

## 포항철강산업단지 내부 폐열 회수를 위한 에너지 교환망 구축 방안 분석

이광구\*, 정인경<sup>†</sup>, 전희동<sup>‡</sup>

경일대학교 기계자동차학부  
712-701 경상북도 경산시 하양읍 부호리 33  
<sup>†</sup>한국산업단지공단 경북EIP사업단  
790-834 경상북도 포항시 남구 지곡동 601  
<sup>‡</sup>포항산업과학연구원 CO<sub>2</sub> 사업단  
790-600 경상북도 포항시 남구 효자동 산32

(2011년 8월 10일 접수, 2011년 9월 18일 수정본 접수; 2011년 10월 21일 채택)

## An Analysis on the Construction of Energy Exchange Network to Recover Waste Heat Energy in Pohang Steel Industrial Complex

Gwang-Goo Lee\*, In-Gyung Jung<sup>†</sup>, and Hee-Dong Chun<sup>‡</sup>

School of Mechanical & Automotive Engineering, Kyungil University  
33 Buhori, Hayangup, Gyeongsan, Gyeongbuk 712-701, Korea  
<sup>†</sup>Gyeongbuk EIP, KICOX  
Pohang Technopark, 601 Jigokdong, Namgu, Pohang, Gyeongbuk 790-834, Korea  
<sup>‡</sup>CO<sub>2</sub> Project, Research Institute of Industrial Science & Technology  
San 32 Hyojadong, Namgu, Pohang, Gyeongbuk 790-600, Korea

(Received for review August 10, 2011; Revision received September 18, 2011; Accepted October 21, 2011)

### 요 약

포항철강산업단지에서 발생하는 폐열을 회수하기 위하여 주요 기업의 폐에너지 발생 규모에 대한 데이터베이스를 설문조사를 통해 구축하고, 가시적인 기법을 적용하여 에너지 교환망 구축방안을 고려하였다. 폐열의 온도 수준, 유효에너지 발생량, 폐에너지 발생 기업과 예상 수요 기업의 거리, 구축비용 등의 관점에서 잠재성이 높은 에너지 교환망을 제시하고 경제성을 평가하였다. 최종 제안된 4개 기업의 에너지 교환망의 투자비 회수기간은 평균 2.8년이고, 에너지 절감량은 연간 4,778 TOE로 분석되었다. 현재 사용되는 LNG를 폐열 회수로 대체하면 연간 약 11,160 CO<sub>2</sub> ton을 감축할 수 있다.

**주제어** : 생태산업단지, 에너지교환망, 폐열회수, 경제성 분석, 이산화탄소 감축

**Abstract** : A detailed database of waste heat is built to propose energy exchange networks to recover waste energy in Pohang Steel Industrial Complex. A visualized technique is used to figure out the status of waste heat energy and to suggest potential energy exchange networks. Several energy networks are proposed in terms of temperature level, the amount of available energy, distance, and construction cost. A simple economical assessment is applied to the energy exchange networks which have higher economic potential. Their average payback period is estimated to be 2.8 years. The total amount of energy saving by constructing the proposed energy exchange networks is 4,778 TOE per year. It corresponds to 11,160 ton CO<sub>2</sub> reduction with the assumption that the recycled waste energy replaces the use of LNG in energy-demanding companies.

**Keywords** : Eco-industrial park (EIP), Energy exchange network, Waste heat recovery, Economic assessment, CO<sub>2</sub> reduction

### 1. 서 론

생태산업단지(EIP, Eco-Industrial Park) 사업은 기업 간 협력을 통해 에너지 및 원료 물질 사용량 감소와 유해 물질 배출

감소 활동을 전개함으로써 지속가능한 발전을 추구할 수 있는 실질적인 방법론이다. 아울러 생산원가 절감을 통한 경제적 이득도 동시에 달성할 수 있다. EIP 사업의 주요 대상으로는 폐에너지, 중간 부산물, 용수 등이 고려되고 있다[1]. 특히 폐에너지의 재활용은 지구온난화의 주된 원인으로 주목받고 있는 이산화탄소 배출량을 감소시키고 기업의 에너지 효율 향상을 도

\* To whom correspondence should be addressed.  
E-mail: combggy@kiu.ac.kr

**Table 1.** Statistics of technologies registered in KEMCO to reduce CO<sub>2</sub> emission

Classification of Technologies		Share (%)
Thermal energy saving	Waste heat recovery	41.3
	Improvement of equipment	12.2
	Improvement of process	10.7
	Fuel change	11.7
	Other thermal energy saving	0.5
Electric energy saving	Electrical energy saving	12.8
	Renewable energy	8.8

모할 수 있는 훌륭한 기술적 접근 방법이 될 수 있다. 이는 2007년부터 에너지관리공단이 운영한 자발적 온실가스 배출 감축 사업의 통계로부터 확인할 수 있다. Table 1과 같이 폐열회수 기술이 이산화탄소 배출량 감축을 위해 이용된 다양한 기술 중 약 40% 이상을 차지하고 있다[2]. 따라서 기업 간 에너지 교환망 구축 사업은 지속가능한 성장을 추구하는 EIP사업의 목표와 국가적 당면 과제인 온실가스 배출량 감축을 동시에 해결할 수 있는 효과적인 수단이다. 지난 10여 년 동안 국내 산업단지 내부의 폐에너지 재활용 방법에 대한 다양한 연구가 진행되어 왔다[3-11].

5개 단지로 구성된 포항철강산업단지에는 철강업을 중심으로 금속산업, 세라믹, 석유화학 등 다양한 제조 기업이 밀집되어 있다. 산업 특성상 국내에서 사용되는 총 에너지의 약 3.3%에 이르는 대량의 에너지가 포항철강산업단지에서 이용되고 있으며, 이에 따라 대량의 산업 폐에너지가 발생하고 있다. 따라서 포항철강산업단지에서 발생하는 폐에너지의 효율적인 재활용은 단지 내부 기업들의 원가 경쟁력 확보와 21세기형 지속가능한 생태산업단지 구축을 위해 반드시 필요하다. 하지만 폐에너지 회수 기술의 더딘 발전 속도와 단기간에 폐에너지 회수 시스템의 경제성을 확보하고자 하는 기업의 과욕으로 폐에너지 재활용 사업이 어려움을 겪고 있다. 또한 에너지 다소비 기업이 밀집해 있는 포항철강산업단지의 유리한 입지 조건에도 불구하고, (i) 폐에너지의 발생 위치와 발생량, (ii) 에너지 수요처의 존재 여부, (iii) 발생 위치와 수요처 사이의 거리 등에 대한 체계적인 정보 부족으로 효율적인 폐에너지 회수 시스템 구축이 실현되지 못하고 있다.

본 연구에서는 포항철강산업단지의 폐에너지 재활용을 위해 단지 내부 기업들의 폐에너지 발생 현황과 잠재적 수요처를 조사하고, 철강단지 내에서 구축 가능한 기업 간 에너지 교환망을 제안하였다. 제시된 에너지 교환망에 대한 기초적인 경제성 분석을 통해 경제적 이익과 투자비용 회수 기간을 분석하였다. 마지막으로 에너지 교환망으로부터 얻을 수 있는 환경적 이익으로서 에너지 사용량 절감에 따른 이산화탄소 배출 감축량을 예측하였다.

## 2. 에너지 소비 및 폐에너지 발생 현황 데이터베이스 구축

포항철강산업단지에 소재한 주요 기업들의 3년간(2007~2009

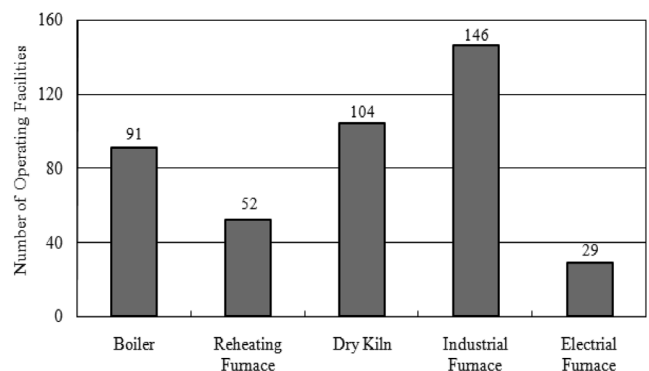
년) 에너지 소비 통계와 폐에너지 발생 현황에 대하여 상세 설문조사를 수행하였다. 설문조사 문항은 (i) 경북EIP사업단에서 기존에 구축한 포항철강산업단지 내부 기업들의 에너지원별 이용현황을 보완하고, 에너지 다소비 기기의 현황과 폐에너지의 형태별 발생 현황을 파악하기 위하여 자체 개발된 부분과 (ii) 기존 연구[6]에서 일부 채용된 부분으로 구성되어 있다. 주요 설문조사 항목은 Table 2와 같다.

조사 대상기업은 경북EIP사업단이 구축한 데이터베이스로부터 2008년 기준 에너지 소비량이 10,000 TOE 이상인 에너지 다소비 기업들과 이들 기업에 인접하여 폐열의 수요 가능성이 높은 업종의 기업을 중심으로 선정하였다. 총 51개 기업이 조사에 참여하였다. 특히 10,000 TOE 이상의 에너지를 소비하는 전체 25개 기업 중 24개(96%) 기업이 설문에 응답하여 의미 있는 데이터베이스가 구축되었다.

회수된 폐에너지를 이용할 수 있는 잠재성이 높은 에너지 다소비 설비에 대하여 기업별 보유 현황, 사용 에너지원의 종류, 에너지 소비량 현황을 조사하였다. 에너지 다소비 설비로는 크게 보일러, 가열로, 공업로, 건조로 등으로 분류하였다. 소성로, 열처리로, 소둔로, 배소로 등은 공업로로 구분하였다. 조사 대상 기업에서 운전되고 있는 에너지 다소비 기기는 총 422대로 기업 당 평균 8대 이상 보유하고 있다. 운전 대수가 많은 설비들은 Figure 1과 같이 공업로, 건조로, 보일러, 가열로, 전기로 순이다.

**Table 2.** Survey items and questionnaires

Survey Items	Detailed Questionnaires
Status of energy usage	Type of energy, Target operation temperature, Amount of energy use in the last 3 years, etc.
Energy glutton facilities	Number of facilities, Type of energy, Amount of energy, Purpose, etc.
Status of waste heat	Type of waste heat, Temperature and flowrate of waste heat, Facility, etc.
Status of energy glutton facilities	Capacity of facility exhausting waste heat, Operation time, Operation temperature, Type of waste heat, Whether the waste heat is recovered or not, etc.



**Figure 1.** Operating status of energy glutton facilities.

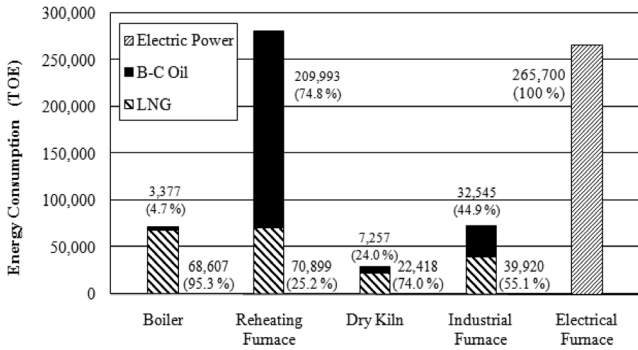


Figure 2. Energy consumption and fuel-by-fuel share of energy glutton facilities.

Figure 2는 에너지 다소비 설비별로 사용하고 있는 에너지 소비량을 연료원별로 구분하여 보여주고 있다. 가열로, 전기로, 보일러, 공업로, 건조로 순으로 많은 에너지를 사용하고 있다. 가열로와 전기로는 단위 설비 당 연간 평균 에너지 사용량이 각각 5,676 TOE (Ton of Oil Equivalent, 1 TOE = 10<sup>7</sup> kcal)와 9,162 TOE로 다른 종류의 설비보다 월등히 많기 때문에 운전 대수는 작지만 에너지 소비량 부문에서는 각각 1, 2위를 차지하고 있다. 에너지 다소비 설비의 에너지원별 이용 비율을 비교하면 보일러와 건조로는 LNG를 주로 이용하고 있는 반면, 가열로는 주로 병커C유를 이용하고 있다. 공업로에는 LNG와 병커C유가 거의 비슷한 비율로 사용되고 있다. 건조로의 경우 기타 연료로 부생가스를 소량(2.0%) 이용하고 있다. 조사된 설비 전체에 대하여 에너지원별로 분류하면 전력 36.9%, 병커C유 35.1%, LNG 28.0% 순서이다. 전력만 이용하는 전기로를 제외하면, 병커C유가 55.6%를 차지하고 있어 LNG보다 약 10% 높은 점유율을 보이고 있다.

폐에너지 교환망을 제안하기 위해서는 잠재 수요처인 에너지 다소비 설비에 대한 위치 정보가 필수적이다. Figure 3은 포항철강산업단지에서 운전되고 있는 에너지 다소비 설비와 연간 에너지 소비 규모에 대한 위치 정보를 가시적으로 보여주

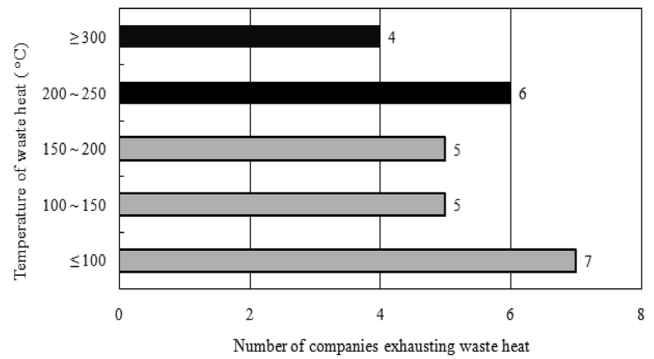


Figure 4. Temperature histogram of waste heat.

고 있다. 에너지 다소비 설비의 단지별 운전 현황을 쉽게 파악할 수 있다.

설문 응답 기업 51개사 중 27개 기업이 폐에너지의 온도에 대한 정보를 제공하였다. 폐열의 온도 구간별 도수분포는 Figure 4와 같다. 최고 온도로 배출되는 폐에너지는 약 430 °C의 연소가스로 폐열회수 시스템 없이 방출되고 있다. 폐에너지를 경제적으로 회수하기 위해서는 높은 배출 온도가 유리하다. 본 연구에서는 경제성 있는 폐에너지의 온도를 200 °C 이상으로 가정하였고, 이 조건을 만족시키는 폐열 배출 기업은 Figure 4와 같이 10 개사이다. 이중 9개 기업이 연소가스 형태로 배출하고 나머지 1개 기업은 수증기 형태로 배출하고 있다. 폐열 배출 설비는 가열로, 소성로, 보일러, 연료 개질기(Reformer)이며, 가열로(5개 기업)와 소성로(3개 기업)가 중·고온 폐열 발생 기기의 대부분을 차지하고 있다. 중·고온(200 °C 이상) 폐열 발생 기업 중 연소 배기가스와 수증기의 유량 정보도 함께 제공한 기업은 7개 기업이다.

폐에너지의 온도와 유량에 대한 정보를 모두 제공한 7개 기업 중 1개 기업은 지리적으로 고립되어 있으므로, 이를 제외한 나머지 6개 기업에 대해서만 시간당 배출되는 폐열의 유효에너지를 다음 식으로부터 계산하였다[7].

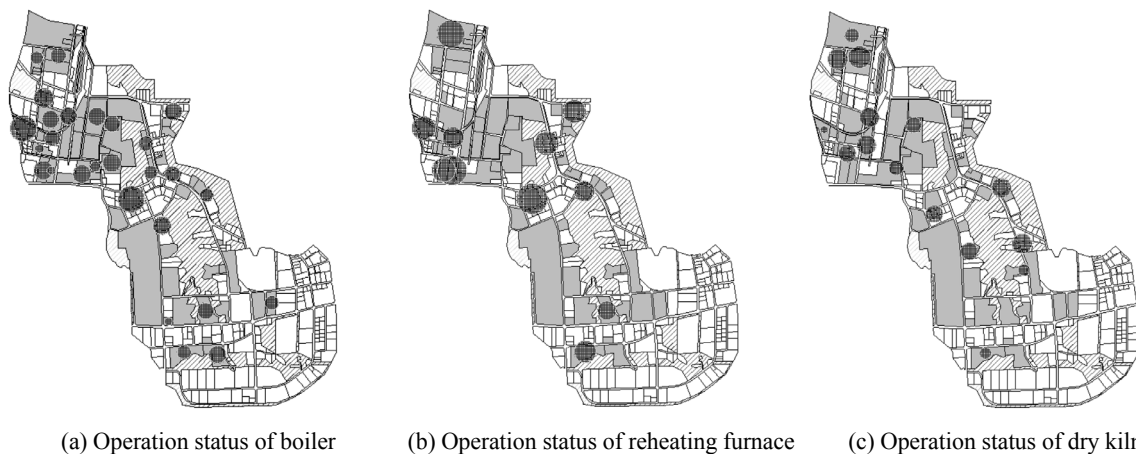


Figure 3. Location information on energy glutton facilities and their energy consumption (Area of hatched circles is proportional to the amount of energy used by facilities in logarithmic scale. Different area scales are used in (a)-(c)).

For combustion gas

$$\dot{A} = Qc_p[(T - T_o) - T_o \ln(T/T_o)] \quad (1)$$

For steam

$$\dot{A} = \dot{m}[(h - h_o) - T_o(s - s_o)] \quad (2)$$

식 (1)과 (2)에서  $\dot{A}$ 는 시간당 배출되는 유효에너지(kJ/hr),  $Q$ 는 연소가스 배출량(sm<sup>3</sup>/hr),  $c_p$ 는 연소가스의 정압비열(1.3817 kJ/Nm<sup>3</sup>·K),  $T$ 는 폐열의 배출온도,  $\dot{m}$ 은 배출되는 수증기의 질량유량(kg/hr),  $h$ 는 배출 수증기의 엔탈피,  $s$ 는 배출 수증기의 엔트로피이다. 아래첨자(o)는 기준 상태(101.325 kPa, 20 °C)를 의미한다. 식 (1)과 (2)를 이용하여 계산된 폐열의 유효에너지를 Figure 5에 폐에너지 온도 정보 제공 기업의 위치와 함께 표시하였다. Figure 5에 표시된 원의 면적은 배출되는 유효에너지의 로그 스케일에 비례한다.

### 3. 에너지 교환망 제안과 기초 경제성 및 환경 분석

포항철강산업단지에서 배출되는 폐에너지는 Figure 4와 같이 대부분이 중온 미만 범위에 있다. 중·고온의 폐에너지를 재활용하는 대표적인 방법은 폐열로 공기를 예열하여 인접한 기업의 연소 시스템에 제공함으로써, 연소용 공기의 현열 에너지를 절감하는 것이다[8]. 폐에너지 교환망을 구축하기 위해서는 중·고온의 폐에너지를 배출하는 기업과 폐에너지를 이용할 만한 주변의 잠재 에너지 수요 기업 사이의 거리 정보가 중요하다. 따라서 Figure 3의 에너지 다소비 설비의 위치와 Figure 5의 중·고온 이상의 폐열 배출 위치 정보를 비교할 필요가 있다. Figure 6은 200 °C 이상의 폐열이 배출되는 위치와 에너지 다소비 설비의 하나인 보일러의 설치 장소를 하나의 Map에 표시하여 비교하고 있다. Figure 6의 정보를 기준으로 폐열을 이용한 보일러 연소기용 고온 공기 생산과 제공 방안을 검토할 수 있다.

보일러용 연소공기를 제공함으로써 구축할 수 있는 잠재적인

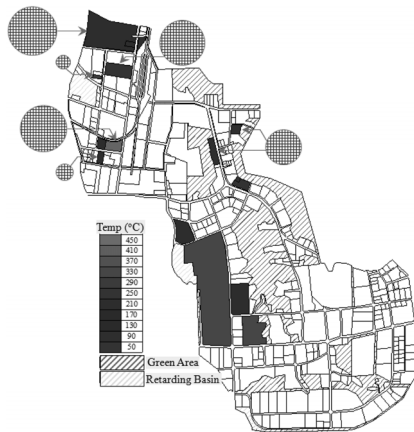


Figure 5. Temperature distribution of waste heat and its available energy (Area of hatched circles is proportional to the amount of available energy in logarithmic scale).

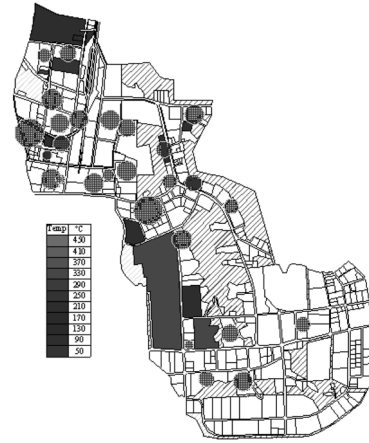


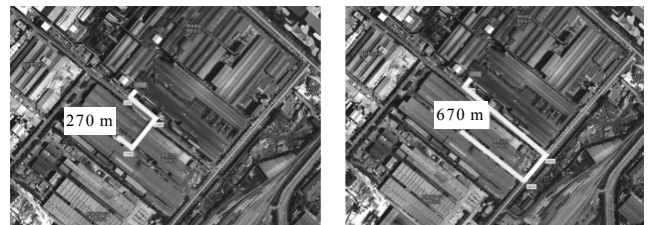
Figure 6. Visualized information on the locations of boilers and high temperature waste heat (Area of hatched circles is proportional to the amount of energy used by boilers in logarithmic scale).

폐에너지 교환망을 정리하면 Table 3과 같이 10개의 후보군을 제안할 수 있다.

폐열 발생기업과 잠재 수요기업 사이의 예열 공기 이송 거리는 배관 설치 경로에 따라 변화한다. Figure 7은 특정 에너지

Table 3. Potential energy exchange networks to recycle waste heat using preheated air for boilers

Suppliers of Waste Heat		Potential Consumers of Waste Heat by Boilers		Distance (m) [min~max]
Location	Company	Company	Location	
Block 1	H1	H2	Block 1	485
		P1	Block 1	270~670
Block 1	S1	H2	Block 1	550
Block 1	D1	D2	Block 1	600
Block 2	K1	D4	Block 2	280~470
Block 2	D3	A1	Block 2	360
Block 2 & 3	D5	H3	Block 2	560~1240
		S2	Block 3	700
Block 3	D6	S2	Block 3	300
		K2	Block 3	360~680



(a) In case of shortcut (b) In case of detour

Figure 7. Example of distance measurement between the supplier of waste heat and its potential consumer (Distance measured in (a) and (b) are respectively the minimum and maximum values in Table 3).

교환망에서 고려할 수 있는 예로 최단거리를 통해 공기를 이송하는 방법과 도로를 따라 우회하는 방법을 보여주고 있다. Table 3에서 제안한 잠재 에너지 교환망의 경우, 평균적으로 약 500 m 내외의 인접한 지역에 폐열 발생기업과 수요기업이 위치하고 있다. 동일한 방법으로 폐에너지 발생 위치와 가열로, 건조로의 위치 정보를 함께 비교하면 구축 가능한 잠재 에너지 교환망을 파악할 수 있다. 이와 같은 에너지 교환망 중에서 폐열의 유효에너지를 계산할 수 있고, 인접지역에 폐열의 잠재 수요기업이 있는 폐열 발생 기업을 중심으로 에너지 교환망을 고려하면 Figure 8과 같다.

폐에너지를 공급하는 기업들의 폐열 배출 온도와 유량 데이터로부터 대항류(Cross flow) 열교환기를 사용하여 회수할 수 있는 시간당 폐열의 양을 아래와 같은 식으로 계산하였다.

$$\dot{E} = \dot{m}c_p \Delta T = \dot{m}c_p (T_{h,i} - T_{h,o}) \quad (3)$$

식 (3)에서  $T_{h,i}$ 는 폐열 형태로 배출되는 유체의 온도,  $T_{h,o}$ 는 열교환기에서 최종 배출하는 유체의 온도이다. 본 연구에서는  $T_{h,o}$ 를 150 °C로 가정하였다. 폐열을 회수하여 대체하게 될 LNG의 가격은 최근 지속적으로 상승하고 있다. 지난 2년간 열량 10,000 kcal 당 LNG 가격 범위는 604.4~740.3원이다[12]. 기업의 연간 조업률을 70%로 가정하고 회수할 수 있는 폐열 에너지의 양과 연간 경제적 이득을 정리하면 Table 4와 같다. Table 4의 기업들은 500 m 이내의 인접 지역에 폐열 회수 가능성이 높은 기업들이 존재하고, Figure 8에서 볼 수 있듯이 이들 수요 기업들과 총 8 개의 에너지 교환망 구축이 가능하다. 폐열 유량에 비례하는 열교환기와 송풍기 설치비용, 500 m 거리의 예열공기 이송배관 구축비, 제어 시스템 구축비, 설계 및 감리 비용 등을 포함하는 건설비용을 추정하였다[8]. Table 4에서 보는 바와 같이 13~17.5억 원의 초기 비용이 예상된다. 연간 운용비는 송풍기를 운전하기 위한 전기요금, 인건비, 유지수리비를 기준으로 책정하였다[8]. 운용비 중 전기요금은 폐열 유량에 비례한다고 가정하고 추정하였다.

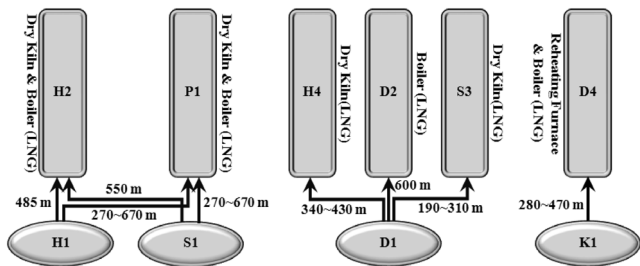
손익분기시점은 운영비용과 연간 경제적 이득에 대한 미래 가격을 고려하지 않고, 현재 기준으로 고정하여 계산하였다. LNG 가격에 따라 변화하는 경제적 이득의 크기에 의해 손익분기시점이 변화한다. 기업 K1의 경우 최근 2년간 최대 LNG

**Table 4.** Evaluation of economic feasibility from recoverable waste heat energy using cross flow heat exchanger (\*Minimum, average, and maximum cost of LNG for 10,000 kcal are respectively 604.4 won, 674.5 won, and 740.3 won for last two years[12])

Company		D1	H1	K1	S1
Waste heat	Temp. ( $T_{h,i}$ , °C)	430	200	200~250	250
	Flowrate (sm <sup>3</sup> /hr)	30,000	81,280	34,320	72,000
Recoverable Heat Energy		3,307,476 (kcal/h)	1,273,422 (kcal/h)	829,038 (kcal/h)	2,381,914 (kcal/h)
Construction Cost (1,000 ₩)		1,300,000	1,750,000	1,300,000	1,600,000
Operation Cost (1,000 ₩/yr)		60,000	75,000	60,000	70,000
Annual Economic Return (1,000 ₩/yr)	Min*	1,225,716	471,917	307,233	882,713
	Avg*	<b>1,367,965</b>	<b>526,685</b>	<b>342,889</b>	<b>985,155</b>
	Max*	<u>1,501,446</u>	<u>578,077</u>	<u>376,346</u>	<u>1,081,282</u>
Payback Period (Years)	Min*	1.1	4.4	5.3	2.0
	Avg*	<b>1.0</b>	<b>3.9</b>	<b>4.6</b>	<b>1.7</b>
	Max*	<u>0.9</u>	<u>3.5</u>	<u>4.1</u>	<u>1.6</u>

가격을 가정하면 약 4.1년 만에 손익분기시점에 도달하는 반면, 최소 LNG 가격을 가정하면 손익분기시점이 약 5.3년으로 최대 LNG 가격 조건보다 1년 이상 연장되는 것으로 분석되었다. 지난 2년간 평균 LNG 가격을 가정하면 Table 4에서 분석된 4개 기업의 폐열 교환망은 평균 2.8년 후에 손익분기시점에 이르는 것으로 나타났다. 이는 Figure 8에서 제안한 폐열 교환망을 구축할 경우, 높은 경제성이 있음을 의미한다.

Table 4에서 고려한 4개 기업의 잠재 폐열 회수 교환망에 대한 환경 영향을 이산화탄소 배출량 감축 측면에서 분석하였다. 식 (3)을 이용하여 계산한 시간 당 회수 가능한 에너지를 연간 기준 열에너지로 환산하면 Table 5와 같다. 이때 기업의 연간 조업률은 70%로 가정하였다. 폐열 에너지를 회수함으로써 에너지 잠재 수요기업에서 기존에 사용하고 있는 연료를 절감할 수 있으므로 이산화탄소 배출량을 감축할 수 있다. Figure 8에서 확인할 수 있는 바와 같이 Table 5의 폐열 발생 기업과 에너지 교환망을 구축할 수 있는 상대 기업들은 에너지



**Figure 8.** Potential energy exchange networks for the four companies providing the information on the temperature and the flow rate of waste heat.

**Table 5.** Evaluation of environmental feasibility in terms of CO<sub>2</sub> reduction for the four companies in Figure 8

Company	Recoverable Heat Energy (E, kcal/h)	Annual Energy Saving (TOE/year)	Annual CO <sub>2</sub> Reduction (TCO <sub>2</sub> /year)
D1	3,307,476	2,028	4,737
S1	2,381,914	1,461	3,411
K1	829,038	508	1,187
H1	1,273,422	781	1,824
<b>Total</b>	<b>7,791,850</b>	<b>4,778</b>	<b>11,159</b>

다소비 설비의 연료로 모두 LNG를 사용하고 있다. 따라서 제안된 에너지 교환망으로부터 회수되는 폐열은 LNG 소비량을 감소시킬 수 있고, LNG의 탄소배출계수로부터 해당 폐열 에너지를 활용하여 감축할 수 있는 탄소 배출량과 이산화탄소 배출량을 계산할 수 있다.

IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)에서 제시하는 LNG의 탄소배출량 계수는 1 TOE당 0.637 TC(탄소 톤, Ton of Carbon)이다[13]. 탄소 톤 단위의 탄소배출량으로부터 이산화탄소 배출량(TCO<sub>2</sub>: Ton of CO<sub>2</sub>)을 계산하는 방법은 탄소(C)의 원자량(12)과 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)의 분자량(44)의 관계에서 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} TCO_2 &= TC \times (MW \text{ of } CO_2 / AW \text{ of Carbon}) \\ &= TC \times (44/12) \end{aligned} \quad (4)$$

위 식에서 MW는 분자량(Molecular Weight)이고 AW는 원자량(Atomic Weight)을 의미한다. 식 (4)를 이용하여 계산한 이산화탄소 배출 감축량을 정리하면 Table 5의 마지막 열(column)과 같다. 4개 기업은 개별적으로 연간 1,000 톤(ton) 이상의 이산화탄소 배출량을 감축할 수 있어 환경적으로 의미 있는 이익을 얻을 수 있다. 4개 기업의 잠재적 에너지 교환망을 모두 이용할 경우, 이산화탄소 총 감축량은 약 11,160 톤에 해당한다. 본 연구의 조사에서 구체적인 폐에너지 데이터를 제공하지 않은 다른 많은 기업들을 고려하면, 포항철강산업단지에서 적극적으로 폐열 회수 교환망 구축을 추진할 경우 온실가스 배출량 감축 측면에서 확보할 수 있는 환경적인 이익은 훨씬 클 것으로 예상된다.

#### 4. 결론

포항철강산업단지 내부의 에너지 소비 형태와 폐에너지 발생 현황을 조사하여 데이터베이스를 구축하였다. 이를 활용하여 실현 가능한 에너지 교환망을 제안하고, 폐에너지의 구체적인 온도와 유량 정보를 제공한 기업들을 중심으로 폐열 회수 교환망의 기초 경제성 분석을 수행하였다. 지난 2년간 평균 LNG 가격을 가정하면, 최종 4개의 폐에너지 발생 기업에 대한 에너지 교환망의 손익분기시점은 평균 2.8년으로 분석되어 충분한 경제성이 있는 것으로 판단된다. 한편 환경 영향 분석 결과, 최종 4개 폐에너지 발생 기업을 중심으로 폐열 회수 교환망을 구축하면 연간 약 11,160 톤의 이산화탄소 배출량을 감축할 수 있어 환경적인 이익이 큰 것으로 판명되었다.

#### 감사

이 연구를 진행하는 동안 제 1 저자는 2009년도 경일대학교 신입교원정착연구비 지원을 받았으며, 이에 감사의 뜻을 전합니다.

#### 참고문헌

1. Lee, S. J., Yoo, C. K., Choi, S. K., Chun, H. D., and Lee, I. B., "Modeling of Eco-industrial Park (EIP) through Material Flow Analysis (MFA)," *Korean Chem. Eng. Res.*, **44**(6), 579-587 (2006).
2. Greenhouse Gas Verification Center, "Examples of Feasibility Analysis on the Project of Greenhouse Gas Reduction," Workshop on the Project of Greenhouse Gas Reduction, KEMCO, Feb. 12-13, Anmyundo, (2009).
3. Choi, Y. C., Park, T. J., Hong, J. C., and Cho, S. Y., "A Study on the Characteristics of Waste Heat from the Industrial Complexes for Residential and Commercial Sectors," *J. Energy Eng.*, **8**(2), 242-247 (1999).
4. Lee, D. K., Park, S. U., and Lee, S. J., "An Application Study on the Actual Site for Using Waste Heat," *J. Energy Eng.*, **10**(4), 327-334 (2001).
5. Park, I. H., Park, J. T., and Yoo, S. Y., "An Investigation Study on Fact of Waste Heat of Domestic Industry," *Korea J. Air-Conditioning and Refrigeration Eng.*, **14**(10), 811-816 (2002).
6. Park, J. T., et al., "An Investigation on Waste Heat of Domestic Industry and Optimum Heat Recovery Technology," Report of the Ministry of Commerce, Industry, and Energy, 2003.
7. Kim, L. H., Chang, W. S., and Hong, J. J., "Development of Technology for Network Construction Using Wide Area Energy," *J. Energy Eng.*, **17**(3), 125-138 (2008).
8. Lee, H., et al., "Network Construction of Waste Heat Recovery in Reheating Furnace of Hot Rolling Mill," Report of Gyeongbuk EIP, KICOX, the Ministry of Knowledge Economy, 2009.
9. Lee, G. G., "An Investigation on Demand and Supply of Waste Heat for Construction of Energy Exchange Network in Pohang Industrial Complex," Report of Gyeongbuk EIP, KICOX, the Ministry of Knowledge Economy, 2009.
10. Lee, G. G., Jung, I. G., and Chun, H. D., "A Study on the State of Waste Heat to Construct Energy Exchange Network in Pohang Industrial Complex," KSCT Spring Meeting, May 14, Seoul, (2010).
11. Lee, G. G., Jung, I. G., and Chun, H. D., "A Study on Construction of Energy Exchange Network for Waste Heat Recovery in Pohang Eco-Industrial Park," Paper No. P-He-4, Renewable Energy 2010, June 27-July 2, Yokohama, (2010).
12. [http://www.kogas.or.kr/kogas\\_kr/html/customer/customer\\_08.jsp](http://www.kogas.or.kr/kogas_kr/html/customer/customer_08.jsp)
13. <http://co2.kemco.or.kr/directory/toe.asp>