



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](#)

碩士學位論文

발전소 온배수를 이용한 시설원예의  
경제성 평가에 관한 연구

濟州大學校 大學院

機械工學科

金 政 賢

2020年 6月

# 발전소 온배수를 이용한 시설원예의 경제성 평가에 관한 연구

指導教授 朴潤鐵

金政賢

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함.

2020年 6月

金政賢의 工學 碩士學位 論文을 認准함.

審査委員長 김민철   
委 員 김남진   
委 員 박원철 

濟州大學校 大學院

2020年 6月

# A Study on Economic Evaluation of Greenhouse Facility with Power Plant Thermal Effluents

JUNG HYUN KIM

(Supervised by professor Youn Cheol Park)

A thesis submitted in partial fulfillment of the requirement for  
the degree of Master in Mechanical Engineering

2020. 6.

Department of Mechanical Engineering  
GRADUATE SCHOOL  
JEJU NATIONAL UNIVERSITY

# 목 차

List of figures .....	I
List of tables .....	II
Nomenclature .....	III
Summary .....	IV
I. 서 론 .....	1
1.1 연구의 배경 .....	1
1.2 온배수 개념 및 사회적 의의 .....	3
1.3 연구동향 및 목적 .....	5
II. 실험장치 및 시설온실 작물 생육환경 .....	7
2.1 적용대상지 선정 .....	7
2.2. 실험장치 .....	10
2.2.1 저류조 설계 .....	10
2.2.2 판형열교환기 및 히트펌프 운전 조건과 설계 .....	12
2.2.3 이송배관 설계 및 시공 .....	17
2.2.4 웹 기반, 모니터링 및 통합관리 시스템 .....	19
2.3. 사업 대상지 작물관련 생육환경 조사 .....	20
2.4 사업대상지 시설온실 작물별 적정 생육온도 .....	22
III. 온배수열 원예시설 경제성 분석 .....	24
3.1 경제성 접근 관점 .....	24
3.2 발전소 온배수열 에너지 부존량 .....	25
3.3 시설원예 난방비 비중 .....	26
3.4 경제성 분석 모형 .....	28
3.4.1 비용 편익 분석 .....	28
3.4.2 순현재 가치 ( Net Present Value ) .....	31

3.4.3 내부수익률( Internal Rate of Return ) .....	35
3.4.4 LOCE 에너지 균등화 발전비용 .....	39
3.4.5 LOCE 경제성 모형을 통한 분석 .....	40
3.4.6 Payback period 분석 .....	46
3.5 온배수 배출에 의한 어업피해 .....	51
3.6 환경적 측면에서의 경제성 평가 .....	52
IV. 결 론 .....	54
참고문헌 .....	56

## List of Figures

Fig. 1	Thermal effluents project Site (Shinchon Farm Association) .....	8
Fig. 2	Thermal effluents heat source supply system diagram .....	8
Fig. 3	Components of waste water heat supply facility .....	9
Fig. 4	Highly integrated plate heat exchanger diagram .....	14
Fig. 5	Plate heat exchanger installation .....	14
Fig. 6	Heat pump design .....	16
Fig. 7	Water supply line installation .....	18
Fig. 8	Monitoring web page main menu .....	19
Fig. 9	NPV for 20 years .....	33
Fig. 10	NPV sensitivity in accordance with investment rate .....	34
Fig. 11	IRR(Internal Rate of Return) for 20 years .....	37
Fig. 12	IRR sensitivity in accordance with investment rate .....	38
Fig. 13	LOCE results for each energy sources .....	44
Fig. 14	LOCE comparison between wastewater and geothermal in distance .....	45
Fig. 15	Payback Period Net Cash Flow for 20 yrs. ....	49
Fig. 16	Payback Period Net Discounted Cash Flow for 20 yrs. ....	50

## List of Tables

Table 1	The roles of stakeholder and expected effects	4
Table 2	Storage tank capacity calculation standard	11
Table 3	Plate heat exchanger capacity	12
Table 4	Heat pump capacity	15
Table 5	Temperature conditions of facility crops	21
Table 6	Optimal temperature condition of lily	23
Table 7	Optimal temperature conditions of tangerine	23
Table 8	Heating cost rate from operating expenses	27
Table 9	Comparison between benefits costs	30
Table 10	Analysis for IRR, gross return, and net cash flow	36
Table 11	Each energy sources'LOCE standard	42
Table 12	Each energy sources LOCE result	43
Table 13	Payback period calculation	47
Table 14	Payback cash flow for 20 yrs.	48
Table 15	Facility tangerine CO <sub>2</sub> emission per 10a	53

## Nomenclature

$B/C$	비용편익 분석
$C$	비열(Mcal/m <sup>3</sup> · °C)
$C_t$	t년도의 투입된 총투자비용
$E$	부존량(Mcal/y)
$F_t$	t년도의 연료비용
$I_0$	초기투자비용
$IRR$	내부수익률
$LCC$	Life Cycle Cost
$LCOE$	Levelized Cost of Energy
$LCQ$	Life Cycle Quantity
$NPV$	순현재가치
$OM_t$	t년도의 운영 및 유지보수비용
$Payback\ period$	기간회수법
$Q_t$	t년도의 생산물량(열에너지 kcal)
$r$	할인율
$W$	연평균 온배수 배출량(t/y)
$\Delta t$	이용온도차(°C)

## SUMMARY

This study was conducted analysis for economic evaluation of greenhouse facility using power plant waste heat. To achieve technically-feasible and socially-desirable sustainable management of urban areas, Wastewater is no longer seen as a wasted resource, but rather, as a mining ground from which to obtain valuable chemicals and energy; for example, heat energy, which is often neglected, can be recovered from wastewater for different purposes.

Recently, S. Korean government is focusing on renewable energy. For this reason, several unused energy sources have become attractive and it was found that power plant waste heat has the greatest potential for application in this scenario. To supply hot water to the greenhouse facility that located at 3km away from power plant, recovered heat source from Korea Midland power plant and supply to the Sinchon Baekhap farm association through a pipeline. To evaluate the heat source of power plant waste heat, this study had a analysis of economic assessment using B/C analysis, NPV, IRR, LOCE, Payback period method. This study found that power plant waste heat's NPV value has been positive since the 6th year of the project implementation, and after 20 years, NPV = 3,992,811,588 won. When IRR was analyzed, it has shown that the IRR = 20.325% for 20 years. In terms of LOCE, it is lower than other renewable energy sources such as geothermal energy, biomass energy, and steam renewable energy. The reason why the power plant water waste heat's LOCE is higher than others is to construct the facility system, the initial cost is much higher. Although, the power plant water waste heat's LOCE is higher than others it has advantages such as prevention of coastal ecosystem destruction and fisheries damages.

# I. 서 론

## 1.1 연구의 배경

현대 인류문명은 지난 200년간 석유, 석탄, 천연가스과 같은 화석연료로부터 번영의 에너지를 얻었다. 그러나 현재 우리를 둘러싼 에너지환경을 살펴볼 때 우리는 이제 인류가 화석연료로부터 지속적인 에너지를 얻을 수 있을지에 대한 확신을 얻기 어려운 시대를 살고 있으며 이에 따른 세계 각국의 에너지 자원 확보경쟁이 갈수록 심화되고 있다. 따라서 지속적인 사회적, 경제적 발전을 위한 동력을 제공하고 동시에 잠재적으로 초래될 환경적, 사회적, 정치적 파급효과에 대처할 수 있는 에너지를 확보하는 것은 21세기에 세계 사회가 풀어야 할 중대한 과제이다[1].

최근 정부가 추진하고 있는 녹색성장은 신재생에너지를 보급 확대하여 탄소배출 등 환경부하를 최소화하고, 신 성장 동력원으로 신재생에너지를 개발, 보급 확대하는데 중점을 두고 있다. 2014년 7월에 온배수 열원 이용 기술이 “8대 에너지 신산업”으로 선정된 데 이어, 2015년 3월 제26169호로 공포된 “신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법 시행령 일부개정령”에 수열에너지가 신재생 에너지원으로 포함됨에 따라 다각적인 활용방안이 논의되고 있다.

농어촌 연구원의 분석에 따르면, 전국 연안 30개 발전소에서의 일일 온배수 배출 총량은 약 1억 3천만 톤이다. 온배수의 온도가 평균 7°C 상승하여 배출된다고 가정할 경우, 에너지원으로서의 부존량은 3.4억Gcal/yr으로 추정된다[4]. 이 중 농어촌지역의 발전소 온배수 에너지 부존량은 전체의 83%에 이른다. 이에 따라 발전소 온배수는 화석 연료에 대한 에너지 집중도를 낮추고 지역 밀착형 대안 에너지원으로서 주목받고 있다.

에너지화가 가능한 자원을 조달하는 것이 상대적으로 용이한 농업분야는 타 산업분야에 비하여 에너지 선순환을 통한 절감 모델 개발에 유리한 조건을 가지고 있으며, 도시지역 보다는 농촌지역이 신재생에너지 생산에 비교적 적합하다고 할 수 있다. 발전폐열을 활용한 온실 난방은 발전소 인근에 기존 온실이나 신규 온실단지를 조성하여 발전폐열을 활용하는 방식으로 열병합 발전에 비하면 매우 낮은 투자비로 가능하기 때문에 최근에

주목 받고 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, 시설원예 작물이 필요로 하는 최적의 환경을 조성하여, 생육과 출하시기를 조절함으로써 경쟁력을 갖추고, 농가수입의 증대효과를 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 재 활용함으로써 폐자원 활용제고에 기여할 수 있다[2].

## 1.2 온배수 개념 및 사회적 의의

온배수(溫排水, thermal effluents 또는 thermal discharges)란 자연에서 취수한 물에 인위적으로 열에너지를 가미하여 수온이 높은 상태로 다시 자연으로 배출되는 물을 말하며, 열에너지 외에는 어떠한 물질도 첨가되지 않은 상태의 물을 말한다. 화력, 원자력발전소가 전력을 생산하는 과정에서 열이 발생하게 되는데, 이러한 열을 냉각하는 과정에서 물의 온도가 상승된 상태에서 보유하고 있는 열에너지를 의미한다[3].

일반적으로 화력발전소의 열효율은 약 40% 수준으로 전력 생산에 활용되며, 나머지 40%는 설비의 폐열, 20%는 배출가스 폐열로 발생된다. 이러한 폐열의 처리에 있어 가장 경제적인 방법은 해수를 냉각수로 사용하는 관류냉각방식(once through cooling system)으로 자연에서 취수된 해수를 복수기(condenser)에서 열 교환한 후 온배수 형태로 바다에 되돌려 보낸다. 관류냉각방식의 복수기 설계치에 따라 다소의 차이는 있지만 복수기 양쪽 온도차는 저온복수기가 6~11℃ 범위이고, 고온복수기는 14~17℃ 범위이다.

온배수를 열원으로 한 신재생에너지 활용범위를 적극 넓혀가야 할 이유를 살펴보면, 폐열이 부하된 온배수를 다시 바다로 되돌려 보낼 경우 상승된 수온으로 인해 인근 해양 생태계의 교란과 수산업종의 피해가 불가피하기 때문이다. 현재, 우리나라는 발전소 온배수 배출 및 사용에 관한 별도의 법률은 없는 상황이며, 타 법률을 준용하여 사용하고 있는 상황으로 농어촌지역에 발전소 온배수를 활용하기 위해서는 「발전소 주변지역지원에 관한 법률」, 「신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법」, 「에너지이용합리화법」 등을 준용하여야 한다[4].

온배수 관련 사회적 의의를 살펴보면 Table 1 과 같이 먼저, 지자체는 영농법인 설립지원 인허가와 재배기술 지원, 지역민 사업 참여를 유도하고 이로 인해 지역사회 고용 및 경제 활성화, 고품질 작물재배로 농가 소득증대, 어족자원 증가 및 어민 소득증대 기대효과를 얻을 수 있다. 정부부처의 역할은 예산 및 정책지원, 사업 확산 기반 구축을 담당하며, 이로 인해 1차 에너지 절감 및 온실 감축, 에너지원가 절감으로 농어업 경쟁력을 향상하는 효과를 기대할 수 있다. 발전회사는 열 공급 설비설계, 안정적 열 공급설비 건설 및 운영, 저 원가 열에너지 공급의 역할을 담당하

며, 미활용에너지 개발로 인한 효율향상, 지역사회 상생으로 발전소 님비현상 해소 기대효과를 얻을 수 있다. 최종적으로 에너지를 사용하는 농가와 어가는 시설설치 및 적절한 관리를 통해 기존 화석연료대비 저렴한 에너지원을 활용함으로써 작물, 양식 생산 단가를 낮추고 출하시기를 조절함으로써 가격 경쟁력과 시기조절의 용이함과 같은 효과를 기대할 수 있다.

Table 1 The roles of stakeholder and expected effects

Stake holders	Roles	Benefits
Local Gov.	Permission to support establishment of a farming corporation, support for cultivation technology, induce local residents to participate in business	Community employment and economic revitalization High-quality crop cultivation increases farm incomes, increases fish stocks, and increases fishermen incomes
Gov. Department	Budget and policy support (REC, Facility investment cost) Establishment of business expansion infrastructure	1st Energy Savings and Reduction of Greenhouse Gases Enhancement of Agricultural and Fishery Competitiveness
Power Plant Corp.	Heat supply facility design, construction Stable heat supply facility operation Low cost heat energy supply	Improved efficiency through development of unused energy
User (farmer, fishermen)	Construction of facility. facility maintenance	Reduce fuel cost, Improve competitiveness in product cost, variety in crops

### 1.3 연구동향 및 목적

Tae Sub Nam et al.[5]은 온배수 열 시스템의 LCOE 구성요인의 민감도를 측정한 결과, 열 공급 거리에 가장 민감하게 반응하는 것으로 나타났다. 따라서 온배수열 활용사업을 확대시키기 위한 정부의 경제적 유인제도 구성 시 REC 가중치를 열 공급 거리별로 차등 적용하는 것이 필요한 것으로 분석하였다.

Youn Koo Kang et al.[6]은 2010년도 농업분야에서 최초로 화력발전소 온배수를 이용한 온실 난방 시스템(히트펌프 시스템)을 서귀포 소재의 5,280 m<sup>2</sup>의 아열대작물(시설감귤, 망고) 재배 온실에 설치, 경유난방 대비 87%의 난방비 절감 효과와 62%의 이산화탄소 배출 저감 효과를 얻었다고 분석하였다.

Joki Sun[7]은 정부는 발전소 온배수 수열에너지 시장규모, 열에너지 활용수준, 기술경제성 변화, 열판매가격 등 다양한 조건을 지속적으로 주지하여 시장여건 변화를 반영한 가중치 조정을 통해 합리적으로 자원이 활용될 수 있는 환경을 구축해야 된다고 분석하였다.

Kwang Ho Lee et al.[8]은 시뮬레이션을 통해 대규모 시설원예의 난방 에너지 절감을 위한 발전소 폐열 적용가능성을 평가하였는데, 10 ha 규모의 시설원예에 Heat Pump 난방에너지로 사용할 경우 가스보일러 대비 약 85%의 에너지 사용량 절감 효과를 보였으며, 이송 유량이 많기 때문에 재질, 거리 및 비용 등을 종합적으로 고려하여 HDPE관을 사용하는 것이 50%정도 저렴하기 때문에 가격 대비 효율 측면에서 합리적인 것으로 분석하였다.

Ok Hwan Yu et al.[9]의 연구에 따르면, 발전소 배수구 인근 정점에서 우점하는 버들갯지렁이의 개체수는 발전소 정지 중에는 감소하였다가, 발전이 재가동 된 후 개체수가 급격히 증가하였다. 미국 플로리다주 발전소 배수구 근처에서는 기회주의적인 개체수가 높게 출현하였다고 분석하였다.

Jung Hee Jo et al.[10]의 연구에 따르면 전문적인 종묘 생산업자가 온배수를 활용할 경우 종묘 생산 시 총 비용의 약 70% 정도의 비용인 가온비를 절약할 수 있어 경제성이 매우 높다고 할 수 있다. 중간 육성의 경우 사육수 공급량이 많아 온배수 활용도가 높아지며 먹이 배양 시설이 불필요하므로 시설비용이 절감되고 생산되는 어패류를 판매까지 가능하여 주변 어민들에게도 직접적인 소득 창출의 계기가 될 수 있다고 분석하였다.

Kyoung Ho Park [11]의 연구에 따르면 광주광역시 광산구 D 아파트에 저온 폐열수를 열원으로 한 축열식 히트펌프 시스템을 적용하였다. 아파트 상가 및 관리 사무소 건물을

냉난방하는 조건하에, 축열식 히트펌프 시스템을 적용, 배수열을 재이용할 경우 보일러와 냉동기 조합의 시스템보다 연간 비용이 12,679,000원 정도 절감되는 것으로 분석하였다. 이 연구는 시설원예 분야에 신재생에너지를 이용하여 기존에너지와의 비교분석을 통해 농가의 비용절감 효과 및 소득증대, CO<sub>2</sub> 절감효과 등 경제, 환경적 측면에서 계측하여 경제성 평가를 목적으로 하였다.

본 연구에서는 발전소 배출 온배수를 활용한 원예시설의 난방장치의 경제성에 대하여 분석 연구하는데 목적이 있으며, 제주특별자치도 조천읍에 설치된 실증용 발전소온배수 이용 난방장치를 모델로 하여 발전소 온배수가 갖고 있는 미래형 신재생 에너지원으로서의 잠재적 가치를 살펴보고, 환경적인 측면을 고려한 경제성 분석 모형을 통해 다른 에너지원과 비교, 분석하여 진행하였다.

## II. 실험장치 및 시설온실 작물 생육환경

### 2.1 적용대상지 선정

제주화력본부의 온배수 활용 열펌프 시스템의 적용대상지는 신촌백합영농조합법인이다. 유리온실 5농가 1만 6,471 m<sup>2</sup>, 비닐하우스 6농가 7만 7,106 m<sup>2</sup> 등 모두 11농가 약 9만 5,000 m<sup>2</sup> 규모의 화훼단지로서, 주로 백합을 생산하며 일본 지역에 수출하고 있다. 겨울철의 경우 기존에는 농업용 유류온풍기(중유사용) 혹은 전기온풍기를 이용하여 고온성 화훼 작물의 생육조건을 유지하였다.

온배수 활용을 통한 가온 난방비 절감을 위해, 우선적으로 Fig. 1, Fig. 2와 같이 인근 1 ha의 면적에 해당하는 농가에 농 온수를 공급하기 위한 열펌프 시스템을 구축하였다. 적용대상지 농가는 제주화력본부로부터 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 열교환한 후, 담수를 원거리의 적용대상지로 수송하는 방안으로 결정하였다.

온배수 공급열 최적화 방안에 따른 시공완성 모습은 Fig. 3과 같다. 발전소 주위에 저류조 및 제 1기계실을 구축하여 판형열교환기를 설치하였으며, 온배수가 수공관로를 통하여 사업대상지까지 이동되고, 제2기계실은 시설원에 사업지에 구축하여, 히트펌프를 설치하였다.



Fig. 1 Thermal effluents project site (Shinchon Farm Association)

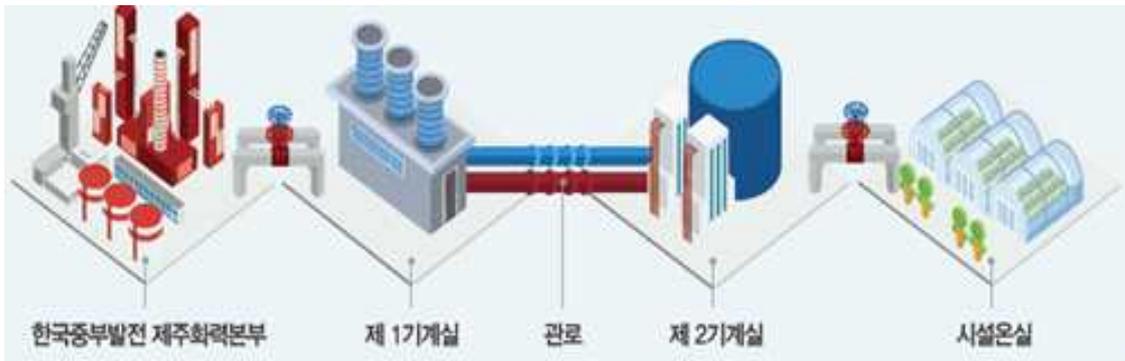


Fig. 2 Thermal effluents heat source supply system diagram



(a) 1<sup>st</sup> facility system



(b) storage tank



(c) supply pipeline



(d) 2<sup>nd</sup> facility system



(e) heat pump



(f) plate heat exchanger

Fig. 3 Components of waste water heat supply facility

## 2.2. 실험장치

### 2.2.1 저류조 설계

저류조 에서 일부 우회유량을 지속적으로 순환시켜 발전소 인근의 제 1기계실에서 관형 열교환기를 통해 담수로 열원을 공급하며, 이후 원거리 관로를 통해 담수를 시설온실 인근의 제 2기계실로 수송하고, 제 2기계실 내에 설치된 열펌프 시스템에서 냉·난방수를 생산하여 공급한다.

제 1기계실과 제 2기계실 사이의 구간에는 지중관의 누수 탐지를 위해 온습도 센서를 설치하고, 모니터링 시스템을 적용하여 관리 모니터링 시스템을 구축하였다.

Table 1과 같이 1 ha와 10 ha 부지에 대한 공급열량으로부터 분당 온배수의 순환유량을 계산함으로써 저류조의 규격을 산출하였으며, 추후 적용대상지 확장을 고려하여 10 ha에 대한 공급열량을 기준으로 하면, 온배수로부터의 열전달율은 3,000 RT가 되어야 하며, 이는 10.5 MW에 해당하는 수치이다.

온배수와 담수 간 열교환을 통해 온배수의 온도가 6℃ 하강한 후 배수구로 배출될 것으로 가정하면, 상기 열량의 공급을 위해 필요한 온배수의 분당 순환유량은 약 25,000 리터이다.

저류조의 용량은 최소 1분간 10ha 부지에의 열량공급에 필요한 유량인 25,000 리터 이상을 수용할 수 있는 규격으로 설계한다. 저류조의 폭과 너비를 2.5m로 설계했을 때, 저류조의 높이는 최소 4m 이상이 되어야한다. 이는 저류조의 최저수위에 해당하며, 최고수위에 도달했을 때의 여유도까지 고려하여 저류조의 총 높이는 9m로 결정하였다.

Table 2 Storage tank capacity calculation standard

Type		1 ha	10 ha
Heat transfer rate	[RT]	300	3,000
	[kW]	1,055	10,549
	[Mcal/hr]	908	9,076
Temperature difference	[°C]	6 °C	
Flow rate	[m <sup>3</sup> /hr]	151	1,513
	[L/min]	2,521	25,212

## 2.2.2 판형열교환기 및 히트펌프 운전 조건과 설계

열교환기 설계데이터는 발전소 온배수의 조건을 고려하여 Table 2 에 사양을 표기하였다. 대규모 수용가에 에너지를 공급하기 위해서는 온배수 열회수 설비의 고집적화가 필요하며, 내부식성 및 저과울링 성능을 갖는 고집적 고성능 열교환기의 필요조건을 충족시키기 위해 고집적화를 위한 열전달계수  $5,000 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ 급, 열교환 집적도  $200 \text{ kW/m}^2$ , 최대  $700 \text{ kW}$ 급을 목표로 하여 Fig. 4와 같이 열교환기를 설계하였다.

판형 열교환기 설계코드는 ASME Section VIII Div.1을 따랐으며, 수요처의 난방을 목적으로 하여 온배수측(바닷물, 온수) 입구온도를  $22^\circ\text{C}$ , 작동유체(담수, 냉각수)의 입구온도를  $13^\circ\text{C}$ 로 설정하였으며, 온배수의 최대 공급 압력이  $5 \text{ bar}$ 로 설계하였고,  $1 \text{ ha}$  온실에 필요한 난방부하를 계산하여 필요 열량을  $523 \text{ kW}$  이상으로 선정하였다.

히트펌프와 관련하여, 본 연구는 현재 가장 많이 사용되고 있는 HFC계의 냉매인 R-410A 냉매와 열역학적인 특성 비교하기 위해 동일용량으로 개발된 Low GWP 냉매를 적용한 압축기를 이용하여 수열원  $40 \text{ RT}$  제품으로 시스템을 Fig. 5와 같이 설계하여 실험을 진행하였다.

주요 부품에 대한 제원은 Table 3에 나타내었으며, 열교환기는 Fig. 4의 설계도면과 같고, 고집적화를 위한 열전달계수  $5,000 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ 급, 열교환 집적도  $200 \text{ kW/m}^2$  및 최대  $700 \text{ kW}$ 급을 목표로 하였다.

온배수용 열교환기 재질은 내부식성이 좋으며, 대형화가 가능한 티타늄 판형열교환기가 적합하므로 사용 유체인 해수에 강한 티타늄을 전열판 재질로 선정하였다. 열교환기 전열판은 온배수 열교환기는 높은 열회수를 필요로 하므로 일정한 전열 길이가 확보되어야 하며, 고효율 특성을 가지기 위해 폭 대비 길이의 비를 키우고 내부의 유속을 확보하여 저과울링 특성을 가지도록 외형 및 패턴을 설계하였다.

Table 3 Plate heat exchanger capacity

Design code	ASME Section VIII Div.1	
Device type	Heat exchanger (Plate & Frame type)	
Working fluid	Hot : sea water	Cooling : fresh water
Inlet temperature	22.0℃	13.0℃
Pressure	5.0 kg <sub>f</sub> /cm <sup>2</sup> G	5.0 kg <sub>f</sub> /cm <sup>2</sup> G
Heat capacity	450,000 kcal/hr (523 kW) ~ 630,000 kcal/hr (732 kW)	
Pipeline diameter	150A-10K	
Installation area	3.5 m <sup>2</sup>	

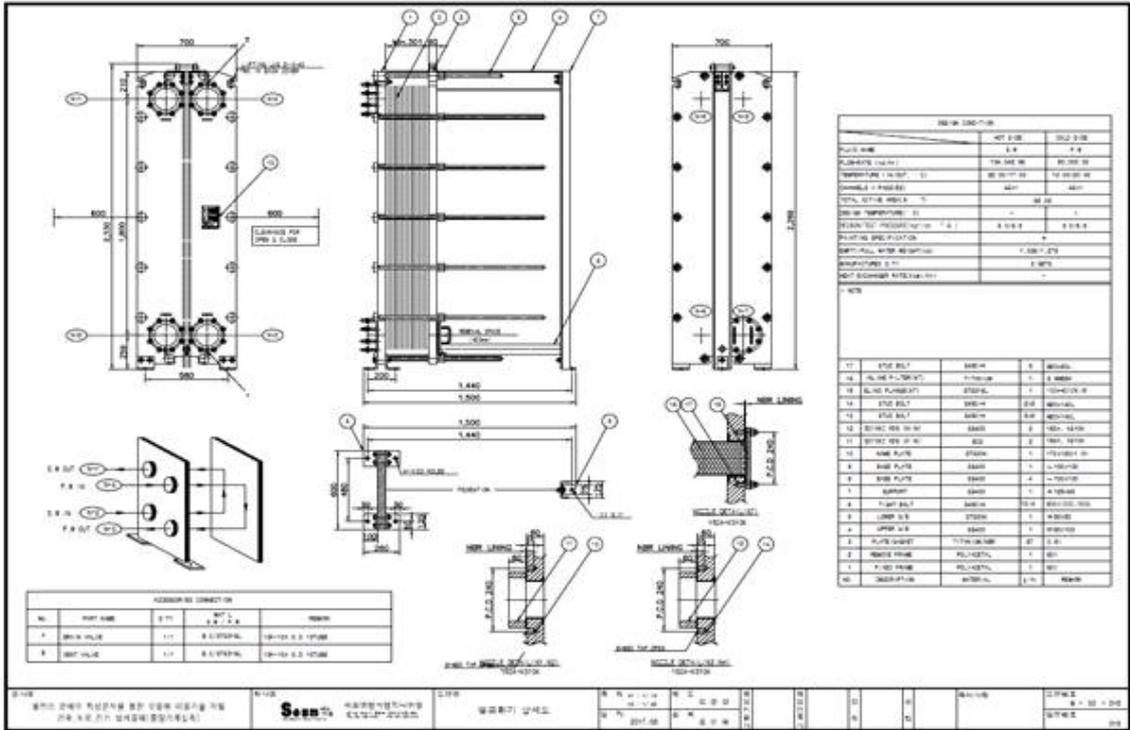


Fig. 4 Highly integrated plate heat exchanger diagram



Fig. 5 Plate heat exchanger installation

Table 4 Heat pump capacity

Components	Water based 40 RT	
	R-452B(LOW GWP)	R-410A
Compressor(20HP)	DSH240 * 2(Discharge:47.8 m <sup>3</sup> /h)	SH240 * 2(Discharge:47.8 m <sup>3</sup> /h)
Oil	POE-160SZ	POE-160SZ
Condenser/Evaporator	B3-210 (Heat area:24.3 m <sup>2</sup> )	B3-210 (Heat area:24.3 m <sup>2</sup> )
Expansion valve	TGEL-23TR * 2	TGEL-23TR * 2
Refrigerant charge(kg)	10.6 * 2	11.5 * 2

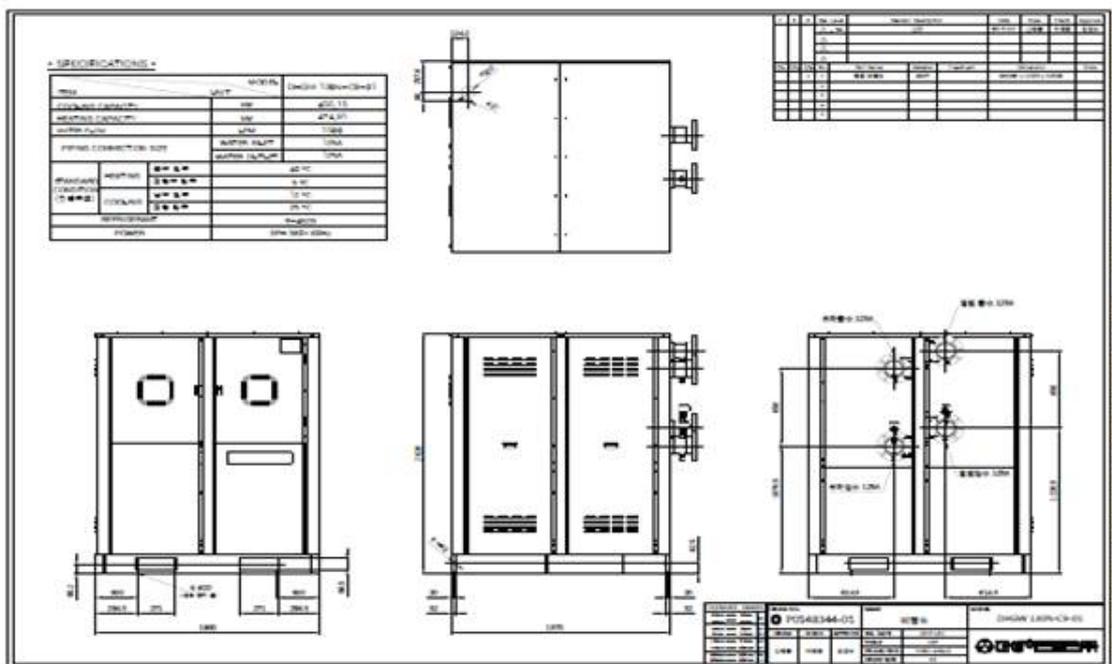


Fig. 6 Heat pump design

### 2.2.3 이송배관 설계 및 시공

관로 시공방법은 지중매립과 공기 중 노출의 경우를 비교하였으며, 지중매립의 경우 토목공사비가 일부 상승하는 것으로 나타났으나, 공기 중 노출 시 외부충격에 의한 배관의 파손, 태양열의 의한 파이프재질의 열화, 배관 고착을 위한 프레임 장치 설치 등을 복합적으로 고려하여 지중매립으로 시공하였다.

Fig. 7은 단열배관과 골조 및 자갈 등 보조기층을 사용한 시공방법으로 배관의 온도 강하를 최소화하고, 분기 배관 및 관로 상태의 상시점검을 위하여 7개소의 점검구를 설치하였다. 오르막 구간에 대한 수압테스트를 수행하여 시공 관로의 누수 여부를 점검한 후 매립하고, 제1기계실에서 제2기계실(약 3 km) 구간에 지중관로 누수 탐지를 위해 계측센서를 설치하고, 모니터링 시스템을 적용하였다.

제1기계실에서 시작된 관로 100 m 구간과 제2기계실 도착 전 100 m 구간에 대하여 유선 시스템을 적용하였으며, 그 외 구간에는 무선 누수 모니터링 시스템을 구축하여 유·무선 누수 탐지 기술을 적용하였다.



Fig.7 Water supply pipe line installation

## 2.2.4 웹 기반, 모니터링 및 통합관리 시스템

온배수 수열원 활용 시설온실의 환경제어 및 통합관리시스템 구축하여 실시간 통합 모니터링 할 수 있도록 웹기반 시스템을 적용하였다. Fig. 6과 같이 메인메뉴에는 사용자 및 관리자 로그인이 있으며, 위치별 기능별, 장비별 실시간 상태 계측자료 수집 및 데이터베이스화 할 수 있다. DB 시스템 및 자료처리, 통계 등을 자료화해서 서버에 저장화가 가능하다.

	1	Project title
	2	Menu, statistics, alert and option
	3	Main menu & facility system
	4	Overall system
	5	Manager & user log in alert

Fig. 8 Monitoring web page main menu

### 2.3 사업 대상지 작물관련 생육환경 조사

국내 시설온실 재배 작물의 종류별, 생애별 적정 온습도 데이터베이스를 확보하고, 검토한 결과 시설온실 작물은 작물 종류에 따라 생육온도가 다르며, Table 4와 같이 고온성, 중온성, 저온성 작물로 나뉘고 있음을 알 수 있었다.

온배수를 활용하여 시설원예 작물을 가온할 경우, 화석연료의 사용을 줄이고, 난방비 부담을 줄임으로써 고온성 열대작물 재배의 생산단가 경쟁력을 확보하고 다양한 품종을 재배할 수 있다는 장점을 가지고 있다.

한 예로, 애플망고의 경우에는 제주지역 행복나눔영농조합의 발전소의 온배수를 활용하여 재배하고 있다. 남부발전은 제주특별자치도 농업기술원 서부센터와 국내 최초로 조성한 ‘발전소 온배수 이용 시설원예 시범단지’에서 생산한 애플망고가 2013년 3월 첫 수확돼 약 2.5 톤의 분량이 전국 농협 및 서울 갤러리아 백화점 명품관 등 유명 백화점을 통해 국내에 출하되고 있다.

Table 5 Temperature conditions of facility crops

Type	Vegetables	Flowers
Hot weather	paprika, melon,pepper, eggplant	cymbidium, rose, lily, palm, phalaenopsis, chrysanthemum, eustoma, ananas
Warm weather	pumpkin, cucumber, cucumis, radish, watermelon	figus, carnation, gladiolus, orchids, cactus, gerbera
Cold weather	strawberry, cabbage, lettuce, spinach, celery,	tulip, snapdragon, stoke, daisy, iris, pansy, gypsophila, freesia, cyclamen

## 2.4 사업대상지 시설온실 작물별 적정 생육온도

품질이 좋은 백합 생산을 위해서는 백합의 구근 정식 시 여름철 시설온도를 28℃이하로 유지 하는 게 필수이며, 여름철 정식 시기 하우스 시설내 온도관리에 주의해야 한다. 온도를 내리기 위해서는 환기만으로는 어렵기 때문에 차광 및 냉방시스템을 활용하여, 온도를 최대한 낮춰줘야 한다. 차광은 구근정식 1주일 전부터 50% 차광망을 설치하여 온도를 낮추고, 정식 후 2~3주 동안은 충분한 관수를 하여 토양온도를 낮추면서 구근과 흙이 밀착되어 뿌리내림 등 초기생육이 원활하게 이루어지도록 해야 한다. 이것을 정리하면 Table 5와 같이 백합의 생육적정온도는 20~25℃로 여름철 냉방 및 겨울철 난방을 통한 철저한 온도관리가 필수적이다.

만감류 (블러드오렌지, 한라봉)의 경우에는 아열대과수로 추위 내한성이 약하고 수세가 약한 편이며, 봄순에 착과성이 떨어지는 경향이 있으며, 증당이 잘되는 반면 감속도가 늦은 편이다. 생육기간 내내 높은 온도를 필요로 하며, 노지 재배 시에는 품종 특성이 잘 나타나지 않는 등 시설재배를 필요로 하는 작물이다. 만감류의 경우는 Table 7 과 같이 생육기, 성장기, 완숙기, 수확기에 따라 적정온도가 필요하다.

특히, 본 연구의 실증대상지인 제주도는 지역특화산업으로 감귤 및 만감류 등 시설온실재배 비중이 높은 편으로, 동해피해, 저온, 서리, 한파 등의 기후변화 대응과 더불어 동일면적을 재배할 경우, 노지보다 시설농사 소득이 높아 시설온실(비닐 및 유리 시설온실), 냉난방기 및 관련 설비를 구축하는 등 시설온실에 대한 투자가 늘고 있다. 화석연료를 사용하는 가온방식은 농가의 난방비 부담을 늘린다는 단점으로 일부 아열대작물재배농가에서는 지열을 이용한 히트펌프를 사용하거나 화력발전소에서 온배수의 형태로 배출되는 폐열을 열원으로 활용하기도 한다.

Table 6 Optimal temperature condition of lily

Minimum limit Temp.	Night time temp.	Optimal temp. Growth	Maximum limit temp.
13℃	16℃	20 ~ 25℃	30℃

Table 7 Optimal temperature conditions of tangerine

Early growth	Growing time	Summer and maturity season	Harvest season
Daytime 20℃, Night time 10℃	28℃ less (ceiling open)	15℃ ~ 20℃	More than 2℃

### Ⅲ. 온배수 원예시설 경제성 분석

#### 3.1 경제성 접근 관점

2014년 9월 4일 에너지신산업 대토론회 이후 산업통상자원부에 에너지 전담조직을 신설하고 후속조치를 차질 없이 이행하기 위하여 민·관 합동 채널로 에너지 산업 협의회를 구성하였다. 그 결과 2015년 5월 산업통상지원부에서는 화력발전소 온배수를 농업용수로 이용할 수 있다고 발표하면서 8대 에너지 신산업으로 분류되었다.

하지만 친환경적인 자연에서 얻는 타 신재생 에너지원과 달리, 아직까지 화석연료를 사용하는 발전소의 폐열을 신재생 에너지로 활용하는 것에 대한 의문을 꾸준히 제기하는 환경단체와 정치권의 시각이 남아있는 것도 현실이다. 온배수를 에너지원으로 한 신재생에너지 사업이 아직은 초기단계이고, 기술적인 측면에서도 더 보완이 필요한 만큼, 현 시점에서는 온배수가 갖는 에너지원으로서의 잠재적 활용 가치와 환경적 측면에서의 긍정적 평가를 통한 경제성을 평가하는 것이 더 합리적으로 보인다.

먼저, 신에너지 및 재생에너지 개발 이용 보급 촉진법에 기초한 “농업에너지이용 효율화사업”의 목적을 보면 신재생에너지 이용기술의 농업시설 적용 및 확대보급 기반 구축, 국제유가, 농자재 가격 상승으로 인한 농가의 경영비 부담 경감을 주요 목표로 하고 있으며, 지원 형태는 국고보조 60%, 용자 10%, 지방비 20% 및 차부담 10%로 구성되어 있다. 사업대상자는 냉난방이 필요한 시설을 운영하는 농업인, 농업법인, 생산자단체이다. 대상 생산물 요건으로는 설비의 효율성 및 경제성을 높일 수 있으며, 난방을 필요로 하는 작물을 선택하여야 하고, 지원자금 용도는 시설 도입을 위한 토목, 건축, 히트펌프 등 열원 이용, 이송설비 및 전기용량 증설 등 사업 시행을 위한 제반 비용으로 명시하고 있다.

### 3.2 발전소 온배수열 에너지 부존량

화력발전소는 물을 끓인 증기를 이용하여 터빈을 돌려 화력발전을 하는 발전소이다. 터빈을 지난 물은 복수기에서 냉각된 후에 다시 사용된다. 일반적으로 화력발전 시설은 석탄, 석유, 천연가스 등 화석연료를 보일러에서 태워 얻은 고온(250~300℃) 고압 증기로 증기터빈을 돌려 기계에너지를 얻고, 이 기계 에너지로 발전기를 돌려 전기를 생산한다.

이러한 화력발전시설의 열효율은 36~41% 범위로 사용되는 화석연료의 약 60%에 해당하는 폐열이 발생하며, 이 중 1/3은 굴뚝과 복사열로 소멸, 나머지 40% 내외는 냉각시설을 통한 처리를 요한다[9].

산업부 발표에 따르면 국내 연간 총 온배수 배출량은 563.54 억톤이다. 이 가운데 화력발전소 온배수는 연 286.18 억톤이다. 온배수 비열( $C = 1.0 \text{ Mcal/m}^3 \cdot ^\circ\text{C}$ ), 연평균 온배수의 온도차를 7℃로 적용했을 때, 식 (1)에 의해 온배수열 에너지 부존량을 계산하면 국내 화력발전소의 온배수의 에너지 부존량은 200,326 Tcal/y이다. 이것은 2014년 한국지역난방공사 열 생산량인 12,125 Tcal/y의 약 17배에 달하는 양이다.

또한 이를 시설원에 난방열로 활용할 경구 12,068 ha를 가온할 수 있다. 우리나라 전체 시설채소 온실면적 51,787 ha의 23%를 부담할 수 있는 에너지량이다[12].

$$E = \Delta t \times C \times W \dots\dots\dots (1)$$

여기서,

E = 부존량(Mcal/y)

$\Delta t$  = 이용온도차(℃)

C = 비열(Mcal/m<sup>3</sup>·℃)

w = 연평균 온배수 배출량(t/y)

### 3.3 시설원에 난방비 비중

시설원에 경영비 중에서 가장 큰 비중을 차지하는 부분은 난방비와 관련이 있으며, 그 비중은 Table 8과 같이 정리하였다. 특히 과수와 화훼 작물과 같은 경우에는 타 작물보다 더 많은 난방을 유지해야 하며, 감귤과 같은 경우에는 난방비 비중이 64.6%까지 차지하며, 타작물 역시 평균 30~40% 정도가 난방비로 지출이 된다. 이로 인해 농가에 더 많은 경영비 부담을 가중시킨다.

국제유가는 정치적, 사회적 문제에 민감한 만큼 가격 상승 시 더욱 채산성 악화를 유발하며, 국내 상황에서도 정부의 면세유 지원 폐지 등 외부요인에 의한 농가 경영상황이 악화될 우려가 있다.

이러한 문제를 해결하기 위한 방안 중의 하나로 신재생 에너지가 대두되고 있으며, 그 중 하나로 발전소 폐열을 이용한 온배수 에너지가 에너지 자립과 경제성 향상에 기여할 수 있을 것으로 기대되고 있다.

제주도농업기술원에 따르면 열풍방식에 비해 난방비가 75~78% 절감되는 지열시스템보다 발전소 온배수를 활용 시스템이 10% 더 절감 효과가 있어, 지금까지 개발된 에너지절감 시스템 가운데 발전소 온배수가 가장 효율성이 높았다. 또한 시범사업 결과 1 ha의 시설원에 기준으로 기존 열풍방식은 연 평균 1억 원의 난방비가 들었으나, 발전소 온배수를 이용하면 2,000만원에 그쳐 훨씬 적은 것으로 나타났다. 설치비용도 온배수 이용 시스템이 지열냉난방시스템보다 35% 저렴한 것으로 분석됐다.

이에 따라 제주도는 발전소 온배수 활용을 확대하기 위해 발전소 주변 화훼농가 5.94 ha에 발전소 온배수를 공급해 냉난방을 하는 사업을 2012년 국비지원사업(농어업에너지효율화사업)으로 추진하였다. 사업비는 배관시설비 5억 원과 열펌프를 비롯한 난방시설 등 모두 54억 원이다. 경남도와 경남발전연구원 측은 연구결과를 바탕으로 “시설원예의 발전소 온배수 활용 사업을 확대하기 위해서는 정부가 초기 시설 투자비를 지원하는 등 적극적인 정책 뒷받침이 필요하다.”고 강조하였다[12].

발전소 온배수 활용방법은 지열히트펌프 방식과 유사하나 지열이 아닌 온배수에서 열을 회수한다는 점이 다르며, 지열보다 온도가 높기 때문에 열회수 경제성이 더 높다고 할 수 있다. 하지만 발전소와의 거리에 따른 민감도가 높은 만큼 배송관 설치 등 초기 설치비가 많이 드는 변수가 있다.

Table 8 Heating cost rate from operating expenses

Type		Operating Expense (A) (thousand won/10a)	Heating cost(B) (thousand won/10a)	B/A(%)
Fruit	Tangerine	16,640	10,619	64.6
	Grape	5,025	1,887	37.6
Vegetable	Cucumber	15,224	5,043	33.1
	Pepper	25,434	8,323	32.7
	Tomato	15,684	4,444	28.3
Flower	Chrysanthemum	10,017	2,551	25.5
	Rose	20,971	8,823	42.1

### 3.4 경제성 분석 모형

#### 3.4.1 비용 편익 분석

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. 여기서 편익은 금전적으로 계상할 수 있는 편익뿐 아니라, 비금전적인 편익까지도 모두 포함하는 개념이며, 금전적, 비금전적 편익을 모두 합한 편익이 얼마인지 파악하려면, 양자를 하나의 단위로 환산해서 합할 필요가 있다. 예를 들어, 안전벨트 착용 의무화와 같은 정책을 도입하면, 안전벨트 착용으로 인해 교통사고 사상자가 감소하는 편익이 얼마나 되는가를 계산하게 되는데, 이때 사람의 생명이나 신체적 상해를 금전적으로 평가하는 것이 하나의 사례가 될 수 있다.

이렇게 계산한 값은 이상적으로도 우리가 생각할 수 있는 모든 편익을 합하여 하나의 값으로 계산한 결과이며, 비용의 경우도 마찬가지이다. 만일 정부가 정책을 수행할 경우 국민 전체가 얻는 편익이 비용보다 크다면, 해당 정책은 집행의 필요조건을 충족한다고 할 수 있다.

이 필요조건을 수식으로 적으면  $B > C$  혹은  $\frac{B}{C} > 1$  이 된다. 물론, 이 필요조건을 충족한다고 해서 모든 정책이 추진되는 것은 불가능하다. 그 이유는 정책 수행에 필요한 예산과 자금이 무한하지 않기 때문이다.

$B > C$  가 1보다 큰 사업들 가운데 어떤 사업을 추진할지 결정할 때 활용할 수 있는 하나의 원칙은 각 사업의  $B > C$  값을 비교해서  $B > C$  가 큰 사업들부터 예산이 허용되는 범위까지 사업을 실시하는 것이다[14].

$$B/C = \frac{\sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}} \dots\dots\dots(2)$$

여기서,

$B_t$  : 편익의 현재가치

$C_t$  : 비용의 현재가치

$r$  : 할인율(이자율)

$n$  : 기간

비용편익분석 비교 시 구체적 사항을 살펴보면, 정부의 경우, 편익으로는 이산화탄소 절감, 화석연료 사용감소로 인한 환경관련 지출 감소, 어업피해 보상 감소 등이 있으며, 비용으로는 온배수 시설설비 구축에 따른 보조금 지출이 있다. 농가의 경우, 편익으로는 연료사용 절감, 정부 보조금, 특수작물 경쟁력이 있으며, 비용으로는 초기설치비, 운영관리비, 투자에 따른 이자 등이 있다. 이를 정리하면 Table 9와 같다.

하지만, 비용편익분석이 한계점을 갖고 있는 측면도 있다. 무형의 긍정적 효과를 경제적 가치로 수치화 하는 것이 어려울 뿐만 아니라, 어떤 인자를 편익으로 또는 비용으로 추가할지에 대한 주관적인 판단이 이루어지는 만큼, 큰 그림에서의 평가로 보는 것이 합리적으로 보인다.

Table 9 Comparison of benefits and costs

Perspective	Benefit	Cost
Government	carbon dioxide reduction. environmental cost saving, compensation reduction	subside
User (farmer, fishermen)	fuel usage reduction, electric charge reduction, subsidy, products competitiveness	initial cost, maintenance and management, investment interest cost

### 3.4.2 순현재가치 ( Net Present Value )

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

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+r)^t} - \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t} \dots\dots\dots (3)$$

여기서,

$B_t$  : 편익의 현재가치

$C_t$  : 비용의 현재가치

$r$  : 할인율(이자율)

$n$  : 기간

정책과정에서 사업에 투자되는 비용과 그 결과로 얻게 되는 편익을 현재 가치로 나타내려면 비용과 편익과의 사이에는 시간의 흐름으로 생기는 이자(利子), 화폐가치의 변화, 물가변동 등을 고려해야 한다. 이러한 관계로 사업시행의 결정시점에서 사업완공으로부터 미래에 걸쳐 발생하는 가치를 평가하는 기준이 필요하다. 이 기준이 곧 할인율(discount rate)이다[15].

기존 화석연료 보일러 대비, 유류비 절감측면과 탄소배출권 저감을 통한 환경적인 측면에서의 순현재 가치를 구하면, ‘농업에너지이용효율화사업’ 시행지침에서 제시하고 있는 시설원예 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 4억5천4백만원 및 연간 탄소저감 배출권 6천7백만 원을 적용하였

다. 20년 기준으로 분석했을 경우, 농가 측에서는 사업시행 6년 이후 부터 NPV값이 양수를 보이고 있으며, 20년 후에는 NPV는 약 40억 원으로 분석되었다. 20년간 NPV를 분석한 결과는 Fig. 9와 같이 시간에 비례하여 상승곡선을 나타내고 있으며, 5년이 넘어가는 시점부터 양수를 나타내고 있다. 10ha 기준 온배수 사업비 125억 원에 대한 투자비율 대비 NPV 민감도를 분석한 결과는 Fig. 10과 같이 사업비 대비 농가가 부담하는 투자비율이 올라갈수록 NPV는 반비례해 떨어지고 있다. 현재 시행되고 있는 농가부담 20%에서 50%까지는 NPV가 양수를 보이고 있으나, 그 부담률이 50% 이상 될 때에는 투자대비 이익을 얻을 수 없다.

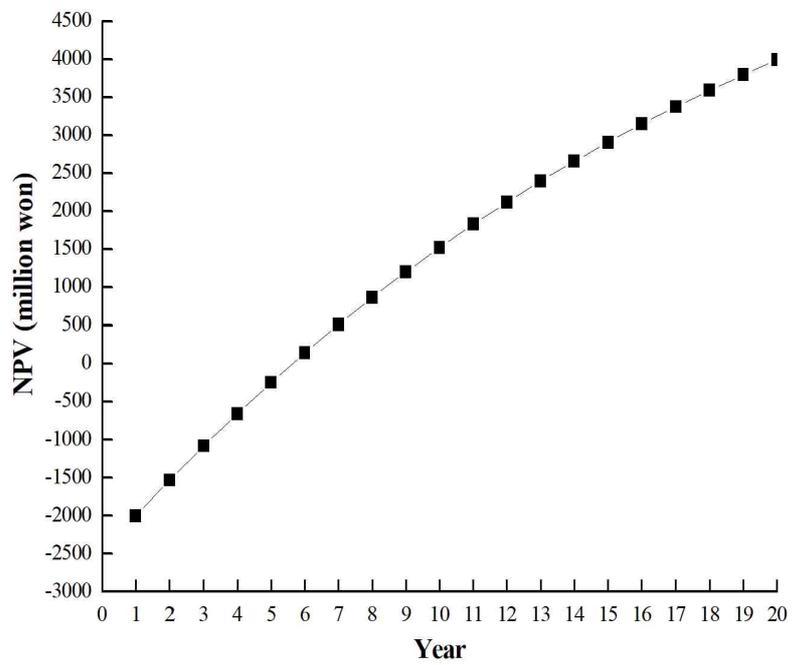


Fig. 9 NPV for 20 years

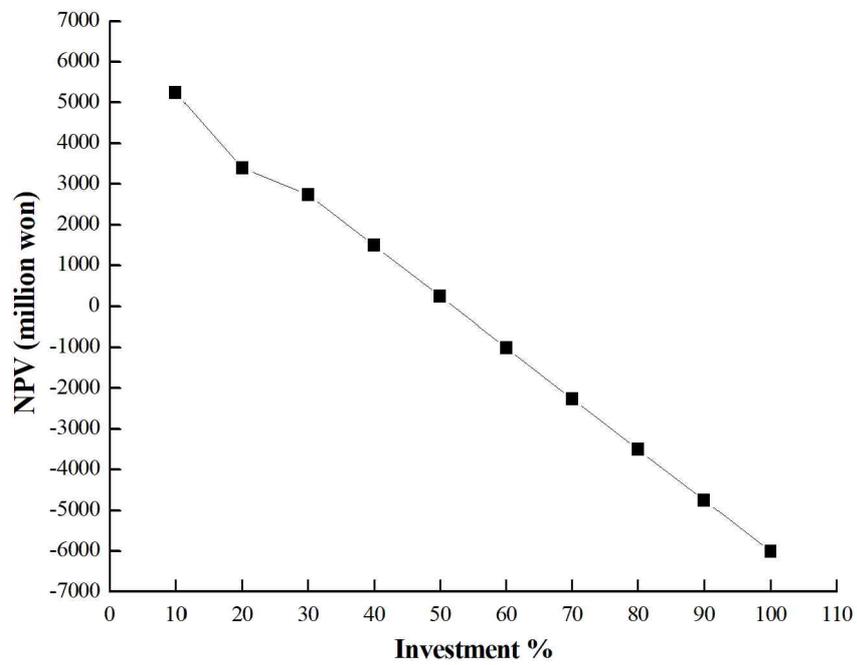


Fig. 10 NPV sensitivity in accordance with investment rate

### 3.4.3 내부수익률

투자 계획에서 발생하는 비용과 편익의 흐름이 있을 때, 해당 투자계획의 현재가치를 '0'으로 만들어주는 할인율을 'IRR'이라고 한다. 이자율이  $r$ 로 일정할 때  $n$ 기간 동안 매 기간마다  $C$ 의 비용과  $B$ 의 편익이 발생할 것으로 예상되는 투자계획의 현재가치를 구하는 식에 이자율  $r$ 을 미지의 값인  $\rho$ 로 대체하고 현재가치의 값을 0으로 만들어주는  $\rho$ 를 구하는 것이다.

이것은  $\rho$ 에 대한  $n$ 차방정식을 푸는 것이고, 이때  $\rho$ 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.

그러나 투자계획의 크기가 서로 다른 경우 IRR을 사용하면 문제가 발생할 수 있다고 알려져 있다. 또한 IRR을 구하는 식은  $n$ 차 방정식이기 때문에 하나의 투자 계획에 대한 내부수익률은  $n$ 개가 나올 수 있다. 따라서 어떤 것을 IRR로 선택할 것인지 결정하기 어려울 수 있다는 단점이 있다[16].

$$IRR = \sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+r)^t} = \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t} \quad \text{or} \quad NPV=0 \quad \dots\dots (4)$$

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 내부수익률을 구하면, '농업에너지이용효율화사업' 시행지침에서 제시하고 있는 시설원에 1 ha 기준 12억5천만 원(10 ha 125억 원)에 근거하여 초기지출비 125억 중 농가 자부담에서 용자를 포함하여 20%인 25억 원으로 정하고, 할인율 5%, 매년 유류비 절감 4억5천4백만원, 탄소저감 배출권 6천7백만원을 적용하였다.

IRR을 분석하면 Table 10과 같이 20년 기준 IRR은 20.325%로 분석되었다.

20년간 IRR을 분석한 결과 Fig. 11과 같이 기간에 비례하여 상승곡선을 나타내고 있으며, 5년이 넘어가는 시점부터 할인율 5%를 넘어서고 있다. 10 ha 기준 온배수 사업비 125억 원에 대한 투자비율 대비 IRR 민감도를 분석한 결과 Fig. 12와 같이 사업비대비 농가가 부담하는 투자비율이 올라갈수록 IRR은 반비례해 떨어지고 있다. 현재 시행되고 있는 농가부담 50% 전까지는 IRR이 할인율 5%보다 높지만, 사업 투자부담률이 50% 이상 될 때에는 할인율 5%를 넘어서면서 투자대비 이익을 얻을 수 없다.

Table 10 Analysis for IRR, gross return, and net cash flow

IRR	20.3 %
Gross Return	316.8 %
Net Cash Flow	7,920,000,000 Won

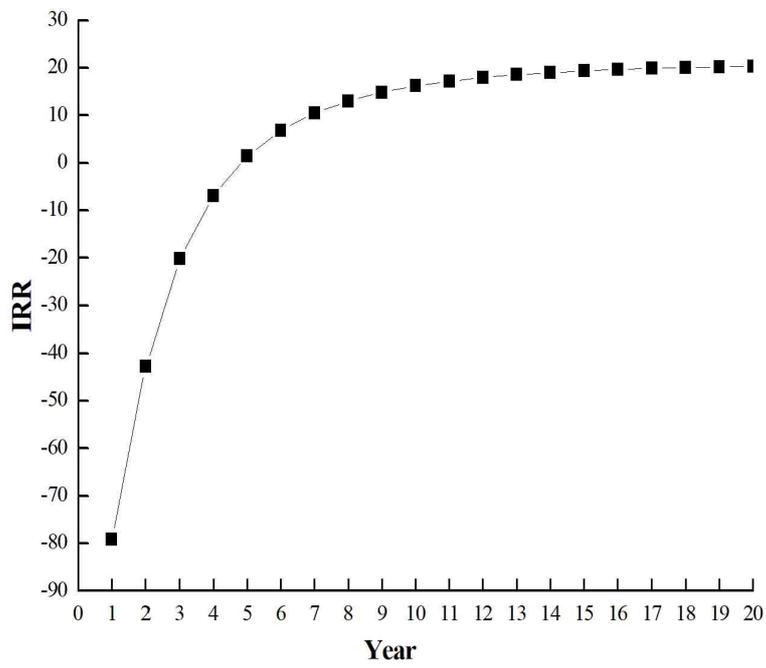


Fig. 11 IRR( Internal Rate of Return ) for 20 years

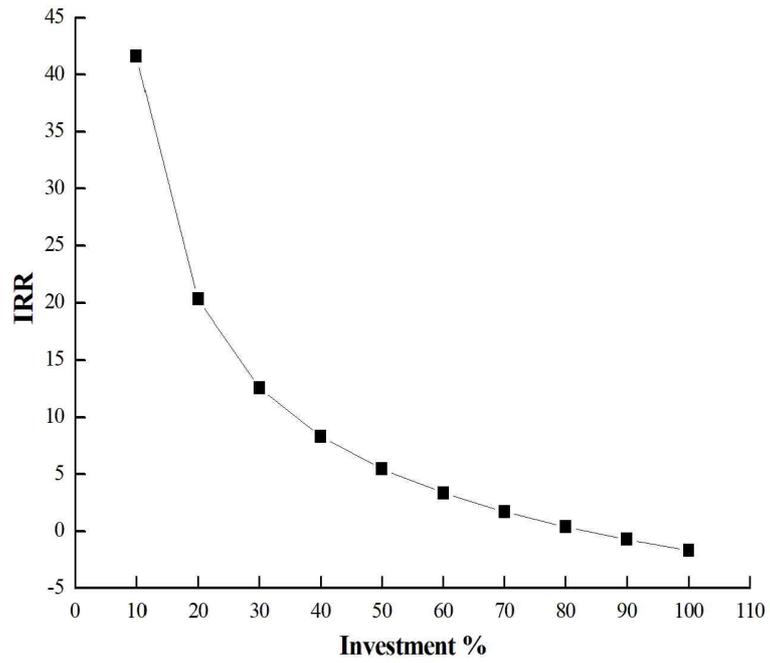


Fig. 12 IRR sensitivity in accordance with investment rate

### 3.4.4 LOCE 에너지 균등화 발전비용

에너지균등화비용(LCOE, Levelized Cost Of Energy)은 에너지 생산설비에서 경제 수명기간동안 발생하는 총비용의 순현재 가치를 동일하게 할인된 에너지총생산량으로 나눈 값이다. 이는 손익분기를 감안하여 에너지를 판매해야 하는 최저가격, 즉 생산원가를 의미한다.

이 값은 비용의 시간가치를 고려하여 미래 비용을 현재 가치화해 생산원가에 반영하기 때문에, 시스템이 장기간 운전될 때 미래 비용을 합리적으로 반영한다는 장점이 있다. 에너지균등화비용 산출식은 식 (5)와 같이 표현한다.[5]

$$LOCE = \frac{LCC}{LCQ} = \frac{I_0 + \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=0}^n \frac{Q_t}{(1+r)^t}} = \frac{I_0 + \sum_{t=0}^n \frac{OM_t + F_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=0}^n \frac{Q_t}{(1+r)^t}} \dots\dots\dots (5)$$

여기서,

- $LCOE$  = Levelized Cost of Energy
- $LCC$  = Life Cycle Cost
- $LCQ$  = Life Cycle Quantity
- $C_t$  = t년도의 투입된 총투자비용
- $Q_t$  = t년도의 생산물량
- $I_0$  = 초기투자비용
- $OM_t$  = t년도의 운영 및 유지보수비용
- $F_t$  = t년도의 연료비용
- $r$  = 할인

### 3.4.5 LOCE 경제성 모형을 통한 분석

에너지균등화비용(LCOE) 산출을 위해 필요한 파라미터는 초기투자비용, 운영 및 유지 보수비용(O&M), 연료비(Fuel), 총 공급열량, 할인율 및 경제수명이다. 모든 열 공급 시스템의 경제수명은 비교 편의성을 위하여 20년으로 공통 적용하였다. 할인율은 A발전회사의 가중평균자본비용(Weighted Average Cost of Capital, WACC)인 5.15%를 적용하였다.

정부는 ‘농업 에너지이용효율화사업 시행지침’에서 온배수열 시스템 설치 사업비로 ha당 12억5천만 원(10 ha 125억 원)을 제시하고 있다. 따라서 본 논문에서는 10 ha당 125억 원을 초기투자비용으로 적용하였다. 운영 및 유지보수비용을 위해 전문 정비업체의 견적을 받아 적용하였다.

비교 대상 열 공급 시스템은 현재 활용되고 있는 지열시스템과 기름보일러, 바이오매스 CHP, 발전소 보조증기로 선정하였다.

지열시스템과 기름보일러의 설치 사업비 및 연료비는 농어촌연구원(2015)에 제시된 비닐하우스 10 ha에 대한 설비용량 8,775 kW의 시스템 공사비와 연료비를 활용하였다. 운영 및 유지보수 비용은 한국에너지기술연구원(2007)에서 제시한 기준에 따라, 지열시스템의 경우 초기투자비의 1.5%, 기름보일러의 경우 초기투자비의 5.0%를 적용하였다. 기름보일러는 겨울철 난방열 연간 14,641 Gcal만 공급하는 것으로 계산하였다.

바이오매스 CHP(Combined Heat and Power plant)는 우드칩을 연료로 하는 열병합 발전소에서 생산되는 열에너지를 지역난방 용도로 공급하는 설비다.

발전소 보조증기란, 발전소 내에서 공용으로 사용하는 20 kg/cm<sup>2</sup>의 증기를 별도장치 없이 열 배관을 통해 직접 공급하는 것을 말한다. 연료비는 연간 공급열량에 A 화력발전의 보조증기 생산원가(17,354원/ton)를 곱하여 산출하였다. 상기 비교 열에너지 에너지균등화비용(LCOE)의 경제성을 비교할 수 있는 지역난방 열 공급 평균 단가는 한국지역난방공사의 열생산 총괄원가인 83.5천원/Gcal을 적용하여 Table 11에 정리하였다[5].

에너지균등화비용(LOCE) 모형을 통해 결과 값을 비교해보면 Table 12와 같이 초기투자비는 지열시스템, 온배수 시스템, 바이오매스, 보조증기 및 기름보일러 순으로 나열된다. 특히, 온배수 지열 시스템은 타 에너지원에 비해 초기투자비용이 전체

에너지균등화비용(LOCE) 결과 값 중 60 ~ 69% 정도로 높게 투입이 된다. 운용비와 관리비용으로는 바이오메스 에너지원이 가장 높게 사용되며, 기름보일러가 가장 낮게 측정되었다. 연료비 측면으로는, 기름보일러가 97.9% 로 가장 높게 사용이 되며, 바이오메스 에너지원이 가장 낮게 사용이 된다.

온배수 에너지원은 24%로 일반 보일러 대비 65%정도 낮출 수 있는 경쟁력을 갖추고 있는 것으로 나타났다. Fig.13과 같이, LOCE 측면에서는, Gcal당 단가를 계산했을 때, 101 천원/Gcal 로 지열에너지와 유사하게 도출 되었으며, 보조증기가 44.1 천원/ Gcal 로 가장 낮은 결과값을 보이고 있다. LOCE값이 작을수록 Gcal당 단가가 낮은 것으로, 온배수, 지열시스템 에너지원이 타 에너지원에 비해서는 아직 비용과 관련한 경쟁력을 갖추지는 못한 것으로 나타나고 있다.

특히, 열공급 거리에 따른 열공급 배관 공사비는 초기 투자비를 구성하는 중요한 요소이다. 따라서 열공급 거리에 따른 온배수열 시스템의 에너지균등화비용(LOCE) 민감도 변화는 별도로 살펴볼 필요가 있다. Fig. 14에서와 같이 열공급 거리가 1 km 늘어날수록 온배수열 시스템의 LOCE는 5%씩 증가한다. 열공급 거리가 2 km 까지는 지열시스템과 같거나 낮은 값을 보이지만, 그 이상으로 증가할수록 온배수열 시스템의 LOCE가 급격하게 증가한다. 따라서 2 km 이내의 온배수의 시스템이 현재로서는 경제성이 확보됨을 알 수 있다.

Table 11 Each energy sources LOCE standard

	Waste heat system	Geothermal system	Conventional boiler	Biomass	Steam	Unit
Discount rate	5.15 (WACC Power plant cost)					%
Life expectancy	20					y
Facility use rate	22.6	25.1	22.1	47.3		%
System capacity	8.4	7.6	7.6	17		Gcal/h
Total kcal	16,600	16,600	13,674	70,828	16,600	Gcal/y
Initial cost	12,500	14,300	18.6	28,193	2,922	Million won/y
Operating & management/y	270	214	9.3	2,900		Million won/y
Fuel cost/y	399	306	1,137	781	495	Million won/y

Table 12 Each energy sources LOCE result

Type	Waste heat system		Geothermal system		Conventional boiler		Biomass		Steam		Unit
Initial cost(I)	12,500	60%	14,300	69%	186	1.3%	28,193	38%	2,922	32%	Million won/y
O&M(OMc)	3,322	16%	2,639	13%	114	0.8%	35,685	49%		0%	Million won/y
Fuel(F)	4,920	24%	3,765	18%	13,991	97.9%	9,610	13%	6,093	68%	Million won/y
LCC	20,742		20,704		14,211		73,488		9,016		Million won/y
LCQ	204,267		204,267		168,262		871,554		204,266		Gcal
<b>LCOE</b>	<b>101.5</b>		<b>101.4</b>		<b>84.9</b>		<b>84.3</b>		<b>44.1</b>		<b>Thousand Won/Gcal</b>

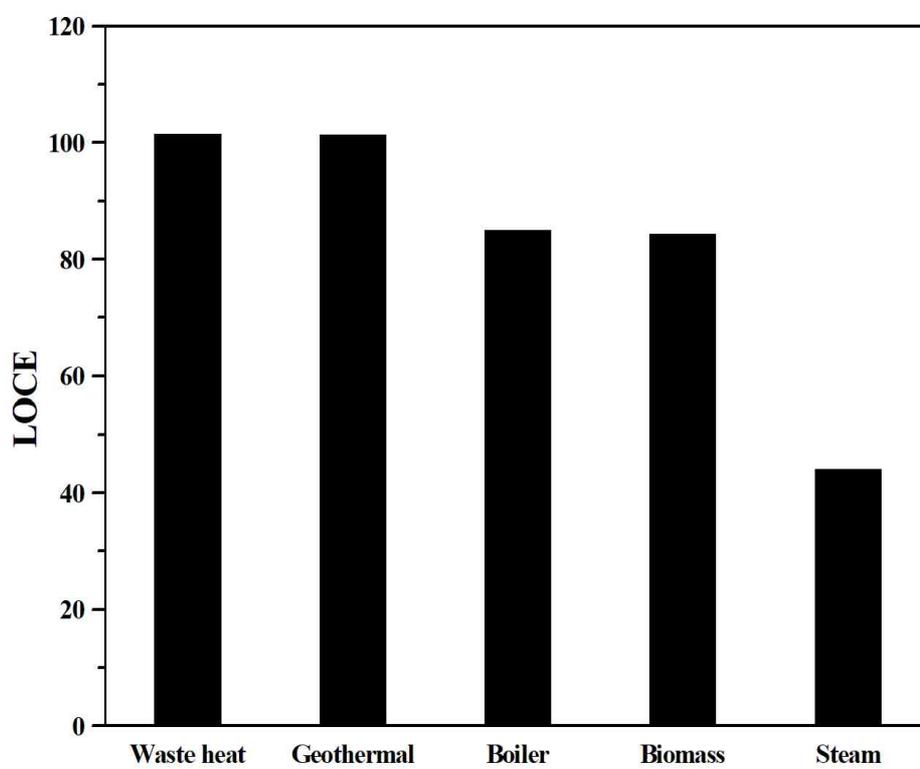


Fig. 13 LOCE results for each energy sources

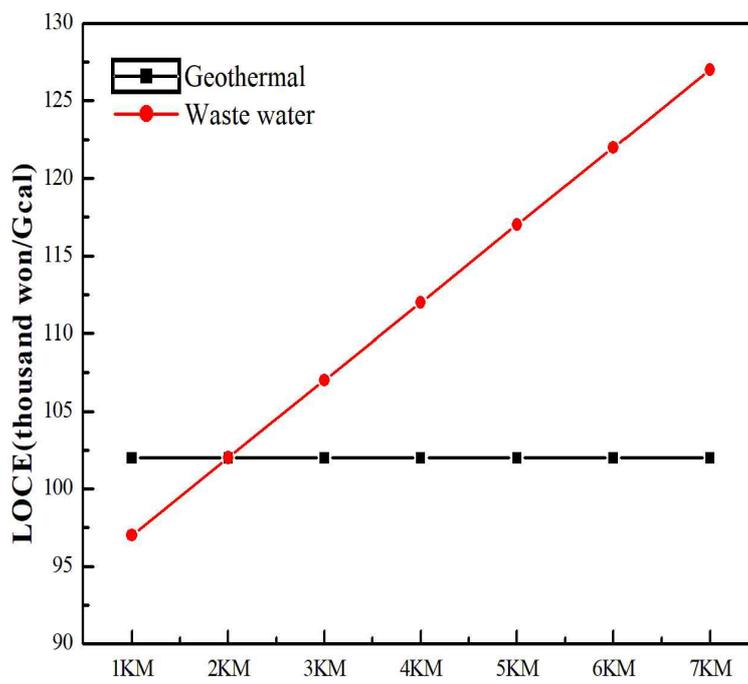


Fig. 14 LOCE comparison between wastewater and geothermal in distance

### 3.4.6 Payback Period 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.

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 장점으로서는 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 제시하고 있는 시설원예 1ha 기준 12억5천만 원(10 ha 125억 원)에 근거하여 초기지출비 125억 중 농가 자부담 용자 포함하여 20%인 25억 원으로 정하고, 할인율 5%, 매년 유류비 절감 4억5천4백만원, 탄소저감 배출권 6천7백만원을 적용하였다. 그 결과, 단순 기간회수법 기준으로는 투자금액을 회수하는데 4.798년이 소요되고, 할인율 기간회수법으로는 6.858년의 기간이 소요된다.

단순투자 회수기간법 (Simple payback period)을 분석해보면 Fig. 15과 같이 현금흐름이 20년 기간에 비례하여 직선 형태로 우향 상승하는 그래프를 볼 수 있다. 그 이유는 할인율을 고려하지 않은 단순 현금가치의 흐름을 반영하였기 때문이다.

할인투자 비회수기간법(Discounted payback period)을 분석해 보면 Fig. 16과 같이 현금 흐름이 20년 기간에 비례하여 곡선 형태로 우향 상승하는 그래프를 볼 수 있다. 그 이유는 할인율을 고려하여 현금가치의 흐름을 반영하였기 때문이다.

Table 13 Payback period calculation

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

Table 14 Payback cash flow for 20 years.

	Cash Flow	Net Cash Flow	Discounted Cash Flow	Net Discounted Cash Flow
Year 0	-2,500,000,000.00	-2,500,000,000.00	-2,500,000,000.00	-2,500,000,000.00
Year 1	521,000,000.00	-1,979,000,000.00	473,636,363.64	-2,026,363,636.36
Year 2	521,000,000.00	-1,458,000,000.00	430,578,512.40	-1,595,785,123.97
Year 3	521,000,000.00	-937,000,000.00	391,435,011.27	-1,204,350,112.70
Year 4	521,000,000.00	-416,000,000.00	355,850,010.25	-848,500,102.45
Year 5	521,000,000.00	105,000,000.00	323,500,009.31	-525,000,093.14
Year 6	521,000,000.00	626,000,000.00	294,090,917.56	-230,909,175.58
Year 7	521,000,000.00	1,147,000,000.00	267,355,379.60	36,446,204.02
Year 8	521,000,000.00	1,668,000,000.00	243,050,345.09	279,496,549.11
Year 9	521,000,000.00	2,189,000,000.00	220,954,859.17	500,451,408.28
Year 10	521,000,000.00	2,710,000,000.00	200,868,053.79	701,319,462.07
Year 11	521,000,000.00	3,231,000,000.00	182,607,321.63	883,926,783.70
Year 12	521,000,000.00	3,752,000,000.00	166,006,656.03	1,049,933,439.73
Year 13	521,000,000.00	4,273,000,000.00	150,915,141.84	1,200,848,581.57
Year 14	521,000,000.00	4,794,000,000.00	137,195,583.49	1,338,044,165.07
Year 15	521,000,000.00	5,315,000,000.00	124,723,257.72	1,462,767,422.79
Year 16	521,000,000.00	5,836,000,000.00	113,384,779.75	1,576,152,202.53
Year 17	521,000,000.00	6,357,000,000.00	103,077,072.50	1,679,229,275.03
Year 18	521,000,000.00	6,878,000,000.00	93,706,429.54	1,772,935,704.57
Year 19	521,000,000.00	7,399,000,000.00	85,187,663.22	1,858,123,367.79
Year 20	521,000,000.00	7,920,000,000.00	77,443,330.20	1,935,566,697.99

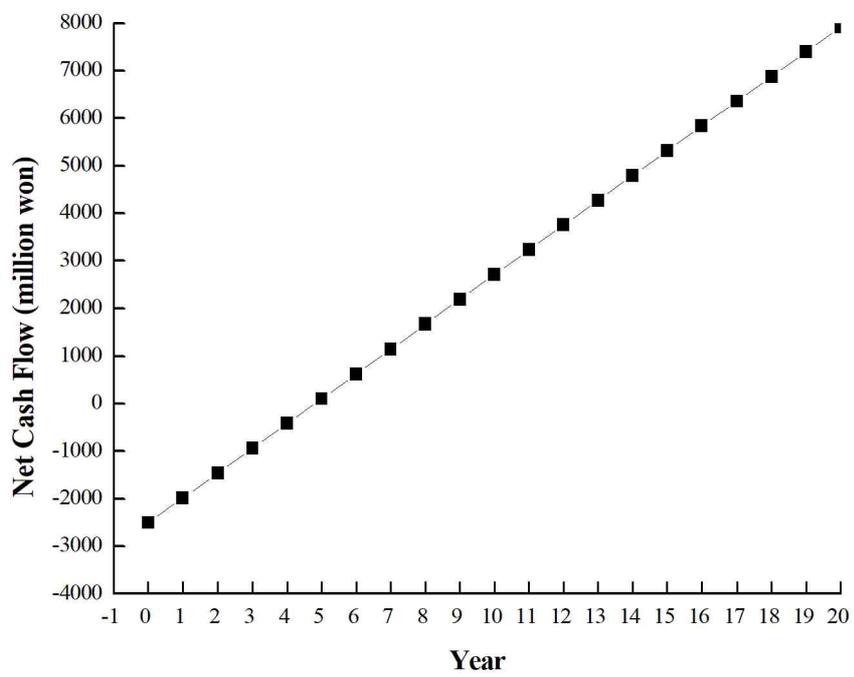


Fig. 15 Payback Period Net Cash Flow for 20 yrs.

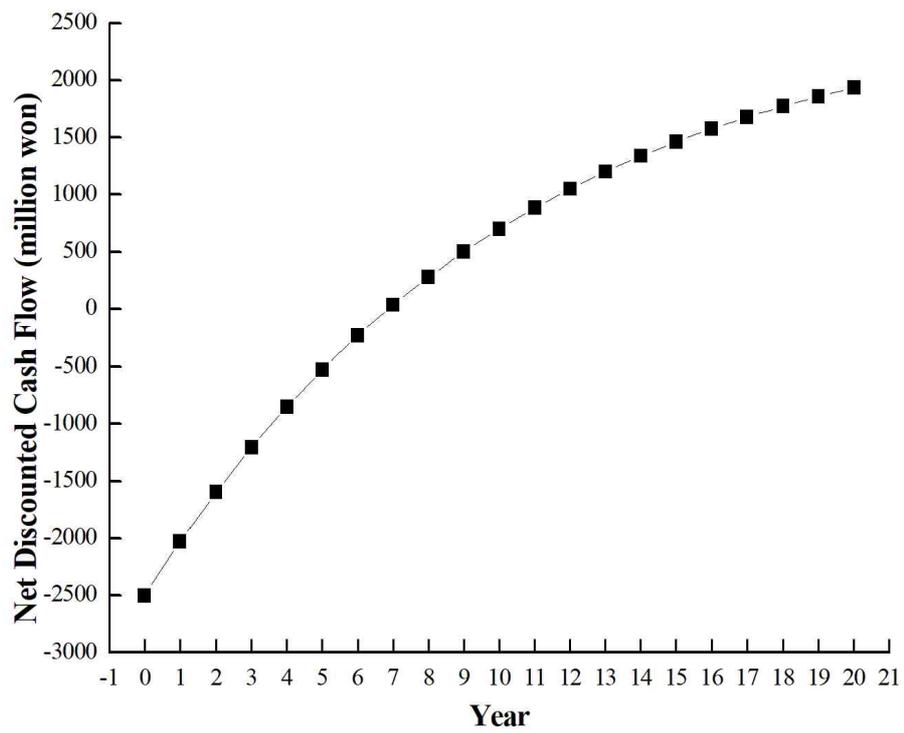


Fig. 16 Payback Period Net Discounted Cash Flow for 20 yrs.

### 3.5 온배수 배출에 의한 어업피해

해양 생태계문제나 어업피해관련 문제를 본다면, 온배수 에너지원이 신재생 에너지로 사용되었을 때 긍정적 효과를 기대할 수 있다. 예를 들어, 미국과 같은 경우에는 연방수질오염관리법(Federal Water Pollution Control Act) Sec. 316에서 열물질 배출(Thermal discharge) 관리에 관한 사항을 규정하고 있으며, 세부 사항에 대해서는 Sec. 402(National Pollutant Discharge Elimination System)에서 근거를 두고 있다. 이에 따라 각 주별로 관리제도를 설치·운영하고 있다.

즉, 동 연방법에서는 온배수 배출로 인한 영향을 평가하여 온배수 배출 규제치가 해당해역에 서식하는 패류, 어류 및 기타 해양생물 보호를 위한 제한치보다 불필요하게 높다는 것이 인정된다면 해당 관리기관이나 주정부가 해당 규제치를 낮추어 줄 수 있도록 하는 것이다.

아울러 온배수로 인하여 영향을 받는 지역 중 혼합구역(mixing zone)을 지정하여 온배수에 의하여 수온변화의 영향을 받게 되나, 사전 환경영향평가를 근거로 그 구역상 배출을 허가받은 해역을 두고 있다. 미국 대부분의 주는 여름철 고수온기의 온도 차이를 0.8℃를 기준으로 하고 있으며, 그 외에는 2.2℃를 적용하고 있다고 한다[9].

국내의 경우, 발전 온배수로 인한 주변지역의 해수온도 상승으로, 수온이 높은 배수역과 1km 이내의 정점에서는 수온이 상승함에 따라 동물 플랑크톤의 현존량이 감소하였고, 해조류는 온배수 영향을 받게 되면 성장이 저해되고 출현 종의 조성이 바뀌거나 소멸하였다. 그리고 충남 보령시의 경우 수산업 피해보상은 1989년 4월, 1, 2 호기 피해 4.9억 원, 1995년 6월, 3~6 호기 어업 피해 154억 원, 2001년 1월, 1~6 호기 어업피해 78.6억 원, 2006년 1월, 복합화력 어업 피해 41.2억 원이다.

보령시의 경우, 기존 발전기 인근에 신규 호기가 추가 건설될 예정인 바, 후속 발전기가 추가 가동됨에 따른 온배수의 피해범위는 확장 될 것으로 예상된다. 그리고 전국으로 그 범위를 넓혀 피해상황을 살펴보면 1990부터 2005년까지 발전소로 인한 인근 어업피해 보상액은 원전으로 인한 피해보상 1,771억 원의 화력발전소로 인한 피해보상 1,459로 집계되고 있다[3].

### 3.6 환경적 측면에서의 경제성 평가

산업이 발전함에 따라 화석연료의 사용이 급증하고 그 결과로 이산화탄소의 배출량 역시 비례 수직 상승하였다. 이산화탄소는 전체 온실 가스의 80%를 차지할 정도로 그 비중이 크기 때문에 환경에 미치는 영향도 크며 고농도의 이산화탄소는 인체에 치명적일 수 있다.

이에 따라 세계 각국은 온실가스를 줄이기 위해 탄소배출 저감대책과 이에 따른 개발 및 방지 대책이 활발하게 이루어지고 있다. 그 예로 친환경 전기차, 신재생 발전소의 건설, 풍력, 태양광등 친환경 신재생 에너지 활성화를 위한 노력이 진행되고 있다. 특히 전 세계적인 온실가스감축 기조로 형성된 파리기후협약으로 우리나라는 2030년까지 BAU대비 37% 온실가스배출을 줄여야 하는데 발전소 온배수열 활용만으로 2억3,814만3,714 tCO<sub>2</sub> 를 충당할 수 있다. 정부가 책정한 2030년 BAU대비 온실가스 배출량은 8억5,060만 tCO<sub>2</sub> 이며, 이 중 37%인 5억3,587만 tCO<sub>2</sub> 를 절감해야 한다. 문제는 이러한 목표가 현실적으로 불가능하다는 판단아래 목표량의 11%는 배출권 거래로 해외에서 비용을 지불하고 구입한다는 계획을 세우고 있다. 하지만 목표량의 절반 가까이를 발전소 온배수열 활용으로 채운다면 설정한 감축량을 순전히 국내에서 감축하는 것이 가능하다는 설명이다. 특히 발전소 온배수열은 수열에 포함돼 신재생에너지원으로 인정받고 있으므로 정부의 신재생에너지보급 확대목표에 기여할 뿐만 아니라 연간 4,163만9,210 TOE의 에너지를 절감할 수 있다.[8]

한국농촌경제연구원 자료에 따르면 10a 단위면적당 시설감귤의 이산화탄소 배출은 부대시설, 저장, 가공, 유통, 농기계 및 냉난방 순으로 이산화탄소 배출을 하고 있다. 특히 중유와 경유로 인한 이산화탄소 배출량이 가장 큰 비중을 차지하는데, 온배수를 활용하면, 냉난방에 사용되는 화석연료의 감소로 인한 이산화탄소 배출을 감소할 수 있다.

시설원에 보일러 대비 온배수가 65% 유류비 절감을 한다는 문헌을 바탕으로 난방비와 시설비에서 배출되는 CO<sub>2</sub> 총량 25,586 kgCO<sub>2</sub> 를 10 ha로 환산하여, 톤당 이산화탄소 양을 도출한 결과 1,663톤 이산화탄소 감축량 값을 얻을 수 있다. 2020년 4월 9일 기준 한국거래소에 따르면 탄소할당 배출권 가격은 톤당 4만500원을 거래되고 있어, 경제적 가치로 환산하면 1년 기준 67,351,500원이다.

Table 15 Facility tangerine CO<sub>2</sub> emission per 10a( Unit : kgCO<sub>2</sub> )

	Machinery	Heating	Facility	Storage	Total CO <sub>2</sub>
Electricity	-	53.0342	264.5361	-	317.5703
Light oil	1,500.7607	388.7981	-	1,998.4223	3,887.9811
Heavy oil	-	-	24,879.1991	-	24,879.1991
Gasoline	4.4112	-	-	-	4.4112
Kerosene	-	-	-	-	-
Gas	-	-	-	-	-
Coal briquet	-	-	-	-	-
Total CO <sub>2</sub>	1,505.1719	441.8324	25,143.7352	-	29,089.1617

## IV. 결론

본 연구에서는 발전소 배출 온배수를 활용한 원예시설의 난방장치의 경제성에 대하여 분석 연구하였다. 제주특별자치도 조천읍에 설치된 실증용 발전소온배수 이용 난방장치를 모델로 하여 발전소 온배수가 갖고 있는 미래형 신재생 에너지원으로서의 잠재적 가치를 살펴보았으며, 경제성 분석 모형을 통하여 다른 에너지원과 비교, 분석하였다. 특히, 환경적 관점에서의 경제성도 병행하여 분석하였다. 본 연구를 통하여 도출한 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 온배수열 에너지 부존량을 계산하면 국내 화력발전소의 온배수의 에너지 부존량은 200,326 Tcal/y이다. 이는 2014년 한국지역난방공사 열 생산량인 12,125 Tcal/y의 약 17배에 달하는 양이다. 또한 이것을 시설원에 난방열로 활용할 경우 12,068 ha를 가온할 수 있으며, 우리나라 전체 시설채소 온실면적 51,787 ha의 23%를 부담할 수 있는 에너지량이다.
- 2) 시설원에 1ha 기준 12억5천만 원(10 ha 125억 원)에 근거하여 초기지출비 125억 중 농가 자부담 용자 포함하여 20%인 25억 원으로 정하고, 할인율 5%, 매년 유류비 절감 4억5천4백 원 및 앞서 분석한 연간 탄소저감 배출권 6천7백 원을 적용하였다. 20년 기준으로 분석했을 경우, 농가측에서는 사업시행 6년 이후부터 NPV값이 양수를 보이고 있으며, 20년 후에는 NPV는 약 40억 원으로 분석되었다.
- 3) 시설원에 1 ha 기준 12억5천만 원(10 ha 125억 원)에 근거하여 초기지출비 125억 원 중에서 용자 포함하여 농가 자부담 20%인 25억 원으로 정하고, 할인율을 5%, 매년 유류비 절감은 4억5천4백 원 및 탄소저감 배출권 6천7백 원을 적용하였다. IRR을 분석하면 Table 10에 보이는 것 같이 20년 기준 IRR = 20.325%로 분석되었다.
- 4) LOCE 측면에서는, Gcal당 단가를 계산하였을 때, 101 천원/Gcal로 지열에너지

와 유사하게 도출되었으며, 보조증기가 44.1천원/Gcal로 가장 낮은 결과 값을 보이고 있다. LOCE 값이 작을수록 Gcal당 단가가 낮은 것으로, 온배수, 지열시스템 에너지원이 타 에너지원에 비해서는 아직 비용과 관련한 경쟁력을 갖추지 못한 것으로 나타나고 있다.

- 5) 기간회수법을 분석한 결과, 단순 기간회수법 기준으로는 투자금액을 회수하는데 4.798년이 소요되고, 할인율 기간회수법으로는 6.858년의 기간이 소요된다.
- 6) 매년 발전소 폐열 배출로 인한 인근해역 생태계 피해와 어업관련 피해보상이 이루어지고 있는데, 온배수를 에너지원으로 활용할 경우 이러한 문제를 감소시킬 수 있을 것으로 보인다.
- 7) 시설난방에서 배출되는 CO<sub>2</sub> 총량 25,586 kgCO<sub>2</sub> 를 10 ha로 환산하여 톤당 이산화탄소 양을 도출한 결과 1,663톤의 이산화탄소 감축량 값을 얻을 수 있었다. 2020년 4월 9일 기준 한국거래소에 따르면 탄소할당 배출권 가격은 톤당 4만 500원을 거래되고 있어, 경제적 가치로 환산하면 1년 기준 67,351,500원이다.
- 8) 온배수를 에너지원으로 한 신재생에너지 사업이 아직은 초기단계이고, 지리적인 측면에서의 한계점과, 기술적인 측면에서도 더 보완이 필요한 만큼, 현 시점에서 온배수가 갖는 에너지원으로서의 잠재적 활용 가치와 환경적 측면에서의 긍정적 평가를 통한 경제성 분석이 더 합리적으로 보인다.

## 참고문헌

- [1] 김인수, “세계 에너지 동향 및 전망”, 에너지 관리공단, 신재생에너지 백서, 2008.
- [2] 조정희, 김대영, 이정삼, “발전소 온배수를 활용한 저탄소 녹색양식업 발전 방향”, 해양수산개발원 연구보고서, p. 5, 2010.
- [3] 김충재, 이원학, “강원도 화력발전소온배수 활용방안”, 강원발전 연구원, 2013.
- [4] 김진욱, 박미란, “버려지는 발전소 온배수 원예시설 난방에너지원으로 활용”, 한국 농어촌공사 RRI 포커스, 제 44호, 2015.
- [5] 남태섭, 이관영, 김경남, “발전소 온배수열 활용사업의 경제적 유인제도 연구”, 한국에너지학회 춘계학술대회논문집, pp. 29-42, 2016.
- [6] Youngsun Ryou, “Agricultural application of hot wast water of thermal power plant”, 한국신재생에너지학회 학술대회 논문집, p. 149, 2017.
- [7] Joki Sun, “발전소 온배수열 활용을 위한 신재생 에너지 공급의무화제도 (RPS) 의 지원방안”, 전기저널, 2015.
- [8] Kwang Ho Lee et al., “발전소 온배수를 적용한 대규모 시설원예단지용 난방시스템의 열원이송 배관 재질 및 거리에 따른 성능평가”, 한국지열에너지학회 논문집, pp. 14-21, 2015.
- [9] Ok Hwan Yul et al., “Spatial Variation in Macrobenthic Communities Affected by the Thermal Discharge Volumes of a Nuclear Power Plant on the East Coast of Korea”, 한국해양과학 기술원, pp. 299-312, 2013.
- [10] 조정희, 김대영, 이정삼. “발전소 온배수를 활용한 저탄소 녹색양식업 발전”, 2010.
- [11] Park Kyoung-Ho, “A Study on Energy Economy of Drainage Heat in Apartment House and Analysis of Economy of Regenerative Heat Pump System.”, 한국건축친환경설비학회 논문집, pp. 1-6, 2007.
- [12] 김은정, “발전시설과 온배수 관리를 위한 제도 개선에 관한 연구”, 환경법과 정책, 제21권, 2018.
- [13] 창원 강원식 기자, “발전소 폐열로 온실 난방비 80%절감, <http://go.seoul.co.kr/news/newsView.php?id=20110803015005>, 2011.
- [14] 김두얼, “비용편익분석 입문: 기초원리와 사례”, 한국 법제 연구원, 2017.

[15] 하동석, 유종해, “순현재가치 [純現在價值, net present value]”, 이해하기 쉽게 쓴 행정학용어사전, 2010.

[16] 시사경제용어사전, “IRR [Internal Rate of Return]”, 기획재정부, 2017.