

Chapter 7

The Design Specification

Customer Needs vs. Design Specifications

- **고객의 요구조건**

소비자들, 또는 사회적인 용어로서의 막연한 바램

- **설계사양**

고객의 요구사항을 공학적인 용어로 정의

설계변수(design parameters)들로 구체화 됨

설계사양 = 지배변수(설계변수) + 구속조건(설계기준)

- **품질기능전개(QFD, Quality Function Deployment)**

고객요구조건과 설계변수의 상관관계행렬

제품설계 및 제조에서 항상 고객을 의식하고자 노력

동시공학을 적용한 전사적 품질관리의 일환

- **J.F. Kennedy의 요구사항**

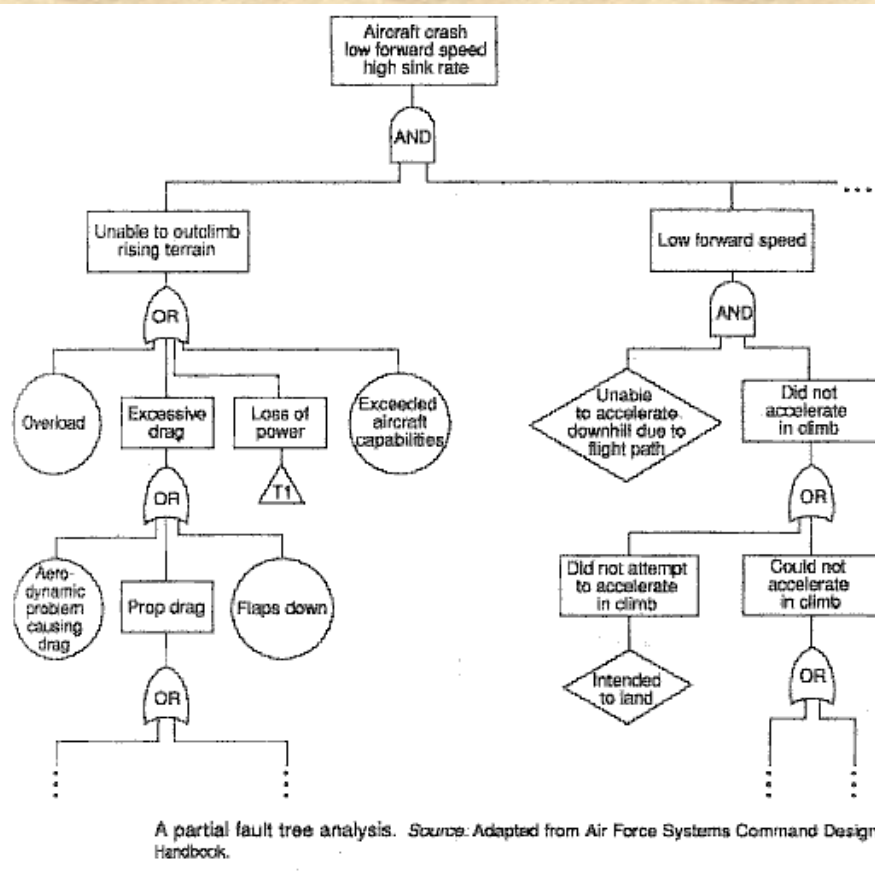
1961년 당시 향후 10년 내에 유인 우주왕복선 달성 !

Hazard(사고유발원인) 규명 ⇒ 안전도/사고의 심각도 분석

FTA(Fault Tree Analysis) ~ top-down 방식

FMEA(Failure Mode and Effects Analysis) ~ bottom-up 방식

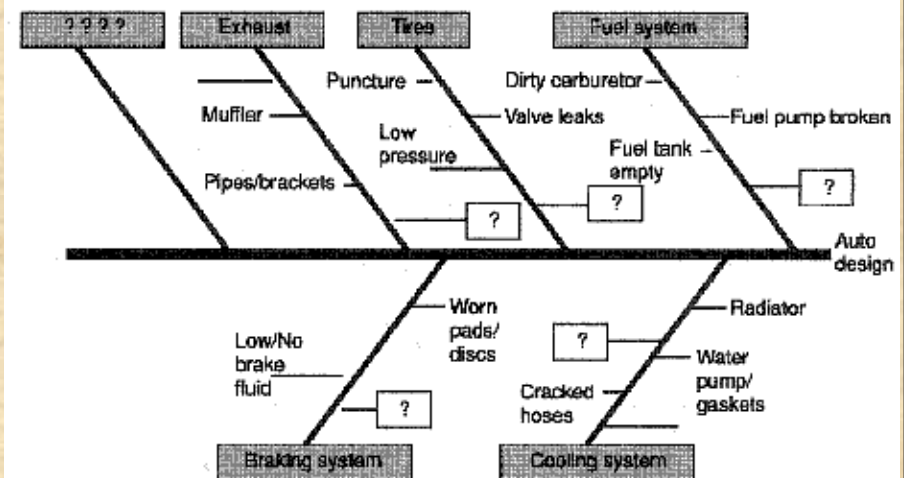
Ishikawa(Fishbone) Cause-Effect 진단도



Portion of an FMEA sheet.

Part Number	Part Name	Failure Mode	Failure Cause	Identification Method	Back-up Protection	Effect/Hazard	SFI	Notes
949	Filter	Fails to control flow of coolant	Jams	System overheats	None	Fire; Engine stops; Damage	—	Need warning signal & auto. shut-off; stop jamming!
872	Ratchet	Slips	Loose	Load slips	None	Supported load slips or released	—	Need back-up lock/support
—	—	—	—	—	—	—	—	—

Source: Adapted from Kolb and Ross, 1991.



QFD

•Some generic design parameters

Function/performance

Product cost

Delivery date

Quantity

Environmental issues

Safety

Quality

Energy consumption

Reliability

Maintenance

Mechanical loading

Size

Weight

Spatial constraints

Aesthetics

Transportation & packaging

Personnel

Service life

Noise radiation

Operating instructions

Human factors

Health issues

Government regulations

Shelf-life storage

Operating costs

Environmental conditions

Design parameters

Customer requirements

Strength of the
relationship
between customer
requirement and
design parameter

S-strong
A-average
W-weak

Customer
importance
(numerical scale)

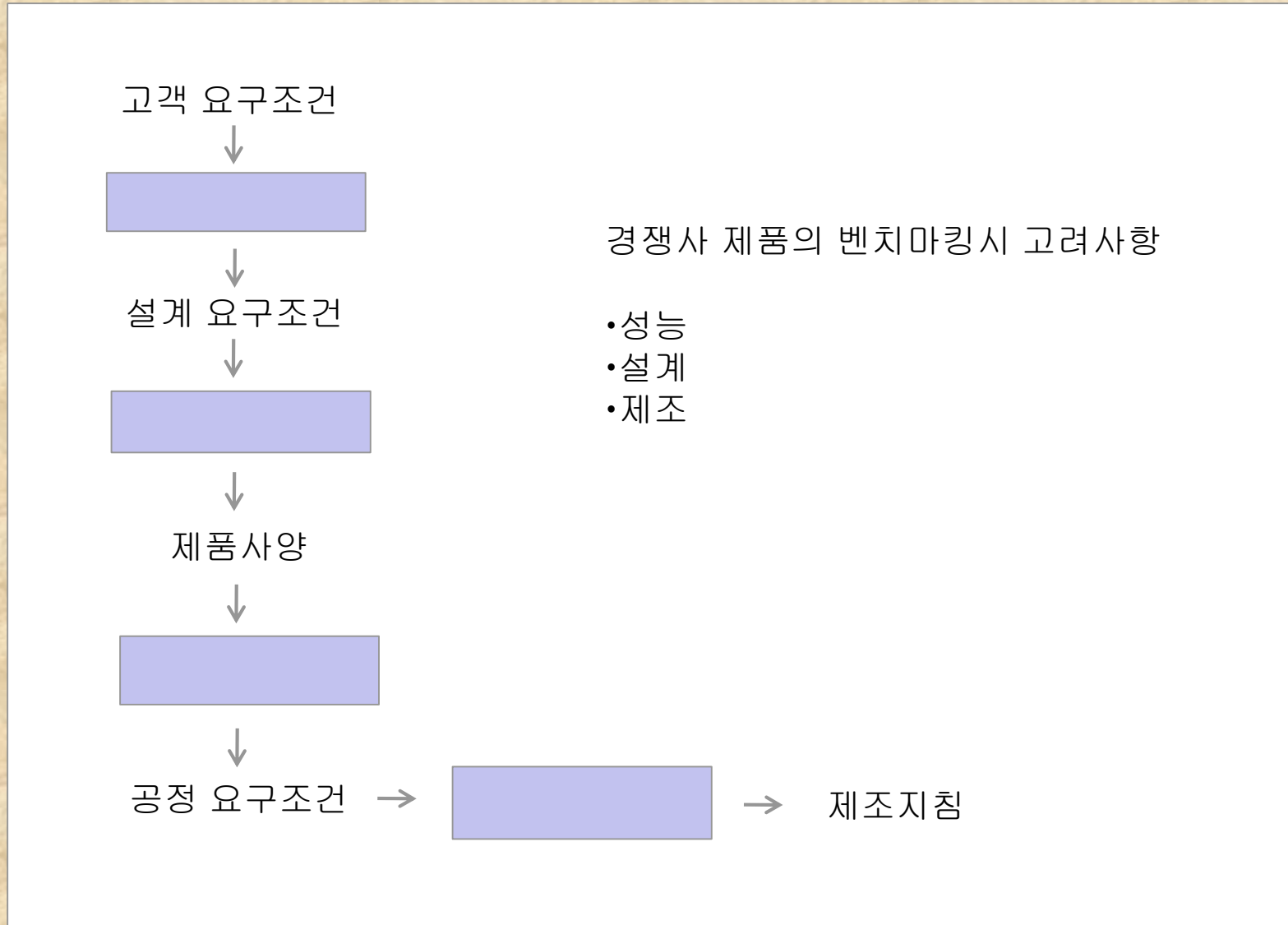
3-essential

2-highly desirable

1-desirable

0-almost irrelevant

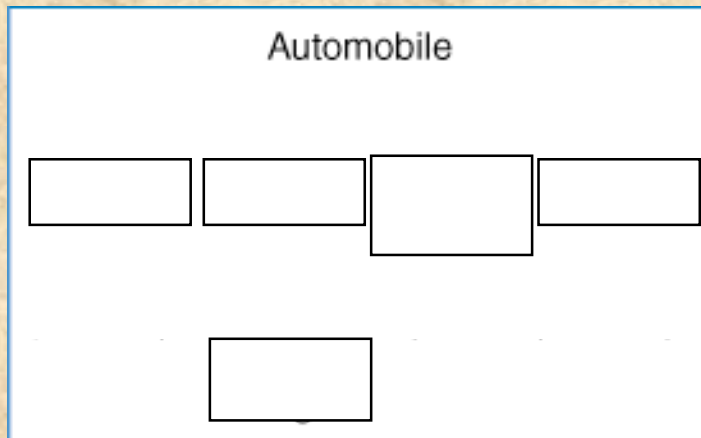
❖ 품질기능전개의 필수적인 요소



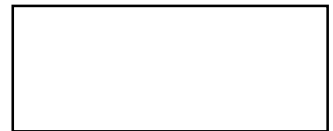
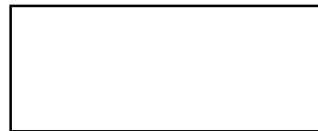
Design Specification - The Hierarchy

Design parameters flowdown

- 전체시스템의 성능을 정의하는 변수
- 주조립품에 관계되는 변수
- 부조립품에 관계되는 변수
- 개별부품에 관계되는 변수



전체 제품에
대한 설계사항



Generic Design Parameters

- Maintenance
- Quantity
- Environment
- Service
- Cost
- Government regulations
- Aesthetics
- Domain of acceptable solution
- Weight
- Size
- Delivery date
- Noise
- Safety

Function and performance

- 기능 : 1차적 기능 + 2차적 기능
- 성능 : 공학적 용어로 정의하고 정량화
- 제품비용과의 상관관계가 중요함.

Product cost

- Benchmarking**에 의한 가격예측 - 목표설정 및 유도
- 개념설계에서는 불확실 - 제품설계 후 현실적 원가 예측가능
- CE** 전략은 제품비용을 줄여준다.
- 재질의 선택, 공차/표면마무리, 공정에 따른 원가의 분석
이 때 보통 경험칙(**rule of thumb**) 지침을 활용함
- Make items** - 사내 생산설비, 자재, 공구, 임금 등을 고려
- Buy items** - 반드시 기능/성능에 시험이 필요. 외주비용 및 납기

Delivery date

- **First article** 납품일자 - 설계 및 제조방식에 영향
- 짧은 **lead time**의 경우 - 주.단조 보다는 용접이나 기계가공이 유리
- **Gantt** 또는 **PERT** 활용

Quantity

- **Batch size** - 생산방식에 영향 - 공정의 선택에 영향 - 설계도에 영향
- 원가 - 소량생산:기계가공이 저렴하나 대량생산:주조/단조 저렴
- 고정비 **vs.** 변동비

Environmental issues

- 제 6장에서 상세히 다루었다.

Safety

- 대부분의 사고(**accident**)가 제품의 결함으로 부터 기인하는 것이 아니라 제품을 잘못 사용하는 것에 기인한다.
- 제품주변의 인간의 건강, 자산, 시설을 보호하는 것
- 안전고려설계는 위험(**hazard**)을 확인하는 작업에서 부터 시작된다.

- 사고의 원인 = 사람 + 기계 + 환경
- failure**(파손) ~ 제품의 고장, 파괴, 오작동
- risk**(위험) ~ 사고/손실(**loss**) 유발 가능성
- hazard**(위험) ~ 사고의 유발 원인
- hazard**를 확인한 후 이들의 발생확률, 심각도 등의 분석과 이를 제거하기 위한 방법 등을 강구하여야 한다.

※EPA: Environmental Protection Agency (미연방환경보호청)

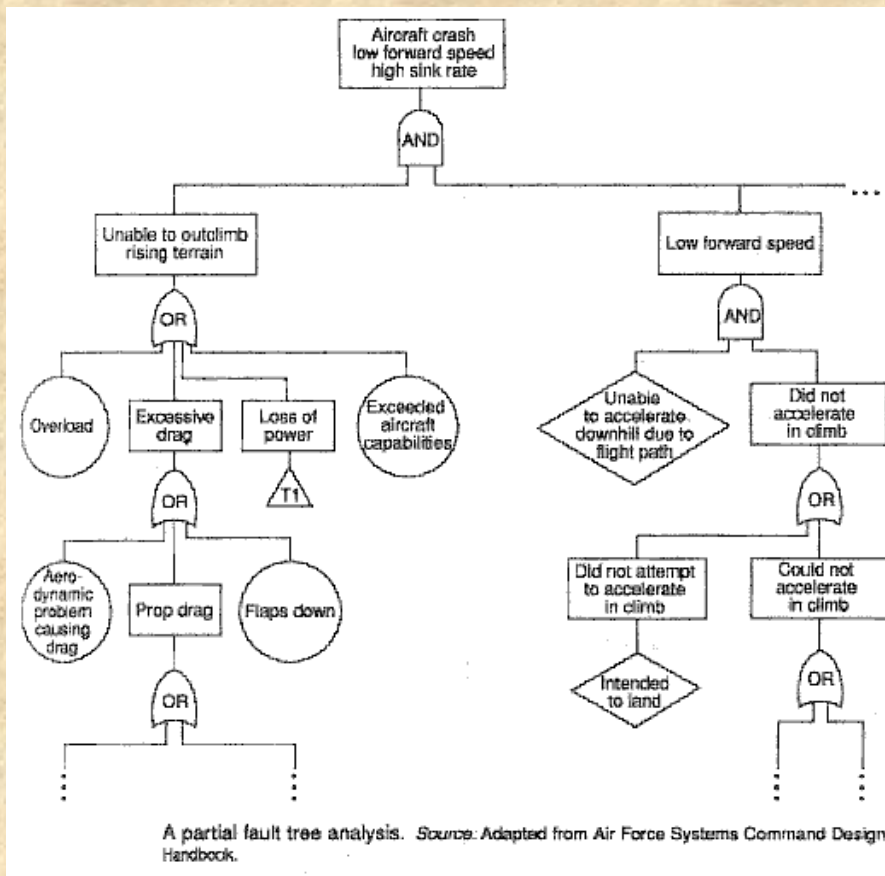
OSHA: Occupational Safety and Health Administration(작업안전 및 보건청)

Hazard(사고유발원인) 규명 ⇒ 안전도/사고의 심각도 분석

FTA(Fault Tree Analysis) ~ top-down 방식

FMEA(Failure Mode and Effects Analysis) ~ bottom-up 방식

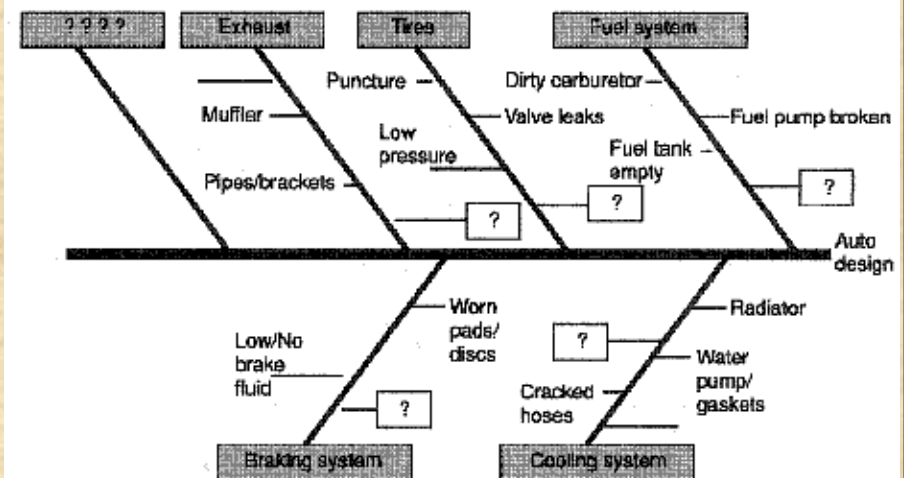
Ishikawa(Fishbone) Cause-Effect 진단도



Portion of an FMEA sheet.

Part Number	Part Name	Failure Mode	Failure Cause	Identification Method	Back-up Protection	Effect/Hazard	SFI	Notes
949	Filter	Fails to control flow of coolant	Jams	System overheats	None	Fire; Engine stops; Damage	—	Need warning signal & auto. shut-off; stop jamming!
872	Ratchet	Slips	Loose	Load slips	None	Supported load slips or released	—	Need back-up lock/support
—	—	—	—	—	—	—	—	—

Source: Adapted from Kolb and Ross, 1991.



Hazard를 제거하기 위한 방법

- a) 설계개념을 달리함으로써 hazard 완전히 제거 : 많은 비용 유발
- b) 사용자를 hazard로부터 격리시키도록 보호장치 혹은 센서시스템 장착
- c) hazard에 대한 안전조작 지침을 주고 경고 신호 설치.
- d) 한쪽이 fail 했더라도 그것을 대신해 줄 수 있는 secondary 장치 설치 (fail-safe 개념)

※ 보통 안전설계를 위한 check list를 활용함(표7.2)

예) motor cyclist의 helmet, 안전벨트, 에어백, 항공기의 해양부유 뗏목, 공항의 소방시설...

Quality

- 제품의 정해지거나 함축된 요구사항을 만족시키는 능력을 제공하는 모든 특징과 특성 (**BS 4891**)
- 고객이 수용할 만한 가격으로 고객요구조건을 만족시키는 제품의 능력
- 제품이 고객에게 납품된 이후에 제품에 의해 야기되는 사회적 손실정도 (**Taguchi**)
- 체계적 품질개선을 위해서 다구치기법이 자주 이용된다.

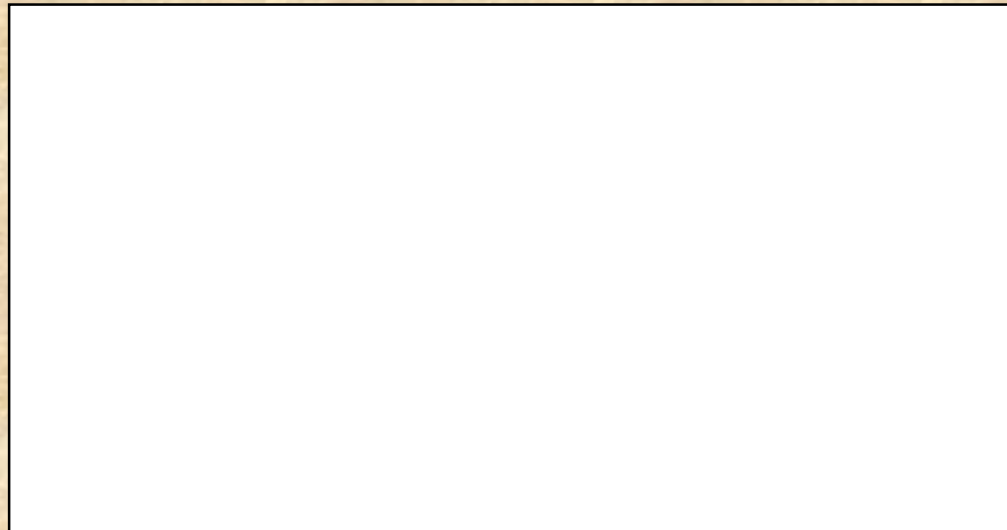


그림 7.7 일반적인 품질손실함수

• Taguchi Method : Robust design

- System level (시스템설계)
- Parameter level (변수설계)
- Tolerance level (공차설계)

오프라인 품질관리

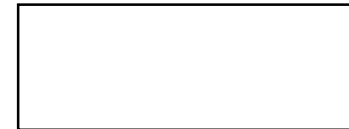
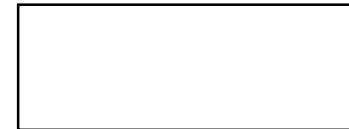
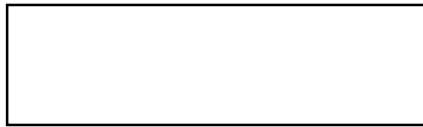
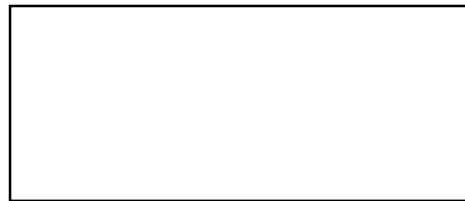
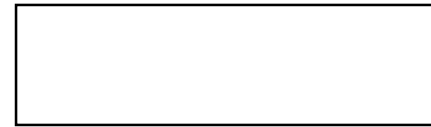


그림 7.8 저장된 공차와 비교되는
제품표본분포

❖ 품질특성에 대한 변수변동의 결과



제품저하



Energy consumption

- 에너지소모의 원인을 제거
- 에너지손실의 원인을 제거
- 제품의 효율

Reliability

제품의 신뢰성은 제품이 정해진 운전 조건하에서 의도된 기능을 수행할 확률로써 정의한다.

- 신뢰도 : 제품이 정해진 운전조건하에서 의도된 기능을 수행할 확률
- 제품의 품질 및 유지보수와 밀접한 연관
- 일반적으로 신뢰도 변수를 높이면 - 비용상승, 사용수명이 단축된다.
- 신뢰도기준 : 표준 및 법규에서 규정되고 있음

Maintenance protocols

- 제품이 주어진 설계사양대로 지속적으로 기능을 발휘하기 위해 행해져야 하는 것들
- 사용수명이 길고 초기구입비보다 유지비가 더 많이 드는 제품에서 중요
- 유지보수의 주체
 - 고객
 - 제조자
 - 독립된 업체
- 유지보수 형태
 - 고장점검
 - 고장수리
 - 일상적 유지보수 : 기능점검
- 유지보수 매뉴얼 : 설계자가 작성 (유지보수고려설계 표 7.4)

Size

Weight

Aesthetics

- 심미성 요소 : 시각적 매력, 표면조직, 색채, 냄새
- 주관적이고 정성적 설계변수 : 연령층, 문화권, 사회적 계층에 따라 다르다.
- Mercedes Benz, Rolex etc

Ambient environmental conditions

- 온도, 습도, 화학물질, 미립자, 박테리아, 방사선

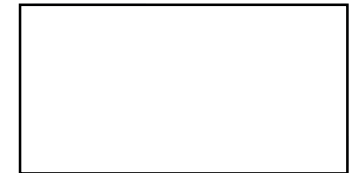
Packaging and Transportation

- 창고의 환경
- 포장 : 저장 및 운송을 위한
- 취급 : 주의문
- 운송 : 분해/조립, 종이/플라스틱, 나무, 특수 운송 치공구

Human factors Ergonomics

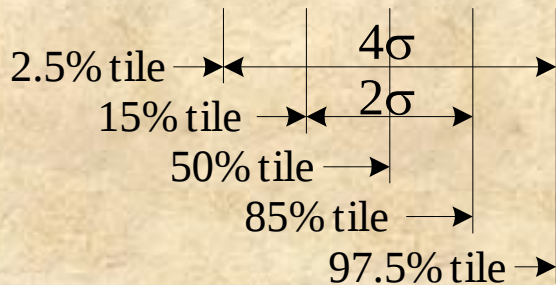
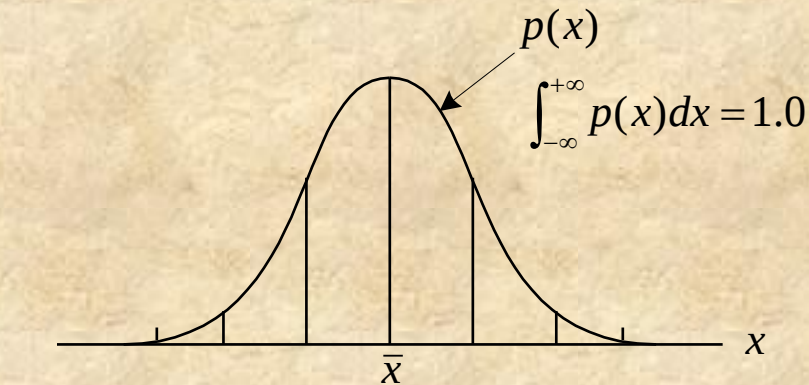
- 시스템 = 운전자/사용자 + 기계/제품 사이의 상호작용에 관한 것
- 작업자의 요구조건과 역량에 맞게 장치, 시스템, 육체적 작업조건을 설계하도록 돕는 응용과학
- 관련자료
 - SAE J833
 - NASA STD 3000
 - MIL-HDBK-759A

Acquire data
by operator



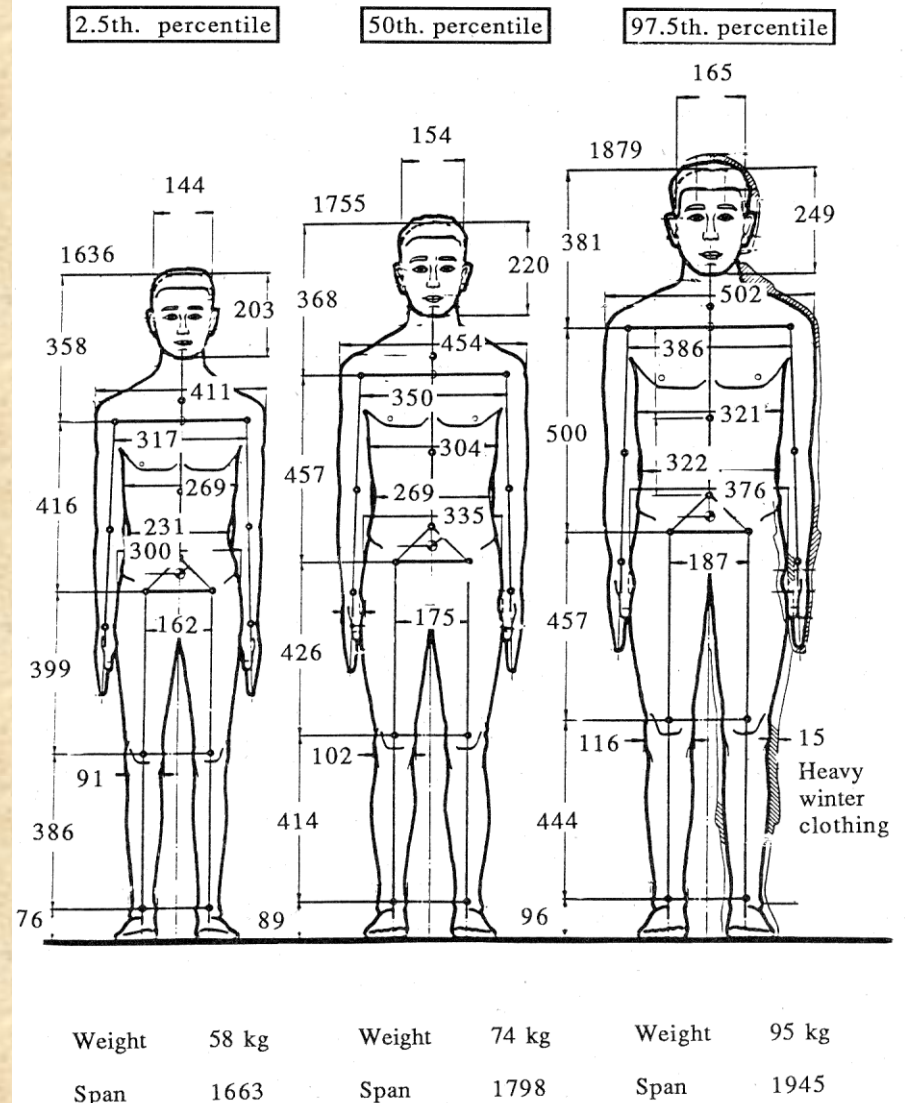
인체측정학(anthropometry)

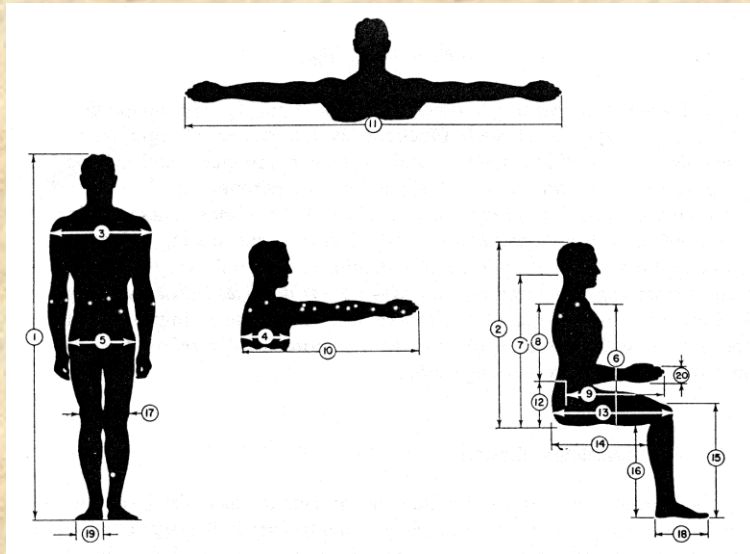
Normal or Gaussian 분포



$$\text{percentile @ } x_1 = 100 \times \int_{-\infty}^{x_1} p(x)dx$$

Standing adult male - including 95 percent of population





Body variable	Male		Female	
	Me- dian	Range	Mean	Range
1 Height	69.2	61.4–78.0	63.2	55.0–73.0
2 Sitting height: erect†	36.4	32.7–40.6	34.1	30.7–34.4
3 Shoulder breadth	18.0	15.4–20.5	13.4	8.7–19.3
4 Chest depth	8.2	6.3–11.0		
5 Seat breadth: standing	14.0	11.8–18.5	15.0	11.8–18.9
5 Hip breadth: seated	15.3	12.0–21.3	14.6	12.1–20.6
6 Trunk height	23.8	19.7–27.2	24.6	Not given
7 Back height	28.6	23.6–33.1	26.7	21.1–30.1
8 Shoulder-elbow	14.7	10.6–16.9	13.3	Not given
9 Forearm	18.8	15.8–22.1		
10 Forward arm reach	35.2	29.5–40.6	31.8	28.3–35.4
11 Total arm span	71.5	62.2–80.7		
12 Elbow height	9.6	6.7–12.0	9.7	7.0–12.0
13 Buttock-knee	23.6	19.3–27.6	22.6	19.7–26.7
14 Seat length	18.9	15.4–23.1	18.2	15.2–22.2
15 Knee height	22.0	18.1–25.6	17.2	Not given
16 Seat height	19.0	15.6–22.0	18.1	15.4–20.6
17 Knee breadth	8.1	6.7–11.0		
18 Foot length	10.4	8.3–12.2	9.6	8.9–10.9
19 Foot breadth	4.0	3.4–4.8		
20 Hand breadth	3.5	3.0–4.0		

Body dimensions for adults.

공학시스템내의 인간적 요소

1) 작업공간의 차지

비상탈출구나 출입문 설계 - 95th percentile man을 기초
조종석 설계 - 2.5th percentile man이 접근할 수 있도록
여객기의 부엌(galley)- 50th percentile로 설계하고 해당 승무원 배치함.

※ 인체측정학 자료는 시대에 따라 바뀌고 있음.

2) 에너지원

사람의 maximum continuous output ~ 대략 250 watts
설계치: 온종일 안정적 일할 수 있는 power는 위 값의 50% 이내로 정함(rule of thumb)

3) 감지(sensor) 혹은 변환(transducer)

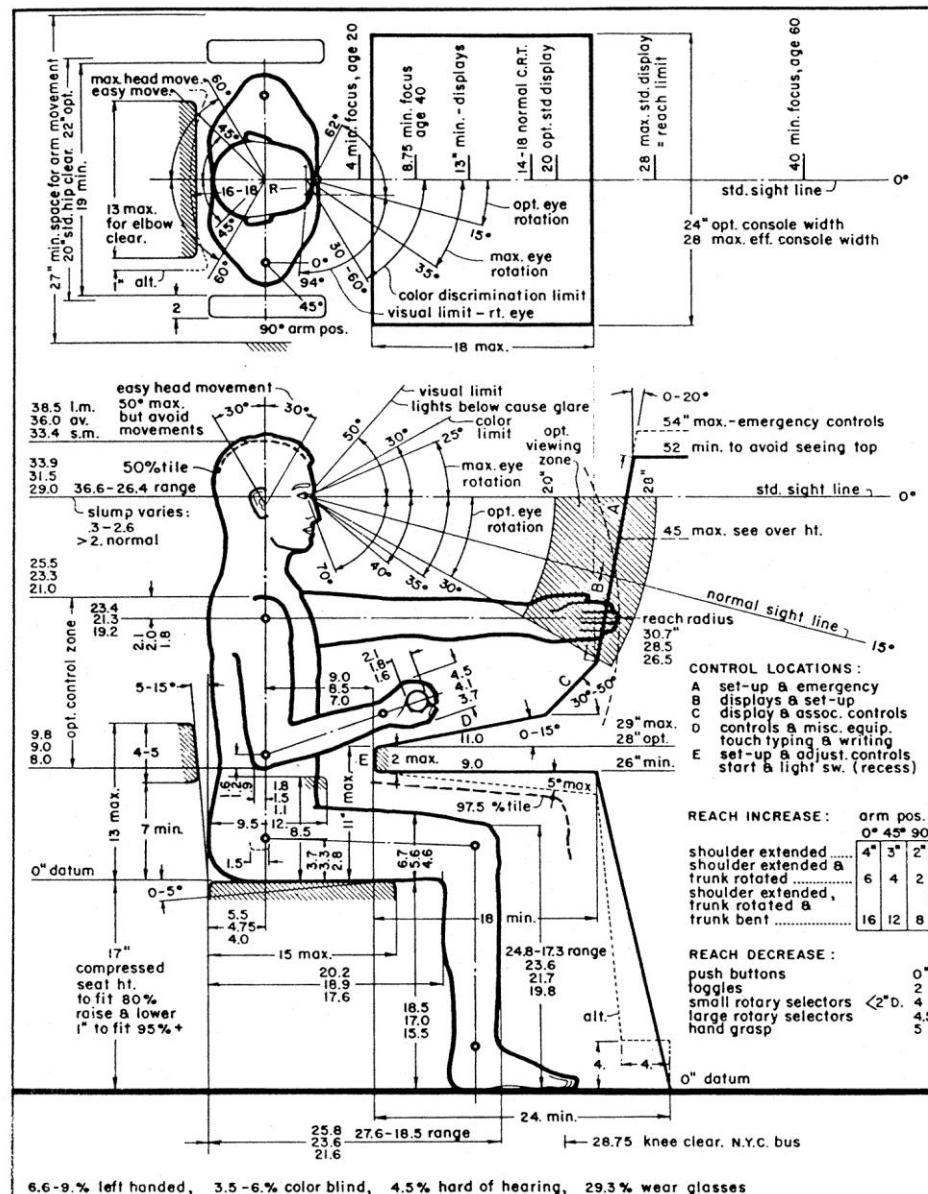
검출(detector) - 조립작업, 가공 및 프레스 작업 등.
분명한 자극이 있음.
에러는 주로 과부하(overload)에 의해 유발됨
감시(monitor) - 생산품의 검사, 발전소/플랜트 통제실, 레이더 감시등
단순하고 자극이 약함, 불침번
에러는 주로 저부하(underload)에 의해 유발됨

4) 정보의 처리

USAF의 계기 및 신호의 대응시 자주 일어나는 에러에 관한 연구
18% - multipointer 계기를 잘못 읽음(고도계)
17% - 지시침의 움직임의 방향을 잘못 인식함
14% - 경고등과 경고음에 반응을 못함
14% - 순전히 계기의 판독성이 나쁘기 때문
이러한 실수는 상세한 설계변경에 의해 크게 줄일수 있다!

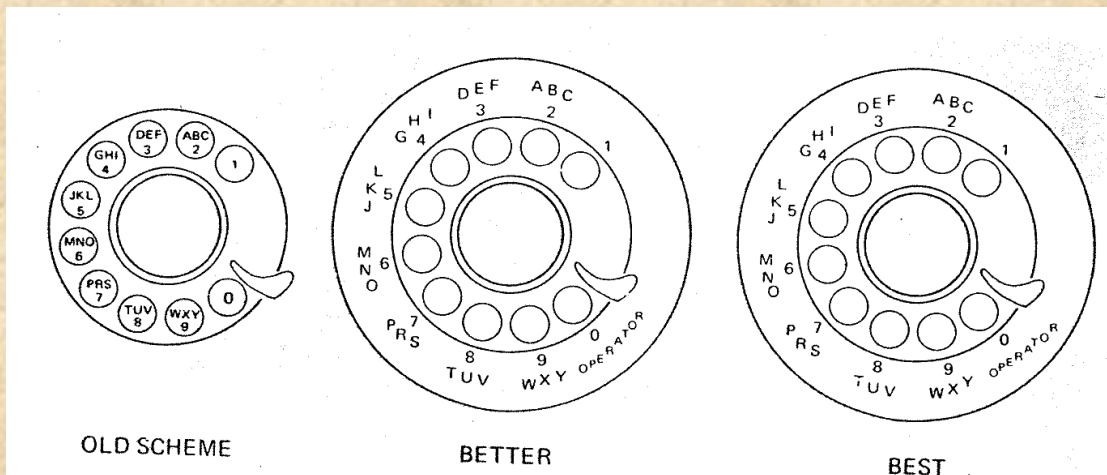
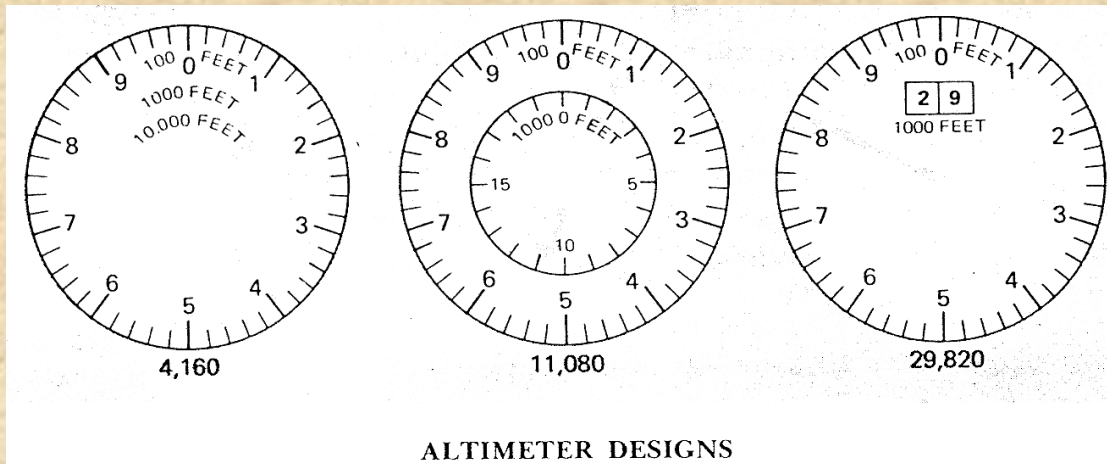
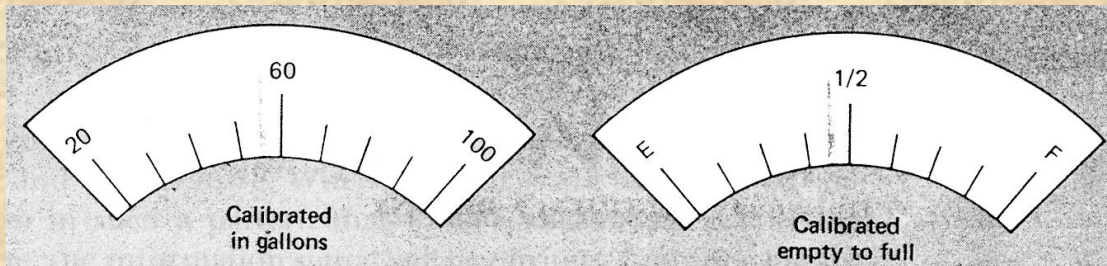
5) 추적(tracker)과 조정(controller)

인간의 조정능력은 제한된 범위에서 안정하다.



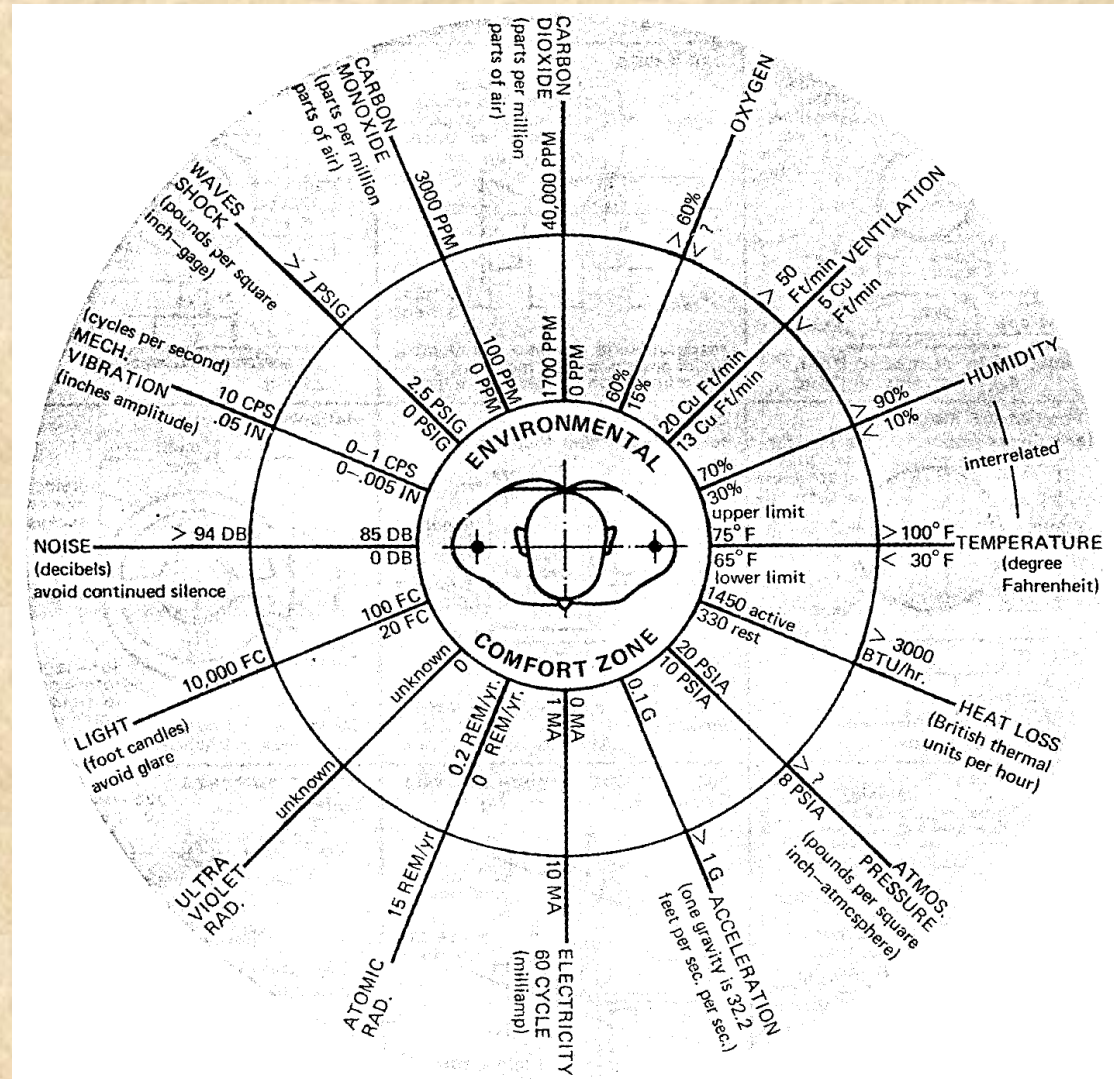
© "The Measure of Man" by Henry Dreyfuss, Whitney Library of Design, New York, N.Y. 1959, 1960.

ADULT MALE SEATED AT CONSOLE



Noise

- 가청주파수 : 20 Hz ~ 20,000 Hz
- 140 dB-통증유발
- 85 dB 지속적 노출
-영구적 청각손실
- Comfort
- Bearable
- Possible damage



Service life

- 설계사양대로 정상조건하에 운전되는 제품의 수명
- 부품별로 수명이 다름 : 먼저 교체되어야 할 것(유지보수 매뉴얼에 나와 있음)

Governmental Regulations

- 제품은 그것이 판매되는 나라의 정부규정을 따라야 한다.
- 미국의 자동차 - 주별로 연료절약 및 배기가스 규제가 다르다.

Operating costs

- 제품의 수명주기비용 = 초기 구입비 + 운전비용 + 폐기비용
- 운전비용 : 에너지소비(연료/전기비), 신뢰성, 유지보수, 사용수명, 간접비