

산업위생학

환경보건학과

2학년 전공

담당 교수님 : 박동욱(Park Donguk, 朴東旭)

Chap. 1 산업위생의 정의 및 활동범위

1.1. 산업위생의 정의

1. 산업위생의 정의

산업위생(Industrial Hygiene) : 근로자나 일반대중에게 질병, 건강장해와 안녕방해, 심각한 불쾌감 및 능률저하 등을 초래하는 작업환경 요인과 스트레스를 예측, 또는 인식(또는 측정), 평가, 관리(또는 대책)하는 과학(science)인 동시에 기술(art)

① 대상

- 사업장에서 일하는 사람 뿐만 아니라 노동활동을 하는 모든 사람 및 유해인자에 노출되는 일반대중

② 예방해야 하는 건강상의 영향

(1) 비가역적인 영향

- 다시 회복할 수 없는 건강상태, 인체의 조직이나 기관에 기능상 장해
- 진폐증, 소음성 난청, 암 등

(2) 가역적인 영향

- 인체의 방어기전에 의해 다시 회복할 수 있는 상태
- 불쾌감, 작업에 영향을 주는 바람직하지 않은 상태, 작업능률 저하 등

3] 활동

예측 - 인식 - 평가 - 관리

(1) 예측(anticipation)

- 새로운 공정, 새로운 제품의 개발, 새로운 기계나 물품의 도입, 새로운 화학물질의 사용 등이 근로자의 건강에 어떠한 영향을 미칠 수 있는지 예측하여 해결책 마련

(2) 인식(recognition)

- 상황이 존재(설치)하는 상태에서 유해 인자에 대한 문제점을 찾아내는 것
- 건강에 장해를 줄 수 있는 물리적·화학적·생물학적·인간공학적 유해인자 목록을 작성하고, 작업내용을 검토하고, 설치된 각종 대책과 관련된 조치들을 조사하는 활동
- 사업장의 특성, 근로자의 작업특성, 유해인자의 특성에 근거
- 위험성평가(risk assessment) 필요 : 유해인자를 위험성(hazard), 노출요인(양, 빈도, 작업특성 등), 노출근로자 수 등을 고려 위험(risk)에 따라 유해인자들을 구분

(3) 평가(evaluation)

- 과학적인 방법으로 유해인자에 대한 양(amount), 정도(degree), 중요성(significance), 상태(condition)를 결정
 - 예비조사의 목적과 범위 결정
 - 현장조사로 정량적인 유해인자의 양 측정
 - 시료의 채취와 분석
 - 노출정도를 노출기준과 통계적인 근거로 비교하여 판정

(4) 관리(control)

- 바람직한 작업환경을 만드는 최종적인 활동, 대책
- 공학적인 관리, 작업방법, 행정적인 관리, 보호구 착용 등

2. 예측, 인식, 평가, 관리 : 근로자 노출평가

- ▶ 관리(측정)를 해야 하는 공정에 근무하는 근로자의 노출정도를 평가하고 관리
 - 유해인자에 대한 예측과 인식
 - 여러 유해인자 중 우선적으로 평가해야 할 유해인자의 결정
 - 우선순위로 선정된 유해인자에 대한 노출량 측정과 평가
 - 평가결과에 따른 대책 수립

1.2 유해인자의 분류

- 공정, 작업내용, 환경 등에 따라 유해인자의 종류와 양이 다름

1. 물리적 유해인자

- 소음, 진동, 전리방사선(α 선, β 선, γ 선, X선 등), 비전리방사선(자외선, 가시광선, 적외선 등), 온열, 이상기압 등
- 사람의 몸에 에너지로 흡수되어 건강상의 장애 초래, 노출을 쉽게 인식하지 못함.

2. 화학적 유해인자

- 먼지(분진), 금속, 유기용제 등
- 물질(고체, 액체, 기체) 형태로 호흡기, 소화기, 피부를 통해 사람의 몸에 흡수
- 가장 흔함(미국의 사업장에서 6만 8천여가지 화학물질 사용)
- 화학적 특성 : 무기화학물질(금속 등), 무기가스, 유기화학물질
- 용도 : 유기용제, 단량체(monomers), 농약 등

3. 생물학적 유해인자

- 박테리아, 곰팡이, 리케차, 바이러스, 독소, 집진드기, 애완동물의 피부, 털, 꽃가루 등
- 농업, 도축장, 가축이나 애완동물을 기르는 곳, 고기포장, 위생업종사자, 병원 등
- 사업장의 기계가공 공정, 방직업, 폐수처리장 등에서 곰팡이, 박테리아 등 많이 발생

4. 인간공학적 유해인자

- 부적절한 근로자세나 작업요인, 반복작업으로 인한 근골격계질환 등

1.3 유해인자 인식 : 실습과 토론

(1) 작업내용

- 용접 : 두 개 이상의 금속을 결합시키거나 절단, 높은 열을 이용하여 두 접합 부분의 금속을 용융
 - 용접대상이 되는 재료(모재)
 - 열원 : 가스열, 전기에너지, 화학반응열, 기계에너지, 전파에너지, 아세틸렌, 프로판, 수소 등
 - 용가제 : 용합에 필요한 용접봉 등
 - 용접기와 용접기구 등

(2) 발생하는 유해인자

- 물리적 유해인자 : 소음, 화상, 유해광선(적외선, 가시광선, 자외선 등)
- 화학적 유해인자 : 용접흄 내의 각종 금속, 가스(일산화탄소, 이산화탄소, 오존, 질소산화물, 포스핀 등) 등
- 생물학적 유해인자 : 위험성이 큰 인자 없음
- 인간공학적 유해인자 : 부적합한 작업자세, 힘, 작업요인 등

(3) 건강상의 장해

- 용접공의 폐 : 용접흄에 장기 노출되어 폐가 석회화
- 폐암 : 용접흄 내의 크롬 등 중금속의 장기 노출로 인하여 폐암 발생
- 백내장, 광각결막염 : 유해광선

1.4 산업위생과 산업보건의 관계

- 산업보건 - 학문활동을 하는 영역
- 산업위생 - 법학이나 의학과 같이 학문이고 전문직업
 - 독성학, 역학, 산업위생, 산업의학 등간의 종합적인 상호작용으로 이루어짐.
- 근로자의 건강을 보호하기 위해
 - 산업위생, 산업의학, 산업독성, 공학, 산업역학 등의 학문이 연계하고 협력
 - 사업장에서 유해인자를 관리하고 평가

Chap. 2 산업위생의 역사

2.1 선진외국의 산업위생 역사

1. 산업혁명 이전

① 중세이전

- 히포크라테스(B.C. 4C, 그리스) - 광부와 야금가의 납중독 보고
- 갈레노스(130~200, 그리스), 셀수스(1C) - 구리광산에서의 위험 및 납중독 기술
- 플리니(1C, 로마) - 광부들의 수은증기, 먼지에 대한 노출 방지, 동물의 방광으로 된 마스크 사용 권고

② 16세기

- 아그리콜라(1494~1555, 독일) - 『광물에 대하여』, 광부들의 사고와 질병, 예방방법, 비소독성 등을 포함 광산업에 대한 상세한 내용을 기술, 마스크 착용권장, 규폐증
- 파라셀수스(1493~1541) - 광산과 제련근로자의 질병에 대한 논문, 금속독성 및 수은 중독에 대한 경고, ‘독성학의 아버지’

③ 17세기 ~ 산업혁명 이전

- 라마찌니(1633~1714, 이탈리아) - 1700년 『직업인의 질병』 발간
 - 광부의 시료 검사를 통해 ‘규폐증’을 병리학적 용어로 기술
 - 직업병 원인을 사업장 유해화학물질과 근로자들의 불완전한 근로자세 및 과격한 동작으로 두가지로 구분
 - 54개의 직업에 대한 유해성과 질병 및 예방방법 설명
 - ‘산업의학의 아버지’로 불림

2. 산업혁명

- 산업혁명으로 인한 위험하고 불량한 작업환경 초래 ⇒ 개선하고자 하는 노력 시작
- 베이커경(영국) - 사이다 공장에서 납에 의한 복통 발표
- 포트(1713~1788, 영국) - 1775년 어린이 굴뚝청소부의 음낭암 원인물질 규명
 - 검댕(soot) , 검댕중의 다핵방향족 탄화수소(PAHs)가 원인
 - 1788년 굴뚝청소부법 통과
- 필(영국) - 면방직공장에서 발진티푸스 조사
 - 1802년 ‘도제건강 및 도덕법’ 제정
- 공장법 제정 및 개정 (1819년, 1825년, 1833년)
 - 감독관을 임명하여 공장 감독
 - 18세 미만 야간작업 금지
 - 근로자에게 교육 의무화
 - 작업연령 제한(13세 이상)
 - 주간 작업시간 제한(48시간)
- 테크라(1795~?, 영국) - 라마찌니 보다 산업위생을 한단계 더 발전시킴
 - 직업에 따라 야기된 질병의 예방에 노력, 어린이 노동, 재봉사의 결핵, 광부와 금속연삭 근로자들의 폐질환, 납중독 등에 대한 문제점 기술
- 1895년 영국 공장법 강화 - 납, 인, 비소, 탄저병 의심환자 의무 보고
 - 사업주가 유해물질에 대한 위험성을 인식하여 문제점 개선
- 공장법 강화후 주요 업적
 - 도자기 공장의 호흡기질환 조사 및 규명
 - 모자 공장의 수은중독 조사
 - 성냥공장 황린노출에 의한 턱뼈의 괴사 규명, 황린 사용 금지, 최초로 법적 금지됨
 - 급성직업병, 폐의 섬유화 및 석면폐 등과 같은 만성병 발견

3. 20세기

① 1910~1940년

- 해밀턴(미국의사) : 1910~1915 - 유해물질 노출과 질병의 관계 규명
⇒ 미국 최초의 ‘산업위생학자·산업의학자’로서 인정받음
- 1908년 미국 - 재해보상법 제정(유해인자 관리 대신 직업병, 재해 근로자에게 보상)
⇒ 재해보상법 시행으로 작업환경 개선으로 인한 예방의 중요성 인식
- 1910~1940 미국 - 산업위생국(산업위생에 대한 활동)
- 1935년 사회안전법령 - 산업위생 프로그램의 확대를 위한 기금
⇒ 미국 각주에서 사업장의 각종 질병에 대한 조사, 예방, 관리를 위한 전문가 고용
- 산업위생 전무가 조직 결성(1939년 미국)
 - 미국정부산업위생전문가협회(ACGIH)
 - 미국산업위생학회(AIHA)

② 1940년부터 현재까지

- 2차 세계대전 : 미국, 영국 등 산업위생 발전의 계기
⇒ 근로자가 건강하게 일할 때 생산성 증가
⇒ 1950, 미국 산업위생전문가 425명
- 1966년 영국 - 산업위생국 설치
- 1970년 미국 - 산업안전보건법 시행, 1970, 80년대 산업위생 분야의 급격한 성장
⇒ 1969년 광산근로자 사망으로 ‘광산안전보건법’의 시행을 계기로 법령 통과
- 산업안전보건청(OSHA), 국립산업안전보건연구원(NIOSH) 발족

2.2 우리나라의 산업위생역사

1. 1970년대 이전

- 1954년 - 대한석탄공사 최영태 박사, 산업위생활동 시작 - 규폐증 보고
- 1953년 - 근로기준법 제정, 안전과 위생에 관한 10개 조항 규정
- 1961년 - 근로기준법 산업안전보건관리 규칙 공포
 - 전국 사업장 작업환경측정, 건강진단 실시 - 규폐증 유소견자 보고
- 1962년 - 광산보안법, 산업재해보상법 제정
- 1963년 - 보건사회부 ‘노동국’에서 ‘노동청’으로 승격

- 1964년 - 대한산업보건협회 설립(작업환경측정, 건강진단, 직업병예방, 교육사업)
- 1977년 - 국립노동과학연구소 설립, 부속병원 개설

2. 1980년대

① 노동부 설립과 산업안전보건법 공포

- 1981년 - 노동청이 노동부로 승격, ‘산업안전보건법’ 공포
- 산업안전보건법 - 안전보건관리 책임자 고용, 작업환경측정 의무화, 특수건강진단과 임시건강진단의 도입, 안전보건교육 확충 등
- 1982년 - 산업안전보건법 시행령 및 시행규칙 제정
- 1986년 - 유해물질의 허용농도 제정
- 1987년 - 한국산업안전공단 및 교육원 설립

② 문송면 군 수은중독 사망 - 직업병 문제에 관심을 갖게 되는 계기

- 1988년 7월 15세의 문송면군 : 온도계·형광등 제조회사에 입사한지 3개월만에 사망

③ 이황화탄소 중독(섬유공장 원진레이온 - 가장 큰 직업병 사건)

- 1981년 원진레이온 공장에서 최초의 이황화탄소에 의한 직업병 발생
- 1990년 이후 중독환자가 집단적으로 발생하여 1998년까지 중독 792명, 사망 38명
- 1999년 원진녹색병원 설립(CS₂ 환자의 진료와 연구)

④ 한국산업안전공단 설립

- 1987년 한국산업안전공단 : 사업장의 안전과 보건업무에 기술적 자문 및 지원
- 1992년 산업보건연구원 : 직업병예방을 위한 연구활동 및 정도관리 담당
- 현 산업안전보건연구원

3. 1990년대부터 현재까지

① 산업재해 추방운동의 시작

- 80년대 후반부터 시작된 노동조합, 시민단체들의 산업재해 추방운동이 90년대 결실을 맺기 시작
- 대기업 노동조합 중심으로 조합내 산업안전부(산업안전보건부) 조직
- 노동과 건강연구회 등 시민단체들이 본격적인 산업재해 추방운동 시작

- 산업안전보건법 개정 : ‘알 권리(물질안전보건자료 비치 등)’, ‘참여할 권리(산업안전보건위원, 작업환경측정 참여 등)’

② 한국산업위생학회 설립(1990년)

- 산업위생활동에 대한 필요성 및 인력 증대

③ 모 전자부품 근로자의 생식독성

- 1995년 전자제품 스위치 조립과정 솔벤트 5200 유기용제 중 2-브로모프로판 과다노출
- 생식독성(난소기능 저하로 인한 생리중단, 정자수 감소), 악성빈혈 등 직업병 판정

④ 외국인 근로자 노말렉산 노출에 의한 다발성 말초신경염

- 환기장치가 설치되지 않은 밀폐공간에서 보호구 없이 하루 8시간 이상 작업
- 검사 및 세정작업에 사용되는 노말렉산에 과다노출되어 하반신 마비

⑤ 직업병 발생의 변화

- 1994년까지 직업병 유소견자 현황에 진폐증의 비율이 66~80%로 가장 높았으며, 소음성 난청을 합하면 90% 이상을 차지함.
- 1996년부터 진폐증과 소음성난청은 30% 이내로 감소, 화학물질(유기용제, 금속 등) 중독 증가
- 단순반복작업에 의한 누적외상성질환과 과로사(신체부담작업), 뇌·심혈관계질환, 요통 등의 비율 증가

Chap. 3 물리적 유해인자(소음·방사선·고열·진동)

3.1 소음

1. 음의 물리적인 특성

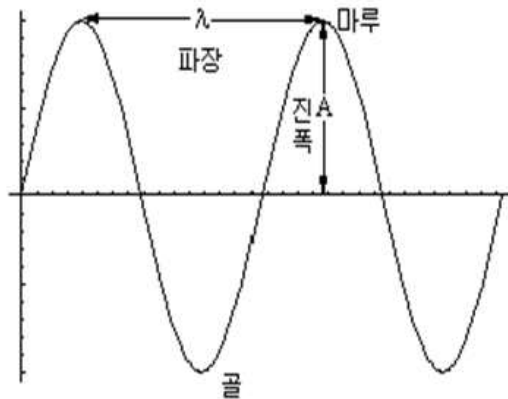
① 음이란 무엇인가?

- 음의 물리적 특성 : 음이란 대기압보다 높거나 낮은 압력의 파동이며 매질(기체, 액체, 금속 등)을 타고 전달되는 진동에너지

② 음압과 대기압

- 음파에 의해 매질의 입자가 눌리게 되면 순차적으로 주변의 대기압이 증감함.
- 정압이 P인 매질에 음파가 작용하면 그 압력에 변화량 dP가 발생하는데 이를 진폭 또는 음압이라 함
- 음압은 대기압과의 압력 차이이며 ‘단위면적당 힘의 크기’로 표현됨.

③ 주파수, 파장, 음의 속도



- 주파수(frequency, f)
 - 1초동안에 음파로 발생되는 고압력 부분과 저압력 부분을 포함한 압력변화의 완전한 주기의 수.
 - 단위 : cps(cycle per second), Hz ex) 4,000Hz : 초당 4,000회의 주기(cycle)
- 파장(wavelength, λ , meters) : 주파수의 1주기의 거리
- 음속(velocity, c, m/sec) : $c = \lambda f$, 주파수와 파장의 관계 반비례

2. 음의 단위

① 소음의 수준과 데시벨(dB)

- 음의 단위 : 데시벨(decibel, dB)
- 음세기, 음압, 음력 등의 물리적인 크기를 그 기준값(들을 수 있는 최소한의 음세기, 음압, 음력)의 비로 변환한 것

$$L_s = K \log(R/R_0)$$

② 음세기와 세기레벨

- 음세기(Sound Intensity, SI) : 음파가 그 진행방향에 수직인 단위면적($1m^2$)을 단위 시간에 통과한 음에너지의 평균
- 음세기레벨(Sound Intensity level, SIL) : 음세기와 기준음세기의 비

③ 음압레벨

- 음압과 음세기와와의 관계에서 음압레벨(Sound Pressure Level, SPL) 구할 수 있음
- 음압이 10배 증가할 때 마다 음압레벨은 20배씩 증가 ; $SPL = 20\log(P/P_r)$

④ 음력과 음력레벨

- 음력(음향파워) : 임의의 음원에서 1초간 방출된 총 음에너지
- 음력레벨(Sound Power Level, PWL) : 음력과 기준음력의 비

⑤ 음세기레벨, 음압레벨, 음력레벨의 관계

- 음세기레벨(SIL) = 음압레벨(SPL)
- 음력레벨(PWL) = SIL(=SPL) + $10\log S$

3. 소음성난청의 발생기전

① 소리의 인식기전

- ▶ 귀 : 외이, 중이, 내이로 구성 [그림 3-2]
 - 외이 : 음압(기체의 진동)은 외이의 외이도를 거쳐서 고막에 전달되어 고막을 진동시킴
 - 중이 : 고막의 진동은 중이에 있는 세 개의 청소골(또는 이소골)에 의해 고체의 진동으로 변환
 - 내이 : 달팽이관, 등자뼈에 연결된 난원창과 기저막, 정원창 등으로 구성, 림프액이 차 있음, 고체의 진동이 액체(림프액)의 진동으로 바뀜, 림프액의 진동은 달팽이관의 막에 부딪혀서 그 속의 코르티기관의 청세포를 자극, 연결된 신경과 뇌에 전달되어 소리 인식
- ▶ 음을 감각하기까지의 전달매질 : 기체 → 고체 → 액체
- ▶ 음의 고막진동 → 중이에 있는 청소골의 진동 → 내이에서 림프액의 진동과 코르티기관의 청세포를 자극 → 음의 전달

② 소음성 난청

- 높은 소음에 노출되면 일시적 청력변화 경험 → 소음노출이 중지시 회복
- 높은 소음에 반복노출되면 영구적 청력변화(코르티기관의 청세포 손상으로 회복불가능) ⇒ 소음성난청
- 주로 1,000Hz 이상의 고주파, 특히 4,000Hz에서 현저한 청력손실 발생, 귀가 4,000Hz에서 가장 민감하기(잘 들을 수 있기) 때문.

③ 음의 크기레벨과 등청감곡선[그림 3-3]

- 음의 크기(loudness) : 사람이 느끼는 주관적인 음의 크고 작음, 음세기와는 다르며, 같은 음압레벨이라도 음의 주파수가 다르면 같은 크기로 느껴지지 않음.
⇒ 주파수에 따라 감각되는 음압레벨이 차이가 남.
- 음의 크기 레벨(loudness level, phon) : 음의 크기를 들어 1kHz의 순음 크기와 같다고 판단되는 음압레벨로 표시
- 등청감곡선 : 1kHz의 순음과 같은 크기레벨로 느끼는 각 주파수별 음압레벨을 연결한 선
- 저주파 영역에서 귀의 감도가 둔하고, 고주파 영역인 1,000Hz부터는 귀의 감도가 예민, 고주파로 구성되는 소음(특히 4,000Hz)에 노출되면 소음성 난청이 많이 걸리는 이유

4. 소음측정과 노출기준

① 소음레벨

- ▶ 음의 크기를 정확히 측정하여야 소음이 사람에게 미치는 영향을 추정할 수 있음
- ▶ 소음측정방법
 - 지시 소음계 : 지역에서 소음수준을 측정하는 방법
 - 소음 노출량계 : 근로자의 소음 노출량을 측정하는 방법
- ▶ 소음계 : 등청감곡선에서 나타낸 음의 크기에 근접하기 위한 목적으로 청감보정회로를 둠
- ▶ 청감보정회로
 - A,B,C 특성으로 구분, 각각 40, 70, 100phon의 음의 크기에 상응하도록 보정
 - A 특성에 의한 측정값이 사람의 감각과 가장 잘 대응한다고 인식
 - 소음에 대한 노출기준도 A특성을 기준으로 함
 - A 특성 : 청감이 둔하여 듣지 못하는 음압레벨만큼 전기적으로 빼줌
⇒ 소음계 단위 : dB(A) - A 특성으로 보정함

<표 3-1> 주파수별 A특성 청감보정음압

중심주파수(Hz)	31.5	63	125	250	500	1k	2k	3k	8k
보정량(dB)	-39.4	-26.2	-16.1	-8.6	-3.2	0	+1.2	+1.0	+1.1

② 소음레벨과 소음노출량의 관계

- ▶ 소음 노출량계 : 소음에 대한 개인의 노출량을 측정
 - 근로자 개인에 대한 소음노출량은 노출기준에 대한 백분율로 나타냄
 - 우리나라 노출기준 : 90dB(A) 에 8시간 노출시 100%

③ 소음의 노출기준

(1) 우리나라 노동부의 기준

- 5dB 변화율 : 소음수준이 5dB 증가하면 허용노출시간은 50% 감소

<표 3-2> 소음의 노출기준(충격소음 제외)

노출시간(시간/일)	소음강도[dB(A)]
8	90
4	95
2	100
1	105
1/2	110
1/4	115

주 : * 115dB(A)을 초과하는 소음수준에 노출되어서는 안됨.

<표 3-3> 충격소음의 노출기준

1일 노출횟수(회)	충격소음의 강도[dB(A)]
100	140
1,000	130
10,000	120

- 주 : 1) 최대 음압수준이 140dB(A)을 초과하는 충격소음에 노출되어서는 안됨
 2) 충격소음이라 함은 최대음압수준에 120dB(A) 이상인 소음이 1초 이상의 간격으로 발생하는 것을 말함.

(2) OSHA(미국 산업안전보건청)의 기준 - <표 3-4>

- 5dB 변화율, 연속소음에 대한 노출기준은 우리나라 노동부 기준과 동일
- 90dB 이상 수준의 소음만 노출량의 계산에 사용

(3) ACGIH(미국정부산업위생전문가협회)의 기준 - <표 3-5>

- 3dB 변화율, 충격소음은 우리나라 노동부 기준과 동일

5. 음의 합, 차, 평균

- 두 개 이상의 소음도일 경우 합, 차, 평균을 구할 수 있음

• 음압레벨(SPL) : $SPL = 10 \log(P/P_r)^2$

$$SPL/10 = \log(P/P_r)^2$$

$$(P/P_r)^2 = 10^{(SPL/10)}$$

① 음의 합

$$\begin{aligned} SPL_a(\text{dB}) &= SPL_1 + SPL_2 + SPL_3 \\ &= 10 \log(P_1/P_r)^2 + 10 \log(P_2/P_r)^2 + 10 \log(P_3/P_r)^2 \\ &= 10 \log[(P_1/P_r)^2 + (P_2/P_r)^2 + (P_3/P_r)^2] \\ &= 10 \log[10^{(SPL_1/10)} + 10^{(SPL_2/10)} + 10^{(SPL_3/10)}] \end{aligned}$$

② 음의 차

$$\begin{aligned} SPL_b(\text{dB}) &= SPL_1 - SPL_2 - SPL_3 \\ &= 10 \log(P_1/P_r)^2 - 10 \log(P_2/P_r)^2 - 10 \log(P_3/P_r)^2 \\ &= 10 \log[(P_1/P_r)^2 - (P_2/P_r)^2 - (P_3/P_r)^2] \\ &= 10 \log[10^{(SPL_1/10)} - 10^{(SPL_2/10)} - 10^{(SPL_3/10)}] \end{aligned}$$

③ 음의 평균 - 한 소음원으로부터 거리가 일정한 각 위치에서 측정했을 경우 평균

$$\begin{aligned} SPL_{\text{avg}}(\text{dB}) &= \frac{SPL_1 + SPL_2 + \dots + SPL_n}{n} \\ &= 10 \log \frac{10^{(SPL_1/10)} + 10^{(SPL_2/10)} + \dots + 10^{(SPL_n/10)}}{n} \\ &= 10 \log [10^{(SPL_1/10)} + 10^{(SPL_2/10)} + \dots + 10^{(SPL_n/10)}] - 10 \log n \\ &= SPL_a - 10 \log n \end{aligned}$$

6. 노출평가방법

① 소음계로 측정된 음압수준에 의한 평가

- ① 음압수준(L)이 전체 작업교대시간 동안 일정하다면, 소음노출량(D)는

$$D(\%) = C/T \times 100$$

여기서, C : 하루 작업시간(시간), T : 측정된 음압수준(L)에 상응하는 허용노출시간(시간)

- ② 전체작업시간 동안 서로 다른 소음수준에 노출될 때,

$$D = \left(\frac{C_1}{T_1} + \frac{C_2}{T_2} + \dots + \frac{C_n}{T_n} \right) \times 100$$

여기서, C_n 은 특정소음에 노출되는 시간, T_n : 그 소음수준에서의 허용노출시간

- ③ TWA(dB) - 시간가중평균(Time Weighted Average)으로서 8시간 가중평균, 단위는 dB(A)

$$TWA = 90 + 16.61 \log \frac{D}{100}$$

② 소음노출량계에 의한 방법

- ① <표 3-6>을 이용하여 노출량계로 측정된 누적노출량을 TWA로 변환
② TWA값을 <표 3-2>, <표 3-4>에 있는 노출기준에 적용 평가

3.2 방사선

1. 물리적 특성

: 이온화 방사선(전리 방사선)과 비이온화 방사선(비전리 방사선)으로 구분

① 이온화 방사선(전리 방사선)

- ▶ 이온화 : 어떤 물질에 외부에서 강한 에너지를 가하게 되면 불안정해 지고 주위에 있던 전자가 튀어나오게 되는데, 이것을 이온화라 함.
- ▶ 이온화방사선 - 짧은 파장의 높은 에너지를 가지므로 원자에서 전자를 떨어지게 하여 이온화시킴 - 이온화를 일으키는 강한 에너지를 가진 방사선
- ▶ 전자기 방사선과 입자 방사선으로 나뉨
 - 전자기 방사선 : X선, γ 선
 - 입자방사선 : α 입자, β 입자, 중성자
- ▶ 단위 - 관용단위와 SI 단위, 흡수선량, 조사선량, 등가선량, 방사능 등을 나타냄
 - 인체노출량(방사선으로부터 손상받은 생물학적 손상) 측정 단위 : Sv(Sievert)

② 비이온화 방사선

- ▶ 이온화를 일으킬 정도는 아니지만, 안정된 바닥상태의 전자를 들뜨게 만드는 에너지를 가진 방사선
- ▶ 자외선(UV), 가시광선(VR), 적외선(IR), 라디오파(RF), 저주파(LF), 극저주파(ELF) 등

2. 건강상 장해

- 방사선 : 이온화방사선과 비이온화방사선을 모두 포함
- 유해광선 : 건강에 유해하다고 알려진 방사선(X선, γ 선, 자외선, 가시광선, 적외선 등)
- 전자파는 주파수가 클수록 파장이 짧아지며 에너지는 증가
- 생체를 이온화시키는 최소에너지 12.4eV를 기준으로 이온화방사선, 비이온화방사선 구분

① 이온화방사선의 노출원과 건강상 영향

▶ 노출근원

- 환경으로부터 받는 자연방사선원이 노출의 78% 차지, 인간은 방사선 환경에 살고 있음
- 의료용 기자재 이용(진단 방사선, 치료 방사선, 핵의학 분야 등) - 저준위 방사능물질
- 산업용 노출 : 원자력 발전소 - 고준위 방사능 물질
- 핵실험 후 낙진, 원자력발전소와 방사선 시설의 사고로 인한 노출

▶ 노출 장해

- α 입자 : 투과력이 낮아 우리 피부를 직접 통과하지 못함.
- β 입자 : 신체외부에서 조사시 눈·피부에 약간 영향을 미치지만 신체 내부로 깊숙이 투과하지 못함.
⇒ α 입자, β 입자의 호흡기 흡수시 건강상 영향 큼
- X선, γ 선 : 투과력이 커서 외부에서 신체 내부에 영향을 미침, 노출시 건강상 장해
- 방사선 조사시 분자수준의 손상, 세포수준에서의 손상, 이후 조직 및 기관수준의 손상 (조혈조직, 장관계, 생식선, 수정체 등), 그 후 발암현상까지 발생
 - 1초 이내에 분자수준의 손상, 수분 내에 DNA 손상, 수분에서 수개월까지 세포질 조직 손상, 발암현상에 이르기까지는 수십년 경과하기도 함

▶ 방사선에 의한 암유발 양상

- 방사선 발견 후, 방사선 학자 및 근로자 : 초기 피부암
- 라듐, 우라늄 광산 근로자 : 폐암(열악한 환기시설에서 라듐가스에 노출)
- 라듐 도색 근로자 : 뼈에 암(방사선 동위원소가 붓에서 허끝으로 들어가 뼈에 암 발생)

㉔ 비이온화방사선의 건강상 영향과 노출환경

- 자외선을 제외한 대부분의 비이온화방사선은 건강상 장애 초래하지 않음
- 극저주파 암 초래 논란
- 자외선 : 눈과 피부에 영향, UV-A 노출로 인한 피부암
- 비이온화방사선 노출원 : 용접, 주물, 유리제조, 금속절단, 자동차산업, 선박건조, 일 반가정, 일반환경 등

▶ <표 3-8> 비이온화방사선의 파장별 건강상 영향

분류	밴드	파장	건강상 영향
자 외 선 (UV)	UV-C	100~280nm	발진, 경미한 홍반
	UV-B	280~315nm	발진, 경미한 홍반
	UV-A	315~400nm	발진, 홍반, 백내장, 피부암
가시광선		400~780nm	광화학적이거나 열에 의한 각막 손상, 피부화상
적 외 선 (IR)	IR-A	780~1,400nm	피부화상과 백내장, 각막화상
	IR-B	1.4~3.0 μ m	피부화상
	IR-C	3.0 μ m~1.0mm	

3.노출기준 - ICRP(국제방사선방어위원회) 권고 <표 3-9>

▶ ICRP 방사선 방어의 세가지 원칙

- ① 작업의 정당성 : 미량의 방사선도 유해하므로 노출로 인해 해로움보다 혜택이 노출된 사람 및 사회에 돌아갈 수 없다면 방사선 노출과 관련된 작업은 허락하지 말아야 함
- ② 작업의 최적화 : 모든 요소를 고려하여 가능한 한 적은 양의 이온화방사선에 노출될 수 있도록 해야 함
- ③ 개개인의 노출량 한계 : 개개인에 노출되는 이온화방사선의 한계는 노출기준을 넘지 말아야 함.

3.3 고열

1. WBGT

- ▶ 고열로 인한 스트레스 : 환경적·물리적 작업요인의 복합작용에 의해 신체에 부하되는 총열의 양 결정
 - 환경적 요인 : 기온, 기류, 습도 및 복사열
 - 물리적 요인 : 작업강도에 비례한 신체 대사열 생산
 - 근로자 요인 : 나이, 신체조건, 건강상태, 복장상태, 열에 대한 순응정도 등 환경과 개인의 열교환에 영향
- ▶ 고열로 인한 스트레스를 평가하는 지수 : 열평형, 대사열, HSI, 유효온도, WBGT 등
- ▶ WBGT : 고열로 인한 스트레스 평가의 표준지수, 가장 많이 사용(NIOSH, OSHA, ACGIH, ISO 등)
 - 기온, 습도, 유속, 방사선의 고열로 인한 스트레스에 미치는 영향을 종합하여 나타낸 지수

2. 건강상 장애

- ▶ 열은 피부표면과 환경사이의 조건(기온, 습도, 기류, 복사열 등)에 의해 외부로 발산되면서 일정한 체온 조절이 이루어짐.
- ▶ 열의 발산이 적어지면 체온이 상승하고 체온조절 중추에 장애를 일으켜 사망에 이르게도 함.
- ▶ 고열로 인한 건강장애 : 체온조절 기능 장애, 지나친 발한에 의한 탈수와 염분 부족 등
 - 열쇠약(고열에 만성적인 체력 소모) • 열경련(근육에 경련) • 열피로
 - 열사병 • 열성발진(피부에 염증이나 수포형성) 등

질 환	증 상	원 인	체 온	치 료 법
열쇠약	권태, 식욕부진, 위장장애, 빈혈	만성적 체열소모 (만성 열중증)	약간 상승	비타민 B ₁ 투여, 영양공급, 휴양
열경련	경련, 현기증, 맥박상승, 발작	탈수, 염분감소	정상, 약간 상승	수분, NaCl 보충, 생리식염수 주사
열피로	두통, 현기증, 실신, 허탈	말초혈액 순환부전	정상	휴식, 포도당 및 생리식염수 주사
열사병	두통, 현기증, 이명, 혼수	체온조절중추의 기능장애	현저히 상승(41℃)	생리식염수 주사, 체온을 급속히 냉각

3. 노출기준 - 우리나라 노동부, ACGIH 개발 <표 3-10>

- 경작업시 WBGT가 32.2℃이면 25% 작업, 75% 휴식 해야 고열로 인한 건강상 장애 예방

3.4 진동

1. 진동이란

- 물리적으로 물체가 일정한 주기를 가지고 반복적으로 움직이는 현상

① 전신진동

- 운송수단, 중장비 등의 진동형태로 바닥, 등받이와 같이 몸을 받치고 있는 지지구조물을 통해 몸 전체에 진동이 전해지는 것
- 불편감, 멀미, 소화불량, 요통 발생에 악영향
⇒ 직업병의 직접적 위험요인은 아님(요통 제외)

② 국소진동

- 동력공구의 사용으로 인해 손, 팔, 어깨로 이루어지는 상지에 전달되는 진동
- 동력용 망치, 리벳기계, 파쇄기, 끌, 전기톱, 사포, 연삭기, 드릴, 분쇄기, 연마기, 임팩터 등

2. 진동측정

① 진동의 전달축

- 진동공구는 3차원 공간에서 사용되므로 인체에 전달되는 진동신호는 벡터의 형태임.
- 국제표준화기구 : 공구를 쥐고 있는 손에 중심을 둔 시스템, 진동면에 중심을 둔 시스템
- 공구를 쥐고 있는 손에 중심을 둔 시스템 사용
(X축 : 손바닥 수직 관통축, Y축 : 공구손잡이 축, Z축 : 양측에 직각인 축)

② 가속도와 주파수

- 진동의 강도를 표현하는 방법 : 변위, 속도, 가속도 등

▶ 가속도

- 일반적으로 많이 사용
- 특정주파수에서의 가속도 값이 변위나 속도 값보다 커서 측정하기 쉬움
- 단위 : m/sec^2 , 현장에서는 중력가속도($1g= 9.8m/sec^2$) 단위로 변환 사용하기도 함.

▶ 주파수

- 1초 동안에 반복운동의 완전한 1주기가 일어나는 횟수(단위 : Hz)
- 현장의 진동은 동시에 발생하는 많은 주파수로 구성
⇒ 합성된 신호를 FFT를 사용하여 주요 주파수 성분으로 분리하는 주파수 분석과정을 거쳐야 함.(컴퓨터 나 주파수 분석기 이용)
- 시간-강도의 관계를 주파수-강도(가속도 또는 에너지로 표현됨)의 관계로 변환

▶ 가속도계

- 진동강도, 주파수 측정 : 가속도계를 진동체에 부착하고, 이를 주파수분석기에 연결(앰프경유)
- 압전형 가속도계 많이 사용(특수 세라믹 재료가 기계적인 변형의 힘에 비례하여 전기적 전하량을 발생시키고, 앰프를 통하여 증폭)
- 충격형태의 공구 사용시 기계적 필터가 있는 특수형의 가속도계 사용

3. 건강상 장애

- 주로 국소진동

▶ 진동증후군(HAVS) - 진동장애를 총칭

- 수지백색증 : 손과 손가락의 혈관 수축, 혈행이 감소하여 손이나 손가락이 창백해지고 바늘로 찌르는 듯이 저리며 통증이 심함
- 손목관절·팔꿈치관절·어깨·다리 등의 차가워짐·굳어짐·감각저하·떨림·손톱변형·운동제한 등

▶ 국소진동은 근골격계질환의 위험요인

- 동력공구를 사용할때의 반복적인 움직임, 부자연스러운 자세, 과도한 근력요구 등과 함께 상지에 가해지는 생리적 스트레스를 증가시킴으로 누적외상성질환의 발병 촉진

4. 노출기준

- 진동노출에 대한 분석 및 평가 : ISO 5439-1986(E), ACGIH의 기준 주로 사용

▶ ISO : 1일 노출량을 4시간 동안의 에너지등가 주파수가중 가속도로 표현

▶ ACGIH : 하루 평균 진동 노출시간을 기준으로 진동가속도 수준제시 <표 3-12>

Chap. 4 화학적 유해인자 : 가스상 물질과 입자상물질

4.1 화학특성에 의한 분류

- 화학적 인자의 분류는 무기(inorganic) 혹은 유기(organic) 형태로 구분
- 일반적으로 공유결합은 유기화학물질과, 이온결합은 무기화학물질과 관련
- 주기율표는 크게 네 개의 그룹인 금속과 반도체, 비활성기체, 할로겐족 그리고 유기 화학원소(C, O, H, P, S, N 등)으로 구성

1. 무기화학물질

- 원소주기율표 : 대다수가 금속으로 분류되는 원소로 구성
- 무기화합물 : 일반적으로 양이온과 금속이 이온결합한 형태
- 독성의 대부분은 금속으로 인함.

① 금속

- 물리적으로 높은 전기나 열전달 특성을 지니며, 광택과 연성이 있음.
- 산업위생 측면에서 독성이 높은(다른 금속의 10~1,000배) 물질 소개

(1) 크롬

- 6가 크롬 : 폐암유발
 - 도금, 스테인리스강, 니켈-크롬합금, 인쇄, 염색, 염료와 안료, 사진, 페인트 등에서 사용
 - 피부질환, 비중격천공(코의 가운데 격막이 뚫리는 직업병)

(2) 니켈

- 필수원소이지만 과다 흡수시 폐암 유발, 피부질환 유발
- 강철, 합금, 도금, 동전제조, 촉매제, 반응용기, 니켈-카드뮴축전지, 회로, 유리제조

(3) 비소

- 구리·납 등을 포함하는 광석의 부산물
- 납합금, 냉매제, 반도체, 염색, 유리 등의 제조, 농약, 목재보존 등
- 비소가 있는 상태에서 수소이온(H⁺)발생시, 아르신(AsH₃) 독성물질 발생, 납과 존재시 더 위험
- 피부조직 괴사, 피부암 유발 등 피부장해, 피부, 머리카락, 땀, 손톱, 발톱 등에 축적
- 생식독성 유발

(4) 카드뮴

- 발암물질, 신장에 심각한 영향 초래
- 아연, 납광석에 들어 있는 오염물질, 전기도금, 합금, 용접, 색소, 니켈-카드뮴축전지 제조 등
- 장기노출시 고혈압 초래
- 칼슘대사를 방해하여 뼈에 독성을 나타냄 ⇒ 이타이 이타이 병

(5) 수은

- 발암물질은 아니며, 중추신경계와 신장에 영향
- 상온에서 액체로 존재, 증기로도 발생되어 호흡기로 흡수
- 깨진 압력계, 수은등, 온도계, 전기기구 등에서 나오는 소량의 수은으로도 공기중 일정 농도 형성
- 형광등, 수은등 제조업체, 바닷물로 NaOH제조, 폴리우레탄폼의 촉매제, 치과기공소 등
- 미나마타병 : 화학공장에서 유출된 금속수은이 미생물에 의해 유기수은으로 변화, 어류를 통해 생체에 축적됨.

(6) 베릴륨

- 리튬 다음으로 가벼운 합금을 제조, 핵, 우주산업, 세라믹, 로켓연료 등에 이용
- 다른 금속에 비해 노출기준이 낮음,
- 폐에 가장 영향을 미침 : 베릴륨폐증 초래
- 접촉성 피부염, 간에 영향, 발암물질로 의심됨

(7) 납

- 페인트, 축전지, 납땀, 철강, 합금 등에 사용
- 페인트스프레이 등에 고농도 존재, 페인트로 도색된 금속의 용접 및 연마블라스팅시 심각한 노출
- 낮은 농도에서도 어린이 학습장애, 지능저하 등 행동학적인 장애 초래

② 비활성기체

- 원소주기율표에서 맨 오른쪽의 0족, 비활성기체로 금속은 아님
- 크세논, 라돈, 크립톤은 약간의 반응성, 라돈을 제외하고 독성이 낮음
- 폐에서 산소를 대신해 질식성 있음.

③ 할로겐족

- 원소주기율표의 오른쪽에서 둘째 열(7족), 반응성이 매우 강하여 산업위생에서 중요
- 할로겐족은 수소와 결합하거나 물과 반응할 때 산을 형성함.
- 염산, 플루오르산, 브롬산 등 산 형태의 가스상 화합물질
⇒ 가스 상태로 존재하므로 호흡기로 쉽게 흡수되어 심각한 건강상 장애 초래
- 할로겐족과 결합한 탄소화합물의 독성도 큼.

④ 다른 비금속

- 반도체 : 붕소, 규소, 비소, 텔루르, 인, 탄소, 셀렌, 게르마늄, 안티몬, 폴로늄
- 비소 : 독성 때문에 반도체 중에서 가장 중요, 납과 같은 독성음이온 형태의 물질과 같이 존재할 때 비소납(살충제) 형성하여 독성 증가
- 비금속원소 : H, O, N, S - 유기화학과 관련

2. 유기화학물질

- ▶ 유기화학원소 : 탄소(C), 산소(O), 수소(H), 인(P), 황(S), 질소(N)
- ▶ 유기화학물질 : 유기화학원소 화합물, 두가지 원소(CO, CO₂ 등), 세가지 원소(COCl₂ 등)로 이루어진 것 제외
- ▶ 대부분 석유 및 석탄을 원료로 하며, 탄화수소(CH)로 구성
 - 지방족화합물 : 알칸(C_nH_{2n+2}, 또는 파라핀), 알킨(C_nH_{2n-2}), 알켄(C_nH_{2n}, 또는 올레핀) 등의 탄화수소 및 그 유도체
 - 방향족화합물 : 벤젠고리를 함유한 것

4.2 용도에 의한 분류

1. 유기용제

- ▶ 사업장에서 사용되어지는 화합물질중 가장 중요한 부류
- ▶ 다른 물질을 용해시키는 능력이 있는 액체(용매)
- ▶ 일반적으로 상온에서 액체인 유기화합물이 유기용제로 사용됨.
- ▶ 산업위생학적으로 중요한 용매의 특징은 'Like dissolves like'(특성이 비슷한 용매끼리 서로 용해됨)
- ▶ 광범위하게 사용되는 그룹은 석유정제물로서 원유로부터 정제된 비극성 지방족과 방향족 화합물임

2. 단량체(monomer)

- ▶ 중합체(polymer)의 원료, 중합반응에 의해 중합체 형성
- ▶ 염화비닐(CH_2CHCl) → 중합반응으로 PVC 수지 $[-\text{CH}_2\text{CHCl}-]_n$ 형성, PVC 플라스틱 제품
에틸렌 → 폴리에틸렌, 프로필렌 → 폴리프로필렌 등
- ▶ 우레아, 우레탄, 나일론, ABS, 폴리에스테르, 에폭시, 아크릴 등
- ▶ 제품에 첨가된 화학물질, 단량체 등이 유리되어 내분비계교란물질(환경호르몬) 등 건강상 장애 초래

3. 농약

- ▶ 살충제(해충제거), 제초제(잡초제거), 살서제(쥐 등 해로운 동물 제거), 방부제, 살균제(곰팡이류 제거) ⇒ 사람에게 치명적 영향

4.3 물질형태에 의한 분류

<표 4-1> 화학적 유해인자의 물리적 상태와 크기

상태-근원(출처)	상대적 크기(μm)
공기 중 가스상물질 가스 : 화학반응, 자연발생 증기 : 액체의 증발, 승화	0.0002~0.0005 > 0.0005
공기 중 부유하는 고체와 액체 : 입자상물질 고체 먼지 : 기계적 작용에 의한 고체의 분쇄 스모크 : 유기물의 불완전한 연소 흄 : 공기의 응축 섬유 : 기계적 작용, 종횡비(3:1) 이상 액체 미스트 : 기계적 작용이나 액체의 응축 안개 : 눈에 보이는 미스트 스모크 : 유기물의 불완전 연소	> 1 0.01~1 0.001~1 > 0.003 0.01~20 0.01~20 0.01~1

1. 가스상물질

① 가스

- 상온에서 기체인 상태
- 호흡기에 자극, 혈액이나 호흡기에 독성, 라돈 등 발암물질

<표 4-2> 주요 무기가스의 유해성과 주요 발생공정(사용공정)

물질명	화학식	주요사용공정
1. 호흡기 자극물질		
암모니아	NH ₃	비료, 합성(화합물), 냉동(장)제
염소	Cl ₂	유기염소계화합물, 수(H ₂ O)처리, 식품제조과정
불소	F ₂	불소합성, 탄화불소 합성, 수처리
염화수소	HCl	합성, 세척, 광석의 환원, 식품제조과정
불화수소	HF	합성, 알루미늄생산, 스테인리스 스틸 도금, 유리 부식 동판술
일산화질소	NO	질산합성, 인조견사 표백, NaNO ₃ (질산나트륨)가열과 같은 공정의 부산물
이산화질소	NO ₂	질산, 비료, 폭약, 합성, 핵연료에 소비된 야금술 재처리물/폐기물 처리, 표백, 살균제
오존	O ₃	
포스겐	COCl ₂	합성, 염소계 탄화수소의 가열이나 UV와의 작용에 의한 부산물
포스핀	PH ₃	합성, 반도체
아황산가스	SO ₂	합성, 종이, 금속, 표백, 식품첨가제, 비료, 기폭제 등
2. 혈액과 호흡기에 관련된 독성물질		
아르신	AsH ₃	합성, 반도체
일산화탄소	CO	합성, 연료, 야금술, 연소의 부산물
시안화수소	HCN	유기합성
황화수소	H ₂ S	산 세정, 침전물, 혐기성 분해의 부산물
3. 발암물질		
니켈카르보닐	Ni(CO) ₄	니켈 처리공정
라돈	Rn	의약, 방사선 촬영, 자연 발생하는 방사능 가스
4. 질식제와 마취제		
이산화탄소	CO ₂	냉장(냉동)장치, 음료수, 화약, 합성, 소화기, 그리고 많은 다른 것들, 연소와 호흡의 부산물
아산화질소	N ₂ O	마취제, 화약, 누출, 검출

② 증기

- 상온에서 액체이나 환경조건에 따라 증발하여 기체로 존재하는 형태
- 각종 유기용제, 페인트, 증기 등
- 증기압이 높을수록 증기화되기 쉽고, 공기중에서 높은 온도를 형성하므로 근로자 노출이 쉬움

2. 입자상물질

① 종류

- 공기 중 존재하는 고체(먼지, 흙, 스모크)나 액체(미스트, 포그, 스모크) 입자
- 입자크기가 작은 흙, 스모크는 폐포에 침투

(1) 먼지

- 고체물질이 파쇄, 분쇄, 연마, 마찰 등의 공정에 의해 공기 중으로 분산되어 떠다니는 고체미립자($1\mu\text{m}$ 이상)
- 공기중으로 발생한 1차 먼지가 제거되지 않고 낙하된 후에 다시 비산하는 경우를 2차 먼지라 함.

(2) 섬유

- 공기 중 일정한 길이와 폭을 가진 고체, 석면, 유리섬유 등 (먼지의 지름보다 최소 3배 더 긴 길이)

(3) 미스트

- 상온에서 액체인 물질이 교반, 뿌려지거나, 끓이거나, 버블링할 때 공기 중으로 발생하는 액체 미립자

(4) 흙

- 상온에서 고체상태 물질로부터 생긴 증기물의 응축 및 산화로 생기는 고체상의 미립자
- 발생기전
 - ① 금속의 증기화 : 금속이 녹는점 이상의 열을 받아 증기화
 - ② 증기물의 산화 : 금속증기가 공기 중의 산소에 의해 산화물 형성
 - ③ 산화물의 응축 : 산화물 형성시 온도차에 따라 냉각·응축되어 고체상 미립자 형성
- 용해로를 이용한 주물, 철강제조업 등에서 발생
- 먼지보다 작아 폐포까지 쉽게 도달

(5) 일반대기 중의 입자상물질

- ▶ 입자상 물질(Particulate Matter, PM) : 대부분 0.001~10 μm , 사람의 호흡기 통해 흡입

- ▶ PM₁₀ : 10 μm (머리카락 두께의 1/7 정도) 이하의 입자상물질의 농도($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
 - 호흡기에 흡입되어 축적될 수 있는 가능성
 - 거대입자 : 2.5~10 μm , 포장, 비포장도로, 고체물질의 연삭 및 붕괴 등으로 발생
 - 우리나라 대기기준 : 연평균 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 24시간 평균 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
 - 실내환경기준 : 대부분 100~150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

- ▶ PM_{2.5} : 2.5 μm 이하의 크기로 미세입자
 - 미세한 입자크기(머리카락 두께의 1/30 정도) 때문에 폐포까지 흡수되어 큰 건강상 위해 초래
 - 호흡기, 심장질환, 폐질환의 악화, 폐질환, 폐기능 저하, 천식, 심혈관계질환
 - 노인, 심장이나 폐질환을 가진 사람, 어린이 등이 민감하며 실외활동이 많으면 노출 위험 큼
 - 연소과정(엔진차량, 공장, 목재소각, 산업공정 등), 공기 중 가스의 화학적 변화에 의해 발생
 - EPA 기준 : 연평균 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 24시간 평균 65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 우리나라는 없음

② 입자상물질의 호흡기 침착

- 호흡기에서 입자상물질이 포함된 공기의 이동 [그림 4-11]
코 → 인두 → 후두 → 기관 → 기관지 → 세기관지 → 종말세기관지 → 폐포
(상기도) (하기도)

(1) 입자크기별 농도

- 입자상 물질의 크기에 따라 침착되는 호흡기의 부위와 독성이 서로 다름
- ① 흡입성 먼지(IPM) : 호흡기의 어느 부위에 침착하더라도 독성을 나타냄
목재먼지(상기도, 비강암), 크롬(비중격천공), 입자크기 0~100 μm
- ② 흉곽성 먼지(TPM) : 가스교환지역인 폐포나 폐기도에 침착되었을 때 독성을 나타냄
50% 침착되는 입자의 평균크기 10 μm
- ③ 호흡성 먼지(RPM) : 폐포에 침착될 때 독성을 나타내는 크기 , 평균크기 4 μm

- 평균입자크기(50%가 호흡기 해당부위에 침착되는 크기)
: 흡입성 100 μ m, 흉곽성 10 μ m, 호흡성 4 μ m

(2) 입자상물질의 호흡기 침착

- 일정한 크기를 가진 입자상물질이 호흡기를 통해서 흡입되었을 때 인두, 후두, 기관, 기관지, 세기관지, 폐포 등의 호흡기를 지나면서 침착됨
- 호흡기의 구조, 입자크기, 입자특성에 따라 침착되는 비율이 달라짐.
- 침착메커니즘 : 충돌, 중력침강, 확산, 간섭, 정전기침강 등 - 충돌, 침강, 확산 중요
- 호흡기가 일직선이 아닌 분지된 관으로 되어 있으므로 가지 부분에 많이 침착

③ 입자상물질의 제거기전

(1) 점액섬모운동에 의한 정화

- 호흡기는 섬모원주상피로 싸여 있으며, 호흡상피의 아래 점액세포가 점액을 분비함
- 입자상물질들은 점액에 달라붙어 구강을 향하는 섬모운동에 의해 외부로 배출(객담 등)
⇒ 입자상물질에 대한 1차적인 방어작용
- 담배연기, SO_x, NO_x, 카드뮴, 니켈, 수은, 암모니아 등
⇒ 섬모에 영향을 미쳐 정화작용 방해

(2) 대식세포에 의한 정화

- 기관지 및 세기관지에 침착된 먼지를 대식세포가 둘러싸고, 둘러싸인 먼지는 상기도로 옮겨지거나 대식세포가 방출하는 효소에 의해 용해되어 제거.
- 석면, 유리규산의 경우 대식세포의 용해효소에 제거되지 않으므로 독성이 큼

4.4 주요 입자상물질의 특성, 기준, 건강상 장해

- 호흡기 암 유발 : 석면(중피종, 폐암), 결정형 실리카(폐암), 6가 크롬(폐암 및 비강암), 비소(폐암, 피부암), 베릴륨(폐암), 황산니켈 및 황화니켈/산화니켈 혼합물(폐암, 비강암)

1. 석면

① 특성 및 종류

- 길이를 가진 고체입자
- 섬유 : 먼지의 폭과 길이의 비가 1:3 이상, 석면, 유리 섬유 등
- 열, 마찰, 화학약품 등에 강하므로 5,000가지 이상의 제품에 사용(단열재, 자동차 브레이크 라이닝, 전선의 절연체, 방화복 등)
- 석면 : 마그네슘이 결합되어 있는 섬유상광물규산염

② 건강상 장해

- 석면은 쉽게 제거되지 않고, 흡수된 신체의 조직에 박혀 있어 폐암, 악성 중피종, 석면 폐증 초래
- 진단이 어렵고 치료가 불가능하므로 세계적으로 석면 사용을 규제함

2. 납

① 특성

- 자동차 휘발유 첨가제, 페인트, 전선의 피복제, 축전기 제조원료 등 광범위하게 사용
- 주요노출원 : 납이 들어 있는 페인트
- 어린이 납 노출 오염원
 - 실외놀이기구 : 놀이기구에 칠해진 납이 시간 경과후 먼지로 발생
 - 어린이 장난감 : 장난감에 칠해진 납이 함유된 페인트를 빨거나 깨물 때
 - 건물 : 오래된 건물의 페인트가 벗겨진 것을 어린이가 섭취
 - 공단주변 : 납관련 제품 제조 공단주변의 어린이

② 건강상 영향

- 장기 노출시 위장장애, 신장장애, 빈혈증, 노출이 심한 경우 신경근육장애, 중추신경계에도 영향
- 조용한 질병(silent disease) : 증상이 서서히 나타나 조기발견이 어려움
- 어린이에게 학습능력장애, 성장장애 등 신체 모든 기능에 영향을 미침
- 임산부 노출시 기형아 출산 및 유산

3. 입자상물질

- 진폐증 : 먼지가 폐에 쌓여 폐의 석회화(섬유화반응)가 일어나고 폐포가 굳는 건강상 장애
⇒ 폐의 이완과 수축이 어려워 호흡곤란 초래

<표 4-4> 진폐증을 일으키는 입자상물질과 발생공정

입자상물질의 성분	진폐의 종류	발생공정
유리규산	규폐증	금속광산, 석재공장, 주물공장, 규석초자공장, 샌드블라스트
규산화합물	석면폐증 활석폐증 규조토폐증	석면직포공장, 자동차 정비 활석 제조, 고무공장 규조토 분쇄공장
알루미늄 및 그 화합물	알루미늄폐증	은박제조공장, 알루미늄 재생공장
철 및 그 화합물	철폐증, 용접공폐증	용접공, 제철, 건설
탄소	흑연폐증, 탄소폐증 탄광부 진폐증	흑연전극공장, 카본블랙, 활성탄제조, 탄광
유기분진	면폐증 연초폐증 농부폐증 사탕수수폐증	면방직공장 연초공장 곡분, 곡분제조 사탕수수 채집

Chap. 5 인간공학적 유해인자

5.1 용어에 대한 개념

1. 인간공학(ergonomics)

- 미국 국립산업안전보건연구원(NIOSH) : 일을 하는 사람의 능력에 업무요구도(양)나 사업장의 상태와 조건을 적합시키는 과학
- 업무체계와 작업 요소들을 조사하여 효과적으로 일하는 사람에게 맞추면 생산성을 향상시키고, 질환이나 상해의 위험을 피할 수 있고, 업무의 만족을 증진시킴.
- 근로자와 작업환경이 적합하지 않을 경우 신체에 부담을 주어 질병 초래
- 근골격계 질환 : 신경, 건, 근육, 지지조직에서의 이상상태

2. 근골격계질환(MSDs)

① 근골격계와 관련되는 용어

- 근육, 골격, 건, 인대

② 근골격계질환의 정의

- 주로 반복적인 동작과 고정된 자세에서의 지속 동작(정적인 자세), 부적합한 작업자세, 오랜 시간 동안의 작업 등이 원인이 되어 목, 어깨, 팔꿈치, 손목, 손가락, 허리, 다리 등 근골격계에 나타나는 통증·저림·쑤심의 건강장해
- 비슷한 용어 : 누적외상성질환(CTDs), 반복성긴장장해(RSI)
- 미국산업안전보건청(OSHA)의 정의
 - 근육, 신경, 건, 인대, 관절, 연골, 척추디스크 등에 나타난 상해 또는 질환을 포함하나, 미끄러지거나 걸어나다니거나 넘어지거나 물건에 부딪치는 등의 사고 또는 이와 유사한 사고로 인한 상해는 포함하지 않음
- 미국 국립산업안전보건연구원(NIOSH)의 직업성 근골격계질환의 증상기준
 - 작업과 관련하여 목, 어깨, 팔꿈치, 손목, 손가락, 팔, 허리, 다리 등 주로 관절부위를 중심으로 근육과 혈관, 신경 등에 나타나는 근육골격계의 만성적 건강장해
 - 적어도 1주일 이상 또는 과거 1년간 적어도 한달에 한번 이상 증상이 존재하고 동일한 신체부위에 유사질병과 사고병력이 없어야 함.
 - 증상은 현재의 작업으로부터 시작될 때로 정의함

- 우리나라 산업안전보건법 산업보건기준에 관한 규칙에서의 정의
‘근골격계질환’이라 함은 반복적인 동작, 부적절한 작업 자세, 무리한 힘의 사용, 날카로운 면의 신체 접촉, 진동 및 온도 등의 요인에 의하여 발생하는 건강장해로서 목, 어깨, 허리, 상·하지의 신경·근육 및 그 주변 신체조직 등에 나타나는 질환을 말함.

3. 경견완증후군

- 장시간 일정한 자세로 상지인, 어깨, 팔목을 반복하여 과도하게 사용함으로써 발생하는 직업성 건강장해, 어깨(견), 팔(완), 목(경)을 한자로 표현하여 경견완증후군이라 함
- VDT증후군 : 시각표시단말기(VDT)를 장기간 취급하는 작업자에게 발생하는 근골격계 질환을 포함해서 안정피로 등의 안장해, 정전기 등에 의한 피부발진, 정신적 스트레스, 전자기파와 관련된 건강장해 등을 모두 포함하여 부르는 용어

4. 요통

- 재해성요통 : 무거운 물건을 취급시 급격한 힘에 의해 내부근육이나 인대 등 연조직 손상 나타남
- 직업성요통 : 무거운 물건의 취급, 부적절한 작업자세, 기타 물리적 요인 등으로 나타나는 급성 혹은 만성적인 요통

5. 손목뼈터널증후군

- 손목뼈 부분의 수근관인대가 두꺼워져 신경이 압박을 받아 손이 저리고, 통증, 무감각, 쿡쿡 쑤시는 등의 증상이 나타나는 것
- 근골격계질환의 하나이며, 정중신경염 또는 수근관증후군이라고도 함.

5.2 근골격계질환을 초래할 수 있는 위험요인

1. 위험요인

- 근골격계질환은 18세기부터 병리적인 요인을 갖는 것으로 인식됨.
- 1970년대부터 근골격계질환과 작업 요인의 연관성을 확인하기 위한 역학적인 방법을 체계적으로 수행, 그 요인들을 조사함
- NIOSH : 직업과 관련된 근골격계질환과 물리적인 작업요인은 일정한 관계가 있음

2. 상지에서 발생하는 근골격계질환 위험요인

- 반복성 - 큰 변화 없이 반복적으로 수행되는 연속동작. 피로와 근육, 건의 긴장을 초래
 - 보통 30초 이하의 간격으로 반복되는 일은 ‘반복적’ 이라고 함
- 손힘 - 물체와 기구를 쥐거나 잡을 때 요구되는 힘
 - 손으로 쥐거나 잡은 물체나 기구의 무게·크기·형태·균형의 변화가 일을 수행하는데 요구되는 힘을 줄일 수 있음
- 자세 - 일을 수행하기 위한 몸, 손과 손목, 어깨 등의 자세를 말함
 - 일을 수행하는 자세는 사용되는 기구의 디자인, 작업위치와 반지름의 함수임
 - 극단적인 자세는 불쾌감, 관절스트레스, 혈액흐름 감소, 근육긴장 증가, 피로 증대, 견디는 시간 감소, 어깨와 목 등의 급성 고통, 어깨건(힘줄)염증, 손목뼈 터널증후군을 초래
- 움직이지 않은 정적인 작업 자세에서의 부하
 - 동일한(정적인) 자세에서 신체가 오랜 시간 동안 있을 때 대사 에너지 요구량은 높으나 혈액순환은 떨어짐
 - 근육은 필요한 산소량을 받지 못하여 피로하게 됨
- 기계적인 스트레스 - 물체의 날카롭고 딱딱한 면과의 접촉 등으로 인한 장애
- 저온작업 - 저온으로 인해 피부의 표면온도가 20℃이하로 떨어지는 작업
- 진동 - 손가락, 손목의 무감각, 혈액순환 장애, 추위의 무감각 등이 생김
- 근로자와 작업공정의 조화 - 근로자가 작업장에서 장애물없이 물건에 다다르고 집어서 보는 적합성을 말함
- 작업조직 - 라인속도, 근로자들 간의 일의 균형, 일 사이의 적절한 회복시간 등
- 글러브 착용 - 극단적인 온도, 화학물질, 물리적인 자극 등으로부터 손 보호, 작업시 부가적인 힘을 더 필요로 하는 단점이 있음.

3. 요통의 위험 요인

- 자세 - 물건을 들 때의 자세 중요, 이동공간의 범위가 크면 허리에 무리가 감.
 - 무게가 가능한한 신체에 가깝게, 즉 심장과 무릎사이에 두는 자세 허리부담 감소
- 빈도와 반복적인 취급 - 물건의 빈번한 취급
 - 빈도가 높을수록 작업부하무게는 감소되어야 함
- 정적인 작업 - 들기작업시 자유롭게 움직일 작업영역의 확보필요
- 손잡이나 커플링 - 물체취급시 손잡이나 커플링은 취급에 안정감을 줌
- 균형이 잡히지 않는 상태에서 중량물 취급 - 뒤틀어진 자세에선 들 수 있는 무게가 감소
- 충분하지 못한 작업공간 - 작업을 위해 자세를 뒤틀어야 하므로 요통 초래
- 개인보호구 - 백 벨트, 글러브 등
- 전신진동 - 대형 트레일러나 트랙터 운전 등 전신진동에 장기간 노출시 요통 초래

5.3 근골격계질환 위험요인 평가방법

1. 위험요인은 무엇을 어떻게 평가하는가

- ▶ 국제인간공학회기술위원회(IEATC)의 상지에 대한 반복작업의 위험요인
 - 조직체계, 반복정도, 힘의 정도, 자세 및 동작의 형태, 휴식시간과 그 주기, 기타요인 (진동공구의 사용, 극도의 정밀을 요하는 작업, 해부학적으로 국소의 물리적 접촉을 요하는 자세, 낮은 온도, 맞지 않는 장갑의 사용 등)
- ▶ 현재 인간공학 분야에서 주로 활용되는 평가방법
 - 인체역학적 모델을 이용한 평가
 - 실험적 평가
 - 각종기기를 이용한 실측
 - 표준화된 작업자세 관찰
 - 생리적 평가
 - 주관적 평가
- ▶ 체크리스트를 이용하면서 비디오 분석을 병행하는 것이 세계적인 추세

2. 체크리스트를 이용한 근골격계질환 평가

▶ 미국 OSHA의 체크리스트 방법 : GM-UAW Checklist, RULA, JSI, Washington State Appendix D, REBA등 제안, 기타 비특이적(비정형) 작업현장에서는 OWAS 평가방법이 비교적 많이 활용됨

<표 5-5> 주요 체크리스트의 위험요인 평가영역

평가도구	신체부위	평가항목	평가대상 작업	관리기준
OWAS	<ul style="list-style-type: none"> · 허리 · 팔 · 다리 	<ul style="list-style-type: none"> · 작업자세 · 힘(하중) 	<ul style="list-style-type: none"> · 조선업 및 의료서비스업과 같이 비특이적인 작업 자세가 문제되는 작업 	네 가지 관리기준
RULA	<ul style="list-style-type: none"> · 손/손목 · 아래팔 · 팔꿈치 · 어깨 · 목 · 허리 · 다리 	<ul style="list-style-type: none"> · 작업자세 · 반복성/정적동작 · 힘(하중) 	<ul style="list-style-type: none"> · 조립작업 · VDT작업 · 기타 비특이적인 작업 	네 가지 관리기준
JSI	<ul style="list-style-type: none"> · 손/손목 	<ul style="list-style-type: none"> · 작업자세 · 과도한 힘 · 반복성 · 노출시간 · 작업속도 	<ul style="list-style-type: none"> · 검사작업, 자료입력 작업, 포장작업 등과 같이 손목의 움직임이 많은 작업 	네 가지 관리기준
Washington State Appendix D	<ul style="list-style-type: none"> · 손/손목 · 아래팔 · 팔꿈치 · 어깨 · 목 · 허리 · 무릎 	<ul style="list-style-type: none"> · 작업자세 · 힘(손/손목, 팔) · 반복성 · 반복적인 충격 · 중량물 들기 · 국소진동 	<ul style="list-style-type: none"> · 각각의 위험요인에 1일 2시간 이상 노출되는 작업 	두 가지 관리기준
REBA	<ul style="list-style-type: none"> · 손/손목 · 아래팔 · 팔꿈치 · 어깨 · 목 · 허리 · 다리 	<ul style="list-style-type: none"> · 작업자세 · 반복성/정적동작 · 힘(하중) · 손잡이 상태 · 행동점수 	<ul style="list-style-type: none"> · 병원 종사자 등과 같이 비특이적인 작업을 주로 하는 서비스업 · VDT작업 	다섯 가지 관리기준

<표 5-6> 평가도구를 선택할 때의 고려사항

구분	세부내용	평가도구
평가자를 고려할 때	8시간 내외의 기초교육을 받은 자	OWAS
	16시간 이상의 전문교육을 받은 자	RULA, JSI, REBA, Washington State Appendix D
작업특성을 고려할 때	조립작업과 같이 일정한 작업주기로 수행되는 작업	RULA, Washington State Appendix D
	조선업, 서비스업과 같이 정형화되지 않은 작업	REBA, OWAS
	검사, 자료입력작업과 같이 고정된 자세(앉은자세 등)에서 주로 손·손목만을 사용하는 작업	JSI
신체부위를 고려할 때	전반적인 신체 부위가 문제되는 작업	RULA, REBA, Washington State Appendix D
	주로 손·손목 부위가 문제되는 작업	JSI
	주로 허리 및 상지 부위가 문제되는 작업	OWAS

① OWAS 평가방법

- 핀란드 철강회사에서 개발, 허리·팔·다리 등의 정형화된 작업자세와 힘(하중)에 대한 요인을 추가하여 교차체크한 고유한 코드값을 표에서 찾음
 - 수준 1(class 1) : 문제가 없는 작업자세
 - 수준 2(class 2) : 근시일 내에 재조사 필요
 - 수준 3(class 3) : 가능한 한 조기 개선 필요
 - 수준 4(class 4) : 즉시 개선 필요
- 장점 : 개선의 필요한 작업을 우선적으로 선정, 평가과정이 쉽고 간단
- 단점 : 정적인 자세에 초점, 중량물 취급작업 외에는 작업에 소요되는 힘과 반복에 대한 위험성 미반영

(1) 작업자세 분류체계

- 작업자세 및 하중/힘의 조건을 고려 252가지로 분류 - [그림 5-9] 및 <표 5-7>
 - 허리 : (1) 바로 섰 (2) 굽힘 (3) 비틀 (4) 굽히고 비틀
 - 팔 : (1) 양팔 어깨 아래 (2) 한팔 어깨 위 (3) 양팔 어깨 위
 - 다리 : (1) 앉음 (2) 두 다리로 섰 (3) 한 다리로 섰 (4) 두 다리 구부림
(5) 한 다리 구부림 (6) 무릎 꿇음 (7) 걷기
 - 하중/힘 : (1) 10kg 미만 (2) 10이상 ~ 20kg 미만 (3) 20kg 이상

(2) OWAS 코드 측정 및 기록

- 작업자 자세를 일정간격으로 관찰, 각 자세를 기록하여, 자료를 분석하는 작업 샘플링
- 허리 팔 다리 하중/힘 에 해당하는 OWAS 코드를 기록

(3) 결과해석 - <표 5-8>, <표 5-9> 참조

- 작업의 자세코드와 조치수준을 확인 - 네 수준으로 분류
- 수준 3, 4는 근골격계에 나쁜 영향을 미치는 자세로 시급한 조정 필요

② JSI 평가방법

- 생리학 및 인체역학의 과학적 근거를 바탕으로 개발, 의학적인 진단결과와도 매우 유의한 타당성이 인정
- 지속적인 힘, 힘이 필요로 하는 작업의 비율, 손목의 부적절한 작업자세, 반복성, 작업 속도, 작업시간 등 총 여섯가지 요소를 평가한 후 각각의 점수를 곱하여 최종점수 산출
- 평가결과
 - 3점 미만 : 안전한 작업
 - 3~5점 : 불확실한 작업
 - 5~7점 : 약간 위험한 작업
 - 7점 이상 : 위험한 작업으로 즉시 작업개선
- 단점 : 손목의 특이적인 위험성만 평가, 손·손목의 진동에 대한 위험요인 배제
- 상지작업, 특히 손·손목을 중심으로 이루어지는 작업(전자조립업, 세탁업 등)에 유용

(1) 힘쓰는 강도를 평가 <표 5-10>

- 힘쓰는 강도 : 평가대상작업을 한번 수행하는 데 요구되는 근력의 정도

(2) 힘쓰는 기간(%)을 평가 <표 5-11>

- 힘쓰는 기간(%) = $\frac{\text{총힘쓰는시간}}{\text{총관찰시간}} \times 100$

(3) 분당 힘쓰는 횟수를 평가 <표 5-12>

- 분당 힘쓰는 횟수 = $\frac{\text{총힘쓰는횟수}}{\text{총관찰시간(분)}}$

(4) 손·손목의 자세를 평가 <표 5-13>

- 손·손목이 중립자세에서 얼마나 꺾여서 작업하는지 평가

(5) 작업속도를 평가 <표 5-14>

(6) 하루 작업시간을 평가 <표 5-15>

(7) 최종적인 연산점수를 계산 <표 5-16>

긴장도 지표(SI)

$$= \text{작업강도} \times \text{긴장시간(\%)} \times \text{분당 횟수} \times \text{손·손목자세} \times \text{작업속도} \times \text{작업시간}$$

<표 5-16> 긴장도 지표(Strain Index, SI)

등급	작업강도	매회당 긴장 시간 백분율(%)	분당 횟수 (회)	손·손목 자세	작업속도	하루 작업 시간(시간)
1	가벼움 (1.0)	< 10 (0.5)	≤4 (0.5)	아주 좋음 (1.0)	아주 느림 (1.0)	< 1 (0.25)
2	약간 힘들 (3.0)	10~29 (1.0)	5~8 (1.0)	좋음 (1.0)	느림 (1.0)	1~2 (0.5)
3	힘들 (6.0)	30~49 (1.5)	9~14 (1.5)	보통 (1.5)	보통 (1.0)	2~4 (0.75)
4	아주 힘들 (9.0)	50~79 (2.0)	15~19 (2.0)	나쁨 (2.0)	빠름 (1.5)	4~8 (1.0)
5	한계치에 가까움 (13.0)	≥ 80 (3.0)	≥ 20 (3.0)	아주 나쁨 (3.0)	아주 빠름 (2.0)	> 8 (1.5)

(8) 최종적인 결과를 해석

- ① SI < 3 : 안전한 작업으로 평가(safe)
- ② 3<SI<5 : 불확실한 작업으로 평가(uncertain)
- ③ 5≤SI<7 : 상체 부위의 근골격계질환에 노출될 가능성이 있는 작업으로 평가(some risk)
- ④ SI ≥ 7 : 상체 부위의 근골격계질환의 발병 가능성이 매우 큰 위험한 작업으로 평가 (hazardous)

3. NIOSH의 들기작업 평가

- 들기작업의 빈도수, 운반거리(수직, 수평), 상태의 뒤틀림 각도, 중량물의 부피, 손잡이의 형태 등과 같은 여러 작업요인에 근거, 가장 안전하게 취급할 수 있는 권고 기준(RWL)을 계산함.

① 권고기준(RWL) 계산과정

- $RWL = LC \times HM \times VM \times DM \times FM \times AM \times CM$

<표 5-17> 각각의 변수를 계산하는 공식

변수	계산방법
LC(중량물 상수)	23kg
HM(수평 위치값)	25/H
VM(수직 위치값)	$1 - 0.003 \times V - 75 $
DM(운반 거리값)	$0.82 + 4.5/D$
FM(들기작업빈도)	<표 5-18>에서 구함
AM(허리비틀림각도)	$1 - 0.0032 \times A$
CM(손잡이의 적절성)	<표 5-19>에서 구함

(1) 중량물 상수(LC) - 항상 23kg

(2) 수평 위치값(HM)

$HM = 25/H$ (H : 몸의 수직선상의 중심에서 물체를 잡는 손 중앙까지의 수평거리, cm)

(3) 수직 위치값(VM)

$VM = 1 - 0.003 \times |V - 75|$ (V : 바닥에서부터 물건을 잡는 손의 중앙까지의 수직거리, cm)

(4) 운반 거리값(DM)

$DM = 0.82 + 4.5/D$

여기서, D = 최종운반위치의 수직거리(V_0) - 최초 위치의 수직거리(V_0), cm

(5) 들기작업 빈도(FM)

- 1분에 중량물을 들어올리는 횟수, 물체와의 수직거리(V), 그리고 작업시간을 기준으로 <표 5-18>에서 구함

(6) 허리 비틀림 각도(AM)

AM = 1-0.0032 × A (A: 허리비틀림 각도, 반드시 0~135° 사이의 값이어야 함)

(7) 손잡이의 적절성 (CM)

- 손잡이 상태와 수직거리(V)에 따라 <표 5-19>에서 구함

㉑ 들기지수 계산과정

- 추천하중이 구해지면, 실제 취급하는 하중을 이용하여 들기지수(LI) 계산

• 들기지수 (LI) = $\frac{\text{현재취급하중}}{\text{추천하중}(RWL)}$

- LI < 1 : 안전

- LI ≥ 1 : 위험, 작업내용의 재설계 필요

5.4 근골격계질환을 예방하기 위한 조치

- 1990년 : 국내 근골격계질환에 대한 산업보건 관리책임이 사업주에게 법적으로 부여되기 시작
- 권고수준이기 때문에 현장에서 자발적인 예방관리를 위한 제도적 장치로서 많은 한계점
- 2000년대 근골격계질환자가 급증하는 등 사회문제 심화되자 정부에서는 산업안전보건법을 개정(2002)하면서 법 24조 ‘단순반복 또는 인체에 과도한 부담을 주는 작업에 의한 건강장해 예방조치 사항’을 추가함.
⇒ 근골격계질환에 대한 사업주의 예방의무가 법제화

Chap. 6 생물학적 유해인자

6.1 생물학적 유해인자의 정의

- ▶ 사람이 아닌 살아 있거나 죽은 유기체 그 자체와 이들로부터 떨어져 나오는(배출하는) 파편, 배설물, 독소, 휘발성 화합물 등을 말함. - 유기체가 근원이 되어 발생
- 유기체 생물학적 유해인자 - 곰팡이, 박테리아, 바이러스, 집진드기, 바퀴벌레, 원생동물 등
- 유기체로부터 나오는 생물학적 부분 - 애완용 동물의 털, 피부, 타액, 배설물, 유관속 식물 꽃가루
- 유기체가 방출하는 독소 - 엔도톡신(내독소, 그람음성박테리아), 마이코톡신(곰팡이 대사 부산물) 등
- 휘발성 유기화합물 - 미생물이 유기물분해시 발생하는 분해가스
- ▶ 바이오에어로졸 : 생물학적 유해인자 중에서 고체 형태(유기체 자체, 생물학적 부분)

1. 바이오에어로졸

- 생물학적 특성이 있는(살아 있거나 죽은 생물체가 근원인) 고체나 액체가 공기 중에 존재하는 상태.
- 곰팡이, 박테리아, 바이러스, 애완용 동물에서 나오는 가죽, 털, 피부 등, 고양이 타액, 진드기, 바퀴벌레, 꽃가루 등

2. 곰팡이

① 생물학적 정의

(1) 정의 : 핵막으로 둘러싸인 진짜 핵을 가지고 있는 진핵생물

(2) 번식 및 서식처

- 포자(흄씨)를 형성하고 무성적으로 번식함
- 단독으로 발아하여 새 개체가 되고, 주로 나무, 종이, 카펫, 음식 등에서 쉽게 번식함.
- 실내에 지나친 습기 등이 있을 때 쉽게 번식

(3) 제거방법

- 곰팡이, 곰팡이포자의 간단한 제거법은 없으며, 습기 관리가 성장 억제의 유일한 방법

② 생존특성

(1) 곰팡이의 영양원

- 모든 곰팡이는 외부로부터 영양원이 공급되어야 생존할 수 있는 종속영양생물임.
- 실내환경에 곰팡이 영양원(탄소를 함유한 근원)이 다량 존재
 - 벽지, 종이, 직물류(다당류), 동물피부의 케라틴(단백질), 나무의 목질소 리그닌(방향족 중합체)
- 셀룰라아제, 프로테아제, 리그나나아제와 같은 복잡한 유기화합물을 글루코오스로 분해·흡수하면서 생존함

(2) 곰팡이 번식에 영향을 미치는 요소 : 습기가 있으면 생존 가능성은 매우 큼

- 지하실, 축축한 곳, 물이 새거나 침범했던 곳, 실내외 온도차에 이슬이 맺히는 창가, 화장실 등

3. 박테리아 : 세균

① 생물학적 정의

- 핵산(DNA)이 막으로 둘러싸이지 않고 분자상태로 세포질 내에 존재하고, 미토콘드리아 등의 구조체가 없음.
- 몸이 하나의 세포로 이루어진 가장 작고 하등한 미생물, 크기는 1~5 μ m이며, 형태는 매우 작은 '구'로서 원형, 막대형, 구부러진 막대형, 가지친 사상형 등이 있음.

② 생존특성

- 염록소가 없어 광합성을 할 수 없고, 땅속, 물속, 공기 속, 동물의 표면이나 몸속, 식물의 표면 등 실내외 어느 곳이나 양분이 있으면 기생하여 생존

(1) 호기성 세균과 혐기성 세균

- 호기성세균 : 산소를 필요로 하는 세균
- 혐기성세균 : 산소 없이도 살 수 있는 세균

(2) 번식

- 일반적으로 실내가 실외보다 박테리아 농도가 높음
- 실내의 가습기, 공기공급시설, 냉방기, 음식물 등,
- 정체된 곳에 보관된 물이나 순환수를 사용하는 곳에서 잘 번식

6.2 건강상 영향

- 곰팡이와 박테리아가 초래하는 건강상 장애 : 감염성 질환, 과민성 질환, 독소, 휘발성 유기화합물

1. 감염성 질환

① 감염

- 생물학적 유해인자가 숙주인 인체 내로 들어와 번식함으로써 질병을 초래하는 것.

② 박테리아 감염

- 오염된 음식을 먹거나, 호흡분비물, 배설물에 접촉, 이물체나 동물을 매개로 한 접촉 등 다양한 경로로 감염되며, 호흡기를 통한 감염이 일반적
- 탄저병, 레지오넬라병, 결핵, 콜레라 등

(1) 탄저병

- 탄저균에 감염된 동물이나 오염된 물품에 접촉, 공중의 탄저균 포자 흡입 등으로 전파되는 세균 감염에 의한 질병
- 탄저균 : 크기가 큰(1~1.5×4~10 μ m) 그람양성간균. 아포를 형성하는 호기성균
- 비교적 열에 대한 저항력이 강함
 - 아포는 습열에서 100℃, 2~5분 파괴, 건열 150℃ 30~60분간 견딤
 - 10% 포르말린 15분 처리시 사멸
- 초식동물의 경우 탄저균에 오염된 풀, 사료에 의해 감염, 동물간의 접촉 감염은 드뭄
- 사람의 경우 동물로부터 피부감염이 대부분, 경구 또는 흡입에 의해 감염, 드물게 이환된 동물의 고기로부터 감염되기도 함.
- 탄저병 포자는 생물학 전쟁시 효과적인 무기가 될 수 있음.

(2) 레지오넬라병

- 레지오넬라 박테리아 감염으로 인한 폐질환
- 빌딩의 냉각탑, 증발응축기, 샤워꼭지, 슈퍼마켓의 채소/미스트 등 오염된 물에서 주로 번식한 후 공기공급시설을 통해 공기 중으로 발산함.

- 그람음성 호기성 병원균, 크기는 0.5~1.0 μm , 약간 큰 것은 1.0~3.0 μm
- 30~54 $^{\circ}\text{C}$ 가 최적 성장온도, 71 $^{\circ}\text{C}$ 이상에서 성장 억제
- 장내세균에 비해 염소에 저항성, 3가 철이온 존재시 성장 촉진
- 주로 물에서 발견되고 비말분무가 감염의 주원인
 - ⇒ 감염된 냉각수, 수돗물, 분무기 물 등의 미스트가 공기중으로 분사된 후 호흡기를 통해서 흡수
 - ⇒ 여름철, 오염된 냉각수 냉각탑에서 공조시설을 통해서 실내 유입
- 환자와의 직접 접촉을 통해서도 감염
- 2~10일의 잠복기, 초기에는 두통, 열, 오한, 근육통, 흉통 등을 수반하는 독감 증상으로 시작, 폐렴 증상을 나타내고 급속히 악화되어 사망에 이르는 경우도 있음.
 - 다른 현상으로 구토, 설사 등의 소화기계통의 증상, 두통, 기침, 타액분비, 경미한 용혈증상, 신장손상, 정신질환 야기

2. 과민성질환

- 특정 면역반응을 자극하는 항원에 노출되었을 때 발생함.
- 인체의 면역체계가 생물학적 유해인자를 인체와는 다른 제거해야 할 항원으로 인식하여 지나치게 과민하게 반응함으로써 발생함.
 - 비염, 부비동염(부비강염), 천식, 과민성폐렴 등

3. 독소에 의한 질환

① 마이코톡신

- 곰팡이가 유기물을 분해할 때 내놓는 분해산물
- 곰팡이 종에 따라 독소가 다르며 암 초래(누룩곰팡이가 내놓은 아플라톡신B₁ 간암초래)
- 마이코톡신생성 곰팡이 : 일반환경에 거의 없고 농산물, 곡물저장소, 목재칩, 퇴비집적소 등 발견됨.
- 포자에 오염된 음식의 섭취 및 취급, 포자가 호흡기를 통해 흡수
 - ⇒ 주요 건강상 영향 : 점막자극, 피부발진, 어지럼, 졸림, 면역억제, 기형아 출산 등

② 글루칸

- 곰팡이의 세포벽
- 엔도톡신처럼 호흡기점막 자극하여 건물증후군 원인인자로 기여함.

③ 엔도톡신(내독소)

- 그람음성박테리아가 죽을때나 번식할 때 내놓는 독소임. 그람음성박테리아 외벽인 지질 다당류의 주성분임.
- 낮은 농도 노출 : 점막 자극, 발열, 오한
- 높은 농도 노출 : 천식, 기도와 폐포염증, 폐기능장해

④ 휘발성 유기화합물(MVOC)

- 곰팡이 및 박테리아 : 기질을 분해시 휘발성 화합물 발생, 매우 불쾌하고 특징적 냄새
- VOC 노출은 건물증후군과 연관있는 것으로 알려져 있지만 직접적으로 특정 건강상 영향을 초래한다는 증거는 없음.
- 높은 농도의 VOC노출은 점막 자극
 - 일반적으로 실내 환경에서 높은 농도까지 발생되지 않음.
- 두통, 주의산만, 집중력 부족, 어지럼 등 중추신경계에 영향

6.3 측정 및 분석

- ▶ 미생물을 살아 있는 채로 채취해서 성장시킨 다음 미생물의 수나 종을 알아내는 것

1. 측정방법

- 공기 중의 박테리아와 곰팡이를 살아 있는 상태로 채취하여 측정
- 필터에 의한 여과법, 배지에 공기를 충돌시키는 방법, 임핀저를 이용하는 방법 등

① 필터를 이용한 방법

- 고체상의 박테리아와 곰팡이를 필터로 채취하는 것
- 채취여재 : 공극구멍 $0.4\mu\text{m}$, 지름 37mm 막여과지 사용, 채취유량 : 2L/분 정도
- 장점 : 개인채취 가능, 일반적인 문제점 파악시 편리, 희석 가능, 곰팡이와 박테리아를 한꺼번에 채취할 수 있어 많이 이용됨
- 단점 : 필터에 채취된 곰팡이와 박테리아가 공기와의 지속적인 접촉으로 활성 저하 및 죽는 경우가 있어 과소평가됨. 건강상 장애를 줄 수 있는 죽은 미생물은 채취되지 않음

② 충돌기를 이용한 방법

- 배지를 충돌기에 장착하고 28.3L/분으로 공기 중의 박테리아와 곰팡이를 배지에 충돌시켜 채취
- 채취시간 설정 : 사무실(5~15분), 농도가 높은 환경(5분 이내)
- 배지는 채취하고자 하는 미생물에 따라 종류를 달리해야 함.
- 장점 : 미생물 크기별로 채취가능, 배지를 직접 이용하므로 편리
- 단점 : 장시간 채취불가, 개인시료 채취 불가, 배지에 직접 채취되므로 희석불가, 죽은 미생물 채취 되지 않음.

2. 분석방법

- 채취된 공기용량당 미생물의 집락(colony, 혹은 군체)수를 세는 것이 가장 기본적인 분석
- 미생물의 집락 : CFU(Colony Forming Unit)로 나타내며, 배지에서 성장한 집락수 의미

6.4 평가

1. 노출기준 설정의 어려움

▶ 노출기준을 설정하지 못한 이유

- ① 곰팡이와 박테리아의 경우 채취, 배양, 분석(계수)이 가능한 생물학적 유해인자만을 근거로 노출기준을 설정하는 것은 문제가 있음.
 - 채취, 배양이 어렵거나 불가능한 인자(혐기성 미생물, 바이러스 등)에 의한 건강 영향 고려 불가
 - 채취되는 모든 생물학적 유해인자를 특성에 따라 적정하게 배양, 분석하는 것은 거의 불가능
- ② 생물학적 유해인자의 구성성분, 농도는 노출환경에 따라 크게 다른데도 불구하고 짧은 시간 동안 측정된 순간 채취에 의한 결과가 대부분임.
- ③ 생물학적 유해인자의 노출농도와 건강상 영향의 관계가 통계적으로 유의하지 않은 경우가 많기 때문
- ④ 생물학적 유해인자에 대한 공인된 측정방법이 아직 없거나 분석 가능한 항목도 적어 노출기준의 설정을 위한 자료가 부족
- ⑤ 생물학적 유해인자에 대한 사람의 반응은 노출조건이나 개인의 감수성에 따라 무해한 경우에서부터 매우 치명적이고 또는 질병이 걸리는 상황까지 다양
- ⑥ 생물학적 유해인자에 대한 대부분의 측정이 실제 호흡기노출을 추정할 수 있는 개인 시료채취가 아니라 지역이나 벌크시료에 의한 측정결과이기 때문.

- 불만을 호소한 환경과 그렇지 않은 환경, 최악의 상황을 고려한 환경과 평상시의 환경, 개선 전과 후의 환경변화 등 상대적인 농도의 차이로 평가

(3) 지표 종(indicator species)의 발견

- 지표 곰팡이 등의 존재여부에 따라 ‘지나친 습기가 있다’, ‘건강상 위험이 있다’ 등을 판단
- 곰팡이 종을 동정하고 실내와 실외의 우점종 규명

(4) 불검출 자료

- 생물학적 유해인자나 오염된 상태를 발견하지 못했다고 해서 존재하지 않는다거나 노출과 위험이 없다고 할 수는 없음
 - 측정시간이 짧다거나, 분석방법의 어려움 등으로 인함

Chap. 7 노출기준

7.1 노출기준에 대한 기본적인 개념

1. 노출기준의 정의와 의미

- 미국정부산업위생전문가협회(ACGIH)의 정의
“노출기준(TLV)은 거의 모든 근로자가 건강상 장애를 받지 않고 매일 반복하여 노출될 수 있는 공기 중 유해물질의 농도 또는 물리적 인자의 강도이다.”
- 노출기준의 중요한 의미는 노출기준이 모든 근로자를 보호할 수 없다는 것임.
 - 개개인의 감수성, 건강상태, 습관 등 에 따라 노출기준 이하에서도 건강상 장애 초래
- 노출기준은 유해인자의 노출을 줄이기 위한 권고치, 참고치로서 이용되어야 함
 - 공기 중 농도 혹은 강도는 가능하면 낮추는 것이 바람직

2. 건강상 장애를 예방하기 위한 노출기준

- 노출기준 설정 : 유해인자의 노출로 인한 건강상 장애를 예방
- 노출기준의 불완전 요인 : 모든 근로자를 보호할 수는 없음
 - 대부분 동물실험을 통한 2차 근거로 설정
 - 노출기준 이하에서도 건강상 장애 밝혀짐(석면, 벤젠, 납, 염화비닐 등)

<표 7-1> 노출기준별 제안기관(단체)과 활용 특성

노출기준의 형태	제안기구	법적 제한 여부
PEL	미국 OSHA	Yes
REL	미국 NIOSH	No
TLV	미국 ACGIH	No
WEEL	미국 AIHA	No
MAK	독일 GCIHHCC	No
WEL	영국 HSE	Yes
OEL	일본 JSOH	No
CL	일본 노동성	Yes

• ACGIH의 TLV • NIOSH의 REL • AIHA의 WEEL • 독일의 MAK

3. 법적 노출기준

- 많은 나라들에서 ACGIH의 TLV값을 법적 기준으로 활용
- 각 국가에서는 건강보호와 함께 사업장의 경제적인 활동도 고려해야 하는 행정적인 입장을 가지고 있으므로 유해인자 노출기준 설정시 물질별 우선순위 결정
- 건강상 장해를 예방하기 위한 노출기준을 기초로 국가의 여건에 맞는 여러 상황을 고려하여 설정

7.2 노출기준의 종류 - 화학물질에 대한 기준

1. 시간가중평균 노출기준 (Time-Weighted Average, TWA-TLV)

- 하루 8시간 주 40시간동안에 노출되는 평균농도를 말함
- 만성적인 노출을 평가하기 위한 기준

2. 단시간 노출기준(Short-Term Exposure Limit, STEL-TLV)

- 급성독성물질 : 단시간 노출되더라도 심각한 건강장해를 초래
- 급성독성물질이나 독작용을 빠르게 나타내는 화학물질에 대해 단시간(15분) 노출로 야기될 수 있는 건강상의 장해를 예방하기 위한 기준
- 작업시간동안 어느 경우라도 초과되지 않아야 할 15분 시간가중평균 노출기준.
- STEL 은 초과하지만 TWA를 초과하는 농도 검출시
 - TWA와 STEL 사이의 농도는 최소 60분 이상 간격으로 하루에 4회 이상 검출되어서는 안됨

▶ 급성독성을 야기하는 물질인 경우 노출기준 : TWA와 STEL

3. 천장값 노출기준(Ceiling, C-TLV)

- 작업시간 동안 어느 경우라도 초과되어서는 안되는 기준
- 노출기준에 초과되었을 때 즉각적으로 비가역적인 반응이 나타나는 물질인 경우에 적용되는 기준.
- 매우 짧은 시간에 노출 측정하기가 어려움

4. 노출기준 상한치(excursion limits)

- STEL이 없는 만성독성물질의 고농도 노출로 인한 건강상 장애를 예방하기 위한 노출 기준 상한치
- TWA 기준을 초과하지 않을 경우
 - TWA의 3배 이상의 농도에서 30분 이상 동안 노출되어서는 안됨
 - TWA의 5배 이상은 어느 경우라도 노출되어서는 안됨

7.3 노출기준의 설정방법

1.이론적인 배경

① 화학구조의 유사성

- 화학구조가 유사한 다른 물질의 독성으로 해당물질의 독성을 간주하여 노출기준 설정
- 가장 기초적 단계로 직접적인 근거자료(동물실험자료, 역학조사자료)가 없을 때 이용
- 화학물질의 물리적 특성인 지질용해도, 물에 대한 용해도, 증기압, 냄새역치 등을 종합적으로 고려
- 화학구조의 유사성에 따라 위해성이 비슷하다는 가정에 의한 노출기준의 설정은 위험

② 동물실험 자료

- ACGIH : 1968 설정된 화학물질 노출기준 중 약 30%
- 동물실험에서는 경구독성, 경피독성, 피부와 눈의 자극인 흡입독성에 대한 기초독성 결과를 구함
- LD₅₀, LC₅₀ : 실험동물 대상의 50%가 죽은 치사량, 농도
- NOEL(No Observed Effect Level) : 무관찰작용량, 이 양을 투여하더라도 치사, 발병 등 생리학적 변화가 투여 전기간에 걸쳐 모든 대상동물에게 관찰되지 않는 양
- 한계점
 - 동물실험 자료를 사람에게 외삽했을 때 중간 차이에서의 불확실성 고려할 수 없음
 - 동물실험은 사업장에서 근로자들이 노출되는 상황과 다름
 - 조그만 공간에서의 실험으로 동물의 물리적인 활동은 극히 최소한, 폐활량이 작음
 - 흡입독성실험 노출 농도는 일정하나, 근로자들은 일하는 동안 서로 다른 농도에 노출

③ 사업장 역학조사 자료

- 노출기준 설정을 위해 인간을 의도적으로 실험하는 경우는 거의 없음
- 사업장에서의 건강상 장애와 유해인자 노출의 관계를 규명하는 역학조사자료
 - 화학구조의 유사성, 동물실험자료보다 노출기준의 설정에 신뢰성을 가질 수 있음
- 그러나, 사업장 역학조사자료에 의한 노출기준도 완벽한 기준이 될 수 없음.
 - 노출 조건을 인위적으로 조정해서 나온 결과가 아님(다양한 노출설정 불가)
 - 분석기술이나 진단기술의 발달로 노출기준 설정에 이용되었던 반응 이외의 것이 건강상 장애로 발견 될 수 있음.
- 노출 기준은 또 다른 노출조건이나 새로운 역학조사자료, 사실에 의해 낮아질 수 있음
 - ⇒ 노출기준에 상관없이 유해인자에 대한 노출을 가능하면 줄여야 함

2. 노출기준과 양-반응관계곡선

① 양과 반응의 의미

- 양(dose) - 노출된 유해인자의 양
 - 동물실험 : 실험에 투입된 양, 역학조사 : 유해인자에 노출된 양
 - ‘개인시료에서 추정된 노출농도 × 시간’
- 반응(response) : 노출된 유해인자의 양에 따라 대상자가 나타내는 생리적, 독성적, 의학적인 변화 - 사망이나 암의 발생, 호르몬의 변화

② 양-반응관계곡선

(1) 독성물질거동학과 독성물질동태학

- 노출기준 - 인체 내로 화학물질이 흡수, 대사, 배설되는 양상을 적절히 나타내야 함
- 독성물질거동학 (toxicodynamics)
 - 사람의 어떤 조직이 어떤 수준에서 영향을 받는지 결정
 - 양-반응관계로부터 결정, 안전한 노출기준 제공
- 독성물질동태학 (toxicokinetics)
 - 화학물질이 인체내로 얼마나 빠르게 흡수되고 배설되는지, 그리고 모니터빈도에 대한 정보 제공
- 독성물질거동학 : 양-반응관계 곡선 유도 , 노출기준 결정

(2) 양-반응관계곡선

- 기관장애의 3단계 : 항상성유지단계 → 보상단계 → 고장단계
 - ① 항상성유지단계 : 유해인자 노출에 대하여 적응할 수 있는 단계
 - ② 보상단계 : 인체가 가지고 있는 방어기전에 의해서 유해인자를 제거하여 기능장해를 방지할 수 있는 단계
 - ③ 고장단계 : 보상단계를 넘어 과다한 노출로 인해 기관이 파괴되어 질병이 시작되는 단계
- 보상단계를 넘어서면 인체의 기능장해가 매우 빨리 일어남
- 노출기준의 설정은 보상단계에서 결정
 - ⇒ 건강에 장해를 주지 않고 노출될 수 있는 적절한 수준의 노출기준을 아는 것이 중요

3. 공기 중 노출기준의 설정

① 동물실험자료의 외삽

- ① 동물실험에서 얻어진 ‘무관찰작용량(NOEL)을 인간에 대한 노출위험으로 직접 외삽
 - 암을 유발하지 않는 물질 : 건강에 장해를 예방하는 역치가 존재한다고 가정
- ② 암 유발물질과 관련된 위험 평가에 사용, “규명할 수 있는 역치가 없다.”
 - 어떤 노출도 위험을 포함

② 인간에게 안전하다고 여겨지는 양 (Safe Human Dose, SHD) 계산

$$SHD = \frac{ThD(mg/kg/일) \times 70(kg)}{SF} (mg/일)$$

ThD : 실험된 동물종에서 역치로서 일반적으로 NOEL

70kg : 인간의 평균체중

SF : 안전계수, 외삽에 따른 위험성을 고려하기 위한 것으로 동물실험자료의 유용성, 인간에 대한 적용자료의 존재 유무에 따라 10에서 1000사이로 정해짐.

③ 공기 중 노출기준(C)의 계산

$$\bullet \text{SHD} = \text{C} \times \text{T} \times \text{V} \times \text{R}(\text{mg/일})$$

SHD : 인간에게 안전하다고 여겨지는 양으로 안전계수와 체중이 고려된 것 (mg/일)

C : 공기중 유해물질농도(mg/m³)

V : 호흡률(m³/시간), 폐환기율은 작업강도에 따라 달라짐.

R : 체내 잔류율, 보통 1.0

⇒ 위 식을 이용 공기중의 농도(C, mg/m³) 구함

- 이렇게 설정된 노출기준은 여러 가지 한계점을 가지므로 안전과 경계를 구분하는 절대치가 될수 없으므로 적용시 주의

7.4 노출기준 사용상 주의사항

1. 피부흡수에 대한 주의

- 유기화합물 : 피부를 통해서 혈류로 흡수
- 노출기준에 'skin' 표시 : 피부를 통해 흡수되는 화학물질
⇒ 호흡기 뿐만 아니라 피부를 통해서도 흡수될 수 있어 노출을 평가시 고려
- 피부를 통한 화학물질의 흡수도의 평가는 매우 어려움
⇒피부의 화학물질 양을 측정하는 방법도 보편화되지 않고, 적절한 노출기준도 없음

2. 혼합물질의 노출에 대한 적용

- 노출기준은 단일물질에 적용하나 실제 근로자는 여러 유해인자에 동시에 노출됨
⇒ 복합적인 노출에 의한 건강상 영향은 알려진 정보가 거의 없음

① 상가작용(additive effect) : 2+3 = 5

- 복합적으로 노출되는 물질이 동일한 조직이나 기관에 동일한 영향을 나타내는 경우로서 각 물질의 독성의 합
- 복합노출지수(EI) 계산
$$EI = C_1/T_1 + C_2/T_2 + \dots + C_n/T_n$$

C_n : 상가작용을 일으키는 각각의 화학물질의 농도
 T_n : 각 화학물질의 노출기준
- $EI > 1$ 노출기준 초과, $EI < 1$ 노출기준 미만

② 상승작용(synergistics) : 2+3 ⇒ 20

- 2가지 물질의 상승작용에 의한 독성이 각각의 합보다 훨씬 커지는 것
- 흡연자가 석면에 노출되었을 때 흡연과 석면의 상승작용으로 폐암에 대한 영향이 커짐

③ 잠재작용(potentiation) : 2+0 ⇒ 10

- 영향을 나타내지 않는 물질이 다른 물질과 복합적으로 노출되면 그 독성이 커지는 것
- 이소프로필은 간에 독성을 나타내지 않지만, 사염화탄소와 동시에 노출되었을 경우 사염화탄소의 간에 대한 단일노출시 보다 독성이 더 큼

4] 길항작용(antagonism) : 2+3 ⇒ 1

- 두 가지 화학물질이 함께 있을 때 서로의 작용을 방해하는 것.

3. 비정상 작업시간의 보정

- 공기중 노출기준 : 근로자가 하루 8시간, 일주일에 40시간 근무한다는 가정에 기초
⇒ 초과근무시 근무시간에 따라 노출기준도 달라져야 함(낮아져야 함)
⇒ 노출기준에 보정계수(RF)를 곱해줌

- OSHA : $RF = \frac{8}{H}$

- Brief & Scala : $RF = \frac{8}{H} \times \frac{24-H}{16}$

여기서, H : 비정상적인 작업시간 8 : 하루 근로시간 16 : 휴식시간

4. 기타 주의사항(노출기준 적용시 주의사항)

- ① 대기오염평가 및 관리에 적용될 수 없음
- ② 기존의 질병이나 육체적 조건을 판단하기 위한 척도로 사용될 수 없음
- ③ 미국과 작업조건이 다른나라에서는 그대로 적용할 수 없음
- ④ 안전과 위험을 정확히 구분하는 경계선이 아님
- ⑤ 독성 강도를 비교할 수 있는 지표가 아님
- ⑥ 반드시 경험 있는 산업위생 전문가에 의해 적용되어야 함

7.5 우리나라의 노출기준

(1) 화학물질

- 노출기준이 정해진 698종의 화학물질 중 189종 : 법적으로 개인노출에 대한 측정 의무화
- ACGIH의 기준을 그대로 따름

(2) 먼지 (분진)

- 총 분진과 호흡성 분진으로 구분하여 노출기준 설정
- 총 분진 : 제1종($2\text{mg}/\text{m}^3$), 제2종($5\text{mg}/\text{m}^3$), 제3종($10\text{mg}/\text{m}^3$), 석면 및 기타분진
- 호흡성 분진 : 석탄분진 등 11종을 정해서 노출기준을 설정
- 일본의 기준을 활용

(3) 물리적 유해인자

- 소음 - 소음과 충격소음에 대한 노출기준이 설정되어 있음.
 - 5dB변화율을 적용, 8시간 노출기준으로 90dB임(OSHA의 기준을 따름)
- 고온 - 측정된 WBGT와 작업강도에 따라 작업시간과 휴식시간의 비 설정(ACGIH 기준)

(4) 정해지지 않은 노출기준

- ACGIH 와 비교해서 정해지지 않은 노출기준 : 방사선, 비전리방사선, 진동, 한냉 등
 - ⇒ 근로자의 건강 보호를 위해 법적인 의무, 노출기준의 준수여부와 상관없이 근로자의 노출에 대한 위험도를 평가하여 관리할 필요가 있음.

Chap. 8 유해인자에 대한 모니터링(측정)

8.1 측정단위

1. 물리적 유해인자

- 소음 : dB
- 진동 : m/scc^2
- 이온화방사선 : mSv
- 비이온화방사선 : mT (테슬라, 자기장의 단위)
- 측정기구나 도구를 가지고 측정

2. 화학적 유해인자와 생물학적 유해인자

- 공기중의 화학적 유해인자와 생물학적 유해인자를 모니터링(측정) - 농도 측정
⇒ 일정량 공기 중에 존재하는 화학적 유해인자의 양을 알아내는 것

- ① 펌프를 이용하여 화학적 유해인자나 생물학적 유해인자들로 오염된 공기를 여재(media)로 통과시켜 여재에 채취된 유해인자들의 특성(양, 개수, 마리 등)을 알아냄
⇒ 근로자노출을 측정하기 위해서 많이 이용함.
- ② 여재에 의한 채취과정 없이 현장에서 실시간(real time)으로 측정하는 것으로 직독식 측정(direct-reading instruments) 이라고 함

▶ 농도는 여러 형태로 표현되지만 의미는 동일함.

- 공기 중의 화학물질의 양 : $\mu g/m^3$, mg/m^3 , ppm 등
- 공기 중에 존재하는 입자상물질의 양 : $\mu g/m^3$ 혹은 mg/m^3
- 공기 중에 섬유로 존재하는 석면이나 유리섬유 : 개/cc
- 공기 중에 존재하는 총 세균 수 : CFU/ m^3 (CFU : Colony Forming Unit)
- 공기 중에 존재하는 엔도톡신 (Endotoxin) 의 양 : EU/ m^3 (EU : Endotoxin Unit)

① 농도 중의 분자

- 화학물질 양 : μg , mg 등, 석면이나 유리섬유 : 개수(number), 미생물 : 집락(colony)수

② 농도 중의 분모

- 분모는 여재를 통과한 공기용량 (volume)
- 공기용량(L 혹은 m^3)은 펌프의 채취유량(L/분) 에다 채취된 시간(분)을 곱해 주면 됨.

8.2 측정의 목적에 따른 분류

- 측정하는 목적 : 노출기준과의 비교, 환경개선의 여부판단, 오염원인의 분석 등

▶ 측정대상에 따른 분류

- 개인시료 (personal sample) : 대상이 사람(근로자)일 경우, 노출되는 유해인자의 양이나 강도를 알아내기 위한 것, 다양한 목적으로 이용
- 지역시료 (area sample) : 대상이 환경일 경우, 환경농도의 분포 등을 알아보기 위한 것, 노출정도를 평가하는 목적으로 사용할 수 없음

8.3 근로자에 대한 노출량 (노출강도) 모니터링

- ▶ 유해인자에 대한 가장 바람직한 노출량 모니터링
 - ⇒ 건강에 영향을 미치는 조직이나 기관에서 흡수(결합)된 양 측정
- ▶ 화학적인 유해인자에 대한 노출 평가 - 개인시료, 생물학적 모니터링
 - 개인시료 - 근로자의 호흡기 주변에서 노출될 수 있는 화학물질을 채취(sampling)하여 분석(analyzing)하고 농도를 알아내는 것.
 - 생물학적 모니터링 - 생물학적 검체 (소변, 혈액 등)에서 노출된 화학물질이나 대사 산물을 측정하여 화학물질에 대한 노출을 추정하는 것.

1. 개인시료

① 방법

- 유해인자가 흡수되는 근로자 신체 부위에 여재 또는 감지기 등을 부착하고 그 부근에서의 양이나 강도를 측정
 - ⇒ 근로자가 직접 기구를 착용하기 때문에 실제 일하는 동안 노출되는 양이나 강도가 간접적으로 평가됨.
- 화학적 유해인자 : 호흡기 주변 30cm 이내 여재를 착용하고 채취 [그림 8-1]
- 소음 : 머리둘레 60cm 이내에 소음노출량계 부착하여 측정

② 의미

- 개인시료 노출량추정은 신체기관(조직, 세포)의 흡수된 양이 아니므로 한계점 존재
 - ① 호흡기에서만 측정하므로 다른 경로(피부, 소화기계)의 흡수는 반영 못함
 - ② 호흡기 주위의 공기량이 모두 호흡기로 흡수되어 영향을 미치는 것은 아님
- ⇒ 간접적 노출추정 방법이라는 한계점에도 불구하고 접근성, 편리성, 과학성 등에서 장점이 있어 많이 이용

③ 주의사항과 활용

- 호흡기계 노출만 판단 가능
 - ⇒ 피부, 소화기계를 통한 화학적 유해인자의 흡수는 평가(추정) 불가
- 간접적인 측정치
 - ⇒ 반드시 측정된 양이 인체에 흡수되었을 것이라고 단정할 수 없음
 - ⇒ 가능하면 다른 노출을 판단할 수 있는 결과(생물학적 모니터링에 의한 결과, 작업 환경, 작업장의 작업특성 등)와 보완적으로 이용하는 것이 바람직함

2. 생물학적 모니터링(biological monitoring of exposure)

① 방법

- 화학물질에 노출된 근로자의 생물학적 검체인 소변, 혈액, 변, 다른 인체조직이나 세포 등에서 화학물질의 내재용량(internal dose)을 측정하여 노출의 정도나 건강위험을 평가
- 생물학적 노출지수 (biological exposure indices, BEI)와 직접적으로 비교 가능

② 생물학적 노출지수의 정의 및 활용

- 생물학적 노출지수(BEI) : ACGIH, 생물학적 모니터링에 의한 화학물질의 노출 기준
⇒ 생물학적 검체의 적절한 결정인자의 측정결과를 BEI와 비교
- 생물학적 모니터링에 의한 노출평가 - 개인시료에 비해 종합적인 노출평가 (호흡기계, 소화기계, 피부 등), 직접적인 노출평가 가능
- 주의사항
 - ① 노출지수란 위험한 노출과 그렇지 않은 노출 사이의 정확한 경계는 아님
 - ② 생물학적 노출지수는 주 5일, 하루 8시간 노출 기준으로 설정, 작업시간 증가시 그대로 적용할 수는 없음
 - ③ 대기 및 수질오염, 식품오염에 대한 비직업적 노출에 대한 안전수준 결정하는 데 있어서 변환계수를 이용하거나 혹은 직접적으로 적용하여 이용해서는 안됨
 - ④ 직업병 진단, 건강장애의 진단 수단으로 사용해서는 안됨

③ 주의사항

- 타당한 결정인자를 이용 - 건강상 영향에 특이적이고 민감도를 가진 예측인자
- 시료채취시간 고려 - 반감기가 짧은 물질인 경우 시료채취시간 중요
- 선택된 생물학적 검체가 시료의 저장/운송과정에서 충분히 안정하고 분석 가능할 것
- 생물학적 모니터링 과정에서 건강상 위험이 없을 것 - 대상자에게 불편 주지 않을 것

④ 활용방법

- 근로자의 종합적인 노출 평가 가능하지만 한계점이 많음
- 화학물질에 대한 노출을 직접적으로 평가할 수 있는 결정인자를 알아내기가 어려움
- 화학물질에 대한 근로자 노출을 평가시 결정인자의 특이성/접근성 등을 고려하여 이용하고, 가능하면 개인시료에 의한 결과와도 병행, 상호보완적으로 활용

3. 개인시료와 생물학적 모니터링의 관계

- 개인시료(외부노출)와 건강상의 악영향과의 관계에서 공기중 노출기준 설정
- 생물학적 모니터링 : 내재용량과 건강상의 악영향과의 관계가 유의할 때 실용적 가치
- 외부노출과 내재용량의 상관관계를 나타내지 못하는 생물학적 노출지수는 의미 없음
- 흡수가 잘되지 않는 물질에 대한 노출 평가 : 개인시료
- 흡수가 잘되고 전신적인 영향을 나타내는 화학물질 : 생물학적 모니터링

8.4 환경 중에서의 유해인자의 모니터링

1. 방법

- 일정지역에서 유해인자의 농도나 강도를 측정하는 것.
- 화학적 유해인자 : 일정지역에서 일정시간 동안 시료 채취(지역시료)
- 물리적 유해인자(소음, 진동) : 원하는 지역에서 강도 측정

2. 주의사항과 활용

- ▶ 근로자가 아닌 대상 측정시 유해인자에 대한 근로자의 노출로 인정할 수 없음
- ▶ 다음과 같은 여러 목적으로 활용
 - 소음발생에 대한 방지대책을 수립하기 위해서 소음의 주파수 분석
 - 오염원(소음원, 진동원 등)과의 거리에 따른 유해인자의 강도나 특성의 변화 분석
 - 화학물질의 벌크시료에서의 화학물질의 성분이나 함량 파악
 - 작업공간별 유해인자의 수준과 분포 파악
 - 오염원의 근원 파악
 - 위험지역의 출입 여부 결정

8.5 화학적 유해인자에 대한 모니터링 원리

1. 입자상물질

① 채취 - 여과지로 채취

(1) 먼지

- 공기 중의 먼지를 채취시 여과지가 공기 중의 수분을 흡수하지 않아야 함
- 유리섬유여과지(GF 여과지), PVC 여과지, PTFE 여과지 등 사용

(2) 먼지 중의 금속

- 채취한 입자상물질 중 금속의 양을 알고자 할 때
- 막여과지 (MCE 여과지) 사용
 - 성분이 셀룰로오스이고 정전기적인 특성이 있음
 - 금속 분석의 전처리 과정에서 다른 여과지(PVC, GF 여과지)에 비해 산에 잘 분해

(3) 섬유(석면이나 유리섬유)

- 막여과지 (MCE 여과지) 사용 - 카세트 윗부분 제거하고 채취, 지나친 양 채취 X

② 채취원리

(1) 입자상물질이 여과지에 채취되는 작용기전 : 총먼지

- 차단, 간섭, 확산 및 관성충돌
- 차단/간섭 : 입자 크기가 커서 여과지의 면에 걸리는 것(주로 섬유상 입자상물질)
- 확산 : 입자크기가 작아 본래의 공기의 흐름에서 이탈하여 채취
- 관성 : 입자가 여과지 구멍으로 통과하는 공기의 흐름에서 본래의 방향을 유지하려고 하는 관성을 가지고 있기 때문에 충돌원리에 따라 채취(주로 입자 크기가 큰 경우)
- ※ 중력침강 : 입자상물질의 무게에 의해 채취, 난류 상태로 일어나기 힘들.

(2) 입자상물질의 크기별 채취[그림 8-7, 그림 8-8]

- 직경분립충돌기(cascade impactor) : 먼지가 여러 단계(5단계 혹은 8단계)의 충돌기를 충돌하여 통과하면서 입자 크기별로 여과되어 채취되는 것.
 - 위층에서는 큰 입자, 아래쪽으로 내려갈수록 작은 입자 채취
 - 흡입성, 흉곽성, 호흡성 입자농도를 구할 수 있음

- 사이클론(10mm Nylon cyclone) : 입자상물질을 직각으로 유도하여 선회기류(cyclone)를 만든 다음 입자의 침강속도를 이용, 무거운 먼지(호흡성 이외의 먼지)는 가라앉고 호흡성 먼지는 위로 올라가 여과지에 채취 - 호흡성먼지 만을 측정
 - 채취유량은 1.7L/분(적정한 선회기류 유도)

③ 분석

(1) 먼지의 무게분석

- 밸런스(천칭) : 필터의 채취 전후 무게차, 10 μ g 까지 잴수 있는 기기 사용

(2) 입자상물질의 성분분석

(가) 금속

- 전처리과정 : 채취된 금속화합물만 남김, 다른 물질들(여재, 기타 입자상 물질)은 강산으로 용해하여 제거
- 원자흡광광도계(Atomic Absorption spectroscopy, AA), 유도결합플라스마(Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectroscopy, ICP-AES)를 이용하여 분석

(나) 섬유

- 전처리 : 섬유만 남기고 모두 투명화 : 아세톤 사용.
- 위상차현미경으로 계수규정에 따라 섬유 계수, 석면을 동정시는 전자현미경 이용

2. 가스상물질

① 채취

(1) 고체흡착관법 - 공기중 증기와 가스 대부분 채취 [그림 8-11]

- 유리관 내에 흡착제 충전된 것
- 공기 중 가스상 물질이 흡착관내의 흡착제를 통과하면서 반데르발스결합으로 흡착
- 고체흡착제의 종류
 - 활성탄관(charcoal tube) : 비극성류(non-polarity)의 유기용제
 - 실리카겔관(silicagel tube) : 극성류(polarity)의 유기용제나 산

(2) 임핀저법(액체흡수법)

- 활성탄관이나 실리카겔에 흡착이 되지 않는 증기와 산 등 채취
- 임핀저(impinger)라고 부르는 유리관에 일정용량의 액체를 담아 가스상물질이 포함된 공기를 충돌, 채취하고자 하는 물질은 액체에 흡수되고 깨끗한 공기만 나감
- 질산, 염산, 이소시아네이트류(우레탄을 만들 때 사용함) 등 채취

② 분석

(1) 전처리

(가) 고체흡착관 : 흡착제에 흡착된 가스상물질을 적정한 용매로 추출

- 비극성가스 물질 : 이황화탄소 사용
- 고체흡착관을 깨고 일정량(보통 1mL) 용매 주입후 흔들어서 추출

(나) 임핀저법 : 분석하고자 하는 물질을 발색/이온화 또는 치환시키는 등의 과정

(2) 정량 : 보통 크로마토그래피로 분석함

- 분석하고자 하는 물질의 특성(분자량, 기화온도 등)에 따라 구분
- 가스크로마토그래피 : 이동상이 가스이며 보통 분자량이 500이하의 물질로 200℃ 이상에서 쉽게 기화가 되는 물질들의 분석
- 액체크로마토그래피 : 이동상이 액체, 기화되기 어려운 물질들의 분석에 이용

3. 공시료 준비

- 공시료(blank)는 채취하고자 하는 공기에 노출되지 않은 시료를 말함
- 시료채취시 준비, 채취, 운반, 분석 등의 과정에서 오염된 양을 보정(제거)

8.6 작업환경측정기기의 보정 : 펌프를 중심으로

1. 작업환경측정에서의 오차

- 작업환경에서 공기 중 유해물질 노출평가 : 시료채취(sampling), 측정기구의 보정 (calibration), 시료분석(analysis) 및 자료처리의 4단계가 있음.
- 아무리 정확하게 모니터링한다 해도 실제 공기 중 존재 농도와 오차발생
- 오차는 그 차이가 인정할 수 있는 임의 오차(random error)여야 하며 만약 인정할 수 없는 큰 오차일 경우 계통적인 오차(systematic error)라고 하며 반드시 원인을 파악하여 교정해야함

2. 보정을 해야 하는 이유

- 여러 오차 중 기기보정을 하지 않아서 생기는 오차는 계통적 오차로서 발생되어서는 안 됨
⇒ 측정 및 분석기구의 보정 필요
- 보정 : 이미 알고 있는 농도(값)를 이용하여 기기가 어떤 농도에 노출되었을 때 적절한 농도를 나타내도록 교정

3. 펌프(공기채취기구)의 보정

① 펌프

- 화학적 유해인자의 농도 측정 : 공기 중(분모)에 유해물질의 양(분자) 측정
- 공기채취기구(펌프)의 채취유량(L/분)과 채취시간(분)을 곱해 주면 채취된 공기량 계산
- 공기채취기구 보정 : 채취유량 보정

② 펌프를 보정하는 원리

- 1차표준기구(primary standards) : 물리적 크기(dimension)에 의해서 공간의 부피를 직접 측정 할 수 있는 기구
- 2차표준기구(secondary standards) : 1차표준기구를 이용해서 보정하는 것, 펌프에서 유량을 표시하는 로타미터, 공기중 유해물질 분석장비는 모두 2차 표준기구

③ 펌프의 유량 보정

- 비누거품미터법

4. 작업환경측정장비의 보정에 대한 일반적 이해

- 지침서에 보정방법이 모두 제시되어 있음.
- 지침서에서 추천한 시기마다 보정을 실시 정확한 농도에 반응하도록 하여야 함
- 분석장비에 대한 보정(검량선 작성이라 함)의 원리도 동일

Chap. 9 유해인자에 대한 근로자 노출평가

- 근로자 노출평가 : 유해인자에 대한 근로자 노출이 타당한 지 평가
 - 예비조사, 모니터링해야 할 유해인자의 우선결정, 모니터링, 평가, 보고서 작성
- 예비조사 : 공정, 사업장, 유해인자에 대한 특성 조사를 바탕으로 동일노출그룹(HEG) 설정
 - 동일노출그룹(HEG) : 노출되는 유해인자의 농도와 특성이 유사하거나 동일한 근로자 그룹
- 모니터링해야 할 유해인자의 우선결정 : HEG에서 뽑은 표본의 근로자를 대상으로 가장 위해도가 큰 유해인자를 결정(유해도평가)
- 모니터링 : 유해인자에 대한 노출량이 어느 정도인지 모니터링
- 평가 : 모니터링 자료의 분포에 따라 노출값의 평균과 신뢰구간을 구하여 유해인자에 대한 근로자 노출의 타당성 평가
- 보고서 작성 : 근로자 노출평가의 각 과정에 대한 내용 작성

- 출처 -

<http://cafe.daum.net/200836> 시냇물 스테디카페