creative commons
COMMONS DEED

저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

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

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

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

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

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

공학박사 학위논문

정부 에너지 R&D의 효율성과 예산 포트폴리오 및 영향요인 분석

Three essays on efficiency analysis of government R&D: A case study in the energy sector

2023년 8월

서울대학교 대학원

에너지시스템공학부

윤 가 혜

정부 에너지 R&D의 효율성과 예산 포트폴리오 및 영향요인 분석

지도교수 허 은 녕

이 논문을 공학박사 학위논문으로 제출함
2023년 8월

서울대학교 대학원
에너지시스템공학부 지구환경경제학전공
윤 가 혜

윤가혜의 박사 학위논문을 인준함
2023년 6월

위 원 장

부위원장

위 원

위 원

위 원

국문초록

본 논문은 정부 에너지 R&D의 효율성을 분석한 연구로 3개의 에세이로 구성되어 있다.

첫 번째 에세이는 '정부 에너지 R&D의 효율성 평가'이다. 3-STAGE DEA(Data Envelopment Analysis) 모형을 기반으로 정부 에너지 R&D의 '효율성, 효과성, 생산성'을 각각 사업 수준과 과제 수준에서 평가하였다.

두 번째 에세이는 '정부 에너지 R&D의 예산 포트폴리오 연구'이다. DEA Slack(여유분) 분석을 활용해 정부 에너지 R&D의 효율성, 효과성, 생산성 평가 결과를 R&D 예산 포트폴리오에 환류할 수 있는 방법론을 제시하고 투입량 증가에 따라 효율성 및 생산성이 어떻게 변하는지 민감도 분석을 수행하였다.

세 번째 에세이는 '정부 에너지 R&D의 효율성 영향요인 분석'이다. Tobit Regression 모형을 적용해 정부 에너지 R&D의 효율성, 효과성, 생산성 지수에 영향을 미치는 요인을 분석하였다.

이상 3개 에세이의 연구 결과는 다음과 같이 요약할 수 있다. 첫째, R&D의 과학기술적 효율성이 반드시 경제적 생산성과 효과성을 보장하는 것은 아님을 확인하였다. 그리고 효과성과 생산성은 강한 양의 상관관계를 나타내므로 경제적 생산성의 향상을 위해서는 효과성 제고가 전제될 필요가 있다고 판단되었다. 또한 규모수익성 분석 결과, 과학기술적 효율성 관점에서는 사업규모의 유지나 축소가 적절한 것으로 나타났고 생산성 제고를 위해서는 사업규모의 확대가 필요하다는 시사점을 도출하였다.

한편, 사업 수준과 과제 수준의 분석 결과를 비교하여 효율성, 효과성, 생산성 간의 상관관계는 사업 수준과 과제 수준이 모두 동일함을 확인하였다. 그러나 규모수익성은 사업 수준과 과제 수준에서 다른 결과를 보였다. 규모의 확대가 사업의 생산성 관점에서는 적정하지만 과제 수준에서는 개별 과제의 특성에 따라 달리 적용해야 하는 것으로 나타났다.

또한, 사업의 성격에 따라 효율성, 효과성, 생산성의 경향이 분명히 구분되었다. 실증이 없는 사업은 효율성이 높고 효과성 및 생산성은 낮은 경향을 보였다. 그러나 실증 성격의 사업은 효과성과 생산성이 월등히 높은 수치를 나타내었다.

둘째, 본 연구에서는 정부 에너지 R&D의 효율성, 효과성, 생산성 평가 결과를 R&D 예산 배분으로 환류할 수 있는 방법론을 제시하고 적정 예산 포트폴리오를 도출하였다. 예를 들면, DEA에서 효율성 지수를 산출할 때 계산된 규모수익증가(Increasing Returns to Scale) 특성을 가진 사업에 대해 정부출연금을 10% 증가시켰을 때 효율성은 약 26.1% 향상되었고, 20% 증가시켰을 경우에는 약 37.5% 향상되는 결과가 나타난다. 즉, 각 사업의 규모수익성에 따라 R&D 예산을 배분할 수 있고, 이는 전체 사업들의 효율성을 향상시킬 수 있다.

셋째, 정부 에너지 R&D의 성과제고를 위한 요인은 다음과 같이 나타났다. 먼저 연구기획의 자율성을 부여하는 방식, 즉 상향식(Bottom-up) 공모 형태는 대체로 R&D의 과학기술적 효율성을 증가시킨다는 것을 확인하였다. 그러나 효과성 및 생산성 측면에서는 하향식(Top-down) 공모 유형이 유리한 것으로 분석되었다.

그런데 사업 수준 분석에서 정부출연금의 증가가 효과성, 생산성 제고에 긍정적 영향을 주는 것으로 나타났던 것과 달리, 과제 수준에서는 정부출연금의 증가가 연구과제의 효율성, 효과성, 생산성에 양(+)의 영향을 미친다는 통계적 유의성을 확인할 수 없었다.

한편, 공기업이 시장에 큰 영향을 미치는 분야에서는 민간현물, 즉 기업이 부담하는 비용이 증가하는 경우 효과성 및 생산성이 통계적으로 유의하게 향상되는 사례가 있었다. 이처럼 공기업이 시장에서 중요한 분야는 민간현물이 개발된 기술이 사업화 될 가능성 또는 기업의 사업화 의지를 표현하는 지표로 볼 수 있다고 판단되었다.

수행기관별로는 대학과 연구소의 과학기술적 효율성이 높게 나타나는 경향을 보였고, 신재생에너지 분야를 제외하면 정부 과제를 대기업이 주관기관으로 참여한다고 해서 효과성 및 생산성이 높다는 통계적 유의성은 확인할 수 없었다.

협력 유형은 단순해질수록 효율성, 효과성, 생산성이 높아지는 것으로 나타났다. 이는 협력이 R&D 성과와 연계되지 못하고 있다는 증거로 국내 R&D 수행기관 간 외부 협력을 효율화할 수 있는 시스템을 도입할 필요성이 있다고 판단되었다.

이상의 분석 결과를 토대로 다음과 같은 시사점을 도출할 수 있었다. 정부 에너지 R&D의 효과성, 생산성 제고를 위해서는 실증형 사업으로의 구조 전환, 하향식 공모 유형의 확대, 공기업의 참여 확대, 사업에 투입하는 정부출연금 규모 확대가 도움이 될 수 있으며 기관 간 협력을 원활히 할 수 있는 클러스터 관리가 중요

할 것으로 생각된다.

마지막으로 본 연구의 의의는 R&D 효율성 분석을 1-STAGE가 아닌 3-STAGE 모형을 적용해 다각도의 관점으로 효율성을 분석했다는 데 있다. 본 연구에서 제시한 3-STAGE DEA 방법론은 규모수익성과 비효율성 원인에 기반해 국가 R&D 지출의 효율성, 효과성, 생산성 제고를 위한 전략 도출을 용이하게 할 수 있을 것이다.

주요어 : 3-STAGE DEA, R&D 효율성, R&D 효과성, R&D 생산성, R&D 예산 포트폴리오, R&D 효율성 영향요인

학 번 : 2011-30289

<제목 차례>

제 1 장 서론 ····· 1

제 1 절 연구배경 및 목적 ····· 1

제 2 절 논문의 구성 ····· 8

제 2 장 에너지 R&D 효율성 정의 ····· 11

제 1 절 관련 정의 및 이론 ····· 11

가. R&D의 정의 ····· 11

나. 에너지 R&D 범위 ····· 15

다. 효율성 이론 ····· 16

(1) 방법론의 발전 ····· 16

(2) 기초 개념 ····· 18

제 2 절 R&D 논리모형 및 효율성 변수 ····· 24

가. R&D 논리 모형(logic model) ····· 24

나. R&D 투입-산출 변수 ····· 27

제 3 장 정부 에너지 R&D 평가 현황 ····· 30

제 1 절 최근 주요 사업 평가 결과 ····· 30
가. 정부 에너지 R&D 사업 개요 ····· 30
나. 사업별 평가 결과 ····· 32
(1) ESS기술개발사업 ····· 33
(2) 에너지자원순환기술개발사업 ····· 34
(3) 스마트그리드핵심기술개발사업 ····· 35
(4) 신재생에너지핵심기술개발사업 ····· 36
(5) 에너지수요관리핵심기술개발사업 ····· 37
(6) 원자력핵심기술개발사업 ····· 38
(7) 자원개발기술개발사업 ····· 39

제 2 절 현행 평가제도 및 한계점 ····· 40
가. 현행 평가 제도 검토 ····· 40
나. 한계점 ····· 44

제 4 장 정부 에너지 R&D의 효율성 평가 ····· 46

제 1 절 연구모형 설계 ····· 46
가. 방법론 ····· 46
나. 논리모형 및 연구가설 ····· 51
다. 변수 및 데이터 ····· 56

(1) 변수 ····· 56
(2) 데이터 ····· 59
라. 분석 프로세스 ····· 64

제 2 절 선행연구 ····· 66

제 3 절 3-STAGE 분석 ····· 71
가. 사업 수준 분석 ····· 71
(1) 투입 및 산출변수 기술통계량 ····· 71
(2) 효율성-효과성-생산성 지수 ····· 75
(3) 효율성-효과성-생산성 간 상관관계 ····· 87
(4) 종합분석 ····· 90
나. 과제 수준 분석 ····· 93
(1) ESS 기술개발사업 ····· 94
(2) 자원순환 기술개발사업 ····· 98
(3) 스마트그리드 기술개발사업 ····· 102
(4) 신재생에너지 기술개발사업 ····· 107
(5) 수요관리 기술개발사업 ····· 111
(6) 원자력 기술개발사업 ····· 116
(7) 자원개발 기술개발사업 ····· 120
(8) 청정화력 기술개발사업 ····· 124
(9) 종합 분석 ····· 128

제 4 절 논의 및 결론 ····· 129

제 5 장 정부 에너지R&D 예산 포트폴리오 ····· 132

제 1 절 방법론 및 데이터 ····· 132
가. 방법론 ····· 132
나. 연구모형의 구성 ····· 135
다. 변수 및 데이터 ····· 139
(1) 변수 ····· 139
(2) 데이터 ····· 139

제 2 절 선행연구 ····· 140

제 3 절 최적 예산 포트폴리오 ····· 143
가. 효율성 지수 ····· 143
(1) 여유분(Slack) 분석 ····· 143
(2) 민감도 분석 ····· 146
나. 생산성 지수 Slack(여유분) ····· 149
(1) Slack(여유분) 분석 ····· 149
(2) 민감도 분석 ····· 152
다. 종합 분석 ····· 155

제 6 장 정부 에너지R&D의 효율성 요인 분석 ····· 156

제 1 절 연구모형 설계 ····· 156

가. 방법론 ····· 156
나. 연구가설 ····· 160
다. 변수의 선정 및 데이터 ····· 166
라. 분석 프로세스 ····· 168

제 2 절 선행연구 ····· 170
가. 개인차원 요인(Individual factors) ····· 170
(1) 연구 자율성(Research Autonomy) ····· 170
(2) 연구 몰입도(Research Commitment) ····· 172
나. 환경차원 요인(Environmental factors) ····· 174
(1) 내부환경(Internal Environment) ····· 174
(2) 외부환경(External Environment) ····· 176

제 3 절 효율성 요인 분석 ····· 180
가. 개인차원 요인(Individual factors) ····· 180
(1) ESS 기술개발사업 ····· 180
(2) 자원순환 기술개발사업 ····· 181
(3) 스마트그리드 기술개발사업 ····· 181
(4) 신재생에너지 기술개발사업 ····· 182
(5) 수요관리 기술개발사업 ····· 183
(6) 원자력 기술개발사업 ····· 183
(7) 자원개발 기술개발사업 ····· 184
(8) 청정화력 기술개발사업 ····· 185
나. 환경차원 요인 분석 ····· 186

(1) ESS 기술개발사업 ····· 186
(2) 자원순환 기술개발사업 ····· 187
(3) 스마트그리드 기술개발사업 ····· 188
(4) 신재생에너지 기술개발사업 ····· 189
(5) 수요관리 기술개발사업 ····· 190
(6) 원자력핵심기술개발사업 ····· 191
(7) 자원개발 기술개발사업 ····· 192
(8) 청정화력 기술개발사업 ····· 193

제 4 절 논의 및 결론 ····· 194
가. 개인차원 요인 ····· 194
나. 환경차원 요인 ····· 199

제 7 장 결론 ····· 201

제 1 절 정부 에너지 R&D의 효율성, 효과성, 생산성 ····· 201

제 2 절 정부 에너지 R&D의 예산 포트폴리오 ····· 203

제 3 절 정부 에너지 R&D의 성과제고를 위한 요인 ····· 204

제 4 절 시사점 및 의의 ····· 206

참고문헌 ····· 209

부 록 ····· 241

부록 1. 투입-산출 변수 상관분석 ····· 241

부록 2. 개인차원 요인분석 결과 ····· 251

부록 3. 환경차원 요인분석 결과 ····· 298

<표 차례>

[표 2-1] OECD Frascati Manual(2015)의 R&D 단계 구분 ····· 12
[표 2-2] TRL 단계별 정의 ····· 13
[표 2-3] Fahrenkreg et al.(2002)의 R&D 산출변수 구분 ····· 29
[표 3-1] 정부 에너지 R&D 사업 연간 예산 및 사업 수 ····· 30
[표 3-2] 정부 에너지 R&D 사업 개요 ····· 31
[표 3-3] 정부 에너지 R&D 사업 평가 현황 ····· 32
[표 3-4] ESS기술개발사업 자체평가 ····· 33
[표 3-5] 에너지자원순환기술개발사업 자체평가 ····· 34
[표 3-6]스마트그리드핵심기술개발사업 자체평가 ····· 35
[표 3-7] 신재생에너지핵심기술개발사업 자체평가 ····· 36
[표 3-8] 에너지수요관리핵심기술개발사업 자체평가 ····· 37
[표 3-9] 원자력핵심기술개발사업 자체평가 ····· 38
[표 3-10] 자원개발기술개발사업 자체평가 ····· 39
[표 3-11] 국가연구개발사업 평가 대상 및 유형 ····· 41
[표 3-12] 국가연구개발사업 평가대상별 목적 및 단계 ····· 42
[표 3-13] 국가연구개발사업 성과평가 단계 구조 ····· 43
[표 4-1] 정부 에너지R&D 투입-산출 변수 ····· 57
[표 4-2] 데이터의 신뢰성 검증 방법 ····· 60
[표 4-3] 분석대상 사업 분야 ····· 63
[표 4-4] 대상사업의 총 투입-산출변수 기술통계량 ····· 72
[표 4-5] 사업 수준 투입변수 값 ····· 73
[표 4-6] 사업 수준 산출-결과변수 값 ····· 74

[표 4-7] 사업 수준 효율성 지수(모형 A) ····· 78
[표 4-8] 사업 수준 효율성 지수(모형 B) ····· 79
[표 4-9] 사업 수준 효과성 지수(모형 A) ····· 82
[표 4-10] 사업 수준 효과성 지수(모형 B) ····· 83
[표 4-11] 사업 수준 생산성 지수(모형 A) ····· 85
[표 4-12] 사업 수준 생산성 지수(모형 B) ····· 86
[표 4-13] 효율성-효과성-생산성 상관관계(사업수준) ····· 89
[표 4-14] 규모수익성 및 비효율성 원인(모형 A) ····· 91
[표 4-15] 규모수익성 및 비효율성 원인(모형 B) ····· 92
[표 4-16] 과제 수준 분석대상 사업 ····· 93
[표 4-17] ESS 과제 수준 결과(모형 A) ····· 96
[표 4-18] ESS 과제 수준 결과(모형 B) ····· 96
[표 4-19] ESS 3-STAGE 상관관계(모형 A) ····· 97
[표 4-20] ESS 3-STAGE 상관관계(모형 B) ····· 97
[표 4-21] 자원순환 과제 수준 결과(모형 A) ····· 99
[표 4-22] 자원순환 과제 수준 결과(모형 B) ····· 100
[표 4-23] 자원순환 3-STAGE 상관관계(모형 A) ····· 101
[표 4-24] 자원순환 3-STAGE 상관관계(모형 B) ····· 101
[표 4-25] 스마트그리드 과제 수준 결과(모형 A) ····· 104
[표 4-26] 스마트그리드 과제 수준 결과(모형 B) ····· 104
[표 4-27] 스마트그리드 3-STAGE 상관관계(모형 A) ····· 106
[표 4-28] 스마트그리드 3-STAGE 상관관계(모형 B) ····· 106
[표 4-29] 신재생에너지 과제 수준 분석 결과(모형 A) ····· 108
[표 4-30] 신재생에너지 과제 수준 분석 결과(모형 B) ····· 108

[표 4-31] 신재생에너지 3-STAGE 상관관계(모형 A) ····· 110
[표 4-32] 신재생에너지 3-STAGE 상관관계(모형 B) ····· 110
[표 4-33] 수요관리 과제 수준 결과(모형A) ····· 113
[표 4-34] 수요관리 과제 수준 결과(모형B) ····· 113
[표 4-35] 수요관리 3-STAGE 상관관계(모형 A) ····· 115
[표 4-36]수요관리 3-STAGE 상관관계(모형B) ····· 115
[표 4-37] 원자력 과제 수준 결과(모형A) ····· 117
[표 4-38] 원자력 과제 수준 결과(모형B) ····· 117
[표 4-39] 원자력 3-STAGE 상관관계(모형 A) ····· 119
[표 4-40] 원자력 3-STAGE 상관관계(모형 B) ····· 119
[표 4-41] 자원개발 과제 수준 결과(모형A) ····· 121
[표 4-42] 자원개발 과제 수준 결과(모형B) ····· 122
[표 4-43] 자원개발 3-STAGE 상관관계(모형 A) ····· 123
[표 4-44] 자원개발 3-STAGE 상관관계(모형 B) ····· 123
[표 4-45] 청정화력 과제 수준 결과(모형A) ····· 126
[표 4-46] 청정화력 과제 수준 결과(모형B) ····· 126
[표 4-47] 청정화력 3-STAGE 상관관계(모형 A) ····· 127
[표 4-48] 청정화력 3-STAGE 상관관계(모형B) ····· 127
[표 5-1] 효율성 Slack(여유분)-정부출연금-1 ····· 144
[표 5-2] 효율성 Slack(여유분)-정부출연금-2 ····· 145
[표 5-3] 효율성-민감도 분석-1 ····· 147
[표 5-4] 효율성-민감도 분석-2 ····· 148
[표 5-5] 생산성 Slack(여유분)-정부출연금(억원) ····· 150
[표 5-6] 생산성 Slack(여유분)-정부출연금(억원) ····· 151

[표 5-7] 생산성-민감도 분석-1 ····· 153
[표 5-8] 생산성-민감도 분석-2 ····· 154
[표 6-1] 협력유형의 분류 ····· 165
[표 6-2] 개인차원 요인 변수 ····· 166
[표 6-3] 환경차원 요인 변수 ····· 167
[표 6-4] 가설 검증 결과(개인차원 요인) ····· 198
[표 6-5] 가설 검증 결과(환경차원 요인) ····· 200
[표 부록 1-1] 투입-산출 변수 상관분석(전체) ····· 242
[표 부록 1- 2] ESS 투입-산출 변수 상관분석 ····· 243
[표 부록 1-3] 자원순환 투입-산출 변수 상관분석 ····· 244
[표 부록 1-4] 스마트그리드 투입-산출 변수 상관분석 ····· 245
[표 부록 1-5] 신재생에너지 투입-산출 변수 상관분석 ····· 246
[표 부록 1-6] 수요관리 투입-산출 변수 상관분석 ····· 247
[표 부록 1-7] 원자력 투입-산출 변수 상관분석 ····· 248
[표 부록 1-8] 자원개발 투입-산출 변수 상관분석 ····· 249
[표 부록 1-9] 청정화력 투입-산출 변수 상관분석 ····· 250
[표 부록 2-1] ESS 효율성 요인분석 결과(모형 A) ····· 251
[표 부록 2-2] ESS 효율성 요인분석 결과(모형 B) ····· 252
[표 부록 2-3] ESS 효과성 요인분석 결과(모형 A) ····· 253
[표 부록 2-4] ESS 효과성 요인분석 결과(모형 B) ····· 254
[표 부록 2-5] ESS 생산성 요인분석 결과(모형 A,B) ····· 255
[표 부록 2-6] 자원순환 효율성 요인분석 결과(모형 A) ····· 256
[표 부록 2-7] 자원순환 효율성 요인분석 결과(모형 B) ····· 257
[표 부록 2-8] 자원순환 효과성 요인분석 결과(모형 A) ····· 258

[표 부록 2-9] 자원순환 효과성 요인분석 결과(모형 B) ····· 259
[표 부록 2-10] 자원순환 생산성 요인분석 결과(모형 A) ····· 260
[표 부록 2-11] 자원순환 생산성 요인분석 결과(모형 B) ····· 261
[표 부록 2-12] 스마트그리드 효율성 요인분석 결과(모형 A) ····· 262
[표 부록 2-13] 스마트그리드 효율성 요인분석 결과(모형 B) ····· 263
[표 부록 2-14] 스마트그리드 효과성 요인분석 결과(모형 A) ····· 264
[표 부록 2-15] 스마트그리드 효과성 요인분석 결과(모형 B) ····· 265
[표 부록 2-16] 스마트그리드 생산성 요인분석 결과(모형 A) ····· 266
[표 부록 2-17] 스마트그리드 생산성 요인분석 결과(모형 B) ····· 267
[표 부록 2-18] 신재생에너지 효율성 요인분석 결과(모형 A) ····· 268
[표 부록 2-19] 신재생에너지 효율성 요인분석 결과(모형 B) ····· 269
[표 부록 2-20] 신재생에너지 효과성 요인분석 결과(모형 A) ····· 270
[표 부록 2-21] 신재생에너지 효과성 요인분석 결과(모형 B) ····· 271
[표 부록 2-22] 신재생에너지 생산성 요인분석 결과(모형 A) ····· 272
[표 부록 2-23] 신재생에너지 생산성 요인분석 결과(모형 B) ····· 273
[표 부록 2-24] 수요관리 효율성 요인분석 결과(모형 A) ····· 274
[표 부록 2-25] 수요관리 효율성 요인분석 결과(모형 B) ····· 275
[표 부록 2-26] 수요관리 효과성 요인분석 결과(모형 A) ····· 276
[표 부록 2-27] 수요관리 효과성 요인분석 결과(모형 B) ····· 277
[표 부록 2-28] 수요관리 생산성 요인분석 결과(모형 A) ····· 278
[표 부록 2-29] 수요관리 생산성 요인분석 결과(모형 B) ····· 279
[표 부록 2-30] 원자력 효율성 요인분석 결과(모형 A) ····· 280
[표 부록 2-31] 원자력 효율성 요인분석 결과(모형 B) ····· 281
[표 부록 2-32] 원자력 효과성 요인분석 결과(모형 A) ····· 282

[표 부록 2-33] 원자력 효과성 요인분석 결과(모형 B) ····· 283
[표 부록 2-34] 원자력 생산성 요인분석 결과(모형 A) ····· 284
[표 부록 2-35] 원자력 생산성 요인분석 결과(모형 B) ····· 285
[표 부록 2-36] 자원개발 효율성 요인분석 결과(모형 A) ····· 286
[표 부록 2-37] 자원개발 효율성 요인분석 결과(모형 B) ····· 287
[표 부록 2-38] 자원개발 효과성 요인분석 결과(모형 A) ····· 288
[표 부록 2-39] 자원개발 효과성 요인분석 결과(모형 B) ····· 289
[표 부록 2-40] 자원개발 생산성 요인분석 결과(모형 A) ····· 290
[표 부록 2-41] 자원개발 생산성 요인분석 결과(모형 B) ····· 291
[표 부록 2-42] 청정화력 효율성 요인분석 결과(모형 A) ····· 292
[표 부록 2-43] 청정화력 효율성 요인분석 결과(모형 B) ····· 293
[표 부록 2-44] 청정화력 효과성 요인분석 결과(모형 A) ····· 294
[표 부록 2-45] 청정화력 효과성 요인분석 결과(모형 B) ····· 295
[표 부록 2-46] 청정화력 생산성 요인분석 결과(모형 A) ····· 296
[표 부록 2-47] 청정화력 생산성 요인분석 결과(모형 B) ····· 297
[표 부록 3-1] ESS 효율성 요인 추정계수(모형 A) ····· 298
[표 부록 3-2] ESS 효율성 요인 추정계수(모형 B) ····· 299
[표 부록 3-3] ESS 효과성 요인 추정계수(모형 A) ····· 300
[표 부록 3-4] ESS 효과성 요인 추정계수(모형 B) ····· 301
[표 부록 3-5] ESS 생산성 요인 추정계수(모형 A) ····· 302
[표 부록 3-6] ESS 생산성 요인 추정계수(모형 B) ····· 303
[표 부록 3-7] 자원순환 효율성 요인 추정계수(모형 A) ····· 304
[표 부록 3-8] 자원순환 효율성 요인 추정계수(모형 B) ····· 305
[표 부록 3-9] 자원순환 효과성 요인 추정계수(모형 A) ····· 306

[표 부록 3-10] 자원순환 효과성 요인 추정계수(모형 B) ····· 307
[표 부록 3-11] 자원순환 생산성 요인 추정계수(모형 A) ····· 308
[표 부록 3-12] 자원순환 생산성 요인 추정계수(모형 B) ····· 309
[표 부록 3-13] 스마트그리드 효율성 요인 추정계수(모형 A) ····· 310
[표 부록 3-14] 스마트그리드 효율성 요인 추정계수(모형 B) ····· 311
[표 부록 3-15] 스마트그리드 효과성 요인 추정계수(모형 A) ····· 312
[표 부록 3-16] 스마트그리드 효과성 요인 추정계수(모형 B) ····· 313
[표 부록 3-17] 스마트그리드 생산성 요인 추정계수(모형 A) ····· 314
[표 부록 3-18] 스마트그리드 생산성 요인 추정계수(모형 B) ····· 315
[표 부록 3-19] 신재생에너지 효율성 요인 추정계수(모형 A) ····· 316
[표 부록 3-20] 신재생에너지 효율성 요인 추정계수(모형 B) ····· 317
[표 부록 3-21] 신재생에너지 효과성 요인 추정계수(모형 A) ····· 318
[표 부록 3-22] 신재생에너지 효과성 요인 추정계수(모형 B) ····· 319
[표 부록 3-23] 신재생에너지 생산성 요인 추정계수(모형 A) ····· 320
[표 부록 3-24] 신재생에너지 생산성 요인 추정계수(모형 B) ····· 321
[표 부록 3-25] 수요관리 효율성 요인 추정계수(모형 A) ····· 322
[표 부록 3-26] 수요관리 효율성 요인 추정계수(모형 B) ····· 323
[표 부록 3-27] 수요관리 효과성 요인 추정계수(모형 A) ····· 324
[표 부록 3-28] 수요관리 효과성 요인 추정계수(모형 B) ····· 325
[표 부록 3-29] 수요관리 생산성 요인 추정계수(모형 A) ····· 326
[표 부록 3-30] 수요관리 생산성 요인 추정계수(모형 B) ····· 327
[표 부록 3-31] 원자력 효율성 요인 추정계수(모형 A) ····· 328
[표 부록 3-32] 원자력 효율성 요인 추정계수(모형 B) ····· 329
[표 부록 3-33] 원자력 효과성 요인 추정계수(모형 A) ····· 330

[표 부록 3-34] 원자력 효과성 요인 추정계수(모형 B) ····· 331
[표 부록 3-35] 원자력 생산성 요인 추정계수(모형 A) ····· 332
[표 부록 3-36] 원자력 생산성 요인 추정계수(모형 B) ····· 333
[표 부록 3-37] 자원개발 효율성 요인 추정계수(모형 A) ····· 334
[표 부록 3-38] 자원개발 효율성 요인 추정계수(모형 B) ····· 335
[표 부록 3-39] 자원개발 효과성 요인 추정계수(모형 A) ····· 336
[표 부록 3-40] 자원개발 효과성 요인 추정계수(모형 B) ····· 337
[표 부록 3-41] 자원개발 생산성 요인 추정계수(모형 A) ····· 338
[표 부록 3-42] 자원개발 생산성 요인 추정계수(모형 B) ····· 339
[표 부록 3-43] 청정화력 효율성 요인 추정계수(모형 A) ····· 340
[표 부록 3-44] 청정화력 효율성 요인 추정계수(모형 B) ····· 341
[표 부록 3-45] 청정화력 효과성 요인 추정계수(모형 A) ····· 342
[표 부록 3-46] 청정화력 효과성 요인 추정계수(모형 B) ····· 343
[표 부록 3-47] 청정화력 생산성 요인 추정계수(모형 A) ····· 344
[표 부록 3-48] 청정화력 생산성 요인 추정계수(모형 B) ····· 345

<그림 차례>

[그림 1-1] GDP 대비 정부 R&D 지출 비중 ····· 3
[그림 1-2] 정부 R&D 지출 규모 ····· 4
[그림 1-3] 논문의 구성 개념도 ····· 10
[그림 2-1] 생산가능집합의 의미 ····· 19
[그림 2-2] 가변규모수익 생산가능집합 ····· 21
[그림 2-3] 약효율과 강효율 ····· 23
[그림 2-4] MacLaughlin and Jordan(1999)의 논리모형 ····· 24
[그림 2-5] 3-STAGE 모형 ····· 26
[그림 4-1] 순수 기술효율성과 규모효율성 ····· 50
[그림 4-2] 3-STAGE R&D 모형 ····· 52
[그림 4-3] 기본 모형(A)와 추가 모형(B) ····· 58
[그림 4-4] 분석 프로세스 흐름도 ····· 65
[그림 5-1] 분석 프로세스 흐름도 1 : 여유분(Slack) 분석 ····· 137
[그림 5-2] 분석 프로세스 흐름도 2 : 예산 민감도 분석 ····· 138
[그림 6-1] 분석 프로세스 흐름도 ····· 169

제 1 장 서론

제 1 절 연구배경 및 목적

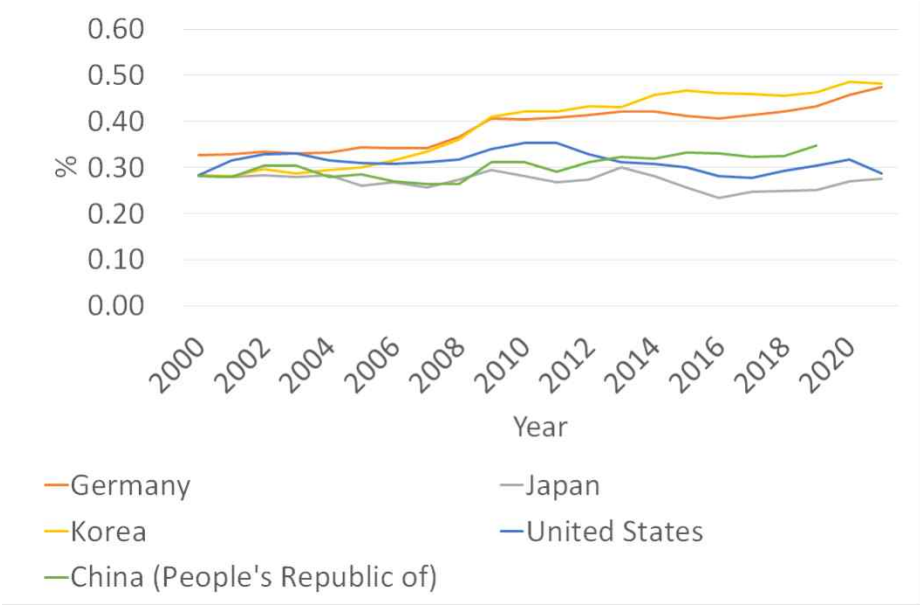
우리나라는 국가 산업의 중요한 성장동력인 정부 R&D 지출을 확대해 온 대표적인 국가이다. OECD 통계에 따르면 대한민국은 GDP 대비 R&D 지출 비중이 세계 최고 수준인 것으로 나타난다. 2020년 기준으로 GDP 대비 정부 R&D 지출액 비중은 0.49%로 세계 1위이며, 정부 R&D 지출 규모는 11,408 million USD로 일본과 유사한 수준이다(그림 1-1, 그림 1-2). 과학기술정보통신부 발표 자료에 따르면 2023년 현재 정부 R&D 예산은 30조 6,574억원에 달한다. 정부 총지출 중 약 4.8%를 차지하며, 국가재정운용계획에 따라 2026년까지 연평균 3.7% 수준으로 확대할 계획이다.

우리나라는 R&D 인프라 관련 지표에서도 우수한 성적을 내고 있다. 세계 각국의 경쟁력을 비교할 수 있는 자료 중 가장 권위가 있는 국제경영개발대학원(International Institute for Management Development, IMD)의 '국가경쟁력지수'에서 대한민국의 과학 인프라 순위는 매우 높게 평가된다. 2016년 세계 8위를 시작으로 2021년에는 세계 2위, 2022년에는 세계 3위 수준으로 평가받았다. 한편, UN 산하기구인 세계지식재산기구(World Intellectual Property Organization, WIPO)가 발표한 글로벌 혁신지수(Global innovative index, GII)에서도 2022년 우리나라의 지표별 종합 순위는 6위, 인적자본 및 연구 부문은 세계 1위를 차

지했다. 인적자본 및 연구 부문은 미래에 대한 투자를 평가하는 지표이다.

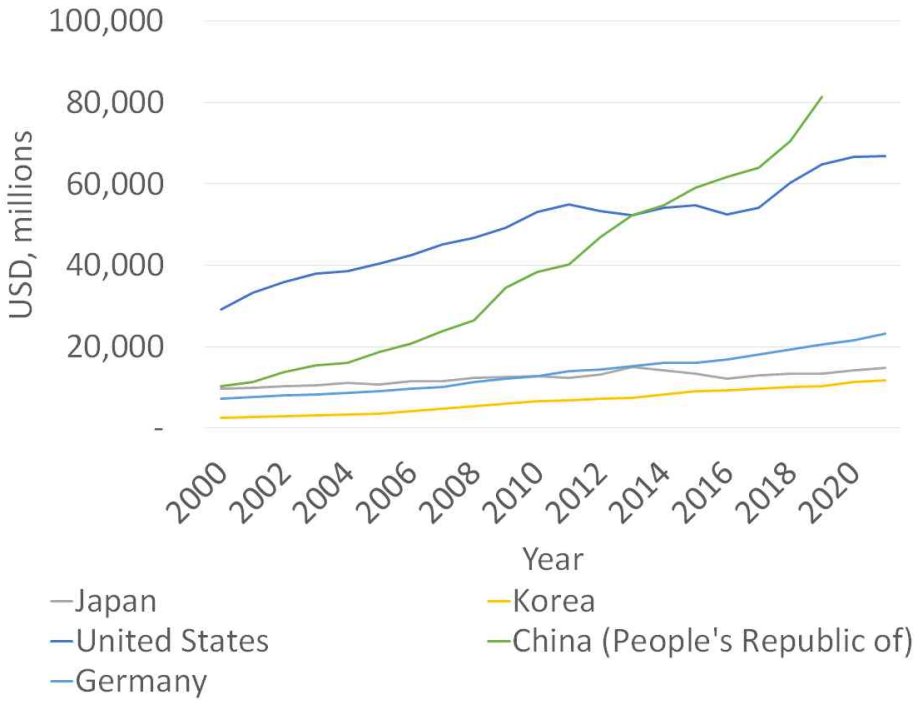
그러나 이러한 R&D 투자, 인프라의 양적 수준이 반드시 성과를 창출하는 것은 아니다. Segerstrom(1988)는 정부 R&D 지출의 증가가 반드시 경제성장을 가져오는 것은 아니며 효율성이 중요하다고 지적하였다. Guo et al.(2021)은 양적 자원의 투입이 R&D 성과와 선형 관계를 갖는 것은 아니며 R&D 성과는 투입의 효율성이 핵심이라고 주장했다. 또한, Liu et al.(2017), Guan and Chen(2010)도 혁신 성과의 핵심은 혁신의 효율성이므로 혁신 성과는 혁신 효율성으로 측정해야 한다고 보았다. Hollanders and Celikel-Esser(2007)도 유럽국가 R&D 성과 분석을 위해 R&D 효율성을 분석하고 국가별 정책적 시사점을 제시하였다.

[그림 1-1] GDP 대비 정부 R&D 지출 비중



출처: OECD MSTI(2023)

[그림 1-2] 정부 R&D 지출 규모



출처: OECD MSTI(2023)

유럽은 2000년 리스본 전략에서 GDP 대비 R&D 지출 비중을 3% 이상으로 증가시키는 목표를 제시한 이후, R&D 효율성을 측정하는 유럽 혁신 점수제(European Innovation Scoreboard, EIS)를 도입하였다. 이 제도를 기반으로 한 국가별 R&D 효율성을 평가하고 평가 결과에 따라 국가별 정책 방향이 달라질 수 있음을 보여주었다. 국가의 R&D 지출을 확대할 필요가 있는 것인지, R&D 지출보다는 기업 지원 등 수요 부문 정책을 보강해야 하는지 등 효율성 분석을 통해 다양한 정책 및 제도적 시사점을 도출하였다.

우리나라는 미래를 위해 지속적으로 R&D 지출을 확대한다는 점에서 세계 최고 수준의 평가를 받고 있다. 그러나 윤성식(2014)에서 우리나라 정부 R&D 지출의 비효율성을 지적한 바 있듯이 R&D 효율성에 대한 평가는 높지 않은 편이다.

안상인 외(2009)는 1995년부터 2006년까지 우리나라와 비교해 3극 패밀리 특허 수가 유사한 8개국[1]의 R&D 효율성을 분석했다. 분석 결과, 한국은 전체기술효율성 8위, 순수기술효율성 7위, 규모효율성 8위로 낮게 평가되어 R&D 시스템의 개선과 절대적인 R&D 투자 증가가 필요하다고 지적하였다.

Dobrzanski and Bobowski(2020)는 아세안(ASEAN) 국가들에서 연구개발에 사용된 자금이 효율적으로 사용되었는지 분석하면서, 한국과 R&D 효율성을 비교하였다. 이 연구에서 우리나라는 홍콩, 인도네시아, 싱가포르, 필리핀보다 R&D 효율성이 낮은 것으로 분석되었다.

---

1) 캐나다, 프랑스, 독일, 이탈리아, 일본, 대한민국, 영국, 미국

Guo et al.(2021)은 G20 국가의 농림 부문의 R&D 효율성과 R&D 역량을 각각 평가하여 비교하였다. 분석 결과, 한국의 R&D 효율성은 17위, R&D 역량은 9위로 평가되었다. 이 연구에서는 선진국은 효율성이 낮고 역량은 높은 경향성을 나타냈으며, 개발도상국에 가까울수록 효율성은 높고 역량은 낮은 것으로 분석되었다. 이 때, 효율성은 투입 대비 과학기술적, 경제적 성과의 비이며, 역량은 R&D 인프라 개념이다. 선진국의 효율성이 낮은 이유로는 R&D 지출이 급격히 증가하는 시기에 R&D 인력 및 R&D 지출 부문에서 발생한 투자 중복성 때문이라고 분석했다. 따라서 선진국 정책결정자들은 단순히 투입량 확대에 초점을 맞추는 것이 아니라 R&D 지출 구조의 최적화에 초점을 맞추어야 한다고 지적했다.

이처럼 선행연구들의 결과를 볼 때, R&D 양적 투입 확대도 중요하지만 성과의 핵심은 '효율성'에 있다고 볼 수 있다. 특히, 정부 R&D에서 효율성이 강조되어야 하는 이유는 정부 R&D 재원이 제한되어 있기 때문이다. 국가적으로 한정된 자원의 사용은 여타 모든 용도에 대해 기회비용을 가지고 있으므로 정부 R&D 재원은 자원배분의 효율성 개념에 기초한 평가를 하는 것이 중요하다.

본 연구에서는 우리나라 정부 R&D 사업의 효율성을 분석하는 3-STAGE DEA 방법론을 제시하고 그 결과를 R&D 예산 포트폴리오에 환류하는 방법론을 제시하고자 하였다. 또한, 정부 R&D 사업의 효율성에 영향을 미치는 요인 분석을 통해 정부 R&D 효율성 제고를 위한 정책적 시사점을 도출하고자 하였다.

실증분석 대상으로는 정부의 R&D 지출 규모가 지속해서 증가

해 온 분야이면서, 향후 장기적으로 R&D 지출의 증가가 기대되는 분야(IEA, 2023)인 에너지 R&D 사업을 선정하였다. 에너지 분야 R&D는 기후변화, 탄소중립 문제 해결을 위해 정부와 신기술의 역할이 중요한 대표적 분야이다. IEA(2023)는 2050년 탄소중립을 달성하기 위해서는 청정에너지 기술에 대한 정부 R&D 지출을 2030년까지 지속적으로 증가시켜야 할 필요가 있으며, 효율성 제고를 위한 각국 정부의 역할이 중요하다고 발표한 바 있다.

본 연구의 목적을 요약하면 다음과 같다. 첫째, 정부 에너지 R&D 사업의 효율성을 분석하고자 한다. 둘째, 정부 에너지 R&D 사업의 효율성 분석 결과를 정부 예산 포트폴리오로 환류하는 모델을 제안하고자 한다. 셋째, 정부 에너지 R&D 사업의 효율성에 영향을 미치는 요인 분석을 통해 R&D 효율성 향상을 위한 정책적 시사점을 도출하고자 한다.

제 2 절 논문의 구성

본 논문은 정부 에너지 R&D 효율성과 관련된 3개의 연구 에세이(Essay)를 포함하여 총 7 장으로 구성된다. 3개의 에세이는 첫 번째, 정부 에너지 R&D의 효율성을 분석하며 두 번째, 효율성 분석 결과를 R&D 예산 포트폴리오에 환류하는 방법론을 제시하며 세 번째, 효율성에 영향을 미치는 요인을 분석하는 연구로 구성되어 있다.

제 1 장은 연구배경 및 목적에 대해서 설명하고 본 논문의 구성을 요약하여 제시하였다.

제 2 장은 R&D와 효율성에 관한 이론적 개념을 정립하고 선행연구 검토를 통해 R&D 효율성 분석에 사용되는 논리모형과 투입, 산출 변수를 분석하였다. 이 장에서 검토한 R&D 논리 모형과 변수들은 제 4 장의 정부 에너지 R&D 효율성 분석 모형을 구성하는데 활용하였다.

제 3 장은 본 연구에 앞서 우리나라 정부 에너지 R&D 평가 현황을 분석하였다. 효율성 평가 관점에서 현행 평가제도와 정부 에너지 R&D 사업 평가 결과를 검토하고 한계점을 도출하였다.

제 4 장부터 제 6 장은 각 장이 1개의 연구 에세이로 구성되었다. 첫 번째 에세이는 정부 에너지 R&D의 효율성 평가, 두 번째 에세이는 정부 에너지 R&D의 예산 포트폴리오 연구, 세 번째 에세이는 정부 에너지 R&D의 효율성 영향요인 분석이다.

제 4 장은 첫 번째 에세이인 '정부 에너지 R&D의 효율성 평가'이다. 이론적 방법론, 연구모형, 데이터 및 변수를 설정하고, 선행

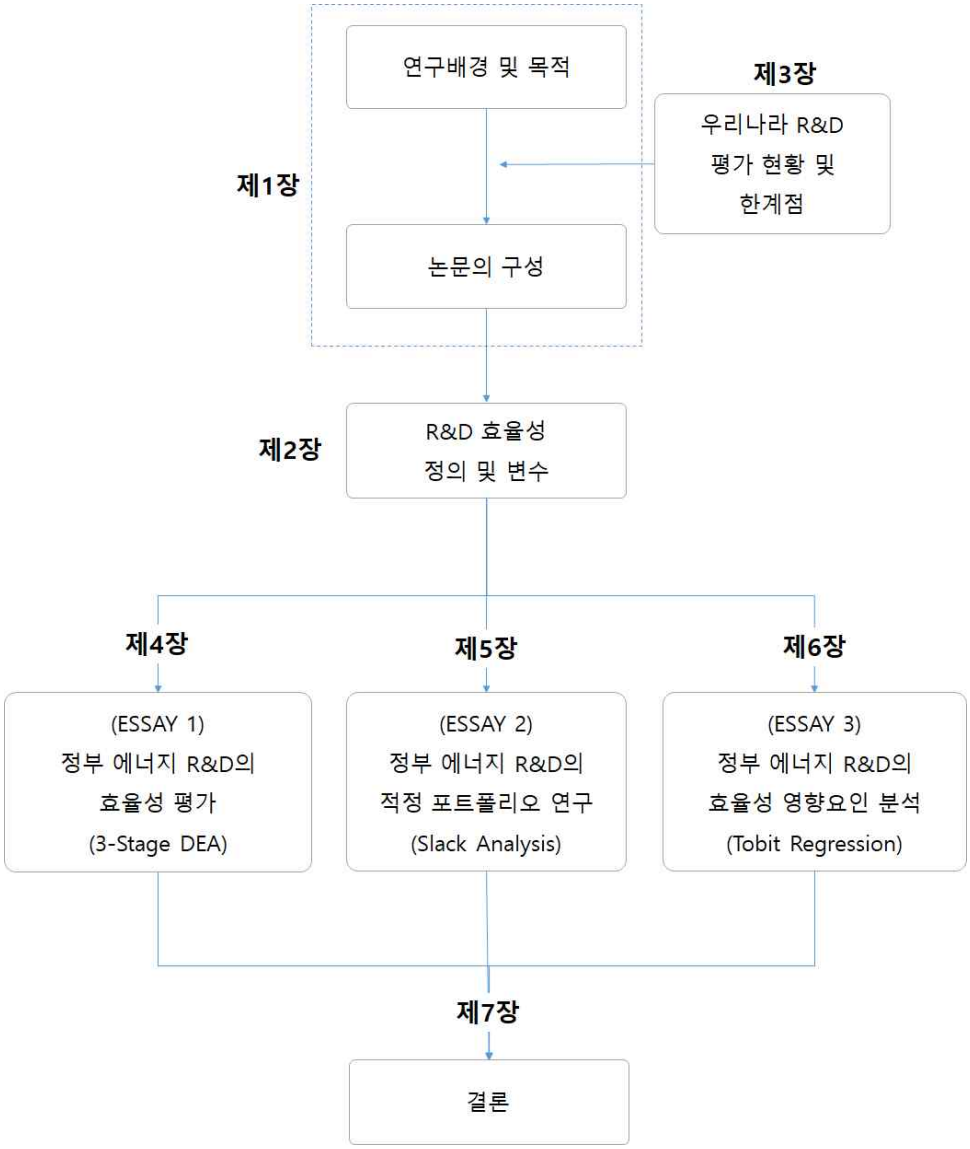
연구 결과와 비교하여 연구가설을 구축하였다. Keh and Chu(2003)의 3-STAGE DEA(Data Envelopment Analysis) 모형을 활용하여 정부 에너지 R&D의 '효율성, 효과성, 생산성' 지수를 평가한다. 정부 에너지 R&D 사업 중 2021년 기준으로 DEA 분석에 활용 가능한 데이터가 존재하는 15개 사업 및 1,144개 과제를 분석대상으로 하였다.

제 5 장은 두 번째 에세이인 '정부 에너지 R&D의 예산 포트폴리오 연구'이다. 선행연구 검토를 바탕으로 이론적 방법론, 연구모형, 데이터 및 변수를 설정하였다. DEA Slack(여유분) 분석을 활용해 제 4 장에서 산출한 정부 에너지 R&D의 효율성, 효과성, 생산성 분석 결과를 R&D 예산 포트폴리오에 환류할 수 있는 방법론을 기술하였다. 또한, 4 장의 효율성 분석 결과를 토대로 사업비 규모의 증가가 효율성 향상에 얼마나 기여할 수 있는지 민감도 분석을 수행했다.

제 6 장은 세 번째 에세이인 '정부 에너지 R&D의 효율성 영향요인 분석'이다. 선행연구 검토를 통해, 이론적 방법론, 연구모형, 데이터 및 변수를 설정하고 본 연구의 연구가설을 설정하였다. Tobit Regression 모형을 적용해 정부 에너지 R&D의 효율성, 효과성, 생산성에 영향을 미치는 요인을 분석하고 연구가설의 검증 결과를 제시하였다.

마지막으로 제 7 장에서는 정부 에너지 R&D의 효율성 평가, 예산 포트폴리오 연구, 효율성 영향요인 분석 결과를 종합하고 시사점을 도출하였다. 끝으로 본 연구의 의의 및 한계점을 정리하였다.

[그림 1-3] 논문의 구성 개념도



제 2 장 에너지 R&D 효율성 정의

제 1 절 관련 정의 및 이론

가. R&D의 정의

OECD Frascati Manual(2015)에 따르면 연구개발(Research and experimental development, R&D)은 '지식의 양을 늘리고, 사용 가능한 지식을 새롭게 적용하기 위해 수행되는 창의적이고 체계적인 작업'을 의미한다. R&D는 항상 기존 개념이나 가설을 바탕으로 새로운 발견을 지향하며, R&D의 결과물과 결과물을 얻는데 필요한 시간과 자원의 양이 불확실하다. OECD는 R&D의 특징을 총 5가지로 본다. ①참신성, ②창의성, ③불확실성, ④체계성, ⑤이전 및 재생산 가능성이다.

R&D의 분류체계는 목적에 따라서 다양하게 구성할 수 있으나, 국가 R&D 지출 통계는 주로 R&D 단계와 투자 주체에 따라 분류된다. OECD는 R&D 단계를 3단계로 구분한다. ①기초연구, ②응용연구, ③개발연구이다. 기초연구는 특별한 적용을 목적으로 하지 않고 관찰 가능한 사실이나 현상을 기반으로 새로운 지식을 습득하기 위한 실험적이고 이론적인 작업이다. 순수 기초연구는 경제적 및 사회적 이익을 추구하거나 그 결과를 실제 문제에 적용하려는 노력을 요하지 않으며 단순히 지식의 진보를 위해서만 수행된다. 응용연구는 새로운 지식을 습득하기 위해 수행되는 조사 단계라는 점에서 기초연구와 비슷하지만 구체적이고 실용적인 목적을

지향한다. 기초연구 결과를 어디에 사용할 것인지 결정하고 실제 문제를 해결하기 위해 기초연구의 지식을 확장한다. 따라서, 응용연구의 결과물은 제품, 공정, 시스템의 형태이며 지적 재산으로 보호될 수 있다. 개발연구는 기초나 응용연구 또는 실제 경험에서 얻은 지식을 바탕으로 새로운 제품 또는 공정을 만들거나 기존 제품 또는 공정을 개선하기 위해 추가적으로 지식을 생산하는 체계적 작업을 의미한다. 신제품이나 신공정의 개발도 R&D의 개발연구라고 볼 수 있다.

[표 2-1] OECD Frascati Manual(2015)의 R&D 단계 구분

기초 연구	· 실제 문제에 적용하거나 경제 및 사회적으로 이익을 얻는 것을 목적으로 하지 않음 · 새로운 지식을 습득하기 위한 실험적·이론적 작업
응용 연구	· 실제 문제를 해결하기 위해 기초연구의 지식을 확장 · 제품, 공정, 시스템의 형태로 지적 재산으로 보호됨
개발 연구	· 기초 및응용연구, 실제 경험에서 얻은 지식을 바탕으로 해 신제품 또는 신공정을 만들거나, 기존 제품 및 공정을 개선하는 연구

기술준비도(Technology Readiness Level, TRL)도 미국 DARPA, DOE 등 R&D 부처를 비롯하여 국내외 많은 연구기관에서 R&D 단계를 판단하는 지표로 활용되고 있다. TRL은 미국 NASA에서 우주 산업의 기술투자 위험도 관리의 목적으로 1989년 최초로 도입했으며, 총 9단계로 구분된다(표 2-2).

[표 2-2] TRL 단계별 정의

단계	정의	구분
1	기초 이론/실험	기초연구 단계
2	실용 목적의 아이디어, 특허 등 개념 정립	
3	실험실 규모의 기본성능 검증	실험 단계
4	실험실 규모의 소재/부품/시스템 핵심성능 평가	
5	확정된 소재/부품/시스템 시작품 제작 및 성능 평가	시작품 단계
6	파일롯 규모 시작품 제작 및 성능 평가	
7	신뢰성평가 및 수요기업 평가	제품화 단계
8	시제품 인증 및 표준화	
9	사업화	사업화

*NASA, 산업통상자원부 정의를 재정리

R&D 투자 주체에 따른 구분은 크게 정부 부문, 기업 부문, 비영리 부문으로 구분한다. 정부와 기업, 비영리 부문에서 수행하는 R&D의 총 집합을 국가 R&D라고 할 수 있다. 한 국가에서 수행되는 R&D의 주체가 이렇게 구분되는 가장 기본적인 이론적 배경은 시장의 실패이다. R&D의 사회적 한계 편익(marginal social benefit)이 사적 한계편익(marginal private benefit)보다 크고 위험부담과 불확실성이 높으므로 기업 R&D는 사회적으로 필요한 충분한 투자를 하지 못한다. 따라서 정부, 비영리 등 공공 부문의 투자가 동반된다.

나. 에너지 R&D 범위

에너지 R&D는 OECD R&D 정의에 따라 기초 연구(basic research), 응용 연구(applied research), 개발 연구(experimental development)를 포함하는데, 국제에너지기구(IEA, International Energy Agency)는 실증(demonstration)까지 RD&D로 R&D 사업의 개념을 확장하여 사용하고 있다. 우리나라는 IEA보다 에너지 R&D의 범주를 더 넓게 보고 실증 이후의 인증, 표준과 기반조성 성격의 사업까지도 에너지 R&D 범주 안에서 다룬다.

에너지 R&D에서 다루는 '에너지'의 범위를 IEA는 다음과 같이 정의한다. 에너지의 추출, 변환, 생산, 수송, 배분, 조정 및 사용 등 공급에서 소비까지 전 밸류체인을 포함하는 개념이다. 1차 에너지, 2차 에너지 및 최종에너지와 소비자 서비스 부문을 모두 포함한다. 에너지기술 분류는 IEA 가이드에 따라 크게 7개 부문으로 구분된다. 에너지효율, 화석연료, 재생에너지, 핵분열 및 핵융합, 수소 및 연료전지, 기타 발전 기술 및 저장 기술, 그 외 융합 기술 및 기초연구로 구분된다.

본 연구에서는 OECD와 IEA의 에너지 R&D 정의를 따르되, 우리나라 에너지 R&D와 연관된 다양한 성격의 사업을 분석대상으로 선정하였다. 분야별로 보면 ESS, 자원순환, 가스터빈, 스마트그리드, 신재생, 수요관리, 원자력, 자원개발, 전력, 순환자원이용, 청정화력 분야로 IEA 에너지 기술 7대 분류안에 포함되는 분야이다. 사업성격별로 보면 기술개발, 실증, 표준 및 인증, 국제공동연구 사업이다.

다. 효율성 이론

(1) 방법론의 발전

경제학적 관점에서 비효율성은 1950년경 생산최대화, 비용최소화, 이윤최대화와 같은 최적화 문제의 실패로 연구되었다. 대표적 학자인 Koopmans(1951)은 다른 산출의 감소나 투입의 증가없이 산출을 증가시킬 수 없거나, 투입을 감소시킬 수 없을 때를 효율적인 상태로 정의하였다. 이 개념은 후생경제학에서의 파레토(Pareto) 효율과 유사하여 경제학에서는 효율적으로 될 조건을 파레토-쿱프만(Pareto-Koopmans) 효율성 조건이라고 한다.

파레토-쿱프만(Pareto-Koopmans) 효율성 조건의 개념은 다음과 같다. 투입물이 고정된 상황에서 산출물 생산의 효율성을 도출하는 경우 생산을 결정하는 의사결정단위(decision making unit, DMU)의 효율성 지수는 다음과 같이 정의된다.

이때, 어떤 DMU를 상첨자 k로 표현해, x_n^k은 DMU가 사용한 n번째 투입물, y_m^k은 DMU의 m번째 산출물 생산량을 나타낸다.

$$\max_{(\theta_V, \lambda^1, \cdots, \lambda^K)} \theta_V$$
$$s.t.\ \theta_V y_m^j \le \sum_{k=1}^{K} \lambda^k y_m^k,\ m = 1, \cdots, M,\ \sum_{k=1}^{K} \lambda^k x_n^k \le x_n^j,\ n = 1, \cdots, N,$$
$$\sum_{k=1}^{K} \lambda^k = 1,\ \lambda^k \ge 0, k = 1, \cdots, K$$

이 선형계획모형에서 선택변수는 $(\theta_V, \lambda^1, \cdots, \lambda^K)$의 K+1개이고, 목적함수는 θ_V 자체이다. 이 때 $\theta_V = 1, y_m^j = \sum_{k=1}^{K} \lambda^k y_m^k, \sum_{k=1}^{K} \lambda^k x_n^k = x_n^j$의 조건이 모두 충족하면 더 이상 산출물을 늘려주거나 투입물을 줄여주지 않아도 되는 완전한 의미의 기술효율성을 갖게 되는데, 이 조건이 파레토-쿱프만(Pareto-Koopmans) 효율성 조건이다(권오상, 2019).

Debreu(1957)은 자원활용계수(coefficient of resource utiliation)와 방사척도(radial measure)로 효율성의 개념을 제시했고, Shephard(1953)은 거리함수의 개념을 제시해 효율성 측정 이론의 근거를 제시했다.

경제학적 관점에서 효율성 분야의 가장 중요한 선구적인 Farrell(1957)의 연구이다. Farrell(1957)은 선형계획법을 이용해 실제 미국 각 주별 농업 생산의 비효율성을 실증적으로 측정하였다. 이 연구는 생산가능집합, 볼록성, 자유가처분성, 비율모형, 배분적 효율성과 기술적 효율성 등 효율성 연구의 핵심에 되는 많은 개념들을 제시했다.

Charnes, Cooper and Rhodes(1978)는 미국 공립학교 특수교육프로그램에 대한 평가문제를 다루는 연구에서 Farrell(1957)이 제시한 효율성의 개념을 도입했다. 방법론적으로는 Koopmans(1951)이 제시한 선형계획법(linear programming, LP) 기반의 활동분석(activity analysis)를 결합하여 현재 CCR 모형으로 불리는 선형계획법 기반의 DEA(data envelopment analysis) 모형이 만들어지게 되었다. 경영과학 분야에서는 Färe and Lovell(1978)이 선형계획법을 이용해 파레토-쿱프만 비효율성을

측정하는 기법을 제시했다. 이후 Banker, Charnes and Cooper(1984)는 CCR 모형의 불변규모수익 조건을 완화한 가변규모수익 모형은 BCC 모형을 제시하였다.

(2) 기초 개념

효율성 측정에서는 이론적으로 가능한 최대 산출량 혹은 최소 투입량의 수준을 파악할 수 있는 '생산가능집합(production possibility set)'이 가장 중요한 이론적 개념이다. 생산가능집합은 생산가능(producible)한 투입 및 산출의 조합을 모두 모아 놓은 집합이다.

생산가능집합은 투입요구집합(input requirement set), 산출가능집합(output possibility set)으로도 표현된다. 투입요구집합은 특정한 수준의 산출물을 가능하도록 하는 모든 투입량들의 집합이고, 산출가능집합은 특정한 수준의 투입량으로 산출가능한 산출물들의 집합이다. 따라서 생산가능집합은 모든 산출에 대한 투입요구집합을 더한 것 혹은 모든 투입에 대한 산출가능집합을 더한 것으로 표현할 수 있다. 1 투입 - 1 산출의 경우 생산가능집합, 투입요구집합, 산출가능집합의 개념은 그림 2-1과 같다.

[그림 2-1] 생산가능집합의 의미

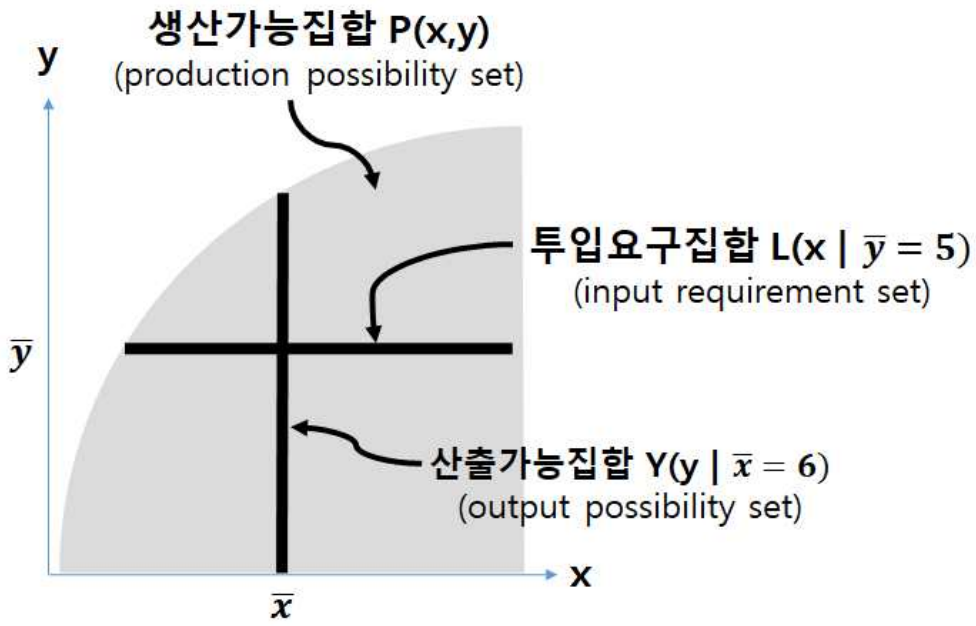


그림 2-1에서 회색으로 칠해진 영역은 투입과 산출의 모든 조합으로 생산이 가능한 것으로 생산가능집합 P(x,y)이다. 산출의 수준이 특정 값 $\bar{y}$=5로 고정되어 있다면 이 산출 수준을 달성할 수 있는 모든 투입 값을 모든 데이터가 투입요구집합 L(x|$\bar{y}$)로 그림 2-1의 굵은 가로 선이다. 산출가능집합 Y(y|$\bar{x}$)은 그림 2-1에서 굵은 세로 선으로 $\bar{x}$=6 일 때 생산이 가능한 산출들의 집합을 의미한다.

생산가능집합은 몇 가지 기본성질, 공리(axiom)를 가진다. 자유가처분성(free disposability), 볼록성(convexity), 불변규모수익(Constant Returns to Scale, CRS), 가변규모수익(Variable

Returns to Scale, VRS) 등 이다. 불변규모수익이 성립하지 않는 경우, 규모수익증가(Increasing Returns to Scale, IRS), 규모수익감소(Decreasing Returns to Scale, DRS)이 존재한다는 것을 의미한다. 규모수익증가는 투입이 1% 증가하면 산출이 1% 이상 늘어나고, 규모수익감소는 투입이 1% 증가하면 산출이 1% 이하로 늘어난다. 따라서 규모수익증가는 투입을 확대하면 추가적 편익을 얻고, 규모수익감소는 투입을 축소하면 편익을 얻는다. 불변규모수익을 가정하지 않고, 자유가처분성과 볼록성만을 가정하면 그림 2-2와 같은 생산가능집합이 된다.

[그림 2-2] 가변규모수익 생산가능집합

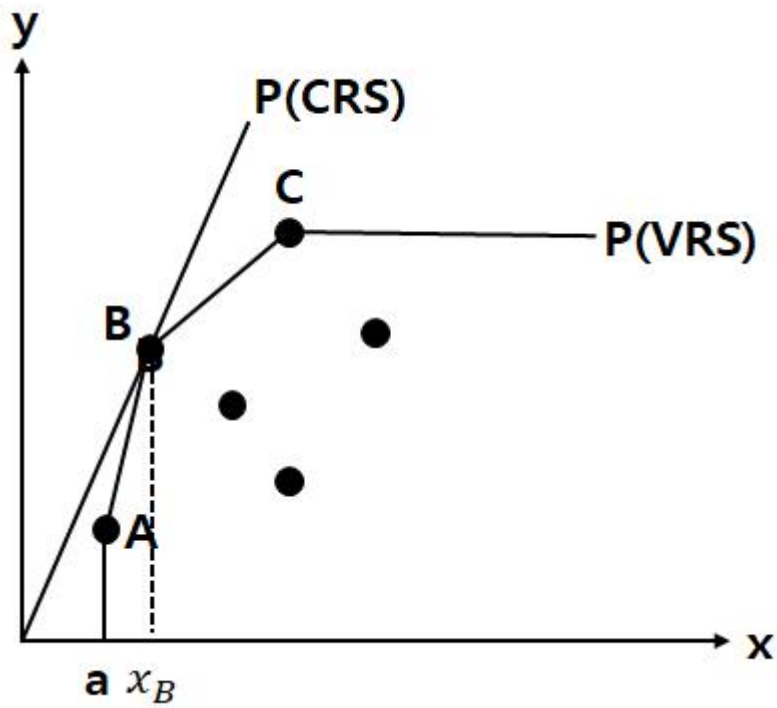
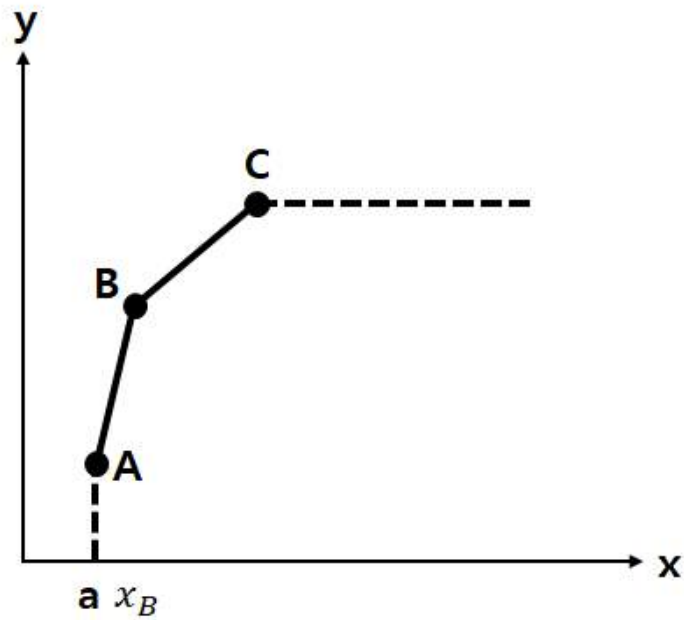


그림 2-2에서 a보다 크고 x_B보다 작은 투입규모에서는 규모를 늘릴 때 산출이 더 많은 비율로 증가하게 되므로 평균생산성이 증가하게 된다. 이 때 규모수익증가가 있다고 한다. 반면, x_B보다 큰 투입규모에서는 규모가 증가할수록 산출이 더 적은 비율로 증가하게 되어 규모수익감소가 존재한다.

생산가능집합 가장 바깥쪽 경계를 생산변경(production frontier)이라고 하며 이 변경에 있는 관측치들은 효율적인 상태에 있다고 한다. 이 때 효율적인 상태는 강효율적(strongly efficient)인 점과 약효율적(weakly efficient)인 점으로 구분된다.

강효율적인 점들은 생산변경에 존재하면서 더 이상 투입을 줄이거나 산출을 늘릴 여지가 없는 파레토 효율(Pareto efficient)적인 점들다. 약효율적인 점들은 생산변경에 존재하지만 투입물이나 산출물을 줄일 수 있는 여지가 있는 점이다. 그림 2-3에서 실선은 강효율적, 점선은 약효율적 상태이다. 생산가능집합에 속하지만 생산변경에 놓여있지 않은 점들은 비효율적이므로, 투입을 더 늘리지 않으면서 생산변경에 이를 때까지 산출을 늘릴 수 있다. 또한, 산출을 줄이지 않으면 생산변경에 이를 때까지 투입을 줄이는 것이 가능하다.

[그림 2-3] 약효율과 강효율



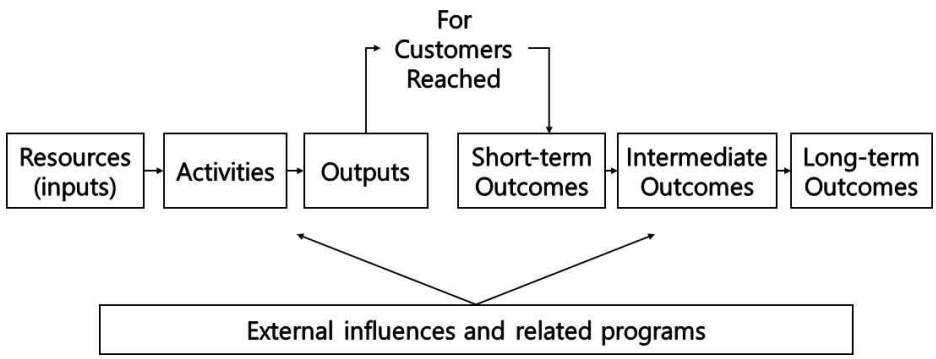
제 2 절 R&D 논리모형 및 효율성 변수

가. R&D 논리 모형(logic model)

일반적인 정부 재정 사업과 달리 R&D는 산출 변수가 불확실하고 광범위한 특성을 갖는다. 따라서 R&D 효율성의 평가는 R&D 특성에 적합하게 구조화 된 논리모형(logic model)의 설계가 선행이 될 필요가 있다. R&D의 논리모형은 투입과 산출의 틀 안에서 연구목적과 사용 가능한 데이터의 종류에 따라 다르게 구성된다.

Garcia-Valderrama and Mulero-Mendigorri(2005)은 투입, 과정, 산출, 결과의 4 단계로 설계했다. Brown and Svenson(1998)은 투입, 과정, 산출, 결과, 성과의 5 단계로 구분했다. McLaughlin and Jordan(1999)은 투입, 활동, 산출, 단기결과, 중기결과, 장기결과의 6 단계로 논리모형을 구성했다.

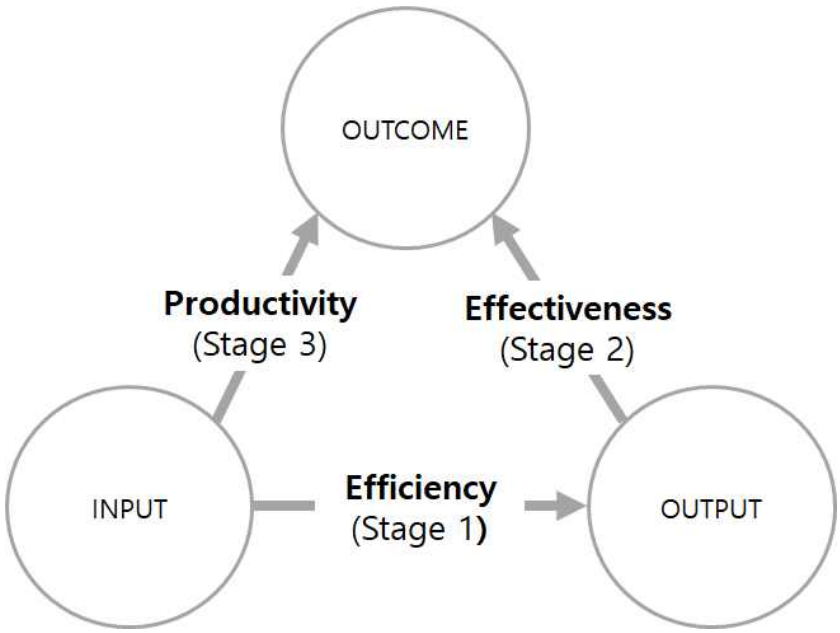
[그림 2-4] MacLaughlin and Jordan(1999)의 논리모형



Keh and Chu(2003, 2006)는 제조 및 서비스 프로세스의 효율성 평가를 위해 3-STAGE 모형을 사용했다. 이 모형은 특정 생산활동을 투입요소와 중간 산출요소, 최종 산출요소의 3단계로 나누고 이들 간의 전환단계를 각각 효율성(efficiency), 효과성(effectiveness), 생산성(productivity)으로 구분하였다. 이 접근법은 제조 및 서비스 프로세스의 성과 분석을 위한 선행연구에서 타당성 및 유용성이 입증되었으며, 국내 R&D 효율성 분석 연구에서도 활용된 바 있다(전익진, 2015).

3-STAGE 모형의 1단계는 투입물(input)이 직접적 산출물(output)으로 전환되는 비율인 효율성(efficiency)을 측정한다. 2단계에서는 직접적 산출물(output)이 궁극적 결과물(outcome)로 전환되는 비율인 효과성(effectiveness)을 측정한다. 3단계는 투입물(input)이 궁극적 결과물(outcome)로 전환되는 비율인 생산성(productivity)을 측정한다.

[그림 2-5] 3-STAGE 모형



출처: Keh and Chu(2003, 2006) 재구성

나. R&D 투입-산출 변수

R&D 효율성 평가 변수는 투입변수와 산출변수로 구분된다. R&D 투입변수는 연구개발 활동을 위해 사용되는 요소를 의미한다. 연구비, 연구인력, 연구장비, 연구시설, 시간, 지식스톡 등이 있다. 투입변수는 산출변수에 비하면 비교적 정량화가 쉽고 명확한 정의가 가능한 편이다. 고영선(2004)은 투입변수 중에서도 연구자의 노력, 창의성, 연구환경, 제도 등 측정이 어려운 요소들도 존재한다고 지적했다.

박승욱 외(2001)과 조용곤 외(2005)에서는 R&D 산출변수는 지식과 같은 무형의 형태가 많아서 투입변수에 비해 측정이 어렵다고 보았다. R&D 산출변수의 파급효과는 광범위하고 투입과 시차(time lag)가 존재하므로 측정이 까다로우며 산출이 단기 내 발생하기도 하지만 10년 이상에 걸쳐 장기적 파급효과를 내기도 한다고 했다.

R&D 투입변수와 산출변수는 연구목적에 따라 범위와 종류가 매우 다양하게 나타난다. Brown and Svenson(1998)은 투입변수로 R&D 투자와 인프라, 인력을 사용하고 과정 지표로 R&D 계획 수립과 실행, 산출변수로 R&D 계획 및 예산의 목표 달성도, R&D 노력의 직접적 결과를 사용하였다. Hagedoorn and Cloodt(2003)은 투입변수로 R&D 투자액, 산출변수로 특허, 결과변수로 신제품 개발 건수 등을 설정했다. 김주훈(2007)은 지출된 R&D 비용을 투입 지표로 두고 산출 지표로는 특허를 사용했다.

R&D 산출변수는 크게 과학기술적 산출물, 경제적 성과물로 이

분화 해 사용하는 연구 사례가 많다. Cohen and Levinthal(1989)은 R&D 성과를 연구과정에서 창출되는 특허, 실용신안, 논문 등 구체적인 기술적 결과물과 기술적 결과물을 활용한 기술이전 및 사업화, 매출이익, 기술판매 수입 등의 경제적 성과로 구분했다. Brown and Svenson(1988)은 특허, 논문, 시제품 개발 등 단기적 산출물을 1차 연구성과, 경제적 가치를 가지는 비용 절감, 매출액 증대, 제품 개선 등 장기적 결과물을 2차 연구성과로 구분하였다. 이달환(1990)은 산출변수를 직접적인 기술적 성과와 기술적 성과를 이용하는 경제적 성과로 구분하였다.

이 외에도 R&D 산출변수는 다양한 형태로 구분되어 사용된다. 최석식(2002)은 산출변수를 이론적, 제도적, 활용적 형태의 3가지로 구분했다. 이론적 형태에는 연구보고서, 발명, 각종 메모, 기술문서, 설계도 등이 있으며, 제도적 형태로는 학술논문, 특허, 컴퓨터 프로그램 등이 있다. 활용적 형태로는 기술이전, 상품 및 서비스 판매, 벤처창업 등이 있다. Fahrenkreg et al. (2002)은 R&D 산출변수를 산출(output), 결과(outcome), 영향(impact)으로 구분했다. 영향은 다시 과학기술적 영향, 경제적 영향, 사회적 영향, 정책적 영향으로 구분된다.

이상 선행연구에서 검토한 R&D 논리모형과 변수 검토를 토대로 본 연구에서는 Keh and Chu(2003, 2006)의 3-STAGE 모형을 사용한다. 3-STAGE 모형은 산출변수를 형식적·기술적 성과이며 중간재적 산물인 산출(output) 변수와 질적·경제적 성과이며 궁극적 산물인 결과(outcome) 변수로 구분한다.

[표 2-3] Fahrenkreg et al.(2002)의 R&D 산출변수 구분

구분	내용
산출 (output)	· 형식적, 직접적 성과 · 논문, 특허, 제품, 공정, 인력, 과학적 지식 등
결과 (outcome)	· 질적, 간접적 성과 · 기술사업화, 이익률, 시장 점유율, 매출액, 투자비 회수, 원가절감 등
영향 (impact)	· 장기적 파급효과 · 유·무형의 경제적· 사회·문화적 성과(삶의 질 및 환경개선, 민간의 R&D 투자 유인 확대 등)

제 3 장 정부 에너지 R&D 평가 현황

제 1 절 최근 주요 사업 평가 결과

가. 정부 에너지 R&D 사업 개요

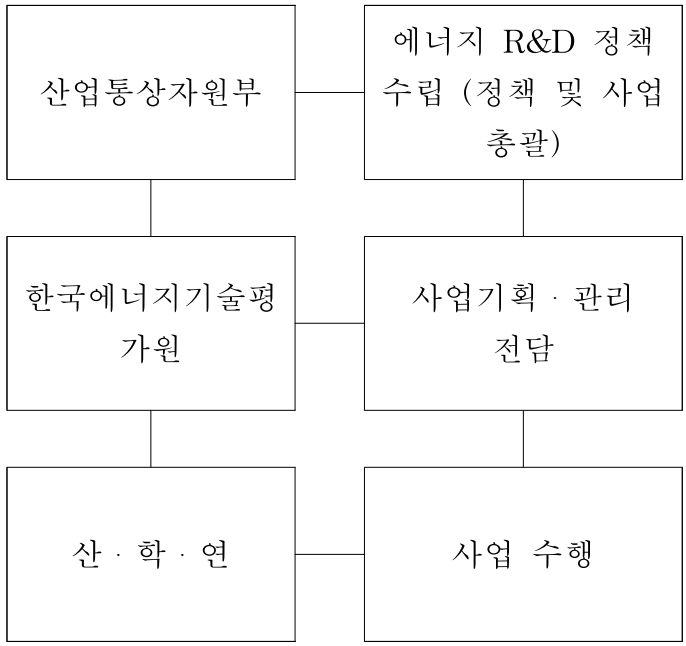
정부 에너지 R&D 사업은 기후변화 등 에너지 환경변화에 대응하고 에너지산업의 신성장동력화 추진을 목적으로 하는 사업이다. 정부 에너지 R&D사업의 예산 규모는 1988년 7.2억원에서 2017년 7,631억원, 2023년 1.2조원으로 증가하였다.

정부 에너지 R&D 사업의 분야는 에너지수요관리, 신재생에너지, 원자력, 전력, 자원순환, 자원개발, 수소, ESS 등으로 구분한다.

[표 3-1] 정부 에너지 R&D 사업 연간 예산 및 사업 수

연도	2019년	2020년	2021년	2022년	2023년
예산 (원)	7,697억	9,163억	9,506억	1조 2,460억	1조 2,065억

[표 3-2] 정부 에너지 R&D 사업 개요

목적	· 에너지, 에너지-산업 융합 등 에너지 신산업 및 신시장을 창출하는 분야의 기술혁신을 위한 R&D 사업
내용	· 에너지공급 및 수요 기술개발, 기반조성(인프라, 인력양성), 실증, 사업화 등
사업 개수	· 기술개발사업 93개, 기반조성 11개로 총 104개 (2023년 기준)
추진 체계	

나. 사업별 평가 결과

정부 에너지 R&D 사업은 연구성과법 및 관련 제도의 따라 평가가 이루어 진다. 표 3-3은 2019년에서 2022년 사이 평가를 받은 실적이 있는 7개 사업의 평가 점수이다. 평가 결과는 국가과학기술지식정보서비스(NTIS) 연구평가정보 자료이다.

[표 3-3] 정부 에너지 R&D 사업 평가 현황

순위	사업명	자체평가	상위평가	평가연도
1	ESS기술개발	매우 우수 (94)	보통 (79.4)	2019
2	스마트그리드 핵심기술개발	매우 우수 (92.4)	보통 (73.1)	2021
3	청정화력핵 심기술개발	우수 (92)	-	2022
4	신재생에너지 핵심기술개발	우수 (88.9)	우수 (88.9)	2021
5	자원개발기술개발	우수 (87.4)	-	2021
6	에너지자원순환기술개발	보통 (83.2점)	보통 (83.2점)	2021
7	원자력 핵심기술개발	보통 (73.8)	-	2022
8	에너지수요관리 핵심기술개발	보통 (70.7)	-	2022

(1) ESS기술개발사업

ESS기술개발사업은 2019년 자체평가 결과 매우 우수(94점), 상위평가 결과 보통(79.4점)을 받았다. 자체평가보다 상위평가 결과 점수가 낮아졌다. 자체평가 세부 평가지표는 지표별 달성 정도와 전문가 평가에 의한 우수성에 대한 판단 지표로 구성되어 있다.

[표 3-4] ESS기술개발사업 자체평가

부문		평가지표	배점	평가 점수	부문별 소계
성과목표 달성도		계획된 성과목표는 달성하였는가?	30	30.0	30.0
성과 우수성 1	종합적 연구성과	성과분야별 사업의 성과 및 대표성과는 우수한가?	30	24.0	44.0
	대표성과		20	20.0	
성과 우수성2		종합적 성과분석의 결과, 사업의 효과성이 입증되었는가?	20	20.0	20.0
가점1		사업추진으로 인한 대표적인 우수성과물	2	1.0	1.0
가점2		일자리 지표 설정 비중	1	-	
가점3		과제평가 표준지침 이행도	2	-	
감점1		과거 평가결과의 활용	△3	-	-1.0
감점2		부처 간 역할분담 및 추진체계의 구축(다부처 사업)	△1	-	
감점3		과제 성과지표에 논문 건수 활용	△1	-1.0	

(2) 에너지자원순환기술개발사업

에너지자원순환기술개발사업은 2021년으로 자체평가 결과 보통(83.2점), 상위평가 결과 보통(83.2점)을 받았다. 이 사업은 자체평가와 상위평가 결과가 동일하게 나타났으며, 자체평가의 세부지표는 ESS기술개발사업과 동일했다.

[표 3-5] 에너지자원순환기술개발사업 자체평가

부문		평가지표	배점	평가점수	부문별 소계
성과목표 달성도		계획된 성과목표는 달성하였는가?	30	30.0	30.0
성과 우수성 1	종합적 연구성과	성과분야별 사업의 성과 및 대표성과는 우수한가?	30	18.2	34.2
	대표성과		20	16.0	
성과 우수성2		종합적 성과분석의 결과, 사업의 효과성이 입증되었는가?	20	16.0	16.0
가점1		사업추진으로 인한 대표적인 우수성과물	2	0.0	3.0
가점2		일자리 지표 설정 비중	1	1.0	
가점3		과제평가 표준지침 이행도	2	2.0	
감점1		과거 평가결과의 활용	△3	0.0	0.0
감점2		부처 간 역할분담 및 추진체계의 구축 (다부처 사업)	△1	-	
감점3		과제 성과지표에 논문 건수 활용	△1	0.0	

(3) 스마트그리드핵심기술개발사업

스마트그리드핵심기술개발사업은 2019년 자체평가 결과 매우 우수(92.4), 상위평가 결과 보통(73.1점)을 받았다. 자체평가 보다 상위평가에서 점수가 낮아졌다. 자체평가의 세부 평가지표는 상기 2개 사업과 동일했다.

[표 3-6]스마트그리드핵심기술개발사업 자체평가

부문		평가지표	배점	평가점수	부문별 소계
성과목표 달성도		계획된 성과목표는 달성하였는가?	30	27.6	27.6
성과 우수성 1	종합적 연구성과	성과분야별 사업의 성과 및 대표성과는 우수한가?	30	22.8	42.8
	대표성과		20	20.0	
성과 우수성2		종합적 성과분석의 결과, 사업의 효과성이 입증되었는가?	20	20.0	20.0
가점1		사업추진으로 인한 대표적인 우수성과물	2	2.0	3.0
가점2		일자리 지표 설정 비중	1	1.0	
가점3		과제평가 표준지침 이행도	2	0.0	
감점1		과거 평가결과의 활용	△3	0.0	-1.0
감점2		부처 간 역할분담 및 추진체계의 구축 (다부처 사업)	△1	0.0	
감점3		과제 성과지표에 논문 건수 활용	△1	-1.0	

(4) 신재생에너지핵심기술개발사업

신재생에너지핵심기술개발사업은 2021년도 자체평가 결과 우수(88.9), 상위평가 결과 우수(88.9점)을 받았다. 상위평가와 자체평가 점수는 동일했다. 상기의 사업들과 자체평가 세부 평가지표도 동일했다.

[표 3-7] 신재생에너지핵심기술개발사업 자체평가

부문		평가지표	배점	평가점수	부문별 소계
성과목표 달성도		계획된 성과목표는 달성하였는가?	30	29.7	29.7
성과 우수성 1	종합적 연구성과	성과분야별 사업의 성과 및 대표성과는 우수한가?	30	22.4	41.4
	대표성과		20	19.0	
성과 우수성2		종합적 성과분석의 결과, 사업의 효과성이 입증되었는가?	20	15.0	15.0
가점1		사업추진으로 인한 대표적인 우수성과물	2	2.0	2.8
가점2		일자리 지표 설정 비중	1	0.8	
가점3		과제평가 표준지침 이행도	2	0.0	
감점1		과거 평가결과의 활용	△3	0.0	0.0
감점2		부처 간 역할분담 및 추진체계의 구축 (다부처 사업)	△1	-	
감점3		과제 성과지표에 논문 건수 활용	△1	0.0	

(5) 에너지수요관리핵심기술개발사업

에너지수요관리핵심기술개발사업은 2022년 자체평가 결과 보통(79.7)을 받았다. 세부평가 지표는 상기의 2021년 이전 평가 사업들과 비교했을 때 전반적인 체계에 많은 변화가 있다.

[표 3-8] 에너지수요관리핵심기술개발사업 자체평가

평가부문	배점범위	평가지표	배점	평가점수	부문별 소계
추진과정	20-40	투입	-	-	20.0
		과제관리	10	100	
		위험요소 관리	-	-	
		수혜자	-	-	
		환류	10	100	
성과	50-70	성과	70	39.7	39.7
환류계획	10	성과분석환류 계획구체성	10	10.0	10
가점	2	사업추진으로 인한 우수성과물	2	1.0	10
감점	△1	부처간 역할분담 및 추진체계 구축	해당없음	해당 없음	

(6) 원자력핵심기술개발사업

원자력핵심기술개발사업은 2022년 자체평가 결과 보통(73.8)을 받았다. 세부평가지표는 2021년 이전 평가 사업들과 비교했을 때 전반적인 체계가 달라졌고, 2022년 평가 사업과는 동일한 지표체계를 사용했다.

[표 3-9] 원자력핵심기술개발사업 자체평가

평가부문	배점범위	평가지표	배점	평가점수	부문별 소계
추진과정	20-40	투입	-	-	20.0
		과제관리	10	100	
		위험요소 관리	-	-	
		수혜자	-	-	
		환류	10	100	
성과	50-70	성과	70	44.8	44.8
환류계획	10	성과분석환류 계획구체성	10	9.0	9.0
가점	2	사업추진으로 인한 우수성과물	2	-	-
감점	△1	부처간 역할분담 및 추진체계 구축	△1	-	

(7) 자원개발기술개발사업

자원개발기술개발사업은 2020년 자체평가 결과 우수(87.4)을 받았다. 세부 평가지표는 2021년 사업의 자체평가 세부지표와 동일했다.

[표 3-10] 자원개발기술개발사업 자체평가

부문		평가지표	배점	평가점수	부문별 소계
성과목표 달성도		계획된 성과목표는 달성하였는가?	30	27.0	27.0
성과 우수성 1	종합적 연구성과	성과분야별 사업의 성과 및 대표성과는 우수한가?	30	20.6	40.6
	대표성과		20	20.0	
성과 우수성2		종합적 성과분석의 결과, 사업의 효과성이 입증되었는가?	20	20.0	20.0
가점1		사업추진으로 인한 대표적인 우수성과물	2	1.0	1.8
가점2		일자리 지표 설정 비중	1	0.8	
가점3		과제평가 표준지침 이행도	2	0.0	
감점1		과거 평가결과의 활용	△3	△1.0	△2.0
감점2		부처 간 역할분담 및 추진체계의 구축 (다부처 사업)	△1	0.0	
감점3		과제 성과지표에 논문 건수 활용	△1	△1.0	

제 2 절 현행 평가제도 및 한계점

가. 현행 평가 제도 검토

우리나라 정부 R&D 사업은 과학기술기본법, 국가연구개발사업 등의 성과평가 및 성과관리에 관한 법률(연구성과법)에 근거하여 성과 평가가 이루어지고 있다. 최근까지도 제도가 바뀌어 오고 있지만 해당 R&D 사업을 소관하는 부처의 자체평가와 정부 R&D 사업의 성과평가를 총괄하는 부처의 평가로 구분된다.

정부 R&D 평가 제도는 2005년에 수립된 제1차 국가연구개발 성과평가 기본계획(2006~2010)을 근간으로 하고 있다. 이후 2차, 3차, 4차에 걸쳐 5년을 주기로 국가연구개발의 성과 평가하는 방식을 고도화해 왔다. 그간 추진되어 온 제도 개선 방안은 주로, R&D 사업의 평가지표 설정 문제, 연구자에게 평가 부담을 덜어주고 책임감은 높여 우수성과를 견인할 수 있는 제도, 환류 방식 등에 내용들이다.

국가연구개발사업의 평가 대상은 사업과 기관, 과제로 총 3개로 구분된다(표 3-11). 사업과 연구기관인 경우는 피평가자의 자체평가를 먼저 시행한 후, 과학기술정보통신부의 상위평가를 받는다. 국가 중요 정책 방향에 따른 주요 사업은 특정 평가를 시행한다. 과제평가는 사업평가와는 다른 형태로 진행된다. 사업평가는 소관부처가 과학기술정보통신부의 평가를 받는 형태이나, 개별과제의 평가는 소관부처가 과제의 선정부터 종료까지 평가를 주관한다.

[표 3-11] 국가연구개발사업 평가 대상 및 유형

평가 대상	평가 유형
국가연구개발사업	자체평가, 상위평가, 특정평가
연구기관	자체평가, 상위평가
연구개발과제평가	과제평가

출처: 제4차 국가연구개발 성과평가 기본계획

[표 3-12] 국가연구개발사업 평가대상별 목적 및 단계

평가대상	목적	단계
사업평가	· 사업 추진실적을 점검, 사업 개선, R&D 예산 배분 및 조정	· 부처가 수립한 성과목표 및 지표 점검, 목표 달성도, 과정의 적절성, 성과의 우수성에 대한 중간/종료평가, 성과의 활용실적 등에 대한 추적 평가
기관평가	· 기관의 역할 및 책임에 따른 실적 점검 및 발전방향 제시	· 출연연에서 연구사업 및 기관운영 계획을 수립, 일정기간 후 과정의 적절성, 성과의 우수성, 결과의 영향력 등에 대한 평가 실시
과제평가	· R&D 과제의 성과 확인, 연구과정의 책임성 확보	· 연구자가 수립한 계획을 평가하여 지원할 과제 선정, 목표 달성도, 과정의 적절성, 성과의 우수성 등에 대한 중간/최종평가, 성과의 활용실적 등에 대한 추적평가

출처: 제4차 국가연구개발 성과평가 기본계획

평가의 단계 구조는 기획 단계, 관리 단계, 평가 단계, 환류 단계로 총 4단계로 구성된다(표3-13). 기획 단계는 성과목표 및 지표를 사전에 설정하는 단계이다. 관리 단계에서는 성과목표 및 지표에 따른 관리를 수행한다. 평가 단계에서는 성과 목표 달성도를 평가하고, 환류 단계에서는 평가 결과를 차기 사업의 개선과 예산 조정에 반영한다. 현행 국가연구개발 성과평가는 연구수행 주체가 사전에 성과목표와 지표를 제시하고, 평가 단계에서는 제시한 목표를 달성했는지 여부를 평가하는 것을 원칙으로 한다.

[표 3-13] 국가연구개발사업 성과평가 단계 구조

기획단계	관리단계	평가단계	환류단계
성과목표/지표 사전설정	성과목표/지표에 따른 관리	성과목표 달성도 평가	사업개선 및 예산조정 반영

출처: 제4차 국가연구개발 성과평가 기본계획

나. 한계점

본 연구에서는 Allen(1988), Liu et al.(2017), Guan and Chen(2010), Hollanders and Celikel-Esser(2007)가 지적한 바와 같이 R&D 효율성의 관점에서 현행 우리나라 R&D 평가 제도의 한계점을 도출하였다.

첫 번째는 전문가 평가 방식이 가지고 있는 한계다. 사업의 목표 지표는 정량적으로 계산되고 최종 사업의 평가 점수는 이 지표가 적정하게 달성되었는지 전문가 평가 점수로 결정이 된다. 전문가 평가 제도는 평가의 전문성과 유연성을 확보해 R&D 과제의 질적인 측면을 평가할 수 있다는 장점을 가지고 있다(이찬구, 2010).

그러나 다수의 연구에서 전문가 평가 제도가 가지는 한계점을 지적하기도 한다. Kostoff(1955), Harding(2002)은 소수의 전문가 그룹에 의한 평가 방식에서 발생할 수 있는 문제점을 여러가지 관점에서 제시했다. 첫째, 평가자의 편파성이다. 전문가는 좁은 전문분야로 인해 다양한 요소를 포함한 종합적 시각의 평가를 하는데 한계가 있다. 둘째, 동일 연구 집단에 대한 관대함이다. 연구개발 특성 상 새롭고 모험적인 분야의 전문가는 한정적이므로 전문가가 속한 분야의 연구사업이나 과제에 대해 관대하게 평가하는 경향이 있다. 셋째, 평가자 간 상이한 평가 및 해석 기준으로 인해 공통적 동의를 도출하기가 어렵고 평가자가 달라지는 경우 평가 결과의 차이가 발생한다.

이찬구(2010)는 평가자를 선정하는 과정에서의 문제점을 지적했

다. 특정 분야의 연구자 수가 한정되어 평가자 선정에 제약이 존재하며, 다년도에 걸쳐 수행되는 사업의 경우 매번 평가자가 교체되어 일관된 평가 불가능하다고 지적했다. 또한, 평가자들은 짧은 평가 시간으로 인해 충분한 검토에 다른 판단을 내리지 못하게 된다고 주장했다.

두 번째 한계점은 효율성에 대한 평가가 미흡하다는 점이다. R&D 사업의 효율성이란 다수의 선행연구에서 정의한 바 협의로는 최소한의 투입물 대비 최대한의 산출물을 얻는 비율이며, 광의로는 최소한의 자원으로 최대의 목표를 달성하는 효과성이다(엄익천 외, 2019, 이장재, 1996, 박상범 외, 2014). 그러나 현행 평가제도는 당초 수립된 목표 달성도 점검, 과정의 적절성 평가, 성과의 우수성 평가, 성과의 활용 등의 기대효과에 대한 평가로 운영된다.

본 연구에서는 현행 국가연구개발사업 평가제도의 이러한 한계점을 보완할 수 있는 R&D 효율성 분석 모형(4장)과 효율성 분석 결과가 정부 예산 포트폴리오에 환류될 수 있는 방법론(5장)을 제시하였다. 또한, 효율성에 영향을 미치는 요인 분석(6장)을 통해 정부 에너지 R&D 효율성 향상을 위한 시사점을 도출하였다.

제 4 장 정부 에너지 R&D의 효율성 평가

이 장에서는 정부 에너지 R&D의 효율성 평가를 위해 3-STAGE DEA 모형을 활용한다. 이 모형을 적용하면, R&D 효율성은 과학기술적 관점의 효율성과 경제적 관점의 효과성, 생산성으로 총 3개 지수로 구조화 된 분석 결과를 도출할 수 있다. 이 방법론은 단순히 효율성 순위의 도출하는 것이 아니라 다양한 관점에서 사업의 장점과 단점을 분석하고 전체 에너지 R&D 사업의 관점에서 효율성을 향상시킬 수 있는 방향성을 종합적으로 제시해 준다.

제 1 절 연구모형 설계

가. 방법론

본 연구에서는 DEA의 기본모형으로 Farrell(1957)의 효율성 개념을 도입한 Banker, Charnes and Cooper(1984)의 모형(이하 BCC)을 채택하였다. BCC 모형은 생산가능집합의 공리 중에서 불변규모수익 가정을 만족하지 않는다고 할 때, 가변규모수익을 만족하는 효율성 모형이다. Grave and Langowitz(1996), Lee et al.(2009) 등 국내외 다수 연구에서도 R&D 효율성이 불변규모수익이라는 증거가 없으므로 가변규모수익을 가정하는 것이 타당하다고 지적한 바, 본 연구에서도 가변규모수익을 가정한다.

BCC 모형은 생산가능집합에서 산출의 수준을 고정시킨 채 투입

을 최대한 줄일 수 있는 비율을 도출한 것인지, 투입을 고정하고 산출을 최대한 늘릴 수 있는 비율을 도출한 것인지에 따라 투입기준 모형과 산출기준 모형으로 구분된다. 가변규모수익을 가정한 BCC 모형은 효율성의 절대값과 순위가 투입기준인지, 산출기준인지에 따라 달라지게 된다. 일반적으로 공기업과 같이 목표 산출량이 정해진 후 비용을 최소화하는 경우에는 투입기준 모형을, 사기업처럼 최대 산출을 목적으로 하는 경우 산출기준 모형을 사용한다(이정동, 오동현, 2012). 정부 R&D 사업은 정책적으로 주어진 예산 하에서 최대의 산출을 성과관리의 목적으로 한다(송정민, 2022, Lu, 2009, Fang, 2020). 그러므로 본 연구에서는 산출기준 모형을 사용한다.

산출기준 BCC 모형에서 j번째 DMU에 대한 효율성 지표를 아래의 식과 같은 선형계획식으로 표현한다(권오상, 2019). 이때, 어떤 DMU를 상첨자 k로 표현해, x_n^k은 DMU가 사용한 n번째 투입물, y_m^k은 DMU의 m번째 산출물 생산량을 나타낸다.

$$\max_{(\theta_V, \lambda^1, \cdots, \lambda^K)} \theta_V$$

$$s.t. \theta_V y_m^j \leq \sum_{k=1}^{K} \lambda^k y_m^k,\ m = 1, \cdots, M, \sum_{k=1}^{K} \lambda^k x_n^k \leq x_n^j, n = 1, \cdots, N,$$

$$\sum_{k=1}^{K} \lambda^k = 1, \lambda^k \geq 0,\ k = 1, \cdots, K$$

선택변수는 $(\theta_V, \lambda^1, \cdots, \lambda^K)$의 K+1개, 목적함수는 θ_V 이다. 제약조건에서 $(y_1^j, \cdots, y_M^j)$와 $(x_1^j, \cdots, x_N^j)$ 값이 각 DMU의 θ_V 값을 구할 때마다 달라지므로 K개의 모든 DMU에 대해 순차적으로 풀어져야 한다.

$\sum_{k=1}^{K} \lambda^k = 1$은 생산가능집합의 가변규모수익 특성을 나타내는 제약식이다. 이 제약을 포함하지 않으면 생산가능집합은 불변규모수익의 특징을 가지고 있다. 이 때의 효율성 지표는 θ_c로 표현하다. $\sum_{k=1}^{K} \lambda^k \leq 1$은 생산가능집합의 비규모수익(Non-Increasing Returns to Scale, NIRS)을 나타내며, 이 때의 효율성 지표는 $\theta_{\ni}$로 표현한다.

이 때 산출기준 효율성 지표인 θ_V, θ_C, $\theta_{\ni}$ 등의 역수를 산출물거리함수라고 부르며, 산출물거리함수 값을 '기술효율성(technical efficiency, TE)'이라고 한다. 기술효율성을 다시 순수효율성과 규모효율성(scale efficiency, SE)의 곱으로 분할해 표현할 수 있다.

$$\text{VRS에서 기술적 효율성 } TE_V = \frac{1}{\theta_V}$$

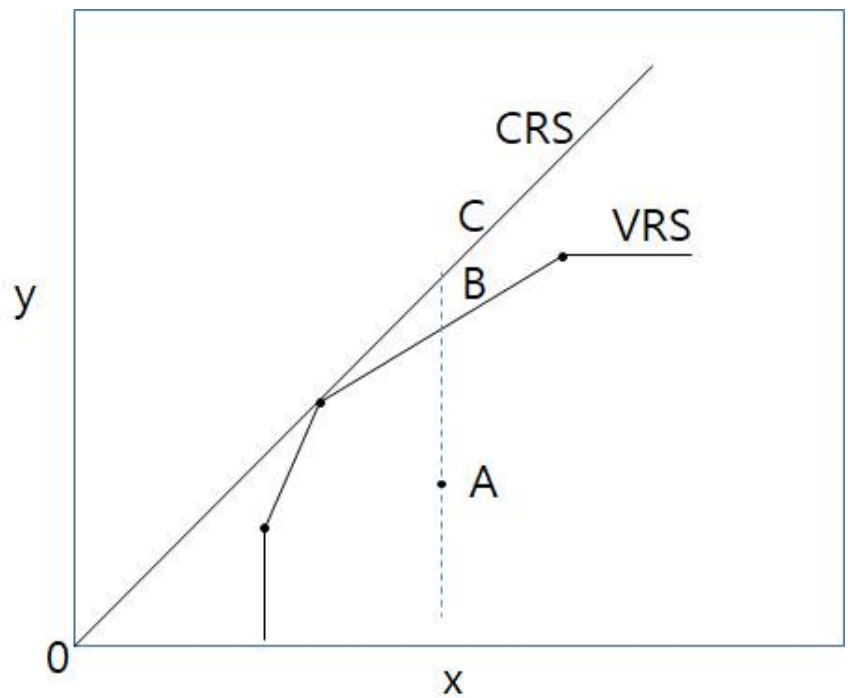
$$\text{CRS에서 기술적 효율성 } TE_C = \frac{1}{\theta_C}$$

$$\text{규모효율성 } SE = \frac{TE_C}{TE_V}$$

규모효율성은 규모수익불변을 달성하는 생산량이 최적 생산규모라는 것을 의미한다. 가변규모수익과 불변규모수익의 생산가능집합이 그림 4-1과 같이 나타난다고 할 때 생산이 점 A에서 이루어지는 경우 $TE_C = \frac{DA}{DC}$이고, $TE_V = \frac{DA}{DB}$이다. 따라서 $SE = \frac{DB}{DC}$가 되며 비효율성이 있는 경우 1보다 작은 값을 갖게 된다.

VRS> NIRS> CRS 순서로 제약 강도가 강하기 때문에 같은 효율성은 CRS일 때 가장 크게 나오고 NIRS, VRS 순서로 값이 효율성 값이 적게 나온다. 어떤 경우에는 규모수익이 다르더라도 동일한 효율성 값이 나타나기도 한다. 만약 $\theta_C = \theta_\ni = \theta_V$이면 규모수익불변(CRS) 특성을 가진 것이고, $\theta_C = \theta_\ni > \theta_V$이면 규모수익증가(IRS), $\theta_C > \theta_\ni = \theta_V$이면 규모수익감소(DRS) 특성을 가진다.

[그림 4-1] 순수 기술효율성과 규모효율성

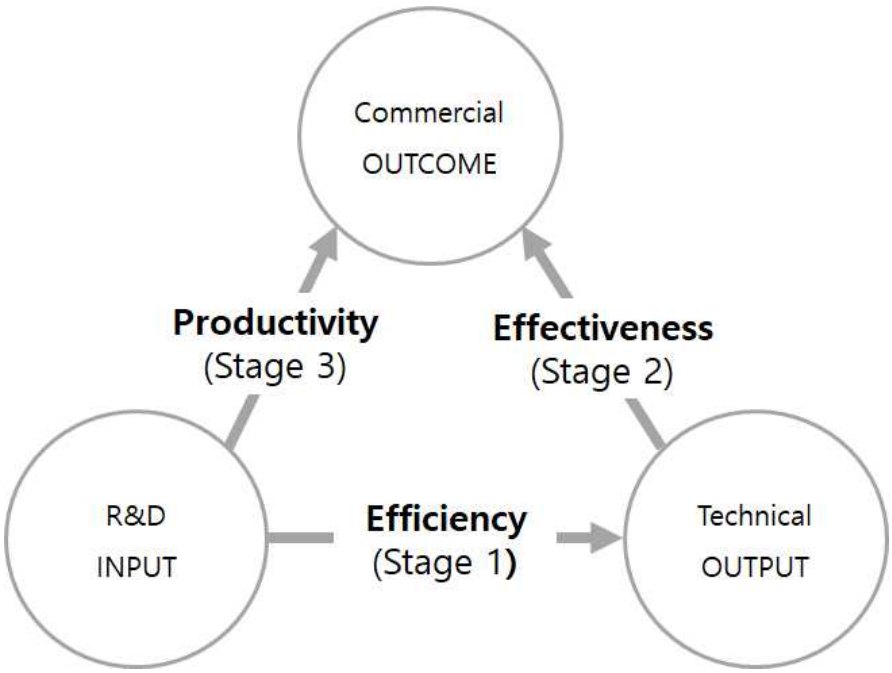


나. 논리모형 및 연구가설

박진수 외(2021)은 R&D 효율성과 관련된 선행연구들도 산출변수로 특허, 논문 등 단기적 또는 중간재적 성과만 고려하는데 그쳐 궁극적 목적인 사업화를 통한 경제적 성과는 평가에 반영하지 못한다고 지적한 바 있다. 따라서, 최근에는 R&D의 효율성 분석에 사용되는 산출변수로 논문과 특허 등 기술적 산출물 외에 기술이전이나 사업화 같은 경제적 성과를 포함하는 연구가 증가하고 있다(Fang, 2020, 조남권 외, 2018, 문광민, 2019).

본 연구에서는 이러한 R&D 산출 특성을 고려하여 R&D의 과학기술적 산출물을 중간재적 산출물(output)으로 두고, 경제적 산출물을 최종 산출물(outcome)로 하는 3-STAGE 모형을 활용하였다. 이 모형은 Keh and Chu(2003)가 제시한 것으로, 본 연구에서는 3-STAGE 모형에 R&D 변수를 적용하였다.

[그림 4-2] 3-STAGE R&D 모형



출처: Keh and Chu(2003) 재구성

그림 4-2에서 STAGE 1에서는 R&D 최초 투입물이 일련의 중간 산출물인 과학기술적 산출물로 변환되는 비율인 효율성(efficiency)을 측정한다. STAGE 2에서는 중간 산출물인 과학기술적 산출물이 사업적 결과물로 변환되는 비율인 효과성(effectiveness)를 측정한다. STAGE 3에서는 R&D 최초 투입물에서 최종 결과물인 사업적 결과물이 산출되는 비율로 생산성(productivity)를 측정한다.

Keh and Chu(2006)는 서비스 분야 효율성 측정의 사례에서 3-STAGE 모형을 적용하면서, STAGE 1(efficiency)과 STAGE 2(effectiveness) 간에는 음의 상관관계가 존재한다고 보았다. 또한, STAGE 2(effectiveness)와 STAGE 3(productivity)는 최종 결과물과 밀접한 관계를 가지고 있으므로 강한 양의 상관관계를 가지는 것으로 분석하였다. STAGE 1(efficiency)와 STAGE 3(productivity) 간에는 약한 양의 상관관계가 있다고 분석하였다.

우리나라 R&D의 효율성을 분석한 국내 연구는 주로 STAGE 1(efficiency)과 STAGE 3(productivity)와의 상관관계를 분석하였는데, 김홍규 외(2015)는 국내 산업기술사업을 대상으로 STAGE 1(efficiency)와 STAGE 3(productivity)를 분석한 결과 상관관계의 존재를 확인할 수 없다고 지적했다. 박승 외(2014), Fang et al.(2020), Wagn et al(2016)에서도 기술개발사업을 대상으로 실증한 연구에서 효율성과 생산성 사이에 상관관계는 나타나지 않거나, 분석대상 기술 또는 산업 분야에 따라 다르게 나타났다(Wang et al., 2016). 즉, 국내 연구 대다수는 분야에 상관없이 우리나라 R&D의 과학기술적 효율성과 R&D의 경제적 생산성 간에 상관관

계가 없음을 지적하고 있다.

조남권 외(2018)은 특허 등 중간산출물이 매출액으로 전환되는 경제적 효율성과 연구개발비 등이 특허로 전환되는 과학기술적 효율성을 구분하여 분석하였는데, 본 연구의 STAGE 1과 STAGE 2의 개념과 유사한 논리모형을 적용한 것이다. 이 연구에서는 전자산업과 기계산업 R&D의 DMU별 효율성을 분석하였으며 산업 분야와 기업에 따라 STAGE 1과 STAGE 2 간의 관계가 달라지며, 평균적으로 STAGE 1, 2의 효율성, 효과성이 모두 낮게 나타나 분석대상인 중소, 중견기업들이 R&D 활동에서 비효율적인 활동을 하고 있다고 지적했다. 전자사업의 경우는 사업화 측면, 기계산업의 경우 과학기술적 효율 측면에서 지원이 필요한 것으로 나타났다.

이상의 선행연구 결과를 토대로 본 연구에서는 아래와 같이 STAGE 간 상관관계에 관한 가설을 설정하였다. 선행연구에서 나타난 바 STAGE 간 관계는 분석대상 분야에 따라 다르게 나타나므로 Keh and Chu(2006)의 연구대상인 서비스 분야와 본 연구의 대상인 정부 에너지 R&D 분야는 서로 특성이 다를 것으로 가정하였다. 또한, 국내 정부 R&D의 관리는 성과관리 부처의 일원화, 법 및 관리 규정의 통합 추세에 따라 기술 분야 또는 산업 분야에 상관없이 STAGE 간 관계가 동일하게 나타날 것으로 보았다. 따라서, 국내 선행연구와 같이 정부 에너지 R&D 사업도 STAGE 1과 STAGE 3이 상관관계를 나타내지 않을 것으로 보았다. 다만, STAGE 2와 STAGE 3의 상관관계는 Keh and Chu(2006)와 동일하게 강한 양의 상관관계를 갖는다고 가정하였다.

따라서, 본 연구에서는 다음과 같이 H1~H3의 가설을 검증하고자 하였다.

H1. 정부 에너지 R&D 사업은 모든 분야에서 STAGE 1과 STAGE 3가 상관관계를 나타내지 않는다.

H2. 정부 에너지 R&D 사업 모든 분야에서 STAGE 2와 STAGE 3가 강한 양의 상관관계를 갖는다.

H3. 정부 에너지 R&D 사업에서 STAGE 1과 STAGE 2는 상관관계를 나타내지 않는다.

다. 변수 및 데이터

(1) 변수

본 연구에서는 R&D 효율성을 분석한 선행연구에서 사용된 변수들을 검토해 R&D 효율성과 인과관계가 있다고 판단되는 변수들로 1차 Pool을 설정한 후, 정부 에너지 R&D 사업에서 핵심적으로 관리되고 있는 투입 및 산출변수를 1차 Pool과 비교해 최종 도출하였다.

최종적으로 도출된 변수는 표 4-1과 같다. 정부 에너지 R&D 사업에서 사업비, 사업기간, 수행기관을 투입으로 보고 사업비는 정부지원과 수행기관 부담(민간 현금, 현물)을 구분하였다.

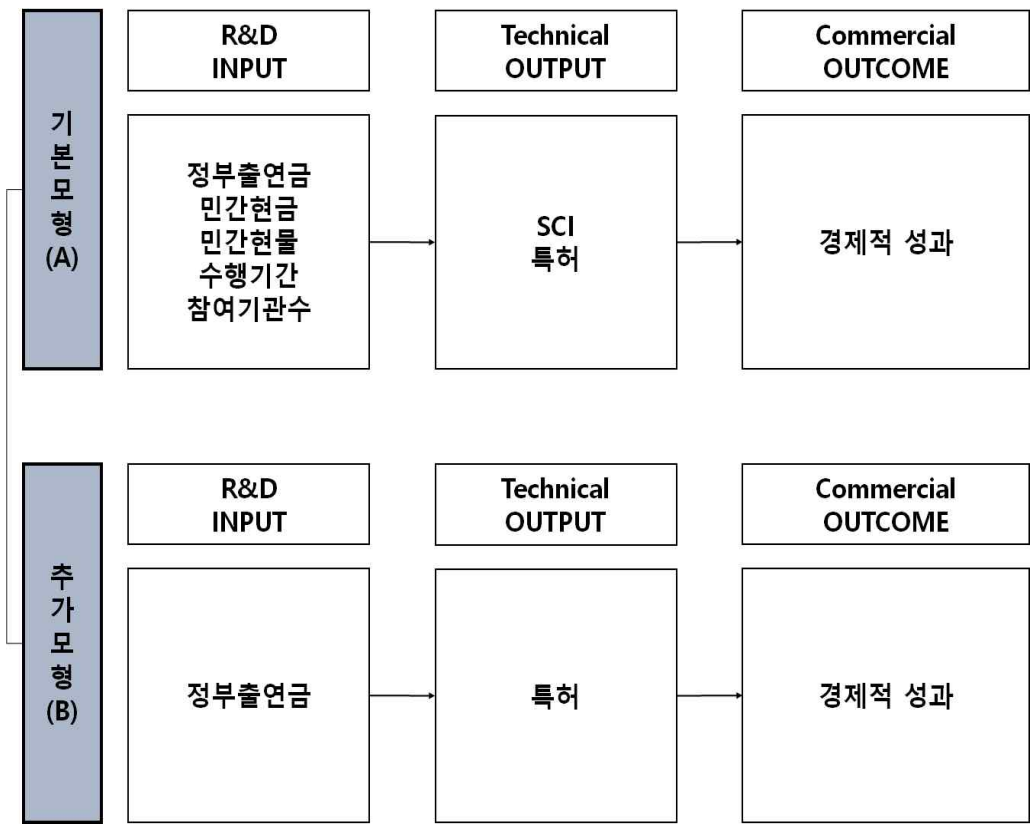
8개 변수 간의 상관분석을 시행한 결과 투입변수에 있어서 정부출연금이 나머지 투입변수와 강한 상관관계를 나타냈다. 또한, 정부출연금은 SCI, 특허, 경제적 성과와도 통계적으로 유의한 상관관계를 보였다. 한편, 나머지 4개의 투입변수는 모든 사업에 공통적으로 적용되는 상관관계를 나타내지는 않았다. 사업에 따라 산출변수와 투입변수 간 상관관계가 다양하게 나타났다. 산출변수에서 SCI와 특허는 거의 모든 사업에서 강한 상관관계를 나타냈다. 투입 및 산출 변수별 상관관계는 사업별로 다양한 상관관계를 가지는 것으로 분석되었다.

본 연구에서는 기본모형(A)으로 5개 투입요소와 3개 산출요소를 변수로 하는 기본 모형(A) 외에, 정부출연금-특허-경제적 성과로 연결되는 추가 모형(B)로 단순 효율성을 분석했다(그림 4-3).

[표 4-1] 정부 에너지R&D 투입-산출 변수

구분	변수명	내용
투입	정부 출연금	· R&D 수행을 위해 정부에서 지원하는 출연금 · 단위: 억원
	민간 현금	· R&D 수행을 위해 기업에서 부담하는 현금액 · 단위: 억원
	민간 현물	· R&D 수행을 위해 기업에서 부담하는 현물액 · 단위: 억원
	참여기관 수	· R&D 수행을 위해 참여하는 기관의 개수 · 단위: 개
	수행 기간	· R&D를 수행하는 시작부터 종료까지 기간 · 단위: 개월
산출	SCI	· R&D 결과로 발생한 국내외 SCI논문 수 · 단위: 건
	특허	· R&D 결과로 발생한 국내외 특허 수 · 단위: 건
	경제적성과	· R&D 결과로 발생한 매출액, 비용절감, 기술이전 등 화폐적 가치 · 단위: 억원

[그림 4-3] 기본 모형(A)와 추가 모형(B)



(2) 데이터

본 연구에서는 2021년 기준 정부 에너지 R&D 사업 성과활용조사 데이터를 활용하였다. 성과활용조사 데이터는 정부 R&D 사업에서 지원한 과제가 종료된 해의 다음해부터 5년간 매년 2월 말까지 R&D 수행기관이 제출한 자료를 토대로 한다. 수행기관 및 R&D 과제의 일반현황을 비롯하여, 기술적 성과, 경제·사회적 성과, 에너지 성과, 만족도 등을 조사한다.

본 연구에서는 성과활용조사 데이터 중 본 연구모형에 따라 R&D 투입을 확인할 수 있는 일반현황 데이터와 중간 산출물로써 SCI 논문수, 특허수, 최종 결과물로써 경제적 성과 데이터를 활용하였다.

이 조사는 데이터의 신뢰성 확보를 위해 현장방문을 통해 성과발생여부를 확인하고, 과제와의 연관성, 조사된 성과의 합리성 등 판단 오류를 수정하는 절차를 거쳐 최종 데이터를 도출한다. 증빙자료를 확보해 해당 데이터가 실제로 존재하는지 확인하고 검증된 절차를 거친 데이터만 최종 자료로 사용한다.

동 조사는 조사데이터에 대한 다양한 검증 체계를 가지고 있다. 1차적으로는 현장방문을 통해 산출물의 발생 여부를 확인하고, 데스크 리서치를 통해 과제와의 연관성이나 합리성을 2차적으로 검토한다. 마지막으로 온라인 DB 시스템을 통해 데이터의 신뢰성을 검증한다. 논문의 경우 논문명, 학술지명, ISBN 등을 통해 NTIS 시스템, 학술연구정보서비스(RISS), 국가과학기술정보센터 NDSL 등을 활용해 검증을 한다. 특허는 특허명, 출원 및 등록번호 등을

통해 특허정보넷(KIPRIS) 및 한국발명진흥회 DB 등을 활용해 검증을 실시한다. 경제적 성과에는 매출액, 비용절감액 및 수입대체액, 기술이전액을 포함하는데 경제적 성과가 발생한 기관에 현장방문을 통한 검증을 실시하며 제품매출액, 비용절감액, 기술이전액 등에 대한 매출원장 등 증빙자료 확인을 통해 성과 금액이 적정성 여부를 판단한다.

[표 4-2] 데이터의 신뢰성 검증 방법

구 분	항목	검증방법
과학기술적 성과	논문, 특허	· 논문명, 학술지명, ISBN 등을 통해 NTIS, RISS, NDSL 등으로 검증 · 특허명 및 출원/등록번호를 통해 KIPRIS 및 온라인 DB로 검증
경제적 성과	매출액, 비용절감액, 수입대체액, 기술이전액	· 경제적 성과 발생 과제는 현장을 방문해 검증 · 제품매출액, 비용절감액, 기술이전액은 매출원장 등 증빙자료 검증

본 연구에서는 가장 최근 연도 데이터인 2021년 기준 성과활용 조사 데이터를 사용하였다. 2021년 기준 데이터는 총 28개 사업에 속한 1,160개 과제들의 데이터이며, 이 과제들은 2011년에서 2020년까지 수행된 것들이다. DEA 분석을 위해서는 투입변수 및 산출변수 중 결측치가 포함되어서는 안되므로 결측치가 있는 사업이나 과제를 제외하면 총 15개 사업(표 4-3)이 본 연구의 분석대상이 된다. 원 데이터에서 사업의 명칭이 다르나 동일 분야인 경우에는 1개 사업으로 통합해 DMU를 구성하였다.

본 연구에서는 효율성 분석의 수준을 사업 수준과 과제 수준으로 구분하여 분석을 시행하였다. 사업 수준은 사업별 상대적 효율성을 과제 수준은 과제별 상대적 효율성을 산출한다.

그런데 과제 수준 분석 시에는 데이터 사용에 제약이 있다. 분석 DMU인 과제 수가 투입 및 산출변수 합의 2배 미만이 되는 사업이 존재하기 때문이다. 또한, 과제 수준 분석에서 DMU는 개별 과제인데 일부 사업의 경우는 과제 수가 1개이거나 매우 적으므로 과제간 상대적 효율성을 산출하는 DEA 분석에 적합하지 않았다.

따라서 DMU 수와 투입 및 산출변수 합의 개수를 비교하여 최종 8개 사업(표4-3의 *)에 대해서만 과제 수준의 분석을 시행하였다. DMU의 수가 투입과 산출변수의 합보다 많거나(Bussofian, 1991), 투입변수와 산출변수의 총 합이 DMU 수의 1/3 또는 최소 1/2를 초과하지 않도록 변수의 수를 제한하는 것이 적정하다는 연구결과(Golany and Roll, 1989, Friedman and Sinuany-Stern, 1988, Jenkins and Anderson, 2003)를 반영했다.

과제 수준 분석에 적합한 사업은 총 8개 분야 사업으로 나타났

다. ESS 기술개발사업, 자원순환 기술개발사업, 스마트그리드 기술개발사업, 신재생에너지 기술개발사업, 수요관리 기술개발사업, 원자력 기술개발사업, 자원개발 기술개발사업, 청정화력 기술개발사업이다. 사업연도나 사업명칭은 다르나 분야와 성격이 유사한 사업은 해당 분야로 통합하여 하나의 사업으로 분석하였다.

[표 4-3] 분석대상 사업 분야

No.	사업 분야
1	ESS*
2	자원순환*
3	가스터빈
4	스마트그리드*
5	신재생에너지*
6	국제공동연구
7	수요관리*
8	안전
9	원자력*
10	자원개발*
11	전력표준화 및 인증
12	ESS 실증
13	순환자원이용
14	청정화력*
15	IGCC 실증플랜트

* 과제수준 분석을 수행한 8개 사업

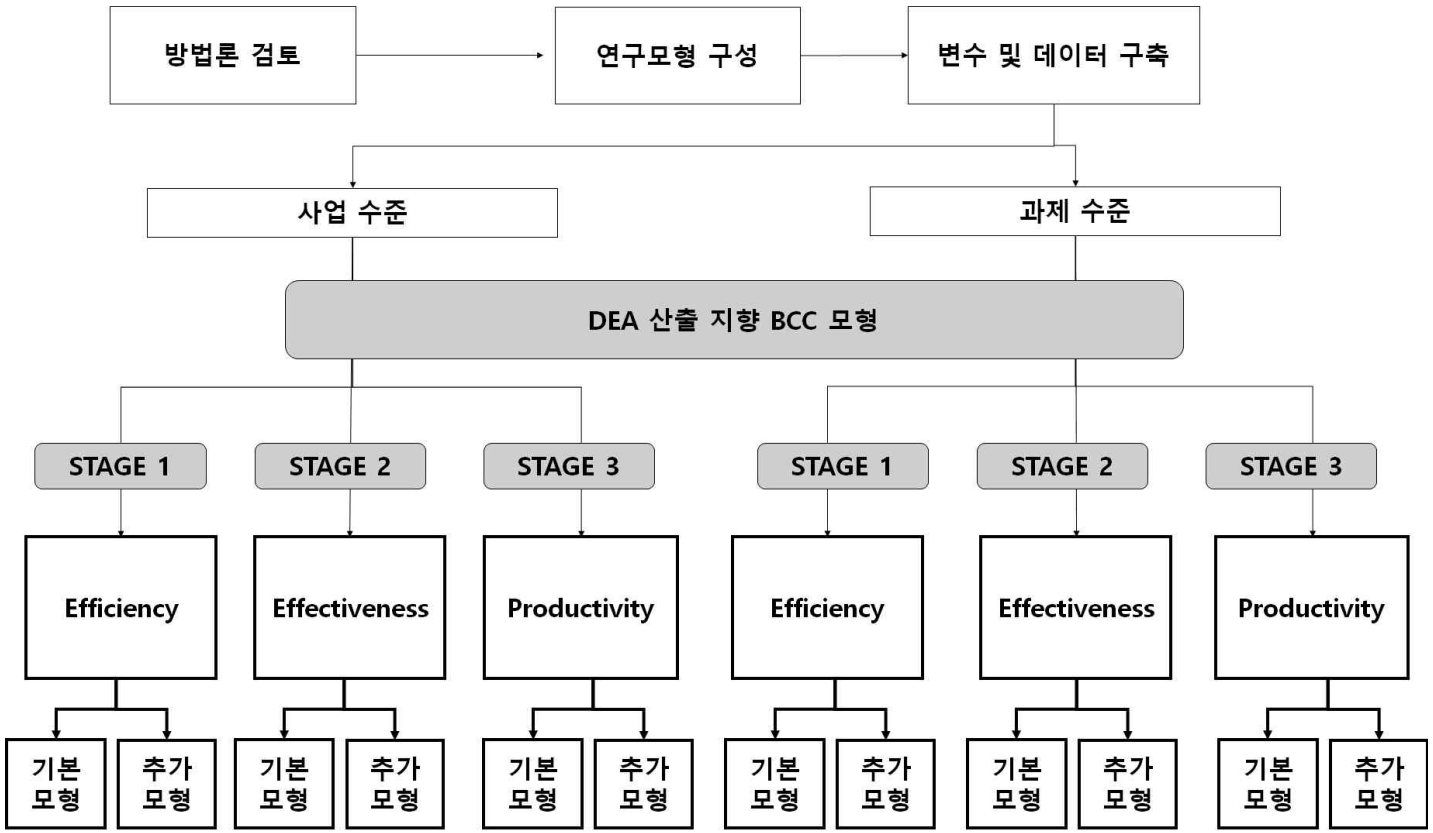
라. 분석 프로세스

이상에서 본 연구에 적합한 방법론 및 연구모형, 사용가능한 변수와 데이터를 검토하였다. 정부 에너지 R&D 효율성 평가의 절차는 다음과 같이 구성된다(그림 4-4).

첫째, 분석대상 데이터를 사업 수준과 과제 수준으로 구분한다. 사업 수준은 사업별 상대적 효율성을 산출하며, 과제 수준은 사업 내 과제별 상대적 효율성을 산출한다. 둘째, 사업수준과 과제수준에서 STAGE 1에서 STAGE 3까지 효율성, 효과성, 생산성을 산출지향 BCC 모형으로 산출한다. 셋째, 효율성, 효과성, 생산성을 기본 모형과 추가 모형으로 구분하여 산출해 비교한다.

분석 프로그램은 StataSE 17을 이용하였다.

[그림 4-4] 분석 프로세스 흐름도



제 2 절 선행연구

R&D 효율성 관련 연구는 주로 기업 수준에서 많이 이루어지며, 정부 R&D에 대해서는 아직 미흡한 편이다. 본 연구에서는 에너지 분야, 정부 R&D 분야에서 DEA를 기반으로 효율성을 분석한 연구들을 중심으로 선행연구 분석을 수행했다.

Fang, S. et al.(2020)은 중국의 신에너지차 기업의 기술혁신 효율성을 측정했는데 연구개발 단계와 성과 전환 단계의 두 단계로 구분하였다. 이 연구에서 신에너지차 기업의 기술혁신 효율성은 전반적으로 낮은 것으로 분석되었다. 효율성 단계별 비교에서는 연구개발 단계 효율성이 성과 전환 단계 효율성보다 높은 것으로 나타났다.

Kwon et al.(2017)의 연구에서는 CO_2 감축 기술 분야의 기술효율성에 대하여 유럽 국가간 비교를 실시했다. 기술분야로 구분된 투입변수를 사용했고, 에너지원단위, 연료믹스 비율, 배출 계수가 산출변수로 사용되었다. DEA 논리구조는 2단계를 사용했다. 1단계 산출변수가 2단계의 투입변수로 들어가고 2단계의 산출변수는 특허수를 사용하였다. 이 연구에서는 1단계 효율성은 '기술적 효율성', 2단계 효율성은 '환경의식'으로 해석하였다. 이 두 가지 요소에 대한 매트릭스 분석을 통해 국가별 포지션을 설정하고 국가별 벤치마킹과 개선사항을 도출했다.

Lee et al.(2020)의 연구에서는 여유(slack) 기반 데이터 포락분석(SBM-DEA)을 이용하여 지방자치단체 차원에서 한국의 연구개발(R&D) 투자 성과를 살펴보았다. 우리나라 R&D 투자실적의

평균점수는 67.7%로 효율성 개선여력은 32.3%로 나타났다. R&D 투자 효율성을 순수 R&D 투자 기술 효율성과 규모 효율성으로 분해하고 투입 규모에 대한 시사점을 도출하였다. 불변규모수익 그룹에 속한 지자체는 없는 것으로 나타났기 때문에 모든 지자체가 R&D 투자 규모를 업스케일링 또는 다운사이징으로 전환해야 한다고 보았다.

Lee, M.(2015)의 연구에서는 한국 재생에너지 연구개발 투자에 대한 효율성 분석을 수행 기관별로 비교해서 분석했다. 2008년부터 2012년까지 수행된 재생에너지 기술에 대한 1,340개 R&D 과제의 생산성을 추정했으며, DEA 모형 중 산출 지향 BCC 모형을 사용했다. 기술 단계별로 수행기관별로 DEA 효율성 분석 결과를 비교했다. 기초 R&D 연구의 효율성은 대학과 연구소에서 더 높은 반면, 응용 연구에서 효율성은 대기업에서 더 높은 것으로 나타났다. 그러나 R&D가 대기업, 중소기업, 대학에서 수행되는지 여부와는 관계없이 모든 유형의 기관에서 개발 연구에서 달성되는 효율성은 낮은 것으로 분석되었다.

Chachuli et al.(2021)은 태양열, 풍력, 바이오매스, 바이오가스, 소수력 등 5가지 재생에너지 분야 R&D 활동의 성과 분석을 수행했다. 말레이시아에서 2012년부터 2017년까지 추진된 R&D 프로그램과 인력양성 프로그램을 대상으로 DEA 효율성 분석을 실시했다. 논문수, 석박사 인력수, 특허수, 전기 가격이 투입변수로 사용되었고, 산출변수로는 설치용량이 사용되었다. 투입은 적으나 설치용량이 큰 소수력 분야가 가장 효율적이고 설치용량이 적은 풍력 분야가 가장 낮게 나타나 재생에너지 보급 확대가 필요하다는 정

책적 시사점을 도출하였다.

Park et al.(2018)은 2007년부터 2013년까지 메타프론티어 데이터 포락 분석(Data Envelopment Analysis) 접근법을 사용하여 16개 하위 생명공학 분야의 한국 정부 지원 R&D 프로젝트의 효율성을 조사했다. 바이오칩 분야가 가장 효율적이고 생명공학 제품 안전성 및 효능 평가 분야가 가장 효율이 낮은 분야로 나타났다. 대학과 정부출연연구기관의 효율성은 높았으나 기업의 효율성은 상대적으로 낮게 나타났다. 이 연구에서는 투자비, 과제 기간, 연구인력수를 투입변수로 사용했고 논문수, 특허수를 산출변수로 활용하였다.

Wang et al.(2016)은 신에너지 기업의 성장단계를 R&D와 마케팅 두 단계로 구분하고 R&D 효율성, 시장 효율성 및 통합 혁신 효율성 등 3개의 효율성을 측정하였다. 비방사형 DEA를 사용하여 2009년부터 2013년까지 38개 중국 신에너지 기업에 대한 실증분석을 수행했다. 신에너지 기업은 대체로 혁신에 있어서 비효율적이었는데 특히 R&D 단계에서 비효율적이었다. 원자력 기업은 통합 혁신 및 마케팅에서 효율적이었고, 풍력 기업은 R&D 혁신에서 효율적인 것으로 나타났으며 태양 에너지 기업은 R&D 효율성이 떨어지는 것으로 나타났다. 소수의 기업만이 혁신 활동에서 효과적인 것으로 나타났다. R&D 효율성과 시장 효율성 지수는 0.368과 0.502로 큰 차이를 보였고 R&D 단계의 낮은 효율성 때문에 기업의 전체 혁신 효율이 낮아지는 것으로 분석되었다.

Zhong(2022)은 3단계 DEA 및 Tobit 모델을 사용하여 2009-2018년 동안 중국의 리튬 이온 배터리 상장 기업의 실제

기술혁신 효율성을 평가하고 외부환경 및 기업 관리 요인이 기술혁신 효율성에 어떤 영향을 미치는지 연구했다. 결과는 규모적 요인으로 인해 비효율성이 있는 것으로 나타났으며 동부에 있는 국유 기업, 대규모 기업이 효율이 높고, 지역경제 수준이 높고 정부 보조금이 많을수록 효율성이 높은 것으로 나타났다. 투입변수로는 기술인력수와 R&D 투자비를 사용했고, 산출변수로는 특허수와 매출액을 사용했다.

Zhu et al.(2021)은 2005년부터 2015년까지 에너지 다소비 산업에서 녹색 기술 혁신의 효율성과 개선 경로를 연구하였다. 에너지 다소비 산업 전반의 녹색 기술 혁신 효율성은 2005년부터 2015년까지 기술 R&D 효율성 및 성과 전환 효율성 향상에 따라 등락하는 상승 추세를 보였다. 에너지 다소비 산업의 녹색 기술 혁신 역량은 혁신 강도가 가장 강한 산업과 가장 약한 산업 간 효율성의 차이가 0.615로 크게 나타났다. 이 연구에서는 중소기업과 대기업의 혁신 전략에 차이가 있어야 한다는 결론을 제시했다. 이 연구에서는 R&D 투자비와 인력수를 투입변수로 특허와 개발품 수를 산출변수로 활용했다.

김준현 외(2020)은 농림 R&D 832개 과제를 대상으로 효율성 분석을 시행하였다. 공모 유형과 과제 목적에 따라 효율성이 다른지 분석했다. 분석 결과로 자유응모 과제와 기술사업화과제 효율성이 높다는 결론을 제시했다.

박승 외(2014)는 국방 벤처 분야 43개 과제의 효율성 분석을 실시했는데 자유응모 형태에서 낮은 사업화 성과가 나타났다. 신기술 분야는 기술적 가치 효율성이 높았고 수요기반 과제는 생산

성이 높게 나타났다. 전익진 외(2015)는 서울시 R&D의 효율성, 효과성, 생산성을 분석했는데 효율성은 효과성이나 생산성과는 다른 관계를 보이는 것으로 나타났다.

김홍규 외(2015)는 산업기술개발사업을 대상으로 효율성 분석을 시행했다. 규모의 경제가 있어 투입 자원의 양을 늘려야 효율성이 증가하는 것으로 분석되었으며, 기술적 가치를 창출하는 효율성과 경제적 가치를 창출하는 효율성은 상관 관계가 없는 것으로 나타났다. 김홍규 외(2013)에서는 다양한 산업기술 분야 907개 R&D 과제의 효율성을 분석했는데 사업별로 효율성의 차이가 있는 것으로 나타났다. 원자력의 경우 참여기관의 수가 적었는데 적은 투입량 대비 산출이 높아 효율성이 높은 것으로 분석했다.

안상인 외(2009)는 1995년부터 2006년까지 8개 국가의 R&D 효율성을 비교했는데 한국은 기술 효율성과 규모 효율성을 모두 증가시켜야 한다는 결과를 도출했다.

제 3 절 3-STAGE 분석

가. 사업 수준 분석

(1) 투입 및 산출변수 기술통계량

본 연구의 분석 표본으로 추출된 15개 정부 에너지R&D 사업의 총 정부출연금 투입액은 3조 1,544억원 규모이다. 이 때 민간이 매칭한 현금액은 1조 482억원이며, 현물액은 이보다 조금 적은 1조 82억원 규모로 나타났다. 총 4,672개의 기관이 정부 에너지 R&D 사업에 참여를 하였다. 사업이 착수하여 현재까지 수행한 기간은 평균적으로 약 7.7년이다. 동 사업을 통하여 발생한 논문 수는 4,452건, 특허 수는 9,500건, 경제적 성과는 2조 1,177억원 규모로 나타났다.

[표 4-4] 대상사업의 총 투입-산출변수 기술통계량

Variable	Total	Mean	Std.	Min.	Max.
정부출연금 (억원)	31,544	2,103	2,865	75	9,486
민간현금 (억원)	18,482	1,232	3,120	5	12,399
민간현물 (억원)	10,082	672	744	11	2,502
참여기관수 (개)	4,672	311	463	12	1,499
사업기간 (개월)	1,390	93	29	35	119
논문 수 (건)	4,452	297	512	2	1,866
특허 수 (건)	9,500	633	1,003	6	3,284
경제적성과 (억원)	21,177	1,412	2,590	9	10,134

[표 4-5] 사업 수준 투입변수 값

DMU	정부 출연금 (억원)	민간현금 (억원)	민간현물 (억원)	참여 기관수 (개)	사업기간 (개월)
1	1,124	185	229	200	62
2	446	39	110	94	110
3	611	677	778	30	82
4	1,939	327	552	282	111
5	9,486	1,515	2,502	1,499	119
6	870	96	226	305	113
7	8,377	1,197	2,109	1,336	114
8	598	45	111	107	60
9	2,850	743	1,272	338	114
10	1,337	223	466	188	113
11	1,270	365	301	76	119
12	180	206	116	15	47
13	75	5	11	14	35
14	1,145	460	653	176	111
15	1,236	12,399	646	12	80

[표 4-6] 사업 수준 산출-결과변수 값

DMU	산출		결과
	논문 수 (건)	특허 수 (건)	경제적 성과 (억원)
1	209	491	70
2	50	121	381
3	13	109	25
4	173	676	479
5	1,866	3,284	10,134
6	267	292	122
7	1,094	2,769	1,251
8	48	157	34
9	253	706	1,203
10	265	353	1,794
11	8	41	9
12	2	6	360
13	6	22	74
14	155	418	2,078
15	43	55	3,163

(2) 효율성-효과성-생산성 지수

① 효율성 지수

기본모형은 정부 에너지 R&D 사업들의 모든 투입 및 산출량을 고려했을 때 과학기술적 효율성이 어느 정도인지 사업들 간의 상대적 비교를 수행한다. 즉, 투입량 대비 특허와 논문의 산출량의 효율성을 확인할 수 있다.

분석결과 대부분의 사업이 효율적인 것으로 나타났다. 15개 사업 중에서 10개 사업이 효율적인 것으로 분석되었으며, 비효율적으로 나타난 5개 사업 중에서 3개 사업은 각각 0.935, 0.956, 0.889로 효율적인 사업들과 큰 차이를 나타내지 않았다. 비효율적으로 나타난 2개 사업은 전력표준화 및 인증지원사업, 전력피크대응을 위한 ESS 실증연구사업 2개 사업이다.

따라서, 기술개발사업인 13개 사업의 과학기술적 효율성은 사업간 큰 편차가 존재하지 않는다고 평가할 수 있으며, 표준 및 인증, 실증을 목적으로 하는 사업은 R&D 투입 요소가 특허나 논문으로 전환되는 효율은 낮다고 판단할 수 있다. 이는 사업의 고유목적이 특허와 논문의 생산보다는 성능의 검증에 초점을 맞추고 있기 때문이라고 해석된다.

정책적 시사점 도출을 위해서는 규모수익성과 비효율성 원인을 함께 보아야 한다. 기본모형에서 규모수익성이 규모수익감소(DRS)로 나타난 사업은 투입량이 증가할수록 투입 대비 과학기술적 산출하는 효율성이 감소한다. 따라서, 어떤 사업의 투입량을 결정할

때 효율성 지수가 높으면서 규모수익성이 규모수익증가(IRS)인 사업을 우선으로 하는 것이 합리적일 것으로 판단된다. 효율성 지수가 높지만 규모수익성이 규모수익감소(DRS)인 경우에는 투입량을 추가로 증가시키는 경우 산출변수의 양은 증가하겠지만 산출 효율성은 감소하는 효과를 나타낸다.

본 연구 분석대상 사업 중 규모수익성이 규모수익감소(DRS)로 나타난 사업은 자원순환, 스마트그리드, 원자력, 청정화력 분야 4개 사업이다. 이 4개 사업은 투입량의 증가가 양적 산출 증대를 가져오긴 하겠지만 투입 대비 산출 효율성은 더 떨어지는 결과를 초래하게 된다.

다음으로 효율성 지수가 낮은 사업은 비효율성 원인을 체크해야 한다. 비효율성 원인이 규모에 있는 경우, 투입 규모가 적정하지 않기 때문에 비효율성이 발생하는 것이며 이 경우 투입량을 축소하는 방향이 합리적인 대안이다. 반면, 비효율적 사업의 비효율성 원인이 기술적 요인에서 기인한 것이고 규모수익증가(IRS)의 특성을 가지고 있다면 이 사업은 투입량을 증액시키는 것만으로도 산출 효율성을 증대시킬 수 있다.

본 연구의 분석대상 사업 중 과학기술적 효율성이 낮은 전력표준화 및 인증지원사업과 전력피크 대응을 위한 ESS 실증연구사업은 비효율성의 요인이 기술적 요인에 있다. 전력표준화 및 인증지원사업은 규모수익증가(IRS)의 특성을 가지므로 사업비 증액 시 효율성이 향상될 것으로 기대된다.

추가모형 B는 정부출연금 대비 특허의 비율로 계산된 값의 결과이다. 정부출연금과 특허로만 보면 ESS와 신재생, 순환자원이용

사업이 '1'의 효율성을 보였고 나머지 사업들은 기본모형과 다른 효율성 순위와 규모수익성을 나타내었다. 추가모형 B는 규모수익성과 비효율성 분석을 통해 정부출연금을 축소해야 하는지 증가시켜야 하는지에 대한 시사점을 제공해 준다.

기본모형에서 규모수익감소(DRS)로 나타난 자원순환, 스마트그리드, 원자력, 청정화력 분야는 투입량의 축소가 사업의 효율성을 향상시킨다. 그런데 기본모형의 투입요소는 총 5개로 구성되어 있으므로 5개 중 어떤 변수를 얼마나 감소시켜야 하는지에 대한 세부 정보는 제공해 주지 못한다. 그러나 추가모형 B의 분석 결과는 자원순환, 청정화력 사업에서 정부출연금 대비 특허 산출이 규모수익증가 특성을 보여주므로 이 두 사업에서는 정부출연금이 아닌 다른 투입요소에서 축소가 필요하다는 사실을 확인할 수 있다. 반면에 스마트그리드와 원자력 분야는 추가모형 B에서도 규모수익감소(DRS) 특성을 가지기 때문에 정부출연금의 축소 결정이 합리적일 것이라고 해석할 수 있다.

이상에서 표준, 인증, 실증 성격의 사업은 특허와 논문을 산출하는 효율이 낮은 것으로 나타났으며, 기술개발 사업들은 큰 편차 없이 모두 비슷한 효율을 나타내는 것으로 분석되었다. 다만, 표준 및 인증 지원 사업은 사업비가 증가할수록 논문 및 특허 산출 효율은 높아지는 것으로 나타났다. 추가모형 B 분석 결과 정부출연금 및 특허 관점에서도 효율성이 높은 사업은 ESS 및 신재생, 순환자원이용 분야인 것으로 나타났다.

[표 4-7] 사업 수준 효율성 지수(모형 A)

DMU	순위	효율성 지수	규모수익성	비효율성 원인
1	1	1.000	CRS	규모
2	12	0.935	DRS	기술
3	1	1.000	CRS	규모
4	1	1.000	DRS	규모
5	1	1.000	CRS	규모
6	1	1.000	CRS	규모
7	1	1.000	CRS	규모
8	1	1.000	CRS	규모
9	13	0.889	DRS	기술
10	1	1.000	CRS	규모
11	14	0.214	IRS	기술
12	15	0.145	CRS	기술
13	1	1.000	CRS	규모
14	11	0.956	DRS	기술
15	1	1.000	CRS	규모

[표 4-8] 사업 수준 효율성 지수(모형 B)

DMU	순위	효율성 지수	규모수익성	비효율성 원인
1	1	1.000	CRS	-
2	9	0.644	IRS	기술
3	12	0.417	IRS	기술
4	5	0.886	DRS	기술
5	1	1.000	DRS	규모
6	7	0.774	IRS	기술
7	4	0.950	DRS	규모
8	11	0.614	IRS	기술
9	8	0.661	DRS	기술
10	10	0.628	IRS	기술
11	15	0.076	IRS	기술
12	14	0.076	CRS	기술
13	3	1.000	IRS	규모
14	6	0.839	IRS	기술
15	13	0.104	IRS	기술

② 효과성 지수

효과성 지수는 정부 에너지 R&D 사업에서 발생한 논문과 특허가 경제적 성과로 전환되는 효율을 의미한다. 즉, 발생한 특허와 논문 대비 경제적 성과를 산출하는 비율이 사업별로 어떻게 나타나는지 상대 비교를 수행하게 된다.

분석결과 다수의 사업이 효율적으로 나타난 STAGE 1의 효율성과 달리, STAGE 2의 효과성은 대부분의 사업이 낮은 것으로 나타났다. 15개 사업 중에서 3개 사업만이 효과성이 '1'인 것으로 분석되었으며, 11개 사업이 효과성 지수가 '0.5' 이하로 낮은 값으로 분석되었다. 다수의 정부 에너지 R&D 사업들이 논문과 특허를 경제적 성과로 전환하는데 어려움을 겪고 있다고 해석된다.

논문과 특허의 경제적 성과로 전환되는 효과성이 '1'인 사업은 신재생, ESS 실증, IGCC 실증 3개 사업이다. ESS 실증 사업의 과학기술적 효율성은 '0.145'로 매우 낮은 편이었으나 상대적으로 효과성은 '1'로 매우 높게 나타났다. 실증 사업들은 모두 효과성이 높게 나타나 경제적 성과를 창출하는데 효과적이라고 사료되었다.

STAGE 2 의 효과성은 투입요소가 논문과 특허이다. 따라서 비효율성은 논문 및 특허에 비해 경제적 성과가 적은 경우 나타난다. 본 분석에서 비효율적으로 나타난 사업 중 비효율성의 원인이 규모에 있는 사업은 스마트그리드, 수요관리, 원자력, 자원개발, 청정화력 사업이다. 이 사업들은 규모수익감소(DRS) 특성을 가지고 있어 현재 발생한 경제적 성과 대비 논문 및 특허가 과다하게 많다는 것을 의미하며, 논문 및 특허가 증가할수록 경제적 성과를

창출하는 효율은 떨어진다는 것을 의미한다. 이들 사업은 과학기술적 성과가 경제적 성과로 연계되는데 어려움이 있는 것으로 해석된다.

한편 효과성이 비효율적으로 나타난 사업 중 규모수익증가(IRS) 특성을 가진 사업은 ESS, 가스터빈, 국제공동, 안전, 전력표준화 및 인증, 순환자원이용 사업으로 특허 및 논문이 증가할수록 경제적 성과로 전환되는 효과성이 높게 나타난다. 이들 사업은 특허 및 논문이 양적으로 증가할수록 경제적 성과 창출 효과도 높게 나타난다.

기본모형에서 규모수익증가(IRS) 특성을 가진 ESS, 가스터빈, 국제공동, 안전, 전력표준화 및 인증, 순환자원이용 사업은 추가모형 B에서도 규모수익증가(IRS) 특성을 지닌다. 즉, 이 6개 사업의 특허가 증가하는 경우 경제적 성과 창출 효율도 높아지게 된다.

이상의 결과를 종합하면, 실증 성격의 사업은 경제적 성과를 창출하는 효과성이 높은 것으로 나타났다. 정부 에너지 R&D 사업의 과학기술적 효율성은 대다수 사업이 비슷하게 높은 수준을 나타내는 반면, STAGE 2의 효과성은 대다수 사업이 낮은 수준을 나타냈다. 비효율성의 원인이 규모에 있는 사업들은 논문 및 특허의 양적 성장보다는 과학기술적 산출물이 경제적 성과로 전환되는 효율을 향상시키기 위한 노력이 필요한 것으로 나타났다. 규모수익성이 규모수익증가(IRS)로 나타난 사업들은 특허 및 논문의 양적 증가가 경제적 성과로 연계될 수 있음을 확인하였으며, 특히, 특허의 증가를 통해 경제적 성과 산출 효과성도 높아질 것으로 기대할 수 있었다.

[표 4-9] 사업 수준 효과성 지수(모형 A)

DMU	순위	효과성 지수	규모수익성	비효율성 원인
1	13	0.018	IRS	기술
2	9	0.119	DRS	기술
3	12	0.022	IRS	기술
4	8	0.131	DRS	규모
5	1	1.000	DRS	규모
6	11	0.033	IRS	기술
7	7	0.174	DRS	규모
8	15	0.011	IRS	기술
9	6	0.303	DRS	규모
10	5	0.471	DRS	규모
11	14	0.012	IRS	기술
12	1	1.000	CRS	규모
13	10	0.117	IRS	기술
14	4	0.579	DRS	규모
15	1	1.000	DRS	규모

[표 4-10] 사업 수준 효과성 지수(모형 B)

DMU	순위	효과성 지수	규모수익성	비효율성 원인
1	12	0.017	IRS	기술
2	8	0.115	DRS	기술
3	14	0.008	IRS	기술
4	9	0.106	DRS	기술
5	1	1.000	DRS	기술
6	11	0.033	IRS	기술
7	7	0.139	DRS	기술
8	13	0.010	IRS	기술
9	6	0.263	DRS	기술
10	5	0.471	DRS	기술
11	15	0.004	IRS	기술
12	1	1.000	CRS	-
13	10	0.058	IRS	기술
14	4	0.527	DRS	기술
15	1	1.000	DRS	기술

③ 생산성 지수

생산성은 정부 에너지 R&D 사업에서 투입이 경제적 성과로 전환되는 효율울 의미한다. 즉, 투입 대비 경제적 성과를 산출하는 생산성을 사업별로 산출하여 상대적 비교를 수행할 수 있다.

분석결과 대부분의 사업이 효율적으로 나타난 STAGE 1의 효율성 지수보다는 전반적으로 낮은 값을 나타냈으나 STAGE 2의 효과성보다는 조금 더 높은 지수 평균을 보였다. 15개 사업 중에서 7개 사업의 생산성이 '1'인 것으로 분석되었으나 나머지 8개 산업은 생산성 지수가 0.5 이하로 상대적으로 낮게 나타났다. 생산성 지수가 '1'로 나타난 사업은 자원순환, 신재생, 자원개발, ESS 실증, 순환자원이용, 청정화력, IGCC 실증 사업이다.

비효율적인 사업 중 비효율성의 원인이 규모에 있는 사업은 없어 STAGE 3의 생산성 관점에서 비효율성의 개선의 투입의 축소가 합리적인 대안은 될 수 없음을 시사하였다. 한편 비효율적 사업인 8개 사업 모두 규모수익증가(IRS) 특성을 가진 것으로 나타나, 정부 에너지 R&D 사업에서 생산성 지수를 향상시키기 위해서는 투입 증가가 합리적인 대안인 것으로 분석되었다. 추가모형 B에서도 8개 사업에서 정부출연금의 증가가 경제적 성과로 전환하는 효율을 높일 수 있다는 결과를 보였다.

이상에서 정부 에너지 R&D 사업의 생산성 향상을 위해서는 투입량의 증가가 합리적인 대안이며 특히 정부출연금의 증가가 생산성 향상에 기여할 수 있음을 확인할 수 있었다.

[표 4-11] 사업 수준 생산성 지수(모형 A)

DMU	순위	생산성 지수	규모수익성	비효율성 원인
1	13	0.073	IRS	기술
2	1	1.000	DRS	규모
3	14	0.040	IRS	기술
4	9	0.218	IRS	기술
5	1	1.000	CRS	규모
6	11	0.149	IRS	기술
7	10	0.155	IRS	기술
8	12	0.086	IRS	기술
9	8	0.389	IRS	기술
10	1	1.000	CRS	규모
11	15	0.009	IRS	기술
12	1	1.000	CRS	규모
13	1	1.000	CRS	규모
14	1	1.000	CRS	규모
15	1	1.000	CRS	규모

[표 4-12] 사업 수준 생산성 지수(모형 B)

DMU	순위	생산성 지수	규모수익성	비효율성 원인
1	12	0.024	CRS	기술
2	7	0.357	IRS	기술
3	14	0.016	CRS	기술
4	10	0.127	IRS	기술
5	1	1.000	DRS	규모
6	11	0.056	IRS	기술
7	9	0.136	IRS	기술
8	13	0.022	CRS	기술
9	8	0.266	IRS	기술
10	5	0.552	IRS	기술
11	15	0.003	IRS	기술
12	3	1.000	IRS	규모
13	6	0.386	CRS	기술
14	4	0.711	IRS	기술
15	1	1.000	CRS	-

(3) 효율성-효과성-생산성 간 상관관계

효율성, 효과성, 생산성 간의 상관관계를 살펴본 결과는 표 4-13과 같다. 효율성은 효과성이나 생산성과 상관관계 없는 것으로 나타났고, 효과성과 생산성은 상관관계가 없다는 귀무가설을 검정한 결과 유의수준 1%, 5% 수준에서 기각할 수 있다고 분석되었다. 효과성과 생산성은 강한 양의 상관관계를 가지는 것으로 해석할 수 있었다.

또한, 효율성과 생산성은 상관관계에 유의성을 나타내지 않아 가설(H1) '정부 에너지 R&D 사업은 모든 분야에서 STAGE 1과 STAGE 3가 상관관계를 나타내지 않는다.'를 지지하였다. 이는 국내 에너지가 아닌 다른 분야 정부 R&D 사업에 대해 과학기술적 효율성과 경제적 생산성을 분석한 박승(2014), 김홍규 외(2015)와 같은 결과이다.

이러한 분석결과로 유추해 볼 때 국내 R&D 사업은 과학기술적 효율성이 높다고 해서 반드시 경제적 생산성으로 이어지는 것은 아니라고 볼 수 있다. 즉, 논문 및 특허의 산출만을 관리하는데 그치지 않고 경제적 생산성을 높이기 위한 별도의 정책적 제도적 지원이 필요하다는 시사점을 얻을 수 있다.

또한, 사업별 효율성-효과성-생산성 지수 분석 결과에서 나타났듯이 과학기술적 효율성이 높은 사업과 경제적 생산성이 높은 사업은 사업구성이 다르다. 즉, ESS사업은 과학기술적 효율성은 높았으나 효과성과 생산성은 낮았다. 그러나 ESS 실증사업은 과학기술적 효율성은 낮았으나 효과성과 생산성은 높았다. 따라서 정

책적으로 생산성이 중요한 경우, 과학기술적 효율성 중심의 R&D에서 생산성 중심의 실증으로 전환되어야 할 필요가 있음을 유추해 볼 수 있었다.

한편, 효과성과 생산성은 강한 양의 상관관계가 통계적으로 유의하게 나타났다. 가설(H2) '정부 에너지 R&D 사업 모든 분야에서 STAGE 2와 STAGE 3가 강한 양의 상관관계를 갖는다.'를 지지하는 결과가 도출되었다. 따라서 R&D의 생산성을 높이기 위해서는 효과성을 향상시키는 정책 및 제도적 지원이 도움이 될 수 있다고 판단되었다.

마지막으로 가설(H3) '정부 에너지 R&D 사업에서 STAGE 1과 STAGE 2는 상관관계를 나타내지 않는다'에 대해서도 통계적으로 지지하는 결과를 나타내었다. 이는 과학기술적 효율성이 높은 것이 반드시 효과성을 보장하지 않는 다는 것을 의미한다.

[표 4-13] 효율성-효과성-생산성 상관관계(사업수준)

구분	효율성	효과성	생산성
효율성	1		
효과성	-0.3066	1	
생산성	-0.222	0.9634*	1

(4) 종합분석

이상의 효율성-효과성-생산성 지수 및 지수 간 상관관계 분석 결과를 바탕으로 다음과 같은 시사점을 도출할 수 있었다.

첫째, 정부 에너지 R&D 사업에서 과학기술적 효율성이 경제적 생산성을 반드시 보장하는 것은 아니며, 효과성과도 관련이 없는 것으로 분석되었다. 예를 들어 ESS 분야 사업은 과학기술적 효율성은 매우 높았으나 경제적 생산성은 매우 낮았다. 대다수의 사업에서 유사하게 효율성과 생산성의 상관관계가 나타나지 않았다.

둘째, 정부 에너지 R&D 사업은 효과성과 생산성이 강한 양의 상관관계를 나타내었다. 이 결과는 특허 및 논문을 경제적 성과로 전환하는 비율이 높으면 생산성도 높아질 수 있다는 것을 시사해 준다.

셋째, 사업 성격에 따라 강점을 가지는 R&D STAGE가 다르다. 일반 R&D 사업은 효율성이 높고, 실증 사업의 경우에는 효과성과 생산성이 분명하게 높은 특징을 나타내었다. 이는 사업별로 지향하는 목적이 다르기 때문이다. 정부 에너지 R&D 사업에서는 실증 성격을 가진 사업이 효과성 '1'로 나타나므로, 효과성을 향상을 위해서는 R&D보다 실증 사업의 추진을 고려해 볼 수 있을 것이다.

넷째, 정부 에너지 R&D 사업은 효율성 관점에서는 정부출연금 등 투입요소의 증가가 필요하지 않으며, 일부 사업은 투입요소의 감소가 효율성 개선이 도움이 되는 것으로 나타났다. 그러나 생산성 관점에서는 정부출연금 등 투입요소의 증가가 생산성 향상에 기여할 수 있는 것으로 분석되었다.

[표 4-14] 규모수익성 및 비효율성 원인(모형 A)

DMU	지수			규모수익성			비효율성 원인		
	s1	s2	s3	s1	s2	s3	s1	s2	s3
1	1.000	0.018	0.073	CRS	IRS	IRS	-	기술	기술
2	0.935	0.119	1.000	DRS	DRS	DRS	기술	기술	규모
4	1.000	0.022	0.040	CRS	IRS	IRS	-	기술	기술
6	1.000	0.131	0.218	DRS	DRS	IRS	-	규모	기술
7	1.000	1.000	1.000	CRS	DRS	CRS	-	-	-
8	1.000	0.033	0.149	CRS	IRS	IRS	-	기술	기술
10	1.000	0.174	0.155	CRS	DRS	IRS	-	규모	기술
12	1.000	0.011	0.086	CRS	IRS	IRS	-	기술	기술
14	0.889	0.303	0.389	DRS	DRS	IRS	기술	규모	기술
15	1.000	0.471	1.000	CRS	DRS	CRS	-	규모	-
17	0.214	0.012	0.009	IRS	IRS	IRS	기술	기술	기술
18	0.145	1.000	1.000	CRS	CRS	CRS	기술	-	-
20	1.000	0.117	1.000	CRS	IRS	CRS	-	기술	-
21	0.956	0.579	1.000	DRS	DRS	CRS	기술	기술	-
22	1.000	1.000	1.000	CRS	DRS	CRS	-	-	-
평균	0.876	0.333	0.541	-	-	-	-	-	-

[표 4-15] 규모수익성 및 비효율성 원인(모형 B)

DMU	지수			규모수익성			비효율성 원인		
	s1	s2	s3	s1	s2	s3	s1	s2	s3
1	1.000	0.017	0.024	-	IRS	-	-	기술	기술
2	0.644	0.115	0.357	IRS	DRS	IRS	기술	기술	기술
4	0.417	0.008	0.016	IRS	IRS	-	기술	기술	기술
6	0.886	0.106	0.127	DRS	DRS	IRS	기술	기술	기술
7	1.000	1.000	1.000	DRS	DRS	DRS	규모	기술	규모
8	0.774	0.033	0.056	IRS	IRS	IRS	기술	기술	기술
10	0.950	0.139	0.136	DRS	DRS	IRS	규모	기술	기술
12	0.614	0.010	0.022	IRS	IRS	-	기술	기술	기술
14	0.661	0.263	0.266	DRS	DRS	IRS	기술	기술	기술
15	0.628	0.471	0.552	IRS	DRS	IRS	기술	기술	기술
17	0.076	0.004	0.003	IRS	IRS	IRS	기술	기술	기술
18	0.076	1.000	1.000	-	-	IRS	기술	-	규모
20	1.000	0.058	0.386	IRS	IRS	-	규모	기술	기술
21	0.839	0.527	0.711	IRS	DRS	IRS	기술	기술	기술
22	0.104	1.000	1.000	IRS	DRS	-	기술	기술	-
평균	0.645	0.317	-	-	-	-	-	-	-

나. 과제 수준 분석

앞 절에서는 사업 수준에서 상대적 효율성을 분석해 보았다. 본 절에서는 사업을 구성하고 있는 과제 간의 상대적 효율성을 분석한다. 총 15개 사업 중 관측치가 부재한 과제를 제외하면 DMU의 개수가 투입 및 산출 변수의 개수 이하인 사업이 존재한다. 과제 수준 분석에서는 DMU의 개수가 투입 및 산출 변수의 개수의 2배 미만인 사업을 제외하고 분석했다. 최종 8개 사업에 대해 효율성 지수 분석을 시행하였는데, 실증이 아닌 기술개발형 사업들이다.

[표 4-16] 과제 수준 분석대상 사업

No.	사업분야
1	ESS
2	자원순환
3	스마트그리드
4	신재생에너지
5	수요관리
6	원자력
7	자원개발
8	청정화력

(1) ESS 기술개발사업

ESS 기술개발사업 과제는 모형 A에서 효율성 지수가 평균 0.626으로 가장 높고, 효과성 지수가 평균 0.462로 가장 낮게 나타났다. 이 사업에서는 과제들의 지수 평균값이 중위값보다 높게 나타났는데, 상대적으로 하위에 있는 과제 그룹보다 상위에 있는 과제 그룹이 많은 것으로 해석할 수 있다.

규모수익성은 효율성과 효과성에서 규모수익증가(IRS)를 나타내는 과제의 비율이 각각 61.8%와 71.4%로 높았다. 규모수익감소(DRS)를 보이는 과제의 비율은 5.9%, 14.3%로 낮게 나타났다. 비효율성의 원인으로는 효율성에서는 기술적 요인이 효율성, 효과성, 생산성 측면에서 각각 70.6%, 57.1%, 100%를 차지해 규모적 요인보다 압도적으로 높게 나타났다.

이상을 종합하면 ESS 기술개발사업의 61.8% 정도의 과제는 과제당 투입량을 증가시켰을 경우 전체 사업의 효율성, 효과성이 향상될 것이라고 판단할 수 있다.

ESS 기술개발사업 과제를 모형 B로 분석했을 때는 모형 A와 상당히 다른 결과를 보였다. 생산성 지수가 가장 높게 나타났고, 효과성 지수가 가장 낮게 나타났다. 모형 A에서 효율성과 효과성 지수의 평균값이 큰 차이를 보인 것과 달리 모형 B에서는 효율성과 효과성이 거의 비슷한 수준으로 나타났다. 효율성과 효과성은 중위값보다 평균값이 높았으나 생산성은 평균값이 중위값보다 다소 낮게 나타나 모형 A에 비하면 상위에 있는 과제 그룹과 하위에 있는 과제 그룹의 수가 비슷한 수준인 것으로 추정되었다.

또한 모형 A와 모형 B의 큰 차이는 효율성 평균값이 0.626과 0.470으로 큰 차이를 보인다는 것이다. 이 부분은 모형 B의 투입 및 산출변수의 개수가 작기 때문에 상대적으로 효율성 지수가 1인 과제의 수가 감소한 영향일 수도 있으나, 모형 B의 효율성은 정부출연금에서 특허를 산출하는 효율성을 의미하므로 ESS 기술개발사업의 특허 관련 성과 부분에 대한 점검이 필요할 수도 있다.

규모수익성은 모형 A와 모형 B가 유사한 경향성을 나타내었다. 효율성과 효과성은 규모수익증가(IRS)를 나타내는 과제가 각각 82.4%, 71.4%로 높게 나타났다. 과제당 정부출연금 규모를 키우는 것이 동 사업에서는 산출 효율성을 높이는 전략이 될 수 있다. 비효율성의 원인은 모형 A에 비해 모형 B에서 규모적 요인을 가진 과제의 비중이 더 높게 나타났지만, 전반적으로는 대부분의 과제가 기술적 요인에서 비효율성을 갖는 것으로 나타났다. 규모적 요인을 갖는 과제는 투입량을 감소시키고, 규모수익증가(IRS)를 나타내는 과제는 투입량을 증가시키면 전체 사업의 효율성이 증대될 수 있다.

효율성, 효과성, 생산성 간의 상관관계를 살펴본 결과는 표 4-19, 4-20과 같다. 모형 A와 모형 B의 결과는 동일하게 나타났다. 각 지수 간에 상관관계가 없다는 귀무가설을 검정한 결과 효율성과 효과성, 효율성과 생산성은 서로 상관관계를 가진다는 통계적 근거는 없었다. 그러나 효과성과 생산성은 상관관계가 있는 것으로 판단되었다.

[표 4-17] ESS 과제 수준 결과(모형 A)

구분	지수		규모수익성			비효율성 원인	
효율성	평균값	중위값	IRS	DRS	CRS	기술	규모
	0.626	0.552	61.8%	5.9%	32.4%	70.6%	14.7%
효과성	평균값	중위값	IRS	DRS	CRS	기술	규모
	0.462	0.459	71.4%	14.3%	14.3%	57.1%	28.6%
생산성	평균값	중위값	IRS	DRS	CRS	기술	규모
	0.546	0.536	28.6%	-	71.4%	100%	-

[표 4-18] ESS 과제 수준 결과(모형 B)

구분	지수		규모수익성			비효율성 원인	
효율성	평균값	중위값	IRS	DRS	CRS	기술	규모
	0.470	0.414	82.4%	5.9%	11.8%	75.8%	24.2%
효과성	평균값	중위값	IRS	DRS	CRS	기술	규모
	0.462	0.459	71.4%	14.3%	14.3%	66.7%	33.3%
생산성	평균값	중위값	IRS	DRS	CRS	기술	규모
	0.534	0.536	14.3%	42.9%	42.9%	60.0%	40.0%

[표 4-19] ESS 3-STAGE 상관관계(모형 A)

구분	효율성	효과성	생산성
효율성	1		
효과성	0.0654	1	
생산성	0.0924	0.8901**	1

*p<0.05

[표 4-20] ESS 3-STAGE 상관관계(모형 B)

단계	효율성	효과성	생산성
효율성	1		
효과성	0.3305	1	
생산성	0.3167	0.8835*	1

*p<0.05

(2) 자원순환 기술개발사업

자원순환기술개발사업은 모형 A에서 1단계 효율성 지수가 평균 0.829로 매우 높고, 생산성 지수가 평균 0.220으로 가장 낮게 나타났다. 효율성 지수의 중위값이 평균값보다 크다는 것은 효율성 지수 분석에서 대부분의 과제가 '1'로 나타났다는 것을 의미한다. 하지만 효과성과 생산에서는 중위값이 평균값보다 낮아 상위 그룹 과제가 하위 그룹 과제보다 다소 많은 정도라고 판단할 수 있었다.

규모수익성은 ESS기술개발사업과는 다른 특성을 보였다. 대부분의 과제가 규모 수익의 불변으로 나타났는데, 효과성에서 80.0%, 생산성에서 93.3%를 차지하는 것으로 분석되었다. 이는 상대적으로 과제당 투입량 증가가 필요한 과제수가 적다는 것으로 해석할 수 있다. 생산성 관점에서는 자원순환 기술개발사업은 과제당 투입량 증가가 거의 필요없다고 판단할 수 있다. 비효율성의 원인으로는 기술적 요인이 거의 대다수를 차지했다. 다만 효율성 측면에서는 규모적 요인 때문인 과제도 33.3%로 많이 이 과제들은 투입량의 조정이 필요할 것으로 판단된다.

모형 B에서는 모형 A에 비해 효율성, 효과성, 생산성 지수 모두 낮아지는 경향을 보였다. 그러나 효율성은 모형 A와 모형 B 모두 중위값이 평균값보다 높은 특성을 보여 자원순환 기술개발사업은 대체로 효율성이 높은 과제의 그룹이 많다고 판단할 수 있었다.

규모 수익성은 모형 A와 모형 B가 많은 차이를 나타냈다. 모형

A에서 규모 수익성은 불변규모수익(CRS)이 다수를 차지하는 구도에서 규모수익증가(IRS)를 나타내는 과제가 약간의 비중을 차지했다면, 모형 B에서는 규모수익증가(IRS)를 보이는 과제가 다수였고, 규모수익감소(DRS)를 나타내는 과제도 발생했다.

모형 A에서는 과제당 정부출연금을 증가시킬 필요가 없는 과제가 대부분이었지만, 특허 관점에서는 과제당 정부출연금을 증가시키면 특허와 경제적 성과가 모두 향상될 수 있는 규모수익증가(IRS) 과제가 58.5%~80.0%로 분석되었다.

표 4-31에서 보는 바와 같이 비효율성 원인은 대체로 기술적 요인이었으나, 효율성 측면에서는 규모적 요인이 있는 과제가 20% 수준이다. 이 결과는 과제당 정부출연금의 조정이 필요하다는 시사점을 준다.

[표 4-21] 자원순환 과제 수준 결과(모형 A)

구분	효율성 지수		규모수익성			비효율성 원인	
효율성	평균값	중위값	IRS	DRS	CRS	기술	규모
	0.819	1.000	47.1%	-	52.9%	66.7%	33.3%
효과성	평균값	중위값	IRS	DRS	CRS	기술	규모
	0.263	0.171	20.0%	-	80.0%	100.0%	-
생산성	평균값	중위값	IRS	DRS	CRS	기술	규모
	0.220	0.105	6.7%	-	93.3%	100.0%	-

[표 4-22] 자원순환 과제 수준 결과(모형 B)

구분	지수		규모수익성			비효율성 원인	
효율성	평균값	중위값	IRS	DRS	CRS	기술	규모
	0.598	0.629	58.8%	23.5%	17.6%	80.0%	20.0%
효과성	평균값	중위값	IRS	DRS	CRS	기술	규모
	0.237	0.118	66.7%	13.3%	20.0%	100.0%	-
생산성	평균값	중위값	IRS	DRS	CRS	기술	규모
	0.175	0.093	80.0%	-	20.0%	100.0%	-

효율성, 효과성, 생산성 간의 상관관계를 살펴본 결과는 표 4-23, 4-24와 같다. 모형 A와 모형 B의 결과는 동일하게 나타났다. 각 지수 간에 상관관계가 없다는 귀무가설을 검정한 결과 효율성과 효과성, 효율성과 생산성은 서로 상관관계를 가진다는 통계적 근거는 없었다. 그러나 효과성과 생산성은 상관관계가 있는 것으로 판단되었다.

[표 4-23] 자원순환 3-STAGE 상관관계(모형 A)

단계	효율성	효과성	생산성
효율성	1		
효과성	0.4436	1	
생산성	0.5039	0.9444*	1

*p<0.05

[표 4-24] 자원순환 3-STAGE 상관관계(모형 B)

단계	효율성	효과성	생산성
효율성	1		
효과성	0.1459	1	
생산성	0.4732	0.8330*	1

*p<0.05

(3) 스마트그리드 기술개발사업

스마트그리드 기술개발사업 과제는 모형 A에서 효율성 지수가 평균 0.6408로 가장 높고, 효과성 지수가 평균 0.2260으로 가장 낮게 나타났다. 이 사업에서는 과제들의 지수 평균값이 중위값보다 높게 나타났는데, 상대적으로 하위에 있는 과제 그룹보다 상위에 있는 과제 그룹이 많은 것으로 해석할 수 있다.

규모수익성은 효율성에서는 규모수익증가(IRS)를 나타내는 과제의 비율이 각각 56.3%로 불변규모수익(CRS)를 나타내는 과제의 비중 보다 약간 높았다. 이 사업은 다른 사업과 다른 특이한 점이 있었는데 효과성에서 규모수익감소(DRS) 과제가 55.6%로 다수를 차지했다는 점이다. 효과성은 SCI와 특허가 경제적 성과를 창출하는 비율이다. 스마트그리드 기술개발사업은 SCI와 특허가 늘어날수록 경제적 성과는 줄어드는 경향성을 나타낸다. 이 경우, SCI와 특허가 경제적 성과로 이어지는 효율이 실제로 낮은 것일 수도 있고, SCI와 특허는 계속 증가하는데 시장의 진입이 어려워 효과성은 없는 상태라고 해석할 수도 있다. 즉 효과성에서의 규모의 수익 특성은 다양하게 해석해 볼 여지가 있다.

스마트그리드 기술개발사업은 효율성과 생산성 측면에서 각각 56.3%와 44.4%의 과제가 규모수익증가(IRS)를 보였다. 비효율성의 원인으로는 93.8% 이상이 모든 단계에서 기술적 요인으로 나타나 투입량의 조절보다는 과학기술적 및 경제적 성과 향상을 위한 기술적 노력이 필요한 것으로 분석되었다.

모형 B는 모형 A보다 전반적으로 지수 값이 낮아지는 경향을

나타내었다. 지수들의 중위값보다 평균값이 다소 높아 상위그룹 과제가 조금 더 많은 비중을 차지하는 형태로 추정된다. 규모 수익성은 모형 A와 크게 달랐다. 규모수익증가(IRS) 과제가 비중이 증가했고, 모형 A에서는 규모수익감소(DRS)를 나타내었던 생산성이 규모수익증가(IRS)를 보이는 과제 비중이 72.2%를 차지하는 형태로 변했다. 모형 A와 모형 B의 차이는 SCI의 포함 여부에 있다. 즉, 스마트그리드 기술개발사업에서 SCI가 규모수익감소(DRS)의 원인인 것으로 추정해 볼 수 있다. SCI가 규모수익감소(DRS)의 원인이라면 경제적 성과 향상을 위해서는 SCI를 지표로 삼는 것이 불필요할 것으로 판단된다.

[표 4-25] 스마트그리드 과제 수준 결과(모형 A)

구분	지수		규모수익성			비효율성 원인	
효율성	평균값	중위값	IRS	DRS	CRS	기술	규모
	0.6408	0.6207	56.3%	-	45.2%	100%	-
효과성	평균값	중위값	IRS	DRS	CRS	기술	규모
	0.2260	0.1210		55.6%	44.4%	93.8%	6.3%
생산성	평균값	중위값	IRS	DRS	CRS	기술	규모
	0.2850	0.0990	44.4%	-	55.6%	93.8%	6.3%

[표 4-26] 스마트그리드 과제 수준 결과(모형 B)

구분	지수		규모수익성			비효율성 원인	
효율성	평균값	중위값	IRS	DRS	CRS	기술	규모
	0.500	0.412	65.6%	25.0%	9.4%	75.0%	25.0%
효과성	평균값	중위값	IRS	DRS	CRS	기술	규모
	0.204	0.114	72.2%	-	27.8%	88.2%	11.8%
생산성	평균값	중위값	IRS	DRS	CRS	기술	규모
	0.195	0.058	66.7%	-	33.3%	94.1%	5.9%

효율성에서는 반대로 규모수익감소(DRS)가 모형 A에서는 나타나지 않다가 모형 B에서 나타났다. 이는 변수가 많아지만 산출에서 특허가 아닌 다른 부분의 산출량이 증가하기 때문으로 볼 수 있다. 즉, 과제의 규모가 클수록 산출 변수가 다양해 진다고 해석할 수 있다.

비효율성의 원인은 대부분 기술적 요인이었으나 효율성과 효과성 측면에서 규모적 요인으로 비효율적인 과제들도 많다. 효율성에서 규모적 요인으로 비효율적인 과제들은 과제당 정부출연금 감액을 검토해 볼 수 있고, 효과성에서 규모적 요인으로 비효율적인 과제들은 특허가 발생한 경제적 성과에 비해서는 많은 편이라고 파악할 수 있다.

효율성, 효과성, 생산성 간의 상관관계를 살펴본 결과는 표 4-36, 37과 같다. 모형 A와 모형 B의 결과는 동일하게 나타났다. 각 지수 간에 상관관계가 없다는 귀무가설을 검정한 결과 효율성과 효과성, 효율성과 생산성은 서로 상관관계를 가진다는 통계적 근거는 없었다. 그러나 효과성과 생산성은 상관관계가 있는 것으로 판단되었다.

[표 4-27] 스마트그리드 3-STAGE 상관관계(모형 A)

단계	효율성	효과성	생산성
효율성	1		
효과성	-0.0765	1	
생산성	0.2267	0.8780**	1

*p<0.05, **p<0.01

[표 4-28] 스마트그리드 3-STAGE 상관관계(모형 B)

단계	효율성	효과성	생산성
효율성	1		
효과성	-0.122	1	
생산성	-0.0101	0.9864*	1

*p<0.05, **p<0.01

(4) 신재생에너지 기술개발사업

신재생에너지 과제는 모형 A에서 효율성 지수가 평균 0.432로 가장 높고, 효과성 지수가 평균 0.084로 가장 낮게 나타났다. 이 사업에서는 과제들의 지수 평균값이 중위값보다 높게 나타났는데, 상대적으로 하위에 있는 과제 그룹보다 상위에 있는 과제 그룹이 많은 것으로 해석할 수 있다. 그러나 다른 사업들과 비교하면 지수들의 평균값과 중위값이 0.5 이하로 효과성과 생산성은 0.1에 가깝다. DEA에서 계산된 효율성 지수는 절대값이 아닌 상대적 값이다.

규모 수익성은 효율성과 효과성은 각각 51.1%, 65.2%의 과제에서 규모수익증가(IRS)가 나타나 일부 과제는 과제당 투입량 증가가 필요한 것으로 판단되었다. 비효율성의 원인은 92.9% 이상의 과제가 기술적 요인에서 발생하는 것으로 분석되었다.

모형 B는 모형 A보다 효율성이 낮아지는 경향성을 나타냈다. 규모수익성에서는 모형 A와 모형 B가 산출한 수치는 다소 차이가 있으나 경향성은 유사하게 나타났다. 효율성과 생산성 측면에서 각각 39.1% 및 52.5%의 과제들은 규모수익증가(IRS)를 보여 과제당 정부출연금 증액을 검토해 볼 필요가 있는 것으로 나타났다. 비효율성의 원인은 98.9% 이상이 기술적 요인인 것으로 분석되었다.

[표 4-29] 신재생에너지 과제 수준 분석 결과(모형 A)

구분	지수		규모수익성			비효율성 원인	
효율성	평균값	중위값	IRS	DRS	CRS	기술	규모
	0.432	0.354	51.1%	1.1%	47.8%	92.9%	7.1%
효과성	평균값	중위값	IRS	DRS	CRS	기술	규모
	0.084	0.009	65.2%	5.4%	29.3%	96.7%	3.3%
생산성	평균값	중위값	IRS	DRS	CRS	기술	규모
	0.113	0.017	38.0%	-	62.0%	100.0%	-

[표 4-30] 신재생에너지 과제 수준 분석 결과(모형 B)

구분	지수		규모수익성			비효율성 원인	
효율성	평균값	중위값	IRS	DRS	CRS	기술	규모
	0.151	0.115	39.1%	-	60.9%	100.0%	-
효과성	평균값	중위값	IRS	DRS	CRS	기술	규모
	0.076	0.008	82.6%	5.4%	12.0%	98.9%	1.1%
생산성	평균값	중위값	IRS	DRS	CRS	기술	규모
	0.077	0.009	52.2%	2.2%	45.7%	98.9%	1.1%

효율성, 효과성, 생산성 간의 상관관계를 살펴본 결과는 표 4-31, 4-32와 같다. 모형 A와 모형 B의 결과는 동일하게 나타났다. 각 지수 간에 상관관계가 없다는 귀무가설을 검정한 결과 효율성과 효과성, 효율성과 생산성은 서로 상관관계를 가진다는 통계적 근거는 없었다. 그러나 효과성과 생산성은 상관관계가 있는 것으로 판단되었다.

[표 4-31] 신재생에너지 3-STAGE 상관관계(모형 A)

단계	효율성	효과성	생산성
효율성	1		
효과성	-0.181	1	
생산성	-0.0006	0.8350**	1

*p<0.05

[표 4-32] 신재생에너지 3-STAGE 상관관계(모형 B)

단계	효율성	효과성	생산성
효율성	1		
효과성	-0.1427	1	
생산성	-0.0069	0.8820*	1

*p<0.05

(5) 수요관리 기술개발사업

수요관리 기술개발사업 과제는 모형 A에서 효율성 지수가 0.622로 가장 높고 효과성 지수가 0.048로 가장 낮게 타났다. 이 사업에서는 과제들의 지수 평균값이 중위값보다 높게 나타났는데, 상대적으로 하위에 있는 과제 그룹보다 상위에 있는 과제 그룹이 많은 것으로 해석할 수 있다.

규모수익성은 효율성과 효과성에서 규모수익증가(IRS)를 나타내는 과제의 비율이 각각 71.2%와 72.7%로 높았다. 규모수익의 감소를 보이는 과제의 비율은 효율성 측면에서 3.0%로 낮게 나타났다. 비효율성의 원인으로는 효율성에서는 기술적 요인이 효율성, 효과성, 생산성 측면에서 각각 90.6%, 96.9%, 100.0%를 차지해 대다수를 차지했다. 수요관리 기술개발사업의 약 70% 이상의 과제가 과제당 투입량을 증가시켰을 경우 전체 사업의 효율성, 효과성이 향상될 것이라고 판단할 수 있다.

모형 B에서는 효율성 지수가 낮아졌고, 효과성과 생산성의 효율성 지수는 모형 A와 다소 떨어진 것으로 분석되었다. 이 사업은 규모 수익성에서 모형 B로 분석했을 때 효율성 측면에서 규모수익감소(DRS)를 보이는 과제가 34.8% 발생했다. 모형 A에서는 약 3.0% 수준에 불과했다. 모형 B 효율성에서 규모수익감소(DRS)가 발생한다는 것은 정부출연금 대비 특허 산출 효율이 떨어진다는 것이다. 종합적 투입-산출에서는 규모수익감소(DRS)를 보이지 않으므로 과제의 규모가 커지면 특허가 아닌 다른 부문의 성과가 많이 발생한다고도 추정해 볼 수 있다. 모형 B에서는 효율성 측면에

서는 약 59.1%, 생산성 측면에서는 33.3%의 과제가 규모수익증가(IRS)를 나타내어 정부출연금 증액을 통한 지수 향상을 기대해 볼 수 있다.

비효율성의 원인은 효율성 측면에서 규모적 요인을 갖는 과제가 30.2%로 많이 나타났다. 이 사업의 경우 특허 산출량 측면에서는 정부출연금의 조정을 검토해 볼 수 있겠다. 그러나 모든 변수를 종합적으로 분석한 효율성에서는 규모적 요인이 약 9.4%의 과제에 해당하기 때문에 정부출연금의 조정 시 모형 A와 모형 B의 결과를 비교해 보고 어떤 요소에서 규모적 요인이 발생했는지 추가적으로 살펴보아야 한다.

[표 4-33] 수요관리 과제 수준 결과(모형A)

구분	지수		규모수익성			비효율성 원인	
효율성	평균값	중위값	IRS	DRS	CRS	기술	규모
	0.622	0.661	71.2%	3.0%	25.8%	90.6%	9.4%
효과성	평균값	중위값	IRS	DRS	CRS	기술	규모
	0.048	0.010	72.7%	-	27.3%	96.9%	3.1%
생산성	평균값	중위값	IRS	DRS	CRS	기술	규모
	0.101	0.032	12.2%	-	87.8%	100.0%	-

[표 4-34] 수요관리 과제 수준 결과(모형B)

구분	지수		규모수익성			비효율성 원인	
효율성	평균값	중위값	IRS	DRS	CRS	기술	규모
	0.466	0.461	59.1%	34.8%	6.1%	69.8%	30.2%
효과성	평균값	중위값	IRS	DRS	CRS	기술	규모
	0.048	0.010	87.9%	1.5%	10.6%	96.9%	3.1%
생산성	평균값	중위값	IRS	DRS	CRS	기술	규모
	0.074	0.017	33.3%	-	66.7%	100.0%	-

효율성, 효과성, 생산성 간의 상관관계를 살펴본 결과는 표 4-35, 4-36과 같다. 모형 A와 모형 B의 결과는 동일하게 나타났다. 각 지수 간에 상관관계가 없다는 귀무가설을 검정한 결과 효율성과 효과성, 효율성과 생산성은 서로 상관관계를 가진다는 통계적 근거는 없었다. 그러나 효과성과 생산성은 상관관계가 있는 것으로 판단되었다.

[표 4-35] 수요관리 3-STAGE 상관관계(모형 A)

단계	효율성	효과성	생산성
효율성	1		
효과성	-0.153	1	
생산성	-0.1147	0.9511*	1

*p<0.05

[표 4-36]수요관리 3-STAGE 상관관계(모형B)

단계	효율성	효과성	생산성
효율성	1		
효과성	-0.1033	1	
생산성	-0.098	0.9132*	1

*p<0.05,

(6) 원자력 기술개발사업

원자력 기술개발사업 과제는 모형 A에서 효율성 지수가 평균 0.407로 가장 높고, 효과성 지수가 평균 0.134로 가장 낮게 나타났다. 이 사업에서는 과제들의 지수 평균값이 중위값보다 높게 나타났는데, 상대적으로 하위에 있는 과제 그룹보다 상위에 있는 과제 그룹이 많은 것으로 해석할 수 있다.

규모수익성은 효율성에서 규모수익증가(IRS)를 나타내는 과제의 비율이 각각 51.6%로 높았다. 그러나 효과성과 생산성에서는 약 92.9%의 과제가 규모의 수익 불변을 나타내었다. 비효율성의 원인으로는 효율성에서는 기술적 요인이 효율성, 효과성, 생산성 측면에서 각각 94.7%, 100.0%, 100.0%를 차지해 대다수인 것으로 나타났다.

원자력 기술개발사업의 51.6% 정도의 과제는 과제당 투입량을 증가시켰을 경우 전체 사업의 효율성은 향상되지만 효과성과 생산성도 동시에 향상될 것이라고는 기대하기 어렵다. 과학기술적 성과와 경제적 성과 중 어디에 중요성을 두는지에 따라 정부출연금의 조정이 달리 이루어져야 한다.

모형 B에서도 항목별 수치가 다소 차이가 나지만 전체적인 경향성은 동일하게 나타났다. 효율성 지수가 가장 높고, 효과성 지수가 가장 낮게 나타났다. 효율성은 규모수익증가(IRS) 특성을 보이는 과제가 약 74.2%로 많았으나 효과성이나 생산성 측면에서는 각각 14.3%, 7.1% 수준으로 떨어졌다. 비효율성의 원인은 기술적 요인이 84.7% 이상으로 나타나 대다수를 차지했다.

[표 4-37] 원자력 과제 수준 결과(모형A)

구분	지수		규모수익성			비효율성 원인	
효율성	평균값	중위값	IRS	DRS	CRS	기술	규모
	0.407	0.298	51.6%	4.8%	43.5%	94.7%	5.3%
효과성	평균값	중위값	IRS	DRS	CRS	기술	규모
	0.134	0.018	7.1%	-	92.9%	100.0%	-
생산성	평균값	중위값	IRS	DRS	CRS	기술	규모
	0.150	0.034	7.1%	-	92.9%	100.0%	-

[표 4-38] 원자력 과제 수준 결과(모형B)

구분	지수		규모수익성			비효율성 원인	
효율성	평균값	중위값	IRS	DRS	CRS	기술	규모
	0.293	0.212	74.2%	8.1%	17.7%	84.7%	15.3%
효과성	평균값	중위값	IRS	DRS	CRS	기술	규모
	0.114	0.012	14.3%	-	85.7%	100.0%	-
생산성	평균값	중위값	IRS	DRS	CRS	기술	규모
	0.143	0.030	7.1%	-	92.9%	100.0%	-

효율성, 효과성, 생산성 간의 상관관계를 살펴본 결과는 표 4-39, 4-40과 같다. 모형 A와 모형 B의 결과는 동일하게 나타났다. 각 지수 간에 상관관계가 없다는 귀무가설을 검정한 결과 효율성과 효과성, 효율성과 생산성은 서로 상관관계를 가진다는 통계적 근거는 없었다. 그러나 효과성과 생산성은 상관관계가 있는 것으로 판단되었다.

[표 4-39] 원자력 3-STAGE 상관관계(모형 A)

단계	효율성	효과성	생산성
효율성	1		
효과성	-0.0201	1	
생산성	-0.045	0.9398**	1

*p<0.05

[표 4-40] 원자력 3-STAGE 상관관계(모형 B)

단계	효율성	효과성	생산성
효율성	1		
효과성	-0.1124	1	
생산성	-0.1453	0.9837*	1

*p<0.05

(7) 자원개발 기술개발사업

자원개발 기술개발사업 과제는 모형 A에서 효율성 지수가 평균 0.799로 가장 높고, 효과성 지수가 평균 0.144로 가장 낮게 나타났다. 이 사업에서는 효과성과 생산성의 과제들의 지수 평균값이 중위값보다 높게 나타났는데, 상대적으로 하위에 있는 과제 그룹보다 상위에 있는 과제 그룹이 많은 것으로 해석할 수 있다. 그러나 효율성 지수는 평균값이 중위값보다 낮아 하위그룹 과제의 비중이 더 많다고 볼 수 있다. 그러나 중위값이 0.904로 매우 높아 전반적인 과제 효율성은 높다고 판단할 수 있다.

규모수익성은 효율성과 효과성, 생산성에서 규모수익증가(IRS)를 나타내는 과제의 비율은 각각 45.8%와 28.6%, 50.0%로 나타났다. 한편 효과성에서 규모의 수익 불변인 과제가 71.4%를 차지했고, 특허나 SCI가 증가할수록 경제적 성과가 향상되는 과제의 비중은 낮은 28.6%를 차지했다. 비효율성의 원인으로는 효율성에서는 기술적 요인이 효율성, 효과성, 생산성 측면에서 각각 66.7%, 100.0%, 100.0%를 차지해 대다수인 것으로 분석되었다.

모형 B에서는 효율성 지수가 평균 0.496으로 가장 높고, 효과성 지수가 평균 0.117로 가장 낮게 나타났다. 이 사업에서는 효과성과 생산성의 과제들의 지수 평균값이 중위값보다 높게 나타났는데, 상대적으로 하위에 있는 과제 그룹보다 상위에 있는 과제 그룹이 많은 것으로 해석할 수 있다. 모형 A에 비해서는 모든 지수값이 낮아졌다.

규모의 수익성, 비효율성 원인 모두 모형 A와 수치는 다르지만

비슷한 경향을 보였다. 다만 효율성 부문에서 규모수익감소(DRS)인 과제가 37.5%로 모형 A에 비해 높은 비중을 나타냈다.

[표 4-41] 자원개발 과제 수준 결과(모형A)

구분	지수		규모수익성			비효율성 원인	
효율성	평균값	중위값	IRS	DRS	CRS	기술	규모
	0.799	0.904	45.8%	8.3%	45.8%	86.7%	13.3%
효과성	평균값	중위값	IRS	DRS	CRS	기술	규모
	0.144	0.018	28.6%	-	71.4%	100.0%	-
생산성	평균값	중위값	IRS	DRS	CRS	기술	규모
	0.237	0.050	50.0%	-	50.0%	100.0%	-

[표 4-42] 자원개발 과제 수준 결과(모형B)

구분	지수		규모수익성			비효율성 원인	
효율성	평균값	중위값	IRS	DRS	CRS	기술	규모
	0.496	0.429	58.3%	37.5%	4.2%	90.9%	9.1%
효과성	평균값	중위값	IRS	DRS	CRS	기술	규모
	0.117	0.017	7.1%	-	92.9%	100.0%	-
생산성	평균값	중위값	IRS	DRS	CRS	기술	규모
	0.196	0.025	78.6%	14.3%	7.1%	100.0%	-

효율성, 효과성, 생산성 간의 상관관계를 살펴본 결과는 표 4-43, 4-44와 같다. 모형 A와 모형 B의 결과는 동일하게 나타났다. 각 지수 간에 상관관계가 없다는 귀무가설을 검정한 결과 효율성과 효과성, 효율성과 생산성은 서로 상관관계를 가진다는 통계적 근거는 없었다. 그러나 효과성과 생산성은 상관관계가 있는 것으로 판단되었다.

[표 4-43] 자원개발 3-STAGE 상관관계(모형 A)

단계	효율성	효과성	생산성
효율성	1		
효과성	0.128	1	
생산성	0.2568	0.8438*	1

*p<0.05

[표 4-44] 자원개발 3-STAGE 상관관계(모형 B)

단계	효율성	효과성	생산성
효율성	1		
효과성	-0.1926	1	
생산성	0.093	0.8351*	1

*p<0.05

(8) 청정화력 기술개발사업

청정화력 기술개발사업 과제는 모형 A에서 효율성 지수가 평균 0.496으로 가장 높고, 효과성 지수가 평균 0.126으로 가장 낮게 나타났다. 이 사업에서는 효과성과 생산성에서 과제들의 지수 평균값이 중위값보다 높게 나타났는데, 상대적으로 하위에 있는 과제 그룹보다 상위에 있는 과제 그룹이 많은 것으로 해석할 수 있다.

규모수익성은 효율성과 효과성, 생산성에서 규모수익증가(IRS)를 나타내는 과제의 비율이 각각 55.6%와 25.0%, 12.5%로 나타났다. 규모수익감소(DRS)를 나타내는 과제는 없었다. 비효율성의 원인으로는 모든 지수에 대해 기술적 요인이 100% 인 것으로 나타났다.

모형 B에서는 효율성 지수가 평균 0.389로 가장 높고, 효과성 지수가 평균 0.126으로 가장 낮게 나타났다. 이 사업에서는 효과성과 생산성의 과제들의 지수 평균값이 중위값보다 높게 나타났는데, 상대적으로 하위에 있는 과제 그룹보다 상위에 있는 과제 그룹이 많은 것으로 해석할 수 있다. 모형 A에 비해서는 모든 지수 값이 낮아졌다. 모형 A와 모형 B의 지수 값이 큰 차이를 보이는 경우도 있으나 이 사업은 약간의 차이를 보였다.

규모의 수익성은 생산성은 같은 수치를 나타내었으나, 효율성과 효과성은 특성이 모형 A와 모형 B가 다르게 나타났다. 우선 효율성에서 규모수익감소(DRS)를 나타내는 과제 비중이 22.2%로 높아졌다. 효과성은 규모수익증가(IRS) 과제의 비중이 높아졌다. 즉

청정화력 기술개발사업의 과제당 정부출연금 규모가 커질수록 산출물이 다양해지고, 특허의 경제적 효과성도 높아지는 특성을 가졌다고 해석할 수 있다.

비효율성의 원인은 기술적 요인이 효과성과 생산성에서 100%를 나타냈다. 그러나 효율성에서는 기술적 요인 외에 규모적 요인이 약 36.0%를 차지해 해당 그룹에 대해서는 과제당 정부출연금의 적정성 검토가 필요한 것으로 나타났다. 그러나 모형 A에서는 규모적 요인이 없는 것으로 나타났기 때문에 모형 B로 바로 판단하기 보다는 다른 변수들의 현황을 추가적으로 검토하는 것이 필요하다.

효율성, 효과성, 생산성 간의 상관관계를 살펴본 결과는 표 4-47, 48과 같다. 모형 A와 모형 B의 결과는 동일하게 나타났다. 각 지수 간에 상관관계가 없다는 귀무가설을 검정한 결과 효율성과 효과성, 효율성과 생산성은 서로 상관관계를 가진다는 통계적 근거는 없었다. 그러나 효과성과 생산성은 상관관계가 있는 것으로 판단되었다.

[표 4-45] 청정화력 과제 수준 결과(모형A)

구분	지수		규모수익성			비효율성 원인	
효율성	평균값	중위값	IRS	DRS	CRS	기술	규모
	0.496	0.460	55.6%	-	44.4%	100.0%	-
효과성	평균값	중위값	IRS	DRS	CRS	기술	규모
	0.126	0.001	25.0%	-	75.0%	100.0%	-
생산성	평균값	중위값	IRS	DRS	CRS	기술	규모
	0.195	0.038	12.5%	-	87.5%	100.0%	-

[표 4-46] 청정화력 과제 수준 결과(모형B)

구분	지수		규모수익성			비효율성 원인	
효율성	평균값	중위값	IRS	DRS	CRS	기술	규모
	0.389	0.319	74.1%	22.2%	3.7%	60.0%	36.0%
효과성	평균값	중위값	IRS	DRS	CRS	기술	규모
	0.126	0.0004	75.0%		25.0%	100.0%	
생산성	평균값	중위값	IRS	DRS	CRS	기술	규모
	0.127	0.001	12.5%		87.5%	100.0%	

[표 4-47] 청정화력 3-STAGE 상관관계(모형 A)

단계	효율성	효과성	생산성
효율성	1		
효과성	-0.4264	1	
생산성	-0.3669	0.9575**	1

*p<0.05

[표 4-48] 청정화력 3-STAGE 상관관계(모형B)

단계	효율성	효과성	생산성
효율성	1		
효과성	-0.1926	1	
생산성	0.093	0.8351*	1

*p<0.05

(9) 종합 분석

과제 수준 분석은 과제별 결측데이터 존재로 인해 사업 수준 분석을 시행한 15개 사업 중 8개 사업에 대해서 시행하였다. 효율성, 효과성, 생산성 지수와 관련해서는 사업 수준 분석결과와 동일한 결과를 보여 다음과 같은 시사점을 도출 할 수 있었다.

첫째, 사업의 구분과 상관없이 모든 사업에서 과학기술적 효율성이 경제적 생산성을 반드시 보장하는 것은 아니며, 과학기술적 성과를 경제적 성과로 전환하는 효과성과도 관련이 없는 것으로 분석되었다. 따라서, 효율성과 효과성이 관련이 없다는 가설 H1을 지지하였다.

둘째, 정부 에너지 R&D 사업은 효과성과 생산성이 강한 양의 상관관계를 나타내었다. 모든 사업에서 효과성과 생산성은 강한 양의 상관관계를 통계적 유의수준 5% 이내에서 만족하였다. 이는 모든 사업에서 효과성과 생산성은 강한 양의 상관관계를 가진다는 가설 H2를 지지하는 결과이다.

셋째, 분석대상인 8개 사업 모두에서 효율성과 효과성은 상관관계를 나타내지 않아, 정부 에너지 R&D 사업에서 STAGE 1과 STAGE 2는 상관관계를 나타내지 않는다는 가설 H3를 지지하는 결과를 보였다.

제 4 절 논의 및 결론

본 장에서는 사업 수준과 과제 수준에서 정부 에너지 R&D의 효율성, 효과성, 생산성 지수 및 지수 간 상관관계 분석을 수행하였다. 결과는 크게 4가지로 요약될 수 있다.

첫째, 정부 에너지 R&D의 과학기술적 효율성이 경제적 생산성을 반드시 보장하는 것은 아니며, 높은 효율성이 높은 효과성과 선형 관계로 나타나지 않는다는 점이다. 이는 사업 수준 분석과 과제 수준 분석에서 모두 동일하게 나타났는데, 정부 에너지 R&D의 효율성과 생산성 간 상관관계는 통계적 유의성을 나타내지 않아 가설(H1) '정부 에너지 R&D 사업은 모든 분야에서 STAGE 1과 STAGE 3가 상관관계를 나타내지 않는다.'를 지지하였다. 이는 국내 정부 R&D 사업에 대해 과학기술적 효율성과 경제적 생산성을 분석한 박승(2014), 김홍규 외(2015) 등에서 나타난 연구결과와 같으며, 서비스 부문에 3-STAGE DEA를 적용한 Keh and Chu(2003, 2006)의 연구결과와는 다르다. 서비스 부문에서는 효율성과 생산성이 양의 상관관계를 갖는 것으로 나타났다.

정부 에너지 R&D 사업은 높은 과학기술적 효율성이 반드시 높은 경제적 생산성을 가져오는 것은 아니었지만, 예외적으로 신재생에너지기술개발사업은 과학기술적 효율성, 효과성, 경제적 생산성 모두 '1'로 나타나 다른 사업의 벤치마킹 대상으로 적합하다고 판단되었다.

한편 효율성과 효과성의 상호 독립된 관계는 정부 에너지 R&D 사업의 구조상 문제에서 기인하는 것으로 해석된다. 사업별 효율

성-효과성-생산성 지수 분석 결과에서 나타났듯이 과학기술적 효율성이 높은 사업과 효과성이 높은 사업은 사업의 성격이 달랐다. 예를 들어, ESS 기술개발사업은 과학기술적 효율성은 높았으나 효과성은 낮았다. 그러나 ESS 실증사업은 과학기술적 효율성은 낮았으나 효과성은 높았다. ESS 기술개발사업은 종료 후 5년 내에 경제적 성과를 창출하는 효과성이 0.018로 나타났다. 이는 ESS 기술개발사업의 생산성은 ESS 실증 사업의 약 1.8% 수준이다. 따라서 정부 에너지 R&D 사업 내 기술개발형 보다 실증형 사업이 많아질수록 총 효과성은 높아질 것이라고 추정해 볼 수 있다.

둘째, 정부 에너지 R&D 사업은 효과성과 생산성이 강한 양의 상관관계를 갖는 것으로 나타나, 가설(H2) '정부 에너지 R&D 사업 모든 분야에서 STAGE 2와 STAGE 3가 강한 양의 상관관계를 갖는다.'를 지지하는 결과가 도출되었다. 이는 특허 및 논문을 경제적 성과로 전환하는 효율이 높아야 생산성이 높아질 수 있다는 것을 의미한다. R&D의 생산성을 높이기 위해서는 단순히 특허나 논문의 양을 증가시키는 것보다는 특허나 논문이 경제적 성과로 연결될 수 있도록 이와 관련된 정책 및 제도적 지원이 더 중요할 것으로 보인다.

셋째, 사업 성격에 따라서 효율성, 효과성, 생산성 지수의 경향성이 구분되어 나타났다. 표준, 인증, 실증 사업들로 투입량에 비해 발생하는 논문과 특허의 수가 다른 기술개발사업에 비해 매우 적다. 실증 사업의 경우에는 논문 및 특허 산출이 경제적 성과로 전환되는 효과성이 월등하게 높은 특징을 보였다. 기술개발 성격

의 사업은 효율성은 높으나 효과성 및 생산성은 낮게 나타나는 경향성을 보였다.

넷째, 정부 에너지 R&D 사업에 대한 지출의 증감 방향에 대해서도 효율성 분석을 통해 도출할 수 있었다. 과학기술적 효율성 관점에서는 규모수익감소(DRS), 또는 불변규모수익(CRS)이 나타나 투입 증가 필요성이 낮았으며, 생산성 관점에서는 규모수익증가(IRS)가 나타나 생산성의 향상을 위해서는 투입의 증가가 적절한 것으로 분석되었다. 그러나 과제 수준 분석 결과는 사업 수준 분석 결과와는 달랐다. 과제별로 규모수익성, 비효율성 원인이 매우 다양하게 나타났다. 따라서 사업의 생산성을 향상시키기 위해서는 사업의 정부출연금, 사업기간 등 투입요소의 증가가 도움이 될 수 있지만, 과제 수준에서는 정부출연금, 과제기간 등 투입요소를 증가하는 것이 반드시 생산성을 향상시킨다고 볼 수 없어 과제별 특성에 따라 달리 적용하는 것이 필요하다고 판단되었다.

이상을 요약하면 정부 에너지 R&D 사업의 3-STAGE DEA 분석을 통해 과학기술적 효율성이 효과성이나 생산성과 선형 관계로 나타나지 않는다는 사실을 확인할 수 있었다. 또한 과학기술적 효율성 향상을 위해서 정부 에너지 R&D 사업에 대한 투입요소의 증가는 필요하지 않은 것으로 나타났으나, 생산성 향상을 위해서는 정부 에너지 R&D 사업에 대한 정부출연금을 비롯한 투입 요소의 증가 필요한 것으로 나타났다. 그러나 과제 수준에서는 과제의 특성에 따라 투입 규모를 설정하는 것이 적정하다고 판단되었다.

제 5 장 정부 에너지R&D 예산 포트폴리오

이 장은 4장에서 분석한 효율성, 효과성, 생산성 평가 결과를 어떻게 정부 에너지 R&D 예산에 환류시킬 수 있는지 실증분석한 연구이다. 비효율적 사업은 투입량을 얼마나 감소시켜야 효율성이 개선될 수 있는지, 규모수익성에 따라 투자 방향은 어떻게 달라져야 하는지 민감도 분석을 수행했다.

제 1 절 방법론 및 데이터

가. 방법론

본 연구에서는 R&D 사업 및 과제의 효율성 평가 결과를 차기 예산에 환류하는 방법론은 DEA 여유분 분석(slack analysis)을 적용하였다. DEA에서 효율성은 투입물은 고정시킨 채 산출물 생산의 효율성을 도출할 수 있고, 역으로 산출물은 고정시킨 채 투입물 사용의 효율성을 도출할 수 있다. 그리고 산출물과 투입물을 동시에 고려할 수도 있다. 산출물 기준의 효율성을 도출하는 경우, j번째 DMU에 대한 효율성은 아래의 식과 같이 정의할 수 있다.

이때, 어떤 DMU를 상첨자 k로 표현해, x_n^k은 DMU가 사용한 n번째 투입물, y_m^k은 DMU의 m번째 산출물 생산량을 나타낸다.

$$\max_{(\theta_V, \lambda^1, \cdots, \lambda^K)} \theta_V$$

$$s.t. \theta_V y_m^j \leq \sum_{k=1}^{K} \lambda^k y_m^k,\ m = 1, \cdots, M,\ \sum_{k=1}^{K} \lambda^k x_n^k \leq x_n^j,\ n = 1, \cdots, N,$$

$$\sum_{k=1}^{K} \lambda^k = 1, \lambda^k \geq 0,\ k = 1, \cdots, K$$

이 때 효율성 지수 θ_V는 0과 1 사이의 값을 갖는다. 효율성 값이 1에 가까워 질수록 관측치가 생산변경에 더 가깝다는 것을 의미하고 1일 경우 생산변경 상에 놓여있다는 것을 의미한다. 관측점이 생산변경으로부터 멀어질수록 비효율성이 커지며 효율성 지수 값은 0에 가깝게 된다. 효율성 지수에 100을 곱할 경우 효율성 수준을 백분율로 나타낼 수 있다. 이를 통해 j번째 관측치의 투입요소를 얼마나 줄일 수 있는지 계산할 수 있다.

효율성 척도가 1이라고 하더라도 추가적으로 투입요소를 줄여나갈 여지가 있을 수 있다. 약효율적인 점들은 추가적으로 투입요소를 줄여나갈 여지를 갖는다. 약효율적인 점이 강효율적이 점과 비교해 추가적으로 투입과 산출을 조정할 수 있을 때 추가적인 개선 여지를 여유분(slack)이라고 한다. 효율성의 척도가 1이라고 하더라도 효율성의 개선 여지가 전혀 없는 점이라고는 말할 수 없다.

즉 θ_V가 1로 계산될 때에도 아래의 제약식이 등식으로 성립하지 않고 여분 값을 가질 수가 있다.

$$.\theta_V y_m^j \leq \sum_{k=1}^{K} \lambda^k y_m^k,\ m = 1, \cdots, M,\ \sum_{k=1}^{K} \lambda^k x_n^k \leq x_n^j$$

이 경우 j번째 DMU의 산출량을 늘려주거나 투입량을 줄여주는 것이 기술적으로 가능하다. θ_V의 값이 1이라는 것은 기술효율성을 위해 필요한 조건이지 충분한 조건은 아니다.

완전한 의미의 기술효율성은 다음의 조건이 모두 충족할 때 발생하며 이를 쿠프만(Koopmans) 효율성 조건이라고 한다.

$$\theta_V = 1,\ y_m^j = \sum_{k=1}^{K} \lambda^k y_m^k,\ \sum_{k=1}^{L} \lambda^k x_n^k = x_n^j$$

여유분은 각 투입/산출 요소에 대해 물리적 단위로 측정되므로 측정단위가 바뀌면 여유분 값도 바뀌게 된다.

slack 분석을 이용하면 효율성을 '1'로 개선시키기 위해 어떤 투입요소를 줄이고 어떤 산출요소를 증가시켜야 하는지 또 어느 정도의 증감이 필요한지 도출할 수 있다.

나. 연구모형의 구성

R&D 산출은 다양한 요인들의 상호과정을 통해 나타나는 복합성과 불확실성 때문에 사업의 성과나 평가 결과를 R&D 예산에 환류시키는 데에는 어려움이 있었다.

DEA를 활용하면 효율성 분석을 통해 해당 사업의 예산 증감에 대한 방향성을 잡을 수 있다. DEA 분석 결과는 효율성이 높은 사업에 지출을 더 해야 한다는 결론이 아닌, 규모수익성과 비효율성의 원인에 따라 해당사업에 추가 지출이 효율성을 향상시키는지를 기준으로 결과를 도출한다. 즉, 효율성이 높은 사업이 규모수익성은 불변규모수익(CRS)를 가진다고 했을 때, 이 사업에 추가 지출은 더 이상의 효율성 향상을 가져오지는 못한다. 그러나 어떤 사업의 규모수익증가(IRS)을 갖는다면 추가 지출이 성과 향상에 기여할 수 있다고 해석한다.

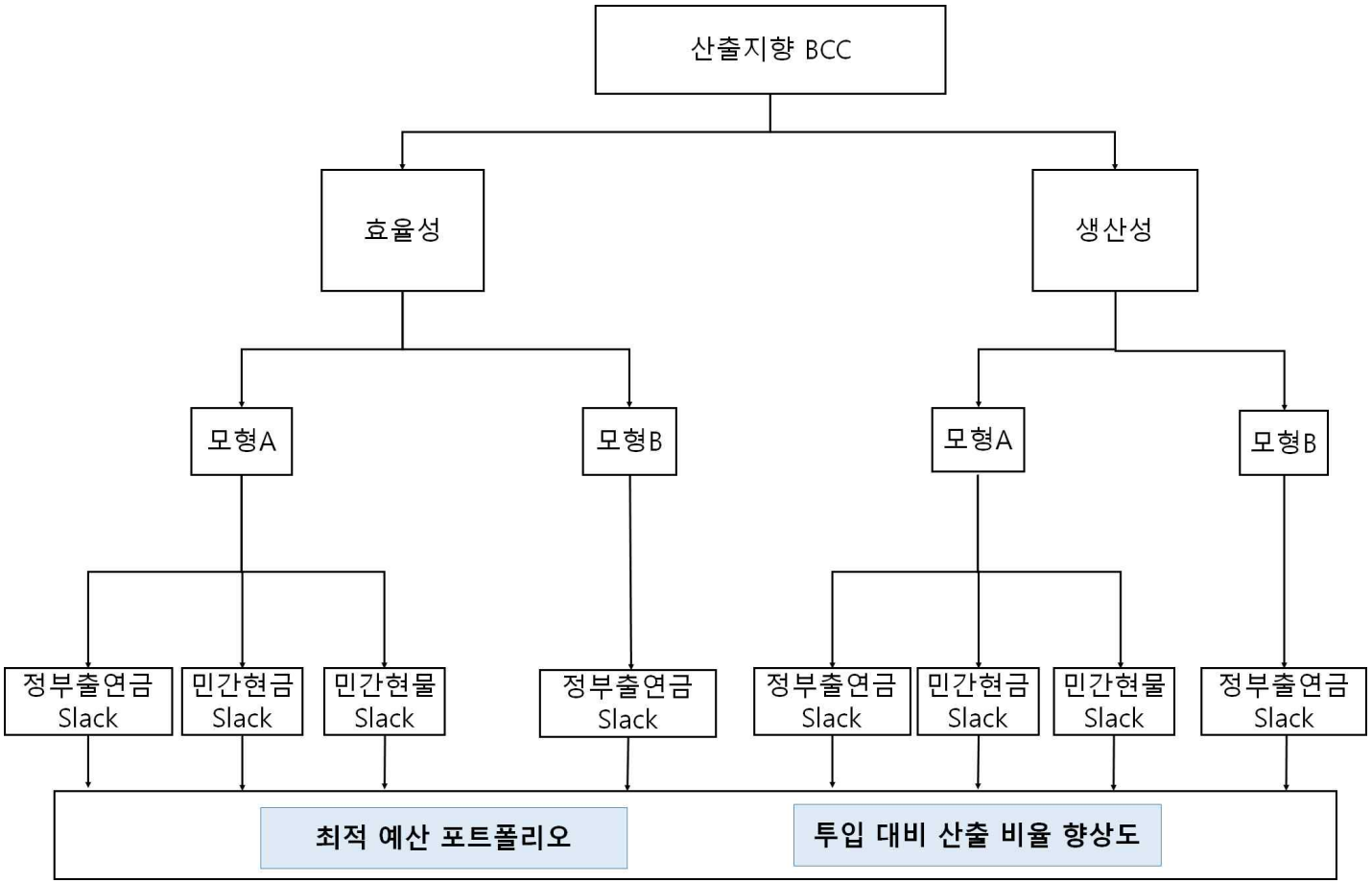
본 연구에서는 정부 에너지R&D 예산 포트폴리오 최적화를 위하여 DEA 여유분 분석 결과를 차기 예산에 환류하는 모형을 제시하였다. 이는 복잡한 정치적 과정(Gabriel, 1991)으로 설명할 수 있는 R&D 투자 우선순위의 선정과 예산 배분을 위한 과정과는 차별화된다. 본 연구에서는 제시하는 방법론은 R&D 투자 우선순위가 선정되어 예산이 배분된 이후 시행 과정에서 정밀한 예산 조정에 적용에 적합할 것으로 판단된다.

본 연구에서 DEA 기반의 예산 환류 모형은 기존에 추진되고 있는 사업의 정부투입 예산을 최소화하고 최대의 산출을 확보하는 데 있다. 이 방식은 R&D 효율성 관점에서 불필요하게 투입되는

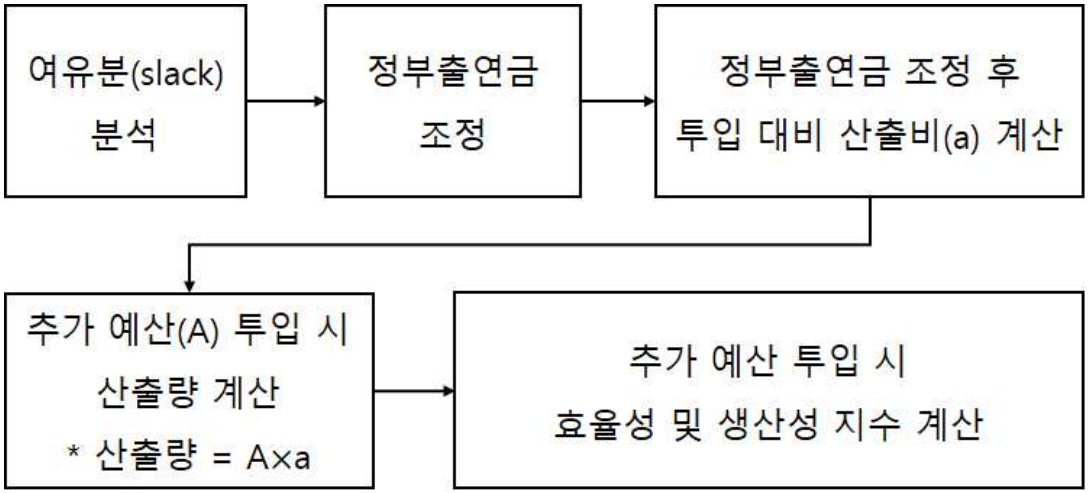
예산을 절감해 정부 재정이 필요한 곳으로 배분될 수 있도록 하는 장점을 가진다. 여유분(slack) 분석을 하면 현재 수준의 성과를 달성하는데 불필요한 정부출연금의 양을 산출할 수 있고, 현재 정부출연금 수준에서 창출해야 하는 산출요소의 양을 산출할 수 있다.

본 연구에서는 4장에서 분석된 결과를 토대로 DEA 분석 결과가 R&D 예산 포트폴리오 구축에 어떻게 환류될 수 있는지 2가지 관점의 방법론을 제시한다. 첫째, 사업 수준에서 효율성과 생산성 각각에 대해 여유분(slack) 분석을 수행하고 정부출연금을 최소화한 포트폴리오를 산출한다. 둘째, 4장의 DEA 분석에서 규모수익성이 규모수익증가를 나타내는 사업에 정부출연금을 추가 투입하는 경우 효율성 및 생산성이 어느정도 향상되는지 민감도 분석을 시행하였다. 해당 사업의 여유분 분석을 마친 후, 조정된 포트폴리오에서 정부출연금 대비 산출요소 비율을 계산할 수 있는데, 추가 예산 투입시 창출할 수 있는 산출요소의 양은 이 비율을 따른다고 가정하고 계산하였다.

[그림 5-1] 분석 프로세스 흐름도 1 : 여유분(Slack) 분석



[그림 5-2] 분석 프로세스 흐름도 2 : 예산 민감도 분석



다. 변수 및 데이터

(1) 변수

R&D 예산 최적 포트폴리오 구축 방법론에 활용된 데이터는 선행 장에서 사용한 데이터와 같다. 본 장에서는 포트폴리오 구축 비교를 위해 사업 수준 분석을 시행한 총 15개 사업에 대해 포트폴리오 구축을 수행하였다.

R&D 예산은 정부출연금, 민간현금, 민간현물로 세분화 하였다. 기본모형 A는 정부출연금, 민간현금, 민간현물이 해당하고, 추가모형 B에서는 정부출연금에 대해서만 분석하였다.

(2) 데이터

포트폴리오 분석에 활용되는 데이터는 2021년 기준 성과활용조사 데이터 중 결측값을 제외한 사업이다. 제 4 장 효율성 분석에 활용된 데이터를 동일하게 활용한다. 분석 프로그램은 StataSE 17을 이용하였다.

제 2 절 선행연구

DEA를 활용한 포트폴리오 방법론 연구는 경영 분야에서 투자자의 불확실성을 고려한 적정 투자 포트폴리오를 설계하는 데 많이 사용된다.

Zeng et al.(2022)는 DEA를 에너지 믹스 포트폴리오 구축하는 방법론으로 활용하였다. 이 연구에서는 DEA로 에너지 효율성을 측정하고 DEA 프런티어를 개선해 에너지믹스를 조정했다. 에너지 믹스 조정 후 재생에너지 비율을 29.4%에서 55.53%로 증가시키고 발전산업의 탄소배출을 24.54% 감소시키는 결과를 얻었다.

Golany et al.(2006)은 R&D 프로젝트의 효율적이고 효과적이며 균형 잡힌 포트폴리오를 구성하기 위한 방법론을 제안하였다. BSC(balanced scorecard) 접근법에 내재된 일부 질적 개념을 양적으로 계량화하는데 DEA 모델을 적용하였다. 이 연구는 효율성, 효과성 및 균형 고려 사항을 통합할 수 있는 R&D 포트폴리오 분석 방법론을 제안했다.

Zhang and Chen(2018)은 투자자 관점에서 에너지 투자 포트폴리오를 구축하기 위해 DEA 윈도우분석 방법과 DEA 방향거리 함수를 사용해 에너지 포트폴리오의 동적 성능을 종합적으로 평가하였다.

Liu et al.(2014)는 DEA 모델의 이론적 기반을 샘플링 포트폴리오 관점에서 연구했다. 전통적인 DEA 모델과 비선형(다각화) DEA 모델은 종종 포트폴리오의 성과 평가에 사용되나, 다각화 모델은 기본 모델을 제외하고는 일반적으로 계산하기 매우 복잡하

다. 이 연구에서는 포트폴리오에 대한 DEA 모델의 이론적 기반을 샘플링 포트폴리오 관점에서 조사하여 클래식 DEA가 포트폴리오 효율성(PE)을 근사화하기 위한 효과적이고 실용적인 방법을 제공한다는 결과를 도출했다.

Xiao(2021)은 포트폴리오 효율성 추정에 DEA를 사용하였다. 이 연구에서는 평균-분산 프레임워크에서 세 가지 다양화 일치 DEA 모델을 했다. 30 개의 미국 산업 포트폴리오를 선택하고 다른 데이터 세트에서 몇 가지 실험적 분석을 수행하여 어떤 모델이 매개변수 불확실성이 포트폴리오 효율성과 순위에 미치는 영향을 더 잘 다루는지 찾았다.

이형진(2015)는 국방핵심기술개발사업의 효율성을 DEA 기본모형과 확장모형에 대해 분석하고 연구개발비용, 연구개발인력, 사업기간, 특허, 논문, 실용화 등 투입과 산출의 포트폴리오 개선 방안을 제시했다. 비효율성은 DEA의 투영점에서 산출을 뺀 후 다시 투영점으로 나눈 결과의 비율이므로, 기존보다 R&D 비용을 33.34% 줄이는 것이 필요하다고 분석했다.

박승(2013)의 연구에서는 국방핵심기술 연구개발 55개 과제에 대해 효율성을 분석하고 DMU별 효율성 개선 목표를 제시하였다. 비효율성을 개선하기 위해 R&D 비용을 20% 정도 줄이는 포트폴리오 개선안을 제시했다.

김준현 외(2020)은 DEA를 이용한 농림 R&D 사업의 효율성 분석에서 Charnes, Cooper, and Rhodes의 CCR 모형과 Banker, Charnes, and Cooper의 BCC 모형을 동시에 사용하였다. 분석을 R&D 과제 유형별로 포트폴리오에 대한 변화가 필요함을 지적하

였다. 790개 과제는 규모의 확충이 필요하며 규모의 확장 시 효율성이 감소되는 상태인 30개 과제는 규모의 축소를 통해 효율성을 높일 필요성이 있는 것으로 분석되었다. 또한, 대규모 연구를 축소하고 소규모 연구과제를 확대할 필요가 있으며 자유응모 과제의 비중을 확대하여 효율성을 제고할 필요가 있다는 결론을 발표했다.

김태희 외(2009)는 원자력연구개발사업의 효율성 분석을 위해 DEA를 이용하여 원자력연구개발사업 내의 원자력기술개발사업, 원자력기반확충사업, 방사선기술개발사업 등 3가지 내역사업을 대상으로 분석한 결과 모두 비효율 적으로 나타났다. 분석 대상 사업의 효율성을 높이기 위해서는 SCI와 기술확산을 비롯한 연구 성과를 높일 필요가 있는 것으로 나타났으며, 원자력기술개발사업의 경우 연구비 규모를 축소해야 하는 것으로 나타나 성과의 확대와 사업비의 효율적 투입이 함께 고려되어야 한다고 하였다.

제 3 절 최적 예산 포트폴리오

본 연구에서는 제 4 장에서 사업수준 분석을 시행한 15개 사업의 투입 변수 중 정부출연금 항목에 대해 여유분 분석을 수행하였다. 본 연구의 모형인 3-STAGE 중에서 포트폴리오 분석은 STAGE 1과 STAGE 3의 효율성과 생산성에 나온 결과만을 활용하였다. STAGE 2는 중간 산출물로서 투입물의 조정 개념을 적용하기가 어렵기 때문이다. STAGE 1과 STAGE 3은 R&D 최초 투입물의 조정이 가능하다.

가. 효율성 지수

(1) 여유분(Slack) 분석

효율성 지수에서 나타난 정부출연금의 전체 사업 총 여유분은 742억원이었다. 원자력 기술개발사업에서 562억원, 전력표준화 및 인증지원사업에서 166억원, ESS 실증에서 4억원, 청정화력 기술개발사업에서 9억원 발생하였다. 이 여유분은 현행 산출수준을 유지하면서 줄일 수 있는 금액이므로 정부출연금을 축소하는 경우 해당 사업의 효율성을 향상시킬 수 있다.

이 때, 여유분 분석을 통해 조정된 정부출연금과 조정 이전의 정부출연금을 산출요소로 나누면, 정부출연금 조정 전과 후의 투입 대비 산출비를 계산할 수 있다. 표 5-1은 정부출연금 축소를 통해 투입 대비 산출비가 얼마나 향상되었는지 보여준다.

[표 5-1] 효율성 Slack(여유분)-정부출연금-1

DMU	slack(여유분) 분석				투입 대비 산출비 (조정 전)		투입 대비 산출비 (조정 후)	
	정부출연금 (억원)	Slack	조정값	감액비율	특허	논문	특허	논문
1	1,124	-	1,124	0%	18.6%	43.7%	18.6%	43.7%
2	446	-	446	0%	11.2%	27.1%	11.2%	27.1%
3	611	-	611	0%	2.1%	17.8%	2.1%	17.8%
4	1,939	-	1,939	0%	8.9%	34.9%	8.9%	34.9%
5	9,486	-	9,486	0%	19.7%	34.6%	19.7%	34.6%
6	870	-	870	0%	30.7%	33.6%	30.7%	33.6%
7	8,377	-	8,377	0%	13.1%	33.1%	13.1%	33.1%

[표 5-2] 효율성 Slack(여유분)-정부출연금-2

DMU	slack(여유분) 분석				투입 대비 산출비 (조정 전)		투입 대비 산출비 (조정 후)	
	정부출연금 (억원)	Slack	조정값	감액비율	특허	논문	특허	논문
8	598	-	598	0%	8.0%	26.3%	8.0%	26.3%
9	2,850	562	2,288	20%	8.9%	24.8%	11.1%	30.9%
10	1,337	-	1,337	0%	19.8%	26.4%	19.8%	26.4%
11	1,270	166	1,104	13%	0.6%	3.2%	0.7%	3.7%
12	180	4	176	2%	1.1%	3.3%	1.1%	3.4%
13	75	-	75	0%	8.0%	29.3%	8.0%	29.3%
14	1,145	9	1,136	1%	13.5%	36.5%	13.6%	36.8%
15	1,236	-	1,236	0%	3.5%	4.4%	3.5%	4.4%
계	31,544	742	30,802	2%	4,452	9,500	14.1%	30.1%

(2) 민감도 분석

4장에서 산출 지향 BCC DEA 분석을 통해 STAGE 1에서 사업별 규모수익성을 분석한 결과, 규모수익증가(IRS)를 나타낸 사업은 전력 표준화 및 인증지원 사업이므로 이 사업에 대해 정부출연금을 10%, 20% 증가시켰을 때, 상대적 효율성이 어떻게 변하는지 살펴보았다.

정부출연금 증가 시 투입 대비 산출비는 표 5-2의 0.7%, 3.7%를 따른다고 가정하였을 때 전력 표준화 및 인증지원 사업의 효율성은 정부출연금 10% 증가시 효율성이 약 26.1%, 정부출연금을 20% 증가시켰을 경우 효율성은 약 37.5% 향상되는 것으로 나타났다. 사업 전체의 효율성 순위에 변동은 발생하지 않았다.

[표 5-3] 효율성-민감도 분석-1

DMU	조정 전		+10%		+20%	
	효율성	Rank	효율성	Rank	효율성	Rank
1	1	1.00	1	1.00	1	1.00
2	12	0.94	12	0.94	12	0.94
3	1	1.00	1	1.00	1	1.00
4	1	1.00	1	1.00	1	1.00
5	1	1.00	1	1.00	1	1.00
6	1	1.00	1	1.00	1	1.00
7	1	1.00	1	1.00	1	1.00

[표 5-4] 효율성-민감도 분석-2

DMU	조정 전		+10%		+20%	
	효율성	Rank	효율성	Rank	효율성	Rank
8	1	1.00	1	1.00	1	1.00
9	13	0.89	13	0.89	13	0.89
10	1	1.00	1	1.00	1	1.00
11	14	0.21	14	0.27	14	0.29
12	15	0.15	15	0.15	15	0.15
13	1	1.00	1	1.00	1	1.00
14	11	0.96	11	0.96	11	0.96
15	1	1.00	1	1.00	1	1.00

나. 생산성 지수 Slack(여유분)

(1) Slack(여유분) 분석

기본모형(A)와 추가모형(B) 모두 분석하였으나, 추가모형에서는 slack이 나타나지 않아 분석에서 제외하였다.

먼저 생산성 지수에서 나타난 정부출연금의 전체 사업 총 여유분은 496억원이었다. ESS에서 17억원, 가스터빈에서 12억원, 스마트그리드에서 16억원, 국제공동에서 22억원, 수요관리에서 139억원, 안전에서 22억원, 원자력에서 260억원, 전력표준화 및 인증지원사업에서 6억원 발생하였다. 이 여유분은 현행 산출수준을 유지하면서 줄일 수 있는 금액이므로 정부출연금을 감액하는 경우 해당 사업의 효율성을 향상시킬 수 있다.

민간현금은 전체 사업의 총 여유분이 0으로 나타나 감액의 필요성이 없는 것으로 나타났다. 민간현물은 전체 사업의 총 여유분이 195억원으로 나타났다. 가스터빈에서 24억원, 국제공동연구에서 1억원, 수요관리에서 17억원, 안전에서 1억원, 원자력에서 152억원으로 나타났다.

이상에서 정부출연금에서 발생하는 Slack이 가장 컸고, 다음으로는 민간현물의 slack이 컸으며 민간 현금은 slack이 없었다.

[표 5-5] 생산성 Slack(여유분)-정부출연금(억원)

DMU	slack(여유분) 분석				투입 대비 산출비 (조정 전)	투입 대비 산출비 (조정 후)
	정부출연금	Slack	조정값	감액비율	경제적성과	경제적성과
1	1,124	17	1,107	1%	6.2%	6.3%
2	446	_	446	0%	85.4%	85.4%
3	611	12	599	2%	4.1%	4.2%
4	1,939	16	1,923	1%	24.7%	24.9%
5	9,486	_	9,486	0%	106.8%	106.8%
6	870	22	848	3%	14.0%	14.4%
7	8,377	139	8,238	2%	14.9%	15.2%
8	598	22	576	4%	5.7%	5.9%

[표 5-6] 생산성 Slack(여유분)-정부출연금(억원)

DMU	slack(여유분) 분석				투입 대비 산출비 (조정 전)	투입 대비 산출비 (조정 후)
	정부출연금	Slack	조정값	감액비율	경제적성과	경제적성과
9	2,850	260	2,590	9%	42.2%	46.4%
10	1,337	_	1,337	0%	134.2%	134.2%
11	1,270	6	1,264	1%	0.7%	0.7%
12	180	_	180	0%	200.0%	200.0%
13	75	_	75	0%	98.7%	98.7%
14	1,145	_	1,145	0%	181.5%	181.5%
15	1,236	_	1,236	0%	255.9%	255.9%
계	31,544	496	31,048	-	67.1%	68.2%

(2) 민감도 분석

4장에서 산출 지향 BCC DEA 분석을 통해 STAGE 1에서 사업별 규모수익성을 분석한 결과, 효율성에서 규모수익증가(IRS)를 나타낸 사업 중 ESS 기술개발사업에 대해 정부출연금을 10%, 20% 증가시켰을 때, 상대적 효율성이 어떻게 변하는지 살펴보았다.

정부출연금 증가 시 투입 대비 산출비는 표 5-5의 6.3%를 따른다고 가정하였을 때 이 사업의 효율성은 정부출연금 10% 증가시 효율성이 약 11.3%, 정부출연금을 20% 증가시켰을 경우 효율성은 약 21.4% 향상되는 것으로 나타났다. 정부출연금을 20% 증가시켰을 경우, 사업 전체의 효율성 순위에 변동이 발생해 ESS 기술개발사업의 순위가 13위에서 12위로 상승하였다.

[표 5-7] 생산성-민감도 분석-1

DMU	조정 전		+10%		+20%	
	효율성	Rank	효율성	Rank	효율성	Rank
1	13	0.07	13	0.08	12	0.09
2	1	1.00	1	1.00	1	1.00
3	14	0.04	14	0.04	14	0.04
4	9	0.22	9	0.22	9	0.22
5	1	1.00	1	1.00	1	1.00
6	11	0.15	11	0.15	11	0.15
7	10	0.16	10	0.16	10	0.16
8	12	0.09	12	0.09	13	0.09

[표 5-8] 생산성-민감도 분석-2

DMU	조정 전		+10%		+20%	
	효율성	Rank	효율성	Rank	효율성	Rank
9	8	0.39	8	0.39	8	0.39
10	1	1.00	1	1.00	1	1.00
11	15	0.01	15	0.01	15	0.01
12	1	1.00	1	1.00	1	1.00
13	1	1.00	1	1.00	1	1.00
14	1	1.00	1	1.00	1	1.00
15	1	1.00	1	1.00	1	1.00

다. 종합 분석

본 장에서는 여유분 분석(slack analysis)를 활용하여 정부 에너지 R&D의 정부출연금 포트폴리오 조정 방법론을 제시하였다. 또한 규모수익성이 규모수익증가(IRS)인 사업에 추가 예산 투입 시 효율성 및 생산성 변화를 시뮬레이션 해 보았다. 이 방법론을 활용하면, 동일한 산출 수준에서 정부출연금을 얼마나 절감할 수 있는지, 추가 투입 시 기대되는 효율성 및 생산성은 얼마인지 산출하여 정책적 의사결정의 기초자료로 활용할 수 있다.

예를 들어, 효율성에서 규모수익증가(IRS)를 나타낸 사업에 대해 정부출연금을 10% 증가시켰을 때 효율성은 약 26.1% 향상되었고, 정부출연금을 20% 증가시켰을 경우에는 약 37.5% 향상되는 것으로 나타났다. 이 때, 사업 전체의 효율성 순위에 변동은 발생하지 않았다.

생산성에서 규모수익증가(IRS)를 나타낸 사업에 대해 정부출연금을 10% 증가시켰을 경우 효율성이 약 11.3%, 정부출연금을 20% 증가시켰을 경우 효율성은 약 21.4% 향상되는 것으로 나타났다. 정부출연금을 20% 증가시켰을 경우, 사업 전체의 생산성 순위에 변동이 발생해 생산성 순위가 13위에서 12위로 상승하는 결과를 보였다.

제 6 장 정부 에너지R&D의 효율성 요인 분석

이 장은 4장에서 도출한 효율성, 효과성, 생산성에 영향을 미치는 요인을 개인차원 요인, 환경차원 요인으로 구분하여 제도적 요소들이 3-STAGE에서 각 지수에 긍정적 영향을 미치는 지 확인하였다. 방법론은 0~1 상의 값으로 종속변수가 한정된 경우 적합한 Tobit Regression을 적용하였다.

제 1 절 연구모형 설계

가. 방법론

종속변수가 연속형 수치 자료인 요인 분석의 경우, 독립변수들과 선형적인 관계를 추정하는 일반적으로 최소자승법(ordinary least squares)을 사용하는 회귀분석 모형을 적용한다. 그런데 본 연구에서 관심을 가지는 효율성, 효과성, 생산성은 제 4 장에서 DEA를 통해 추정된 지수값으로 0과 1 사이의 제한된 범위를 갖는다. 이는 일반적인 회귀모형의 기본 가정사항인 정규성을 위배하므로 최소자승법을 통해 추정한 회귀계수는 불일치 추정치(inconsistent estimates)를 갖게 된다(박홍균, 2010). 따라서, 본 연구에서는 R&D 효율성, 효과성, 생산성에 영향을 미치는 요인 분석을 위해서는 일반적 회귀모형이 아닌 제한된 범위를 갖는 연

속형 자료의 특성을 고려해 편의(bias)를 보정한 계수를 추정하는 토빗회귀분석(Tobit regression) 모형을 사용한다.

Tobin(1958)은 변수가 정규분포에서 나왔으나, 종속변수의 데이터가 제한된 범위의 특성을 갖는 경우 회귀분석 방법을 개발했다. Tobin은 해당 모형을 제한된 반응변수에 대한 회귀모형이라고 하였으나, 이후 Tobin의 모형이 Probit 함수를 활용한다는 점에서 Tobit 모형이라고 지칭한다(김정환 외, 2022). 종속변수가 양적 변수이지만 일정한 영역에서는 관측될 수가 없는 경우 많이 사용되어 진다. 토빗 모형은 종속변수의 값이 0 이하에서 중도 절단되는 특성을 반영하므로 중도절단 회귀모형(censored regression model)로 불린다. Tobit 모형은 일반적인 형태의 선형회귀모형과 비슷한 구조이나, 실제 관측된 종속변수가 아닌 절단되지 않았을 때의 잠재변수를 고려한다는 차이가 있다.

효율성, 효과성, 생산성 지수는 0보다 크고 1보다 작은 값으로 제한되어 있는 속성을 가지므로 양쪽으로 제한된 값을 전제로 하는 이중제한형 토빗모형(two-limit tobit method)를 사용한다. 이 모형에서는 효율성이 0보다 작거나 1보다 큰 경우 각각 0과 1을 부여해 관측된 효율성 지수는 0과 1 사이로 나타나게 된다.

$$\theta_i = \beta_0 + \sum_{k=1}^{K} \beta_k z_{ki} + \epsilon_i$$

$$If\ \theta_i^* \leq 0,\ then\ \theta_i = 0$$

$$If\ \theta_i^* \geq 1, then\ \theta_i = 1$$

$$If\ 0 < \theta_i^* < 1, then\ \theta_i = \theta_i^*.$$

θ_i^*는 I번째 관측치의 실제 효율성 지수이고 θ_i는 관측된 효율성 지수, z_{ki}는 i번째 관측치에 대한 k번째 효율성 설명변수, β_k는 추정계수, ϵ_i는 잔차항을 나타낸다.

토빗회귀분석 모형은 최대우도추정(maximum likelihood estimation, MLE)으로 추정함으로써 발생하는 예측값의 오류를 보정하고, 잔차의 분산을 줄이는 데 효과가 있다. 또한, 어떤 요인이 효율성 증감에 어떤 방향으로 얼마나 영향을 미치는지 결과를 얻을 수 있다. 증감의 방향은 추정계수의 부호로, 영향의 크기는 한계영향(marginal effect) 계산을 통해 얻을 수 있다.

효율성 θ의 기댓값은 다음과 같다.

$$E(\theta|z) = \sum\beta_k z_k\left[F\left(\frac{1-\sum\beta_k z_k}{\sigma}\right) - F\left(\frac{\sum\beta_k z_k}{\sigma}\right)\right]$$
$$+\sigma\left[f\left(\frac{\sum\beta_k z_k}{\sigma}\right) - f\left(\frac{1-\sum\beta_k z_k}{\sigma}\right)\right] + \left[1 - F\left(\frac{1-\sum\beta_k z_k}{\sigma}\right)\right].$$

여기서 F와 f는 각각 표준정규분포의 누적분포함수(CDF)와 확률밀도함수를 의미한다. 특정 원인변수가 효율성에 미치는 영향력을 파악하기 위해 z_m에 대해서 편미분하면 다음 식을 얻을 수 있다.

$$\frac{\partial(\theta|z)}{\partial z_m} = \beta_m \left[F\left(\frac{1 - \sum \beta_k z_k}{\sigma} \right) - F\left(\frac{-\sum \beta_k x_k}{\sigma} \right) \right].$$

z_m가 θ의 기댓값에 미치는 영향력을 정량화하기 위해서는 $\hat{\beta}_m$의 수준뿐만 아니라 모든 $\hat{\beta}$ 및 모든 원인 변수값이 필요하다. 특정한 원인변수가 효율성에 영향력을 미치는 정도는 모수의 추정치 및 원인변수의 관측값에 의존한다.

나. 연구가설

본 연구에서는 선행연구를 통해서 R&D 효율성 요인을 개인차원과 환경차원으로 구분하고 각 차원에서 측정 및 산출이 가능한 변수를 도출하였다. 그리고 각 변수들이 R&D 효율성, 효과성, 생산성에 미치는 영향을 토빗회귀분석을 이용해 분석하였다.

(1) 개인차원 요인(Individual factors)

정부 R&D 효율성에 영향을 미치는 개인차원 요인은 자율성과 몰입도로 구분하였다. 자율성 연관 변수로는 기획 단계에서 공모 유형, 몰입도 연관 변수로는 연구비와 R&D 수행기간을 선정하였다.

연구 기획 단계에서 공모 유형은 하향식과 상향식으로 구분된다. 하향식 공모는 국가가 필요로 하는 기술과 기술의 수준, 기술의 개발 방법을 상세히 정해 이를 수행할 수 있는 연구자를 경쟁하여 선발하는 방식이다. 연구 기획과 수행과정에서 연구자의 자율성의 제한될 수 있다. 상향식은 연구 분야만 제시하고 활용 기술과 기술의 수준, 개발의 방법은 연구자가 자율적으로 작성하여 제안서의 우수성과 실행 가능성을 평가하여 우수한 제안서를 채택하는 방식이다. 연구자는 기획부터 수행 및 결과의 활용까지 자율성을 보장받는다.

연구비 변수는 해당 R&D 과제를 수행하는데 투입되는 비용의 규모이다. 정부 R&D 중 기초연구 단계 과제인 경우 주로 100%

정부출연금을 이용해 수행된다. 그러나 정부 에너지 R&D의 경우는 응용연구와 개발연구가 다수를 차지해 특정 목적으로 사업화하는 것을 궁극적 달성 목표로 둔다. 그렇기 때문에 대다수의 과제는 정부와 민간이 함께 투자하는 형태를 가진다. 정부 에너지 R&D 사업은 민간 투자를 현금과 현물로 나누어 계상하고, 최소 계상비율을 정해 일정 수준의 이상의 민간 투자를 의무화하고 있다. 본 연구에서는 정부출연금과 민간투자 현금, 민간투자 현물을 독립된 변수의 형태로 분리하여 분석을 수행하였다. 3가지 유형의 연구비 중 R&D 효율성, 효과성, 생산성에 영향을 미치는 유형은 무엇이며, 그 크기와 규모 수준에 분석했다.

연구비 외에 연구자의 연구몰입도를 향상시키는 것으로 장기 연구를 들 수 있다. 협약된 연구의 기간이 길수록 연구자로 하여금 연구 몰입도를 향상시키고 이는 R&D 효율성, 효과성, 생산성을 높일 수 있다.

본 연구에서는 선행연구로부터 자율성을 보장하는 상향식 공모 유형이 하향식 공모유형보다 효율성, 효과성, 생산성이 높을 것으로 보았다. 또한, 정부출연금의 규모가 커질수록, 수행 기간이 길어질 수록 효율성, 효과성, 생산성 지수가 모두 높아질 것이라고 가정하였다.

H(1)-1. 상향식 공모 유형이 하향식 공모 유형에 비해 높은 효율성, 효과성, 생산성 지수를 나타낸다.

H(1)-2. 정부출연금, 민간현금, 민간현물과 수행기간은 모두 R&D 효율성, 효과성, 생산성에 긍정적 영향을 미친다.

종속변수로는 4장에서 사업별로 도출한 과제 수준의 효율성, 효과성, 생산성을 종속변수로 활용하였다. 개인차원이나 환경차원 요인은 사업 수준이 아닌 과제 수준에서 달라지기 때문에 요인 분석에는 과제 수준에서 분석된 지수가 활용된다. 독립변수로는 4장의 모형 A와 모형 B에 사용된 투입 및 산출변수를 사용했다. 투입변수에 연구비와 수행기간 변수가 포함되어 있다. 더미변수로 연구개발 단계(technology readiness level, TRL)와 공모유형을 사용하였다.

(2) 환경차원 요인(Environmental factors)

환경차원 요인은 내부요인과 외부요인으로 구분하였다. 내부요인으로는 R&D 수행 주관기관 유형을 사용하였다. R&D에서 효율성을 향상 시키는 요인 중 내부요인은 조직 내의 제도, 인프라, 문화 등을 포함하는 광범위한 개념이다. 이와 관련된 R&D에서 측정 가능한 변수로 기관유형을 사용할 수 있다. 기관 유형은 R&D의 내부적 환경요인의 합리적인 구분 방식이 될 수 있다. 대기업, 중소기업, 연구소, 대학 등 각각의 기관유형은 해당 유형만의 고유한 R&D 제도 및 문화를 가지고 있기 때문이다. 본 연구에서는 기관유형을 대기업, 공기업, 중견기업, 중소기업, 대학, 연구소, 기타, 정부로 총 8개 유형으로 구분한다.

외부요인으로는 협력유형을 사용하였다. 외부요인은 기관 내부의 R&D와 관련된 제도 및 문화와 별개로, 외부 자원의 활용과 관련된 개념을 내포하고 있으며 다학제적으로 접근되고 있는 요인이다. 최근에는 R&D 외부요인으로 협력, 협업에 대한 연구가 주를 이룬다. 협력에 관련된 변수는 연구자에 따라 매우 다양하게 사용하고 있으나 본 연구에서는 정부 에너지 R&D 데이터에서 확보가 가능한 협력유형을 변수로 사용하였다. 협력 유형은 단독 연구, 같은 유형의 2개 기관 간 협력, 서로 다른 2개 유형의 기관 간 협력, 서로 다른 3개 이상의 유형의 기관간 협력으로 총 4개 유형으로 구분하였다. 협력 유형에서 기관의 유형은 산업계, 학계, 연구계로 구분된다.

본 연구에서는 선행연구 결과를 토대로 다음과 같은 가설을 세

웠다.

H(2)-1. R&D의 효율성은 대학과 연구소에서 높게 나타나고, R&D의 효과성과 생산성은 대기업에서 높게 나타난다.

H(2)-2. R&D의 효율성, 효과성, 생산성은 협력 유형에서 협력 유형 수가 증가할수록 향상된다.

R&D 수행 주관기관 유형에 따라서 효율성, 효과성, 생산성에 대한 영향이 다를 것으로 가정하였다. 대기업의 생산성이 높을 것으로 보았고 대학과 연구소의 효율성이 높을 것으로 보았다. 한편, 협력유형이 복잡해 질수록 효율성, 효과성, 생산성이 향상될 것이라고 가정하였다.

[표 6-1] 협력유형의 분류

유형	의미
협력유형 1	1개 기관 단독 연구인 경우
협력유형 2	산-산, 연-연, 학-학 등 같은 유형의 기관들이 협력
협력유형 3	산-연, 학-연, 산-학 등 서로 다른 2개 유형의 기관들이 협력
협력유형 4	산-학-연으로 서로 다른 3개 유형의 기관들이 협력

다. 변수의 선정 및 데이터

선행연구 검토 및 정부 에너지R&D 사업에서 가용한 데이터 검토를 통해 다음 요인들은 변수로 채택하였다.

[표 6-2] 개인차원 요인 변수

종속변수	효율성	투입 대비 과학기술적 성과의 비율
	효과성	과학기술적 성과 대비 경제적 효과의 비율
	생산성	투입 대비 경제적 성과의 비율
독립변수	정부출연금	R&D과제에 투입된 정부출연금(억원)
	민간현금	기업이 과제에 투입한 현금액(억원)
	민간현물	기업이 과제에 투입한 현물액(억원)
	참여기관수	과제에 참여한 기관의 총 수(개)
	수행기간	과제 착수부터 종료까지 기간(개월)
	SCI	과제에서 발생한 국내외 SCI 논문(건)
	특허	과제에서 발생한 국내외 특허출원등록
	경제적성과	과제 수행의 결과로 발생한 매출, 비용절감, 기술이전 등 경제적 금액(억원)
통제변수	공모유형	과제기획의 자율성에 따라 하향식 및 상향식으로 구분된 공모 형태
	개발단계	OECD R&D 분류에 따른 기초연구(TRL_1), 응용연구(TRL_2), 개발연구(TRL_3)로 구분된 개발 단계

[표 6-3] 환경차원 요인 변수

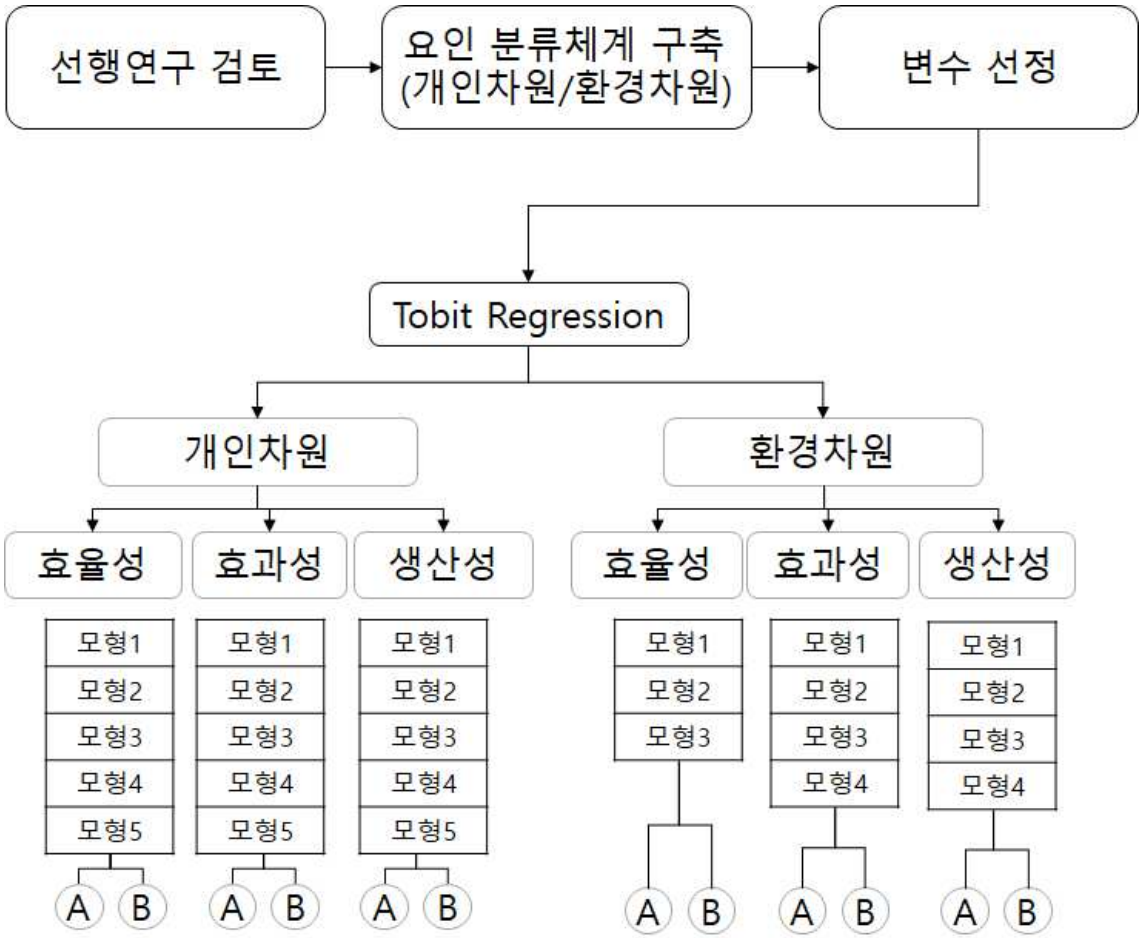
종속 변수	효율성	투입 대비 과학기술적 성과의 비율
	효과성	과학기술적 성과 대비 경제적 효과의 비율
	생산성	투입 대비 경제적 성과의 비율
독립 변수	정부출연금	R&D과제에 투입된 정부출연금(억원)
	민간현금	기업이 과제에 투입한 현금액(억원)
	민간현물	기업이 과제에 투입한 현물액(억원)
	참여기관수	과제에 참여한 기관의 총 수(개)
	수행기간	과제 착수부터 종료까지 기간(개월)
	SCI	과제에서 발생한 국내외 SCI 논문(건)
	특허	과제에서 발생한 국내외 특허출원등록
	경제적성과	과제 수행의 결과로 발생한 매출, 비용절감, 기술이전 등 경제적 금액(억원)
통제 변수	기관유형	R&D를 수행하는 주관기관의 유형(대기업, 공기업, 중견기업, 중소기업, 대학, 연구소, 기타, 정부)
	협력유형	R&D 과제에 참여하는 기관의 유형(단독, 같은 유형의 기관이 2개 협력, 다른 유형의 기관이 2개 협력, 다른 유형의 기관이 3개 협력) *유형: 산업계, 학계, 연구계

라. 분석 프로세스

본 연구에서는 요인을 개인차원과 환경차원으로 구분했다. 개인차원 변수로는 연구비(정부출연금, 민간현금, 민간현물), 공모유형을 보았고, 환경차원 요인으로는 기관유형과 협력유형을 보았다.

개인차원 분석 모형은 효율성, 효과성, 생산성 각각에 대해서 5개의 모형을 구축하고, 기본모형 A와 추가모형 B에 따라 각 5 개의 모형을 모두 분석했다(그림 6-1). 환경차원 분석도 유사한 프로세스로 분석하였다. 각 모형 및 분석 결과는 부록에 수록하였다(표 부록 1-1~표 부록 3-45).

[그림 6-1] 분석 프로세스 흐름도



제 2 절 선행연구

많은 실증 연구에서 R&D 효율성 요인은 크게 두 가지로 구분된다. 연구자 Individual factors(개인차원 요인)과 Environmental factors(환경차원 요인)이다. 환경차원 요인은 다시 조직 내부와 조직 외부로 구분된다(Kylindri et al. 2012, Nagesh와 Thomas, 2015).

가. 개인차원 요인(Individual factors)

(1) 연구 자율성(Research Autonomy)

개인 차원에서는 R&D 성과 향상의 중요한 원천으로 자율성과 창의성이 강조된다(Wang et al. 1999, 김종규, 김영우, 2018). Gambardella et al.(2023)은 R&D 자율성을 R&D 활동에서 연구자가 자유롭게 결정하고 연구를 수행할 수 있는 환경으로 정의했다. Varma(2014)는 연구 자율성을 작업을 시작 및 종료하고 작업이 수행되는 내용, 방식 및 속도를 제어하는 능력으로 정의하고 전략적 자율성과 운영 자율성으로 구분했다. Morgeson et al.(2005) 자율성은 고정된 일정을 따르지 않고 업무를 수행하는 직원의 재량 또는 스스로 결정을 내릴 수 있는 권한으로 정의했다.

많은 연구에서 연구자의 자율성을 보장하면 R&D 생산성이 높아진다고 주장한다(Politis, 2005, Hindo, 2007, 박대식 외, 2015,

김종규 외, 2018). 지식 집약적 업무가 확대되면서 자율성은 더 중요한 요소로 인식된다. 즉, 연구자에게 연구주제를 선택하게 하거나 다양한 대안을 선택할 수 있는 자율성을 보장하는 것이 높은 R&D 성과로 이어질 수 있다.(Bland et al., 2005, Ernst, 2002, Gambardella. et al., 2015, Heinze et al., 2009, Jain et al., 2010, Oliver and Maximilian, 1999, Lindgren et al., 2003).

자율성을 R&D 효율성 요인으로 보는 연구자들은 자율성의 부여가 개인 뿐 아니라 기업 전체의 혁신 성과 창출에 중요한 역할을 한다고 본다.(Abbey and Dickson 1983; Amabile et al. 1996; Liu et al. 2011). 이는 자율성이 창의성, 내재적 동기 부여, 능동적인 역할 지향 및 기업가적 행동과 긍정적으로 연관되어 궁극적으로 산출물 향상으로 이어지기 때문이다(Fini et al,. 2012, Foss et al., 2009, Parker et al., 1997).

Ernst(2002)는 자율성이 신제품 개발 단계에서 중요한 성공 요인이라고 밝혔다. Blandet et al.(2005)은 미국 Missouri 대학의 교수진을 대상으로 한 설문조사에서 개인 및 제도적 관점에서 자율성의 중요성을 강조하는 총 27개의 성공 요인을 제시했다. Jain et al.(2010)에서는 R&D 연구원은 학문적 성취도가 높고 전문적인 특징으로 인해 다른 직무 직원들과 달리 개인의 자율성을 허용하는 것이 중요하다고 했다. Heinze et al.(2009)도 연구 조직 및 연구 환경 측면에서 의사소통과 연구 자율성도 중요한 요소라고 주장했다. Baek and Lee(2022)는 연구기획 단계에서의 자율성 강화는 높은 R&D 성과로 이어져 연구자가 연구주제 발굴 및 선정, 연구목표 및 연구방법 설정에 참여하는 자율적인 R&D 환경을

조성하는 것이 중요하다는 결과를 발표했다.

(2) 연구 몰입도(Research Commitment)

자율성 외에 연구동기와 몰입도가 연구성과에 긍정적 영향을 미친다는 연구결과도 있다(Baek and Lee, 2022). R&D 몰입도와 관련된 연구는 주로 조직행동과 조직 심리한 연구 분야에서 조직에 대한 헌신과 관련된 주제에서 다루어진다(Mathieu and Zajac, 1990, Reichers, 1985, Nummela, 2003).

몰입도는 태도적 몰입과 행동적 몰입으로 구분되는데(Allen and Meyer, 1990, Cullen et al., 1995, Reichers, 1985) 태도적 몰입은 긍정적인 태도를 의미하는 반면, 행동적 몰입은 구체적 행동으로 나타난다. 태도 몰입의 평가는 심리적 분석을 기반으로 하고, 행동 몰입은 구체적인 행동과 물질적 투자로 측정한다(Nummela 2003; Cullen et al. 1995, 2000). 태도적 및 행동적 몰입은 긍정적인 상관관계가 있다(Cullen et al,. 1995, 2000).

Baek and Lee(2022)는 정부 R&D 프로젝트에서 기업이 정부 보조금 대비 매칭하는 자원을 연구 몰입도 변수로 보고 연구기간이 긴 연구 과제의 성과 향상을 위해서는 연구 몰입도가 필수적이라는 연구결과를 제시했다.

R&D 효율성 분석에서는 심리적인 태도 몰입을 변수화하는 것보다는 물질적 투자로 나타나는 행동적 몰입변수의 측정이 더 수월하다. 행동적 몰입도 측면에서는 주로 연구비와 R&D 수행기간이 연구자 개인의 몰입도를 향상시킬 것이고, 이러한 결과가 R&D

효율성에 어떻게 영향을 미치는지 주로 연구가 이루어진다.

연구비와 관련해서는 국가나 정부 R&D 효율성과 관련되어 연구비의 투입이 국가적 성과에 미치는 영향에 대한 연구결과들이 많다. 연구비는 대체로 연구성과의 효율성 제고에 긍정적 영향관계(+)를 미치는 것으로 나타난다. 그러나 연구비가 연구성과에 부정적 영향관계를 미치는 결과들도 있는데, 이는 PBS 같은 경쟁적 자금 지원방식이 연구비 확보에만 집중하고 성과 창출에는 집중하지 않은 결과로 연구비 증가가 성과창출에 부정적 영향을 미칠 수 있다는 것이다.(이민형, 2003, 엄익천, 2019)

연구비와 관련된 선행연구는 크게 2가지로 구분된다. 첫 번째는 직·간접적 연구개발비 지원으로 인한 기술적 성과향상 요인에 관한 연구다(서창적 외, 2007, 이종일 외, 2007, 김헌, 2008, 유홍림 외, 2007, 장금영, 2010, 김대인, 2010, 최태진, 2007, 김현민, 2012, 신열, 2001, 한동성 외, 2008, 김주경, 2013). 두 번째는 연구개발비 지원으로 인한 생산적 성과향상 요인에 관한 연구다(Gullec and Pottelsberghe, 2001, Griliches, 1980, Mansfield, 1980, Terleckyj, 1974, Levy and Terleckyj, 1983, 이희경 외, 1996, 이의영 외, 2009, 김상헌 외, 2006, 박경주, 2007, 송신근 외, 2009, 이철승 외, 2008, 박경주 외, 2006, 설영훈, 2011, 김문성, 2003).

선행연구들을 종합해 볼 때 연구자의 R&D 몰입도는 R&D 투자규모가 크고 수행기간이 길수록 커지고, R&D 효율성을 향상시킨다고 볼 수 있다.

나. 환경차원 요인(Environmental factors)

(1) 내부환경(Internal Environment)

조직 내부 차원에서 연구환경 요인은 연구지원 자원과 관련된 것들이다. 연구지원과 관련된 자원이란 조직 구조와 기술, 행정관리(예산, 평가절차), 인적관리, 리더십, 연구자 간 상호관계, 의사소통, 집단 효과성, 집단 간 상호관계, 운영규범, 도덕성 등을 들 수 있다(Argyris, 1968, 엄익천 외, 2019, Hurley, 1997, Ryu et al, 2016). 그 외에도 전략, 문화, 기술정책, 교육수준, 제품개발 속도, 상업화 능력, 관리기술, 인적자원 절차 등 다양한 유·무형적 요소들이 자원이 된다.

예를 들어, 조직 내에서 새로운 아이디어에 대한 수용력이 높고, 목표가 명확하며, 연구 조직에 동기를 부여하고, 위험을 감수하고, 실패를 수용하는 것과 같은 조직 문화는 R&D 성과에 긍정적인 영향을 미치는 내부적 환경 요인이다. 또한 최고 경영진의 적극적인 지원과 최고 경영진의 참여와 같은 R&D에 적극적인 문화는 연구 조직이 더 많은 위험을 감당할 수 있는 여건을 조성하여 R&D 프로젝트의 높은 성과로 이어진다(Jordan et al. 2003, Kuen and Zailani, 2012).

기업의 규모도 연구와 관련된 내부 환경요인으로, 기업의 규모와 R&D 효율성 간 관계를 연구하는 실증분석 결과도 다수 존재한다. Rothwell and Dodgson(1994)은 기술혁신에 절대적으로 유리한 기업의 규모는 없으며, 대기업과 중소기업이 각각 유리한 측

면이 있다고 주장하였다. Cooper(1964)는 사례분석을 통해 특정 분야의 경우 소규모 기업이 대규모 기업보다 효율적이라고 했다. Malerba(1996)는 기업 규모가 다르면 특허 성향도 다르기 때문에 서로 다른 규모의 기업이 특허로 대변되는 기술혁신의 성과요인으로 작용할 수 있음을 주장하였다.

대기업의 R&D 효율성을 높이 평가한 슘페터는 혁신 활동과 기업 규모 사이, 그리고 혁신 활동과 집중된 시장 구조 사이에 긍정적인 관계가 있다는 가설을 세우고, 집중된 시장에서 운영되는 대기업이 경제 발전을 가져올 기술 진보를 이룬다고 보았다. 반대로 기업 규모가 커짐에 따라 R&D를 수행하는 과학자나 기술자가 관료적이고 위계질서에 의해 창의성이 좌절되기 때문에 R&D 효율성이 떨어진다고 설명하는 연구도 있다.

Cohen과 Klepper(1996)는 R&D에 관한 연구에서 혁신 및 기업 규모의 관계를 분석하고 네 가지 결과를 제시했다. 첫째, R&D 수행 가능성은 기업 규모와 함께 증가한다. 둘째, R&D와 회사 규모는 산업 내에서 밀접하고 긍정적인 관련이 있다. 셋째, R&D는 대부분의 산업에서 기업 규모에 비례하여 증가한다. 넷째, R&D 1달러당 생성된 특허 또는 혁신의 수는 기업 규모에 따라 감소한다.

Lee Mina(2015)는 대기업은 중소기업보다 R&D 고정비용 측면에서 이점이 있기 때문에 R&D 성과가 증가할 것이며, 혁신으로 인해 급속한 성장이 전망되는 산업에서는 R&D 성과와 기업 규모 간 관계가 약할 것이라고 보았다. 그러나 2008년에서 2012년 동안 한국 재생에너지 R&D에 대해 분석한 결과는 대기업이 중소기업보다 R&D 성과가 증가하지 않는 것으로 나타났다.

(2) 외부환경(External Environment)

외부 연구환경 요인이란 기업, 대학, 연구소 등의 외부기관과의 협력, 지식센터와의 연계, 정부 정책자금 지원 등과 같은 재무자원이나 지원기관의 활용과 같은 요소들이다(Hall and Bagchi-Sen, 2002, Keizer et al., 2002, Nieto and Quevedo, 2005).

R&D의 외부 환경 요인은 협력, 협업 등 시스템적 관점의 연구가 주를 이룬다. 시스템적 관점에서는 연구조직 간 협업은 새로운 지식과 노하우를 전파에 성과에 긍적적 영향을 미친다고 본다(김영조, 2005, Nieto and Santamaria, 2007, 황석원 외, 2009). 그러나 반대의 부작용을 지적하는 연구도 있는데 협력 과정에서 무임승차의 발생과 같은 도덕적 해이로 연구성과에 부정적 영향을 미칠 수 있다고 지적한다(김현민 외, 2013). 김경수 외(2019)에서는 공공 연구기관의 수에 따라 양적 효율성과 질적 효율성이 어떻게 달라지는지 분석했는데, 연구수행 주체에 따라 양과 음의 상관관계가 각각 달라진다고 하였다. 송정민 외(2022)에서는 신약 분야에서 협력 R&D가 R&D 효율성을 증가시킨다고 보았다.

R&D 협력은 국가나 정부 수준 뿐 아니라, 기업 수준에서 중요한 요인으로 분석되고 있다. 타 연구기관과의 협업이 강조되고, 협업의 전략에 대한 연구가 활발하다. 파트너 간의 헌신, 명확한 비전, 파트너의 능력 및 협력 의지, 명확한 상호 협력에 대한 이해, 위험 할당 및 효율적인 자원 공유 등 다양한 요인들에 기대한 연구결과가 발표되었다(Davenport et al., 1999, Hagedoorn et al., 2000, Mora-Valentin et al., 2004, Nummela, 2003).

R&D 협력은 일반적인 시장거래 관계나 지분참여 등의 사업협력과 다르며 이론적으로는 시스템 이론, 산업조직론, 자원기반 관점, 거래비용 이론 등 다양한 관점에서 연구되고 있다(장금영, 2010). 시스템 이론적으로는 R&D 성과를 기업과 기초과학 인프라 간, 기업내부 기능 간, 사용자와 생산자 간 기업과 제도적 환경 간의 상호작용적 학습의 과정의 결과로 파악한다(Lundvall, 1992). 산업 조직론에서는 R&D 결과물의 파급효과, 외부성, R&D 협력 관계에 초점을 맞추어 산업구조와 기술혁신 간 관계를 연구한다(Jaffe, 1986, Bernstein and Nadiri, 1988). 자원기반 이론에서는 자원의 공동 활용을 통해 R&D 비용을 절감하고 효율성을 높여 가치창출을 극대화 하는 전략적 결합으로 본다(Prahalad and Hamel, 1990, Kogut, 1988, Das and Teng, 2000, Hagedoorn et al., 2000, 이장우 외, 2006, 이근재 외, 2007).

R&D 협력 연구에 사용되는 변수는 다양하다. Nieto와 Santamaria(2007)는 스페인 제조 기업을 대상으로 협력활동 유무, 협력대상의 수, 협력활동 기간 등 연구개발 협력 네트워크가 기술 혁신정도에 미치는 영향을 연구했다. 이 연구에서는 단독 연구수행주체에 의한 연구개발 보다 공동 연구수행주체와의 협력이 더 우수한 성과를 창출하는 것으로 나타났다.

Das와 Teng(2000)은 공동 연구 수행주체간의 상호역량 보완을 통해 연구개발 성과가 높아질 수 있다고 보았다. 정도범 외(2012)는 공동 연구는 연구개발 과정에서 발생하는 위험과 비용을 분담하고, 제한된 자원을 효율적으로 활용할 수 있다는 장점을 가진다

고 언급했다. 하지만 공동 연구의 경우 행정적인 문제 처리 등으로 인하여 연구개발 성과에 부정적인 영향을 미칠 가능성도 존재한다(박민성, 2010). 손희전, 박문수(2013)는 산업별 기술혁신패턴에 따른 기업의 연구개발 역량 비교 연구에서 기술협력 등에 따른 연구개발 결과에 차이가 존재하는지 분석했다.

협력 외 외부환경 요인으로 산업·기술별 혁신 시스템의 차이가 R&D 성과에 영향을 미친다는 연구도 있다. 박용태 외(1994)는 산업별 기술혁신패턴이란 특정 산업에 있어 기술혁신의 전개 방향과 양상이 그 산업이 지니고 있는 기술적 속성이나 환경적 조건에 따라 특징적으로 결정되는 현상이라고 정의했다. 이는 산업별 기술의 특징과 해당 산업이 처해있는 조건과 환경의 차이에 의해 기술혁신이 차이를 보일 수 있다는 뜻이다.

홍사균, 배용(2002)과 이태준(2002)는 산업별로 다른 기술의 속성과 환경적 조건은 국가연구개발사업의 산업 분야별 기술혁신 성과에도 영향을 미칠 것이라고 주장했다. Cullmann, Schmidt-Ehmcke, and Zloczysti(2009)는 연구개발 단계에 있는 기술의 환경적 특성은 정부의 규제와 신산업을 촉진하는 벤처캐피탈 같은 정부 정책과 연관이 되어있다고 보았다.

이상의 결과들을 종합해 볼 때 R&D는 투입 및 산출 요소가 유·무형의 다양하고 복잡한 요소로 구성되어 있어 R&D 효율성 요인을 일반화하여 유형하는 것이 매우 어렵다. 심리학, 경제, 경영 등 다학제적으로 접근되고 있으며, 물리적으로 측정이 쉬운 연구비, 특허, 논문 외에도 태도적 몰입도와 같은 개인의 심리적 차원과 도전적 연구에 긍정적인 문화와 같은 무형적 차원이 복합적

으로 작용한다(Kylindri et al., 2012) R&D 효율성에 영향을 미치는 변수들의 상당수가 측정과 산출이 어려운 점이 관련 연구의 한계로 작용할 수 있다(Clarke, 2002, Malerba and Orsenigo, 1996, Ouchi, 1980, Scott and Davis, 2007, Freeman and Soete,1997).

제 3 절 효율성 요인 분석

본 연구에서는 선행연구 검토를 통해 효율성, 효과성, 생산성에 영향을 미친다고 판단되는 요인에 따라 모형을 구성한 후, 모형적합도와 계수의 통계적 유의성을 고려해 최종 모형을 선정하였다. 그리고 각각의 모형들이 에너지 기술개발사업 분야별로 어떤 결과를 나타내는지 비교해 보았다.

개인차원 요인에서 효율성 분석 모형 5개, 효과성 분석 모형 5개, 생산성 분석 모형 2개를 구성해, 에너지기술 분야별 결과를 비교하였다. 모형 추정 결과표는 부록 2와 부록 3에 있다.

가. 개인차원 요인(Individual factors)

(1) ESS 기술개발사업

공모 유형에 따라 효율성 지수가 어떻게 달라지는지 보면, 모형 A-3과 A-4에서 하향식 공모의 계수가 -0.1599, -0.1395로 유의하게 나타나 하향식 공모가 상향식 공모보다 효율성이 떨어진다는 결과를 나타낸다. 수행기간의 계수는 모형 A-4와 모형 A-5에서 각각 -0.0074, -0.0078로 유의하게 나타나 효율성 지수와 통계적으로 유의한 음의 관계를 나타냈다. 모형 B-1, B-4, B-5에서도 음의 관계로 나타나 수행기간이 증가할수록 효율성 지수는 떨어지는 것으로 분석되었다.

효과성 분석 대상 과제들은 모두 상향식 과제로 구성되어 있어

공모유형에 따른 결과는 확인할 수 없었다. 민간현물의 계수가 모형 A-4와 모형 B-4에서 0.0051로 유의하게 나타나 효과성에 양의 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 수행기간의 유의한 계수는 모형 A-4에서는 0.0051로 양의 영향을, 모형 B-4에서는 -0.0121로 음의 영향을 미치는 것으로 분석되었다.

생산성은 모형 A-4와 모형 B-4에서 민간현물과 수행기간의 계수가 모두 음수로 유의하게 나타났다.

(2) 자원순환 기술개발사업

공모유형과 정부출연금, 수행기간이 효율성에 미치는 영향이 유의하게 나타나지 않았다. 민간현물은 모형 A-4에서 -0.0606으로 효율성에 유의하게 음의 영향을 미치는 것으로 나타났다.

효과성과 생산성은 공모유형, 정부출연금, 수행기간이 미치는 영향이 유의하게 나타나지 않았다.

(3) 스마트그리드 기술개발사업

정부출연금과 수행기간이 효율성에 미치는 영향은 유의하지 않았다. 하향식 공모의 계수가 모형 A-3과 모형 A-4에서 각각 -0.2868, -0.2119로 유의하게 나타나 상향식 공모 유형의 효율성이 더 높은 것으로 판단되었다.

효과성에는 민간현물이 긍정적 역할을 하는 것으로 나타났다. 모형 A-4, 모형 A-5에서 민간현물의 계수가 0.0042, 0.0041로 유의하게 나타났다. 수행기간의 계수는 모형 A-4에서 -0.0071로 유의하게 음의 영향을 주는 것으로 나타나, 장기 연구가 효과성을 높이는 것은 아니라는 시사점을 얻을 수 있었다.

민간현물은 생산성에 양의 영향을 미치는 것으로 분석되었고, 수행기간은 음의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 모형 A-1, A-3, A-4에서 민간현물의 유의한 계수는 0.0073, 0.0042, 0.0041로, 수행기간의 유의한 계수는 -0.0096, -0.0071, -0,0070으로 나타났다.

(4) 신재생에너지 기술개발사업

민간현물과 수행기간은 효율성에 음의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 모형 A-1에서 민간현물의 유의한 계수는 -0.0064로 나타났고, 수행기간의 계수는 모형 A-1, A-3, A-4에서 -0.0086, -0.0097,-0.0097로 유의하게 나타났다. 공모유형은 효율성과 유의한 관계를 나타내지 않았다.

효과성, 생산성에서는 민간현물, 수행기간, 공모유형이 유의성을 나타내지 않았다.

(5) 수요관리 기술개발사업

민간현물과 수행기간이 효율성에 음의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 모형 A-4에서 민간현물의 계수가 -0.0049로 유의하게 나타났고, 모형 A-1, A-3, A-4에서 수행기간의 계수가 -0.0052, -0.0080, -0.0083으로 유의하게 나타났다. 공모유형은 유의성을 나타내지 않았다.

효과성에서는 민간현물과 공모유형이 유의성을 나타내지 않았다. 생산성에서는 민간현물의 계수가 모형 A-4에서 -0.0022로 유의하게 나타났다. 또한 하향식 공모 유형의 계수가 모형 A-3에서 -0.0463으로 유의하게 나타나 하향식 공모 유형이 상향식 공모 유형보다 낮은 생산성을 갖는 것으로 나타났다.

(6) 원자력 기술개발사업

효율성 모형 A-4에서는 민간현물의 계수가 0.0020으로 나타나 효율성 지수에 양의 영향을 나타내었다. 수행기간은 모형 A-1, A-3, A-4에서 -0.0112, -0.0109, -0.0100으로 유의하게 나타나 음의 영향을 주는 것으로 나타났다. 공모유형은 하향식 공모 유형의 계수가 0.1021로 유의하게 나타나 하향식 공모 유형이 상향식 공모유형보다 높은 효율성 지수를 보였다.

효과성 모형 A-4, A-5는 민간현물의 계수가 0.0048, 0.0047로 유의하게 나타나 효과성 지수에 양의 영향을 주는 것으로 나타났

다. 수행기간의 계수는 모형 A-4, A-5에서 -0.0083, -0.0082로 유의하게 나타나 음의 영향을 주는 것으로 나타났다. 공모유형은 유의성이 나타나지 않았다.

생산성은 민간현물이 생산성에 양의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 민간현물의 계수는 모형 A-1, A-4, A-5에서 0.0135, 0.0048, 0.0047로 유의하게 나타났다. 수행기간은 모형 A-1, A-3, A-4에서 -0.0084, -0.0083, -0.0082로 유의하게 나타나 음의 영향을 미치는 것으로 나타났다.

(7) 자원개발 기술개발사업

연구비, 수행기간은 효율성에 유의하게 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 공모유형에서는 모형 A-5에서 하향식의 계수가 0.1482로 나타나 하향식 공모 유형이 상향식 공모유형보다 효율성이 높은 것으로 나타났다.

효과성은 민간현물, 수행기간, 공모유형 모두 유의한 영향이 없는 것으로 나타났다. 생산성에는 민간현물의 계수가 모형 A-1, A-3, A-4에서 -0.0093, -0.0036, -0.0034로 나타나 음의 영향을 주는 것으로 분석되었다. 공모 유형은 유의성을 나타내지 않았다.

(8) 청정화력 기술개발사업

수행기간의 계수가 모형 A-4, A-5에서 -0.0052, -0.0052로 나타나 효율성에 음의 영향을 주는 것으로 분석되었다. 민간현물이나 공모유형에서는 유의성이 나타나지 않았다.

효과성에서는 민간현물이 양의 영향을 나타내었다. 모형 A-4, A-5에서, 0.0000, 0.0001로 계수가 유의하게 나타났다. 수행기간의 계수가 모형 A-4, A-5에서 -0.0000,-0.0000으로 수행기간은 생산성에 음의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 또한, 하향식 공모유형의 계수가 모형 A-4 A-5에서 0.0005, 0.0000으로 나타나 상향식 공모 유형보다 하향식 공모 유형이 효과성 지수가 높은 것으로 나타났다.

생산성은 민간현물의 계수가 모형 A-1, A-3, A-4에서 0.0001, 0.0000,0.0001로 유의하게 나타나 양의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 수행기간은 유의하게 음의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 또한, 하향식 공모 유형의 계수가 모형 A-5에서 0.0001로 나타나 상향식 공모 유형보다 생산성이 높은 것으로 분석되었다.

나. 환경차원 요인 분석

(1) ESS 기술개발사업

효율성은 연구소가 대기업과 대학에 비해 높은 것으로 나타났다. 대기업의 계수가 -0.2107, 대학이 -0.1462로 유의하게 나타났으므로 연구소보다 낮다고 해석될 수 있다. 협력 유형에 따른 효율성의 유의성은 나타나지 않았다. ESS 효율성 분석 데이터는 기관 유형이 대기업, 중소기업, 대학, 연구소로 구성이 되어 모형에는 더미변수 포함되어 있다.

효과성 분석에 사용된 데이터는 기관유형이 중소기업과 연구소 구성이 되어있다. 분석결과 기관 유형에 따른 유의성은 나타나지 않았고, 협력유형은 협력유형 2가 협력유형 4보다 효율성이 높은 것으로 분석되었다. 협력유형 2는 협력유형 4보다 단순하다. 즉, 협력유형이 복잡한 경우가 효과성이 떨어질 수 있는 것으로 나타났다.

생산성 분석에 사용된 데이터도 기관유형이 중소기업과 연구소이다. 모형 A-1에서 중소기업의 계수가 -0.2577로 유의하게 나타나 중소기업은 연구소보다 생산성이 낮은 것으로 분석되었다. 협력유형은 협력유형 2, 3의 계수가 각각 -0.3770, -0.6328로 나타나 협력유형 4 보다 생산성이 낮은 것으로 분석되었다.

(2) 자원순환 기술개발사업

자원순환 기술개발사업은 중견기업과 중소기업만 참여하고 있으며 협력 형태는 협력유형 3과 협력유형 4로만 구성되어 있는 사업이다. 기초연구는 없고 응용연구, 개발연구로만 구성되어 있다.

효율성에서 협력유형 3은 협력유형 4보다 효율성이 낮은 것으로 나타났다. 다양한 유형의 기관 간 협력이 효율성을 향상시켰다고 판단할 수 있다. 중소기업과 중견기업 간 효율성 차이는 나타나지 않았다.

효과성에서는 유의한 결과가 나타나지 않았다.

생산성에서는 중견기업의 계수가 모형 A-1, A-4에서 -0.3627, -0.3445로 유의하게 나타나, 중견기업의 생산성이 중소기업보다 낮다고 판단할 수 있다. 협력유형에 따라서는 생산성이 달라진다는 유의성을 확인할 수 없었다.

(3) 스마트그리드 기술개발사업

스마트그리드핵심기술개발사업은 기관 유형이 대기업, 공기업, 중소기업, 대학, 연구소로 5개 유형으로 구성되었다. 협력 유형은 협력 유형 2, 협력유형 3, 협력 유형 4로 구성되어 있다.

기관 유형에서는 대기업, 공기업, 중소기업의 계수가 모두 음수로 나타나 연구소보다 효율성 지수가 낮은 것으로 나타났다. 즉, 연구소의 효율성이 높다고 할 수 있다.

협력 유형에서는 협력 유형 2의 계수가 0.4317로 유의하게 나타나 협력 유형 4보다 효율성 지수가 높은 것으로분석되었다. 스마트그리드 기술개발사업에서도 협력복잡도가 효율성을 낮추는 것으로 판단할 수 있었다.

효과성은 공기업의 계수가 모형 A-1과 A-3에서 0.2083, 0.2561로 유의하게 나타나 공기업의 효과성이 기관 유형 중 가장 높은 것으로 분석되었다. 협력 유형에서는 유의성이 나타나지 않았다.

생산성은 기관 유형 중 대학의 계수가 모형 A-4에서 0.1636으로 유의하게 나타났다. 협력유형에서는 협력유형 3의 계수가 모형 A-2에서 0.1928로 나타나 협력유형 4보다 협력유형 3이 생산성이 높다는 분석결과를 도출하였다.

(4) 신재생에너지 기술개발사업

신재생에너지 기술개발사업은 기술개발단계가 TRL 1부터 TRL 4까지로 4단계로 구성되어 있다. 기관 유형은 대기업, 공기업, 중견기업, 중소기업, 대학, 연구소, 기타로 7개 유형을 포함한다. 협력 유형은 4개 유형을 모두 포함한다.

기관유형 중 대기업이 효율성 지수가 높다는 결과가 나타났으며 협력 유형 3이 협력유형 4보다 효율성 지수가 높다는 결과가 나탔다. 대기업의 계수는 모형 A-3에서 0.4568로 유의하게 나타났고, 협력유형 3의 계수는 0.1290으로 유의하게 나타났다.

효과성과 생산성은 기관유형, 협력유형과 유의성을 나타내지 않았다.

(5) 수요관리 기술개발사업

수요관리 기술개발사업은 대기업, 공기업, 중견기업, 중소기업, 대학, 연구소로 6개 기관 유형을 표함하고, 협력 유형은 2, 3, 4 유형으로 구성되었다.

모형 A-3에서는 중소기업의 계수가 -0.0665로 유의하게 나타나 연구소보다 효율성이 떨어지는 것으로 나타났다. 협력유형은 유의성을 나타내지 않았다.

효과성은 기관유형에 따라서는 유의성을 나타내지 않았고, 협력유형은 모형 A-2, A-3에서 협력유형 2의 계수가 0.0025, 0.0037로 유의하게 나타나, 협력유형이 단순한 것이 더 효과성이 높다고 분석되었다.

생산성은 유의한 수치가 나타나지 않았다.

(6) 원자력핵심기술개발사업

원자력핵심기술개발사업은 기관 유형이 공기업, 중견기업, 중소기업, 대학, 연구소로 5개 유형을 포함하고 있다. 협력 유형은 1, 2, 3, 4로 모두 4개 유형을 포함한다.

원자력 분야는 모형 A-1에서 대학이 0.1536, 중소기업이 0.0705로 유의하게 나타나, 대학과 중소기업이 연구소보다 효율성이 높은 특성을 보였다. 협력유형은 모형 A-3에서 협력유형 2가 협력유형 4보다 효율성이 높다는 결과를 나타냈다.

효과성에서는 공기업의 계수가 -0.2829로 중소기업보다 효과성이 낮은 것으로 분석이 되었다. 협력유형은 효과성과 유의성이 없는 것으로 나타났다. 원자력핵심기술개발사업에서 경제적 성과를 창출한 과제는 공기업과 중소기업 유형만 포함하고, 협력 유형도 2, 3, 4만 포함하고 있다.

생산성은 유의성이 나타나지 않았다.

(7) 자원개발 기술개발사업

자원개발 기술개발사업은 공기업, 중소기업, 대학, 연구소 4개의 기관 유형을 포함한다. 협력 유형은 2, 3, 4로 3개 유형이다.

효율성은 중소기업이 연구소보다 효율성 지수가 낮은 것으로 나타났고 협력 유형 2가 협력 유형 4보다 효율성 지수가 높은 것으로 분석이 되었다.

중소기업과 대학이다른 기관유형보다 효과성이 높은 것으로 나타났고, 협력 유형에 대해서는 유의성을 나타내지 않았다. 민간현물은 음의 영향을 갖는 것으로 나타났다.

생산성은 공기업과 대학이 연구소보다 생산성 지수가 높게 나타났고 중소기업은 연구소보다 낮게 나타났다. 협력 유형에 따라서는 유의성을 나타내지 않았다.

(8) 청정화력 기술개발사업

청정화력기술개발사업은 기관유형이 대기업, 공기업, 중견기업, 중소기업, 대학, 연구소, 기타로 총 7개로 구성되었다. 협력 유형은 3, 4로 2개 유형이 포함되었다.

연구소와 중견기업이 기타 유형 기관보다 효율성 지수가 높았다. 협력 유형은 협력 유형 3의 계수가 0.2018로 유의하게 나타나 협력 유형 4보다 효율성 지수가 높게 나타났다.

대기업, 중소기업, 대학이 연구소보다 효과성 지수가 낮은 것으로 분석되었다. 협력 유형은 유의성을 나타내지 않았다.

모형 A는 대기업이 연구소보다 생산성 지수가 낮게 나타났고, 협력유형은 유의성을 나타내지 않았다.

제 4 절 논의 및 결론

본 연구에서는 정부 에너지 R&D의 효율성, 효과성, 생산성에 미치는 영향 요인 분석을 개인 차원과 환경 차원 요인으로 구분하여 수행하였다.

가. 개인차원 요인

개인차원 요인은 크게 2가지 관점에서 요인을 도출하였다. 첫 번째는 개인의 연구동기를 부여할 수 있는 요인들로 연구 자율성과 연구 안정성을 높이는 제도들이다. 즉, 연구 기획의 자율성을 부여하는 상향식 공모 형태와 연구 내용이 정해진 하향식 공모 형태를 비교해 어떤 공모 형태가 R&D의 효율성, 효과성, 생산성에 긍정적 영향을 주는지 분석하였다. 두 번째는 연구 안정성 보장해 주는 제도들이 미치는 영향을 분석하였다. 연구과제비가 커질수록, 협약된 연구기간이 장기일수록 연구 안정성이 높아질 것이라고 보고, 연구과제의 연구비 규모와 수행기간이 어떤 영향을 주는지 분석하였다.

분석결과 공모유형, 정부출연금, 민간현금, 민간현물, 수행기간이 R&D 효율성과 효과성, 생산성에 미치는 영향에 대하는 다음과 같은 시사점을 도출할 수 있었다.

첫째, 공모유형은 전반적으로 상향식이 양의 영향을 미치는 것으로 해석할 수 있었다. ESS, 자원순환, 스마트그리드, 신재생, 수요관리 분야의 과학기술적 효율성은 상향식 공모유형이 더 높은

것으로 분석되었다. 그러나 스마트그리드 효과성과 자원개발 효율성, 청정화력 효과성과 생산성에서는 하향식 공모유형이 상향식 공모유형보다 긍정적 영향을 주는 것으로 나타났다. 통계적으로 유의하게 나온 결과를 살펴보면, 과학기술적 효율성은 대체로 상향식 공모유형이 유리하고, 하향식 공모유형은 스마트그리드, 청정화력과 같은 공기업이 국내 시장을 주도하는 분야의 효과성과 생산성에 유리한 것으로 나타났다. 따라서 본 연구 분석 결과에 따르면 과학기술적 효율성을 높이기 위해서는 상향식 공모 유형이 적합하며, R&D 효과성 및 생산성 향상에는 하향식 공모 유형이 적합하다고 판단할 수 있다.

둘째, 정부출연금은 효율성, 효과성, 생산성에 대체로 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 일부 사업은 정부출연금이 증가할수록 지수가 하락하는 결과를 나타내었다. ESS 기술개발사업의 효율성, 수요관리 기술개발사업의 생산성, 자원개발 기술개발사업의 효율성, 청정화력 기술개발사업의 효율성은 정부출연금의 규모가 증가할수록 지수가 하락하는 것으로 나타났다. 이는 연구비와 연구성과가 양의 상관관계를 갖는다는 선행연구와는 다른 결과를 나타내며, 현재 정부 에너지 R&D 사업에서 개별 과제들의 성과가 정부출연금 규모가 커진다고 해서 향상되지 않음을 시사해준다. 따라서, 과제당 정부출연금 규모를 향상시키는 것은 개별 연구과제들의 효율성, 효과성, 생산성 향상을 위한 대안으로 바람직하지 않을 수 있다.

셋째, 민간현금은 모든 사업에서 효율성, 효과성, 생산성에 영향을 준다는 통계적 유의성을 확인할 수 없었다. 그러나 민간현물은

사업별로 양 또는 음의 영향을 주는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 정부 에너지 R&D 사업에서 과제별로 수행기관이 부담하는 민간현물이 연구성과에 영향을 미친다는 것을 의미한다. 특히, ESS의 효과성, 스마트그리드의 효과성과, 생산성, 원자력 효과성과 생산성, 청정화력의 효율성, 효과성과 생산성에 민간현물이 양의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이 분야들의 공통점은 개발된 기술이 제품화되어 경제적 성과를 창출할 때에 전력 공기업이 중요한 역할을 할 수 있는 분야라는 점이다. 이 연구결과를 통해 정부 에너지 R&D 사업에서는 공기업의 현물 부담이 중요하다고 판단할 수 있으며, 현물 부담은 해당 기업의 사업화 의지를 나타내는 지표로 해석될 수 있다. 제 4 장에서 정부 에너지 R&D 사업은 효과성이 극히 낮게 나타났는데 이를 개선하기 위해서는 공기업의 역할이 중요함을 시사해 준다.

넷째, 연구과제의 수행기간이 길어질수록 효율성, 효과성, 생산성이 떨어지는 것으로 분석되었다. 이는 장기 연구과제에서 효율성, 효과성, 생산성이 향상될 것이라는 가설과 반대되는 결과이다.

이상에서 정리한 시사점을 종합해보면, 정부 에너지 R&D 사업에서 개별 과제들의 효율성, 효과성, 생산성을 향상시키기 위한 지원 방향성을 다음과 같이 도출할 수 있다.

첫째, 효율성을 향상시키는데는 상향식 공모 유형이, 효과성과 생산성을 향상시키는데는 하향식 공모 유형이 대체로 유리하다. 다만, 자원개발 분야는 효율성에서도 하향식 공모 유형이 유리한 것으로 나왔고, 수요관리 분야는 생산성에서 상향식 공모 유형이 유리했다. 자원개발 분야는 국내 산·학·연 생태계가 협소하여

정부 R&D 사업에 관련 기관이 모두 참여해 하향식 기획이 이루어졌기 때문으로 추정된다. 또한, 수요관리 분야는 다른 에너지 분야가 국가 기반시설, 에너지 인프라, 공기업 성격을 갖는 것과 달리 공기업이 주도하지 않는 시장을 대상으로 하는 기술 분야이기 때문으로 추정된다.

둘째, 장기 대규모 과제는 연구성과 향상에 도움이 되지 않는 것으로 확인되었다. 즉, 사업을 구성하는 개별과제의 대형화는 과학기술적, 경제적 성과 모두에 부정적 영향을 미칠 수 있으므로 관련 제도 마련 시에 주의가 필요할 것으로 사료되었다.

셋째, 정부 에너지 R&D의 효과성 제고를 위해서는 공기업 역할이 중요한 것으로 나타났다. 개발된 기술의 시장 진입에 공기업과 대기업이 중요한 역할을 하는 분야인 스마트그리드, 청정화력, 원자력, ESS 분야에서 민간현물 부담이 해당 과제의 효과성에 양의 영향을 미치는 것으로 나타났는데, 민간현물은 사업화 의지 또는 가능성의 지표로 해석될 수 있을 것이다.

결론적으로 본 연구의 결과는 상향식 공모 유형이 하향식 보다 효율성, 효과성, 생산성 지수가 높다는 가설 H(1)-1을 부분적으로 지지했으며, 분야에 따라 이 가설을 지지하지 않는 결과도 얻었다. 한편, 정부출연금, 민간현금, 민간현물, 수행기간은 모두 효율성, 효과성, 생산성에 긍정적 영향을 미친다는 H(1)-2는 지지하지 않는 것으로 나타났다. 민간현물을 제외하면 대다수 사업이 정부출연금, 민간현금, 수행기간과 음(-)의 관계를 나타내었고, 민간현물은 일부 분야에서 양(+)의 영향을 주는 것으로 나타났다.

[표 6-4] 가설 검증 결과(개인차원 요인)

구분	가설	결과
H(1)-1	상향식 공모 유형이 하향식 공모 유형에 비해 높은 효율성, 효과성, 생산성 지수를 나타낸다.	Not supported
H(1)-2	정부출연금, 민간현금, 민간현물과 수행기간의 증가는 모두 R&D 효율성, 효과성, 생산성에 양의 영향을 미친다.	Not supported

나. 환경차원 요인

본 연구에서는 환경차원 요인은 내부환경으로써 연구수행 기관의 조직적 특성과 외부환경으로써 협력유형을 포함하였다.

분석 결과 과학기술적 효율성은 대학과 연구소가 높게 나타났으며, 효과성과 생산성은 사업별로 지수가 높은 기관이 달리 나타났다. 대기업이 주관기관이라 하더라도 효과성, 생산성이 높다는 통계적 증거는 확인할 수 없었다. 따라서, 개인차원 요인 분석결과 대기업은 R&D의 효과성과 생산성 향상에 중요한 역할을 한다는 것을 확인했지만, 이것이 반드시 대기업이 주관기관으로 참여해야 한다는 것을 의미하는 것은 아니라고 볼 수 있다. 즉, 개인차원 요인과 환경차원 요인의 결과를 종합하면, 대기업이 참여하는 것만으로 성과를 향상시킬 수는 없고 현물부담 등 실제 연구과제에 적극적인 자원의 제공이 중요한 것으로 판단된다.

한편, 협력 유형은 단순해 질수록 효율성, 효과성, 생산성이 높아지는 것으로 분석되었다. 청정화력과 자원순환 분야를 제외하면 협력유형이 단순한 것이 효율성 및 생산성 제고에 유리한 것으로 나타났다.

[표 6-5] 가설 검증 결과(환경차원 요인)

구분	가설	결과
H(2)-1	R&D의 효율성은 대학과 연구소에서 높게 나타나고, R&D의 효과성과 생산성은 대기업에서 높게 나타난다.	Not supported
H(2)-2	R&D의 효율성, 효과성, 생산성은 협력유형에서 협력유형 수가 증가할수록 향상된다.	Not supported

제 7 장 결론

제 1 절 정부 에너지 R&D의 효율성, 효과성, 생산성

본 연구에서 수행한 정부 에너지 R&D의 효율성, 효과성, 생산성 분석 결과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

첫째, R&D의 과학기술적 효율성이 반드시 경제적 생산성과 효과성을 보장하는 것은 아님을 확인하였다. 정부 에너지 R&D 사업은 대체로 투입 대비 논문 및 특허를 산출하는 효율성은 우수하였다. 그러나 논문 및 특허가 경제적 성과로 전환되는 효과성은 낮은 수치를 보였다. 이는 사업의 구조적 특성 때문이라고 추정되었다. 예를 들어, ESS 기술개발사업은 효율성이 '1'이지만 효과성은 '0'에 가깝다. 그러나 ESS 실증사업은 효율성은 '0'에 가깝지만 효과성은 '1'이다. 즉, 실증사업은 효과성이 높았으며, 기술개발사업은 효율성이 높았다. 실증사업이 증가하게 되면 정부 에너지 R&D 사업의 효과성도 향상될 것으로 추정되었다. 한편, 신재생에너지 기술개발사업은 유일하게 효율성, 효과성, 생산성이 모두 '1'로 나타나 타 사업이 벤치마킹 할 수 있는 사업으로 판단되었다.

둘째, 정부 에너지 R&D 사업은 효과성과 생산성이 강한 양의 상관관계를 나타내었다. 즉, 정부 에너지 R&D의 생산성 향상을 위해서는 효과성을 향상시키는 것이 중요할 수 있다고 판단되었다. 효과성 향상을 위해서는 논문 및 특허의 양적 증가가 아닌 질적 성과에 R&D 관리의 초점을 맞출 필요가 있을 것이다. 즉, 낮은 품질의 논문 및 특허를 여러 편 생산하는 것 보다는 높은 경제

적 가치를 만드는데 기여할 수 있는 소수의 논문 및 특허를 생산하는 것이 효과성을 향상시킬 수 있다.

셋째, 정부 에너지 R&D 사업의 규모수익성 분석을 통해 어떤 부문에 예산의 추가 지출이 적정한지 판단할 수 있었다. 본 연구에서는 15개 사업이 효율성, 효과성, 생산성 각각의 관점에서 규모수익성이 어떻게 나타나는지 분석하였다. 분석 결과 효율성 관점에서는 대부분의 사업들이 불변규모수익(CRS) 또는 규모수익감소(DRS)를 나타내었다. 이러한 사업들은 지금보다 사업에 대한 투입 규모가 커진다면 논문이나 특허를 산출하는 효율성이 떨어질 수 있어 추가 지출이 바람직하지 않다는 것을 시사한다.

생산성 관점에서는 과반수 이상의 사업이 규모수익증가(IRS)을 나타내었으며, 규모수익감소(DRS)을 나타내는 사업은 나타나지 않았다. 이러한 사업들은 추가 예산 투입이 생산성 향상을 가져올 수 있다는 것을 시사한다.

넷째, 사업 수준 분석결과와 과제 수준 분석결과를 비교했을 때 효율성, 효과성, 생산성 지수간 상관관계는 동일하게 나타났으나, 규모수익성 특성은 다르게 나타났다. 사업 수준에서는 효율성은 규모수익불변(CRS)+규모수익감소(DRS)로 투입량의 감소나 유지가 필요한 분야였고, 효과성이나 생산성은 규모수익불변(CRS)+규모수익증가(IRS)로 투입량의 증가가 필요한 것으로 분석되었다. 그러나 과제 수준에서는 효율성, 효과성, 생산성이 사업에 따라 규모수익불변(CRS), 규모수익감소(DRS), 규모수익증가(IRS) 특성을 가지는 과제의 분포가 다양하게 나타나 과제의 개별적 특성을 고려하는 것이 필요하다고 판단되었다.

제 2 절 정부 에너지 R&D의 예산 포트폴리오

본 연구에서는 정부 에너지 R&D의 효율성, 효과성, 생산성 평가 결과를 R&D 예산 배분으로 환류할 수 있는 방법론을 제시하고 적정 예산 포트폴리오를 도출하였다.

먼저 여유분 분석(slack analysis)를 활용하여 정부 에너지 R&D의 정부출연금 포트폴리오 조정 방법론을 제시하였다. 또한 규모수익증가(IRS)을 갖는 사업에 추가 예산 투입 시 효율성 및 생산성 변화를 시뮬레이션 해 보았다. 이 방법론을 활용하면, 동일한 산출 수준에서 정부출연금을 얼마나 절감할 수 있는지, 추가 투입 시 기대되는 효율성 및 생산성은 얼마인지 산출하여 정책적 의사결정의 기초자료로 활용할 수 있다. 특히, DEA 분석으로 효율성 관점의 R&D 평가를 시행하면 평가 결과를 예산으로 환류할 때 예산의 효율성을 향상시키는 방향으로 운용할 수 있다.

효율성에서 IRS를 나타낸 사업에 대해 정부출연금을 10% 증가시켰을 때 효율성은 약 26.1% 향상되었고, 정부출연금을 20% 증가시켰을 경우에는 약 37.5% 향상되는 것으로 나타났다. 이 때, 사업 전체의 효율성 순위에 변동은 발생하지 않았다.

생산성에서 IRS를 나타낸 사업에 대해 정부출연금을 10% 증가시켰을 경우 생산성이 약 11.3%, 정부출연금을 20% 증가시켰을 경우 생산성은 약 21.4% 향상되는 것으로 나타났다.

3-STAGE DEA 분석은 투입 대비 산출의 효율성, 효과성, 생산성을 도출하는 동시에 R&D 예산 포트폴리오가 어떻게 변할 수 있는지 방향성과 변화의 크기를 제시해 줄 수 있다.

제 3 절 정부 에너지 R&D의 성과제고를 위한 요인

본 연구에서는 도출한 정부 에너지 R&D의 성과제고를 위한 요인은 다음과 같이 요약될 수 있다.

첫째, 연구기획의 자율성을 부여하는 방식, 즉 상향식 공모 형태는 대체로 정부 에너지 R&D 과학기술적 효율성을 증가시킨다는 것을 확인하였다. 효율성은 상향식 공모 형태가 하향식 공모 형태보다 더 높은 것으로 분석되었다. 분야로 보면 ESS, 자원순환, 스마트그리드, 신재생, 수요관리 분야에서 이러한 경향성이 통계적으로 유의했다. 반면, 효과성 및 생산성 측면에서는 하향식 공모 유형이 상향식 공모유형보다 유리한 것으로 분석되었다. 분야로 보면 스마트그리드, 자원개발, 청정화력 분야에서 통계적으로 유의하게 나타났다. 스마트그리드, 자원개발, 청정화력 분야는 국내 시장을 공기업이 주도하고 있으므로 기술적 성과를 경제적 성과로 전환하는데 있어서 이러한 분야는 공공이 주도하여 하향식 기획을 하는 것이 효과적일 수 있다고 추정되었다.

둘째, 사업 수준 분석에서 사업에 대한 정부출연금 증가가 효과성, 생산성 제고에 기여할 수 있다는 결과와는 다르게, 과제 수준 분석에서는 정부출연금의 증가가 연구과제의 효율성, 효과성, 생산성에 긍정적 영향을 준다는 통계적 유의성을 확인할 수 없었다. 이는 수행기간의 분석 결과도 마찬가지였다. 연구과제 기간이 장기가 될 수록 효율성, 효과성, 생산성은 떨어지는 것으로 나타났다.

셋째, 민간현금은 모든 사업에서 효율성, 효과성, 생산성에 영향

을 미치지 않는 것으로 나타났다. 그러나 민간현물은 이들 지수에 통계적으로 유의한 영향을 미치는 결과를 보였다. 민간현물은 사업별 특성에 따라 양 또는 음의 영향을 주는 것으로 나타났는데, 특히 효과성과 생산성에 대해서는 민간현물이 양의 영향을 주는 것으로 나타났다. 분야로는 ESS, 스마트그리드, 청정화력, 원자력 분야에서 통계적 유의성을 보였다. 이 분야들은 민간현물이 개발된 기술이 상업화 될 가능성 또는 의지를 표현하는 지표로 볼 수 있다.

넷째, 수행기관의 유형에 따라서는 국내 정부 R&D를 대상으로 한 선행연구들과 유사한 결과를 보였다. 대학과 연구소의 과학기술적 효율성이 높게 나타났으며, 효과성 및 생산성은 사업별로 다른 결과를 보여주었다. 신재생 분야를 제외하면, 대기업이 주관기관이라고 해서 효과성 및 생산성이 높다는 통계적 유의성은 확인할 수 없었다. 대기업이 연구과제에 참여하는 것보다는 민간현물과 같이 기업이 가진 자원을 연구과제에 얼마나 투입하는지가 더 중요한 요소라고 판단할 수 있다.

다섯째, 협력 유형은 단순해질수록 효율성, 효과성, 생산성이 높아지는 것으로 분석되었다. 청정화력과 자원순환 분야를 제외하면 협력 유형은 단순한 것이 효율성 및 생산성 제고에 유리한 것으로 나타났다. 이러한 결과는 협력 유형의 복잡성이 불필요한 거래비용을 발생시키기 때문이기도 하지만, 많은 다양한 기관과의 외부 협력을 보다 효율화 할 수 있는 시스템 도입의 필요성이 있다는 시사점도 제시해 준다.

제 4 절 시사점 및 의의

본 연구에서는 3-STAGE DEA 모형을 통해 효율성을 3차원으로 분해 R&D 효율성을 측정하였다. 또한, 사업의 성과인 R&D 효율성 분석 결과를 R&D 예산에 어떻게 적용할 수 있는지 DEA 여유분 분석 방법론을 제시하였다. 그리고 에너지 R&D 사업에 효율성, 효과성, 생산성을 향상시킬 수 있는 요인 분석도 수행하였다.

이상에서 도출된 결과를 통해 다음과 같은 정책적 시사점을 도출할 수 있었다. 첫째, 사업 구조의 전환이 전체 사업의 효과성 제고에 기여할 수 있을 것으로 사료되었다. 실증형 사업인 ESS실증사업과 IGCC실증플랜트 사업이 효과성 '1'을 나타내는 반면, 신재생 사업을 제외한 기술개발형 사업들의 효과성 평균은 '0.17'로 큰 차이를 나타내므로, 효과성의 개선을 위해서는 사업의 성격의 전환이 필요하다고 판단되었다.

둘째, 공기업이 사업화에 중요한 역할을 하는 분야에서는 하향식 공모 유형을 확대하는 것이 개별 과제 및 전체 사업의 효과성을 향상시킬 것으로 판단되었다. 다만, 수요관리와 같은 시장을 공기업이 주도하지 않는 분야는 상향식 공모 유형이 적합할 것으로 보였다.

셋째, 사업 수준에서 정부출연금 규모를 증가시킬 필요가 있는 것으로 분석되었다. 5장의 포트폴리오 분석 결과 정부출연금의 10% 증가시 생산성이 약 11.3%, 정부출연금을 20% 증가시켰을 경우 생산성은 약 21.4% 향상되는 결과를 나타내었으며, 정부출연금이 증가로 인해 사업별 생산성 순위가 상승하는 효과가 있었

다. 단, 과제수준에서는 정부출연금 규모가 반드시 생산성을 향상시키는 아닌 것으로 분석되었다.

넷째, 일부 분야를 제외하면, 정부 에너지 R&D 사업의 개별 과제들은 기업의 현물 투입이 증가할수록 효과성과 생산성도 증가한다는 통계적 유의성을 확인하였다. 따라서 민간현물로 대표되는 기업의 사업화에 대한 적극적 의지를 향상시킬 필요가 있다고 판단되었다.

다섯째, 2개 사업을 제외하면 기관 간 협력 수가 복잡해 질수록 효율성, 효과성, 생산성에 부정적 영향을 미치는 것으로 나타났다. 따라서 기관 간 협력을 원활히 할 수 있는 제도적 지원책이 중요할 것으로 판단된다. 예를 들면, 에너지 신산업 특화단지 등 다양한 클러스터링 제도의 도입, 협력의 효율적 관리가 기관 간 협력 효율을 향상시킬 수 있다.

본 연구는 데이터 및 방법론 상 한계를 갖고 있다. 분석대상 사업에 포함된 과제 중 상당수가 논문 또는 특허, 경제적 성과에 결측치를 포함하고 있었다. 이렇게 결측치가 포함되면 DEA 분석이 불가능하므로 결측치가 있는 사업, 과제는 분석대상에서 제외되었다. 따라서 추후 데이터가 축적되어 분석 표본량이 증가하면 연구결과의 신뢰도를 더 향상시킬 수 있을 것이다.

본 연구의 의의는 R&D 효율성 분석을 3-STAGE라는 새로운 관점으로 수행했다는 데 있다. 본 연구에서 제시한 3-STAGE DEA 방법론을 사용하면 규모 수익성과 비효율성 원인에 기반해 국가 R&D 지출의 총 효율성, 효과성, 생산성 제고를 위한 개선 방향성을 도출하게 해준다. 효율성 논의가 단순히 지출 감소의 결

론으로 도출되는 것이 아니라, 3-STAGE DEA 방법론을 활용하면 효율성, 효과성, 생산성 향상을 위한 전략 방향 도출할 수 있다.

참고문헌

Aghion, P., Harris, C., Howitt, P., & Vickers, J. (2001). Competition, Imitation and Growth with Step-by-Step Innovation. The Review of Economic Studies, 68(3), 467-492.

Ahn, H., Afsharian, M., Emrouznejad, A., & Banker, R. (2018). Recent developments on the use of DEA in the public sector. Socio-Economic Planning Sciences, 61, 1-3.

Aigner, D. J., & Chu, S. F. (1968). On Estimating the Industry Production Function. The American Economic Review, 58(4), 826-839.

Allen, R., Athanassopoulos, A., Dyson, R. G., & Thanassoulis, E. (1997). Weights restrictions and value judgements in Data Envelopment Analysis: Evolution, development and future directions. Annals of Operations Research, 73(0), 13-34.

Amabile, T. M., Conti, R., Coon, H., Lazenby, J., & Herron, M. (1996). Assessing the Work Environment for Creativity. The Academy of Management Journal, 39(5), 1154-1184.

Amarasekara, C., Iyke, B. N., & Narayan, P. K. (2022). The role of R&D and economic policy uncertainty in Sri Lanka's

economic growth. Financial Innovation, 8(1), 16.

Anderson, T. R., Daim, T. U., & Lavoie, F. F. (2007). Measuring the efficiency of university technology transfer. Technovation, 27(5), 306-318.

Argyris, C. (1968). ON THE EFFECTIVENESS OF RESEARCH AND DEVELOPMENT ORGANIZATIONS. American Scientist, 56(4), 344-355.

Arrow, K. J. (1972). Economic Welfare and the Allocation of Resources for Invention. In C. K. Rowley (Ed.), Readings in Industrial Economics: Volume Two: Private Enterprise and State Intervention (pp. 219-236). Macmillan Education UK.

Asmild, M., Paradi, J. C., Reese, D. N., & Tam, F. (2007). Measuring overall efficiency and effectiveness using DEA. European Journal of Operational Research, 178(1), 305-321.

Atkinson, S. E., & Halvorsen, R. (1980). A Test of Relative and Absolute Price Efficiency in Regulated Utilities. The Review of Economics and Statistics, 62(1), 81-88.

Audretsch, D. B., & Belitski, M. (2020). The role of R&D and knowledge spillovers in innovation and productivity. European Economic Review, 123, 103391.

Baek, S. C., & Lee, D. H. (2021). Role of professional autonomy and project commitment in the Korean

government - funded R&D projects. Science and Public Policy, 49(1), 1-17.

Baker, E., Bosetti, V., & Anadon, L. D. (2015). Special issue on defining robust energy R&D portfolios. Energy Policy, 80, 215-218.

Balachandra, R., & Friar, J. H. (1997). Factors for success in R&D projects and new product innovation: a contextual framework. IEEE Transactions on Engineering Management, 44(3), 276-287.

Banker, R. D., Charnes, A., & Cooper, W. W. (1984). Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis. Management Science, 30(9), 1078-1092.

Barbero, J., Zabala-Iturriagagoitia, J. M., & Zofío, J. L. (2021). Is more always better? On the relevance of decreasing returns to scale on innovation. Technovation, 107, 102314.

Beneito, P., Rochina-Barrachina, M. E., & Sanchis, A. (2015). The path of R&D efficiency over time. International Journal of Industrial Organization, 42, 57-69.

Bitman, W. R., & Sharif, N. (2008). A Conceptual Framework for Ranking R&D Projects. IEEE Transactions on Engineering Management, 55(2), 267-278.

Blanco, L. R., Gu, J., & Prieger, J. E. (2016). The Impact of

Research and Development on Economic Growth and Productivity in the U.S. States [https://doi.org/10.1002/soej.12107]. Southern Economic Journal, 82(3), 914-934.

Blecich, A. A. (2021). RELATIVE EFFICIENCY OF R&D IN EUROPEAN COUNTRIES. Zbornik Veleucilista U Rijeci-Journal of the Polytechnics of Rijeka, 9(1), 169-185.

Blomberg, A., Kallio, T., & Heikki, P. (2017). Antecedents of organizational creativity: drivers, barriers or both? Journal of Innovation Management 2183-0606, 5, 78-104.

Bond, S. R., & Guceri, I. (2017). R&D and productivity: evidence from large UK establishments with substantial R&D activities. Economics of Innovation and New Technology, 26(1-2), 108-120.

Boussofiane, A., Dyson, R. G., & Thanassoulis, E. (1991). Applied data envelopment analysis. European Journal of Operational Research, 52(1), 1-15.

Brockett, P. L., & Golany, B. (1996). Using Rank Statistics for Determining Programmatic Efficiency Differences in Data Envelopment Analysis. Management Science, 42(3), 466-472.

Brown, M. G., & Svenson, R. A. (1988). Measuring R&D

Productivity. Research-Technology Management, 31(4), 11-15.

Charnes, A., Cooper, W. W., Huang, Z., & Sun, D. B. (1990). Polyhedral Cone-Ratio DEA Models with an illustrative application to large commercial banks. Journal of Econometrics, 46, 73-91.

Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. European Journal of Operational Research, 2(6), 429-444.

_____. (1981). Evaluating Program and Managerial Efficiency: An Application of Data Envelopment Analysis to Program Follow Through. Management Science, 27(6), 668-697.

Chen, K., Kou, M., & Fu, X. (2018). Evaluation of multi-period regional R&D efficiency: An application of dynamic DEA to China's regional R&D systems. Omega, 74, 103-114.

Chen, Y., & Zhu, J. (2004). Measuring Information Technology's Indirect Impact on Firm Performance. Information Technology and Management, 5(1), 9-22.

Cho, E., & Lee, M. (2005). An exploratory study on contingency factors affecting R&D performance measurement. International Journal of Manpower, 26(6), 502-512.

Choung, J.-Y., & Hwang, H.-R. (2000). National Systems of

Innovation: Institutional Linkages and Performances in the Case of Korea and Taiwan. Scientometrics, 48(3), 413-426.

Choung, J.-Y., Hwang, H.-R., Choi, J.-H., & Rim, M.-H. (2000). Transition of Latecomer Firms from Technology Users to Technology Generators: Korean Semiconductor Firms. World Development, 28(5), 969-982.

Chun, D., Hong, S., Chung, Y., Woo, C., & Seo, H. (2016). Influencing factors on hydrogen energy R&D projects: An ex-post performance evaluation. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 53, 1252-1258.

Clarke, T. E. (2002). Unique features of an R&D work environment and research scientists and engineers. Knowledge, Technology & Policy, 15(3), 58-69.

Co, H. C., & Chew, K. S. (1997). Performance and R&D expenditures in American and Japanese manufacturing firms. International Journal of Production Research, 35(12), 3333-3348.

Cullmann, A., & Zloczysti, P. (2014). R&D efficiency and heterogeneity - a latent class application for the OECD. Applied Economics, 46(30), 3750-3762.

Dobrzanski, P., & Bobowski, S. (2020). The Efficiency of R&D Expenditures in ASEAN Countries.

Sustainability, 12(7), 2686.

Dosi, G. (1988). Technical change and economic theory. London New York : Pinter Publishers.

Du, Y., & Seo, W. (2022). A Comparative Study on the Efficiency of R&D Activities of Universities in China by Region Using DEA–Malmquist. Sustainability, 14(16), 10433.

Eilat, H., Golany, B., & Shtub, A. (2006). Constructing and evaluating balanced portfolios of R&D projects with interactions: A DEA based methodology. European Journal of Operational Research, 172(3), 1018-1039.

_____. (2008). R&D project evaluation: An integrated DEA and balanced scorecard approach. Omega, 36(5), 895-912.

Fang, S., Xue, X., Yin, G., Fang, H., Li, J., & Zhang, Y. (2020). Evaluation and Improvement of Technological Innovation Efficiency of New Energy Vehicle Enterprises in China Based on DEA-Tobit Model. Sustainability, 12(18), 7509.

Farrell, M. J. (1957). The Measurement of Productive Efficiency. Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General), 120(3), 253-290.

Feng, Y. J., Lu, H., & Bi, K. (2004). An AHP/DEA method for measurement of the efficiency of R&D management activities in universities. International Transactions in

Operational Research, 11(2), 181-191.

Fey, C. F. (2005). External sources of knowledge, governance mode, and R&D performance. Journal of Management, 31(4), 597-621.

Furman, J. L., Porter, M. E., & Stern, S. (2000). UNDERSTANDING THE DRIVERS OF NATIONAL INNOVATIVE CAPACITY. Academy of Management Proceedings, 2000(1), A1-A6.

Gambardella, A., Khashabi, P., & Panico, C. (2020). Managing Autonomy in Industrial Research and Development: A Project-Level Investigation. Organization Science, 31(1), 165-181.

Garza, D., Giat, Y., Hackman, S. T., & Peled, D. (2015). A computational analysis of R&D support programs. Economics of Innovation and New Technology, 24(7), 682-709.

Geroski, P. A. (1991). Entry And The Rate of Innovation. Economics of Innovation and New Technology, 1(3), 203-214.

Golany, B., & Roll, Y. (1989). An application procedure for DEA. Omega, 17(3), 237-250.

Goto, A., & Suzuki, K. (1989). R & D Capital, Rate of Return on R & D Investment and Spillover of R & D in Japanese Manufacturing Industries. The Review of

Economics and Statistics, 71(4), 555-564.

Graves, S. B., & Langowitz, N. S. (1996). R&D productivity: A global multi-industry comparison. Technological Forecasting and Social Change, 53(2), 125-137.

Grubler, A., & Riahi, K. (2010). Do governments have the right mix in their energy R&D portfolios? Carbon Management, 1(1), 79-87.

Guan, J., & Chen, K. (2010). Measuring the innovation production process: A cross-region empirical study of China's high-tech innovations. Technovation, 30(5-6), 348-358.

Guo, X., Deng, C., Wang, D., Du, X., Li, J., & Wan, B. (2021). International Comparison of the Efficiency of Agricultural Science, Technology, and Innovation: A Case Study of G20 Countries. Sustainability, 13(5), 2769.

Harris, T., & Hardin, J. W. (2013). Exact Wilcoxon Signed-Rank and Wilcoxon Mann - Whitney Ranksum Tests. The Stata Journal, 13(2), 337-343.

Hashimoto, A., & Haneda, S. (2008). Measuring the change in R&D efficiency of the Japanese pharmaceutical industry. Research Policy, 37(10), 1829-1836.

Henriksen, A., & Traynor, A. (1999). A practical R&D project-selection scoring tool. IEEE Transactions on Engineering Management, 46, 158-170.

Hollanders, H., & Esser, F. (2007). Measuring innovation efficiency. Economic Theory

Hsu, F.-M., & Hsueh, C.-C. (2009). Measuring relative efficiency of government-sponsored R&D projects: A three-STAGE approach. Evaluation and Program Planning, 32(2), 178-186.

Hu, J.-L., Yang, C.-H., & Chen, C.-P. (2014). R&D EFFICIENCY AND THE NATIONAL INNOVATION SYSTEM: AN INTERNATIONAL COMPARISON USING THE DISTANCE FUNCTION APPROACH. Bulletin of Economic Research, 66(1), 55-71.

Huang, K.-F., Lin, K.-H., Wu, L.-Y., & Yu, P.-H. (2015). Absorptive capacity and autonomous R&D climate roles in firm innovation. Journal of Business Research, 68(1), 87-94.

IEA. (2011). IEA Guide to Reporting Energy RDD Budget-Expenditure Statistics. IEA.

____. (2023). Energy Technology Perspectives 2023. IEA.

Jang, H., Lee, S., & Suh, E. (2016). A comparative analysis of the change in R&D efficiency: a case of R&D leaders in the technology industry. Technology Analysis & Strategic Management, 28(8), 886-900.

Jyoti, Banwet, D. K., & Deshmukh, S. G. (2008). Evaluating performance of national R&D organizations using

integrated DEA AHP technique. International Journal of Productivity and Performance Management, 57(5), 370-388.

Karadayi, M. A., & Ekinci, Y. (2019). Evaluating R&D performance of EU countries using categorical DEA. Technology Analysis & Strategic Management, 31(2), 227-238.

Kaur, M., & Singh, L. (2016). R&D expenditure and economic growth: An empirical analysis. International Journal of Technology Management & Sustainable Development, 15(3), 195-213.

Keh, H. T., & Chu, S. (2003). Retail productivity and scale economies at the firm level: a DEA approach. Omega, 31(2), 75-82.

Keh, H. T., Chu, S., & Xu, J. (2006). Efficiency, effectiveness and productivity of marketing in services. European Journal of Operational Research, 170(1), 265-276.

Kerssens-van Drongelen, I., Nixon, B., & Pearson, A. (2000). Performance measurement in industrial R&D. International Journal of Management Reviews, 2(2), 111-143.

Kiani Mavi, R., Kiani Mavi, N., Farzipoor Saen, R., & Goh, M. (2022). Common weights analysis of renewable energy

efficiency of OECD countries. Technological Forecasting and Social Change, 185, 122072.

Kim, J., Hong, S., Kang, Y., & Lee, C. (2023). Domain-specific valuation of university technologies using bibliometrics, Jonckheere–Terpstra tests, and data envelopment analysis. Technovation, 122, 102664.

Koçak, E., Kınacı, H., & Shehzad, K. (2021). Environmental efficiency of disaggregated energy R&D expenditures in OECD: a bootstrap DEA approach. Environmental Science and Pollution Research, 28(15), 19381-19390.

Korhonen, P., Tainio, R., & Wallenius, J. (2001). Value efficiency analysis of academic research. European Journal of Operational Research, 130(1), 121-132.

Kuosmanen, T., Saastamoinen, A., & Sipiläinen, T. (2013). What is the best practice for benchmark regulation of electricity distribution? Comparison of DEA, SFA and StoNED methods. Energy Policy, 61, 740-750.

Kwon, D. S., Cho, J. H., & Sohn, S. Y. (2017). Comparison of technology efficiency for CO2 emissions reduction among European countries based on DEA with decomposed factors. Journal of Cleaner Production, 151, 109-120.

Kwon, H. Y., & Kwon, I. (2019). R&D Spillovers for Public R&D Productivity. Global Economic Review, 48(3),

334-349.

Kylindri, S., Blanas, G., Henriksen, L., & Stoyan, T. (2012). Measuring Project Outcomes: A Review of Success Effectiveness Variables.

Kyung Hwa, K., Lee. (2022). Factors affecting the efficiency of government-funded university R&D performance: R&D program and R&D project levels. 한국혁신학회지, 17(2), 47-73.

Lampe, H. W., & Hilgers, D. (2015). Trajectories of efficiency measurement: A bibliometric analysis of DEA and SFA. European Journal of Operational Research, 240(1), 1-21.

Lee, H., Choi, Y., & Seo, H. (2020). Comparative analysis of the R&D investment performance of Korean local governments. Technological Forecasting and Social Change, 157, 120073.

Lee, H., Park, Y., & Choi, H. (2009). Comparative evaluation of performance of national R&D programs with heterogeneous objectives: A DEA approach. European Journal of Operational Research, 196(3), 847-855.

Lee, H. Y., & Park, Y. T. (2005). An international comparison of R&D efficiency: DEA approach. Asian Journal of Technology Innovation, 13(2), 207-222.

Lee, S., & Lee, H. (2015). Measuring and comparing the

R&D performance of government research institutes: A bottom-up data envelopment analysis approach. Journal of Informetrics, 9(4), 942-953.

Lee, S. K., Mogi, G., & Hui, K. S. (2013). A fuzzy analytic hierarchy process (AHP)/data envelopment analysis (DEA) hybrid model for efficiently allocating energy R&D resources: In the case of energy technologies against high oil prices. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 21, 347-355.

Li, G., Wang, P., & Pal, R. (2022). Measuring sustainable technology R&D innovation in China: A unified approach using DEA-SBM and projection analysis. Expert Systems with Applications, 209, 118393.

Liu, D., Chen, X.-P., & Yao, X. (2011). From autonomy to creativity: A multilevel investigation of the mediating role of harmonious passion. Journal of Applied Psychology, 96, 294-309.

Liu, H.-h., Yang, G.-l., Liu, X.-x., & Song, Y.-y. (2020). R&D performance assessment of industrial enterprises in China: A two-STAGE DEA approach. Socio-Economic Planning Sciences, 71, 100753.

Liu, J. S., & Lu, W.-M. (2010). DEA and ranking with the network-based approach: a case of R&D performance. Omega, 38(6), 453-464.

Liu, Z., Chen, X., Chu, J., & Zhu, Q. (2018). Industrial development environment and innovation efficiency of high-tech industry: analysis based on the framework of innovation systems. Technology Analysis & Strategic Management, 30(4), 434-446.

Lu, W.-M., & Hung, S.-W. (2011). Exploring the operating efficiency of Technology Development Programs by an intellectual capital perspective－A case study of Taiwan. Technovation, 31(8), 374-383.

Lu, W. C. (2009). The evolution of R&D efficiency and marketability: Evidence from Taiwan's IC design Industry. Asian Journal of Technology Innovation, 17(2), 1-26.

Mao, S., Kremantzis, M. D., Kyrgiakos, L. S., & Vlontzos, G. (2022). R&D Performance Evaluation in the Chinese Food Manufacturing Industry Based on Dynamic DEA in the COVID-19 Era. Agriculture, 12(11), 1938.

McGeary, M., & Smith, P. M. (1996). The R&D Portfolio: A Concept for Allocating Science and Technology Funds. Science, 274(5292), 1484-1485.

McLaughlin, J. A., & Jordan, G. B. (1999). Logic models: a tool for telling your programs performance story. Evaluation and Program Planning, 22(1), 65-72.

Meng, W., Zhang, D., Qi, L., & Liu, W. (2008). Two-level DEA approaches in research evaluation. Omega, 36(6), 950-957.

Mina, L. (2015). [Efficiency Analysis of R&D Productivity within the Korean Renewable Energy Technology Sector]. 신재생에너지, 11(4), 4-18.

Mohd Chachuli, F. S., Mat, S., Ludin, N. A., & Sopian, K. (2021). Performance evaluation of renewable energy R&D activities in Malaysia. Renewable Energy, 163, 544-560.

Nagesh, D. S., & Thomas, S. (2015). Success factors of public funded R&D projects. Current Science, 108(3), 357-363.

Nasierowski, W., & Arcelus, F. J. (2003). On the efficiency of national innovation systems. Socio-Economic Planning Sciences, 37(3), 215-234.

Nieto, M. J., & Santamaría, L. (2007). The importance of diverse collaborative networks for the novelty of product innovation. Technovation, 27(6), 367-377.

Odeck, J. (2007). Measuring technical efficiency and productivity growth: a comparison of SFA and DEA on Norwegian grain production data. Applied Economics, 39(20), 2617-2630.

OECD. (2015). Frascati Manual 2015.

Oral, M., Kettani, O., & Lang, P. (1991). A methodology for collective evaluation and selection of industrial R&D projects. Management Science, 37, 871-885.

Panne, G., Beers, C., & Kleinkecht, A. (2003). Success and Failure of Innovation: A Literature Review. International Journal of Innovation Management, 7, 309-337.

Pappas, R. A., & Remer, D. S. (1985). Measuring R&D Productivity. Research Management, 28(3), 15-22.

Park, J. H., & Shin, K. (2018). Efficiency of Government-Sponsored R&D Projects: A Metafrontier DEA Approach. Sustainability, 10(7), 2316.

Pedraja-Chaparro, F., Salinas-Jimenez, J., & Smith, P. (1997). On the Role of Weight Restrictions in Data Envelopment Analysis. Journal of Productivity Analysis, 8(2), 215-230.

Pereira, P. L., & Veloso, F. M. (2009). R&D Activity Selection Process: Building a Strategy-Aligned R&D Portfolio for Government and Nonprofit Organizations. IEEE Transactions on Engineering Management, 56(1), 95-105.

Politis, J. D. (2005). Dispersed leadership predictor of the work environment for creativity and productivity. European Journal of Innovation Management, 8(2),

182-204.

Pugh, G., Clarke, L., Marlay, R., Kyle, P., Wise, M., McJeon, H., & Chan, G. (2011). Energy R&D portfolio analysis based on climate change mitigation. Energy Economics, 33(4), 634-643.

Romer, P. M. (1990). Endogenous Technological Change. Journal of Political Economy, 98(5), S71-S102.

Rosenbloom, J. L., Ginther, D. K., Juhl, T., & Heppert, J. A. (2015). The Effects of Research & Development Funding on Scientific Productivity: Academic Chemistry, 1990-2009. PLOS ONE, 10(9), e0138176.

Ryu, Y., Hwang, K., & Choi, S. O. (2016). The Factors Affecting Basic Research Performance Funded by Government: 'Creative Research Program' Case in South Korea. Science, Technology and Society, 21(3), 349-365.

Scherer, F. M. (1983). The propensity to patent. International Journal of Industrial Organization, 1(1), 107-128.

Segerstrom, P. S. (1998). Endogenous Growth without Scale Effects. The American Economic Review, 88(5), 1290-1310.

Seiford, L. M., & Thrall, R. M. (1990). Recent developments in DEA: The mathematical programming approach to

frontier analysis. Journal of Econometrics, 46(1), 7-38.

Seiford, L. M., & Zhu, J. (1999). Profitability and Marketability of the Top 55 U.S. Commercial Banks. Management Science, 45(9), 1270-1288.

Sinimole, K. R., & Saini, K. M. (2021). Performance evaluation of R&D organisations: an Asian perspective. International Journal of the Economics of Business, 28(2), 179-196.

Smirlis, Y. G., & Despotis, D. K. (2012). Relaxing the impact of extreme units in data envelopment analysis. International Journal of Information Technology & Decision Making, 11(05), 893-907.

Sungmin, P. (2014). Identification of DEA Determinant Input-Output Variables . 대한산업공학회지, 40(1), 84-99.

Thomas, V. J., Sharma, S., & Jain, S. K. (2011). Using patents and publications to assess R&D efficiency in the states of the USA. World Patent Information, 33(1), 4-10.

Thompson, R. G., Langemeier, L. N., Lee, C.-T., Lee, E., & Thrall, R. M. (1990). The role of multiplier bounds in efficiency analysis with application to Kansas farming. Journal of Econometrics, 46(1), 93-108.

Tofallis, C. (1996). Improving discernment in DEA using

profiling. Omega, 24(3), 361-364.

Tone, K. (2002). A slacks-based measure of super-efficiency in data envelopment analysis. European Journal of Operational Research, 143(1), 32-41.

Tripathy, S., Sahu, S., & Ray, P. K. (2013). Interpretive structural modelling for critical success factors of R&D performance in Indian manufacturing firms. Journal of Modelling in Management, 8(2), 212-240.

Vandaele, N. J., & Decouttere, C. J. (2013). Sustainable R&D portfolio assessment. Decision Support Systems, 54(4), 1521-1532.

Wang, C.-W., Wu, J.-J., & Horng, R.-Y. (1999). Creative Thinking Ability, Cognitive Type and R&D Performance [https://doi.org/10.1111/1467-9310.00134]. R&D Management, 29(3), 247-254.

Wang, E. C. (2007). R&D efficiency and economic performance: A cross-country analysis using the stochastic frontier approach. Journal of Policy Modeling, 29(2), 345-360.

_____. (2010). Determinants of R&D investment: The Extreme-Bounds-Analysis approach applied to 26 OECD countries. Research Policy, 39(1), 103-116.

Wang, E. C., & Huang, W. (2007). Relative efficiency of

R&D activities: A cross-country study accounting for environmental factors in the DEA approach. Research Policy, 36(2), 260-273.

_____. (2007). A fuzzy set approach for R&D portfolio selection using a real options valuation model. Omega, 35(3), 247-257.

Wang, L., Wang, Y., & Zhou, J. (2022). Political connection,government R&D subsidies and innovation efficiency: Evidence from China. Finance Research Letters, 48, 102953.

Wang, Q., Hang, Y., Sun, L., & Zhao, Z. (2016). Two-STAGE innovation efficiency of new energy enterprises in China: A non-radial DEA approach. Technological Forecasting and Social Change, 112, 254-261.

Wennekers, S., & Thurik, R. (1999). Linking Entrepreneurship and Economic Growth. Small Business Economics, 13(1), 27-56.

Werner, B. M., & Souder, W. E. (1997). Measuring R&D Performance－State of the Art. Research-Technology Management, 40(2), 34-42.

Wong, Y. H. B., & Beasley, J. E. (1990). Restricting Weight Flexibility in Data Envelopment Analysis. The Journal of the Operational Research Society, 41(9), 829-835.

Woo, C., & Chun, D. (2023). R&D performance and relevant

factors of renewable energy projects: separating innovation and economic perspectives. International Journal of Environmental Science and Technology, 20(2), 2099-2110.

Xiong, X., Yang, G.-l., & Guan, Z.-c. (2018). Assessing R&D efficiency using a two-STAGE dynamic DEA model: A case study of research institutes in the Chinese Academy of Sciences. Journal of Informetrics, 12(3), 784-805.

Zachariadis, M. (2003). R&D, innovation, and technological progress: a test of the Schumpeterian framework without scale effects [https://doi.org/10.1111/1540-5982.t01-2-00003]. Canadian Journal of Economics/Revue canadienne d'économique, 36(3), 566-586.

Zalewska-Kurek, K., & Harms, R. (2020). Managing autonomy in university–industry research: a case of collaborative Ph.D. projects in the Netherlands. Review of Managerial Science, 14(2), 393-416.

Zhong, M., Huang, G., & He, R. (2022). The technological innovation efficiency of China's lithium-ion battery listed enterprises: Evidence from a three-STAGE DEA model and micro-data. Energy, 246, 123331.

Zhong, W., Yuan, W., Li, S. X., & Huang, Z. (2011). The

performance evaluation of regional R&D investments in China: An application of DEA based on the fIRSt official China economic census data. Omega, 39(4), 447-455.

Zhu, L., Luo, J., Dong, Q., Zhao, Y., Wang, Y., & Wang, Y. (2021). Green technology innovation efficiency of energy-intensive industries in China from the perspective of shared resources: Dynamic change and improvement path. Technological Forecasting and Social Change, 170, 120890.

강지혜, 백동현. (2014). 국가R&D사업 효율성 분석의 개선 방법. 산업경영시스템학회지, 37(3), 82-88.

강현규. (2016). 국가연구개발사업의 기획과 사전평가를 위한 논리모형의 활용. KISTEP.

고민수 (2001). DEA를 이용한 OECD 국가별 연구개발 효율성 비교 분석. 대한산업공학회 추계학술대회 논문집, 703-706.

고영선, 윤희숙, 이주호. (2004). 공공부문의 성과관리.

권요상. (2019). 생산경제학. 박영사.

권재철, 문종범, 유왕진, 이철규. (2012). 대형 연구개발사업의 성과에 영향을 미치는 요인에 관한 연구 [21세기 프론티어연구개발사업을 중심으로]. 기술혁신학회지, 15(1), 185-202.

권철신, 이원재, 이재하, 조정식. (2009). R&D조직의 창조성을 고려한 연구생산성 평가모형. 한국방위산업학회지, 16(1), 125-147.

권철홍, 정양헌, 방성식. (2012). Fuzzy AHP와 DEA-AR 모형을 이용한 R&D 연구 과제의 성과평가. 한국기술혁신학회

김경수, 조남욱. (2019). 국가 R&D 기술적 성과의 연구개발 협력 유형별 질적 효율성 분석. 한국경영공학회지 제25권 제1호

김광훈, 원동규, 이방래, 여운동. (2018). 무인항공기 분야의 정부 R&D 투자효율성 분석에 관한 연구. 한국기술혁신학회 학술대회. 811-824.

김도년. (2013). 정부출연연구기관 효율성분석을 위한 DEA적용에 관한 연구. 명지대학교 대학원 박사학위논문. 서울.

_____. (2015). 정부출연연구기관 평가제도 개선을 위한 DEA 활용방안과 결과. 한국생산관리학회지, 26(4), 403-421.

김문수, 이학연, 최창우, 이성룡, 최경일, 전진우. (2008). 국가연구개발 성과추적평가관리 시스템 모형 및 활용. 기술혁신학회지, 11(4), 613-638.

김미선, 연승민, 김재수, 이병희. (2015). 연구수행 주체에 따른 국가R&D 기술이전 성과 영향요인 분석. 한국콘텐츠학회논문지, 15(11), 559-570.

김민기, 이홍권. (2011). DEA 모형을 통한 연구관리전문기관의 상대적 효율성 분석. 경영컨설팅연구, 11(4), 25-44.

김상민. (2010). DEA를 이용한 정부출연 기술개발사업의 효율성 평가에 관한 연구. 전남대학교 대학원 박사학위논문. 광주.

김영조. (2005). 중소기업의 기술협력 활동이 기술혁신 성과 및 재무성과에 미치는 영향 -부산지역 중소 제조업체를 대상으로. 中小企業硏究, 27(3), 123-154.

김장헌, 최형묵. (2011). 주요 방산업체 R&D효율성의 정량/정성 혼합평가에 관한 연구. 한국방위산업학회지. 제14권 제2호.

김종규, 김영우. (2018). 공공연구기관 연구자의 연구자율성이조직효과성에 미치는 영향 분석 - 네트워크의 조절효과를 중심으로. 한국정책학회보, 27(3), 119-160.

김주경, 김영곤, 강제상. (2014). 정부 R&D 사업성과의 영향요인에 관한 연구. 한국정책과학학회보, 18(4), 229-256.

김준현, 강상규, 조수지, 이기광, 신광민, 배성훈. (2016). DEA모형을 활용한 나노기술 분야 국가 R&D 과제의 효율성 분석. 산업경영시스템학회지, 39(2), 64-71.

김준현, 김재경. (2020). DEA를 이용한 농림 R&D 사업의 효율성 분석 . 무역학회지, 45(1), 47-64.

김창봉, 박정호. (2016). 국내 IT기업의 특허활동요인이 경영성과에 미치는 영향 연구. 통상정보연구, 18(3), 249-273.

김태일. (2000). 자료포락분석 기법에 의한 자치단체 행정의 생산성 평가에 관한 비판적 논의. 정책분석평가학회보, 10(1), 185-207.

김태진, 이종구. (2014). 과학기술분야 정부출연 연구기관의 상대적 효율성과 영향요인 분석. 현대사회와 행정, 24(4), 165-187.

김태희, 김인호, 안성봉, 이계석. (2009). 자료포락분석법을 활용한 국가연구개발사업의 효율성 분석. 기술혁신학회지, 12(1), 70-87.

김현민, 유재욱, 유종순. (2013). 정부R&D과제 협력요소들과 연구

개발 성과의 관계에 대한 연구. 대한경영학회지, 26(3), 695-718.

김홍영, 이형진, 정선양. (2016). DEA를 이용한 정부R&D 과학기술인력양성사업 효율성 분석. 한국기술혁신학회 2016 춘계학술대회. 273-281.

김홍규, 박정희, 여인국. (2013). DEA를 이용한 R&D 사업의 효율성 비교 : 원천기술개발사업을 중심으로. 산업경영시스템학회지, 36(3), 126-132.

김홍규, 배진희. (2015). DEA를 활용한 R&D 프로젝트의 효율성 비교 : 산업기술사업을 중심으로. 산업경영시스템학회지, 38(3), 29-38.

남인석. (2008). DEA/AHP 모형을 이용한 국가연구개발사업의 성과평가 全北大學校 학위논문. 전주.

노석현 (2021). DEA를 활용한 SW 국가연구개발사업 효율성 분석. 한국전자거래학회지, 26(2), 45-59.

문관식, 안경섭. (2016). 산림분야 기후변화대응 R&D사업에 대한 탐색적 성과분석: 효율성 관점에서 DEA분석을 중심으로. 디지털융복합연구, 14(8), 47-56.

문광민. (2019). R&D 스톡의 시차와 기간간 연속성을 고려한 정부 R&D 효율성 측정: Dynamic DEA 모형의 적용. 사회과학연구, 30(4), 23-39.

민재형, 김진한. (1998). 부분 효율성 정보를 이용한 DEA 모형의 투입 · 산출 요소 선정에 관한 연구. 한국경영과학회지, 23(3), 75-90.

민현구, 황승준. (2012). 개방형 혁신에 의한 R&D 연구의 효율성 평가 분석 : 과학기술적 성과 관점에서 AHP-DEA방법론 적용. 산업경영시스템학회지, 35(4), 149-161.

박대식, 조근태. (2015). 공공연구조직의 창의성 수준과 연구성과 간 관계 . 경영과학, 32(2), 51-68.

박석종, 김경화, 정상기. (2011). [기술경영]과학기술적 성과 관점에서 정부 R&D사업 효율성 분석에 관한 연구. 기술혁신학회지, 14(2), 205-222.

박성민. (2010). R&D 프로젝트 효율성 상관분석 및 사업포지셔닝 조사를 위한 2단계 DEA/AR-I 성과평가모형. 대한경영학회지, 23(6), 3285-3303.

박성민. (2011a). R&D 프로젝트 성과평가를 위한 DEA모형의 타당성 실증분석. 산업공학 (IE interfaces), 24(4), 314-322.

_____. (2011b). R&D 프로젝트의 DEA효율성지수와 정규화지표의 관계분석. 2011년 대한산업공학회 추계학술대회.

_____. (2011c). R&D 프로젝트의 성과평가를 위한 DEA효율성지수와 정규화지표의 합치도 분석. 대한경영학회지, 24(4), 1999-2014.

박승, 나중경. (2015). DEA를 활용한 국방기술 연구개발 효율성 분석－응용연구와 시험개발 기술 중심으로－. 경영연구, 30(3), 57-84.

박승, 민준영, 나중경. (2014). DEA를 활용한 공공기관 기술개발 효율성 분석 연구. 한국경영학회 융합학술대회.

박승욱, 홍진원, 배상근. (2011). DEA 결과와 과제관리자 평가의

비교에 근거한 국가 R&D 프로젝트의 효율성 평가의 문제점 및 방안 탐색 . 산업혁신연구, 27(4), 33-52.

박승욱, 배상근. (2011). DEA 결과와 과제관리자 평가의 비교에 근거한 국가 R&D 프로젝트의 효율성 평가의 문제점 및 방안 탐색. 산업혁신연구, 27(4), 33-52.

박정우. (2018). 국방 R&D 효율성 평가를 위한 부트스트랩 DEA 적용에 관한 연구. 한국군사학논집, 74(3), 295-313.

박정희, 문종범. (2010). DEA를 이용한 지역산업기술개발사업의 효율성 분석. 산업경제연구, 23(4), 2047-2068.

박진수. (2021). DEA를 활용한 국방벤처 지원사업 연구개발 및 사업화 성과 분석. 한국산학기술학회 논문지, 22(6), 50-59.

박창일, 서호준. (2018). 6T 분야별 국가 R&D사업의 효율성과 생산성변화 . 산업경제연구, 31(1), 293-325.

방연호. (2006). 국가연구개발사업의 연구성과 관리실태 분석 및 개선방안 연구. 서울대학교 대학원 석사학위논문. 서울.

백철우, 이순배. (2010). 질적성과를 고려한 R&D 효율성 분석연구. 생산성논집, 24(4), 251-274.

백철우, 정영근. (2011). 선도 TLO 사업의 R&D 투자효율성 기여도 분석 . 한국혁신학회지, 6(2), 27-45.

백철우, 권명화, 유승훈. (2009). 아시아 국가의 기술혁신 환경요인이 R&D 효율성에 미치는 영향 분석. 아시아연구. 113-139.

소순후. (2011). 비방사적 SBM 모형을 이용한 지역전략산업 기술개발투자의 효율성 분석. 산업경제연구 제24권 제2호. 1,169-1,188.

송정민, 윤지환. (2022). 신약 R&D 민·관 협력사업 효율성 분석 연구: 국내·외 연구사업에 대해 자료포락분석(DEA) 모형을 활용하여. 기술혁신학회지, 25(5), 897-924.

신진교, 임재현, 황수정. (2009). 중소 제조기업의 R&D 투자 효율성 결정요인. 인적자원관리연구 제16권 제5호. 165-178.

안상인, 송성환, 배영임. (2009). DEA를 이용한 R&D효율성의 국제비교분석. 한국경영과학회 학술대회논문집. 1,356-1,363.

엄익천, 류영수. (2019). 정부출연연구기관의 R&D 효율성 분석: 정부수탁과제와 출연금과제의 비교. 정책분석평가학회보, 29(3), 85-113.

엄익천, 백철우, 홍세호. (2016). 영역조절모형(RAM)을 활용한 신약개발 국가연구개발사업의 효율성 분석. 기술혁신학회지, 19(4), 711-735.

여현구, 이춘주. (2020). 국방 핵심기술 R&D 효율성 분석에 관한 연구 : GSFA와 DEA의 적용을 중심으로. 한국혁신학회지, 15(4), 1-31.

원동규. (2005). 국가R&D의 성과분석론.

윤서경, 이기준. (2022). DEA를 활용한 국가연구개발사업의 효율성 분석: 경영분야와 비경영분야 간 비교. 경영교육연구, 37(2), 181-197.

윤성식. (2013). 국가R&D 사업 관리실태 평가. 국회예산정책처

이덕주, 배성식, 강진수. (2006). DEA/AHP 모형을 이용한 R&D 프로젝트 선정모형 및 Web 기반 R&D 프로젝트 선정시스템 개발. 대한산업공학회지, 32(1), 18-28.

이성희, 김태수, 이학연. (2015a). DEA 윈도우 분석을 이용한 정부출연연구기관의 연구개발 사업화 동태적 효율성 분석. 경영과학, 32(4), 193-207.

이성희, 김태수, 이학연. (2015b). 정부출연연구기관의 R&D 효율성 동적 분석.

이성희, 이학연. (2014). 상향식 DEA 접근법을 활용한 정부출연연구기관의 R&D효율성 평가. 대한산업공학회 추계학술대회 논문집. 2,498-2,511.

이수철, 이동호. (2016). Cumulative DEA/Malmquist Index 기법을 이용한 정부출연 연구기관 연구개발 효율성 변화 분석. 한국경영과학회지, 41(1), 99-111.

이장재. (1996). 연구개발 생산성의 개념과 측정 접근방법. 과학기술정책(89), 28-39.

이장희, 장현덕. (2011). AHP와 DEA 활용을 통한 효율적인 유망기술 선정. 기업경영연구, 18(2), 67-85.

이정동, 오동현. (2012). 효율성 분석이론. ㈜지필미디어.

이재설, 고현우. (2010). Cone-ratio DEA에 의한 우편집중국 효율성 분석 . 산업경영시스템학회지, 33(1), 10-16.

이철행, 조근태. (2014). DEA를 이용한 보건의료기술 R&D 사업의 효율성 분석과 전략적 포트폴리오 모형. 대한산업공학회지, 40(2), 172-183.

이형진. (2015). 국방핵심기술 R&D사업의 효율성 분석에 관한 연구. 건국대학교 박사학위논문. 서울

이형진, 정선양. (2015). DEA를 활용한 국방연구개발사업의 효율

성 분석. 한국기술혁신학회 학술대회. 355-363.

임호순, 유석천, 김연성. (1999). 연구개발사업의 평가 및 선정을 위한 DEA / AHP 통합모형에 관한 연구. 한국경영과학회지, 24(4), 1-12.

장금영. (2010). 연구개발투자의 성과에 영향을 미치는 요인에 관한 연구 : 정부의 산업기술개발사업을 중심으로. 기술혁신연구, 18(1), 75-98.

장훈, 우청원, 김태경. (2018). 최적 R&D 포트폴리오 설계를 위한 이슈-기술 탐색 연구. 과학기술정책연구원.

전익진, 이학연. (2015). 연구개발 사업화 성과 평가. 대한산업공학회지, 41(5), 425-438.

정구진, 김지은, 이성주,. (2015). DEA 분석을 통한 R&D 프로세스 효율성 제고 방안 연구.

조남권, 김규환, 이석진,. (2018). DEA를 통한 중소·중견기업의 R&D 효율성 분석. 지식재산연구, 13(2), 207-236.

조남준. (2014). 농업연구개발사업의 효율성 및 생산성 변화 분석. 성균관대학교 일반대학원 박사학위논문. 서울.

조용곤, 조근태. (2005). 국가 연구개발 프로그램 평가모형의 개발 - 개념적 접근방법. 한국경영과학회 학술대회논문집. 1,045-1,051.

최고봉, 조인경, 김은성,허은녕,. (2014). DEA기법을 활용한 국내 에너지기술개발사업 효율성 분석. 한국혁신학회지, 9(2), 77-98.

최지영, 강근복. (2015). 국가연구개발사업의 기술적 성과창출 영향

요인에 관한 연구. 한국기술혁신학회 학술대회. 174-188.

최홍, 손소영. (2000). 불확실한 상황하에서의 효율성 평가를 위한 DEA. 대한산업공학회지, 26(1), 36-47.

현승현, 염성찬. (2014). 우리나라 녹색산업기술에 대한 R&D 효율성 분석. 한국정부학회 학술발표논문집. 221-135.

황명권, 이수철. (2016). 연구개발 효율성 향상을 위한 정부출연연구기관 주요사업 평가 체계 개선 연구. 한국경영과학회 학술대회논문집. 3,608-3,622.

황석원. (2006). R&D 프로그램의 유형별 경제성 평가 방법론 구축. 정책연구, 1-130.

황혜원, 임용환, 전정환. (2022). 국방핵심기술 연구개발사업 성과평가 요인 분석: PCA/FA기법을 활용하여. 기술혁신학회지, 25(2), 275-289.

부 록

부록 1. 투입-산출 변수 상관분석

[표 부록 1-1] 투입-산출 변수 상관분석(전체)

구분	정부 출연금	민간 현금	민간 현물	과제 기간	참여 기관수	SCI	특허	경제적 성과
정부 출연금	1							
민간 현금	0.0454	1						
민간 현물	0.9552*	0.1282	1					
과제 기간	0.9848*	-0.0567	0.9146*	1				
참여 기관수	0.4666	-0.0541	0.4993	0.4556	1			
SCI	0.9586*	-0.0161	0.8974*	0.9706*	0.4169	1		
특허	0.9893*	-0.0342	0.9308*	0.9939*	0.4256	0.9730*	1	
경제적 성과	0.7277*	0.2875	0.7393*	0.6943*	0.3304	0.8290*	0.7238*	1

* $p<0.05$

[표 부록 1- 2] ESS 투입-산출 변수 상관분석

구분	정부 출연금	민간 현금	민간 현물	과제 기간	참여 기관수	SCI	특허	경제적 성과
정부 출연금	1							
민간 현금	0.6044*	1						
민간 현물	0.8675*	0.5301*	1					
과제 기간	0.7033*	0.5368*	0.7093*	1				
참여 기관수	0.2694	0.2351	0.2945	0.3545	1			
SCI	-0.0045	0.0848	-0.0218	0.2403	0.178	1		
특허	0.2827	0.0934	0.3383	0.2705	0.2639	0.3377	1	
경제적 성과	0.3664*	0.24	0.22	0.0679	-0.2189	-0.1678	0.1168	1

*$p<0.05$

[표 부록 1-3] 자원순환 투입-산출 변수 상관분석

구분	정부 출연금	민간 현금	민간 현물	과제 기간	참여 기관수	SCI	특허	경제적 성과
정부 출연금	1							
민간 현금	0.6497*	1						
민간 현물	0.7669*	0.2365	1					
과제 기간	0.6625*	0.374	0.6795*	1				
참여 기관수	0.5962*	0.0297	0.7102*	0.4692	1			
SCI	0.3947	0.4804	-0.0445	-0.0683	0.0573	1		
특허	0.6141*	0.8078*	0.1635	0.365	0.0439	0.6309*	1	
경제적 성과	-0.0138	0.0234	-0.0336	-0.017	0.044	0.3245	0.3328	1

*$p<0.05$

[표 부록 1-4] 스마트그리드 투입-산출 변수 상관분석

구분	정부 출연금	민간 현금	민간 현물	과제 기간	참여 기관수	SCI	특허	경제적 성과
정부 출연금	1							
민간 현금	0.2155	1						
민간 현물	0.7404*	0.4767*	1					
과제 기간	0.7271*	0.2615	0.6913*	1				
참여 기관수	0.5922*	0.2759	0.8081*	0.4582*	1			
SCI	0.1776	-0.1881	0.1579	0.0417	0.2384	1		
특허	0.3658*	0.0534	0.1942	0.2052	0.0687	0.6063*	1	
경제적 성과	0.2284	0.0527	-0.007	0.0142	-0.0123	0.1862	0.2276	1

*$p<0.05$

[표 부록 1-5] 신재생에너지 투입-산출 변수 상관분석

구분	정부 출연금	민간 현금	민간 현물	과제 기간	참여 기관수	SCI	특허	경제적 성과
정부 출연금	1							
민간 현금	0.4782*	1						
민간 현물	0.6838*	0.4455*	1					
과제 기간	0.7041*	0.3716*	0.4726*	1				
참여 기관수	0.5295*	0.2333*	0.3423*	0.2949*	1			
SCI	0.1169	-0.0682	-0.0829	0.1548*	0.2729*	1		
특허	0.2781*	0.0039	0.1550*	0.3475*	0.1299*	0.3674*	1	
경제적 성과	0.2945*	0.2948*	0.2924*	0.1637*	-0.0148	-0.0248	0.0449	1

*$p<0.05$

[표 부록 1-6] 수요관리 투입-산출 변수 상관분석

구분	정부 출연금	민간 현금	민간 현물	과제 기간	참여 기관수	SCI	특허	경제적 성과
정부 출연금	1							
민간 현금	0.4605*	1						
민간 현물	0.7567*	0.6151*	1					
과제 기간	0.7890*	0.4196*	0.6048*	1				
참여 기관수	0.4244*	0.1256	0.3226*	0.2851*	1			
SCI	0.2862*	0.0703	0.1001	0.2299	0.1928	1		
특허	0.3774*	0.1181	0.0978	0.3389*	0.2773*	0.5357*	1	
경제적 성과	0.1175	0.0362	0.1173	0.016	0.0186	-0.1139	-0.0591	

*$p<0.05$

[표 부록 1-7] 원자력 투입-산출 변수 상관분석

구분	정부 출연금	민간 현금	민간 현물	과제 기간	참여 기관수	SCI	특허	경제적 성과
정부 출연금	1							
민간 현금	0.5123*	1						
민간 현물	0.8530*	0.7225*	1					
과제 기간	0.6635*	0.3460*	0.4843*	1				
참여 기관수	0.5612*	0.5251*	0.6266*	0.4615*	1			
SCI	0.1224	0.1874	0.0882	0.2507*	0.3355*	1		
특허	0.5705*	0.4506*	0.5287*	0.5336*	0.6018*	0.5585*	1	
경제적 성과	0.5462*	-0.0121	0.2362	0.2786*	-0.0418	0.0663	0.0332	1

*p<0.05

[표 부록 1-8] 자원개발 투입-산출 변수 상관분석

구분	정부 출연금	민간 현금	민간 현물	과제 기간	참여 기관수	SCI	특허	경제적 성과
정부 출연금	1							
민간 현금	0.8013*	1						
민간 현물	0.9202*	0.7630*	1					
과제 기간	0.6402*	0.7303*	0.4333*	1				
참여 기관수	0.5306*	0.322	0.3613	0.3868	1			
SCI	0.6742*	0.6752*	0.6007*	0.5946*	0.4088*	1		
특허	0.6277*	0.8103*	0.4668*	0.8436*	0.3625	0.6170*	1	
경제적 성과	0.7811*	0.5423*	0.9345*	0.1658	0.1798	0.4237*	0.2166	1

*$p<0.05$

[표 부록 1-9] 청정화력 투입-산출 변수 상관분석

구분	정부 출연금	민간 현금	민간 현물	과제 기간	참여 기관수	SCI	특허	경제적 성과
정부 출연금	1							
민간 현금	0.5096*	1						
민간 현물	0.4929*	0.9455*	1					
과제 기간	0.5204*	0.2626	0.3667*	1				
참여 기관수	0.7356*	0.3177*	0.3259*	0.5141*	1			
SCI	0.4614*	0.092	0.0602	0.0581	0.142	1		
특허	0.5859*	0.0733	-0.0181	0.0247	0.3985*	0.6106*	1	
경제적 성과	0.3425*	0.9220*	0.9678*	0.1774	0.1487	0.0521	-0.0697	1.0000

*p<0.05

부록 2. 개인차원 요인분석 결과

[표 부록 2-1] ESS 효율성 요인분석 결과(모형 A)

모형	1	2	3	4	5
정부출연금	-0.0004				
민간매칭	0.0072				
민간현물	-0.0045			-0.0092	-0.0024
참여기관수	-0.0334				
수행기간	-0.0055			-0.0074*	-0.0078*
SCI	0.0188**	0.0142**	0.0179**	0.0144**	0.0182**
특허	0.0302**	0.0284**	0.0287**	0.0311**	0.0302**
경제적 성과	0.0129				
TRL_1		0.1656**	0.1160	0.1162	0.0953
TRL_2		0.0343	0.0213	0.0043	0.0087
TRL_3					
하향식			-0.1599**	-0.1395*	
상향식					
Log likelihood	23.6584	18.6782	21.6243	21.7167	23.6620

*p<0.1, **p<0.05

[표 부록 2-2] ESS 효율성 요인분석 결과(모형 B)

모형	1	2	3	4	5
정부출연금	-0.0039**				
민간매칭	0.0026				
민간현물	-0.0028			-0.0161**	-0.0145**
참여기관수	0.0051				
수행기간	-0.0047**		-0.0039**	-0.0040**	
SCI	-0.0017	-0.0001	0.0025	-0.0010	-0.0001
특허	0.0364**	0.0324**	0.0326**	0.0358**	0.0356**
경제적 성과	-0.0058				
TRL_1		0.0460	0.0107	-0.0192	-0.0242
TRL_2		0.0035	-0.0058	-0.0394*	-0.0384*
TRL_3					
하향식			-0.1138**	-0.0330*	
상향식					
Log likelihood	64.3025	36.2699	40.6409	53.7654	54.4589

*p<0.1, **p<0.05

[표 부록 2-3] ESS 효과성 요인분석 결과(모형 A)

모형	1	2	3	4	5
정부출연금					
민간매칭					
민간현물				0.0051**	
참여기관수					
수행기간				0.0051**	
SCI					
특허					
경제적 성과	-0.0003	0.0056		-0.0121**	
TRL_1	-0.0154**	-0.0200**			
TRL_2	0.1371**	0.1401**		0.1116**	
TRL_3		-0.0999**		0.0371*	
하향식		-0.0358		0.0963**	
상향식					
Log likelihood					

*p<0.01, **p<0.05

[표 부록 2-4] ESS 효과성 요인분석 결과(모형 B)

모형	1	2	3	4	5
정부출연금					
민간매칭					
민간현물				0.0051**	
참여기관수					
수행기간				-0.0121**	
SCI	-0.0003	0.0056			
특허	-0.0154**	-0.0200**			
경제적 성과	0.1371**	0.1401**			
TRL_1		-0.0999**			
TRL_2		-0.0358		0.0963**	
TRL_3					
하향식					
상향식					
Log likelihood	16.0396			22.5888	

*p<0.01, **p<0.05

[표 부록 2-5] ESS 생산성 요인분석 결과(모형 A,B)

모형	A		B	
	2	4	2	4
민간현물		-0.01943		-0.02025*
사업기간		-0.00502		-0.00174*
경제적 성과	0.120633**	0.123763**	0.11768**	0.123492**
TRL_1	0.187603	0.128302	0.148412	0.094538
TRL_2	0.304857*	0.246892	0.283128	0.231263
Log likelihood	2.597671	3.375854	2.422271	3.183702

*p<0.1, **p<0.05

[표 부록 2-6] 자원순환 효율성 요인분석 결과(모형 A)

모형	1	2	3	4	5
정부출연금	-0.0161				
민간매칭	0.0713				
민간현물	-0.0292			-0.0606*	-0.0462
참여기관수	0.0873*				
수행기간	0.0027			0.0114	0.0016
SCI	0.0431*	0.0301	0.0284	0.0149	0.0154
특허	0.0086	0.0161	0.0223	0.0294*	0.0384*
경제적 성과	0.0014				
TRL_1					
TRL_2		0.0430	0.0267	-0.1448	-0.1074
TRL_3					
하향식					
상향식					
Log likelihood	9.8866	3.4288	3.4902	6.8662	7.0558

*p<0.1, **p<0.05

[표 부록 2-7] 자원순환 효율성 요인분석 결과(모형 B)

모형	1	2	3	4	5
정부출연금	-0.0292**				
민간매칭	0.0573**				
민간현물	0.0285**		-0.0536**	-0.0059	
참여기관수	0.0101				
수행기간	0.0108**		0.0175	-0.0148	
SCI	-0.0102	-0.0197	-0.02751*	-0.0335**	-0.0319**
특허	0.0934**	0.074013*	0.1009**	0.0855**	0.1153**
경제적 성과	0.0010*				
TRL_1					
TRL_2		0.0042	-0.0672	-0.1877	-0.0640
TRL_3					
하향식			-0.3234**		-0.4761**
상향식					
Log likelihood	26.4458	9.7447	12.6655	12.8880	18.6068

*p<0.1, **p<0.05

[표 부록 2-8] 자원순환 효과성 요인분석 결과(모형 A)

모형	1	2	3	4	5
정부출연금					
민간매칭					
민간현물				-0.0481	-0.0386
참여기관수					
수행기간				0.0190	0.0134
SCI	0.0400**	0.0411	0.0450**		
특허	-0.0367**	-0.0372	-0.0541**		
경제적 성과	0.0079**	0.0079	0.0082**	0.0071**	0.0073**
TRL_1					-0.1822
TRL_2		-0.0454	-0.0038	-0.2129	
TRL_3					
하향식			0.1866		
상향식					
Log likelihood	8.5868	8.7175	9.4892	5.9397	6.0286

*p<0.01, **p<0.05

[표 부록 2-9] 자원순환 효과성 요인분석 결과(모형 B)

모형	1	2	3	4	5
정부출연금					
민간매칭					
민간현물				-0.0475	-0.0443
참여기관수					
수행기간				0.0189	0.0170
SCI	0.0471	0.0486**	0.0533**		
특허	-0.0374**	-0.0382**	-0.0583**		
경제적 성과	0.0080**	0.0079**	0.0085**	0.0074**	0.0075
TRL_1					
TRL_2		-0.0726	-0.0233	-0.2342	-0.2236
TRL_3					
하향식			0.2214		-0.0201
상향식					
Log likelihood	9.774803	10.17428	11.5456	6.3213	6.332361

*p<0.01, **p<0.05

[표 부록 2-10] 자원순환 생산성 요인분석 결과(모형 A)

모형	1	2	3	4	5
정부출연금	0.0055				
민간매칭	-0.0642				
민간현물	-0.0242			-0.0481	-0.0386
참여기관수	0.0089				
수행기간	-0.0017			0.0190	0.0134
경제적 성과	0.0076**	0.0077**	0.0077**	0.0071**	0.0073**
TRL_1					
TRL_2		-0.0174	-0.0472	-0.2129	-0.1822
TRL_3					
하향식			-0.1200		
상향식					
Log likelihood	5.6565	4.6547	5.1878	5.9397	6.0286

*p<0.1, **p<0.05

[표 부록 2-11] 자원순환 생산성 요인분석 결과(모형 B)

모형	1	2	3	4	5
정부출연금	0.0082				
민간매칭	-0.0657				
민간현물	-0.0230			-0.0475	-0.0443
참여기관수	-0.0030				
수행기간	-0.0040			0.0189	0.0170
SCI					
특허					
경제적 성과	0.0079**	0.0080**	0.0080**	0.0074**	0.0075**
TRL_1					
TRL_2		-0.0404	-0.0643	-0.2342	-0.2236
TRL_3					
하향식			-0.0961		-0.0201
상향식					
Log likelihood	5.8631	5.0086	5.3624	6.3213	6.3324

*p<0.1, **p<0.05

[표 부록 2-12] 스마트그리드 효율성 요인분석 결과(모형 A)

모형	1	2	3	4	5
정부출연금	-0.0036				
민간매칭	-0.0016				
민간현물	-0.0053			-0.0084	-0.0068
참여기관수	0.0052				
수행기간	-0.0080			-0.0063	-0.0060
SCI	0.0094	0.0020	0.0015	0.0065	0.0056
특허	0.0174**	0.0197**	0.0193**	0.0186**	0.0184**
경제적 성과	-0.0012				
TRL_1		0.4243**	0.5186**	0.2877	0.3787**
TRL_2		0.0905	0.2444**	0.0587**	0.1763**
TRL_3					
하향식			-0.2868**	-0.2119**	
상향식					
Log likelihood	11.2830	5.2601	10.4296	13.2386	17.4391

*p<0.1, **p<0.05

[표 부록 2-13] 스마트그리드 효율성 요인분석 결과(모형 B)

모형	1	2	3	4	5
정부출연금	-0.0075**				
민간매칭	-0.0039				
민간현물	0.0054			-0.0048	-0.0048
참여기관수	0.0087				
수행기간	-0.0036			-0.0052	-0.0052
SCI	-0.0013	0.0006	0.0006	0.0038	0.0038
특허	0.0251**	0.0202**	0.0202**	0.0194**	0.0194**
경제적 성과	-0.0002				
TRL_1		0.1042	0.1211	0.0167	0.0144
TRL_2		0.0857	0.1132	0.0634	0.0605
TRL_3					
상향식			0.0817		0.0053
하향식					
Log likelihood	24.8671	10.3786	10.5744	14.2654	14.2678

*p<0.1, **p<0.05

[표 부록 2-14] 스마트그리드 효과성 요인분석 결과(모형 A)

모형	1	2	3	4	5
민간현물				0.0042**	0.0041*
수행기간				-0.0071*	-0.0071
SCI	-0.0003	0.0005	-0.0005		
특허	-0.0027	-0.0037**	-0.0034**		
경제적 성과	0.0112**	0.0114**	0.0118**	0.0112**	0.0113**
TRL_1		-0.0754	-0.1571**	-0.0419*	-0.0646
TRL_2		0.0550*	0.0146	0.0453**	0.0344
TRL_3					
하향식			0.0638		0.0176
상향식					
Log likelihood	24.5167	28.7968	29.7627	27.2333	27.2951

*p<0.01, **p<0.05

[표 부록 2-15] 스마트그리드 효과성 요인분석 결과(모형 B)

모형	1	2	3	4	5
민간현물				0.0025**	0.0023**
수행기간				-0.0031	-0.0031
SCI	0.0021	0.0023	0.0015		
특허	-0.0031**	-0.0035**	-0.0032**		
경제적 성과	0.0103**	0.0104**	0.0107**	0.0103**	0.0104**
TRL_1		-0.0256	-0.0912**	0.0029	-0.0360
TRL_2		0.0150	-0.0175	0.0112	-0.0076
TRL_3					
하향식			0.0512**	0.0301	
상향식					
Log likelihood	38.5211	40.1328	42.5072	37.0405	37.5952

*p<0.01, **p<0.05

[표 부록 2-16] 스마트그리드 생산성 요인분석 결과(모형 A)

모형	1	2	3	4	5
정부출연금	0.0002				
민간매칭	0.0080				
민간현물	0.0073**		0.0042*	0.0041**	
참여기관수	-0.0107				
수행기간	-0.0096**		-0.0071*	-0.0070*	
SCI					
특허					
경제적 성과	0.0106**	0.0111**	0.0113**	0.0112**	0.0113**
TRL_1		-0.0357	-0.0789	-0.0419	-0.0646
TRL_2		0.0601**	0.0391	0.0453	0.0344
TRL_3					
하향식			0.0356		0.0176
상향식					
Log likelihood	26.6619	24.8079	25.0205	27.2333	27.2951

*p<0.1, **p<0.05

[표 부록 2-17] 스마트그리드 생산성 요인분석 결과(모형 B)

모형	1	2	3	4	5
정부출연금	0.0001				
민간매칭	0.0007				
민간현물	0.0041**		0.0025**	0.0023**	
참여기관수	-0.0051				
수행기간	-0.0045**		0.0103	-0.0031	
SCI					
특허					
경제적 성과	0.0103	0.0102**	0.0105**	0.0103**	0.0104**
TRL_1		-0.0038	-0.0600	0.0029	-0.0360
TRL_2		0.0136	-0.0138	0.0112	-0.0076
TRL_3					
하향식			0.0462		
상향식					
Log likelihood	38.5902	34.0067	35.0517	37.0405	37.5952

*p<0.1, **p<0.05

[표 부록 2-18] 신재생에너지 효율성 요인분석 결과(모형 A)

모형	1	2	3	4	5
정부출연금	0.0021				
민간매칭	-0.0010				
민간현물	-0.0064**		-0.0036	-0.0036	
참여기관수	-0.0145				
수행기간	-0.0086**		-0.0097**	-0.0097**	
SCI	0.0179**	0.0149**	0.0150**	0.0155**	0.0155**
특허	0.0154**	0.0121**	0.0125**	0.0159**	0.0159**
경제적 성과	0.0000				
TRL_1		0.2490**	0.2321**	0.1345	0.1345
TRL_2		0.1730*	0.1564	0.0587	0.0587
TRL_3		0.0930	0.0856	-0.0156	-0.0156
하향식			-0.0458		0.0004
상향식					
Log likelihood	30.3729	25.7004	26.2861	32.2690	32.2690

*p<0.1, **p<0.05

[표 부록 2-19] 신재생에너지 효율성 요인분석 결과(모형 B)

모형	1	2	3	4	5
정부출연금	-0.0017**				
민간매칭	0.0007				
민간현물	-0.0013			-0.0037**	-0.0033**
참여기관수	-0.0019				
수행기간	-0.0015			-0.0041**	-0.0042**
SCI	-0.0008	-0.0011	-0.0009	-0.0011	-0.0010
특허	0.0094**	0.0065**	0.0070**	0.0093**	0.0092**
경제적 성과	0.0000				
TRL_1		0.0558	0.0368	-0.0222	-0.0224
TRL_2		0.0497	0.0310	-0.0292	-0.0291
TRL_3		0.0238	0.0155	-0.0415	-0.0407
하향식			-0.0515**	-0.0155	
상향식					
Log likelihood	153.2962	119.1459	125.1352	143.9446	144.5833

*p<0.1, **p<0.05

[표 부록 2-20] 신재생에너지 효과성 요인분석 결과(모형 A)

모형	1	2	3	4	5
민간현물				0.0008	0.0005
수행기간				-0.0004	-0.0004
SCI	-0.0002	0.0006	0.0005		
특허	-0.0038**	-0.0041**	-0.0043**		
경제적 성과	0.0006**	0.0006**	0.0006**	0.0006**	0.0006**
TRL_1		-0.0225	-0.0135	-0.0251	-0.0252
TRL_2		-0.0037	0.0054	-0.0197	-0.0196
TRL_3		0.0278	0.0324	0.0174	0.0171
하향식			0.0252		0.0090
상향식					
Log likelihood	65.6448	66.6518	67.0559	63.5387	63.5765

*p<0.01, **p<0.05

[표 부록 2-21] 신재생에너지 효과성 요인분석 결과(모형 B)

모형	1	2	3	4	5
민간현물				-0.0001	-0.0007
수행기간				-0.0001	-0.0001
SCI	0.0005	0.0013	0.0012		
특허	-0.0040**	-0.0044**	-0.0045**		
경제적 성과	0.0006**	0.0006**	0.0006**	0.0006**	0.0006**
TRL_1		-0.0302	-0.0209	-0.0360	-0.0363
TRL_2		-0.0033	0.0061	-0.0259	-0.0256
TRL_3		0.0196	0.0244	0.0045	0.0039
하향식			0.0260		0.0209
상향식					
Log likelihood	68.2895	69.1183	69.5722	65.6900	65.9020

*p<0.01, **p<0.05

[표 부록 2-22] 신재생에너지 생산성 요인분석 결과(모형 A)

모형	1	2	3	4	5
정부출연금	-0.0008				
민간매칭	-0.0005				
민간현물	0.0034			0.0008	0.0005
참여기관수	-0.0042				
수행기간	0.0005			-0.0004	-0.0004
경제적 성과	0.0006**	0.0006**	0.0006**	0.0006**	0.0006**
TRL_1		-0.0319	-0.0282	-0.0251	-0.0252
TRL_2		-0.0261	-0.0223	-0.0197	-0.0196
TRL_3		0.0145	0.0165	0.0174	0.0171
하향식			0.0129		0.0090
상향식					
Log likelihood	63.7042	63.4388	63.5398	63.5387	63.5765

*p<0.1, **p<0.05

[표 부록 2-23] 신재생에너지 생산성 요인분석 결과(모형 B)

모형	1	2	3	4	5
정부출연금	-0.0008				
민간매칭	-0.0005				
민간현물	0.0021			-0.0001	-0.0007
참여기관수	-0.0021				
수행기간	0.0006			-0.0001	-0.0001
경제적 성과	0.0006**	0.0006**	0.0006**	0.0006**	0.0006**
TRL_1		-0.0340	-0.0298	-0.0360	-0.0363
TRL_2		-0.0240	-0.0197	-0.0259	-0.0256
TRL_3		0.0063	0.0085	0.0045	0.0039
하향식			0.0146		0.0209
상향식					
Log likelihood	65.6777	65.6836	65.8196	65.6900	

*p<0.1, **p<0.05

[표 부록 2-24] 수요관리 효율성 요인분석 결과(모형 A)

모형	1	2	3	4	5
정부출연금	-0.0025				
민간매칭	-0.0008				
민간현물	0.0040			-0.0049**	-0.0043
참여기관수	-0.0169				
수행기간	-0.0052*		-0.0080**	-0.0083**	
SCI	0.0077**	0.0076*	0.0089**	0.0096**	0.0099**
특허	0.0323**	0.0291**	0.0286**	0.0295**	0.0294**
경제적 성과	-0.0005				
TRL_1		-0.1524	-0.1728	-0.1379	-0.1411
TRL_2		-0.0645	-0.0637	-0.1181	-0.1160**
TRL_3					
하향식			-0.0667		-0.0240
상향식					
Log likelihood	32.6964	23.3278	24.2930	30.8573	30.9832

*p<0.1, **p<0.05

[표 부록 2-25] 수요관리 효율성 요인분석 결과(모형 B)

모형	1	2	3	4	5
정부출연금	-0.0047**				
민간매칭	0.0007				
민간현물	0.0026			-0.004**	-0.0024
참여기관수	-0.0008				
수행기간	0.0010			-0.0024	-0.0030
SCI	-0.0013	-0.0034	-0.0024	-0.0028	-0.0024
특허	0.0330**	0.0292**	0.0293**	0.0302**	0.0302**
경제적 성과	-0.0001				
TRL_1		0.1525**	0.1253**	0.1394**	0.1375**
TRL_2		0.0235	0.0196	-0.0003	0.0018
TRL_3					
하향식			-0.0760**	-0.0483	
상향식					
Log likelihood	77.9349	58.9893	62.7028	64.7996	65.8717

*p<0.1, **p<0.05

[표 부록 2-26] 수요관리 효과성 요인분석 결과(모형 A)

모형	1	2	3	4	5
민간현물				0.0000	0.0000
수행기간				0.0000	0.0000
SCI	0.0000	0.0000	0.0000		
특허	-0.0000*	-0.0000**	-0.0000**		
경제적 성과	0.0046 **	0.0046**	0.0046**	0.0046**	0.0046**
TRL_1		-0.0003	-0.0004	-0.0002	-0.0003
TRL_2		0.0006*	0.0006*	0.0005	0.0005
TRL_3					
하향식			-0.0003		-0.0002
상향식					
Log likelihood	227.8074	229.6903	230.2451	227.2518	227.3797

*p<0.01, **p<0.05

[표 부록 2-27] 수요관리 효과성 요인분석 결과(모형 B)

모형	1	2	3	4	5
민간현물				0.0000	0.0000
수행기간				0.0000	0.0000
SCI	0.0000	0.0000	0.0000		
특허	-0.0000*	-0.0000**	-0.0000**		
경제적 성과	0.0046	0.0046**	0.0046**	0.0046**	0.0046**
TRL_1		0.0001	0.0000	-0.0002	-0.0002
TRL_2		0.0004	0.0004	0.0003	0.0003
TRL_3					
하향식			-0.0001		-0.0001
상향식					
Log likelihood	380.3847	381.6844	381.8859	379.6485	379.7473

*p<0.01, **p<0.05

[표 부록 2-28] 수요관리 생산성 요인분석 결과(모형 A)

모형	1	2	3	4	5
정부출연금	-0.0015				
민간매칭	0.0006				
민간현물	-0.0014			-0.0022*	-0.0013
참여기관수	0.0029				
수행기간	-0.0002			-0.0012	-0.0016
경제적 성과	0.0051**	0.0050**	0.0051**	0.0050**	0.0051**
TRL_1		-0.0081	-0.0200	-0.0124	-0.0155
TRL_2		0.0025	0.0057	-0.0084	-0.0046
TRL_3					
하향식			-0.0463**	-0.0330	
상향식					
Log likelihood	61.7954	56.5162	58.9619	59.6323	60.5978

*p<0.1, **p<0.05

[표 부록 2-29] 수요관리 생산성 요인분석 결과(모형 B)

모형	1	2	3	4	5
정부출연금	-0.0015**				
민간매칭	0.0002				
민간현물	0.0006			-0.0018*	-0.0010
참여기관수	0.0004				
수행기간	0.0001			-0.0007	-0.0010
경제적 성과	0.0050**	0.0048**	0.0049**	0.0049**	0.0049**
TRL_1		-0.0244	-0.0337	-0.0283	-0.0278
TRL_2		-0.0061	-0.0063	-0.0135	-0.0117
TRL_3					
하향식			-0.0369*	-0.0251	
상향식					
Log likelihood	90.2439	85.2693	87.1960	87.5374	88.1182

*p<0.1, **p<0.05

[표 부록 2-30] 원자력 효율성 요인분석 결과(모형 A)

모형	1	2	3	4	5
정부출연금	0.0011				
민간매칭	-0.0022				
민간현물	0.0021			0.0020*	0.0016
참여기관수	0.0046				
수행기간	-0.0112**		-0.0109**	-0.0100**	
SCI	0.0391**	0.0318**	0.0336**	0.0349**	0.0350**
특허	0.0199**	0.0182**	0.0152**	0.0208**	0.0198**
경제적 성과	-0.0004				
TRL_1		0.0341	0.0531	0.0620	0.0645
TRL_2		0.0788	0.0866*	0.1010**	0.0995**
TRL_3					
하향식			0.1021*	0.0479	
상향식					
Log likelihood	40.9888	34.3558	36.0160	41.4276	41.7628

*p<0.1, **p<0.05

[표 부록 2-31] 원자력 효율성 요인분석 결과(모형 B)

모형	1	2	3	4	5
정부출연금	-0.0012				
민간매칭	-0.0010				
민간현물	0.0007			-0.0011**	0.0000
참여기관수	-0.0204**				
수행기간	-0.0025*			-0.0037**	-0.0058**
SCI	0.0099**	0.0125**	0.0107**	0.0107**	0.0105**
특허	0.0288	0.0215**	0.0246**	0.0259**	0.0284**
경제적 성과	0.0001				
TRL_1		0.0225	0.0033	0.0085	0.0023
TRL_2		0.0408	0.0329	0.0294	0.0330
TRL_3					
하향식					-0.1168**
상향식					
Log likelihood	83.38239	67.40733	72.63329	75.37703	81.96005

*p<0.1, **p<0.05

[표 부록 2-32] 원자력 효과성 요인분석 결과(모형 A)

모형	1	2	3	4	5
정부출연금					
민간매칭					
민간현물				0.0048**	0.0047**
참여기관수					
수행기간				-0.0083*	-0.0082*
SCI	-0.0065	-0.0070	-0.0037		
특허	-0.0013	0.0009	-0.0008		
경제적 성과	0.0009**	0.0009**	0.0010**	0.0007**	0.0008**
TRL_1		-0.0728	0.0083	-0.1599**	-0.1251
TRL_2		-0.0182	-0.0386	-0.0018	-0.0065
TRL_3					
하향식			-0.0476		-0.0364
상향식					
Log likelihood	15.6831	15.7637	15.8608	19.7677	19.9371

*p<0.01, **p<0.05

[표 부록 2-33] 원자력 효과성 요인분석 결과(모형 B)

모형	1	2	3	4	5
정부출연금					
민간매칭					
민간현물				0.0004	0.0003
참여기관수					
수행기간				-0.0027	-0.0026
SCI	-0.0018	0.0042	0.0111		
특허	-0.0026	-0.0095*	-0.0130**		
경제적 성과	0.0010**	0.0010**	0.0011**	0.0009**	0.0009**
TRL_1		0.2131	0.3802**	-0.0308	-0.0012
TRL_2		-0.0145	-0.0565	-0.0383	-0.0423
TRL_3					
하향식			-0.0979		-0.0309
상향식					
Log likelihood	20.6311	22.0122	23.0876	20.5467	20.6827

*p<0.01, **p<0.05

[표 부록 2-34] 원자력 생산성 요인분석 결과(모형 A)

모형	1	2	3	4	5
정부출연금	-0.0056				
민간매칭	-0.0110				
민간현물	0.0135**			0.0048**	0.0047**
참여기관수	-0.0007				
수행기간	-0.0084**		-0.0083*	-0.0082*	
SCI					
특허					
경제적 성과	0.0013**	0.0009**	0.0010**	0.0007**	0.0008**
TRL_1		-0.0670	-0.0073	-0.1599**	-0.1251
TRL_2		-0.0693	-0.0753	-0.0018	-0.0065
TRL_3					
하향식					-0.0364
상향식					
Log likelihood	20.5890	15.3976	15.7121	19.7677	19.9371

*p<0.1, **p<0.05

[표 부록 2-35] 원자력 생산성 요인분석 결과(모형 B)

모형	1	2	3	4	5
정부출연금	-0.0025				
민간매칭	-0.0224				
민간현물	0.00935*			0.0004	0.0003
참여기관수	-0.0071				
수행기간	-0.0041			-0.0027	-0.0026
SCI					
특허					
경제적 성과	0.0010**	0.0009**	0.0010**	0.0009**	0.0009**
TRL_1		-0.0434	-0.0215	-0.0308	-0.0012
TRL_2		-0.0419	-0.0441	-0.0383	-0.0423
TRL_3					
하향식			-0.0244		
상향식					
Log likelihood	21.9505	19.8458	19.9243	20.5467	20.6827

*p<0.1, **p<0.05

[표 부록 2-36] 자원개발 효율성 요인분석 결과(모형 A)

모형	1	2	3	4	5
정부출연금	-0.0015				
민간매칭	-0.0082				
민간현물	-0.0040			-0.0008	-0.0019
참여기관수	-0.0086				
수행기간	-0.0093			-0.0091	-0.0087
SCI	0.0167**	0.0106	0.0110**	0.0140**	0.0163**
특허	0.0163**	0.0024	0.0022	0.0044	0.0044
경제적 성과	0.0008				
TRL_1		-0.1285	-0.0887	-0.0786	-0.0313
TRL_2		-0.1829**	-0.1766**	-0.0807	-0.0792
TRL_3					
하향식			0.0779		0.1482**
상향식					
Log likelihood	11.1640	7.2623	8.0808	8.4864	10.1849

*p<0.1, **p<0.05

[표 부록 2-37] 자원개발 효율성 요인분석 결과(모형 B)

모형	1	2	3	4	5
정부출연금	-0.0083**				
민간매칭	0.0008				
민간현물	-0.0044			-0.0017	-0.0012
참여기관수	-0.0107				
수행기간	0.0007			-0.0132	-0.0133**
SCI	0.0011	-0.0083	-0.0086	-0.0023	-0.0034
특허	0.0305**	0.014752**	0.0149**	0.0179**	0.0179**
경제적 성과	0.0012**				
TRL_1		-0.1023	-0.1433	-0.0345	-0.0561
TRL_2		-0.1066	-0.1131	0.0398	0.0391
TRL_3					
상향식			-0.1044		-0.0677
하향식					
Log likelihood	21.7267	6.4809	7.2927	9.6891	10.0597

*p<0.1, **p<0.05

[표 부록 2-38] 자원개발 효과성 요인분석 결과(모형 A)

모형	1	2	3	4	5
민간현물				-0.0037	-0.0034
사업기간				0.0015	0.0006
SCI	-0.0001	0.0010	0.0006		
특허	-0.0011	-0.0021	-0.0020		
경제적 성과	0.0008**	0.0008**	0.0008**	0.0012**	0.0012**
TRL_1		-0.0744	-0.0795	-0.0851*	-0.0827
TRL_2		0.0094	0.0100	-0.0194	-0.0043
TRL_3					
하향식			-0.0133		-0.0096
상향식					
Log likelihood	18.8736	20.0138	20.0748	22.7954	22.8169

*p<0.01, **p<0.05

[표 부록 2-39] 자원개발 효과성 요인분석 결과(모형 B)

모형	1	2	3	4	5
민간현물				-0.0027**	-0.0026**
참여기관수					
수행기간				0.0023	0.0019
SCI	0.0006	0.0011	0.0007		
특허	-0.0008	-0.0013	-0.0012		
경제적 성과	0.0008**	0.0008**	0.0008**	0.0011**	0.0011**
TRL_1		-0.0319	-0.0373	-0.0502	-0.0489
TRL_2		-0.0034	-0.0028	-0.0441	-0.0363
TRL_3					
하향식			-0.0144		-0.0049
상향식					
Log likelihood	25.9154	26.4188	26.5975	29.9675	29.9834

*p<0.01, **p<0.05

[표 부록 2-40] 자원개발 생산성 요인분석 결과(모형 A)

모형	1	2	3	4	5
정부출연금	0.0008				
민간매칭	0.0006				
민간현물	-0.0093**		-0.0036**	-0.0034	
참여기관수	0.0151**				
수행기간	0.0006			0.0015	0.0006
경제적 성과	0.0018**	0.0008**	0.0008**	0.0012**	0.0012**
TRL_1		-0.0485	-0.0512	-0.0851*	-0.0827
TRL_2		0.0073	0.0075	-0.0194	-0.0043
TRL_3					
하향식			-0.0065		-0.0096
상향식					
Log likelihood	27.1377	18.9246	18.9389	22.7954	22.8169

*p<0.1, **p<0.05

[표 부록 2-41] 자원개발 생산성 요인분석 결과(모형 B)

모형	1	2	3	4	5
정부출연금	-0.0006				
민간매칭	0.0021				
민간현물	-0.0054**		-0.0027**	-0.0026**	
참여기관수	0.0089**				
수행기간	0.0018			0.0023	0.0019
SCI					
특허					
경제적 성과	0.0014**	0.0008**	0.0008**	0.0011**	0.0011**
TRL_1		-0.0173	-0.0226	-0.0502	-0.0489
TRL_2		-0.0045	-0.0040	-0.0441	-0.0363
TRL_3					
하향식			-0.0127		-0.0049
상향식					
Log likelihood	33.7829	25.6892	25.8344	29.9675	29.9834

*p<0.1, **p<0.05

[표 부록 2-42] 청정화력 효율성 요인분석 결과(모형 A)

모형	1	2	3	4	5
정부출연금	-0.0037				
민간매칭	0.0004				
민간현물	0.0031			-0.0007	-0.0008
참여기관수	-0.0525**				
수행기간	-0.0025			-0.0052**	-0.0052**
SCI	0.0003	0.0061	0.0062	0.0055	0.0055
특허	0.0286**	0.0217**	0.0224**	0.0197**	0.0196**
경제적 성과	-0.0004				
TRL_1		-0.1941	-0.2001	-0.1631	-0.1628
TRL_2		-0.0284	-0.0377	-0.0770	-0.0762
TRL_3					
하향식			-0.0537		0.0065
상향식					
Log likelihood	17.2634	7.4395	7.6781	11.6397	11.6437

*p<0.1, **p<0.05

[표 부록 2-43] 청정화력 효율성 요인분석 결과(모형 B)

모형	1	2	3	4	5
정부출연금	-0.0062**				
민간매칭	0.0001				
민간현물	0.0051**		-0.0004	-0.0006	
참여기관수	-0.0017				
수행기간	-0.0011			-0.0019	-0.0021
SCI	0.0091**	0.0090**	0.0089**	0.0089**	0.0089**
특허	0.0273**	0.0216**	0.0213**	0.0208**	0.0198**
경제적 성과	-0.0005**				
TRL_1		-0.1437	-0.1417	-0.1368	-0.1342
TRL_2		-0.0120	-0.0088	-0.0325	-0.0265
TRL_3					
상향식			0.0183		0.0541
하향식					
Log likelihood	39.1593	24.1912	24.2863	26.7375	27.6346

*p<0.1, **p<0.05

[표 부록 2-44] 청정화력 효과성 요인분석 결과(모형 A)

모형	1	2	3	4	5
민간현물				0.0000**	0.0001**
참여기관수					
수행기간				-0.0000*	-0.0000**
SCI	0.0000	0.0000	-0.0000**		
특허	0.0000	0.0000	-0.0000**		
경제적 성과	0.0005**	0.0005**	0.0005**	0.0004**	0.0004**
TRL_1		0.0001	0.0011**	0.0000	0.0001**
TRL_2					
TRL_3					
하향식			0.0005**	0.0000**	
상향식					
Log likelihood	58.8723	58.8921	64.0704	72.4046	77.4202

*p<0.01, **p<0.05

[표 부록 2-45] 청정화력 효과성 요인분석 결과(모형 B)

모형	1	2	3	4	5
정부출연금					
민간매칭					
민간현물				0.0000	-0.0000
참여기관수					
사업기간				0.0000	0.0000
SCI	0.0000	0.0000	0.0000		
특허	0.0000	0.0000	0.0000		
경제적 성과	0.0005**	0.0005*	0.0005**	0.0005*	0.0005**
TRL_1		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
TRL_2					
TRL_3					
하향식			0.0000		
상향식					
Log likelihood	87.2943	87.7999	87.8275	86.8193	88.2067

*p<0.01, **p<0.05

[표 부록 2-46] 청정화력 생산성 요인분석 결과(모형 A)

모형	1	2	3	4	5
정부출연금	0.0000				
민간매칭	0.0000				
민간현물	0.0001**		0.0000**	0.0001**	
참여기관수	-0.0000**				
수행기간	-0.0000**		-0.0000**	-0.0000**	
경제적 성과	0.0005	0.0005**	0.0005**	0.0004**	0.0004**
TRL_1		-0.0002	-0.0001	0.0000	0.0001**
TRL_2					
TRL_3					
하향식			0.0001		0.0001**
상향식					
Log likelihood	77.9620	58.5547	58.9136	72.4046	77.4202

*p<0.1, **p<0.05

[표 부록 2-47] 청정화력 생산성 요인분석 결과(모형 B)

모형	1	2	3	4	5
정부출연금	0.0000				
민간매칭	0.0000				
민간현물	0.0000			0.0000	0.0000
참여기관수	0.0000				
수행기간	0.0000			0.0000	0.0000
경제적 성과	0.0005**	0.0005**	0.0005**	0.0005	0.0005**
TRL_1		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
TRL_2					
TRL_3					
하향식			0.0000	0.0000	0.0000
상향식					
Log likelihood	87.3438	86.5459	87.4471	86.8193	88.2067

*p<0.1, **p<0.05

부록 3. 환경차원 요인분석 결과

[표 부록 3-1] ESS 효율성 요인 추정계수(모형 A)

모형	1	2	3
민간현물			0.0126
수행기간			0.0065
SCI	0.014419**	0.014908**	
특허	0.027521**	0.030374**	
TRL_1	0.167705**	0.152432*	
TRL_2	-0.0155	0.0408	
TRL_3			
대기업	-0.21078**	-0.3352	
공기업			
중견기업			
중소기업	-0.0488		-0.1356
대학	-0.1462*		-0.2090
연구소			
기타			
정부			
협력1			
협력2		0.1183	-0.0420
협력3		0.0377	0.0036
협력4			
Log likelihood	22.6881	19.9997	-4.1785

*p<0.1, **p<0.05

[표 부록 3-2] ESS 효율성 요인 추정계수(모형 B)

모형	1	2	3
민간현물			-0.0091
수행기간			0.0054
SCI	-0.0010	-0.0003	
특허	0.0324**	0.0330**	
경제적 성과			
TRL_1	0.0483	0.0358	
TRL_2	-0.0140	-0.0049	
TRL_3			
대기업	-0.0803		0.1290
공기업			
중견기업			
중소기업	-0.0399		0.0416
대학	-0.0455		-0.1659
연구소			
기타			
정부			
협력1			
협력2		0.0374	-0.2878
협력3		0.0408	-0.0646
협력4			
Log likelihood	37.4533	36.9898	1.0273

*p<0.1, **p<0.05

[표 부록 3-3] ESS 효과성 요인 추정계수(모형 A)

모형	1	2	3	4
민간현물			0.0015	-0.0034
수행기간			-0.0163	-0.0130**
경제적 성과	0.1219**	0.1101**	0.1122**	0.1147**
TRL_1	0.0188	-0.1587*		
TRL_2	0.0977	0.0708*		
TRL_3				
대기업				
공기업				
중견기업				
중소기업	0.0476			0.0647
대학				
연구소				
기타				
정부				
협력1				
협력2		0.1617*	0.0123	
협력3		-0.0719	0.0790	
협력4				
Log likelihood	10.7545	18.2142	13.3702	13.2039

*p<0.01, **p<0.05

[표 부록 3-4] ESS 효과성 요인 추정계수(모형 B)

모형	1	2	3	4
민간현물			0.0015	-0.0034
수행기간			-0.0163*	-0.0130**
경제적 성과	0.1220**	0.1102**	0.1123**	0.1147**
TRL_1	0.0188	-0.1588*		
TRL_2	0.0977	0.0709*		
TRL_3				
대기업				
공기업				
중견기업				
중소기업	0.0476			0.0647
대학				
연구소				
기타				
정부				
협력1				
협력2		0.1618**	0.0123	
협력3		-0.0719	0.0790	
협력4				
Log likelihood	10.7545	18.2142	13.3702	13.2039

*p<0.01, **p<0.05

[표 부록 3-5] ESS 생산성 요인 추정계수(모형 A)

모형	1	2	3	4
민간현물			-0.0260	-0.03031
수행기간			-0.0090	-0.01053
경제적 성과	0.1225**	0.1095**	0.1144**	0.120353**
TRL_1	0.3670	0.5196**		
TRL_2	0.3928**	0.6294**		
TRL_3				
대기업				
공기업				
중견기업				
중소기업	-0.2577*			0.037489
대학				
연구소				
기타				
정부				
협력1				
협력2		-0.3770**	-0.0118	
협력3		-0.6328**	-0.1005	
협력4				
Log likelihood	4.7085	41.8419	2.0617	1.9875

*p<0.1, **p<0.05

[표 부록 3-6] ESS 생산성 요인 추정계수(모형 B)

모형	1	2	3	4
민간현물			-0.0261	-0.0277
수행기간			-0.0069	-0.0074*
SCI				
특허				
경제적 성과	0.1196**	0.1094**	0.1139*	0.1190**
TRL_1	0.3368	0.5480**		
TRL_2	0.3754*	0.6294**		
TRL_3				
대기업				
공기업				
중견기업				
중소기업	-0.2707*			0.0058
대학				
연구소				
기타				
정부				
협력1				
협력2		-0.4327**	-0.0420	
협력3		-0.6327**	-0.1136	
협력4				
Log likelihood	4.6786	41.9525	2.0952	1.9572

*p<0.1, **p<0.05

[표 부록 3-7] 자원순환 효율성 요인 추정계수(모형 A)

모형	1	2	3
민간현물			-0.0374*
수행기간			-0.0043
SCI	0.0311	0.0296	
특허	0.0149	0.0100	
경제적 성과			
TRL_1			
TRL_2	0.0558	0.0414	
TRL_3			
대기업			
공기업			
중견기업	0.1824		0.0985
중소기업			
대학			
연구소			
기타			
정부			
협력1			
협력2			
협력3		-0.1325	-0.2579**
협력4			
Log likelihood	3.8297	4.1929	5.6330

*p<0.1, **p<0.05

[표 부록 3-8] 자원순환 효율성 요인 추정계수(모형 B)

모형	1	2	3
민간현물			0.0064
수행기간			-0.0121
SCI	-0.0179	-0.0195	
특허	0.0717**	0.0761**	
경제적 성과			
TRL_1			
TRL_2	0.0284	0.0047	
TRL_3			
대기업			
공기업			
중견기업	0.3443**	0.3773	
중소기업			
대학			
연구소			
기타			
정부			
협력1			
협력2			
협력3		0.0453	-0.1648
협력4			
Log likelihood	13.3458	9.9265	-1.6845

*p<0.1, **p<0.05

[표 부록 3-9] 자원순환 효과성 요인 추정계수(모형 A)

모형	1	2	3	4
민간현물			-0.0238	-0.0169
수행기간			0.0018	0.0024
SCI				
특허				
경제적 성과	0.0117**	0.0070**	0.0067	0.0114**
TRL_1				
TRL_2	-0.0356	-0.0226		
TRL_3				
대기업				
공기업				
중견기업				
중소기업	-0.5929			-0.5508
대학				
연구소				
기타				
정부				
협력1				
협력2				
협력3				
협력4		-0.1227	-0.1635	
Log likelihood	6.4269	5.2661	5.9607	6.7071

*p<0.01, **p<0.05

[표 부록 3-10] 자원순환 효과성 요인 추정계수(모형 B)

모형	1	2	3	4
민간현물			-0.0187	-0.0132
수행기간			0.0006	0.0006
SCI				
특허				
경제적 성과	0.0124**	0.0075**	0.0074**	0.0121**
TRL_1				
TRL_2	-0.0606	0.1105		
TRL_3				
대기업				
공기업				
중견기업	-0.6552			-0.6087
중소기업				
대학				
연구소				
기타				
정부				
협력1				
협력2				
협력3		0.1009	-0.1067	
협력4				
Log likelihood	6.4269	5.2661	5.9607	6.7071

*p<0.01, **p<0.05

[표 부록 3-11] 자원순환 생산성 요인 추정계수(모형 A)

모형	1	2	3	4
민간현물			-0.01344	-0.01019
수행기간			0.001	0.001044
경제적 성과	0.010246**	0.007535**	0.007349**	0.010085**
TRL_1				
TRL_2	-0.00309	0.006319		
TRL_3				
대기업				
공기업				
중견기업	-0.36273*			-0.34452*
중소기업				
대학				
연구소				
기타				
정부				
협력1				
협력2				
협력3		-0.04147	-0.06533	
협력4				
Log likelihood	18.14974	16.52584	18.26438	19.35604

*p<0.1, **p<0.05

[표 부록 3-12] 자원순환 생산성 요인 추정계수(모형 B)

모형	1	2	3	4
민간현물			-0.0006	-0.0005
수행기간			0.0002	0.0002
SCI				
특허				
경제적 성과	0.0075**	0.0075**	0.0075**	0.0075**
TRL_1				
TRL_2	0.0036**	0.0035**		
TRL_3				
대기업				
공기업				
중견기업	0.0010			0.0003
중소기업				
대학				
연구소				
기타				
정부				
협력1				
협력2				
협력3		-0.0013	-0.0019	
협력4				
Log likelihood	69.8566	70.3235	69.4915	68.6855

*p<0.1, **p<0.05

[표 부록 3-13] 스마트그리드 효율성 요인 추정계수(모형 A)

모형	1	2	3
민간현물			0.0146**
수행기간			-0.0224**
SCI	-0.0046	0.0002	
특허	0.0191**	0.0213**	
경제적 성과			
TRL_1	0.2683**	0.3556**	
TRL_2	0.0772*	0.0950	
TRL_3			
대기업	-0.3239**	-0.6717**	
공기업	-0.4307**	-0.0411**	
중견기업			
중소기업	-0.2481**	-0.3920**	
대학	0.2221**	0.0752	
연구소			
기타			
정부			
협력1			
협력2		0.4317*	0.1095
협력3		0.0714	0.1394
협력4			
Log likelihood	26.6785	7.2701	8.6071

*p<0.1, **p<0.05

[표 부록 3-14] 스마트그리드 효율성 요인 추정계수(모형 B)

모형	1	2	3
민간현물			0.0202**
수행기간			-0.0304**
SCI	-0.0058	0.0035	
특허	0.0227**	0.0186**	
경제적 성과			
TRL_1	0.0242	0.1231	
TRL_2	0.1153**	0.0905	
TRL_3			
대기업	-0.0041		-0.4149**
공기업	-0.1346		-0.8698**
중견기업			
중소기업	0.0531		-0.1209
대학	0.3933		0.2850**
연구소			
기타			
정부			
협력1			
협력2		-0.1379	-0.6061**
협력3		0.1614**	0.1733**
협력4			
Log likelihood	22.3482	13.1987	7.5330

*p<0.1, **p<0.05

[표 부록 3-15] 스마트그리드 효과성 요인 추정계수(모형 A)

모형	1	2	3	4
민간현물			0.0048**	-0.0020
수행기간			-0.0083**	0.0050
경제적 성과	0.0114**	0.0110**	0.0112**	0.0113**
TRL_1	-0.0528	-0.0255		
TRL_2	0.0092	0.0613*		
TRL_3				
대기업	-0.0230			-0.0319
공기업	0.2083**		0.2561**	
중견기업				
중소기업	-0.0106			-0.0407*
대학	-0.0308			-0.0370
연구소				
기타				
정부				
협력1				
협력2				
협력3		-0.0194	-0.0042	
협력4				
Log likelihood	32.2879	24.9421	25.1436	31.7526

*p<0.01, **p<0.05

[표 부록 3-16] 스마트그리드 효과성 요인 추정계수(모형 B)

모형	1	2	3	4
민간현물			0.0025**	0.0012
수행기간			-0.0033	0.0004
SCI				
특허				
경제적 성과	0.0104**	0.0101**	0.0103**	0.0103**
TRL_1	-0.0230	0.0090		
TRL_2	-0.0146	0.0151		
TRL_3				
대기업	-0.0095			-0.0664
공기업	0.1450**		0.1086**	
중견기업				
중소기업	0.0154			0.0019
대학	-0.0091			0.0002
연구소				
기타				
정부				
협력1				
협력2				
협력3		0.0000	-0.0080	
협력4				
Log likelihood	45.1879	34.6217	36.9288	47.3156

*p<0.01, **p<0.05

[표 부록 3-17] 스마트그리드 생산성 요인 추정계수(모형 A)

모형	1	2	3	4
민간현물			0.0007	0.0180
수행기간			0.0079	-0.0079
SCI				
특허				
경제적 성과	0.0133**	0.0145**	0.0129	0.0123**
TRL_1	-0.2278*	-0.3186**		
TRL_2	-0.0105	-0.0640		
TRL_3				
대기업	-0.0195			-0.7068**
공기업	0.0199			-0.4162
중견기업				
중소기업	0.0871			-0.0726
대학	0.1486			0.1636**
연구소				
기타				
정부				
협력1				
협력2				
협력3		0.1928**	0.1388	
협력4				
Log likelihood	10.9617	12.8015	11.3638	15.0797

*p<0.1, **p<0.05

[표 부록 3-18] 스마트그리드 생산성 요인 추정계수(모형 B)

모형	1	2	3	4
민간현물			0.0006	0.0020
수행기간			-0.0016	-0.0034
SCI				
특허				
경제적 성과	0.0105**	0.0107**	0.0105**	0.0105**
TRL_1	0.0103	-0.0172		
TRL_2	0.0002	-0.0120		
TRL_3				
대기업	-0.0002			-0.0306
공기업	-0.0003			-0.0473
중견기업				
중소기업	0.0000			0.0063
대학	0.0489**		0.0494**	
연구소				
기타				
정부				
협력1				
협력2				
협력3		0.0320**	0.0310**	
협력4				
Log likelihood	49.5963	47.4844	47.6289	50.5988

*p<0.1, **p<0.05

[표 부록 3-19] 신재생에너지 효율성 요인 추정계수(모형 A)

모형	1	2	3
민간현물			-0.0041
수행기간			0.0039
SCI	0.0127**	0.0152**	
특허	0.0126**	0.0139**	
TRL_1	0.2512**	0.2325**	
TRL_2	0.1867*	0.1310	
TRL_3	0.1168	0.0779	
대기업	0.0758		0.4568*
공기업	0.0023		-0.0229
중견기업	0.0514		0.0784
중소기업	0.0967		0.1091
대학	0.2214		0.4103
연구소	0.1554		0.3014
기타			
정부			
협력1		0.1190	-0.0132
협력2		-0.1250	-0.1717
협력3		0.1290**	0.0558
협력4			
Log likelihood	29.4613	31.6830	-1.0208

*p<0.1, **p<0.05

[표 부록 3-20] 신재생에너지 효율성 요인 추정계수(모형 B)

모형	1	2	3
민간현물			-0.0021*
수행기간			-0.0011
SCI	-0.0012	-0.0008	
특허	0.0067**	0.0072**	
TRL_1	0.0476	0.0402	
TRL_2	0.0387	0.0305	
TRL_3	0.0196	0.0160	
대기업	0.0043		0.1358
공기업	-0.0106		0.0199
중견기업	0.0180		0.0511
중소기업	0.0340		0.0482
대학	0.0510		0.0811
연구소	0.0590		0.1208
기타			
정부			
협력1		0.0643	0.0158
협력2		0.0162	-0.0161
협력3		0.0532**	0.0175
협력4			
Log likelihood	121.8526	125.6614	104.2985

*p<0.1, **p<0.05

[표 부록 3-21] 신재생에너지 효과성 요인 추정계수(모형 A)

모형	1	2	3	4
민간현물			0.0016	-0.0005
수행기간			-0.0011	-0.0009
경제적 성과	0.0005**	0.0006**	0.0006**	0.0005**
TRL_1	-0.0228	-0.0445		
TRL_2	-0.0146	-0.0294		
TRL_3	0.0170	0.0109		
대기업	0.0917			0.0934
공기업	0.0216			0.0120
중견기업	0.0700			0.0672
중소기업	0.0073			-0.0041
대학	-0.0072			-0.0271
연구소	-0.0146			-0.0336
기타				
정부				
협력1		-0.0060	-0.0177	
협력2		0.0991	0.0891	
협력3		0.0190	0.0186	
협력4				
Log likelihood	65.9028	64.2365	63.3062	65.2981

*p<0.01, **p<0.05

[표 부록 3-22] 신재생에너지 효과성 요인 추정계수(모형 B)

모형	1	2	3	4
민간현물			0.0006	-0.0011
수행기간			-0.0007	-0.0006
경제적 성과	0.0005**	0.0006**	0.0006**	0.0006**
TRL_1	-0.0323	-0.0380		
TRL_2	-0.0209	-0.0265		
TRL_3	0.0031	0.0045		
대기업	0.0670			0.0786
공기업	0.0001			0.0022
중견기업	0.0344			0.0407
중소기업	-0.0001			-0.0078
대학	-0.0118			-0.0254
연구소	-0.0184			-0.0331
기타				
정부				
협력1		-0.0073	-0.0211	
협력2		0.0194	0.0098	
협력3		0.0145	0.0117	
협력4				
Log likelihood	67.0390	65.8543	65.0648	66.8012

*p<0.01, **p<0.05

[표 부록 3-23] 신재생에너지 생산성 요인 추정계수(모형 A)

모형	1	2	3	4
민간현물			-0.0012	-0.0026
수행기간			0.0006	0.0006
경제적 성과	0.000727**	0.000739**	0.000767**	0.00076**
TRL_1	-0.0146	-0.0490		
TRL_2	0.0341	-0.0170		
TRL_3	0.0740	0.0276		
대기업	0.0064			0.0263
공기업	-0.0070			-0.0320
중견기업	0.0671			0.0769
중소기업	0.0003			-0.0114
대학	0.0791			0.0409
연구소	-0.0028			
기타				
정부				
협력1		-0.0156	-0.0502	
협력2		0.0311	0.0088	
협력3		0.0556	0.0473	
협력4				
Log likelihood	41.7611	41.3533	40.1451	40.7686

*p<0.1, **p<0.05

[표 부록 3-24] 신재생에너지 생산성 요인 추정계수(모형 B)

모형	1	2	3	4
민간현물			-0.0032**	-0.0043**
수행기간			0.0004	0.0005
SCI				
특허				
경제적 성과	0.0007**	0.0000**	0.0007**	0.0007**
TRL_1	-0.0375	0.4640		
TRL_2	-0.0290	0.6850		
TRL_3	-0.0197	0.8200		
대기업	-0.0080			0.0594
공기업	-0.0133			0.0381
중견기업	0.0272			0.0737
중소기업	0.0234			0.0276
대학	0.0051			0.0107
연구소	-0.0028			-0.0070
기타				
정부				
협력1		0.9300	-0.0382	
협력2		0.5160	0.0294	
협력3		0.2200	0.0145	
협력4				
Log likelihood	76.0642	76.3846	78.8053	79.8068

*p<0.1, **p<0.05

[표 부록 3-25] 수요관리 효율성 요인 추정계수(모형 A)

모형	1	2	3
민간현물			-0.0104
수행기간			0.0004
SCI	0.012501**	0.007801*	
특허	0.02926**	0.028332**	
TRL_1	-0.0798	-0.1612	
TRL_2	-0.0499	-0.0527	
TRL_3			
대기업	-0.0572		0.1881
공기업	-0.0071		0.4116
중견기업	0.0633		-0.0399
중소기업	0.0899		-0.06651*
대학	-0.0452		0.5397
연구소			
기타			
정부			
협력1			
협력2		-0.1230	-0.3630
협력3		-0.0050	-0.0596
협력4			
Log likelihood	24.5959	24.0405	-3.7590

*p<0.1, **p<0.05

[표 부록 3-26] 수요관리 효율성 요인 추정계수(모형 B)

모형	1	2	3
민간현물			-0.0060
수행기간			0.01013**
SCI	-0.0037	-0.0026	
특허	0.029538**	0.029521**	
경제적 성과			
TRL_1	0.146234**	0.154908**	
TRL_2	0.0391	0.0334	
TRL_3			
대기업	0.0305		0.1962
공기업	0.0087		0.2522
중견기업	0.0051		-0.1401
중소기업	0.0571		-0.0440
대학	0.116364**	0.0457	
연구소			
기타			
정부			
협력1			
협력2		-0.0315	-0.2701
협력3		0.094466**	-0.0116
협력4			
Log likelihood	62.3924	67.2421	-0.5311

*p<0.1, **p<0.05

[표 부록 3-27] 수요관리 효과성 요인 추정계수(모형 A)

모형	1	2	3	4
민간현물			-0.0001**	0.0000
수행기간			0.0000*	0.0000
경제적 성과	0.0046**	0.0046**	0.0046**	0.0046**
TRL_1	0.0004	-0.0001		
TRL_2	0.0008**	0.0003		
TRL_3				
대기업	0.0000			0.0000
공기업	0.0001			0.0004
중견기업	-0.0001			0.0002
중소기업	0.0007			0.0003
대학	0.0004			0.0003
연구소				
기타				
정부				
협력1				
협력2		0.0025**	0.0037**	
협력3		-0.0001	-0.0004	
협력4				
Log likelihood	228.3913	234.8954	244.1634	226.7154

*p<0.01, **p<0.05

[표 부록 3-28] 수요관리 효과성 요인 추정계수(모형 B)

모형	1	2	3	4
민간현물			-0.0000**	0.0000
수행기간			0.0000	0.0000
경제적 성과	0.0046**	0.0046**	0.0046**	0.0046**
TRL_1	0.0000	0.0000		
TRL_2	0.0003	0.0001		
TRL_3				
대기업	-0.0001			0.0000
공기업	0.0000			0.0002
중견기업	0.0000			0.0001
중소기업	0.0003			0.0002
대학	0.0001			0.0000
연구소				
기타				
정부				
협력1				
협력2		0.0026**	0.0034**	
협력3		-0.0001	-0.0002*	
협력4				
Log likelihood	380.0781	393.3004	402.7439	

*p<0.01, **p<0.05

[표 부록 3-29] 수요관리 생산성 요인 추정계수(모형 A)

모형	1	2	3	4
민간현물			-0.0023	-0.0029
수행기간			-0.0013	-0.0012
SCI				
특허				
경제적 성과	0.0050	0.0051	0.0051	0.0051
TRL_1	0.0131	0.0001		
TRL_2	0.0062	0.0084		
TRL_3				
대기업	0.0096			0.0107
공기업	-0.0112			0.0437
중견기업	0.0387			0.0705
중소기업	0.0271			0.0228
대학	-0.0082			0.0293
연구소				
기타				
정부				
협력1				
협력2		-0.0077	0.0310	
협력3		0.0275	0.0224	
협력4				
Log likelihood	57.5869	57.2982	60.3044	60.9964

*p<0.1, **p<0.05

[표 부록 3-30] 수요관리 생산성 요인 추정계수(모형 B)

모형	1	2	3	4
민간현물			-0.0015	-0.0022**
수행기간			-0.0008	-0.0013
SCI				
특허				
경제적 성과	0.0048**	0.0049**	0.0050**	0.0049**
TRL_1	-0.0349	-0.0216		
TRL_2	-0.0057	-0.0028		
TRL_3				
대기업	0.0021			0.0088
공기업	-0.0040			0.0467
중견기업	0.1017**		0.1235**	
중소기업	0.0109			0.0158
대학	0.0772**		0.0797**	
연구소				
기타				
정부				
협력1				
협력2		-0.0024	0.0224	
협력3		0.0238	0.0159	
협력4				
Log likelihood	92.2523	86.2679	87.6000	95.9258

*p<0.1, **p<0.05

[표 부록 3-31] 원자력 효율성 요인 추정계수(모형 A)

모형	1	2	3
민간현물			0.0007
수행기간			0.0059
SCI	0.0249**	0.0318**	
특허	0.0221**	0.0182**	
TRL_1	-0.0522	0.0330	
TRL_2	0.0653	0.0805*	
TRL_3			
대기업			
공기업	-0.0856		0.1490
중견기업	-0.0528		-0.2223
중소기업	-0.0537		-0.0887
대학	0.2082		0.3208*
연구소			
기타			
정부			
협력1		0.0113	0.0597
협력2		0.0018	-0.2714**
협력3		-0.0087	-0.0530
협력4			
Log likelihood	44.8606	34.4009	6.3971

*p<0.1, **p<0.05

[표 부록 3-32] 원자력 효율성 요인 추정계수(모형 B)

모형	1	2	3
민간현물			-0.0015
수행기간			0.0094**
SCI	0.0069**	0.0121**	
특허	0.0281**	0.0216**	
TRL_1	-0.0166	0.0259	
TRL_2	0.0165	0.0308	
TRL_3			
대기업			
공기업	-0.0774*		0.2383
중견기업	0.0874		-0.0393
중소기업	0.0705*	0.0055	
대학	0.1536**	0.1561	
연구소			
기타			
정부			
협력1		0.1494**	0.2390*
협력2		0.0225	-0.1694**
협력3		0.0128	-0.0352
협력4			
Log likelihood	80.2629	70.5444	18.4223

*p<0.1, **p<0.05

[표 부록 3-33] 원자력 효과성 요인 추정계수(모형 A)

모형	1	2	3	4
민간현물			0.0034**	0.0066**
수행기간			-0.0071	-0.0032
경제적 성과	0.0009**	0.0009**	0.0008**	0.0006**
TRL_1	-0.1380	-0.0796		
TRL_2	-0.0518	-0.0755		
TRL_3				
대기업				
공기업	0.0884			-0.2829**
중견기업				
중소기업				
대학				
연구소				
기타				
정부				
협력1				
협력2		0.0375	0.0213	
협력3		-0.0493	-0.0204	
협력4				
Log likelihood	16.4419	16.6600	17.6259	19.5717

*p<0.01, **p<0.05

[표 부록 3-34] 원자력 효과성 요인 추정계수(모형 B)

모형	1	2	3	4
민간현물			0.0002	0.0007
수행기간			-0.0021	-0.0034
경제적 성과	0.0009**	0.0010**	0.0010**	0.0009**
TRL_1	-0.0069	-0.0813		
TRL_2	-0.0509	-0.0144		
TRL_3				
대기업				
공기업	-0.0454			-0.0072
중견기업				
중소기업				
대학				
연구소				
기타				
정부				
협력1				
협력2		-0.0708	-0.0299	
협력3		-0.0593	-0.0445	
협력4				
Log likelihood	20.3462	21.4314	20.8378	20.1086

*p<0.01, **p<0.05

[표 부록 3-35] 원자력 생산성 요인 추정계수(모형 A)

모형	1	2	3	4
민간현물			0.0018	0.0014
수행기간			-0.0089	-0.0096*
경제적 성과	0.0009**	0.0009**	0.0008**	0.0008**
TRL_1	-0.0046	-0.1127		
TRL_2	-0.0740	-0.0223		
TRL_3				
대기업				
공기업	-0.0861			0.0511
중견기업				
중소기업				
대학				
연구소				
기타				
정부				
협력1				
협력2		-0.0979	0.0020	
협력3		-0.0485	-0.0156	
협력4				
Log likelihood	14.7262	14.9097	15.6718	15.6650

*p<0.1, **p<0.05

[표 부록 3-36] 원자력 생산성 요인 추정계수(모형 B)

모형	1	2	3	4
민간현물			0.0013	0.0012
수행기간			-0.0065	-0.0067
경제적 성과	0.0009**	0.0009**	0.0009**	0.0009**
TRL_1	-0.0050	-0.0890		
TRL_2	-0.0655	-0.0262		
TRL_3				
대기업				
공기업	-0.0734			0.0107
중견기업				
중소기업				
대학				
연구소				
기타				
정부				
협력1				
협력2		-0.0726	-0.0004	
협력3		-0.0267	-0.0034	
협력4				
Log likelihood	15.4486	15.4024	15.7282	15.7279

*p<0.1, **p<0.05

[표 부록 3-37] 자원개발 효율성 요인 추정계수(모형 A)

모형	1	2	3
민간현물			0.0005
수행기간			0.0011
SCI	0.0071	0.0044	
특허	0.0039	0.0038	
TRL_1	-0.1074	0.1196	
TRL_2	-0.1923**	-0.0695	
TRL_3			
대기업			
공기업	0.0209		0.0481
중견기업			
중소기업	-0.1677**	-0.1188	
대학	0.0629		0.1071
연구소			
기타			
정부			
협력1			
협력2		0.1116	0.1255
협력3		-0.3760**	-0.3743**
협력4			
Log likelihood	10.4691	12.6367	11.7994

*p<0.1, **p<0.05

[표 부록 3-38] 자원개발 효율성 요인 추정계수(모형 B)

모형	1	2	3
민간현물			-0.0007
수행기간			0.0024
SCI	-0.0124**	-0.0171**	
특허	0.0172**	0.0178**	
TRL_1	-0.0213	0.0792	
TRL_2	-0.0536	-0.0480	
TRL_3			
대기업			
공기업	0.1683		0.1123
중견기업			
중소기업	0.0202		0.0552
대학	0.5966**	0.5304**	
연구소			
기타			
정부			
협력1			
협력2		0.2769*	-0.0449
협력3		-0.2492*	-0.2892**
협력4			
Log likelihood	12.7350	9.8876	4.4476

*p<0.1, **p<0.05

[표 부록 3-39] 자원개발 효과성 요인 추정계수(모형 A)

모형	1	2	3	4
민간현물			-0.0028**	-0.0012
수행기간			0.0003	0.0005
경제적 성과	0.0007**	0.0008**	0.0011**	0.0009**
TRL_1	-0.0280	-0.0520		
TRL_2	0.0299	0.0007		
TRL_3				
대기업				0.0282
공기업	0.0288			
중견기업				-0.0182
중소기업	-0.0245			0.1425**
대학	0.1666**			
연구소				
기타				
정부				
협력1				
협력2		-0.0603	-0.0440	
협력3		-0.0071	-0.0677	
협력4				
Log likelihood	24.6856	19.3504	21.9521	24.2794

*p<0.01, **p<0.05

[표 부록 3-40] 자원개발 효과성 요인 추정계수(모형 B)

모형	1	2	3	4
민간현물			-0.0018**	-0.0003
수행기간			0.0003	0.0002
경제적 성과	0.0008**	0.0008**	0.0010**	0.0008**
TRL_1	-0.0005	-0.0167		
TRL_2	0.0133	-0.0073		
TRL_3				
대기업				
공기업	0.0161			0.0131
중견기업				
중소기업	-0.0112			-0.0122*
대학	0.1432**		0.1334**	
연구소				
기타				
정부				
협력1				
협력2		-0.0250	-0.0148	
협력3		-0.0071	-0.0299	
협력4				
Log likelihood	47.0598	25.8850	28.9680	46.1204

*p<0.01, **p<0.05

[표 부록 3-41] 자원개발 생산성 요인 추정계수(모형 A)

모형	1	2	3	4
민간현물			-0.0111**	-0.0022
수행기간			0.0036	0.0067
경제적 성과	0.0006**	0.0007**	0.0021**	0.0008**
TRL_1	-0.0275	-0.1233		
TRL_2	0.1527**	0.0241		
TRL_3				
대기업				
공기업	0.1470*		0.1677**	
중견기업				
중소기업	-0.1178*			-0.1454**
대학	0.8014**			0.7607**
연구소				
기타				
정부				
협력1				
협력2		-0.1633	-0.1142	
협력3		-0.0467	-0.2232	
협력4				
Log likelihood	16.8683	0.5020	3.0204	15.3272

*p<0.1, **p<0.05

[표 부록 3-42] 자원개발 생산성 요인 추정계수(모형 B)

모형	1	2	3	4
민간현물			-0.0100**	-0.0008
수행기간			0.0019	0.0023
경제적 성과	0.0007**	0.0007**	0.0020**	0.0007**
TRL_1	-0.0084	-0.1236		
TRL_2	0.0497*	-0.0787		
TRL_3				
대기업				
공기업	0.1137**		0.1218**	
중견기업				
중소기업	-0.0390*			-0.0480**
대학	0.8662**		0.8523**	
연구소				
기타				
정부				
협력1				
협력2		-0.1383	-0.0730	
협력3		-0.0167	-0.1644	
협력4				
Log likelihood	31.1295	1.3273	3.6993	30.0949

*p<0.1, **p<0.05

[표 부록 3-43] 청정화력 효율성 요인 추정계수(모형 A)

모형	1	2	3
민간현물			-0.0013
수행기간			-0.0094**
SCI	0.0024	0.0056	
특허	0.0250**	0.0231**	
TRL_1	-0.2844**	-0.2213	
TRL_2	-0.0532	0.0283	
TRL_3			
대기업	-0.0216		0.4223
공기업	0.0081		0.3481
중견기업	-0.0276		0.7195*
중소기업	0.2227		0.1901
대학	0.1274		0.0373
연구소	0.2842*	0.3235	
기타			
정부			
협력1			
협력2			
협력3		0.2018**	0.1397
협력4			
Log likelihood	14.0968	11.1445	0.0064

*p<0.1, **p<0.05

[표 부록 3-44] 청정화력 효율성 요인 추정계수(모형 B)

모형	1	2	3
민간현물			-0.0014
수행기간			-0.0083
SCI	0.0076**	0.0087**	
특허	0.0236**	0.0223**	
TRL_1	-0.1851**	-0.1573*	
TRL_2	-0.0124	0.0163	
TRL_3			
대기업	0.0002		0.4423
공기업	-0.0026		0.3488
중견기업	-0.0341		0.7433**
중소기업	0.1280		0.1541
대학	0.0245		-0.0330
연구소	0.0420		0.1472
기타			
정부			
협력1			
협력2			
협력3		0.1010**	0.1198
협력4			
Log likelihood	27.76535	27.33927	0.653225

*p<0.1, **p<0.05

[표 부록 3-45] 청정화력 효과성 요인 추정계수(모형 A)

모형	1	2	3	4
민간현물			0.0000**	0.0000**
수행기간			-0.0000**	-0.0000**
SCI				
특허				
경제적 성과	0.0005**	0.0005**	0.0004**	0.0005**
TRL_1	-0.0002	-0.0001		
TRL_2				
TRL_3				
대기업	-0.1564**			-0.0651**
공기업				
중견기업				
중소기업	0.0000			-0.0000**
대학	0.0000			-0.0000**
연구소				
기타				
정부				
협력1				
협력2				
협력3		0.0001	0.0000	
협력4				
Log likelihood	65.7540	58.6593	72.4008	93.1658

*p<0.01, **p<0.05

[표 부록 3-46] 청정화력 효과성 요인 추정계수(모형 B)

모형	1	2	3	4
민간현물			0.0000	-0.0000**
수행기간			-0.0000	0.0000**
경제적 성과	0.0005**	0.0005**	0.0005**	0.0004**
TRL_1	0.0000	-0.0000		
TRL_2				
TRL_3				
대기업	0.0010			0.0148**
공기업				
중견기업				
중소기업	0.0000			0.0000**
대학	0.0000			0.0000**
연구소				
기타				
정부				
협력1				
협력2				
협력3		-0.0000**	-0.0000	
협력4				
Log likelihood	87.55901	88.6001	87.5978	94.96388

*p<0.01, **p<0.05

[표 부록 3-47] 청정화력 생산성 요인 추정계수(모형 A)

모형	1	2	3	4
민간현물			0.0067	-0.0143
수행기간			-0.0015	-0.0079
경제적 성과	0.0505**	0.0004**	-0.0004	0.0922**
TRL_1	-0.0172	0.0253		
TRL_2				
TRL_3				
대기업	-99.7024**			-178.8860**
공기업				
중견기업				
중소기업	0.0637			-0.0148
대학	-0.0124			-0.0107
연구소				
기타				
정부				
협력1				
협력2				
협력3		0.1025	0.0782	
협력4				
Log likelihood	13.1712	8.8086	9.1434	16.9363

*p<0.1, **p<0.05

[표 부록 3-48] 청정화력 생산성 요인 추정계수(모형 B)

모형	1	2	3	4
민간현물			-0.0002	-0.0007
수행기간			-0.0001	-0.0003
경제적 성과	0.0011	0.0005**	0.0005**	0.0032*
TRL_1	-0.0008	-0.0004		
TRL_2				
TRL_3				
대기업	-1.3106			-5.2541
공기업				
중견기업				
중소기업	0.0030			-0.0004
대학	-0.0010			-0.0004
연구소				
기타				
정부				
협력1				
협력2				
협력3		0.0022	0.0034	
협력4				
Log likelihood	36.8687	35.9097	37.2277	40.7692

*p<0.1, **p<0.05

Abstract

Three essays on efficiency analysis of government R&D: A case study in the energy sector

Yun Gahye

Department of Energy Systems Engineering

Environmental, Energy, and Engineering Economics Major

The Graduate School

Seoul National University

This thesis analyzes the efficiency of government energy R&D and consists of three essays.

The first essay is 'evaluating the efficiency of government energy R&D'. Based on the 3-STAGE Data Envelopment Analysis (DEA) model, the efficiency, effectiveness, and productivity of government energy R&D were evaluated at the program level and project level, respectively.

The second essay is ‘a budget portfolio study of government energy R&D’. Using DEA slack analysis, a methodology is proposed to translate the results of the efficiency, effectiveness, and productivity assessment of government energy R&D into R&D budget portfolios, and a sensitivity analysis is conducted to examine how efficiency and productivity change with increasing inputs.

The third essay is 'analyzing the factors affecting the efficiency of government energy R&D'. Tobit Regression model was applied to analyze the factors affecting the efficiency, effectiveness, and productivity index of government energy R&D.

The research results of these three essays can be summarized as follows. First, we found that the scientific and technological efficiency of R&D does not necessarily guarantee economic productivity and effectiveness. And since effectiveness and productivity are strongly positively correlated, it was determined that improving effectiveness is a prerequisite for improving economic productivity. In addition, the results of the returns to scale analysis showed that it is appropriate to maintain or reduce the scale of the program from the perspective of scientific and technological efficiency, and that it is necessary to expand the scale of the program to improve productivity.

Comparing the results of the program-level and project-level analyses, we found that the correlations between efficiency, effectiveness, and productivity were the same at both the program and project levels. However, returns to scale showed different results at the program and project levels. This suggests that increasing returns to scale is appropriate from a productivity perspective at the program level, but should be applied differently at the project level depending on the characteristics of individual projects.

Second, this study provides a methodology for translating the results of the efficiency, effectiveness, and productivity assessments of government energy R&D into R&D budget allocations and derives an appropriate budget portfolio. For projects with increasing returns to scale (IRS) characteristics, a 10% increase in government expenditure improved efficiency by about 26.1%, and a 20% increase improved efficiency by about 37.5%. In terms of productivity, programs with economies of

scale were found to be about 11.3% more productive with a 10% increase in government expenditure, and about 21.4% more productive with a 20% increase. A 20% increase in government expenditure was associated with a one-step increase in the productivity ranking of the program.

Third, we found the following factors to improve the performance of government energy R&D. First, we found that a bottom-up competition, i.e. a method that grants autonomy in research planning, generally increases the scientific and technological efficiency of R&D. However, in terms of effectiveness and productivity, top-down funding was analyzed to be more favorable.

However, unlike the program-level analysis, which found a positive effect of increased government funding on efficiency and productivity, the project-level analysis found no statistical significance that increased government funding had a positive effect on the efficiency, effectiveness, and productivity of research projects. On the other hand, in sectors where public firms have a significant impact on the market, there is a statistically significant increase in effectiveness and productivity with an increase in corporate engagement. It was concluded that corporate engagement inputs can be seen as an indicator of the likelihood or willingness of a developed technology to be commercialized by companies to participate.

By type of organization, universities and research institutes were found to have higher scientific and technological efficiency. Except for the renewable energy sector, there was no statistical significance that large enterprises were more effective and productive when they were the lead organizations.

The simpler the type of collaboration, the higher the efficiency, effectiveness, and productivity, and except for some programs. This is evidence that collaboration is not linked to R&D

performance, and there is a need to introduce a system to streamline external collaboration among domestic R&D organizations.

From the above analysis, the following implications can be drawn. In order to improve effectiveness, structural transformation to demonstration-type projects, expansion of top-down system, participation of public enterprises, and expansion of government expenditure to program may be helpful, and cluster management to facilitate inter-institutional cooperation may be important.

The significance of this study is that it provides a new perspective on R&D efficiency analysis, namely 3-STAGE. The 3-STAGE DEA methodology presented in this study can be used to derive recommendations for improving the total efficiency, effectiveness, and productivity of national R&D expenditures based on returns to scale and sources of inefficiency. Unlike efficiency discussions, which usually result in expenditure reductions, the 3-STAGE DEA methodology is expected to facilitate the identification of strategic directions for improving efficiency, effectiveness, and productivity.

keywords : 3-Stage DEA, R&D Efficiency, R&D Effectiveness, R&D Productivity, R&D Budget Portfolio, R&D Effectiveness Factors
Student Number : 2011-30289