

새로운 지하 캠퍼스 이화 캠퍼스 복합단지



김 천 희
건축경영지원팀장



박 덕 규
건축기술실장

1. 친환경적인 지하 캠퍼스

전세계적인 저에너지 소모 Trend와 이산화탄소를 배출하는 화석연료의 사용을 줄일 수 밖에 없는 건축 외적인 여건을 고려할 때 향후 친환경적, 에너지 절약형 건축물의 수요는 급증 할 것으로 예상된다. 이화캠퍼스 복합단지 프로젝트는 이러한 요구조건에 부합하는 건축물로 하나의 이정표를 세웠다고 말할 수 있을 것이다.

이화여자대학교는 캠퍼스내 공간수요의 증가에 대응하고 21세기 이화발전 계획에 적합한 친환경적인 공간을 창출을 위하여 세계적 Trend인 지하캠퍼스를 계획하였다. 국제현상설계를 통해 DPA(Dominique Perrault Architect(프랑스)안이 당선된 이화 캠퍼스 복합단지는 Campus Valley로 불리우는 본건물을 비롯하여 지하주차장으로 연결되는 램프공사, 정문 및 정문인근 복개상부 운동장 공사로 구성 되어 있다.

금번 프로젝트는 특히 지중건물의 장점을 최대한 활용하여 밸리 양면을 전면 유리로 구성하였기에 채광과 통풍이 가능하여 에너지 소모를 최소화 할 수 있었고, 써멀 라비린스(Thermal Labyrinth) 시스템, 지열 에너지(Soil Energy) 시스템등 최첨단 친환경 시스템을 다수 적용한 최첨단 친환경 캠퍼스 개발의 모범 사례였다.

대학발전을 위한 인프라시설의 확충이 한정된 공간

내에서 이루어져야하는 어려운 상황을 고려하면, 금번 프로젝트의 도전은 획기적인 것으로 대학공간구성의 새로운 방향으로 자리 매김하게 될 것이다.

2. 프로젝트개요

2.1 공사 개요

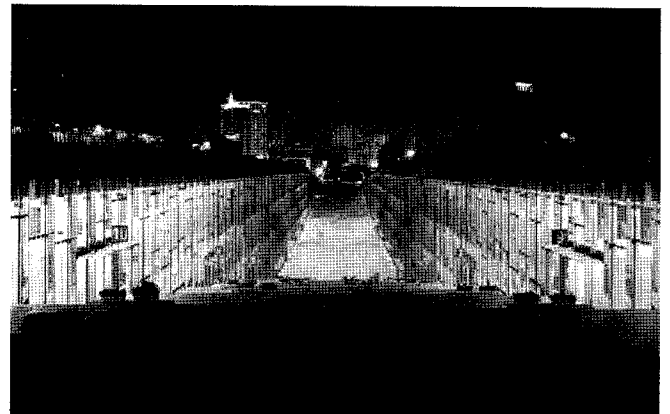


그림.1 이화 캠퍼스 복합단지 야경

표.1 이화캠퍼스 복합단지 공사개요

공 사 명	이화 캠퍼스 복합단지 신축공사
발 주 자	학교법인 이화여자 대학교
설 계 자	Dominique Perrault Architect(프랑스) (주)종합건축사사무소 범건축
시 공 자	삼성물산(주) 건설부문
공사기간	'05.5 ~ '08.5 (36개월)
대지면적	539,549 m ²
건축면적	136 m ²
연 면 적	68,657 m ²
규 모	지하6층, 지상1층
구 조	철근콘크리트 구조
승 강 기	17인승 14대
주차설비	748대
공조방식	CCA(Con'c Core Activation) + 변풍(VAV)방식 +CHR(Cooling Heating Radiator)

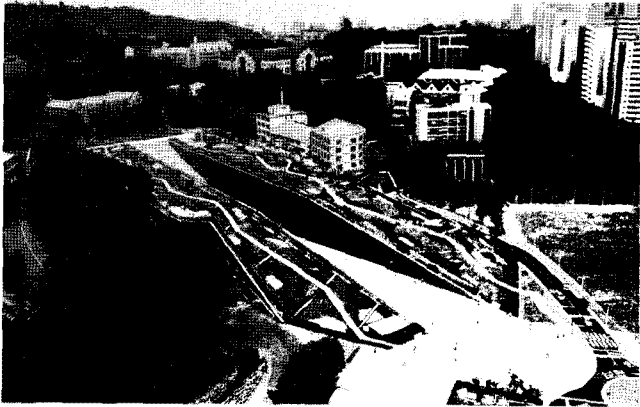


그림.2 이화 캠퍼스 복합단지 전경

3. 주요 공사 개요

3.1 철근콘크리트 공사

• 구조 시스템 개요

이화 캠퍼스 복합단지 프로젝트는 지하에 밸리를 구성하는 독특한 형태로 인하여 다양한 구조적 특성을 지니고 있다. 지하층 바닥 슬라브는 온도응력해석을 통하여 바닥판, 기둥의 변형 및 응력집중 현상을 확인하고 그에 따른 보강조치를 하여 EJ 없는 240m 바닥구조를 구성하였고, 공연장 외벽에는 지하 깊이 26m의 외벽이 조성되었다.

토압과 지진에 대해 저항하기 위해 양측건물에 수직 및 수평의 버팀 프레임을 52개소 설치하고 길이 240m의 외주 콘크리트 보를 반영하였다. 북측계단의 밸리 바닥구조는 프리캐스트 콘크리트 슬라브와 1,400×1,000의 지지기둥 구성되었다. 다목적홀 상부 경사로는 Post-Tension Concrete Slab로 경간이16m이다.

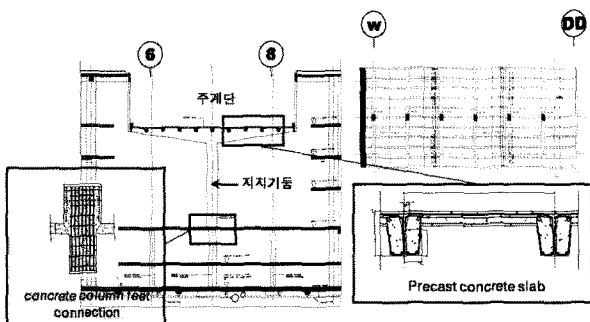


그림.3 Valley 바닥 구조 개요

형틀 시스템

슬라브에는 Sky-Deck 공법을 적용하여 동바리의 해체 없이 슬라브 형틀을 해체 가능토록 해 2일차에 형틀 해체를 가능토록 하였으며, 동바리 위치를 규격화 하였다. Sky-Deck은 인력으로도 이동이 가능하여 양중장비의 가동에도 여유를 가질 수 있었다. 또한 합벽에는 시공성이 뛰어나고 품질이 우수한 System 형틀을 적용하였다.

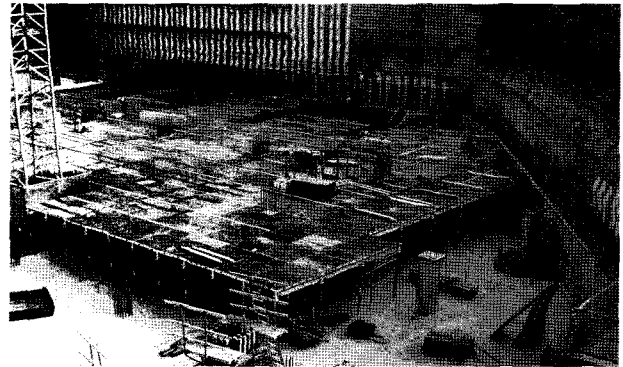


그림.4 Sky-Deck 시공

• 횡력저항시스템

금번 프로젝트는 지하구조물의 특성상 토압에 대응하는 지하구조체로 양측 건물에 수직 및 수직 버팀 프레임 52개소가 당초 철골+Pre-Loading System으로 설계되었다, 그러나 상기 공법 적용시 약 4개월의 공기 지연 요소가 있고 품질, 안전, 원가 측면에서 문제점이 도출되어, 식스시그마 기법을 활용하여 철근콘크리트 스트러트 형태로 지지 구조를 변경하였다. 지지 구조의 변경은 층별 적층 공법으로 시공이 가능해 약 4개월의 골조공기 단축효과뿐만 아니라 품질, 안전, 원가 측면에서도 큰 효과가 있었다.

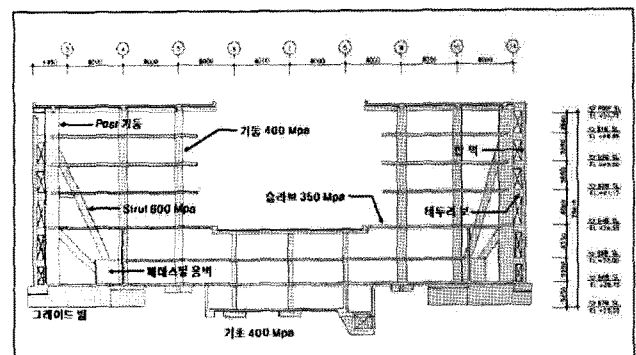


그림.5 횡력 저항 시스템 개요

• 구조 대안 적용

횡력 저항 시스템의 변경은 Design Concept을 충분히 반영하면서도 구조적으로 Simple하게 변경하여 과 설계부분 약 30%를 절감하였을 뿐만 아니라 층별 적층 공법을 적용 할 수 있게 되어 공기를 단축시키고, 중량 철골이 없어서 양중장비(T/C)의 가동에도 한층 여유를 가질 수 있게 되었다.

구분	구조 시스템				
	Original	Concept - 1	Concept - 2	Concept - 3	Concept - 4
디자인					
지중 받	H-2000 X 700, SM670	RC 2700 X 1100	RC 2700 X 1100	RC 2700 X 1100	RC 2700 X 1100
포스트 받	H-700 X 420, SM670	RC 2700 X 800	RC 2050 X 800	RC 2050 X 800	RC 2700 X 800
Strut	C-500 X 500, SM670	C-500 X 500, SM670	C-500 X 500, SM670	C-500 X 500, SM670	RC 1000 X 800
수평연결 받	H-600 X 200, SM680	H-500 X 200, SM680	없음	H-500 X 200, SM680	RC 600 X 800
Conc 강도	35Mpa	60Mpa	60Mpa	타두리=60Mpa 합벽=35Mpa	60Mpa
특징	공시비 증가 Pre-loading System	7동부재 Size 증가 철골 + RC 복합구조 공시비 증가	7동부재 Size 감소 철골 + RC 복합구조 공시비 고가	7동부재 Size 증가 철골 + RC 복합구조 Conc 강도	ALL RC구조 경량화됨

그림.6 구조 시스템 대안 도출

3.2 커튼월

• 커튼월 개요

지표면하 지하 4개층의 높이로 계곡의 형태로 설치되는 AL C/W은 최고 높이가 18m에 달하나 별도의 지지구조물 없이 AL Mullion의 보강재로 STS Plate FIN(20T)만 사용하였으며, 보강재 자체가 외부로 노출되어 직접 풍압을 받는 형태로 되어 있다.

• 커튼월 STS Plate FIN

AL C/W은 최고 높이가 18m에 달하나 별도의 지지구조물이 없어 구조적 검토가 핵심적인 요소였고 이를 위해 구조설계도서 부터 Mock-up Test시 까지 집중 관리 하였다. 당초 설계안으로 Mock-up Test시 100% 정압조건(1.1Kn/m²)에서 Mullion의 최대 변위가 100mm가량 발생하여 이를 보완하기 위해 STS Plate FIN 규격을 확대하고 디테일을 변경하였다.

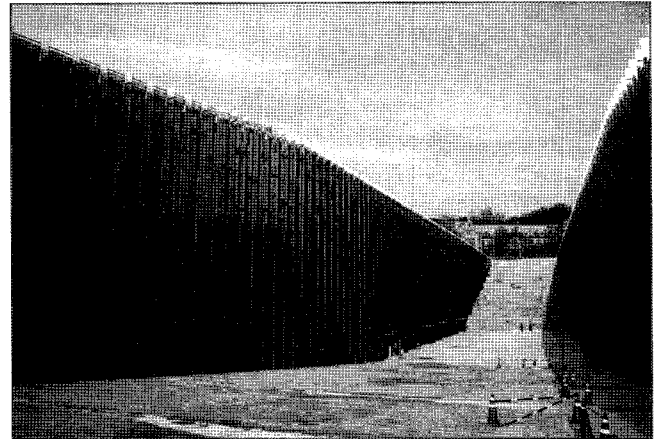


그림.7 Valley 커튼월 전경

• 커튼월 시공 공법

C/W 현장 설치시에는 1/2 Set는 밸리 하단에서 크레인으로 양중 설치하였으며, 2/2 Set는 Roof층에 크레인을 배치하여 부재를 양중 설치하였다. 상하부 set의 연결부 중 STS Plate FIN의 연결부위는 당초 Bearing bolt Type으로 설계되어 있었으나, Cover Plate를 사용하여 bolt를 체결하는 Type으로 변경하여 구조적 안정성과 시공성을 동시에 향상 시켰다

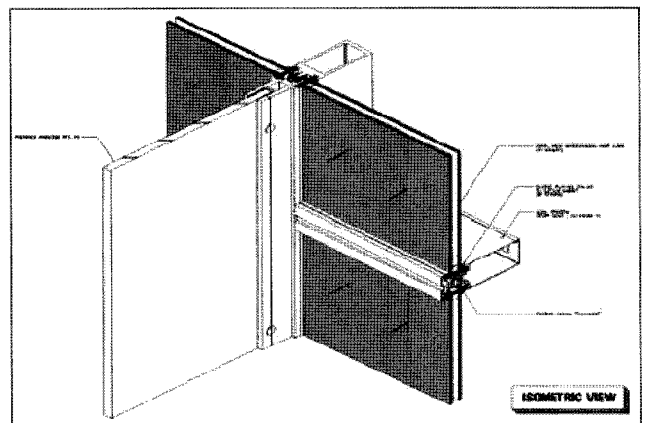


그림.8 AL C/W STS Plate FIN 개념도

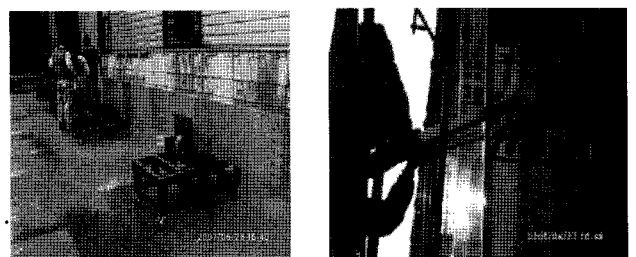


그림.9 AL C/W STS Plate FIN 시공

4. 친환경공법

4.1 CHR(Cooling Heating Radiator) 시스템

CHR시스템은 축냉된 천장 및 슬래브 표면에서 결로 현상을 방지하기 위해 실내로 들어오는 환기 공기의 습도를 제어하는 시스템으로, 전외기 공조방식에 따른 하절기 습도제어를 위해 냉각코일을 통한 제습 및 과냉각된 공조공기는 재열코일을 통과한 후 실내로 공급하게 된다. 특히 재열코일에 적용된 약200kw에 달하는 에너지는 히트펌프 냉동기에서 발생하는 배열을 재이용 하도록 하였다.

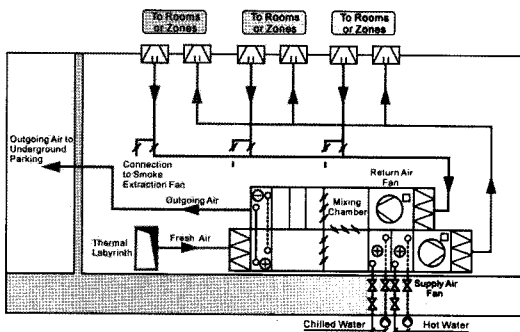


그림.10 CHR 개념도

4.2 써멀 라비린스(Thermal Labyrinth) 시스템

• 써멀 라비린스 시스템 개요

열적인 미로라는 의미의 이 시스템은 연중 일정한 온도를 가지는 지중의 특성을 활용하여 도입외기를 예냉, 예열하는 시스템을 의미한다. 지상에서 유입된 외기를 구조체와 지중벽 사이에 설치된 미로(Labyrinth) 처럼 구불구불한 긴 통로를 지나게 하여, 공조기에 유입되는 외기온도를 자연적으로 조정하는 시스템이다.

이시스템은 건축 구조 시스템상의 필요로 조성된 이중 구조 공간을 활용하며 특별한 기계 설비를 필요로 하지 않기 때문에 별도의 추가 공사비 없이 구축이 가능하였다.

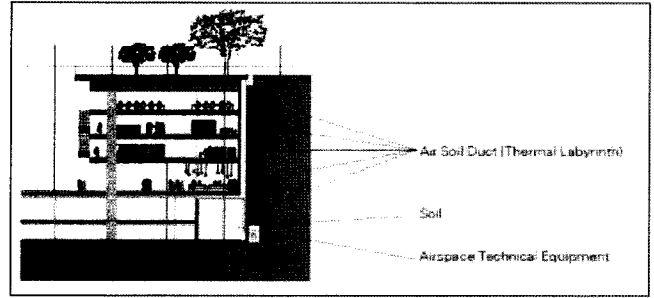


그림.11 써멀 라비린스 (Thermal Labyrinth) 개념도

4.3 지열 에너지(Soil Energy) 시스템

• 지열에너지 시스템 개요

지열 에너지(Soil Energy) 시스템은 지중심도 6~7m의 경우 연중온도가 일정하여 보통 14~15℃를 유지한다는 점에 착안한 시스템으로, 지중 에너지(지중열)를 열원 또는 냉원으로 활용하는 시스템이다.

배기가스가 전혀 배출되지 않는 친환경공법으로 건물 최하층 슬래브 바닥에 지열배관을 설치하고 그 배관 내부에 유체를 흐르게 하는 수평형 지열에너지 시스템을 적용하였다.

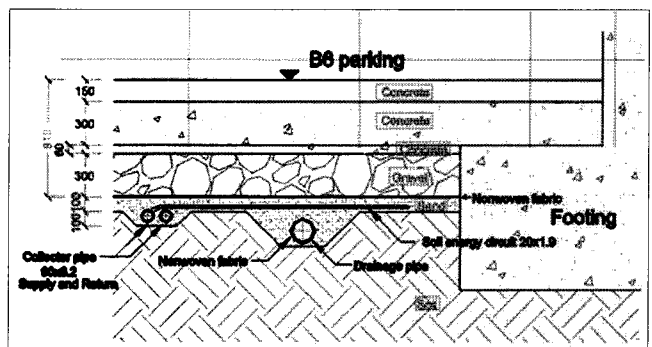
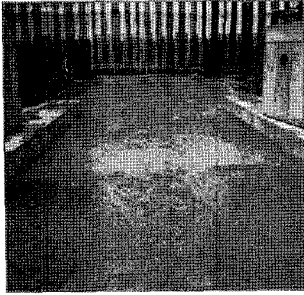


그림.12 지열에너지 시스템 개념도

• 지열에너지 시스템의 특징

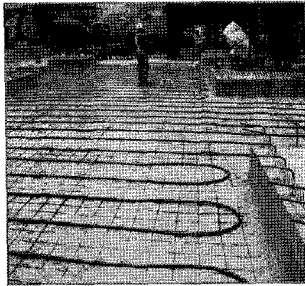
동절기에는 대지에서 얻은 열을 본 시스템을 통해 건물 내부로 전달하고, 하절기에는 건물 내부의 열을 흡수하여 폐회로를 순환하면서 지하로 흡수열을 방출하게 되는데, 금번 프로젝트의 경우 지하 6층 바닥 슬래브 하부에 파이프를 설치하여 지중의 열교환을 통한 열원으로 사용한다. 열원을 지중에서 얻음으로 유지비용을 절감하고 장비의 부하를 줄일 수 있었다.



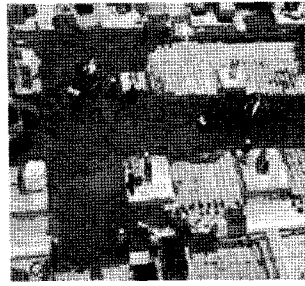
1. 1차 모래포설



2. 와이어메쉬 설치



3. 배관 설치



4. 2차 모래포설

그림.13 지열에너지 시스템 시공

내를 냉각하는 방식인 복사냉방을 이용하는 시스템으로 국내에서는 최초로 적용된 사례였다. CCA 시스템은 슬라브 구체 축열을 이용하여, 슬라브 내에 파이프를 설치하고, 파이프 내에 유체를 흘려 슬라브 표면온도를 조절하여 복사냉방을 이용하는 시스템이다.

CCA 시스템을 적용할 경우 자연적공간의 실내온도 변화를 안정 시킬수 있고, 건물의 큰 공간을 균등하게 조절할 수 있으며, 적절한 온/냉각으로 최고 수준의 안락함을 느낄수 있다.

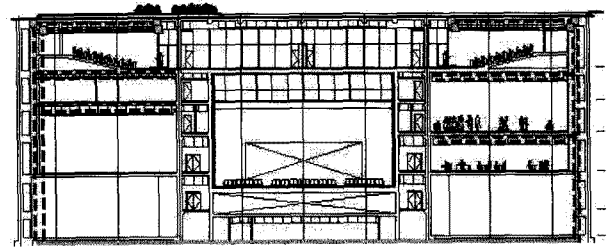


그림.14 CCA 시스템 개념도

• 지열에너지 시스템 시뮬레이션과 최적화

지열 에너지 시스템은 설치시 사전 시뮬레이션을 통하여 최적의 효율을 추구하였다. 시뮬레이션을 통해 HDPE 파이프 내부의 유체 속도는 최적의 열전달이 가능한 0.65m/s로 설정하였고, 배관의 간격은 가장 경제적인 500mm간격으로 설정하였으며, Pressure Drop으로 인한 온도변화를 사전에 방지하기 위해 각Circuit의 길이는 같게 시공하였다. 지열 에너지(Soil Energy) 시스템의 HDPE 파이프는 말단에서 CCA(Con' c Core Activation) 시스템과 연결되어 각 실의 냉난방을 담당하게 된다.

HDPE 파이프의 내구성은 100년에 달하며 해외의 실제 시공사례에서도 40년 이상 문제없이 사용되었지만, 시공시 돌등 뾰족한 물체에 의한 손상을 미연에 방지하기 위하여 시공후 모래로 보양하고, 후속작업을 진행하였다.

4.4 CCA(Con'c Core Activation) 시스템

• CCA(Con'c Core Activation) 시스템 개요

천장, 벽 또는 바닥 패널의 표면온도를 조절하여 실

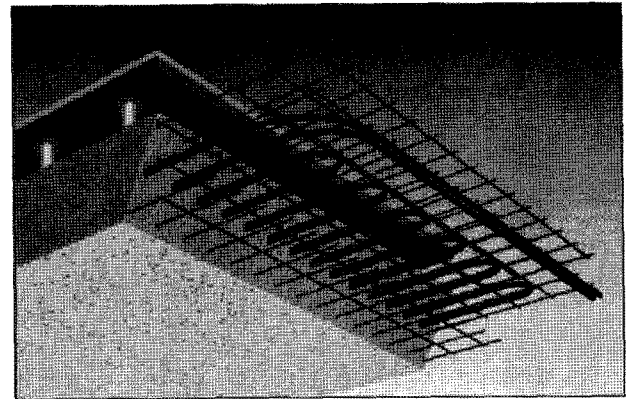


그림.15 CCA 시스템 단면도

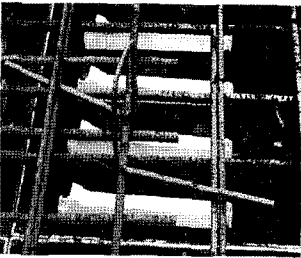
• CCA 시스템의 우수성

CCA 시스템은 현열냉방을 위해 차가운 표면의 복사에 의존하기 때문에 전공기 시스템보다 더 높은 실내 온도에서 사용자들이 쾌적함을 느낄 수 있으며, 공기 통풍에 구애받지 않는 무소음 냉/온각이 가능한 시스템이다. 따라서 공급하는 공기의 양은 위생적인 기준에 의해서만 결정되며 높은 수준의 냉각이 필요할 때에도 쾌적한 상태의 기준을 유지할 수 있다.

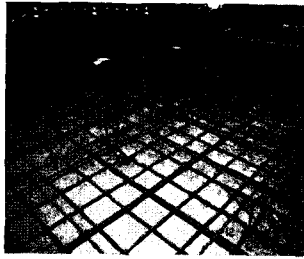
본 프로젝트의 경우 지하수를 사용하여 24시간 상시 냉난방 가동 할 수 있도록 계획 되었으며 공조용 덕트는 환기를 위해 최소한의 크기만 설치하였다.

• CCA 시스템의 최적화 시공

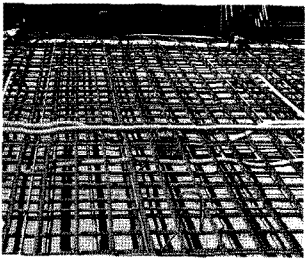
CCA 시스템은 지열에너지 흡수장치, 지열에너지 제어시스템, 에너지 분배 시스템, 외부 온냉각 시스템등으로 구성되었으며, 시공시에는 Pressure Drop으로 인한 온도변화를 방지하기 위하여 각 Circuit의 길이는 같도록 설계하였으며, 코일의 간격을 시뮬레이션 결과 150mm로 최적화 할 수 있었다.



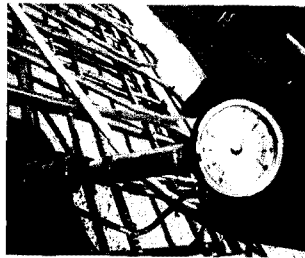
1. 커백선 박스 설치



2. 철근 설치



3. 배관설치



4. 기압 테스트

그림.16 CCA 파이프 시공

료의 사용을 줄일 수 밖에 없는 건축외적인 여건을 만족할 뿐 아니라, 캠퍼스내 건축물에 요구되는 지하공간의 활용측면에서도 새로운 페이지를 여는 건물로 평가 할 수 있을 것이다.

6. 조직도



5. 지하 캠퍼스와 이화 캠퍼스 복합 단지

이화 캠퍼스 복합단지 프로젝트는 국내 캠퍼스 프로젝트 중 가장 친환경 적인 사례일 것이다. 친환경공간의 구축을 위해 써멀 라비린스(Thermal Labyrinth) 시스템, 지열 에너지(Soil Energy) 시스템, CCA(Con' c Core Activation) 등 첨단 친환경 시스템이 다수 동원 되었다.

금번 프로젝트는 최고의 캠퍼스 환경구축의 필요성, 공간수요는 증가하나 지상의 가용지 부족, 그린캠퍼스의 구현등 대부분의 대학 캠퍼스들이 당면한 과제들을 풀어낸 가장 모범적인 답안이라 할 수 있다.

이화 캠퍼스 복합단지는 세계적인 추세로 자리잡은 저에너지 소모 Trend, 이산화탄소를 배출하는 화석연