

# 이화여대 지하캠퍼스 환기설비시스템 설계사례

이화여대 지하캠퍼스 사례를 통해 지하 공간에 적용할 수 있는 에너지 절약적인 환기시스템들인 자연환기, 서멀 라비린스 및 DOAS를 소개하고자 한다.

## 서론

건물 내 재실자의 건강 유지를 위해 실내 공기오염을 방지하고 호흡에 필요한 충분한 산소를 공급해야 하며, 이를 위해 충분한 환기량을 확보해야 한다. 지하 공간의 경우 개구부가 크게 부족하므로 환기시스템에 더욱 신경을 써서 계획해야 한다. 에너지소비 측면에서는, 환기량이 커지면 일반적으로 실내 냉난방 에너지 소비량이 증가하고 송풍동력도 증가하게 된다. 따라서 지하 공간 환기시스템 설계시, 재실자의 건강유지를 위해 필요한 환기량은 확보하면서도 환기에 소비되는 에너지(환기에 따른 냉난방부하 처리)를 최소화할 수 있는 방안의 도출이 설계 목표가 될 수 있다.

환기시 발생하는 냉난방 에너지소비량 저감을 위해 자연에너지를 활용하려는 노력들이 있어 왔다. 중간기에 외피 개구부를 이용하여 자연환기를 유도하는 것이 자연에너지를 이용한 대표적인 예라 할 수 있다. 이외에도, 지중열을 활용한 환기용 외기 예열/예냉 시스템인 쿨튜브, 서멀 라비린스, 지중열교환터널 등도 꾸준히 적용 및 발전되어 왔다.

한편, 공조시스템의 구성방법 측면에서는 1990년대 이후 유럽 및 북미에서는 에너지 소비 저감을 위해 DOAS(dedicated outdoor air systems)의 개념을 도입한 설계사례가 늘고 있다. DOAS란 전체 냉난방 부하를 하나의 공조기에서 처리하는 기존의 일반적인 공조시스템과는 달리, 실내에서 필요한 신선외기만을 별도로 처리하는 외기처리 전용 공조시스템을 일컫는다.

국내에서는 지하공간 중에 이 세 가지 개념(자연환기, 서멀 라비린스, DOAS)들을 도입하여 설계, 시공한 사례로 이대 지하캠퍼스(이화 캠퍼

이진영

이수연

정차수

(주)한일엠씨

jinyoung.lee@himec.co.kr

〈표 1〉ECC의 개요



항 목	내 용
건물명	이화여대 캠퍼스 센터(ECC)
대지위치	서울특별시 서대문구 대현동 11-1번지
용 도	교육 및 연구시설
구 조	철골 철근 콘크리트
연면적	68,657.24m <sup>2</sup> (지하 6층, 지상 1층)
내부시설	사무실, 강의실, 동아리방, 열람실, 세미나실, 극장, 상점, 카페, 레스토랑, 주차장 등

스센터, 이하 ECC) 건물이 있다.

### 이화여대 캠퍼스 센터(ECC) 개요

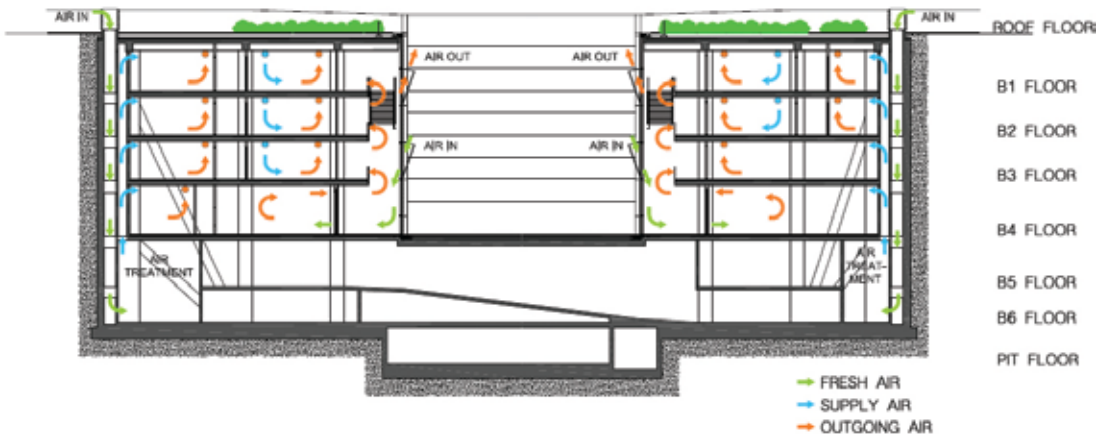
이화 캠퍼스 센터(이하 ECC)는 이화여대의 장기적인 발전계획의 일환으로 21세기 비전을 상징할 수 있는 건축물로 계획되었다. 이러한 21세기 비전의 상징 중에는 에너지 절약이라는 패러다임이 포함되어 설계초기단계부터 1차 에너지 소비량의 저감과 환경부하 저감을 목표로 한 여러 가지 저에너지 친환경 계획이 반영되었다. 2004년 2월 설계를 시작하여 2006년 5월에 설계 완료하였고 2005년 7월 착공하여 2008년 3월에 완공되었다. 2004년 당시에는 국내에 저에너지, 친환경 정책이 현재와 같이 제도적으로 강하게 규제되지 않는 시기로 이러한 의지를 가진 건축주가 드물었던 시

기이다.

국제지명현상에서 당선된 도미니크페로(Dominique-Perrault)의 계획설계안은 건축주의 에너지절약과 환경부하 저감 의지를 반영하듯, 그 형태에 있어 이미 지하 중량 구조체의 축열성능과 옥상녹화를 활용하여 냉난방부하를 저감할 수 있게 계획된 것이었다(표 1 참조).

### 건축적 자연환기

폭 20m, 길이 300m에 달하는 "Campus -Valley"라는 일종의 선큰 공간은 지하의 선큰이라는 느낌이 아니고 명칭과 같이 큰 계곡과 같은 느낌을 주는 스케일로 시원한 개방감뿐만 아니라 자칫 어둡고 불쾌할 수 있는 지하공간에 자연채광과 환기를 제공하는 역할을 하고 있다. Valley 측의 외기에 면



〈그림 11〉 Valley 측 유리 파사드를 이용한 자연환기 개념도



[그림 2] 유리 파사드 개구부 외기층(좌), 실내층(우)

한 유리 파사드에 개폐가 가능한 개구부를 설치하여 자연환기 도입을 계획하였다. 수직으로 긴 피벗창을 파사드 전면에 분산 배치하여 실내 층 아트리움 공간에 전반적으로 자연환기가 충분하도록 하였다. 유리 파사드를 통한 자연환기 계획안을 **그림 1**에, 실제 시공된 후의 파사드 모습을 **그림 2**에 나타내었다.

### 서멀 라비린스(Thermal Labyrinth)

이 시스템은 열적인 미로(Thermal Labyrinth)라 말할 수 있으며 연중 일정한 온도를 유지하는 지중열의 특성을 활용하는 친환경 시스템이다. 일종의 쿨튜브시스템(cool tube system)으로 외기를 이 미로를 통해 도입함으로써 예열 또는 예냉의 과

정을 거친 후 공급하는 방식으로 에너지를 절감할 수 있는 시스템이다.

서멀 라비린스는 독일, 영국 등 유럽과 미국의 몇몇 건물들에 적용되었고, 국내에서는 ECC와 누리꿈스퀘어 등에 반영되어 있다(**그림 3** 참조).

ECC는 전체가 지하공간으로 계획되어 있어 건축적 필요에 의해 설치된 이중벽 구조를 별도의 구조체 시공 없이 지중열교환덕트(air soil duct)로 활용한 예이다. 적용된 서멀 라비린스는 9개 섹션으로 구성되어 있으며, 8개의 외기 도입구(air inlet shaft)를 가지고 있다. 이는 지하 6층에 2개 층 높이의 공조실과 연결되어 있다.

지중벽과의 열교환을 통해 도입되는 외기는 별도의 에너지 소비 없이 하절기에는 31℃에서

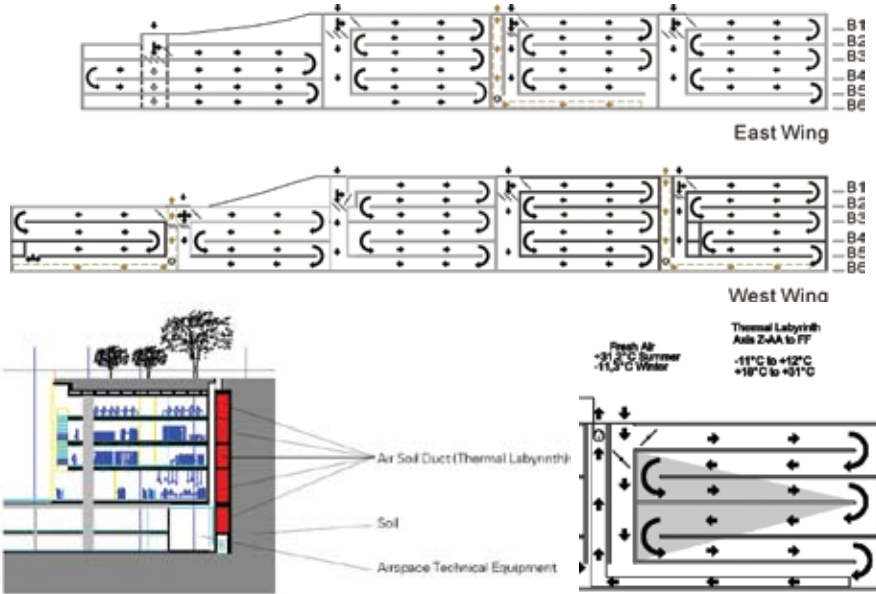


New Municipal Theater, 독일 Heilbronn

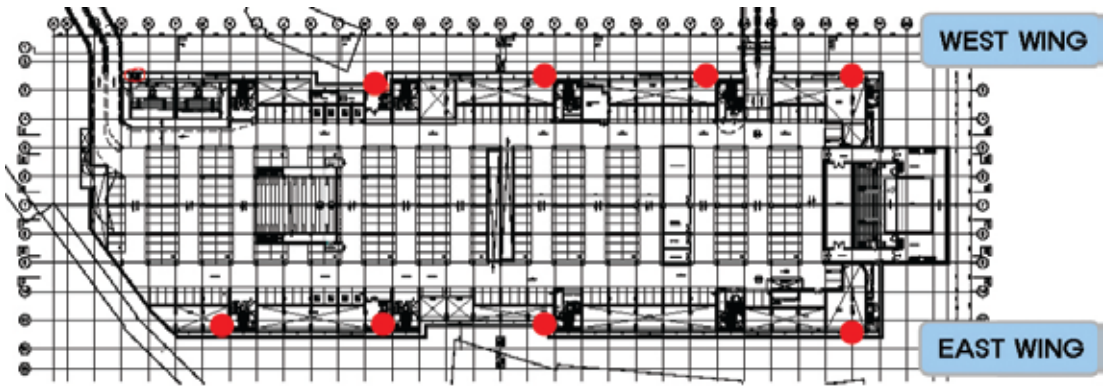


누리꿈스퀘어, 서울

[그림 3] Thermal Labyrinth 적용 사례 건물들



[그림 4] Thermal Labyrinth 개념도



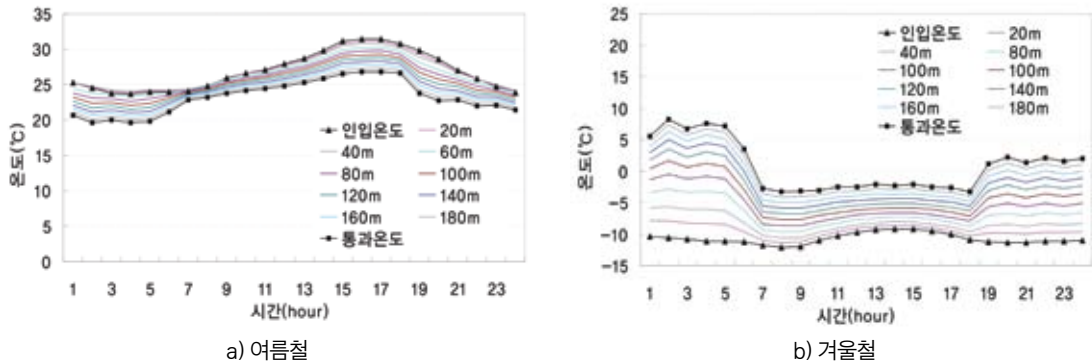
[그림 5] Air inlet shaft 위치(지하 5층 평면도)



[그림 6] Thermal Labyrinth 현장사진



[그림 7] Thermal Labyrinth와 연결된 공조실 배치(지하6층 평면)



[그림 8] Thermal Labyrinth 시뮬레이션 분석결과

약 24℃로 예냉을 하고, 동절기에는 -11℃에서 약 -1℃로 예열을 하여 공급이 가능하도록 설계하였다. 또한, 외기온도가 12~18℃일 경우(중간기)에는 서멀 라비린스의 air soil duct를 통과하지 않고 샤프트로 곧바로 인입(바이패스)할 수 있도록 경로변환 뎀퍼를 설치하였다. 그림 4~7은 ECC에 적용된 서멀 라비린스의 개념도, 외기 도입구 위치, 공조실 배치 및 사진이다.

서멀 라비린스는 총 9개의 섹션으로 구성되어 있으며, 8개소의 외기도입 샤프트가 구성되어 있다. ECC는 중앙 Valley를 기준으로 서측매스(West wing)와 동측매스(East wing)로 구분할 수 있으며, 서측매스에 서멀 라비린스 5개의 섹션과 동측매스

에 서멀 라비린스 4개의 섹션으로 구성되어 있다.

외기에 면한 지상에서 도입된 외기는 지하 6층에 2개 층 높이로 계획된 공조실과 연결되어 있으며, 최하층에 위치한 공기조화기에 인입될 때 까지 약 240 m 정도의 air soil duct를 통과하여 열교환된 외기를 공급하도록 설계되었다.

서멀 라비린스의 성능에 영향을 주는 인자로는 지중 열전도율, 흙의 밀도, 지중 열용량, 지중에 접하는 표면적, 정압, 서멀 라비린스의 덕트 길이 및 내부 풍속 등이며 이러한 인자들을 모두 고려하여 본 시스템을 동적 시뮬레이션으로 분석한 결과, 난방 시에는 약 411 kW, 냉방 시에는 약 324 kW의 피크부하 저감이 가능한 것으로 분석되었다(그림 8



참조). 이를 각각 증기보일러와 흡수식냉동기의 용량으로 환산해 보면 증기보일러는 약 650 kg/h, 냉동기는 약 97.5 RT의 용량을 절감할 수 있는 것으로 분석되었다.

최근 발표된 연간 실측 자료에서는 서멀 라비린스를 통해 유입되는 외기온도가 8월(하절기)에는 피크시 최대 11 K, 평균 3.7 K 감소하고, 1월(동절기)에는 최대 22.6 K, 평균 13.3 K 정도 상승되어 유입되는 것으로 나타났다. 또한, 하절기에 외기가 다습한 경우에는 표면 결로에 의해 외기의 잠열까지 제거되는 결과를 보였다(8월에 평균적으로 절대습도 3.1 g/kg 정도 제습되는 것으로 나타났다).

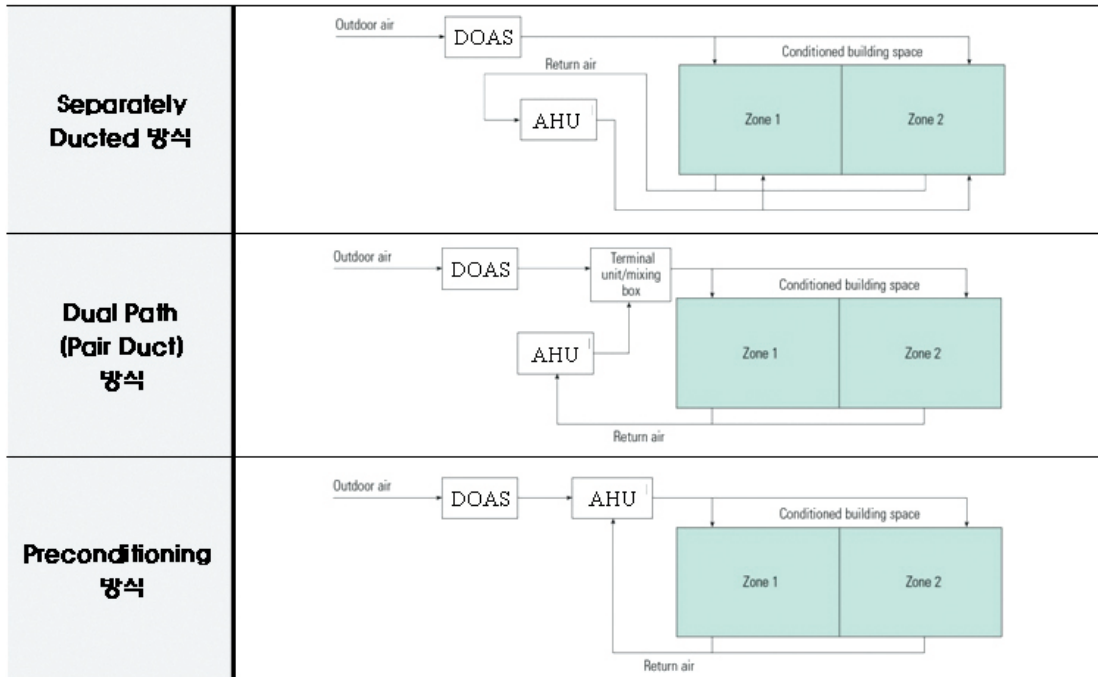
### DOAS (dedicated outdoor air systems)

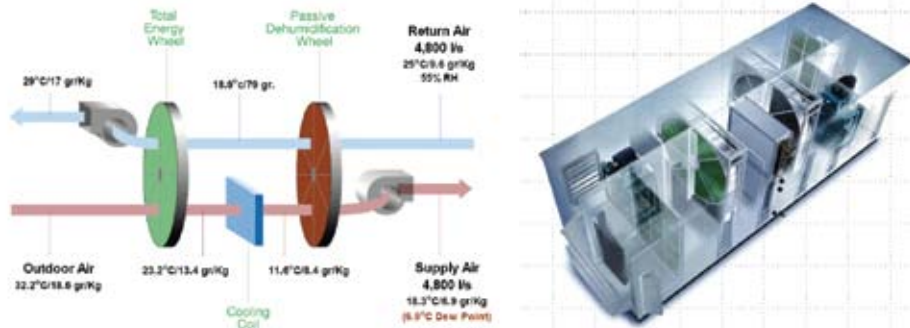
DOAS는 앞서 머리말에서 언급한 바와 같이 외기만을 처리하는 100% 전외기 공조방식으로써 재실공간에 외기를 공급하고 잠열도 제어하는 방식을 일컫는다. 즉, 외기처리 전용 공조시스템이라고

할 수 있다. 일반적으로 DOAS를 적용하면 실내 현열부하는 기존 VAV 시스템, 팬코일, 복사패널 또는 칠드빔 등을 이용하여 제거하고 최소한의 요구 환기량을 DOAS로 확보하도록 공조시스템을 구성하는 것이 보통이다. 이렇게 되면, 기존 VAV 시스템의 문제 중 하나였던 부분부하시 실내 공기질 저하 및 제습 저하를 해결할 수 있다.

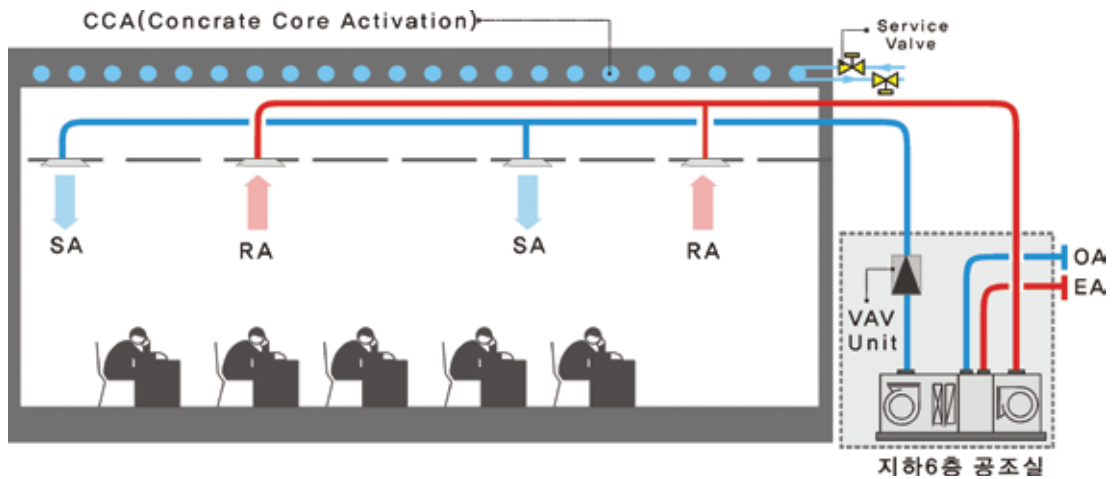
에너지 소비량의 관점에서는, 일반적인 전공기 공조시스템의 경우 환기를 위한 외기와 부하를 제거하기 위한 공기를 함께 처리하므로 외기도 취출온도와 동일하게 낮은 온도로 냉각되어 에너지가 낭비되는 것에 반해 DOAS는 환기를 위한 외기처리를 분리하여 외기에 대한 취출온도를 높일 수 있으므로 공조기 코일이 소비하는 에너지를 상당부분 감소시킬 수 있다. 또한, DOAS에서는 배기팬시스템 등을 적용하여 급배기 풍량 밸런싱을 용이하게 하고 판형열교환기, run-around coil 등을 통한 공조배열 회수가 용이하다.

〈표 2〉 DOAS를 적용한 공조시스템 구성의 예





[그림 9] 전열교환기, 수동형 제습로터를 적용한 DOAS형 공조기의 예(P사 자료)



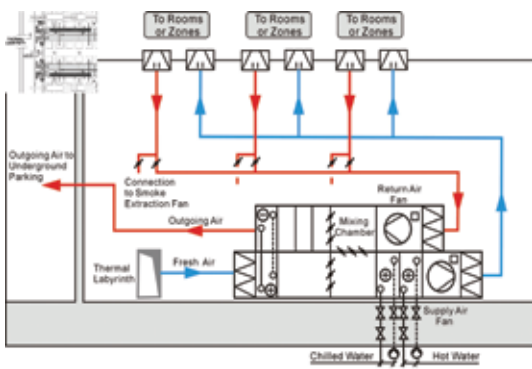
[그림 10] ECC 공조시스템의 개념도

쾌적성의 관점에서는 일반 VAV 시스템의 실내 부하 감소에 따른 공급 풍량과 외기 도입량 감소 가능성에 대한 요인을 제거하므로 항상 실내의 공기질을 일정하게 유지할 수 있다(표 2 참조).

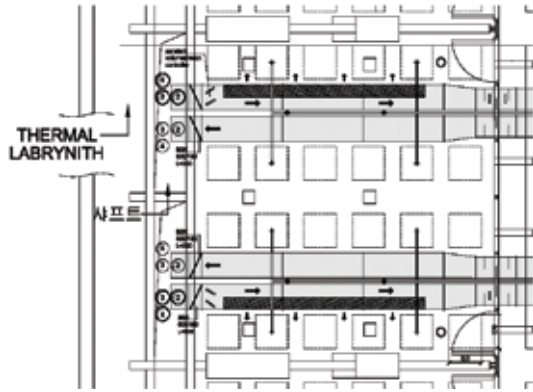
아울러, 제습로터 등을 활용한 건식 제습(desiccant dehumidification)의 방법을 통해 습도를 적극적으로 제어할 수 있다는 이점도 있다. 건식 제습은 냉각코일에 의한 제습에 비해 상대적으로 저에너지로 재실자의 쾌적을 충족시킬 수 있으며 냉방열원장비, 공조기 용량이 축소되어 설치공간 절약, 장비 비용을 감소시킬 수 있게 된다. 또한, 온도와 습도를 독립적으로 제어하는 것이 가능하게 되어 냉방코일(냉방열원) 정지시에도 습도 조절이

가능하게 된다(비재실 시에도 습도 조절 가능). 부분부하시에도 실내습도를 저감시킬 수 있게 됨에 따라 실내 온도가 다소 높더라도 재실자가 쾌적감을 유지할 수 있다. 따라서 복사냉방과 더불어 적용될 경우 실내 설정온도를 보다 고온으로 유지할 수 있게 함으로써 에너지 절감의 시너지 효과를 노릴 수 있다고 할 수 있다.

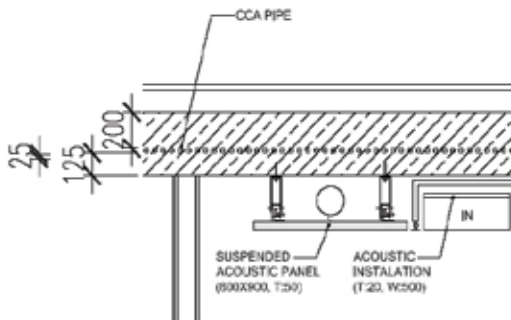
다만, 기존의 전열교환기나 제습로터 등이 대체로 비용이 고가이며 유지보수가 쉽지 않은 사례들을 많이 볼 수 있었다. 따라서 DOAS의 만족할 만한 성능을 위해서는 내구성, 잠열제거 성능을 보증할 수 있는 제품을 선정해야 하며, 초기비용 절감을 위해서는 국내 제조사들도 꾸준한 기술개발이 필요



[그림 11] 공기조화기 재열 및 배열 회수 개념도



[그림 12] 강의실 공조개념 평면도



[그림 13] ECC 강의실 천장 단면 상세



[그림 14] ECC 강의실 천장 현장 사진

하다고 판단된다. 제습로터의 경우 흡습제의 재생을 위해 추가적인 가열원이 필요하다. 최근 제품들을 보면 재생열로 필요한 열원의 온도가 높지 않은 것들이 생산되고 있어 신재생열원을 활용하거나 부하 조건에 따라서는 실내 배열을 활용하여 시스템을 구성하는 것도 가능하다(그림 9 참조).

ECC에 적용된 대표적인 공조방식은 각 실 슬래브에 매설된 구조체 축열방식 복사냉난방(이하 CCA: Concrete Core Activation) 시스템 + DOAS이다. CCA가 실내 냉난방 부하를 담당하고 서멀라비린스와 외기처리 전용 공기조화기에서 처리된 환기용 공기가 각 실의 환기 및 제습부하를 담당하는 방식으로 구성하였다. 재실인원(CO<sub>2</sub> 농도) 변동에 따라 필요 환기량도 달라지므로 환기측면의 부분부하시에 에너지를 절감하기 위해 지하에 설

치된 변풍량(VAV) 유닛으로 공급풍량을 조절하도록 하였다.

실내 환기 및 잠열 부하 처리와 결로 발생의 위험도를 낮추기 위해 CCA와 병용하여 사용된 환기덕트는 건축 내부 인테리어 컨셉을 고려하여 천장 노출 마감방식으로 계획되었으며, 급기덕트와 환기덕트가 나란히 배열되는 형태로 계획되었다. 변풍량 유닛의 설치 위치 또한 실내 인테리어 컨셉과의 조화 및 유지관리의 용이성 향상을 위해 지하층 공조실에 집중 설치되도록 계획하였고 그림 10에 ECC에 적용된 공조 시스템 개념도를 나타내었다.

DOAS 공조기의 하절기 습도제어를 위해 냉각코일을 통해 제습 및 과냉각된 공조 공기는 실내 온도조건에 맞추어 재열코일을 통과한 후 실내로 공급되게 하였다. 재열 열원으로는 본 건물의 열원설



비로 설치된 히트펌프 냉동기에서 발생하는 배열을 재활용 하였으며, 이렇게 재열코일에 재활용된 용량은 약 200 kW로 설계에 반영하였다. 아울러 공조기의 배기는 주차장으로 배출시켜 주차장 측면에 설치된 밀폐형 냉각탑의 열원으로 재활용되도록 계획하였다(그림 11~14 참조).

## 결론

ECC의 환기시스템은 건축 초기단계부터 건축 및 각 분야 간에 충분히 아이디어들을 교환함으로써 별도의 추가 공사비 없이 저에너지형으로 계획될 수 있었다. 즉, 중앙 valley 선근을 활용한 자연환기, 지중용벽의 지지구조를 활용한 서멀 라비린스 등은 건축적, 설비적 계획이 융합, 연계된 결과라고 할 수 있다. 따라서 건축 초기단계에서부터 각 분야의 관련자들이 설계 과정에 참여하고 아이디어를 교환하는 통합설계의 개념을 적용하면 각 프로젝트마다의 건축적, 지형적, 기후적 특성에 맞는 저에너지형 환기시스템 구현이 가능하다고 판단된다.

또한, 외기전용처리시스템(DOAS)은 천장/바닥패널, CCA, 칠드빔 등 복사형 냉난방시스템과 융합하여 적용하면, 송풍동력과 제습처리에너지의 절감으로 냉난방 및 환기에 소비되는 에너지량을 상당히 저감시킬 수 있다. 다만, 현재로서는 초기비용의 증가가 DOAS 적용의 걸림돌이 되곤 한다. 그러나 재실자의 쾌적을 충분히 만족하면서 에너지를 절감할 수 있는 환기시스템의 적용은 장기간의 운전비 절감효과를 고려한 LCC의 관점에서 접근하는 것이 바람직하다.

## 참고 문헌

1. 송승영, 송진희, 임재한, 구체형 지열활용 환기

시스템의 하계 및 추계 에너지 효율 분석, 대한건축학회 논문집 제27권 제3호, pp.297~307, 2011.3.

2. 송승영, 송진희, 임재한, 구체형 지열활용 환기 시스템의 동계 및 춘계 에너지 효율 분석, 대한건축학회 논문집 제27권 제8호, pp.321~332, 2011.8.

3. 이상엽, 조진균, 홍민호, 정차수, Thermal Labyrinth 적용을 통한 건물 에너지 절감 효과 분석, 대한설비공학회 2005 하계학술발표대회 논문집, pp.1281~1286, 2005.

4. 정차수, 초고층 건물의 친환경 계획을 위한 고려 사항, 대한건축학회지, 2009년 8월호, pp.56~60.

5. 정차수, 이화 캠퍼스센터 기계설비 설계 사례, 건축환경설비, 2007년 7월 vol.1, no.1, pp.52~65.

6. Chang-Ho Jeong, Jin-Young Lee, Myoung-Souk Yeo, Kwang-Woo Kim, Cooling Load Analysis of Residential Buildings for Dehumidification/sub-cooling System in Radiant Cooling, Sustainable Buildings(SB), 2007, pp.505~512.

7. Jan Babiak, Bjaren W. Olesen, Dusan Petras, Low Temperature Heating and High Temperature Cooling, Rehva, 2007, pp.64~70.

8. Klaus Daniels, Advanced Building Systems, Birkhäuser, 2003

9. Michael D. Larranaga, Mario G. Beruvides, H. W. Holder, Enusha Karunasena, David C. Straus, DOAS & Humidity Control, ASHRAE Journal, 2008. 5, pp. 34~40. 