한국산학기술학회논문지
Vol. 5, No. 6, pp. 552-557, 2004

수술중 감염방지를 위한 공조시스템의 개선방안에 대한 연구

주영철[1*] · 김천숙[2] · 권순정[3]

A Study on the Air Ventilation System of Operation Room for the Prevention of Hospital Infection

Youngcheol Joo[1*], Chun-Sook Kim[2] and Soonjung Kwon[3]

요 약 수술중 감염방지를 위해 수술실의 공조시스템의 개선방안에 대한 연구를 수행하였다. 대학병원들의 수술실과 공조시스템을 조사하였다. 수술실 내부의 여러 부위에서 공기 샘플을 채취하여 세균을 배양함으로써 수술실내 세균의 분포를 측정하였다. 수술실 단면을 2차원 모델화 하여 공기의 유동을 전산유체해석하였다. 준공한지 오래된 병원의 수술실은 공조시스템이 정화된 신선한 공기를 수술이 진행되는 부위에 효과적으로 공급하지 못하는 것으로 판단되어졌다. 시설비의 큰 증가 없이 환자의 수술부위에 효율적으로 신선한 공기를 공급할 수 있는 시스템을 제안하였다.

Abstract The air ventilation system of operation rooms has been studied for the prevention of cross infection during the operation. Operation rooms and air ventilation systems of three University hospitals are investigated. The distribution of microbe is measured by cultivating air samples in the operation room. A two-dimensional model for the cross-section of an operation room is developed for the CFD analysis. The characteristics of air flow in operation room are calculated by using a CFD program. The current air ventilation system of an old hospital does not deliver the clean air to the operation area efficiently. A new air ventilation method which improves air venting with little increase of the cost of equipment is suggested.

Key Words : Air ventilation system, Computational fluid dynamics, Hospital infection, Operation room

1. 서 론

인간은 수많은 세균과 국소적 또는 전신적 방어능력의 평형으로 건강을 유지하는데 이러한 방어능력의 저하시 저항력이 감퇴되어 감염증이 나타난다. 저항능력이 가장 낮아지는 시기중의 하나인 수술시에 수술실의 여러 오염원에 의해서 환자가 감염이 되는 확률은 매우 높다. 수술실에서는 환자의 피부 또는 점막이 절개되고 이곳을 통해 수술도나 내시경 등 각종 수술기구가 접촉되며 여러 약물 및 용액이 투입되므로 수술실에서의 감염관리는 매우 중요하다. 수술실 감염에 대해 많은 연구가 진행되었으며 연구마다 다른 결과를 보여주긴 하지만 수술중 감염율은 대략 10% 전후이며 이로 인하여 평균 5일의 재원기간이 늘어나며 감염을 치료하는데 최고 2주 이상이 소요된 경우도 있다[1-5]. 최근에는 수술중 감염의 비율이 점차 줄어들고 있는데 이는 수술실의 환경이 개선되고 수술기법이 발달된 데에 기인하기도 하지만 항생제의 과다투여로 감염이 되더라도 크게 문제가 발생하지 않도록 하기 때문이기도 하다. 수술중 감염된 환자의 수술부위별, 계절별, 병명별 통계나 감염을 일으킨 병원균에 대한 연구는 많지만[2-5] 감염을 일으키는 경로에 대한 체계적인 연구는 매우 드물다. 감염을 일으키는 경로로는 크게 공기감염, 기구에 의한 감염, 접촉을 통한 감염 등 여러 가지가 있으나[6,7] 본 연구에서는 이중 공기에 의한 감염에 대해서 연구하고자 한다.

병원의 수술실은 자연 환기가 이루어지지 않는 전공기방식의 공조시스템을 갖추고 있으며[8,9] 수술실에는 일년 내내 23°C~26°C, 상대습도 50%~60%의 공기가 필터를 통하여 먼지 및 세균이 제거된 깨끗한 상태로 공기 유입구를 통하여 공급된다[10,11]. 그러나 공기 유입구를 통하여 유입된 공기가 수술실내에서 환자의 수술부위에 효과적으로 공급되지 못하고 수술실 바닥이나 기타 오염원과 접촉한 후 수술부위에 접촉하게 되면 공

[1]순천향대학교 기계공학과
[2]순천향대학교 천안병원 마취학과교실
[3]아주대학교 건축학과
*교신저자: 주영철(ychjoo@sch.ac.kr)

기에 의한 감염의 위험성이 높아지게 된다. 따라서 공기 유입구를 통하여 공급된 신선한 공기가 얼마나 효율적으로 환자의 수술부위에 전달되는지에 대한 연구와 이에 대한 개선방안이 절실히 필요하다.

본 연구는 수술실을 10~12개 보유하고 있는 3군데 대학병원의 수술실을 대상으로 공조시스템에 대해서 조사?분석하였다. 수술실 공기 샘플의 세균 및 진균을 배양하여 수술실내 위치별 균주의 분포를 측정하였으며 전산유체해석을 통하여 수술실내 공기의 흐름을 분석하였고, 이를 근거로 바람직한 수술실 공조시스템을 제시하였다.

2. 연구 대상 및 방법

2.1 병원별 수술실 공조시스템의 특징

본 연구는 수술실을 10~12개 보유하고 있는 대학병원 중에서 개원한지 6개월이 되는 최신식 병원과 개원한지는 오래되었지만 최근에 수술실을 개·보수한 병원, 개원한지 오래되었고 수술실도 오래된 공조시스템을 유지하고 있는 병원의 3개 대학병원의 수술실을 연구대상으로 하였다. 각 병원 수술실의 도면과 공조시스템 시방서, 현장 실측과 관계자 면담을 통하여 공조시스템을 조사·분석하였다. 세 병원 모두 비슷한 공통점을 많이 갖고 있는데, 우선 각 수술실별로 특정 진료과가 지정되어 있어 주로 그 과의 수술을 진행하는 지정수술실제를 운영하고 있다. 즉 제2수술실에서는 신경외과 수술을 주로 수행하고 제5수술실에서는 안과 수술을 주로 수행하는 형식이며 이에 따라 각 수술실은 지정된 진료과의 수술장비를 수술실내에 보유하고 있다. 수술실 전체는 마취과에서 담당?관리하고 있다. 또한 3~4개의 수술실을 용도별, 위치별로 하나의 공조구역으로 묶어 공조를 하는 다구역 시스템의 공조체제를 갖고 있다.

개원한지 6개월이 되는 최신식 병원은 건물을 설계할 때부터 최신의 공조개념을 도입하여 공기 유입구가 수술실 천장의 거의 대부분의 면적에 분포되어 있으며 공기 배출구는 문을 제외한 수술실 전 벽면의 밑부분에 위치하고 있어서 수술시 공조시스템을 가동하면 수술실 전체에 걸쳐 위에서 아래로 공기가 균일하게 흐르게 된다. 따라서 수술중 어떤 오염원이 발생하더라도 유해물질은 공기의 흐름을 따라 바닥에 내려가서 벽면의 공기 배출구를 통해 수술실 밖으로 배출된다. 이 수술실은 공기조화의 입장에서는 최고의 조건을 갖추었지만 수술실 천장 위에 덕트를 설치하기 위한 공간이 많이 필요하고 수술실 벽의 전면적에 덕트를 설치함으로서 실제 수술실 가용면적이 줄어들며 시설비가 많이 드는 단점이 있다.

이에 반해 개원한지 오래되었지만 최근에 수술실을 개·보수한 병원에서는 수술실의 천장과 위층의 바닥 사이의 공간이 한정되어 있어서 천장의 전면적에 공기 유입구를 설치하기에 어려움이 있고 수술실이 협소하여 수술실 전 벽면에 공기배출구를 설치하기에도 어려움이 있다. 따라서 이 수술실의 공조시스템은 전반적으로 개원한지 오래되었고 오래된 공조시스템을 유지하는 병원의 수술실과 유사한 형태로 되어 있으며 약간의 개선사항을 갖고 있다. .

본 연구에서는 우리나라 병원의 거의 대부분을 차지하고 있으며 공조시스템에 개선할 점이 있는 개원한지 오래되었지만 최근에 수술실을 개·보수한 병원의 수술실을 대상으로 공조시스템을 연구하였다.

2.2 수술실의 유형화

수술실의 도면을 검토하고 실제 수술실 내부를 실측하여 총 12개의 수술실을 수술실의 크기, 용도, 마취정도에 따라 크게 3가지 종류로 유형화하여 Table 1에 나타내었다. 일반외과, 신경외과, 흉부외과, 정형외과, 산부인과 등은 수술이 대부분 크고 전신마취를 요구하여 수술장비, 마취장비 및 수술진이 많이 투입되므로 면적이 넓은 수술실이 할당되어 있다. 비뇨기과, 안과, 이비인후과, 성형외과, 치과 등은 수술이 대부분 크지 않으므로 조금 작은 면적의 수술실을 쓰고 있다. 그리고 전신마취가 필요치 않은 소수술에는 가장 작은 면적의 수술실 2곳이 할당되어 있다. 수술실의 높이와 세로의 길이는 모든 수술실이 일정하였으며 복도에 면한 가로의 폭만 조절함으로써 면적의 변화를 주었다.

수술실에 공기를 공급하는 덕트는 모두 천장과 위층 바닥 사이의 공간에 배치되어 있다. 수술실 공조시스템은 수술실의 위치에 따라 3~4개의 이웃한 수술실을 1개의 지역으로 묶어서 총 4개 지역의 공조 시스템이 독립적으로 운전되고 있다. 한 개의 지역에 정화된 공기를 공급하는 메인 덕트는 수술실 뒤쪽의 천장 위에서 4

Table 1. Types of operation rooms.

구분	크기 (W×D×H)(m)	갯수	용도
대형 수술실	5.4×5.4(6.0) ×2.4(2.75)	6	일반외과,신경외과, 흉부외과,정형외과, 산부인과
중형 수술실	4.9×5.4(6.0) ×2.4(2.75)	4	비뇨기과, 안과, 이비인후과, 성형외과, 치과
소형 수술실	3.9×5.4(6.0) ×2.4(2.75)	2	국소마취수술

개의 수술실을 가로지르며 지나간다. 각 수술실에는 메인 덕트에서 출발하여 벽을 따라 앞으로 오다가 수술실의 중앙부에서 아래로 꺾이어 천장의 공기 유입구(0.8 m×0.7 m)를 통해서 수술실에 정화된 공기를 공급하는 분지관이 양쪽 벽에 각각 설치되어 있다. 중앙의 양쪽 벽쪽 천장을 통해서 유입된 공기는 출입문쪽 벽의 양쪽 밑부분에 위치한 공기 배출구(0.4 m×0.55 m)를 통해서 배출되며, 배출구에서는 덕트가 곧장 위로 올라가 수술실 앞부분의 천장 위를 가로지르는 메인공기흡입덕트에 연결되어 정화처리된다. 이와 같이 수술실의 천장과 위층의 바닥 사이에는 덕트가 벽을 따라 가로로 2개, 세로로 2개 설치되어 어느 정도의 공간이 필요하다. 하지만 수술실의 중앙에는 어떤 덕트도 지나가지 않는다. 수술실 중앙에는 수술실 조명을 위해서 무영등을 설치하고 여러 가지 보조기구를 설치하여야 하므로 높은 천장고가 필요하다. 따라서 중앙부의 천장고를 높인 우물천장을 설치하였다. Fig. 1에 대형수술실중 대표적인 일반외과 수술실의 내부투시도를 나타내었으며 출입문쪽 벽의 양쪽 밑부분에 공기배출구가 설치되어 있음을 볼 수 있다. Fig. 2는 이 수술실의 단면도이며 천장의 양쪽 끝에 공기유입구가 설치되어 있음을 볼 수 있다. 덕트가 지나가지 않는 중앙부는 천장고를 높이기 위해서 가운데가 들어간 우물천장을 설치하였다.

공기 유입구에서 유입되는 공기의 유속은 최대 1.6 m/s까지 갈 수 있도록 설비되어 있지만, 실제로는 공조 부하량이 가장 많은 혹한기나 혹서기에만 0.8 m/s의 유속으로 공기가 유입되고 일반적인 유속은 이보다 작다.

2.3 수술실 공기 샘플의 세균 및 진균 배양

수술실내 위치별로 세균 및 진균에 의한 공기 오염도

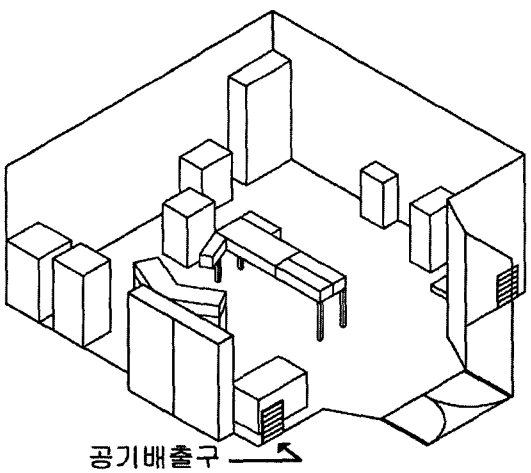


Fig. 1. Opened-up view of an operation room.

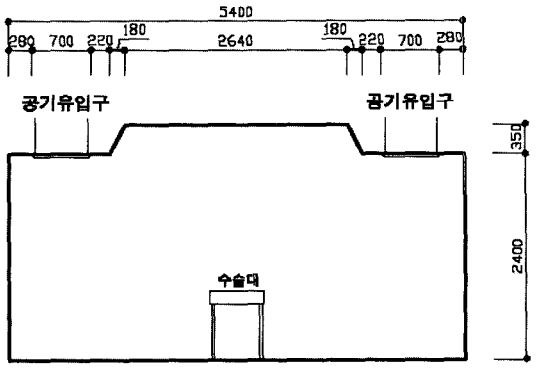


Fig. 2. Cross-section of an operation room.

를 측정하기 위해 공기 유입구 아래 0.5 m 지점, 수술대 위 0.3 m 지점, 공기 배출구 앞 0.2 m 지점에서 공기중 균의 분포를 세균 배양법을 이용하여 측정하였다. 양피(sheep blood)가 5% 함유된 배양액이 담겨있는 지름 90 mm의 플라스틱 배양접시를 측정하고자 하는 위치에 뚜껑을 열어놓은 상태로 한시간 동안 놓아두면 공기중에 부유하고 있는 세균 및 진균이 양피 배양액에 접촉하게된다. 배양접시의 뚜껑을 닫은 후 배양기에서 37°C로 2일간 배양한 후 상온에 7일간 놓아두면 배양액에 접촉한 세균 및 진균의 덩어리가 지름 2~10 mm 정도 크기로 증식한다. 균주의 종류와 수를 파악하여 수술실의 위치별, 시간별 오염의 정도를 파악하였다.

2.4 수술실 공기유동의 전산해석

열유체해석 전용 컴퓨터 프로그램(Fluent)을 이용하여 수술실내의 공기유동을 해석하였다. 수술실을 2차원으로 모형화하고 공기 유입구와 배출구가 각각 천장과 벽의 양쪽에 있는 경우로 가정하였다. 수술실에서 수술이 진행되고 있을 경우 중앙에 수술대 및 환자, 수술진 5~6명, 수술장비, 마취장비 등이 놓여있게 되어 공기의 흐름을 방해한다. 이를 낱개의 실물 그대로 모델링 하는 것은 큰 의미가 없으므로 이들을 모두 묶어서 공기의 흐름을 방해하는 다공성 물질로 처리하였다. 다공성 물질은 수술진 및 수술 장비의 배치와 크기를 실측하여 넓이 2 m, 높이 1.8 m의 크기와 공극율(void fraction, 공간체적/전체체적) 0.85, 입자 크기 0.4 m의 균일체로 가정하였다.

Fig. 3은 해석에 이용된 수술실의 모델과 격자의 분포도이다. 현재의 수술실과 같이 천장의 양쪽 끝부분에서 공기가 유입되는 경우와 우물천장의 경사면에서 공기가 유입되는 경우에 대해서 해석하였으며, 각각의 경우에 대해서 수술실이 비어있을 때와 중앙에 수술진과 수술장비의 다공성 물질이 있을 때에 대해서 해석하였다.

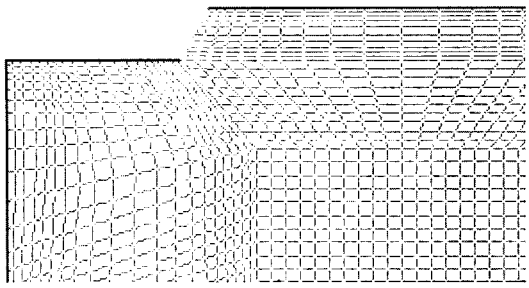


Fig. 3. Two-dimensional model of an operation room and grid array which is used in the calculation.

3. 결과 및 고찰

3.1 수술실 공기 샘플의 세균 및 진균 배양 결과

수술실 공조시스템의 필터는 6개월에 한번씩 교체하게 되어 있는데, 필터를 교체한 직후인 2주후와 다음 교체시기가 다가오는 5.5개월 후, 교체시기가 조금 지난 7개월 후에 수술실의 공기 샘플을 배양하여 공기의 오염도를 측정하였다. 측정결과 공조기 직하에서는 필터 교체 직후나 다음 교체주기가 다가오는 5.5개월 후, 교체시기가 조금 지난 7개월 후에도 공기 오염도의 변화가 거의 없는 깨끗한 공기가 유입되는 것으로 나타났다. 따라서 공기조화시스템 제작사에서 권장한 필터 교환주기를 잘 지킨다면 수술실의 공기 유입구에서는 항상 감염의 위험이 낮은 깨끗한 공기가 공급된다고 가정할 수 있다.

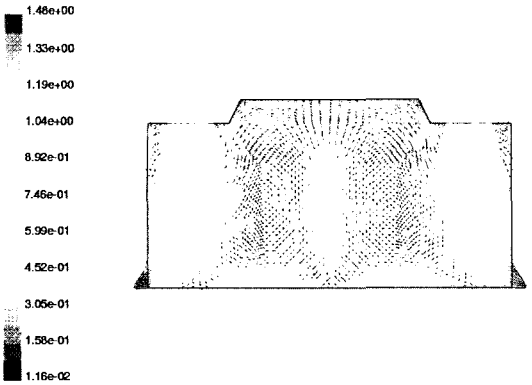
수술실 내부의 공기중 세균 및 진균의 분포를 측정하기 위하여 공조기 직하, 수술대 위, 배출구 앞의 세군데에서 1시간동안 배양접시를 열어놓아 공기와 접촉하게 한 후 세균 및 진균 배양을 하였다. 5개 수술실에서 3회에 걸쳐서 측정하여 균주의 수를 평균하여 그 결과를 Table 2에 나타내었다. 공조기에서는 균주수 1.8의 깨끗한 공기가 들어왔어도 수술실의 바닥이나 수술장비에서 오염이 되어 배출구로 배출될 때는 균주수 가 4.1로 증가하였다. 그런데 수술대 위에서도 균주수가 3.0이 되어 유입구에서 공급된 깨끗한 공기가 수술대 위로 효과적으로 공급되지 않음을 알 수 있다.

3.2 현재 공조시스템의 수술실 공기유동 전산해석

Fig. 4 (a)와 (b)는 수술실이 비어있을 때 현재 수술실과 같이 공기 유입구가 양쪽 끝에 있는 경우의 공기 유동이다. 공기 유입구의 길이는 0.7 m이고 0.8 m/s 유속의 공기가 유입구에서 수직으로 유입된다고 가정하였다. Fig. 4 (a)의 속도 벡터에서 보는 바와 같이 유입구에서 유입된 공기는 속도가 점점 줄면서 아래로 내려오다가 출구쪽에 다가가면서 다시 빨라져서 배출구로 빠져나간다. 수술실 중앙부에는 유속이 느리기는 하지만 바닥에서 올라와서 대류하는 유동이 있어서 수술대 위에는 공기 흡입구에서 배출된 깨끗한 공기가 도달하는 것이 아니라 오히려 오염된 바닥면을 지나간 더러운 공기가 도달된다. Fig. 4 (b)는 공기 유입구에서 유입된

Table 2. Results of air culture of microbe in operation rooms.

측정 시기	균주	채집 위치		
		공조기 직하	수술대 위	배출구 앞
수술이 없을때	Micrococcus species	0.7	1.5	2.5
	Coagulase negative Staphylococcus	0.3	0.2	0.2
	Fungus	0.7	1.2	1.3
	Glucose nonferrmenting gram-negative bacilli	0	0	0.1
	Corynebacterium species	0.1	0.1	0
	Total	1.8	3.0	4.1
수술중	Micrococcus species	3.0	13.2	12.2
	Coagulase negative Staphylococcus	5.0	20.8	14.6
	Fungus	0	0.2	0.6
	Glucose nonferrmenting gram-negative bacilli	0.2	2.6	1.4
	Bacillius subtilis	0.2	1.0	1.8
	Total	8.4	37.8	30.6



(a) velocity vector

(b) pathline

Fig. 4. Air flow in an empty operation room for the case of current air venting system (air inlet velocity: 0.8 m/s).

공기의 유적선으로 유입구에서 유입된 공기가 그대로 배출구로 배출되는 것을 좀 더 명확하게 보여준다. 수술실 중앙에 수술진이 있는 경우의 전산해석도 중앙부의 공기 유속만 늦어질 뿐 비슷한 결과를 보여주고 있다. 이 전산해석 결과는 수술실 공기 샘플의 세균 및 진균 배양 실험에서 관찰한 수술실 공기 유입구에서 나온 신선한 공기가 효율적으로 수술대 위에 도달하지 못한다는 결과를 뒷받침하고 있다.

3.3 제안된 공조시스템의 수술실 공기유동 전산해석

3.1과 3.2절에서 본 바와 같이 현재 수술실 천장의 양쪽 끝에서 공기가 유입되는 경우에는 수술대 위에 깨끗한 공기가 도달하지 못하여 환자 감염의 위험성이 높다. 따라서 그 해결방안으로 본 연구팀은 수술실 우물천장의 경사면에 공기 유입구를 설치하여 공기를 유입시키는 공조시스템을 제안한다. 경사면의 크기가 제한되어 있으므로 공기 유입구의 길이가 0.4 m라고 가정하고 공기유입유량을 확보하기 위하여 흡입유속이 1.2 m/s인 경우를 가정하여 공기의 유동을 전산해석하였다.

Fig. 5는 제안된 공조시스템에서 수술실이 빈 경우

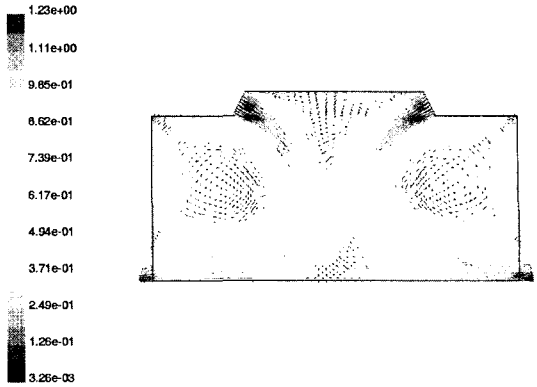
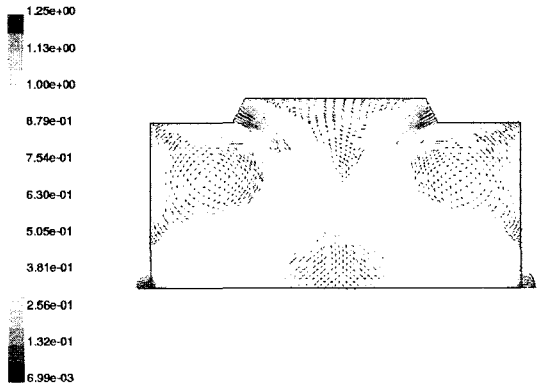


Fig. 5. Air flow in an empty operation room for the case of suggested air venting system (air inlet velocity: 1.2 m/s).

수술실 내부의 공기 유동이다. 우물천장의 경사면에서 유입된 공기가 비스듬히 내려오면서 수술대가 위치한 곳에서 서로 만나서 신선한 공기가 수술대에 효과적으로 공급되고 있는 것을 볼 수 있다. 수술대 위에서 수술중에 발생하는 오염된 공기는 바닥을 거쳐서 공기 배출구로 빠져나가 수술실 내의 공기 오염을 최소화한다.

Fig. 6은 제안된 공조시스템에서 수술실의 중앙에 수술진과 수술장비가 있어서 공기의 유동을 방해할 때의



(a) velocity vector

(b) pathline

Fig. 6. Air flow in an occupied operation room for the case of suggested air venting system (air inlet velocity: 1.2 m/s).

공기유동이다. Fig. 5의 수술진이 없는 경우와 비교해 보면 우물천장의 경사면에서 유입된 공기는 수술진이 있는 곳에서 유속이 급격하게 떨어져서 수술대 위에서는 거의 정체할 정도에 이르다가 공기 배출구에서 속도가 다시 상승하는 것을 볼 수 있다. 그러나 Fig. 6 (b)의 공기 유적선은 수술진이 있는 경우나 없는 경우나 큰 차이가 없었다. 이 결과로 중앙에 수술진이 있을 경우 공기의 유동 방향은 그대로 유지되지만 유속이 크게 떨어지는 것을 알 수 있다.

수술중에는 수술부위 절개시 전기소각에 의한 지방의 연소나 수술 부위에서 발생하는 세균 등 여러 유해물질이 발생한다. 이러한 유해물질을 적당한 유속으로 아래로 씻어 내야지만 수술중 쾌적한 환경을 유지할 수 있고 수술진의 감염도 방지할 수 있다. 그러나 유속이 너무 빠를 경우 일부 수술에서는 수술부위가 너무 건조하게 되는 등 부작용도 있을 수 있으므로 향후 최적의 유속에 대한 연구가 필요하다.

3.4 중소규모 병원의 수술실 모델 제안

병원 수술실 공조시스템중 가장 바람직한 형태는 천장의 모든 면적에 공기 유입구를 설치하고 문을 제외한 수술실 전 벽면의 밑부분에 공기 배출구를 설치하여 수술실내 어느 지점에서든 공기가 직하방향으로 흘러 오염원이 바닥에 내려가서 벽의 배출구를 통해 수술실 밖으로 배출되는 형태이다. 그러나 이러한 공조시스템은 공간을 많이 차지하고 시설비가 많이 소요되어 우리나라 병원의 대부분을 차지하고 있는 중소규모의 병원에서는 적용하기에 어려움이 많다. 따라서 3.3절에 제안한 바와 같이 수술실 중앙에 우물천장을 설치하여 천장고를 확보하고 경사면에서 공기가 유입되는 시스템을 도입하면 커다란 시설비의 증가없이 현재의 병원 구조내에서 수술중 감염의 위험성이 적은 공조 시스템을 갖출 수 있다.

4. 결 론

1) 수술중 감영방지를 위하여 수술실의 공조시스템의 개선방안을 수술실 공기 샘플의 세균 및 진균 배양과 공기유동 전산해석을 통하여 연구하였다.

2) 최신의 현대적 시설을 갖춘 병원의 수술실은 수술실내 공기의 유동이 항상 직하방향으로 흐르는 공조시스템을 갖추고 있어서 수술중 공기감염의 위험성이 적었다.

3) 그러나 오래된 병원이나 중소규모 병원의 수술실은 천장의 양끝에 위치한 공기 유입구에서 나온 정제된 공기가 효율적으로 수술부위에 도달하지 못하게 되어 있다.

4) 따라서 본 연구가 제안한 것과 같이 천장을 가운데가 오목하게 파인 우물천장으로 만들고 경사면에서 공기가 유입되게 하면 시설비의 큰 증가 없이 환자의 수술부위에 효율적으로 신선한 공기를 공급할 수 있다.

참고문헌

[1] 강문원, 김경미, 김승주, 김양수, 김영숙, 김옥선, "감염관리지침", 제1판, 서울, 대한병원감염관리학회, 1996.

[2] 김한수, 박천규, "수술후 창상감염에 대한 임상적 고찰", 외과학회지, Vol. 35, No. 3, pp. 271-282, 1988.

[3] 정일호, 이무혁, 배수동, "새병원에서 수술후 창상감염에 대한 임상분석", 외과학회지, Vol. 39, No. 4, pp. 440-446, 1990.

[4] 신재훈, 최건필, "수술후 창상감염 및 예방", 외과학회지, Vol. 39, No. 2, pp. 167-173, 1990.

[5] 김진백, 권국환, 민현식, "복부개복술 후 창상감염에 대한 조기 이차봉합술", 외과학회지, Vol. 42, No. 1, pp. 77-80, 1992.

[6] Health Building Note 26-Operation Department, HMSO Book Series, NHS Estates, London, 1991.

[7] 권말숙, "군병원의 병원감염의 요인중 수술실 오염도에 관한 연구", 경산대학교 보건대학원 석사학위논문, 1996.

[8] F. McQuiston and J. Parker, Heating, Venting, and Air Conditioning-Analysis and Design, 4th ed, John Wiley & Sons, 1994.

[9] 김영호, 박정원, 최신공기조화설비, 보문당, 1993.

[10] 김원옥, 길혜금, 이종석, 구본녀, 신동천, 김명옥, "수술실의 실내환경에 대한 조사연구", 대한마취과학회지, Vol. 34, pp. 167-174, 1998.

[11] 원석규, 승익상, 김동원, 이광진, "수술실, 회복실 및 중환자실의 온도와 습도에 대한 평가", 대한마취과학회지, Vol. 26, No. 2, pp.220-225, 1993.