

대공간의 공조설비

강상중/삼성물산 건설부문 과장
나정서/서일엔지니어링 대표

핵융합 특수실험동은 크게 플라즈마 실험실, 실험지원시설, 연구 및 회의실 등의 업무시설로 구분되는 바, 본고에서는 대공간인 플라즈마 실험실의 공조설비를 중점적으로 기술하고, 기타 부대시설의 기계설비의 개요를 기고하고자 한다.

1. 머리말

차세대 초전도 핵융합 연구장치(KSTAR: Korea Superconducting Tokamak Advanced Research)가 놓여 있는 핵융합 특수실험동은 35(W)m×50(D)m×31(H)m의 무주 대공간으로서 층간 온·습 분포가 성층화 되지 않아야 하며 실험장치가 요구하는 조건은 온도편차가 ±2℃로 일정하여야 한다. 이를 검증하기 위하여 CFD(Computational Fluid Dynamics)를 실시하였으며, 이를 바탕으로 Duct Level 및 기구를 선정하여 요구 조건을 충족하였다. 운전시 실내가 양·부압을 유지하여야 하는 이중성에 대응하기 위하여 가변풍량에 의한 제어를 할 수 있도록 설계를 하였다. 또한 다음과 같은 조건들을 충족하여 최적화된 공간을 유지할 수 있도록 하였다.

- 실험실과 지원장치의 최적운동을 위한 실내 환경조건의 확보

- 장비발열의 효율적인 제거
- 시스템 및 장비의 신뢰성 확보
- 환경오염방지 및 에너지 절약적인 운전 등을 기본방향으로 계획 되었다.

핵융합 특수실험동은 크게 플라즈마 실험실, 실험지원시설, 연구 및 회의실등의 업무시설로 구분되는 바, 본고에서는 대공간인 플라즈마 실험실의 공조설비를 중점적으로 기술하고, 기타 부대시설의 기계설비의 개요를 기고 하고자 한다.

2. 건축개요

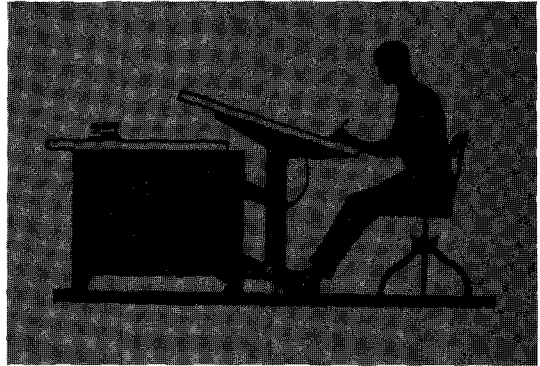
- (1) 위치: 대전광역시 유성구 어은동 52, 신성동 10-1 기초과학지원연구소내
- (2) 대지면적: 108,314.05㎡
- (3) 건축면적(중축): 11,091.48㎡
- (4) 건축물의 주용도: 교육연구시설(연구소)
- (5) 연면적: 실험동: 23,429.52㎡ (7,087.42평)
지원동: 4,702.10㎡ (1,422.38평)
계: 28,131.62㎡ (8,509.8평)

- (6) 층수: 지하 2층, 지상 7층
- (7) 건물구조: 철골 철근 콘크리트조, 철근 콘크리트조

3. 설계조건

(1) 외기 온·습도 조건(대전)

구분	건구온도(°C DB)	습구온도(°C WB)	상대습도(% RH)	비고
여름	33.3°C	26.1°C	57	TAC 1%
겨울	-12.6°C	-13.4°C	86	TAC 99%



(2) 실내 온·습도 조건

구분	냉 방		난 방		비고
	건구온도(°C DB)	상대습도(% RH)	건구온도(°C DB)	상대습도(% RH)	
Low part of P.E room	24±2	50±5	18	40	실내압력 양압, 음압±3%
Plasma experimental room	24±2	50±5	18	40	실내압력 양압, 음압±3%
Power supply for coil	30	-	-	-	
Heating device room	30	-	18	-	
Helium facility room	30	-	18	-	
Power supply for heating device	30	-	-	-	
Motor generator room	30	-	18	-	
Electrical room(M.G)	30	-	-	-	
공작실	28	-	18	-	
Control room	26	50	20	35	
연구원실	26	50	20	35	
실험실	26	50	20	35	
Network room	26	50	20	35	
회의실	26	50	20	35	
전시실 주출입구 홀	26	50	20	35	
주통제실 (Heating device room)	24	50	24	50	향온향습
MECH. 통제실(특수설비동)	24	50	24	50	향온향습
Control cabinet room (특수설비동)	24	50	24	50	향온향습

[주] 1. 지하층은 냉방, 지상층은 냉, 난방으로 적용
 2. 비상 발전기실은 냉각방식이 수냉식이므로 환기설비만 적용
 3. Helium plant room(compressor)은 외기냉방에 의한 환기설비를 적용

(3) 내부 부하설계기준

실 명	인 원	조 명	장비발열 냉방부하(W/ m ²)		외기량 m ³ /h.인
	인/m ²	W/m ²	핵융합실험동 (KSTAR)	日本 NIFS(LHD)	
Low part of P.E room	0.05	20	250	230	25
Plasma experimental room	0.05	20	200	150	25
Power supply for coil	-	20	200	(200)	-
Heating device room	-	20	200	(200)	-
Helium facility room	-	20	150	(200)	-
Power supply for heating device	-	20	200	(200)	-
Electrical room	-	20	200	(200)	-
Motor generator room	-	20	200	(200)	-
Electrical room(M.G)	-	20	200	(200)	-
공작실	-	20	100	(100)	-
Control room(핵융합실험실 포함)	0.1	20	150	100	25
연구원실	0.2	20	25	(25)	25
실험실	0.1	20	50	(50)	25
Network room	0.1	20	150	100	25
회의실	0.4	20	10	(10)	30
행정실	0.2	20	25	(25)	25
전시실, 주출입구 홀	0.1	20	-	-	25

4. 열원설비

(1) 개요

초전도 핵융합 연구장치의 중요성에 비추어 열원설비의 신뢰성과 안정성 확보를 최우선으로 고려하여 냉열원은 에너지를 전기와 가스로 이원화하여 냉열원 장비를 선정하였다. 냉열원 장비는 유사한 지역별로 장비를 분리하였으며, 비상시를 대비하여 라인을 서로 공유할 수 있도록 하였다. 장비는 터보 냉동기 2대와 2중효용 흡수식 냉동기 2대를 설치하였다. 냉열원 장비는 부하용량에 따라 효율적으로 운전할 수 있도록 대수제어를 계획 하였다. 온열원은 천연가스(LNG)를 사용하는 노통 연관식 증기보일러 2대

로 계획하였다.

(2) 열매조건

구 분	조 건	
냉방용 열매	1차측	증기(2.0kg/cm.G): AHU, PAC, 열교환기, 급탕탱크
	2차측	증기(0.35kg/cm.G): AHU기습용, 온수(60℃-55℃): FCU, 방열기
냉방용 열매	냉수(7℃-12℃)	AHU, PAC, FCU

(3) 열원기기의 구성

냉, 온열원의 선정은 장래 증설부하, Peak시의 외기조건 및 여유율 등을 고려하여 선정하였다.

1) 냉열원

- ① 2중효용 흡수식 냉동기: 700USR/T × 2대 설치
- ② 터보 냉동기: 260USR/T × 2대 설치

- ③ 직교류형 냉각탑(흡수식 냉동기용):1,000 RT×2대 설치
- 직교류형 냉각탑(터보 냉동기용):300 RT×2대 설치

운전이 용이한 터보 냉동기에 의해 공급된다.

② 냉방부하 용량에 따라 냉수 제어 밸브가 작동하여 비례제어 된다.

2) 온열원 운전방식

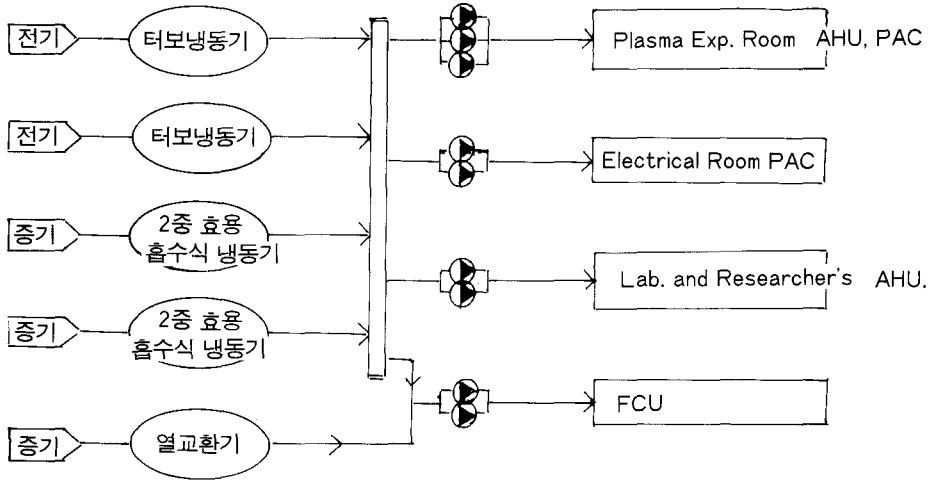
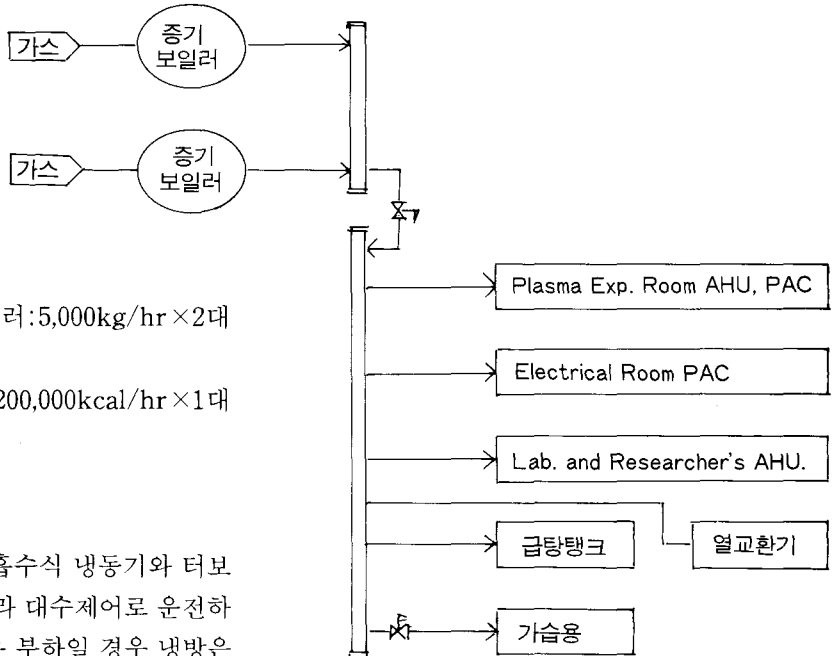


그림 [4.1] 열원 공급 Diagram



2) 온열원

① 노동 연관식 증기보일러:5,000kg/hr×2대 설치

② 난방용 열교환기:200,000kcal/hr×1대 (FCU용)

(4) 열원설비 운전방식

1) 냉열원 공급 시스템

① 여름철에는 2중효율 흡수식 냉동기와 터보 냉동기가 냉방부하량에 따라 대수제어로 운전하고 중간기 또는 야간의 낮은 부하일 경우 냉방은

① 공조기에는 증압의 증기를 공급하며, 환코 일 유닛에는 열교환기에 의해 생산된 온수를 공급한다. 난방부하 용량에 따라 증기 또는 온수 제어 밸브가 작동하여 비례제어 된다.

31m 실험실의 조건을 만족시키기 위해 공조범 위는 기기의 보호 및 작업자의 작업범위에서 판 단하며, 2FL+15m 정도이고 주장치 실험실의 1/2 정도이다. 전체를 공조하는 방법은 에너지 측면을 고려하여 부분 공조방식으로 하며 공조 시스템은 크게 지상층 실험실과 지하층으로 구

5. 공기조화설비

(1) 공조 ZONING

구 분	ZONE	공조방식
B2-7층 핵융합실험실	1) Low Part of Plasma Experimental Room 2) Plasma Experimental Room	AHU(전공기식)
1-3층 좌측연구원실 실험실	전시실, Magnet Power Supply Control Room, Network Room	AHU+FCU
1-3층 우측연구원실 실험실	보안통제실, 행정실, Heating Device Control Room 연구원실, 주통제실, 실험실	AHU+FCU
지하층 실험실 (냉방전용)	B2, B1, 1층 Power Supply for Coil	PAC (팩케이지형 공조기)
실험실 (냉, 난방)	2층 Helium Facility Room 2층 PLC Room, Analyzer Room 2층 Heating Device Room 2, 3층 Diagnostics Room 3층 통제실 (특수설비동) 4층 H. F. 통제실	PAC (팩케이지형 공조기)
B2-4층 전기동	B2-1층 Power Supply for Heating Device 1, 2층 Electrical Room (M.G) 3층 Motor Generator Room 통제실(M.G), 공작실 Electrical Room 4층 통제실	PAC (팩케이지형 공조기)

(2) 공조방식

1) 핵융합실험실(Plasma Experimental Room)

① 개요

핵융합 특수실험실(35(W)m×50(D)m×31(H)m) 및 지하층(35(W)m×37(D)m×14(H)m)은 실용적이 큰 대공간으로서 상하온도차의 해소 및 기류분포의 균일화를 위해 계획단계에서부터 시뮬레이션을 실시하였다. 하계와 동계의 온도 및 기류분포 상황을 만족하기 위해 공조방식 및 실험실의 취출온도를 검토하였다. 그림[4.2]는 실험실의 공조계통을 나타내고 있다. 높이

분하여 단일덕트 정풍량 방식으로 하고, 하절기에는 공기조화기의 입구공기 온·습도를 노점온도제어로 실험장비를 보호한다. 공조기는 고장시 등의 영향을 최소화 하기 위해 여러대로 분할하여 설치하였다. 또한 실험중에는 실내에서의 배기측에 함유되어 발생할 수 있는 방사선 물질들을 제거해야 하기 때문에 HEPA Filter가 내장된 RI-Filter Unit를 설치 했으며, 방사선 오염 공기가 외부로부터 확산되는 것을 방지하기 위하여 배기팬에 부착된 인버터에 의해 양압과 음압의 압력유지가 가능한 시스템으로 하였다.

② 공조 취출 방법 및 흡입구의 처리방법

가. 공조의 급·배기는 천장 송풍의 경우 크레인 등의 배치에 제약을 받기 때문에 벽면 취출방식으로 급·배기 한다.

나. 출구는 대공간에서 공조 공기의 도달거리와 온도분포 및 이상적인 기류 형성을 위하여 냉, 난방시 취출각도 조절이 가능한 노즐형 취출구를 고층부(2FL+15m) 저층부(2FL+7.5m)로 구분 하여 설치하였다.

다. 흡입구는 2FL+3m에 주장치 실험실 벽면 주위에 설치하였다.

③ 주장치 실험실 공조의 압력유지 방안

가. 실험실은 장치조립시에는 실내를 정압(+3% 상태)으로 하여 외부로부터 오염공기의 유입을 방지하고 실험시에는 방사선 오염공기가 외부로 확대되는 것을 방지하기 위해 부압(-3% 상태)을 유지하는 시스템으로 계획 하였다.

나. 압력제어는 압력감지기와 배기팬에 부착된 인버터에 의해 설정된 양압 또는 음압범위가 유지 되도록 풍량조절이 된다.

④ 공조 덕트 재질

핵융합실험장치의 자장 영향 범위내는 비자성

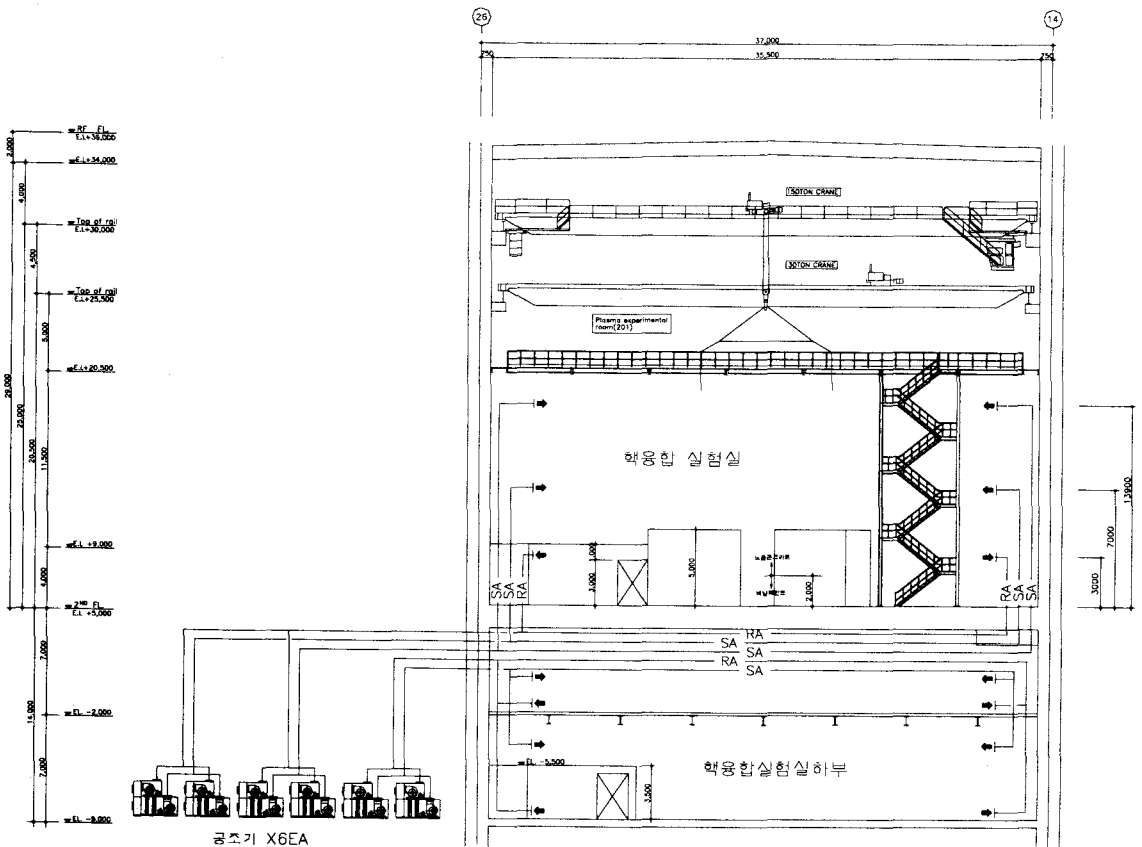


그림 [4.2] 핵융합 특수실험실 공조덕트 계통도

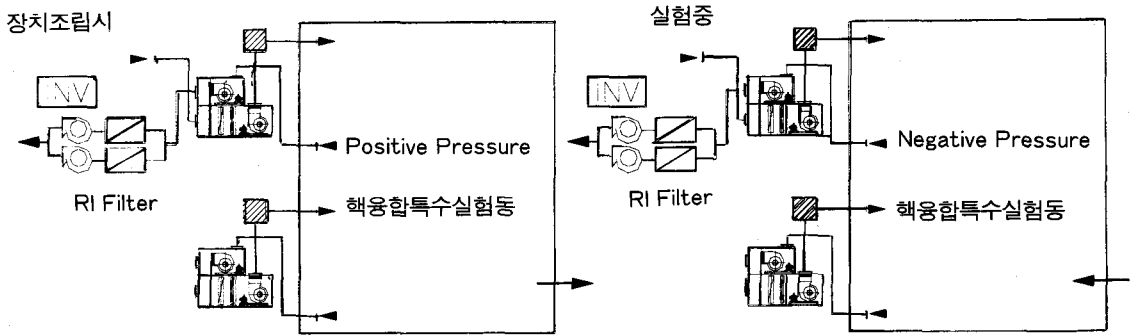


그림 [4.3] Plasma Experimental Room Air Balancing

체인 Stainless Steel재질의 덕트를 사용하였다.

⑤ 차폐계획에 대한 고려

가. 주장치 실험실 공간에 대하여 방사선 감쇄 목적으로 주장치 실험실의 관통부는 콘크리트덕트를 사용 하였다.

⑥ 에너지 절약 대책

가. 주장치 실험실은 공간체적이 큰 대공간이므로 높은 층고의 온도차를 고려하여 실험실 근접 공간에 가변용(저층부) 및 고정용(고층부) 노출 취출구를 설치하였다.

나. 반송에너지의 절감을 위해 열원설비 인근에 공조실을 배치하였다.

(3) 실험실, 연구원실

1-3층 전면부의 실험실, 연구원실은 좌측 공조기와 우측 공조기로 구분하여 3층 공조실에 각각 설치하고, 동절기 운전시 외주부 창가에는 Cold Draft 방지용으로 쉐코일을 설치하며, 내주부의 공조방식은 정풍량 단일덕트방식을 채택하여 충분한 환기량 확보가 가능토록 하였다.

(4) Heating Device Control Room, 주통제실

① 핵융합 실험실의 조정실로서 독립된 열원설비로 운전이 가능하도록 각 실별로 전기코일이 내장된 항온항습기를 설치하였다.

② 환기를 위한 최소 외기량은 우측 연구실 실험 공조기에서 공급하도록 하였다.

(5) Power Supply for Coil, Power Supply for Heating Device, Helium Facility Room, Heating Device Room, 전기실

실내의 기기 발열량이 크므로 실내에 냉. 난방 전용의 패키지형 공조기를 설치하였다.

6. 환기설비

각 실의 요구에 따라 적절한 환기방식을 채택하고 필요시 배기처리 장치를 설치하고 환경 보전법에 적합한 설비를 병설하였다.

(1) 핵융합 실험실(Plasma Experimental Room)

① 핵융합 실험실의 환기는 공조기로 제1종 환기방식으로 하는데 실험중의 방사선 측정 농도에 따라 배기측에 HEPA Filter가 내장된 RI-Filter Unit를 설치하였다

② 실험실내의 덕트는 실내 노출로 하고 핵융합 실험장치에서의 자장 영역 범위내는 Stainless Steel제 덕트로 하였다.

(2) 실험실, 연구원실

공조기에 의한 제1종 환기방식으로 하며, 각 실험실 Fume Hood의 배기는 가능한 덕트 길이를 짧게하고 옥상에 설치한 전용의 배기팬을 각각 설치하여 대기중에 배출하며, 실험실 내부의 배기가스 성분 및 온도, 농도에 따라 배기계통에 Scrubber를 설치했다. 그 밖의 국소배기는 Hood를 설치하여 옥외로 배출된다.

(3) Power Supply for Coil, Power Supply for Heating Device, Helium Facility Room, Heating Device Room, 전기실, 기계실

① 실용적이 크고 환기량이 크기 때문에 제1종 환기방식으로 하였다.

② 재실열 제거 및 연소용 공기량의 확보를 고려하여 환기를 하였다.

③ 열, 분진 및 오염물질을 발생하는 기기 주변에는 국소 배기방식으로 Hood를 설치하여 별도 계통으로 옥외로 배출된다.

(4) 화장실, 탕비실

화장실 냄새가 주위에 확산되지 않게 화장실 내의 부압(Negative)으로 유지시키는 제3종 환기방식으로 하였다.

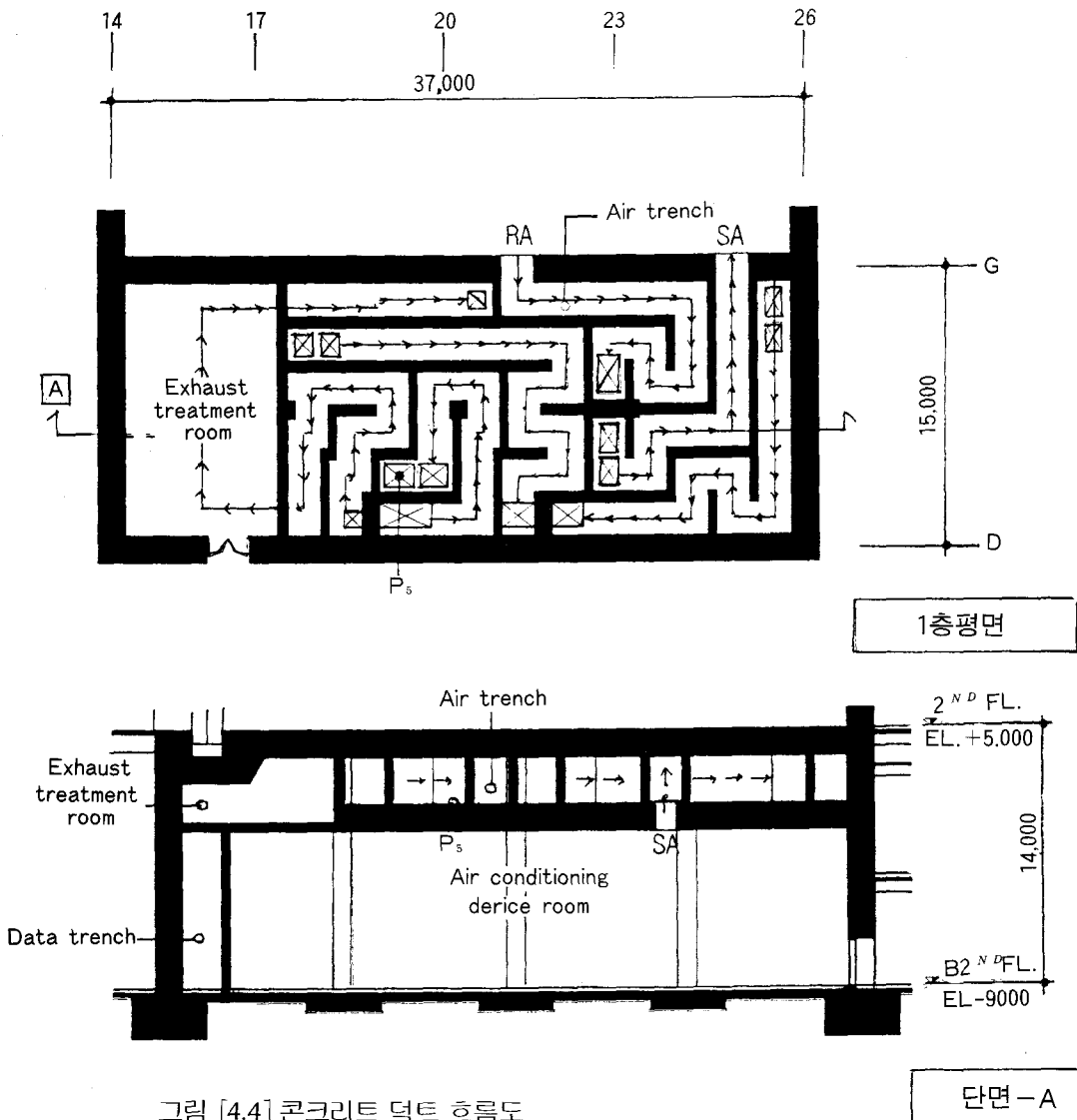


그림 [4.4] 콘크리트 덕트 흐름도

(5) 환기량 및 방식

환기 계통	환기 횟수(회/hr)	환기 방식	비 고
사무실, 연구원실, 실험실	8-10	1층	AHU에 의함
Power Supply for Coil Helium Facility Room Mechanical Room 전기관련 부속시설	5	1층	※ 참고자료 Helium Facility Room: NIFS(日本)기준:0.5회/hr
Helium Plant Room(Compressor실) Heating Devive Room, 비상발전기실 Motor Generator Room, Electrical Room	장비의 열발생으로 실온상승을 어느 한계 내로 제한하기 위한 필요 환기량 산출	1층	Helium Plant Room:3층 (Compressor실)
기계실 (HVAC용)	10	1층	

7. 위생설비

(1) 급수설비

사용자의 보건위생적인 측면을 고려하여 내식성이 있는 자재를 선정 하였으며, 고가수조는 청결유지를 위하여 주요 기기류는 분할설치하고, 양수 펌프등 비상시설에 준하여 비상전원을 확보하였다.

1) 수원 사용 구분

① 시수:세면기, 탕비싱크, 음수기, P/P동 냉각탑 보급수

② 정수:대변기, 소변기, 실험실 장비 냉각수, 소화용수

2) 급수공급방식

단지내 기존 지하저수조를 사용하며 시수, 정수의 2계통으로 인입하여 양수펌프에 의해 신설되는 고가수조에 양수한 후 하향공급방식으로 핵융합 실험동은 3층까지 공급하며, 또한 기존 건물에 공급하도록 하였다. 핵융합 실험동의 5, 6층 급수는 별도의 고가수조를 설치하여 하향공급방식으로 공급하도록 하였다.

(2) 급탕설비

기계실에 중앙식 저탕탱크를 설치하고, 세정 및 실험용수의 용도로 60℃의 급탕을 중앙공급방식으로 공급하였고, 계통은 핵융합 실험동

B2-3층, 5, 6층으로 구분 하였다.

(3) 오·배수 설비

1) 오·배수 방식

① 배수계통은 오수계통, 잡배수 계통, 실험실 폐수계통으로 구분하였다.

② 오수, 잡배수계통은 옥내에서 분리식으로 배관하여 옥외에 배출 하였다.

③ 실험실 폐수계통은 옥내에서 분리식으로 배관하여 옥외에 배출되고, 옥외에서도 분리배관하여 폐수처리장으로 이송되도록 하였다.

④ 우수계통은 자연유하방식으로 옥외우수로에 연결하였다.

8. 소화설비

(1) 법규해당설비

옥내소화전설비, 옥외소화전설비, 스프링클러설비, CO₂ 소화설비, 상수도소화용수설비

9. 자동제어설비

(1) 자동제어방식

고도의 제어성을 유지할 수 있는 정보처리의 신속성과 공조설비 및 특수설비에 대한 통합 관리의 신뢰도가 높은 분산제어시스템(DCS: Distributed Control System)으로 하였다.

* 설비 *