

냉방부하 수요 창출을 통한 효율적 에너지 관리방안 연구

우 남 섭, 김 용 기, 이 태 원*

한국건설기술연구원 화재및설비연구센터

A Study on the Cooling Load Generation for Efficient Energy Management

Nam-Sub Woo, Yong-Ki Kim, Tae-Won Lee*

Fire & Engineering Services Research Dept., Korea Institute of Construction Technology, Gyeonggi 411-712, Korea

ABSTRACT: Demand for the highly efficient and high performance urban energy supply system having been continuously increased according to the rise of quality of life and continuously increased energy cost all over the world. The district heating and cooling system is very effective way for energy saving, cost reduction, and demand side management of energy. There are several district cooling supply technologies such as chilled water direct transportation, installation of absorption type chiller in the user side, and desiccant cooling. This study investigates the advantage and technical problems of each district cooling technology. Also, it is necessary political and financial support system for the extension of district cooling system.

Key words: District heating and cooling(지역냉난방), Community energy supply(집단에너지사업), Combined heat and power(열병합발전), Desiccant cooling(제습냉방)

1. 서 론

집단에너지사업은 가정 및 상업부문의 에너지 이용효율 향상을 위하여 집중된 에너지 생산시설에서 생산된 열과 전기를 주거와 상업지역내 다수의 사용자에게 일괄적으로 공급하는 사업으로써, 에너지 이용효율 향상과 연료사용량 절감은 물론 집중적인 환경관리로 대기환경 개선효과도 얻을 수 있는 것으로 보고되고 있다. 집단에너지사업의 이러한 장점은 고유가 상황에 대한 대처 및 기후변화협약 등 국제적 환경규제에 대한 효과적 대응으로 크게 기여할 것으로 기대된다.⁽¹⁾

최근 국민소득 향상에 따라 보다 쾌적한 주거 환경에 대한 욕구가 증가함에 따라 여름철 냉방 및 가전기기의 사용이 급증하게 되어 여름철의 냉방전력이 지속적으로 급증하고 있다. 이에 따라 전력사업의 효율성을 크게 악화시키고 있다.

특히 지금까지 국내의 도시개발은 주택의 수요에 부응하여 주거용 건물의 대량 공급을 위한 신도시의 건설의 진행되어 왔다. 또한 주거용 건물이 매우 큰 비중을 차지하는 이들 지역에 중온수를 공급하여 동절기 난방을 수행하는 지역난방시설을 채택함에 따라 하절기에는 개별 전기냉방기를 이용하여 냉방을 수행하게 됨으로써 냉방용 전력부하가 크게 증가되는 결과가 초래되었다.

결과적으로 동고하저의 가스 및 열부하와 하고 동저의 전력부하 구조가 형성되는 등 도시 내 계절별, 시간대별 원별 부하의 편중현상이 심화되어

*Corresponding author

Tel.: +82-31-369-0502; fax: +82-31-369-0540

E-mail address: twlee@kict.re.kr

왔다. 따라서 열부하가 상대적으로 큰 동절기에는 복합화력발전을 수행한 후 배출되는 배열을 이용하여 난방을 수행하게 되므로 비교적 높은 시스템 효율과 부하율을 보이는 반면, 전력부하율이 특히 높은 하절기에는 발전배열의 이용율이 극히 저조하여 낮은 시스템효율과 부하율을 가지게 되어 결국 연간 부하율 및 에너지의 종합이용효율을 저하시키는 주요 원인이 되고 있다.⁽²⁾

이와 같은 국내 전력수요 패턴과 열수요 패턴을 감안하면 하절기 지역난방 수요 창출은 Fig. 1에 보이는 바와 같이 집단에너지시설의 이용효율을 높이는 것은 물론 피크전력 수요를 낮출 수 있는 방안이다.

지역난방의 열병합발전 비중이 점차 증가하는 국내의 추세로 비추어 볼 때 하절기 열병합발전의 가동률을 높이고, 더욱이 국내의 동하절기 열수요 편차로 인해 하절기에는 집단에너지설비의 가동 중에 발생하는 배열 중 상당한 양이 버려지고 있는데 이를 제대로 활용할 경우 국가 전체적으로 에너지 효율 향상은 물론 집단에너지사업의 수익성을 개선시킬 수 있다.

세계적으로 지역난방의 발전방향을 살펴보면 일단 지역난방이 보급되면 그 후 급속도로 확대 보급되며, 냉방부하의 증가와 비례하여 보급이 확대되었다.

지역난방은 효율적인 에너지 사용으로 인한 에너지절감은 물론 소각열 등 미활용에너지 이용, 하절기 냉방전력 대체에 의한 피크전력부하 완화,

중양집중식 환경오염처리로 인한 환경보호, 효율적인 유지관리 등 많은 장점⁽³⁾을 가지고 있기 때문에 지역난방의 확대를 위해서는 지역난방처럼 고시로 도입을 의무화하거나 설치비를 지원하는 등의 정책적 지원이 뒤따라야 한다.

2. 현황 및 문제점

복합화력 열병합발전의 경우 전력과 열의 월별 생산실적을 보면 1999년의 경우 Fig. 2에 보인 바와 같이 1월~5월까지와 10월~12월까지는 열부하 추종운전을 하여 전기와 열 생산량이 동일한 패턴을 보이지만, 6월~9월 사이의 하절기에는 전력수요에 대응하여 전력생산을 한 후 많은 양의 발전배열이 버려지고 있다. 따라서 열병합발전시설의 에너지 이용효율은 동절기와 중간기에는 70% 이상이지만, 하절기에는 45% 내외로 떨어지면서 전체 에너지 이용효율을 저하시키는 결과를 초래하고 있다.

반면, 최근에는 Fig. 3의 2006년도 분당지역의 복합화력 열병합발전 운전현황에서 보듯이 그동안 국내 발전소의 발전용량 증가로 전력 예비율이 증가하면서 효율이 낮은 하절기에는 전력생산을 줄여 열병합발전설비의 에너지 이용효율은 과거에 비해 크게 향상되는 것으로 보인다.

하지만 국민소득 증가와 생활수준의 향상과 도시지역의 열섬현상 등의 영향으로 열대야가 빈번해지면서 하절기 냉방부하는 지속적으로 증가하

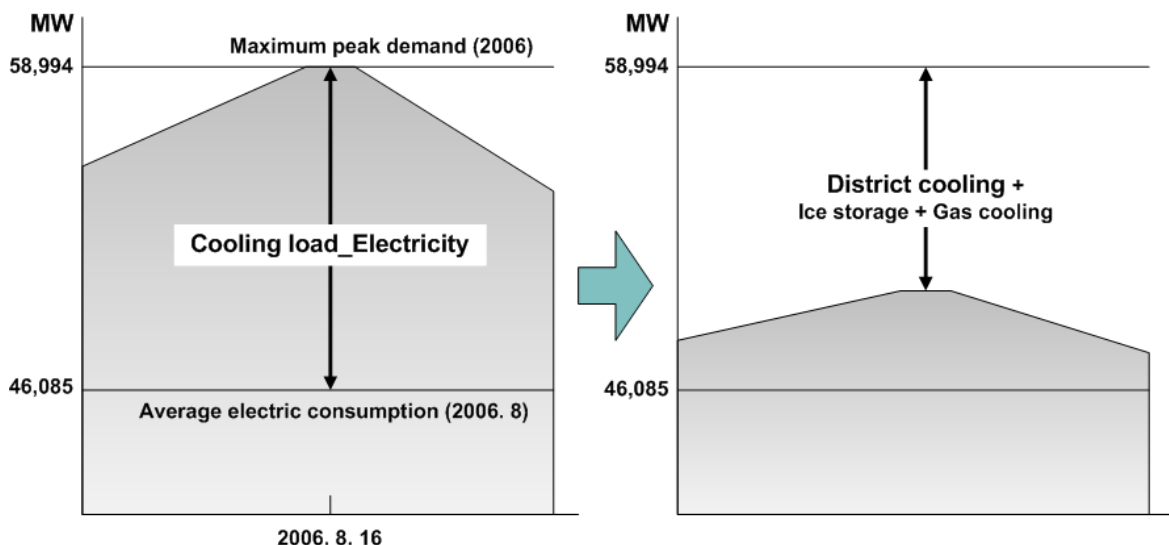


Fig. 1 Reduction plan of maximum peak demand (Korea district heating corp.)

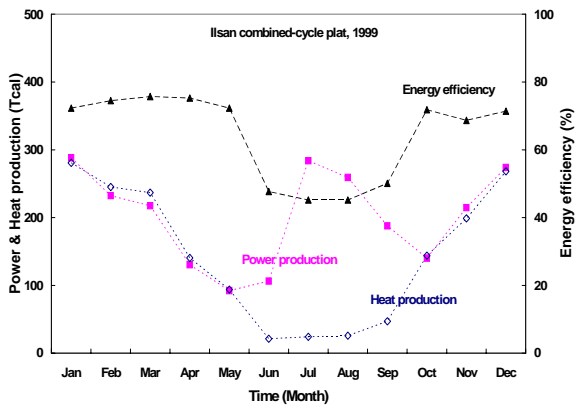


Fig. 2 Operation result of the combined-cycle plant at Ilsan (1999)

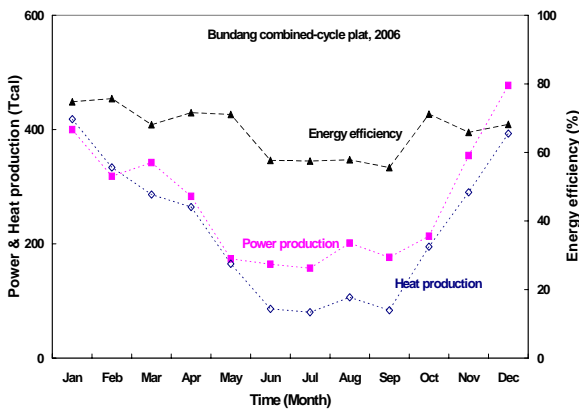


Fig. 3 Operation result of the combined-cycle plant at Bundang (2006)

고 있다. 이에 따라 하절기 전력수요와 전력피크도 Fig. 4에 보이는 바와 같이 크게 증가하고 있다. 특히 7월과 8월에는 급증하는 하절기 냉방부하를 전기가 담당하기 때문에 전력사용량이 급증하게 된다. 전력수요가 특히 많은 대도시 주변의 복합발전시설인 Fig. 3의 경우는 오히려 전력생산이 감소하면서 원거리에 위치한 원자력발전소나 화력발전소에서 전력을 공급받고 있는 실정이다.

따라서 원격지에 있는 원자력발전의 경우 소비자들과 멀리 떨어져 있어 전력생산 후 발생하는 폐열을 이용할 수 없어 전량 바다에 버리고 있고, 송전에 따른 적지 않은 비율(약 5% 정도로 알려져 있음)의 손실도 수반되어 효율이 낮을 수밖에 없다.⁽²⁾ 또한, 900 MW 용량의 발전시설의 낮은 가동률로 인한 투자비 손실과 지속적인 유지관리비용의 발생 등 국가적 차원의 손실이 발생하고 있다.

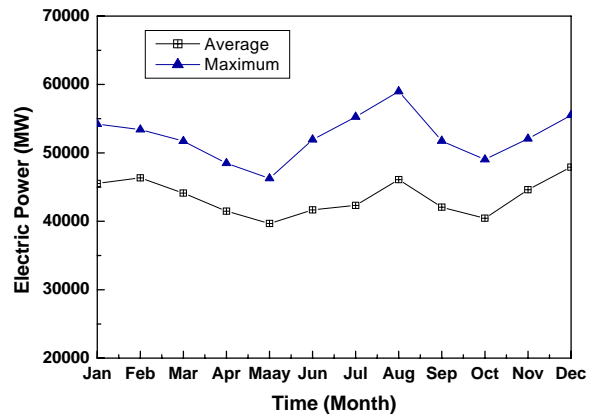


Fig. 4 Electric power load in Korea (2006)

3. 지역냉방 도입 방안

지역냉방시스템은 일정 공간에서 집단적으로 생산된 냉수를 이용하여 개개의 수요처로 공급하는 냉열공급시스템으로 개개의 건물에 냉방을 위한 기계실을 별도로 설치할 필요가 없어서 공간 활용이 자유로워 미국 및 일본뿐만 아니라 국내에서도 상암 DMC에서 지역냉방 사업을 수행하고 있다. 하지만 국내의 지역냉방사업은 아직까지 많은 경험이 축적되지 않았기 때문에 다음과 같은 사항들에 유의하여야 한다.

난방의 경우에 비해 냉방의 경우는 작동유체인 냉수의 설계유량이 훨씬 커서 배관의 직경도 커야 하므로 난방배관만 있는 경우보다 건축면적을 그만큼 더 점유할 것으로 판단된다.

더욱이 난방열교환기나 제어장치 등이 패키징화 되어있어 비교적 관리가 용이한 난방의 경우와 달리 냉방의 경우에는 시스템 규모가 크고 복잡하므로 산술적으로 2배 이상의 문제가 발생할 수도 있을 것으로 예상된다.

또한 냉수배관의 단열과 관련하여 시공상의 실수 등으로 인해 부분적인 결로현상이 발생할 경우 단열효과가 크게 저하될 수 있으므로 단열성능의 유지를 위한 단열재의 재료 선정 및 시공법에 대한 엄격한 관리기준과 방안이 마련되어야 한다.

지역냉방사업의 냉열 공급방식은 다음과 같이 크게 3가지 기술로 구분할 수 있으며, 각 냉열 공급 기술에 대한 연구논문은 국내에서도 많이 발표되고 있는데 각 기술의 주요 특징을 정리하면 다음과 같다.

3.1 냉수 직접공급 방식

냉수 직접공급에 의한 지역냉방 공급방식은 지역난방과 동일하게 사용자가 기계실에 냉방열교환기만을 갖추고 있으면 냉동기, 냉각탑 등이 불필요하게 되어 기계실의 면적 및 배관 면적이 줄어들 뿐만 아니라 옥상의 공원화 등 많은 장점을 가지고 있다.⁽²⁾

집단에너지사업이 도입되는 개발지역은 단계적으로 개발이 이루어지고, 개발지역의 최대부하에 맞추어 열수송 배관을 매설하면 된다. 지역난방을 하기 위해서는 종래의 2관식의 배관방식이 많이 채용되었으나, 냉난방을 겸용할 목적으로는 거의 4관식을 채택하게 된다. 하지만 예상대로 개발이 이루어지지 않으면 과잉투자가 될 수도 있다. 따라서 미래의 냉방수요를 정확하게 예측하지 않고 배관을 매설하여도 매우 큰 잠열을 가지는 아이스슬러리를 이용하여 미래의 냉방수요 변화에 따라 탄력적으로 냉열을 공급할 수 있는 방법⁽⁴⁾도 활발히 연구되고 있다.

상암 DMC 집단에너지사업은 지역난방사업과 병행하여 중앙 냉수생산설비에 의해서 냉수를 생산하여 소비자에게 직접 공급하는 방식을 적용하였다. 주요 시스템 구성은 마포자원회수시설의 소각증기를 이용하여 증기흡수식 냉동기와 터보냉동기를 1:1 직렬 연결하는 방식을 채택하여 3℃의 냉수를 생산하여 공급하고 있고, 추가로 빙축열설비를 도입하였다. (Table 1 참고)

상암 DMC 집단에너지사업에서 지역냉방 공급은 국내 최초로 시행되는 사업으로 냉수에 대한 적정 요금 체계의 확립과 냉방 확대적용에 따른 공사비 분담의 문제 등은 향후 다양한 집단에너지 냉수공급 사업 전개를 위해 원활히 해결되어야 한다.

Table 1 Energy supply system configuration at Sangam DMC³⁾

Classification	Capacity	No.	Total
Absorption chiller	1,500 RT	14	19,500 RT
Turbo chiller	1,500 RT	14	19,500 RT
Ice storage system	12,600 RT	1	12,600 RT
Cooling tower	-	25	48,500 CRT

3.2 흡수식 냉동기 방식

지역난방열을 이용하여 흡수식냉동기에 의해 생산된 냉수를 공급하는 방식의 지역냉방은 냉동기의 에너지원이 전력 또는 가스에서 중온수로 바뀐 것일 뿐 다른 설비는 그대로 사용자의 기계실에 존재하고 있을뿐더러 우리나라 기후 특성상 단위면적당 난방부하보다 냉방부하가 큰 지역에서 동일한 배관 환경으로 중온수를 냉방에 100% 이용하는 것은 불가능하기 때문에 빙축열설비나 터보냉동기 등 다른 냉방열원을 추가로 설치하여야 하므로 진정한 지역냉방이라고 말하기에는 곤란하다.⁽³⁾

중온수를 이용한 건물 냉방은 국내에서도 업무용이나 상업용 건물 등을 중심으로 이미 상당 기간 보급되어 사용되어 왔기 때문에 기술적으로는 충분히 확립되어 있고, 이를 주거용 건물에 확대 적용하는 것은 기술적으로는 큰 문제는 없을 것으로 판단된다.

하지만 저렴한 요금과 함께 지금까지 지역난방의 가장 큰 장점 중의 하나로 홍보되어 온 사항이 보일러가 없어 기계실 면적을 차지하지 않는다는 것이었는데, 육중한 흡수식 냉동기 등이 추가로 설치됨으로써 기존의 장점이 감소될 수 있다. 또한, 냉방시설에 필수적으로 수반되는 냉각탑이 지상 또는 지하에 설치되어야 하며 이때 냉각수의 비산이나 소음발생 등을 고려하여 설치위치와 방법을 신중히 검토하여야 할 것이다.

국내 최초로 공동주택에 지역냉방 공급 시범사업을 수행중인 안산도시개발은 흡수식냉동기를 공동주택 기계실에 설치하여 106세대에 지역냉방을 공급하고 있다. 안산도시개발은 인근 폐기물 소각장으로부터 폐기물 소각열을 활용해 흡수식냉동기를 가동하고 있고, 기존 건물에 지역냉방을 추가하였기 때문에 발코니를 통해 냉수 파이프를 연결하였다.

시범사업이지만 공동주택에 지역냉방이 도입된 후 여름철 전기사용료는 기존 에어컨을 사용할 경우와 비교해서 65% 정도의 전기료를 절감할 수 있는 것으로 보고되고 있고, 고객만족도 조사결과 사용자의 95%가 만족하는 것으로 나타났다.

또한 경기도는 수원과 용인에 걸쳐 개발되고 있는 광교신도시 내 81만 1천 m² 규모에 달하는 공동주택 2만 8천여 세대에 지역냉방을 도입하기

로 결정하였다.

공동주택 지역냉방 도입에 따라 105.6 m²의 아파트의 경우 설치비의 초기투자비용으로 360만원이 추가되고, 기존의 에어컨을 이용한 개발 난방에 비해서 년 운영비가 16만원에서 7만원으로 절감되는 것으로 조사되었다.

광고신도시는 도시계획 초기단계에서는 에너지이용합리화법에 따라 지역난방만을 공급하기로 계획하였으나, 교토의정서에 따른 온실가스 저감과 여름철 피크전력 감소 등의 에너지 효율성 향상을 고려하여 냉·난방을 통합 공급하는 것으로 방향을 선회하였다. 따라서 광고지역 지역냉방시스템의 경우도 개념적으로 지역난방이라기 보다는 지역난방열을 이용한 중앙집중식 냉방시스템이라고 칭하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

다만 도시계획 초기단계에서 토지이용계획에 의한 용도별 건물 연면적과 에너지원별 부하 원단위 및 전력과 열 공급시설의 용량을 함께 고려하여 최적화한다면 냉난방 등 집단에너지 공급시설을 계획한다면 폐열 이용율을 더욱 높임으로써 고효율 시스템의 구축과 국가적 차원의 에너지절약이 가능함은 물론, 설비의 가동율을 높임으로써 시공비 및 운전비를 절감할 수 있을 것으로 사료된다.

3.3 제습 냉방시스템 방식

중온수 흡수식 냉동기를 이용하여 중앙냉방을 공급하는 방식은 열원의 온도가 낮아 성능향상에 제한이 있으며, 온수 및 급탕배관과 별도로 냉수 배관을 추가로 설치하여야 한다. 따라서 90℃ 미만의 저온 열원을 이용하여 효과적으로 냉방을 공급할 수 있으며, 소용량 기기에도 적합한 기술을 개발하여 집단에너지공급의 최말단인 단위 세대에 냉방기를 설치할 수 있는 기술이 필요하다.

제습 냉방기술은 제습기를 이용하여 공기 중의 습기를 제거하여 잠열부하를 처리하며, 건조한 공기에서 물의 증발이 활발히 일어나는 원리를 이용하여 공기의 온도를 낮추어 냉방을 공급하는 기술이다.⁽¹⁾ 일반적으로 흡수제를 이용하는 냉방시스템을 제습 냉방시스템이라고 하는데, 우리나라와 같이 여름철에 고온다습한 지역에서는 그 활용도가 매우 뛰어나다고 할 수 있다.

제습 냉방시스템의 주된 특징은 비교적 저온열

원으로도 간단하게 냉방을 수행할 수 있으며, 기계적 구동부분이 없기 때문에 저소음 및 저진동이며, 냉동기의 용량이 적어도 전력사용량을 절약할 수 있다. 반면 단점으로는 COP가 비교적 낮고, 시스템의 소형화가 매우 어려운 점을 들 수 있다.⁽⁵⁾ 또한, 제습냉방을 채택하는 경우에는 난방순환수에 비해 훨씬 고온인 난방열이 세대까지 공급되어야 하므로 안전, 단열 및 유지관리를 고려한 설계가 필수적이다.

제습 냉방기술은 1980년대부터 연구가 활발히 이루어지기 시작하였지만 현재까지도 산업용이나 저습도가 필요하거나 잠열부하가 매우 큰 특별한 경우에 적용이 한정되어 있으며, 아직 일반 냉방기 시장으로의 진입은 이루어지지 않고 있다. 시장 확대 지연의 주요 원인은 제습 냉방시스템의 설비가격이 기존시스템에 비해 2배 이상 고가이고, 시스템의 부피가 상대적으로 크기 때문이다.

그러나 최근에 유럽, 미국, 일본을 중심으로 관련기술이 계속 개발되고 있고, 최근 국내에서도 지역난방열을 이용한 공동주택에 적용하기 위한 세대별 제습 냉방시스템에 대한 연구가 기업체와 연구소를 중심으로 활발하게 이루어지고 있기 때문에 기존의 냉동시스템에 대한 경쟁력을 점차 높여가고 있다.^(1,6,7) 한국지역난방공사에서도 개발이 완료될 경우 제습식 냉방기를 활용한 보급에 적극 나설 계획으로 알려져 있다.

4. 결론

지역냉방사업의 필요성을 검토하였고 국내에서 적용되고 있거나 활발하게 연구가 진행 중인 지역냉방 공급기술을 살펴보면, 아직까지 완벽하게 모든 조건을 충족시키는 기술은 없기 때문에 지역냉방을 공급하고자 하는 지역의 조건에 적합한 기술을 선택하여 적용하여야 할 것이다.

냉수 직접공급에 의한 지역냉방 공급방식은 지역난방과 동일하게 사용자가 기계실에 냉방열교환기만을 갖추고 있으면 냉동기, 냉각탑 등이 불필요하게 되어 기계실의 면적 및 배관 면적이 줄어들 뿐만 아니라 옥상의 공원화 등 많은 장점을 가지고 있고, 국내에서도 상암 DMC에서 냉수 직공급에 의한 지역냉난방 집단에너지사업이 국내 최초로 시행되고 있지만 냉수배관 유량 설계, 냉수에 대한 적정 요금 체계의 확립과 냉방 확대적

용에 따른 공사비 부담의 문제 등은 향후 지역냉방사업의 활성화를 위해 해결되어야 한다.

지역난방열을 이용하여 흡수식냉동기에서 냉수를 생산하여 공급하는 방식의 지역냉방은 국내에서도 업무용이나 상업용 건물 등을 중심으로 이미 상당 기간 보급되어 사용되어 왔기 때문에 기술적으로는 충분히 확립되어 있고, 국내 최초로 공동주택에 지역냉방을 공급 시범사업을 수행중인 안산도시개발은 흡수식냉동기를 공동주택 기계실에 설치하여 106세대에 지역냉방을 공급하고 있다.

제습 냉방기술은 최근에 유럽, 미국, 일본을 중심으로 관련기술이 계속 개발되고 있고, 최근 국내에서도 지역난방열을 이용한 공동주택에 적용하기 위한 세대별 제습 냉방시스템에 대한 연구가 기업체와 연구소를 중심으로 활발하게 이루어지고 있기 때문에 기존의 냉동시스템에 대한 경쟁력을 점차 높여가고 있다. 따라서 상업적 개발이 완료된다면 지역냉방 도입에 있어 고려하여야 하는 여러 가지 문제점을 해결할 수 있는 기술이 될 수 있을 것으로 판단된다.

지역냉방사업은 효율적인 에너지 사용으로 인한 에너지절감은 물론 소각열 등 미활용에너지 이용, 하절기 냉방전력 대체에 의한 피크전력부하완화, 중앙집중식 환경오염처리로 인한 환경보호, 효율적인 유지관리 등 많은 장점을 가지고 있어 국가적으로도 이득이 되는 사업이지만, 신규 공사의 경우 국내 건설사들은 분양가 상한가 등의 문제로 지역냉방 도입의 필요성을 느끼지 못하고 있다. 따라서 지역냉방사업의 확대를 위해서는 지역난방처럼 고시로 도입을 의무화하거나 설치비를 지원하는 등의 정책적 지원이 뒤따라야 한다.

참고문헌

1. Lee, D. Y., 2006, District cooling method for apartment houses by desiccant cooling technology, Magazine of the SAREK, Vol. 35, No. 9, pp. 19-29.
2. Lee, T. W., Woo, N. S., and Kim, Y. K., 2008, The Future of the Urban Energy and Environmental Plant in Korea, Proceedings of the KSME, pp. 179-184.
3. Jung, S. W., 2006, Design Application of District Cooling by Direct Supply with Chilled Water, Proceedings of the SAREK, pp. 239-244.
4. Lee, Y. P., Ahn, Y. H., and Yoon, S. M., 2006, A District Cooling System using Ice Slurry for the Uncertain Cooling Load of the Future and its Economic Evaluation, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 18, No. 10, pp. 776-782.
5. Choi, K. H., 2006, Understanding of desiccant dehumidifying and cooling system, Magazine of SAREK, Vol.35, No.9, pp. 13-18.
6. Jung, J. D., Lee, D. Y., and Yoon, S. M., 2007, Design of Desiccant Cooling System for the Individual Household of Apartment House Using District Heating, Proceedings of the SAREK, pp. 911-916.
7. Park, S. T, and Cho, S. K., 2004, Development Trend of Desiccant Cooling Technology Proceedings of the SAREK, pp. 157-162.