

불확실성을 고려한 R&D 사전경제성분석에 관한 연구¹⁾

이동수*

*전략컨설팅 헤안(주)

e-mail : trylds@sc-hyeon.co.kr

A Study on R&D Ex-Ante Economic Analysis Considering Uncertainty

Dong-su Lee

Strategy Consulting HyeAn

요 약

본 연구는 농촌진흥청이 신규 R&D 과제를 대상으로 수행하고 있는 사전경제성분석에서 실물옵션의 적용 가능성을 검토한 실험적 연구이다. 농촌진흥청은 R&D 과제 중 상대적으로 규모가 큰 과제에 대해 국가 R&D 예비타당성조사에서 적용하고 있는 비용편익분석을 과제 단위의 경제적 타당성 조사에 적합한 방법론으로 개선하여 활용하고 있다. 해당 방법론은 과제 단위의 사전경제성분석 방법론으로는 정교한 방법론이다. 그러나 장기간 걸쳐 이뤄지는 연구개발과 기술 사업화에 대해 현시점에서 확보한 정보가 확정적임을 가정해 분석한 기법으로, 불확실성을 반영할 수 없는 단점이 있다. 실물옵션가격결정법(Real Options Pricing Method; ROPM)은 불확실성 하에 의사결정자가 보유한 유연성의 가치를 사업의 평가에 고려할 수 있는 기법이다. 본 연구에서는 R&D에 대한 연구비 지출을 투자옵션의 매입으로 인식하고, 투자 옵션의 가치를 평가하여 실제 매입가격이 되는 연구비와 비교하는 것을 검토하였다. 시나리오 분석 결과 개발된 기술이 진입하고자 하는 시장의 변동성이 크고, 연구 기간이 긴 과제일수록 ROPM을 활용한 사전경제성분석 방법론이 기존 방법론에 비해 경제적 타당성 측면에서 유리한 것으로 나타났다. 본 연구를 보다 고도화하여 실무적으로도 적용 가능한 체계가 구축된다면, 보다 엄밀한 사전경제성분석이 가능할 것으로 기대된다.

1. 서론

본 연구는 농촌진흥청(이하 농진청)이 신규 R&D 과제를 대상으로 수행하고 있는 경제적 타당성 조사(사전경제성분석)에서 실물옵션의 적용 가능성을 검토하는 연구이다.

농진청은 R&D 과제 중 상대적으로 규모가 큰 과제에 대해 국가 연구개발사업 예비타당성조사에서 적용하고 있는 비용편익(B/C)비율 분석을 과제 단위의 경제적 타당성 조사에 적합한 방법론으로 개선하여 활용하고 있다.²⁾ 해당 방법론은 분석 시점에서 확보 가능한 최신 정보를 확보해 편익을 추정하고 있으며, 신규 R&D 과제에 대한 기획 프로세스 일정이 라는 시간적 제약하에 가장 정교한 방법론이라 할 수 있다.

그러나 해당 방법론은 장기간에 걸쳐 이뤄지는 연구개발과 기술사업화에 대해 현시점에서의 정보가 확정적임을 가정해 분석하는 기법으로, 실제로는 존재하는 불확실성 하에 의사결정권자가 가진 유연성의 가치를 반영할 수 없는 한계가 있다.

농업 분야는 탄력성이 작은 생산물의 특성으로 인해 가격 변동성이 공산품에 비해 크고, 농업 현장에서 연구가 이뤄지는 경우가 많아 타 분야에 비해 연구 기간 역시 길다. 즉, 타 산업 분야에 비해 불확실성에 크다.

본 연구에서는 불확실성 하에 의사결정권자가 보유한 유연성의 가치를 사업의 평가에 고려할 수 있는 실물옵션을 R&D 과제의 경제적 타당성 조사에 어떻게 도입할 수 있으며, 도입에 따른 효과는 무엇이 있는지 살펴보고자 한다.

2. 방법론 및 시나리오

2.1 사전경제성분석 방법론³⁾ 및 한계

농진청은 사업화를 목적으로 하는 연구과제 중 상대적으로 연구비 규모가 큰 과제에 대해 심층분석을 수행하고 있다. 심층분석은 국가 R&D 예비타당성조사 시 활용되고 있는 비용편익분석 방법론을 준용한 방법론이다.

일반적으로 비용편익분석은 개발된 기술의 사업화로 인한 총편익(Benefit: B)과 총비용(Cost: C)을 현재가치로 환산하

1) 본 연구는 농촌진흥청의 연구사업(과제번호 : PJ015036022021)에 의해 이루어진 것임
2) 사업 단위에서 경제적 타당성을 조사하는 방법론을 과제 단위에 적용하는 데 있어서의 이슈는 윤진우 외(2021)를 참조.

3) 윤진우 외(2021)의 연구를 재정리함

여 총편익의 현재가치를 총비용의 현재가치로 나눈 것이다. B/C비율이 1이상이면 사업의 경제적 타당성이 있는 것으로 간주한다. 이를 수식으로 나타내면 다음과 같다.

$$\frac{B}{C} = \left(\sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+r)^t} \right) / \left(\sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t} \right)$$

여기서, B_t : t 시점의 편익, C_t : t 시점의 비용,
 r : 할인율, n : 분석기간

연구개발과제에 적용하고 있는 비용편익분석은 연구개발과 관련한 비용과 연구개발을 통해 기대되는 편익 중 연구개발의 몫에 한정하여 분석을 수행한다. 현실 세계에서 연구개발을 통해 편익이 발생하기 위해서는 개발된 기술이 활용되어야 한다. 따라서 엄밀한 경제적 타당성 조사를 위해서는 연구비뿐만 아니라 개발된 기술의 사업화를 위한 비용도 고려되어야 한다. 그러나 연구개발과제에 대한 경제적 타당성 조사에서는 비용에 상응하는 편익 부문에 R&D기여율을 적용하여 복잡한 기술사업화와 관련한 부문을 단순화한 것이다.

연구개발과제의 편익 추정에는 시장수요 접근법이 활용되고 있으며, 비용편익비율은 총비용, 미래시장규모, 사업기여율, 부가가치율, R&D기여율, R&D사업화성공률 등 6가지 변수를 추정하여 계산한다.⁴⁾

동 방법론을 살펴보면, R&D에 투입되는 비용은 확정적인데 반해, 편익은 불확실성이 내포되어 있다는 것을 알 수 있다. 기술개발과 사업화에 대한 불확실성은 R&D사업화성공률을 적용하였으며, R&D결과물의 우수성과 관련한 불확실성은 사업기여율이라는 변수를 적용해 평균화하였다. 그러나 미래시장에 대한 불확실성은 간과하고 있다.

사업 아이템이 비교적 안정적이고, 단기간을 대상으로 하는 경제성분석에서는 의사결정의 유연성을 고려한 실물옵션법과 기존의 방법론이 결과 측면에서 큰 차이가 없을 수 있으나, 사업화와 관련한 불확실성이 크고, 장기간을 다루는 사업의 경제성분석에서는 두 방법론의 결과 차이가 클 수 있다. 즉, 의사결정권자가 보유한 유연성의 가치가 고려되었을 때, 경제적 타당성의 부족으로 폐기 또는 축소될 수 있는 연구과제가 경제적 타당성을 충족할 수 있는 것이다.

2.2 실물옵션의 개념 및 모형

실물옵션은 금융옵션의 개념을 실물자산에 도입한 투자분석기법이다(Dixit and Pindyck, 1994). 실물옵션가격결정법(Real Options Pricing Method: ROPM)은 금융에서 사용하는 옵션가격결정모형을 실물자산의 가치평가에 적용한 것으로

실물옵션은 사업에 대한 신규 투자, 확장·포기 등 사업에 대해 의사결정자가 행사할 수 있는 선택권을 의미한다.

실물옵션가격결정법은 현금흐름할인법(Discounted Cash Flow: DCF)에서 고려하지 못하는 의사결정자가 행사할 수 있는 선택권, 즉 유연성의 가치를 평가에 반영할 수 있는 장점이 있다. 사업과 관련한 불확실성이 클수록, 만기까지의 기간이 길수록 실물옵션의 가치는 증가한다. 실물옵션을 이해하기 위해 금융옵션과 실물옵션의 가치를 결정하는 중요 변수를 비교하면 아래와 같다.

[표 1] 금융옵션과 실물옵션의 투입변수 비교

구분	금융(주식)옵션	실물옵션
S	현재의 주식 가격	기초자산 혹은 사업화 이후 기대되는 현금흐름의 현재가치
X	옵션의 행사 가격	투자비용
T	옵션 만기까지의 기간	의사결정 시점까지의 기간
σ	주가 변동성	기초자산의 변동성(불확실성)
r_f	무위험이자율	무위험이자율

실물옵션의 가격을 평가하기 위한 모형은 다양하다.⁵⁾ 본 연구는 R&D 사전경제성분석 방법론에 실물옵션의 요소를 가미하는 방법에 대한 실험적 연구이므로, 상대적으로 적용이 간편한 블랙-숄즈모형(Black-Scholes Model: B-S Model)에 대해서만 살펴본다.

블랙-숄즈모형은 옵션의 가치를 기초자산의 가격과 시간의 함수로 가정한 모형으로 편미분방정식을 활용하여 옵션가치를 도출하는 대표적인 모형이다. 만기에만 행사 가능한 유럽형 옵션의 가격을 계산하는 방법으로 상세한 유도 과정은 생략한다.

$t=T$ 시점에서 $\text{Max}[S_t - K, 0]$ 의 조건을 만족하는 콜 옵션(C)의 가격은 아래와 같다.

$$C = S \cdot N(d_1) - Ke^{-r(T-t)} \cdot N(d_2)$$

$$d_1 = [\ln(S/K) + (r + \sigma^2/2)(T-t)] / \sigma \sqrt{T-t}$$

$$d_2 = [\ln(S/K) + (r - \sigma^2/2)(T-t)] / \sigma \sqrt{T-t}$$

여기서, C : 콜옵션의 가격, S : 기초자산인 주식의 가격,
 K : 행사가격, N(d) : 누적표준정규분포함수,
 r : 무위험자산수익률, σ : 주가 변동성,
 T : 옵션의 만기, t : 현재 시점

2.3 연구개발의 옵션 상황

연구개발에 대한 투자는 개발될 기술을 활용한 부가가치 창

4) 각 변수에 대한 자세한 정의와 추정 방법론은 윤진우 외(2021)의 연구를 참조

5) 실물옵션의 가격 평가를 위한 다양한 모형에 대한 소개와 블랙-숄즈 모형의 유도 과정은 이동수(2012)를 참조

출의 기회를 제공한다. 연구개발이 성공적으로 완료되고, 해당 시점에서 기술을 활용한 사업화가 매력적이라면, 사업화에 비용을 투자하고 편익을 창출할 수 있다. 반면, 연구개발이 성공하였음에도 불구하고 사업 아이템과 관련한 환경이 나빠졌다면, 추가적인 비용이 소요되는 사업화를 포기하면 된다. 이를 실물옵션의 관점으로 살펴보면, 연구개발에 대한 투자는 기술사업화에 대한 투자옵션을 구매하는 것과 같다.

금융옵션과 비교하면 연구개발에 대한 투자는 행사가격(사업화에 필요한 투자금액)에 사업을 추진하거나, 포기(옵션의 행사여부 결정)할 수 있는 투자옵션(콜옵션)을 구매하는 것과 동일하다.

이를 R&D의 경제적 타당성 조사 상황과 연결하면, R&D 투자에 대한 경제적 타당성은 투자옵션을 구매할 것인지 구매하지 않을 것인지에 대한 의사결정 상황으로 이해될 수 있다. 현재 농진청에서 활용 중인 사전경제성분석은 투입되는 연구비의 현재가치 대비 편익의 현재가치를 비교하지만, 본 연구에서 제안하는 방법론은 투입되는 연구비의 현재가치 대비, 투자옵션의 가격을 비교하면 되는 것이다.

2.4 시나리오

실물옵션을 R&D 사전경제성분석에 실무적으로 활용하기 위해서는 기존의 방법론과 연계해 실물옵션가격결정모형에 대입할 수 있는 다섯 가지 변수를 확보할 수 있는지에 대한 검토가 필요하다.

검토 결과 기존 방법론에서 활용한 변수들로는 실물옵션 적용에 필요한 정보들을 모두 확보할 수 없다. 기초자산의 현재가치는 R&D기여율이 적용되지 않은, 기술사업화를 통해 기대되는 총편익의 현재가치가 활용할 수 있다. 기초자산의 변동성은 추가적인 추정작업이 필요하겠으나, 총편익의 변동성으로 측정할 수 있다. 옵션의 만기는 연구개발기간을 적용할 수 있으며, 무위험이자율은 사회적할인율을 적용할 수 있다. 그러나 행사가격에 해당하는 사업화를 위한 투자비용은 알 수 없다. 2.1절에서 언급한 바와 같이 기술사업화와 관련한 부분을 R&D기여율의 개념으로 간소화하였기 때문이다.

본 연구에서는 실물옵션의 활용을 위해 기존 방법론에서는 배제하고 있는 기술사업화에 소요되는 비용(행사가격)을 가정을 통해 내재화하고자 한다. R&D 사전경제성분석을 통해 R&D 투자에 대한 경제적 타당성이 충족되었다면, R&D를 포함한 전체 사업에 대한 경제적 타당성 역시 충족된 상태를 가정하는 것이다.

기존 방법론은 연구비(R&D Cost: RC)와 총편익에서 R&D 기여율을 적용한 R&D편익(R&D Benefit: RB)만을 비교한다. 그러나 R&D는 독립적으로 편익을 창출할 수 없다. R&D가 경제적 타당성이 충족되기 위해서는 기술사업화 역시 경제적

타당성이 충족되어야 한다.

이해를 돕기 위해 경제적 타당성이 충족된(B/C ratio = 1) 상태를 가정해보자. B/C ratio가 1인 상황에서는 R&D를 포함한 전체 사업의 타당성 역시 충족된 상황이므로, 총편익(Total Benefit: TB)은 R&D와 기술사업화에 투자되는 총비용(Total Cost: TC)과 일치한다. 이를 이용하면, 행사가격(기술사업화에 투자되는 비용)을 총편익에서 연구비를 차감한 값(TB=(TC)-RC)으로 산출할 수 있다.

실물옵션 기법을 응용한 방법론의 활용 가능성을 검토하기 위한 시나리오는 다음과 같다. 농업 분야에 2023년부터 2027년까지 총 5년간 10억원의 연구비 투자하며, 편익은 연구개발이 종료된 후 바로 발생한다. 기존 방법론으로 경제적 타당성을 조사한 결과 B/C비율은 1로 계산되어, R&D로 인한 편익은 10억원으로 추정되었다. 편익 산출에 활용된 R&D 기여율은 국가연구개발사업의 예비타당성조사 지침에서 권고하고 있는 35.4%를 활용하였다. 계산의 편의상 미래현금흐름의 현재가치화에 활용되는 사회적 할인율은 무위험이자율과 같으며 0%로 가정한다. 편익 산출과 관련한 시장의 연간 변동성은 30%로 가정한다.

3. 분석결과

앞서 제시한 시나리오를 바탕으로 실물옵션 적용에 필요한 주요 변수를 정리하면, [표 2]와 같다.

[표 2] 실물옵션 적용을 위한 주요변수

S	X	T	σ	r_f
기초자산의 현재가치	투자비용	의사결정 시점까지의 기간	기초자산의 변동성	무위험 이자율
2,825백만원	1,825백만원	5년	30%	0%

기존 방법론에서 R&D의 경제적 타당성이 충족(B/C비율=1) 되기 위해서는 총편익이 2,825백만원이어야 한다. 총편익에 R&D기여율 35.4%를 적용했을 때, R&D편익이 1,000백만원으로 계산되어야 하기 때문이다. 해당 상황에서는 총편익과 총투자가 같아야 하며, 총편익에서 R&D 투자비용을 차감한 값이 사업화를 위해 투자한 비용이 된다.

시나리오를 통해 결정한 주요변수를 대입하여 계산한 투자 옵션의 가치는 1,229백만원으로 나타났다. 실물옵션의 가치는 내재가치와 의사결정권자가 보유한 유연성의 가치로 분해할 수 있다. 본 시나리오에서는 무위험이자율을 0%로 가정하였으므로 투자옵션의 가치와 R&D편익의 차액인 229백만원이 의사결정자가 보유한 유연성의 가치가 된다. 이를 사전경제성분석 상황에 대입해보면, 연구개발에 투자되는 비용 1,000

백만원보다 투자옵션의 가격이 1,229백만원으로 높아 1,000백만원에 투자옵션을 매입하는 것이 유리함을 알 수 있다.

기본 시나리오를 바탕으로, 실물옵션의 가치를 계산하는 주요 변수의 변화에 따른 민감도를 살펴보았다. [표 3]은 기초자산의 변동성에 대한 민감도 분석 결과이다.

[표 3] 기초자산의 변동성에 대한 민감도 분석 결과

기초자산의 변동성(%)	15	20	25	30	35	40	45
투자옵션의 가치(백만원)	1,034	1,087	1,154	1,229	1,308	1,389	1,470

기본 시나리오에서의 변동성(연간 30%)을 기준으로 변동성이 $\pm 5\%$ 씩 변화했을 때, 투자옵션의 가치의 변화를 살펴보았다. 기초자산의 변동성이 클수록 투자옵션의 가치가 증가하는 것을 볼 수 있다. 이는 R&D 과제가 목표로 하는 시장의 변동성이 큰 경우 실물옵션을 적용한 분석과 기존의 사전경제성분석 결과가 경제적 타당성 여부에서 차이를 보일 수 있음을 의미한다.

[표 4]는 의사결정 시점까지의 기간에 따른 민감도 분석 결과이다.

<표 4> 의사결정 시점까지의 기간에 대한 민감도 분석 결과

의사결정 시점까지의 기간(년)	2	3	4	5	6	7	8
투자옵션의 가치(백만원)	1,075	1,129	1,181	1,229	1,274	1,316	1,356

기본 시나리오인 의사결정 시점까지의 기간 5년을 기준으로 ± 1 년씩 변화했을 때, 투자옵션의 가치의 변화를 살펴보았다. 의사결정 시점까지의 기간이 클수록 투자옵션의 가치는 상승하는 것을 볼 수 있다. 즉, 연구개발기간(만기까지 기간)이 길어질수록 불확실성이 커지는 개념으로 이해할 수 있으며 변동성과 동일하게 해석이 가능하다. 따라서, 연구개발 기간이 긴 R&D 과제의 경우 기존 사전경제성분석에서는 경제적 타당성이 없었지만, 기술사업화와 관련한 의사결정자가 보유한 유연성의 가치를 고려했을 때 경제적 타당성이 있는 것으로 판정될 수 있다.

4. 결론

본 연구는 농진청이 신규 R&D 과제를 대상으로 수행하고 있는 사전경제성분석 방법론을 살펴보고, 개선 방안에 대한 아이디어를 제공해보고자 시도된 연구이다.

구체적으로 불확실성 하에 의사결정자가 보유한 유연성의 가치를 사업의 평가에 고려할 수 있는 실물옵션을 검토하였다. R&D에 대한 투자를 투자옵션의 매입으로 인식하고, 투자

옵션의 공정가격을 산출하여 실제 매입가격이 되는 연구비와 비교하였다.

시나리오 분석 결과 기초자산의 변동성이 클수록, 연구개발 기간이 길수록 투자옵션의 가치가 커져 기존의 사전경제성분석에서는 경제적 타당성이 미흡하여 폐기 또는 연구비가 삭감될 수 있는 R&D과제가 불확실성 하에 의사결정자가 보유한 유연성이 고려되었을 때, 경제적 타당성을 충족할 수 있음을 확인하였다.

본 연구는 농업 R&D 과제에 대한 사전경제성분석에서 실물 옵션 기법을 적용해본 실험적 연구이다. 본 연구를 보다 고도화하여 실무적으로도 적용 가능한 체계 구축이 이뤄진다면, 보다 엄밀한 사전경제성분석이 가능할 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] Dixit, A. K. and Pindyck, R. S. 「Investment under uncertainty」, Princeton University Press, 1994
- [2] 이동수, 「최적 확률과정을 고려한 CCS 경제성 평가 연구」, 경북대학교 박사학위논문, 6월, 2012년
- [3] 윤진우·채용우·이동현·이동수, “농업 R&D 효율성 제고를 위한 사전경제성분석체계 구축 연구-농촌진흥청 R&D과제를 중심으로-”, 한국산학기술학회지, 제22권 11호, pp. 287-298, 11월, 2021년