

# A시 산업단지 폐수열 활용 집단에너지 공급사업 타당성 검토

A시 산업단지에서 발생하는 폐수열을 히트펌프로 회수하여, 산업 내 다양한 시설을 대상으로 한 집단에너지 사업에 대한 사업 타당성을 검토한 사례를 소개하고자 한다.

## 서론

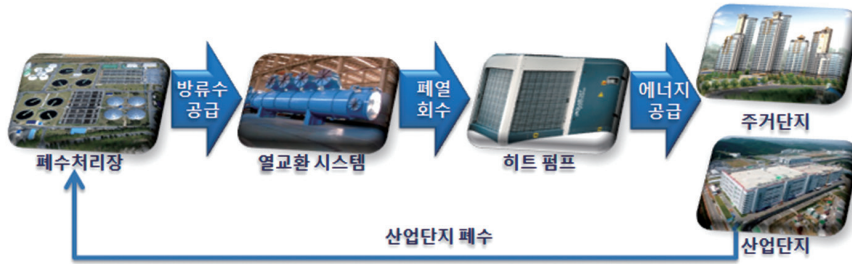
본 사업 타당성 검토에서는 A시 산업단지의 폐수처리장에서 발생하는 방류수의 온도는 연평균 약 27℃로 특히, 겨울철에 높은 온도의 방류수로 인해 A시 주변 지역의 하천을 따라 대량의 안개가 발생하고 있다. 이로 인해 도로 교통안전 문제와 하천 생태환경영향 등의 민원 발생에 대한 대책 마련이 시급한 실정이다. 또한, A시 산업단지 내 업체들의 경우, 에너지 다소비업체들로 난방/냉방 에너지 역시 전력으로 대체하여 사용하고 있기 때문에 에너지 비용 절감에 대한 요구가 증가하고 있는 상황이다.

앞서 언급한 바와 같이 A시 폐수처리장에서 발생하는 온도는 상당히 높은 편에 속하며, 그림 1과 같이 히트펌프를 통해 폐수열을 회수한 열을 수요처(산업단지 내 사무시설 및 기숙사 시설 등)에 공급할 경우, 에너지 공급 및 민원 문제를 동시에 해결할 수 있을 것으로 기대된다. 또한, 회수된 열을 산업 외 인근 에너지 수요처에 공급할 경우 에너지 절감 및 탄소 배출 저감 효과를 동시에 달성할 수 있을 뿐만 아니라, 고유가 시대에 미활용에너지 이용효율을 극대화할 수 있을 것으로 판단된다.

김 용  
GS건설 기술연구소  
선임연구원  
ykim01@gsconst.co.kr

최형진  
GS건설 기술연구소  
전임연구원  
hjchoi@gsconst.co.kr

박시삼  
GS건설 기술연구소  
책임연구원  
parkss7@gsconst.co.kr



[그림 1] 폐수열 활용 집단에너지 공급 사업 개요

### 사업 개요

본 사업은 A시 산업단지 인근에 있는 그림 2와 같은 폐수처리장에서 발생하는 방류수의 폐열을 히트펌프를 통해 회수하여 주변 산업단지에 공급하는 것을 목적으로 한다.

2013년 기준 A시 산업단지 내 입주 업체들의 연간 에너지 사용량은 872,067 TOE로 많은 양의 에너지를 사용하고 있다. 또한, 냉/난방에너지 역시 전력으로 대체하여 사용하고 있는 등, 대량의 열에너지를 전기를 활용하여 소비하고 있어, 에너지 효율화를 통한 에너지 절감 요구가 증대되고 있다. 또한, A시 산업단지 폐수처리장의 높은 방류수 온도로 인한 안개 발생 및 생태 환경 영향 등의 민원 발생 문제 역시 해결이 시급한 상황이다.

현재 A시 폐수처리장은 표 1과 같이 다량의 폐수(설계 방수량 : 23만 ton/d, 현재 처리용량 : 약 18.5만 ton/d)를 처리하고 있으며, 표 2에서 나타낸 바와 같이 높은 방류수온(연평균 약 27℃)을 가

지고 있어 많은 잠재적 열량을 포함하고 있다. 예를 들어 A시 산업단지 폐수처리장의 설계 방수량 23만 ton/d를 모두 활용할 경우, 표 3에서 계산한 결과와 같이 총 회수 가능 열량( $\Delta T = 10^\circ\text{C}$ 로 가정)은 131 Gcal/h 정도로 주변 열수요처에 충분한 열량을 공

<표 1> A시 산업단지 폐수처리장 시설 계획 및 용량

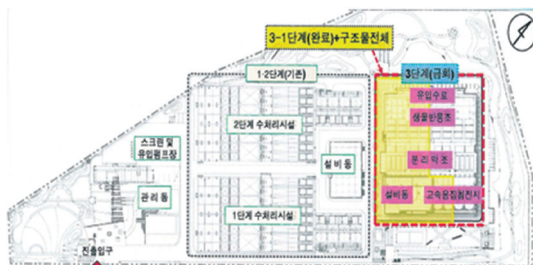
A시 산업단지 폐수처리장 시설 현황			
1단계	70,000 m <sup>3</sup> /일	총 230,000 m <sup>3</sup> /일	
2단계	70,000 m <sup>3</sup> /일		
3단계	90,000 m <sup>3</sup> /일 (3-1단계 : 45,000 m <sup>3</sup> /일, 3-2단계 : 45,000 m <sup>3</sup> /일)		

<표 2> 방류수 연간 평균 유량 및 온도

구 분	2012년		2013년	
	유량(m <sup>3</sup> /일)	온도(℃)	유량(m <sup>3</sup> /일)	온도(℃)
연 평균	130,629	27	128,196	27

<표 3> A시 산업단지 폐수열 활용 집단에너지 사업 가용량 평가

항목	규격	비고
연평균 방류수 온도(A)	27℃	2개년 평균(12~13년)
연평균 방류수 유량(B)	230,000 m <sup>3</sup> /일	설계용량
방류수 설정 온도(C)	17℃	현재 방류수 온도 : 27℃
시간당 방류수 유량(D)	9,583 m <sup>3</sup> /h	B/24
최대 회수 열량(E)	95.8 Gcal/h	(A-C)×D/1,000
히트펌프 효율(COP)	3.66	
회수 가능한 실제 열량	131 Gcal/h	E×1.366 (냉방은 본 사업에서 제외)



[그림 2] A시 산업단지 폐수처리장 시설 배치도

급할 수 있을 것으로 판단된다.

## 시설 계획

앞서 계산한 바와 같이 폐수열을 모두 활용할 경우, 131 Gcal/h 정도의 열량을 수요처에 공급할 수 있으나, 실제 사업에 필요한 집단 에너지 시설을 평가하기 위해서는 주변 열수요처에 대한 실제 수요량을

〈표 4〉 사업 대상지 내 열수요처 열사용량 분석

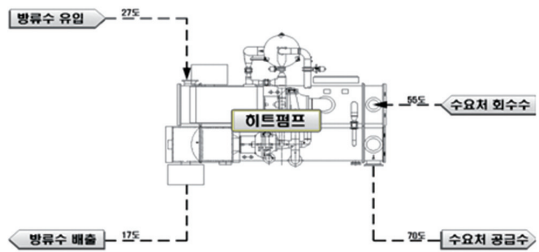
구 분	2013년 기준 월별 시간당 평균 에너지 사용량(Mcal/hr)				합 계
	A社 사무동	A社 기숙사	B社 (5개동)	C社	
1월	6,570	3,983	1,720	374	12,647
2월	5,402	3,640	1,720	349	11,111
3월	4,019	2,946	1,720	322	9,007
4월	3,065	2,621	1,720	240	7,646
5월	1,719	1,051	1,720	250	4,740
6월	1,079	1,559	1,720	231	4,589
7월	999	1,271	1,720	248	4,238
8월	939	1,082	1,720	293	4,034
9월	1,041	1,068	1,720	166	3,995
10월	1,682	1,383	1,720	143	4,928
11월	3,058	2,411	1,720	194	7,383
12월	4,710	3,862	1,720	288	10,580
평균			7,075		

〈표 5〉 히트펌프 주요 제원

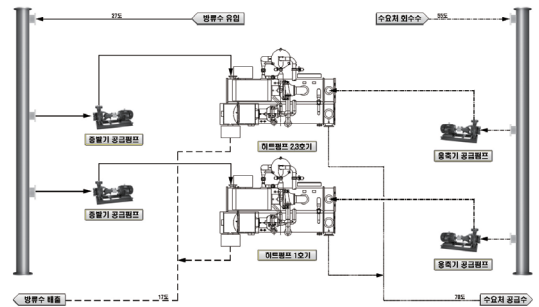
항 목		비 고
냉매 및 용도		R-134a, 난방
증발기	입/출구온도(°C)	27/17
	유량(m³/h)	365
	적용유체	하수방류수
응축기	냉방능력(Gcal/h)	4.99
	입/출구 온도(°C)	55/70
	유량(m³/h)	333
	적용유체	지역 난방수
성능 제원	소비전력(kW) 및 COP	1,589/3.66

정확히 산정하여 설비 용량을 선정할 필요가 있다. 따라서 본 타당성 조사에서는 폐수처리장 주변의 3개 업체에 대해 에너지 사용량 데이터(가스사용량, 전기 사용량, 스팀 사용량)를 분석하였으며, 이중 난방 및 급탕에 필요한 에너지를 따로 산출하여 이를 본 사업을 통해 공급하는 것으로 가정하였다.

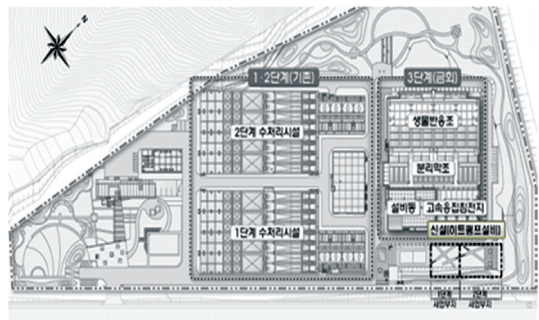
표 4와 같이 2013년 사용량을 업체별로 정리하였으며, 연중 가장 많은 열량을 소비하는 시기는 1월로 12.65 Gcal/h를 사용하며, 가장 적은 열량을



〔그림 3〕 히트펌프 계통도



〔그림 4〕 히트펌프 설비 구성도



〔그림 5〕 히트펌프 설비 배치 계획



[그림 6] 수요처 열 배관망 연결 계획

소비하는 시기는 9월로 4.00 Gcal/h를 사용하며 연평균 소비열량은 7.08 Gcal/h로 나타난다.

표 4를 통해 계산한 월평균 열사용량 및 피크 사용량을 감안하여, 히트펌프 설비용량은 5 Gcal/h × 3대로 총 15 Gcal/h(4,959 RT)로 산정하였다. 실제 히트펌프 운영은 평상시에는 1~2대만 가동하며, 피크 부하 시는 3대 모두 가동하여 수요처의 열에너지 사용에 지장이 없도록 운전한다고 가정하였다. 표 5와 그림 3~그림 6은 히트펌프 설비의 주요 제원, 설비 구성 계통도/배치계획 및 사업 대상지 내 열 배관망(수요처 사용 열량을 기준으로 환경 선정, 총 공급 배관 거리 : 왕복 7.2 km) 연결계획이다.

### 경제성 및 효과 분석

지금까지 검토한 내용을 바탕으로 상기 사업에 대한 사업 타당성 분석을 위해 먼저 사업비를 산출하였다. 공사비 항목은 기계, 전기 및 계측제어, 건축, 토목, 배관공사 등으로 구분하였으며, 이 외에 부대비용을 산출하여 총 사업비를 계산한 결과 표 6과 같이 총 사업비는 약 187억 정도가 소요될 것으로 예상된다.

상기와 같이 산정된 총 사업비를 바탕으로 표 7과 같이 총 운영 기간을 20년으로 가정한 후, 이자율, 물가상승률, 할인율 등을 산정하여 본 사업에 대

〈표 6〉 총 사업비 내역

구 분		금 액 (백만 원)	비 고
순공사비	기계공사	7,064	내부배관포함
	건축공사	750	설비포함
	토목공사	401	관로연결포함
	전기/계측공사	1,655	5,000 kW 수전 (22.9 kV 기준)
	배관공사	4,358	매설구간
	기타 비용(원가)	3,369	원가계산서 적용
	소계(A)	17,597	
부대비용	조사비	150	지질, 측량 및 기타 조사비 등
	설계비	350	기본/실시설계
	부대비	250	감리비 등
	공사보험료	50	보험료
	예비비 및 기타 비용	300	인허가 등
	소계(B)	1,100	
총투자비(A+B)		18,697	

〈표 7〉 기본 가정 내역

구 분	내 역	비 고 (최근 5년 평균 : 2009~2013)
자본 비율	자기자본 : 타인자본 = 40% : 60%	
차입금 이자율	5.48%	시설자금대출 신규취급액 기준
차입금 원금상환	2년 거치 후 10년 분할상환	
물가 상승률	3.90%	생산자 물가상승률 (소비자물가상승률 4.18%)
임금 인상률	4.12%	고용노동부 협약임금상승률
할인율 (WACC)	7.67%	
법인세율	20%	주민세 별도
감가상각	20년 정액법 잔존가치=0	
운영기간	20년	
전력비	산업용(을) 고압A 선택2	
유지 보수비	투자비의 2.4%	한난 타당성분석 기준
설비 보험료	설비 잔존가액의 0.2%	
공급가 (각 단가의 98%)	스팀 : 58,456 Gcal/h LNG : 840.0원/m <sup>3</sup> 지역난방공사 : 46,765원/Gcal	스팀 : A시 소각열 판매단가 LNG : 기숙사 LNG 공급가격 지역난방공사 : 스팀 가격의 80%

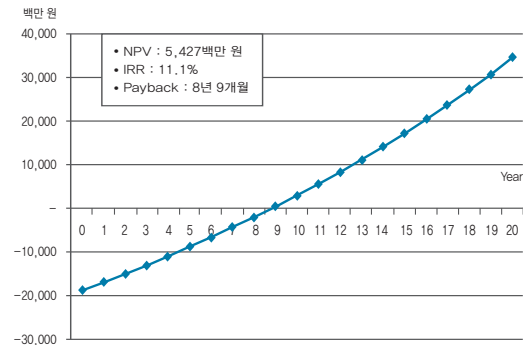
〈표 8〉 A시 폐수열 활용 집단에너지 공급 사업 주요 비용/수익 내역

구 분	내 역	비 고
1. 연평균 판매 수익	7,289.6백만 원	열판매를 통한 판매 수익
2. 연평균 운영비	4,187.8백만 원	에너지/유지보수/노동비용 등
3. 연평균 감가상각액	900.3백만 원	감가상각 비용
4. 연평균 법인세	433.6백만 원	법인세율 20%
5. 연평균 영업이익	1,767.8백만 원	1-2-3-4

한 사업성을 검토하였다. 수요처 열공급단가는 수요처의 기존 에너지 비용의 98%를 적용하여, 수요처에 일부 수혜를 제공함으로써 설비 유치에 긍정적인 반응을 나타내도록 조정하였다.

상기 가정을 적용하여 경제성 분석을 수행한 결과 20년 운영 시 표 8과 같이 연평균 영업이익은 17.7억 원 정도인 것으로 평가되었으며, 그림 7에 나타낸 바와 같이 투자회수기간은 8년 9개월, 내부수익률은 11.1%로 나타났다.

이와 함께 본 사업에 대해 표 9와 같이 투자비, 운영비, 열판매단가 변화에 따른 민감도 분석을 수행한 결과, 전체적으로 판매단가에 가장 민감하게 반응하나, 수요처 조건을 고려하였을 때 판매 단가의 조정은 어려울 것으로 판단된다. 투자비와 운영비는 공사 및 실제 운영 시 전력 요금 변화에 따라 조정이 가능할 것으로 보이며, 이를 통해 사업의



〔그림 7〕 A시 폐수열 활용 집단 에너지 공급 사업 현금 흐름 분석

〈표 9〉 투자비, 운영비, 열판매단가 변화에 따른 사업 민감도 분석 결과

구 분		95%	100%	105%
투자비	NPV(백만 원)	6,393	5,427	4,460
	IRR(%)	11.8	11.1	10.4
	Payback(년)	8년 5개월	8년 9개월	9년 2개월
운영비	NPV(백만 원)	6,538	5,427	4,315
	IRR(%)	11.7	11.1	10.4
	Payback(년)	8년 5개월	8년 9개월	9년 2개월
판매 가격	NPV(백만 원)	3,020	5,427	7,834
	IRR(%)	9.6	11.1	12.4
	Payback(년)	9년 8개월	8년 9개월	8년 1개월

수익률 개선이 가능할 것으로 예상된다.

현재 A시 산업단지에 설치된 폐수처리장의 방류수를 모두 집단 에너지 공급사업의 열원으로 활용할 경우에는 131 Gcal/h 정도의 열자원을 확보할 수 있으나, 본 사업에서 고려한 설비 용량인 15 Gcal/h는 가용 열량의 일부만을 활용한다는 것을 의미한다. 즉, 이는 본 사업을 고려하게 된 이유 중의 하나인 겨울철 안개 발생 문제에 있어, 방류수 온도가 많이 떨어지지 않는다는 것(방류수 입출구  $\Delta T = \text{약 } 1^\circ\text{C}$ )을 의미한다. 따라서 방류수 온도를 낮춰 안개 발생 문제를 해결하기 위해서는 신규 열수요처를 추가로 확보할 필요가 있을 것으로 판단된다.

## 결론

본 사업 타당성 분석에서는 A시 산업단지의 폐수처리장에서 발생하는 방류수 폐열을 활용하여 주변 산업단지의 사무시설 및 기숙사 시설 등을 대상으로 난방 및 급탕 열원을 공급하여 에너지 비용 절감 및 주변 지역 안개 발생으로 인한 민원 발생 문제 해결을 목적으로 하는 사업에 대해 사업 타당성을 검토하였다.

이를 위해 먼저 산업단지 내 대체 가능한 열원 설비 및 실제 열사용량에 대한 분석을 통하여 히트

펌프 설치 가능 용량( $15 \text{ Gcal/h} = 5 \text{ Gcal} \times 3\text{기}$ ) 산정 및 운영계획을 수립하였다. 이와 함께 폐수처리장 내 설치 가능 부지 검토 및 산단 내 열수요처의 열 사용량 분석을 통해 히트펌프 배치 및 배관망 설계를 진행하였다.

이를 바탕으로 본 사업에 대한 타당성 검토를 위해 사업비 산출 및 다양한 가정들을 적용하여 경제성을 분석하였다. 그 결과 20년 운영 시 연평균 영업이익은 17.7억 원 정도로 예상되며, 투자회수 기간은 8년 9개월, 내부수익률은 11.1%로 나타났다. 이와 함께 민감도 분석 수행 결과 사업성은 판

매단가에 가장 민감하게 반응하나, 실제 사업 여건 상 투자비와 운영비 항목의 조정을 통해 사업성 개선이 가능할 것으로 판단된다.

또한, 본 사업의 주요 목적 중 하나인 방류수 온도를 낮춰 겨울철 안개 발생을 해결하는 것은 산업단지만을 열수요처로 고려하여 사업을 진행할 경우 효과가 나타나지 않을 것으로 보인다. 따라서 주변 지역의 열수요처를 추가로 발굴하여 회수열량을 늘리는 것이 중요하며, 이 경우 겨울철 안개 발생 문제 해결과 함께 사업성 개선에도 도움이 될 수 있을 것으로 예상된다. 