

# 부산대학교 제 2 캠퍼스 그린에너지 조성사업 - 지열시스템 설계사례 -

김 종 원

삼신설계(주) 설계 1본부 이사

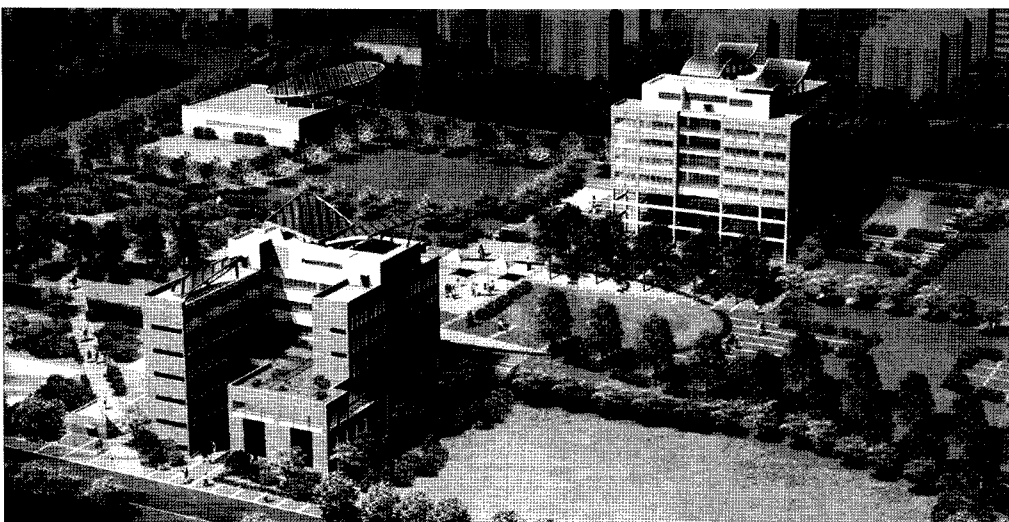
## 1. 사업배경

부산대학교 제 2 캠퍼스 그린에너지 조성사업은 부산대학교와 에너지 관리공단에서 발주된 프로젝트로 신·재생에너지 전문기업과 컨소시엄을 구성하여 프로젝트를 수행하게 되었다.

본 프로젝트는 교육시설 건물로 그린캠퍼스 개발이념 홍보사업으로 총사업비 약 37억. 공사로 지열, 태양열, 태양광, 쿨 튜브 시스템 등 신·재생에너지 복합 사업으로 진행되었으며, 본 원고에서는 지열관련사업만 언급하기로 한다.

## 2. 사업의 특징

본 그린에너지 조성사업의 특징은 부산대학교 제 2 캠퍼스 이전사업으로 설계가 완료된 후 시공 과정 중에 프로젝트가 진행된 사업으로 기존 설계된 설비시스템 및 부하용량을 파악하여 기 설계된 시스템 및 공조 Zone에 합리적인 지열 시스템으로 계획하였다. 또한 별도의 장비설치 공간 등이 확보되지 않아 제한된 공간 내에서 장비설치 공간을 활용하였다.



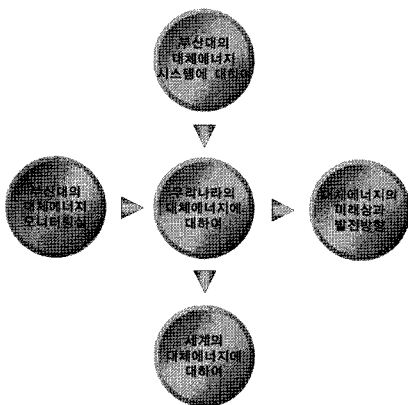
[그림 1] 부산대학교 제 2 캠퍼스 조감도

### 3. 건물 개요

- 1) 사업명 : 부산대학교 제 2 캠퍼스  
그린에너지 조성사업
- 2) 발주처 : 부산대학교, 에너지 관리공단
- 3) 건물위치 : 경남 양산시 물금읍 양산 물금지구  
택지개발사업지 제 3단계 지역
- 4) 대지면적 : 1,120,806m<sup>2</sup>
- 5) 건축개요
  - 의과대학 : 지상 7층(건축면적:2,782m<sup>2</sup>)
  - 치과대학 : 지하1층, 지상 6층  
(건축면적:2,201m<sup>2</sup>)
  - 과워플랜트 : 지상 2층(건축면적:1,554m<sup>2</sup>)

### 4. 홍보전시계획

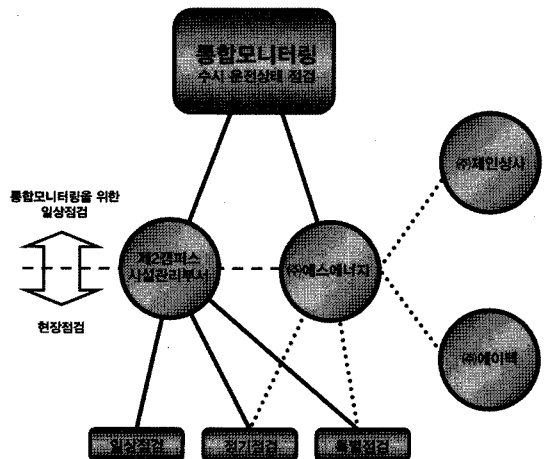
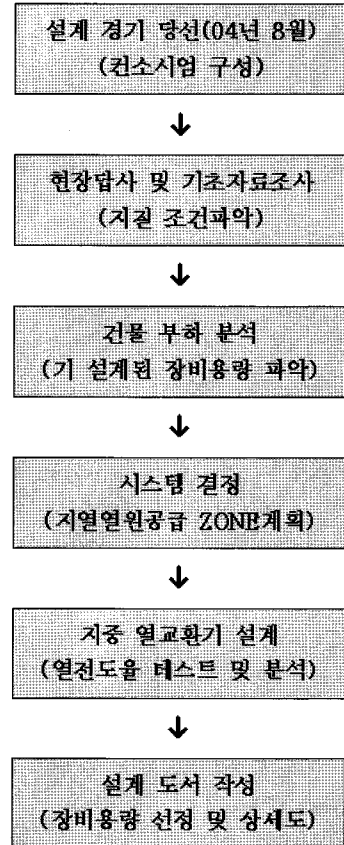
- 1) 목적
  - 부산대학교 그린캠퍼스 개발이념 홍보
  - 대체에너지의 적용에 대한 홍보의 장
  - 대체에너지 교육의 장
  - 대체에너지 복합사업을 통한 지역사회 공헌의 장
- 2) 장소  
의/치대 로비 또는 특별전시관 구성
- 3) 전시방식  
시스템을 이용한 조립식 상설전시



[그림 2] 전시계획

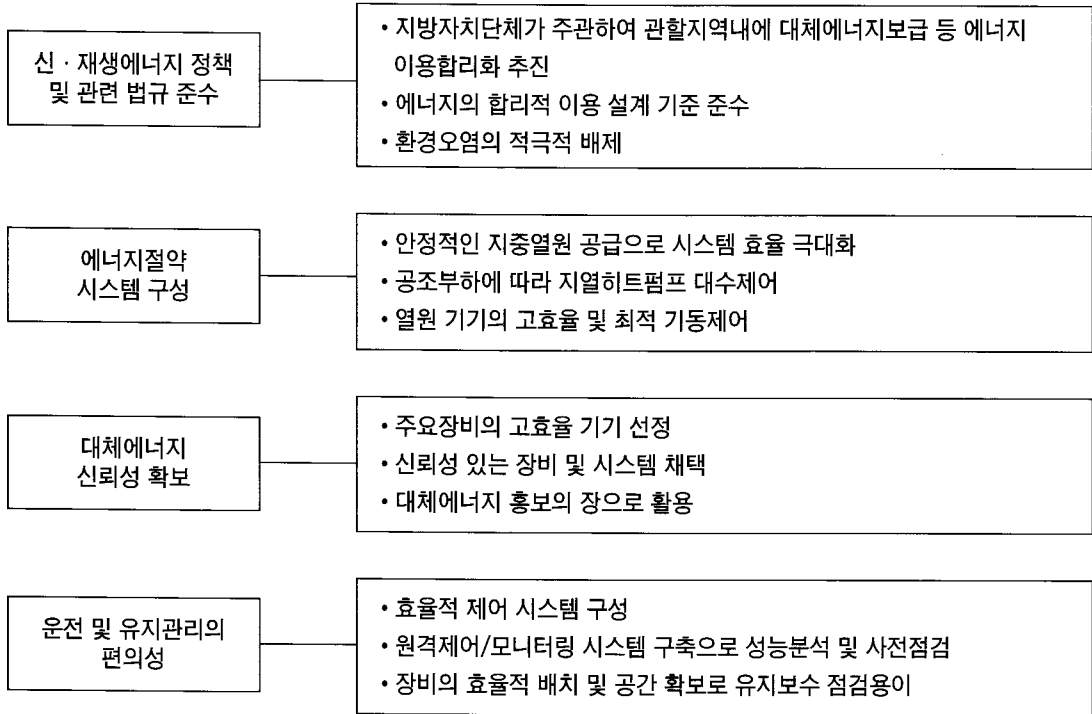
### 5. 그린에너지 사업 추진계획

#### 5.1 설계 FLOW



[그림 3] 통합모니터링 시스템 구축

## 5.2 기본방향



## 6. 지열시스템 구성

### 6.1 장비용량

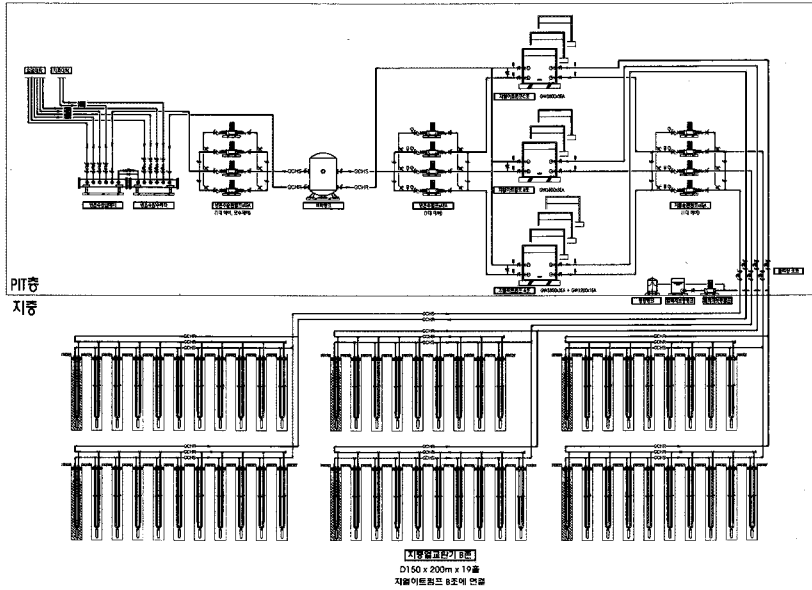
<표 1> 장비용량

구분	품명	규격	수량	비고
지열 히트펌프		GW3800	9	수방식
		GW1200	1	
버퍼탱크		10Ton	1	-
지열 순환펌프		990LPM × 25m × 7.5kW	4	1대예비
냉온수 펌프		677LPM × 8m × 2.2kW	4	1대예비
냉온수 순환펌프		1,046LPM × 28m × 11kW	4	1대예비
팽창탱크		300Liter	1	지열 교환기용

<표 2> 장비용량

구분	품명	규격	비고
설계		GLD (Ground Loop Design)	
재질		HDPEPipe	KSM3408
관경		30A	외경 : 42mm, 두께 : 4.0mm
수직 루프길이		24,000m	공당 200m
천공수		φ150 × 200m × 60공	수직형
보어홀 이격거리		5m이상	
루프조닝		3존(A,B,C존)	헤더최대관경: 100A
트렌치깊이		1.2m	지열교환기용

6.2 시스템 계통도



[그림 4] 시스템 계통도

7. 연간 운전비 분석

<표 3> 연간 운전비 분석표

(금액단위 : 원)

구분		중운수 흡수식 냉동기	지열시스템	비고	
시간난방부하		855,894 kcal/h (955kW)		지열시스템 공급 난방열량으로 대체	
연료소비량	시간당	1,337 Mcal/h	373 kW	지열	효율(COP) : 3.2
				지역난방	효율 : 0.8
요금제	시간당	49.8/Mcal	59.6/kW	지역난방 / 교육용전력 기준	
사용요금	일일	532,660	177,864	일일 10시간, 부하율 80% 기준	
	년	63,919,200	21,343,680	5개월 사용율 80% 기준	
연간 운전비 절감액		비교 기준	42,575,520		
시간냉방부하		718,053 kcal/h (835kW)		지열시스템 공급 냉방열량으로 대체	
연료소비량	시간당	1,122 Mcal/h	243 kW	지열	효율(COP) : 4.3
				지역난방	효율 : 0.8
요금제	시간당	49.8/Mcal	86.2/kW	지역난방 공급 교육용전력 기준	
사용요금	일일	447,005	167,573	일일 10시간, 부하율 80% 기준	
	년	42,912,480	16,087,008	4개월 사용율 80% 기준	
연간 운전비 절감액		비교 기준	26,825,472		
합 계		비교 기준	69,400,992		

## 8. 지열 냉·난방 시스템 계획

### 8.1 그린에너지 설계 지침서 용량

- 1) 지열 냉, 난방 급탕시스템 : 지열히트펌프
- 2) 지열히트펌프 용량 : 285 R/T 상당
  - (1) 냉·난방용 히트펌프 : 280 R/T, 급탕 5R/T
  - (2) 냉·난방 면적 : 6,800m<sup>2</sup> 상당
- 3) 냉방 용량
  - (1) 지중열 공급온도 : 21℃
    - 냉수 공급온도 : 7℃ 기준
    - GW 3,800 × 9EA
    - 76,936 Kcal/hr × 9EA = 692,424 kcal/hr
    - GW 1,200 × 1EA
    - 25,629 Kcal/hr × 1EA = 25,629 kcal/hr
  - (2) 공급가능 냉방열량 합계 : 718,053 kcal/hr(238RT)

<표 4> 의대계통 지열시스템 적용 부하량 검토

구분 용도 Zone	냉방부하 (kcal/hr)	난방부하 (kcal/hr)	실용도
1층 실습실계통용 AHU(AHU-01)	(465,696)	352,083	실습실
2층 도서관용 AHU(AHU-02)	135,960	42,625	도서관
3~7층 좌측실험실용 AHU(AHU-03)	463,479	159,053	실험실
3~7층 우측실험실용 AHU(AHU-04)	447,032	178,957	실험실
AHU 소계	1,046,471 (346 RT)	732,708	
1, 2층 FCU	(35,210)	23,780	도서관, 홀
3층 FCU	(48,746)	34,477	실습실, 홀
4층 FCU	(35,708)	20,166	교수연구실, 홀
5층 FCU	(32,948)	20,166	교수연구실, 홀
6층 FCU	(32,927)	20,166	교수연구실, 홀
7층 FCU	(40,980)	27,920	교수연구실, 홀
화장실	-	11,869	화장실 라지에이터
FCU 소계	-	158,544	
합 계	-	891,252	

( )안은 미적용 부하용량임.

### 4) 난방 용량

- (1) 지중열 공급온도 : 10℃
  - 온수 공급온도 : 54℃ 기준
  - GW 3,800 × 9EA
  - 91,703 Kcal/hr × 9EA = 825,327 kcal/hr
  - GW 1,200 × 1EA
  - 30,567 Kcal/hr × 1EA = 30,567 kcal/hr
- (2) 공급가능 난방열량 합계 : 855,894 kcal/hr(238RT)

### 8.2 지열 냉난방 시스템 적용 Zone 계획

- (1) 지열 냉·난방 및 급탕시스템은 연중 24시간 일정한 냉·난방이 공급 가능하므로 적용 Zone 구성은 상시사용 Zone 및 야간사용 Zone에 냉·난방 열원을 공급할 수 있도록 계획.
- (2) 의대 및 치대 공조기 및 FCU 냉·난방 부하량을 검토하여 적용 Zone을 계획.

### 8.3 지열 냉·난방 시스템 적용 주안점

- (1) 기 설계된 공조시스템을 면밀히 분석하여 적용된 공조시스템을 최대한 활용 유기적인 시스템 구성이 될 수 있도록 계획.
- (2) 기 설계된 공조시스템을 이용 시스템을 단순화하여 유지관리 측면과 초기투자비 측면에서 유리하도록 시스템을 계획.
- (3) 부하량 검토에 의한 합리적인 적용 Zone 구성

## 9. 지열시스템 부하 적용 내용

### 9.1 냉방 Zone 구성

- (1) 지열냉방공급 가능 열량이 718,053 kcal/hr(238RT)로 건물내 전체 냉방용량의 약 23% 비율로 효율적인 운전 및 유지관리 측면을 고려하여 의대건물에 단일화하여 설치
- (2) 의대건물 적용 Zone 및 냉방부하량 검토 결과 가장 큰 공조면적을 차지하고 있는 3~7층 좌, 우측 실험실 계통(AHU-03, 04) 공

조기 및 24시간 연속운전이 가능한 2층 도서관 계통 (AHU-02)에 지열 냉방열원을 공급 가능하도록 시스템 구성

(3) 3~7층 좌, 우측 실험실 계통과 도서관계통의 냉방열량이 1,046,471 kcal/hr(346RT)로 지열 총 냉방 공급가능 열량 718,053 kcal/hr(238RT)보다 약 60%정도 초과되나 실험실별 동시부하율을 고려하고 또한 2층 도서관계통은 24시간 운전이 가능한 Zone으로 운전 부하율에 따라 야간운전에 대응할 수 있도록 지열 냉방공급 Zone으로 구성

(4) 냉열원 배관 Zone 구성은 의대 PIT층에 설치된 지열시스템으로부터 냉열원을 공급받아 기존의 PIT층 냉온수 배관에 연결하여 해당 공조기에 냉열원을 공급하고 기존 및 신설공조배관에 전동밸브를 설치하여 부하율에 따라 기존열원과 대응할 수 있도록 배관망 구성

9.2 난방 Zone 구성

(1) 의대 전체 난방계통은 AHU + FCU를 포함한 난방열량이 891,252 kcal/hr로 지열난방

공급 가능 열량 872,526 kcal/hr와 큰 차이가 없어 층별, 또는 실별 동시부하율을 고려하여 의대 전체난방계통에 난방 공급이 가능할 수 있도록 난방 ZONE을 구성

(2) 난방열원 배관 ZONE구성은 의대 PIT층에 설치된 지열시스템으로부터 온열원을 공급받아 파워플랜트 동으로부터 의대 PIT층으로 인입된 냉,온수 통합 주 배관에 연결하며 서로의 연결 배관에 전동전환 밸브를 설치하여 시준별 냉·난방운전이 가능하도록 배관망 구성

9.3 치대계통 부하량 검토

(1) 치대 건물은 의대 냉난방 부하량에 따라 지열 시스템 냉, 온열원 공급이 가능할 수 있도록 치대 건물 PIT층 까지 배관망을 연결하여 밸브 설치 후 CAP 마감

(2) 치대건물용 지열시스템 배관구성은 3층 도서관용 공조기에 열원 공급이 가능하도록 계획

10. 자동제어

- 최적 운전상태를 고려한 계획
- 안정적 시스템 유지를 위한 설계
- 에너지 효율 극대화를 위한 설계
- 유지, 보수 용이성을 고려한 설계

10.1 열원제어

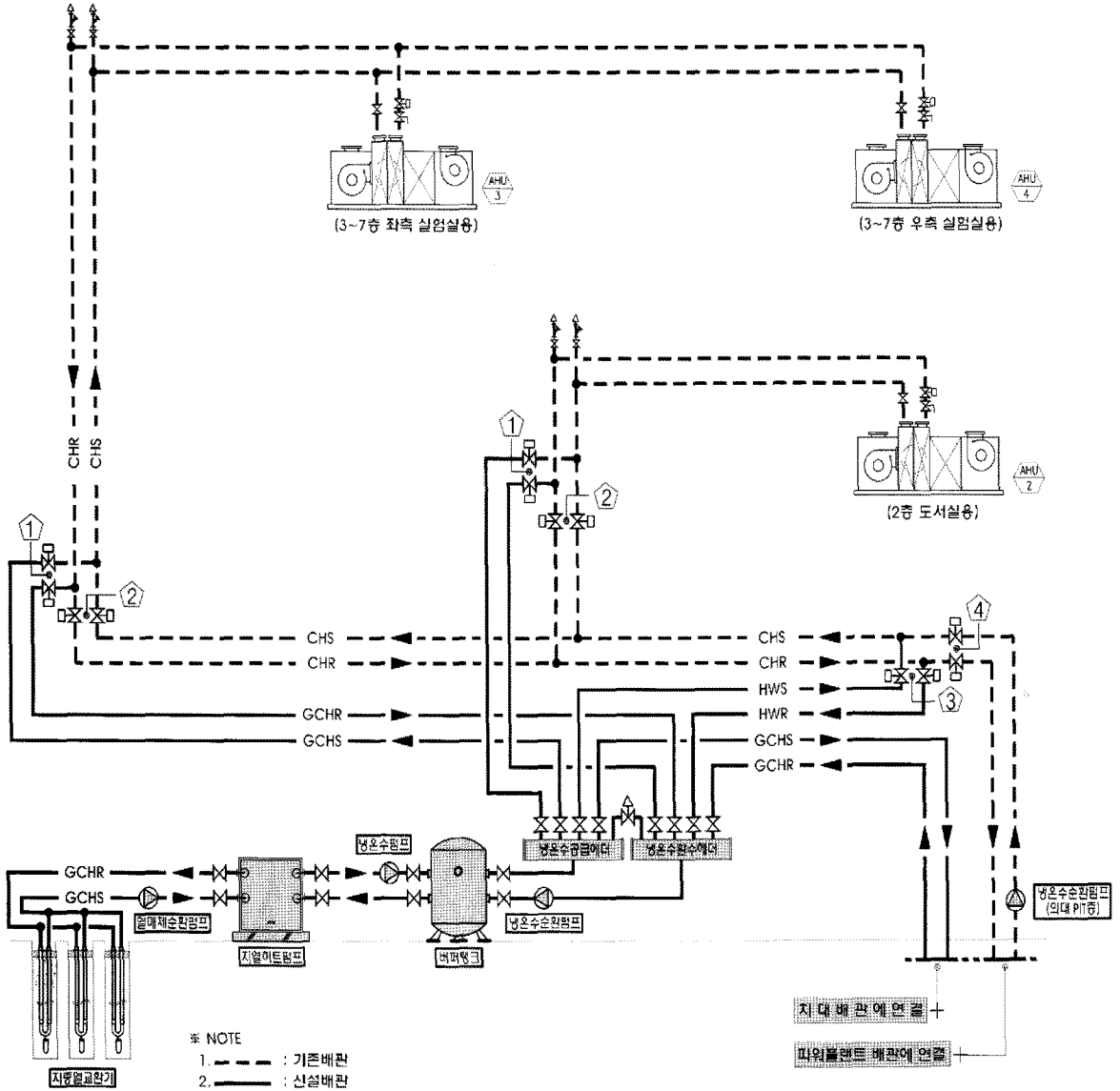
- 버퍼탱크 온도 감시하여 냉온수펌프 기동/정지
- 냉온수펌프 기동/정지에 따라 냉온수펌프 F/S 감지
- 냉온수펌프 F/S 신호에 따라 지열순환펌프 기동/정지
- 지열순환펌프 F/S 신호에 따라 해당 지열 히트펌프 기동/정지
- 환수 온도에 따른 냉온수순환펌프 기동/정지 및 댕수 제어

<표 5> 치대계통 예상 적용 부하량

구분 용도 Zone	냉방부하 (kcal/hr)	난방부하 (kcal/hr)	실용도
1,2층 계단강의실용 AHU(AHU-01)	(154,203)	(79,794)	계단강의실
1,2층 실습실용 AHU(AHU-02)	(512,820)	(371,690)	실습실
1,2층 행정실용 AHU(AHU-03)	(32,013)	(12,171)	행정실
2,3층 행정실용 AHU(AHU-04)	(104,967)	(51,560)	행정실
3층 도서관용 AHU(AHU-05)	102,578	29,804	도서관
4~6층 실험실용 AHU(AHU-06)	(194,872)	(80,749)	실습실
AHU 소계	102,578 (34 RT)	29,804	

( )안은 미적용 부하용량임.

### 11. 지열시스템 열원공급 계획



[그림 5] 지열시스템 열원공급

#### 11.1 시스템 운전 매뉴얼

(1) 지열냉열원공급 Zone은 의대 3~7층 좌, 우측 실험실(AHU-3,4 2대), 2층 도서실용 공

조기(AHU-2)에 냉열원을 공급하며 2층 도서실용 공조기는 부하율에 따라 심야운전이 가능하도록 냉온수 헤더에서 별도 배관으로

**배관망 구성**

- (2) 지열 난방열원공급 Zone은 의대 전체난방 공급이 가능하므로 냉온수 공급헤더에서 난방전용 별도배관을 분기하여 기존 의대 PIT층에 설치된 2차측 냉온수 순환펌프 토출측에 연결하여 의대 전체건물에 난방이 가능하도록 배관망 구성
- (3) 의대건물의 냉난방 부하율에 따라 치대 건물도 지열열원공급이 가능할 수 있도록 냉온수 헤더에서 별도 배관을 구성하여 치대 건물 PIT층 까지 연결
- (4) 밸브 CONTROL
  - 1) 냉방 운전시 :
    - a) 기존배관에 설치된 ②번 밸브는 닫힘, ①번 밸브는 열림 → 지열냉열원공급
    - b) 난방전용 밸브인 ③번 밸브는 닫힘, ④번 밸브는 기타 다른 공조기 냉열원 공급을 위하여 열림 유지
  - 2) 난방 운전시 :
    - a) 신설배관에 설치된 ①번 밸브는 닫힘, ②번 → 밸브는 열림
    - b) ④번 밸브는 닫힘, ③번 밸브는 열림을 유지하여 지열 난방열원이 의대건물 전체에 공급될 수 있도록 밸브 Control

**조건 양호**

- 의대건물 PIT층을 기계실로 활용
- 의대건물 좌우양측으로 지중열교환기 천공 실시
- 풍적층에 자갈층이 번갈아 출현함
- 40~45m 깊이에서 암반층 출현으로 천공작업시
- 케이싱작업이 많이 소요될 것으로 예상
- 의과대학에서 치과대학 방향으로 암반층 출현 깊이가 깊어짐
- 기 설치된 건물내 냉온수 열원과 연계하여 효율적인 운전고려

**12.2 지중조건**

**12.2.1 지하수 타공 결과 지중조건**

- 토사층 : 지표에서 지하 42M까지
- 암반층 : 지하 42M이하
- 대수층 : 지하 70M 부분에 형성

**12.2.2 시추공별 결과(한진중공업 지반조사결과 인용)(표 6)**

**12.3 배치고려사항**

- 지중장애물이 없는 곳에 지중열교환기 설치
- PIT층 기계실은 지중열교환기 천공부지로 부터 근접한 위치 선정
- 향후 시설 추가에 영향이 최소화 될 수 있도록 설치면적을 최소화 유지보수 및 효율적 관리를 위한 작업공간 확보
- 기존 시스템과의 최단거리로 열손실 최소화 및 에너지절감 극대화

**12. 천공 배치계획**

**12.1 입지조건**

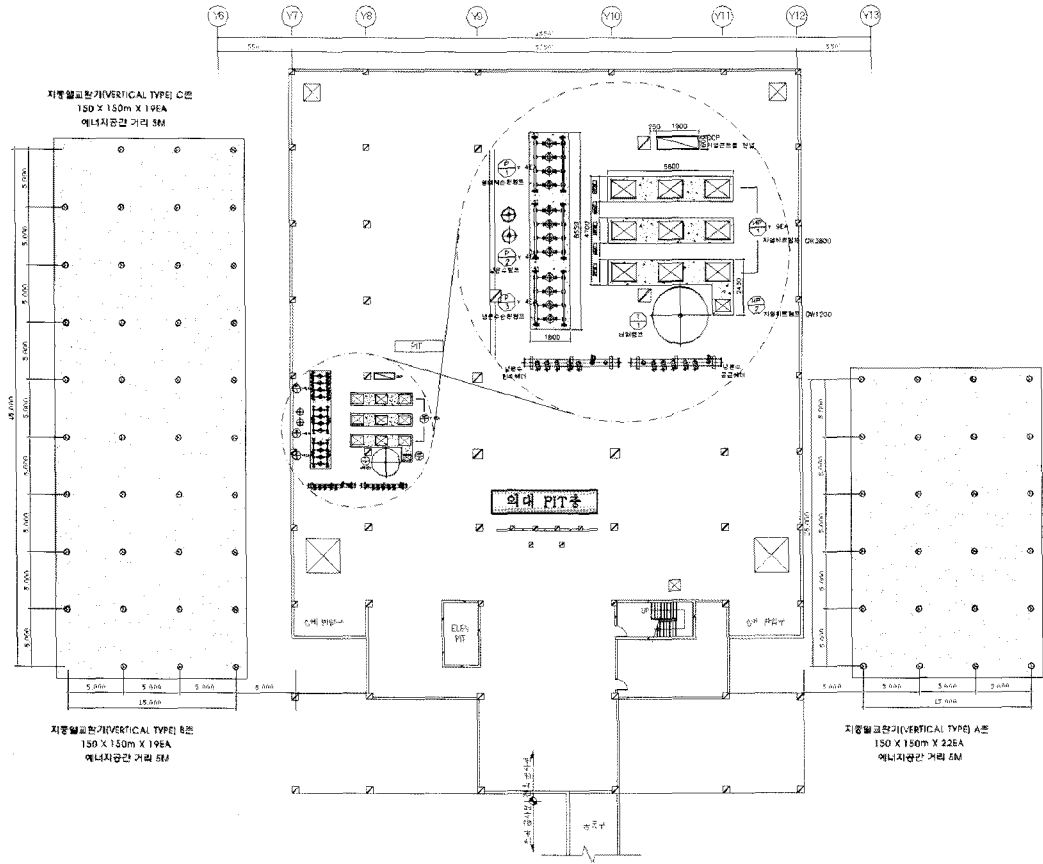
- 오봉산 인접장소에 위치하여 상대적으로 지중

〈표 6〉 시추공별 결과표

공번	표도 매립층	봉적층	퇴적층			풍화대층		S.P.T (회)
			점성도	모래	자갈	풍화도	풍화암	
NBH-2	3.5	14.5	-	11.0	-	-	5.0	22
NBH-3	3.5	11.3	9.4	-	6.8	-	5.0	24
BBH-3	3.5	7.3	2.2	-	-	-	5.0	12

\* 출처 : (주) 한진중공업 지반조사결과, 2004. 03. 26





[그림 6] 천공 및 장비 배치도

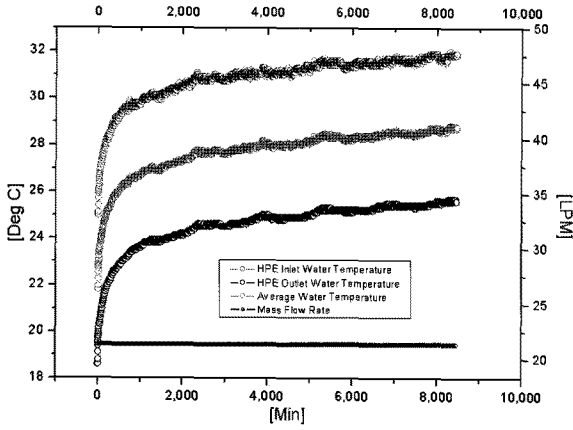
### 13. 열전도 테스트 과정



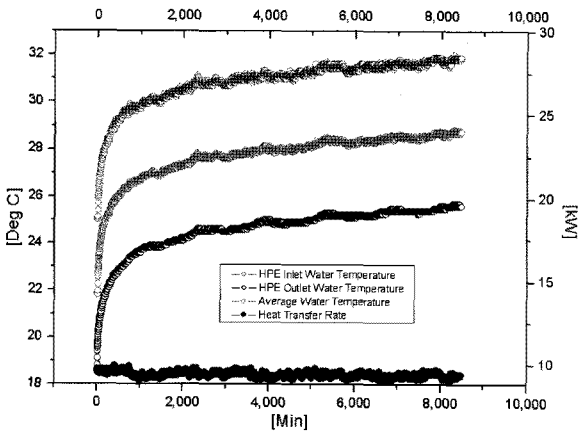
[그림 7] 천공부지 전경



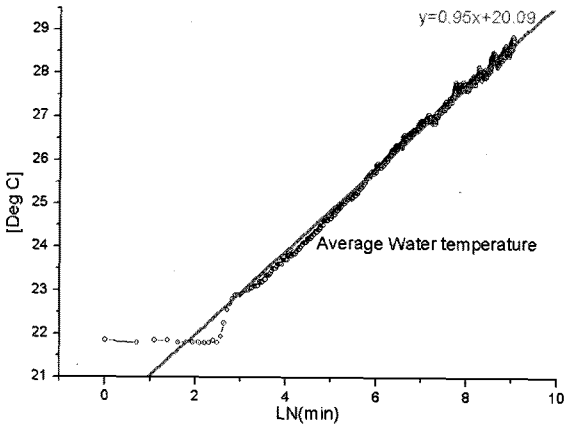
[그림 8] 천공



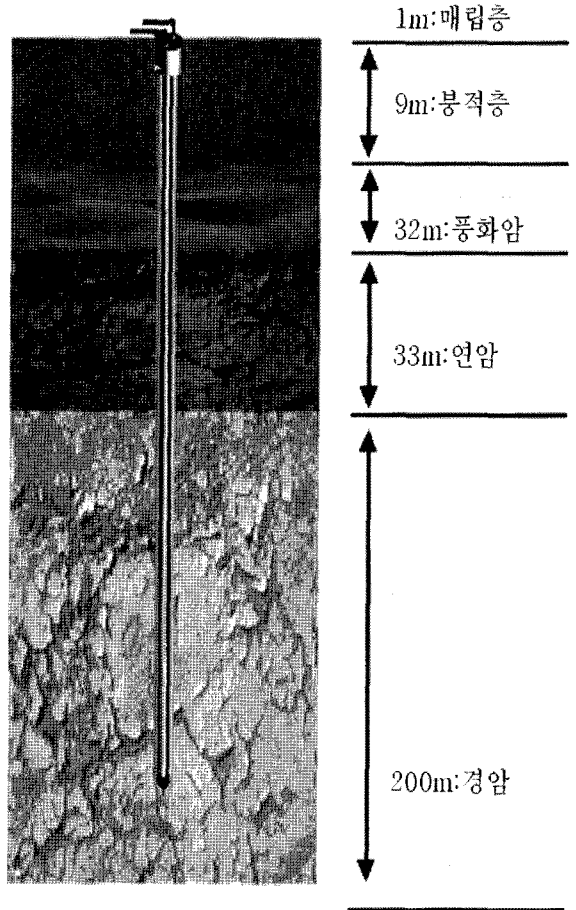
[그림 9]



[그림 10]



[그림 12]

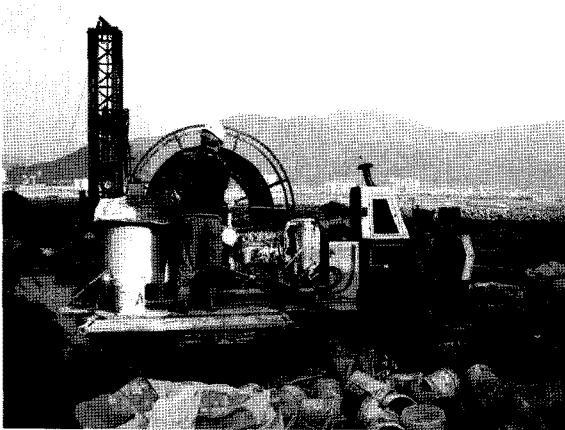


[그림 11] Line Source Method

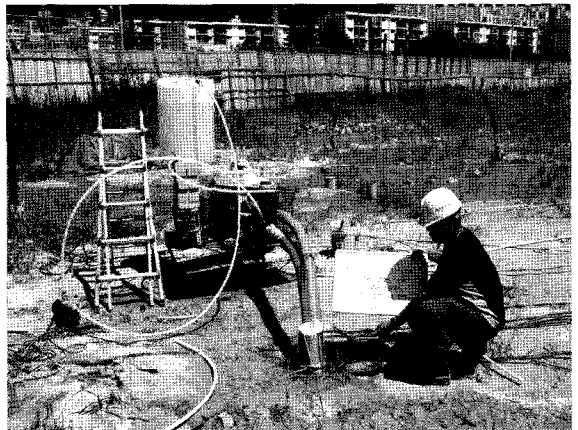
<표 7>

분석기간 (hrs)	기울기	평균 히트 소모동력 (W)	열전도도 (W/m-K)
133	0.95	9800	4.10

자연로그시간대비 입출구평균온도 상승 그래프에서 기울기는 0.95로 산정되었다. 이 값을 근거로 라인소스방법을 근거로 수직밀폐형 지중열 전도도는 4.10 [W/m-k]로 평가되었다.(표 7)



[그림 13] 그라우팅



[그림 14] 테스트 장비세팅

Borehole Design Project - 부산대학교			
Calculate   Fluid   Soil   U-Tube   Pattern   Extra kW   Information			
Calculation of Required Bore Lengths			
Calculate	COOLING	HEATING	
Total Length (m):	12042.4	9173.2	
Borehole Number:	60	60	
Borehole Length (m):	200.7	152.9	
Ground Temperature Change (℃):	+1.5	+2.0	
Unit Inlet (℃):	35.0	5.0	
Unit Outlet (℃):	40.9	1.9	
Total Unit Capacity (kW):	835.0	962.7	
Peak Load (kW):	835.0	835.0	
Peak Demand (kW):	103.2	253.3	
Heat Pump COP:	3.1	3.3	
System COP:	3.1	3.3	
System Flow Rate (L/min):	2706.4	2706.4	
Optional Cooling Tower			
Condenser Capacity (kW):	0.0	0 %	
Cooling Tower Flow Rate (L/min):	0.0		
Cooling Range (℃):	4.4		
Annual Operating Hours (hr/yr):	0	Load Balance	

[그림 15] 분석결과 : 테스트 장비세팅

Borehole Design Project - 부산대학교 테스트대영			
Calculate   Fluid   Soil   U-Tube   Pattern   Extra kW   Information			
Calculation of Required Bore Lengths			
Calculate	COOLING	HEATING	
Total Length (m):	10755.6	8492.3	
Borehole Number:	60	60	
Borehole Length (m):	179.3	141.5	
Ground Temperature Change (℃):	+1.4	+1.7	
Unit Inlet (℃):	35.0	5.0	
Unit Outlet (℃):	41.0	1.9	
Total Unit Capacity (kW):	835.0	962.7	
Peak Load (kW):	835.0	835.0	
Peak Demand (kW):	272.9	253.3	
Heat Pump COP:	3.1	3.3	
System COP:	3.1	3.3	
System Flow Rate (L/min):	2706.4	2706.4	
Optional Cooling Tower			
Condenser Capacity (kW):	0.0	0 %	
Cooling Tower Flow Rate (L/min):	0.0		
Cooling Range (℃):	4.4		
Annual Operating Hours (hr/yr):	0	Load Balance	

[그림 16] 분석결과 : 테스트 후 조건

### 13.1 검토 결과(표 8)

- 파이프 전체 길이 변화는 냉방시 10.7%, 난방시 7.4% 감소하였음.
- 설계시 적용된 열전도율 보다 실제 테스트 후의 열전도율이 높게 나왔으므로 지중의 열전도가 보다 효율적으로 작용됨.
- 그러므로 설계된 지중열교환기의 길이는 실제 부하율을 수용하기에 충분하고, 안전율을 고려

<표 8>

구분	3.31W/m*k		4.10W/m*k	
	냉방	난방	냉방	난방
파이프 전체길이	12042.4m	9173.2m	10755.6m	8492.4m
각 홀의 심도	200.7m	152.9m	179.3m	141.5m
비교	비교기준	비교기준	10.7% 감소	7.4% 감소

할 때 약 25.7RT(RT당 50m부하 적용시)의 여유길이 1,286.8m를 확보한 상태로 판단됨.

- 지중열교환기의 시공 수량은 적정하다고 판단됨.

#### 14. 맺음말

부산대학교 그린에너지 조성사업은 지열냉난방 시스템, 태양열 급탕시스템, 태양광 발전시스템, 쿨튜브 시스템 등 신·재생 에너지 복합 사업으

로 교육시설 건물에 그린에너지를 접목시켜 그린 빌딩으로서 상징성을 부여할 수 있다.

또한 부산대학교 그린캠퍼스 개발이념 홍보, 대체에너지 적용에 대한 홍보의 장, 대체에너지 교육의 장, 복합 사업을 통한 지역사회 공헌의 장으로 기대효과가 예상되며 모쪼록 학생들에게 대체 에너지 관련 미래상과 발전방향등 교육의 장으로 운영되길 기대한다. 