

병원의 클린룸 공조설비 계획

김상덕

(주)하나지엔씨(ksd8986@korea.com)

서론

Bio Clean Room은 크게 제약시설, 동물실험실, 식품산업, 그리고 병원으로 분류할 수 있다. 우리나라에서 Bio Clean Room 규정으로 제약시설은 GMP(Good Manufacturing Practice), 동물실험실은 GLP(Good Laboratory Practice), 식품산업은 HACCP(Hazard Analysis Critical Control Points)의 규정에 따라 어느 정도 구체화된 시설은 갖추고 있다. 하지만 병원은 아직도 구체화된 규정이 없는 실정으로 국내 병원 클린룸 시설은 일본병원설비협회 규정을 따라가고 있다.

병원에서 클린룸이 필요한 이유는 원내 감염(Nosocomial Infection) 때문이다. 전 세계적으로 병원 클린룸이 본격적으로 도입된 것은 1966년 미국 버튼기념병원 수술실을 시작으로 전 세계 병원의 클린룸에 적용되었다. 국내에서는 2000년도를 전후해서 병원 클린룸이 도입되고 있다. 이처럼 우리나라

에서 병원 클린룸 도입이 늦어진 원인중 하나는 국내 각 병원에서 발생하는 원내감염 사례가 발표되는 것을 매우 금기시 하고 있기 때문이다.

원내 감염의 원인은 크게 의료기구나 의료진에 의한 접촉 감염과 공기에 의한 비접촉 감염으로 나누어진다. 접촉 감염을 방지하기 위해서는 의료진들이 환자와 직접 접촉을 최소화 하고 의료기구를 청결하게 유지관리하기 위한 SOP(Standard Operating Procedure)가 필요할 것이며, 비접촉 감염을 방지하기 위해서는 HEPA Filter설치, 청결구역의 양압 유지, 오염구역의 전배기 등의 클린룸 공조설비가 계획되어야 할 것이다.

기본계획

Bio Clean Room의 정의

클린룸은 크게 ICR과 BCR로 구분된다.

① ICR(Industrial Clean Room)

청정의 대상이 주로 부유먼지의 미립자인 경우를 공업용 클린룸이라 한다.

② BCR(Bio Clean Room)

청정의 대상이 분진의 미립자뿐만 아니라 세균, 곰팡이, 바이러스 등도 극히 제한시킨 경우를 바이오 클린룸이라 한다.

클린룸의 역사는 바이오 클린룸에서 시작되었다. 19세기에 세균이 처음으로 발견되면서 오염물질이 제거된 청정된 공간의 필요성이 처음으로 인식되었

<표 1> 5년간의 수술실의 감염율(일본)

수술의 구별	수술수	감염수	감염율(%)
Clean	18,090	329	1.8
Clean-Contaminated	4,106	367	8.9
Contaminated	770	166	21.5
Dirty	683	262	38.3
Total	23,649	1,124	4.8



고, 2차 세계대전 중 항공기 고장의 주요원인이 기계, 전자부품을 제조하면서 부착된 미립자에 의한 것이라고 밝혀지면서 클린룸에 대한 연구가 본격적으로 수행 되었다.

바이오 클린룸의 정의가 보다 구체화된 것은 미국 항공우주국(NASA)에서 표 2와 같이 규정하면서 활성화 되었다. 이 규정은 미국의 아폴로 계획에 따라 개발된 기술로 지구상의 미생물이 우주로 확산되는 것을 방지하고, 또한 우주의 미생물이 지구상에 확산되는 것을 방지하기 위한 기술이다. 현재 전 세계 바이오 클린룸 분야에서 일반적으로 적용하고 있는 규정이다.

공업용 클린룸에서는 바이오 클린룸과 조금 다른 규정을 정의하고 있다. 전 세계적으로 널리 사용되고 있는 클린룸 규격으로는 표 3과 같이 미국연방규격(FED-STD-209E)을 사용하고 있다. 미국연방규격과 미국항공우주국 규격의 가장 큰 차이점은 미국항공우주국 규격은 클린룸 내에서 생물성 입자량을 제한하고 있다는 것이다.

HEPA Filter

바이오 클린룸에서 사용하는 말단필터는 일반적으로 HEPA Filter(High Efficiency Particulate Air

Filter)를 사용한다. HEPA Filter의 효율은 D.O.P 계수법으로 측정해서 0.3 μm 이상의 입자를 99.97% 이상 여과할 수 있다.

HEPA Filter를 개발하게 된 동기는 현재 규명할 수 있는 세균 및 바이러스의 크기가 0.3 μm 이상이고, 일반적으로 세균 및 바이러스는 미립자에 부착해서 공기 중으로 이동하므로 0.3 μm 기준으로 개발하게 되었다. ICR(공업용클린룸)에서 반도체 산업용을 위해서 D.O.P 계수법 0.1 μm 이상의 입자를 99.99997% 이상 여과할 수 있는 ULPA Filter도 개발되어 있지만 바이오 클린룸 분야에서는 아직까지는 HEPA Filter 정도의 성능이면 문제가 없다.

공조시스템에서 필터의 배열은 1차 Pre Filter(AFI 40 ~ 80%), 2차 Medium Filter(NBS 80 ~ 90%), 그리고 최종말단 실내 천장에 HEPA Filter를 설치한다.

병원 클린룸의 기본계획

병원시설 중 클린룸이 필요한 구역은 크게 수술부, 중환자부, 분만 및 신생아실, 무균병동(BMT; Bone Marrow Transplantation)으로 구분할 수 있다. 실내 온습도 조건은 수술실을 제외하면 일반 쾌감공조와 다를 것이 없지만 요구하는 청정도는 환자의 감염 위험률 즉 환자의 회복정도나 몸 상태에 따라 청정

<표 2> NHB 5340.2(미국항공우주국; NASA)

(단위: EA/ft³)

CLASS	1 ft ³ 당 0.5 μm 인 입자수의 최대	1 ft ³ 당 5.0 μm 인 입자수의 최대	1 ft ³ 당 생물성 입자수의 최대	1주일동안 1 ft ³ 당에 침착된 생물성 입자수의 최대
100	100		0.1	1,200
10,000	10,000	65	0.5	6,000
100,000	100,000	700	2.5	30,000

<표 3> FED-STD-209E(미국연방규격)

(단위: EA/ft³)

CLASS	0.1 μm	0.2 μm	0.3 μm	0.5 μm	5.0 μm
1	35	7.5	3	1	
10	350	75	30	10	
100		750	300	100	
1,000				1,000	7
10,000				10,000	70
100,000				100,000	700

<표 4> 병원시설의 공조설비 조건(일본병원설비협회)

청정도	존명칭	실 명	온 도 (℃)	습 도 (%)	최소외기량 (회/hr)	청정풍량 (회/hr)	실내압
I	고도청결구역	무균수술실	18~26	50~55	5	70~100	양압
		무균병실	24~26	30~50	5	총류유동	양압
II	청결구역A	일반수술실	22~26	50~55	5	30~50	양압
		응급수술실	22~26	50~55	5	30~50	양압
		감염증수술실	22~26	50~55	전배기	30~50	음압
		무균병실 준비구역	24~26	30~50	3	30~50	양압
		무균수술부 준비구역	24~26	30~50	3	30~50	양압
		수술실청결복도 ¹⁾	24~26	30~50	3	30~50	양압
		III	청결구역B	중환자실(ICU)	24~26	30~50	3
중환자 격리실	24~26	30~50		전배기	15~25	양음압 ²⁾	
회복실	24~26	30~50		3	15~25	양압	
분만실	22~26	30~50		3	15~25	양압	
미숙아실	24~26	50~60		3	15~25	양압	
수술부 일반구역	24~26	30~50		3	15~25	양압	
별군중앙재료부	24~26	30~50		2	15~25	양압	
청결린넨실	24~26	30~50		2	15~25	양압	
심혈관조영실	24~26	30~50		3	15~25	양압	
IV	준청결구역	일반병실	24~26	30~50	2	5~10	등압
		치치실	24~26	30~50	2	5~10	등압
		조제실	24~26	30~50	2	5~10	등압
		신생아실	24~26	50~60	3	5~10	등압
		대합실	24~26	30~50	3	5~10	등압
		진료실	24~26	30~50	2	5~10	등압
		채혈실	24~26	30~50	2	5~10	등압
		일반린넨실	24~26	30~50	2	5~10	등압
		Ri병실	24~26	30~50	전배기	5~10	음압
		심혈관 조영 조작실	24~26	30~50	2	5~10	등압
V	일반구역	사무실	24~26	30~50	2		등압
		회의실	24~26	30~50	2		등압
		오염린넨실			전배기		음압
		채뇨실			전배기		음압
		간호사대기실	24~26	30~50	2		등압
		당직실	24~26	30~50	2		등압
VI	오염구역	오물처리실			전배기		음압
		Ri감사실	24~26	30~50	전배기		음압
		해부실	24~26	30~50	전배기		음압
		화장실			전배기		음압

주기

1) 일반수술실의 청결복도는 수술부의 레이아웃이 중앙흡형과 공급흡형에 따라 청정도를 달리한다.

2) 중환자 격리실은 중증환자와 감염환자에 따라 양압 및 음압을 조절한다.



도를 달리 계획한다. 그리고 수술실이나 중환자실 같이 냄새가 많이 발생하는 곳은 외기도입량을 다소 많은 량을 도입하고, 격리실이나 RI병실 등 외부감염확산이 우려가 되는 특수한 곳은 전배기 시스템을 도입한다. 중요 설계 주안점은 다음과 같다.

- ① 에너지 절약면에서 전외기 방식보다는 환기 재순환 방식을 채택하고, 말단 HEPA Filter Unit 방식보다는 HEPA Fan Filter Unit 방식을 채택한다.
- ② 수술실은 8시간, 병실부는 24시간으로 운전조건이 다르므로 공조시스템을 구분한다.
- ③ 수술실마다 온도 요구조건이 다르므로 개별온도제어 시스템을 적용한다.
- ④ 장기이식수술이나 심장혈관수술은 수술개시 시 24 전후에서 18℃ 이하, 수술 후에 18℃에서 24℃로 30분 내에 온도가 조절되어야 되므로 별도의 독립된 저온공조시스템을 적용한다.
- ⑤ 무균병동은 필히 무균병동 전용공조기를 설치하고, 공조기 및 열원장치는 예비용을 고려해야 한다.
- ⑥ 감염수술실의 경우 단독배기시스템을 적용하고, 일반수술도 같이 병행하는 경우가 많으므로 양음압 전환이 가능한 시스템을 적용한다.
- ⑦ 수술실, 무균병실은 정기적으로 내부소독을 하므로 공조기 환기를 차단하고 실내공기를 전배기시킬 수 있는 시스템을 고려한다.
- ⑧ 격리실은 중증환자와 감염환자를 병행해서 수용하므로 양음압 전환이 가능하도록 한다.
- ⑨ 항상 청결구역 준청결구역 오염구역으로 실내공기가 흐르도록 Air Balance 계획을 세운다.
- ⑩ 수술실에서 청결물품과 오염물품동선이 별도로 구획된 공급흡형 수술부는 청결복도에서 수술실로 공기가 흐르도록 계획한다.
- ⑪ 수술실 및 무균병실은 환자상태를 고려해서 스프링클러 설비를 하지 않는다. 배관설비계획을 세울 때 수술실 및 무균병실상부에는 물배관이 지나가지 않도록 한다.
- ⑫ 건강한 신생아는 굳이 클린룸 환경이 필요하지 않지만 일반적으로 병원의 운영관리상 신생아실에 미숙아를 같이 수용하므로 신생아실에는 클린룸을 적용한다.
- ⑬ 무균병실용 공조기는 별도의 독립된 공조시스

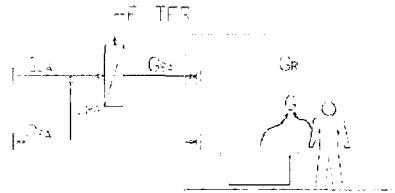
템을 구성하고, 중앙열원과는 별도의 비상용 냉난방시스템을 구성한다.

- ⑭ 병원클린룸의 목적은 산업용과는 달리 그 대상이 환자임을 고려해서 환자의 편의성을 최대한 고려하고, 특히 수술실은 외국과 달리 국내 의료진은 소음에 민감하므로 공조소음이 최소화 되도록 고려한다.

클린룸의 송풍량 계획

병원클린룸과 일반 산업용 클린룸의 가장 큰 차이점은 클린룸 대상이 사람이라는 것이다. 병원클린룸 내부에는 환자가 생활을 하기 때문에 항상 생활 분진이 발생을 한다. 따라서 병원클린룸의 특징은 산업용과 달리 청정송풍량이 많고 CLASS 100,000 시설에도 HEPA Filter가 사용된다. 표 4에는 병원시설의 공조설비 조건을 보면 청정도별로 청정풍량이 명시되어 있다. 고도청결구역은 CLASS 100, 청결구역 A는 CLASS 10,000, 청결구역 B는 CLASS 100,000에 해당된다.

클린룸의 청정풍량을 결정하는 데 있어서 일반적으로 통계에 의한 환기회수를 적용한다. 하지만 공학엔지니어라면 최소 송풍량을 적용했을 때 요구하는 청정도가 이루어지는지 검토할 필요성이 있다.



질량보존의 법칙에 의해서

$$G_{SA} + G = G_{EA} + G_R$$

여기서 $G = CQ$ 이므로

$$C_{SA}Q_{SA} + G = C_{EA}Q_{EA} + C_RQ_R$$

여기서 $C_R = C_{EA} = C_{RA}$, $Q_{EA} = Q_{OA}$

$$C_{SA}Q_{SA} = [C_{OA}Q_{OA} + C_{RA}Q_{RA}](1 - \eta)$$

$$[C_{OA}Q_{OA} + C_{R}Q_{RA}](1 - \eta) + G = C_{R}Q_{EA} + C_{R}Q_R$$

이것을 정리하면

$$C_R = \frac{G + C_{OA}Q_{OA}(1 - \eta)}{Q_{R, \eta} + Q_{OA}}$$

여기서, C:분진농도[mg/h] G : 분진량[mg/m³]
Q : 송풍량[m³/h] η : 필터의효율[%]

클린룸의 차압계획

클린룸의 기본차압계획은 청정도가 높은 실에서 청정도가 낮은 실로 실내공기가 나가도록 구성하는 것이다. 일반적으로 실내차압은 0.5 mmAq에서 1.5 mmAq로 구성을 하고, 이 계획된 차압에 근거해서 실내 환기풍량을 계획한다.

$$Q = A \times C_v \times 3600 \times \sqrt{\frac{2 \times g \times \Delta P}{r}} \quad [m^3/h]$$

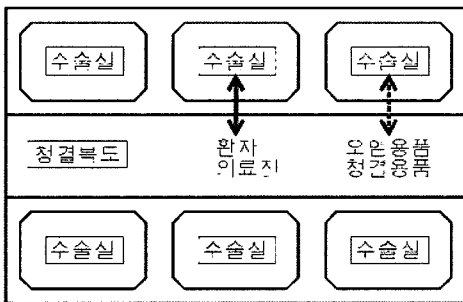
여기서, A : 틈새면적[m²], C_v : 유량계수,
g : 중력가속도[m/s²], ΔP : 실간차압[mm/Aq],
r : 공기비중량[kg/m³]

이 공식은 베르누이방정식에서 정리된 것으로 중력 가속도는 9.8 m/s², 공기비중량은 1.2 kg/m³, 유량계수는 급격한 축소관로에 적용하는 0.5를 적용한다.

일반적으로 클린룸은 기밀한 구조로 시공을 하므로 외부와의 틈새는 문 틈새 밖에 없다. 예로 1,500 × 2,200 크기의 자동문이 달린 수술실의 차압풍량은 다음과 같다.

$$\text{틈새면적} = (1.5 + 2.2) \times 2 \times 0.005 = 0.037 \text{ m}^2$$

$$Q = 0.037 \times 0.5 \times 3600 \times \sqrt{\frac{2 \times 9.8 \times 1.5}{1.2}} = 329 \text{ m}^3/h$$



[그림 1] 중압흡형 수술부

이 계산에 의하면 클린룸내 환기풍량을 급기풍량-329로 조정하면 실내가 1.5 mmAq의 양압이 걸리게 된다.

각 부분별 설계

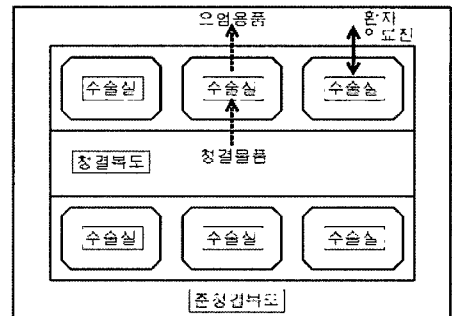
수술부

• 레이아웃(Layout)

수술부의 기본 레이아웃은 크게 중앙흡형과 공급흡형으로 구분된다. 과거에는 대체적으로 오염물질 동선과 청결용품동선이 같은 중앙흡형으로 시공을 했지만 근래에는 오염물질과 청결용품동선이 구분된 공급흡형으로 주로 시공한다. 공급흡형은 중앙흡형에 비해 환자의 감염방지가 용이하지만 동선이 길고 청결용품을 관리하고 공급하는 의료진을 별도로 구성하여야 하기 때문에 운영관리가 어려운 단점이 있다.

수술실 말단에 HFU를 설치하는 방식과 FFU를 설치하는 방식으로 구분된다. HFU방식은 HEPA Filter가 내장된 박스를 수술실 천장에 설치해서 실내부하 제거용 송풍량과 청정도 유지용 송풍량 중 큰 값을 산정해서 공조기로 공급하는 방식이고, FFU방식은 HEPA Filter와 Fan이 내장된 박스를 수술실 천장에 설치해서 공조기는 실내부하 제거용 송풍량만 공급하고, 청정도 유지용 송풍량은 실내공기를 순환하는 방식이다.

수술실의 실내부하 제거용 송풍량은 청정도 유지용 송풍량보다 작기 때문에 FFU방식이 시공비와 에너지절감측면에서 HFU방식보다 유리하다.



[그림 2] 공급흡형 수술부



• 실내부하 및 공조풍량

수술실의 냉방부하는 일반사무실과 달리 장비부하 및 조명부하가 매우 크다. 특히 심혈관 수술실은 장비부하가 매우 크기 때문에 별도의 심폐기실을 수술실 옆에 배치한다.

수술실 실내부하의 특이사항은 무영등에 의한 복사열의 영향이 매우 크다. 일반적으로 실내 온습도가 건구온도 24℃, 상대습도 50% 정도면 재실자가 시원함을 느끼지만, 수술실은 무영등의 복사열에 의해서 실내온도가 건구온도 22℃ 정도가 되어도 집도를 행하는 의료진은 항상 더위를 호소한다.

수술실의 건축부하는 내부구조가 대부분 무창으로 이루어져 있고 외벽과 면하더라도 단열이 잘 되어 있어서 건축부하는 그다지 크지 않다.

수술실의 내부발열량이 매우커서 상대적으로 난방부하는 매우 작다. 공조기에 증기 분사형 가습기가 작동하면 난방열원은 거의 공급이 없다.

수술실의 냉방부하는 통계적으로 190 ~ 220 kcal/hr · m² 정도로 계산된다. 현열부하를 제거하기 위한 송풍량을 환기회수로 계산하면 표 5와 같이 계산된다. 이것을 보면 저체온수술실같이 18℃ 이하를 유지하기 위해서는 공조기 취출온도를 10℃ 내외로 취출을 해야만 되며, 일반공조와는 별도로 저온열원장치가 필요하다.

일반수술온도인 22 ~ 24℃를 유지하기 위해서는

취출온도 15℃ 내외에서 환기회수가 25회/h 내외로 계산된다. 간혹 취출온도를 12 ~ 13℃ 계산해서 공조풍량을 작게 설계하는 경우가 있는데 이것은 매우 잘못된 것으로, 이 조건을 열원장치가 만족을 하려면 냉수공급온도가 5℃ 이하인 저온공조시스템으로 설계되어야만 한다.

• 기류방식 및 청정풍량

수술실의 기류방식은 천장급기+벽체하부 리턴방식인 층류 & 난류 혼합방식으로 한다. 무균수술실은 정확히 하면 천장급기+바닥리턴방식 또는 벽체급기+벽체리턴방식으로 해서 완전층류를 형성해야하지만 이것은 시공비가 증가하고, 그리고 수술대 상부에 HEPA Filter가 집중적으로 설치되기 때문에 천장급기+벽체하부 리턴방식으로 해도 청정도유지에는 문제가 없다. 표 4에 수술부의 청정 환기회수가 소개되어 있다. 보편적인 수술부의 청정 환기회수는 다음과 같다.

- 일반수술실(CLASS 10,000) : 50회/h
- 무균수술실(CLASS 100) : 100회/h
- 공급홀청정복도(CLASS 10,000) : 50회/h
- 중앙홀청정복도(CLASS 100,000) : 25회/h

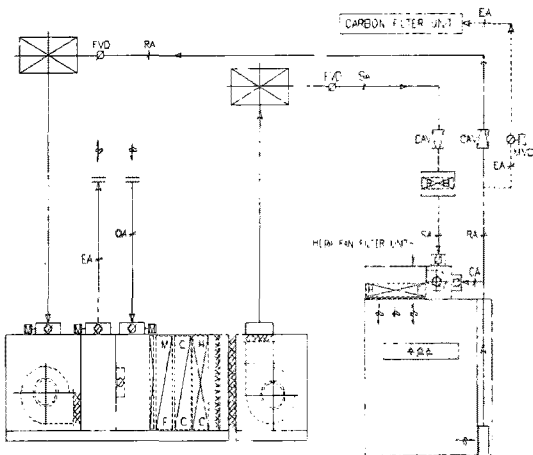
특이사항은 공급홀형 수술부는 청정복도의 CLASS를 일반 수술실과 같은 등급으로 한다.

• 에어 밸런스(Air Balance)

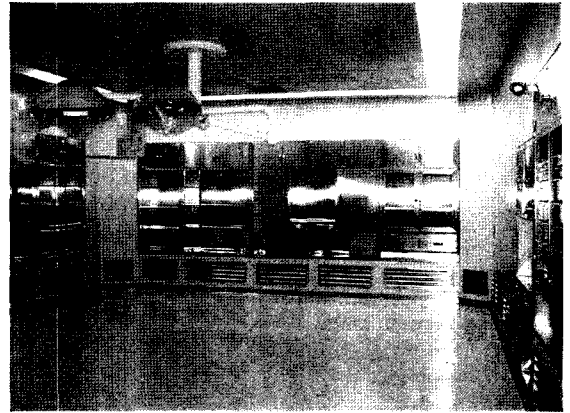
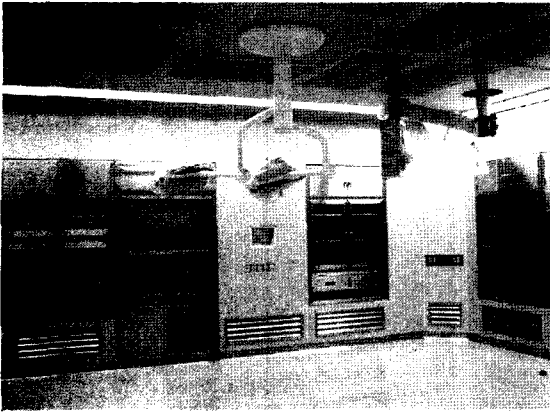
클린룸의 청결환경을 유지하기 위해서 항상 청정도가 높은 구역에서 낮은 구역으로 공기가 흐르도록 실내압력이 계획되어야만 한다. 수술부는 크게 수술실, 청결복도, 준청결복도, 수술준비구역(세척실, 마취준비실, 간호사실 등)으로 구분된다. 기류 방향은 중앙홀형과 공급홀형에 따라서 그림 5와 같이 구분된다.

<표 5> 취출온도와 실내온도에 따른 환기회수

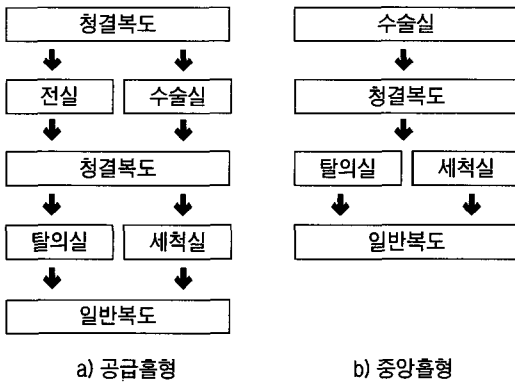
실내온도(℃)	18	22	24
취출온도(℃)			
10	26	17	15
12	35	21	17
14	52	24	21
16	105	33	26



[그림 3] 수술부 공조시스템



[그림 4] 수술실 내부시설



a) 공급흡형

b) 중앙흡형

[그림 5] 기류 방향의 구분



[그림 6] 중환자실 내부시설

중환자실(ICU: Intensive Care Unit)

• 레이아웃(Layout)

중환자실은 크게 내과계중환자실(MICU), 외과계 중환자실(SICU), 심장혈관계중환자실(CCU)로 구분된다. 각 과별로 의료진이 구분되므로 내과계, 외과계, 심장혈관계를 별도로 구분한다. 특이사항은 감염성환자를 수용하는 격리실이 중환자실 내부에 배치하기 때문에 감염방지를 위한 오염물품 배출계획이 필요하다.

• 공조시스템

수술실과 마찬가지로 HFU시스템보다는 FFU시스템을 권장한다. FFU배치는 환자 베드 주위의 청정도가 중요하므로 베드 위마다 FFU를 설치한다. 이런

이유로 중환자실은 다른 실에 비해서 FFU가 다소 많이 설치된다.

격리실은 중증환자와 감염성환자를 병행해서 수용되기 때문에 양압/음압이 전환되는 시스템이 적용되어야 한다. 그리고 감염확산을 방지하기 위해서 격리실은 별도의 배기시스템이 구성되어야 하고, 중앙공조기로 환기가 될 경우에는 필히 HEPA Filter로 여과한 후 환기가 되어야 한다. 별도의 배기를 할 때에도 격리실 배기구의 적절한 위치를 확인해야만 한다(HEPA Filter를 권장함).

• 실내부하 및 공조풍량

중환자실의 실내부하는 특이사항은 없다. 다만 공조대상이 중환자임을 감안해서 콜드 드래프트에 특



히 주의를 해야만 하고, 환자와 의료진의 체감온도가 다르기 때문에 베드와 Nurse Station 배치에 따른 온도분포를 고려해야만 한다. 그리고 개방된 중환자 실내에 격리실이 같이 공조가 되기 때문에 격리실은 말단재열시스템을 적용해서 개별로 온도제어가 되어야 한다.

• 기류방식 및 청정공량

CLASS 100,000 정도를 유지하는 중환자실은 천장급기 + 천장리턴방식인 난류방식으로 한다. 환기회수는 일반적으로 25회/h를 적용한다.

무균병동

• 레이아웃(Layout)

무균병동은 면적이 없는 환자를 수용치료하기 위한 고도의 청정공간으로 주로 조혈모 세포이식을 위한 백혈병환자를 수용하기 때문에 BMT(Blood and Marrow Transplantation)병동이라고 한다. 무균병동 치료가 필요한 환자는 다음과 같다.

- 백혈병으로 조혈모세포이식 치료를 받고 있는 환자

- 장기이식에 의한 면역억제 치료환자.
- 중증의 화상치료환자
- 기타 면적이 없는 환자

무균병동은 무균치료환자를 위한 무균병실, 무균 치료 대기환자를 위한 준무균 병실, 기타 간호사 준비구역으로 이루어진다. 준무균 병실과 간호사 준비구역은 중환자실과 크게 다를 것이 없지만 무균병실은 환자의 면역력이 극히 저하된 상태로 시설 및 배치에서 세밀한 주의를 요한다.

또한 환자가 20 ~ 30일 정도 체류하기 때문에 보호자 면회를 위한 공간도 고려를 해야만 한다. 이런 점을 고려해서 최근에는 OPEN-END방식을 주로 시공하고 있다.

병원 내 무균병동의 설치위치는 일반인의 이동이 적은 최상층이 적당하고, 환자가 외부출입을 할 수 없다는 것을 감안해서 병실이 외벽 창에 면할 수 있도록 한다.

• 공조시스템

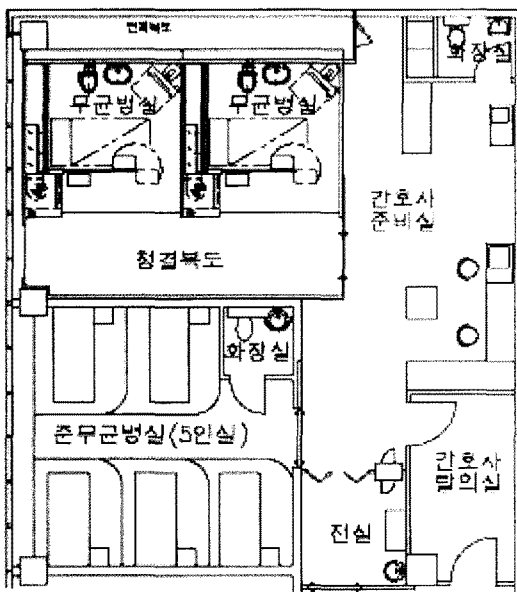
공조시스템이 고장 등에 의해서 정지될 경우 무균병동의 환자는 수술실 및 중환자실보다 치명적인 결과를 초래할 수 있기 때문에 공조기가 정지되더라도 최소한의 청정도를 유지할 수 있는 FFU시스템을 권장한다. 준무균 병실의 FFU배치는 중환자실과 마찬가지로 각 BED 위마다 FFU를 배치한다.

공조시스템의 특이사항은 교차오염을 방지하기 위해서 무균병동 전용공조기를 설치해야만 한다. 또한 여러 환자가 수용되기 때문에 전외기 방식을 권장하고, 환자의 열스트레스를 방지하기 위해서 각 실 또는 각 베드별로 온도를 조절할 수 있는 시스템이 고려되어야 한다.

• 실내부하 및 공조공량

기본적인 실내발생부하 조건은 중환자실과 동일하다. 조금 다른 점은 중환자실은 외부창에 Fan Coil Unit(이하 FCU)의 설치가 아직까지는 허용되고 있지만 무균병동은 병실 내에 FCU를 절대로 설치하면 안 되기 때문에 일사부하와 방위별 조닝에 주의해야만 한다.

• 기류방식 및 청정공량



[그림 7] 무균병동 배치 예

무균병실의 기류방식은 층류방식으로 해야만 한다. 청정도 기준이 CLASS 100 이하이지만 곰팡이에 의해서도 사망할 수 있는 환자의 상태를 고려해서 현재 운영되고 있는 무균병실은 거의 CLASS 10 이하로 관리되고 있다.

층류유동 방식은 수직층류와 수평층류로 구분된다. 수직층류방식은 바닥에 다공판으로 된 Access Floor를 설치해서 천장급기+바닥환기로 수직층류를 구성하는 방식으로 반도체 클린룸 등 대공간 층류방식에 적합하지만 건축적으로 시공이 어렵고 테이블 등 장애물이 있으면 장애물 하부에는 오염공기가 정체되는 단점이 있다.

수평층류방식은 벽체급기+벽체환기로 수평층류를 구성하는 방식으로 급기벽체와 환기벽체가 너무 떨어져있을 경우 급기벽체에서 멀어짐에 따라 CLASS가 상승한다는 단점이 있지만 무균병실은 크기가 작고, 또한 환자침대하부에도 층류 기류를 형성할 수 있기 때문에 무균실은 수직층류방식보다 수평층류방식이 유리하다.

준무균 병실의 청정도는 CLASS 10,000으로 한다. 이정도 청정도면 수술실처럼 천장급기 + 벽체하부리턴방식으로 해야 하지만 이 방식은 실내면적 이용도가 낮고, 보통 준무균 병실은 환자베드별로 무정전 커튼이 설치되어 있어서 마치 베드별 청정공간이 형성되므로 FFU만 개별로 설치하면 천장급기+천장환기 방식으로 해도 무리가 없다.

무균병동의 청정도 및 청정 환기회수는 다음과 같다.

- 무균실(CLASS 100) : 면풍속 0.18~0.35 m/s
- 준무균실(CLASS 10,000) : 50회/h
- 청결복도(CLASS 10,000) : 50회/h
- 간호사준비실(CLASS 100,000) : 25회/h

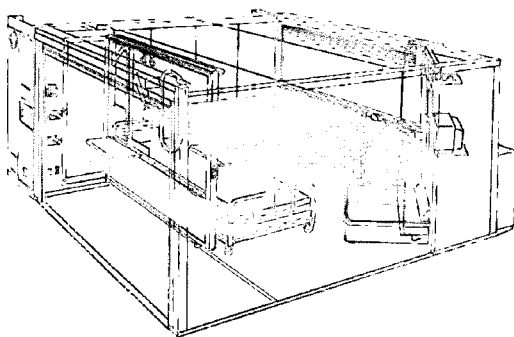
앞서 설명한 것과 같이 무균병실은 완전층류방식으로 환기회수보다는 면 풍속이 중요하다. 풍속이 너무 느리면 발생된 오염물질의 배출이 늦거나 정체되고, 너무 빠르면 소음이 커진다.

• ISOLATOR

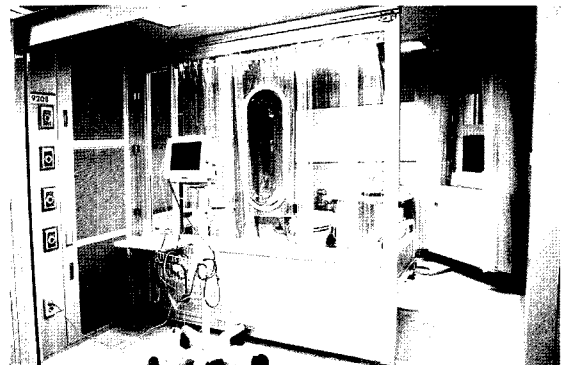
ISOLATOR는 앞서 소개한 OPEN-END방식의 무균병실로 완전층류를 형성시킨다. 1인 병실 구조로 크게 한쪽 벽에 HAPA Filter와 Fan을 설치해서 공조기 급기와 실내공기를 흡입혼합해서 순환시키고, 위생기구로 양변기, 세면기, 샤워부스가 내장되어 있어서 무균환자가 내부에서 치료를 받는 동안 외부출입 없이 모든 의식주를 해결할 수 있다.

무균환자가 감염되는 가장 큰 원인은 의료진과의 접촉에 의해서이다. ISOLATOR는 의료진과 환자사이에 Access Curtain이라는 투명 차단막을 설치해서 의료진이 환자와 직접 접촉되는 것을 방지하고, 또한 위급 사항 시 의료진이 실내에 들어가게 되면 자동으로 순환용 Fan이 고속으로 운전되어 공기감염을 방지하고 있다. Access Curtain에는 무균장갑, 청진기홀, 채혈테이블 등이 설치되고 장비본체에 의료가스 아웃렛이 설치된다.

생활편의시설로는 칼라TV, 전화기, 인터폰, 전동 블라인드 면회창, 간호사 호출기 등이 설치된다.



[그림 8] ISOLATOR 내 기류유동



[그림 9] ISOLATOR내부 시설



맺음말

지금까지 병원의 클린룸 공조설비에 대한 기본적인 사항들에 관해서 언급하였다. 앞서 언급한 바와 같이 병원의 클린룸 목적은 원내감염을 방지하기 위함에 있다. 하지만 국내병원은 원내감염의 실정에 대해 구체적으로 보고 되는 것이 없다. 국내에서 병원 설비분야에 종사 하면서 가장 아쉬운 점은 신규 프로젝트를 진행하면서 기존시설에 대한 문제점이 완전히 들추어 지지 않는다는 것이다. 완벽한 설비는 없다. 아무리 완벽한 시공을 했을지라도 상황에 따라서 예기치 못한 결과가 나타날 수 있다. 그것이 간단한

누수정도라면 보수를 하지만 환자에게 치명적인 결과를 초래한 것이라면 병원관계자들이 숨기는 것에 급급해서 원인에 대한 개선이 이루어지지 않는다. 그저 기존시설 그대로 시공하다보니 항상 같은 문제점이 되풀이되는 것은 항상 아쉬움으로 남는다.

참고문헌

1. 클린룸 핸드북, 일본공기청정협회, 1989. 1
2. 공기청정편람, 한국공기청정협회, 2006. 7
3. 월간 설비기술, 도서출판 한미
4. 공기조화설비, 신치웅, 기문당, 2000. 1