

# 산업단지 폐열이용 실증분석 사례

본고에서는 국내 산업단지에서 발생되고 있는 폐열의 에너지활용도를 제고하기 위해 폐열 활용에 대한 실증분석 사례를 제시하고자 한다

박수억, 이덕기

## 국내산업단지 현황

### 국가 산업단지 현황

2000년 8월 현재 국내에 산재한 국가산업단지는 25개단지(산업단지공단 관할)로 총면적은 79,608천평이고 분양대상면적(산업시설+지원시설)은 58,899천평이다. 이 중 분양가능면적은 48,344천평이고, 기분양 면적은 분양가능면적의 90.8%인 43,920천평이며, 미분양면적은 분양가능면적의 9.2%인 4,424천평이다. 또한, 분양 불가면적은 10,551천평으로 이중 기초성 면적이 379천평, 조성 중인 면적이 4,291천평, 미착공면적이 5,885천평으로 나타났다.



[그림 1] 국가산업단지 배치도

### 권역별 현황

권역별로는 경인지역, 서부지역, 중부지역, 동남지역, 서남지역으로 크게 나누어지며, 경인지역은 구로, 남동, 파주탄현, 파주출판, 부평주안, 부평국가 산업단지로 구성되어있다. 국내 최초의 공업단지로 고도 경제성장의 견인차 역할을 하였으며 수출 성장의 중심점이 되어온 구로단지는 섬유 봉제 위주의 산업단지에서 첨단 산업단지로 업종을 재배치해 변신을 꾀하고 있으며, 동해 북평단지는 환태평양 경제권의 북방전진기지로 부상하고 있다. 서부지역은 반월, 시화, 아산, 석문, 대죽, 고정, 대덕, 보은, 오송국가산업단지로 구성되어있으며 서해안 임해산업벨트권 형성으로 경기도 및 충남에 소재한 서부지역 산업단지들은 서해안시대의 개막으로 산업중심지가 되고 있다. 한편 국내 최대의 중소기업 전문단지는 수도권의 과밀공장 및 인구의 분산수용 등을 위하여 수도권 이전 공장을 유치, 지방이 중심이 되는 신산업시대를 주도하여 국가 경제발전에 일익을 담당하는 요충지로 떠오르고 있다. 중부지역은 구미, 포항국가산업단지로 구성되어있으며 첨단 전자, 섬유산업의 메카의 산업으로 국토의 균형적인 발전을 도모하는 국내최대의 내륙산업단지이다. 동남지역은 울산미포, 온산, 명지녹산, 창원, 진해, 죽도, 옥포, 안정국가 산업단지로 구성되어있으며 국내 최대의 기계공업, 중화학공업단지를 갖추고 있다. 서남지역은 군산, 군장, 익산, 광주첨단, 대불, 광양, 광양연관, 여천국가단지로 구성되어 있으며 중화학 첨단과학단지를 갖추고 있고 대중국전진기로서 자동차 종합생산단지가 들어설 군산 및 대불단

박수억 한국에너지기술연구원 (supark@kier.re.kr)

이덕기 한국에너지기술연구원 (deokki@kier.re.kr)

지 등 이들 서남지역의 산업단지는 발전 잠재량이 크다.

**시·도별 공업단지 현황**

대도시의 경우 대규모의 국가산업단지과 지방산업 단지를 가지고 있으며 농공단지는 적은 것으로 나타났는데 도지역에서는 국가 및 지방산업단지가 있지만 이에 비해 농공단지가 비교적 많이 형성된 것으로 나타났다. 전국에는 총 478개 산업단지가 있으며 이중 충청남도가 농공단지 56개소, 지방산업단지 19개소, 국가산업단지 4개소로 구성되어 79개소로 가장 많이 나타났으며, 그 다음은 경상북도로서 농공단지 51개소, 지방산업단지 17개소, 국가산업단지 2개소, 총 70개소로 나타난 반면 서울의 경우 국가산업단지 1개소, 지방산업단지 1개소로 총 2개소로 나타났다.

**주요 산업단지별 폐열 배출현황**

폐열공급처 선정을 위한 산업단지별 타당성 분석을 위해 표 1과같이전국의 7개지역 11개 산단에 대하여 폐열실태를 조사하였는데 조사대상지역은 인천(남동공단, 부평지역, 자유수출공단), 안산의 반월공단, 서울인근지역(구로, 영등포일대), 청주, 전주, 대구, 울산, 여천이다. 조사된 폐열은 우선 열량을 TOE(ton

of oil equivalent)로 표시하여 전체적인 발생폐열의 양을 나타내었으며 온도분포와 배출의 형태별로 구분하였다. 대구의 비산염색공단이 34,083.5TOE/년로 가장 높은 폐열량을 내타내고 있으며 울산A지역(31,090TOE/년) 및 여천 B지역(27,877 TOE/년), 전주(21,342.3TOE/년)순으로 폐열량이 많이 발생하는 것으로 나타났다.

**산업단지 폐열이용 타당성 분석사례**

**국내외 동향**

주요 선진국에서는 열을 수송하기 위해 수km부터 수백km에 이르는 대규모 열수송관으로 폐열, 해수, 하천수를 광역적인 열수요에 공급하고 있다. 특히 덴마크는 에너지원의 다원화 정책에 따라 소각열과 폐열을 활용한 지역난방 보급을 초기부터 설계하여 추진하고 있다. 인근 일본의 厚別지구와 眞駒内지구에서도 쓰레기소각로의 폐열보일러에서 발생한 고압증기와 터빈발전기에서 배출된 저압증기를 받아 폐열의 유효이용을 최대한 도모하기 위해 열교환된 고온수로 냉난방·급탕을 하는 에너지절감 시스템을 사용하고 있다. 독일의 경우, ZEW에서 도시와 주변 산업단지와의 폐열을 이용한 에너지 최적흐름시스템을 개발(dynamic energy, emission and cost optimization: DEECO)하여 폐열회수기술, 지역난방 등을 폐열처, 기술 conversion, 공급처별 시스템 대안을 중심으로 하는 최적성을 다양한 열원을 적용하여 개발한 바가 있다. 국내에서는 소규모의 적용사례는 점차적으로 증가하고 있는 추세에 있지만 대규모의 폐열이용 사례는 많은 자금과 풍부한 폐열원이 필요하여 극히 제한되어 실시되고 있는 실정이다. 1996년에 포철로제 제조부문은 포스코캠 잉여 폐열(저압증기)을 이용함으로써 자체생산 운영비용 절감의 효과를 보기 위한 사업을 실시하였으며, 에너지관리공단에서도 1995년 대구 염색공단과 1996년 경남창원 및 경기안산에서 발생하는 폐열을 이용하기 위한 타당성 조사를 실시하였다. 이러한 사업은 폐열원의 발굴과 수요처에 대한 조사를 통하여 이루어지는데 아직 미비한 점이

<표 1> 주요 산업단지의 폐열배출 실태현황

| 구 분            | 인천A    | 인천B     | 인천C     | 안산       | 청주      | 대구       |    |
|----------------|--------|---------|---------|----------|---------|----------|----|
| 폐열량(TOE/년)     | 334.0  | 558.0   | 3,470.3 | 1,1871.5 | 5,719.5 | 34,083.5 |    |
| 배출온도분포(℃)      | 90-450 | 140-350 | 40-800  | 60-986   | 58-600  | 30-451   |    |
| 배출형태별 온도분포 (%) | 배가스    | 99.2    | 100     | 94       | 47      | 82       | 66 |
|                | 배공기    | 0.7     | 0       | 1        | 32      | 6        | 21 |
|                | 응축수    | 0.1     | 0       | 5        | 17      | 11       | 7  |
|                | 염색수    | 0       | 0       | 0        | 4       | 1        | 12 |

| 구 분            | 전주       | 울산A      | 울산B     | 여천A     | 여천B     | 계         |    |
|----------------|----------|----------|---------|---------|---------|-----------|----|
| 폐열량(TOE/년)     | 21,342.3 | 31,090.9 | 5,875.0 | 3,679.9 | 27,877  | 14,8918.0 |    |
| 배출온도분포(℃)      | 48-240   | 160-400  | 80-750  | 50-250  | 126-210 | 40-986    |    |
| 배출형태별 온도분포 (%) | 배가스      | 82       | 100     | 99.7    | 73      | 100       | 82 |
|                | 배공기      | 9        | 0       | 0.3     | 27      | 0         | 10 |
|                | 응축수      | 6        | 0       | 0       | 0       | 0         | 4  |
|                | 염색수      | 4        | 0       | 0       | 0       | 0         | 4  |

주) 본 조사 내용은 조사시기에 따라 다를 수 있음.

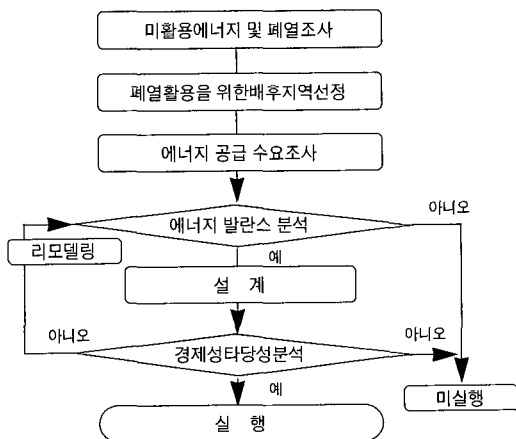
많아 적극적인 사업개발 및 연구가 필요한 실정이다.

**실증사례 분석방법**

산재되어 있는 폐열 가운데 이용할 수 있는 열을 찾고 사용하기까지는 많은 시간, 기술 및 자본이 투자되어야만 가능하다. 이러한 특성을 고려하여 경제적이면서 신속한 폐열 이용방법을 사용하여 폐열을 재활용할 수 있도록 그림 2와 같은 흐름을 제시하고자 한다. 첫째, 산업단지내에 소재하고 있는 업체들에 대하여 1차로 최근 3년간 에너지 사용 실태 및 폐열발생 조사를 실시한다. 둘째, 조사에서 나온 자료를 통하여 폐열 이용 가능지역을 선정한다. 셋째, 2차로 폐열발생이 많은 곳에 세부적인 에너지 수급현황을 조사한다. 넷째, 조사 내용을 공급 및 수요처와의 상호간 에너지 발란스를 한 후 평가한다. 다섯째, 사용할 수 있는 에너지에 대하여 시설계 한다. 여섯째, 전단계의 자료들을 이용하여 경제성 평가를 한 다음 사업의 타당성을 여부를 결정한다. 본 고에서는 1차, 2차 조사 후 사업성과 연계되는 중요한 에너지 발란스 및 평가부터 나타내었다.

**폐열의 수요/공급 발란스 및 평가**

산업단지내 폐열발생처와 인근의 열수요처를 대상



[그림 2] 폐열을 이용을 위한 작업 흐름도

으로 2차 조사를 하였으며 이에 따른 상호간의 요구를 충족시키기 위해 기초 부하자료를 이용하여 발란스 및 평가를 실시하였다. 본 분석 대상지는 산업단지 내에서 발생하는 산업폐기물을 소각하는 소각장으로 소각로에서 나오는 폐열을 이용하여 자체적으로 전기를 발전할 수 있는 시설을 보유하고 있지만 전기를 발생시킬 수 있는 증기량을 형성하지 못하여 대기중으로 버리고 있는 현실이다. 이 폐기물 소각로는 일일 150t/d 용량의 로타리킬른 방식이며, 회전 수는 0.456rpm이고, 소각로내 온도는 약 1,100℃이다. 보일러에서 300℃의 증기를 이론상 40t/h로 발생시키는 것으로 설계되었지만 실제 효율을 고려할 때 32t/h를 발생시키는 것으로 조사되었다. 공급처에서 년 중 일정하게 공급할 수 있는 값은 21kg/cm<sup>2</sup>의 압력, 290℃의 온도, 20t/h의 물량을 일정하게 공급할 수 있는 것으로 조사되었다. 공급량의 평가를 위한 각 수요처별 사용 증기를 분석하여 보면 표 2와 같다. 수요처 D1의 경우 계절별 평균부하는 2.98t/h, 하절기 평균부하는 2.15t/h, 최소부하 1.95t/h로 대부분 난방에 사용하는 것으로 나타났다. 수요처 D2의 경우는 계절별 부하는 비교적 차이가 심하지 않는 것으로 나타났다. 수요처 D3의 경우 계절별 부하는 난방에 사용하는 것으로 평균부하 0.85t/h, 하절기부하 0.35t/h로 나타났다. 수요처 D4의 경우 계절별 부하는 뚜렷한 계절별 분류가 이루어지지 않았다. 이 현상은 증기 사용특성상 제품 주문량에 의한 부하변동으로 나타났다.

폐열을 이용하여 공급측과 수요측의 요구되는 요인들을 상호 비교하면 온도 및 증기량은 크게 영향을 끼치지 않으나 압력 및 증기성분이 제약요인으로 대두

<표 2> 수요처의 증기부하분석 (단위 : t/h)

| 업 체 | 절 기 | 증기부하  |       |       |
|-----|-----|-------|-------|-------|
|     |     | 평균    | 최대    | 최소    |
| D1  | 동절기 | 2.98  | 3.09  | 2.82  |
|     | 하절기 | 2.15  | 2.25  | 1.94  |
| D2  | 동절기 | 0.047 | 0.05  | 0.043 |
|     | 하절기 | 0.044 | 0.045 | 0.043 |
| D3  | 동절기 | 1.94  | 2.24  | 1.75  |
|     | 하절기 | 0.35  | 0.64  | 0.17  |
| D4  | 동절기 | 1.22  | 1.78  | 0.58  |
|     | 하절기 | 1.38  | 1.76  | 1.16  |

되고 있다. 이에 따라 공급처와 수요처와의 상호 발란스 결과 D1, D2, D3의 조건은 공급측에서 수용할 수 있는 것으로 판단된다. 그러나 수요처 D4의 경우는 양적인 면에서는 문제가 되지 않으나 증기의 질적인 면에서 차이를 보이고 있는데 이러한 질적인 문제를 개선하려면 공급자측의 증기성분의 불순물을 제거할 수 있는 정제장치가 필요한 것으로 분석되며 이 장치를 설치하려면 많은 비용이 소요되므로 경제적 측면에서 다소 애로 사항이 발생하는 것으로 나타났다.

D4의 증기의 질을 개선하여 사용하는 방법들을 두 가지로 분류하였으며 경제성, 기술성, 환경성의 세가지 의사결정요소(decision making attribute)로 나누어 논리곱의 형태로 분석하였다.

A일 경우 기존의 D4사의 정수기를 이용할 경우에는 온도와 압력을 정수기를 사용할 수 있는 영역까지 낮춘 다음 정제한 후 다시 승온 승압을 하여야 되므로 경제적으로 타당하지 못한 것으로 나타났다.

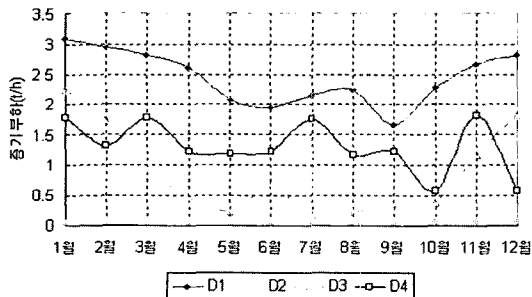
B 경우는 전체적으로 사용하는 물을 모두 정수기로 보내져 정수 되어지므로 15t/h 이상의 양을 정수할 수 있는 고품질 대용량의 정수기가 필요하여 경제적으로 타당하지 못한 것으로 나타났다.

A와 B의 경우 의사결정요소에서 각 요소에 한 기준만을 설정하여 논리곱형태에 적용하였지만 사업성이 타당하지 못한 것으로 나타났다.

이상과 같은 공급측과 수요측의 조건 분석결과에 따라 요구되는 요인들을 상호 평가하여 3개 업체를 수요처로 선정하였으며 이러한 조건에 따라 시설계를 하였다.

<표 3> 수요처의 증기 조건

| 업 체                            | 공급처 | 수요처    |     |     |     |     |
|--------------------------------|-----|--------|-----|-----|-----|-----|
|                                |     | D1     | D2  | D3  | D4  |     |
| 압력<br>(kg/cm <sup>2</sup> · g) | 최대  | 23     | 5.5 | 7   | 10  | 17  |
|                                | 최소  | 19     | 3.8 | 3   | 5   | 17  |
|                                | 평균  | 21     | 4.6 | 5   | 7.5 | 17  |
| 온도(°C)                         | 최대  | 300    | 160 | 120 | 179 | 200 |
|                                | 최소  | 280    | 155 | 120 | 151 | 200 |
|                                | 평균  | 290    | 157 | 120 | 165 | 200 |
| 양(t/h)                         | MAX | 80     | 5   | 0.5 | 7   | 4   |
|                                | 최소  | 40     | 4.5 | 0.3 | 5   | 1.5 |
|                                | 평균  | 20(판매) | 4.7 | 0.4 | 6   | 2.7 |



[그림 3] 수요처의 월별 증기부하분포도

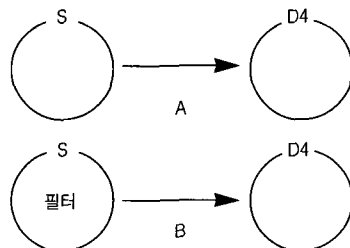
<표 4> 수요처 선정을 위한 평가

| 업 체   | 수요처 |    |    |    |
|-------|-----|----|----|----|
|       | D1  | D2 | D3 | D4 |
| 압 력   | ○   | ○  | ○  | △  |
| 온도    | ○   | ○  | ○  | ○  |
| 질(성분) | ○   | ○  | ○  | ○  |
| 양     | ○   | ○  | ○  | ×  |
| 합 계   | ○   | ○  | ○  | △  |

※ 주의 : ○ 양호 △ 보통 × 열악

<표 5> D4사 선정에 대한 분석

| Case | 경제성 | 기술성 | 환경성 | 선택 |
|------|-----|-----|-----|----|
| A    | 0   | 1   | 1   | 0  |
| B    | 0   | 1   | 1   | 0  |



[그림 4] D4사의 폐열이용에 대한 예상 대안

연료 소모량을 근거로 산출된 증기 부하에 따른 공급 요구량으로 구분하여 경제성을 분석하였다. 공급측의 증기 생산가격은 증기 생산을 위해 연료를 사용하지 않고 폐기물 소각에 의해 발생하는 필수 부산물임에 따라 비교적 낮은 금액으로 산정될 수 있을 것으로 분석되며, 공정 수요열만 판매시 공급자와 사용자간에 협의하여 결정하여야 하겠으나 기존 열공급 사업자의 열공급 가격을 비교하고 양측의 경제성을 고려하여 상호간의 가격을 결정하는 것이 적당할 것으로 판단된다. 본 경제성 분석에 필요한 증기의 톤당 가격 산출은 일반적으로 집단에너지 공급업체에서 사용하는 방법을 이용하여 계산하였다.

$P=72.4L < 100^{\circ}C$  응축수를  $160^{\circ}C$  증기로 만드는데 필요한 연료량, 경유기준>

$C=545.17(\text{원/L}) < 2000\text{년 } 1\text{월 대리점 판매가격(경유) 적용}>$

$\alpha=2,500\text{원} < \text{집단에너지 공급업체에서 적용하는 금액 적용}>$

증기생산가격(수요처) =  $72.4(L) \times 545.17(\text{원/L}) + 2,500\text{원/t} = 41,970.3\text{원/t}$

증기공급가격(공급처) =  $\frac{41,970.3 + 2,500}{2} = 22,235.2\text{원/t}$

<표 6> 열 수요처에 대한 연간공급가격

| 공급증기 |             | 수요처    |       |         | 계       |
|------|-------------|--------|-------|---------|---------|
|      |             | D1     | D2    | D3      |         |
| 최대   | 증기부하(년)     | 39,600 | 1,500 | 61,300  | 102,400 |
|      | 공급가격(백만원/년) | 880.5  | 33.3  | 1,363.0 | 2,276.8 |
| 최소   | 증기부하(년)     | 35,640 | 900   | 43,800  | 80,340  |
|      | 공급가격(백만원/년) | 792.4  | 20.0  | 973.9   | 1,786.3 |

<표 7> 각수요처별 추정 증기생산에 따른 공급가 비교

| 가 격               |  | 수요처    |       |         | 계        |
|-------------------|--|--------|-------|---------|----------|
|                   |  | D1     | D2    | D3      |          |
| 수요량 추정(년)         |  | 21,420 | 403.6 | 7,482.4 | 29,306.0 |
| 수요처생산가격(백만원/년)(A) |  | 899.0  | 16.9  | 314.0   | 1,229.9  |
| 공급가격(백만원/년)(B)    |  | 476.3  | 8.9   | 166.4   | 651.6    |
| 경제차액(백만원/년)(A-B)  |  | 422.7  | 8.0   | 147.6   | 578.3    |

각 수요처의 수요조사에 따른 최대요구량과 함께 최저요구량을 연간 일정하게 공급할 수 있는 양으로 산출하였으며 이를 22,235.2원/t으로 산정하여 요구 증기량의 가격으로 나타내었고 비교 분석하였다. 각 수요처 증기 요구량을 연간 가동시간을 감안하여 수요조사에서 제시한 양으로 산출할 때 최대 수요량은 102,400t/년이며 가격으로는 2,276.8백만원, 최저 수요량은 80,340t/년에 공급가격은 1,786.3백만원으로 나타났다(표 6 참조).

한편, 2000년도 수요조사에 따른 연료소비량을 감안하여 추정된 증기 수요량을 기준으로 분석하여 보면 생산가격 대비 공급가격은 약 578.3백만원의 경제적 가치가 있는 것으로 나타났다(표 7 참조).

시설투자비 산출은 기본 설계한 내용을 근거에 의해 시공업체의 견적 및 물가정보를 이용하여 시설투자비를 산출하였으며 총 1,244백만원의 투자비가 계상되었다(표 8 참조).

투자회수기간은 연간 증기요구량이 최대일 경우 연간 증기판매가격은 2,276.8백만원으로 0.546년으로 나타났으며 최소일 때는 1,786.3백만원으로 0.696년으로 나타났다. 그리고, 증기사용에 따른 가격추정 투자회수기간의 경우 651.6백만원에 대하여 1.909년으로 대체적으로 짧은 것으로 나타났다. 본 과정을 통하여 폐열이용을 실증분석한 결과 사업으로 이어질 수 있는 것으로 나타났다.

<표 8> 시설투자비 산출내역서

| 비 목                 | 금 액(원)        |
|---------------------|---------------|
| 배관 자재비              | 655,088,988   |
| 배관 인건비              | 292,848,273   |
| 직접 노무비              | 256,659,310   |
| 간접 노무비              | 36,188,962    |
| 경 비                 | 158,906,352   |
| 기계경비                | 53,478,262    |
| 기타경비((재+노)*8.207%)  | 77,797,211    |
| 안전관리비((재+직노)*1.81%) | 16,502,644    |
| 보험료(노*3.8%)         | 11,128,234    |
| 일반관리비((재+경+노)*5.5%) | 608,76,398    |
| 이윤((노+경+일반관리비)*15%) | 76,894,653    |
| 합 계                 | 1,244,614,666 |

## 결론

본 분석은 이용 가능한 폐열 발생처를 발굴하고 이를 적용 가능한 수요처에 대해 폐열 활용방안의 제시와 함께 이를 시범사업으로 연계될 수 있도록 하기 위해 열공급을 위한 열공급 기본설계와 경제성 분석을 통한 결과를 제시하였다. 또한 제시된 결과를 가지고 사업 가능성 여부를 분석하였다. 실증분석 결과, 증기 사용 가격추정 투자회수기간은 1.909년으로 나타나 비교적 짧은 것으로 나타났다. 이와 같이 본 연구 대

상지의 폐열발생처는 폐열이용에 있어서 우수한 조건을 갖추고 있는 것으로 평가되고 있으며 사업성에 있어서도 충분한 가치와 함께 수요처의 조건도 매우 양호한 것으로 나타났다.

한편 이러한 폐열 이용을 보다 적극적으로 추진하기 위해서는 우선적으로 폐열 이용의 공급·수요처발굴이 지속적으로 이루어져야 하며 이를 위해 산업단지 및 공업지역에서의 연속적인 모니터링을 실시하여야 할 것이다. ●