VAV시스템의 응용 및 실무 적용 사례

생활수준의 향상 및 최근의 고유가로 인해 실내 공간의 최적 환경을 그대로 유지하면서도 에너지를 최대한 절감할 수 있는 VAV공조시스템의 응용 및 실무 적용 사례에 대해 소개하고자 한다.

변 운 섭
(주)우원M&E(bws@300302.com)
윤 해 동
(주)우원M&E(abc@300302.com)

삼성동 D사옥 설계사례

변풍량 공조방식의 설계시에는 그 건물의 열부하 특성을 정확히 분석하는 것이 무엇보다 중요하다. 따라서 본 삼성동 D사옥에서는 이러한 중요성을 감안하여 공조 조닝 및 부하계산, 풍량산출, VAV유닛 선정, 공조방식, 덕트설계 등을 종합적으로 고려하였다.

건축 개요

- 위 치 : 서울시 삼성동
- 연면적 : 69,300 m²
- 건물의 주용도 : 업무시설(자사용 사무실 빌딩)
- 층 수 : 지하 7층, 지상 21층
- 기준층 층고 : 4.2 m
- 기준층 면적 : 1,530 m²

공조 조닝

본 건물의 공조 조닝은 건물내 내주부와 외주부의 구획, 부하의 방위별 특성, 실내 배기계통의 특성 등을 종합적으로 고려하여 구획하였다.

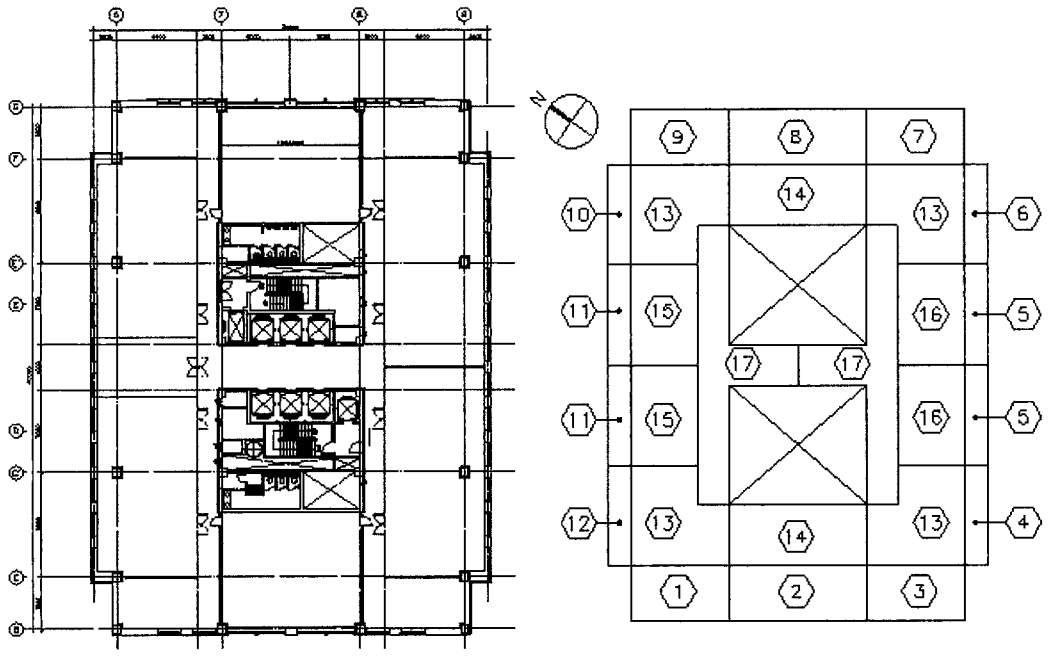
그림 1은 현재 운영중인 '삼성동 D 사옥' 의 기준층 평면도 및 조닝 계획을 나타낸 것이다.

<표 1> 설계 온습도 조건

구 분	실외조건		실내조건		비 고
	건구온도	습구온도	건구온도	상대습도	
여 름	31.1℃	25.8℃	26℃	55%	TAC 2.5%
겨 울	-11.9℃	-12.8℃	20℃	45%	TAC 97.5%

<표 2> 내부 부하설계 기준

실 명	전 등(W/m²)	장 비(W/m²)	인원수(인/m²)	필요외기량(CMH)	비 고
사무실	20	15	0.2	25	-



[그림 1] 공조 조닝 계획

부하계산

위와 같은 조닝 계획을 기준으로 부하계산을 실시한 결과를 **표 3**에 나타내었다. 일반적으로 정풍량 방식을 설계할 경우에는 실별 최대부하를 기준으로 공조 덕트 및 장비를 선정하게 되지만, 변풍량 공조 방식의 설계시에는 부하의 변동에 따라 송풍량이 변화하므로 건물의 각 실별 또는 존별 최대부하의 합계로서 기기의 용량을 결정하지 않고, 동시부하율을 고려한 건물의 최대부하에 의해 기기용량을 결정하는 동시부하율(diversity factor) 계산을 시행하여야 한다. 즉, 덕트의 말단 분기덕트 및 기구의 선정은 실별 최대부하를 기준으로 선정하되, 주덕트 및 공조기의 선정시에는 건물 또는 공조기가 감당하는 전체 조닝의 최대 부하값을 기준으로 선정하게 된다. 따라서, 각 존의 변풍량 유닛 용량 및 공조 덕트를 결정하기 위해서는 **표 3**과 같이 해당 존의 최대부하 및 최소부하가 산출되어야 한다.

상기 예시에 있어서 급기온도차를 8 로 할 경우 정풍량 방식의 주덕트 40,500 CMH를 기준으로 설계하여야 하는데 반해, 변풍량 방식의 주덕트 설계시는 약 33,500 CMH를 기준으로 하므로 덕트의 크기를 줄일 수 있다.

각 존의 최대 및 최소 풍량 산출

변풍량 방식의 공조 풍량 산출식은 원칙적으로 정풍량 방식의 풍량 산출법과 동일하지만, 변풍량 방식에 있어서 공조기 풍량 및 변풍량 유닛 풍량은 존별 특성에 따라 최대, 최소 풍량을 산출하여야 한다.

외부존의 최대 풍량은 식 (1)에 의해 산출되는 경우가 일반적이지만, 식 (2)의 동절기 부하에 의해 산출된 값이 최대로 되는 경우도 있으므로 검토해 볼 필요가 있다. 내부존의 최대 풍량은 식 (1)과 식 (3) ~ 식 (5)에서 산출되며, 그 중 최대값을 취한다. 최소 풍량은 최소부하 및 식 (3) ~ 식 (6)을 사용하여 산출할 수 있는데, 변풍량 유닛의 최소 풍량을 과다하게 크게 선정할 경우 에너지 절감 효과가 감소하며, 동절기 난방시 말단 유닛에서 감당해야 하는 급기보상 부하가 증가하게 되므로 적정하게 설정하여야 한다. 여기서, 식 (4) ~ 식 (6)은 경험적 수식으로 실내 환기 성능의 확보, CO_2, 먼지량이 허용값 이하로 되는 것을 방지하기 위하여 검토하여야 할 항목이다.

<표 3> 부하계산 결과

조 운	면적 (m^2)	수량	냉방부하						난방부하 (kcal/h)
			최대부하			최소부하			
			발생시각 (월/시각)	현열 (kcal/h)	잠열 (kcal/h)	발생시각 (월/시각)	현열 (kcal/h)	잠열 (kcal/h)	
ZONE-01	40.5	1	7/17	3,989	472	9/8	2,913	472	1,688
ZONE-02	54.0	1	8/17	7,484	630	9/8	4,143	630	3,031
ZONE-03	40.5	1	8/17	4,044	472	7/8	2,999	472	1,688
ZONE-04	18.0	1	9/14	2,778	210	7/8	1,415	210	1,669
ZONE-05	18.0	2	9/14	2,754	210	7/8	1,371	210	1,522
ZONE-06	18.0	1	9/14	2,787	210	7/8	1,406	210	1,669
ZONE-07	40.5	1	8/10	3,869	472	7/20	3,180	472	1,688
ZONE-08	54.0	1	8/10	6,975	630	9/20	4,623	630	3,031
ZONE-09	40.5	1	7/10	3,825	472	9/20	3,090	472	1,688
ZONE-10	18.0	1	7/18	1,673	210	9/8	1,319	210	1,669
ZONE-11	18.0	2	7/18	1,629	210	9/8	1,290	210	1,522
ZONE-12	18.0	1	7/18	1,664	210	9/8	1,328	210	1,669
ZONE-13	69.0	4	7/8	4,399	805	7/8	4,399	805	0
ZONE-14	72.0	2	7/8	4,590	840	7/8	4,590	840	0
ZONE-15	62.1	2	7/8	3,959	724	7/8	3,959	724	0
ZONE-16	62.1	2	7/8	3,959	724	7/8	3,959	724	0
ZONE-17	66.0	2	7/8	1,854	385	7/8	1,854	385	0
ZONE별 최대부하의 합계			–	94,174	13,390	–	–	–	25,581
전체ZONE의 최대, 최소부하			9/16	77,287	13,390	7/8	69,435	13,390	25,581

$$Q_S = \frac{q_{ss}}{0.29(t_r - t_c)} \quad (1)$$

$$Q_w = \frac{q_{sw}}{0.29(t_w - t_r)} \quad (2)$$

$$Q_v = \frac{Q_f}{X_0} \quad (3)$$

Q_a = 실용적[m^3] × 최소환기회수[h^{-1}] (4)

Q_b = 바닥면적[m^2] × 최소풍량[$m^3/m^2 \cdot h$] (5)

$Q_{min} = (0.4 \sim 0.5)Q_s$ (6)

여기서 Q_S : 여름철 최대 냉풍량 [m^3/h]
Q_W : 겨울철 최대 온풍량 [m^3/h]
Q_V : 필요 급기량 [m^3/h]
Q_a : 필요 최소기류를 얻기 위한 환기회수 기준 풍량(변풍량 유닛의 최소 풍량) [m^3/h]
Q_b : 필요 최소기류를 얻기 위한 바닥면적 기준 풍량(변풍량 유닛의 최소 풍량) [m^3/h]
Q_{min} : 필요 최소 풍량 [m^3/h]
Q_f : 필요 외기량 [m^3/h]
q_{SS} : 여름철 최대 냉방 현열량 [kcal/h]
q_{SW} : 겨울철 최대 난방 현열량 [kcal/h]
t_r : 실내 건구 온도 [℃]
t_c : 냉풍 취출 온도 [℃]
t_w: 온풍 취출 온도 [℃]
X_O: 외기량 비율

표 4는 상기 식 등을 이용하여 각 존의 최대풍량 및 최소풍량을 계산한 것이며, 이를 바탕으로 VAV 유닛을 선정한 것이다.

VAV 유닛 선정

각 존의 변풍량 유닛 용량은 해당 존의 최대풍량을 기준으로 선정하며, 외주부의 경우에는 풍량 조절범위가 100 ~ 30%인 표준형을 사용하고, 내주부의 경우에는 풍량조절범위가 100 ~ 0%인 전폐형을 사용한다. VAV시스템에서는 급기온도를 연중 일정하게 유지하기 때문에 외주부에서는 재실자가 거주하고 있더라도 겨울철에 난방부하가 발생하면 유닛의 풍량이 줄어들어 최소환기량을 유지할 수 없게 되므로 최소환기량을 확보할 수 있는 풍량 이하로는 급기량을 감소시키지 않는 표준형 유닛을 사용한다. 내주부는 계절에 관계없이 재실자가 거주하고 있으면 조명부하, 기기부하, 인체부하 등으로 인해 항상 냉방부하가 발생하여 최소환기량의 확보가 가능하고 재실자가 없으면 환기가 필요 없으므로 유닛을 완전히 차단하여도 되는 전폐형을 사용한다. 또한, 화장실 등 상시 배기 계통이 존재하는 복도 및 코어부는 별도의 조닝계획을 수립하고, 정풍량 유닛을 적용함으로써 부하 변동시에도 급배기량 및 실별 압력차를 일정하게 유지하여 실내 쾌적감을 확보할 수 있도록 하여야 한다.

공조방식, 공조기, FAN 제어 방법 선정

• 공조방식 선정

공조방식은 초기투자비 및 유지관리비를 절감할 수 있고 설비배관 공사비를 절감할 수 있으며 집중적인 운전관리가 용이한 중앙식 공조방식으로 선정하였다.

즉, 8층 기계실에 설치된 공조기는 9층 ~ 13층까지의 부하를 담당하고, 옥상층에 설치된 공조기는 14

<표 4> 존별 풍량 산출 및 VAV유닛 선정

조 운	면적 (m^2)	수량	냉방부하에 따른 공조풍량		변풍량 유닛 선정				비 고
			최대풍량 (CMH)	최소풍량 (CMH)	형 식	규격 (φ x EA)	최대풍량 (CMH)	최소풍량 (CMH)	
ZONE-01	40.5	1	1,800	1,300	표준형	300 × 1	1,800	600	
ZONE-02	54.0	1	3,200	1,800	표준형	250 × 2	3,200	1,000	
ZONE-03	40.5	1	1,800	1,300	표준형	300 × 1	1,800	600	
ZONE-04	18.0	1	1,200	700	표준형	250 × 1	1,200	400	
ZONE-05	18.0	2	1,200	600	표준형	250 × 1	1,200	400	
ZONE-06	18.0	1	1,200	700	표준형	250 × 1	1,200	400	
ZONE-07	40.5	1	1,700	1,400	표준형	300 × 1	1,700	600	
ZONE-08	54.0	1	3,000	2,000	표준형	250 × 2	3,000	900	
ZONE-09	40.5	1	1,700	1,400	표준형	300 × 1	1,700	600	
ZONE-10	18.0	1	800	600	표준형	250 × 1	800	300	
ZONE-11	18.0	2	800	600	표준형	250 × 1	800	300	
ZONE-12	18.0	1	800	600	표준형	250 × 1	800	300	
ZONE-13	69.0	4	1,900	1,900	전폐형	250 × 2	1,900	0	
ZONE-14	72.0	2	2,000	2,000	전폐형	250 × 2	2,000	0	
ZONE-15	62.1	2	1,800	1,800	전폐형	250 × 2	1,800	0	
ZONE-16	62.1	2	1,800	1,800	전폐형	250 × 2	1,800	0	
ZONE-17	66.0	2	800	800	정풍량 유닛	250 × 1	800	800	

층 ~ 19층까지의 부하를 담당하도록 하였다.

입상관은 각층에 연결된 모든 VAV 유닛의 입구측에 동일한 정압이 유지되도록 수직 환상 방식으로 하였다.

공조기는 현장조립이 용이한 BUILT-UP 타입으로 선정하였으며, FAN은 공조기의 높이를 낮출수 있어 층고절감이 가능한 AXIAL 타입으로 선정하였다. 또한 1대의 공조기에 2대의 급기 및 환기송풍기를 내장하여 고장시 피해범위를 최소화할 수 있도록 하였다.

• 송풍기 선정

1) 급기 송풍기

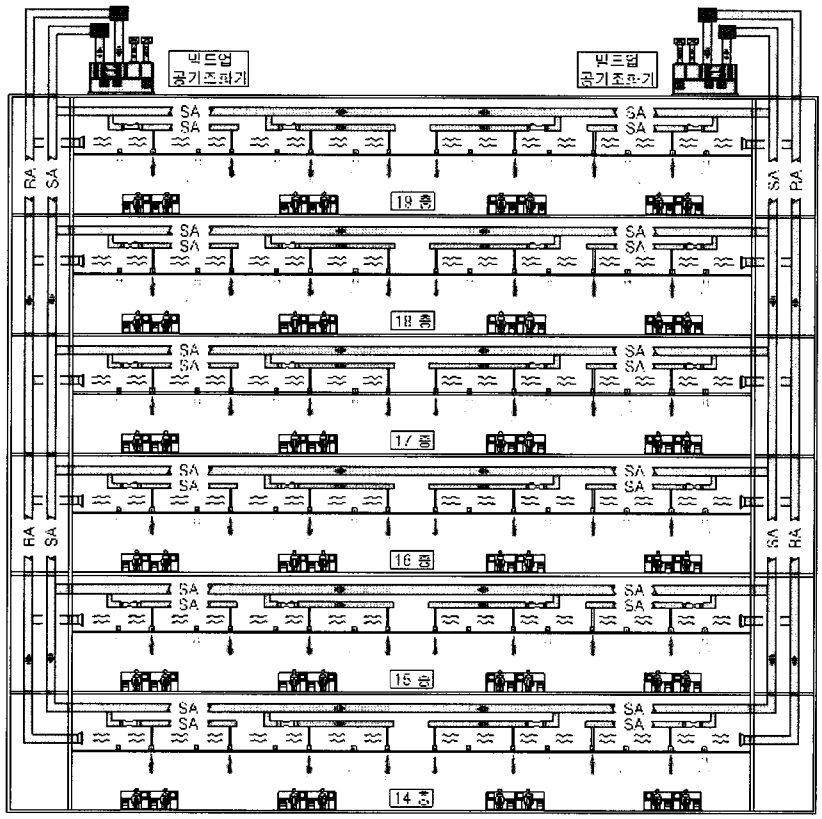
급기 송풍기의 제원은 풍량 125,000 m³/h, 정압 120 mmAq, 직경 1,150φ × 2, 동력 37 kW × 2대로 선정하였다.

2) 환기 송풍기

실제 풍량은 120,000 m³/h이지만 워밍업시의 운전을 감안하여 125,000 m³/h를 기준으로 하였으며 동력 55 mmAq, 직경 1,150φ × 2, 전동기 22kW ×2대로 선정하였다.

• FAN 제어 방법 선정

본 설계사례에서 제시된 송풍기는 풍량이 크고 정압이 높기 때문에 전기식 보다는 유압식을 이용하는 것이 합리적이다. 따라서 FAN제어 방식은 축류 송풍기의 회전수가 일정할 때 날개의 취부각을 변화시켜 압력 유량 특성을 변화시키는 가변피치 제어 방식으로 선정하였다.

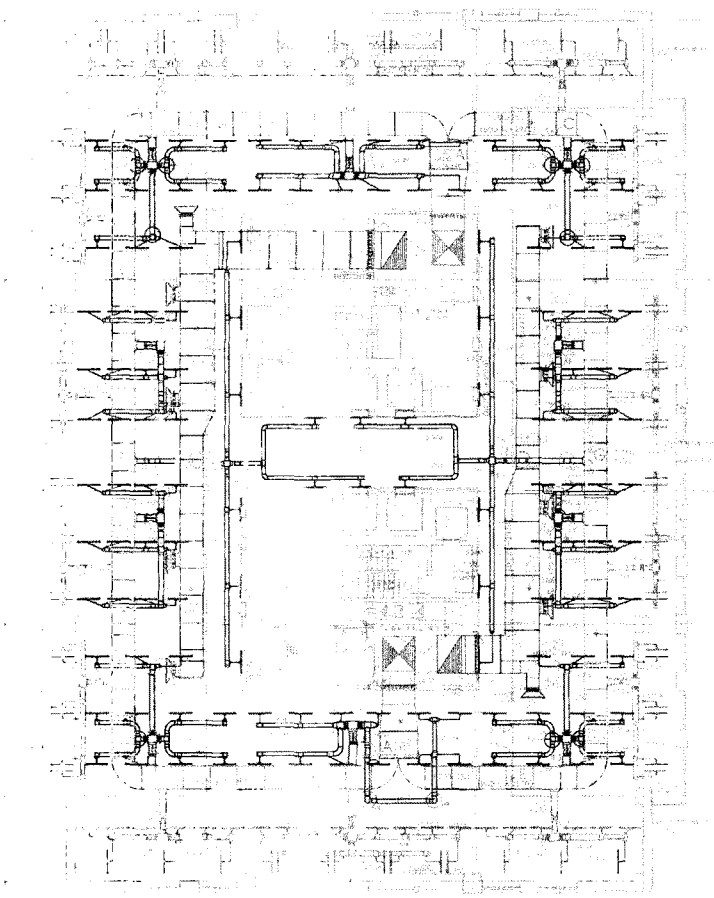


[그림 2] 14 ~ 19층 공조 방식 선정 개요도

덕트 설계

• 덕트 설계

시스템에 연결된 모든 VAV유닛에 충분한 풍량을 공급할 수 있도록 덕트 설계가 이루어져야 한다. 덕트에서의 가장 악조건은 여름철 휴일 후에 공조기를 처음 기동할 때 발생하며, 이는 공조기 기동시 모든 VAV 유닛이 최대치의 풍량을 요구하기 때문이다. 시스템이 평형을 이루게 되면 각 존의 부하에 따른 풍량으로 공급이 된다. VAV 시스템에서는 가능하면 시스템에 연결된 모든 VAV 유닛의 입구측에 동일한 정압이 유지되도록 덕트 시스템이 설계되어야 한다. 이를 위해서는 그림 3에 나타난 바와 같은 환상덕트 시스템이 가장 좋은 방식이며, 두 번째 방법이 정압재취득법으로 덕트를 설계하는 것이다. 일반적으로 급기 송풍기를 제어하기 위한 정압검출기는 덕트 총길이의 2/3지점에 설치하여 검출압에 따라 급기 송풍기의 용량을 제어하며, 예시와 같이 환상덕트로 설계된 경우에는 덕트 말단에 정압 검출기를 설치한다. 이때, 주덕트로 부터 VAV 유닛까지의 거리는 각 유닛에 미치는 정압이 일정하도록 가능한 한 동일하게 하는 것이 바람직하다.



[그림 3] 기준층 덕트 평면도

• 덕트의 크기 선정

그림 3은 변풍량 방식의 덕트 평면도의 실제 예로써, 본 평면도를 기준으로 덕트의 크기 선정에 대하여 언급하도록 한다.

1) 주덕트의 크기

주덕트의 크기는 해당 존 전체의 최대부하를 기준으로 한 풍량으로 결정한다. 예를 들어 A 구간의 덕트 크기는 해당 층의 최대부하시를 기준으로 계산된 풍량으로 선정하였다. B ~ G 구간의 덕트 크기는 그 구간에 연결되는 존 전체의 최대부하시를 기준으로 한 풍량으로 선정하였다.

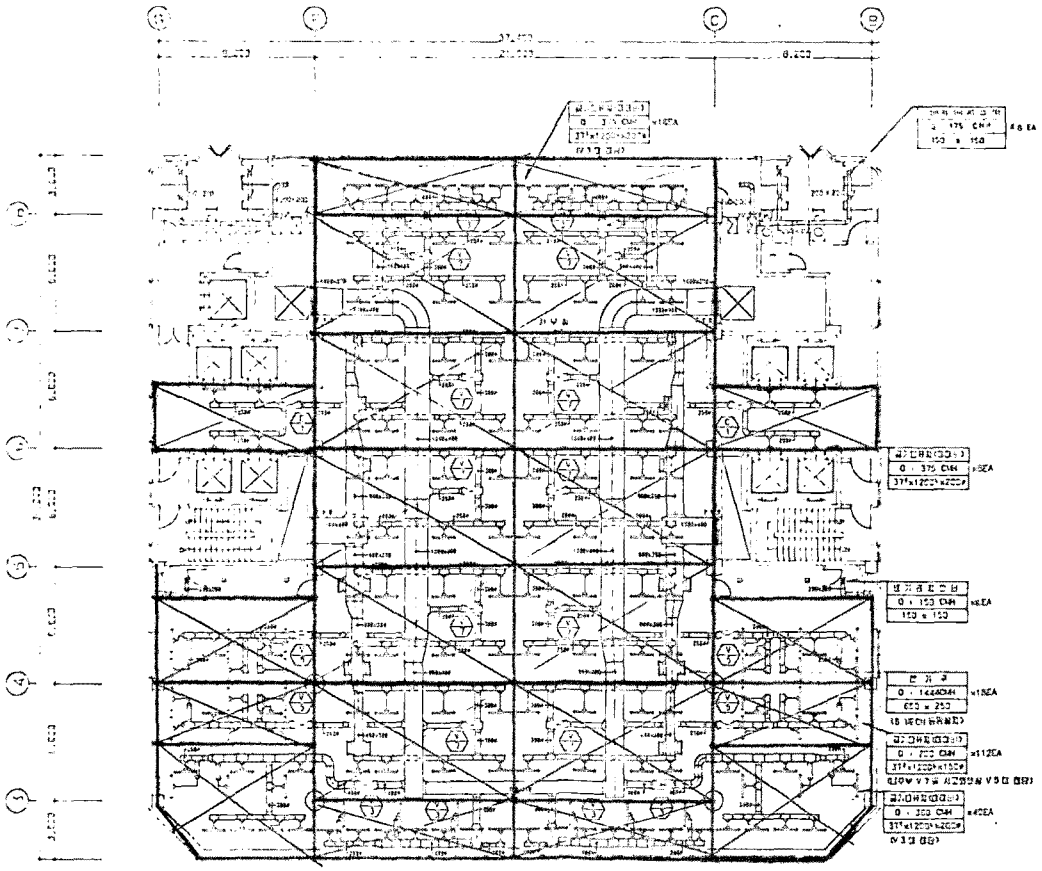
2) 분기덕트의 크기

주 덕트로부터 VAV 유닛까지의 덕트와 VAV 유닛에서 디퓨저까지의 덕트는 그 존의 최대 풍량을 기준으로 설계하였다.

OO투자신탁 설계사례

건축 개요

- 위 치 : 서울 여의도동 OO빌딩
- 연면적 : 45,500 m²
- 건물의 주용도 : 업무시설(자사용 사무실 빌딩)
- 층 수 : 지하 6층, 지상 20층
- 기준층 층고 : 4.2 m
- 기준층 면적 : 1,338 m²



[그림 4] 공조 조닝

공조 조닝 및 부하계산

• 공조 조닝

공조 조닝은 그림 4와 같이 건물의 종합적인 특성을 고려하여 구획하였다.

• 부하계산

부하계산은 '삼성동 D사옥' 의 설계사례와 같은 방법으로 시행하였다.

기준층 공조방식 선정

내주부는 동절기에도 인체, 조명 및 OA기기 등의 발열로 인하여 연중 냉방부하가 발생하므로, 창측 하부에 온수 컨벡터를 설치하였다.

또한 인체, 조명, OA 기기의 발열은 연중 냉방부하이므로 외주부용 VAV 유닛도 Cooling Only Type으로 선정하여 실온보다 낮은 온도의 공기를 토출하되, 실내 발열부하 저감시 최소 풍량의 가열부하를 컨벡터 용량에 포함시켜 쾌적한 실내환경을 조성하고 에너지를 절감할 수 있도록 하였다.

덕트 시스템은 VAV유닛의 입구측에 동일한 압력이 유지되도록 각층에서 환상덕트방식(Loop Duct System)으로 설치하였으며, 부분 부하시 FAN의 동력을 절감하는 방안으로 축류형 송풍기의 Impeller Blade의 Pitch를 변화시켜서 제어하는 방식을 채택하였다. VAV 유닛은 압력보상형 Damper Type 을 선정하였으며, 공기여과기는 진공청소기 부착형의 여재 자동 재생형 에어필터와 중성능 필터를 설치하여 인건비 및 운전비를 절감할 수 있도록 하였다.

제어방식은 DDC방식으로 중앙감시반에서 각실의 온도를 감지 및 재설정, Open, Close, Night Purge, Warm Up 등의 조작이 가능하도록 하였으며, 공조기 주덕트에 풍량측정장치(FMS)를 설치하여 환기풍량을 급기풍량에 대해 실내의 고정배기량을 제외한 풍량만을 환기시킴으로써 실내가 항상 정압이 유지되도록 하였다.

가습방식 선정

가습은 증기(0.35 kg/m² · G)가습방식을 적용하였으며, 형식은 Steam Injection방식을 적용하였다. 용량은 42 kg/h로 선정하였다.

<표 5> 설계 온습도 조건

구 분	실외조건		실내조건		비 고
	건구온도	습구온도	건구온도	상대습도	
여 름	31.1℃	25.8℃	26℃	55%	TAC 2.5%
겨 울	−11.9℃	−12.8℃	20℃	45%	TAC 97.5%

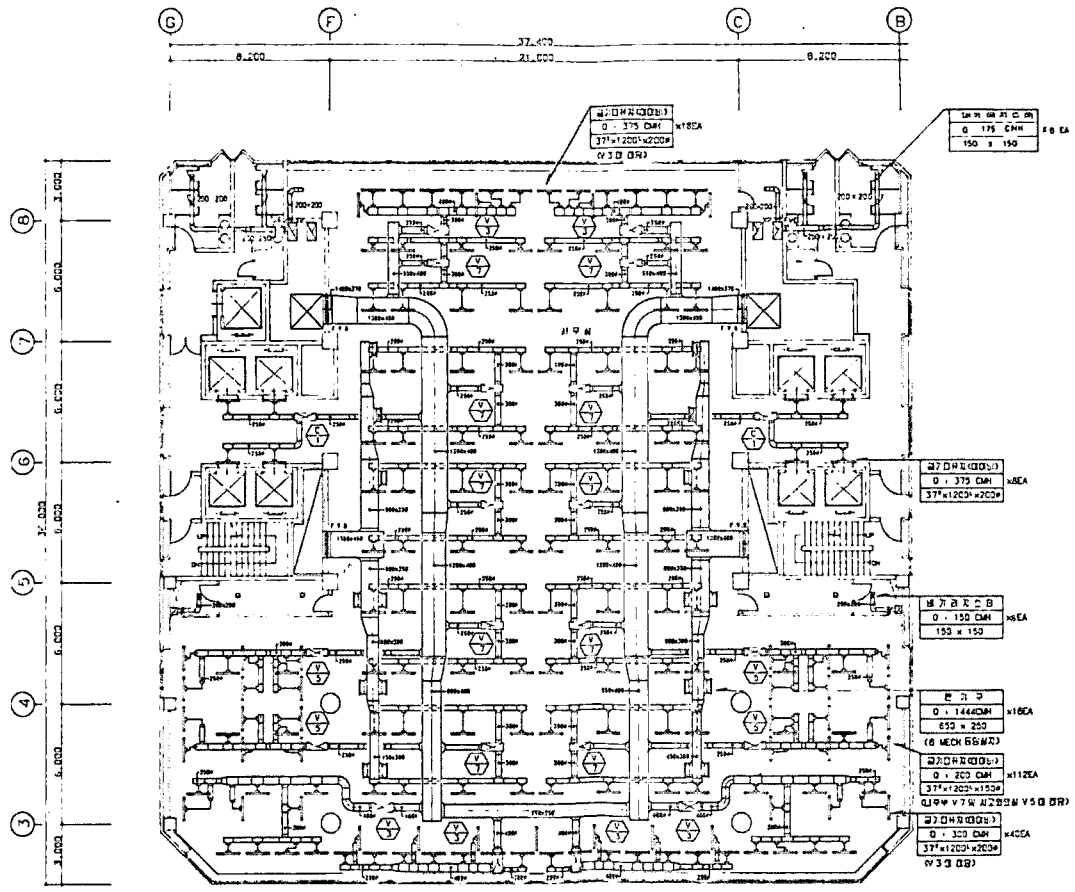
<표 6> 내부 부하설계 기준

실 명	전 등(W/m²)	장 비(W/m²)	인원수(인/m²)	필요외기량(CMH)	비 고
사무실	20	15	0.2	25	−

<표 7> 공기조화기 장비 일람(중앙 공조방식)

용 도	송풍기 형 식	수 량	급기풍량 (CMH)	급기정압 (mmAq)	전동기 (kW)	환기풍량 (CMH)	환기정압 (mmAq)	전동기 (kW)	냉각능력 (kcal/h)	가열능력 (kcal/h)
1~10층 사무실	Axial	2	130,000	140	45 × 2	130,000	70	19 × 2	600,000	220,000
11~19층 사무실	Axial	2	120,000	140	45 × 2	130,000	70	19 × 2	600,000	220,000

주) 워밍업을 고려하여 급기풍량과 환기 풍량을 동일하게 하였으며, 풍량밸런싱은 급기팬과 환기팬의 가변제어가 가능하도록 하였다.



[그림 5] 기준층 공조 덕트 평면도

서울 여의도 OO빌딩 설계사례

건축 개요

- 위 치 : 서울 여의도동 OO빌딩
- 연면적 : 59,640 m²
- 건물의 주용도 : 업무시설(임대용 사무실)
- 층 수 : 지하 7층, 지상 27층
- 기준층 층고 : 4.1 m
- 기준층 면적 : 1,230 m²

기준층 공조방식

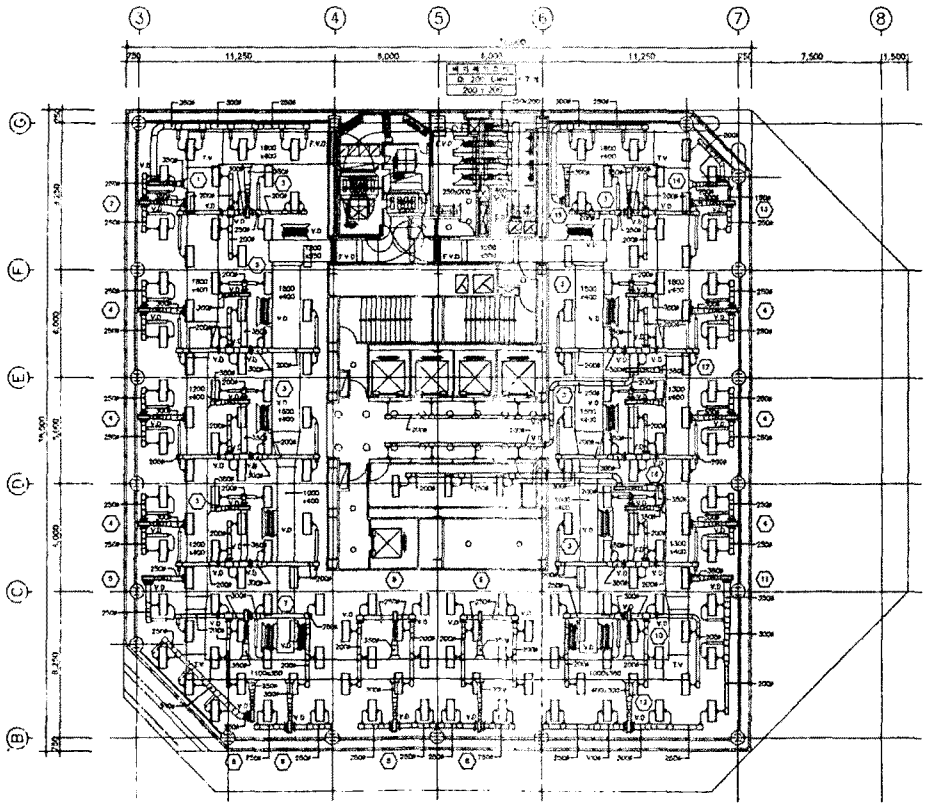
VAV단일덕트+컨벡터 방식으로 실온에 따라 풍량이 가변화 되도록 하고, 동계에는 창측에 컨벡터를 설치하여 외주부의 VAV와 연동되도록 하였으며, 층별 제어가 용이하도록 각층 공조 방식을 적용하였다.

FAN은 인버터 제어 방식으로 하여 송풍기동력을 절감하도록 하였으며, 중간기에는 외기냉방이 가능하도록 하였다.

VAV 유닛의 형식은 Damper Type으로 선정하였으며, 제어방식은 유닛 입구 정압의 영향을 받지 않는 압력독립식(Pressure Independent Type)으로 선정하였다.

가습방식 선정

가습은 증기(0.35 kg/m² · G)가습방식을 적용하였으며, 형식은 Steam Injection방식을 적용하였다. 용량은 38 kg/h로 선정하였다.



[그림 6] 기준층 공조 덕트 평면도

〈표 8〉 설계 온습도 조건

구 분	실외조건		실내조건		비 고
	건구온도	습구온도	건구온도	상대습도	
여 름	31.1℃	25.8℃	26℃	55%	TAC 2.5%
겨 울	−11.9℃	−12.8℃	20℃	45%	TAC 97.5%

〈표 9〉 내부 부하설계 기준

실 명	전 등(W/m²)	장 비(W/m²)	인원수(인/m²)	필요외기량(CMH)	비 고
사무실	15	38 × 0.8	0.15	25	−

〈표 10〉 기준층 공기조화기 장비 일람(각층 공조방식)

용 도	송풍기 형 식	수 량	급기풍량 (CMH)	급기정압 (mmAq)	전동기 (kW)	환기풍량 (CMH)	환기정압 (mmAq)	전동기 (kW)	냉각능력 (kcal/h)	가열능력 (kcal/h)
사무실	익형	1	28,000	110	11	28,000	50	75	111,900	32,000

관악구 OO신청사 설계사례

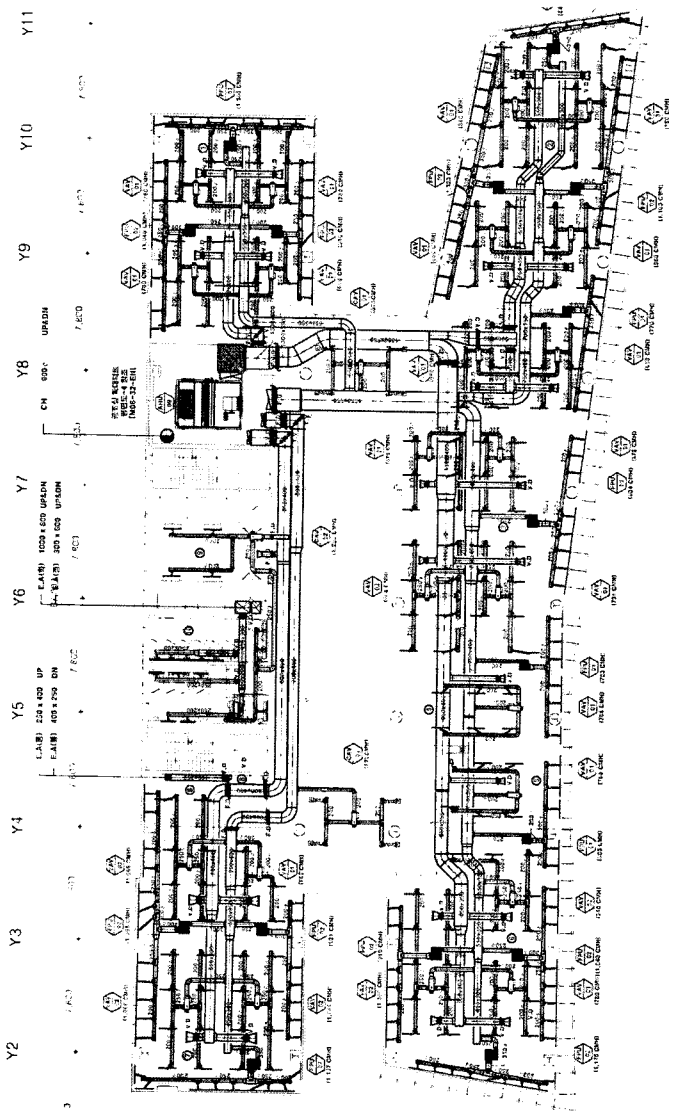
건축 개요

- 위 치 : 서울시 관악구 봉천동
- 연면적 : 31,531 m²
- 건물의 주용도 : 청사 건물
- 층 수 : 지하 2층, 지상 9층
- 기준층 면적 : 1,469 m²

기준층 공조방식

공조방식은 실의 부하변동에 대한 대응이 용이하고, 층별, 용도별, 사용시간대별로 ZONING운전이 가능하여 유지보수 및 관리성이 좋은 변풍량 단일덕트 + FPU방식을 선정하여 내주부 부하는 VAV가 처리하고, 외주부 부하는 FPU가 처리하도록 하였으며, 층별 제어가 용이하도록 각층 공조방식을 적용하였다.

FAN은 인버터 제어방식으로 하여 송풍기 동력을



[그림 7] 기준층 공조 덕트 평면도

<표 11> 설계 온습도 조건

구 분	실외조건		실내조건		비 고
	건구온도	습구온도	건구온도	상대습도	
여 름	31.2℃	25.5℃	26℃	50%	TAC 2.5%
겨 울	-11.3℃	-12.8℃	20℃	40±5%	TAC 97.5%

<표 12> 내부 부하설계 기준

실 명	전 등(W/m²)	장 비(W/m²)	인원수(인/m²)	필요외기량(CMH)	비 고
사무실	20	20	0.2	25	-

<표 13> 기준층 공기조화기 장비 일람(각층 공조방식)

용 도	송풍기 형 식	수 량	급기풍량 (CMH)	급기정압 (mmAq)	전동기 (kW)	환기풍량 (CMH)	환기정압 (mmAq)	전동기 (kW)	냉각능력 (kcal/h)	가열능력 (kcal/h)
사무실	Airfoil(SA) Sirocco(RA)	1	38,000	102	19	34,300	35	7.5	210,700	188,300

절감하도록 하였으며, 중간기에는 외기냉방이 가능하도록 하여 에너지를 절감할 수 있도록 하였다. 또한 자연환기가 가능하도록 개구창을 계획하였다.

VAV 유닛은 압력보상형 Damper Type을 선정하였으며, 제어방식은 DDC방식으로 중앙감시반에서 각실의 온도를 감지 및 재설정, Open, Close, Night Purge, Warm Up 등의 조작이 가능하도록 하였다.

가습 방식 선정

증기(0.35 kg/m² · G)가습방식을 적용하였으며, 형식은 Steam Injection방식을 적용하였다. 용량은 45 kg/h로 선정하였다.