

## 가정 · 상업부문 이용을 위한 산업체 폐열특성 연구

최영찬 · 박태준 · 홍재창 · 조선영

한국에너지기술연구소 에너지환경연구부

### A Study on the Characteristics of Waste Heat from the Industrial Complexes for Residential and Commercial Sectors

Young-Chan Choi, Tae-Jun Park, Jae-Chang Hong and Sun-Young Cho

Energy Environment Research Department Korea  
Institute of Energy Research

#### 요 약

각종 산업단지 및 발전소에서 배출되는 막대한 양의 폐열을 회수하여 재활용하기 위하여 전국 7개 지역 11개 공단에 대한 폐열 특성분석을 실시하였다. 본 연구는 도시종합에너지시스템 연구의 일환으로 산업체 폐열을 배후도시의 주거 및 상업지역에 공급 · 이용 가능성을 검토하였다. 검토대상 공업단지의 조사된 폐열량은 148,913 TOE/년으로 나타났으며, 온도범위는 0°C~200°C가 83%, 그리고 배가스 형태로 배출되는 폐열이 전체의 82%를 차지하는 것으로 나타났다. 이들 조사대상 공업단지 중 폐열량이 집중된 4개지역(대구공단, 울산 석유화학단지, 여천 석유화학단지 및 전주공단)에 대한 폐열특성도 상세하게 조사되었으며, 이들 공단의 조사된 폐열량은 114,402 TOE/년으로 조사된 총폐열량의 77%에 해당하며, 이중 배가스는 87%, 온도범위는 0°C~200°C의 폐열이 대부분인 것으로 나타났다. 또한, 18.1 million TOE/년의 폐열이 화석연료를 사용하는 발전소로부터 발생되며, 이중 95%가 복수냉각기에서 배출되는 27°C~34°C 범위의 저온폐열이며, 나머지 5%(894,800 TOE/년)가 연도 배가스 형태로 배출되고 있는 것으로 조사되었다.

**Abstract**— The characteristics of waste heat effluents from 11 industrial complexes of 7 areas were analyzed to investigate the possibility of waste heat recovery of huge amount of waste heat producing from various industrial complexes. This study presents a part of the research work for the industrial waste heat for development of energy integrated network system in broad city area, which will utilize industrial waste heat for residential and commercial areas, where they are located at some distances from the complexes. The amount of waste heat from the investigated complexes was detected as 148,913 TOE/year. However, It was analyzed 83% of the waste heat was analyzed the temperature range from 0°C to 200°C. Also, it was evaluated that 82% of waste heat was exhausted by flue gases. Especially, the characteristics of waste heat for the areas where most heat concentrated, such as Tae-gu industrial complex, Ul-san petrochemistry complex, Yio-chun petrochemistry complex, and Chun-ju industrial complex were investigated more precisely. Total amount of waste heat discharged from these four areas were analyzed 114,402 TOE/year, which was occupied as 77% of the total waste heat for the studied areas, and 87% of the waste heat from the industries was exhausted by flue gaseous phase and temperature range was from 0°C to 200°C. 18.1 million TOE/year waste heat was released from the fossil fuel power plants, however 95% of waste heat was analyzed as cooling water from surface condensers at power plants. The temperature range was measured from 27°C to 34°C, which are unable to utilize due to its low temperature. Otherwise, 5% (894,800 TOE/year) waste heat released from power plants were observed as flue gas, which temperature ranged from 90°C to 170°C.

### 1. 서 론

우리나라 1차에너지의 52%는 산업부문에 사용되고 있으며, 이중 산업 부문에서 이용되지 못하고 손실되는 폐열은 약 60%로서 연간 4,000만 TOE(일차에너지 31%)에 달하고 있다. 이처럼 막대한 산업폐열을 효율적으로 이용하기 위한 새로운 기술개발과 배후 도시에 에너지 손실을 최소화하여 장거리까지 수송하기 위한 새로운 개념의 시스템 및 신 기술 개발의 필요성이 시급한 실정이다. 이처럼 막대한 폐열이 이용되지 못하고 있는 이유를 검토해 보면, 폐열 회수 기술이 부족하거나, 폐열량은 많으나 온도가 낮아 이용이 곤란할 경우, 폐열을 회수한다 해도 다량으로 회수되는 잉여 폐열을 주변에 공급할때 발생하는 열 손실에 의해 장거리 수송이 곤란한 경우, 공단이 분산되거나 또는 공업 단지로부터 열 수요처인 배후도시까지 10~30 km 이상 멀리 떨어져 있는 경우라 할 수 있다.

우리나라의 경우 사전에 계획적으로 에너지공급처와 집단 주거지역을 연결하는 열병합발전에 의한 집단에너지 시스템을 제외하면 아직도 에너지 활용을 고려하여 공업단지와 배후도시를 연계한 에너지 시스템 네트워크(Network)를 고려하여 배치한 경우는 거의 없다. 반면, 일본은 New Sunshine Project의 일환으로 '93년부터 2010년까지 ECO-Energy City Project 연구개발을 추진 중이며, 1단계 '93년~2000년까지 시스템 기술과 30여개의 요소기술 개발에 당초 일화 500억엔(한화 4,000억원)을 투입할 계획으로 연구개발을 추진하였으나, 요소기술 개발이 당초계획보다 지연되므로 인해 개발목표를 다소 수정하여 2000년까지 기초 요소기술만을 개발하기로 하고 당초예산을 삭감하여 100억엔(1,000억원)을 투입할 계획으로 연구를 추진하고 있다<sup>[1]</sup>. 아울러, 새로운 폐열이용 요소기술 개발을 위하여 정부의 적극적인 지원 체제가 이루어지고 있으며, 엔지니어링 회사를 비롯하여 미쯔비시, 우베, 신일본제철, 히다찌, 동경전력, 가와사키 중공업 등 일본 굴지의 30개 대기업이 연구에 참여하고 있는 실정이다.

산업체에서 버려지고있는 폐열 중 저온의 막대한 열은 열 펌프 또는 감압 증발장치에 의해 열 회수가 가능하며, 금속 수소화물은 상온 수소의 지기체적 1,000배 수소의 흡수 저장이 가능하며, 분해 합성 반응을 이용하여 큰 열 손실 없이 10 km의 장거리 열 수송성에 관한 연구와 또한, 메탄을 분해 합성 반응과 합성 가스 수송에 의해 장거리(30 km)까지의 열 수송 가능성도 검토되고 있다. 이외에도 산업체 폐열 이용을 위한 다각적인 연구가 진행되고 있는 실정이다<sup>[2][3]</sup>.

이와 같이 산업체에서 발생하는 폐열을 이용하기 위

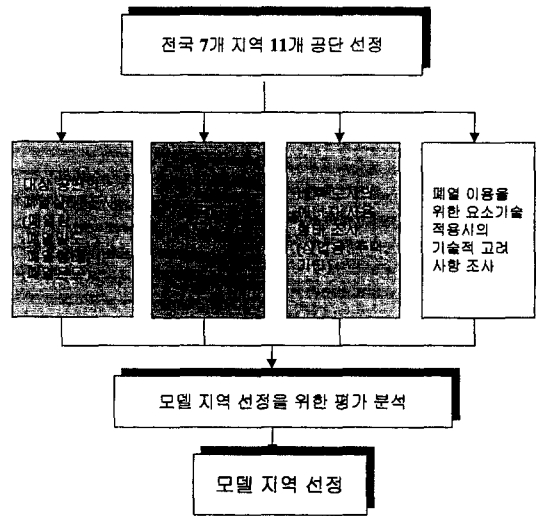


Fig. 1. Procedure of analyzing the characterization of desired cities for using waste heat from industrial complex.

해서는 무엇보다 폐열의 형태와 특성, 지역적인 분포상태를 조사 분석하여, 기존의 기술에 새로운 개념의 미래형 신 요소기술을 접합한 최적에너지 활용시스템을 개발하는 것이 중요하다.

그러나 산업체 폐열의 이용은 각 대상공단의 폐열특성 분석뿐만 아니라, 회수된 폐열의 수요처인 배후도시의 열 수요에 대한 특성 분석이 필수적이다. 배후도시에 대한 검토사항은 Fig. 1에 나타난 것처럼 공업단지와 배후도시와의 거리, 도시구조, 배후도시 인구, 주거지역(단독 및 아파트)과 상업지역, 기타 에너지소요량, 난방 및 냉방 열 수요량과 도시에서의 기존에너지 소비형태, 일간, 월간 및 연간 열수요 패턴등을 예측하여야 하며, 또한 기타 공해문제와 관련된 환경적인 측면도 고려되어야만 한다.

이러한 작업이 완료되면 열공급처가 되는 산업단지와 열 수요처가 되는 산업단지 및 배후도시를 하나의 시스템으로 정의하고 이 시스템의 경제적 기술적인 최적화의 평가 분석의 단계를 거쳐 폐열회수 기술의 적용을 위한 최적의 모델지역을 선정할 수 있다. 본 연구에서는 산업체 폐열이용의 1차 단계라 할 수 있는 산업체 폐열의 특성 분석을 수행하여, 산업체 폐열 이용을 위한 최적시스템 구축의 기초자료를 제공하고저 하였다.

## 2. 폐열회수를 위한 산업체 폐열 특성 분석

### 2-1. 산업체 폐열 실태조사

석유화학, 각종 산업단지 및 발전소 등에서 배출되는 막대한 양의 저온 및 고온의 현열과 잠열등의 이용되지

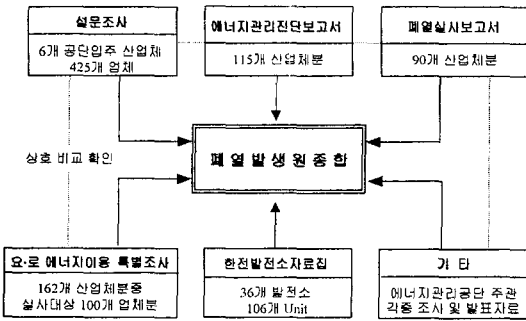


Fig. 2. Flow chart of analysis on waste heat emission from industrial complex.

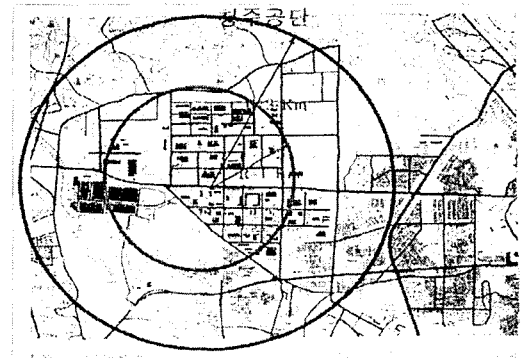


Fig. 3. Analysis example of waste heat emission from Chung-Ju industrial complex.

못하고 손실되는 폐열을 효율적으로 이용하기 위하여 산업체 폐열 실태조사를 통해 잠재력, 폐열특성 및 타당성을 분석하였다. 산업폐열을 최대한으로 회수하기 위하여 전국의 7개지역 11개 공단을 선정하였으며, 이에 대한 폐열실태 조사 및 조사된 자료의 분석을 실시하였다. 폐열실태 조사는 폐열발생원을 조사하기 위하여 설문조사 및 표본 현장조사를 실시하고 설문조사에 대한 응신율이 저조함을 감안하여 별도의 현실성있는 자료의 수집 가공을 동시에 진행하였다. 추가적인 자료의 수집 가공의 대상은 해당자료의 현실성을 감안하여 에너지관리진단 보고서<sup>[65]</sup>, 폐열실태조사 보고서<sup>[67]</sup>, 요·로 에너지이용 특별조사<sup>[8]</sup>, 한국전력공사발전소 기술자료집<sup>[9]</sup> 및 폐열 실사자료<sup>[10][11]</sup>로 하였다. 따라서, 폐열발생원 조사의 흐름도는 Fig. 2와 같다.

2-2. 산업체 폐열 특성 분석

산업단지 및 발전소 폐열 실태 조사자료를 이용하여 막대한 폐열을 회수할 수 있는 폐열이용기술의 적용을 위한 폐열특성 자료 조사는 전국의 7개지역 11개 공단에 대하여 수행되었으며, 지역별로는 인천(남동공단, 부평지역, 자유수출공단), 안산의 반월공단, 청주, 전주, 대구, 울산, 여천지역을 대상으로 조사하였다. 조사된 폐

열은 열량을 TOE(Ton of Oil Equivalent)로 표시하여 전체적인 발생폐열의 양을 비교·분석하였으며, 실제 배출폐열의 온도분포를 조사하여, 회수시 경제성에 대한 판단을 할 수 있도록 분석하였다. 또한, 회수 방법 및 적용장치의 결정을 위해 배출폐열의 형태, 즉 배가스, 배공기, 응축수, 냉각수에 구별하여 각각의 배출 온도 및 열량을 분석하였다. 산업체 폐열 특성의 분석을 위하여 Fig. 3의 청주공단의 경우와 같이 공단내의 특정좌표를 축으로하여 반경 1 km 또는 2 km에서의 폐열 실태를 조사하였으나, 본 연구에서는 일괄적으로 반경 2 km를 적용하였다.

Table 1과 Fig. 4는 검토 대상 공단의 폐열 배출 현황을 보여주고 있다. 울산 및 여천의 경우 검토된 산업체간의 거리, 즉 밀집도를 고려하여 편의상 A 및 B 지역으로 분류하여 표시하였다. Fig. 4-a에서 볼 수 있듯이 각 지역별 단위반경당 폐열발생량, 즉 폐열발생밀도가 가장높은 지역으로는 대구의 비산공단을 들 수 있으며, 연간 34,093 TOE/km의 폐열이 배출되는 것으로 조사되었다. 그 다음이 울산 A지역으로 연간 31,090 TOE/km, 여천 B 지역이 연간 27,877 TOE/km, 그리고 전주 공단이 연간 21,342 TOE/km의 순으로 폐열이 배출되

Table 1. Actual waste heat emission state in the investigated areas.

	남동 공단	부 평	자유수출 공단	안산	청주	대구	전주	울산 A	울산 B	여천 A	여천 B	계
폐열량 (TOE/년)	3,340	558	3,470.3	11871.5	5719.5	34,093.5	21,342.3	31,090.9	5,875	3679.9	27,877	148,918
배출온도분포 (°C)	90~ 450	140~ 350	40~ 800	60~ 986	58~ 600	30~ 451	48~ 240	160~ 400	80~ 750	50~ 250	126~ 210	40~ 986
배출 형태별 온도 분포 (%)	배가스 99.2	배가스 100	배가스 94	배가스 47	배가스 82	배가스 66	배가스 82	배가스 100	배가스 99.7	배가스 73	배가스 100	배가스 82
	배공기 0.7	배공기 -	배공기 1	배공기 32	배공기 6	배공기 21	배공기 9	배공기 -	배공기 0.3	배공기 27	배공기 -	배공기 10
	응축수 0.1	응축수 -	응축수 5	응축수 17	응축수 11	응축수 7	응축수 6	응축수 -	응축수 -	응축수 -	응축수 -	응축수 4
	염색수 -	염색수 -	염색수 -	염색수 4	염색수 1	염색수 12	염색수 4	염색수 -	염색수 -	염색수 -	염색수 -	염색수 4

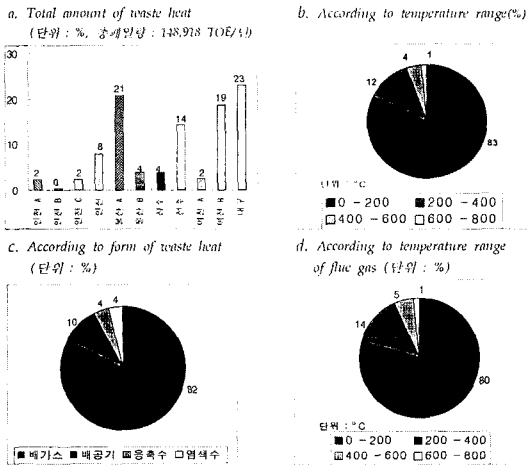


Fig. 4. Actual waste heat emission state in the investigated areas.

고 있는 것으로 분석되었다.

배출되는 폐열량만으로는 경제성 및 폐열회수의 방법에 대한 결정이 어렵다. 즉 폐열의 이용가능성을 예측하고, 적용 기술의 선정에 위해서는 폐열의 온도분포가 정확히 분석되어야 한다. Fig. 4-b에서는 폐열의 온도분포를 분석하였다. 그림에서 보는 바와 같이 조사된 폐열의 83%가 0°C~200°C, 12%가 200°C~400°C의 온도로 배출되고 있음을 알 수 있었다.

폐열회수기술을 정확히 적용하기 위한 방법을 선정하기 위해서는 배출폐열의 형태가 가스인지 혹은 액체 상태인지를 파악해야 한다. 폐열의 배출특성을 Fig. 4-C와 같이 배출형태별로 분석하였다. 배출 폐열의 형태는 4 가지 즉, 배가스, 배공기, 응축수, 염색수로 분류하였으며, 분석결과에 의하면 배가스의 형태로 조사된 폐열의 약 82%(122,112 TOE/년)가 배출되고, 다음이 배공기, 염색수, 응축수 순으로 나타났다.

이미 위에서 언급된 바와 같이 조사된 폐열의 82%가 배가스 형태로 배출되기 때문에 이에 대한 적절한 형태의 폐열 회수기술이 요구되며, 온도분포는 Fig. 4-d에서 보는 바와 같이 주로 중·저온대(0°C~200°C)로 분석되었다. 배공기는 공기에 의한 냉각열을 일컬으며, Fig. 4-c에서 보는 바와 같이 전체 폐열의 10% 정도가 배출되고 있으며, 온도분포는 100°C~200°C의 분포로 조사되었다. 응축수는 일부 지역에서만 배출되고 있으며, 주로 안산과 대구지역으로 나타났다. 이외에 안산과 대구에서 염색수가 배출되고 있는 것으로 조사되었으며 특히, 대구의 염색공단에서 대부분의 염색수가 배출되고 있고 배출되는 염색수의 온도는 100°C 이하인 것으로 조사되었다.

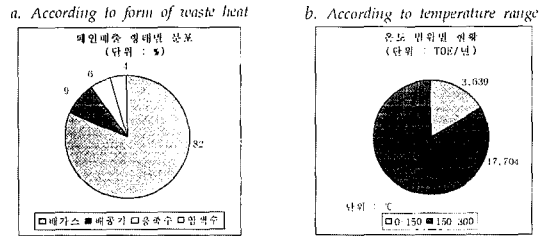


Fig. 5. Actual waste heat emission state in Chun-Ju industrial complex (X=208.9, Y=260.9, R=2 km,  $Q_{tot}=21,342.3$  TOE/년).

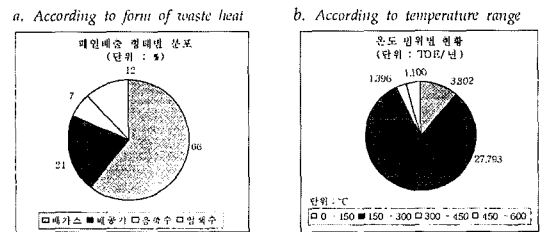


Fig. 6. Actual waste heat emission state in Tae-Gu industrial complex (X=159.5, Y=265.5, R=2 km,  $Q_{tot}=34,093.5$  TOE/년).

각 공단의 폐열특성 분석결과는 Fig. 4-a에 나타난 것처럼 조사 대상 공단 전체 폐열발생량의 77%가 4개 공

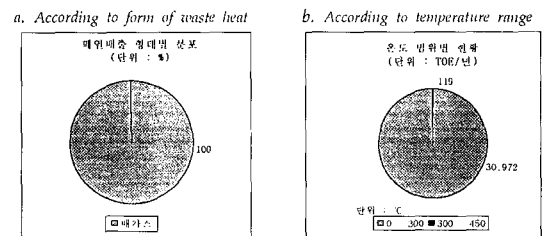


Fig. 7. Actual waste heat emission state in Ul-San A industrial complex ((X=229.8, Y=221.5),  $Q_{tot}=31,090.9$  TOE/년).

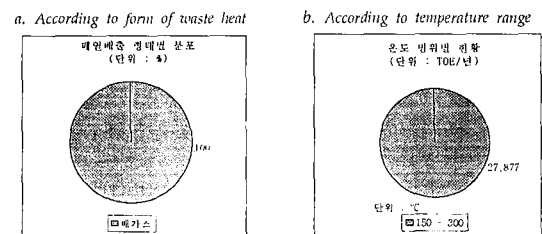


Fig. 8. Actual waste heat emission state in Yio-Chun B industrial complex ((X=260.0, Y=147.1),  $Q_{tot}=27,877$  TOE/년).

단(전주공단, 대구공단, 울산 A, 여천 B)에서 배출되고 있음을 알 수 있다. 위의 4개 공단에 대한 상세한 폐열 특성에 관한 분석자료는 Fig. 5~Fig. 8에 나타난 것과 같으며, 본 자료는 향후 폐열 이용을 위한 최적시스템 구성에 대한 배후도시 특성 조사의 준비 자료로 활용할 수 있을 것으로 판단된다. 그림에서 X, Y는 중심좌표, R은 중심좌표로부터 조사되는 반경(km) 그리고  $Q_{tot}$ 은 조사된 총 폐열량(TOE/년)을 나타낸다.

앞의 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 4개 공단에서 배출되는 폐열은 전체 조사 공단 폐열의 77%(114,402 TOE/년)를 차지하며, 이중 배가스는 87%, 온도범위는 0°C~200°C의 폐열이 대부분인 것으로 나타났다.

주로 석탄화력발전소로 구성되어있는 발전소의 경우는 공단지역과는 달리 원료 수송 및 공해문제를 고려하여 대부분이 임해지역에 위치하거나 또는 배후도시와 멀리 떨어져 있다. Fig. 9에서 나타난 것과 같이 조사 대상 발전소 총폐열량은 1,810만 TOE/년에 달한다. 이중 대부분이 복수냉각기에서 배출되는 27°C~34°C 범위의 저온폐열로서 1,721만 TOE/년(총 폐열량의 95%)에 달하며, 연도 배가스의 경우 85°C~171°C 온도를 나타내며 총 폐열량의 5%(894,800 TOE/년)에 불과하나 조사대상 공업단지 지역보다 훨씬 많은 양이 배출되고 있는 것으로 분석되었다.

이처럼 막대한 발전소 폐열이 유효하게 배후도시에 이용되지 못하고 있는 주요인은 대부분의 발전소 폐열이 27°C~34°C 범위의 저온으로 배출되는 냉각수이며, 기타 연도배가스 폐열은 폐열회수시의 노점이하에서 열회수 장치의 부식 및 90°C~170°C 범위의 폐열회수 시스템이 발전소 보일러 등 상부공정에(Up-stream process) 영향을 주지 않기 위한 기술적인 문제가 해결되지 않았기 때문이다. 특히, 발전소가 주거지역과 멀리 떨어져 있다는 것 등이 막대한 발전소 폐열을 효율적으로 이용할 수 없는 요인으로 분석되며, 향후 이같은 저온폐열과 배가스를 회수 이용할 수 있는 방안이 계속 검토되어야 할 것이다.

### 4. 결 론

1. 각종 산업단지 및 발전소에서 이용되지 못하고 버려지는 막대한 양의 폐열을 회수하여 재활용하기 위한 1차 작업으로서 전국 7개 지역 11개 공단에 대한 산업체 폐열 특성분석을 실시하였다.
2. 11개 조사 및 분석 대상 공업단지의 조사된 폐열량은 148,913 TOE/년으로 나타났으며, 온도범위는 0°C~200°C가 83%, 그리고 배가스 형태로 배출되는 폐열이 전체의 82%를 차지하는 것으로 나타났다.
3. 11개 대상 공업단지 중 폐열량이 집중된 4개지역(대구, 울산 석유화학단지(울산 A지역), 여천 석유화학단지(여천 B지역) 및 전주공단)에 대한 폐열특성을 상세하게 조사하였으며, 이들 공단의 조사된 폐열량은 114,402 TOE/년으로 전체 공단의 조사된 폐열량의 77%에 해당하며, 이중 배가스는 87%, 온도범위는 0°C~200°C의 폐열이 대부분인 것으로 나타났다.
4. 한전화력발전소의 경우, 원료공급과 공해문제 등을 고려 발전소와 도시가 멀리 떨어져 있다. 검토 대상 발전소의 조사된 폐열량은 1,810만 TOE/년의 막대한 폐열이 배출되고 있으나, 약 95%는 27°C~34°C 범위의 복수냉각수로서 온도가 낮아 이용하기 어려운 실정이며, 약 5% 정도의 폐열은 온도 90°C~170°C 범위로서 약 894,800 TOE/년의 연도 배가스 형태로 대기중에 방출되고 있다. 향후 발전소 폐열을 효율적으로 이용하기 위해서는 연도 배가스의 폐열회수 장치의 부식억제 기술과 고효율 열교환기 개발이 필수적이며, 폐열회수에 따른 공정상의 장애가 발생하지 않기 위한 기술적인 대책이 마련되어야 한다. 복수냉각기의 막대한 냉각수는 폐열량은 많으나 유효에너지가 낮으며 이를 활용할 수 있는 기술연구도 이루어져야 할 것이다.
5. 향후, 폐열량이 집중된 4개 지역에 대한 폐열특성, 온도분포, 폐열량, 폐열형태 및 산업단지의 생산공정 특성등을 심층분석하고, 배후도시의 열수요 및 형태와 공단과의 연계성을 고려하는 공업단지와 배후도시와의 에너지 수요 공급을 위한 최적시스템 설계의 기초자료를 마련할 계획이다.

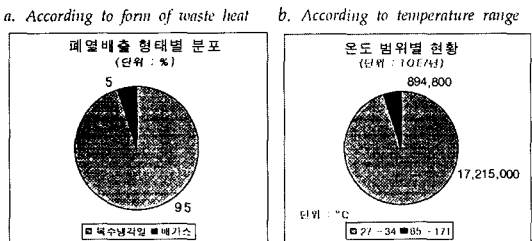


Fig. 9. Actual waste heat emission state in Power plants ( $Q_{tot}$ =18,109,883 TOE/년).

### 참고문헌

1. 박태준: "에너지관련 국제협력 및 기술자료조사", 해외출장보고서, KIER, 1997.
2. 박태준 외: "도시 종합에너지 시스템 개발 연구", 한국에너지기술연구소 보고서, 1997.
3. "광역에너지이용 Network system 연구개발", 중간성과보고서, NEDO, 1997.

4. “에너지관리진단 보고서”, 에너지관리공단, 1995.
5. “에너지관리진단 보고서”, 에너지관리공단, 1996.
6. “폐열실태조사 보고서”, 에너지관리공단, 1993.
7. “폐열실태조사 보고서”, 에너지관리공단, 1995.
8. 김대규, 최종하: “요로에너지이용 특별조사”, 에너지 관리공단, 동진컨설팅(주), 1996
9. “한국전력공사발전소 기술자료집(화력 및 복합화력발전)”, Power Plant Dep't, KEMCO.
10. 최종하 외: “폐열실사자료”, 동진컨설팅, 1996.
11. 최종하 외: “폐열실사자료”, 동진컨설팅, 1997.