



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](#)

공 학 석 사 학 위 논 문

발전유형별 냉각수 배수시스템의 경제성 분석



2021년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

해 양 산 업 공 학 협 동 과 정

김 종 인

공 학 석 사 학 위 논 문

발전유형별 냉각수 배수시스템의 경제성 분석

지도교수 이 인 철

이 논문을 공학석사 학위 논문으로 제출함.

2021년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

해 양 산 업 공 학 협 동 과 정

김 종 인

김종인의 공학석사 학위논문을 인준함.

2021년 2월 19일



주 심 공학박사 김 경 회 (인)

위 원 이학박사 문 정 갑 (인)

위 원 공학박사 이 인 철 (인)

목 차

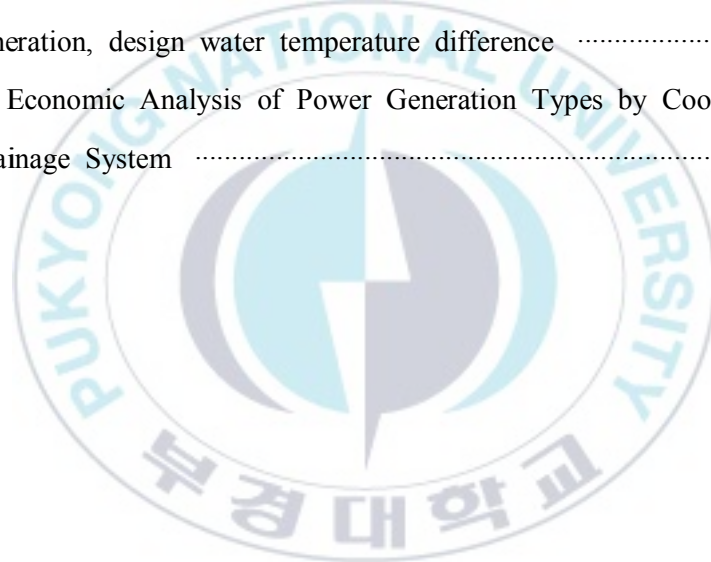
List of Tables	iii
List of Figures	v
Abstract	vi
 1. 서 론	 1
1.1 연구배경 및 목적	1
1.2 연구내용 및 방법	3
 2. 자료 및 방법	 5
2.1 원자력/화력 발전소 국내 현황	5
2.1.1 원자력 발전소 현황	6
2.1.2 화력 발전소 현황	8
2.1.3 복합화력 발전소 현황	9
2.2 어업손실보상 사례 분석	10
2.2.1 개요	10
2.2.2 온배수 정의 및 피해요인	11
2.2.3 원자력 발전소의 보상사례	16
2.2.4 화력 발전소의 보상사례	20
2.3 발전용량/온배수 배출량과 보상금 상관분석	24
2.4 발전용량/온배수 배출량과 보상금 회귀분석	25
2.5 경제성 분석	26
2.5.1 발전소 냉각수 배수시스템에 따른 경제성 분석	27
2.5.2 발전유형별 경제성 분석	28

3. 결과 및 고찰	29
3.1 발전용량/온배수 배출량과 보상금 상관분석	29
3.1.1 원자력 발전소 상관분석	29
3.1.2 화력 발전소 상관분석	32
3.1.3 발전용량과 온배수배출량과의 다중공선성	35
3.2 발전용량/온배수 배출량과 보상금 회귀분석	36
3.2.1 원자력 발전소 회귀분석	36
3.2.2 화력 발전소 회귀분석	38
3.3 경제성 분석	40
3.3.1 발전소 냉각수 배수시스템에 따른 경제성 분석	40
3.3.2 발전유형별 경제성 분석	45
3.3.3 종합고찰	48
4. 요약 및 결론	49
참고문헌	51

List of Tables

Table 2.1 Status of nuclear power plants in Korea	6
Table 2.2 Status of domestic thermal power plants	8
Table 2.3 Status of Combined Thermal Power Plant in Korea	9
Table 2.4 Nuclear Power Plant Compensation Case	16
Table 2.5 Nuclear Power Plant Correction Index	18
Table 2.6 Nuclear Power Plant Compensation Case Correction	19
Table 2.7 Thermal Power Plant Compensation Case	20
Table 2.8 Thermal Power Plant Correction Index	22
Table 2.9 Thermal Power Plant Compensation Case Correction	23
Table 2.10 Comparison of surface and submerged discharge	27
Table 3.1 Current status of nuclear power generation capacity and thermal discharges	29
Table 3.2 Nuclear power plant power generation capacity and thermal discharges, compensation	31
Table 3.3 Nuclear Power Plant Correlation Factor	31
Table 3.4 Current status of Thermal power generation capacity and thermal discharges	32
Table 3.5 Thermal power plant power generation capacity and thermal discharges, compensation	34
Table 3.6 Thermal Power Plant Correlation Factor	34
Table 3.7 Results of VIF measurement between two independent variables ...	35
Table 3.8 Results of Simple regression analysis of compensation / power generation capacity and thermal discharges	36

Table 3.9 Results of Simple regression analysis of compensation / power generation capacity and thermal discharges	38
Table 3.10 A Case Study for Economic Analysis of Drainage System	41
Table 3.11 A Case Study on the Critical Temperature Maxium in Fishery Damage Survey	42
Table 3.12 Economic Analysis by Coolant Drainage System	44
Table 3.13 Economic Analysis of Power Generation Types	46
Table 3.14 Power generation capacity and thermal discharges by type of power generation, design water temperature difference	47
Table 3.15 Economic Analysis of Power Generation Types by Coolant Drainage System	48



List of Figures

Fig. 1.1. Outline in this study.	4
Fig. 2.1. Current Status of Domestic Power Plants.	5
Fig. 2.2. Schematic diagram of thermal discharges diffusion according to the discharge system.	15
Fig. 3.1. A Regression Model of Power Generation Capacity and compensation.	37
Fig. 3.2. A Regression Model of thermal discharges and compensation.	37
Fig. 3.3. A Regression Model of Power Generation Capacity and compensation.	39
Fig. 3.4. A Regression Model of thermal discharges and compensation.	39
Fig. 3.5. Location of Cases for Economic Analysis of Drainage System.	41
Fig. 3.6. Maximum Diffusion Range of 1℃ thermal discharges by Plant.	43

Analysis of economic feasibility of cooling water discharge system by power generation type

JONG IN KIM

Interdisciplinary Program of Ocean Industrial Engineering, Graduate School,
Pukyong National University

Abstract

In this study, the purpose of this study is to analyze the economic feasibility of cooling water discharge systems for each type of power generation while proposing a new method of economical analysis using the case of fishery loss compensation.

Prior to the economic analysis of this study, the correlation between the data was confirmed through correlation analysis and regression analysis between the case of fishery loss compensation, generation capacity, and cooling water discharge.

The economic analysis of this study was defined as comparing and analyzing the degree of compensation for fishing losses required to produce 1MW, which is the cost/benefit ratio, by classifying the cost part into the fishery loss compensation and the benefit part by power generation capacity.

The results obtained in this study are summarized as follows.

As a result of correlation analysis and regression analysis, correlation between fishery loss compensation, power generation capacity and cooling water discharge was confirmed.

As a result of economic analysis in terms of compensation for fishery losses in this study, it was analyzed that underwater discharge was more economical than surface discharge by cooling water discharge system.

In addition, by type of power generation, it was analyzed that there was economic feasibility in terms of compensation for fishery losses in the order of combined cycle power, thermal power, and nuclear power generation, and the combined power was analyzed to have higher economic efficiency than other power generations.

Finally, the results of this study are expected to be used as basic and proof data to support the results of various domestic and international studies on underwater discharge systems.

1. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

삼면이 바다로 둘러싸여 있는 우리나라는 넓은 대륙붕과 긴 해안선을 갖고 있는 연안국가로서 연안을 중심으로 각종 간척 및 매립사업 진행, 공업단지 및 발전소 건설 등 다양한 형태로 연안역 개발이 이루어 졌다. 이를 통해 우리나라의 경제성장에 크게 기여하였으나, 주변해역에는 생태계 파괴, 자연정화기능 상실, 자연경관 훼손 및 수산자원 고갈 등 예상치 못한 결과를 초래하였다.

우리나라의 경우 다양한 해양생물을 식용자원으로 활용하여 수산물 소비량이 높은 국가 중 하나이며, 각종 연안역 개발사업 등에 따라 수산자원 고갈로 수산업이 크게 위축되고 있는 것이 현실이다.

각종 개발사업 중 2011년 09월 정전대란 사태이후 안정적인 에너지 수급관리 및 예비전력의 필요성이 대두되면서 전력수급계획 등을 통한 추가적인 발전설비 건설이 진행되고 있다. 이로 인해 발전설비와 전력수요량의 증가는 곧 발전소 온배수 배출 증가로 이어졌으며, 해양생태계에 미치는 영향 또한 확대되었다.

우리나라 전력생산 대부분을 담당하고 있는 발전시설(원자력 및 화력)의 경우 증기를 발생시켜 터빈을 돌리는 발전 계통으로 냉각시설이 중요한 구조물로 대부분의 발전시설은 대량의 냉각수 확보가 용이한 해안가 주변에 입지하고 있다. 해안가 주변에 입지하는 발전시설로 온배수 배출량이 증가하고 있으며, 이러한 온배수는 주변해역의 물리적 특성을 변화시킬 뿐만 아니라 해수의 열균형을 파괴시켜 주변 환경 및 생태계에 부정적인 영향을 초래한다. 또한 한번 순환한 온배수가 다시 취수되는 경우 상승된 수온으

로 인하여 냉각기능의 부진을 초래하게 되어 발전소의 발전 효율 및 기계 가동률을 저하시키는 등 발전소 가동에 부정적인 영향을 초래할 수 있다.

수온은 해양생태계에서 빛과 더불어 중요한 환경요인이며 온배수 배출에 따른 발전소 취·배수구 주변해역 수온상승으로 인해 동물플랑크톤 감소, 해조류 생장 저해, 저서생물 중 감소, 생물상의 변화 등 해양생태계에 직·간접적으로 많은 영향을 미친다. 또한 발전소 온배수 배출은 발전소와 지역민간 갈등을 야기하여 새로운 발전소 건립은 물론 기존 발전소 운영에도 어려움을 주고 있다.

본 연구에서는 어업손실보상 사례를 활용한 경제성 분석의 새로운 방법을 제안하면서 발전소 가동에 따른 사회·경제적 비용인 온배수 어업손실보상금과 발전소별 발전용량 및 온배수 배출량과의 상관 분석과 회귀분석을 실시하여 자료간 상호연관성을 확인하고 비용/편익 비율을 분석하여 발전유형별 냉각수 배수시스템의 온배수로 인한 어업손실보상 측면에서 경제성을 수치적으로 분석하고자 한다.

1.2 연구내용 및 방법

본 논문에서는 발전유형별 냉각수 배수시스템의 경제성 분석을 위한 연구로서, 주요 내용은 다음과 같이 요약하였으며 이를 모식도로 나타내면 Fig. 1.1과 같다.

- 1) 1980년 고리원전 온배수로 인한 피해보상을 시점으로 각 발전소별 온배수로 인한 보상사례를 수집하여 사례별 보상시점의 차이를 생산자물가지수를 이용하여 보정하였다.
- 2) 발전소별 발전용량 및 온배수 배출량은 정보공개포털 및 환경영향평가정보시스템의 환경영향평가보고서 등을 활용하여 수집하였다.
- 3) 어업손실보상금과 발전용량, 온배수 배출량 간 상호연관성을 확인하기 위해 상관분석과 회귀분석을 실시하였다.
- 4) 비용부분은 어업손실보상금, 편익부분을 발전용량으로 분류하여 비용/편익 비율을 산정함으로써 발전유형별 냉각수 배수시스템의 경제성을 분석하였다.
- 5) 이는 어업손실보상 사례를 활용한 새로운 접근방법으로 냉각수 배수시스템 및 발전유형에 대한 경제성을 어업손실보상 측면에서 수치적으로 분석하였다.

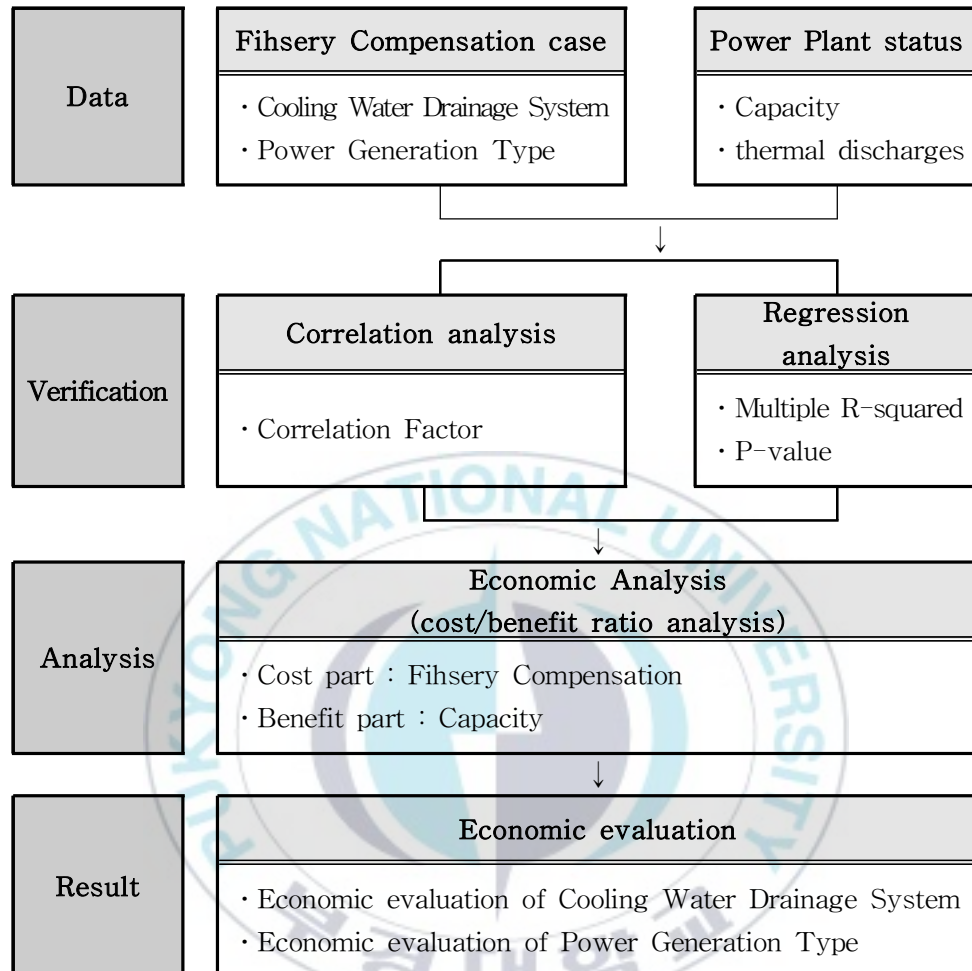


Fig. 1.1. Outline in this study

2. 자료 및 방법

2.1 원자력/화력 발전소 국내 현황

현재 운영되고 있는 발전시설의 입지와 관련하여, Fig. 2.1에서 제시한 바와 같이 우리나라 전력생산의 대부분을 담당하고 있는 대형 발전시설(원자력 및 화력)은 해안가 주변에 입지하고 있음을 확인할 수 있다. 이러한 이유는 우리나라 하천의 경우 하상계수가 비교적 커서 강우가 적은 겨울철이나 건기 시에는 냉각수로 이용될 하천수가 부족하기 때문에 상대적으로 대량의 냉각수 확보가 용이한 해안가에 대부분의 발전소가 입지하고 있는 것으로 판단된다.

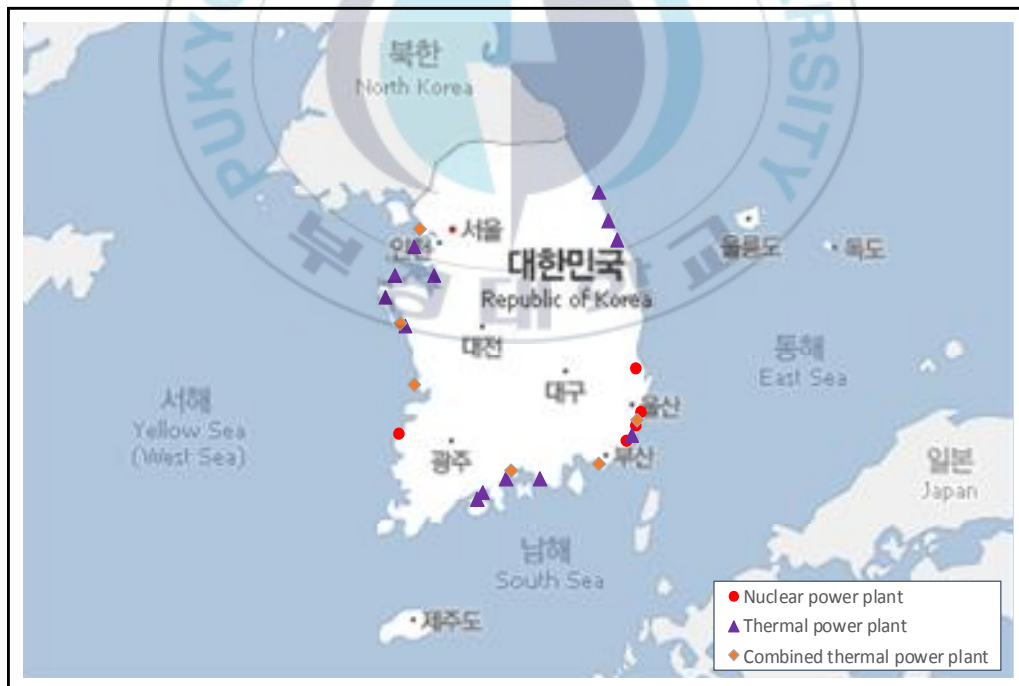


Fig. 2.1. Current Status of Domestic Power Plants

2.1.1 원자력 발전소 현황

원자력 발전은 화력발전과 발전개념이 동일하지만 사용되는 연료가 화석 연료가 아닌 핵연료인 점에서 차이가 있다. 우리나라에서는 1978년 고리원자력 1호기가 준공되고 탈석유 전원정책으로 원자력발전에 집중적인 투자가 이루어지면서 이른바 ‘원주화중’의 시대가 열리게 되었다. 2000년 2월에 한국표준형 원전인 울진원자력 4호기가 준공됨에 따라 국내 총 발전설비의 약 29% 그리고 총 발전량의 40%이상을 차지하는 주력 에너지로 자리매김 하였다. 현재 가동 중인 원자력 발전소 현황은 Table 2.1과 같다. 2017.06월에 1978년 상업운전을 개시했던 고리 1호기, 2019.12월에는 월성 1호기가 영구 정지되면서 국내에는 24개 호기가 운영 중이며, 신고리 2개 호기와 신한울 2개 호기가 건설 중이다.

Table 2.1. Status of nuclear power plants in Korea

Plant Name	Unit	Location	Capacity (MW)	Commercial Operation
Kori	2	Gijang, Busan	650	1983.07.25
	3		950	1985.09.30
	4		950	1986.04.29
Shin-Kori	1	Gijang, Busan	1,000	2011.02.28
	2		1,000	2012.07.20
	3	Ulju, Ulsan	1,400	2016.12.20
	4		1,400	2019.08.29

Plant Name	Unit	Location	Capacity (MW)	Commercial Operation
Wolsong	2	Gyeongju, Gyeongbuk	700	1997.07.01
	3		700	1998.07.01
	4		700	1999.10.01
Shin-Wolsong	1		1,000	2012.07.31
	2		1,000	2015.07.24
Hanbit	1	Yeonggwang, Jeonnam	950	1986.08.25
	2		950	1987.06.10
	3		1,000	1995.03.31
	4		1,000	1996.01.01
	5		1,000	2002.05.21
	6		1,000	2002.12.24
Hanul	1	Ulsan, Gyeongbuk	950	1988.09.10
	2		950	1989.09.30
	3		1,000	1998.08.11
	4		1,000	1999.12.31
	5		1,000	2004.07.29
	6		1,000	2005.04.22

2.1.2 화력 발전소 현황

화력발전은 석탄, 석유 등 화석연료를 보일러에서 태워 얻은 고온, 고압 증기로 증기터빈을 돌려 기계에너지를 얻고, 이 기계에너지로 발전기를 돌려 전기를 생산해내는 시스템이다. 국내 가동 중인 화력발전소 중 대형 발전사의 발전소 현황은 Table 2.2와 같다.

Table 2.2. Status of domestic thermal power plants

Company	Plant Name	Unit (Total)	Capacity (MW)	Location
KOSEP	Samcheonpo	6	3,240	Goseong, Gyeongnam
	Yeosoo	2	668.6	Yeosu, Jeonnam
	Youngdong	1	200	Gangneung, Gangwon
	Youngheung	6	5,080	Ongjin, Incheon
KOSPO	Samcheok	2	2,044	Samcheok, Gangwon
	Hadong	8	4,000	Hadong, Gyeongnam
EWP	Dangin	10	6,040	Dangjin, Chungnam
	Donghae	2	400	Donghae, Gangwon
	Ulsan	3	1,200	Nam-gu, Ulsan
	Honam	2	500	Yeosu, Jeonnam
KOWEPO	Taeon	10	6,100	Taeon, Chungnam
	Pyungtaek	4	1,400	Pyeongtaek, Gyeonggi
KOMIPO	Boryoung	8	4,050	Boryeong, Chungnam
	Shin-Boryoung	2	2,000	Boryeong, Chungnam

2.1.3 복합화력 발전소 현황

복합화력은 주로 천연가스를 연료로 사용하여 1차로 가스터빈을 돌려 발전하고 가스터빈에서 나오는 배기가스 열을 다시 보일러에 통과시켜 증기를 생산해 2차로 증기터빈을 돌려 발전하는 시스템이다. 복합화력은 두 차례에 걸쳐 발전하는 시스템이며, 국내 가동 중인 복합화력 발전소 중 대형 발전사의 발전소 현황은 Table 2.3과 같다.

Table 2.3. Status of Combined Thermal Power Plant in Korea

Company	Plant Name	Unit (Total)	Capacity (MW)	Location
KOSPO	Shininchon	12	1,800	Seo-gu, Incheon
	Busan	12	1,800	Saha-gu, Busan
KOWEPO	Gunsan	3	718	Gunsan, Jeonnam
EWP	Ulsan	12	2,072	Nam-gu, Ulsan
KOMIPO	Boryoung	9	1,350	Boryeong, Chungnam
SK E&S	Guangyang	6	989	Gwangyang, Jeonnam

2.2 어업손실보상 사례 분석

2.2.1 개요

행정상 손실보상이란 적법한 공권력의 행사로 인하여 개인에게 특별한 희생을 가한 경우에 국가 또는 공공단체 등이 행하는 손실의 보전을 말하며, 공무원의 위법 행위 등으로 인한 손해배상과 구별된다. 손실보상은 재산상의 손실을 보전하는 것으로 사람의 생명, 신체의 침해에 따른 보상은 포함되지 않는다. 여기서 재산권의 범위는 민법상의 소유권을 비롯한 모든 물권, 채권, 무체재산권은 물론 어업권·광업권 등 특별법 상의 권리, 영업상의 권리 등이 포함되는 것으로 보며, 단순한 기대이익이나 반사적 이익 또는 경제적 기회, 우연히 생긴 법적 지위 등은 재산권의 범위에서 제외된다.

어업은 「수산업법」 및 「내수면어업법」 등에 따라 면허·허가·신고어업으로 분류되고, 이에 근거한 어업행위는 어업인의 중요한 재산권으로서 어업에 대한 침해가 있는 경우 당연히 보상하여야 한다. 이에 어업손실보상이란 “적법한 행정상의 공권력 행사에 의하여 면허·허가·신고어업 등의 재산적 권리에 가하여진 재산상의 특별한 희생에 대하여 전체적인 평등 부담의 취지에서 행정주체가 행하는 조절적인 재산적 보전”이라고 정의할 수 있다.(김용춘외, 2012)

2.2.2 온배수 정의 및 피해요인

(1) 온배수 정의 및 현황

온배수란 자연에서 취수한 물을 발전과정에서 발생한 폐열을 흡수하는 냉각수로 사용하여 자연해수보다 수온이 높은 상태로 다시 자연으로 방출되는 배출수를 말한다. 온배수는 자연해수보다 수온이 연평균 약 7℃ 정도 높으며, 유엔 해양법 협약에서는 온배수를 ‘직·간접적으로 인위적으로 해양환경에 유입되는 물질 또는 에너지로서 해양생물에 해롭거나, 해양의 쾌적한 이용을 저해시키는 오염물질’로 정의하고 있다. 일반적으로 발전소를 비롯한 대규모 임해공단에서 발생하는 폐열 처리방식으로는 관류냉각방식, 냉각탑방식, 자연냉각방식 등이 있으며, 우리나라의 경우에는 부지 확보 및 담수자원 부족 등을 이유로 대부분 해수를 활용하는 관류냉각방식을 사용하고 있다. 이러한 관류냉각방식은 펌프를 사용하여 자연에서 취수된 해수를 복수기로 보내어 이곳에서 폐열을 부하시킨 후 다시 바다로 되돌려 보내는 것으로 이때 바다로 되돌려 보내는 폐열이 부하된 냉각수를 온배수라 한다.

대부분의 발전시설 중 대체에너지와 수력발전을 제외한 모든 발전은 하나의 열기관으로 열을 태워 얻은 기계에너지로 발전기를 돌려 전력을 생산하는 과정에서 사용한 연료의 일부분만 전기에너지로 전환된다. 사용한 연료에 포함된 에너지량에 대비하여 생산된 전력에너지 비율을 열효율 또는 발전효율이라고 하며, 발전유형에 따라 원자력발전은 35%내외, 화력발전은 40%내외, LNG 복합화력발전은 70%내외 열효율을 가지고 있다. 사용된 발전 연료의 일부만이 전기에너지로 전환되고 나머지는 폐열로 처리되며, 일반적으로 화력발전의 경우 폐열 20%정도는 굴뚝과 복사열로 소멸되고 나머지 40%정도는 냉각수와 열교환되어 발전소 온배수의 근원이 된다. 우리

나라는 2010년 기준, 1일 평균 1억 3,000만 톤의 온배수가 배출되고 있다 (충남발전연구원, 2011).

해역별 배출량을 살펴보면, 서해안이 206.9 억톤/년으로 가장 부하량이 크다. 서해안내에서는 인천/경기 해역에서 34.3 억톤/년, 태안/보령 해역에서 98 억톤/년, 영광해역 74.6 억톤/년이 배출된다. 남해안에는 총 73.5 억톤/년이, 제주해역에는 2.3 억톤/년이, 동해안에는 동해중부해역 66.4 억톤/년 및 동해 남부해역 123.5 억톤/년 등 총 189.9억톤/년이 배출된다.(충남발전연구원, 2012)

(2) 온배수에 따른 피해요인

수온은 해양생태계에서 빛과 더불어 중요한 환경요인으로 해수의 온도는 육상과는 달리 매우 안정적이다. 외양의 수온은 하루에 0.3°C 이상 변하지 않으며, 연안에서도 일교차가 $1\sim 2^{\circ}\text{C}$ 를 넘지 않는다. 이러한 이유로 많은 해양학자들은 육상과 해상의 밀도차이로 인해 해상의 1°C 변화가 육상의 10°C 이상의 변화와 맞먹는다고 한다. 따라서 온도변화가 해양생물이나 생태계에 미치는 영향은 우리가 예상하는 정도보다 더 크다고 할 수 있다.

온배수 형태로 해양생태계에 부하되는 막대한 에너지는 주변해역의 수온분포를 변화시켜 직·간접적으로 해양생태계에 많은 영향을 미친다. 발전소 온배수로 대표되는 해양의 열오염(thermal pollution)은 적정 수온 범위 내에서는 수온 상승이 해양생물의 성장을 촉진하지만, 임계수온 이상에서는 해양생물의 생체리듬이 깨지면서 생산성 저하 및 서식 범위 축소 등을 유발하고 심지어는 해양생물의 사망을 초래한다. 열오염은 생물의 군집구조가 변하거나 특정생물의 도피, 소멸 또는 새로운 종들의 발생을 초래하고, 특히 정착성 어패류가 많이 서식하는 어장 및 양식어장에 온배수가 배출되면 생물의 도피가 어렵기 때문에 열오염에 따른 피해가 크게 발생한다.

수온 상승은 해수 밀도를 감소시켜 해수 중 부유물질 침강률을 증가시키고 용존산소의 용해도를 감소시킨다. 발전소 온배수에 의해 해수온도가 27.2℃에서 31℃로 상승할 경우, 부착성 군집구조가 우세하게 되며, 37℃ 이상의 수온에서는 수주고둥 및 따개비류를 제외한 모든 동식물이 소멸하게 된다(Suresh, 1993).

발전 온배수는 배수구 방출시 일정 거리를 직진하다가 주위 해수를 연행하여 혼합되는데, 조류의 유속이 빠른 서해안에서 보다 멀리 확산된다. 온배수의 확산범위는 발전소의 위치에 따라 차이를 보인다.

배수구에서 배출된 발전소 온배수는 주위 해수와의 수온 차에 의해 부력이 발생하면서 점차 수면으로 부상하여 수평 확장하게 되며 주로 표층 수온을 상승시킨다. 주위 해수와의 난류혼합에 의하여 배출수가 갖는 운동력이 떨어지면 이후의 온배수 확산 분포는 주위해수의 유동 특성에 크게 좌우되며 이 때 주위 해수와의 난류확산과 대기 중 열 방출로 수온이 점차 강하되어 열평형에 도달하게 된다.

발전소의 온배수는 발전소 인근해역으로 확산되어 해양생물의 생리에 영향을 미친다. 온배수로 수온이 증가되면 해양생물에게 직접적인 영향을 미치는 것은 물론이고 해양생물의 먹이생물 및 해양생물을 식해하는 포식생물에게도 영향을 미쳐 결과적으로 해양생물에 간접적으로도 영향을 미친다(김기수 외, 2006). 또한 해조류의 경우 종조성이 바뀌거나 전반적으로 빈약해지며, 다양성이 감소하게 된다. 특히 김과 미역은 수온에 민감하여 타 품종에 비해 영향을 크게 받을 수 있으며, 저서생물의 부착주기에도 영향을 미치게 된다.

어류의 경우 온도변화에 대하여 적응할 수 있는 범위는 온도가 상승할 경우 하루에 1.1°C 미만으로 알려져 있으며, 온도가 감소할 경우에는 이보다 변화의 폭이 적어야 한다고 알려져 있다(김, 2000). 하지만 온배수가 어류에 미치는 영향을 다룬 많은 연구 결과를 종합해 볼 때, 온배수의 높은 온도와 관련하여 어류가 명백하게 대량 죽었다고 간주되는 사례는 거의 나타나지 않았다.

(3) 온배수 배출기준

국내 법상 발전소 온배수 배출에 대해 환경오염 형태로 규정되어 있지는 않으며, 다만 물환경보전법 시행규칙에서 오염물질인 폐수 배출허용기준 상 온도를 40°C 이하로 규정하고 있을 뿐이다. 하지만 국외에서는 온배수 배출기준을 엄격하게 관리하고 있다. 일본의 경우 환경영향 심사시 취·배수 온도차를 $7\sim 9^{\circ}\text{C}$ 이하로 규정하고 있으며 대만은 방출구로부터 500m에서 4°C 이하, 이탈리아에서는 1km에서 3°C 이하로 기준을 정하여 관리하고 있다. 또한 규제기준을 정하여 이에 맞게 취·배수 구조물을 설계하도록 하고 있다.

(4) 발전소 배수시스템

발전소 배수시스템은 크게 두 가지로 해수면 표면으로 배출하는 표층배수와 어느 정도 수심 깊이에서 배출하는 수중 배수시스템이 있다. 온배수 배출의 2차원적 이용을 표층배수로 보면 수중배수는 3차원적 이용이다. 수중 배수시스템은 표층보다 다소 낮은 온도를 유지하는 수중에 온배수를 방류하여 배출되는 온배수가 상승하면서 상대적으로 낮은 수온의 해수와 혼합하게 되면서 희석 효과를 극대화시키고 온배수 방류로 인한 수온 상승영역을 최소화하는 방법이다(해양수산부, 2007). 이러한 특징으로 수중 배

수시스템은 표층 배수시스템에 비해 해양환경에 미치는 영향 정도 및 범위가 적은 것으로 판단되어 왔다.

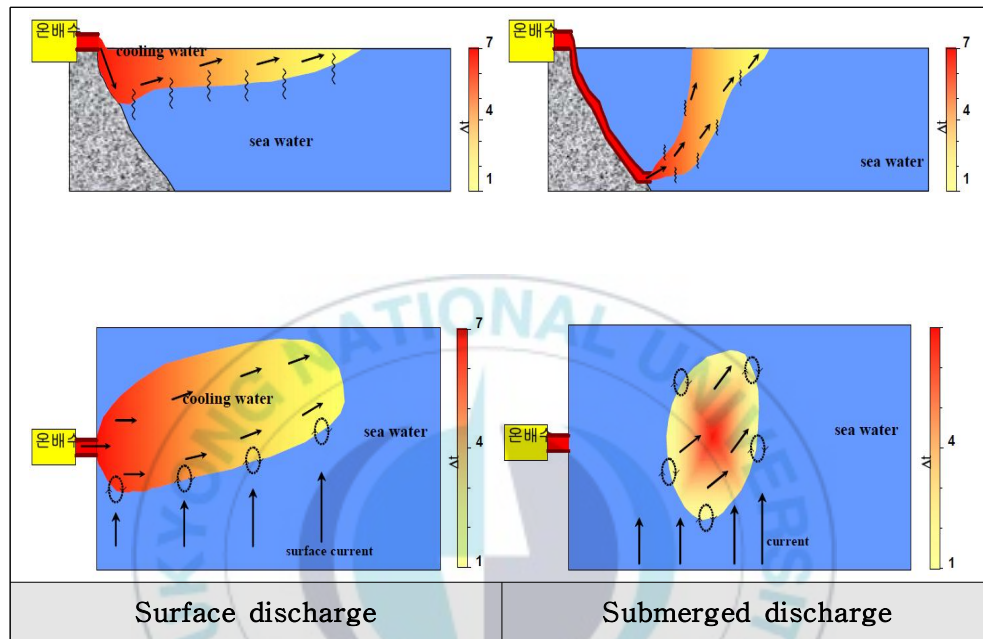


Fig. 2.2. Schematic diagram of thermal discharges diffusion according to the discharge system (MOF, 2007)

2.2.3 원자력 발전소의 보상사례

1980년 고리원전 온배수로 인한 피해보상을 시점으로 보상사례는 Table 2.4.과 같다. 사례의 경우 사례별 보상시기가 다름에 따라 Table 2.5.와 같이 1980년~2019년 한국은행의 생산자물가지수(총지수)를 이용한 보정지수를 통해 각 사례별 보상금액을 Table 2.6.과 같이 보정하였다. 본 연구에서는 수산물관련 통계지표를 도입하고자 하였으나 지역 특성 및 어획 어종이 사례별로 다양하고 자료 수집이 제한되는 등 한계가 존재함에 따라 보상시기와 현재의 화폐가치를 보정하기 위해 생산자물가지수를 활용하였다.

Table 2.4. Nuclear Power Plant Compensation Case

Plant Name	Year	Reasons for compensation	Compensation (10 ⁸ won)
Gori	1980	Seaweed farm damage by warm drainage	4.6
	1983	Seaweed farm damage by warm drainage	4.5
	1990	Seaweed farm damage by warm drainage	15.0
	1992	Damage to seaweed farms, nurseries, and common fish farms due to warm drainage	34.6
	Total		58.7

Plant Name	Year	Reasons for compensation	Compensation (10 ⁸ won)
Hanbit	1995	Fishery damage by warm drainage (4 Units-forecast)	391.0
	1999	Fishery damage by warm drainage (4 Units-actual)	246.8
	2004	Missing bare-handed fishing compensation (4 Units-Gochang)	6.5
	2004	Fishery damage by warm drainage (6 Units-Yeong gwang)	229.4
	2005	Missing bare-handed fishing compensation (4 Units-Yeong gwang)	3.6
	2005	Compensation for division fishing (6 Units-Gochang,Yeong gwang)	287.0
	2006	Fishery damage by warm drainage (6 Units-Gochang[Final])	766.4
	2006	Fishery damage by warm drainage (6 Units-Yeong gwang[Final])	122.0
	Total		2,052.7
Wol-seong	2007	Fishery damage by warm drainage (4 Unit-actual)	279.5
	Total		999.5

Table 2.5. Nuclear Power Plant Correction Index

Index \ Year	1980	1983	1990	1992	1995	1999
Producer price (Total)	40.49	51.11	55.83	59.73	65.19	76.76
Correction	2.6	2	1.9	1.7	1.6	1.3

Index \ Year	2004	2005	2006	2007	2019
Producer price (Total)	84.27	86.06	86.85	88.09	103.5
Correction	1.2	1.2	1.2	1.2	1

Table 2.6. Nuclear Power Plant Compensation Case Correction

Plant Name	Year	Compensation (10 ⁸ won)	Correction index	Correction Compensation (10 ⁸ won)
Gori	1980	4.6	2.6	11.96
	1983	4.5	2.0	9.00
	1990	15.0	1.9	28.50
	1992	34.6	1.7	58.82
	Total	58.7		108.28
Hanbit	1995	391.0	1.6	625.60
	1999	246.8	1.3	320.84
	2004	6.5	1.2	7.80
	2004	229.4	1.2	275.28
	2005	3.6	1.2	4.32
	2005	287.0	1.2	344.40
	2006	766.4	1.2	919.68
	2006	122.0	1.2	146.40
	Total	2,052.7		2,644.32
Wolseong	2007	279.5	1.2	335.40
	Total	279.5		335.40

2.2.4 화력 발전소의 보상사례

1987년 서천화력 온배수로 인한 피해보상을 시점으로 보상사례는 Table 2.7.과 같다. 사례별 보상시기의 차이를 Table 2.8.과 같이 1987년~2019년 한국은행의 생산자물가지수(총지수)를 이용한 보정지수를 통해 각 사례별 보상금액을 Table 2.9.와 같이 보정하였다.

Table 2.7. Thermal Power Plant Compensation Case

Plant Name	Year	Reasons for compensation	Compensation (10 ⁸ won)
Dangjin	1994	Compensation for the extinction of fisheries within the expected impact area by warm drainage (Operation of units 1 and 2)	365.4
	1998	Compensation for the extinction of fisheries within the expected impact area by warm drainage (Operation of units 1-4)	99.7
	2005	Seaweed farm damage by warm drainage (Operation of units 1-4)	5.7
	Total		1,115

Plant Name	Year	Reasons for compensation	Compensation (10 ⁸ won)
Sam-cheonpo	1996	Fishery damage by warm drainage (Construction and operation of Units 1-4)	269.1
	2002	Fishery damage by warm drainage (Construction and operation of Units 1-6)	285.8
	2010	Fishery damage by warm drainage (Construction and operation of Units 1-6) [Litigation Judgment]	162.0
	Total		470.8
Seocheon	1987	Fishery damage by warm drainage (Operation of units 1 and 2)	15.2
Jeju	2003	Fishery damage by warm drainage (Operation of units 2 and 3)	2.5
Hadong	2001	Warm drainage and ash treatment plant for units 1-4	210.0
	2007	Warm drainage and ash treatment plant for units 5 and 6	347.5
	Total		557.5
H.G.P	2011	Warm drainage of units 1-8	11.5
G.C.P	2011	Fishery damage by warm drainage	10.9
G.L.C.P	2007	Fishery damage by warm drainage	19.6

H.G.P : Hyundai Green Power, G.C.P : Gunsan Combined Power,
G.L.C.P : Gwangyang LNG Combined Power

Table 2.8. Thermal Power Plant Correction Index

Index \ Year	1987	1994	1996	1998	2001	2002
Producer price (Total)	51.41	62.28	67.31	78.39	77.97	77.76
Correction	2	1.7	1.5	1.3	1.3	1.3

Index \ Year	2003	2005	2007	2010	2011
Producer price (Total)	79.45	86.06	88.09	99.06	105.71
Correction	1.3	1.2	1.2	1	1

Table 2.9. Thermal Power Plant Compensation Case Correction

Plant Name	Year	Compensation (10 ⁸ won)	Correction index	Correction Compensation (10 ⁸ won)
Dangjin	1994	365.4	1.7	621.18
	1998	99.7	1.3	129.61
	2005	5.7	1.2	6.84
	Total	1,115		1,380
Samcheonpo	1996	269.1	1.5	403.65
	2002	285.8	1.3	371.54
	2010	162.0	1.0	162.00
	Total	470.8		757.63
Seocheon	1987	15.2	2.0	30.40
Jeju	2003	2.5	1.3	3.25
Hadong	2001	210.0	1.3	273.00
	2007	347.5	1.2	417.00
	Total	557.5		690
H.G.P	2011	11.5	1.0	11.50
G.C.P	2011	10.9	1.0	10.90
G.L.C.P	2007	19.6	1.2	23.52

2.3 발전용량 / 온배수 배출량과 보상금 상관분석

상관분석은 하나의 변수와 다른 변수와의 관계에 대한 분석으로서 변수들간의 상호관계 정도를 분석하는 통계적 기법이다. 두 변수 간의 상관관계의 강도는 상관계수로 측정한다. 상관계수는 -1에서 +1 사이의 값을 가지며, 0일 경우에는 두 변수 간의 상관관계가 없다는 것을 뜻한다. (-)의 상관계수는 음의 관계를 나타내며, (+)의 상관계수는 양의 관계를 나타낸다. 일반적으로 정규분포 된 양적변수에 대해 Pearson 상관계수가 많이 사용되며, Pearson 상관계수 r 의 값이 0.4 이상일 경우 어느 정도 상관관계가 있다고 판단하고, 0.7 이상일 경우 상관관계가 높은 것으로 분석한다 (Suzuki et al., 2008; Ratner, 2009; Mukaka, 2012; Moore et al., 2013; Dormann, 2013). 원자력 / 화력 발전소의 보정된 보상금과 각 발전소별 발전용량 및 온배수 배출량과의 상관성을 분석하였다.

보상사례의 경우 발전소별 신규호기가 건설될 경우 추가적으로 온배수에 따른 어업손실보상이 진행되었으나 본 연구에서는 신규호기는 기존호기 인근에 건설되며 신규호기 가동에 따른 어업피해조사시 온배수 확산 범위가 확장되고 중복보상이 배제되기 때문에 최종적인 발전소별 보상금은 사례별 기준시점으로 보정한 보상금을 합산하여 분석하였다.

2.4 발전용량/온배수 배출량과 보상금 회귀분석

회귀분석은 변수들 중 한 개를 종속변수로 갖고 나머지를 독립변수로 하여 이들 변수들이 서로 상관관계를 가질때 이러한 관계로 선형회귀식을 도출하여 변수(독립변수 및 종속변수) 간의 연관성을 분석하는 통계기법이다. 단순회귀분석은 하나의 독립 및 종속변수사이의 관계를 분석하는 것이다.

결정계수(Multiple R-squared, R^2)는 Pearson 상관계수 r 의 제곱으로서 회귀식의 적합도를 나타내는 척도로 가장 많이 쓰인다. 또한 회귀모형의 설명력을 나타내며, 관측값과 예측값 간의 상관계수를 의미한다. 결정계수가 1이라는 것은 잔차가 전혀 없이 모든 관찰치가 표본회귀식으로 설명된다는 의미이고, 반대로 0이라는 것은 회귀식의 변동을 전혀 설명하지 못한다는 뜻이다. 다음의 유의확률(P-value, p)은 귀무가설이 맞다고 가정할 때 얻은 결과인 극단적인 결과가 실제로 관측될 확률을 말한다. 일반적으로 유의수준 0.05보다 작을 경우 통계학적으로 유의미한 결과라고 볼 수 있다.

이러한 회귀분석을 통해 원자력 및 화력 발전소의 발전용량/온배수 배출량과 어업손실보상금에 대한 회귀모형 구축과 각 변수간 관계를 분석하였다. 본 연구에서 상관분석과 회귀분석은 자료의 한계로 인해 통계학적 유의정보다는 자료간 연관성 및 경향성을 확인하고자 하였다.

2.5 경제성 분석

일반적으로 경제성 분석은 한 사업을 추진하고자 할 때 그 사업이 어느 정도의 경제적 가치가 있는 사업인지에 대한 타당성을 검증하는 방법으로 사용되고 있으며, 비용/편익 비율, 순현재가치, 내부수익률 등 계산을 통해 이루어지고 있다. 이러한 개념을 유추 적용하여 본 연구에서의 경제성 분석을 다음과 같이 정의하였다. 다만 본 연구에서는 발전소 건설비 및 발전단가 등을 고려한 발전사업의 경제성은 고려하지 않았다.

비용 부분에는 발전소 가동에 따라 소요되는 사회·경제적 비용인 어업보상금(억원)을, 편익 부분에는 발전소에서 생산가능한 발전용량(MW)으로 비용/편익 비율을 산정하여 아래의 각 사안별로 어업손실보상측면에서 경제성을 분석하는 것을 말한다.

첫 번째 발전소 냉각수 배수시스템별 경제성을 분석하였다. 이는 최근 수중 배수시스템이 해양환경에 미치는 영향이 적다고 평가됨에 따라 새로이 건설되는 발전소들은 대부분 수중 배수시스템을 채택하고 있다. 따라서 발전소 냉각수 배수시스템 차이에 따른 비용/편익 비율을 상호 비교하여 수중 배수시스템이 표층 배수시스템보다 어느 정도 경제성이 있는지를 확인하고자 하였다.

두 번째 어업손실보상 사례를 발전유형별(원자력, 화력, 복합화력)로 분류하고 비용/편익 비율을 통해 발전유형에 따른 경제성을 분석하였다.

2.5.1 발전소 냉각수 배수시스템에 따른 경제성 분석

발전소 냉각수 배수시스템은 표층배수와 수중배수로 구분된다. 국내외 다양한 연구에서 수중배수 방식이 환경에 미치는 영향이 적은 것으로 평가되면서, 국내 대부분의 발전소는 해안에 배수로를 설치하여 온배수를 배출하는 표층배수 방식에서 해안선 보전과 온배수로 인한 환경영향 저감을 이유로 배수관로를 해안에서 수백 미터 거리까지 연장하고 다수의 배수관을 통해 수중에서 고속 배수함으로써 온배수의 초기 희석 효과를 증가시킬 수 있는 수중배수 방식을 채택하고 있다.

Table 2.10. Comparison of surface and submerged discharge (Miller & Brighthouse, 1984)

Item	Surface discharge	Submerged discharge
Surface water temperature	Relatively high	Relatively low
Relative mixing speed	Slow	Fast
Surface heat dissipation rate	Relatively high	Relatively low -A lot of heat is stored in the water body
Time of exposure to maximum temperature	Relatively short	Relatively long
Effects on the temperature and flow rate of the sea floor	No influence	Great influence

본 연구에서 발전소 냉각수 배수시스템에 따른 경제성 분석은 냉각수 배수시스템의 차이로 인해 사회·경제적 비용을 분석하여 냉각수 배수시스템별 상호간의 경제성을 분석하였다. 분석에 앞서 온배수 확산양상은 해수

유동에 큰 영향을 받으며, 이 해수유동은 우리나라 각 해역별¹⁾로 물리·화학·지질학적 특성이 다르기 때문에 차이가 있다. 또한 어업손실보상금의 경우 발전소 인근 어장 형태에 따라 차이가 있을 것이다. 따라서 분석에 영향을 미칠수 있는 외부요인인 해수유동과 인근 어장형태 등을 최소화하기 위해 앞서 제시된 어업손실보상 사례중 발전소 위치가 인근지역이면서, 배수시스템(표층/수중)이 차이나는 사례를 선정하였다. 선정한 사례를 생산자물가지수(총지수)를 이용하여 기준시점인 2019년으로 동일하게 보정하였으며, 발전용량(MW)당 보상금을 상호 비교하여, 수중 배수시스템의 경제성을 분석하였다.

2.5.2 발전유형별 경제성 분석

본 연구에서 발전유형에 따른 경제성 분석은 앞서 제시된 보상사례를 발전유형인 원자력, 화력, 복합화력으로 분류하였다. 이렇게 분류한 사례를 생산자물가지수(총지수)를 이용하여 기준시점인 2019년으로 동일하게 보정하였으며, 발전용량(MW)당 보상금을 사례별로 산정하여 평균값을 통해 1MW를 생산하기 위해 소요되는 사회·경제적 비용인 어업손실보상금을 통해 발전유형별 경제성을 분석하였다.

1) 서해안(대조차 환경, 조석의 영향이 큰 해안), 동해안(전형적인 파랑 우세 해안), 남해안(중소조차 해안, 태풍의 영향을 가장 크게 받는 해안)

3. 결과 및 고찰

3.1 발전용량 / 온배수 배출량과 보상금 상관분석

3.1.1 원자력 발전소 상관분석

원자력 발전소 보상사례에 해당되는 각 발전소 호기별 발전용량 및 온배수 배출량 등의 현황은 Table 3.1.과 같다.

Table 3.2.은 원자력 발전소의 발전용량과 온배수배출량 및 사례별 기준 시점으로 보정한 보상금의 합계를 정리한 것이며, 보상금과 발전용량 및 온배수 배출량과의 상관분석을 실시한 결과 상관계수는 Table 3.3.에서 제시한 바와 같이 발전용량 0.9827, 온배수배출량 0.9689로 자료간 상호 연관성을 확인하였다.

Table 3.1. Current status of nuclear power generation capacity and thermal discharges

Plant Name	Unit	Capacity (MW)	thermal discharges (m ³ /hr)	Discharge type
Kori	1	587	140,040	Surface
	2	650	154,440	Surface
	3	950	214,560	Surface
	4	950	214,560	Surface
	Total	3,137	723,600	

Plant Name	Unit	Capacity (MW)	thermal discharges (m ³ /hr)	Discharge type
Hanbit	1	950	194,760	Surface
	2	950	194,760	Surface
	3	1,000	178,920	Surface
	4	1,000	178,920	Surface
	5	1,000	233,280	Surface
	6	1,000	233,280	Surface
	Total	5,900	1,213,920	
Wolsong	1	679	154,080	Surface
	2	700	154,080	Surface
	3	700	154,080	Surface
	4	700	154,080	Surface
	Total	2,779	616,320	

Table 3.2. Nuclear power plant power generation capacity and thermal discharges, compensation

Plant Name	Capacity (MW)	Thermal discharges (m ³ /hr)	Compensation (10 ⁸ won)	Discharge type
Kori units 1-4	3,137	723,600	108.28	Surface
Hanbit units 1-6	5,900	1,213,920	2,644.32	Surface
Wolsong units 1-4	2,779	616,320	335.40	Surface

Table 3.3. Nuclear Power Plant Correlation Factor

Correlation analysis	Capacity (MW)	thermal discharges (m ³ /hr)
Correlation Factor	0.9827	0.9689

3.1.2 화력 발전소 상관분석

화력 발전소 보상사례에 해당되는 각 발전소 호기별 발전용량 및 온배수 배출량 등의 현황은 Table 3.4.과 같다.

Table 3.5.은 화력 발전소의 발전용량과 온배수배출량 및 사례별 기준시점으로 보정한 보상금의 합계를 정리한 것이며, 보상금과 발전용량 및 온배수 배출량과의 상관분석을 실시한 결과 상관계수는 Table 3.6.에서 제시한 바와 같이 0.9532, 0.9958로 자료간 상호 연관성을 확인하였다.

Table 3.4. Current status of Thermal power generation capacity and thermal discharges

Plant Name	Unit	Capacity (MW)	Thermal discharges (m ³ /hr)	Discharge type
Dangjin	1	500	93,760	Surface
	2	500	93,760	Surface
	3	500	93,760	Surface
	4	500	93,760	Surface
	Total	2,000	375,040	

Plant Name	Unit	Capacity (MW)	Thermal discharges (m ³ /hr)	Discharge type
Samcheonpo	1	560	65,768	Surface
	2	560	65,768	Surface
	3	560	65,768	Surface
	4	560	65,768	Surface
	5	500	93,600	Surface
	6	500	93,600	Surface
	Total	3,240	450,272	
Seocheon	1~2	400	68,040	Surface
Jeju	2~3	150	14,600	Surface
Hadong	1	500	367,248	Surface
	2	500		Surface
	3	500		Surface
	4	500		Surface
	5	500		Surface
	6	500		Surface
	Total	3,000	367,248	

Table 3.5. Thermal power plant power generation capacity and thermal discharges, compensation

Plant Name	Capacity (MW)	Thermal discharges (m ³ /hr)	Compensation (10 ⁸ won)	Discharge type
Dangjin units 1-4	2,000	375,040	757.63	Surface
Samcheonpo units 1-6	3,240	450,272	937.19	Surface
Seochon units 1-2	400	68,040	30.4	Surface
Jeju units 2-3	150	14,600	3.25	Surface
Hadong units 1-6	3,000	367,248	690.00	Surface

Table 3.6. Thermal Power Plant Correlation Factor

Correlation analysis	Capacity (MW)	Thermal discharges (m ³ /hr)
Correlation Factor	0.9532	0.9958

3.1.3 발전용량과 온배수배출량과의 다중공선성

다중회귀분석에 있어서 특정 독립변수의 회귀계수는 다른 독립변수들이 일정하다는 가정 하에서 종속변수에 미치는 영향을 측정한다. 따라서 독립변수인 발전용량과 온배수 배출량간의 다중공선성(multicollinearity)의 존재여부를 확인하고자 분산팽창지수(variance inflation factor, VIF)를 측정하였다. 일반적으로 독립변수의 VIF가 4를 넘으면 다중공선성이 존재하는지 점검할 필요가 있으며, 10을 초과하면 다중공선성이 존재할 가능성이 높다고 판단된다. 따라서 두 독립변수인 발전용량과 온배수 배출량과의 VIF 측정결과는 Table 3.7. 과 같다. 화력 발전소의 경우 VIF 값이 4를 초과하여 다중공선성이 존재하는 것으로 분석되었다. 따라서 두 변수간 다중공선성이 존재함에 따라 본 연구에서는 독립변수 중 발전사업으로 인한 편익에 해당하는 발전용량을 독립변수로 설정하여 발전용량당 어업손실보상금의 정도인 비용/편익비율을 통해 어업손실보상 측면에서 경제성을 분석하였다.

Table 3.7. Results of VIF measurement between two independent variables

Case	Variance Inflation Factor(VIF)
Thermal Power Plant	5.161476

3.2 발전용량/온배수 배출량과 보상금 회귀분석

3.2.1 원자력 발전소 회귀분석

앞서 제시한 Table 3.2. 의 원자력 발전소 발전용량 및 온배수배출량, 보상금의 단순회귀분석을 실시하였다.

Table 3.8는 단순회귀분석 결과로서 발전용량 및 온배수 배출량과 보상금간의 결정계수 및 유의확률이며, 발전용량과 보상금의 회귀모형은 96.58%의 설명력을 가지고, 극단적인 결과가 실제로 나타날 확률은 11.84%였다. 이에 반해 온배수 배출량과 보상금의 회귀모형은 93.87%의 설명력과 15.93%의 유의확률을 나타내는 것으로 분석되었다.

원자력 발전소의 어업손실보상금(F_c)과 발전용량(G_c)간의 회귀모형은 Fig. 3.1과 같고 온배수 배출량(W_d)과의 회귀모형은 Fig. 3.2와 같다. 이를 통해 각각은 $F_c = 0.8074G_c - 2150.7$, $F_c = 0.0043W_d - 2603.2$ 의 회귀식을 도출할 수 있었다.

Table 3.8. Results of Simple regression analysis of compensation / power generation capacity and thermal discharges

Simple regression analysis		Capacity (MW)	Thermal discharges (m ³ /hr)
nuclear power plants	R ²	0.9658	0.9387
	P	0.1184	0.1593

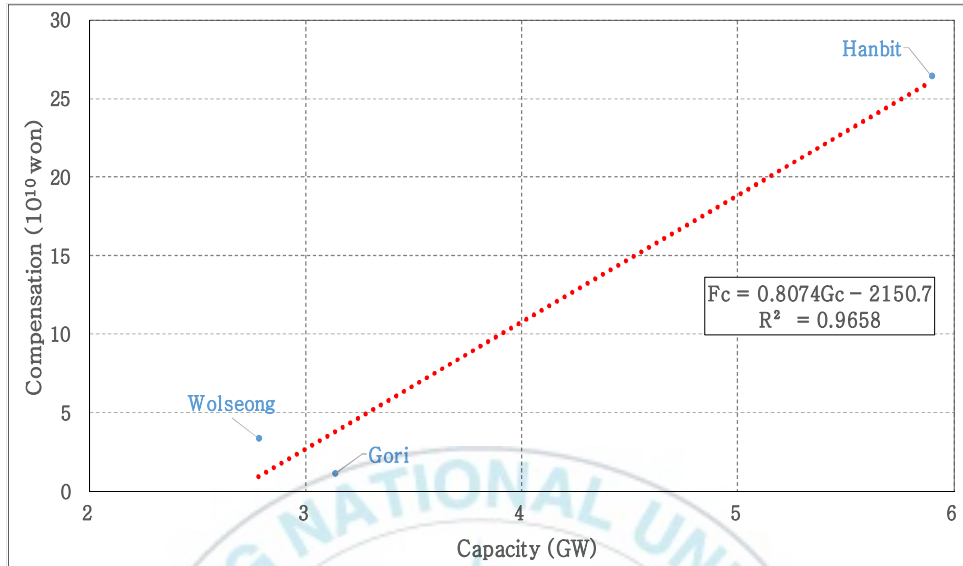


Fig. 3.1 A Regression Model of Power Generation Capacity and compensation

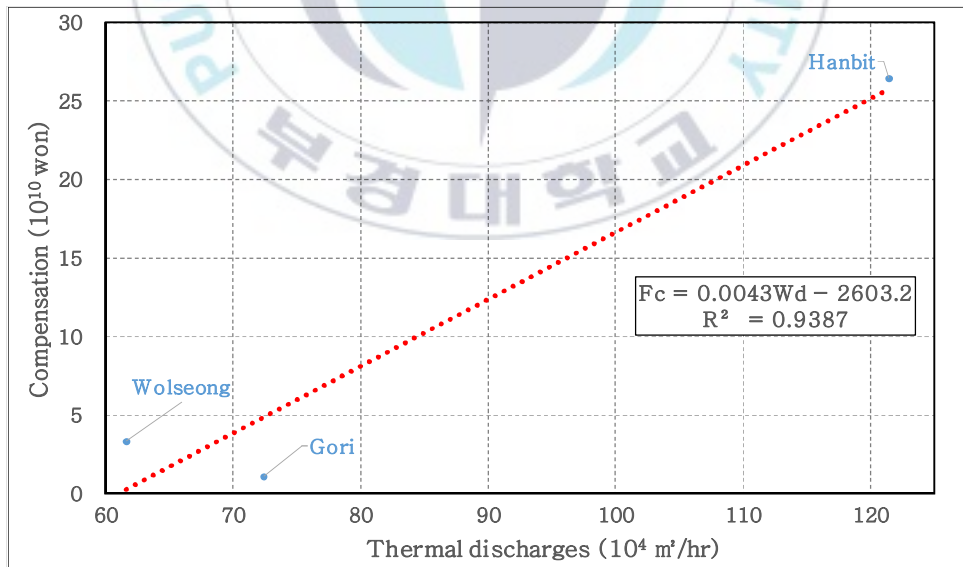


Fig. 3.2 A Regression Model of thermal discharges and compensation

3.2.2 화력 발전소 회귀분석

앞서 제시한 Table 3.5. 의 화력 발전소 발전용량 및 온배수배출량, 보상금의 단순 회귀 분석을 실시하였다.

Table 3.9는 단순회귀분석 결과로서 발전용량 및 온배수 배출량과 보상금간의 결정계수 및 유의확률이며, 발전용량과 보상금의 회귀모형은 90.85%의 설명력을 가지고, 극단적인 결과가 실제로 나타날 확률은 1.2%였다. 이에 반해 온배수 배출량과 보상금의 회귀모형은 99.16%의 상당히 높은 설명력과 0.03%의 유의확률을 나타내는 것으로 분석되었다.

화력 발전소의 어업손실보상금(F_c)과 발전용량(G_c)간의 회귀모형은 Fig. 3.3과 같고 온배수 배출량(W_d)과의 회귀모형은 Fig. 3.4와 같다. 이를 통해 각각은 $F_c = 0.2896G_c - 25.447$, $F_c = 0.0022W_d - 73.343$ 의 회귀식을 도출할 수 있었다.

Table 3.9. Results of Simple regression analysis of compensation / power generation capacity and thermal discharges

Simple regression analysis		Capacity (MW)	Thermal discharges (m ³ /hr)
thermal power plant	R ²	0.9085	0.9916
	P	0.012	0.0003

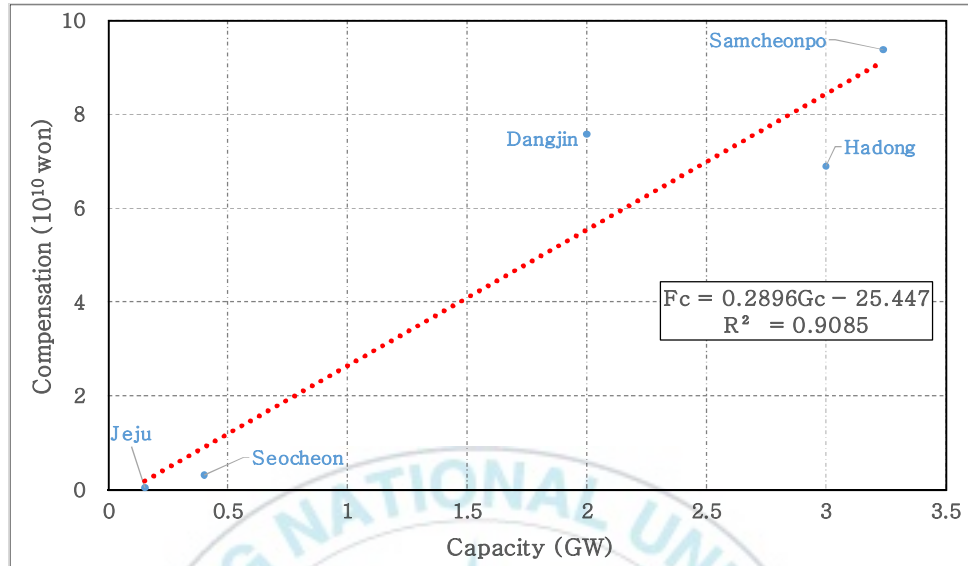


Fig. 3.3 A Regression Model of Power Generation Capacity and compensation

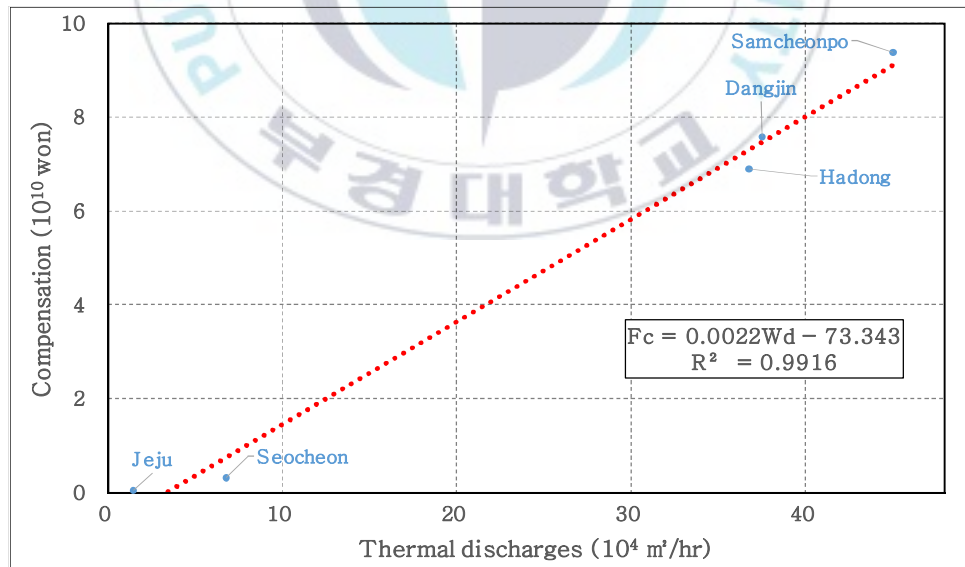


Fig. 3.4 A Regression Model of thermal discharges and compensation

3.3 경제성 분석

3.3.1 발전소 냉각수 배수시스템에 따른 경제성 분석

화력 발전소의 보상사례 중 발전소 위치가 인근지역이고, 배수시스템(표층/수중)이 차이 나는 사례를 Table 3.10 과 같이 선정하였으며, 그 위치는 Fig. 3.5 과 같다. 보상사례를 단순히 발전용량(MW)당 보상금으로 산정한 결과 수중배수가 표층배수에 비해 약 27배 높은 경제성을 가지는 것을 확인할 수 있다.

하지만 배수시스템(표층/수중)에 따라 온배수 확산 범위 등이 차이 나는 점을 보정하기 위해 환경영향평가서 등의 자료를 통해 1℃ 온배수 최대 확산 범위(Fig. 3.6)을 기준하여 확산면적(km²)을 추가적으로 검토하여 경제성을 분석하였다.

1℃ 온배수 최대 확산 범위를 기준한 것은 온도 변화에 대하여 어류가 적응할 수 있는 범위는 온도가 상승할 경우 1.1℃/일 미만으로 알려져 있고(Samuel and Jordan 1980), 1949년 영국의 하천 오염에 관한 정부 보고서에는 발전소에서 배출되는 냉각수와 관련하여 여름에 수온이 1℃ 만 상승하여도 생물상에 직접 또는 간접으로 악영향을 미칠 수 있다고 기술하고 있는 점(김, 2000), 또한 지난 30여년간 어업피해조사 등에서 온배수 영향 범위로 인식해온 1℃ 수온 상승 범위를 어업피해범위(Table 3.11)로 활용되고 있었던 점을 종합적으로 고려한 것이다.

확산면적(km²)에 따른 1MW당 보상금을 상호 비교하더라도 수중 배수시스템이 어업손실보상측면에서 경제성이 높은 것으로 분석되었다(Table 3.12). 이러한 결과를 통해 수중 배수시스템이 표층 배수시스템보다 해양환경에 미치는 영향이 적다는 점을 유추할 수 있었다.

Table 3.10. A Case Study for Economic Analysis of Drainage System

Plant Name	Capacity (MW)	Compensation (10 ⁸ won)	Maximum Diffusion Range of 1℃ thermal discharges (km ²)	Discharge type
Dangjin units 1-4	2,000	757.63	8.00	Surface
H.G.P units 1-8	800	11.50	3.06	Submerged



Fig. 3.5 Location of Cases for Economic Analysis of Drainage System.

Table 3.11. A Case Study on the Critical Temperature Maximum in Fishery Damage Survey

Factor	Critical Temperature Maximum	Sea area	Related public utilities	Related institutions
Temperature	1°C	Dangjin, Chungnam	Dangjin Thermal Power	Korea Ocean Research Institute (1994)
		Dangjin, Chungnam	Dangjin Thermal Power	Korea Electric Power Corporation (1997)
		Taeon, Chungnam	Taeon Thermal Power	Korea Ocean Research Institute (1995)
		Ulsan, Gyeongbuk	Ulsan Nuclear Power	Korea Ocean Research Institute (1994) • Pukyong National University (2002)
		Yeonggwang, Jeonnam	Yeonggwang Nuclear Power	Korea Electric Power Corporation (1998)
		Sacheon, Gyeongnam	Samcheonpo Thermal Power	Pukyong National University (2001)
		Hadong, Gyeongnam	Hadong Thermal Power	Pukyong National University (2000)

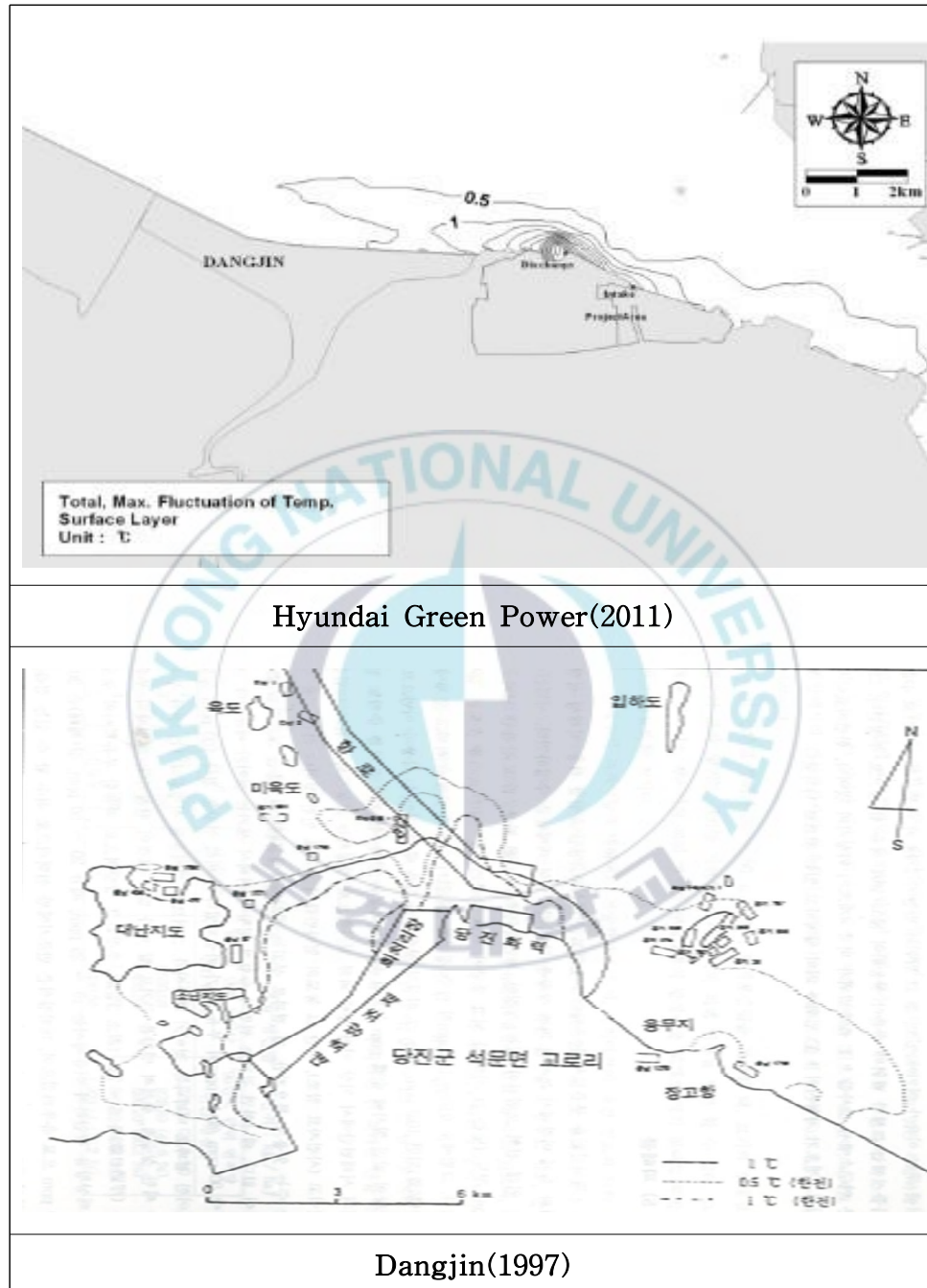


Fig. 3.6 Maximum Diffusion Range of 1°C thermal discharges by Plant

Table 3.12. Economic Analysis by Coolant Drainage System

Plant Name	Discharge type	Compensation per 1MW (10 ⁸ won/MW)	Maximum Diffusion Range of 1℃ thermal discharges (km ²)	Compensation (10 ⁸ won/MW · km ²)
Dangjin units 1-4 (A)	Surface	0.379	8.00	0.0474
H.G.P units 1-8 (B)	Submerged	0.014	3.06	0.0046
Economic Analysis (A/B)		27.00		10.35

3.3.2 발전유형별 경제성 분석

어업손실보상 사례를 원자력, 화력, 복합화력으로 분류하여 사례별 발전 용량(MW)당 보상금을 산정한 후 평균값을 통해 1MW를 생산하기 위해 소요되는 사회·경제적 비용인 어업손실보상금으로 발전유형별 경제성을 분석하였다(Table 3.13).

경제성 분석결과 각 발전유형별 평균값은 원자력 발전이 0.2억원/MW, 화력 발전이 0.2억원/MW, 복합화력 발전이 0.02억원/MW로 분석되었으며, 이 결과는 발전유형별 발전개념과 유사하였다. 발전개념이 동일한 원자력과 화력 발전의 경우 동일한 비율이었고, 발전개념이 다른 복합화력 발전은 상대적으로 1MW를 생산하기 위해 소요되는 사회·경제적 비용인 어업손실보상금이 적어 다른 두 발전유형에 비해 어업손실보상측면에서 경제성이 있는 것으로 분석되었다.

이와 같은 결과는 두 차례 발전하는 시스템인 복합화력 발전의 발전개념에서 유추할 수 있었다. 같은 양의 연료를 사용하더라도 두 차례 발전하는 시스템으로 타 발전에 비해 생산하는 전력량이 많고 Table 3.14과 같이 발전유형별 1MW당 온배수 배출량과 배출해역과의 수온차를 비교하더라도 1차 발전과정에서 발생한 열을 재이용하여 2차 발전을 하면서 온배수 수온이 떨어져 배출해역과의 수온차 또한 낮아지게 된다. 이런 내용을 종합적으로 검토한 결과 복합화력 발전이 타 발전에 비해 상대적으로 경제성이 높은 것으로 판단되었으나, 복합화력의 경우 기 가동 중인 화력발전소 인근지역에 추가적으로 건설되어 기존 화력발전소 온배수로 인한 어업손실보상이 선행되었던 점 등 개별적인 사항은 본 연구에서는 반영하지 않았다.

또한 경제성분석 결과 원자력 발전과 화력발전이 0.2억원/MW로 유사하였으나, Table 3.14.에서 확인할 수 있듯이 원자력 발전의 경우 1MW당 온배수배출량과 설계수온차가 크다는 점을 고려해볼 때 어업손실보상 측면에서는 화력발전보다 경제성이 떨어지는 것으로 판단된다.

Table 3.13. Economic Analysis of Power Generation Types

Type	Plant Name	Capacity (MW)	Compensation (10 ⁸ won)	Compensation per 1MW (10 ⁸ won/MW)
Nuclear Power	Kori units 1-4	3,137	108.28	0.03
	Hanbit units 1-6	5,900	2,644.32	0.45
	Wolsong units 1-4	2,779	335.40	0.12
	Average			0.2
Thermal Power	Dangjin units 1-4	2,000	757.63	0.38
	Samcheonpo units 1-6	3,240	937.19	0.29
	Seocheon units 1-2	400	30.4	0.08
	Jeju units 2-3	150	3.25	0.02
	Hadong units 1-6	3,000	690.00	0.23
	Average			0.2
Combined Thermal Power	G.C.P	700	10.9	0.02
	G.L.C.P	989	23.52	0.02
	Average			0.02

Table 3.14. Power generation capacity and thermal discharges by type
of power generation, design water temperature difference

Type	Plant Name	Capacity (MW)	Thermal discharges (m ³ /hr)	Thermal discharges per 1MW (m ³ /hr · MW)	temperature difference (ΔT, °C)
Nuclear Power	Kori units 1-4	3,137	723,600	230.67	7.03
	Hanbit units 1-6	5,900	1,213,920	205.75	8.13
	Wolsong units 1-4	2,779	616,320	221.78	9.56
	Average			219.40	8.24
Thermal Power	Dangjin units 1-4	2,000	375,040	187.52	7.00
	Samcheongpo units 1-6	3,240	450,272	138.97	9.30
	Seocheon units 1-2	400	68,040	170.10	7.60
	Jeju units 2-3	150	14,600	97.33	8.00
	Hadong units 1-6	3,000	367,248	122.42	8.10
	Average			143.27	8.00
Combined Thermal Power	G.C.P	700	56,988	81.41	6.45
	G.L.C.P	989	82,258	83.17	7.00
	Average			82.29	6.73

3.3.3 종합고찰

본 연구의 경제성 분석결과를 종합하면 Table 3.15. 과 같다. 어업손실보 상 측면에서 냉각수 배수시스템의 경우 표층배수에 비해 수중배수가 약 10 배 정도 경제성이 높은 것으로 분석되었으며, 발전유형별로는 복합화력 발 전이 타 발전유형에 비해 약 10배 정도 경제성이 높은 것으로 분석되었다. 또한 1MW당 온배수배출량과 설계수온차 등을 종합하여 분석한 결과 화력 발전이 원자력 발전보다는 경제성이 높은 것으로 분석되었다.

Table 3.15. Economic Analysis of Power Generation Types by Coolant Drainage System

Discharge type	Nuclear Power	Thermal Power	Combined Thermal Power
Surface	○	☐	☐
Submerged	☐	☐	●

※ ● : Excellent, ☐ : Good, ☐ : Average, ☐ : Fair, ○ : Poor

4. 요약 및 결론

본 연구는 온배수 어업손실보상 사례를 활용한 새로운 접근방법으로 발전소 발전유형별 냉각수 배수시스템의 경제성을 분석하는데 목적이 있다. 본 연구의 경제성 분석에 앞서 어업손실보상 사례와 발전용량, 온배수 배출량 간의 상관분석과 회귀분석을 통해 자료의 연관성을 확인하였다.

본 연구의 경제성 분석은 비용 부분은 어업손실보상금, 편익 부분을 발전용량으로 분류하여 비용/편익비율인 1MW를 생산하는데 소요되는 어업손실보상금의 정도를 상호 비교분석하는 것으로 정의하였다. 본 연구에서 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 발전용량과 어업손실보상금은 원자력 98.27%, 화력 95.32%이며, 온배수배출량과 어업손실보상금은 원자력 96.89%, 화력 99.58%의 상관계수를 통해 자료간 상호 연관성이 있는 것으로 판단된다.
2. 발전용량(G_c)과 어업손실보상금(F_c)의 회귀분석 결과는 원자력과 화력은 각각 96.58%, 90.85%의 설명력과 11.84%, 1.2%의 유의확률을 보였으며, $F_c = 0.8074G_c - 2150.7$, $F_c = 0.2896G_c - 25.447$ 의 회귀식을 제안하였다.
3. 온배수배출량(W_d)과 어업손실보상금(F_c)의 회귀분석 결과는 원자력과 화력 각각 93.87%, 99.16%의 설명력과 15.93%, 0.03%의 유의확률을 보였으며, $F_c = 0.0043W_d - 2603.2$, $F_c = 0.0022W_d - 73.343$ 의 회귀식을 제안하였다.

4. 냉각수 배수시스템별 경제성 분석 결과 표층 배수시스템이 수중 배수시스템에 비해 약 10배 정도 사회·경제적 비용인 어업손실보상금이 더 소요되는 것으로 분석되었다.
5. 발전유형별 경제성 분석 결과 복합화력이 0.02 억원/MW로 타 발전에 비해 경제성 높은 것으로 분석되었다. 이 분석결과는 1차 발전시 발생하는 열을 재이용하여 두 차례 발전하는 복합화력의 발전개념으로 설명될 수 있었다.
6. 원자력과 화력의 경제성 분석 결과 0.2억원/MW로 유사하였지만 원자력의 경우 1MW당 온배수배출량과 설계수온차가 크다는 점을 고려해볼 때 어업손실보상 측면에서는 화력보다 경제성이 떨어지는 것으로 판단된다.

본 연구는 어업손실보상사례를 활용한 경제성 분석의 새로운 방법을 제안하는 연구로서, 그 결과 수중 배수시스템 및 복합화력 발전이 온배수로 인한 어업손실보상 측면에서는 경제성이 높은 것으로 분석되었다. 그러나 경제성 분석의 정확도와 타당성을 높이기 위하여 추후 연구에서는 보정지수를 통해 각 해역별 특징 및 조업비율, 인근 어장형태 등을 고려한 분석이 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

- 강구철, 강병운(2011). 신행정법. 리복스
- 강용주, 김기수(2006). 발전소 온배수에 의한 어업피해범위와 정도 및 어업처분을 결정하는 표준화 방안의 적용사례분석. 수산경영론집, 37(1), pp.73~93.
- 강용주, 김기수(2014). 수온환경변화에 따른 생물분포와 어업피해결정을 위한 임계환경변화량이론의 재조명. 수산경영론집, 45(1), pp.1~16.
- 강용주, 김기수, 장창익, 박청길, 이종섭(2004). 공공사업으로 인한 어업피해범위와 피해정도 추정의 새로운 통계학적 접근. 수산경영론집, 35(1), pp.177~132.
- 곽기영(2019). R을 이용한 통계데이터분석. 도서출판 청람
- 김영환(2000). 발전소 온배수와 해양생태계. 전파과학사
- 김용준, 박상희(2012). 어업의 간접손실보상에 관한 연구. 해사법연구, 24(1), pp.67~68.
- 부경대학교 산학협력단(2017). 월성 1~4호기 및 신월성 원전 1,2호기 운영으로 인한 어업피해조사 보고서
- 부좌현(2014). 발전소 온배수 현황과 정책과제. 정책자료집
- 서상복, 도광선, 노권일, 성민건(2016). 어업보상실무. 부연사
- 여수수대 수산과학연구소(1994). 영광원자력 발전소 1,2호기 온배수로 인한 어업피해조사 보고서
- 여수수대 수산과학연구소(1995). 영광원자력 발전소 1,2,3,4호기 온배수로 인한 어업피해조사 보고서
- 이상화, 이성면, 박병준, 이한승(2012). 수치모의를 통한 원자력 발전소 심층 취·배수 구조물 유·출입구 주변에서의 수리학적 흐름특성 고찰. 대한토목학회논문집, 32(2A), pp.123~130.
- 장창익, 이성일, 이종희(2009). 원자력발전소의 온배수 배출량을 고려한 어업생산감소율 추정 모델. 한수지, 42(5), pp.494~502.

전남대학교 수산과학연구소(2007). 광양 LNG 복합화력발전소 건설 및 온배수 배출로 인한 어업피해조사 최종보고서

전남대학교 수산과학연구소(2015). 보령화력 제7,8호기 온배수 영향조사 최종보고서

전인성, 박석순, 정연태, 임주환, 강연식, 길준우. (2009). 발전소 온배수 영향 저감을 위한 냉각방식 개선 타당성 조사연구. 한국해양환경·에너지학회 학술대회 논문집,(), pp.227-236.

제주대학교 해양과환경연구소(2003). 제주화력발전소 가동으로 인한 해양 영향조사 보고서

충남발전연구원(2011). 보령시 화력발전 온배수의 활용방안 연구보고서

충남발전연구원(2012). 충남 화력발전소 온배수 배출의 실태와 활용방안 연구보고서

한국서부발전주식회사(2007). 군산복합화력 건설사업 환경영향평가서

한국전력공사(1990). 삼천포 화력발전소 회 처리장 및 방파제 축조사업 환경영향평가서

한국전력공사(1990). 하동화력발전소 건설사업 환경영향평가서

한국전력공사(1993). 삼천포 5,6호기 및 저탄장 증설사업 환경영향평가서

한국전력공사(1997). 당진화력 공유수면(추가) 매립으로 인한 피해영향조사 최종 보고서

한국중부발전(주)(2014). 신서천화력 건설사업 환경영향평가서

한국해양과학기술원(2014). 신한울 1,2호기 온배수 어업영향 예측조사 보고서

한국해양연구원(1995). 태안화력발전소 건설에 따른 피해영향범위 조사와 피해어업권 및 어선손실보상액 산출 보고서

한국해양연구원(2005). 영광 5,6호기 건설 및 가동에 따른 광역해양조사 보고서

한국해양연구원, 부경대학교(2002). 울진원전 4호기 가동에 따른 온배수 영향 및 어업피해조사 보고서

- 한국환경정책·평가연구원(2013). 발전소 냉각수 배출에 따른 해양환경 영향예측 및 최소화방안 연구 보고서
- 해양수산부(2007). 해양생태계 보전을 위한 온배수 관리방안 연구보고서
- 현대그린파워(2011). 당진1 철강산업단지 개발사업 현대그린파워 발전소 7,8호기 건설사업 환경영향평가
- Dormann, C.F., Elith, J., Bacher, S., Buchmann, C., Carl, G., Carre, G., Garcia Marquez, J.R., Gruber, B., Lafourcade, B., Leitao, P.J., Munkemuller, T., McClean, C., Osborne, P.E., Reineking, B., Schroder, B., Skidmore, A.K., Zurell, D., and Lautenbach, S. (2013) Collinearity: a review of methods to deal with it and a simulation study evaluating their performance.
- Miller, D. S., Brighthouse, B. A. (1984). Thermal Discharges-A guide to power and process plant cooling-water discharges into rivers, lakes and sea. British Hydromechanics Research Association, London.
- Moore, D.S., Notz, W.I., and Flinger, M.A. (2013) The basic practice of statistics (6th ed.). New York, NY: W. H. Freeman and Company.
- Ratner, B. (2009) The correlation coefficient: Its values range between $+1/-1$, or do they?
- Samuel G, W. H. Jordan. (1980). Nuclear power and its environmental effects. American Nuclear Society. Illinois. 395pp
- Suzuki, N., Olson, D.H., and Reilly, E.C. (2007) Developing landscape habitat models for rare amphibians with small geographic ranges: a case study of Siskiyou Mountains salamanders in the western USA.