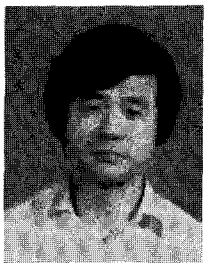
지하 대수층을 이용한 냉·난방 및 공기조화



김양현 〈조선대학교 공업전문대학 건축설비과 교수〉

1. 연구의 필요성

최근 들어 산업규모가 확대됨에 따라 에너지의 소비량이 급증하고 있으며 대부분의 에너지를 화석 연료에 의존하고 있는 실정이다. 그러나 화석연료 대부분이 일부 국가에 편중되어 있으며 그 양마저 한정되어있어 대체 에너지원의 개발이 더욱 절실하게 요구되어지고 있다. 많은 노력과 투자의 대가로 몇몇 대체 에너지원이 개발되고 있으나 그 실용적인 면에서 뚜렷한 성과를 거두지 못하고 있다. 더욱이 최근의 급속한 경제성장으로 사람들이 보다 쾌적한 환경을 요구함에 따라 냉·난방에 많은 에너지 소비가 유발되고 있으며 그 소비량이 증가할 전망이다. 따라서 기존의 공기조화 시스템보다 에너지의 소모가 적으며 그 이상의 효과를 가져올 수 있는 새로운 냉·난방 시스템의 개발에 대한 연구가 큰 관심을 모으고 있다. 이와 관련된 연구는 앞으로의 에너지 소모를 줄이는데 큰 역할을 담당할 것으로 판단되며 학문적으로도 매우 큰 가치가 있다고 판단된다.

지하대수층(Aquifer, 地下帶水層)을 열저장 매체로 활용하는 아이디어가 1960년대 중반에 미국의 알라바마 주립대학에서 제시된 후 미국과 유럽의 여러나라는 이 방법을 이용한 열저장 연구에 많은 관심을 기울여왔다. 미국의 Karkheck등은 지하대수층을 이용한 냉·난방을 통해 최소한 55%의 냉·난방용 에너지를 절약할 수 있다고 하였으며[1], 또한 Anderson등은 이 방법을 통해 미국 전체 에너지 소비량의 약 10%를 절약할 수 있다고 하였다.[2]

지하대수층을 열저장 매체로 이용할 때의 이점으로는 첫째 대부분의 경우 지하에 지하대수층이 형성되어 있으므로 열에너지원이 필요한 곳에서 활용하기가 쉬우며 지하수의 온도와 그 양이 연중 거의 일정하고 단열효과가 매우 좋으므로 저장한 에너지의 대부분을 회수할 수 있다. 또한 시스템 설치 비용 외에 다른 비용(열저장소 설치 등)이 거의 들지 않는다는 점 등이다.

지하대수층을 열저장소로 사용하는 방법에는 크게 두 가지가 있는데 그 하나는 지하수를 가열하여 저장하는 방법이고, 또 하나는 지하수를 냉각시켜 저장하는 방법이다. 가열의 경우 공장이나 발전소 등의 폐열이나 태양열 등을 이용하여 지하대수층으로부터 끌어올린 지하수를 가열하고, 이 가열된 지하수를 다시 지하대수층에 주입시켜 저장하는 것이다. 주입되어 저장된 지하수는 추후 난방이 요구되는 경우 펌핑되어져 열매(熱媒)로서 열교환이 이루어진 후 다시 지하대수층에 주입되어지거나 하수로 방출되어진다. 냉방의 경우 겨울철의 찬 공기를 이용하여 지하대수층으로부터 끌어올린 지하수를 냉각시켜, 이 냉각된 지하수를 다시 지하대수층에 주입시켜 저장하였다가 추후 냉방이 요구될 때 펌핑되어져 열매로서 열교환이 이루어진다.

지하대수층을 이용한 축열시스템은 화석 에너지의 사용량을 줄이고 대기오염을 최소화 하면서도 냉·난방을 충족시킬 수 있다.

지하대수층을 열 저장소로 이용하는 시스템의 구축에는 지질학 분야, 유체 역학분야, 열전달 분야 및 공기조화 분야 등이다. 우리나라의 당면 연구방향은 끌어올린 지하수를 가열 또는 냉각 후 지하대수층으로의 주입량에 대한 지하수의 회수량 비율인 유량 회수 효율과 우물(well)의 크기 및 갯수에 따른 효율관계를

분석하여 가장 효율이 좋은 최적설계를 제시함으로써, 우리나라에 분포되어있는 지하대수층을 열저장소로 이용할 수 있는 지하대수층 축열시스템에 대한 연구의 필요성이 있다.

2. 세계의 연구 동향

지하대수층을 열저장소로 이용한 난방시스템에 대한 연구는 아직 우리나라에서는 본격적으로 시도된 바는 없지만 외국의 경우 많은 나라의 지질학자들과 엔지니어들이 지하대수층을 열저장 매체로 이용하고자 하는 연구에 큰 관심을 기울이고 있다.

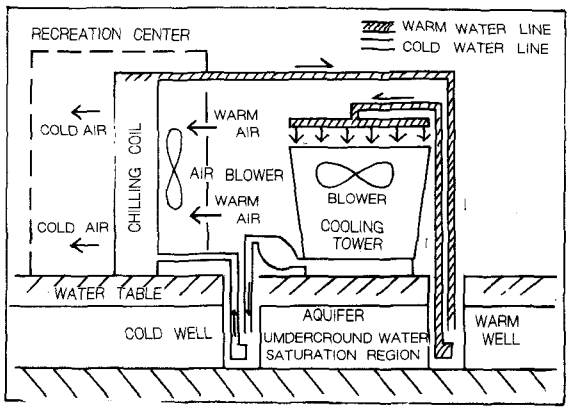
미국의 경우 1960년대 중반에 알라바마 주립대학의 Henry등이 지하대수층을 매체로 한 열저장에 대한 연구[3]를 시작한 후 LBL(Lawrence Berkeley Laboratory)에 의해 1980년대에 PT(Pressure Temperature[2] : 사용 방법이 어려워 널리 보급되지 못함)라는 시뮬레이션 프로그램이 개발되었고, 또한 1980년대 미네소타 주립대학에서는 4번에 걸친 단기 열저장 실험을 수행하였는데 실험에 쓰여진 지하대수층의 열회수비는 매번 증가하여 종래에는 62%의 열회수비를 나타내었다.[4] 냉열저장에 관한 실험은 텍사스 A&M 대학에서 처음으로 실시된 바가 있으며[5] 그후 알라바마 주립대학의 Schaetzle 등에 의해 1970년도 후반부터 실질적인 연구와 응용이 매우 활발하게 이루어지고 있다.[6] 이 연구는 실제로 알라바마 주립대학 주위의 백화점 냉방과 알라바마 주립대학의 공조에도 씌어져 현재까지 100%의 냉방이 이 시스템에 의해 이루어지고 있으며[7] GM산하의 라디에이터 생산공장인 Harrison Plant와 원호병원 알라바마 지부의 새 건물 등이 본 시스템을 이용한 공조방식을 채택하였다. Brown 등은 지하대수층을 이용한 축열시스템에 heat pump를 이용해 열을 저장하는 연구를 한 결과 축열시스템과 heat pump를 병용하는 것이 효율적인 면에서 더 우수하다는 것을 입증하였다.[8]

네덜란드 · 스웨덴 · 덴마크 및 스위스 등 유럽의 여러 나라들과 캐나다 · 중국 등도 지하대수층을 이용한 열저장의 연구에 많은 힘을 기울여왔다. 중국의 경우 상해의 국제공항과 섬유공장의 냉방시설을 이 시스템으로 운영하고 있으며, 이 시설을 통해 연간 81,000톤의 석탄을 절약하고 있다. 캐나다 몬타리오 지방의 스카보로시에서는 2중 구조의 지하대수층을 이용하여 냉각된 지하수와 가열된 지하수를 함께 저장하는 실험을 하였는데 열회수비는 각각 70%에 달했다.[10,11] 덴마크와 프랑스에서도 160C가 넘는 고열을 지하대수층에 저장하는 실험을 행하였는데, 특히 프랑스는 1시간당 약 6500kJ의 열을 저장하는 시스템의 실용화에 성공하였다.

3. 지하대수층을 이용한 축열시스템의 구조

〈그림 1〉은 지하대수층을 이용한 건물의 공기조화 시스템을 보여주고 있는데 이 계통은 세개의 주요요소로 구성된다. 지하대수층으로부터 끌어올린 지하수를 냉각시키는 냉각탑, 냉열을 저장하는 지하대수층 및 열을 교환하는 열교환기가 있다. 지하대수층을 이용한 냉방시스템은 기존의 콤프레서를 이용한 공기조화 시스템과 유사하나 공조를 행하는 구역에서 되돌아 오는 냉수를 다시 냉각시키는 냉동 unit system이 없다는 것이 특징이다.

〈그림 1〉은 지하수 냉각 이용의 경우이지만 가열의 경우에도 냉각탑을 폐열 등을 이용한 가열장치로 바꾸면 지하수를 가열하는데 이용되며, 끌어 올린 지하수를 가열하여 다시 지하대수층에 주입시켜 저장하였다가 추후 난방이 요구될 때 펌핑하여 열매체로서 열교환이 이루어진 후 다시 지하대수층에 주입되거나 하수로 방출된다.



〈그림 1〉 Schematic of a chill ATES system