✓실험계획법 적용 사례

✓ABS

- ✓Acrylonitrile Butadiene Styrene copolymer
- ✓g-ABS + SAN

- ✓electronics housing (flame retardance)
- ✓appliances (processibility)
- ✓automobiles (heat resistance)

✓Heat Resistance

	standard	Mode of loading	Heating	Load	specimen
HDT	ASTM D648	3 point bending	2°C/min	18.6 kgf/cm^2	1/4” flexural bar
VST	ASTM D1525	Point force	50°C/hr	1kg	Thickness >0.12in

ASTM: American Society for Testing and Materials

Cautions: Different mode of loading and heating

Injection molding condition

✓Heat Resistant ABS

- ✓일반ABS: HDT 85~90°C
- ✓내열ABS: HDT 90~100°C
- ✓초내열ABS: HDT 100~110°C

- ✓내열SAN의 종류및 함량

✓문제 #1

- ✓ 당사 A grade의 HDT는 102°C
- ✓ 경쟁사 B grade의 HDT도 측정결과 동일
- ✓ 경쟁사 catalogue에 B grade의 HDT는 107°C
- ✓ 경쟁사 B grade는 자동차 maker에 spec-in

- ✓ 당사catalogue에 A grade의 HDT를 얼마로 기록해야 하겠는가?
- ✓ A grade와 B grade는 동일한 내열도를 갖는가?
- ✓ 자동차 maker에 B grade의 대응 grade로서 어떤 grade를 trial 하여야 하겠는가?

- ✓ the art of ignorance
- ✓문제해결능력 #1
- ✓문제해결능력 #2

✓Experiments

- ✓Demon of experiments
- ✓How to analyse/understand the experimental results?
- ✓How to get meaningful/useful information?

- ✓needs scientific mind/approach
- ✓needs statistical concept: DOE

✓Design of Experiments (DOE)

- ✓ 정의: 해결하고자 하는 문제에 대하여, 실험을 어떻게 행하고, 데이터를 어떻게 취하며, 어떠한 통계적 방법으로 데이터를 분석하면 최소의 실험회수에서 최대의 정보를 얻을 수 있는가를 계획하는 것

- ✓ 목적:
  - ✓ 어떤 요인이 특성치의 변화에 유의한 영향을 주고있는가를 파악하고, 그 영향이 양적으로 어느정도 큰가를 알아보기 위하여 (분산분석및 검정과 추정의 문제)
  - ✓ 인자들의 어떠한 수준에서 가장 바람직한 특성치를 얻을 수 있는가를 발견하기 위하여 (최적조건의 결정문제)
  - ✓ 취급된 인자들로는 설명이 안되는 오차변동은 어느정도 큰가를 알아내기 위하여 (오차항 추정의 문제)

✓실험계획에서 범하기 쉬운 과오

- ✓ 교호작용을 생각하지 못하고 한번에 한 인자씩 실험하는 과오
- ✓ 실험순서를 랜덤화하지 못한 과오
- ✓ 한정된 조건으로부터 얻은 결과를 확장하여 해석하는 과오
- ✓ 실험오차를 생각하지 않는 제1종 과오
- ✓ 유의수준에 융통성을 못주어서 발생되는 제2종 과오
- ✓ 단편적 정보를 잘못 이용하는 과오

✓실험계획법의 단계

- ✓ 계획(Plan)
  - ✓ 대상 실험 테마의 선정
  - ✓ 실험테마 선정동기 개요및 문헌조사
  - ✓ 목적기능및 목적결과(특성)치의 선택
  - ✓ 관련 인자도출
  - ✓ 주요인자 구분및 공정도 작성
  - ✓ 실험인자 및 수준수 결정
- ✓ 실시(Do)
  - ✓ 실험 배치및 설계
  - ✓ 실험의 준비
  - ✓ 실험 실시
  - ✓ 데이터 분석

- ✓ 점검(Check)
  - ✓ 재현성 실험
  - ✓ 허용차 설계
- ✓ 조치(Action)
  - ✓ 효과파악및 표준화
  - ✓ 사후관리및 향후계획

✓직교배열표 (Orthogonal Arrays)

- ✓2수준계

  $L_4(2^3)$, $L_8(2^7)$, $L_{16}(2^{15})$, $L_{32}(2^{31})$

- ✓3수준계

  $L_9(3^4)$, $L_{27}(3^{13})$

- ✓혼합직교배열표

  $L_{18}(2^1 x 3^7)$

✓Effect of Injection Molding Conditions on HDT

- ✓too many parameters
- ✓mold temperature, melt temperature, injection pressure, hold pressure, injection rate, injection time, cooling time etc.

✓$L_{18}(2^1x3^7)$ - test #1

FACTORS	LEVELS			COLUMN NO. IN L18
	1	2	3	
A. mold temperature (°C)	40	80		1
B. melt temperature (°C)	230	250	270	2
C. injection pressure (%)	65	75	85	3
D. hold pressure (%)	40	50	60	4
E. injection rate (%)	65	75	5	6

✓Orthogonal array

Run Number	Factors and Levels								HDT
	A	B	C	D	e	E	e	e	
1	1	1	1	1	1	1	1	1	**102.4**
2	1	1	2	2	2	2	2	2	**100.5**
3	1	1	3	3	3	3	3	3	**100.9**
4	1	2	1	1	2	2	3	3	**106.3**
5	1	2	2	2	3	3	1	1	**101.9**
6	1	2	3	3	1	1	2	2	**103.2**
7	1	3	1	2	1	3	2	3	**101.1**
8	1	3	2	3	2	1	3	1	**103.1**
9	1	3	3	1	3	2	1	2	**103.4**
10	2	1	1	3	3	2	2	1	**106.9**
11	2	1	2	1	1	3	3	2	**105.3**
12	2	1	3	2	2	1	1	3	**104.2**
13	2	2	1	2	3	1	3	2	**103.1**
14	2	2	2	3	1	2	1	3	**102.4**
15	2	2	3	1	2	3	2	1	**106.0**
16	2	3	1	3	2	3	1	2	**109.7**
17	2	3	2	1	3	1	2	3	**107.6**
18	2	3	3	2	1	2	3	1	**104.7**

✓ANOVA

FACTORS	SUM OF SQUARES	DEGREE OF FREEDOM	MEAN SQUARE	FO VALUE
A. mold temperature	40.8	1	40.8	10.6*
B. melt temperature	7.8	2	3.9	1.0
C. injection pressure	7.2	2	3.6	0.9
D. hold pressure	21.0	2	10.5	2.7
E. injection rate	0.2	2	0.1	0.1
e. error	30.8	8	3.9	
Sum	107.8	17		

Factors	Levels	Average HDT
A. mold temperature	1	102.5
	2	105.5
B. melt temperature	1	103.4
	2	103.8
	3	104.9
D. hold pressure	1	105.2
	2	101.0
	3	102.8

Optimum condition for maximum HDT: A2D1B3
Predicted HDT at optimum condition: 107.6° C

✓$L_{18}(2^1x3^7)$ - test #2

Factors	Levels			Column No in L18
	1	2	3	
A. injection rate (%)	35	80		1
B. mold temperature (°C)	40	60	80	2
C. melt temperature (°C)	240	250	260	3
D. hold pressure (%)	30	45	60	4
E. injection time (sec)	8	12	18	5
F. cooling time (sec)	15	25	35	7
G. injection pressure (%)	85	75	65	8

✓ANOVA

Factors	Sum of Squares	Degree of freedom	Mean Square	Fo value
A. injection rate	11.0	1	11.0	2.0
B. mold temperature	118.0	2	59.4	10.8*
C. melt temperature	30.4	2	15.2	2.8
D. hold pressure	15.5	2	7.8	1.4
E. injection time	7.5	2	3.8	0.7
F. cooling time	30.9	2	15.5	2.8
G. injection pressure	7.8	2	3.9	0.7
e. error	22.1	4	5.5	
Sum	244.0	172		

✓$L_9(3^4)$ - test #3

	Levels			Column no in L9
	1	2	3	
A. mold temp (°C)	40	60	80	1
B. melt temp (°C)	230	250	270	2
C. hold press (%)	40	50	60	4

✓Orthogonal array

Run Number	Factors and Levels				HDT
	A	B	e	C	
1	1	1	1	1	98.5
2	1	2	2	2	101.9
3	1	3	3	3	98.9
4	2	1	2	3	102.6
5	2	2	3	1	104.9
6	2	3	1	2	104.1
7	3	1	3	2	107.9
8	3	2	1	3	104.8
9	3	3	2	1	108.3

✓ANOVA

Factors	Sum of Squares	Degree of Freedom	Mean Square	Fo values
A. mold temp	78.9	2	39.5	23.3*
D. hold press	10.2	2	5.1	3.0
e. error	6.8	4	1.7	
Sum	95.9	8		

✓Summary of results

	Test #1	Test #2	Test #3
Optimum condition	A2D1	B3F1	A3C2
Dominating factor	mold temperature	←	←
Predicted maximum	107.6 °C	107.6 °C	108.1 °C
Max difference	9.2 °C	12.7 °C (VST 2.1°C)	9.8 °C

✓Summary

- ✓DOE
  - ✓minimize the confusion about heat resistance
- ✓ASTM
  - ✓suitability of HDT as a testing method
  - ✓report the specimen preparation condition
- ✓Optimum condition?
- ✓What about other properties ?

✓Conclusions

- ✓the art of ignorance
- ✓문제해결능력#1
  대인관계, 적극성
- ✓문제해결능력#2
  새로운 지식및 방법의 학습/공유/창출
- ✓꿈(vision), 도전정신, 상상력, 자기개발