의료기관내 결핵감염관리: Environmental control & Personal protection

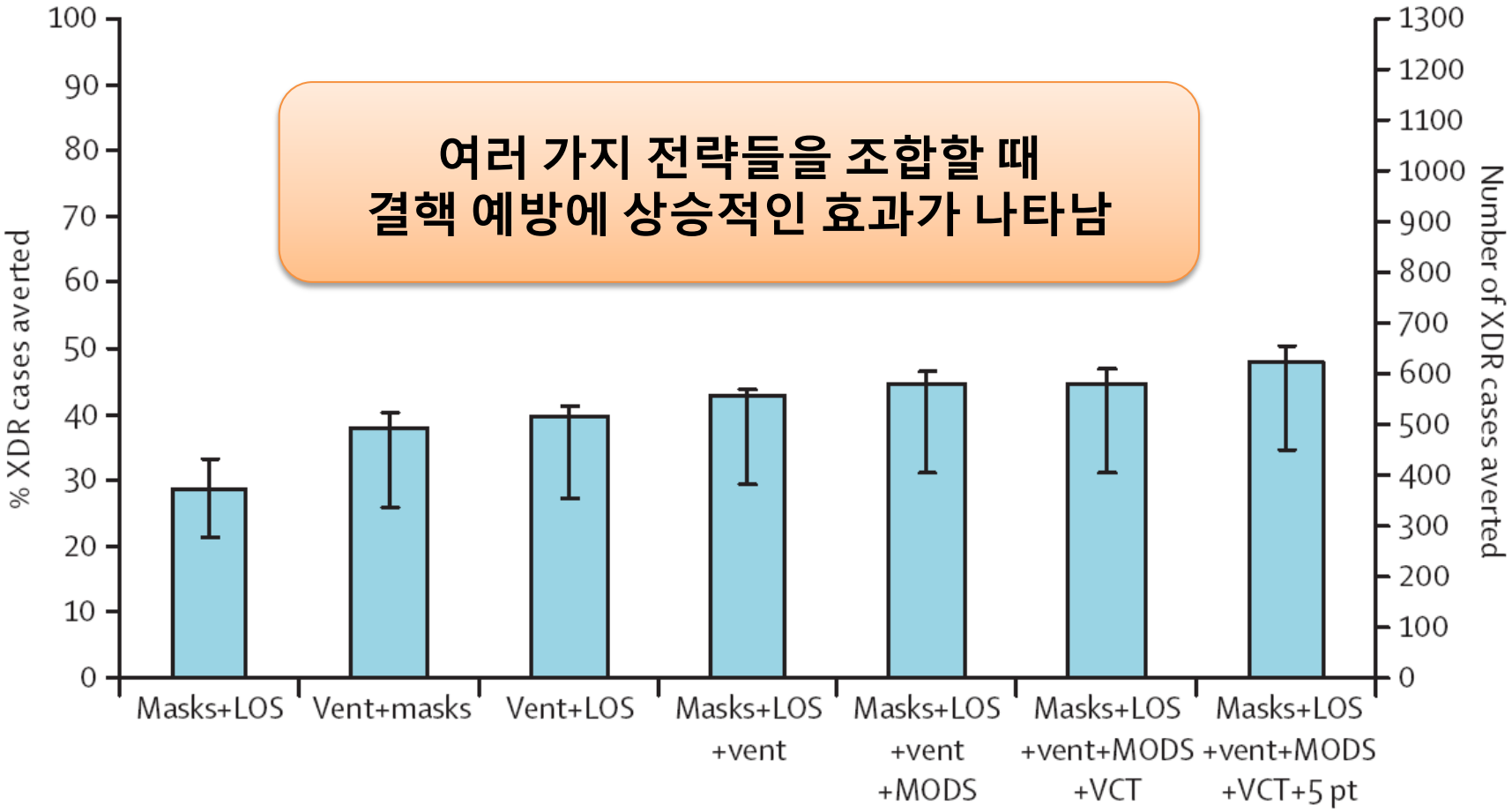
국립중앙의료원 호흡기내과
이 지 연

의료진들이 결핵에 전염될 위험

Population	Outcome	Settings	Risk ratio
Health workers	LTBI	High income	10.06
	LTBI	Low income	5.77
	TB	Low income	5.71
	TB	High income	1.99
Congregate (mostly prisons)	LTBI	High income	2.74
	TB	High income	21.41
Household	LTBI and TB	High income	3.19

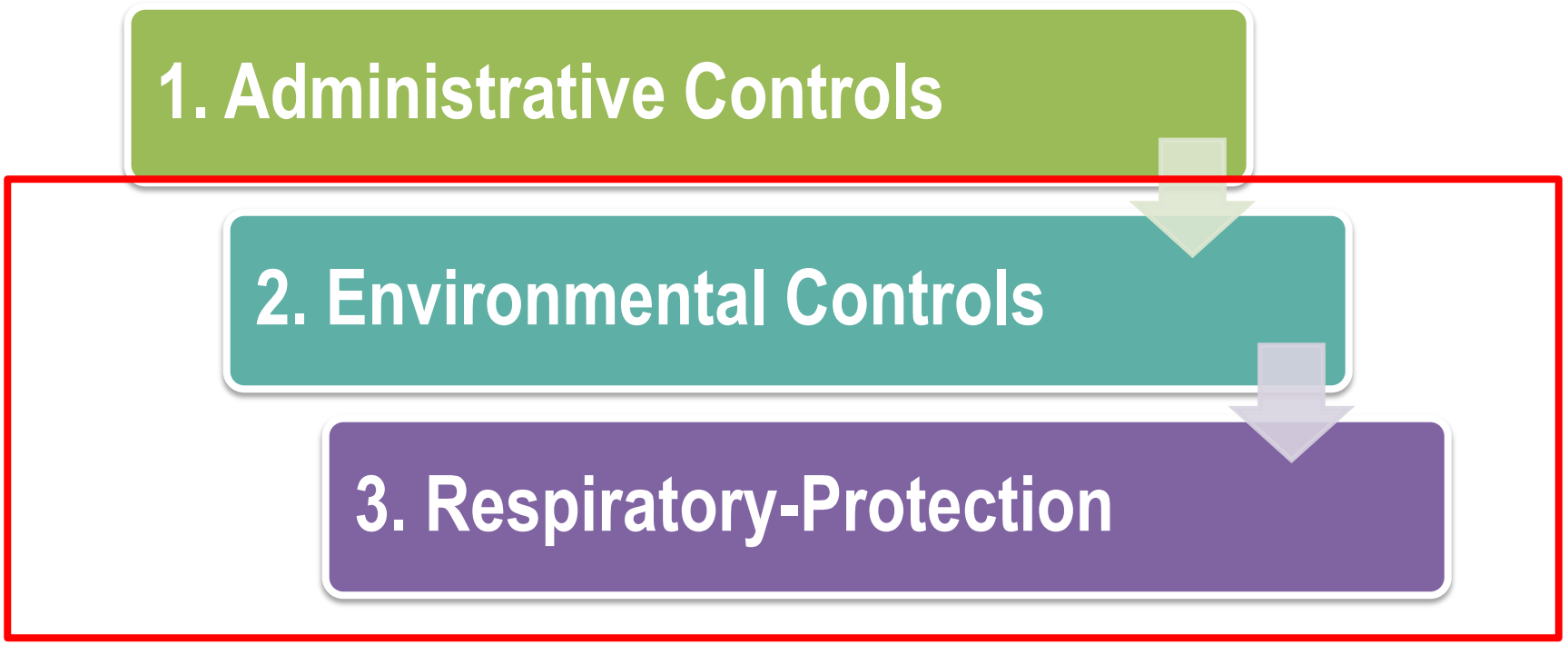
WHO policy on TB infection 2009

어떻게 전염 위험을 줄일 수 있을까?



Lancet 2007;370:1500–07

3단계 결핵 관리 체계



CDC guidelines, 2005
WHO policy on TB infection, 2009

I. 환경 관리

1. 국소 배기 장치
2. 환기 시스템
3. 공기 정화
    1) 헤파필터 (HEPA Filter)
    2) 자외선 살균조사 (UVGI)
4. 음압 격리병실

II. 개인 보호

환경 관리

- 대기 중 감염성 비말핵의 농도를 낮추고 확산을 예방

1차 환경 관리

- 국소배기 장치를 통한 감염원 관리
- 환기 시스템을 통한 오염 공기의 희석 및 제거

2차 환경 관리

- 감염원과 인접한 지역의 공기 오염을 예방하기 위하여 기류를 조절
- 헤파필터와 자외선 살균 조사를 이용한 공기 정화

I. 환경 관리

1. 국소 배기 장치

2. 환기 시스템

3. 공기 정화

   1) 헤파필터 (HEPA Filter)

   2) 자외선 살균조사 (UVGI)

4. 음압 격리병실

II. 개인 보호

국소 배기 장치 (Local exhaust ventilation)

- 목적: 공기매개 오염물질이 일반 환경으로 퍼지는 것을 막음
- 종류: 후드, 부스, 텐트

CDC guidelines, 2005

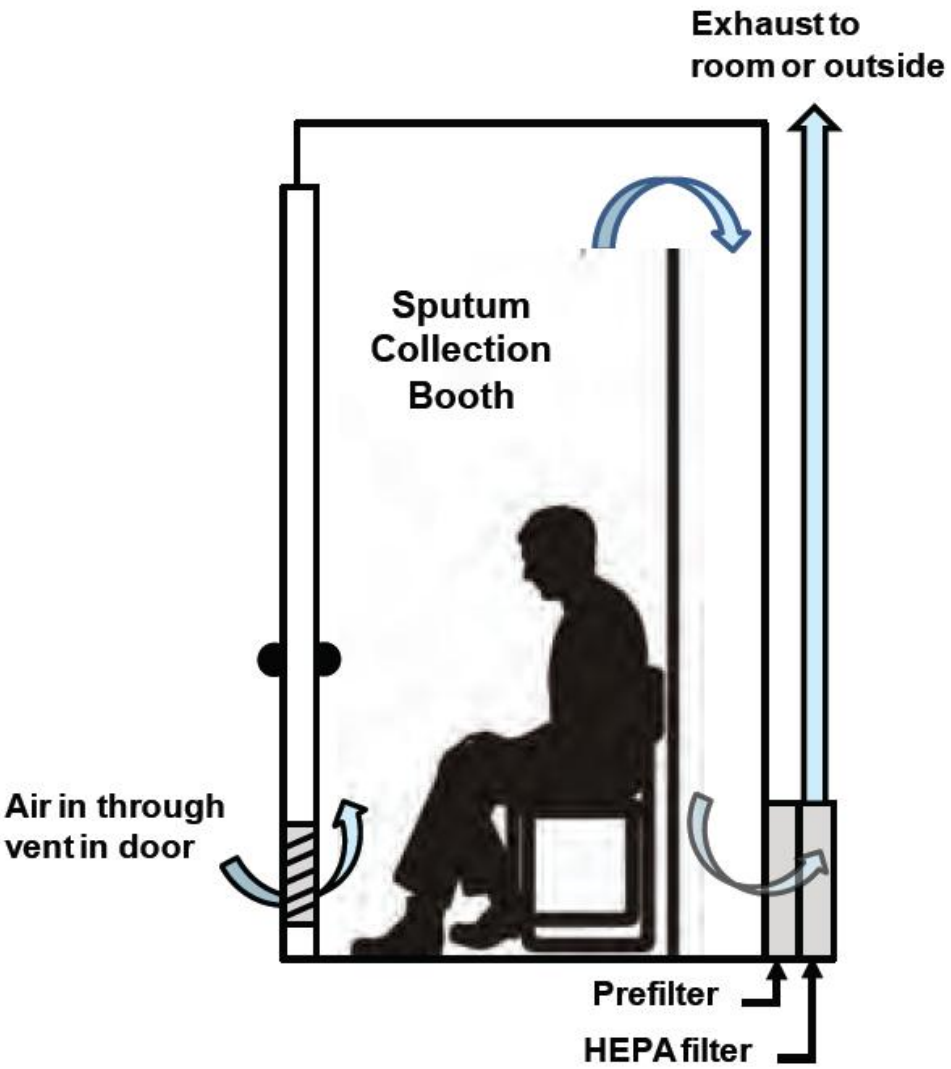
"The use of local exhaust ventilation should be considered to reduce exposures to infectious aerosols and vapors from embalming fluids."

"Local exhaust ventilation should be used for cough-inducing and aerosol-generating procedures."

에어로졸 생성 술기

- ✓ 기도 삽관
- ✓ 기관 흡입
- ✓ 네뷸라이저
- ✓ 기관 절개
- ✓ 기관지 내시경
- ✓ 심폐소생술
- ✓ 위내시경

객담 부스 (Booth)


Exhaust to
room or outside
Sputum
Collection
Booth
Air in through
vent in door
Prefilter
HEPA filter

I. 환경 관리

1. 국소 배기 장치

2. 환기 시스템

3. 공기 정화

1) 헤파필터 (HEPA Filter)

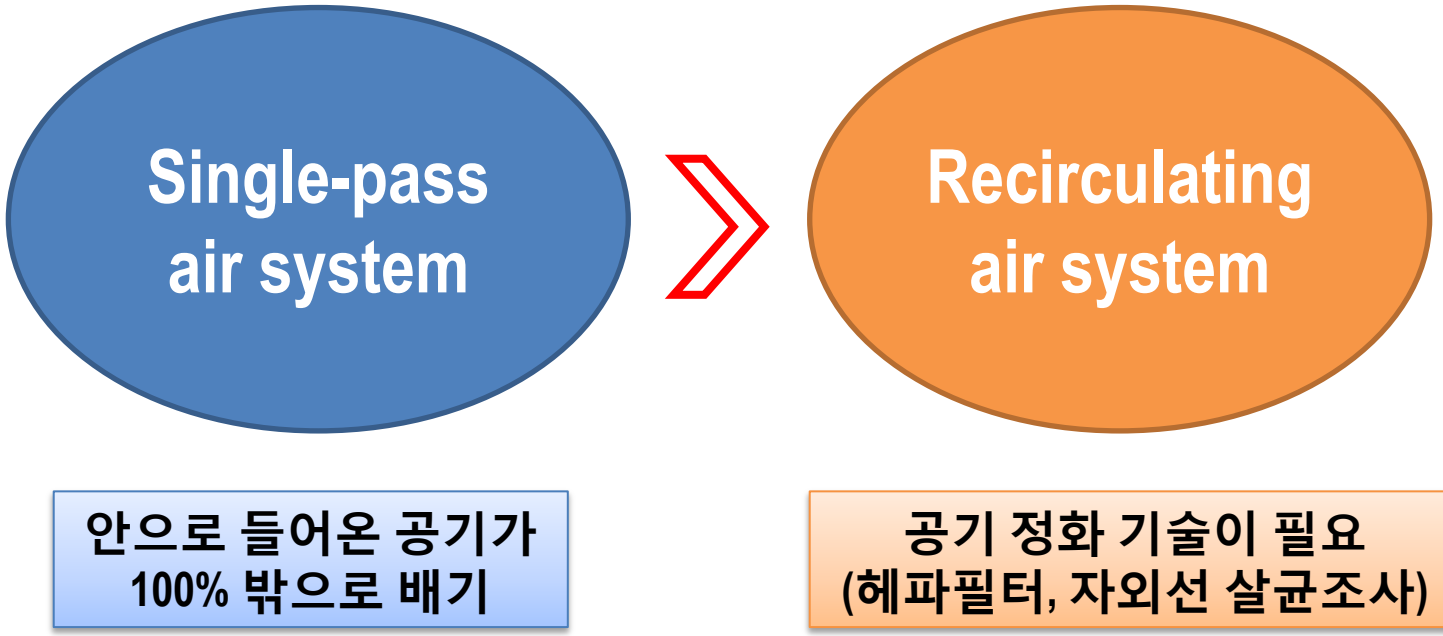
2) 자외선 살균조사 (UVGI)

4. 음압 격리병실

II. 개인 보호

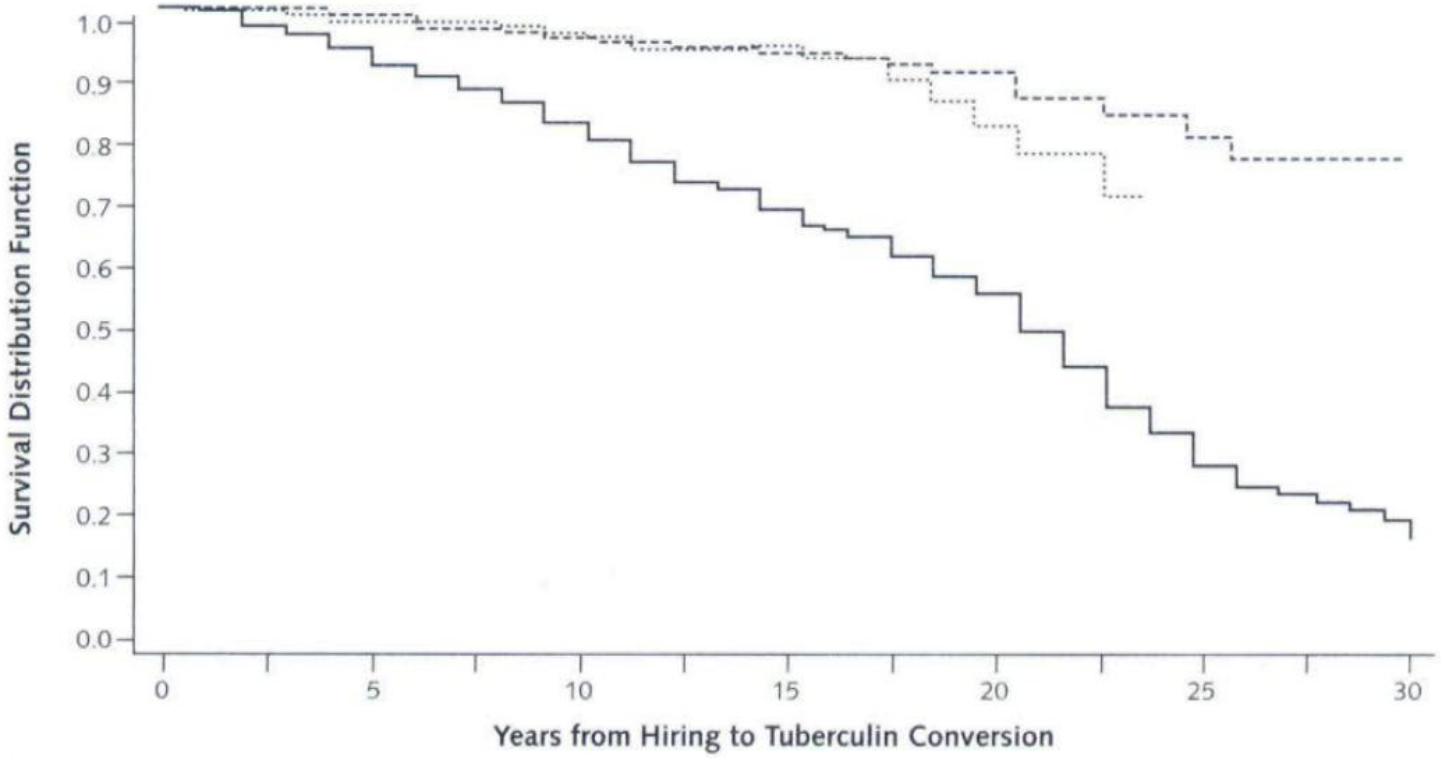
환기 시스템

1. 오염된 공기를 희석시키고 제거
2. 실내 공기흐름을 조절



CDC Guidelines, 2005

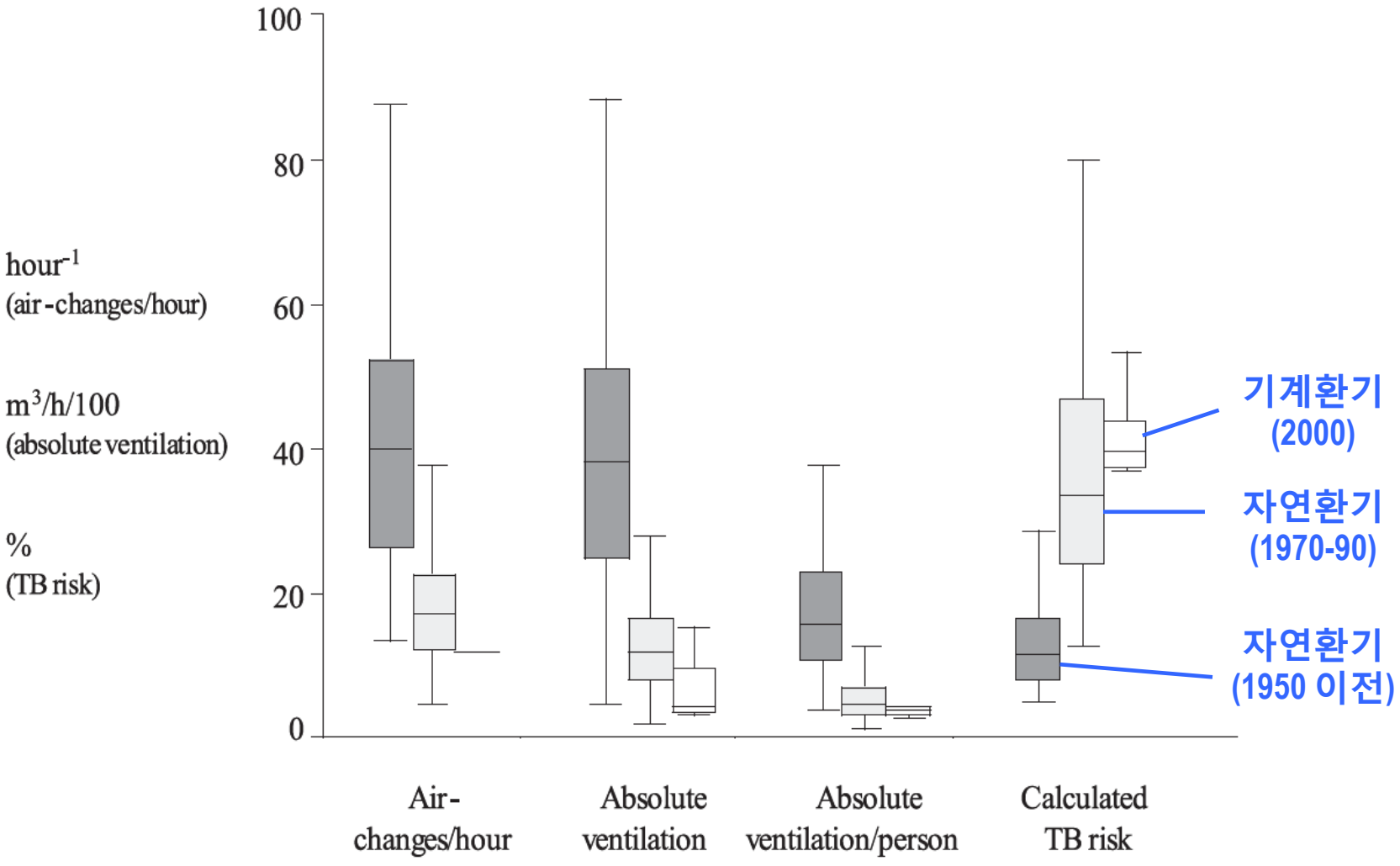
환기의 효과는?



Personnel, *n*						
< 2 ACPH	471	372	217	139	79	22
≥ 2 ACPH	651	518	237	104	42	20
Low-risk/ nonclinical	150	122	74	38	15	3

Ann Intem Med. 2000;133:779

환기의 효과는?



PLoS Med 2007; 4(2): e68

시간당 환기율에 따른 오염원 제거 시간

ACH	Removal efficiency at one hour (%)*	Minutes required for removal efficiency	
		99%	99.9%
2	86.5	138	207
4	98.2	69	104
6	99.75	46	69
12	99.9994	23	35
20	99.99999	14	21

Air changes per hour, ACH

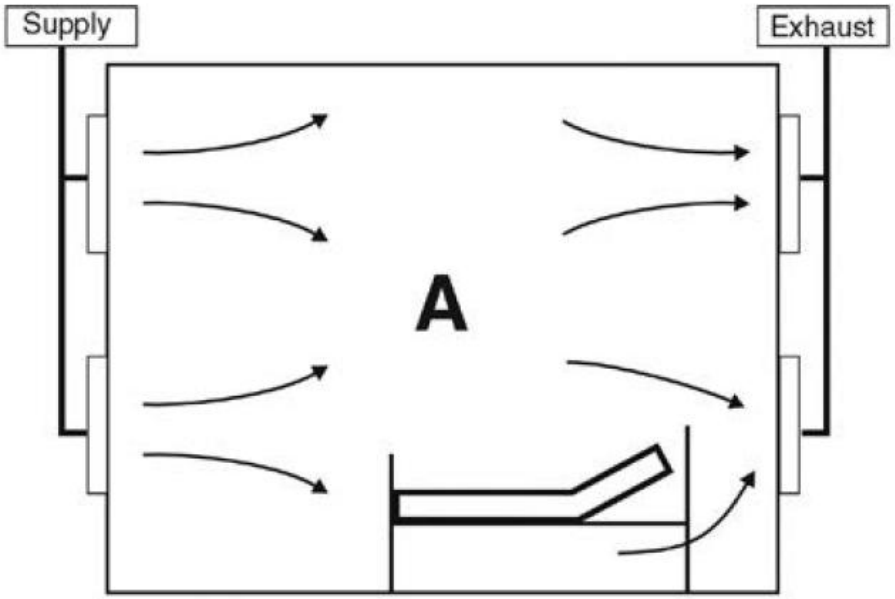
CDC Guidelines, 2005

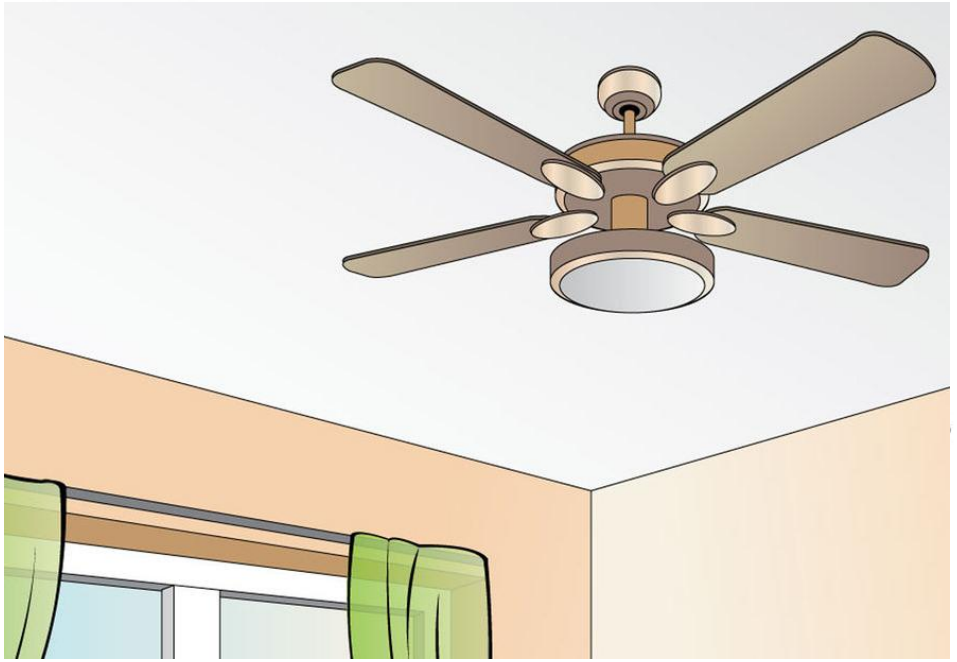
의료기관내 환기 권고사항

	최소 시간당 환기량	공기 흐름	외부로의 직접 배기
미생물 실험실	6	In	Yes
전실	10	In / Out	Yes
격리병실	12	In	Yes
부검실	12	In	Yes
기관지내시경실	12	In	Yes
응급실, 영상의학과 대기실	12-15	In	Yes
수술실	15	Out	—

CDC Guidelines, 2005

실내 기류 형태 조절





공기 혼합 (air-mixing)

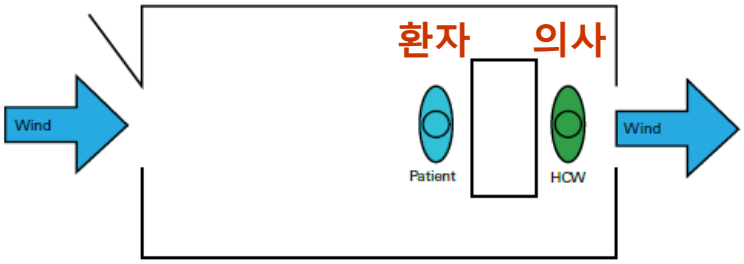
✓감염 입자가 환기에 의해 제거될 확률을 고르게 함

✓효과적인 환기에 필수

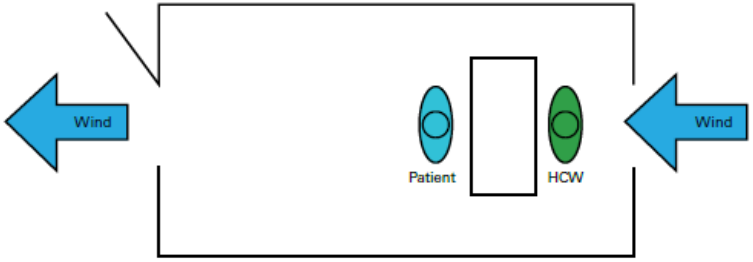
CDC Guidelines, 2005

자연 환기의 방향

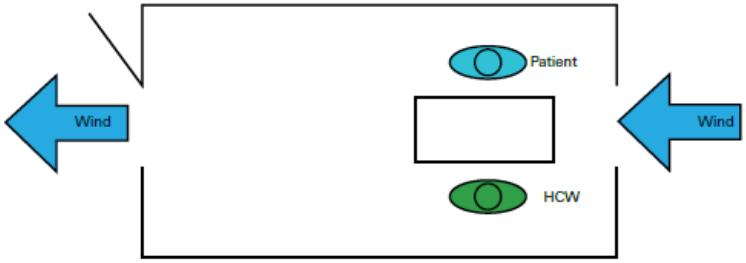
X



O



좋은 절충



자연 환기의 단점

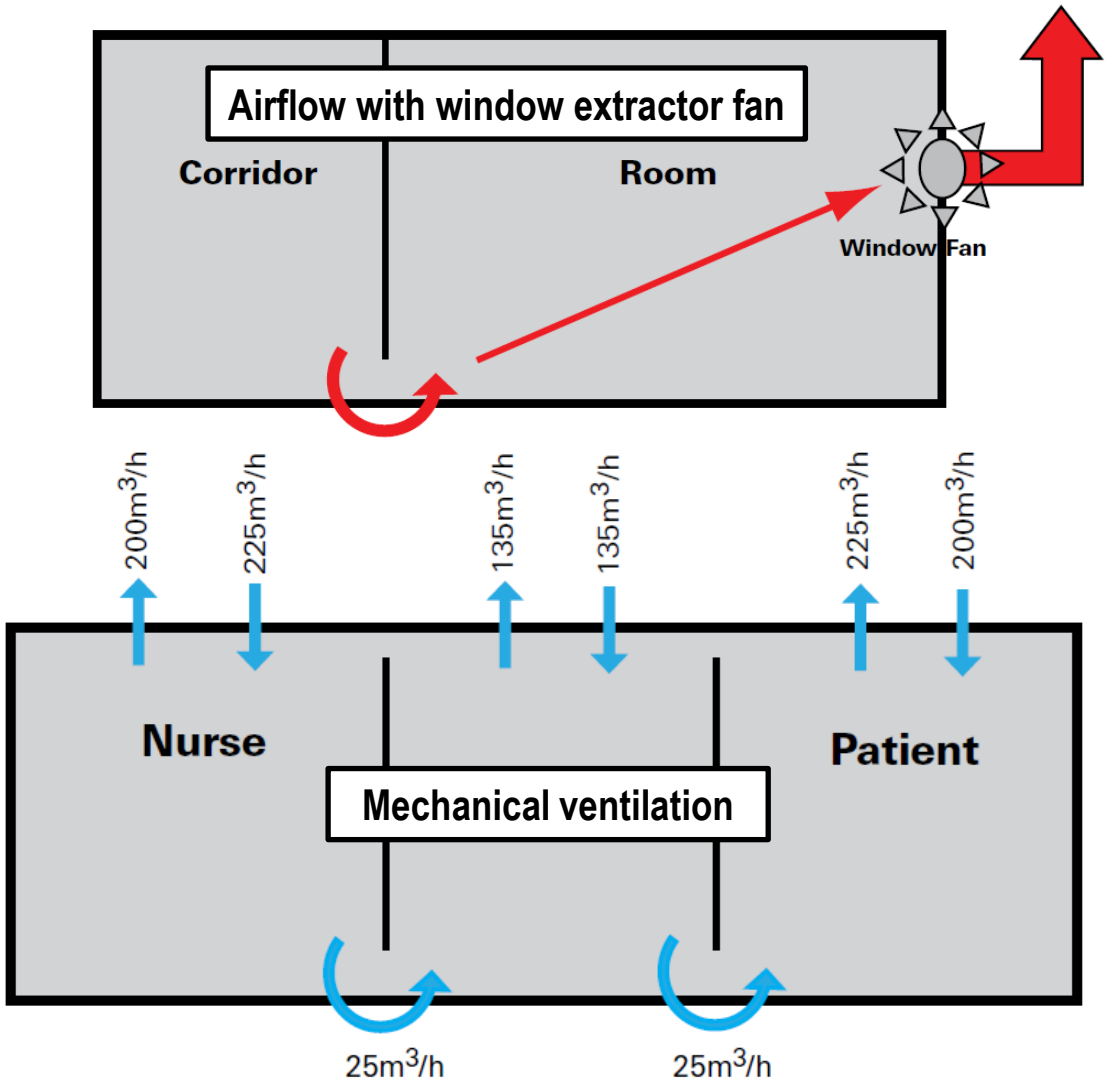
- ✓공기 흐름의 방향 조절이 어려움
- ✓기후의 영향을 받음
- ✓ACH 측정이 어려움

Implementing the WHO policy on TB infection, 2009

기류의 방향을 조절하려면? 음압이 필요

음압의 유지

- ✓ 기류차이와 총 누설면적을 조절
- ✓ 배기량 > 급기량
- ✓ ≥ 0.01 inch of water gauge (≥ 2.5Pa)



음압이 제대로 걸리고 있는지?

Smoke tube testing

음압 자동제어 장치

"음압 제어기를 간호사실에 설치하도록 함"

차압감지기

"각 실간 음압차는 **-2.5 Pa 이상을 유지**해야 함"

"음압의 절대치는 **화장실 ≧ 병실 ≧ 전실 > 복도** 순이 되도록 유지"

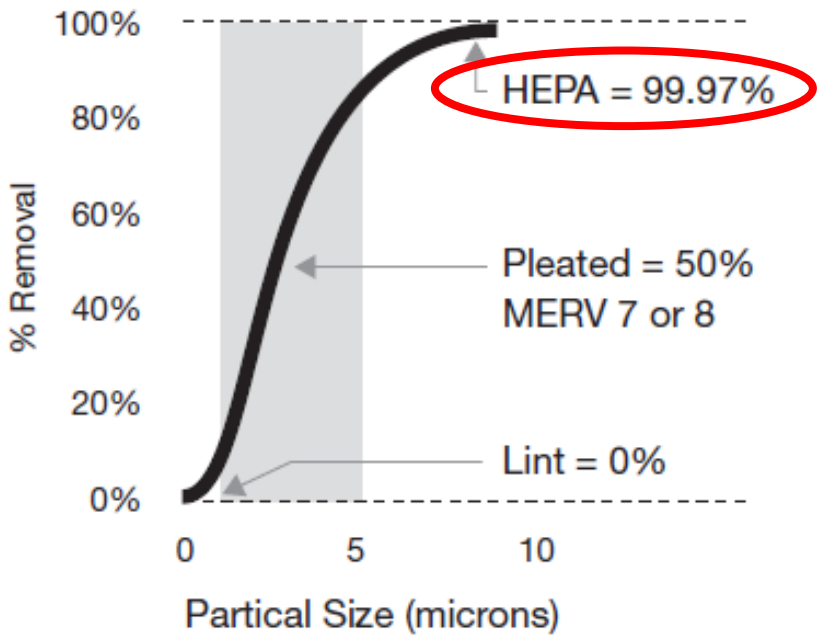
I. 환경 관리

1. 국소 배기 장치
2. 환기 시스템
3. **공기 정화**
   - **1) 헤파필터 (HEPA Filter)**
   - 2) 자외선 살균조사 (UVGI)
4. 음압 격리병실

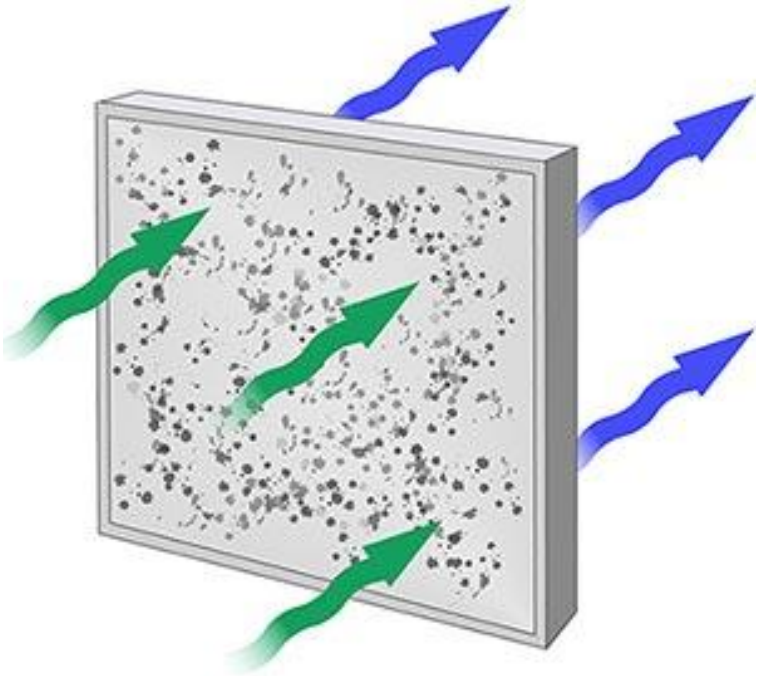
II. 개인 보호

헤파 필터 (HEPA = High Efficiency Particulate Air Filter)

0.3μm 크기 이상의 입자를 99.97% 제거하는 고성능 공기 정화 필터

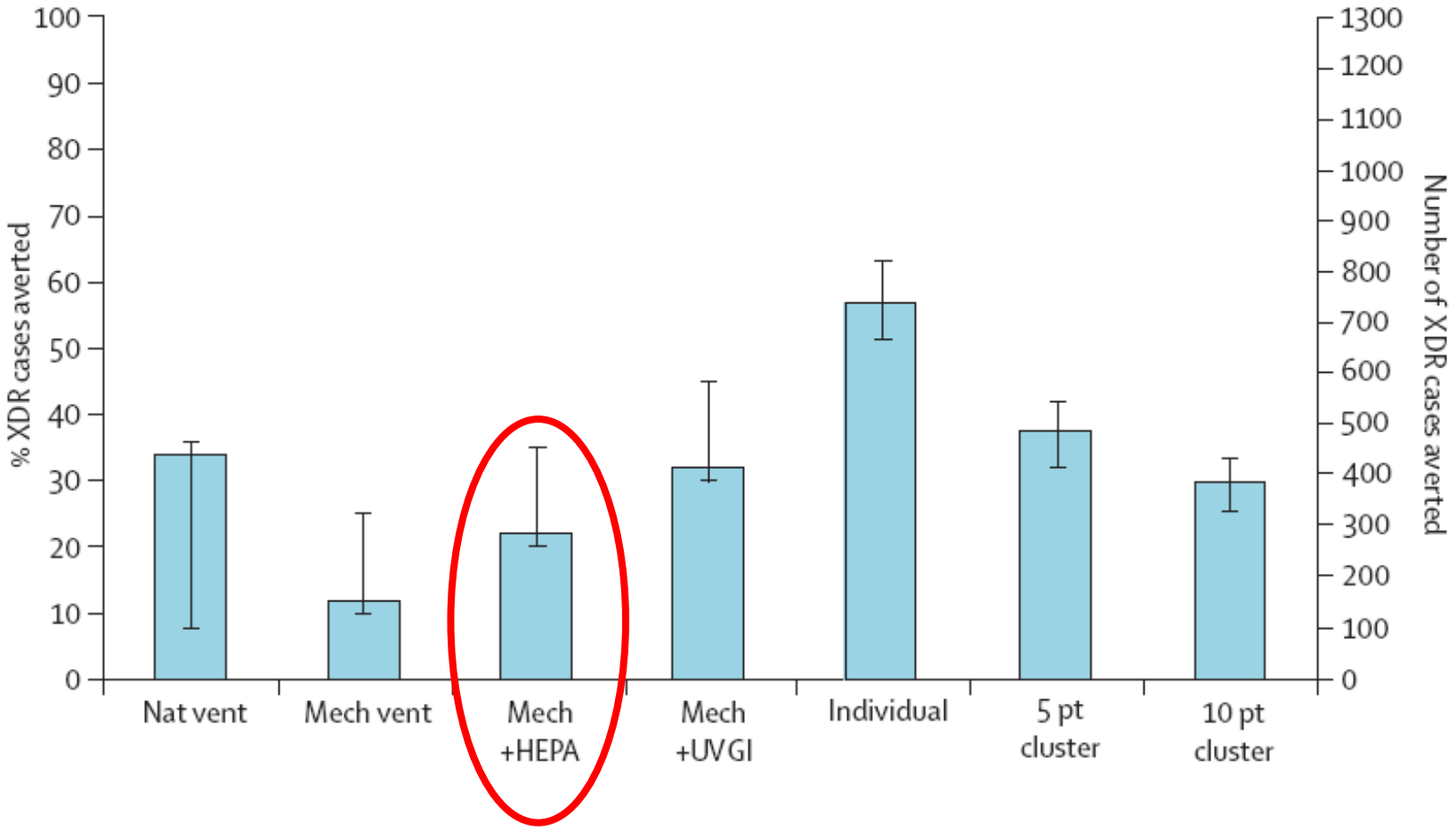


M.tb droplet nuclei: 1-5 μm



CITC, Tuberculosis infection control, 2011

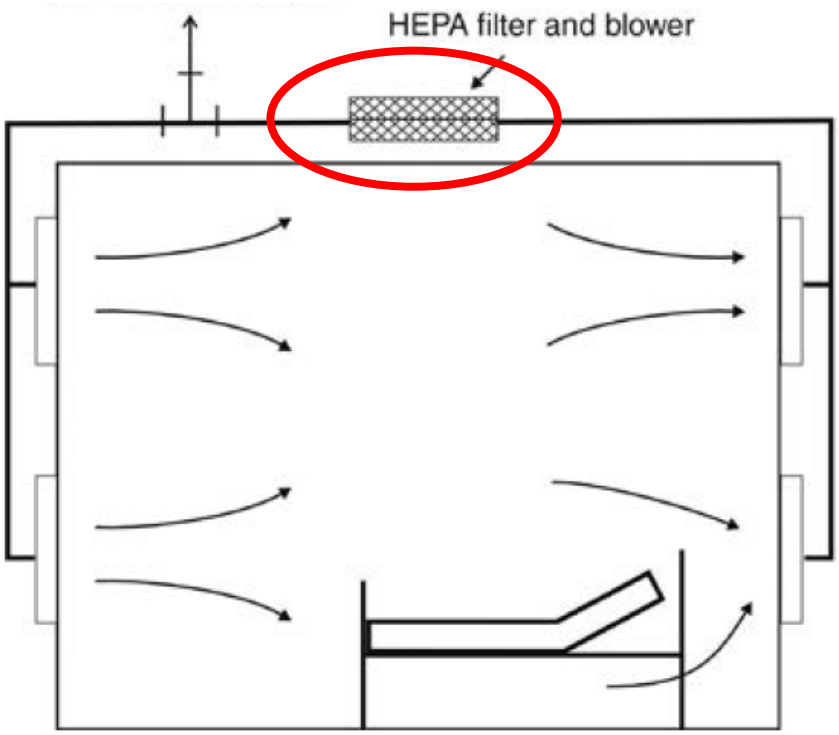
헤파 필터: 결핵 예방 효과



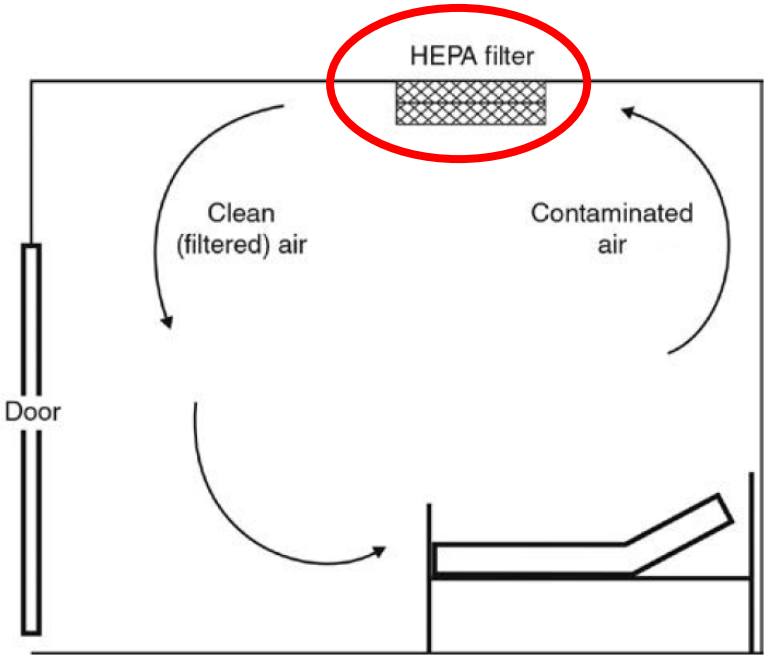
Lancet 2007;370:1500–07

실내 공기 재순환 시스템

배관 내



천정



CDC Guidelines, 2005

헤파 필터 사용 예시

"병실 내 순환된 공기는 외부로 배출되거나 재순환시 HEPA 필터 통과"

"시스템이 충분한 ACH를 제공하지 못할 때 사용"

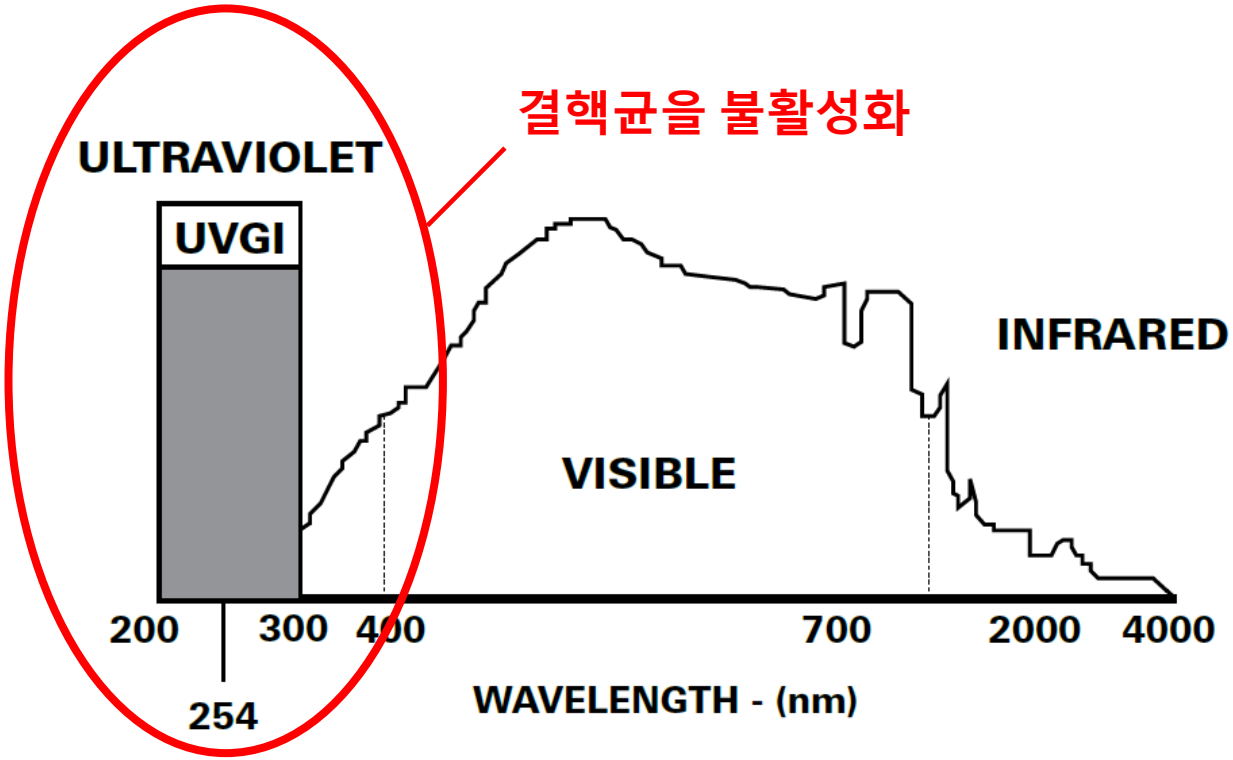
I. 환경 관리

1. 국소 배기 장치
2. 환기 시스템
3. 공기 정화
    1) 헤파필터 (HEPA Filter)
    2) 자외선 살균조사 (UVGI)
4. 음압 격리병실

II. 개인 보호

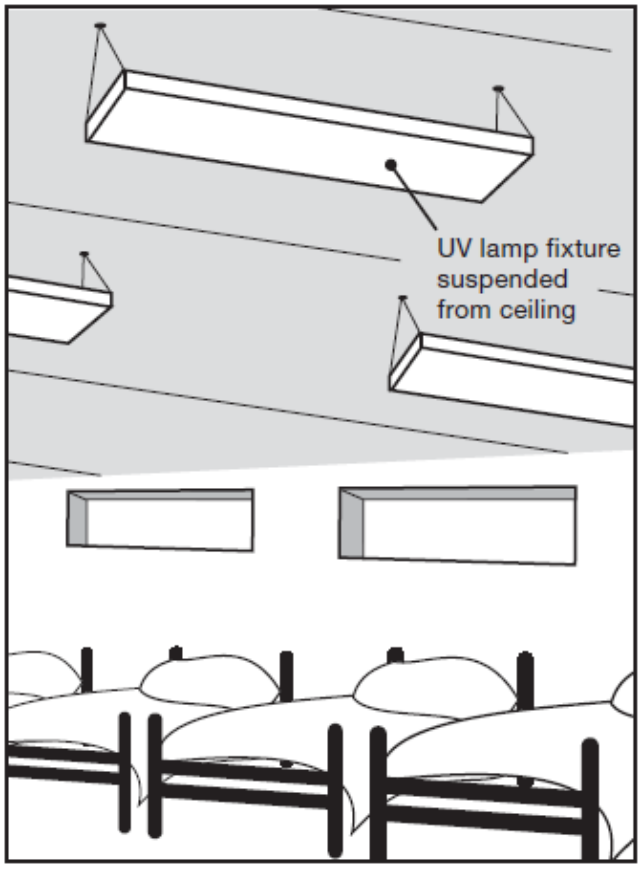
자외선 살균 조사 (Ultra Violet Germicidal Irradiation, UVGI)

- 적절한 환기가 불가능한 경우 보조적으로 사용
  - ✓ 응급실, 큰 대기실, 노숙인 쉼터, 기타 폐쇄 공간 등

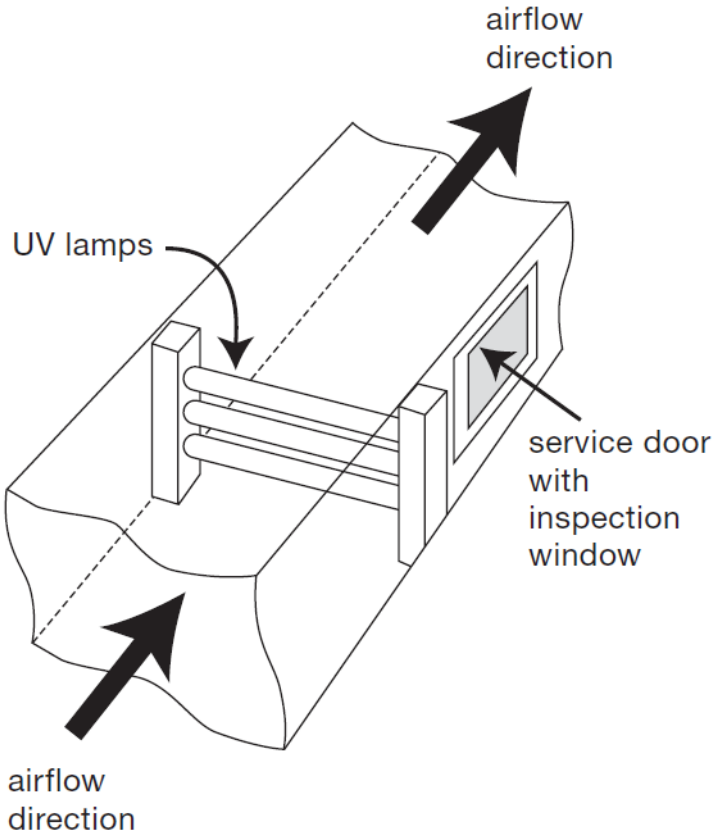


자외선 살균 조사의 형태

UVGI upper room system



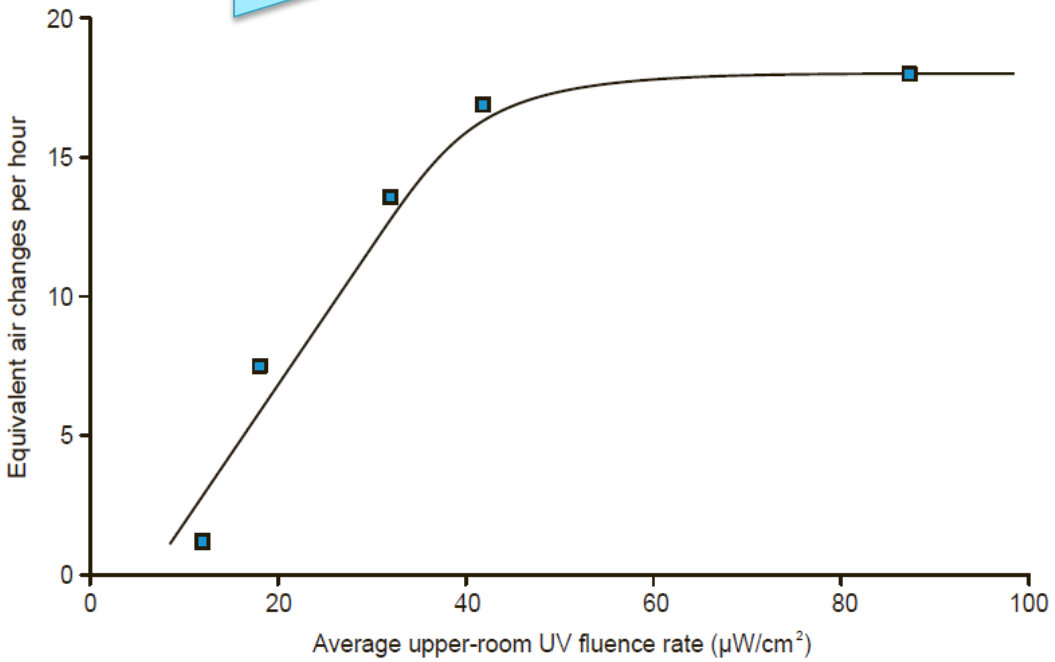
In-duct UVGI



CITC, Tuberculosis infection control, 2011

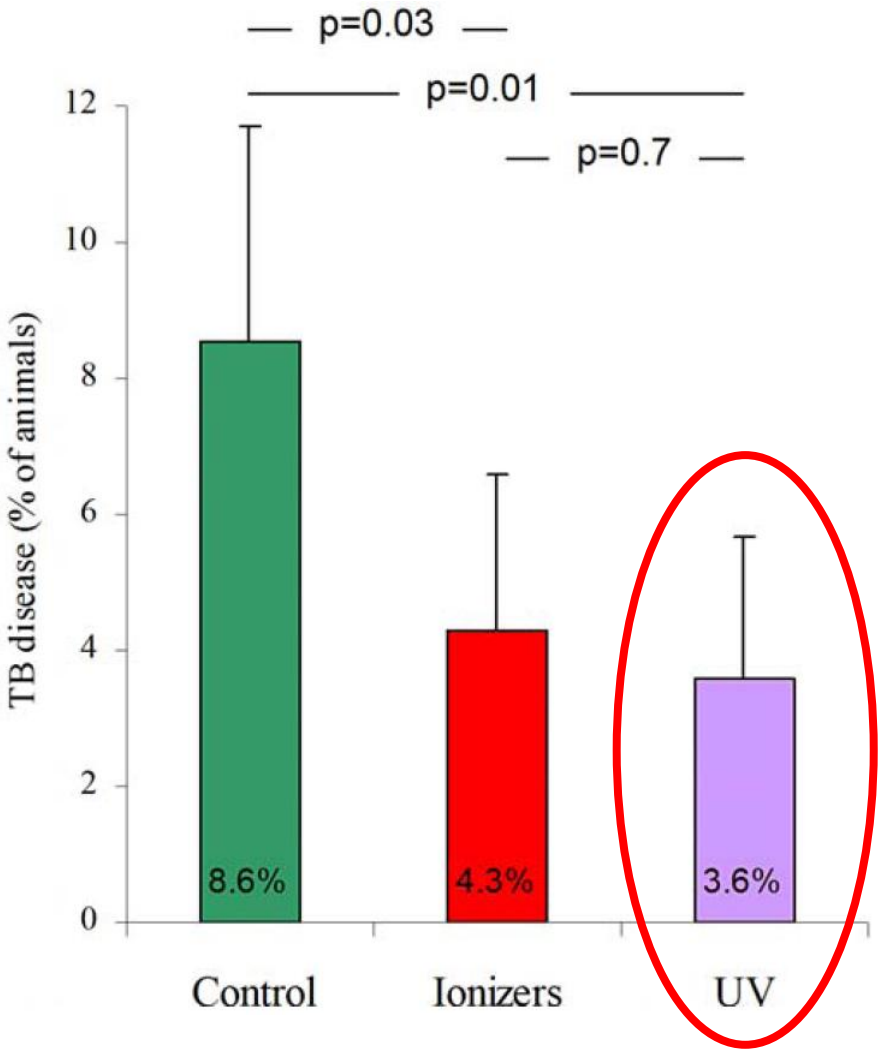
Upper-room UVGI: 살균 효과

설비가 잘 갖춰진 경우,
10–20 ACH 와 동등한
공기 소독 효과



NIOSH, Basic Upper-Room UVGI Guidelines, 2009

Upper-room UVGI: 결핵 예방 효과



PLoS Med 2009; 6(3): e1000043

I. 환경 관리

1. 국소 배기 장치
2. 환기 시스템
3. 공기 정화
    1) 헤파필터 (HEPA Filter)
    2) 자외선 살균조사 (UVGI)
4. **음압 격리병실**

II. 개인 보호

음압 격리(입원치료)병실

- 정의
  - ✓ 공기감염을 예방하기 위하여 음압을 유지할 수 있는 공조시설과 환기시스템, 전실* 등을 갖춘 병실.

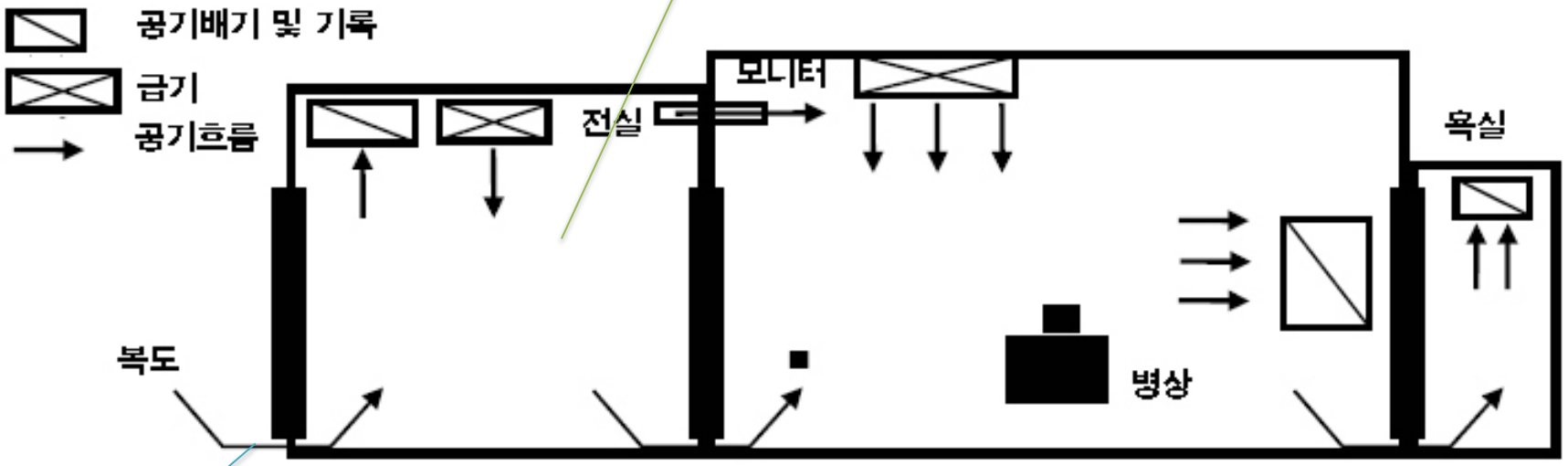
***전실**

- 병실과 인접해 있으면서 외부로부터 그 병실에 들어가고 나갈 때 통과하는 방
- 기본적인 감염예방대책을 수행하기 위한 준비 공간
- 병실 내의 음압을 안정된 상태로 유지하는데 필요 (공기감염 예방)

국가지정 입원치료(격리)병상 운영과 관리, 2011

음압 병실의 기본 구조

병실 내의 기압을 제어하기가 쉽도록 전실을 설치해야 함



공기 흐름:
청결한 곳 → 오염된 곳

✓격리실 순환 공기는 외부로 배출되어야 하고 재순환시키지 않음.
✓그렇지 못할 경우 HEPA 필터를 사용.

국가지정 입원치료(격리)병상 운영과 관리, 2011

음압 격리병동

전기적인 interlock구조

전실에 있는 병실 쪽 문이 복도 쪽 문과 동시에 열리지 않는 구조

환기

배기량 > 급기량
(최소 20%이상)

(배기량을 크게 하여
적정한 환기횟수 유지)

환기횟수 (ACH)

1시간에
적어도 6회 이상
가능하면 12회 이상

풍량 (Air flow rate)

누설면적 0.5sq.ft
12ACH 인 경우
최소 125 cfm 이상

	국가지정 입원치료병상 운영과 관리	CDC	ASHRAE	AIA
명칭	음압격리병상	AII*	AII	AII
총 ACH	≥ 12 (최소 ≥ 6)	≥12 (최소 ≥ 6)	> 12	> 12
HEPA 재순환 허용	Yes	Yes (12 ACH 도달)	No	No
총 ACH에 HEPA 재순환 허용	Yes	Yes (12 ACH 도달)	No	No
최소 외기 ACH	2	시설마다 다름	2	2
최소 음압차	≥ 2.5 Pa	≥ 0.01" W.G.	≥ 0.01" W.G.	≥ 0.01" W.G.
Upper-air 또는 in-duct UVGI	-	Yes (환기 대체 불가)	-	Yes (환기 대체 불가)
전실 여부	Yes	No	바람직	일반적 선택
전실 ACH	-	10	10	10
음압 감시	차압계 설치	격리 중 매일	-	-

*AII: Airborne infection isolation room

I. 환경 관리

1. 국소 배기 장치
2. 환기 시스템
3. 공기 정화
    1) 헤파필터 (HEPA Filter)
    2) 자외선 살균조사 (UVGI)
4. 음압 격리병실

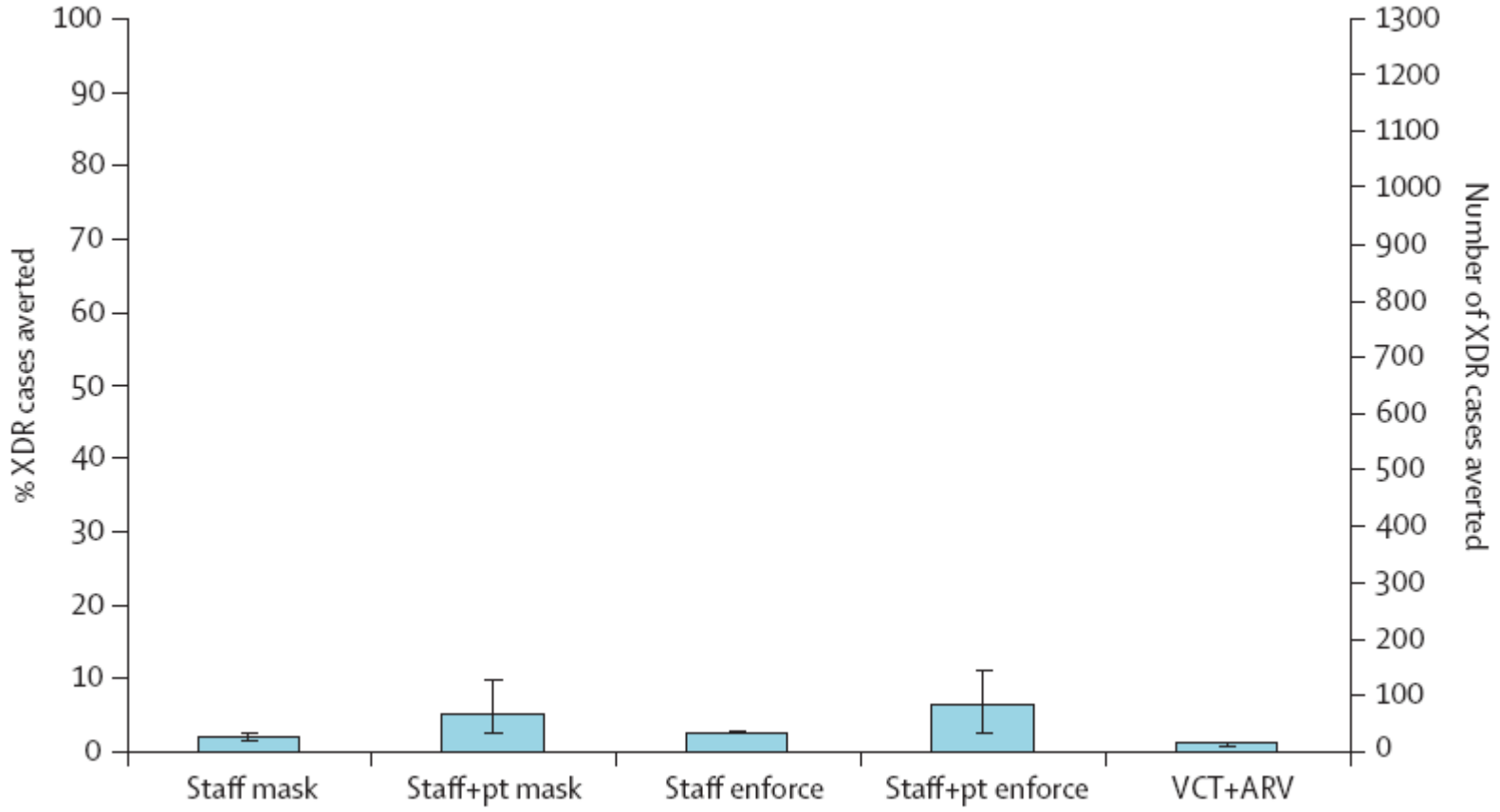
II. 개인 보호

개인 보호 장비 (Personal Protective Equipment)

- **목적**
  - ✓ 결핵 노출 위험이 높은 상황에서 감염성 입자의 흡입 위험을 감소시킴

- **착용 권고 대상**
  - ✓ 결핵이 확진되었거나 의심되는 환자를 진료하는 의료진
    - ➢ 특히 다음과 같은 상황에서
      - 에어로졸 생성 술기
      - MDR, XDR-TB
  - ✓ 격리실에 들어가는 방문객

호흡 보호구의 효과는?



Lancet 2007;370:1500–07

결핵 호흡 보호구의 종류

Nonpowered air-purifying respirators

Powered air-purifying respirators (PAPR)

(99.97%)

N100

R100

P100

)C Guidelines, 2005

나에게 잘 맞는 호흡 보호구의 종류는?

- Fit Test 란?
  - ✓ 마스크 착용시 얼굴과 보호구의 틈새로 유해물질이 새어 들어가는지 제 3자인 전문가가 장비를 이용한 실험을 해서 판단하는 방법

- 언제 시행?
  - ✓ 본인에게 잘 맞는 종류의 마스크를 결정할 때
  - ✓ 상황에 따라 주기적으로

Fit Test (밀착 검사)

Fit Test
Cover head with hood with opening in front
Squeeze nebulizer 5-10 times with fit test solution
Normal breathing 1 minute
Deep breathing 1 minute
Move head side-to-side 1 minute
Move head up-and-down 1 minute
Talk non-stop 1 minute
Jogging or walking in place 1 minute
Normal breathing 1 minute
Remove straps one by one from behind over the head

Implementing the WHO policy on TB infection, 2009

Fit check (= User seal check) (밀착 확인)

✓마스크 사용 전 항상 시행

✓마스크 종류에 따라 각 제조사에서 권고하는 방법을 따라야 함

1. 양
2. P
3. **Negative pressure checking:** 두 손으로 마스크를 감싸고 숨을 '흡'하고 들이마셔서 마스크가 안면 쪽으로 가볍게 밀착되는지 확인
4. Air leak이 코 주위나 마스크 가장자리에서 느껴지면 끈이나 마스크 위치 재조정
5. 조정에도 air leak 이 지속되면 다른 모델이나 크기의 마스크로 교환

상황에 따른 적용

상황	환경 관리	개인 보호
병실, 응급실	• 결핵 확진 또는 의심 환자를 위한 음압 격리병실이 적어도 1개 이상 필요 • 등가의 ACH를 높이기 위해 공기정화기술 (헤파필터, 자외선살균조사 등) 사용 가능	• 음압 격리병실에 들어가는 의료진 및 방문객은 적어도 N95 호흡 보호구 착용 • 전염성 결핵의 증상 및 징후가 있는 환자에게는 이송시, 대기지역에서, 또는 환자가 다른 사람과 있을 때 가능한 수술용 마스크를 착용시킴
수술실	• 음압 격리병실 기준을 만족해야 함 • 공기정화기술 사용 가능 • 호흡회로에 고효율 세균 필터를 사용해야 함	• 의료진은 밸브가 없는 N95 호흡보호구 착용 • 전염성 결핵의 증상 및 징후가 있는 환자에게는 가능한 수술 전후로 수술용 마스크를 착용시킴 • 밸브 또는 양압 보호구는 사용 불가

CDC Guidelines, 2005

상황에 따른 적용

상황	환경 관리	개인 보호
기관지 내시경실	• 음압 격리병실 기준을 만족해야 함 • 공기정화기술 사용 가능 • 환자의 기침이 진정될 때까지 내시경실 안에 머물도록 함	• 의료진은 적어도 N95 호흡 보호구를 착용하고, 더 높은 수준의 보호구도 고려해야 함 (PAPR 등) • 전염성 결핵의 증상 및 징후가 있는 환자에게는 시술 전후로 가능한 수술용 마스크를 착용시킴
객담유도, 흡입 치료실	• 환기 장치가 있는 부스에서 시행 • 부스가 가능하지 않다면 음압 격리병실 기준을 만족하는 방에서 시행 • 공기정화기술 사용 가능 • 환자의 기침이 진정될 때까지 방 안에 머물도록 함	

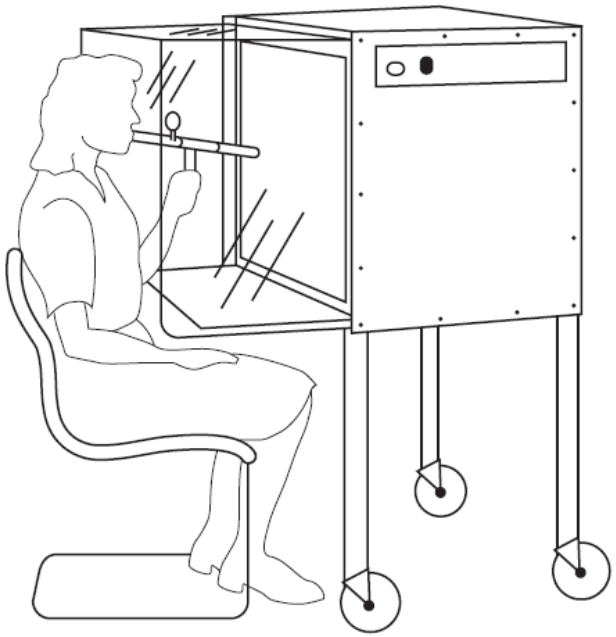
CDC Guidelines, 2005

요약

- 환경 관리의 목적은 대기 중의 결핵균을 감소시켜 노출 위험을 줄이는 것임.
- 공기는 깨끗한 곳에서 오염된 곳으로 흘러야 하며, 기류 방향 조절을 위해 음압이 필요함.
- 음압 격리병실의 시간당 환기횟수는 12회 이상이어야 함.
- 환기 시스템은 정기적인 모니터링과 관리가 필요함.
- 환기가 충분하지 못할 경우 보완책으로 헤파필터, 자외선살균조사 등의 공기정화기술을 사용할 수 있음.
- 호흡 보호구를 사용하여 추가적인 보호 효과를 얻을 수 있음.

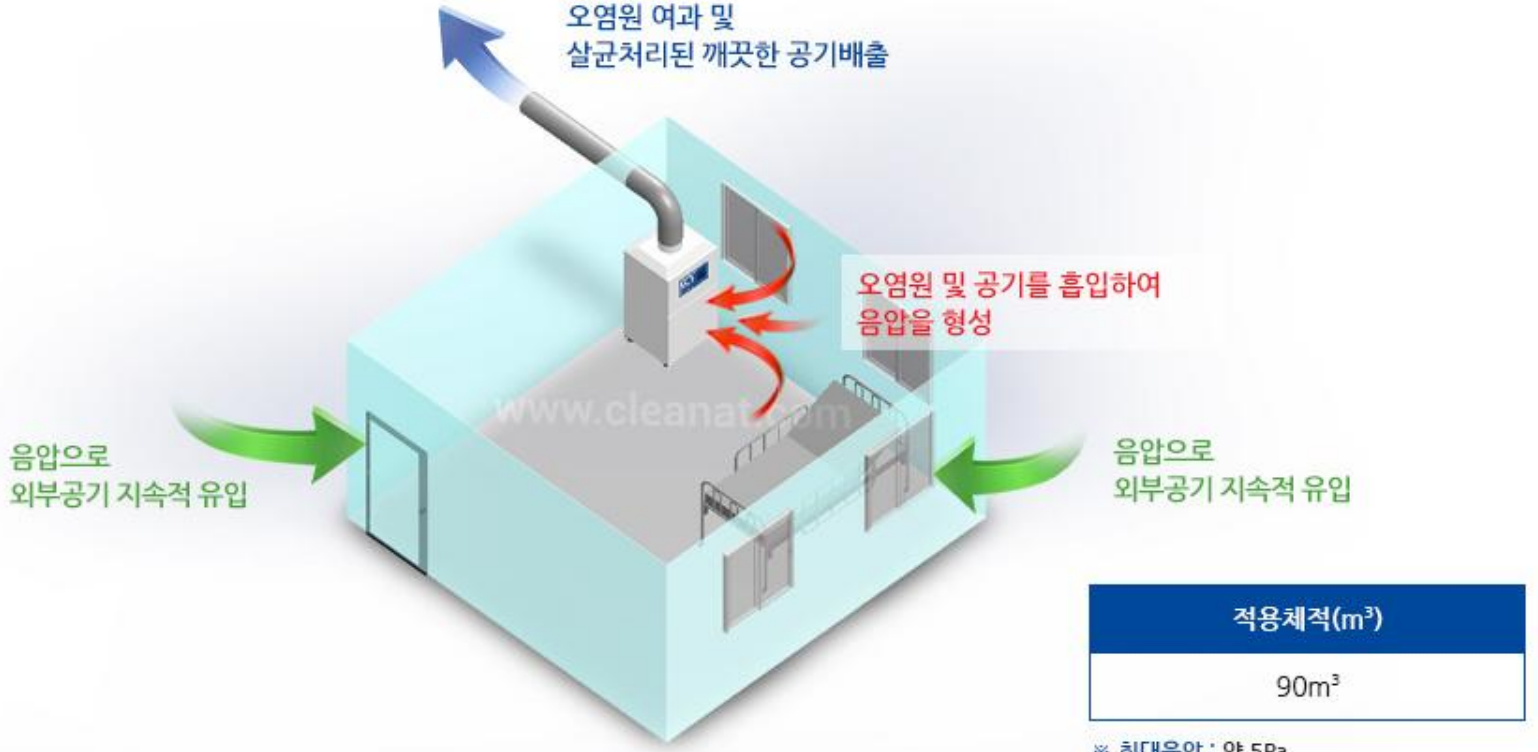
THANK
YOU!

Partial Enclosures (Hoods)



Biosafety cabinet

Isolation Room 1650
ISO Mode: NEUTRAL
Room Status: OCCUPIED
-0.0321
Apr 10, 2012
8:58 pm
TRIATEK
Norcross, Georgia • (770) 242-1922



적용체적(m³)
90m³

※ 최대음압 : 약 5Pa
※ 적용기준 : 시간당 12회 환기

사양

모델명	풍량 (CMM)	정압 (mmAq)	출력 (Kw)	크기			적용체적 (m3)
				가로	세로	높이	
CNDH 100	26	70	0.72	700	700	1370	90

※전체 높이는 바퀴의 높이를 제외한 것입니다.
※적용체적은 시간당 12회 환기를 기준으로 한 것입니다.
※1차-프리 필터(PRE FILTER), 2차-헤파 필터(HEPA FILTER), 3차-광촉매 제올라이트 필터(옵션)

3단계 필터구조

- 3단계 필터구조는 미립자의 제거효율을 높여주고 필터의 수명을 연장시킨다.
- 헤파 필터의 사용수명을 늘리기 위해 ①프리 필터 ②헤파 필터 ③광촉매 제올라이트 필터(옵션) 순으로 여과되도록 설계되었다.

- 1단계 : 폴리에스터 섬유로 만들어진 프리 필터를 이용해 크기가 큰 입자를 먼저 제거한다.
- 2단계 : 앞에 두 필터를 투과한 미립자를 최종적으로 헤파 필터가 제거한다.

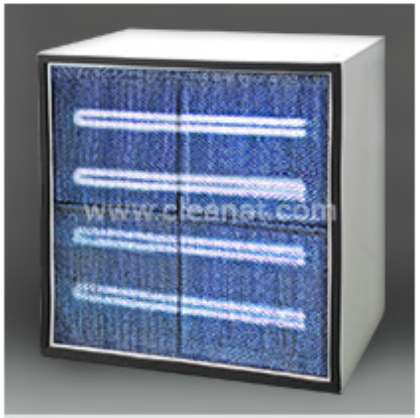
- 3단계 : 공기 중에 바이러스 및 세균을 광촉매 제올라이트 필터(옵션)가 제거한다.

- 헤파 필터(HEPA, High Efficiency Particulate Air)는 유해 미생물 및 방사성 먼지를 제거하기 위해 개발된 고성능 필터로 0.3㎛의 입자를 1회 통과시켰을 때 99.97% 이상 제거할 수 있다.
- 진드기, 바이러스, 곰팡이 등을 제거할 수 있기 때문에 최근에는 에어컨, 공기청정기, 청소기 등에도 널리 사용되고 있다.

- 헤파필터는 한국필터시험원에서 필터성능 시험을 완료하였다.
- 광촉매 제올라이트 필터는 병원, 연구소 등에서 공기 중에 부유하고 있는 세균 및 바이러스를 제거하고 유해가스를 분해하며 악취를 제거하는 기능을 가지고 있다.
- 광촉매 제올라이트 필터는 반영구적으로 사용할 수 있다.(단, 램프수명은 8,000시간이다.)

1단계 : PRE FILTER

2단계 : HEPA 필터


3단계 : 광촉매 제올라이트 필터(옵션)