및 감축량 산정이 용이하기 때문이다. 또한, 실무적으로 연료 전환 사업은 외부사업 등록을 위한 사업대상 발굴이 용이하기 때문이다. 예를 들어, 시장의 이해관계자들은 지자체 및

1) 「대기환경보전법 시행령」 제3장 제40조에서는 ‘저황유 사용’, 제41조에서는 ‘저황유 외의 연료사용’, 제42조에서는 ‘고체연료의 사용금지 등’ 및 제43조에서는 ‘청정연료의 사용’에 관한 세부 규정을 명시하고 있다.

2) 「대기환경보전법」 제1장 제2조(정의)에서는 ‘대기오염방지시설’을 ‘대기오염물질배출시설로부터 나오는 대기오염물질을 연소조절에 의한 방법 등으로 없애거나 줄이는 시설’로 정의하고 있으며, 동법 시행규칙 제6조 및 [별표 4]에서는 ‘대기오염방지시설’의 종류를 나열하고 있다.

공공기관에서 ‘온실가스 저감’을 위한 목적으로 지원하는 ‘중소기업의 연료 전환 지원사업’을 수혜받은 중소기업을 우선으로 발굴하여 등록하고 있다. 이러한 지원사업 중 지자체 차원 사업의 예로는 경기도의 ‘영세사업장 청정연료 전환 지원 사업’³⁾ 및 충청남도의 ‘청정 연료 전환 사업’⁴⁾ 등이 있다. 또한, 공공기관차원 지원사업의 예로는 한국환경공단, 한국에너지공단, 농업기술실용화재단, 한국임업진흥원 등의 ‘배출권거래제 온실가스 감축 지원사업’⁵⁾ 등이 있다.

이렇게 연료 전환 사업은 온실가스 저감의 효과 뿐 아니라, 대기오염물질 저감 및 미세먼지 감축 등의 효과도 기대할 수 있기에 연료 전환과 관련한 연구는 지속되었다. 즉, 연료 전환과 관련한 선행연구에서는 대기오염물질 저감 및 미세먼지 감축(배정환, 2006; 이재호·장우석, 2017; 관계부처합동, 2017; 박호정, 2019; 엄병환·강찬호, 2019), 온실가스 저감(배정환, 2006; 정영호 외, 2008; 이상중·정영호, 2009; 정남영·김래현, 2010 & 2011; 이기석, 2011; 이연상·윤화영, 2012; 이진철, 2013; 손준익 외, 2014; 윤성이·김태곤, 2014; 이재호·장우석, 2017; 박호정, 2019; 엄병환·강찬호, 2019)에 대해 연료 전환 효과 및 경제성 평가를 하였다.

그러나 선행연구 대부분은 불확실성이 존재하지 않는 세계를 가정하여 연료 전환 효과에 대한 경제성 평가를 하였다. 하지만 현실 세계는 연료 전환과 관련 있는 연료 가격, REC 가격 및 배출권 가격 등의 불확실성이 존재하는 세계이다. 그렇기에 불확실성 하에서 연료 전환 사업에 대해 경제성 평가를 해야 현실에 부합하는 결과를 얻을 수 있으며, 이러한 방법론으로 실물옵션 방법론이 활용되고 있다.

3) 경기도 보도자료(2019.03.11), “도, 미세먼지 저감 위해 북부 영세사업장 ‘청정연료전환 비용’ 지원”

4) 충청남도 보도자료(2019.08.30), “연료전환으로 미세먼지·온실가스 잡는다.”

5) 관장기관 산하 운영기관에 따라 동 사업에 대한 사업명이 상이하다. 한국환경공단은 「배출권거래제 참여업체 온실가스 감축설비 지원사업」, 한국에너지공단은 「배출권거래제 참여기업 온실가스 에너지 감축설비 지원사업」, 농업기술실용화재단 및 한국임업진흥원은 「온실가스 감축지원 사업」이라는 명칭으로 운영중이다.

국내에서 실물옵션 방법론을 활용하여 불확실성 하에서의 연료 전환의 경제성을 분석한 연구는 박호정(2004) 및 박호정(2019) 정도로 제한적이다. 박호정(2004)은 전력 가격 및 연료 가격 불확실성하에서 발전소 에너지를 유연탄에서 LNG로 전환하는 사업을 실물옵션 방법론으로 분석하였으며, 최소비용을 지불하면서 자원최적화를 이룰 수 있는 연료 전환 조정속도(η)를 도출하였다. 그리고 박호정(2019)은 전력 가격 불확실성하에서 발전소 에너지를 유연탄에서 LNG로 전환하는 사업을 실물옵션 방법론으로 분석하였으며, 환경개선 편익을 고려한 연료 전환 사업의 최적투자 전력 가격을 도출하였다.

본 논문은 선행연구와 마찬가지로 실물옵션 방법론을 활용하였으나, 연료 전환 대상이 발전소가 아닌 중소기업 사업장에서 가동중인 보일러로 설정하였다. 또한, 중소기업은 일간 혹은 월간 연료 가격의 변동성이 크지 않고, 전력을 판매하는 것이 아니기에 불확실한 요소를 연료 가격이나 전력 가격이 아닌 배출권 가격으로 설정하였다. 그리고 배출권 가격 불확실성 하에서 연료 전환 사업의 최적투자분기점을 도출하였으며, 이에 따른 정책 방향을 제시하였다.

이하 본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 배출권 가격 불확실성 하에서의 연료 전환의 실물옵션 모형을 개발하였으며, III장에서는 연료 전환을 진행한 사업자별 파라미터를 활용하여 실증분석 및 민감도 분석을 하였다. 마지막으로 IV장에서는 실증분석 결과와 연계하여 연료 전환 외부사업 활성화를 위한 정책적 시사점을 제시하였다.

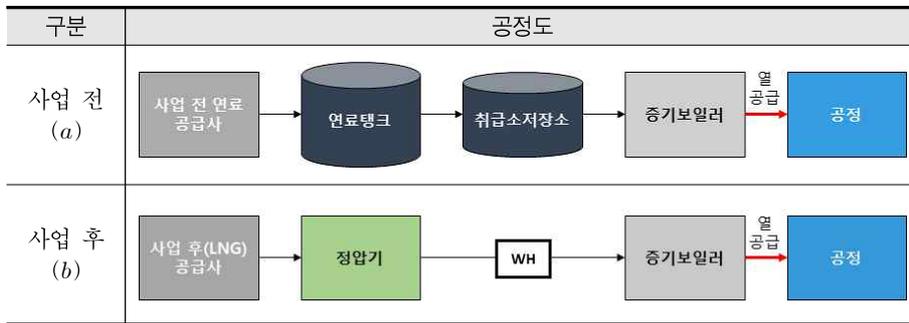
II. 연료 전환 외부사업 실물옵션 모형

본 논문에서는 사업 전 사업장에 증기를 공급하기 위해 ‘탄소함량’이 많은 에너지원으로 증기(스팀)를 생산했던 중소기업이 연료 전환 사업을 통해 ‘탄소함량’이 적은 LNG로 에너지를 변경하여 증기를 생산하는 상황을 가정하였다. 연료 전환 사업은 기존 설비에서 사용하던 에너지를 상대적으로 탄소

함량이 적은 LNG로 전환하는 사업으로 연료 전환에 따라 온실가스 배출량이 감소된다.

이러한 ‘연료 전환’에 따른 온실가스 감축량은 온실가스 배출권거래제 상쇄 제도 외부사업 방법론 중 ‘(03A-002-Ver01) 연료 전환 사업의 방법론’을 활용하여 산정⁶⁾한다. 이는 ‘기존 설비에서 사용하던 화석연료를 상대적으로 탄소 함량이 적은 화석연료로 전환하는 사업 활동에 적용’할 수 있다(환경부, 2015).

〈표 1〉 연료 전환 사업의 공정도



연료 전환에 따른 온실가스 감축량은 아래 식(1)과 같이 사업 전(베이스라인) 배출량(BE)에서 사업 후 배출량(PE) 및 누출량(LE)을 차감한 값을 의미한다. 여기에서 ‘사업 전 배출량’은 연료 전환 사업을 추진 전에 기존의 화석연료를 사용할 경우의 배출량을 의미하고, ‘사업 후 배출량’은 연료 전환 사업을 완료 후 새로운 화석연료를 사용할 경우의 배출량을 의미한다. 마지막으로 ‘누출량’은 연료 전환에 따라 추가적으로 배출되는 배출량을 의미한다.

$$q(t) = BE(t) - PE(t) - LE(t) \quad (1)$$

$q(t)$: 연간감축량 (톤CO₂/년)

$BE(t)$: 사업 전(베이스라인) 배출량 (톤CO₂/년)

6) 동 방법론에는 연료 전환에 따른 온실가스 감축량은 온실가스 중에서 이산화탄소(CO₂)만을 산정대상으로 정의하고 있다(환경부, 2015).

$PE(t)$: 사업 후 배출량 (톤CO₂/년)

$LE(t)$: 누출량 (톤CO₂/년)

우선 ‘사업 전 배출량(BE)’은 1) 사업 후 에너지 생산량 또는 사용량 기반 2) 사업 후 화석연료 사용량 기반의 두 가지 방법을 활용하여 산정할 수 있다. 일반적으로 ‘산정방법 2’는 사업 전 연료사용량 자료가 필요하지 않고, 사업 후 연료사용량으로 산정하는 방법이기 때문에 본 논문에 다루고 있는 소규모 감축사업⁷⁾을 추진하는 중소기업 외부사업자가 적용하기에 편리한 방법이다. 또한 동 방법론에서는 ‘산정방법 2’에 대해서 ‘소규모 감축사업에만 해당 산정 방법이 적용가능하다’고 규정하고 있어 실무적으로 소규모 감축사업에 대해서는 ‘산정방법 2’를 주로 사용하고 있다.

외부사업 사업자는 사업 전 배출량 산정을 위한 사업 후 생산열량과 사업 전 시나리오에서의 화석연료의 이산화탄소 배출계수를 활용하여 베이스라인 배출량을 산정한다.⁸⁾

$$BE(t) = q_b(t) \times NCV_b \times EF_a \quad (2)$$

$BE(t)$: t년도 사업 전 배출량 (톤CO₂/년)

$q_b(t)$: 사업 후 t년도 화석연료 사용량 (m³/년)

NCV_b : 사업 후 사용된 화석연료의 순발열량 (MJ/m³)

EF_a : 사업 전 사용된 화석연료의 이산화탄소 배출계수 (톤CO₂/TJ)

‘사업 후 배출량(PE)’는 다음 식(3)과 같이 사업 후 생산열량($TNCV_b = q_b \times NCV_b$)과 사업 후 시나리오에서의 화석연료의 이산화탄소 배출계수를 활용하여 사업 배출량을 산정한다.

7) 「외부사업 타당성 평가 및 감축량 인증에 관한 지침」에서는 소규모 감축사업을 ‘감축에 상량이 100톤 초과 3,000톤 이하인 사업’을 소규모 감축사업으로 규정한다.

8) 본 논문에서는 논의의 이해를 돕고자 방법론에서 명명하고 있는 파라미터들을 변경하였다. 하첨자 a는 ‘사업 전(베이스라인)’을 의미하고, 하첨자 b는 ‘사업 후(프로젝트)’를 의미한다. 그리고 사업 전·후의 구분이 필요 없는 경우에는 이를 하첨자 i ($i = a, b$)로 표시하였다.

$$PE(t) = q_b(t) \times NCV_b \times EF_b \quad (3)$$

$PE(t)$: t년도 사업 배출량 (톤CO₂/년)

$q_b(t)$: 사업 후 t년도 화석연료 사용량 (m³/년)

NCV_b : 사업 후 사용된 화석연료의 순발열량 (MJ/m³)

EF_b : 사업 후 사용된 화석연료의 이산화탄소 배출계수 (톤CO₂/TJ)

마지막으로 설치되는 연료 전환에 따른 누출량도 고려해야 한다. 하지만, ‘연료 전환 사업의 방법론’에서는 누출에 대한 고려는 하지 않는다(환경부, 2015).

외부사업자가 외부사업 투자를 통해 확보하는 배출권은 외부사업감축량(KOC, Korean Offset Credit)이다. 그렇기에 본 논문에서는 ‘배출권 가격’ 지표를 KOC로 설정하였다. 그리고 선행연구(Park and Jang, 2010; 장희선·박호정, 2009; 홍원경·박호정, 2011; 박호정, 2012; 박호정, 2015)와 동일하게 KOC 배출권 가격은 아래 식(4)과 같이 gBm(geometric Brownian motion) 확률 과정을 따름을 가정하였다.

$$dp(t) = \alpha p(t)dt + \sigma p(t)dz(t) \quad (4)$$

위 식에서 α 는 p 의 증가율(Drift Rate)이고, σ 는 변동성(Volatility)을 뜻하며, $dz(t)$ 는 위너과정(Wiener's process)의 증분을 의미한다.

외부사업자가 시간 t 에서의 편익함수($b(p)$)는 연료 전환에 따른 배출권 수익(pq), 연료 전환에 따른 ‘연료 전환 편익($v_{a \rightarrow b} = p_a q_a - p_b q_b$)⁹⁾’ 및 간접비(k)로 구성된다.

9) 본 논문에서는 중소기업의 사업 후 연료사용량(q_b) 및 연료단가(p_b)는 동일하다고 가정한다.

$$b(p) = p(t)q(t) + v_{a \rightarrow b}(t) - k \quad (5-1)$$

$$= p(t)q(t) + p_a q_a(t) - p_b q_b(t) - k \quad (5-2)$$

q : 연간감축량 (톤CO₂/년)

p_a : 사업 전 화석연료 단가 (원/L)

q_a : 사업 후 t년도 LNG 사용량 증가 화석연료 사용량 (L/년)

p_b : 사업 후 LNG 단가 (원/m³)

q_b : 사업 후 t년도 LNG 사용량 (m³/년)

k : 간접비 (모니터링, 밸리데이션 등) (원)

본 논문에서는 외부사업자인 중소기업이 연료 전환을 통해 배출권 확보하는 상황을 가정하여 pq 를 '수익'으로 가정하였다. 그러나 이연상·윤화영(2012)은 pq 를 연료 전환을 하지 않을 경우 '사업 전 온실가스 배출량(BE)을 사업 후 온실가스 배출량 수준(PE)'으로 감축하기 위해 소요되는 '비용'으로 정의하였다.

이를 종합한 외부사업자 가치함수는 다음과 같다.

$$V(p) = E \int_0^{\tau} [p(t)q(t) + p_a q_a(t) - p_b q_b(t) - k] e^{-\rho t} dt \quad (6)$$

$$\text{s.t. } dp(t) = \alpha p(t)dt + \sigma p(t)dz(t)$$

위 식에서 E 는 기대연산자이며, ρ 는 할인율을 나타낸다.

이를 풀어서 정리하면 다음과 같다.¹⁰⁾

$$V(p) = \frac{p(t)q(t) + p_a q_a(t) - p_b q_b(t) - k}{\rho} (1 - e^{-\rho \tau}) \quad (7)$$

10) 이후, 논의를 단순화하기 위하여 시간을 나타내는 표기 t 는 생략하도록 한다.

$V(p)$ 를 구하기 위해서는 해밀톤-자코비-벨만(Hamiltonian-Jacobi-Bellman, 이하 'HJB') 방정식을 우선 도출해야 한다. HJB 방정식은 식(4)를 이토 보조정리(Ito's Lemma)의 $dt^2 \rightarrow 0$, $dt dz \rightarrow 0$ 및 $dz^2 \rightarrow dt$ 성질을 이용하여 전개한 후 벨만방정식(Bellman Equation)의 정의를 활용하여 다음 식(8)과 같이 도출할 수 있다. 그리고 여기서 $T = 1 - e^{-\rho\tau}$ 를 의미한다.

$$\rho V(p) = (pq + p_a q_a - p_b q_b - k)T + \alpha p V_p + \frac{1}{2} \sigma^2 p^2 V_{pp} \quad (8)$$

$V(p)$ 의 2계 미분방정식인 HJB 방정식은 동차방정식과 비동차방정식의 합으로 이루어져 있는데, 그 결과는 다음과 같다.

$$V(p) = \frac{pq + p_a q_a - p_b q_b}{\rho - \alpha} T - \frac{k}{\rho} T + Bp^\beta \quad (9)$$

위 식에서 β 는 HJB 방정식의 동차방정식으로부터 도출한 특성방정식(Characteristic Equation)은 $\alpha\beta + 1/2\sigma^2\beta(\beta-1) - \rho = 0$ 와 같으며, 이의 양(+)의 해는 다음과 같다(Dixit and Pyndick, 1994).

$$\beta = \frac{1}{2} - \frac{\alpha}{\sigma^2} + \sqrt{\left(\frac{1}{2} - \frac{\alpha}{\sigma^2}\right)^2 + \frac{2\rho}{\sigma^2}} > 1 \quad (10)$$

식(9)에서 Bp^β 는 프로젝트 가치의 투기적 거품(Speculative Bubble)을 의미하는 항으로 $V(p=0) = 0$ 일 때 $B = 0$ 의 값을 갖는다.

이를 종합하면, 프로젝트 가치함수 $V(p)$ 는 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$V(p) = \frac{pq + p_a c_a - p_b q_b}{\rho - \alpha} T - \frac{k}{\rho} T \quad (11)$$

다음으로 본 외부사업의 옵션가치 $F(p)$ 는 식(6)을 통해 도출하며, 기준시점의 편익 $b(t) = 0$ 일 경우에 이토 보조정리(Ito's Lemma) 및 HJB 방정식을 이용하여 구한다. 이에 따른 옵션가치의 HJB 방정식은 다음과 같다.

$$\rho F(p) = \alpha p V_p + \frac{1}{2} \sigma^2 p^2 V_{pp} \quad (12)$$

프로젝트 가치함수 도출과정과 동일하게 $F(p = 0) = 0$ 을 만족하도록 해를 정리하면 다음의 옵션 가치함수를 얻을 수 있다.

$$F(p) = Ap^\beta \quad (13)$$

다음 단계로는 최적투자임계점(p^*)을 구해야 하는데, 이는 가치일치조건(Value Matching Condition)과 한계조건(Smooth-pasting Condition)을 바탕으로 도출한다.

가치일치조건 및 한계조건은 식(14) 및 식(15)과 같다. 여기에서 한계조건 식(15)는 식(14)를 상태변수인 p 로 미분한 조건을 의미한다.

$$F(p) = V(p) - (1 - \delta)I \quad (14)$$

$$F_p(p) = V_p(p) \quad (15)$$

위 식(14)에서 I 는 연료 전환 시 수반되는 비가역적 초기 총투자비를 의미하며, δ 는 정부지원금 비율을 의미한다. 만약 정부지원금이 없는 $\delta = 0$ 일 경우라면 중소기업의 초기투자비는 I 가 되며, 정부지원금이 지급되는 $0 < \delta \leq 1$ 인 경우라면 중소기업의 초기투자비는 $(1 - \delta)I$ 가 된다.

식(14) 및 식(15)을 연립하여 정리하면 다음과 같은 배출권 가격 불확실성 하에서의 최적투자임계점(p^*)을 구할 수 있다.

$$p^* = \left(-\frac{p_a q_a - p_b q_b}{\rho - \alpha} T + \frac{k}{\rho} T + (1 - \delta) I \right) \left(\frac{\beta}{\beta - 1} \right) \left(\frac{\rho - \alpha}{qT} \right) \quad (16-1)$$

$$= \left(-\frac{v_{a \rightarrow b}}{\rho - \alpha} T + \frac{k}{\rho} T + (1 - \delta) I \right) \left(\frac{\beta}{\beta - 1} \right) \left(\frac{\rho - \alpha}{qT} \right) \quad (16-2)$$

Ⅲ. 실증분석

본 절에서는 앞장에서 도출한 배출권 가격 불확실성 하에서의 중소기업의 연료 전환 사업 투자 의사결정모형을 실증분석하였다. 우선 연료 전환 외부사업에 대한 실증분석을 위한 에너지원별 사업 전·후 사용하는 파라미터는 <표 2>와 같다.

우선, 본 논문에서 고려한 중소기업은 에너지원으로 사업 전에 부생연료1호, BC유 및 정제유를 각기 사용하고 있으며, 사업 후에는 모두 LNG를 에너지원으로 사용한다. 둘째, 에너지원별 순발열량(NCV_i)은 「온실가스 배출권거래제의 배출량 보고 및 인증에 관한 지침(이하 ‘배출권거래제 지침’)」 [별표 12]에서 제시하고 있는 ‘연료별 국가 고유 발열량 및 배출계수’의 연료별 순발열량(TJ/L)를 적용하였다. 셋째, 에너지원별 이산화탄소 배출계수(EF_i)도 「배출권거래제 지침」 [별표 12]에서 제시하고 있는 ‘연료별 국가고유 배출계수’의 연료별 이산화탄소 배출계수(톤CO₂/TJ)를 적용하였다. 넷째, 사업 전 연료단가(p_a) 에너지경제연구원의 「에너지통계월보」 및 중소기업에서 연료 전환 사업 전 직전월의 구매 단가를 이용하였는데, 본 논문에서 분석한 에너지원 중 정제유 단가가 가장 저렴하며 다음으로 BC유 및 부생연료1호 순이었다. 사업 후 연료단가(p_b)도 에너지경제연구원의 「에너지통계월보」의 산업용 LNG ‘소비자 가격’을 이용하였다. 그리고 사업 전·후의 연료단가는 세금(부가세)을 제외한 금액이다. 다섯째, 민감도 분석 및 정책 방향 제시를 위해 ‘열량연료단

가(CP_i , 원/MJ)’를 도출하였다. 사업 전·후의 연료 단가는 단위가 상이(원/L 및 원/m³)하기 때문에 단순비교는 어렵다. 그렇기에 이를 하나의 단위로 통일해야 하는데, 이는 식(17)과 같이 연료 전환 사업 전·후 연료단가(p_i)를 순발열량(NCV_i)으로 나누어 도출하며 이를 ‘열량연료단가(CP_i , 원/MJ)’로 정의하였다.

$$CP_i = \frac{p_i}{NCV_i} \tag{17}$$

〈표 2〉 연료 전환 외부사업 실증분석을 위한 기준값

구분	파라미터	업체명			단위	
		기업A	기업B	기업C		
에너지원	사업 전	부생연료1호	BC유	정제유	-	
	사업 후	LNG	LNG	LNG	-	
순발열량 ^{주1)}	사업 전	NCV_a	34.3	39.2	40.2	MJ/L
	사업 후	NCV_b	39.4	39.4	39.4	MJ/m ³
이산화탄소 배출계수 ^{주1)}	사업 전	EF_a	72.2	75.5	73.3	톤CO ₂ /TJ
	사업 후	EF_b	56.1	56.1	56.1	톤CO ₂ /TJ
연료단가 ^{주2)}	사업 전	p_a	909.1	668.0 ^{주3)}	662.2	원/L
	사업 후	p_b	745.5			원/m ³
열량 연료단가	사업 전	CP_a	26.5	17.0	16.5	원/MJ
	사업 후	CP_b	18.9	18.9	18.9	원/MJ

주: 1) 「온실가스 배출권거래제의 배출량 보고 및 인증에 관한 지침」이 개정되어 2020년 1월 1일부터 시행되나, 순발열량 및 이산화탄소배출계수는 2020년 3월 제출 명세서부터 적용되기에, 본 논문에서는 기존값을 사용함
 2) 연료단가는 부가세를 제외한 금액임
 3) 에너지경제연구원, 「에너지통계월보」

다음으로 중소기업별 실증분석을 위한 파라미터이다. 첫째, 사업 후 LNG 사용량(q_b)은 LNG 사용을 위한 정압기, 배관 및 버너 등의 공사 이후 ‘완성검사필증’을 받은 날로부터 1년간의 실제 LNG 사용량(m³/년) 자료이다. 그러나

사업 후에는 에너지원으로 LNG를 사용하고, 사업 전 화석연료를 직접적으로 사용하는 것이 아니므로, 사업 후 사용하는 LNG의 생산열량($TNCV_b$)을 바탕으로 동일 발열량 생산을 위한 ‘사업 전 화석연료의 사업 후의 등가 사용량(\hat{q}_a)’을 식(18)과 같이 추정하였다.

$$\hat{q}_a = \frac{q_b \times NCV_b}{NCV_a} \quad (18)$$

둘째, 연료비용(c_i)은 사업 전·후의 에너지원별 연료사용량(q_i)에 에너지원별 연료단가(p_i)를 곱하여 산출하였다.¹¹⁾ 아래 <표 3>과 같이 중소기업별로 사업 전 에너지원에 따라 연료 전환에 따른 ‘전환편익($v_{a \rightarrow b}$)’이 상이한 것을 알 수 있다. 즉, 사업 전 연료단가(p_a) 상대적으로 비싼 연료(부생연료1호)를 사용한 ‘기업A’의 경우 $v_{a \rightarrow b}$ 의 값이 양의 값(+)을 갖고 동시에 연료 전환에 따른 배출권 판매 수익($pq > 0$)도 확보할 수 있다. 반면 사업 전 연료단가(p_a) 상대적으로 저렴한 연료(재생유, BC유)를 사용한 ‘기업B’ 및 ‘기업C’의 $v_{a \rightarrow b}$ 이 음의 값(-)이 나와 연료 전환에 따른 전환편익이 없는 것($v_{a \rightarrow b} < 0$)으로 나타났으나, 연료 전환에 따른 배출권 판매 수익($pq > 0$)은 확보할 수 있다.

셋째, 간접비(k)는 0.1억원/년을 가정하였다. 간접비 항목에는 외부사업 추진을 위한 컨설팅 비용 및 제3자 검증비용을 포함하고 있다. 하지만 연료 전환 사업의 컨설팅 비용 및 제3자 검증비용은 업체별 큰 차이를 갖는 값이 아니기에 3개의 중소기업에 동일한 값을 적용하였다.

넷째, 정부지원금 비율(δ)은 0.5를 가정하였다. 이는 전술한 한국환경공단, 한국에너지공단, 농업기술실용화재단 및 한국임업진흥원 등의 ‘배출권거래제 온실가스 감축 지원사업’에서 지원하고 있는 정부지원금 비율이 사업비 중 50% 이내¹²⁾이기 때문이다.

11) 전환편익($v_{a \rightarrow b}$)은 사업 전·후 연료종류에 따른 순발열량(NCV_i) 및 연료단가(p_i), 식(18)에 따른 q_a 등의 관계에 따라 상이하게 나올 수 있다.

12) 예를 들어, 농림축산식품부 공고제2017-254호 ‘『2017년도 온실가스 감축지원사업』 공고’

마지막으로 외부사업자의 비가역적 초기투자비(I)는 업체별 공사계약서 및 지방서에 제시된 값을 바탕으로 설정하였다. 초기투자비에는 연료 전환 사업 추진시 LNG 공급을 위한 정압기, 배관 및 버너를 설치비용이 기본적으로 발생하며, ‘보일러 설치검사 신고’ 및 ‘대기배출시설설치 신고’ 등의 직간접적인 행정비용도 발생한다.

〈표 3〉 연료 전환 외부사업의 외부사업자별 파라미터

구분	파라미터	업체명			단위	
		기업A	기업B	기업C		
에너지원	사업 전	부생연료1호	BC유	정제유	-	
	사업 후	LNG	LNG	LNG	-	
사용량	사업 전	\hat{q}_a	1,058,045	2,050,975	2,282,011	L/년
	사업 후	q_b	921,090	2,040,564	2,328,346	m ³ /년
생산열량	사업 전	$TNCV_a$	36,290,946	80,398,235	91,736,838	TJ/년
	사업 후	$TNCV_b$				TJ/년
연료비용	사업 전	c_a	9.62	13.70	15.11	억원/년
	사업 후	c_b	6.87	15.21	17.36	억원/년
	전환편익	$v_{a \rightarrow b}$	2.75	-1.51	-2.25	억원/년
간접비	k		0.10	0.10	0.10	억원/년
정부지원금 비율	δ		0.50	0.50	0.50	-
초기투자비	I		1.51	0.80	1.05	억원

주: 1) $TNCV_i = NCV_i \times q_i$

2) $c_i = p_i \times q_i$

다음으로 배출권 가격 불확실성 하에서의 최적투자분기점 도출을 위한 배출권 가격 관련 파라미터를 도출하였다. KOC 및 KAU 가격은 [그림 1]과 같이 지속적으로 상승하고 있다.

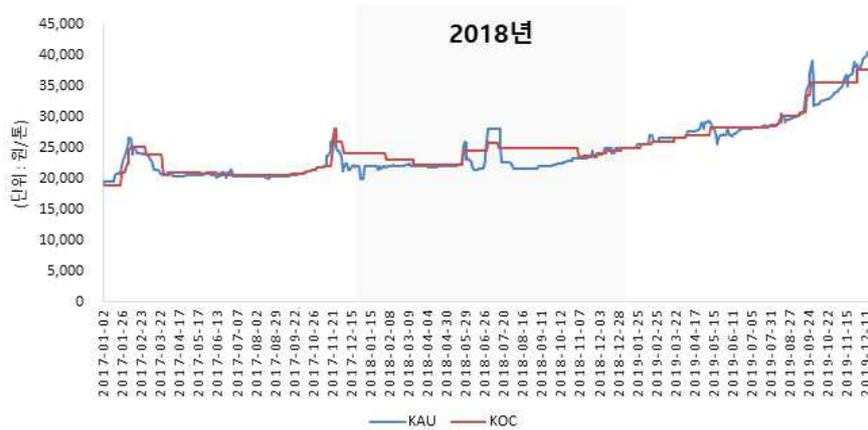
본 논문에서는 KOC 가격이 gBm 확률과정을 따름을 가정하였는데, 이에 앞서 KOC 가격이 gBm 확률과정을 따르는지에 대해서 단위근 검증(unit root test)을

에서는 정부지원금을 ‘업체별 전체 사업비 중 50% 이내 지원’으로 규정하고 있다.

배출권 가격 불확실성을 고려한 중소기업의 연료 전환 사업 실물옵션 연구

통해 확인하였다.¹³⁾ 단위근을 가질 경우 KOC 가격은 gBm 확률과정을 따른다고 할 수 있다. 그 결과 <표 4>와 같이 2017~2019년에 걸쳐서 KOC 가격은 단위근이 존재하는 것으로 나타났으며, 이는 KOC 가격이 gBm 확률과정을 따른다고 해석할 수 있다.

[그림 1] 배출권 가격 추이 ('17년 01월 ~ '19년 12월)



출처: 한국거래소 홈페이지 자료를 바탕으로 저자 재작성

<표 4> 단위근 검정 결과

구분	2017년		2018년		2019년	
	t-값	p-값	t-값	p-값	t-값	p-값
대상	KOC 현물					
기간	'17.01~'17.12		'18.01~'18.12		'19.01~'19.12	
ADF 검정 통계	-2.4117	0.1396	-1.3467	0.6080	1.0446	0.9970
임계값	1%	-3.4574	-3.4572		-3.4570	
	5%	-2.8733	-2.8732		-2.8731	
	10%	-2.5731	-2.5731		-2.5730	

13) 단위근 검정은 E-views7으로 하였으며, ADF(Augmented Dickey Fuller) 검정으로 상수항을 고려하여 검정하였다.

gBm 확률과정을 따르는 KOC 가격에 대해서 Tsay(2001)의 방법을 활용하여 년도별 파라미터를 도출하였다. 그 결과 <표 5>와 같으며, KOC 가격의 2019년 증가율(α)은 0.4843으로 기존 2년에 비해 급격히 증가함을 알 수 있다. 본 논문에서는 2018년 KOC의 $\alpha = 0.0287$ 및 $\sigma = 0.1272$ 를 적용하여 분석하였는데, 이는 일반적인 실물옵션 문헌에서는 $\alpha < \rho$ 를 가정하여 분석하는 데 2018년만이 이 조건을 만족시킨다(Dixit and Pindyck, 1994). 마지막으로 할인율도 선행연구와 마찬가지로 $\rho = 0.05$ 로 가정하였다(박호정, 2015; 박호정·김윤경, 2017).

<표 5> 배출권 가격 파라미터

파라미터	2017년	2018년	2019년
대상	KOC 현물		
기간	'17.01~'17.12	'18.01~'18.12	'19.01~'19.12
증가율 (α)	0.2706	0.0287	0.4843
변동성 (σ)	0.2479	0.1272	0.1426
할인율 (ρ)	0.05		

주) KOC는 2016년 5월 23일 첫 상장되었기에 연간 자료 분석을 위해 2017년부터 자료를 표시하였다.

배출권 가격 증가율($\alpha = 0.0287$) 및 변동성($\sigma = 0.1272$)에 따른 배출권 가격의 불확실성 하에서의 최적투자분기점(p^*)은 <표 6>과 같다. 우선 '기업A'의 불확실성 하에서의 최적투자분기점(p^*) 및 불확실성을 고려하지 않을 때의 최적투자분기점(p_{npv}^*) 모두 음(-)의 값은 갖는데, 결과가 이렇게 나온 까닭은 사업 후 연료 전환에 따라 연료비가 감소(전환편익 $v_{a \rightarrow b} > 0$)되기 때문이다. 배출권 가격은 이론적으로 $p \geq 0$ 의 범위를 갖기에 $p^* < 0$ 는 배출권 가격의 불확실성 여부와 상관없이 '기업A'는 연료 전환 사업이 경제성이 있기에 '즉각적으로 투자를 해야 한다'고 해석할 수 있다.

반면 '기업B' 및 '기업C'의 p^* 및 p_{npv}^* 는 현재 배출권 현물가격¹⁴⁾ 보다 높은

14) 2019년 마지막 거래일(12월 30일) KOC 현물의 증가는 39,500원/톤이고, KAU19 현물

값을 갖는다. 이는 배출권 가격의 불확실성 여부와 상관없이 두 중소기업의 연료 전환 사업은 경제성이 없다는 것을 의미하며, 연료비가 증가(전환편익 $v_{a \rightarrow b} < 0$)됨에도 불구하고 연료 전환을 시행한 이유는 ‘사업장 대기오염물질 총량관리제도’와 같은 규제 준수를 목적으로 하였기 때문이다.

〈표 6〉 연료 전환 외부사업의 최적투자분기점

구분	파라미터	업체명			단위	
		기업A	기업B	기업C		
감축량	사업 전 배출량	BE	2,620	6,070	6,724	톤CO ₂ /년
	사업 후 배출량	PE	2,036	4,510	5,146	톤CO ₂ /년
	연간감축량	q	584	1,560	1,578	톤CO ₂ /년
최적투자분기점 관련	p_{npv}^*	-449,771	102,382	148,655	원/톤CO ₂	
	p^*	-1,315,389	299,422	434,753	원/톤CO ₂	
	β	1.5196			-	
	옵션승수	2.9246			-	

주) 증가율(α)=0.0287, 변동성(σ)=0.1272, 할인율(ρ)=0.050

위 표와 같이 중소기업의 ‘연료 전환 사업’은 연료 전환을 통해 온실가스를 감축($q > 0$)하는 것은 사실이다. 하지만 중소기업이 사업 전 에너지원의 종류 및 에너지원의 단가에 따라 p^* 와 p_{npv}^* 는 상이한 값을 갖는다. 이러한 중소기업의 연료 전환 특성을 연료비(혹은 전환편익) 및 배출권 수익에 따라 분류하면 [그림 2]와 같이 3가지 유형(case)으로 분류할 수 있다.

유형 I은 사업 후 연료 전환에 따라 연료비가 감소(전환편익 $v_{a \rightarrow b} > 0$)되는 경우이다. 일반적으로 사업 후 연료비가 감소되는 경우 ‘경제적 추가성’¹⁵⁾이 존재하기에 외부사업의 등록 가능여부와 상관없이 기업의 비용절감 측면

의 증가는 38,100원/톤이다.

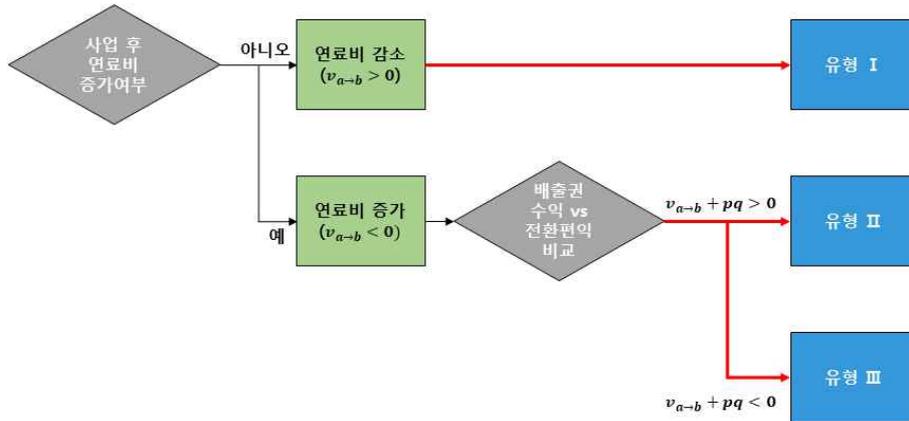
15) 「외부사업 타당성 평가 및 감축량 인증에 관한 지침」 [별표 5] ‘외부사업 추가성 평가 절차 및 방법’에 따르면, 경제적 추가성이란 ‘경제성이 부족하여 외부사업으로 추진하기 어려우나, 외부사업 인증실적 활용을 통하여 경제성 확보가 가능’한 경우를 의미한다.

에서 연료 전환 사업 추진의 동인이 존재한다. 그렇기에 온실가스 감축량이 6만 톤CO₂eq를 초과한 사업에 대해서는 경제적 추가성에 대한 검토를 통해 $v_{a \rightarrow b} > 0$ 의 경우 외부사업을 등록할 수 없다(환경부, 2015). 하지만 중소기업의 연료 전환 외부사업은 3천 톤CO₂eq 이하의 소규모 사업이기에 경제적 추가성 여부와 상관없이 외부사업으로 등록할 수 있다. 이렇게 유형 I에 해당되는 중소기업은 연료 전환을 통한 전환편익($v_{a \rightarrow b}$) 및 외부사업 등록을 통한 배출권 판매 수익 모두를 향유하게 된다.

유형 II 및 유형 III는 연료 전환에 따라 연료비가 증가(전환편익 $v_{a \rightarrow b} < 0$) 되는 경우이다. 이 중 유형 II는 전환편익 및 배출권 판매수익의 합이 0보다 큰 경우($v_{a \rightarrow b} + pq > 0$)로 연료 전환 사업을 외부사업으로 등록하여 배출권을 시장에 판매할 경우에 수익을 확보할 수 있는 경우이다. 그렇기에 외부사업 등록을 위한 간접비(k)를 정부에서 지원하거나, 중소기업이 간접비를 직접 지출하여도 수익이 확보($v_{a \rightarrow b} + pq - k > 0$) 되는 경우에 중소기업은 연료 전환 사업을 외부사업으로 등록할 유인이 있을 것이다.

마지막으로 유형 III는 전환편익 및 배출권 판매수익의 합이 0보다 작은 경우($v_{a \rightarrow b} + pq < 0$)로 연료 전환 사업을 외부사업으로 등록하더라도 편익(b)이 0보다 작다($b < 0$). 이러한 경우 연료 전환을 통해 온실가스를 감축할 수 있는 것은 분명하나 중소기업의 입장에서는 연료 전환 사업 추진 및 외부사업 등록을 할 유인이 존재하지 않는다. 그렇기에 할당대상업체 이외의 외부사업을 통한 국가 전체의 온실가스 감축 및 중소기업의 p^* 를 낮추기 위해서 간접비(k) 지원을 통해 외부사업 등록을 유도함과 동시에 사업 시행 시 정부에서 초기투자비(I) 지원 및 연료비 지원 등의 정책을 통해 연료 전환을 유도해야 할 것이다.

[그림 2] 연료 전환 편익 및 배출권 수익에 따른 중소기업 유형 분류



이를 <표 5> 및 <표 6>를 연계하여 살펴보면 <표 7>과 같이 나타낼 수 있다. 아래 표에서 ‘기업A’는 전환편익이 발생($v_{a \rightarrow b} > 0$)하면서 배출권 수익도 발생($pq > 0$)하는 기업으로 유형 I에 해당한다. 그렇기에 ‘기업A’는 연료 전환 및 외부사업 등록 유인이 모두 존재한다.

‘기업B’ 및 ‘기업C’는 전환편익 및 배출권 판매수익의 합이 0보다 작은 경우 ($v_{a \rightarrow b} + pq < 0$)로 유형III에 해당하며, ‘기업B’ 및 ‘기업C’와 같은 경우는 연료 전환 사업 추진 및 외부사업 등록 유인이 존재하지 않다. 그렇기에 연료 전환을 통한 온실가스 감축 유도를 위해서는 유형별로 적합한 간접비(k) 지원, 초기투자비(I) 및 연료비 세금 감면 등의 종합적인 정책적 지원이 뒷받침되어야 할 것이다.

<표 7> 연료 전환 외부사업의 총편익

구분	파라미터	업체명			단위
		기업A	기업B	기업C	
전환편익	$v_{a \rightarrow b}$	2.8	-1.5	-2.2	억원/년
배출권수익	pq	0.2	0.6	0.6	억원/년
총편익 (합계)	$v_{a \rightarrow b} + pq$	3.0	-0.9	-1.6	억원/년

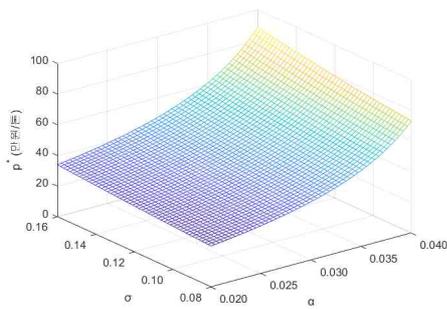
주: 배출권 단가 $p=4.0$ 만원/톤 기준

다음으로 <표 3>에서 정의한 파라미터를 바탕으로 민감도 분석을 시행하였다. 본 논문에서는 제시한 유형 I(기업 A)의 경우에는 배출권 가격의 불확실성과 상관없이 경제성이 존재하므로, 유형Ⅲ의 ‘기업 C’에 대해서만 민감도 분석을 시행하였다.

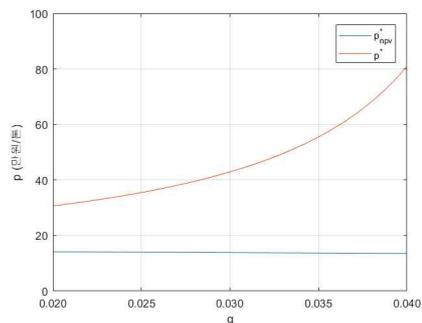
우선 배출권 가격 증가율(α) 및 변동성(σ)에 대한 민감도 분석을 시행하였으며, 파라미터 값은 $\alpha \in [0.02, 0.04]$ 및 $\sigma \in [0.08, 0.16]$ 범위를 설정하였다. [그림 3]을 통해 확인할 수 있듯이 α 와 σ 가 증가함에 따라 배출권 가격 불확실성 하에서의 연료 전환 사업 투자 최적투자분기점(p^*)이 증가하고 있음을 확인할 수 있다.

p^* 는 α 와 σ 중에 α 에 상대적으로 크게 반응하는 것으로 나타났으며, α 의 변화에 따라 p^* 는 비선형적으로 반응함을 할 수 있다. <표 4>와 같이 2019년에는 이전(2017~2018) 대비 α 는 커지고, σ 는 낮아짐을 알 수 있다. 그러나 α 의 증가폭(61%)이 σ 의 감소폭(-46%) 보다 크기에 최근의 배출권 가격 불확실성을 반영하였을 경우 과거보다는 p^* 가 더욱 증가하여 중소기업의 연료 전환 투자를 더욱 지연시키게 만든다([그림 4]).

[그림 3] p 의 ‘증가율(α)’ 및 ‘변동성(σ)’ 민감도 분석



[그림 4] 증가율(α) 변화에 따른 p^* 및 p_{npv}^*

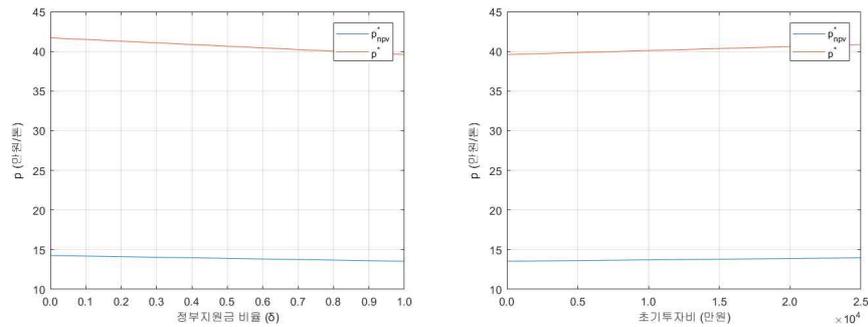


주: $\alpha \in [0.02, 0.04]$, $\sigma \in [0.08, 0.16]$, $\rho = 0.050$, $I = 21,000$, $\delta = 0.5$, $\tau = 10$

두 번째로 정부지원금 비율(δ)에 대한 p^* 의 민감도 분석을 시행하였다. 현행 ‘배출권거래제 온실가스 감축 지원사업’에서는 중소기업의 연료 전환을 촉진시키기 위해 초기투자비(I)의 50% 이내에서 정부지원금을 지급하고 있다.

[그림 5]와 같이 $\delta \in [0,1]$ 의 범위에서 δ 값이 높아질수록 p^* 및 p_{npv}^* 는 낮아지고, p^* 는 p_{npv}^* 보다 높은 것으로 나타났다. 본 논문에서는 $\delta = 0.5$ 로 적용하였는데, 유형Ⅲ($v_{a \rightarrow b} + pq < 0$) 중소기업의 연료 전환 사업은 배출권 가격의 불확실성하에서 경제성이 없는 것으로 나타났다. 그리고 $\delta = 1.0$ 까지 확대된다고 하더라도, 현재 배출권 가격보다 p^* 및 p_{npv}^* 가 높아 경제성이 없는 것으로 나타났다. 이는 [그림 6]과 연계해서 볼 수 있는데, 정부지원금이 최대인 $\delta = 1.0$ 인 경우 중소기업의 초기투자비 $I = 0$ 임에도 불구하고 p^* 및 p_{npv}^* 가 높아 경제성이 없는 것으로 나타났다.

[그림 5] 정부지원금 비율(δ) 변화에 따른 p^* 및 p_{npv}^* 변화에 따른 p^* 및 p_{npv}^*



주: $\alpha = 0.0287$, $\sigma = 0.1272$, $\rho = 0.050$, $I \in [0 \times 10^4, 2.5 \times 10^4]$, $\delta \in [0, 1]$, $\tau = 10$

세 번째로 정부 정책의 방향을 제시하기 위해서 ‘정부지원금 비율(δ)’ 및 연료 전환 사업 전·후 열량연료단가(CP_i) 차이(ΔCP)에 대한 p^* 의 민감도 분석을 시행하였다. 여기에서 ΔCP 란 사업 후 열량연료단가(CP_b)에서 사업 전 열량연료단가(CP_a)를 차감($CP_b - CP_a$)한 값을 의미한다. 즉, $\Delta CP > 0$

는 사업 후 열량연료단가가 사업 전보다 비싸진 경우이며, $\Delta CP < 0$ 는 사업 후 열량연료단가가 사업 전보다 저렴해진 경우를 의미한다.

$$\Delta CP = CP_b - CP_a = \frac{P_b}{NCV_b} - \frac{P_a}{NCV_a} \quad (19)$$

[그림 7]과 같이 p^* 는 ‘열량연료단가 차이(ΔCP)’의 변화에는 민감하게 반응하고 있으나, ‘정부지원금 비율(δ)’에는 상대적으로 덜 민감하게 반응하는 것을 알 수 있다. 또한, $\delta \in [0, 1]$ 의 범위에서 δ 값이 낮아질수록 p^* 는 높아지는 것으로 나타났으며, $\Delta CP \in [-3.0, 3.0]$ 의 범위에서 ΔCP 값이 커질수록 p^* 는 높아지는 것으로 나타났다.

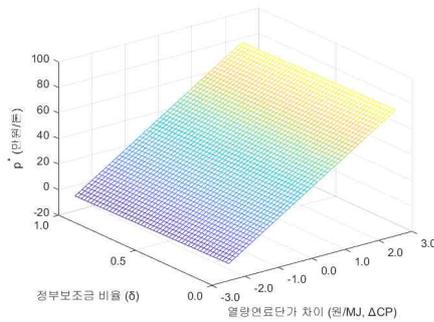
그리고 [그림 8]과 같이 $\Delta CP = 0$ 인 경우에도 $p^* \neq 0$ 및 $p_{npv}^* \neq 0$ 이 아닌 것으로 나타났는데, 이는 연료 전환 사업 추진시에 발생하는 중소기업의 비가역적 초기투자비($(1-\delta)I$) 및 간접비(k)가 발생하기 때문이다. 배출권 가격 불확실성하에서 현재 배출권 현물가격 수준까지 연료 전환 사업이 경제성을 확보하려면 $\Delta CP = -1.85$ 까지 낮아져야 함을 알 수 있다.

정부가 연료 전환 사업 촉진을 위해 ‘열량연료단가 차이’에 대한 비용보전 정책을 시행한다면, ΔCP 가 바로 정부의 ‘연료비 지원금’으로 해석할 수 있을 것이다. 이는 현재 진행하고 있는 지자체 및 공공기관의 연료 전환 지원 사업이 초기투자비를 지원(δI)해주는 사업임을 감안했을 때, 불확실성하에서 연료 전환 사업의 최적투자분기점을 낮추기 위해서는 초기투자비에 정부지원금(δI)보다는 영국에서 도입한 열차액지원제도(Renewable Heat Incentive, RHI)와 같은 연료비 지원 정책이 연료 전환을 촉진시킬 수 있을 것이다(오현영, 2011; 윤성이·김태곤, 2014).

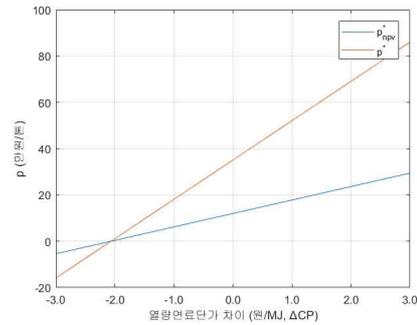
이를 위한 재원으로 배출권거래제 유상할당에 따른 경매수입을 활용할 수 있을 것이다. 할당대상업체에 유상할당되는 배출권은 경매의 방식으로 2019년 1월부터 할당(이재형, 2017)되고 있으며, 유상할당에 따른 경매수입은 제2차 계획기간('18~'19년)은 5,589억원 및 제3차 계획기간('21~'25년)은 3조 1,050억원

으로 추정되고 있다(기획재정부·환경부, 2019). 현재 ‘에너지 및 자원사업 특별회계’로 관리되고 있는 배출권 경매수입을 「온실가스 배출권의 할당 및 거래에 관한 법률」에서는 ‘배출권 거래를 활성화하기 위하여 온실가스 감축설비를 설치’하는 사업에 대해 ‘금융상·세제상의 지원 또는 보조금의 지급, 그 밖에 필요한 지원’을 할 수 있음을 명문화하고 있으며, 구체적으로는 ‘유상할당업체·중소·중견기업의 친환경투자사업 지원, 외부사업 추진 지원’ 등에 쓰일 수 있음을 제시하고 있다(기획재정부, 2017). 아직 경매수입의 활용방안에 대한 세부 규정(고시)은 마련되어 있지 않으나, 경매수입을 외부사업 활성화를 위해 중소기업의 연료 전환 지원사업에 활용할 수 있을 것이다.

[그림 7] p 의 δ 및 ΔCP 민감도 분석



[그림 8] ΔCP 변화에 따른 p^* 및 p_{npv}^*



주: $\alpha = 0.0287$, $\sigma = 0.1272$, $\rho = 0.050$, $I = 21,000$, $\delta \in [0, 1]$, $\Delta CP \in [-3.0, 3.0]$, $\tau = 10$

IV. 결론 및 제언

본 논문에서는 온실가스 저감 효과가 기대되는 연료 전환 사업을 대상으로 실물옵션 방법론을 접목하여 배출권 가격 불확실성에 따른 투자 의사결정 모형을 개발하였다. 그리고 주요 파라미터를 활용하여 불확실성 하에서의 최적 투자분기점(p^*) 도출 및 유형(case)에 따른 민감도 분석을 시행하였다.

중소기업은 연료 전환 사업 투자시 연료 전환에 따라 온실가스가 감축($q > 0$)되어 '배출권 판매 수익(pq)'을 확보할 수 있는 반면, 정부지원금을 반영한 초기투자비($(1-\delta)I$) 및 외부사업 등록을 위한 간접비(k)가 발생한다. 또한, 중소기업이 사업 전 사용했던 에너지원의 종류 따라 '전환편익($v_{a \rightarrow b}$)'은 양(+) 또는 음(-)의 값을 가지는 것으로 나타났다.

이러한 점을 고려하여 본 논문에서는 전환편익 및 배출권 판매 수익에 따라 연료 전환 사업을 추진하는 중소기업의 유형을 3가지로 분류하였다. 유형 I($v_{a \rightarrow b} > 0$)은 사업 후 연료비가 감소되고 배출권 판매 수익도 확보할 수 있기에 배출권 가격의 불확실성 여부와 상관없이 연료 전환의 경제성을 확보할 수 있는 경우이다. 반면 유형 II($v_{a \rightarrow b} + pq > 0$) 및 유형 III($v_{a \rightarrow b} + pq < 0$)은 사업 후 연료비가 증가되는 경우로 배출권 가격에 따라 $v_{a \rightarrow b} + pq$ 가 양(+) 또는 음(-)을 갖는 경우이다.

본 논문에서 실증분석 한 유형 I의 경우에는 '불확실성 하에서의 최적투자분기점(p^*)' 및 '불확실성을 고려하지 않을 때의 최적투자분기점(p_{npv}^*)' 모두 음(-)의 값을 갖는데, 이런 경우의 연료 전환 사업 추진 여부는 배출권 가격의 불확실성 여부와 상관없는 '사소한 문제(trivial problem)'일 뿐이다. 그리고 유형 III의 경우에는 p^* 및 p_{npv}^* 모두 현재의 KOC 현물 가격(p_{spot}^*)보다 높게 나왔다. 유형 III의 중소기업은 배출권 가격의 불확실성 여부와 상관없이 연료 전환 사업의 경제성이 없기에 연료 전환 사업에 참여할 유인이 존재하지 않는다.

정부는 온실가스 감축목표 달성을 위해 탄소함량이 높은 화석연료를 사용

하는 기업에 대한 지원을 통해 연료 전환을 촉진시키고 있다. 전술한 바와 같이 연료 전환은 온실가스 감축효과가 존재하기에 할당대상업체에 포함되는 기업은 배출권거래제 대응을 위해 사업 전 연료의 종류와 상관없이 연료 전환을 할 여지가 존재한다. 하지만, 비(非) 할당대상업체이면서 탄소함량이 높은 연료를 사용하는 중소기업은 온실가스 감축을 목적으로 하는 연료 전환 사업에 대한 투자동인은 존재하지 않고, 유형Ⅱ 및 유형Ⅲ의 중소기업은 배출권 수익 규모 자체가 추정되지 않아 더더욱 연료 전환 사업에 투자할 동인이 존재하지 않는다.

민감도 분석에서 살펴본 바와 같이 연료 전환을 촉진하기 위한 정책수단인 정부지원금(δI)은 중소기업의 p^* 및 p_{npv}^* 를 낮추는 데 큰 효과가 없는 것으로 나타났다. 반면, 열량연료단가 차이(ΔCP)의 변화에는 p^* 및 p_{npv}^* 가 민감하게 반응하였다. 이는 현재 운영되고 있는 연료 전환 정부지원금 정책보다는, 사업 전·후 연료비 단가 차이를 지원하는 ‘열차액지원제도(RHI)’와 같은 정책이 더욱 효과적인 정책이 될 수 있을 것이다. 그리고 이를 위한 재원으로 배출권 유상할당에 따른 경매수입을 활용하여 지원할 수 있을 것이다.

현실에서 ‘연료 전환 외부사업’의 대부분은 배출권 수익에 대한 사전고려보다는 대기오염물질 배출 규제 및 연료비 절감 차원에서 이미 추진한 사업을 사후적으로 등록하는 경우가 많다(한국환경공단, 2019). 그리고 이를 지원하기 위한 정책도 배출권 가격의 불확실성 혹은 중소기업의 경제성을 고려하여 설정되었기보다는 초기투자비의 일부를 일괄적으로 지원하는 정책이 대부분이다. 그렇기에 연료 전환을 통해 온실가스 저감의 효과를 극대화하기 위해서는 본 논문의 결과가 시사하는 바와 같이 중소기업의 특성을 고려한 정책 마련이 필수적일 것이다. 이러한 정책 수단 설계 시 본 논문에서 분석한 배출권 가격 불확실성 유무, 사업 전 에너지원 및 배출권 확보에 따른 경제성 분석 결과 등을 활용할 수 있을 것이라 판단된다.

접수일(2020년 1월 27일), 수정일(2020년 3월 2일), 게재확정일(2020년 3월 27일)

◎ 참 고 문 헌 ◎

- 관계부처합동. 2017. 「미세먼지 관리 종합대책」.
- 기획재정부. 2017. 「제2차 배출권거래제 기본계획」.
- 기획재정부·환경부. 2019. 「제3차 배출권거래제 기본계획」.
- 박호정. 2004. “실물옵션을 이용한 자원이용의 최적화 연구 : 최소비용원칙을 중심으로.”
에너지경제연구 3(1): 47-69.
- 박호정. 2012. “실물옵션 모형을 이용한 RPS 와 배출권거래제 연계의 신재생에너지 투자
효과.” 자원·환경경제연구 21(2): 301-319.
- 박호정. 2015. “분리불가 이윤함수를 가진 발전사의 온실가스 감축투자 옵션 연구:
몬테카를로 최소자승법.” 자원·환경경제연구 24(4): 607-627.
- 박호정. 2018. 「실물옵션과 투자분석」.
- 박호정. 2019. “환경비용을 고려한 신규 LNG 발전소의 투자옵션가치 연구.” 천연가스
산업연구 4(1): 1-23.
- 박호정·김윤경. 2017. “정부 승인 차액계약 제도의 발전소 투자 옵션에 대한 영향 연구.”
여성경제연구 14(2): 97-113.
- 배정환. 2006. 「바이오연료의 보급전망과 사회적 비용·편익분석」. 에너지경제연구원.
- 손준익·홍용희·김영란·박재성·오길중·김기현. 2014. “MBT 시설 고품연료의 Fluff type
전환에 따른 에너지 절감효과 비교분석.” 한국폐기물자원순환학회지 31(3): 307-314.
- 에너지경제연구원. 2019. 「에너지통계월보」. 에너지경제연구원.
- 엄병환·강찬호. 2019. “초본계 바이오매스 활용 석탄발전소 연료전환 모형 경제성분석
연구.” 한국농공학회논문집 61(3): 89-99.
- 오현영. 2011. “영국 열차액지원제도 도입과 시사점.” 에너지포커스 8(4): 144-155.
- 윤성이·김태곤. 2014. “농업부문에서 신재생에너지로의 연료전환이 시설원예에 미치는
영향 분석-목재펠릿을 중심으로.” 한국유기농업학회지 22(4): 531-547.
- 이기석. 2011. 「유연탄 화력 발전소에서의 목재펠릿 혼소 타당성 연구」. 석사학위논문,
계명대학교 대학원.

- 이상중·정영호. 2009. “CO₂ 배출비용을 고려한 발전소의 연료교체 경제성에 대한 연구.”
조명·전기설비학회논문지 23(2): 125-130.
- 이연상·윤화영. 2012. “연료전환 온실가스감축사업(KVER)의 감축잠재력 및 비용효과
분석.” 에너지기후변화학회지 7(1): 17-33.
- 이재호·장우석. 2017. “온실가스 감축 및 미세먼지 저감을 위한 전력정책 제안.” VIP
Report 현대경제연구원, 17(20): 1-16.
- 이재형. 2017. “배출권거래 실습을 통한 정책적 시사점 연구.” 응용경제 19(3): 39-65.
- 이진철·강규영. 2013. “목재 펠릿 연료전환 사업의 온실가스 감축 효과 및 경제성 분석.”
목재공학 41(6): 94-605.
- 이충국. 2019. “국내 배출권거래제 상쇄제도가 갖는 의미”, 배출권거래제&탄소시장 정보지
2019(6): 9-10.
- 장희선·박호정. 2011. “CER 가격 불확실성하의 산림의 최적관리 모형.” 에너지기후변화
학회지 4(2): 99-105.
- 정남영·김래현. 2010. “국내 발전부문에서의 목재펠릿 경제성 연구.” 에너지공학 19(4):
251-257.
- 정남영·김래현. 2011. “석탄화력에서 목질계 바이오매스의 혼소시 CDM 사업 연구.”
에너지공학 20(3): 231-235.
- 정영호·이상중·이진규·양성덕. 2008. “CO₂ 배출비용을 감안한 D 발전소의 LNG-중유
연료교체 손익분기점 계산.” 한국조명·전기설비학회 학술대회논문집, 65-67.
- 홍원경·박호정. 2011. “CER 가격 불확실성을 고려한 A/R CDM 사업의 실물옵션 분석:
포스코 A/R CDM 사업 분석.” 자원·환경경제연구 20(3): 459-487.
- 한국환경공단. 2019. 「배출권거래제&탄소시장 정보지」.
- 환경부. 2015. 「연료 전환 사업의 방법론 (03A-002-Ver01)」.
- 환경부. 2020. 「온실가스 배출권거래제의 배출량 보고 및 인증에 관한 지침」.
- 환경부·한국환경공단. 2018. 「수도권 사업장 대기오염물질 총량관리제 업무 편람」.

Dixit, A. K., and R. S. Pindyck, *Investment under Uncertainty*, Princeton University Press, 1994.

Park, H. J. and Jang, H. S. 2010. “Valuing Clean Development with Emission Credit Price Uncertainty: A Real Option Analysis for A/R CDM Project in Indonesia.” *Proceedings of Real Options 14th Annual International Conference*.

Tsay, R. S., *Analysis of Financial Time Series*, Wiley, 2001.

ABSTRACT

Real Option Study on SME's Fuel Switching
Offset Project under Emission Allowance Price
Uncertainty

Jaehyung Lee*

Since the emission trading scheme (ETS) was launched in 2015, the stakeholders in the carbon market have actively found the offset project to secure carbon credit. In this paper, I developed a investment decision model based on emission allowance price uncertainty for fuel switching offset project. As a result, it is found that the fuel switching project contributed to SMEs' reduction of greenhouse gas, but the optimal investment threshold(p^*) is different depending on the type and price of fuel before the project. If the fuel cost decreases after the project (switching benefits >0), SMEs will immediately invest in the fuel switching project regardless of the emission price uncertainty. On the other hand, if the fuel cost increases after the project (conversion benefits <0), p^* is higher than the spot price, indicating no economic feasibility. Therefore, in order to revitalize the fuel switching project, not only the initial investment cost but also the policies such as fuel cost support should be adopted. As a fund for this, the auction revenue of the emission allowance could be used.

Key Words :Offset, Fuel Switching, Auction Revenue, Uncertainty, Real Option

* Manager, SV Innovation Center, SK Telecom(main author). for385@hanmail.net