

실내환경오염의 측정 및 평가

김 현 욱 PhD, CIH
가톨릭대학교 의과대학 예방의학교실

순서

- Part 1. 서론
 - 실내오염이 대두된 배경
 - 관련 용어
 - 실내공기 오염물질 기준
- Part 2. 실내공기 질 조사 및 평가
 - 작업환경과 실내 환경과의 차이점
 - 조사의 목적
 - 조사 방법, 순서
 - 평가
- Part 3. 우리나라 실내공기질 측정 공정시험 방법 및 문제점

Part 1. 서론

- SBS(Sick Building Syndrome)/TBS(Tight Building Syndrome)
 - 비특이적 증상 호소:
 - 눈, 목구멍, 코 자극, 두통, 피로, 피부소양증, 냄새로 인한 짜증 등
 - 불특정하게 빌딩 내 거주자의 20% 이상에서 나타나는 증상
 - 건물 밖으로 나오면 증상 호전, 정확한 원인 불명이 특징
- BRI(Building Related Illness)
 - 건물내 거주자에서 의학적으로 진단된 질병이 실내 공기오염과 연관된

- 것으로 추정되는 경우를 의미
 - 노출지역을 벗어나도 증상이 호전되지 않으므로 치료가 필요
 - 동일한 실내오염물질이 SBS나 BRI를 발생시킬 수 있음
- MCS(Multiple Chemical Sensitivity)
 - 복합화학물질과민증
 - Immune system에 영향
 - 극소량의 화학물질들에 대한 인체 민감성 증가
- Sick House Syndrome, SHS (일본)
 - 실내유독성 화학물질때문에 일시적으로 눈과 목이 따갑거나 기침 등의 증상을 보이는 것
 - 심해지면 비염, 천식, 아토피 등의 알레르기 질환에 걸리고 화학물질과 민증으로 악화되기도 함

관련 용어-우리나라

- 새집 증후군/새 학교 증후군
 - 헌집에서도 발생할 수 있음
 - 2년 이상된 집에서도 실내오염물질 방출됨이 보고됨
 - 미생물, MVOC 등 바이오 에어로졸 관련은 헌집일수록 더 많이 발생
- 새집 증후군이란 용어는 맞지 않을 것

실내공기 오염문제의 대두

- 60-1970년대 초기:
 - 외부 대기오염 문제에 초점
 - OUTDOOR air believed to pose a substantial health risk
 - 건강상 영향은 일부 특정 오염물질에서 기인하는 것으로 인식

- EPA's *priority pollutants* in the National Ambient Air Quality Standards (NAAQS) under the Clean Air Act

1960대 후반:

- 실내 환경에 대한 조사가 시작
실외보다 실내 오염이 더 높게 나타남

70년대 중반 80년대

- U.S. Energy crisis of 1973
 - 신축 빌딩에서 에너지 절약에 대한 노력 증가- 건물 밀폐화가 이루어짐
 - 실내 오염으로 인한 거주자들의 건강상 문제가 증가되기 시작
 - 동시에 독성학자와 역학 연구자들도 외부 대기오염에 비교해 실내에서 장시간 노출되는 실내 오염의 중요성을 인식

Time Budget

(Adapted from Meyer, 1983)

문제 발생 원인

- Inadequate ventilation (52%)
- Indoor or outdoor air contaminants (17% and 11%)
- Microbiologicals (5%) now much larger
- Building fabric/ chemical emissions (3%)
- Cause unknown (13%)

외국의 관련규정

- 국제기구
 - ILO
 - 빌딩(상업용 및 사무용) 위생에 관한 협약(C120, 1962)을 비준
 - WHO
 - WHO air quality guidelines
- 일본
 - 노동안전위생법 사무소 위생기준규칙
- 미국
 - OSHA
 - 실내공기질(Indoor Air Quality)과 관련된 규정을 제안(OSHA, 1994).
 - EPA
 - BAQ guide
 - ASHRAE
 - Comfort standards
 - 80-90% of occupants should be satisfied with conditions in the occupied space.

기준(standards)

- 노동부 - 노출기준
 - 근로자가 유해요인에 노출되는 경우 노출기준이하 수준 에서는 거의 모든 근로자에게 건강상 나쁜 영향을 미치지 아니하는기준
- 환경부
 - 유지기준
 - 다중이용시설등의 실내공기질관리법 제5조
 - 쾌적한 공기질을 유지하기 위하여 반드시 지켜야 함
 - 권고기준
 - 다중이용시설등의 실내공기질관리법 제6조
 - 유지기준과는 별도로 일정 기준에 따르도록 권고

Part 2. 실내공기질 조사 및 평가

실내공기질 조사의 목적

- 거주자의 건강이나 쾌적성 문제 해결
- 건물내 문제되는 상태 교정(냄새, 불쾌감 등)
- IAQ 유지 또는 향상을 위한 사전적 조치
- 신규 건물 입주 전 조사
- 연구용 목적

실내공기질 조사의 어려움

- 증상은 대부분 비특이적으로 불특정하게 나타나므로 다른 오염이나 문제로 인한 것과 중첩
- 건물의 조건이나 상태가 시간과 장소에 따라 변화
- 개인의 감수성에 따라 증상이나 반응이 상이함

거주자 건강관련 불만형태

- 환기관련
 - 증상 발현이 강한 오염물질이 없을 때 부적절한 환기와 관련됨
- 특정 오염물질 관련
 - 자극이나 알레르기성 증상의 발현이 특정 오염물질의 존재와 관련됨
- 과민성 (화학물질/생물학적 인자)
 - 대부분 거주자는 문제없으나 일부에서 발생
- 주관적 실내공기질 문제
 - 증상이 IAQ와 관련이 없을 때, 다른 기여 요인이 문제가 될 때, (온도, 냄새, 눈에 보이는 얼룩/먼지 등)

자료

정확성
정밀성
검출한계
대표성

오차측정오차>>>분석오차

적절한 자료 수집 절차가 필요!

적절한 자료 수집 절차가 필요!

실내오염조사 순서 (EPA)

IAQ Diagnostic Protocol (EPA)

초기 단계 조사 -1

- 비공식적 면담과 일반적 관찰에서 시작
- 거주자의 증상 패턴 평가
 - 과거에도 발생한 적이 있는지
 - 보고되는 불만 사항에 대한 전반적인 특징
 - 거주자들이 설명하는 건물환경 특성
 - 심각한 건강상 문제일 경우 의사에게 진단과 치료 의뢰

초기 단계 조사 - 2

- 건물 상태의 평가
 - HAVC 시스템 조사
 - 온도 적절성, 환기부족, 위생 상태, 공기 통로
 - 필요시 간이 측정 실시
 - 오염물질 발생원 존재 여부 조사
 - 냄새, 습기, 먼지, 얼룩,
 - 주거환경 변화 여부
 - 거주자 수 증가
 - 공간 변경
 - 신규 장비(컴퓨터, 프린터, 복사기, 가습기 등) 도입
 - HVAC 시스템 변경
 - 건물 변경
 - 증개축, 수리 여부

초기 단계에서 문제가 해결되지 않으면 ...

정밀 조사 실시

정밀조사 순서

거주자에서 정보수집

- Individual's demographics(History in building)
- Sensitivity (allergies)
- Concerns regarding building conditions (both IAQ and non-IAQ)
- symptoms pattern analysis
 - symptoms
 - Timing
 - location

거주자 정보 수집 방법

어디를 조사하여야 하나?

- 잠재적으로 비슷한 증상을 가질 수 있는 모든 거주 지역
- 해당 공간에 영향을 줄 것으로 여겨지는 모든 HVAC와 오염물질 발생원
- 비교 대상 지역

언제 조사하여야 하나?

- 대부분 IAQ 조사는 건물 상태에 대한 "snap-shot"으로 충분하지 못함
- 다음의 경우도 조사
 - Seasonal variation
 - Worst-case exposure scenarios

HVAC evaluation

- 전반적인 HVAC 디자인, 운영, 유지관리 이해 필요
- 조사 항목
 - HVAC 관련 문서 검토
 - 거주자 면담에서 간헐적, 계절적 불만사항 체크
 - 건물 관리자와 시스템 운영, 정비, 문제해결 절차 검토
 - 시설관리자에게 HVAC 조절 시스템 작동토록 하고 관찰
 - HVAC 모든 부분에 대한 상태, 기능 점검
 - 공기 유입구, 필터, 공기혼합 플레넘, 팬, 가습기, 덕트 등
 - 전반적 청결 상태와 오염여부 조사
 - 곰팡이, 고인 물, 필터 성능 등
 - 오염물질이 유입될 수 있는 공기 경로 확인
 - Return air system
 - 공기 유입구가 오염물질 근처에 있는지 여부

Common HVAC indicators

- CO2
- Temperature
- Relative humidity

- Air distribution 스모크 튜브로 체크
 - Air supply diffuser/return vent 작동여부
 - 실내에 공기가 잘 분포되는지 여부
 - 재실자가 느끼는 기류 속도의 적절성
 - 재실 지역과 오염원간 공기의 흐름

건물내 오염 발생원

- Occupants
- Building operations & maintenance
- Materials
- Exterior emissions

오염 발생원, 경로에 대한 조사

관련 환경적 요인 조사

- 조명(너무 어둡거나 너무 밝은 곳)
- VDT 사용 Glare 발생 여부
- 작업장 배치 근골격계 문제 발생
- 소음, 진동

시료 포집(필요시)

- 장소
 - 각 HVAC zone
 - 타입별 대표적 HVAC zone (예: 내부 vs 주변)
 - 불만 호소지역과 문제가 없는 지역
 - 주요 발생원 근처 (예: 흡연 지역이나 복사실)
- 시간
 - 건물 구조, 가구, 환기에서 발생하는 오염물질은 환기 시설이 작동하지 않은 아침이나 주초에 측정

- 재실자 발생원(CO2, activity)의 경우는 작업 시간 종료전
- 일년중 농도가 높을 것으로 예상되는 시기
- Worst-case conditions
- 시료 포집 시간
- 분석방법의 감도, 방출 패턴에 따라 조절

IAQ Diagnostic Protocol (EPA)

결론 도출

- 불만 패턴과 HVAC가 부적절했던 시간, 장소, 방출원, 비정상적 상태 존 재등과 비교
- Non-IAQ 인자와 건물관련 증상 대비
- 측정 결과 IAQ 문제가 없다고 하더라도 문제가 없는 것은 아님
 - 검사기간동안 방출되지 않을 수 있음
 - 검출 수준이
 - 관련없는 요인을 측정
 - 기존 가이드 라인이나 농도가 감수성이 민감한 개인에게 부적절할 수 있음
- 추가 조사가 필요한 경우
 - 관련성이 있을 것으로 판단되는 요인에 더 국한
 - 좀더 정량적인 측정방법을 동원

정량적 연구 방법

- HVAC
 - System balance 점검
 - 재실자에게 유입되는 외부 공기량
 - 재순환되는 공기량
 - 필터의 압력손실
- 건물
 - 시간별 온도, 습도, 이산화탄소 농도
 - 자재에서 방출되는 물질 챔버 시험
 - 건물내 압력차 측정 또는 추적가스 사용 이동경로 파악
 - 조명 수준 측정
 - 소음, 진동 수준 평가
 - 퇴적 먼지 분석 알레르겐, 엔도톡신, 금속, 섬유상 물질

- 재실자
 - 인간공학적 평가
 - 의학적 평가

우리나라의 실내공기질 공정 시험 방법

APT 그림

시료채취 조건 및 채취량

- 채취조건
 - ▷ 온도 : 시료채취시 실내온도 20℃ 유지
 - ▷ 기류 : 환기시스템 가동시, 급기나 배기구의 영향을 받지 않는 지점에서 측정
 - ▷ 채취시간 : 오후 1시에서 오후 5시에 측정하는 것을 원칙

※ 단 실내에 24시간 가동되는 환기시스템이 설치되어 있는 경우 환기시스템 가동하고 측정해도무방

휘발성유기화합물(VOC) 시험방법

1. 고체흡착관을 이용한 시료 채취 및 열탈착 장치를 이용한 GC/MS 분석 방법
2. Canister를 이용한 시료 채취 및 GC/MS 분석방법
3. 고체 흡착관을 시료 채취 및 용매 추출법을 이용한 GC/MS 분석방법

VOC 시료 채취 방법

■ 고체흡착관을 이용한 시료채취

- C6에서 C16까지 VOC를 효율적으로 포집할 수 있는 고체흡착관 사용
ex) Tenax TA, Carbotrap 300

- 고체 흡착관은 반드시 안정화(Conditioning) 후 사용
보통 350℃에서 헬륨 50ml/min 으로 2시간 이상 안정화
- 24시간이내 사용하지 않을 경우에는 밀봉 후 냉장보관(4℃ 이하)
- 50~200ml/min 으로 30분간 2회 시료채취
- 시료채취한 흡착관은 마개로 막은 후 알루미늄 호일 등으로 밀봉 후 냉장 보관

■ Canister를 이용한 시료채취

● Canister 조건

- 내벽이 특별히 연마된(electropolish) 표면을 갖는 스테인레스 재질로 되어있거나, 내벽을 유리로 코팅하여 보다 안정성이 확보된 캐니스터 사용

● Canister 세정

- 고순도 질소가스 또는 순수 공기를 용기에 주입하고 배기하는 과정 여러 번 반복
※ 이 과정에서 불순물 유입이 안되도록 주의.
- 용기는 오븐에 넣고 가열하여 세정

● 시료채취

- 진공 배기된 용기는 단순히 밸브 열어 외부 공기 주입하여 채취 하거나, 압력 조절 밸브를 사용하여 일정시간 채취

■ 열탈착 장치를 이용한 GC/MS 분석방법

- 고체흡착관 열탈착
- 저온 응축
- 2단 열탈착한 후 GC/MS 주입

■ Canister를 이용한 GC/MS 분석방법

- 캐니스터로부터 직접 GC/MS 주입

■ 용매추출법을 이용한 GC/MS 분석방법

- CS 용매 사용하여 추출후 GC/MS 주입

■ VOC

- 고체흡착관(Tenax-TA 또는 Carbotrap 300) 열탈착
- GC/MS로 정성 정량

※ 이때 C6 ~ C16 까지의 VOC만 정량함.

※ 단 천연자재에서 발생하는것으로 확인된 무해한 VOC
(피톤치트, 테르펜류 등)는 정량에서 제외

■ HCHO

- DNPH 카트리지 용매 추출(아세트니트릴)
- HPLC로 정량 (Acetonitrile : H2O = 6 : 4)

■ 일반환경 조건

- 온도및 습도

해당시설 실제 운영 조건과 동일하게 유지하고 있는 일반환경 상태에서 측정하는 것을 원칙

- 기류

-채취지점에서의 실내기류를 원칙적으로 0.3m/s 이내

-단, 지하역사 승강장 등 불가피하게 기류가 발생하는 곳에 한해서는 실제조건 하에서 채취

■ 채취지점수

- 대상시설이 복수 층으로 구성되어 있는 경우, 시설의 용도 및 사용 목적을 대표할 수 있는 기준층을 위주로 측정지점수 결정하고, 측정지점 선정
- 대상시설의 동일층 내에서도 시설의 구조 특성과 용도에 따라서 실내공기질이 명확히 다를 것으로 예상되는 경우에는 공간을 구분하여 측정 지점 별도 선정
- 대상시설 측정지점은 2개소 이상

■ 시료 채취 위치 선정

- 주변시설 등에 의한 영향과 부착물 등으로 인한 측정 장애가 없고 대상시설의 오염도를 대표할 수 있는 곳
- 기본적으로 시설을 이용하는 사람이 많은 곳

- 인접지역에 직접적 발생원이 없고, 대상시설의 내벽, 천장, 바닥 표면으로부터 1m 이상 떨어진 곳
- 자연환기구나 기계식 환기시스템의 급배기구에서는 최대한 멀리 이격
- 시료 채취는 바닥면에서 1.2~1.5m에서 수행

■ 시료 채취 시간

- 측정 시간은 각 오염물질별로 정함
- 시료채취는 주간시간대 (오전 8시~오후 7시)에 측정하는 것을 원칙

미세먼지(PM-10) 측정방법

■ 종류

◆ 중량법

- Mini Volume Air Sampler를 이용한 측정방법
- Low Volume Air Sampler를 이용한 측정방법

◆ 연속측정방법

- 베타선 흡수법을 이용한 측정방법

■ Mini Volume & Low Volume Air Sampler 장치구성

◆ 분립장치 : 10 μ m 이상의 입자 제거 장치

- 사이클론식 분립장치
- 다단형 분립장치

◆ 여과지 홀더 : 필터가 파손되지 않고, 흡인공기가 누출되지 않도록 장착(보통 직경 47mm)

◆ 여과지

- 0.3 μ m 입자상 물질에 대해 99% 이상의 초기 포집율을 갖는 것
- 가능한 압력손실이 낮은 것
- 가스상 물질의 흡착이 적고, 흡습성 및 대전성이 낮은 것
- 취급하기 쉬고 충분한 강도를 가질 것
- 분석에 방해되는 물질은 함유하지 않을 것

미세먼지(PM-10) 측정방법

■ 장치구성(계속)

- ◆ 흡인펌프 : 일반적으로 2~7 l /min 정도의 용량을 갖는 펌프 사용
- ◆ 유량계: - 여과지 홀더와 흡인 펌프 사이에 설치
- 20 $^{\circ}$ C, 1기압에서 0~30 l /min 범위를 0.2 l /min 정도 측정 가능

■ 시료 채취 방법

◆ 채취전 여과지 칭량

- 20 $^{\circ}$ C, 50%에서함량이 될 때 까지 보관후 정확히 무게 측정 후 사용

◆ 채취조작

- 분립장치 오염여부 확인
 - 포집기 정상 작동여부 확인
 - 무게를 단 여과지를 여과지 흡더에 공기가 새지 않도록 고정
 - 전원 스위치 켜고 채취 시작
 - 채취 종료 후 흡인 공기량 기록
- ◆ 채취후 여과지 칭량

미세먼지(PM-10) 측정방법

- 베타선 흡수법(β -ray Absorption Method)
 - ◆ 측정원리
 - 베타선을 방출하는 광원으로부터 조사 된 베타선이 필터 위에 채취된 먼지를 통과 할 때 흡수/소멸되는 베타선의 차이로 먼지 농도 측정
 - 먼지농도는 단위 면적당 채취된 먼지의 질량에 의한 베타선의 흡수량으로 결정
 - ◆ 장치구성
 - ◆ 측정방법
 - 1시간씩 8시간 측정

일산화탄소(CO) 측정방법

- 측정원리
 - 비분산 적외선 분석법 (NDIR)
- 성능
 - 측정범위 : 원칙적으로 0~50ppm 이상
 - 재현성 : 제로가스, 스펀가스 번갈아 3회 측정후, 각 측정치의 평균값과 편차 구할 때 그 편차가 최대 눈금치의 ± 2 이내
 - 제로 드래프트 : 제로가스 도입시 변동에 24시간 동안 ± 2 이내
 - 스펀 드래프트 : 스펀가스 도입시 변동에 24시간 동안 ± 2 이내
 - 응답시간 : 2분 30초 이하
- 장치구성 : 시료채취부, 적외선 가스 분석계, 교정용 가스, 지시기록계
- 측정방법
 - 측정준비
 - 교정 (제로가스, 스펀가스 사용)
 - 교정 후 측정
 - ※ 제로가스는 고순도 질소가스 (99.9%이상, CO 함유량 0.2ppm이하 사용)
 - ※ 스펀가스는 질소와 일산화탄소 혼합가스로 최대 눈금치의 80% 농도 사용

이산화탄소(CO2) 측정방법

- 측정원리
 - 비분산 적외선 분석법(NDIR)
- 장치구성
 - 시료채취부
 - 적외선 가스분석계
 - 지시기록계
 - 교정용 가스
- 측정방법
 - 측정장소 선정
 - 실내공간을 대표 할 수 있는 장소
 - 습도 높은 곳 피하고, 배기시설, 환기시설 주변 피함
 - 측정준비
 - 교정
 - Zero gas와 Span gas 사용하여 교정
 - 교정 횟수는 원칙적으로 측정전 1일 1회
 - Zero gas는 99.9% 순도의 질소가스로 CO 2함유량 1ppm이하
 - Span gas 는 질소와 이산화탄소 혼합가스로 측정기 측정범위의 60%이상의 것 사용
 - 교정 후 측정실시
- 자외선 광도법 (주시험방법)
 - ◆ 측정원리 : 파장 254nm 부근에서 자외선 흡수량 변화를 측정하여 실내 공기중의 오존 농도 연속적으로 측정
 - ◆ 장치구성
 - 시료채취부 : 시료채취부, 필터, 유량계
 - 시료 공기 흡인 펌프
 - 검출부 : 측정셀, 광원램프(수은램프), 검출기
 - 증폭기
 - 지시기록계
- 화학발광법
 - ◆ 측정원리 : 시료공기중에 오존과 에틸렌(ethylene)가스가 반응 할 때 생기는 발광도가 오존농도에 비례 하는것을 이용하여 측정
 - ◆ 장치구성 : 시료채취부, 흡인펌프, 검출부, 유량제어부, 배출기부

이산화질소(NO2) 측정 방법

- 화학발광법 (주시험방법)
 - ◆ 측정원리
 - 시료 공기중의 일산화질소와 오존과의 반응에 의해 NO2가 생성될 때 생기는 화학발광광도가 일산화질소 농도와 비례하는 것 이용
 - 질소산화물 (NO+NO2)을 측정할 경우 시료 공기중의 이산화질소를 컨버터를 통하여 일산화질소로 변환시킨후 일산화질소 측정과 같은 방법으로 측정하여 질소산화물에서 일산화질소를 뺀 값이 이산화질소 농도임

- ◆ 장치구성 : 시료채취부, 화학발광분석계, 컨버터, 감압부, 지시기록계
- **살츠만법**
 - ◆ 측정원리
 - 흡수발색액(살츠만시약)인 n-(1-naphthyl) ethylene diamine 2염산염, Sulfanilic acid 및 초산의 혼합액에 일정유량의 시료공기를 일정기간 통과시켜서 이산화질소를 흡수시켜 흡수 발색액의 흡광광도를 측정하여 이산화질소 농도 측정
 - ◆ 장치구성 : 여과기, 유량계, 이산화질소용 흡수발색병, 산화병, 펌프, 흡광도 측정기, 지시기록계 등

라돈(Rn) 측정방법

- **측정 방법 종류**
 - 연속모니터측정법 (Continuous Radon Monitors) : 주시형방법
 - 활성탄흡착법 (Activated Charcoal Adsorption Devices)
 - 알파비적검출법(Alpha Track Detector) : 장기측정
- **시료 채취 방법**
 - 단계적으로 1차, 2차 측정
 - 1차 측정은 현재 라돈 농도가 높은지, 낮은지에 대한 신속한 판단을 목표로 대상시설에서 8시간 측정
 - 1차 측정 결과 4(pCi/l)이상인 경우 2차 장기측정(90일~1년)
 - 1차 측정은 가능한 한 겨울에 측정
- **채취 지점**
 - 기류, 환기장치 등에 영향 받지 않는 곳
 - 직사광선 피하고, 습도 낮은 곳
 - 창으로 부터 10cm이내, 바닥에서 1.2~1.5m, 실내 다른 모든 대상으로부터 10cm 이상 이격

석면 측정 방법

- **측정 방법 종류**
 - 위상차현미경법 (PCM : Phase Contrast Microscopy) : 주시형방법
 - 주사전자현미경법 (SEM : Scanning Electron Microscopy)
 - 투과전자현미경법 (Transmission Electron Microscopy)
- **위상차현미경법**
 - ◆ 측정원리

- 멤브레인필터에 포집한 부유먼지 등 석면 섬유를 위상차현미경을 사용하여 계수하는 방법
- 석면 농도 표시는 표준상태 (0℃, 1기압)의 기체 1㎥ 중에 함유된 석면 개수(개/㎥)
- 시료채취장치
 - 멤브레인필터 : 셀룰로즈에스테르제(또는 셀룰로즈나이트레이트제), pore size 0.8~1.2 μ m
 - 개방형 필터 흡더 : 40 mm 의 집풍기를 흡더에 장착
 - 흡인펌프
- 현미경 표면 제작: 아세톤 트리아세틴 방법으로 투명화
- 석면과 비석면 구별이 불가능, 0.2 μ m 이하 석면 관찰 불가능

총 부유세균 측정 방법

- 부유세균 측정법
- 시료채취 : 50~100 l /min 유속으로 시료를 채취
- 배양 : 30~35℃에서 48시간 배양
- 판정 : 배양 후 배지의 세균 집락수 판정한 후 채취한 실내공기량으로 나누어 단위 체적당 집락수 산출(CFU/ m^3)

공정시험법이 가져야 할 특성 대표성 시료 수의 문제

- 신축주택 경우:
 - 100 ~ 500세대: 3개소, 500 ~ 1000세대: 6개소, 1000세대 이상: 9개소
- 다중이용시설의 경우
 - 대부분 2개소
- EPA IAQ Reference Manual, 1991
 - 95% 신뢰 수준에서 (참값 \pm d)를 얻기 위한 시료수

$$n = \frac{t^2 s^2}{d^2}$$
 - t = the number of SD that account for the desired confidence limit
 - s = standard deviation
 - d = the margin of error

시료 수 계산: 예

- 정규 분포하는 어떤 오염물질의 평균 값을 95% 신뢰도로 참 값의 10%

이내로 추정하려면 시료 수는 몇 개가 필요한가?

- 이전 연구에서 표준 편차는 0.20이다.
- 시료 수
 $n=(2.14)^2(0.20)^2/(0.10)^2 = 18$
- 참 값의 20%로 에러 허용율을 올리면
- $n=(2.14)^2(0.20)^2/(0.20)^2 = 5$

시험 결과의 통계적 검증 필요

- 환경 농도 분포는 대부분 대수정규 분포
- 분포의 upper tolerance limit 결정
- UTL= 분포 퍼센타일에 대한 upper confidence limit

대표성- 측정시간

- 다중이용시설의 경우 비교적 짧은 시간 측정
 - 주간 1시간 CO, CO2, O3, NOx
 - 부유세균 1일 1회
 - 8시간 분진, 라돈
- 법규 순응여부를 판정하려면 Worst-case일 때 측정해야 할 것
 - 예 이산화탄소의 경우 하루 시간중 작업종료 시간에 가까이 가면서 농도 증가

시험방법 선정

- 석면 공정시험법 위상차 현미경법

- NIOSH 7400 방법 응용?
- 실내오염 문제에 적용하기 곤란
 - 석면, 비석면 혼재시 감별 불가
 - 0.2um이하 굵기는 판별 불능
 - LOD = 5.5 f/100 fields - 환경시료는 이 농도이하
 - 석면계수 방법: "A" or "B" rule?
 - 포집 필터: 40mm => NIOSH 25mm with cowl
 - Flow rate?
 - 소음 문제
- ❖ 포집은 개인용 펌프, 분석은 NIOSH 7402-TEM 적합

기기의 선정

- 대부분 대기오염 측정 장비에서 사용하던 것을 활용
 - 분진 (PM10, 베타선 흡수), 부유세균
 - 오존 측정
- 문제점
 - 무게, 크기, 조작성
 - 소음
 - 가격
- 실내의 특성에 맞는 장비를 고려해야 함
 - 저소음, 경량, 저렴, 간편한 조작
 - 작업환경 개인시료 포집기기 활용 고려

Where do we have to go from here?

Indoor Environmental Quality

감사합니다.