

발전소 온배수를 이용한 시설원예의 경제성 평가에 관한 연구 A Study on Economic Evaluation of Greenhouse Facility with Power Plant Thermal Effluents

김정현* · 현명택** · 박윤철***

Jung-Hyun Kim*, Myung-Taek Hyun** and Youn-Cheol Park***

(Received 22 September 2020, Revision received 15 October 2020, Accepted 15 October 2020)

Abstract : Recently, South Korean government is focusing on eco-friendly renewable energy to reduce environmental issues and develop efficient energy sources. For this reason, several unused energy sources have become attractive and it was found that power plant wastewater heat has great potential as a renewable energy resource. This study investigated the economic evaluation of greenhouse facility using power plant wastewater heat. To evaluate the heat source of power plant wastewater heat, this study analyzed economic assessments using net present value, internal rate of return, benefit cost ratio and payback period method. It has shown that the net present value is positive after the sixth year of the project implementation, internal rate of return is 20.325%, benefit cost ratio is 2.727 and payback period is 6.858 years.

Key Words : Wastewater, Net present value, Internal rate of return, Benefit cost ratio, Payback period

— 기 호 설 명 —

NPV : 순현재가치 (Net present value)
IRR : 내부수익률 (Internal rate of return)
 B_t : 편익의 현재가치
 C_t : 비용의 현재가치
 r : 할인율(이자율)
 n : 기간

1. 서 론

현대 인류문명은 지난 200년간 석유, 석탄, 천연가스와 같은 화석연료로부터 번영의 에너지를 얻었다. 그러나 현재 우리를 둘러싼 에너지환경을 살펴볼 때 화석연료의 대량소비는 대기중의 온실효과가스 농도의 주된 상승 요인으로 지구 온난화에 의한 환경문제를 발생시켜 왔다. 이와 같은

*** 박윤철(ORCID:https://orcid.org/0000-0001-8055-182X) : 교수, 제주대학교 기계공학과
E-mail : ycpark@jejunu.ac.kr, Tel : 064-754-3626
*김정현(ORCID:http://orcid.org/0000-0001-9919-7189) : 대학원생, 제주대학교 기계공학과
**현명택(ORCID:http://orcid.org/0000-0001-9919-7189) : 교수, 제주대학교 기계공학과

*** Youn-Cheol Park(ORCID:https://orcid.org/0000-0001-8055-182X) : Professor, Department of Mechanical Engineering, Jeju National University.
**Jung-Hyun Kim(ORCID:http://orcid.org/0000-0001-9919-7189) : Graduate student, Department of Mechanical Engineering, Jeju National University.
E-mail : ycpark@jejunu.ac.kr, Tel : 064-754-3626
*Myoung-Taek Hyun(ORCID:http://orcid.org/0000-0002-6700-59) : Professor, Department of Mechanical Engineering, Jeju National University.

영향을 초래하는 온실효과가스 배출의 저감을 위해, 이산화탄소 배출의 약 80%가 화석연료의 소비에 기인하므로 지구 온난화를 방지하기 위해서는 화석연료 사용의 저감이 필요하다.¹⁾

농어촌 연구원의 분석에 따르면, 전국 연안 30개 발전소에서의 일일 온배수 배출 총량은 약 1억 3천만 톤이다. 온배수의 온도가 평균 7℃ 상승하여 배출된다고 가정할 경우, 에너지원으로서의 부존량은 3.4억 Gcal/yr으로 추정된다.²⁾ 이 중 농어촌지역의 발전소 온배수 에너지 부존량은 전체의 83%에 이른다. 이에 따라 발전소 온배수는 화석연료에 대한 에너지 집중도를 낮추고 지역 밀착형 대안 에너지원으로서 주목받고 있다.

발전소 온배수를 이용한 시설원예 사업규모가 본격화될 경우 다음과 같은 기대효과를 얻을 수 있다.

첫째, 온배수를 활용할 경우 기존 전통적인 방식보다 생산비용(난방비, 가온비)이 절감된다. 둘째, 시설원에 작물이 필요로 하는 최적의 환경을 조성하여, 생육과 출하시기를 조절함으로써 경쟁력을 갖추고, 농가수입의 증대 효과를 기대할 수 있다. 셋째, 온배수를 활용함으로써 기존 농가의 유류 사용 및 이산화탄소 배출량 감축을 통해 저탄소 녹색성장 정책에 기여할 수 있다. 마지막으로, 폐자원으로 여겨지는 온배수를 재활용함으로써 폐자원 활용 제고에 기여할 수 있다.³⁾

2. 실험장치

제주화력본부의 온배수 활용 열펌프 시스템의 적용대상지는 신촌백합영농조합법인이다. 유리온실 5농가 1만 6,471 m², 비닐하우스 6농가 7만 7,106 m² 등 모두 11농가 약 9만 5,000 m² 규모의 화훼단지로서, 주로 백합을 생산하며 일본 지역에 수출하고 있다. 겨울철의 경우 기존에는 농업용 유류온풍기(중유사용) 혹은 전기온풍기를 이용하여 고온성 화훼작물의 생육조건을 유지하였다.

온배수 활용을 통한 가온 난방비 절감을 위해, 인근 1 ha의 면적에 해당하는 농가에 농 온수를 공급하기 위한 열펌프 시스템을 구축하였다. 적용

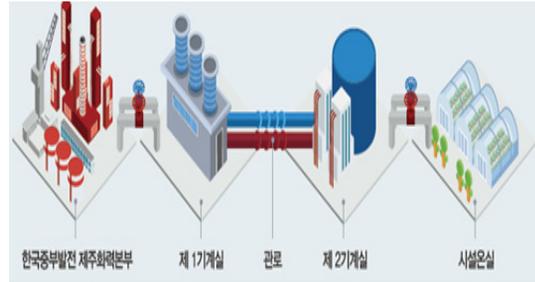


Fig. 1 Thermal effluents heat source supply system diagram

대상지 농가는 제주 화력본부로부터 약 3 km의 거리에 위치하고 있어, 원거리 관로를 통해 열원을 수송하기 위한 시스템이 필요하였다.

발전소가 있는 삼양동 지역은 문화재보존 영향 검토대상으로 저류조 및 기계실 위치를 사전 검토하여 저류조 최적 위치로 제주 화력본부 내 완충녹지를 선정하였으며, 선정된 위치는 기존 온배수 방출라인 위치와 취수 최단거리를 고려하여 결정하였다. 해수를 원거리 관로를 통해 이송하다가 누수가 발생할 경우, 인근 경작지에 악영향을 미칠 가능성이 있으므로 발전소 인근에 충분한 용량의 저류조를 설치하고 온배수 방류채널로부터 온배수를 공급받아 열교환 후, 담수를 원거리의 적용대상지로 수송하는 방안으로 결정하였다.

온배수 공급열 최적화 방안에 따른 시공완성 모습은 Fig. 1과 같다. 발전소 주위에 저류조 및 제1기계실을 구축하여 관형 열교환기를 설치하였으며, 온배수가 수공관로를 통하여 사업대상지까지 이동되고, 제2기계실은 시설원에 사업지에 구축하여, 히트펌프를 설치하였다.

3. 경제성 평가

3.1 환경적측면에서의 경제평가

한국농촌경제 연구원 자료에 따르면 10 ha 단 위면적당 시설감육의 이산화탄소 배출은 부대시설, 저장, 가공, 유통, 농기계, 냉난방 순으로 이산화탄소 배출을 하고 있다. 특히 중유와 경유로 인한 이산화탄소 배출량이 가장 큰 비중을 차지하

는데, 온배수를 활용하면, 냉난방에 사용되는 화석연료의 감소로 인한 이산화탄소 배출을 감소할 수 있다.⁴⁾ 시설원에 보일러 대비 온배수가 65% 유류비 절감을 한다는 문헌을 바탕으로 난방비와 시설실에서 배출되는 CO₂ 총량 25,586 kgCO₂를 10 ha로 환산하여, 톤당 이산화탄소 양을 도출한 결과, 1,663톤 이산화탄소 감축량 값을 얻을 수 있었다. 4월 9일 기준 한국거래소에 따르면 탄소할당 배출권 가격은 톤당 4만500원으로 거래되고 있어, 경제적 가치로 환산하면 1년 기준 67,351,500원이다.

3.2 순현재가치 (Net Present Value)

순 현재가치는 줄여서 ‘순 현재’ 또는 NPV라고 한다. 어떤 사업의 가치를 나타내는 척도중의 하나이고, 최초 투자 시기부터 사업이 끝나는 시기까지의 연도별 순 편익의 흐름을 각각 현재가치로 환산한 것이다. 즉, 순 현재가치란 편익과 비용을 할인율에 따라 현재가치로 환산하고 편익의 현재가치에서 비용의 현재가치를 뺀 값을 말한다. 순 현재가치가 0보다 크면 일단 그 대안(사업)은 채택 가능한 것으로 판단해 볼 수 있다.⁵⁾

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+r)^t} - \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t} \quad (1)$$

여기서,

B_t : 편익의 현재가치

C_t : 비용의 현재가치

r : 할인율(이자율)

n : 기간

기존 화석연료 보일러 대비, 유류비 절감측면과 탄소배출권 저감을 통한 환경적인 측면에서의 순 현재 가치를 구하면, ‘농업에너지이용효율화사업’ 시행지침에서 제시하고 있는 시설원에 1 ha 기준 12억5천만 원(10 ha 125억 원)에 근거하여 초기 지출비 125억중 농가 자부담 용자 포함하여 20%인 25억 원으로 정하고, 할인율 5%, 매년 유류비 절감 4억5천4백만 원 및 연간 탄소저감 배출권 6천7백만 원을 적용하였다. 20년 기준으로 분석했

을 경우, 농가 측에서는 사업시행 6년 이후부터 NPV 값이 양수를 보이고 있으며, 20년 후에는 NPV는 약 40억 원으로 분석되었다. 20년간 NPV를 분석한 결과는 Fig. 2와 같이 기간에 비례하여 상승곡선을 나타내고 있으며, 5년이 넘어가는 시점부터 양수를 나타내고 있다. 10ha 기준 온배수 사업비 125억 원에 대한 투자비율 대비 NPV 민감도를 분석한 결과는 Fig. 3과 같이 사업비대비 농가가 부담하는 투자비율이 올라갈수록 NPV는 반비례해 떨어지고 있다. 현재 시행되고 있는 농가 부담 20%에서 50%까지는 NPV가 양수를 보이고 있으나, 그 부담률이 50% 이상 될 때에는 투자대비 이익을 얻을 수 없다.

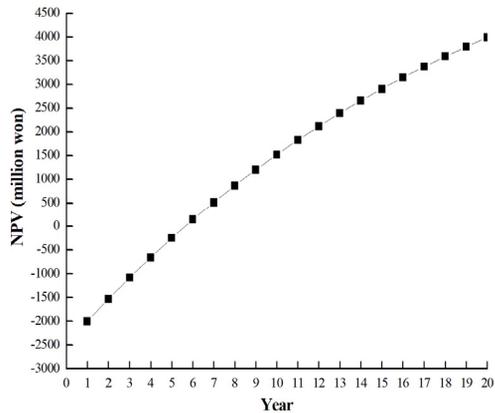


Fig. 2 NPV for 20 years

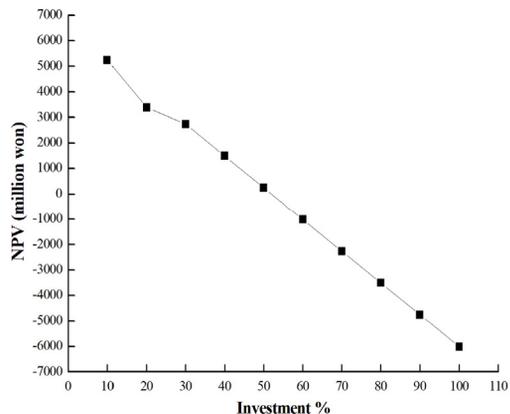


Fig. 3 NPV sensitivity in accordance with investment rate

3.3 내부수익률

어떤 투자계획에서 발생하는 비용과 편익의 흐름이 있을 때, 해당 투자계획의 현재가치를 '0'으로 만들어 주는 할인율을 'IRR'이라고 한다. 이자율이 r 로 일정할 때 n 기 동안 매 기마다 C 의 비용과 B 의 편익이 발생할 것으로 예상되는 투자계획의 현재가치를 구하는 식에 이자율 r 을 미지의 값인 ρ 로 대체하고 현재가치의 값을 0으로 만들어 주는 ρ 를 구하는 것이다. 이는 ρ 에 대한 n 차방정식을 푸는 것이고, 이때 ρ 가 IRR이 된다. 어떤 투자계획의 IRR이 자금의 기회비용인 이자율(r)보다 크다면 해당 투자계획은 채택된다. 여러 투자계획을 동시에 고려하는 경우에 IRR이 이자율보다 큰 사업이 여러 개 있다면 IRR이 가장 큰 사업을 채택하면 된다.

$$IRR = \sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+r)^t} = \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t} \quad (2)$$

기존 화석연료 보일러 대비, 유류비 절감측면과 탄소배출권 저감을 통한 환경적인 측면에서의 내부수익률을 구하면, '농업에너지이용효율화사업' 시행지침에서 제시하고 있는 시설원예 1ha 기준 12억5천만 원(10 ha 125억 원)에 근거하여⁶⁾ 초기 지출비 125억중 농가 자부담 용자포함하여 20%인 25억원으로 정하고, 할인율 5%, 매년 유류비 절감 4억5천4백, 탄소저감 배출권 6천7백을 적용하였다. IRR을 분석하면 Table 1에 정리하였다. 20년 기준 IRR = 20.325%, Gross Return 316.8%, Net Cash Flow 약 80억원으로 분석되었다.

20년간 IRR을 분석한 결과, Fig. 4에 보이는 것과 같이 기간에 비례하여 상승곡선을 나타내고 있으며 5년이 넘어가는 시점부터 할인율 5%를 넘어서고 있다.

Table 1 IRR analysis

IRR	20.325 %
Gross Return	316.8 %
Net Cash Flow	7,920,000,000 Won

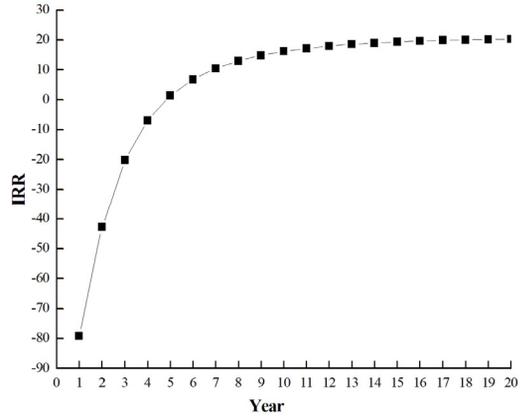


Fig. 4 IRR for 20 years

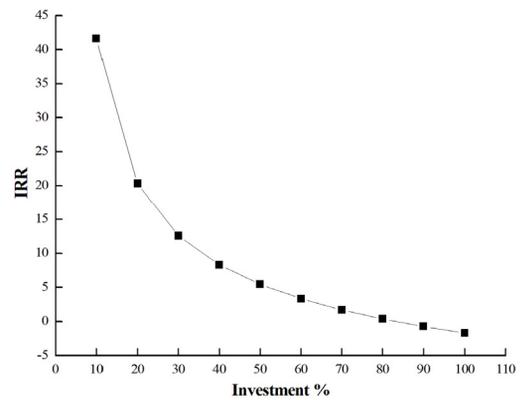


Fig. 5 IRR sensitivity in accordance with investment rate

10ha 기준 온배수 사업비 125억 원에 대한 투자비율 대비 IRR 민감도를 분석한 결과, Fig. 5에 보이는 것과 같이 사업비 대비 농가가 부담하는 투자비율이 올라갈수록 IRR은 반비례해 떨어지고 있다. 현재 시행되고 있는 농가부담 50% 전까지는 IRR이 할이율 5%보다 높지만, 사업 투자부담률이 50% 이상 될 때에는 할인율 5%를 넘어서면서 투자대비 이익을 얻을 수 없다.

3.4 비용편익분석

비용 편익분석(B/C)이란 어떤 정책 또는 사업을 추진할 때 그 수행 여부를 결정하는 가장 일반적인 방법으로 그 사업을 통해 얻게 되는 편익

(Benefit: B)과 수행에 소요되는 비용(Cost: C)을 비교해 결정하는 방법이다. 이 분석법을 수식으로 적으면 다음과 같다.

$$B/C = \frac{\sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}} \quad (3)$$

초기지출비 125억 중 용자포함하여 농가 자부담 20%인 25억 원을 비용으로 정하고, 할인율 5%, 매년 유류비 절감 4억5천4백, 탄소저감 배출권 6천7백 합계금액 5억2천백만 원을 편익으로 정하여 20년간에 걸쳐 비용편익분석을 하였다. 그 결과, 할인율을 적용한 총비용 약 23억8천만 원, 총편익 약 65억 원으로 분석되었다. 비용편익 결과치를 수식에 적용하면 비용편익률 2.727 도출되었다.

3.5 기간회수법 분석

자본회수기간(Payback period)이란 최초로 투자된 금액을 전부 회수하는데 걸리는 기간을 의미한다. 회수기간법은 투자안이 초기의 투자액을 얼마나 빨리 회수하는가를 각 투자안의 회수기간을 계산할 때 회계이익이 아니라 현금 흐름을 대상으로 측정하여 분석하는 기법이다.⁷⁾

회수기간법에는 단순회수기간법과 할인율 회수기간법이 있다. 단순회수 기간법은 초기에 투자된 총금액을 회수하는 데 걸리는 기간을 의미하며 이때 자금의 회수는 어느 시기에 이루어지더라도 할인율을 고려하지 않는다. 할인율 회수기간법은 초기 투자비를 현재가치를 고려하여 회수하는데 걸리는 기간을 의미한다. 자본회수 기간법의 장점으로 회수기간의 계산이 쉽고 비용이 들지 않으며, 위험지표로서의 정보를 제공할 수 있다. 회수 기간이 투자안의 유동성(liquidity) 즉, 투자안에 지출된 현금이 얼마나 빨리 회수될 것인가를 측정하는 자료가 될 수 있다.

기간회수법을 분석하기 위해, 기존 화석연료 보일러 대비, 유류비 절감측면과 탄소배출권 저감을 통한 환경적인 측면에서의 내부수익률을 구하면, ‘농업에너지이용효율화사업’ 시행지침에서 제시

Table 2 Payback period calculation

Payback Period	4.798 years
Discounted Payback Period	6.858 years
Cash Flow Return Rate	20.33% per year

하고 있는 시설원에 1ha 기준 12억 5천만 원(10ha 125억 원)에 근거하여 초기지출비 125억 중 농가 자부담 용자포함하여 20%인 25억 원으로 정하고, 할인율 5%, 매년 유류비 절감 4억5천4백, 탄소저감 배출권 6천7백을 적용하였다. 그 결과, 단순 기간회수법 기준으로는 투자금액을 회수하는데 4.798 years 이 소요되고, 할인율 기간회수법으로는 6.858 years 기간이 소요된다.

단순회수기간법을 분석해 보면, Fig. 6에 보이는 것과 같이 현금 흐름이 20년 기간에 비례하여 직선형태로 우향 상승하는 그래프를 볼 수 있다. 그 이유는 할인율을 고려하지 않은 단순 현금가치의 흐름을 반영하였기 때문이다. 할인회수기간법을 분석해보면 Fig. 7과 같이 현금 흐름이 20년 기간에 비례하여 곡선형태로 우향 상승하는 그래프를 볼 수 있다. 그 이유는 할인율을 고려하여 현금가치의 흐름을 반영하였기 때문이다.

단순회수기간법의 가장 큰 단점으로 회수기간 동안 화폐의 시간가치를 무시하고, 회수기간 이후의 현금흐름을 고려하지 않으므로, 이런 점을 보완하기 위하여 할인율을 고려한 기간회수법이 현

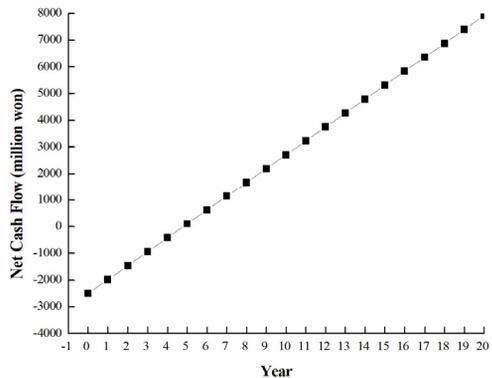


Fig. 6 Payback Period Cash Flow for 20 yrs

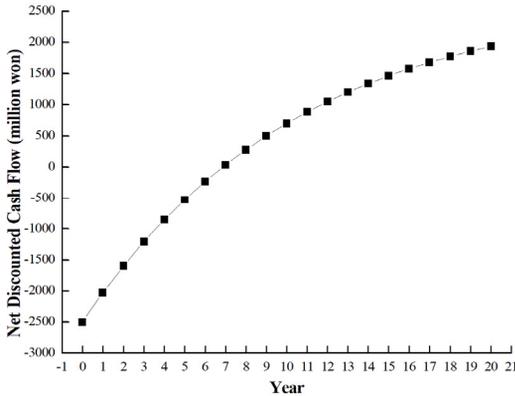


Fig. 7 Payback Period Net Discounted Cash Flow for 20 yrs

실적으로 더 타당한 면이 있다. 비교분석 결과, 할인회수기간법이 단순회수기간법 대비 2.06년이 더 소요되는 것으로 나타났다. 그 이유로는 할인율을 적용하여 회수기간 동안 화폐의 시간가치를 적용하였기 때문이다.

4. 결 론

본 연구에서는 발전소 배출 온배수를 활용한 원예시설의 난방장치의 경제성에 대하여 분석 연구하였다.

제주특별자치도 조천읍에 설치된 실증용 발전소 온배수 이용 난방장치를 모델로 하여 발전소 온배수가 갖고 있는 미래형 신재생 에너지원으로서의 잠재적 가치를 살펴보았으며, 경제성 분석 모형을 통하여 분석하였다. 특히, 환경적 관점에서의 경제성도 병행하여 분석하였다. 본 연구를 통하여 도출한 결과를 요약하면 다음과 같다.

20년 기준으로 분석했을 경우, 농가측에서는 사업시행 6년 이후부터 NPV 값이 양수를 보이고 있으며, 20년 후에는 NPV는 약 40억 원으로 분석되었다. IRR은 20년 후 20.325%로 분석되었으며 기간회수법을 통한 분석으로는 단순기간회수법 4.798년 할인율 기간회수법 6.858년 그리고 B/C ratio 2.727 도출되었다. 또한 연간 탄소저감 배출권 6천7백만 원의 효과가 있는 것으로 분석되었다.

후 기

본 연구는 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원(과제번호:119087-2) 지원을 받아 수행되었으며, 학위논문 “발전소 온배수를 이용한 시설원예의 경제성 평가에 관한 연구”의 일부임.

Author contributions

Jung Hyun Kim; Conceptualization, Data curation, Formal analysis, Writing-original draft. Myung Take Hyun; Conceptualization, Supervision. Youn Cheol Park; Supervision, Funding acquisition, Methodology, Writing-review & editing.

References

1. G. S. Kim, J. G. Park, S. W. Han and G. J. Yang, 2005, "Research for Reserves and Utilization of Clean Energy in Jeju", Journal of the Korean Society for System Engineering, No.17, pp. 28-33
2. B. H. Um and C. S. An, 2017, "An Economic Analysis of the Effluent Heat Supply from Thermal Power plant to the Farm Facility House", Department of Media Communication, Kyungnam University, p. 7.
3. C. J. Kim, W. H. Lee, 2013, "Gangwon province thermal power plant utilization plan" Gangwon Power Research Institute", pp. 13-42
4. J. Y. Park, Y. G. Park, 2018, "A study on Energy Consumption and Carbon Dioxide Emission in Agricultural Sector", Korea Agricultural Economic Research Institute, p. 18.
5. Naver Dictionary, 2010, Net Present Value, "An easy to understand dictionary of administrative terms", New Information Media.
6. Agricultural Energy Use Efficiency Project, 2014, Cash and Loan Support, Food Industry Policy Office. p. 7
7. Current Affairs Economic Glossary, 2017, "IRR [Internal Rate of Return]", Ministry of Strategy and Finance.