

- ④ 손가락에 영향을 주는 한계온도 : 13 - 15.5℃
- (4) 피로지수 : 직장온도는 가장 우수한 피로 지수로서 38.8℃ 만 되면 기진하게 된다.
- (5) 불쾌지수
 - ① 70 이하 : 모든 사람이 불쾌를 느끼지 않음
 - ② 70 - 75 : 10명중 2 - 3 명이 불쾌감지
 - ③ 76 - 80 : 10명중 5명 이상이 불쾌감지
 - ④ 80 이상 : 모든 사람이 불쾌를 느낌

40. 조명

(1) 시식별에 영향을 주는 조건

- ① 조도
- ② 대비
- ③ 시간
- ④ 광속발산비
- ⑤ 이동(movement: 이동율이 60°/초 이상이 되면 시력이 급격히 저하됨)
- ⑥ 휘광(glare)

(2) 조도 : 물체의 표면에 도달하는 빛의 밀도

- ① foot-candle(fc) : 1축광의 점광원으로 부터 1foot 떨어진 곡면에 비추는 광의 밀도
(1 lumen/ ft^2)
- ② lux(meter-candle) : 1축광의 점광원으로 부터 1m 떨어진 곡면에 비추는 광의 밀도
(1 lumen/ m^2)
(1fc=1 lumen/ ft^2 = 10 lumen/ m^2 =10 lux)

(3) 광속발산도(luminance) : 단위면적당 표면에서 반사 또는 방출되는 빛의 양을 말하며, 이 척도를 때로는 휘도(brightness)라고도 한다.

- ① Lambert(L): 완전발산 및 반사하는 표면이 표준촛불로 1cm거리에서 조명 될때의 조도와 같은 광속발산도이다.
- ② millilambert(mL): 1L의 1/1000로 거의 1foot-Lambert에 가깝다(0.929fL)
- ③ foot-Lambert(fL): 완전발산 및 반사하는 표면이 1fc로 조명 될때의 조도와 같은 광속발산도이다.

(4) 반사율(reflectance)

- ① 반사율(%) = $\frac{\text{광속발산도(fL)}}{\text{조명(fc)}} \times 100$
- ② 옥내 최적 반사율
 - ㉠ 천정: 80 - 90 %
 - ㉡ 가구, 사무용기기, 책상: 25 - 45 %

벽, 창문 발(blind): 40 - 60 %

바닥: 20 - 40 %

(5) 광속 발산비 : 주어진 장소와 주위의 광속발산도의 비이며, 사무실 및 산업 상황에서의 추천광속발사비는 보통 3:1이다.

(6) 대비(對比) : 표적의 광속발산도(Lt)와 배경의 광속발산도(Lb)의 차를 나타내는 척도

(6) 색의 3속성 : 색상, 채도, 명도

(7) 색채 심리

① 색감 (색채의 느낌)

㉠ 적색 : 열정, 활기, 용기, 애정, 공포

황색 : 희망, 광명, 주의, 경계, 조심

㉡ 녹색 : 안심, 평화, 안전, 위안, 편안

청색 : 진정, 침착, 소원, 냉담, 소극

② 색채의 생물학적 작용

㉠ 적색은 신경에 대한 흥분작용을 가지고 조직호흡면에서 환원작용을 촉진한다.

㉡ 청색은 진정작용을 갖고 있고 조직호흡면에서 산화작용을 촉진한다.

③ 색채의 속도 : 명도가 높은색채는 빠르고 경쾌하게 느껴지고 낮은 색채는 둔하고 느리게 느껴진다. 가볍고 경쾌한 색에서 느리고 둔한색의 순서를 나타내면 다음과 같다.

∴ 백색 → 황색 → 녹색 → 등색 → 자색 → 적색 → 청색 → 흑색

④ 색채와 부피감각 : 난색계의 색이나 밝은색은 부풀어 보이며, 한색계의 색이나 어두운색은 쭈그러져 보인다. 팽창색에서 수축색으로 향하는 색의 순서를 나타내면 다음과 같다.

∴ 황색 → 등색 → 적색 → 자색 → 녹색 → 청색

43. 소음

(1) 음의 기본요소 : 음의강도 (또는 크기)와 진동수 (또는 음조)의 2가지로 구분하거나 다음의 3요소로 구분하기도 한다.

① 음의 고저

② 음의 강약

③ 음조

(2) 음의 특성

① dB수준과 음의 강도와와의 관계식

$$\therefore \text{dB수준} = 10 \log \left(\frac{I_1}{I_0} \right)$$

여기서 I_1 : 측정음의 강도

I_0 : 기준음의 강도 ($10^{-12} \text{ watt} / \text{m}^2$ 최소가청치)

② dB수준과 음압과의 관계식 : 음의강도는 음압의 제곱에 비례하므로 dB수준은 다음과 같이 한다.

여기서 P_1 : 측정하려는 음압

P_0 : 기준 음압 ($2 \times 10^{-5} \text{ N} / \text{m}^2$: 1000 Hz 에서의 최소 가청치)

③ p_1 과 p_2 의 음압을 갖는 두음의 강도차

$$\therefore \text{dB}_2 - \text{dB}_1 = 20 \log \left(\frac{p_2}{p_1} \right)$$

④ 거리에 따른 음의 강도 변화

㉠ 음의 강도와 거리: 음의 강도 (I)는 거리의 자승에 반비례한다.

$$\therefore I_2 = I_1 \left(\frac{d_1}{d_2} \right)^2$$

㉔ 음압과 거리: 음압 (P)은 거리에 반비례한다.

$$\therefore P_2 = P_1 \left(\frac{d_1}{d_2} \right)$$

$$\therefore dB_2 = dB_1 + 20 \log \left(\frac{d_1}{d_2} \right) = dB_1 - 20 \log \left(\frac{d_2}{d_1} \right)$$

(3) 음의 크기에 수준

① Phon: 1000 Hz 순음의 음압 수준(dB)을 나타낸다.

② sone: 1000 Hz, 40 dB의 음압수준을 가진 순음의 크기(= 40Phon)를 1 sone이라 한다.

③ sone과 Phon의 관계식

$$\therefore \text{sone치} = 2^{(Phon-40)/10}$$

④ 인식 소음 수준

㉑ PNdB(perceived noise level): 910 - 1090 Hz 대의 소음 음압수준

㉒ PLdB(perceived level of noise): 3150 Hz 에 중심을 둔 1/3 옥타브(octave) 대음을 기준으로 사용한다.

(4) 은폐와 복합소음

① masking(은폐)현상 : dB이 높은 음과 낮은 음이 공존할 때 낮은 음이 강한 음에 가로막혀 숨겨져 들리지 않게 되는 현상을 말한다.

② 복합소음 : 3 dB 증가한다(소음수준이 같은 2대의 기계).

(5) 소음의 허용한계

① 가청주파수 : 20 - 20000 Hz(CPS)

㉑ 20 - 500 Hz : 저진동범위

㉒ 500 - 2000 Hz : 회화범위

㉓ 2000 - 20000 Hz : 가청범위(audible range)

㉔ 20000 Hz 이상 : 불가청범위

② 가청한계: $2 \times 10^{-4} \text{ dyne/cm}^2(\text{OdB}) - 10^3 \text{ dyne/cm}^2(134 \text{ dB})$

③ 심리적 불쾌감: 40 dB 이상

④ 생리적 현상: 60 dB

(안락한계: 45 - 65 dB, 불쾌한계 65 - 120 dB)

⑤ 난청($C_5 \text{ dip}$): 90 dB(8시간)

⑥ 유해주파수(공장 소음): 4000 Hz (난청현상이 오는 주파수)

⑦ 음압과 허용노출한계

dB	90	95	100	105	110	115	120
허용노출시간	8 간	4 간	2 시간	1 시간	30 분	15 분	5-8 !

\therefore 120 dB 이상: 격리 또는 격벽설치

(6) 소음대책

① 소음원의 통제 : 기계의 적절한 설계, 적절한 정비 및 주유, 기계에 고무 받침대 부착.차량에는 소음기 사용

② 소음의 격리 : 씌우개 방, 장벽을 사용(집의 창문을 닫으면 약 10 dB 감음됨)

- ③ 차폐장치 및 흡음재료 사용
- ④ 음향처리제 사용
- ⑤ 적절한 배치(layout)
- ⑥ 방음보호구 사용 : 귀마개(이전)(2000 Hz 에서 20 dB, 4000 Hz 에서 25 dB 차음효과)
- ⑦ BGM(back ground music) : 배경음악(60 ±3 dB)

(7) 청력손실

- ① 진동수가 높아짐에 따라 심해진다.
- ② 청력손실의 2요소: 나이를 먹는 것과 현대문명의 정상적인 압박(stress)이나 비직업 적인 소음
- ③ 청력손실의 정도는 노출 소음 수준에 따라 증가한다.
- ④ 청력손실은 4000 Hz 에서 크게 나타난다.
- ⑤ 강한 소음에 대해서는 노출기간에 따라 청력 손실이 증가하지만 약한 소음은 관계가 없다.

44. 진동 및 기동중의 착각

(1) 전신 진동이 인간성능에 끼치는 영향

- ① 진동은 진폭에 비례하여 시력을 손상하며 10 - 25 Hz 의 경우 가장 심하다.
- ② 진동은 진폭에 비례하여 추적능력을 손상하며 5 Hz 이하의 낮은 진동수에서 가장 심하다.
- ③ 안정되고 정확한 근육조절을 요하는 작업은 진동에 의해서 저해된다.
- ④ 반응시간, 감시, 형태식별등 주로 중앙 신경 처리에 달린 임무는 진동의 영향을 덜 받는다.

(2) coriolis 현상 : 비행기와 함께 선회하던 조종사가 머리를 선회면 밖으로 움직이때 평형감각을 상실하는 현상

(3) 현기(방향감각 혼란)증의 변형

- ① 선회시의 상승감
- ② 급강하후 수평 비행시나 선회후의 강하감
- ③ coriolis 현상
- ④ 회전후의 역 회전감

제2장 시스템 안전공학

1. 시스템의 구성요소 및 기능

- (1) 시스템의 구성요소 : 재료, 부품, 기계설비, 일하는 사람 등
- (2) 시스템의 목적하는 기능
 - ① 정보의 전달
 - ② 물질 또는 에너지의 생산
 - ③ 사람, 물건, 에너지의 이송

2. 시스템 안전관리

- (1) 시스템 안전 : 시스템 안전을 달성하기 위해서는 시스템의 ① 계획 ② 설계 ③ 제조 ④ 운용등의 전 단계를 통해 시스템 안전관리와 시스템 안전공학을 정확히 적용시켜야 한다.
- (2) 시스템 안전관리
 - ① 시스템 안전에 필요한 사항의 동일성의 식별(identification)
 - ② 안전활동의 계획, 조직과 관리
 - ③ 다른 시스템 프로그램 영역과 조정
 - ④ 시스템 안전에 대한 목표를 유효하게 적시에 실현시키기 위한 프로그램의 해석, 검토 및 평가 등의 시스템 안전업무
- (3) 시스템 안전 프로그램 : 시스템 안전을 확보하기 위한 기본지침으로 프로그램의 작성계획에 포함되어야 할 내용은 다음과 같다.

① 계획의 개요	안전조직	계약조건
② 관련부문과의 조정	안전기준	안전해석
③ 안전성의 평가	안전데이터의 수집 및 분석	경과 및 결과의 분석

3. 시스템 안전의 달성

- (1) 시스템 안전을 달성하기 위한 안전수단

재해의 예방	피해의 최소화 및 억제
1. 위험의 소멸	1. 격리
2. 위험 레벨의 제한	2. 개인설비 보호구
3. 잠금, 조임, 인터록	3. 적은 손실의 용인
4. 페일 세이프 설계	4. 탈출 및 생존
5. 고장의 최소화	5. 구조
6. 중지 및 회복	

- (2) 시스템 안전을 달성하기 위한 시스템 안전 설계원칙

- ① 1순위 : 위험 상태 존재의 최소화(페일 세이프나 용장성등 도입)
- ② 2순위 : 안전장치의 채용
- ③ 3순위 : 경보장치의 채용
- ④ 4순위 : 특수한 수단

4. 위험성의 분류 및 FAFR

(1) 위험성의 분류

- ① Category(범주)-무시(negligible) : 인원의 손상 또는 시스템의 손상에는 이르지 않는다.
- ② Category(범주)-한계적(marginal) : 인원의 상해 또는 주요 시스템의 손해가 생기는 일 없이 배제 또는 제어할 수 있다.
- ③ Category(범주)-위험(Critical) : 인원의 상해 또는 주요 시스템의 손해가 생겨, 또는 인원이나 시스템 생존을 위해 즉시 시정조치를 필요로 한다.
- ④ Category(범주)-파국적(Catastrophic) : 인원의 사망 또는 중상, 또는 시스템의 손상을 일으킨다.

(2) FAFR(fatal accident frequency rate) : 위험도를 표시하는 단위로서 10^8 근로 시간당 사망자수를 나타낸다.

- ① Kletz 는 FAFR이 0.35 - 0.4 를 넘지 않을 것을 권고함
- ② Gibson은 위험이 동정되어 있는 경우에는 2FAFR, 그 이외의 경우에는 0.4FAFR를 위험성 수준으로 정할 것을 권장함.

5. 설비도입 및 제품 개발 단계의 안전성 평가

(1) 구성단계 : 다음의 4가지의 주요한 시스템 안전성 부분의 작업이 이루어져야 한다.

- ① 시스템 안전 계획(SSP; system safety plan)의 작성 : SSP의 내용은 다음과 같다.
 - ㉠ 안전성 관리 조직 및 다른 프로그램 기능과의 관계
 - ㉡ 시스템에 발생하는 모든 사고의 식별 및 평가를 위한 분석법의 양식
 - ㉢ 허용수준까지 최소화 또는 제거되어야 할 사고의 종류
 - ㉣ 작성되고 보존되어야 할 기록의 종류
- ② 예비위험분석(PHA; preliminary hazard analysis)의 작성
- ③ 안전성에 관한 정보 및 문서 파일의 작성 : 시스템 안전부분에서 이루어지는 모든 분석과 조치의 정확한 설명이 반드시 포함되어야 한다.
- ④ 구상 단계 정식화 회의에의 참가 : 포함되는 사고가 방침 결정과정에서 고려되기 위해 구상 정식화 회의에 참가한다.

(2) 설계단계 : 설계단계에서 이루어져야 할 시스템 안전부분의 작업은 다음과 같다.

- ① 구상 단계에서 작성된 시스템 안전 프로그램계획을 실시할 것
- ② 시스템의 설계에 반영할 안전성 설계 기준을 결정하여 발표할 것
- ③ 예비위험분석(PHA)을 시스템 안전 위험분석(SSHA; system safety hazard analysis)으로 바꾸어 완료 시킬 것
- ④ 하청업자나 대리점에 대한 사양서중에 시스템 안전성 필요사항을 정의하여 포함시킬 것
- ⑤ 시스템 안전성이 손상되지 않게 하기 위해 설계 트레이드 오프 회의에 참가할 것
- ⑥ 안전성 부분의 모든 결정 사항을 문서로 하여 현행의 정확한 시스템 안전에 관한 파일로 하여 보존할 것

(3) 제조, 조립 및 시험단계

- ① 사고를 최소화 하고 제어하기 위하여 시스템 안전성 사고 분석(SSHA)에서 지정된 전 조치의 실시를 보증하는 계통적인 감시, 확인 프로그램을 확립하여 실시할 것.

- ② 운영 안전성 분석(OSA; operational safety analysis)을 실시할 것
 - ③ 요소 및 서브시스템의 설계에 있어서 달성된 안전성이 손상되는 일이 없도록 제조, 조립 및 시험방법과 과정을 검토하고 평가할 것
 - ④ 제조 환경이 제품의 안전설계를 손상하지 않도록 산업 안전성과 협력할 것
 - ⑤ 위험한 상태를 유발할 수 있는 모든 결함에 대해서는 정보의 피드백 시스템을 확립할 것
 - ⑥ 품질보증요원이 이용할 수 있는 안전성의 검사 및 확인에 관한 시험법을 정할 것
 - ⑦ 안전성을 보증하기 위하여 일어날 수 있는 변화를 예측하고 그것에 수반되는 재설계나 변경을 개시할 것
- (4) 운용단계 : 시스템 안전성 공학의 실증과 감시의 단계로 다음 사항이 이루어져야 한다.
- ① 모든 운용, 보전 및 위급시의 절차를 평가하여 그들이 설계시에 고려된 바와 같은 타당성이 있는지의 여부를 식별할 것
 - ② 안전성이 손상되는 일이 없도록 조작장치, 사용설명서의 변경과 수정을 평가할 것
 - ③ 제조, 조립 및 시험단계에서 확립된 고장의 정보 피드백 시스템을 유지할 것
 - ④ 바람직한 운용 안전성 레벨의 유지를 보증하기 위하여 안전성 검사를 할 것
 - ⑤ 사고와 그 유발 사고를 조사하고 분석할 것
 - ⑥ 위험상태의 재발방지를 위해 적절한 개량조치를 강구할 것

6. 예비고사분석(PHA: Preliminary Hazards Analysis)

- (1) PHA : 대부분 시스템안전 프로그램에 있어서 최초단계의 분석으로 시스템 내의 위험한 요소가 얼마나 위험한 상태에 있는가를 정성적으로 평가하는 것이다.
- (2) PHA의 4가지 주요목표
- ① 시스템에 대한 모든 주요한 사고를 식별하고 대충의 말로 표시할 것.
(사고 발생 확률은 식별 초기에는 고려되지 않음)
 - ② 사고를 유발하는 요인을 식별할 것
 - ③ 사고가 발생한다고 가정하고 시스템에 생기는 결과를 식별하고 평가할 것
 - ④ 식별된 사고를 다음의 범주(category)로 분류할 것

㉠ 파국적(catastrophic)	중대(critical)
㉡ 한계적(marginal)	무시가능(negligible)

7. 결함사고(위험)분석(FHA: fault hazard analysis) : 복잡한 시스템에서는 한 계약자만으로 모든 시스템의 설계를 담당하지 않고, 몇개의 공동 계약자가 각각의 서브시스템(sub system)을 분담하고 통합계약업자가 그것을 통합하는데, FHA는 이런 경우의 서브시스템 해석 등에 사용되는 해석법이다.

8. 고장의 형과 영향 분석(FMEA: failure modes and effects analysis)

- (1) FMEA : 시스템 안전분석에 이용되는 전형적인 정성적, 귀납적 분석방법으로 시스템에 영향을 미치는 전체요소의 고장을 형별로 분석하여 그 영향을 검토하는 것이다(각 요소의 1형식 고장이 시스템의 1영향에 대응한다.)

(2) FMEA의 장점 및 단점

- ① 장점 : 서식이 간단하고 비교적 적은노력으로 특별한 훈련없이 분석을 할 수 있다.
- ② 단점 : 논리성이 부족하고 특히 각 요소간의 영향을 분석하기 어렵기 때문에 동시에 두가지 이상의 요소가 고장날 경우 분석이 곤란하며, 또한 요소가 물체로 한정되어 있기 때문에 인적원인을 분석하는데는 곤란이 있다.

(3) 고장의 영향

영 향	발 생 확 률(β)
실제의 손실	$\beta = 1.00$
예상되는 손실	$0.10 \leq \beta < 1.00$
가능한 손실	$0 < \beta < 0.10$
영향 없음	$\beta = 0$

(4) 위험성 분류의 표시

- ① category 1 --- 생명 또는 가옥의 상실 category 2 --- 작업수행의 실패
- ② category 3 --- 활동의 지연 category 4 --- 영향 없음

(5) FMEA의 표준적 실시 절차

- ① 대상 시스템의 분석
 - ㉠ 기기, 시스템의 구성 및 기능의 전반적 파악
 - ㉡ FMEA 실시를 위한 기본방침의 결정
 - ㉢ 기능 Block과 신뢰성 Block도의 작성
- ② 고장형과 그 영향의 분석(FMEA)
 - ㉠ 고장 mode의 예측과 설정
 - ㉡ 고장 원인의 상정
 - ㉢ 상위 item에의 고장 영향의 검토
 - ㉣ 고장 검지법의 검토
 - ㉤ 고장에 대한 보상법이나 대응법의 검토
 - ㉥ FMEA work sheet에의 기입
 - ㉦ 고장 등급의 평가
- ③ 치명도 해석과 개선책의 검토
 - ㉠ 치명도 해석
 - ㉡ 해석결과와 정리와 설계 개선으로의 제언

9. 위험도 분석(CA: criticality analysis)

- (1) CA : 고장이 직접 시스템의 손실과 사상에 연결되는 높은 위험도(criticality)를 가진 요소나 고장의 형태에 따른 분석법을 말한다.
- (2) 고장형의 위험도의 분류(SEA:미국자동차협회)

category I	생명의 상실로 이어질 염려가 있는 고장
category II	작업의 실패로 이어질 염려가 있는 고장
category III	운용의 지연 또는 손실로 이어질 고장
category IV	극단적인 계획 외의 관리로 이어질 고장

10. 디시전 트리와 ETA

- (1) 디시전 트리(decision tree) : 요소의 신뢰도를 이용하여 시스템의 신뢰도를 나타내는 시스템 모델의 하나로 소 귀납적이고 정량적인 분석방법이다.
- (2) ETA(event tree analysis) 사상(事象)의 안전도를 사용한 시스템의 안전도를 나타내는 시스템 모델의 하나로 소 귀납적이고 정량적인 분석방법으로 재해의 확대요인을 분석하는데 적합한 방법이다. 디시전 트리를 재해사고의 분석에 이용할 경우의 분석법을 ETA라 한다.

11. THERP(technique of human error rate prediction): 인간의 과오(human error)를 정량적으로 평가하기 위하여 개발된 기법이다.

12. MORT(management oversight and risk tree) : MORT 프로그램은 tree를 중심으로 FTA 와 같은 논리기법을 이용하여 관리, 설계, 생산, 보존 등의 광범위하게 안전을 도모하는 것으로서 고도의 안전을 도모하는 것으로서 고도의 안전을 달성하는 것을 목적으로 한 것이다.(원자력산업에 이용)

13. 운용 및 지원 위험 분석(O & SHA; operating and support hazard analysis)

- (1) O & SHA : 지정된 시스템의 모든 사용단계에서 생산, 보전, 시험, 운반, 저장, 운전, 비상 탈출, 구조, 훈련 및 폐기등에 사용되는 인원, 순서, 설비에 관하여 위험을 동정하고 제어하며 그것들의 안전 요건을 결정하기 위해 실시하는 분석법을 말한다.
- (2) O & SHA의 분석 결과 : 다음사항의 기초가 된다.
 - ① 위험성의 염려가 있는 시기와 그 기간중의 위험을 최소화하기 위해 필요한 행동의 同定
 - ② 위험을 배제하고 제어하기 위한 설계의 변경
 - ③ 안전설비, 안전장치에 대한 필요조건과 그들의 고장을 검출하기 위해 필요한 보전순서의 결정
 - ④ 운전 및 보전을 위한 경보, 주의, 특별한 순서 및 비상용 순서 결정
 - ⑤ 취급, 저장, 운반, 보전 및 개수(改修)를 위한 특정순서 결정

14. 위험 및 운전성 검토

- (1) 위험 및 운전성 검토(hazard and operability study) : 각각의 장비에 대해 잠재된 위험이나 기능저하, 운전잘못등과 전체로서의 시설에 결과적으로 미칠 수 있는 영향등을 평가하기 위해서 공정이나 설계도등에 체계적이고 비판적인 검토를 행하는 것을 말한다.
- (2) 용어의 정의
 - ① 의도(intention) : 어떤부분이 어떻게 작동될 것으로 기대된 것을 의미하는 것으로 서술적일 수도 있고 도면화 될 수도 있다.
 - ② 이상(deviations) : 의도에서 벗어난 것을 말하며 유인어를 체계적으로 적용하여 얻어진다.
 - ③ 원인(causes) : 이상이 발생한 원인을 의미한다.
 - ④ 결과(consequences) : 이상이 발생할 경우 그것에 대한 결과이다.