

碩士學位論文

제주지역 환경시설지구의
폐열활용 최적화에 관한 연구



濟州大學校 大學院

機械工學科

姜 秉 贊

2005年 12月

제주지역 환경시설지구의 폐열활용 최적화에 관한 연구

指導教授 朴潤鐵

姜秉贊

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함

2005年 12月

姜秉贊의 工學 碩士學位 論文을 認准함



審査委員長 _____ 印

委 員 _____ 印

委 員 _____ 印

濟州大學校 大學院

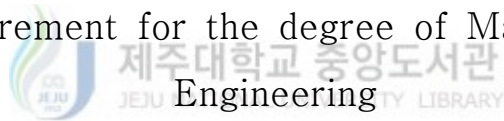
2005年 12月

A study on optimization of waste heat usage
in the Jeju Environment Facility

Byung Chan Kang

(Supervised by professor Youn Cheol Park)

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



Department of Mechanical Engineering
GRADUATE SCHOOL
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

November 2005

목 차

NOMENCLATURE	iii
SUMMARY	iv
I. 서 론	1
1.1 연구배경	1
1.2 연구목표 및 내용	3
II. 에너지자원 최적화 방안	4
2.1 환경시설지구 시설현황	4
2.1.1 광역소각장	4
2.1.2 음식물 쓰레기 자원화센터	11
2.1.3 한화리조트	13
2.1.4 유스호스텔	14
2.1.5 LFG 발전소	15
2.2 미활용 에너지 활용방안	16
2.2.1 열원별 활용방안	16
2.2.1 이용 형태별 활용방안	16
2.3 에너지자원 최적화 프로그램 개발	18
2.3.1 폐열 활용방안	18
2.3.2 배관계통	19
2.3.3 기본가정	20

2.3.4 부하패턴의 설정	21
2.3.5 해석모델	23
2.3.6 해석방법	24
2.3.6 해석방정식	26
Ⅲ. 결과 및 고찰	28
3.1 폐열활용 시스템과 기존 시스템과의 연계방안	28
3.1.1 광역소각장 폐열의 9% 이용방안	30
3.1.2 광역물소각장 폐열 59.3% 이용방안	31
3.1.3 LFG 발전소 폐열 이용방안	32
3.1.4 광역소각장과 LFG 발전소 폐열의 이용방안	33
3.2 경제성 분석	35
3.2.1 증기 단가와 운전비 결정	35
3.2.2 증기 단가와 연간경상비	37
3.2.3 경제성 분석	41
Ⅳ. 결론	43
Ⅴ.참고문헌	44

NOMENCLATURE

Q_L : 저위발열량, [$kcal/kg$]

h_v : 증기의 엔탈피, [kJ/kg]

h_l : 물의 엔탈피, [kJ/kg]

C : 생산단가, [won]

X : 증기생산량, [kg/h]

H : 운전시간, [$hour$]



SUMMARY

According to the renewable energy promotion law which act on 2005, public institute have to adapt one of renewable energy technology into their new constructing building. The promotion was started by international obligation of CO₂ reduction plan based on Tokyo Protocol. Utilizing unused energy is another theme on reduction method of CO₂ and take an important roll in energy industry.

Research on the waste energy which has higher potential energy is key items for research engineers on energy fields. In this study, waste heat of the Juju Environment Facility is investigated and the utilization method of the waste heat is suggested with economical optimization analysis.

This study provides a methodology for the optimization of waste heat usage in the Jeju Environment Facility. The Incineration Plant and LFG Power Plant was considered as heat sources and the Food Waste Resources Center and the Youth Hostel were selected as heat sinks of this study. The distribution of the unused energy in the Incineration Plant was analyzed with load profiles and operational methodology of the plant.

The main objective of this study is on the reduction of the fuel consumption of the heat sinks and reuse of the waste heat of the heat sources. Energy balance of the facilities were considered to understand current status of the energy flows. Payback periods of initial investment were calculated to know economical optimization plan for the waste energy.

As results, payback period of the additional piping that is installed to utilizing waste heat of the LFG Power Plant for the Food Waste Resources Center is about 1.5 years. Economic profit of the Food Waste Resources Center during 10 years operation is up to 1,650 million won. Through this study, methodology of waste heat utilization of the Incineration Plant are suggested and proposed a economical plans to using the unused heat.

I. 서론

1. 연구배경

산업혁명 이후에 현대인들은 과학기술의 발전과 산업화의 결과로 풍요로운 물질문명의 혜택을 누리게 되었다. 이러한 산업화의 결과로 화석에너지 사용이 급격히 늘어나게 되었고, 최근에는 이라크 전쟁 등과 같은 국제적인 분쟁과 석유자원의 고갈로 인한 고유가 시대를 맞이하게 되었다. 우리나라는 총에너지 소비량의 97% 이상을 해외에 의존하고 있으며, 세계기후변화협약에 따른 교토의정서의 발효에 따라 현재는 국가보고서 제출의무만을 부여받고 있으나, 2차 공약기간(2013-2017)에는 우리나라도 실제적인 온실가스 감축의무를 지게 될 예정이어서 부담이 가시화될 전망으로 보인다. 이러한 에너지 위기 속에서 우리나라가 국제환경규제에 능동적으로 대응하고 지속적인 에너지확보를 위해서 대체에너지 개발, 미활용 에너지의 최적이용 및 보급 확대의 대한 필요성이 날로 증가하고 있다.

최근에는 공공기관의 대체에너지 의무이용을 골자로 하는 「대체에너지개발 및 이용 보급 촉진법 시행령」 개정안이 확정되어, 신축되는 국가기관, 지자체, 투자·출자·출연기관 및 특별법인 등 공공기관은 이 시행령을 준수하여야 하는 의무를 지게 되었다. 이 시행령의 골자는 건축법에서 정한 11개의 용도별 시설물중 건축연면적 3천㎡ 이상의 건물을 신축할 경우 건축공사비의 5% 이상을 대체에너지 설비의 설치에 사용하여야 한다는 것이다. 여기서 대체에너지 설비는 대체에너지법 및 동법 시행규칙 제 2조의 태양열(냉난방·온수), 태양광(전기), 풍력(전기), 지열(냉난방), 수소·연료전지(전기), 바이오 및 폐기물에너지(열·전기) 등의 11개 설비가 대상이다.

최근 제주도는 국제자유화도시 지정과 함께 활발한 지역개발이 이루어지고 있으며, 생활수준의 향상에 따라 에너지 소비도 날로 증가하고 있어 추가적인 발전소의 증설이 이루어지고 있는 현실이다. 이러한 지역적인 에너지 소비의 증가를 완화하고 국가적인 이산화탄소 저감 정책 등에 기여하기 위한 방안으로 사용하지 못하고 버려지는 폐열의 재활용에 대한 관심이 고조되고 있다. 또한, 제주도에서는 대규모 에너지 다소

비형 복합건물(호텔, 사우나 등)이 늘어나고 있지만 이러한 시설에서 발생하는 폐열을 제대로 활용하지 못하고 있는 실정이다.

미활용 에너지 활용에 대한 관심이 증가하고 있는 현시점에서 국내의 경우 폐열을 이용한 연구기술이 점차 개발되고 확산되는 추세이나, 제주도의 경우에는 산업시설의 미비로 폐열이용 기술개발뿐만 아니라 폐열이용 시설이 거의 없는 것이 현실이다. 제주도의 미활용 에너지 활용실태를 비교분석해 보기 위하여 지역별 폐열활용시설 현황을 나타내고 있는 Table 1-1을 살펴보면 다른 지방자치단체에 비하여 제주도의 경우에는 폐열활용시설이 전무한 것을 알 수 있다.

Table 1-1 Facilities of waste heat by regional groups

Region	Seoul	Pusan	Daegu	Incheon	Kwang-ju	Dae-jeon	Ulsan	Kangwon	
No. of Facility	4	26	5	85	-	7	48	4	
Capacity (Ton/hr)	142.8	286.5	53.6	619.6	-	60.4	1,154.8	10.0	
Region	Kyeng-nam	Kyeng-book	Chen-nam	Chen-bok	Chung-nam	Chung-bok	Kyeng-ki	Jeju	Total
No. of Facility	38	43	49	29	11	21	103	-	473
Capacity (Ton/hr)	197.1	409.0	3,032.5	171.2	326.7	111.4	818.2	-	7,390.8

본 연구는 이러한 지역적 현실에 따라서 대체에너지 이용을 활성화 하고, 국가적인 에너지절약 정책에 부응하기 위하여 수행되었으며, 제주도의 대표적인 폐열발생장소 중의 하나인 환경시설지구의 미활용 에너지의 최적 활용방안을 강구하기 위한 목적으로 수행되었다. 이러한 환경시설지구의 미활용 에너지의 활용은 전기·열 등을 생산하는 다양한 설비 중에서 공공기관이 필요한 에너지 발생 혹은 수요설비를 자율적으로 선택할 수 있는 여건에서는 대체에너지개발 및 이용·보급에 기여 할 수 있는 주요 방안중의 하나가 될 것이다.

2. 연구목표 및 내용

본 연구는 제주지역 환경시설지구의 에너지자원 최적화 방안의 구축을 통해서 제주 지역실정에 맞는 자원·에너지 공급, 이용 및 처리용 산업설비의 도입방안과 시스템의 기본 모델을 제시하고자 한다. 이를 위해서 본 연구에서는 제주도 환경시설지구의 폐열이 대량으로 발생하는 시설과 환경시설지구와 근거리에 위치하고 있어 지리적으로 이점이 있는 대량의 에너지가 필요한 에너지 다소비형 시설 사이에 열 수송 관로를 설계함으로써 환경시설지구를 에너지 공동체 형태로 구축하고자 한다.

이러한 목적을 위하여 먼저 제주지역 환경시설지구의 폐열발생현황조사를 통하여 미활용 에너지 자원량을 파악하였으며, 에너지 다소비 및 대량의 폐열발생 시설 파악, 폐열의 에너지자원으로써의 유효성 파악을 위한 열원의 특성분석, 폐열의 재이용 가능성에 대한 해석수행 및 에너지자원 활용을 위한 기본방향 설정 등에 대한 연구를 수행하였다.

본 연구를 통하여 제주도의 지역특성을 고려하여 실제로 활용할 수 있는 시설분야를 발굴하는 한편 미활용 에너지의 이용가능성을 분석하여 폐열 활용도를 제고할 수 있을 것이다.

II. 에너지자원의 최적화 방안

2.1. 환경시설지구 시설현황

제주시 회천동 소재의 제주도 환경시설지구에는 광역쓰레기소각장, 음식물자원화센터, 위생매립장, 매립가스 발전소(LFG 발전소) 및 재활용센터 등의 환경관련 시설들과 한화콘도, 유스호텔 및 청소년 야영장 등의 숙박시설이 단지형태로 형성되어 있다. 최근에선 4.3평화공원 및 노루생태공원 등의 인근에 대규모의 휴양단지가 건설되고 있다. 제주도 환경시설지구에는 다량의 에너지를 사용하는 시설로는 음식물자원화센터의 음식물 쓰레기 건조기가 운영되고 있으며, 인근에는 대규모 휴양단지가 조성되어 대규모 숙박용 냉난방 부하가 요구되고 있다. 이러한 지역적인 특성으로 회천동의 환경시설지구는 다량의 에너지를 요구하는 시설과 다량의 미활용 에너지가 발생하는 시설이 근거리에서 존재하고 있기 때문에 미활용 에너지를 손쉽게 활용할 수 있는 좋은 입지적 여건을 가지고 있다.

환경시설지구는 각 시설의 설계과정에서 미활용 에너지에 대한 활용방안이 어느 정도 검토되었으나, 구체적이고 체계적인 에너지 활용에 대한 방안 및 시설경험이 부족하였다. 또한 시설들 간의 이용효율 및 비용 등에 대한 협의가 적절히 진행되지 못하는 등 여러 가지 문제점으로 인하여 현재에는 각 시설별로 독자적인 냉난방설비와 시설유지에 필요한 에너지설비를 구비하고 경유 혹은 벙커C유 등을 연료로 사용하고 있다. 특히 음식물 자원화센터에서는 다량의 연료를 사용하여 음식물을 건조하고 있어 해당 지자체에서는 경제적으로 손실을 초래하고 있다. Fig. 2-1은 환경시설지구의 입지 및 시설현황을 나타내고 있다.

2.1.1. 광역소각장

제주도 광역소각장은 하루 200톤의 시설용량을 가진 소각시설이며, 본 연구에서는 설계자료를 기준으로 폐열부존량 및 미활용 에너지량을 결정하였다. 현재 운영중인 소각로의 형식은 유동사 방식으로써 이러한 유동사 방식의 열설비에 대한 현황조사를 수행하고 획득된 자료분석을 통하여 소각로 전체의 열정산을 수행하였다.

광역소각장에 유입되는 쓰레기의 종류는 여러 가지이며, 쓰레기에 함유된 성분에 따라서 쓰레기의 질을 양질, 중질 및 저질로 구별할 수 있다. Table 2-1은 유입쓰레기의 종류에 따른 증기발생량으로써 소각열 발생량은 소각장에 유입되는 고품쓰레기의 투입량을 가정하여 소각설비의 열에너지 회수율로부터 계산하였다. 유입되는 쓰레기가 양질일 경우에는 고위발열량이 2,200 kcal/kg, 중질일 경우에는 1,500 kcal/kg 및 저질일 경우에는 1,000 kcal/kg으로 가정하였다.

폐기물 소각에 의해 발생한 열은 소각로 상부에 설치된 폐열보일러에 의해 회수되며 증기로 회수된 열은 고압증기헤드에서 증기가 필요한 각각의 수요처로 공급된다. 여러 가지 수요처 중에서 소각장내에서 사용되는 증기는 SCR 예열기, 냉난방 및 재가열기 등에 직접열원으로 사용되고 일부는 Shoot Blow, 보일러급수 및 탈기 등에서 사용된다. 일부증기는 증기터빈 방식의 발전기의 구동에 사용하고 발전 후에 발전기에서 배출되는 저압의 증기는 복수기를 거쳐 응축수 탱크에 모이게 된다. 이러한 과정을 Fig. 2-2에 개략도로 나타냈으며, 소각장내의 열사용 설비와 발전용으로 사용된 증기를 제외하고 폐열보일러에서 생산된 증기는 고압증기복수기를 통해서 대기 중에 방열한다. 발전을 통하여 생산된 전력은 소각장에서 필요한 자체 전력으로 공급한다.

Table 2-2는 광역소각장에 유입되는 쓰레기의 유형별로 폐열보일러의 열회수를 통하여 생산된 증기를 소비하는 설비들과 각 설비에서의 증기사용현황을 나타내고 있다. Table 2-2에는 설계상에는 반영되었으나, 현재 이용되고 있지 않는 리조트의 냉난방용 증기사용도 포함되어 있으며, 쓰레기의 발열량이 1,500 kcal/kg인 중질쓰레기의 경우에 대하여 발전기를 운전할 경우와 운전하지 않을 경우로 나누어 증기사용에 대한 열수지를 나타내고 있다. 또한 중질쓰레기가 유입될 경우에 대하여 흡수식 냉동기를 운전하는 여름철과 흡수식 냉동기의 운전이 필요 없는 겨울철의 증기사용에 대한 열수지도 나타내었다. 이때 유입쓰레기의 조성이 고질인 2,200 kcal/kg일 때 각 설비의 입출구에서의 압력, 온도 및 엔탈피는 Table 2-3과 같다.

이러한 설계자료를 바탕으로 현재의 운전현황을 살펴보면 Table 2-4와 같으며, 이것을 광역소각장에서 발전용 증기터빈을 운전할 경우와 운전하지 않을 경우에 대하여 전체 생산증기 중에서 광역소각장내의 자체이용비율, 복수기를 통하여 공기 중에 방열하는 열량의 비율 및 연도손실 등을 나타내면 Fig. 2-3과 같다. 발전을 하지 않을 경우에 약 60%의 증기를 고압복수기를 통하여 외부에 방열하여야 하며, 발전을 할 경우에도 약 9%의 증기가 외부공기에 의하여 냉각되어야 한다는 것을 알 수 있다.

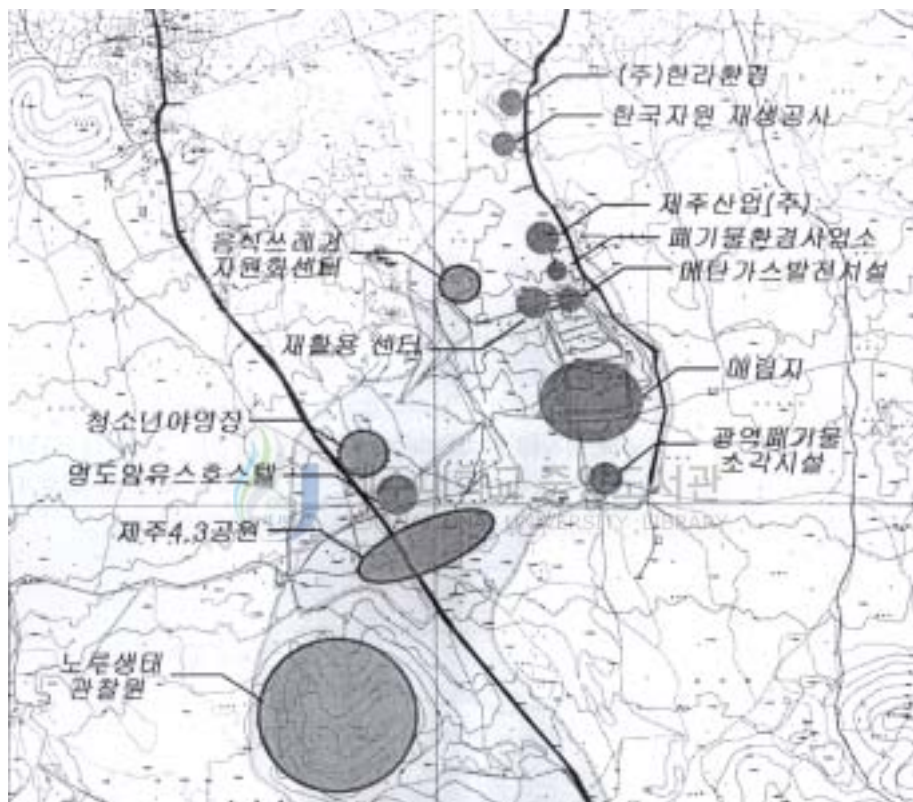


Fig. 2-1 Infra-structure in the environment center.

Table 2-1 Energy balance at the Incineration Plant with each type of garbage

Heating Value (kcal/kg)	Garbage Inflow (kg/hr)	Useful Energy (kcal/hr)	Maximum Steam Generation Rate (kg/hr)
2,200	4,166	9,166,700	12,820
1,500	4,583	6,875,000	11,400
1,000	4,166	4,166,700	8,600

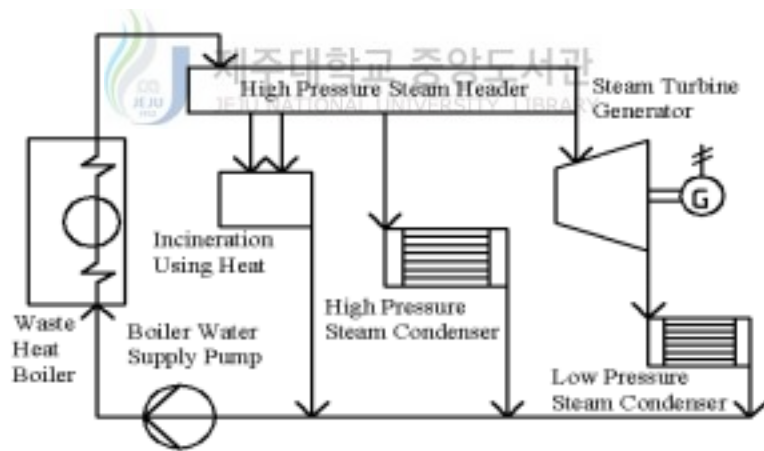


Fig. 2-2 Schematic of waste heat utilization at the Incineration Plant

Table 2-2 Production of steam at the Incineration Plant

		Heating Value (kcal/kg)	Winter			Summer
			2,200	1,500	1,000	1,500 (w/o pow. gen.)
Steam generation(Ton/hr)		25.54	21.40	17.86	21.40	21.40
Process (Ton/hr)	Supply air pre-heater	0	1.62	1.62	1.62	1.62
	Secondary air pre-heater	0	2.10	1.72	2.10	2.10
	Ammonia evaporation tower	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
	Gas reheater	1.68	1.48	1.36	1.48	1.48
	De-aerator	1.89	0.93	0.71	0.83	0.92
	Recirculation	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
Available (Ton/hr)	Absorption refrigeration	0	0	0	0	0.56
	AHU	2.06	2.06	2.06	2.06	1.37
	Generator	14.13	13.10	10.48	0	13.10
	Resort	5.87	0.20	0	5.87	0.33
	Low pressure condenser	14.13	13.10	10.48	7.53	13.10

Table 2-3 Inlet and outlet conditions of energy utilizing facilities in case of 2,200 kcal/kg heating value

Header	Quantity	Inlet	Exit	Reference
High pressure steam condenser	pressure(ata)	19	3	for safety
	discharge(Ton/hr)	0	0	
	temperature(℃)	250	90	
	enthalpy(kcal/kg)	694.6	90.0	
Absorption chiller	pressure(ata)	9	3	for summer
	discharge(Ton/hr)	0	0	
	temperature(℃)	180	90	
	enthalpy(kcal/kg)	665.2	90.0	
AHU	pressure(ata)	3	3	to be used
	discharge(Ton/hr)	2.06	2.06	
	temperature(℃)	161.4	90	
	enthalpy(kcal/kg)	665.2	90.0	
Resort	pressure(ata)	5	3	proposed
	discharge(Ton/hr)	5.87	5.87	
	temperature(℃)	225	100	
	enthalpy(kcal/kg)	694.6	100	
Steam turbine generator	pressure(ata)	17	1.3	to be used
	discharge(Ton/hr)	14.13	14.13	
	temperature(℃)	245	106.6	
	enthalpy(kcal/kg)	693.7	618.0	

Table 2-4 Operational status of Jeju Incineration Plant

Capacity	200 Ton/day
Garbage supply per day	app. 100 Ton/day
Power generation	400 kW
Internally used energy	23.7%
Used energy for power generation	50.3% (29,234 Gcal/year)
Energy losses	17%
Condensed energy through the air	9%(5,230.8 Gcal/year)
Steam temperature	250℃
Steam generation	12,000 kg/hr



Fig. 2-3 Energy supply trend to each facility with or without operation of power generator at the Incineration Plant

2.1.2. 음식물쓰레기 자원화센터

2003년 후반부터 제주시에서는 쓰레기 수거지역이 확대되고 음식물 쓰레기의 수거율이 80%에 이르게 될 것으로 예상됨에 따라서 기존에 운영중이던 음식물 쓰레기 자원화센터의 처리용량이 한계에 이를 것으로 판단되고, 이러한 현상은 음식물쓰레기의 매립이 금지되는 2005년도부터 심각한 지역적 문제점으로 부각될 것으로 예상하여 제2공장을 증설하였다. 2004년도 기준으로 제주시의 음식물쓰레기 발생량은 약 89 ton/day(32,500 ton/yr)로 나타나고 있다. 제주시 음식물 쓰레기 자원화센터에서는 음식물쓰레기를 원료로 하여 퇴비를 생산하고 있으며, 양질의 퇴비를 얻기 위하여 건조기에 쓰레기의 건조를 통하여 함수율 40%이하로 조절하고 있다. 음식물쓰레기의 건조에는 경유를 연료로 사용하고 있다.

제주시 음식물 쓰레기 자원화센터의 두개의 공장에서 음식물 건조에 필요한 에너지를 경유의 저위발열량을 기준으로 산정하면 식 (1)을 사용하여 계산할 수 있다.

$$\dot{Q} = P_{FC} \times \frac{\rho}{P_C} \times Q_L \quad (1)$$

건조에 필요한 에너지를 기준으로 증기량으로 환산하면 식 (2)에 나타난 바와 같으며, 대기압 하에서의 수증기의 엔탈피 차이와 건조용 에너지량으로부터 계산할 수 있다.

$$\dot{m}_{vapor} = \frac{\dot{Q}}{h_v - h_l} \quad (2)$$

Fig. 2-4는 음식물자원화센터의 음식물쓰레기 반입량과 사용 연료량이다. 반입량과 연료의 사용량은 비례하지는 않는 것을 알 수 있는데 이것은 음식물쓰레기의 조성이 일정하지 않기 때문이다. Table 2-5는 음식물자원화센터의 운전현황을 나타내고 있으며, Table 2-6은 연간 음식물자원화센터에서 음식물쓰레기의 건조에 필요한 증기량을 각각 나타내었다.

Table 2-5 Specification of the Food Waste Resource Center

Fuel consumption	Factory I : 384ℓ, Factory II : 95ℓ
Fuel type	Light oil (LHV: 9,200 kcal/kg)
Energy price	1.93 x 10 ⁹ Won/yr
Energy demand	2,240 Gcal/yr
Steam demand	4,051 Ton/yr
Steam temperature	160℃
Fuel amount for heating 1 ton of water from 100℃ to 160℃	72.4ℓ
Energy price for generating 1 ton of steam	55,024 Won

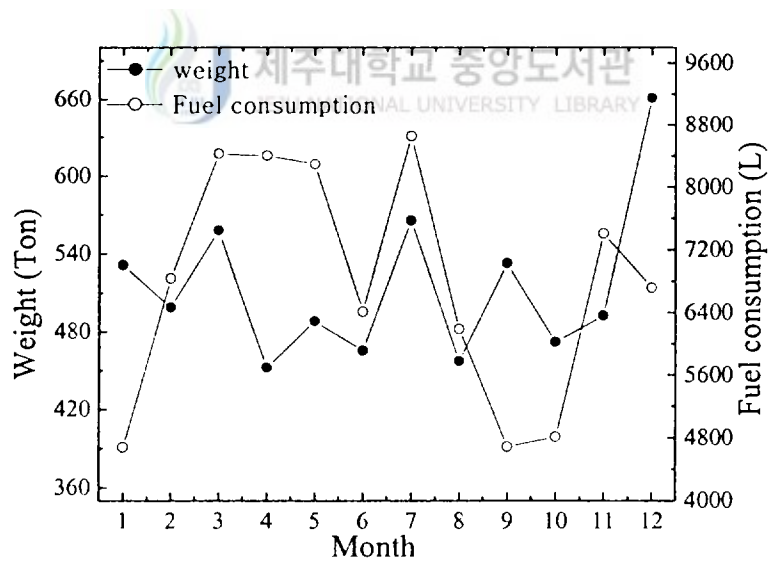


Fig. 2-4 Inflow of food garbage and fuel consumption

Table 2-6 Annual steam demand in the Food Waste Resource Center

	Price of fuel [1,000 Won/yr]	Thermal capacity [Mcal/yr]	Steam [Ton/yr]
Factory I	55,176	640,179	1,157
Factory II	137,940	1,600,448	2,894

2.1.3. 한화리조트

제주도 광역소각장에서 약 2km 거리에 위치한 한화리조트는 약 400개의 객실을 가진 대형 숙박시설로 건물의 냉난방 부하가 큰 시설중의 하나이다.

본 연구에서 제주도 광역소각장의 미활용 에너지를 한화리조트의 열이용 시설에 활용할 경우에도 각 수요처에서는 기존의 사용 중인 보일러를 보조보일러로 활용하여야 하며, 흡수식 냉동기 등의 용량도 부하에 맞게 재설계 되어야 한다. 뿐만 아니라 미활용 에너지의 수요처로 공급된 열을 수요처의 사용조건에 맞게 하기 위한 감압 혹은 감온설비를 별도로 설치하여야 한다. Table 2-7은 한화리조트의 열원설비 및 냉열설비의 현황을 나타내고 있으며, Fig. 2-5는 한화리조트의 전경이다.

Table 2-7 Specification of the Han-Hwa Resort

Area	9,221.48 m^2
Room No.	396
Boiler capacity	2 Gcal/hr × 3 EA, 1 Ton/hr × 2 EA
Fuel type	LPG (LHV : 12,000 kcal/kg)
Fuel consumption	563,737 kg/yr
Absorption chiller	200 RT × 2 EA



Fig. 2-5 North-side view of the Han-Hwa Resort

2.1.4. 유스호스텔



제주도 광역소각장에서 직선거리로 약 700 m 거리에 위치한 청소년 유스호스텔 또한 한화리조트와 마찬가지로 숙박시설로써 건물 냉난방용 에너지가 필요한 시설이다. 유스호스텔의 운전현황은 Table 2-8과 같다.

Table 2-8 Specification of the Youth Hostel

Area	2,512 m^2
Boiler capacity	Main-300 Mcal/hr, Sub-2 Mcal/hr
Fuel type	Kerosene (LHV : 8,700 kcal/kg)
Fuel consumption	2,500 ℓ
Demand energy	167 Gcal

2.1.5. LFG 발전소

제주도 광역소각장이외에 또 다른 미활용 에너지가 발생하는 LFG 발전소는 환경시 설지구내의 반경 2 km 내에 위치하고 있고, 발전용량은 25평형 아파트 5,600세대의 난 방 사용 가능한 2 MW이며, LFG 발전소의 전경은 Fig. 2-6에 나타내었다.



Fig. 2-6 View of the LFG Power Plant

2.2. 미활용 에너지 활용방안

2.2.1. 열원별 활용방안

여러 가지 이유로 활용되지 못한 미활용 폐열의 활용방안은 폐열의 발생형태에 따라서 다양하게 나타난다. 폐기물 소각열의 경우에 폐열활용방안은 발전과 배열 열교환기를 통하여 증기의 형태로 회수된 열을 증기터빈을 통한 발전에 이용하거나 열펌프의 열원으로 사용할 수 있으며, 난방 혹은 산업공정의 열원으로 직접 이용하는 방법 등이 있다.

하수열의 경우에는 하수의 유량이 많은 반면에 온도가 직접 활용 가능한 온도가 아니므로 열펌프를 통하여 승온 과정을 거친 후에 사용하거나 혹은 도로에 쌓인 눈을 녹이는 용설 등에 활용이 가능하다. 이러한 하수열은 그 부존량이 매우 많지만 온도가 낮기 때문에 활용되는 경우가 매우 드물다. 하지만 일반가정용 및 산업용 냉난방에 필요한 온수의 온도는 100℃이하의 저온이므로 화석연료의 연소를 통하여 얻어지는 고온의 열이 필요 없고 온도가 낮더라도 열펌프기술을 통하여 충분히 활용할 수 있는 대상이다.

제주도를 제외한 국내의 여타지역에서는 겨울철의 외기온도가 영하로 떨어져서 냉난방기기로 사용하기에는 많은 한계를 지니고 있다. 외기온도가 0℃이하인 경우가 드문 제주도는 공랭식 열펌프 기술을 적용할 수 있는 국내 유일의 지역으로써 하수열을 이용한 수냉식 열펌프 기술로써 충분한 냉난방 및 급탕용 온수를 제조할 수 있다.

발전소의 폐열의 경우는 복수기를 통하여 전량 외부로 방열되므로 수냉식 복수기를 사용할 경우에는 복수기를 순환하는 고열을 그대로 활용할 수 있는 장점이 있다.

2.2.2. 이용 형태별 활용방안

폐열의 발생형태별 이용방안과는 달리 이용형태별 활용방안은 다음과 같다.

폐열중에서 온수의 형태로 직접 활용되는 것은 보일러의 급수, 난방 및 공정 등이며, 간접적인 활용방안으로는 제 1종 혹은 제 2종 흡수식 열펌프의 열원으로 사용될 수 있다. 온수는 수송효율이 낮기 때문에 공급과 수요처가 공간상으로 멀리 떨어진 경우에는 사용하기 힘든 형태의 폐열이다.

온수와는 달리 가스의 형태로 폐열이 활용되는 것은 극히 드물며 간접적으로 열교환기를 거치면서 온수를 생성하여 온수형태로 사용하는 경우가 일반적이다. 폐가스의 경우에는 금속을 부식시키는 산성을 많이 함유하고 있으므로 부식방지가 가능한 재질을 사용하여야 하며, 보일러 급수의 예열 혹은 공기의 예열 등에 활용될 수 있다.

가장 일반적으로 사용할 수 있는 형태의 폐열은 증기형태이다. 증기의 경우는 고온 열매체를 통한 열전달이므로 수송효율이 높으며, 압력과 온도가 높기 때문에 발전 및 구동에너지를 얻는데 주로 활용될 수 있는 에너지 밀도가 높은 경우이다. 하지만 온도가 높아야 하기 때문에 특별한 경우를 제외하고는 얻기 힘든 형태의 폐열이다.

폐열 형태별 분류는 아니나 폐열을 공급하는 측면에서 폐열의 적용방법별 분류를 살펴보면 공급측을 중심으로 여러 수요처를 병렬로 연결하여 폐열을 공급하는 중앙공급형과 공급측을 중심으로 단일 수요처를 연결하여 폐열을 공급하는 단일공급형 그리고 폐열발생시설내의 자체에서 시스템적으로 폐열을 소비하는 직렬과 병렬이 혼합된 형태의 적용방법이 있다.

소각열의 경우에는 온도가 높아서 직접적인 난방용으로 사용할 수 있으나 하수종말처리장등의 폐열은 온도가 활용 가능한 온도보다 낮으므로 열펌프와 같은 열원장치를 통하여 열을 상승 혹은 떨어뜨려야 활용할 수 있다.

본 연구에서 고려한 소각장 미활용 에너지의 활용에 대한 방안은 폐열을 이용하고자 하는 각 수요처에서 난방을 위해서는 소각장의 소각열을 직접 이용하지만, 냉방을 위해서는 별도의 흡수식 냉동기를 설치하여야 한다. 흡수식 냉동기는 시스템의 구동을 전기에너지가 아니고 열에너지를 사용하므로 폐열을 활용할 수 있는 주요장치 중의 하나이다. 흡수식 냉동기와 증기압축식 냉동기의 가장 큰 차이점은 냉매를 저압부에서 고압부로 이송하는 방법에 있다. 증기압축식 사이클에서는 증발기에서 발생한 저압의 냉매증기를 압축기를 이용하여 고압의 냉매증기로 변환하여 응축기로 보내는 반면, 흡수식 사이클에서는 흡수기와 재생기(발생기라고도 함)에서 냉매증기가 흡수제에 흡수되고, 재생되는 작용을 이용하여 냉매를 응축기로 이송한다.

증기 압축식 사이클은 냉매의 압력을 높이는데 압축기의 일을 필요로 하며, 그 일은 주로 전기에너지를 사용하여 일 에너지로 변환하여 구동하지만, 흡수식 사이클에서는 재생기에서 냉매증기를 발생시키는 열을 주요에너지로 사용하므로, 주로 석유나 가스 같은 연료를 에너지원으로 이용하게 된다. 따라서 이러한 열원부분에 폐열을 이용할 수 있으며, 폐열의 재활용이라는 관점에서 에너지 효율이 매우 높은 시스템이다.

2.3. 에너지자원 최적화 프로그램 개발

환경시설지구 내에 있는 시설 중에서 음식물쓰레기 자원화시설과 숙박시설 및 청소년야영장에서는 고가인 유류를 에너지원으로 사용하고 있다. 유가폭등으로 인해 고유가시대를 맞이한 지금 미활용 에너지 이용방안의 개발이 대두되고 있으며, 이러한 시대적 요구사항에 대응하기 위하여 대량의 폐열발생원인 광역폐기물소각시설과 에너지 수용시설들의 상호 연계되는 에너지시스템의 구축이 절실히 요구되고 있다.

본 연구에서는 현재에 건립되어 있는 시설상호간의 에너지사용현황을 비교분석하여 경제성과 에너지의 활용성이 높은 에너지를 우선적으로 선택하는 최적의 에너지 활용방안을 제시하고자 한다. 초기 기술개발단계는 에너지 활용가능성이 가장 높은 시설을 대상으로 최우선적으로 설계에 반영하고 이러한 설계결과를 바탕으로 향후 기타 시설에 대하여 에너지자원활용방안을 강구한다.

환경시설지구 내의 미활용 에너지를 단순한 열정산을 통하여 설계할 경우에는 설계, 시공 및 관리 등의 부가적인 비용을 고려하지 못하게 된다. 또한, 단순한 열정산으로는 에너지원의 수급불균형으로 인하여 발생할 수도 있는 충분한 열량을 공급하지 못하는 상황을 고려하기 힘들다. 이와 더불어 본 연구에서와 같이 환경시설지구내의 활용 가능한 미활용 에너지를 이용할 경우에 에너지의 사용처인 음식물자원화센터 및 각종 휴양단지간의 경제성의 우선순위인 가격, 활용성 및 시설비 등을 파악하기 어렵다.

따라서 위의 문제점을 고려하여 환경시설지구내의 에너지의 흐름에 대한 장기간의 모니터링이 필요하며, 이러한 모니터링 자료를 일목요연하게 정리하고 가지적으로 분석할 수 있는 기법이 필요하다. 에너지의 공급과 수급의 최적화를 실현하여 경제성과 에너지의 활용성이 높은 즉, 에너지의 유용도가 높은 에너지를 우선적으로 선택하여 이용할 수 있는 최적의 에너지 활용방안을 제시할 필요가 있다.

2.3.1. 폐열 활용방안

앞에서도 기술한 바와 같이 제주지역에서 폐열이 대량으로 발생하는 시설로는 광역소각장 및 발전소 등이 있고, 하수열과 같이 중급의 미활용 여열이 발생하는 대규모

에너지 다소비형 복합건물이 늘어나고 있지만 이러한 시설에서 발생하는 폐열을 제대로 활용하지 못하고 있는 실정이다.

일정한 장소에서 대량으로 발생하는 폐열을 최대한 활용하기 위해서는 각 수요처의 에너지 부하에 따라서 시설뿐만 아니라 운영에 대하여 유기적인 네트워크가 구성되어야 할 때 각 시설의 기능이 최대로 발휘되어 전체의 시스템 효율은 크게 향상될 것이다. 즉, 폐열 발생처에서 공급되는 열량과 수요처에서의 자체 생산하는 에너지가 수요처의 부하에 맞추어 능동적이고 탄력적으로 공급될 때 결과적으로 에너지의 효율적 이용이 가능해지며 전체 시스템의 효율도 향상시킬 수 있다.

Fig. 2-7은 에너지의 효율적 이용을 위해서 본 연구에서 고려한 환경시설지구 의 이상적인 에너지 활용 계통도를 보여주고 있다.

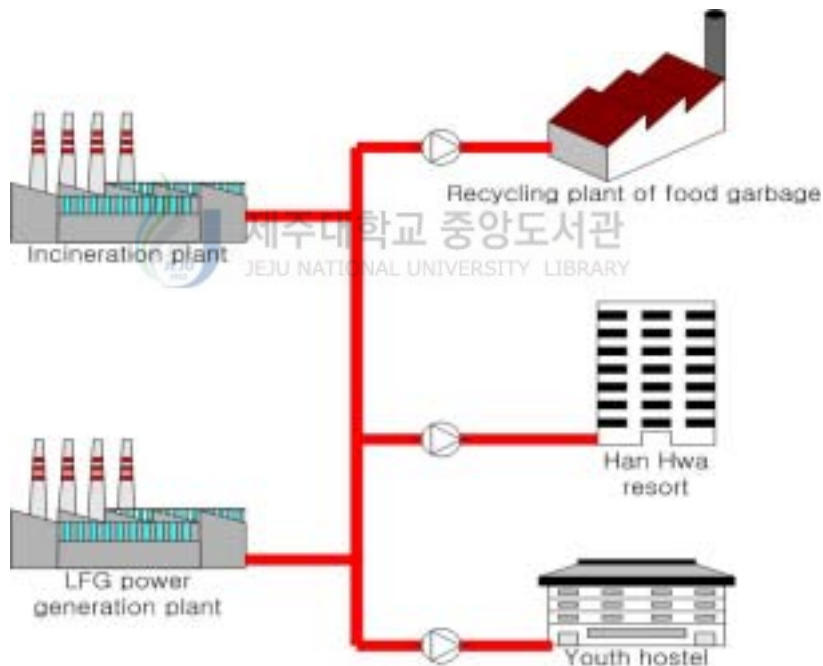


Fig. 2-7 Schematic diagram of energy network in the Jeju Environment Center

2.3.2. 배관계통

열수송관은 발생한 열을 공급처로부터 수요처까지 공급함으로써 에너지의 효율적인 이용이 가능하게 하는 것으로서 열 수요처까지 열을 수송하기 위해서는 배관망을 구

성하여야 한다. 본 연구에서는 공사비가 많이 들고 작업성이 떨어지는 지하배관대신 지상배관을 택하였다. 지상배관은 지하배관보다 안정성 및 미관성이 좋지 못하지만 점검, 보수 및 운전이 용이하고 공사비가 적게 들기 때문에 본 연구에서의 에너지공급방식으로 선택하였다.

폐열활용을 위한 배관시설을 할 경우에 배관경은 수요처의 최대부하를 기준으로 선택하고, 보온보냉공사는 시공표준을 기준으로 보온설계를 한다. 또한 배관의 재질과 두께는 응력해석을 통하여 설계한다. 폐열공급을 위한 배관은 고압의 증기배관이기 때문에 열응력 및 반력에 의한 신축을 흡수할 수 있어야 하며 유체유동에 따른 압력손실 또한 계산하여야 한다. 그밖에도 열수송관 시공시 기술적 문제와 제도상의 문제점도 고려사항 중에 하나이다.

본 연구에서 고려한 각 시설의 배관거리는 다음과 같다. 여기서 폐열발생처와 수요처간의 거리는 직선으로 가정하였다.

- 소각장-음식물자원화센터의 거리 : 600 m
- 소각장-유스호스텔의 거리 : 600 m
- 소각장-한화리조트의 거리 : 1.6 km
- LFG발전소-음식물자원화센터의 거리 : 400 m
- LFG발전소-유스호스텔의 거리 : 800 m
- LFG발전소-한화리조트의 거리 : 1.6 km

본 연구에서 고려한 배관공사는 폐열을 활용하는 각 시설을 경유할 수 없다고 가정하였고, 배관시설비는 단위 km당 6.8억원으로 계상하였으며, 거리가 길어질 경우에는 이를 기준으로 사업비를 계산하였다.

제주도 광역소각장의 폐열보일러에서 공급되는 증기에 대하여 각 수요처에서 요구하는 온도대역이 다양하나 회수되는 응축수의 온도는 공급처인 제주도 광역소각장에서 시설의 운영에 적당한 온도인 약 60℃를 요구하므로 회수배관은 단열을 하지 않고 시공한다고 가정하며, 나머지 배관은 단열하고 열손실을 고려하였다.

2.3.3. 기본가정

환경시설지구의 에너지자원 최적화를 위한 해석 모델에서는 다음과 같은 가정을 하

였다.

- 변동비(운전비)는 에너지비용 만을 고려한다.
- 고정비(설비비)는 설비상각비만을 고려한다.
- 쓰레기 발열량은 평균발열량인 1,800 kcal/kg으로 일정하다.
- 소각장 하루 쓰레기 반입량은 약 100 Ton/day이고 바로 전량 소각한다.
- 경유의 저위발열량은 9,200 kcal/kg으로 일정하다.
- 등유의 저위발열량은 8,700 kcal/kg으로 일정하다.
- LPG의 저위발열량은 12,000 kcal/kg으로 일정하다.
- 공정에서 소비되는 보조동력비는 무시한다.
- 배관시설비는 1 km를 6.8억원으로 계산하여 비례한 사업비로 산정한다.
- 각 기기의 효율은 선형적으로 변한다.
- 에너지의 수송에 따른 손실은 무시한다.
- 건물의 단위면적당 에너지 소비율 일정하다.
- 일간 부하량은 월별에 따라서는 다르나 같은 월의 경우에는 동일하다.
- 흡수식 냉동기는 증기 2중 효율이며 성적계수는 1.2이다.
- 흡수식 냉동기(소각장에서 나오는 폐열을 이용함)의 운전비는 없다.
- 축열조는 경부하에서 폐열을 뽑아서 최대부하일 때만 운전한다.
- 각 시설의 폐열사용단가는 일정하고 서로 같다.
- 증기터빈의 폐열보일러는 증기터빈의 규모에 따라 결정되므로 증기터빈과 폐열보일러는 하나의 단위 기기(package)로 계획한다.
- 광역소각장에서 발생하는 폐열은 수요처에 일정가격으로 판매한다.

2.3.4. 부하패턴의 설정

먼저 해석에 사용될 각종시설의 용도별 부하패턴을 조사하였다.

열수요처인 음식물자원화센터는 연중 연속운전하며 일정한 부하패턴을 보인다고 가정하였고, 유스호스텔은 각 시설의 부하특성에 대한 자료가 부족하여 월별부하패턴만을 고려하였다. 유스호스텔의 연간연료소비량은 약 30,000 ℓ 이고, 한달 평균 2,500 ℓ 를 소비하는데 건물 특성상 투숙객이 많을 시에는 25개의 전체객실(각 7평)을 사용하고, 평상시에는 약 11개의 객실을 사용한다. 이러한 사용현황을 기준으로 유스호스텔의 시

실면적에 대하여 부하패턴을 나타내면 Fig. 2-8과 같고, 한화리조트의 월별 연료소모량과 월별부하패턴은 Fig. 2-9와 같다.

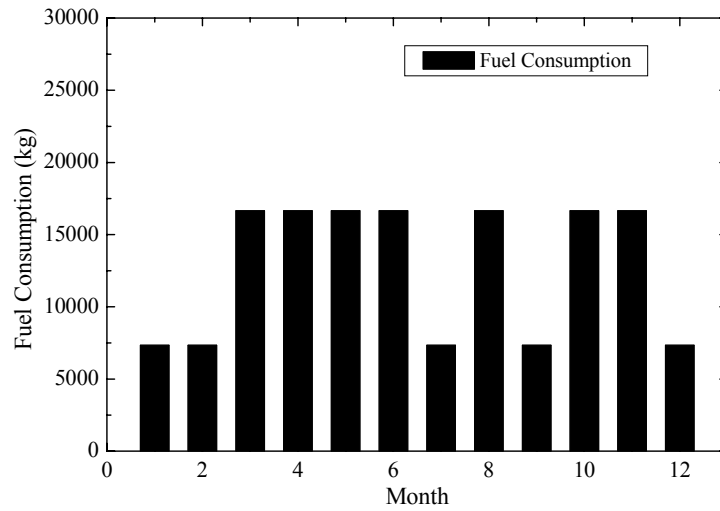


Fig. 2-9 Fuel consumption of the Youth Hostel

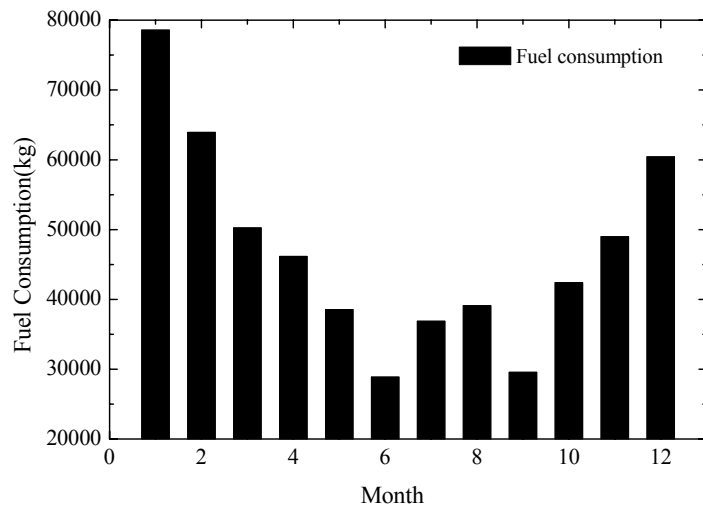


Fig. 2-9 Fuel consumption of the Han-Hwa Resort

2.3.5. 해석모델

제주도 광역폐기물소각시설(산북)에서는 쓰레기소각시에 대규모 열량이 발생하나 일부는 소각장내에 자체열원설비에 사용하고 일부는 효율이 낮은 증기터빈을 통한 발전에 사용함과 동시에 잉여의 폐열을 외기로 방출하고 있다. 한편 근거리에 위치한 음식물자원화 센터에서는 수거된 음식물을 처리하기 위하여 쓰레기 건조용으로 고가의 유류를 사용하고 있다. 따라서 광역소각장에서 증기의 형태로 회수된 폐열을 음식물자원화센터에 판매할 경우에 증기의 단가를 결정하고 시설투자에 따른 초기자본 투자회수기간을 산출하여 폐열활용의 경제성을 분석하였다.

광역소각장에서 공급되는 증기는 광역소각장의 발전용 증기터빈에 사용되고 있는 증기와 더불어 복수기를 통하여 대기로 배출되고 있는 폐열을 모두 수요처인 음식물자원화센터에서 사용하도록 계획하였다. 즉, 광역소각장에서는 발전용으로 사용하던 증기터빈의 사용을 중지하고 소각장에서 발생하는 사용가능한 모든 폐열을 사용하는 것으로 하였으며, 이러한 사용유형을 개략적으로 표현하면 Fig. 2-10과 같다.

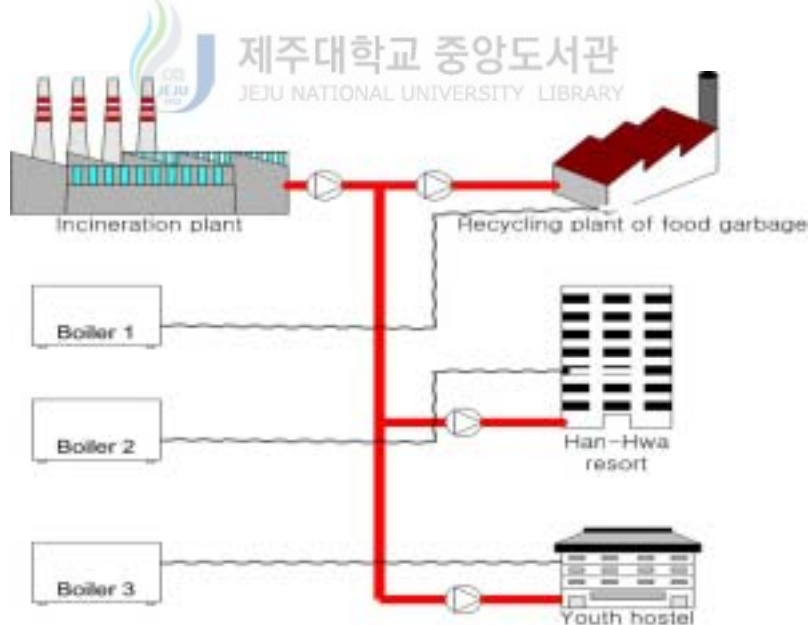


Fig. 2-10 Schematic diagram of energy network in the Jeju Environment Center

2.3.6. 해석방법

본 연구에서 환경시설지구의 에너지 최적화를 위한 이론해석 및 수치해석에서는 선형계획법을 사용하였다.

선형계획법은 최대의 이익과 최소의 비용을 목적으로 한 수리계획법(Mathematical Programming)에 이용되어 실제 문제를 수식화 하여 최적화 문제의 해를 구체적으로 구하는 방법이다.

수리계획법의 한 분야인 선형계획법은 Table 2-9에 나타난 여러 응용분야에서 사용되고 있으며, 행정 및 경영에서 나타나는 문제들을 잘 다룰 수 있기 때문에 정부기관, 기업체 등에서 조직운영의 의사결정과 정책수립에 널리 이용되고 있으며, 경제분야 뿐만 아니라 산업, 에너지 및 도시계획 등 여러 분야에 활용되고 있다.

선형계획법은 다음과 같은 형태의 목적함수와 제약식을 지니고 있다. 우선 목적함수는 다음과 같은 1차식의 형태로 나타낼 수 있다.

$$m(c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n) \quad (3)$$

위의 목적함수를 만족하기 위한 구속조건은 다음과 같은 1차 연립부등식의 형태를 지니고 있다.

$$\begin{aligned} a_{i1}x_1 + a_{i2} + \dots + a_{iN}x_N &\leq b_i \\ a_{i1}x_1 + a_{i2} + \dots + a_{iN}x_N &= b_i \\ a_{i1}x_1 + a_{i2} + \dots + a_{iN}x_N &\geq b_i \end{aligned} \quad (4)$$

선형계획법 문제는 어느 문제나 반드시 해가 있는 것은 아니다. 문제에 따라 해가 있을 수도 있고 없을 수도 있다. 선형계획법의 해는 유일한 최적해가 있는 경우, 최적해가 여러 개 있는 경우, 가능해가 있으나 목적함수의 값이 무한대인 경우, 가능해가 없는 경우 이렇게 네 가지 경우로 분류될 수 있다. 이러한 선형계획법을 풀기 위한 해법으로 단체법(Simplex Method)이 전통적으로 사용되고 있는데 1차 연립방정식의 이론

을 바탕으로 하고 있어 이해하기가 쉽고 실용성도 좋다.

Table 2-9 Various application of linear programming

Field	Target problems
Industry	Production plan, time schedule, location plan, stock control, marketing
Energy	Technology, investment, investment plan, capacity
Water resource	Water reservoir plan/design/management, riverside development plan, water treatment control
Agriculture	Purchase plan, stock farm, insecticide management, equipment using plan
Urban plan	City water resource, land resource management, community development, garbage collection, waste management

선형계획법 중에서 정수해만을 다루는 경우를 정수계획법(Integer Programming)이라 하는데, 선형계획법에서는 효과적인 해법인 단체법이 있으나 정수계획법에는 포괄적인 해법이 없다. 그래서 정수계획법에서는 각 문제에 알맞은 독특한 계산방법이나 근사해를 구하는 발견적 기법을 많이 개발하고 있다.

정수계획법문제를 수리식의 형태로 보면 크게 진정수계획법, 혼합정수계획법, 0-1계획법으로 구별할 수 있으며, 0-1계획법은 모든 변수가 0 혹은 1의 값을 가져야 하는 문제이다. 그리고 해법을 볼 때 절단평면법(Truncation Method), 열거법으로 구별해 볼 수 있다. 열거법은 정수계획법 문제를 푸는데 있어서 제약식에 의해 만들어지는 가능해 집합의 각 정수 가능해를 열거해 가면서 최적 정수해를 찾는 방법이고, 절단평면법은 가능해 집합을 절단해 가면서 최적 정수해를 찾는 방법이다. 모든 가능해를 계산하는 열거법의 일종인 분지한계법은 해를 분지하면서 상한과 하한을 사용하여 해의 타당성을 빨리 판별하고 되도록이면 가능해를 적게 열거하는 방법이다. 그래서 이 방법은 완전열거식이 아니라 부분열거식이다.

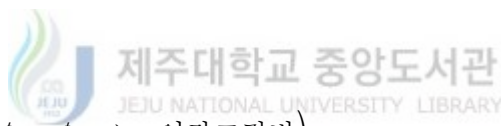
분지한계법의 효율성은 한계전략, 분지전략 및 탐색전략에 의해 좌우되는데, 먼저 한계전략은 한계를 잘 결정함으로써 해의 수렴을 촉진시킨다. 한계전략은 문제에 따라 하한, 상한 및 혼합방법이 있고 이 한계에 의해 분지가 줄어들 수 있다. 분지전략은 결

국 후보문제를 만들어 내는 전략으로서 주로 두 개의 가지로 분지하는 전략을 많이 사용한다. 이렇게 분지된 문제는 정수해가 나오든지 아니면 분지끝으로 끝나게 된다. 탐색전략은 문제목록에서 후보문제를 어떻게 선택하느냐의 전략이다. 이러한 분지한정법은 목적함수 값을 최소 또는 최대로 하는 최적해를 찾는 문제에 주로 사용된다.

환경시설지구의 에너지 최적화하기 위한 방법으로 여러 가지 방법이 있으나 본 연구에서는 위에서 설명한 선형계획법을 사용하였다. 초기투자비의 존재로 혼합정수계획법을 사용하고 또한 기기의 운전 혹은 정지를 나타내는 0-1계획법을 도입하고, 혼합정수계획법을 풀기 위하여 분지한정법을 이용하였다.

2.3.7. 해석방정식

목적함수는 연간경상비이며 식 (5)에 나타낸 바와 같이 연간고정비와 운전비의 합으로 나타나며, 목적함수 즉 시스템의 전체 경상비를 최소화하기 위하여 수치해석을 수행하였다.



$$\text{Min} \left(\sum_{t=1}^T \sum_{n=1}^N (C_n^t \times X_n^t \times H) + \text{연간고정비} \right) \quad (5)$$

에너지 공급을 위한 설비로는 증기터빈 및 보일러 등 n개의 기기들이 사용된다고 하였을 때 목적함수의 구속조건(제약식)은 다음과 같이 에너지부하 (D_H, D_C) 를 만족시키는 식과 각 기기의 입력값의 제한값으로 다음과 같이 나타내고, δ 는 0-1변수로서 0일 때는 기기의 정지, 1일 때는 운전을 의미한다.

$$\text{Min}(c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n) \quad (6)$$

구속조건은 다음과 같다.

$$a_{11}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \geq D_H \quad (7)$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n \geq D_C \quad (8)$$

$$\min x_n \times \delta_n \leq x_n \leq \max x_n \times \delta_n \quad (9)$$

$$x_i \geq 0, (i = 1, 2, 3, \dots) \quad (10)$$

해석 알고리즘은 단체법을 사용하였으며, 초기투자비를 경상비로 나타내기 위하여 연등가비용법을 사용하였다.



III. 결과 및 고찰

3.1. 폐열활용 시스템의 연계방안

본 절에서는 광역소각장에서 발생하는 폐열뿐만 아니라, 환경시설지구내의 매립장에 건설된 LFG(Land Fill Gas) 발전소에서도 막대한 양의 발전폐열이 발생하고 있다. LFG 발전소에서 발생하는 폐열량은 연간 10,950 Gcal가 발생하는데 이 양은 각 수요처의 연간 부하를 충족시키기에 충분한 에너지 량이다. Table 3-1은 환경시설지구내의 폐열발생처인 광역소각장 및 LFG발전소에서 발생하는 열량과 열을 필요로 하는 열수요처에서 필요한 열량을 1년을 기준으로 나타내었다.

또한 Fig. 3-1은 열수요처들의 난방을 필요로 하는 연간건물부하의 변화를 나타내고 있다. 3개의 열수요처 중에서 유스호텔이 필요열량이 가장 적으며 한화리조트와 음식물자원화센터의 열량은 상대적으로 많은 것을 알 수 있다. Fig. 3-1를 통하여 열수요처 중에서는 한화리조트가 가장 많은 에너지를 필요로 하는 시설임을 알 수 있다. 음식물 자원화 센터의 경우에는 숙박시설인 한화리조트 혹은 유스호텔과는 달리 일정한 부하를 나타내고 있다.

이와 같은 폐열의 발생처와 수요처가 같은 지역에 존재하는 환경시설지구에서 폐열을 최적으로 활용하기위한 방법에 대하여 본 연구에서는 다음과 같은 네 가지 경우에 대하여 폐열의 활용방안을 검토하였다.

- (1) 광역소각장에서 증기터빈을 운전하고 잉여의 폐열 9%를 사용
- (2) 광역소각장에서 증기터빈을 정지하여 약 59.3%의 폐열을 사용
- (3) LFG 발전소 폐열만을 이용
- (4) 광역소각장에서 증기터빈을 운전하고 9%의 폐열과 LFG 발전소 폐열을 이용

Table 3-1 Annual steam production and demand of the facilities

Facilities	Production (Gcal/yr)	Demand (Gcal/yr)
Incineration Plant	5,230.8 (with power generation) 34,464.8 (without power generation)	-
LFG Power Plant	10,950	-
Food Waste Resources Center	-	2,240
Han-Hwa Resort	-	5,412
Youth Hostel	-	170

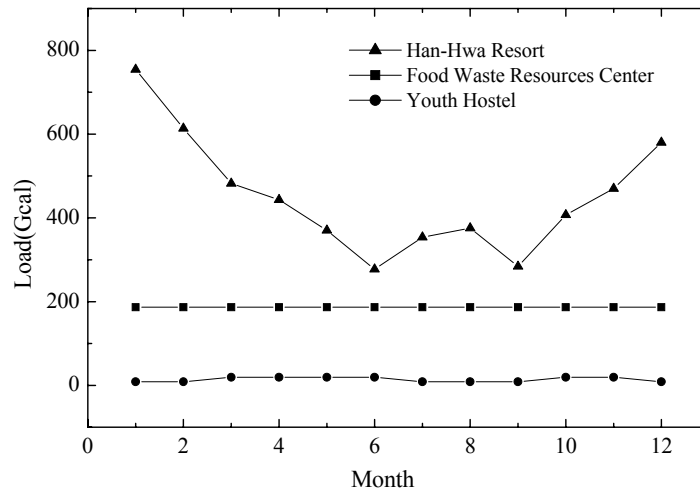


Fig. 3-1 Building load of facilities

3.1.1. 광역소각장 폐열의 9% 이용방안

광역소각장의 폐열보일러를 통하여 회수된 열량 중에 일부는 소각장내부의 열이용 설비에 활용하고, 일부는 폐열활용시설인 증기터빈을 사용한 발전에 이용하며, 나머지 잉여 폐열로써 복수기를 이용하여 방열하여야 하는 9%를 활용하는 방안이다. 폐열보일러에서 회수된 열량중의 9%의 열량을 이용할 경우에 환경시설지구내의 열의 수요처인 음식물자원화센터와 유스호스텔의 부하를 감당할 수 있으나 한화리조트의 부하까지를 감당하기에는 부족한 열량이다.

Fig. 3-2는 3개의 열 수요처에 공급하는 열부하를 나타내고 있다. 이때 유스호스텔과 음식물 자원화 센터에는 Fig. 3-1에 나타낸 바와 같은 요구부하를 모두 충족하지만 회수된 열량의 9% 중에서 잉여의 열량을 한화리조트에 공급하고 있다. 따라서 그래프상에서 한화리조트의 부하변화는 회수된 9%의 열량중에서 다른 두개의 열수요처에 공급하고 남은 열량의 변화로 볼 수 있다.

Fig. 3-3은 환경시설지구의 열수요처인 음식물자원화센터와 유스호스텔에 광역소각장 잉여열량인 전체 회수열량의 9% 중 일부를 부하에 맞추어 공급한 이후에 한화리조트의 열부하를 100% 충족하기 위하여 필요로 하는 부족한 열량을 나타내고 있다. 이때에는 한화콘도의 입장에서는 광역소각장의 폐열이외에 또 다른 열원설비가 필요하다는 것을 보여주고 있다.

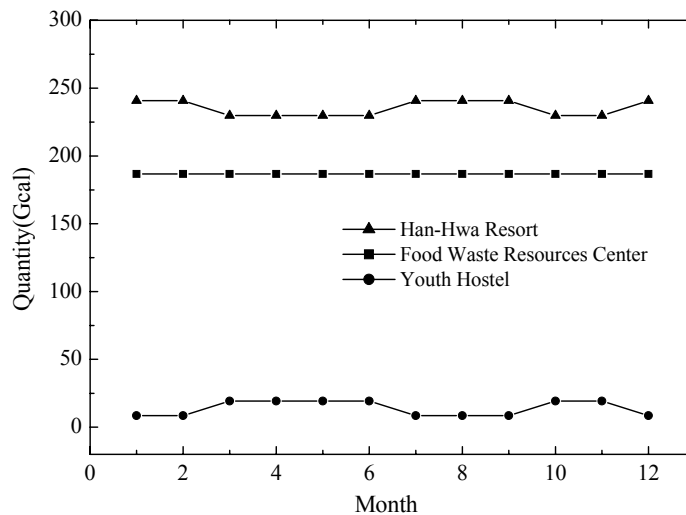


Fig. 3-2 Supply heat of the three waste heat utilizing facilities

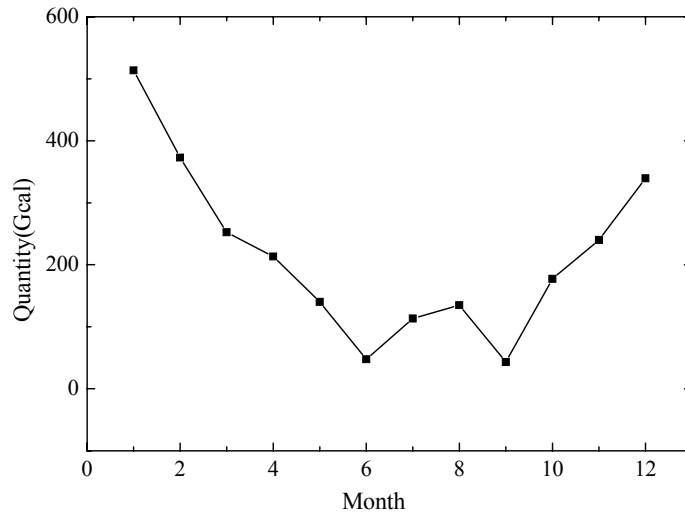


Fig. 3-3 Backup heat for the Han-Hwa Resort's heating load



3.1.2. 광역소각장 폐열의 59.3% 이용방안

광역소각장에서 폐열활용시설로 사용하고 있는 발전용 증기터빈을 정지하고 증기터빈에 사용되는 폐열까지 각 수요처에 공급할 경우에 대하여 검토하였다. 폐열의 수요처인 유스호스텔, 음식물자원화센터 및 한화리조트에서 필요로 하는 부하는 앞에서 나타낸 Fig. 3-1과 같다. 이때 광역소각장의 폐열 9%를 사용할 경우에는 한화리조트에 필요한 부하를 Fig. 3-3에 나타낸 열량만큼 부족한 열량이 발생하여 전체 부하를 충당하지 못하지만 Fig. 3-4에 나타낸 바와 같이 광역소각장의 폐열 59.3%를 이용할 경우에는 3개의 열수요처에 열량을 공급하고도 남는 열량이 발생한다. 이 경우에 Fig. 3-4의 각 시설의 부하들의 합만큼 충당하고 남는 증기는 증기터빈운전을 통하여 발전에 활용하는 것이 바람직하다고 볼 수 있다. 하지만 이 경우에도 증기터빈 발전기의 운전에 충분한 열량이 안 될 수 있으며, 발전기의 부분부하 운전에 따른 성능저하 및 소규모의 발전을 위한 시설운전비용 등에 대한 구체적인 검토가 필요하다. 광역소각장의 회수 열량중에서 59.3%의 폐열을 수요처에 공급하고 남는 열량은 연간 26,646 Gcal 이다. 이러한 열량은 원래 증기터빈에 사용되는 29,234 Gcal의 91%에 해당하는 열량으로

서 운전율이 우려한 만큼 낮지 않으며, 각 수요처에 열을 공급하기 위한 배관망의 구성 등의 초기투자비를 고려할 경우에 회수된 열량을 한화리조트에 공급하기 보다는 26,646 Gcal의 증기를 증기터빈에 원래대로 사용하여 자체발전을 하는 것이 경제적으로 바람직함을 알 수 있다.

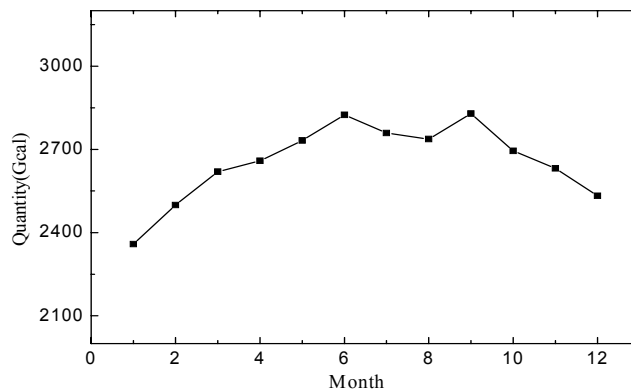


Fig. 3-4 Surplus energy from the Incineration Plant after utilized to the three waste heat utilizing facilities

3.1.3. LFG 발전소 폐열 이용방안

광역소각장의 폐열을 이용하는 대신에 같은 장소에 설치되어 있는 LFG 발전소의 발전폐열을 앞에서 언급한 바와 같은 유스호텔, 음식물자원화센터 및 한화리조트에 이용할 경우에 대한 에너지 분석을 수행하였다. Fig. 3-5는 LFG 발전소의 폐열을 각 수요처에서 활용할 경우를 나타내고 있는데, 보는 바와 같이 각 수요처의 모든 부하를 충당하고도 많은 열량이 남는 것을 알 수 있다. 단지 1월달의 경우에는 난방부하가 매우 크기 때문에 이 경우에 있어서만 한화리조트의 부하를 충당하지 못하는 것으로 나타났다. 따라서 1년 중에서 1월에는 한화리조트에서 자체 보일러를 가동하여야 부하를 만족할 수 있다.

LFG발전소의 발전량은 전적으로 매립장의 가스 발생량에 의존하는 것으로써 최근

의 음식물쓰레기의 직매립이 금지되어 음식물 부패시 발생하는 메탄가스의 발생량이 현저히 감소하고 있는 실정에서는 LFG발전소의 발전량에 대한 정밀한 모니터링 작업이 선행되어야 할 것이다.

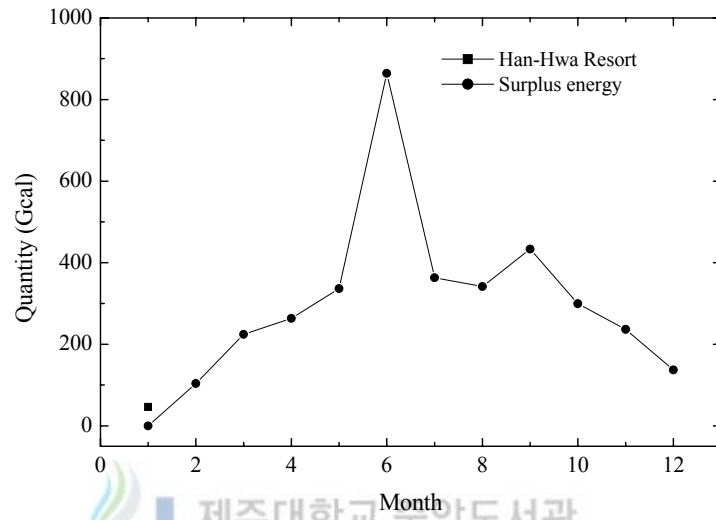


Fig. 3-5 Surplus energy from LFG Power Plant after utilized to the three waste heat utilizing facilities

3.1.4. 광역소각장과 LFG 발전소 폐열의 이용방안

광역소각장과 LFG 발전소 두 곳에서 발생하는 폐열량은 월 평균 1,348.4 Gcal에 이른다. Fig. 3-6은 이 경우에 있어서 발생하는 폐열량과 수요처에서 필요한 부하를 모두 합산하여 연간변화량을 나타내고 있다.

LFG 발전소와 소각장에서 발생하는 폐열을 모두 활용할 경우 부하를 충족하고도 많은 양의 열량이 남게 된다. 만약 우선적으로 LFG발전소의 폐열을 이용하고 부족한 부분을 광역폐기물소각시설의 폐열을 활용한다고 가정할 경우에는 앞에서 살펴 보았듯이 1월의 한달의 경우만 한화리조트의 부하부분만을 충족하지 못하여 광역소각장의 폐열은 한달만 활용가능하고 나머지 기간동안은 필요 없게 된다.

따라서 광역폐기물소각시설과 LFG발전소를 복합적으로 사용하는 방안은 경제성이

매우 낮다는 것을 알 수 있다.

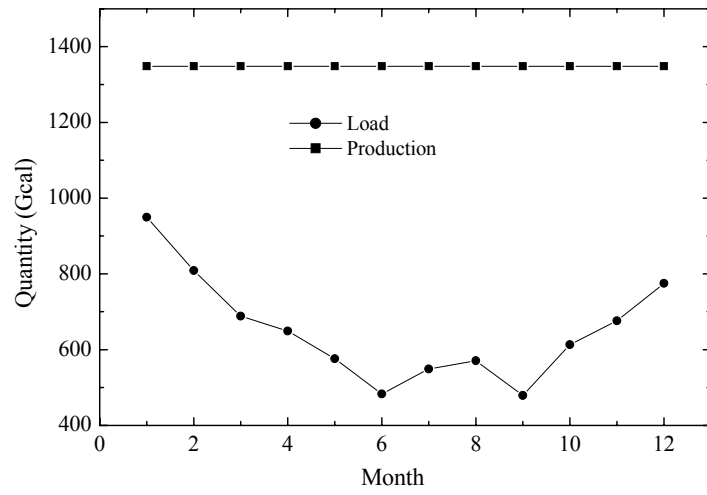


Fig. 3-6 Energy balance between energy supply and energy consuming side

3.2. 경제성 분석

3.2.1. 증기 단가와 운전비 결정

모든 시설투자에는 경제성 분석이 필수적이며, 이러한 투자경제성을 판단하기 위해서 본 연구와 같이 에너지 활용에 대한 경제성 분석을 위해서 선행되어야 하는 작업은 증기의 공급단가를 결정하는 것이다. 폐열발생처에서 수요처로 폐열을 공급할 때 수요처와 공급처 사이의 증기공급단가를 결정함으로써 증기를 공급받는 수요처들의 연간 운전비 및 경상비가 계산된다. Fig. 3-7은 폐열의 수요처중의 하나인 유스호스텔에 대하여 기존에 사용하던 연료를 그대로 사용할 경우와 폐열공급처의 폐열을 이용할 때 유스호스텔의 연간운전비를 비교하였다. 공급되는 폐열의 단가가 Gcal당 6만원 이상 일 경우에는 폐열을 사용하는 것보다 기존의 유류를 사용하는 것이 더 저렴하다.

본 연구에서는 폐열의 단가를 5,000 Won/Gcal에서 20,000 Won/Gcal사이에서 결정된다고 가정하였다. 정확한 폐열의 단가는 이 범위 안에서 결정되어야만 본 연구에서 고찰한 경제성 평가가 의미를 가질 수 있다.

Fig. 3-8은 음식물자원화센터의 경우에 기존에 사용하던 연료를 그대로 사용할 경우와 폐열공급처에서 공급되는 폐열을 사용할 경우에 대하여 연간운전비를 비교하였다. 음식물자원화센터에서 음식물쓰레기의 건조용 보일러에는 경유를 사용하고 있는데 경유의 주유소 판매가격은 2005년 현재 ℓ당 1,000원을 넘긴지 오래다. 또한 2007년도에는 경유값이 휘발유값의 87%까지 상승할 전망으로 보이기 때문에 이러한 경제성분석을 통하여 폐열활용의 타당성을 검토하는 것은 시급한 과제중의 하나이다.

Fig. 3-9는 한화리조트에서 기존연료를 사용할 때와 폐열공급처에서 판매하는 폐열을 사용할 때의 한화리조트의 연간 운전비를 나타내었다. 한화리조트는 대규모 숙박시설로써 부하가 매우 크며 광역소각장의 발전터빈을 운전하고 남는 9%의 잉여열량으로는 부족하고, 발전기를 정지하고 59.3%의 열을 사용하던지 혹은 LFG 발전소의 열량을 사용하여야 한다.

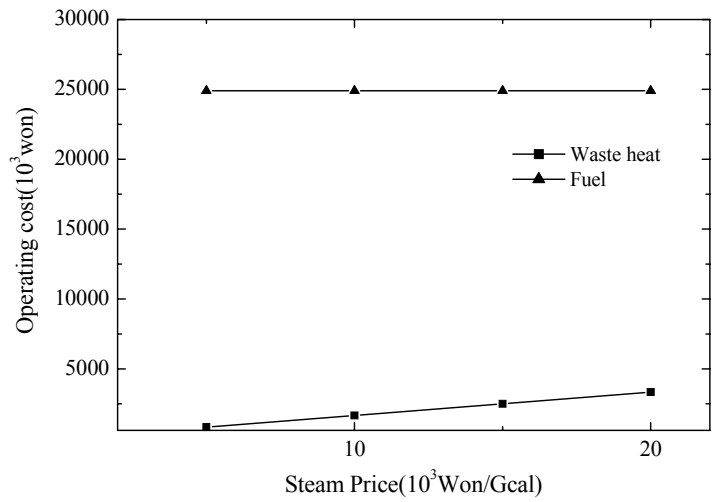


Fig. 3-7 Comparison of an annual operating cost of the Youth Hostel

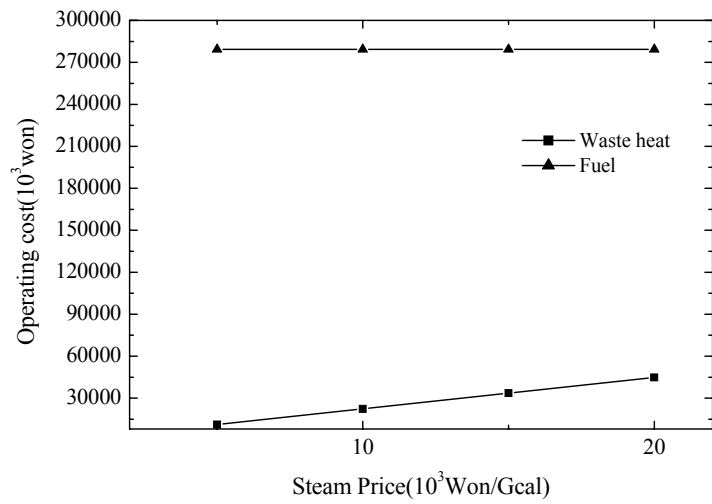


Fig. 3-8 Comparison of an annual operating cost of the Food Waste Resources Center

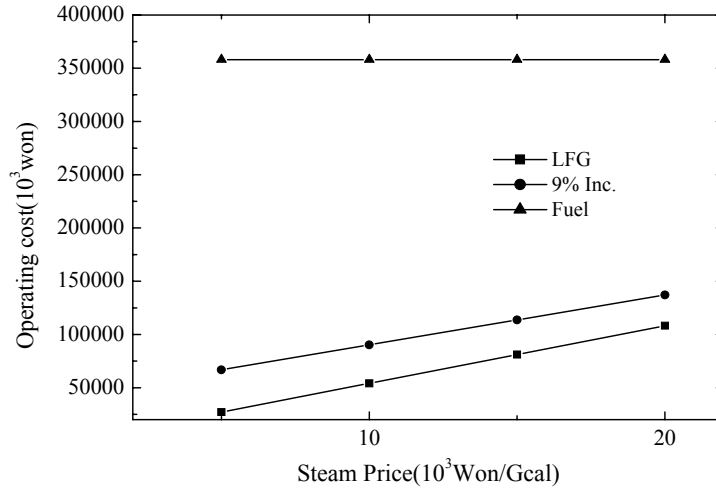


Fig. 3-9 Comparison of an annual operating cost of the Han-Hwa Resort



3.2.2. 증기 단가와 연간경상비

본 연구에서는 수요처와 공급처간의 경제성을 평가하기 위하여 다음과 같이 초기투자비를 경상비로 나타내는 연등가비용법을 사용하였다.

$$CR \times Investment - \frac{0.1 \times Investment}{(1+i)^{yr}} \quad (11)$$

여기서, 이자율(i)은 5%이고 내용년수(y)는 15년으로 하였으며 이 때의 자본회수계수(CR)는 0.096이다.

여기서 사용한 초기투자비는 폐열발생처와 수요처간의 증기공급과 회수에 필요한 배관설치비만을 고려하였다.

경제성분석은 폐열발생처와 수요처간의 거리와 운전비만을 고려하였으며 이러한 분석을 통하여 각 수요처에서 어느 시설의 폐열을 사용할지를 결정할 수 있다.

Fig. 3-10은 각 폐열발생처에서 모든 수요처에 증기를 공급할 경우 증기단가와 연간

경상비를 비교하였다. 그림에서 알 수 있듯이 LFG 발전소와 소각장(발전터빈운전)의 폐열을 동시에 활용할 경우에 증기 공급처가 1개 더 늘어남에 따라 초기투자비가 커져서 연간경상비가 증가하며 각 수요처의 부하를 충족하고 나서도 잉여의 폐열이 미활용상태로 남는다. 따라서 폐열의 발생처인 광역소각장과 LFG 발전소의 두 곳을 동시에 활용한다는 것은 비효율적이며 경제적이지 못하다는 것을 알 수 있다.

Fig. 3-11은 유스호스텔의 난방부하를 광역소각장(발전터빈운전) 혹은 LFG 발전소의 증기를 활용할 경우에 대하여 증기단가에 따른 연간경상비를 나타내고 있다. 앞에서 보았듯이 유스호스텔의 연간부하는 광역소각장의 폐열 혹은 LFG발전소의 폐열 중 어느 것을 사용하더라도 모두 유스호스텔의 부하를 충족하기 때문에 거리에 따른 초기 투자비를 고려할 경우에 소각장(발전터빈운전)의 폐열을 활용하는 것이 좀 더 경제적임을 알 수 있다.

Fig. 3-12는 음식물자원화센터의 건조부하를 충족하기 위해 광역소각장(발전터빈운전) 혹은 LFG 발전소의 폐열을 활용할 경우에 증기단가에 따른 연간경상비를 비교하였다. 유스호스텔과 마찬가지로 음식물자원화센터의 부하를 충분히 충족할 수 있을 만큼의 폐열을 각 폐열발생처에서 공급할 수 있기 때문에 유스호스텔의 경우와 마찬가지로 두 시설 사이의 거리에 따른 초기투자비를 고려할 경우에 LFG 발전소의 폐열을 활용하는 것이 유리하다는 것을 알 수 있다.

Fig. 3-13은 한화리조트에 있어서 난방부하를 충족하기 위해 광역소각장(발전터빈운전 혹은 발전터빈정지) 혹은 LFG 발전소의 폐열을 활용할 경우에 대하여 증기단가에 따른 연간경상비를 비교하였다. LFG 발전소와 광역소각장(발전터빈운전)의 폐열을 활용할 경우에는 앞에서 보았듯이 각 폐열 발생처가 단독으로 한화리조트의 부하를 충족할 수 없다. 따라서 거리에 따른 초기투자비 뿐만 아니라 부족한 부하를 충족하기 위해 한화리조트의 자체 보일러를 활용하여 기존 연료를 사용하므로 연간경상비가 크다는 것을 알 수 있다.

이와는 달리 광역소각장의 증기터빈을 발전용으로 사용하지 않을 경우(발전터빈정지)에는 광역소각장 폐열이 한화리조트의 부하를 감당할 수 있기 때문에 연간경상비가 낮음을 알 수 있다. 따라서 한화리조트에서는 소각장의 폐열을 먼저 이용하고 잉여의 폐열은 초기 설계상에서 고려되었던 바와 같이 소각장에서 발전용으로 이용함이 경제적인 시스템의 운영방법임을 알 수 있다.

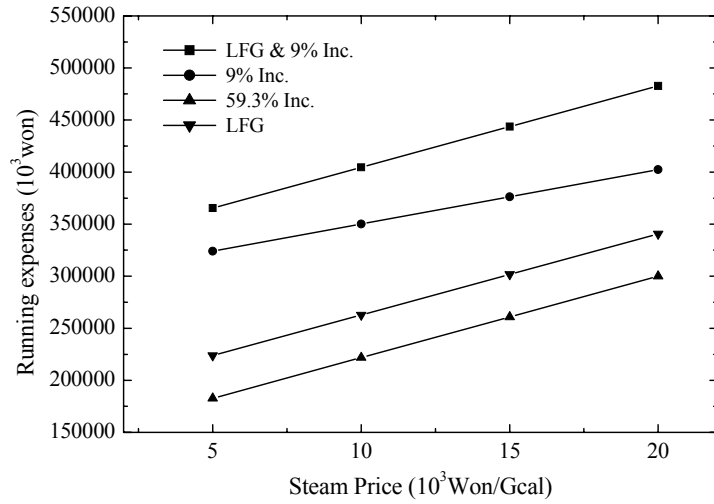


Fig. 3-10 Comparison of annual running cost with steam price in the facilities

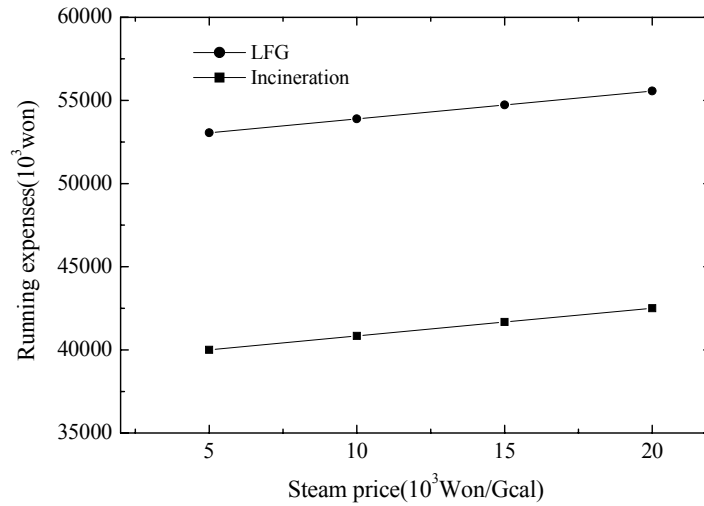


Fig. 3-11 Comparison of annual running cost with steam price in the Youth Hostel

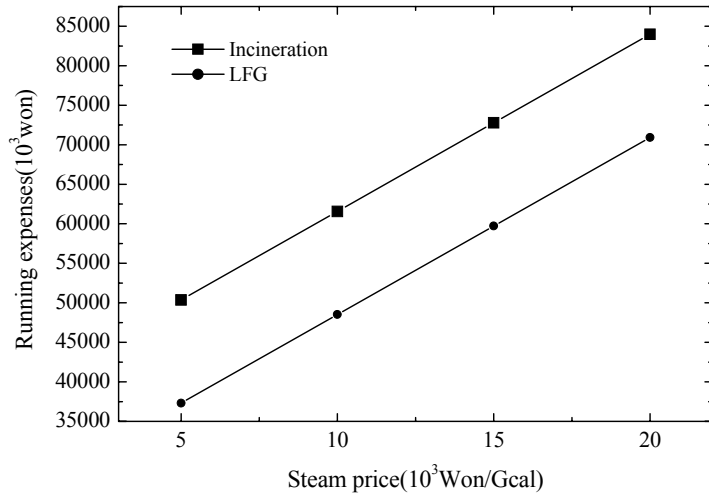


Fig. 3-12 Comparison of annual running cost with steam price in Food Waste Resources Center

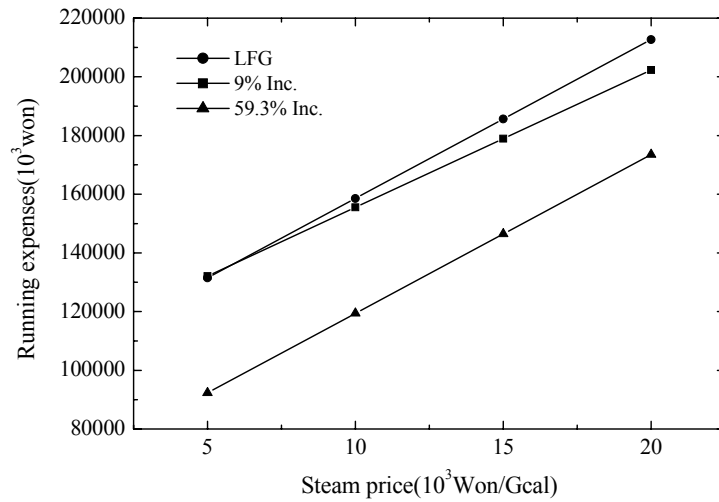


Fig. 3-13 Comparison of annual running cost with steam price in the Han-Hwa Resort

3.2.3. 경제성 분석

각 시설별로 미활용 되고 있는 환경시설지구내의 에너지설비들의 에너지네트워크를 구성하고, 공급증기단가, 연간운전비 및 연간경상비를 비교하여 이를 기준으로 투자경제성을 분석하여 폐열활용을 위해 어떠한 시스템을 구축하는 것이 경제적인지를 살펴 보았다. 유스호스텔의 경우에는 폐열을 활용하였을 때 연간 절감액과 투자에 따른 순회수금액이 초기투자비에 비해 현저히 적기 때문에 경제적으로 투자가 바람직하지 않으므로 본 연구의 경제성 분석에서는 제외하였다. 본 연구에서의 경제성 분석을 위한 평가지표는 다음과 같다.

- $\text{단순투자회수기간} = \text{초기투자비} / \text{연간 순회수금액}$
- $\text{연간 순회수금액} = \text{절감액} - (\text{감가상각비} + \text{운전비})$
- $\text{절감액} = \text{연간연료사용비} - \text{운전비}$

투자비 회수기간은 초기투자비를 연간 순회수 금액을 기준으로 계산하였으며, 연간 순회수 금액은 시설투자에 따른 절감액에서 연간 감가상각비와 운전비를 제외한 금액이며, 절감액은 순수한 연료절감액에서 운전비를 제외한 금액으로 계산하였다.

본 연구에서는 LFG 발전소의 폐열을 음식물자원화센터의 건조용으로 사용하는 경우, 광역소각장의 폐열을 한화리조트의 난방용으로 사용하는 경우 및 광역소각장의 폐열을 음식물자원화센터의 건조용으로 사용하는 세 가지 경우에 대하여 폐열발생처와 수요처의 연계형태에 따른 경제성을 평가하였다. Table 3-2는 각각의 경우에 대하여 폐열활용 시설에 소요되는 비용에 대하여 초기투자비, 감가상각비, 연간연료사용비 및 원리금을 앞에서 검토한 내용을 바탕으로 계산한 결과이다.

Table 3-2 Economical analysis for the three types of network (unit: 10³Won)

Supply and demand	LFG - Food Recycle	Incineration plant- Han-Hwa Resort	Incineration plant- Food Recycle
Investment	272,000	680,000	408,000
Depreciation(15yr)	18,130	45,000	27,200
Energy price per year	279,000	357,500	279,000
Capital(15yr, rate 0.2%)	8,270	20,690	8,270

Table 3-3 Calculation of payback period of three types of energy network (unit: 10³Won)

Network	Energy price	Running cost	Saving	Net return money	Payback period(yr)
LFG Plant - Food Waste Resources Center	5(10 ³ Won/Gcal)	11,200	267,800	238,470	1.14
	10(10 ³ Won/Gcal)	22,400	256,600	216,070	1.26
	15(10 ³ Won/Gcal)	33,600	245,400	193,670	1.4
	20(10 ³ Won/Gcal)	44,800	234,200	171,270	1.6
Incineration plant- Han-Hwa Resort	5(10 ³ Won/Gcal)	92,300	265,200	127,900	5.3
	10(10 ³ Won/Gcal)	119,400	238,100	73,700	9.2
	15(10 ³ Won/Gcal)	146,400	211,100	-	-
	20(10 ³ Won/Gcal)	173,500	184,000	-	-
Incineration plant- Food Waste Resources Center	5(10 ³ Won/Gcal)	11,200	267,800	229,400	1.79
	10(10 ³ Won/Gcal)	22,400	256,600	207,000	1.97
	15(10 ³ Won/Gcal)	33,600	245,400	184,600	2.2
	20(10 ³ Won/Gcal)	44,800	234,200	162,200	2.5

IV. 결론

환경시설지구내의 폐열 발생처와 수요처들 간에 에너지 자원 활용을 위한 모니터링 프로그램과 설비설계, 경제성분석 및 에너지 활용의 최적화 프로그램 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 환경시설지구에는 대량의 폐열발생처인 광역쓰레기소각시설, LFG 발전소와 근거리의 음식물자원화센터, 한화리조트, 유스호스텔 등의 고가의 에너지를 사용하는 시설들이 위치해 있다. 이러한 환경시설지구내의 각 시설에 대하여 에너지발생과 소요현황을 조사한 결과는 다음과 같다. 폐열발생처인 광역쓰레기소각시설에서 발생하는 폐열중에서 연간 미활용 열량은 증기터빈운전시 5,231 Gcal, 증기터빈정지시 29,234 Gcal이며, LFG 발전소에서 매립가스의 연간 부존에너지는 10,950 Gcal, 에너지소비처인 음식물자원화센터의 연간 필요열량은 2,240 Gcal, 숙박시설인 한화리조트의 연간 열부하는 5,412 Gcal 및 유스호스텔의 연간 열부하는 167 Gcal이다.
2. 환경시설지구의 폐열활용을 위한 시스템구성방안을 검토한 결과 에너지 활용시스템은 LFG 발전소-음식물자원화센터, 소각장(터빈정지)-한화리조트 및 소각장(터빈운전)-음식물자원화센터 세 가지를 구축할 수 있다.
3. 제안된 3가지의 폐열활용시스템에서 각 폐열공급처와 수요처간에 폐열단가를 결정하였을 경우 폐열활용을 위한 시설투자에 따른 단순투자회수기간을 산출하였다. 단순투자회수기간은 증기단가가 10,000 Won/Gcal라고 결정되었을 경우에 LFG 발전소-음식물자원화센터로 구축된 시스템에서는 1.26년, 소각장(터빈정지)-한화리조트로 구축된 시스템에서는 9.2년 및 소각장(터빈운전)-음식물자원화센터로 구축된 시스템에서는 1.97년의 기간이 필요하다.

본 연구를 통하여 환경시설지구내의 에너지의 공급과 수요의 최적화를 실현하여 경제성과 에너지의 활용성이 높은 에너지를 우선적으로 선택하여 최적의 에너지를 이용하는 최적화프로그램을 개발 중이며, 이러한 프로그램은 환경시설지구내의 폐기물에너지의 활용으로 대체에너지개발 및 이용·보급에 기여 할 수 있을 것이다.

V. 참고문헌

- [1] 이태원외 7인, “지하공간을 이용한 혐오시설의 복합플랜트화 연구보고서”, 건설교통부 건설교통기술혁신사업 제3차년도 연차보고서, pp.131-298, 2002.
- [2] 이태원외 7인, “지하공간을 이용한 혐오시설의 복합플랜트화 연구보고서”, 건설교통부 건설교통기술혁신사업 제4차년도 연차보고서, pp.65-249, 2003.
- [3] 박윤철, “제주지역 폐열배출 실태와 재이용 가능성 조사”, 제주지역 환경기술개발센터 2002년도 연구개발사업 최종보고서, pp20-51, 2002.
- [4] 박준택외 6인, “미활용에너지 실태조사 및 이용방안 연구”, 대구광역시, 1998.
- [5] 박준택, “지역별 미활용 에너지 부존량 및 이용가능성 조사”, 1997.
- [6] 허종철, “제주형 환경교육모델도시 조성방안”, 제주지역 환경기술개발센터 2003년도 연구개발사업 최종보고서, 2004.
- [7] 박수억외 7인, “공단폐열 이용방안 연구”, 울산광역시, 2002.
- [8] LINDO Systems Inc., “LINGO user's guide”, 1998.
- [9] 이봉훈, “유동상식 쓰레기 소각로 설계의 실무”, 동화기술, 1992.
- [10] 광노균, “경영과학”, 다산출판사, 1998.
- [11] 박순달, “선형계획법”, 대영사, 1987.
- [12] 이태원, “Green Town 개발사업”, 한국건설기술연구원, 1998.
- [13] 김상혁, 박윤철, “제주시 폐기물환경사업소의 미활용 에너지 활용방안 연구”, 제주대학교, 2004.
- [14] 박윤철, “환경시설지구의 에너지자원활용 최적화프로그램개발”, 제주지역 환경기술개발센터 2004년도 최종보고서, 2004.

감사의 글

대학원입학한지가 엇그제 같은데 벌써 졸업이라고 생각하니 실감이 나지 않습니다. 학부과정을 마치고 대학원에 입학할 때는 많은 생각과 계획이 있었지만 지금 돌이켜 보면 내 자신과의 약속을 지키지 못한 모습을 보면서 많은 후회가 듭니다. 하지만 내 주위에서 나에게 많은 지도와 격려를 해 주신 분들이 계시기에 이렇게 석사과정의 종착지까지 도달한 것 같고, 그분들께 감사의 마음을 전하고자 글을 올립니다.

2년이란 석사과정동안 부족함이 많은 저를 더 채찍질 해 주시고, 항상 저를 너그럽고 관대하게 대해 주신 박윤철 교수님이 깊은 감사의 마음을 전하고 싶습니다. 저의 논문에 대해 많은 조언과 지도를 주신 권기린 교수님, 정동원 교수님께 감사드립니다. 그리고 학부과정부터 폭넓은 교육을 해주신 김귀식 교수님, 허종철 교수님, 조경호 교수님, 임종환 교수님, 최경현 교수님, 강철웅 교수님, 김상재 교수님께도 감사의 마음을 전합니다.

학과사무실에서 근무하면서 많은 편의와 도움을 주신 오동훈 선배님, 경조, 석사과정동안 많은 도움을 준 형훈, 세웅, 상혁, 동욱, 정근, 냉동공조 실험실에서 매일 동고동락을 하며 모든 기쁨과 슬픔을 함께 나누는 김상혁 선배님, 김지영 선배님, 광수, 익효, 정호, 유리, 준호, 재철에게도 감사의 마음을 전하고 항상 행복한 날만 있길 바랍니다.

이제다시 배움이라는 틀을 벗고 사회라는 틀 속으로 첫 발을 내딛으면서 항상 2년간의 석사과정동안 배운 것이 많아 전혀 두려움이 없고 자신감이 충만합니다. 저에게 이렇게 자신감을 갖게 해준 기계공학과 교수님과 선후배님들께 깊은 감사의 말씀을 드립니다.

마지막으로 언제나 큰 힘이 되어주신 부모님, 형님, 누님, 형수님, 매형께 고마운 마음을 전합니다.

2005년 12월 강병찬