

# 하수이용 냉난방시스템 적용사례

김시현 | (주)휴다임 에너지환경사업본부, alex@hucdigm.com

온도차에너지원인 하수를 이용, 하수관에 열교환기를 설치하고, 히트펌프를 이용하여 급탕 및 냉난방 시스템을 설치한 업무용 건물의 사례를 소개하고자 한다.

후쿠시마 원전 사고의 영향으로 국가 정책 및 기업의 전략도 수정되고 있다. 원전 사고로 인한 원전 안전에 대한 불안감이 증폭되면서 원전 확대를 골자로 한 에너지 정책이 재검토되고 있으며, 신재생에너지의 공급이 더욱 확대되고 있고, 이에 따라 신재생에너지를 보다 효율적으로 사용하기 위한 에너지 저장장치, 고압 송배전 및 스마트 그리드 등 에너지 관련 기술에 대한 연구가 늘어나고 있다.

하수열을 이용한 냉난방시스템의 핵심 기술은 열교환기를 이용한 열교환 기술과 이를 응용한 히트펌프를 설계하고 운용하는 기술이다. 열교환기 기술을 스위스 랩섬(Rabtherm)사에서 기술을 이전 받아 국산화 시켜, 기계연구원의 성능 인증을 획득하였다. 히트펌프는 유럽에서 기술력과 경쟁력을 인정받은 이탈리아 클리마베네타사(Climabeneta)와 에이전트 계약을 통하여 기술력을 확보하였다. 강동구의 공공시설인 강동어린이회관에, 한국에서는 최초로 하수관로에 열교환기를 설치, 하수를 이용한 국내산 히트펌프를 적용, 급탕과 난방을 공급하고 있다. 지상 18층, 지하 6층의 상업 및 업무 시설인 휴다임타워 전면 도로 하수관로에 열교환기를 설치하고, 끌리마베네타의 히트펌프로 냉난방 시스템을 시공, 생하수를 이용한 국내 최초의 냉난방시스템을 적용하여 가동하고

있다.

하수열에너지 기술은 히트펌프를 이용하여 업무 및 주거 시설의 냉난방 열원으로 활용하고, 더 나아가 건물의 중수도나 우수 집수시설의 중수와 우수를 이용할 수 있는 고효율의 열교환기와 시스템 개발이 필요하다. 이 기술을 응용하여 막대한 양의 온도차에너지인 하천수, 해수의 이용을 확대하여야 한다. 이미 이용되고 있는 산업시설에 공정 폐수이용 범위를 확대하고, 발전소의 온배수 배열을 이용하여 집단에너지와 연계한 지역 냉난방 기술이 개발되고 있어 이에 따른 온도차에너지 시장 규모는 급속히 늘어날 전망이다.

## 서론

### 후쿠시마 원전사고

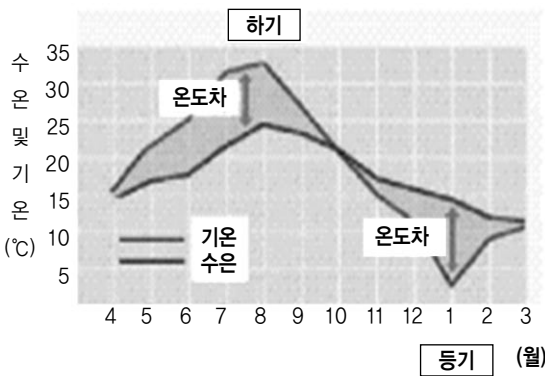
후쿠시마 원전 사고는 원자력에너지에 대한 인식과 정부 에너지 정책의 방향을 크게 변화시키는 중요한 계기로 작용하고 있다. 기존 발전소 가동 중지나 원자력 발전소 건설이 어려워지면 현행 화석에너지로 생산하는 전기 단가도 높아진다. 태양광, 풍력과 같은 신재생에너지에 대한 관심이 고조되고 있으며, 유럽의 여러 국가들은 빠른 행보를 보이고 있다. 아울러 에너지 저장장치, 고압 송배전 및 스마트 그리드 등 에너지 관련 기술 개발에 대한 요구도 증가할 것이다.

유럽을 비롯한 많은 기업들도 이러한 변화에 발맞추어 새로운 변화를 계획하고, 특히 신재생에너지를 보다 안정적으로 사용하기 위한 기술적 대안

들을 급속도로 산업화 해나가는 중이다. 안전하고 저렴한 에너지원의 안정적 확보와 미래 신성장동력의 확보는 어느 나라 못지않게 우리나라에도 절실하게 다가오고 있다. 이에 온도차에너지와 같이 기술적인 완성도가 높고 환경친화적이며, 경제성이 확보된 신재생에너지원에 대한 발굴과 보급 지원이 절실하다.

### 온도차에너지

온도차에너지는 물과 관련된 지하수, 하수, 하수처리수, 하천수, 해수, 공정 폐수 등의 온도차를 히트펌프로 변환시키는 에너지를 말한다.<sup>1)</sup> 이것은 지역 열공급 열원, 공장·사업장 등의 열원, 단위건물 냉난방·급탕용 열원, 도로 제설용 열원 또는 집단에너지 기술로 진화하고 있다. 에너지의 97% 이상을 해외에 의존하고 있는 우리나라에 있어서 국내 에너지원 발굴을 통하여 에너지 공급구조의 다양화를 구축하며, 또한 지속 가능한 에너지원이 필요한 이 시기에 기술적인 완성도가 높고 환경친화적이며 경제성이 가장 확보될 수 있는 에너지원의 발굴은 환경문제와 인류의 행복을 위해 필요하며 삶의 질이 높아짐에 수요가 증대하고 있다. 따라서 본고에서는 온도차에너지원인 하수를 이용, 하수관에 열교환기를 설치하고, 히트펌프를 이용하여 급탕 및 냉난방 시스템을 설치한 업무용 건물의 사례를 소개하고자 한다(그림 1 참조).



[그림 1] 하수(처리수) 온도차

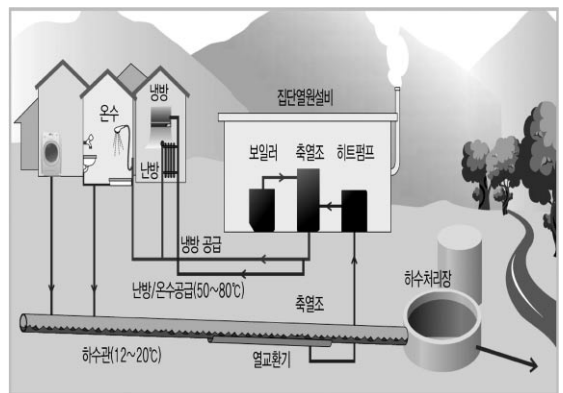
### 하수이용 냉난방시스템

#### 하수이용 냉난방시스템

하수관의 하수 수온은 상업 지구, 업무지구, 주거지구, 하수처리장 등 열원수 주변 지역의 구성에 따라 겨울철의 최저온도와 여름철의 최고온도는 약간의 차이가 있으나 미미한 수준이다. 2009년 1월부터 2010년 2월까지, 수동 및 자동 온도측정기를 이용하여, 강동어린이회관, 서울시청, 동대문 디자인파크&플라자, 휴대임타워 주변과 탄천 물재생센터를 조사한 결과, 대부분 하수관로의 하절기의 하수 온도는 15 ~ 25°C로, 이때의 외기온도보다 5 ~ 10°C 정도 낮고, 동절기의 하수 온도는 10 ~ 20°C로 외기온도보다 10 ~ 20°C정도 높게 나타난다.

하수열은 도심지역에서 하천수, 해수, 지열, 지하수, 대기열, 태양열 등과 같이 자연으로부터 취할 수 있다. 도시 환경에서 하수와 관련된 에너지는 에너지 생산에 따른 2차적인 오염이 배제된 친환경 에너지이며, 가장 경제성이 확보된 고효율의 에너지라고 할 수 있다. 그리고 안정적인 에너지 공급을 위하여 하수가 가장 적은 시기인 야간 갈수기에도 하수열원을 확보할 수 있는 지속적인 기술개발과 고효율의 히트펌프 제품 도입으로 시스템 설계의 신뢰성이 확보되어야 한다.

하수열은 해수, 하천수, 지하수, 지열, 공기열 등



[그림 2] 하수이용 냉난방시스템



과 같이 저온의 배열이므로 히트펌프를 통해 냉·난방열로 공급된다. 히트펌프는 저온 측에서 냉매를 증발시켜 주위로부터 열을 빼앗고 고온 측에서 냉매를 응축시켜 주위로 열을 방출하는 조작을 반복하는 순환 사이클로 되어 있으며 냉매의 순환 방향을 조절하여 냉난방이 가능하다(그림 2 참조).

히트펌프 시스템은 냉매를 순환시키기 위한 동력의 입력으로 냉매의 증발열과 응축열을 활용하여 수배의 열량을 제공하는 고효율 시스템이지만 히트펌프의 효율을 높이기 위해서는 공급되는 열의 특성이 매우 중요하다.<sup>(2)</sup>

하수이용 냉난방시스템은 생활하수에 의해 발생된 하수열을 열원으로 하면 위에서 기술한 많은 문제점을 해결할 수 있으며, 에너지의 공급처와 수요처가 인구 밀집지역에 함께 존재하므로 도심에서는 가장 유용한 에너지원이다. 하수열을 이용하는 기술과 관련 보유하고 있는 지적재산권은 하수관 및 이에 사용되는 열교환 장치(공개특허 10-2010-0098912), 유수의 열추출 장치(공개특허 10-2010-0084603), 열교환기 부착 하수관(디자인등록 30-2009-0017543) 등 3건을 출원하고 등록하였다.

**적용 사례**

강동어린이회관은 서울시 강동구 강동구청 앞에 위치한 국내최초의 2 ~ 7세 이하, 취학 전 영유

아전용기관으로 영유아의 다양한 놀이체험과 가정의 육아, 보육에 대한 지원, 보육프로그램 및 지방자치단체 보육정책을 연구, 개발하는 영유아 전용 교육시설이다. 연면적 1,987 m<sup>2</sup>의 지상 3층, 지하 1층의 시설로, 영유아 연인원 20여만 명과 부모들이 공휴일과 일요일을 제외하고 이용하고 있어 온수 사용량이 타 시설에 비해 많이 요구된다.

휴다임타워는 에너지 및 친환경 건축설계엔지니어링 전문회사인 (주)휴다임의 사옥으로 냉·난방을 자체보유기술인 하수열에너지시스템을 적용, 에너지 전문기업으로서의 이미지 제고와 에너지 절감 및 온실가스 감축에 기여하고자 하는 목표로 설치되었다. 강동구의 랜드마크인 상업 및 업무시설로서 길동사거리에 위치하고 있으며 지상 18층, 지하 6층, 연면적 26,598 m<sup>2</sup>로 2010년 8월에 완공되었다.

강동어린이회관은 GHP(Gas-engine Heat Pump)로 2 ~ 4층의 공조 냉난방과 LNG 보일러로 1층의 바닥 난방이 이루어지고 있으나, 난방과 급탕이 부족한 상태라 부족한 부분을 하수열에너지로 공급하는 시설이다. 강동 구청 앞 도로에는 3.0 m × 2.5 m의 Box관 2개가 T형으로 매설되어, 강동어린이회관 방향으로 3.0 m × 2.5 m Box관이 나란히 매설되어 있다. 강동구청 정문 앞 도로는 하수량이 풍부한 지역으로 시간당



[그림 3] 강동 어린이회관

<표 1> 건축물 개요

구 분	강동어린이회관	휴다임 타워
주 소	서울 강동구 성내동 56-1	서울 강동구 길동 459-3
준공 시기	2007. 05	2010. 08
건축 규모	지하1층, 지상 3층	지하 6층, 지상 18층
부지 면적	787m <sup>2</sup>	2,172m <sup>2</sup>
건축 면적	전체	1,987m <sup>2</sup>
	지상	1,350m <sup>2</sup>
	지하	637m <sup>2</sup>
관리 기관	강동구	휴다임



[그림 4] 휴다임 타워

1,346톤의 하수가 유입되고, 이 하수로부터 얻을 수 있는 에너지는 2,184,102 kcal/h로, 업무 시설 18,200 m<sup>2</sup>(5,515평)의 냉난방이 가능하다.

휴다임타워 주변의 환경을 살펴보면 상업 및 주거시설이 밀집되어 있고, 길동 사거리 인근의 대

형 Box관이 남북 및 동서 간 도로를 따라 있고, 휴다임타워 동쪽도로의 하수관로는 약 2.0 m × 2.0 m의 Box관 2개가 평행하게 매설되어 있다. 휴다임타워의 하수이용 냉난방시스템 도입을 위해 연간 강우량과 동쪽 도로의 Box관의 주간갈수기 및 야간갈수기를 고려 하수량을 조사하였다(그림 5 참조). 설계에 반영한 Data를 살펴보면, Box관의 폭은 1,980 mm, 높이는 2,040 mm, 하수의 깊이는 110 mm 하수의 연중 온도는 9.9 ~ 27℃로 측정되었으며, 하수의 평균 유량은 47.12 l/s 하수의 평균 유속은 0.21 m/s, 적용 가능 관로 길이는 224.3m로 조사되었다.<sup>(3)</sup>

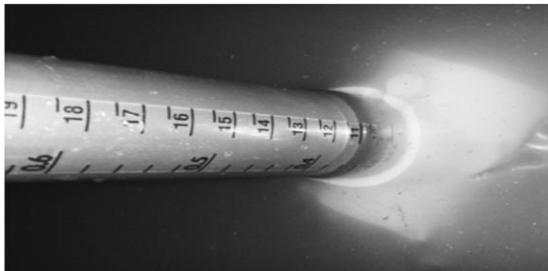
강동어린이회관 하수열에너지 적용 개요를 그림 6에서 살펴보면 강동어린이회관 전면 도로 하부에 2개의 3.0 m×2.5 m Box관 중, 1개의 Box관 부에 2개의 3.0 m×2.5 m Box관 중, 1개의 Box관 바닥 일부에, 크기 1.1 m×3.0 m 평판형 (Plate Type) 열교환기 4장, 총 12 m 설치하여,



하수관로 폭



하수관로 높이

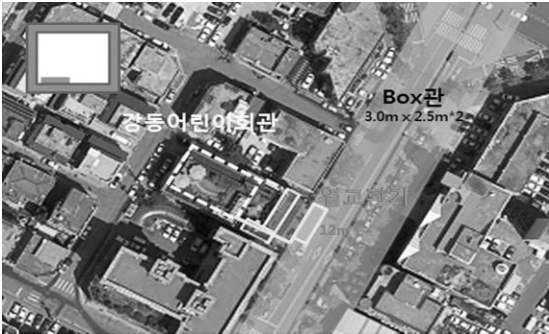


하수 깊이



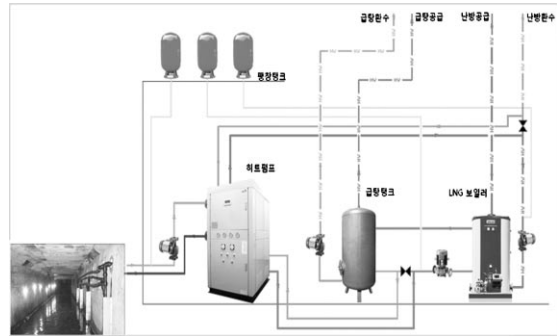
하수 속도

[그림 5] 휴다임 타워 하수관로 조사



[그림 6] 강동 어린이회관 적용 개요

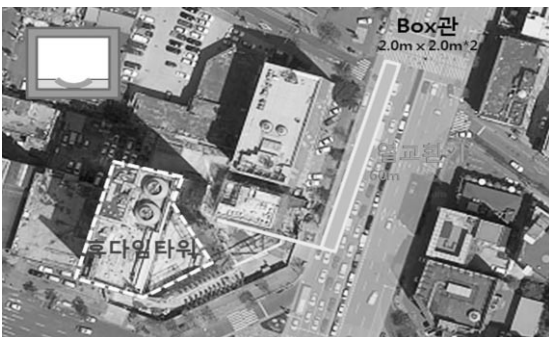
전열면적 13.2 m<sup>2</sup>에서 하수열 43.3 kW를 취득하도록 하였다. 이렇게 취득한 에너지는 58 kW의 국내산 히트펌프를 이용 LNG 보일러의 보조 열원으로, 보조 난방과 온수를 공급하도록 설치되었다. 이것은 연간 4만 8천 kW의 에너지를 절약, 연간 화석에너지 절감량 6.5TOE, 연간 이산화탄소 배출을 14.2 tCO<sub>2</sub>, 감축을 목표로 설계되었고, 기존에 설치된 난방기기인 LNG보일러의 LNG가스 비용 2008년 기준 3,804,010원 중 2,049,726원을 줄여 54%의 비용 절감을 목표로 하였다. 그림 7에서와 같이 하수열에너지를 히트펌프로 생산된 온수를 기존보일러와 병렬로 연결하여, 난방 부하는 1층 바닥 난방 2개소와 화장실 라디에이터 6개소에서 사용하며, 급탕 부하는 각 층에 있는 세면대와 요리나라에 온수를 공급한다. 이 시설은 휴다임이 기술을 이전 받은 열교환기를



[그림 7] 강동 어린이회관 계통도

활용하여 하수관로의 생하수를 이용한 국내 최초의 시설로서의 상징성이 있고 하수처리장에 판형 열교환기를 설치한 하수열 시설과 확실한 차별화를 이루었으며, 지속적인 운영을 통해 기술을 축적하고 있다.

휴다임타워는 그림 8, 표 2와 같이 휴다임타워 전면 남북 간 도로 하부에 2개의 2.0 m × 2.0 m Box관 중, 1개의 Box관 바닥에, 크기 0.95m × 3.0 m 라운드형(Round Type) 열교환기 25장, 전체 62.5 m 설치하여, 전열면적이 59.4 m<sup>2</sup>이다. 열교환기 설계 목표는 난방 회수열량 258.6 kW, 냉방 방열량은 287.8 kW, 난방 시 입구 수온 7℃, 출구 수온 12℃, 냉방 시 입구 수온 32℃, 출구 수온 27℃로 설계되었다. 히트펌프 제작사는 이탈리아 드롱기(DeLonghi) 그룹의 자회사인 클리마베네타(CLIMABENETA)사이며, 난방 능



[그림 8] 휴다임 타워 적용 개요

<표 2> 적용 개요

구분	강동어린이회관	휴다임 타워
기존 장비	Gas Boiler	Gas Heat Pump
기능	난방 및 급탕	냉난방
열교환기 길이	12 m	62.5 m
열교환기 면적	13.2 m <sup>2</sup>	59.4 m <sup>2</sup>
하수 취득 열량	43.3 kW	256.8 kW
히트펌프 용량	58 kW	Heating : 268 kW Cooling : 239 kW

<표 3> 휴다임 타워 히트펌프 사양

모 델 명		
COOLING ONLY		
Cooling capacity(1)		228
Total power input(1)	kW	51.6
Condenser heating capacity(1)	kW	276
EER		4.42
ESEER		5.80
HEATING ONLY		
Heating capacity(2)		263
Total power input(2)	kW	64.1
COP		4.10
COMPRESSORS		
No. Compressors/No. Circuits	N.	4 / 2
NOISE LEVELS		
Sound Power(3)	dB	88
SIZE	mm	887×2227×1780
Operating weight(5)	kg	1,245

력 263 kW, 냉방 능력 228 kW이다. 난방 운전 조건에서의 에너지성능계수(COP : Coefficient Of Performance)는 4.10이고, 냉방 시 4.42로 에너지 효율비(EER: Energy Efficiency Ratio)를 설계한 제품이다. 연간 화석에너지 절감량

29.2 TOE, 연간 이산화탄소 배출을 54.4 tCO<sub>2</sub>, 감축을 목표로 하고 있다.

에너지 비용 절감은 연간 2,000시간을 운전하는 것으로 가정하고, 대체장비인 흡수식냉온수기(난방 253,000 kcal/h, 냉방 100RT)의 연간 LNG 사용 비용 33,953,819원으로 추정하고 하수열에너지시스템(난방 226,180 kcal/h, 냉방 65 RT)의 연간 에너지 이용비용을 14,441,232원으로 산출하여, 연간 19,512,587원을 절약하여 57.47% 절감을 목표로 하였다.<sup>(4)</sup>

시공 과정을 그림 9에서 살펴보면, 먼저 남북 간 도로상에 있는 정사각형 3 m×3 m 맨홀 뚜껑을 들어내고, Box관 2개 중 1개관의 하수를 나머지 1개의 Box관으로 흘러갈 수 있도록 물막이를 설치하고, 열교환기 설치할 Box관로에 쌓여있는 슬러지 및 쓰레기를 준설, 내부 바닥의 찌꺼기를 제거하였다. Box관 바닥을 건조시킨 후 치핑 작업 후 열교환기가 고정될 프레임을 설치하고, 그 위에 열교환기를 장착한 후 배관을 연결한 후, 열교환기 면과 수평으로 몰탈로 마감하였다.<sup>(5)</sup>

강동어린이회관을 2009년 10월 준공한 후, 시험 운전을 거쳐 2009년 11월부터 2010년 2월까지 동절기 4개월을 운전한 결과가 표 4에 나타나



맨홀 뚜껑 제거

물막이

슬러지 청소

바닥 건조

프레임 설치

열교환기 설치

몰탈 시공

기계실 히트펌프

[그림 9] H타워 공사 현황



<표 4> 운영 효과

기간	운전 비용(원)			기대 효과			
	가스 보일러	히트 펌프	절감액	절감율 (%)	절감량 (TOE)	CO <sub>2</sub> 감축량 (tCO <sub>2</sub> )	성능 계수
2009년 11월	1,190,636	338,981	851,655	71.5	0.9182	1.9729	4.46
2009년 12월	759,897	307,095	452,802	59.6	0.4257	0.9270	3.28
2010년 1월	488,953	242,979	245,974	50.3	0.2597	0.5668	3.16
2010년 2월	791,559	332,526	459,033	50.3	0.2597	0.5668	3.16
합계 평균	3,231,045	1,221,581	2,009,464	62.9	1.9924	4.3198	3.43

있다.

하수열시스템 설치 전인 2008년의 연간 LNG 가스사용 비용 3,840,000원 중 2,050,000원을 절감하는 것을 목표로 설계하였는데, 2010년 2월 까지 이미 2,009,464원을 절감 목표를 달성하였으며, 2010년 3월부터 10월까지 운전실적을 분석하면 당초목표를 초과 달성하였다. 4개월간 총 2,009,464원의 에너지 비용을 절감하여 에너지 비용 절감율을 62.9% 달성하였으며, 절감 효과는 1.9924 TOE, 이산화탄소를 4.3198 tCO<sub>2</sub>을 감축하여 4개월간 평균 COP 3.43을 유지하였다.

국내에서 처음으로 열교환기 기술을 이전 받아 처음 국산화시킨 라운드형(Round Type) 열교환

기와, 기계연구원의 열교환기 성능시험 인증, 열교환기 제작, 배관파이프, 히트펌프 설계 및 선정, 기존 시스템과의 연결, 공공 관로를 이용한데에 따른 공사 인허가 등 겪은 여러 가지 공정상의 여러 가지 문제는 앞으로의 공사 시 많은 참고가 될 것이다.

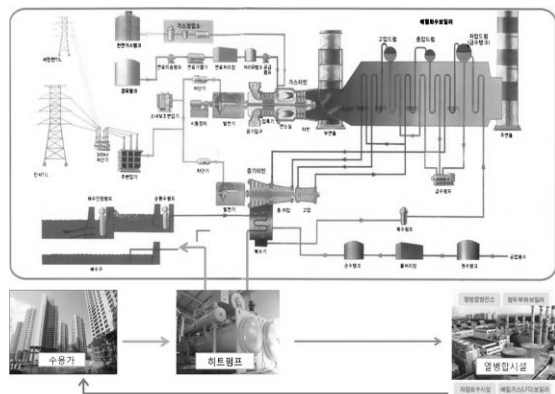
### 결론

#### 하수처리장과 집단에너지

하수열 이용은 우수, 중수 하천수, 하수처리장을 이용한 집단에너지 사업자의 집단에너지 기술에 근간이 될 것이다. 서울시는 방류수 및 열 생산시



[그림 10] 서울시 집단에너지



[그림 11] 발전소와 집단에너지

설 설치 부지를 제공, 사업추진에 필요한 인허가 등 행정절차를 지원하고, 민간사업자는 계획, 설계시공 및 운영관리 등 사업전반에 대한 사업비를 전액 투자, 첨단 기술인 저열원 히트펌프 노하우를 활용하며, 사업완료 후 열 판매를 담당한다. 한편 한국지역난방공사 등 집단사업자는 고가의 LNG를 사용하여 공급하던 지역난방을 저가의 하수열로 공급, 난방 공급단가를 낮춰 새로운 열 수요에 대처, 예비열원을 확보 한다(그림 10 참조).<sup>6)</sup>

### 산업체 및 발전소 온도차에너지 이용

정부는 에너지 저소비형 사회의 기반을 조성하기 위해 에너지 절약을 적극 추진하고 있다. 산업체 및 발전소의 에너지 절약은 온도차에너지를 이용 폐열을 회수하여 에너지화 할 수 있다. 일반적으로 폐열은 각종 요로나 보일러같이 연료 사용 설비류에서 연소 배가스로 배출되고, 가열, 냉각, 증류, 증발, 정제, 분리 등의 공정에서 많은 에너지가 냉각, 응축 등의 냉각수로 버려지고 있다. 산업체 및 발전소 등에서 버려지는 에너지를 이용 공정상의 온수나 지역 냉난방에 적극적으로 활용되면, 가장 경제적인 온도차에너지를 되찾는 기술의 발전으로 온도차에너지 시장 규모가 급속히 늘어

날 전망이다(그림 11 참조).

### 참고문헌

1. Jun-Taek Park, April 2010, Technology unused temperature energy use and major cases(1), Eco & Future, pp. 72-77.
2. Hyun-joon Shin, December 2006, Advanced District Heating and Cooling System using the Sewage Source Heat Pump for Urban Renewal, Housing and Urban No. 91, pp. 132-142.
3. Young-gyun Park, October 2009, Research of Hudigm tower sewage box, Energy Business Div., Hudigm, pp. 2-3.
4. Young-gyun Park, March 2010, Economic analysis of Hudigm tower, Energy Business Div., Hudigm, pp. 1-4.
5. Young-gyun Park, July 2010, Daily labor report of Hudigm tower, Energy Business Div., Hudigm, pp. 6-28.
6. Young-soo Kim, May 2011, Release copy, Seoul Metropolitan Government, pp. 1-5. 