

광역에너지이용 네트워크 구축 기술개발

김래현[†] · 장원석 · 홍재준

서울산업대학교

(2008년 11월 28일 접수, 2008년 11월 30일 수정, 2008년 12월 5일 채택)

Development of Technology for Network Construction using Wide Area Energy

Lae-Hyun Kim[†], Won-Seok Chang, Jae-Jun Hong

Seoul National University of Technology

(Received 28 November 2008, Revised 30 November 2008, Accepted 5 December 2008)

요 약

에너지원의 다양화와 효율적인 이용을 위하여 광역지역의 통합에너지관리 시스템 구축이 요구되고 있다. 본 논문에서는 이러한 필요성에 부응하여 광역에너지 네트워크 구축에 필요한 핵심기술을 발굴하여 이를 종합적으로 현장에 적용하는 기술개발을 수행하고 있다. 이를 위해 IT기술과 접목한 광역 네트워크 열공급 최적화 통합시스템 구축 기술, 발생하는 배열을 이용한 열펌프와 같은 미활용에너지 이용기술, 다양한 열원을 이용한 열수송 및 축열 기술 등 새로운 시스템을 개발하고 이를 현장적용을 통해 경제성을 평가하여 최종적으로 실용화할 수 있는 사업화 모델에 대하여 기술하였다.

주요어 : 광역에너지, 네트워크 구축, 최적화 통합관리시스템, 고온 열펌프 이용 기술, 열수송 및 축열 기술

Abstract — In order to diversify energy source and to utilize it effectively, it requires to construct an integrated energy management system in a wide area. This research paper explores the core technology of network construction using wide area energy and applies the technology to the field. In specific, it examines the business model by developing 1) construction technology of optimum integrated system for thermal supply on wide area network related IT technology, 2) technology of unutilized energy as heat pump using exhaust gas latent heat, and 3) thermal transportation and storage technology using various sources, and by evaluating the applicability and marketability of the model in the field.

Key words : Wide area energy, Network construction, Optimum integrated management system, High temperature heat pump Technology, Thermal transportation and storage technology

1. 서 론

2007년도 정부의 에너지 분야 경제적 총지출은 지난해 보다 증가한 3조 8천억원 정도로 집계되었으며, 에너지 절약사업 지원을 대폭 확대하여 신재생에너지 보급과

에너지시스템 분야에 많은 예산이 책정되어 공공기관, 산업체 및 일반가정 등 사회 전 분야에서 에너지의 효율적 사용을 유도하고 있다. 또한 정부는 지난 4월 20일 대구, 울산, 광주·전남, 원주, 김천, 진천·음성, 진주, 전주·완주 등 8개 혁신도시에 대해 집단에너지 공급대상지역으로 지정하였는데 이들은 해당 지역별 새로운 성장거점으로 개발되는 혁신도시들로 사업규모는 총 1500만평으로 향후 막대한 양의 에너지가 소요될 전망이다.

우리나라는 온실가스 배출량 세계 9위 국가(총배출량 4억 5천만 ton, 1인당 9.48 ton)로 Non-Annex I 대싱국

[†]To whom correspondence should be addressed
Seoul National University of Technology, 172,
Gongneung 2 Dong, Nowon-Gu, Seoul, 139-743, Korea
Tel : 02-970-6620
E-mail : lhkim@snut.ac.kr

이지만 교토의정서 제2차 공약기간(2013~2017) 의무협상에 대한 대비가 절실히 요구되므로 도시 재개발, 뉴타운, 복합/혁신도시 건설에 따른 화석연료, 전기, 냉매 사용량 증가를 억제하는 친환경, 에너지 절약형 신도시 건설의 필요성 제기되고 있다.

그래서 지식경제부에서는 집단에너지공급 기본계획을 수립하고 지역난방 및 구역형(CES: Community Energy Supply)에너지 공급에 대한 보급확대 지원하는 정책을 펴고 있다.

에너지기술개발에 대한 재정적 지원도 크게 확대되어 올해는 2007년도에 비해 50%이상 증가하여 중점 지원할 것으로 발표되었으며, 정부차원에서 향후 5년간 집단에너지 공급분야에만 약 1.5조원 이상이 투자될 것이며, 기술개발분야에도 총 5000억원 이상이 투자될 것으로 예상된다. 한편, 민간차원의 국내 연구개발투자도 에너지수송/관리분야에 많은 투자가 이루어질 전망이다.

그러므로 국가적인 에너지 절약을 위해서는 집단에너지 사업과 같은 광역 에너지이용 최적화를 통해 생산된 에너지를 낭비 없이 합리적으로 사용하는 “광역에너지 이용 네트워크 구축 기술”개발이 절실히 필요하다.

이를 위해 IT기술과 접목한 광역 네트워크 열공급 최적화 통합시스템 구축 기술, 발생하는 배열을 이용한 미활용에너지 이용기술, 다양한 열원을 이용한 열수송 및 축열 기술 등 새로운 시스템을 개발하고 이를 현장 적용을 통해 경제성을 평가하여 최종적으로 실용화할 수 있는 사업화 모델이 필요한 것이다.

하지만 지금까지는 이러한 개발요소기술들이 “연구를 위한 연구기술” 즉 연구 수준의 순수 개발 기술에 그치는 경우가 많았으며, 기개발된 기술들은 실용화 되지 못하고 사장되는 경향이 많았다. 그러므로 이를 극복하기 위해서는 실제로 현장에서 실용화하고 상용화할 수 있는 증명된 융복합 핵심기술을 개발해야만 한다.

2. 기술개발의 개요 및 필요성

광역에너지 이용 네트워크 구축사업의 가장 핵심적인 기술개발 내용은 그림 1과 같다. 현재 집단에너지사업의 구성이 열원기기, 공급망 설계 및 제어, 수요처 열교환 설비로 나눌 수 있으며, 국내 기술개발의 거의 대부분이 열원기기 및 열교환 설비에 집중되어있고 미활용에너지를 활용한 통합적인 에너지 네트워크 제어기술 및 관리기술 개발은 등한시되어 있는 상태이므로 이들의 사용을 극대화 하는 것이 실용화를 위한 사업화모델의 핵심이다.

본 사업에서는 실용화를 위한 최종 비즈니스 모델을 시범사업으로 선정하여 파일럿 플랜트설계 및 제작한 후 이에 필요한 핵심기술들을 융복합기술로 조합하여 개발 하는데 각각의 중점과제를 효과적으로 조합하고 효율적인 연구개발이 되도록 관리하는 것이 가장 중요하다고 판단된다.

이들 광역에너지 분야 핵심기술들은 세부과제들로 선정하여 요소기술로 개발하고 실용화하고자 하는데 이들 중 첫째, 광역에너지 통합관리 최적화 및 기술평가 시스템

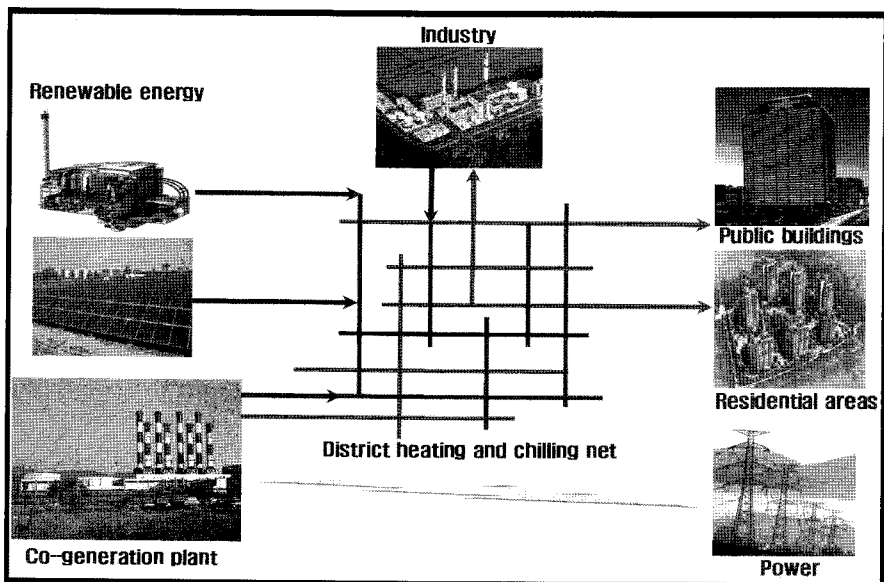


그림 1. 광역에너지 네트워크 구축 핵심 개념도

사업단 과제명	분야별 세부과제	1단계 ('07 ~ '10)		2단계 ('10 ~ '12)		
		광역에너지이용 네트워크 구축 <총괄과제> 서울산업대 사업단 운영 및 관리	<세부(1): 서울산업대> 광역에너지 통합관리 최적화 및 기술평가 시스템기술	<통합관리 최적화 시스템 개발> ✓ 단위 Unit 설비 모델, 열-유체 네트워크 모델 ✓ OPC / SCADA 인터페이스 기반 시스템 개발 <통합 관리 및 기술평가 시스템 개발> ✓ 에너지 수요 예측 시스템, 열 전달 시스템 ✓ 기초조사 및 기술 모니터링 시스템	<광역에너지 통합관리 시스템 구축>	<최적성 평가 및 보급확성화 방안>
<세부(2): LS전선> 하수 열원을 이용한 2000RT급 터보열펌프 개발	<2000RT급 열펌프 시스템 개발 및 상용화> ✓ 열역학, 열교환기 설계/제작/성능시험 ✓ 열펌프 설계/제작/성능 시험 및 신뢰성 시험 ✓ 국내최초 대형/고효율 열펌프 실용화 기술 ✓ 난방기온 COP 3.0이상, 냉방기온 COP 5.5이상		<2000RT급 열펌프 실용화 기술>	<실증플랜트 운전 및 성능평가>		
<세부(3): 지역난방공사> 광역에너지 이용 장거리 열수송 및 저장 최적화 기술	<고효율 열 저장 최적화 기술> ✓ 고효율 열저장 용량조 설계기술 개발 ✓ 열저장 유닛의 장기인 성능평가 및 최적기술개발 <가능성 평가를 활용한 장거리 열 수송 기술> ✓ 입지 분석기술 확립 및 열 전달 성능 향상 ✓ 장거리 열수송 성능평가 및 최적화 기술 확립		<광역에너지 이용 장거리 열수송 기술>	<신뢰성 개선 분석기술 성능 향상>		
최종 비즈니스 모델 (Product)		탄전지역 Pilot Plant 시범사업(2000평) ▶ 난방: 106Gcal/hr ▶ 냉방: 68Gcal/hr 1) 탄전 열재생센터 실증플랜트 시범사업 2) 문정지구 비즈니스 파크 지역 시범사업		보급 활성화 1) 도시주거형 사업화 모델 2) 산업단지형 사업화 모델		

그림 2. 과제별 세부개발 추진내용

템 기술의 경우 기존 열병합발전이 국한되었던 에너지원이 점점 다양화되어 풍력, 태양광, 소각열, 바이오매스 등 여러 에너지원들을 효과적으로 조합하고 자동관리하며 최적화 할 수 있는 새로운 기술 및 시스템의 필요성에 기인하여 개발이 시급한 기술이다. 두 번째, 광역에너지 이용 고효율 융복합 최적화 기술의 경우 하수열, 하천수, 하절기 잉여열 등의 미활용에너지를 효과적으로 사용할 수 있는 냉난방 기술개발의 필요성에 기인한다. 마지막으로 광역에너지 이용 장거리 열 수송 및 저장 최적화 기술의 경우 우리나라의 지역 열공급 현황이 선진국에 비해 공급 열 온도가 매우 높으며 장거리 열수송이 많아 손실되는 열이 많은 현 상황에 기인하여 다양한 열수송 및 저장 매개체 개발과 다양한 실용화 신기술의 개발이 필요하기 때문이다.

이러한 기술들을 개발하여 국가경제에 기여할 수 있는 예상결과와 연간 약 153만 TOE의 에너지 절감가능성을 예상하고 있다.

즉 이들 중대형 요소기술과 연간 에너지 절감가능성의 최종결과물로 지역에너지 이용 합리화를 통한 “광역에너지 이용 네트워크 구축 기술”을 최종 완성하여 상용화 시키고자 하는 것이 본 연구의 궁극적인 목표라고 할 수 있다.

3. 기술개발 현황

3-1. 세부개발 추진내용

본 사업에서 개발하려는 분야는 앞절의 설명처럼 그림

2와 같이 크게 3가지로 나눌수 있으며 우선 “광역에너지 통합관리 최적화 및 기술평가 시스템 기술”의 경우 단위 Unit 설비모델, 열유체 네트워크 모델, 기초조사 및 운전 모니터링시스템 등을 통한 네트워크 최적화 및 최적시스템을 개발하여 최종적으로 에너지 통합관리 시스템을 구축하는 것이다.

또한 “하수열원을 이용한 2000RT급 터보열펌프 개발 기술”은 미활용에너지인 하수열원을 활용하여 열펌프 시스템 제어 및 성능 평가, 신뢰성 시험을 통해 국내최초 대형/고효율 열펌프 실용화 시스템 개발하고자 한다.

마지막으로 “광역에너지 이용 장거리 열 수송 및 저장 기술”분야는 기존대비 열수송 밀도 30% 이상 향상된 고밀도 열수송 기술 개발과 기존대비 축열체적 1/2로 감소 잡열 축열기술을 개발하고자 한다.

이들 분야의 개발 성과물들은 모두 실제 현장에서 비즈니스 모델(시범사업)로 T지역 파일럿 플랜트에서 실용화 및 경제성 평가를 한후 최종적으로 2단계(2010~2012년)에서는 실증플랜트 운전과 성능평가를 통한 상용화를 통해 도시주거형 및 산업단지형 사업화 모델을 개발하여 보급확성화 하고자 한다.

3-2. 분야별 기술개발 내용

(1) 광역에너지 통합관리 최적화 및 기술평가 시스템 기술

광역 에너지 통합관리 최적화 시스템의 목적은 최종 사용자의 에너지 요구조건을 만족하면서 에너지 생산단가를 최소화하고 미활용 폐열의 회수를 최대화하여 전체

에너지 활용도를 최대화함에 있다. 이러한 기술은 대상 지역의 에너지 생산 및 사용에 관한 네트워크 모델을 구성하고 이에 최적화 기법을 이용하여 최적 생산을 유도하는 시스템으로, 시도 단위의 지역 냉난방 사업, 대규모 복합화력 발전 과 소규모 지역 전력생산 분산 네트워크, 산업체간 에너지 분배, 단위 공장의 에너지 네트워크 최적화 등에 적용될 수 있어 그 적용범위가 매우 광범위하고 적용 후 효과 또한 매우 크다. 일반적으로 에너지 네트워크 최적화를 통한 에너지 절감 효과는 3~5% 정도이며, 네트워크에서의 열 손실을 열펌프를 이용한 폐열의 활용을 통한 절감을 고려 할 경우 그 효과는 더욱 증가 할 것으로 예상된다.

그림 3은 광역 에너지 이용 네트워크 기술의 적용을 그림으로 도식화한 것이다. 이러한 네트워크를 구성하고 있는 각 개체는 대상 지역의 에너지 생산시설, 사용자, 산업체 등이다. 광역 에너지 이용 네트워크의 최적화는 전체 에너지 생산 및 이용 객체 네트워크에 관한 모델의 구성이 필수적으로 수반 되어야한다. 네트워크 모델은 열 및 전기의 생산능력, 효율, 사용자 및 산업체의 에너지 요구량, 소형 열 병합 발전 설비의 생산, 각종 폐열의 특성, 지역 내 배관 시설, 열 유체의 온도 및 압력 손실 등을 고려하여 작성된다. 광역 에너지 이용 네트워크의 최적화는 이러한 모델을 근거로 최적화를 수행하여 최적의 에너지 생산 및 분배를 유도하는 시스템이다. 이러한 시스템은 장기 수요예측에 따른 기존 설비의 실효성을

검토하여 추가 설비의 효율적인 구축 계획을 제시 하는데 사용 될 수도 있으며, 에너지 생산 및 이용에 관한 운영 환경 변화에 대한 if-then simulation (제시된 상황에 따른 생산, 분배 및 문제점을 off-line simulation을 통해 미리 예측 하는 것)에도 활용 될 수 있다.

이와같은 광역에너지 통합관리 최적화기술중 본 사업에서 개발하는 기술은 개발진행이 매우 빨라 열유체 모델링 및 구성방정식 도출을 통해 열-유체 프로그램을 개발하여 특허등록을 하였으며 지역난방공사의 표본모델을 위해 특정 S지사의 지리정보를 포함한 배관관리 시스템 개발 및 열수요 예측시스템 개발을 완료하였고 지사 전반적인 운전 모니터링 시스템을 개발 완료하였다(그림 4).

또한 향후 목표였던 “현장 모사 최적화 모듈 구성”, “지사의 모델예측제어기 및 관리시스템 개발”, “에너지 관리 표준 모듈 구성”, “통합 에너지 관리시스템 중 RTDB 보고서 관리 시스템 개발” 등의 Proto-type을 개발하여 향후 진행될 시스템 개발속도를 한층 가속화 시켰으며 이러한 시스템 및 프로그램을 특정 S지사에 직접 현장적용 진행을 통해 실용화 가능성을 평가하고 있다.

이러한 기술개발의 최종목표는 광역 에너지 네트워크의 최적 운영을 통한 에너지 원단위 3% 이상 감소이며 이를 통해 선진국에 비해 열약한 세계 최고 수준의 에너지 네트워크 모델링, 통합최적화, 최적제어 및 기술평가 시스템을 개발하는 것이며 이를 통해 본 개발기술을 원천기술로 확보하고 표준화 하는 것이다.

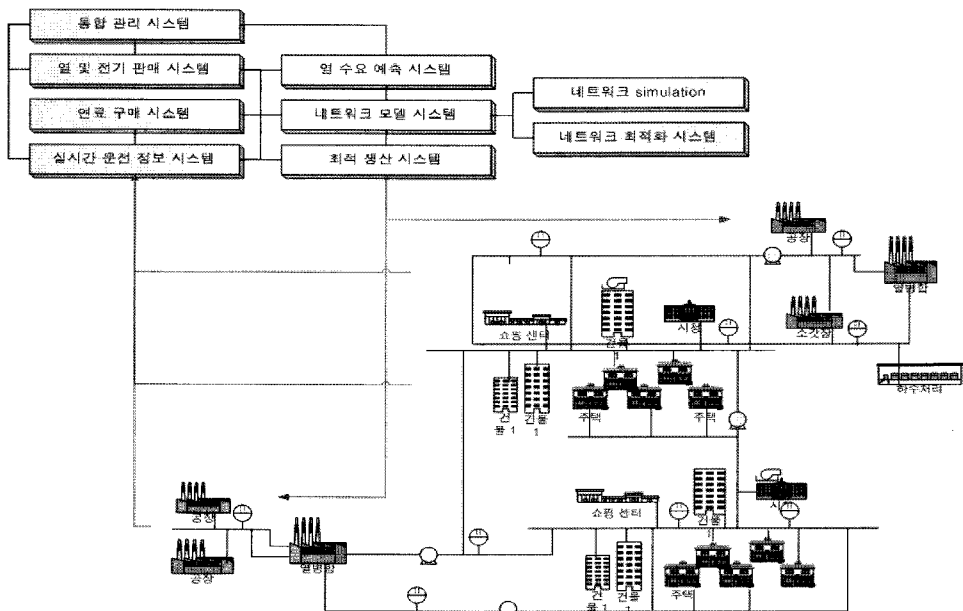


그림 3. 광역 에너지 이용 네트워크 기술적용 도식화

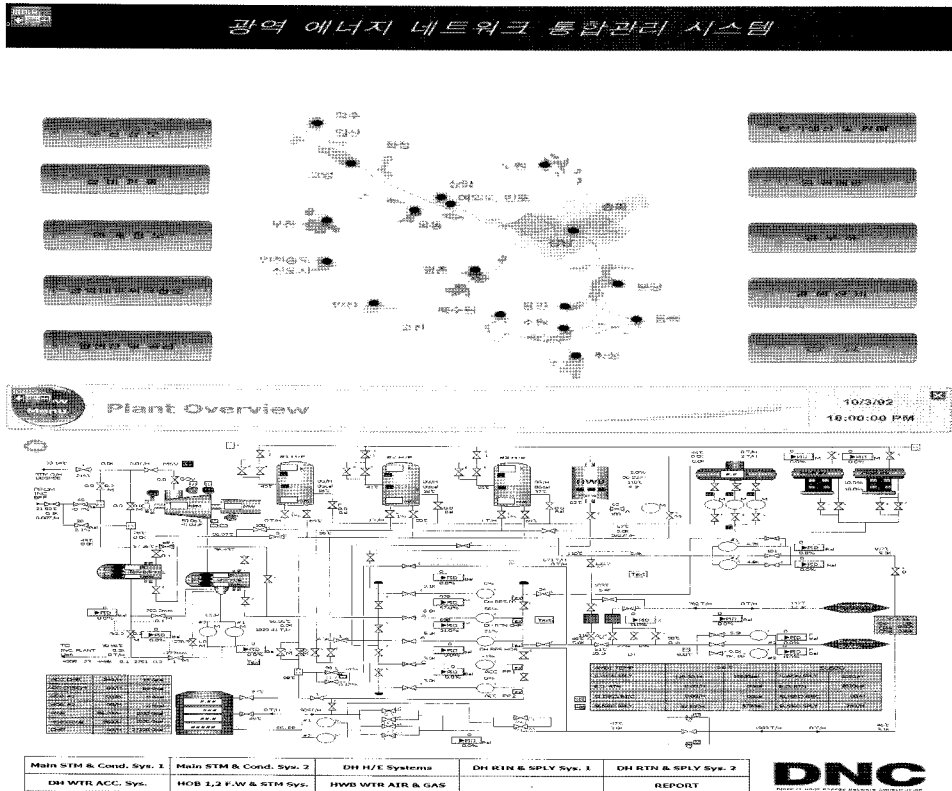


그림 4. 광역에너지 통합 및 지사별 관리 최적화 시스템

(2) 하수열원을 이용한 2000RT급 터보열펌프 개발기술

히트펌프는 그림 5에 나타난 바와 같이 저온의 열원으로부터 열을 흡수하여 고온의 열을 생산하는 기계장치로서 작은 구동 에너지(전기, 가스 등)를 이용하여 보다 많은 에너지를 열의 형태로 공급하는 에너지 효율이 높은 냉난방 시스템이다.

히트펌프는 구동에너지에 따라 압축식 히트펌프, 화학식 히트펌프, 흡수식 히트펌프, 흡착식 히트펌프로 분류되며, 압축식 히트펌프와 흡수식 히트펌프가 가장 현실적으로 적용 가능한 시스템이며 이중 압축식 히트펌프는 EHP(전기압축식 히트펌프)와 GHP(가스구동 히트펌프)로 분류되며, EHP는 에너지 효율측면에서 성능이 매우

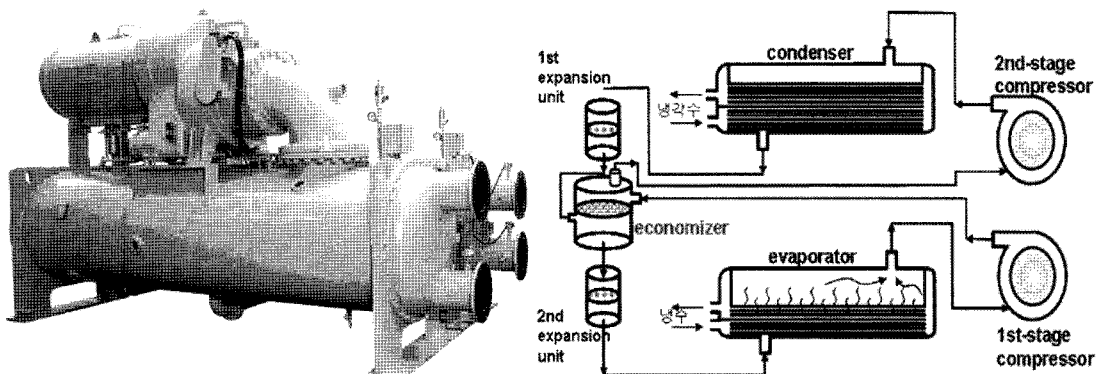


그림 5. 열펌프 구조 및 2단 터보열펌프 구동 개념도

우수하며, GHP는 에너지 수급 측면에서 장점을 가진다.

압축식 히트펌프는 압축기, 응축기, 팽창장치, 증발기의 주요 핵심 장치로 구성되며, 방향전환 밸브를 이용하여 하절기의 냉방과 동절기의 난방이 한 대의 기기로 가능하며, 구동에너지에 따른 히트펌프 분류 시스템 중에서 가장 효율이 높은 에너지 절약형 냉난방기기이다.

최근에 관심이 집중되는 냉/온열 동시제조 히트펌프는 대형 빌딩과 같은 에너지 다소비 공간에 냉방과 온수 제조가 동시에 가능한 시스템으로 에너지의 효율적 이용과 폐열 회수 등이 가능하여 에너지 절약 효과가 큰 히트펌프 시스템이다.

이와같은 열펌프기술중 본 사업에서 개발하고자 하는 기술의 초기개발목표는 파일릿설비(400RT급) 운전을 통해 열펌프 시스템 Simulation을 통해 COP 3.0 이상 확보, 열펌프용 압축기 공력 설계효율(%) 80%이상 설계 확인, 열펌프용 Test Rig 수정인자 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 이내로 맞추었으며 압축기 회전체 설계 안전율 20% 이내확인, 시운전 설비 70°C 운전을 통해 판형 열교환기 설치 및 비정상 유동 측정 변수를 선정하였고 비정상 유동 측정 방법인 Kulite를 이용한 측정을 완료하였다.

이러한 기술개발을 통해 “난방기준 COP 3.0이상(냉수: $12\sim 7^{\circ}\text{C}$, 냉각수: $50\sim 70^{\circ}\text{C}$)”, “냉방기준 COP 5.5이상(냉수: $13\sim 4^{\circ}\text{C}$, 냉각수: $25\sim 30^{\circ}\text{C}$)”인 최종목표를 달성할 수 있는 국내최초 대형/고효율 열펌프 기술을 개발하여 해외선진기술의 시장 지배력으로부터 국내제품을 방어하는 것이 최종 목표이며 이에 대한 개념도는 그림 6과 같다.

(3) 광역에너지 이용 장거리 열 수송 및 저장 기술

다양한 열원을 이용한 열수송 및 저장시스템에서 가장 중요한 기술은 열교환기술과 열수송기술이다. 열교환 시스템은 산업, 수송, 가정용 등 거의 모든 분야의 핵심장치로 사용되고 있는 기기로 1차 에너지의 약 80~90%가 본 시스템을 통하여 사용되고 있으며, 현재 열교환 및 회수이용에서 시스템 효율을 향상시키기 위하여 연구되고 있는 분야는 다음의 4가지로 크게 분류할 수 있다. ① 기존 사용되고 있는 열교환기의 개선 및 새로운 형태의 열교환기 개발, ② 고분자물질, 세라믹, 탄소물질 등 새로운 재질을 사용한 열교환기 개발, ③ Fouling, 부식 등 조업시 발생하는 문제 해결을 위한 연구, ④ 열교환기 크기 감소와 간결성을 위한 고효율 열교환 및 수송매체 개발이다.

또한 열수송기술에서 효율을 향상시키기 위해서는 기존 열교환 매체에 기능성이 부가된 입자를 혼합함으로써 열교환 효율을 촉진하는 것으로 미세입자(Nano Particle)와 상변화물질(Phase Change Material) 미립화 이용기술, 마찰저감제(Drag Reduction Material) 이용기술, 등이 있다.

즉 이들은 개별적으로 활용될 때 효과가 있지만 복합적으로 사용될 때 더욱 효과를 가질 수가 있다.

그림 7에 나타난 고밀도 열수송 매체란 $100\mu\text{m}$ 이하로 축열매체를 마이크로캡슐(microcapsule)화하여 이를 작동유체인 물과 혼합한 슬러리 상태의 유체이며 이 매체를 이용하면 유체-고체간의 열전달 계수 상승으로 일정량의 열전달을 위한 온도차 감소 및 전열면적을 감소시킬 수 있다. 또한 매체의 열용량 증가로 일정한 량의 열을 수송하기 위한 수송 유량을 감소시킬 수 있어 펌프소요동력과 배관설치비를 감소시킬 수 있는 장점을 지니게

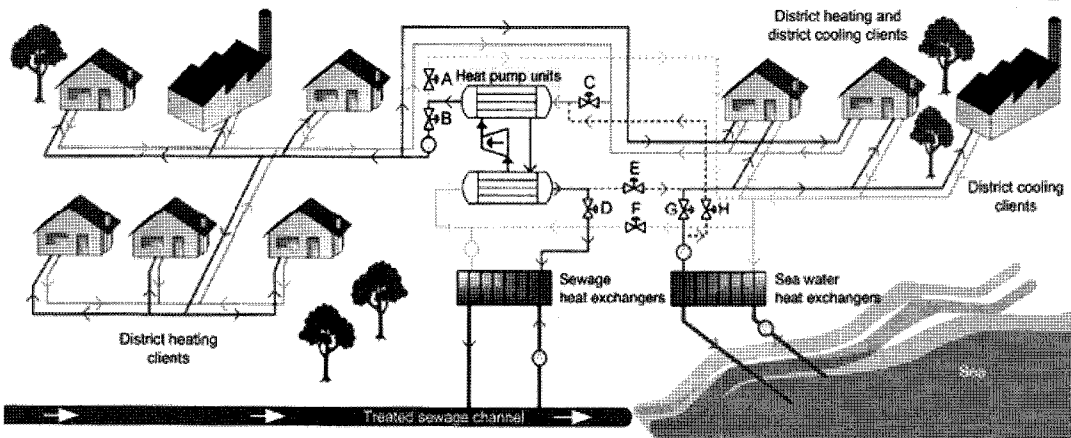


그림 6. 하수열원 2000RT급 터보열펌프 활용 개념도

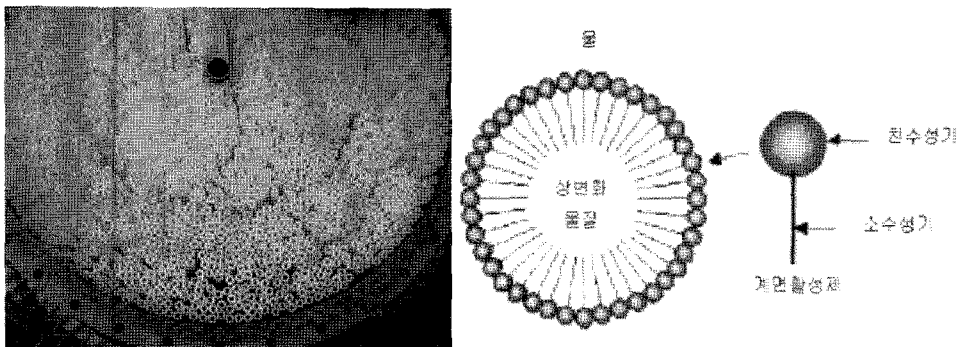
된다. 또한 첨단 유체를 동시에 활용하면 80%까지도 마찰 저항을 감소시킬 수 있는 것으로 알려져 있다.

열 저장기술에 활용되는 축열매체는 열원에 따라 사용 온도 범위에서 열저장 밀도가 큰 상변화물질을 이용되 물질의 영구적인 반복 상변화 이용을 위하여 신축성과 기계적 강도를 지닌 고분자 수지로 코팅된 미립자이다. 미립자 형태의 마이크로캡슐에서 코팅 벽은 열흡수 방출 과정에서 물질의 체적변화에 따른 코팅물질로의 응력을 저감시킬 수 있으며, 열전도 특성의 장애를 해결할 수 있다. 또한 미립자 상태이므로 작동유체와 쉽게 혼합되어 균일한 상태의 유동매체를 형성할 수 있다. 따라서, 이러한 작동유체의 특성은 축열특성이 증가하고 미립자 유동

에 의한 미세대류 촉진으로 높은 열전달 특성을 지나게 되어 고밀도의 열저장 및 수송 매체로 이용할 수 있다.

이와같은 열수송 및 저장기술중 본 사업에서 개발하고자 하는 기술개발의 초기내용은 잠열물질 내구성 시험장치 기본설계, 마이크로캡슐화법에 의한 MPCM제조 실험, 열전달 성능 향상을 위한 난류발생기 설계 및 제작, 고온용 비이온성 계면활성제 제조, 고밀도 열수송 기술 평가용 실험장치 설계 및 제작을 완료한 것이다.

본 기술의 최종목표는 “장거리 열수송 및 열저장을 위한 새로운 매체 개발 및 최적의 시스템 구축기술 개발을 통해 기존대비 열수송: 30% 향상, 열저장: 축열체적/2 감소를 달성하는 것으로 이에 대한 개념도는 그림 8과 같다.



PEG (20~60°C) X-HDPE (110°C) C₁₀H₁₆ (6°C) Na₂SO₄·10H₂O (30°C) Na₂HPO₄·12H₂O (35°C) CH₃COONa·3H₂O (60°C) C₁₀H₁₆ (60°C)
 그림 7. 신매체를 활용한 고밀도 열수송 축열기술 개념도

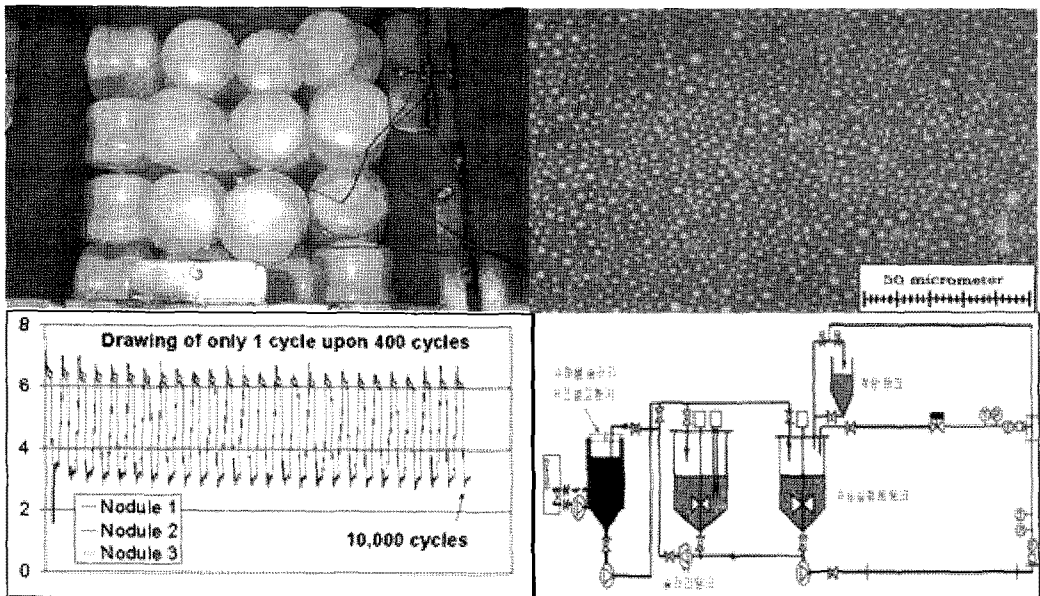


그림 8. 열저장 및 수송 매체 제조 및 설비설계 개념도

표 1. 서울시 에너지 소비원 구조

에너지소비원	에너지소비량(천Gcal)	구성비(%)
연 탄	68.1	0.15%
석 유 류	1,373.9	2.96%
도시가스	31,236.6	67.24%
전 력	9,661.7	20.80%
집단에너지	4,114.8	8.86%
총 합 계	46,455.1	100.00%

* 자료 : 산업자원부 2005년도 에너지총조사보고서, 가정부분 총량편

4. 사업화 현황

4-1. 도시주거형 사업화 모델

(1) 사업추진 배경 및 목표

도시재개발 지구에 미활용에너지를 활용한 친환경 광역에너지를 공급함으로써 지속 가능한 도시 에너지체 구축 및 대기환경개선 등 지역간 에너지불균형을 해소하고자 한다. 또한 도시가스 소비량이 전국적인 에너지소비량 평균보다 높은 실정이므로, 광역에너지네트워크로 전환하여 당초 개별에너지원(도시가스) 소비량을 67.2%에서 50%이하로 단계적으로 낮추어 에너지불균형을 해소하고 국가에너지절감 유도 및 광역에너지 융복합시스템 기술을 개발하고자 한다.

(2) 사업화 모델정립 및 추진계획

서울시 4개 물재생센터 중 탄천 또는 중랑물재생센터를 중심으로 2개의 사업모델을 검토하고, 추후 서울시 전체 물재생센터로 확장하여 물재생센터 주위의 뉴타운 및 인근 개발지구를 중심으로 광역에너지네트워크를 구축하고자 한다(그림 9).

1) 사업모델 I : 탄천물재생센터 하수열 등 신재생(미활용)에너지 활용

- 탄천물재생센터의 하수열을 활용한 친환경에너지를 강남 집단에너지 네트워크를 통해 광역에너지네트워크화 시키고, 소내 태양광발전시설을 설치하여 하수열 활용 히트펌프에 필요한 소내 전력 등으로 사용하여 미활용에너지와 기존 집단에너지를 융복합시킨다.
- 탄천물재생센터 인근이면서, 강남 집단에너지네트워크와 연계 가능한 문정비즈니스 파크, 동남권유통단지, 장지택지지구(임대아파트)가 대상지역

2) 사업모델 II : 중랑물재생센터 하수열 등 신재생(미활용)에너지 활용

- 중랑물재생센터의 하수열을 활용한 친환경 에너지를 동북벨트 뉴타운지구의 집단 에너지네트워크와 융복합하는 광역에너지네트워크를 구성하여 공급한다. 이때 기존 집단에너지네트워크의 고온(125℃) 에너지 공급방식과 달리 저온(75~95℃)의 에너지를 직접



그림 9. 광역에너지네트워크 예상 : 서울지역 사업화 모델 대상지역

4.2. 산업단지형 사업화 모델

(1) 사업화 배경 및 필요성

- 울산은 각종 산업체들이 입주하여 있는 우리나라 최대의 공업도시이므로 환경친화적인 에너지와 공존하는 이미지 제고가 필요하다.
- 울산시의 부문별 에너지 소비는 산업부문이 2004년 17,040천TOE로 82.2%를 점유하여 제조업 중심도시로서 특성을 보여 주고 있어, 산업부분에서의 에너지 사용량변화가 울산지역 전체 미치는 영향이 지대함을 알 수 있다.
- 에너지경제연구원에서 수행한 “지역에너지사업 로드맵 기획연구”내용에서 발췌한 표 2에서도 확인 할 수 있듯이 산업체에서 발생하는 폐열회수부분의 전국 잠재량인 454천TOE의 72.7%인 330천TOE가 울산지역에 집중되어 있다.
- 이와 같이 울산지역의 경우에는 산업단지내 폐열회수 잠재량도 높고, 많은 성공사례도 존재하고 있는 상황이기 때문에 산업단지내 미활용에너지의 광역에너지이용 네트워크 구축사업을 통해 체계적으로 추진할 필요성이 높다고 판단된다.

(2) 세부 사업화 내용

1) 소각폐열 및 공정개선 에너지 네트워크 구축사업

(그림 14)

<에너지 진단>

- 에너지진단은 공장의 산업공정에서의 에너지 활용도 및 효율을 진단하는 것이며, 진단결과를 바탕으로 에너지 네트워크 사업의 목표치를 설정하게 되는데, 1차년도에는 산업단지 에너지흐름분석(EFA) 및 인벤토리를 통해 분석된 사업화 가능성이 가장 높은 아이템을 대상으로 하여 폐열에너지 네트워크 구축사업을 진행함.
- 폐열회수(HRSG : Heat Recovery Steam Generator)는 연료를 태운 열을 이용하여 온수나 스팀을 발생하는 플랜트에서 그 열을 최대한 이용하여 발생하는 온수나 스팀의 양을 극대화시키는 것임.

<공정개선>

- 공정개선은 에너지의 투입비율이 높은 공정의 진단 및 지도를 통해 공정개선 및 에너지 효율성을 높이는 시설로 교체하는 작업이며, 주요 업종별 공정 현황 및 문제점 진단, 제한요인 조사 및 분석, 현장 공정진단 실시 및 대안제시 등이 이루어지며, 개선으로 인해 발생하는 잉여에너지는 주변기업으로의 네트워크 사업을 추진함.
- 유틸리티 공정개선은 생산공정 내 최신텐 System 도입 및 노후설비 교체, 효율 개선 등을 통하여 생산 효율

표 2. 신·재생에너지 잠재량

(단위 : 천TOE, %)

구분 시도	소각 매립	태양열	태양광	바이오 매스	폐열 회수	지하철 배열	하천수 열	하수 처리수	해수열	소수력	조류 조력	지열	풍력	계
서울	289	6,562	1,557	3	1	11	51	679	-	30	-	0.9	0	9,184
부산	82	3,333	708	16	0.3	3	9	206	439	9	-	1.2	105	4,912
대구	67	2,529	584	22	6	1	14	215	-	7	-	1.4	2	3,449
인천	69	2,517	355	43	1	1	0	62	439	8	65	1.5	90	3,652
광주	37	1,659	323	21	6	1	1	73	-	8	-	0.8	1	2,131
대전	37	1,929	287	11	2	-	10	87	-	8	-	0.8	2	2,374
울산	111	867	130	8	330	-	1	52	369	8	-	1.6	110	1,988
경기	229	11,457	1,525	526	22	-	24	466	-	66	139	15.9	1,526	15,997
강원	49	4,532	716	261	0.1	-	4	42	112	94	-	32.1	1,067	6,919
충북	32	4,432	551	254	3	-	4	54	-	51	-	11.6	340	5,733
충남	48	7,696	1,050	578	12	-	12	47	-	49	263	13.3	1,350	11,119
전북	42	5,739	736	480	13	-	13	89	179	57	99	12.6	801	8,261
전남	55	9,362	1,317	632	24	-	5	51	271	55	137	18.7	6,965	18,891
경북	56	9,173	1,439	544	19	-	-	108	-	62	-	29.9	1,291	12,729
경남	80	7,859	1,244	370	14	-	6	97	-	53	5	16.4	2,333	12,076
제주	15	1,541	235	79	0	-	-	19	217	13	-	2.9	195	2,316
계	1,220	81,186	12,756	3,847	454	17	163	2,346	2,036	578	708	161.4	16,178	121,730

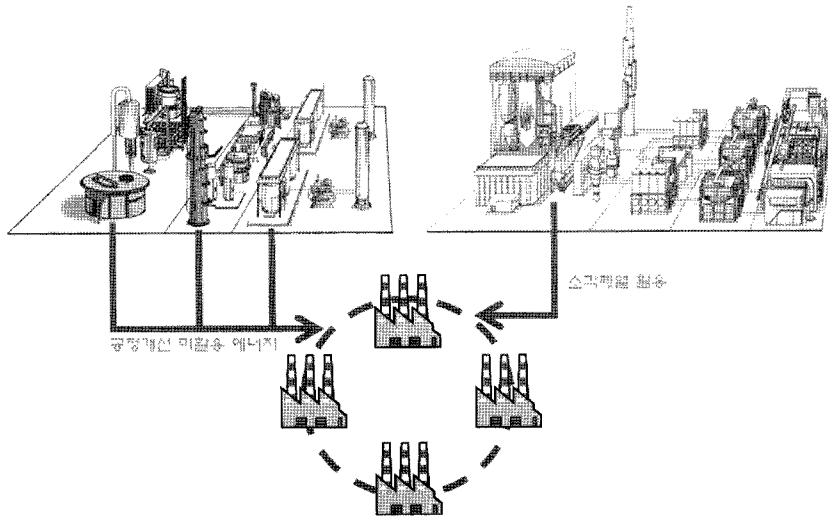


그림 14. 소각폐열 및 공정개선 에너지 네트워크 개념도

화에 기여하고 에너지비용을 획기적으로 절감할 수 있는 종합적인방안을 제시함.

- 유틸리티 공정개선 적용분야
 - 보일러/냉수/냉각수 계통
 - IA/PA 계통
 - Steam/Fan/Compressor/Fuel 계통
 - 환경설비(SCR, RTO 등)
 - VOCs 처리 시스템
 - 수축열시스템

2) 하수처리장 방류수 열원활용 에너지네트워크 구축

- 일본에서는 하수처리수 이용 열공급 플랜트를 건설, 하수 처리수관, 수송가로의 냉온수 공급관 및 열공급 플랜트를 구성, 방류되는 하수처리수를 히트펌프의 열원으로 이용해 에너지절감은 물론 냉각탑 보수수량의 절감을 실현함.
- 스웨덴의 읍살라의 하수폐열을 이용하는 히트펌프 플랜트의 경우 히트펌프장과 배수 펌프장으로 구성,

히트펌프로 열을 회수한 이후 방류처인 하천으로 방류하고 있으며, 용량이 1MW 이상급의 열펌프플랜트의 약 30%정도가 해수열원열펌프로 1.5~2℃의 해수를 70~83℃로 승온 하는데 사용되고 있음.

- 노르웨이 해안에서는 멕시코 난류의 영향으로 난방 기간에 4~7℃의 해수온도가 얻어지고 있어 이를 열원으로 약 15km에 달하는 지역의 난방에 해수열원 열펌프를 사용하고 있음.
- 울산시에는 가동중인 6개의 하수처리장 중에서 표 3의 3개 하수리장의 경우에는 산업단지 내에 입지하고 있어 열원활용 에너지 네트워크 구축이 가능할 것으로 판단됨.
- 활용하고자 하는 폐수열원 히트펌프는 계절에 관계 없이 난방 및 온수를 자유롭게 사용할 수 있으며, 버려지는 저온의 폐수열원을 에너지원으로 사용함으로써 기업체의 경쟁력을 확보할 수 있음.
- 기존 보일러에 비해 30~60%의 연료비 절감으로 가장 깨끗하고 청정한 온수를 공급할 수 있는 에너지

표 3. 울산시 하수처리장 방류수 현황

분류	항 목	현황		구 분	개선효과 여부
		단 위	수 치		
방류수 배출량	용연하수처리장	톤/일	230,000	2006년	
	온산하수처리장	톤/일	80,000	2006년	
	방어진수질개선사업소	톤/일	65,000	2006년	
계		톤/일	375,000		

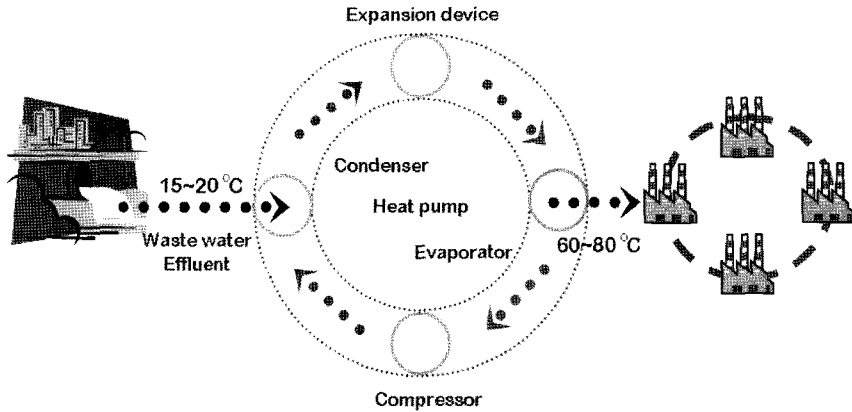


그림 15. 하수처리장 방류수 열원이용 히트펌프 시스템 개념도

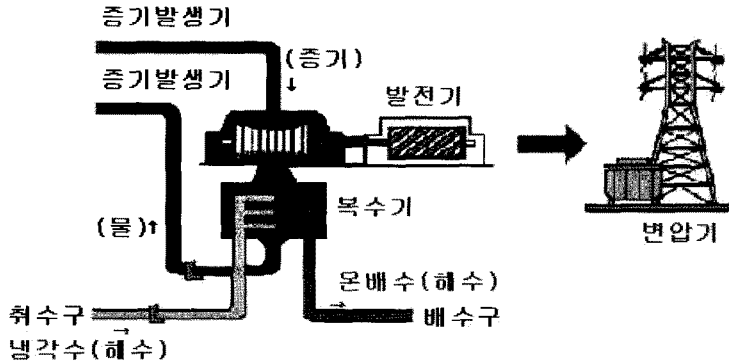


그림 16. 화력발전소 방류수 열원이용 히트펌프 시스템 개념도

공급방식임.

- 하수처리장에서 배출되는 방류수(15~20°C)를 이용하여 히트펌프에 의해 저온 공정용(60~80°C)으로 온수를 생산 공급하므로 에너지가 40~80%를 절감할 수 있는 시스템임.

3) 화력발전소 방류수 열원활용 에너지네트워크 구축

- 대규모 발전시설은 다량의 냉각수 확보측면에서 임해 지역에 건설되며, 화력발전소에서는 석탄 또는 석유, 천연가스 등을 태운 열을 이용하여 증기발생기에서 물을 증기로 만들고, 그 증기의 힘으로 수력발전소의

수차와 같은 역할을 하는 터빈을 돌려 전기를 생산함.

- 터빈을 돌린 증기는 복수기에서 냉각, 물로 만들어져 증기발생기로 보내지며, 이때 증기를 물로 다시 만드는 과정에서 해수를 냉각수로 사용함. 발전소의 취수구를 통하여 들어온 다량의 냉각수(해수)는 단지 복수기 배관을 통과하면서 냉각작용을 한 후, 온도만 자연해수보다 약 7°C 높은 상태로 그대로 해역에 방류되는데, 이러한 방류수를 온배수라 함.
- 국내의 경우 발전 폐열을 활용한 지역난방 종합에너지시스템에 관한 연구를 1980년도에 한국 과학기술

표 4. 울산광역시 소재 화력발전소 온배수 방류 현황

분류	항 목	현 황		기준	비고
		단 위	방류량		
방류수 배출량	동서발전 울산화력발전소	톤/일	3,800,000	실측	
	남부발전 영남화력발전소	톤/일	1,000,000	펌프용량	펌프효율 80%
	계	톤/일	4,800,000		

연구소가 수행한 실적이 있으나 이를 회수 이용한 사례는 없음(발전폐열을 활용한 지역난방 종합에너지 시스템에 관한 연구, 한국과학기술연구소, 1980).

- 울산광역시에 가동 중인 화력발전소는 2개이며, 이 들로부터 배출되는 온배수 현황은 표 4와 같음.
- 화력발전소 온배수 배출량의 10%를 이용한다고 고려할때 600,000Nm³/일의 LNG가 절감되는 것으로 산정됨(방류수 기준온도 : 30℃, LNG 저위발열량 : 9,550kcal/m³, 방류수의 비열 : 1.0kcal/kg·℃, 회수율 : 80%로 가정).

(3) 사업화 효과

1) 에너지절감

- 산업구조 변화, 경제성장 효과, 기술개발로 인한 에너지변화량을 책정함으로써 효율적인 산업별 에너지 관리 기준으로 활용가능하고 지역별 산업별 비교를 통한 에너지관리방안 수립.
- 에너지의 투입, 생산 및 소비 등 총체적인 흐름변화를 정량적으로 분석하여 에너지 자원관리(에너지사용량 저감 효과 등) 및 친환경적인 산업구조 개편을 위한 지침으로 활용 가능
- 본 사업이 시행되면 현재 울산지역 국가산업단지 내 기업들의 현재 에너지 사용 현황과 에너지사용 효율성에 대한 정략적 파악이 가능하게 되며, 이를 바탕으로 에너지 사용량 절감을 위한 최적의 에너지네트워크를 개발할 수 있게 됨
- 이후 개발된 에너지이용 네트워크가 실제 산업에 적용되게 되면 각 공정에서 쓰이는 스팀과 냉각수를 비롯한 여러 종류의 에너지 사용이 절감될 수 있음

2) 기대효과

- 온실가스 저감
 - 에너지 절감과 함께 온실 가스 배출도 줄어드는데, 이는 공정에 쓰이는 에너지원을 만들기 위해서는 화석연료를 사용해야 하는데 이를 줄임으로써 온실 가스 배출량도 함께 줄이는 효과를 가져 올 수 있음.
 - 이는 교토의정서와 같은 기후 변화협약의 이행을 위한 준비 단계로도 볼 수 있으며, 최근 유럽의 배출권시장에서 거래되는 이산화탄소의 값이 톤당 약 1만원이므로 추가적인 경제적 효과도 유발한다고 볼 수 있음.
- 기존 울산지역 산업단지 에너지 네트워크의 확대
 - 2007년 4월 현재 울산지역 국가산업단지에는 가동 중인 산업공생 네트워크 중에서 28개의 에너지 네트워크(잉여증기, 바이오가스, LFG 등)가 형성되어 있음.

◦따라서 본 연구과제를 통해 추가적인 에너지 네트워크를 구축하여 울산 미포, 석유화학, 온산 단지 등의 국가산업단지를 하나의 에너지 네트워크망으로 연결하는 광역 에너지 네트워크의 구축이 가능함.

- 에너지 절감 및 수익
 - 2007년 울산지역 산업분야의 에너지 소비량(순수 에너지)은 4,250,000TOE/년 로 전망이 됨.
 - 본 연구과제를 통해 2008년~2012년까지 5년 동안 잉여증기 및 화력발전소 및 하수처리장 방류수 열원 에너지회수 등을 통하여 664,000TOE/년의 에너지 사용량을 줄일 계획이며, 연료사용량 기준으로는 620억원/년의 경제적 효과가 발생할 것으로 전망됨.
 - 공급자와 수급자의 수익배분이 50:50의 Sharing 원칙일 경우 광역 에너지 네트워크 구축에 따른 경제적 효과는 2012년 기준으로 1,240억원/년의 경제적 효과 발생이 예상됨.

5. 결 론

본 사업이 성공적으로 수행된다면 다음과 같은 기대효과와 활용방안을 얻을 수 있을 것이다.

[기대효과]

1. 네트워크 최적화 기술 확보 생산단가의 3~5% 절감,
2. 수입대체 효과: 연간 1760억원, 기술수출효과: 연간 1540억원
3. 국내 최초 고온 열펌프 기술 및 응축열 회수 기술 습득
4. 기존 공기열원 대비 30%, 기존 보일러 대비 5% 효율 향상
5. 에너지 절약을 통한 CO₂ 발생량 감소 등 환경개선 및 전력부하 평준화
6. 대규모 지역 냉난방용 열펌프 기술 자립화
7. 기존대비 열수송 밀도 30% 이상 향상 기술 개발
8. 기존대비 축열체적 1/2로 감소 기술 개발

[활용방안]

1. 시범사업 기술 실용화 검증후 향후 보급 활성화
 - 중랑, 마곡 지구 등 도시주거형 사업화
 - 울산산업단지, 시화산업단지 등 산업단지형 사업화
2. 세계 수준의 상용화 완성 및 다양한 사업화 모델을 통한
 - 신규사업 창출로 수입대체 및 해외진출

참고문헌

1. European Commission, "European Distributed Energy

- Resources Projects”, 2006 Report (Unit J2 - Energy production and distribution systems).
2. Erik Dotzauer, “Simple model for prediction of loads in district-heating systems”, *Applied Energy*, Vol.3, pp. 277-284 (2004).
 3. Helge V. Larsen, Benny Bøhm, Michael Wigbels, “A comparison of aggregated models for simulation and operational optimisation of district heating networks”, *Energy Conversion and Management* Vol.45, pp.1119-1139 (2004).
 4. Roberto Aringhieri, “Optimal Operations Management and Network Planning of a District Heating System with a Combined Heat and Power Plant”, *Annals of Operations Research*, Vol. 120, pp.173-199, (2003).
 5. Tuula Savola, Tor-Martin Tveit, Carl-Johan Fogelholm, “A MINLP model including the pressure levels and multiperiods for CHP process optimisation”, *Applied Thermal Engineering* Vol.27 pp.1857-1867 (2007).
 6. 김학도, “고유가 대응체제 구축과 집단에너지산업 활성화 정책방향”, *Journal of the Korean Gas Union*, pp. 14-20 (2006).
 7. NEDO “平成 16년도 사업보고서”, *New Energy and Industrial Technology Development Organization*, 2005. 3. 31.
 8. NEDO, *미이용에너지 활용 가이드 북*(1998).
 9. 히트펌프 기술, 2004 신기술동향 조사 보고서, 특허청.
 10. 윤형기 외, *미이용에너지 네트워크 실증사업 최적화 연구*, 한국에너지기술연구원 보고서, 2005.
 11. 한국지역난방공사, *세계의 지역난방 현황 및 발전추이 조사 연구*(2005).