

이성분혼합물을 이용한 상온에너지 수송 및 변환기술

흡수식 사이클에 이용되는 이성분 혼합물인 암모니아/물을 작동유체로 하는 상온에너지의 장거리수송 및 변환기술을 소개한다

강 용 태

오존층파괴 및 이산화탄소 발생에 의한 지구온난화 문제는 더 이상 지엽적인 문제가 아닌 전 인류의 문제이다. 이러한 지구환경문제의 해결을 위하여 지속가능한 차세대 환경친화형 에너지 시스템개발이 시급히 필요하다. 본 연구에서는 에너지의 발생에서 수송, 저장, 변환 및 이용에 이르기까지 환경에 친화적인 과정을 통한 에너지손실의 제로화를 이룩하는 차세대 에너지수송시스템을 소개하고, 그 핵심기술로서 상온에서 이중혼합물의 농도차에 의한 에너지의 장거리 수송/변환시스템을 개발한다. 본 연구에서 소개하는 환경친화형 에너지 캐스케이드 시스템은 오존층파괴와 지구온난화문제를 발생시키지 않는 자연냉매를 사용하므로 환경친화적이고, 이중혼합물의 농도차에 의해서 에너지를 수송하므로 기존의 현열수송에 비하여 수송비용이 획기적으로 줄어들며, 또한 상온에서 작동매체를 수송하므로 단열재가 필요 없게 되는 등 많은 장점이 있다.

국외의 연구동향 및 수준

미국의 경우 1978년 에너지부(Department of Energy, DOE)가 생긴 이후 에너지수송/변환이 핵심기술로 요구되는 집단에너지사업에 대한 연구개발을 맡고 있으며, Minnesota 주의 St. Paul시, New York 주의 Jamestown 시 등에서 성공적으로 집단에너지 시스템이 운영되고 있다. 날씨가 추운 스웨덴, 덴마크, 핀란드, 독일 등 북유럽의 여러 나라에서도 집단에너지의 수송/변환기술은 가장 보편적으로 주거 및 상업

환경에 활용되는 기술이다. 일본 공업기술원은 93년부터 시작하여 2000년도까지로 예정된 [광역에너지 이용 네트워크 시스템 기술 (에코 에너 도시)] 프로젝트를 수행 중에 있다. 구체적으로 동경농공대학에서는 이성분 혼합물의 농도차를 이용한 상온에너지 장거리 수송을 수 년째 연구하고 있고 현재 상온에서의 에너지 수송을 위한 제반 실험결과들을 제시하고 있다. 그러나 이 기술에서는 a) 수송유체의 성분이 물/리튬브로마이드로 장거리수송에 따른 수송유체의 가격이 비싸고, b) 저온에서의 결정화문제가 해결되어야 할 사항이다. 산업체의 경우 Ebara Inc.에서는 동경농공대학과의 공동연구를 통하여 상온에너지의 장거리 수송 기술을 개발하고 있다. Toho Chemical Industry Co. Ltd.에서는 에너지의 장거리 수송에 응용하기 위한 새로운 표면활성제를 연구하여 장거리 수송시에 마찰저항을 줄이는 방법을 개발하고 있다.

국내의 기술동향 및 수준

현열수송의 경우 강서지구, 노원지구, 분당, 안양, 부평지역 등 많은 지역에서 에너지 수송/변환설비들이 이용되고 있다. 그러나 화학적 반응이나 잠열에 의한 에너지 수송의 경우 아직까지 걸음마 단계를 벗어나지 못하고 있다. 지금까지 KIST 및 KAIST에서 수소흡장식 에너지수송/변환기술을 연구하여 왔으나 수소흡장금속의 재질문제로 인하여 기술적으로 어려움을 겪고 있다. 더욱이 이성분 혼합물의 농도차에 의한 상온에너지 수송/변환 기술개발은 극히 미비한 상황이다.

종합적으로 판단컨대 상온에너지 수송/변환 기술은

강 용 태 경희대학교 기계산업시스템공학부(ytkang@khu.ac.kr)

국내 및 세계적으로 활발하게 연구가 진행되고 있지만 두 가지 기술적인 문제, 즉 수송유체의 가격문제와 저온에서의 결정화문제가 있다. 따라서 본 연구에서는 위의 두 기술적인 문제를 해결함으로써 상온에너지 장거리 수송/변환기술분야에서 선진국들보다 우위를 차지하여 국가적인 에너지 수급문제를 해결하는데 중요한 역할을 할 수 있도록 새로운 에너지수송기법을 소개하고자 한다.

상온에너지 수송원리

에너지의 효율적 이용 및 절약을 위해서는 산업지역에서 발생한 에너지를 주거환경과 공정산업지역으로 수송하여 생활에 유용하게 변환시키는 기술이 필요하다. 상온에너지 수송/변환기술은 에너지의 수송/절약/저장/공정분야에 해당되는 기술로 환경친화적인 이성분 혼합물의 농도차를 이용하여, 고온 또는 저온의 에너지를 상온에서 장거리 수송 및 저장하여 에너지를 필요로 하는 지역에 다시 고온 또는 저온의 에너지로 변환시키는 차세대 기반기술이다. 본 기술에서 핵심사항인 상온에너지는 고온 또는 저온의 에너지가 온도포텐셜이 없는 상온에서 농도포텐셜로 변환된 상태를 의미한다.

기본원리

상온에너지 수송/변환 기술의 기본원리는 그림 1로 요약된다. (a) 및 (b)에서처럼 기존의 현열 수송방법에서는 에너지수송/변환과정이 수요측(demand side) 또는 공급측(supply side)의 어느 한쪽에서만 이루어져서 에너지가 고온(열수) 또는 저온(냉수)의 상태로 수송된다. 따라서 실리콘 화이버글래스 등 값비싼 단열재의 사용이 요구된다. 실제로 열병합발전소에서 이용되는 지역난방시스템의 경우 직경 100cm의 수송관에 약 10cm 두께의 값비싼 단열재가 사용되고 있어 수송관의 설치 및 유지비가 경제적이지 못하다.

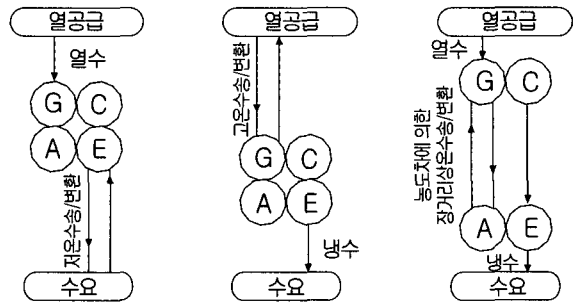
본 소고에서 소개하는 상온에너지 수송/변환 기술은 기존의 엔탈피차에 의한 현열수송기술과 발생자제

가 다른 기술이다. 기술의 핵심내용은 에너지 변환과정이 수요측 및 공급측에서 각각 이루어지고, 에너지의 수송은 외기온도와 동일한 상온에서 이루어진다는 것이다. 그림 1의 c)처럼 이성분 혼합물의 자연냉매인 암모니아/물을 이용하여 공급측에 발생기와 응축기를 설치하고 수요측에 흡수기와 증발기를 분리시켜 위치시킨다. 이때 발생기로 에너지가 유입되면 이성분 혼합물중 비등점이 낮은 성분(암모니아/물의 경우 암모니아)이 먼저 증발을 하게 되어 남아있는 액류는 저농도의 용액(희용액)이 된다. 이 희용액과 발생기에서 증발된 기류는 내부열교환을 거친 후 상온으로 온도가 하강되어 수요측에 설치된 흡수기 및 증발기로 이동한다. 흡수기와 증발기는 지역난방산업, 심야전력이용을 위한 에너지 저장산업, 의료품저장산업, 식품공정산업 및 레저산업 등 각각의 요구환경에 따라 분리되어 설치되며 수송된 에너지를 고온 또는 저온의 상태로 변환한다.

기존의 엔탈피차에 의한 현열수송방법과 농도차에 의한 상온에너지 수송/변환기술의 특징이 표 1에 정리되어 있다.

에너지 장거리수송의 산업기반성

현재까지 일본 등 선진기술국에서는 환경친화적이고 지속가능한 신도시개발을 위하여 여러 가지 에너지시스템들을 연구하여 왔다. 일본의 동경농공대학에서는 본 상온에너지 수송/변환이론에 기초하여 열에



(A:흡수기, G:발생기, C:응축기, E:증발기)

(a) 현열저온수송 (b) 현열고온수송 (c) 잠열상온수송

[그림 1] 상온에너지 수송/변환기술

너지의 장거리수송형 리튬브로마이드/물 단효용 흡수식냉동기를 설치하고 실험 중에 있다. 미국 및 유럽 국가에서도 자연냉매를 이용한 열에너지의 장거리 수송에 많은 관심을 가지고 있으나 아직까지는 실험적인 단계에까지 도달하지 못한 실정이다. 한국의 경우 본 연구주체에 대한 연구성과는 전무한 편이며, 1999년 6월 본 저자가 한국정밀화학공업진흥회 주관의 흡수식열펌프 워크샵에서 소개한 후 국내의 연구소 및 회사들로부터 많은 관심을 받고 있는 실정이다. 기존의 경우 그림 1(a), 그림 1(b)에서와 같이 발생기, 응축기, 증발기 및 흡수기를 동일한 장소에 위치시켜 열수 또는 냉수를 현열수송방식으로 이동시켰다. 이 경우 현열수송에 의한 거대한 펌프동력이 요구되며, 그에 따라 에너지의 장거리수송에 어려움이 있다. 현재 국내의 한국지역난방공사의 에너지수송설비 상황을 보면, 지역난방시에 115℃의 열수를 약 10km 이내로 수송하여 난방 후에 55℃의 온수를 열병합발전소

로 회수하고 있다. 이 경우 수송관은 0.85m의 탄소강에 약 15cm의 값비싼 단열재를 입혀서 사용되므로 현열수송에 의한 거대한 펌프동력이 요구되며, 에너지의 장거리수송에 어려움이 있는 실정이다. 따라서 위 기술이 향후 현대사회의 기반이 되는 집단에너지 산업, 공기조화/냉동산업, 의료품저장산업, 식품공정산업, 레이저산업, 제철산업, 원자력산업, 분리공정산업 등에 광범위하게 적용되기 위해서는 a) 100km 이상의 장거리수송이 가능하고, b) 거대한 펌프동력을 획기적으로 줄이고, c) 수송관의 초기설치비 및 유지비가 최소화될 수 있는 혁신적인 에너지 수송/변환기술이 필요하다.

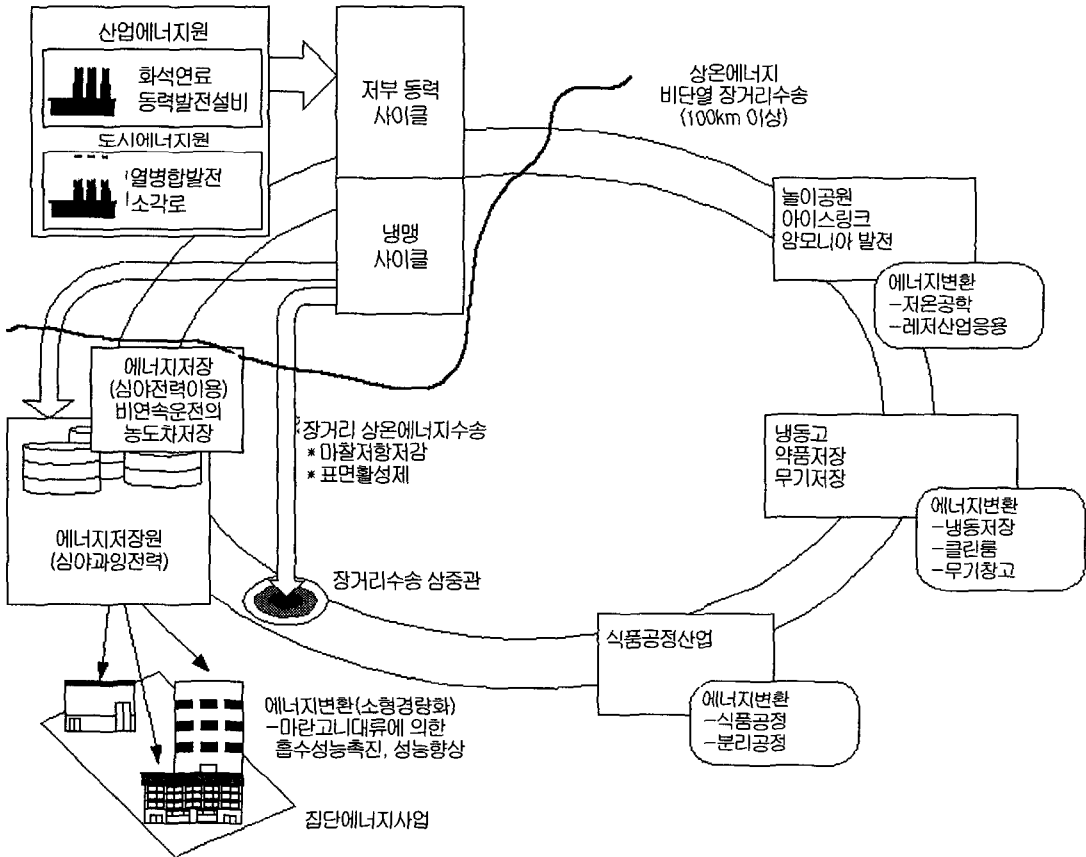
그림 2에 이성분 혼합물(암모니아/물)을 이용한 상온에너지 수송/변환기술의 산업기반성 및 적용분야가 나타나 있다. 그림에서처럼 공급측에서 산업에너지원(화석연료, 동력발전설비 등) 및 도시에너지원(열병합발전, 소각로 등)의 일부는 암모니아/물을 작동유체로 하는 동력발전사이클(topping cycle)의 저부동력사이클(bottoming power cycle)을 구동하여 전력을 발생하고, 일부는 열펌프/냉동사이클을 구동하여 상온에너지 장거리수송/저장/변환에 이용된다. 삼중관으로 구성된 비단열 장거리수송관은 이성분 혼합물의 용액을 상온에서 수요측로 수송하여 심야전력을 저장하는 에너지 저장센터, 지역난방센터, 식품공정산업, 냉동저장산업, 의료품/무기보관센터, 레이저산업센터 등 각각의 요구조건에 따라 활용되도록 한다. 따라서 본 상온에너지 수송/변환기술은 차세대 환경친화형 신도시 개발에 필요한 제반 에너지 관련 산업에 모두 이용되는 확고한 산업기반성을 가지고 있다.

<표 1> 에너지 수송방법의 비교

수송기술	기존의 방법	상온에너지 수송/변환
수송/변환 방법	엔탈피차에 의한 현열수송	농도차에 의한 잠열수송
특징	<ul style="list-style-type: none"> • 상온/저온상태로 에너지가 수송 되므로 약10cm 두께의 단열재가 필요함. • 현열수송이므로 거대한 펌프동력이 필요함. • 열병합발전소의 열에너지수송의 경우 약 10km 정도까지 수송이 가능함. • 물을 수송매체로 사용하므로 환경에 친화적임. 	<ul style="list-style-type: none"> • 상온에서 에너지를 수송/변환하므로 비싼 단열재가 필요없음. • 이성분 혼합물의 농도차, 즉 잠열에 의한 에너지 수송이므로 수송관의 직경을 기존의 현열수송에 비하여 약 1/10로 줄일 수 있음. • 수송매체의 양이 현열수송에 비하여 약 1/20로 줄어들어 장거리 수송이 가능함(100km 이상). • 환경친화적인 이성분 혼합물(물/리튬브로마이드 또는 암모니아/물)을 수송매체로 사용하므로 환경문제가 전혀 없음.

기대효과

국내 연구개발투자 현황 및 전망 : 2001년도 국내의 에너지사업 지원예산이 지난해 1조 8,830억원에서 12.9% 증액된 2조 1,261억원으로 지난 2000년 12월 27일 국회 본회의에서 최종적으로 확정되었다. 정부는 에너지 절약사업 지원을 대폭 확대하여(2000년도 5,467억원에서 2001년도 6,548억원으



[그림 2] 상온에너지 수송/변환기술의 산업기반성

로 19.8% 증가) 공공기관, 산업체 및 일반가정 등 사회 전 분야에서 에너지의 효율적 사용을 유도하고 있다. 또한 집단에너지 공급사업 지원도 지속적으로 확대하여 (2000년도 2,237억원에서 2001년도 2,277억원) 마포 상암지역을 신규공급지역으로 확정하였고, 용인, 대구, 청주 안산 등지의 공급구역을 확대하기로 결정하였다. 에너지기술개발에 대한 지원도 크게 확대하여 (2000년도 482억원에서 2001년도 620억원으로 29% 증가) 대체에너지 기술개발 (197억원), 에너지 절약기술개발 (214억원)을 중점 지원할 것으로 발표되었다(에너지관리공단제공, 2000년). 따라서 정부차원에서 향후 5년간 집단에너지 공급분야에만 매년 2,277억원씩 약 1조원 이상이 투자

될 것으로 예상되며, 기술개발분야에도 매년 약 620억씩 총 3500억원 이상이 투자될 것으로 예상된다.

향후 기대효과

제안된 상온에너지수송/변환기술은 전력수송산업, 공기조화/냉동산업, 의료품/무기 보관산업, 식품공정 산업 및 레저산업 등에 응용 가능한 에너지분야의 기반기술로서 앞에서 언급된 세 가지 핵심기술요소, 즉 상온에너지수송, 농도차에 의한 잠열장거리수송, 화학첨가제에 의한 에너지변환 촉진기술로 이루어진다. 현재 국내에는 에너지수송/변환 분야에서 수 십개의 관련 대기업 및 중소기업들이 있고, 현열수송의 경우 99년말 기준 집단에너지사업은 지역난방부문의 6개

사업자(18개 지역)와 산업단지부문의 16개 사업자(17개 사업장)에서 운영중이며, 지역난방부문은 912천호의 공동주택 및 1,977개의 빌딩, 산업단지부문은 484개 업체의 집단에너지설비에서 이용되고 있다(표 2 참조).

국내의 경우 1985년 지역난방공사가 설립되어 분당, 서울 강서지역, 안양 등지에서 본격 가동중이며 2001년에는 집단에너지에 의한 난방공급율을 15% (180만호)로 목표를 설정하여 전국적으로 확대 보급 중이다. 이러한 에너지 수송/저장/변환기술의 여러 가지 장점 및 상업성에도 불구하고 거대한 초기자본 투자비는 해결되어야 할 가장 큰 문제점이다. 막대한 초기 시설투자비는 에너지원과 에너지 수요처의 장거리를 펌프동력에 의해 보내야 하므로 거대한 펌프, 단열재, 파이프 및 열교환기가 필요하기 때문이다. 따라서 초기 투자비를 줄일 수 있는 획기적인 수송/변환기술이 요구된다.

핵심기술

연구의 핵심기술

• 핵심연구기술

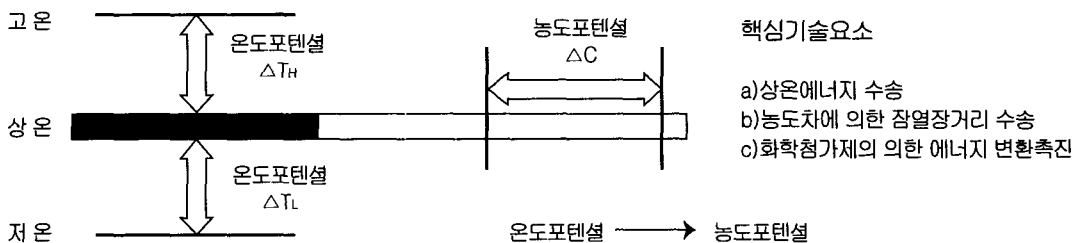
본 연구에서 개발되는 상온에너지수송/변환 기술은 a) 상온에너지 수송, b) 농도차에 의한 잠열수송 c) 화학첨가제에 의한 에너지변환촉진이라는 세 가지 핵심연구기술을 포함한다 (그림 3).

요약하면 첫째, 상온에너지 수송은 온도에너지 포텐셜이 없는 상온의 상태에서 에너지/물질의 수송을 가능하게해 단열재가 없는 수송관을 이용할 수 있어서 장거리수송관의 설치 및 유지비가 획기적으로 줄어들게 하는 핵심기술이다.

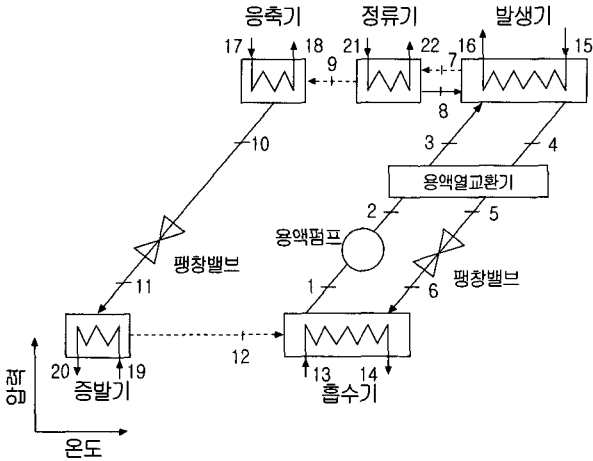
둘째, 이성분 혼합물의 농도차에 의한 잠열수송은 수송매체의 양을 현열 수송에 비해 약 1/20 이하로 줄여 펌프동력을 획기적으로 줄이고, 기존 현열수송법의 가장 큰 한계(장거리수송의 어려움)를 극복하여

<표 2> 에너지수송/변환기술의 국내운용실적 (에너지관리공단 제공, 2000년)

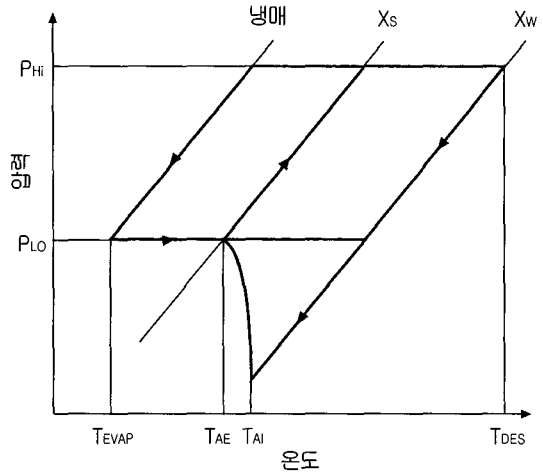
지역	도입회사	내용 및 적용기술요소
마포상암	지역난방공사 '99년9월	난지도 쓰레기매립장의 매립가스와 마포자원회수시설의 쓰레기소각열을 활용하여 마포상암지구와 인근지역의 공동주택 약16천여호에 지역난방열을 공급.
부산정관	현대건설(주) '99년12월	부산정관지구에 열병합발전설비를 설치하여 정관지구내의 약28천여호의 공동주택과 건물에 지역난방열과 전력을 직접공급.
포항	포항제철(주) '99년11월	포항제철소의 기존 소결공정에서 발생하는 배열을 이용하여 효자주택단지 약5천여호와 공공건물등에 지역난방열 공급.
인천논현	대한주택공사 2000년5월	논현지구에 열병합발전설비를 설치하여 지구내 지역난방열을 공급.
용인동백	(주)삼천리 2000년5월	열병합발전설비를 설치하여 동백, 구갈3, 구성, 보라지구에 지역난방열을 공급.
여천단지	LG석유화학(주) 2000년5월	납사분해공정에서 발생하는 고압증기를 이용하여 열과 전력을 생산.



[그림 3] 상온에너지 수송/변환기술의 핵심기술요소



[그림 4] 암모니아/물 단효용 STA 사이클



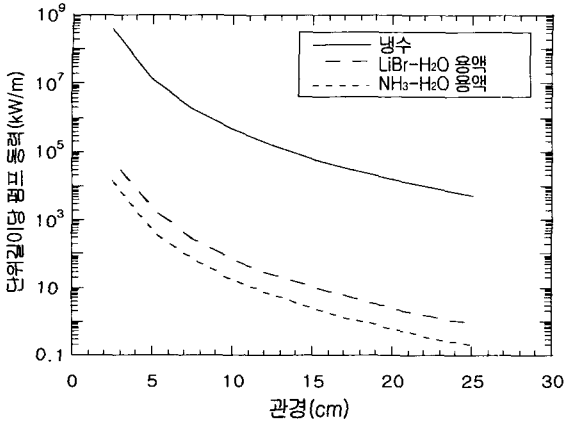
[그림 5] STA 사이클 PTX 선도

장거리수송이 가능하게 하는 혁신적인 요소기술이다. 예를 들면 암모니아/물의 경우 17,500 kW의 에너지를 10cm 직경의 수송관으로 약 100km 이상까지 장거리수송이 가능한 것으로 보고되었다. 이는 인천 및 서해안 지방의 공장산업지대에서 발생하는 에너지를 수도권 일산 및 분당지역으로 장거리 수송하여 환경에 친화적인 차세대 에너지/물질 순환형 신도시를 개발하는데 핵심적으로 이용될 수 있는 기술이다.

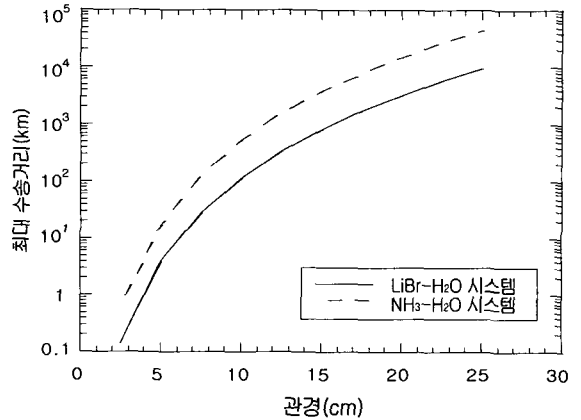
셋째, 화학첨가제에 의한 에너지변환 촉진은 이성분 혼합물에 화학적 첨가제를 부가하여 표면장력의 불균형으로 인한 마란고니 대류를 발생시켜서 열/물질전달을 획기적으로 증가시키는 기술이다. 본 연구실에서는 이미 이에 대한 이론을 국제적으로 공인 받아서 레디컬-아웃 모델 (radical-out model) 이란 이론을 발표하였다. 레디컬아웃현상은 암모니아의 흡수과정에 의해서 암모니아 수용액과 결합해있던 첨가제의 알킬기 (radical)가 떨어져 나와 흡수표면으로 이동하는 현상을 의미한다. 본 이론은 이성분 혼합물의 열 및 물질전달 성능촉진을 위한 핵심기술로 초소형 열교환기설계, 고온열기기의 냉각장치설계, 컴퓨터 칩 냉각장치설계 등에 기본적으로 응용되는 기술이다.

사이클모사 및 PTX 선도

그림 4에 나타나 있는 암모니아/물 STA (Solution Transportation Absorption) 사이클의 모사를 수행한다. 암모니아/물 사이클의 흡수기 입구 및 출구의 온도를 상온까지 내리기 위하여 용액열교환기의 용액 펌프사이에 제 2의 열교환기를 설치하여 흡수기입구 온에 따른 성능의 변화를 예측한다. 또 각각의 열교환 부품들의 UA 값이 성능과 용량에 미치는 영향을 고려하여 성능과 용량면에서 최적의 장거리 에너지수송용 열펌프를 개발한다. 작동유체로는 물/암모니아의 이성분혼합물을 선정한다. 각 구성 부품에 대하여 UA/LMTD 방법을 이용하여 각 열교환기들의 UA 값과 적절한 열적 조건들을 초기값으로 설정하여 모사를 수행한다. 초기치가 잘못 추정이 되면 전체 시스템이 수렴하는데 시간이 걸리거나 문제가 발생하므로 경험적으로 가장 적절한 초기값들을 선택하는 것이 중요하다. 그림 5에 STA 시스템에 대한 PTX 선도가 나타나 있다. 기존의 단효용 사이클에서는 흡수기 출구입구온도가 팽창과정후에 저압측의 포화온도에서 설정되나 STA 사이클에서는 대기온도까지 하강된 후에 유입되어 수송관의 단열처리가 필요없게 된다. 그림 6과 그림 7에 5,000 냉동톤의 사이클모사 결과로서 환경에 따른 단위길이당 펌프동력과 최대 상온



[그림 6] 관경에 따른 단위길이당 펌프동력



[그림 7] 관경에 따른 최대 수송거리

에너지 수송거리가 각각의 작동유체에 대하여 나타나 있다. 단위길이당 펌프동력은 NH₃/H₂O의 작동유체가 H₂O/LiBr의 작동유체보다 적게 드는 것으로 계산되었고, 10cm의 관경에 대하여 NH₃/H₂O 시스템과 H₂O/LiBr 시스템은 각각 최대 100km 및 150km 이상 수송가능한 것으로 계산되었다.

으로 이 세가지 비용을 합한 총투자비가 최소가 되도록 열배관 관경을 선정해야 한다. 열배관 유지보수와 펌프구매비 등도 총투자비에 포함되나 이들은 관경증감에 관계없이 일정한 값이라고 본다. 1년을 기준으로 이 세가지 비용을 수식화 하면 다음과 같다.

펌프동력 계산 및 경제성평가

최적수송관경 초기투자비 계산

지역난방 열배관의 총투자비는 열배관 초기투자비, 열손실 비용, 동력비의 합으로 생각할 수 있다.

$$I_{tot} = I_{ini} + I_{loss} + I_{power}$$

I_{tot} : 총투자비, I_{ini} : 열배관 초기투자비,

I_{loss} : 열손실 비용, I_{power} : 펌프 동력비

이 세가지 비용요소는 열배관의 관경과 직접적인 관계가 있다. 일반적으로 배관경을 크게 할 경우 자재비와 공사비등 초기 투자비가 커지고 배관의 표면적 증가에 따라 열손실이 커지는 반면에 관내 압력손실이 적어지므로 펌프동력비가 적게 소요된다. 세 비용요소중 열배관 초기투자비는 일회적인 투입비용이며 열손실 비용 및 동력비는 수명기간 동안 계속 투입되는 비용이다. 따라서 계획기간(예를들어 1년)을 기준

• 초기 투자비(원/년)

열배관 표준단가표상의 값에 감가율을 곱하면 1년을 기준한 단가인 관경별 연간 표준단가(원/년.관로 m)를 얻을 수 있다. 관경별 연간 표준단가 y 와 열배관 내경 d 의 함수관계를 구할 수 있는데 여기서는 그 관계를 2차식인 $y = a + bd + cd^2$ 으로 한다. 물론 차수를 높일수록 y 와 d 의 더 정확한 관계를 구할 수 있겠으나 2차식의 경우에도 어느 정도 정확성을 갖는다. 여기서는 관로길이 l , 내경 d 인 배관 2열(공급/회수관)에 해당하는 연간 투자비는 $(a + bd + cd^2) \times l$ 이 된다. 따라서 열배관망 전체에 대한 1년간의 투자비는 다음과 같다.

$$I_{ini} = \sum_i (a + b d_i + c d_i^2) l_i$$

d_i : 임의의 열배관의 내경(m)

l_i : 임의의 열배관의 관로길이(m)

a, b, c : 열배관 관경별 표준단가와 감가율로 정해

지는 값 (a : 원/년.m , b : 원/년.m² , c : 원/년.m³)

• 열손실 비용(원/년)

단위 열손실량(kcal/hr.관로 m)은 연평균 공급/회수/지표온도를 일정한 값, 예를 들어 100/60/13°C로 할 때 지역에 관계없이 동일한 값이나 열량가격이 서로 다르기 때문에 연간 열손실 단가(원/년.관로 m)는 지역마다 다르게 된다. 연간 열손실 비용도 위 1)항의 표준단가처럼 환경이 커질수록 점증하는 형태를 보이므로 지역별로 환경과 연간 열손실 비용의 관계를 2차함수인 $y = \alpha + \beta d + \delta d^2$ 로 구할 수 있다. 따라서 전체 배관망에 대한 연간 열손실 비용은 다음과 같이 표현된다.

$$I_{loss} = \sum_i (\alpha + \beta d_i + \delta d_i^2) l_i$$

α, β, δ : 지역별 연간 열손실 단가로 정해지는 값(α : 원/년.m , β : 원/년.m² , δ : 원/년.m³)

위의 과정을 통하여 장거리 수송용 배관을 가지는 상온에너지 수송/변환 시스템에 대한 초기 투자비와 배관망에 대한 연간 열손실 비용을 계산한다.

수송배관의 펌프동력 및 환경조정

• 펌프 동력비(원/년)

펌프의 구동에 필요한 동력은 유량을 M , 양정을 h , 중력가속도를 g , 펌프와 전동기의 총효율을 η_p 라 할 때 Mgh/η_p 가 된다. 지역난방 펌프의 유량과 양정은 계절별, 시간대 별로 다르므로 1년을 통하여 매 시간 마다의 유량 및 양정을 찾아 동력을 구하는데는 어려움이 따른다. 따라서 먼저 신도시 지역난방의 그간의 운전실적을 토대로 침두부하시의 펌프유량과 매월의 평균유량의 비를 월별로 구한 다음, 경제성을 평가하고자 하는 지역의 침두부하 유량(M_p)에 앞에서 구한 월별비율을 곱하여 월별 평균유량(M_i)를 구하는 방법을 사용한다. 또 난류유동에서 레이놀드수의 영향을 무시할 때 손실수두는 개략적으로 유량의 제곱과 비례하므로 월평균 펌프양정은 $(M_i^2/M_p^2)x$ (침두시 펌프양정)의 관계를 이용하여 구한다. 배관망 전체를

동일한 압력손실 기준으로 설계할 때 배관망의 압력 손실은 유체가 열원으로부터 가장 먼거리의 수용가까지 왕복하면서 발생하는 압력손실에 가장 먼 수용가에서 필요한 최소차압을 합한 값이 된다. 펌프의 필요 양정은 이 배관망 압력손실에 소내손실을 더한 값이 되므로 이들을 종합하여 1년기준의 펌프 동력비를 구하면 다음과 같다.

$$I_{power} = \frac{\phi [(2xl' + h' \rho g) \sum_i \frac{M_i^3 \tau_i}{M_p^2} + h'' \rho g \sum_i M_i \tau_i]}{1000 \rho \eta_p}$$

ϕ : 단위 동력비(원/kWh)

l' : 열원에서 가장 먼 수용가까지의 거리(m)

h' : 침두부하시 압력손실(m)

M_i : 월별 펌프유량의 평균값 (kg/s)

M_p : 침두부하시 펌프유량 (kg/s)

τ_i : 월별 펌프 가동시간

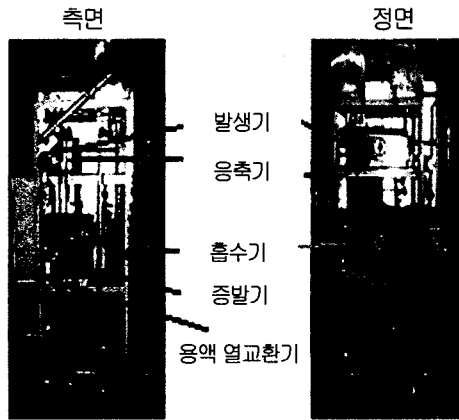
h'' : 가장 먼 수용가에서 필요한 최소차압 (m)

η_p : 펌프와 전동기의 총효율

따라서 모든 수용가의 열부하와 공급/회수 온도차 등이 정해져 있을 때 열배관 표준단가, 열손실 단가, 단위 동력비, 펌프효율 등 기타변수를 고정된 값으로 보면 총투자비 I_{tot} 은 열배관 단위 길이당 압력손실 x (Pa/m)만의 함수로 표현할 수 있다. 즉, $I_{tot} = F(x)$, 이 식을 이용하면 총투자비 I_{tot} 값을 최소로 하는 단위 길이당 압력손실 x (Pa/m)를 찾을 수 있다.

예비연구결과

위의 이론적 원리를 바탕으로 본 저자는 일본 Ebara Corp. Inc. 의 재정적 지원으로 일본 동경농공 대학 공학부에서 용액수송용 흡수식 냉동기 (STA, solution transportation absorption chiller) 로 단일 효율 리튬브로마이드 시스템을 설치하여 실험을 하였다. 그림 8에 본 연구를 수행한 단일효율 실험장치가 나타나 있다. 표 3에 예비실험 결과가 정리되어 있는데 냉방성적계수는 약 2kW의 용량에 대하여 약 0.6 으로서 본 연구의 목표치인 0.7 에 다소 미치지 못하



[그림 8] 기존의 장거리수송용 단효용 LiBr/H₂O 예비실험장치

고 있다. 본 예비 실험에서는 아직 각 구성 부품의 최적화를 위한 감도분석이나 경제성 평가 및 실제 장거리 수송용 흡수식 열펌프로서의 성능은 아직 평가되지 못하고 있다. 암모니아-물의 작동유체에 대한 비교 분석도 이루어지지 못한 상태이다.

결론

본 연구에서는 지속가능한 차세대 환경친화형 신도시를 구축하기 위한 기초연구로서 이성분 혼합물인 자연냉매를 (암모니아/물) 이용한 상온에너지 수송

<표 3> 예비실험결과

온도(°C)	열원온도 : 84°C 냉각수온도 : 32°C	열원온도 : 95°C 냉각수온도 : 32°C	열원온도 : 95°C 냉각수온도 : 32°C
성적계수(COP)	0.59	0.63	0.57
용량(kW)	1.58	2.27	1.80

및 변환시스템을 소개하였다. 구체적인 적용가능시스템으로는 집단에너지냉난방시스템이 있다. 본 연구에서 소개된 상온에너지수송/변환 기술은 온도에너지 포텐셜이 없는 상온의 상태에서 에너지/물질의 수송을 가능하게해 단열재가 없는 수송관을 이용할 수 있어서 장거리수송관의 설치 및 유지비가 획기적으로 줄어들게 하는 잠열에너지 수송방법이다. 따라서 수송매체의 양을 현열 수송에 비해 약 1/20 이하로 줄여 펌프동력을 획기적으로 줄이고, 기존 현열수송법의 가장 큰 한계 (장거리수송의 어려움)를 극복하여 장거리수송이 가능하게 하는 새로운 기술이다. 예를 들면 암모니아/물의 경우 17,500 kW의 에너지를 10cm 직경의 수송관으로 약 100km 이상까지 장거리수송이 가능할 것으로 보고되었다. 이는 인천 및 서해안 지방의 공장산업지대에서 발생하는 에너지를 수도권의 일산 및 분당지역으로 장거리 수송하여 환경에 친화적인 차세대 에너지/물질 순환형 신도시를 개발하는데 핵심적으로 이용될 수 있을 것으로 기대된다. ★