독일의 천정 복사 냉방 기술

Radiant Ceiling Cooling Technology in Germany

정 시 영
S. Y. Jeong
한국과학기술 연구원

• 1959 년생
• 흡수식 열펌프를 전공하였으며 냉난방시스템에 관심이있다.

약 2년전부터 독일에서는 천정에 냉각요소를 설치하여 복사열을 제거하는 이른바 천정 냉방 시스템이 크게 관심을 끌고있다. 본고에서는 천정 냉방 방식의 원리를 소개하고 독일내의 공조업체들의 개발 현황, 한가지 실시예, 문제점 및 전망에 대하여 다루겠다.

1. 천정 냉방의 원리와 개발 배경

최근 생활 수준이 향상됨에 따라 공조장치에서도 실내공기의 유속과 난류도에 대한 요구조건이 까다로와지고 있다. 현재 공조방식으로 많이 사용되는 난류혼합형 공기 디퓨저에 있어서는 냉방부하가 커질 경우 과다한 공기 유속으로 인한 불쾌감이 유발되는 경우가 많다. 이러한 요인에서 공기의 유동이 거의 없이 냉방을 수행 할 수 있는 복사 냉방 방식인 천정 냉방이 다시 주목을 끌게 된 것이다. 공조시 실내의 부하를 열부하와 오염물질부하로 나누어 생각하면 천정 냉각방식에서는 필요 급기량을 크게 줄일 수 있다. 즉 공조기에서는 실내 오염물질 부하에 따른 필요 신선 공기만을 공급하고 냉방은 주로 천정에 부착된 냉각요소에 의해 수행된다.

천정의 냉각요소는 바닥 난방에서처럼 일부는 복사에 의해 다른 일부는 대류에 의해 냉방을 수행한다. 천정의 냉각요소는 대부분의 경우 수냉식인데 입구 온도 15℃ 정도의 물이 흐르는 동관에 알루미늄 판넬이나 핀이 부착된 형태 또는 합성 수지관이 천정 마무리재속에 심어져 있는 형태등이 있다. 천정 냉각요소와 실내와의 대류가 차단되는 밀폐형 천정 냉방 방식의 경우 총괄 열전달 계수는, 천정 온도와 바닥에서 1.1m 높이에서의 체감온도의 차이를 온도차로 정의할 경우, 9~14 W/m²℃ 정도이다. 이러한 천정 형태는 냉방부하 60~80 W/m²의 사무실에 적합하며 공간의 온도 구배는 1℃/m 이내이다.

대류효과를 높이기 위하여서는 그림 1에서처럼 격자형 천정이나 구멍이 뚫린 판을 이용한 개방형 천정 냉방 방식이 사용된다. 이 경우에는 냉방 능력은 150 W/m²까지 증가하나 온도 구배가 증가하여 쾌적성이 유지되지 않을 염려가 있다.

2. 독일 내의 개발 현황

천정 냉방이 각광을 받게됨에 따라 독일에서

는 약 10여개의 회사가 독자적인 시스템을 경쟁적으로 개발하고 있는데 여기에서는 대표적인 몇가지를 살펴보겠다.

그림 2에 나타난 냉각요소는 수냉식 동관에 알루미늄 핀이 비스듬히 부착된 구조로 되어있다. 제조업체가 제시한 자료에의하면 이 시스템은 평면 면적을 기준으로 최고 130W/m²의 냉방능력을 내고, 실내 공기의 유속은 0.1m/sec이하, 실내온도 편차는 1℃ 이하로 유지할 수

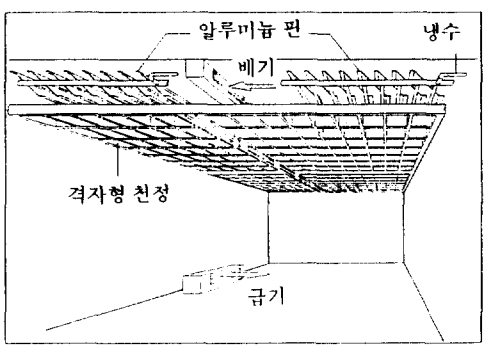

그림 1 개방형 천정냉방 시스템

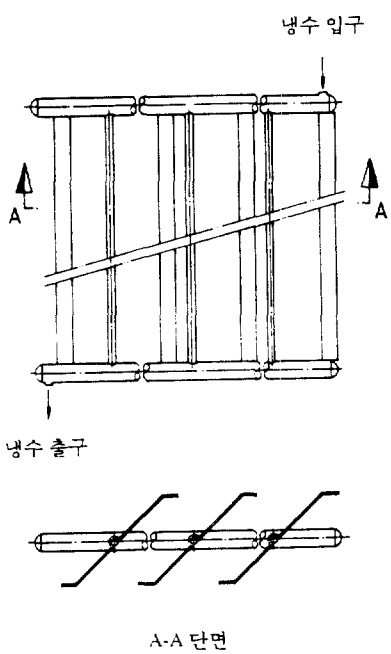

그림 2 동관과 알루미늄 핀으로 구성된 천정 냉각요소

있는 것으로 되어있다.

이 시스템은 그림 1에 나타난 것처럼 격자형 천정 또는 구멍이 뚫린 판형 천정과 조합하여 사용된다.

그림 3에는 천정 냉방 방식과 천정급기 방식을 조합한 시스템이 나타나 있다. 이 시스템에서는 알루미늄 판넬의 단면은 핀 형상을 하고 있으며 그사이로 동관이 지나가게 된다. 이 시스템은 단위 면적당 냉방능력이 크기 때문에 천정 전체에 냉각 요소를 설치할 필요가 없으므로 여러형태의 천정에 유연하게 적용 될수 있다.

그림 4에는 천정 마무리재료 속에 직접 가는 합성수지관이 심어진 시스템이 표시되어 있다. 이 시스템은 제조업체의 자료에 의하면 85W/m²의 냉방능력이 있는 것으로 되어있다. 이와 유사한 시스템으로서 합성수지 모세관을 금속판 위에 설치한후 윗부분은 단열재로 덮어 금속판을 냉각하는 방식도 사용되고 있다.

그림 5의 시스템은 넓은 두장의 알루미늄 판넬사이에 유로가 형성되어있는 형태로서 윗부분에는 단열재가 덮혀있다.

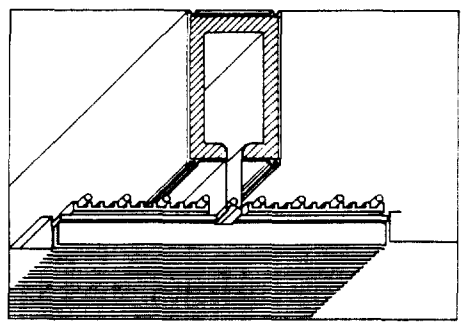

그림 3 천정 냉각요소와 천정 급기방식의 조합 시스템

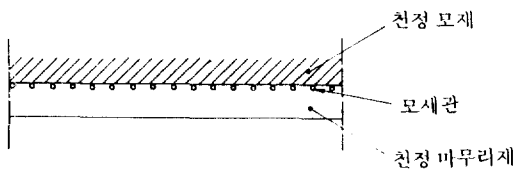

그림 4 모세관형 천정냉방 시스템

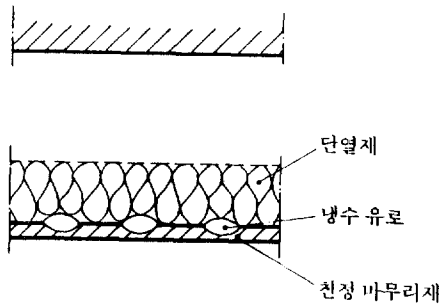

그림 5 판넬 사이에 형성된 냉수유로를 가진 천정 냉방시스템

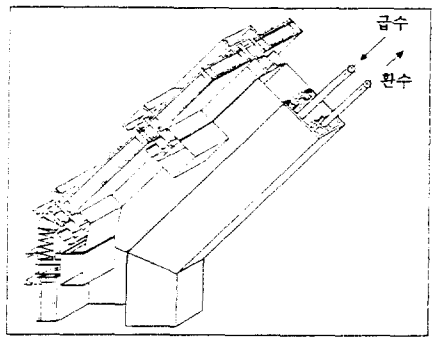

그림 6 유리창틀 형태의 냉각·가열요소

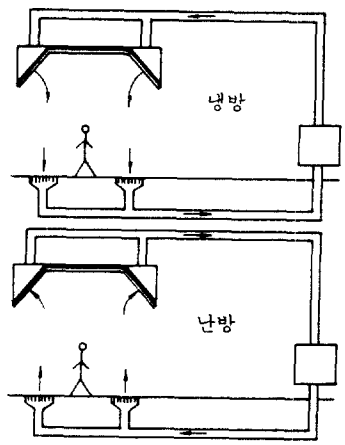

그림 7 천정 복사열전달 요소를 이용한 국소 냉·난방 시스템

복사 냉각면은 천정 뿐만 아니라 건물 전면부의 유리창 안쪽에 설치 할 수도 있다.

그림 6에는 경사진 유리창의 틀 안쪽에 구조물 형태로 구성된 냉각요소가 나타나있다. 냉수가 흐르는 관은 내경 10mm의 동관으로서 이관에 알루미늄 판넬이 부착되어 냉각되게 된다. 이 복사면은 여름철에는 냉방 부하의 일부를 담당하고 겨울철에는 관내로 온수가 흘러 난방을 수행하게 된다. 다른 천정 냉방 시스템도 냉·난방 겸용으로 이용할수도 있는데 이때에는 시스템의 제어등에 대한 고려가 필요하다.

천정 냉방에 대한 연구가 활발해지면서 천정 냉방을 여러 경우에 적용해 보려는 시도가 있었다. 그중의 하나로 그림 7에 표시된 시스템은 천정 복사 열전달 요소와 환기를 조합한 국소 냉난방 방식을 나타낸다. 업무나 제조용 대형 공간에서 좁은 특정 부분만을 작업자에 적합하게 공조할 필요가 있는 경우가 있다. 만약 그 부분을 공간의 다른 부분과 격리해도 무방한 경우에는 문제가 간단하지만 그 부분이 개방되어야 할 경우에는 그림 7의 시스템이 잘 적용될 수 있다. 이 시스템은 여름에는 천정의 복사면에 냉수가 흘러 냉각면으로 작용하고 동시에 구멍이 뚫린 천정으로부터 냉공기가 공급된다. 이 공기는 밀도차에 의한 자연 낙하등에 의해 작업구역으로 하강하여 바닥에있는 배기구로 빠져나간다. 겨울에는 천정의 복사면은 온수에 의해 가열되고 따뜻한 공기는 바닥으로 부터 공급된다. 이렇게 하여 원하는 구역에 대해서만 공조가 가능하고 에너지를 절약할 수 있다.

위에 소개한 시스템이외에도 각 제조업체에서는 수요자의 요구에 맞추어 천정 냉방 시스템을 개발하고 최적화하는데 많은 노력을 기울이고 있다. 현재 주된 개발 동향으로서는 냉각요소에서의 열전달의 최적화, 천정면에서의 온도편차의 감소, 소음 대책등이 연구되고 있으며 천정 냉각과 다양한 급기 방식을 조합하여 부하변동에 관계없이 쾌적성을 보장할 수 있는 시스템을 개발하기 위해 노력하고 있다. 이외에도 천정 냉각 요소를 조명시설, 방음판과 조합하여 종합적인 천정시스템을 구성하려는 시

도도 있으며 천정 냉방의 보급을 위하여 성능 평가에 대한 일관적 기준을 확립하려는 노력이 기울여지고 있다.

3. 실시예

여기에 소개하는 두개의 모델 사무실에 대한 천정 냉방에 대한 실험은 Bonn에 계획중인 의사당 신축 건물을 위해 실시된 것이다. 원래 이 건물의 냉난방 계획은 바닥 난방과 창문 근처의 주변 공조 방식이었으나 대안으로서 냉방능력이 보다 크고 조절 성능이 뛰어난 천정 냉방 방식과 창문 근처에 독립적인 난방 방식이 제시되었다.

천정에서의 응축 현상을 방지하기 위해 외기의 이슬점 온도가 높을 경우에 한하여 제습을 목적으로 환기가 실시되었다.(환기 횟수 : 1회/*h*)

실험 대상 공간은 고압 Induction 방식의 환기 시설이 되어있는 현재 의사당 건물의 사무실로서 천정 냉방 방식으로 개조되어 여름기간 동안 정상적인 근무조건하에서 측정되었다. 두 실험 공간 대상은 동일한 형태로서 6.0m×3.3m의 크기이고 천정 냉각면 까지의 높이는 2.5m이다. 한 사무실은 두 사람이 사용하며 전동 타자기, PC, 레이저 프린터가 각각 2대씩 있고 조명은 중앙 두곳에 위치하고 있다. 두 실험대상 공간에는 각각 다른 형태의 천정 냉방 시스템이 설치되었는데 실험 공간 A에는 그림 8에 나타나 있듯이 가는 합성수지관이 석고판에 심어져있는 형태이고 실험 공간 B에는 그림 9처럼 동관에 알루미늄 판넬이 부착된 방식이 채택되었다. 설치비용상의 문제 때문에 냉수는 수도관으로부터 약 15℃ 정도로 공급되는 물을 사용하였으며 창문이 열렸을 때 생길수도 있는 천정 냉각면에서의 응축 현상에 대한 관찰을 위하여 이에 대한 별도의 대책은 의도적으로 실시하지 않았다.

실험 공간 A의 제어는 실내온도에 따라 두점에서 냉수 공급을 on-off 하므로서 수행되었고 실험공간 B에서는 실내온도에 따른 급수온도의 비례제어 방식을 택하였다.

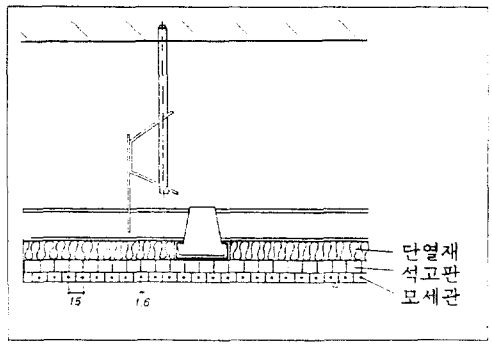

그림 8 실험공간 A의 천정 냉방시스템 (모세관형)

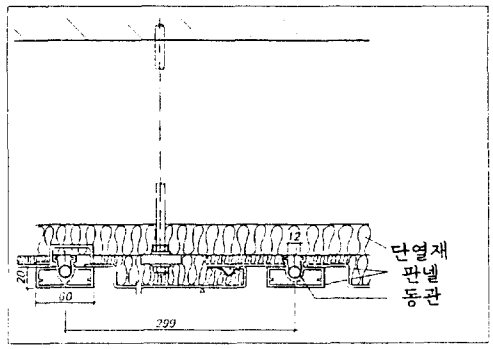

그림 9 실험공간 B의 천장 냉방시스템 (동관+알루미늄 판넬)

실험공간 A에 대한 측정 결과를 보면 실내온도의 측정치가 설정치를 최고 1.5℃까지 초과하는 경우가 있었는데 이는 측정 기간 중에 가장 더웠던 때로서 수도관으로 부터의 급수 온도가 15℃를 초과한 것에 기인한다. 또한 이때에 천정의 가장 차가운 부분은 외기의 이슬점보다 낮게 나타났으므로 응축현상이 나타났을 가능성도 있다. 그러나 측정 기간중 응축 현상을 관찰할 수 없었으므로 환기에 의한 제습이 잘 수행된 것으로 판단되었다.

비례제어 방식인 실험공간 B의 실험 결과도 만족스럽게 나타났으며 응축 현상이 나타날 염려도 on-off 제어에 비해 적은 것으로 나타났다.

이는 혼합 펌프에 의해 급수의 입구 온도가 조절되기 때문으로 방마다 혼합 펌프를 설치하

는 것은 실제에 있어서는 비용문제가 따르게 된다. 그림 10에는 외기 온도가 30℃인 어느날 실험 공간 B의 세 지점에서 높이에 따른 온도 분포를 나타낸 것이다. 실험 결과는 문과 창문은 닫히고 천정 냉방과 제습용 환기가 실시되는 상태에서 정상적인 근무 조건하에서 측정된 것이다. 모든 거주구역내의 평균 유속은 0.1m/s 이하였으며 천정 바로 아래에는 0.1~0.15m/s의 공기유속이 측정되었다. 연기 발생기법을 사용한 유동 가시회의 결과 사구역은 관찰 할 수 없었으며 거주 구역 내에서는 열원(사람 또는 사무기기)에 의해 위로 향하는 유동이 발생하는 것을 알수 있었다.

결론적으로 두 실험 공간에 설치된 천정 냉방 시스템은 제어 성능이 뛰어나고 모든 요구조건을 완전히 만족하였으며 사용자들의 쾌적도에 대한 평가도 대단히 긍정적이었다.

4. 문제점

전술한 실시예에서처럼 천정 냉방의 장점을 주장하는 의견에 못지 않게 천정 냉방의 문제점에 대한 지적도 많다.

첫째 문제점으로 앞의 실시예에서도 지적된 응축 현상을 들수 있는데 이 현상은 천정의 표면온도가 실내공기의 이슬점보다 낮게되면 나타난다. 그렇기 때문에 천정 냉방은 실내공기의 이슬점을 조절 할 수 있는 기본 환기와 조합하여 사용하는 것이 바람직하다고 많은 전문가들은 말하고 있다. 천정 냉방에 조합하여 사용되는 기본환기방식으로서는 바닥 근처에서 저속으로 급기하여 열부하에 의해 유동이 아래에서 위로 형성되게 하는 방식이 권장된다. 이 방식은 특히 대형 공간에서 천정 냉방에 의해 냉각된 공기가 과도하게 아래쪽으로 유동하는 현상을 감소 시킬수 있는 장점이 있다. 또한 천정에 설치한 Induction형 급기장치도 천정 냉방 시스템과 조합하여 사용 할 수 있다. 많은 전문가들은 또한 천정환기 시스템이 습도가 높은 경우에도 작동한다는 것을 공급업체들이 증명해야 한다고 주장하는데 이점은 우리나라와 같이 여름철에 습도가 높은 지역에서의 사용 가능성 여부를 결정하는데 대단히 중요할 것이다. 달리 지적되는 문제점으로서는 천정 높이가 낮을 경우 복사열이 제거되는 과정에서 나타날 수 있는 불쾌감, 동과 알루미늄의 조합 사용에 의한 재료 문제, 높은 설치비, 건축적인 측면에서 천정 형태의 제한등을 들수 있다.

이러한 단점들을 들어 천정 냉방 대신 그림 11에서 처럼 벽 한쪽에 자연 대류식 냉방통로를 설치하는 시스템의 보급을 주장하는 사람들도 있다. 이 시스템은 냉수가 흐르는 열교환기에서 냉각된 공기가 붙박이 장의 뒷면에 설치된 통로를 통해 바닥부분으로 토출되는 방식으로서 장의 길이당 약 350W의 냉방능력을 낼수 있다.

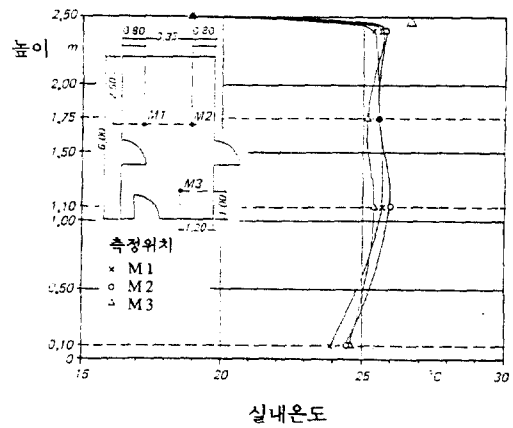

그림 10 실험공간 B에서의 실내온도분포

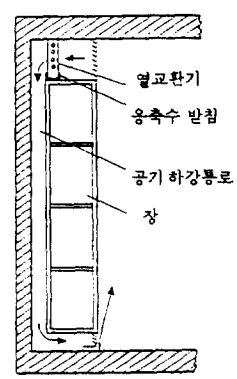

그림 11 자연대류형 냉방시스템

거주 구역에서의 온도 차이를 3℃ 이내로 맞추려면 길이당 150W를 초과하면 안된다. 이 경우 바닥 면적을 기준으로한 냉방능력은 약 30W/m²이 된다.

천정 냉방의 성능에 대한 일관된 측정 방식도 중요한 논의 대상이다. 지금까지는 서로 다른 시스템을 비교 할 수 있는 객관적인 방법이 확립되어있지 않아 천정 냉방의 보급에 지장을 받고 있으므로 몇몇의 천정 냉방 찬성론자들에 의해 냉방성능 평가 방법이 제시되고 있다. 현재로서는 바닥 난방에 대한 성능측정법(DIN4725)과 유사하게 성능을 평가하는 방법이 제안되고 있으며 천정과 벽면의 온도 분포 등에 의한 쾌적도에의 영향에 대한 연구도 수행되고 있다. 복사 냉방의 경우에는 사람과 주변 벽면의 복사 열교환이 중요하므로 실내 온도 뿐만 아니라 쾌적도를 나타 낼수 있는 다른 척도가 필요하다.

천정 냉방에 대한 절대 반대 입장을 취하는 사람중의 하나였던 컴퓨터회사의 한 건축 담당자는 지금까지의 천정 냉방 시스템 공급업체가 제시한 자료를 미심쩍어하면서도 제조업체의 시설비 부담하에 Pilot-Project에 대한 관심을 나타내었는데 컴퓨터 시설위에 항상 물이 존재한다는 사실에 대하여 심리적 거부감을 나타내기도 하였다. 천정 냉방의 반대자중 한사람은 급기시설과 조합하여 사용하지 않는 천정 냉방 시스템에 '공기조화장치'라는 명칭을 사용하는 것은 불법이라고 표현하기도 하였다.

5. 전망 및 결언

여러가지 문제점에 대한 비판에도 불구하고 천정 냉방은 독일에서 크게 가광을 받으며 시장을 넓혀가고 있다. 스웨덴이나 노르웨이 등에서는 많은 신축 건물에 천정 냉방 시스템이 적용되고 있는데 아직도 독일에서는 천정 냉방을 특이하게 생각하고 있는 것은 사실이다. 지금까지 독일에서는 냉각천정 면적 1,000m²이하의 소규모 천정 냉방 시스템이 설치, 운전 되었으나 1990년부터 10,000m²이 넘는 대형 사업이 수행되고 있다. 이렇게 천정냉방이 유행하는 것은 기존의 공조 방식에서 항상 문제가 되는 과도한 실내 유동을 복사 냉방에 의해 해결 할 수 있다는 점에 기인한다. 지금까지 사무실에서 원인을 알수 없이 발생하는 소위 Sick Building Syndrom도 실내의 과도한 유동과 직접적인 관련이 있다는 주장이 대두되고 있는 만큼 천정 냉방 방식은 쾌적성을 추구하는 현대 사회의 요구에 따라 앞으로도 계속 연구 발전될 것이다.

참 고 문 헌

1. Hönnmann, W., Oldenbourg 1990/91, "Taschenbuch f Heizung und Klimatechnik"
2. N. N., 1991, "Marktübersicht Kühldeckensysteme ; Wirksame Wärmeabfuhr mittels kühler Decken", Clima Commerce International (CCI) Nr. 4.
3. Damm, R., 1991, "Kühldecken für einzelne Arbeitsplätze" CCI, Nr. 4.
4. Reichel, W., Sodec, F. and Veldboer, W., 1990, "Gebäudefassade und Decke als Klimakomponente" HLH, Nr. 6.
5. Esdorn, H. and Ittner, M., 1990, "Betriebsverhalten von Deckenkühl systemen" HLH, Nr. 7.
6. N. N., 1990, "Die Kühldecke ist kein Allheilmittel" HLH, Nr. 12.
7. Glück, B., 1991, "Leistung von Kühldecken" HLH, Nr. 3.
8. Bley, H., "Akzeptanz durch Verbesserung der Raumluftqualität" HLH, Nr. 7.
9. N. N., 1991, "Wachsends Interesse an der Kühldecke" HLH, Nr. 11.