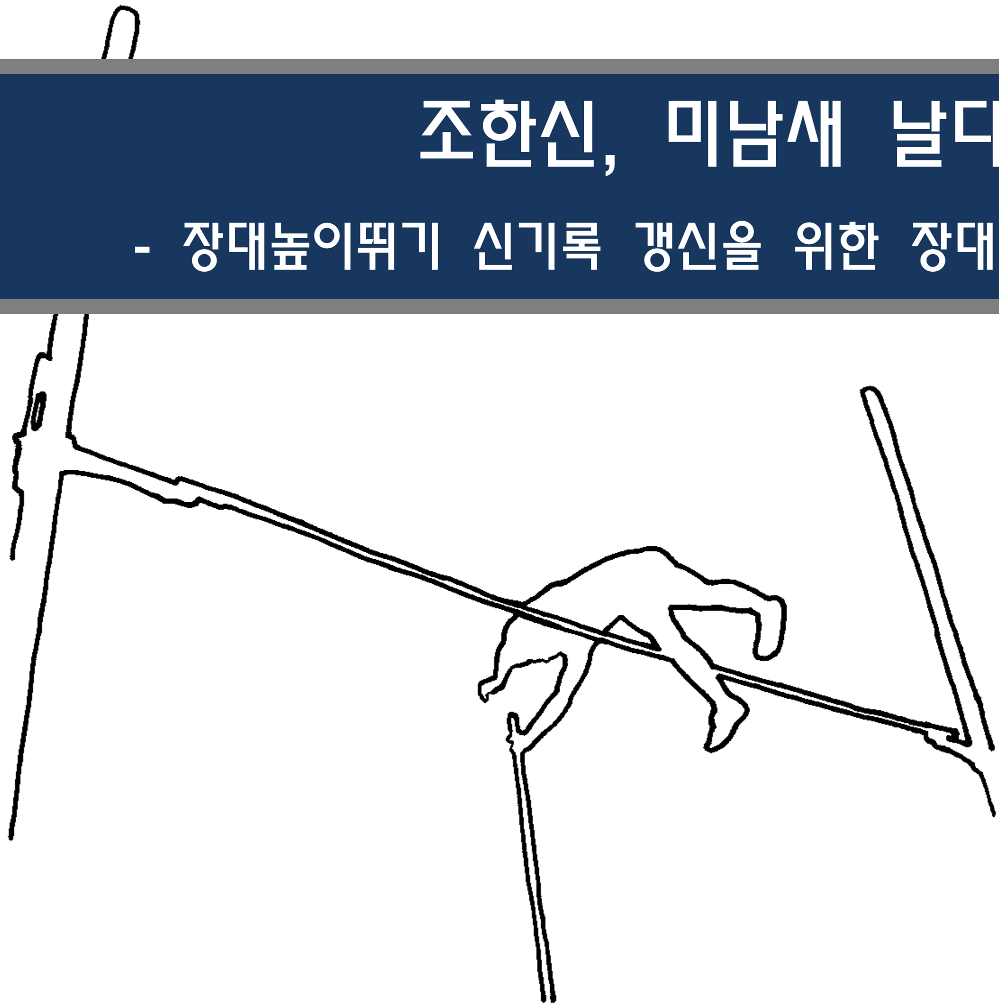
조한신, 미남새 날다

- 장대높이뛰기 신기록 갱신을 위한 장대의 최적설계 -



발표 : 뛰어넘조

Contents

I. Statement

II. Data and Information Collection

III. Identification of design variables

IV. Identification of an objective function

V. Identification of constraints

VI. Graphical method

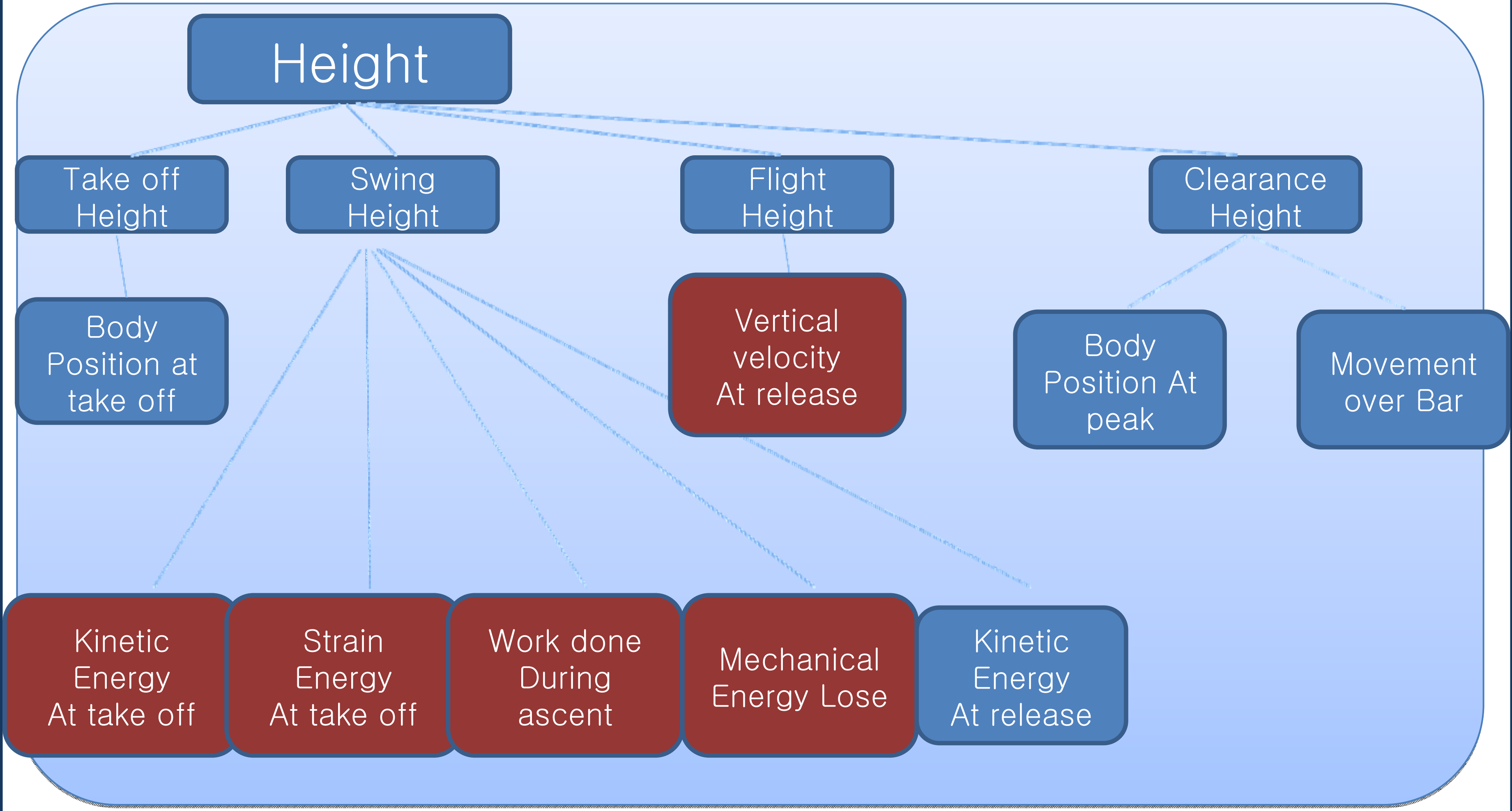
VII. Solve by Excel & MATLAB

VIII. 기존 설계와의 비교

IX. Comment

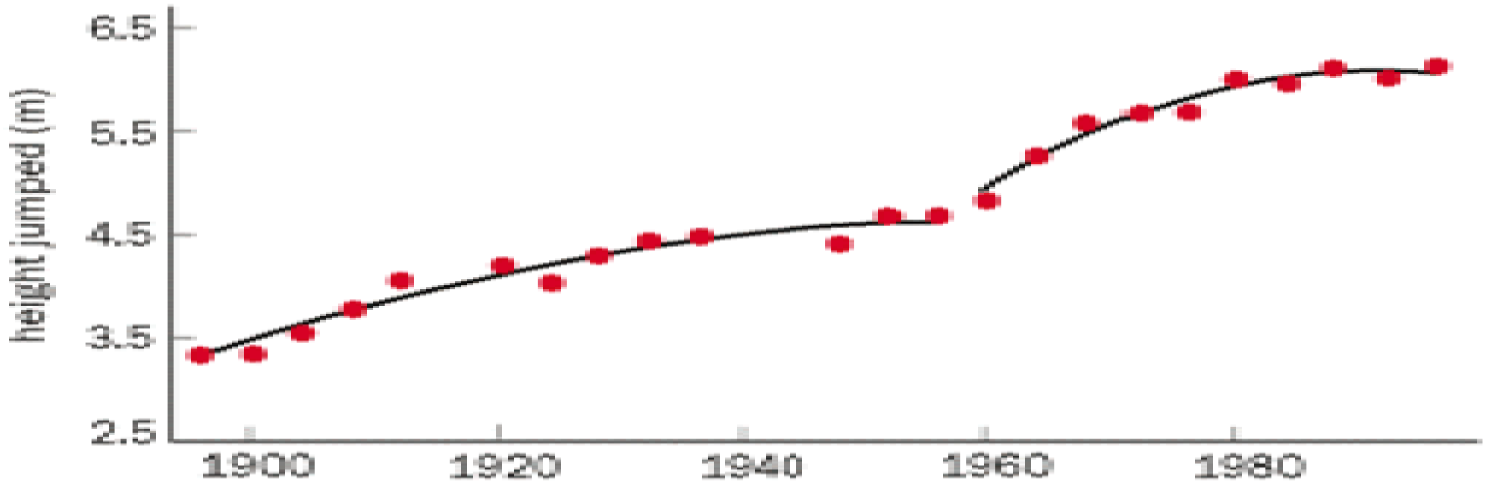
I. Background of Project

- 장대 높이 뛰기의 기본적 요건



I. Background of Project

- Pole vaulting - Olympic record heights



1900
Solid wood

1910
Bamboo

1960
Glass fiber

1990
Carbon fiber

I. Statement

II. Data and Information Collection

III. Identification of design variables

IV. Identification of an objective function

V. Identification of constraints

VI. Graphical method

VII. Solve by Excel & Matlab

VIII. 기존 설계와의 비교

IX. Comment

I. Statement

- 장대 높이 뛰기에 필요한 장대를 설계한다.
  - 길이는 4m ~ 5.82m(Euler’s buckling)로 제한한다.
  - 지름은 손으로 잡기에 불편함이 없는 범위 (3cm~5cm)로 설정한다.
  - 장대의 무게는 3 kg 을 넘지 않도록 한다.
  - 도약 거리는 (35m~45m)로 가정한다.
  - 전 과정에서 에너지 변환은 2차원 평면상에서 이루어진다고 가정한다.
  - 장대 내에서 발생하는 에너지 손실 외의 전 과정에서 발생하는 에너지 손실은 두 가지를 고려한다. (운동E 손실, 인체 내부 E 손실)
  - 원기둥 형태의 장대는 flat spring으로 가정한다.
  - 운동에너지, 장대에 가한 에너지, 탄성에너지, 위치에너지 외에 기록에 관여하는 공중 동작과 무게 중심 이동을 고려한다.
  - 이신바예바가 사용한다고 가정, 그에 맞는 모든 조건을 설정한다.

현 세계 신기록(5m 05) 을 갱신하기 위한 장대의 최적 설계를 수행한다.

I. Statement

II. Data and Information Collection

III. Identification of design variables

IV. Identification of an objective function

V. Identification of constraints

VI. Graphical method

VII. Solve by Excel & Matlab

VIII. 기존 설계와의 비교

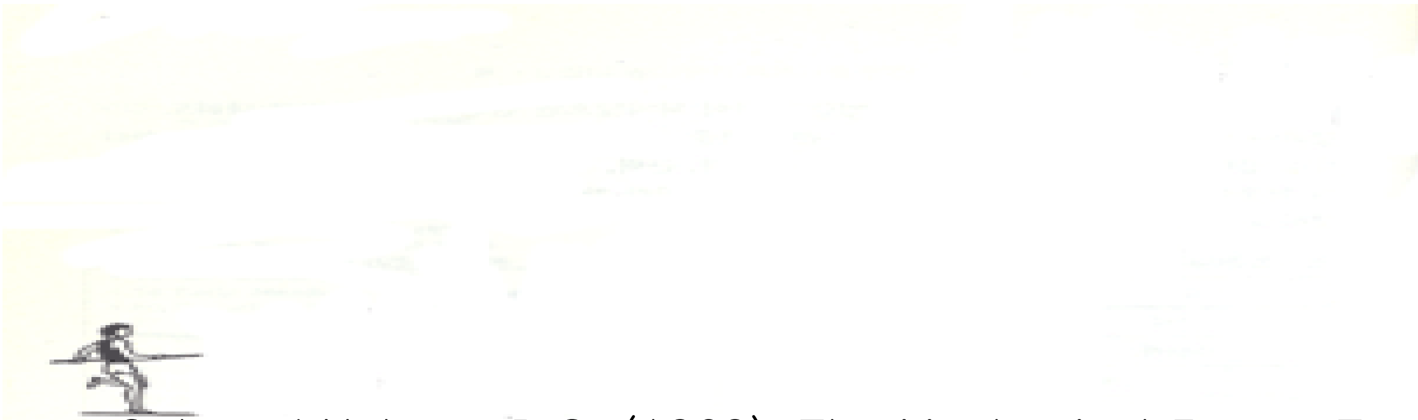
IX. Comment

II. Data and Information Collection

- 장대 높이 뛰기 에너지 변환 과정

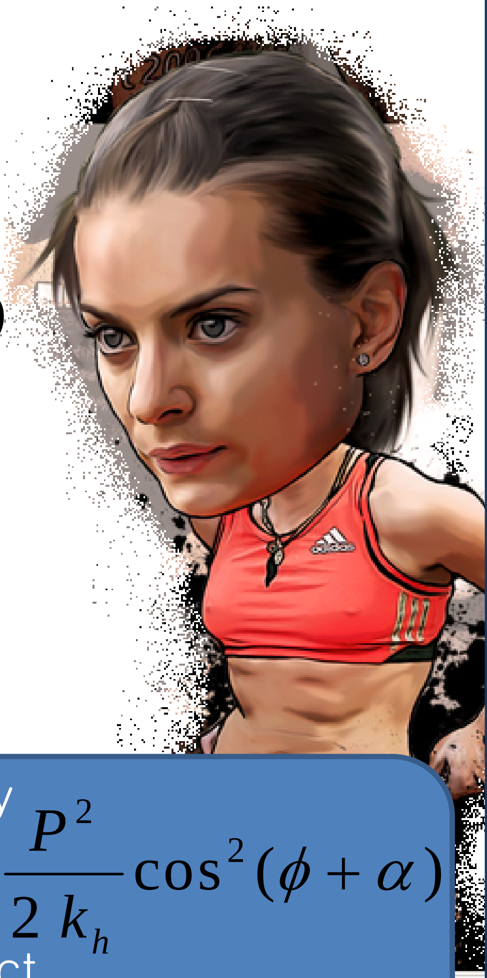
위치E + 운동E(탄성E로 저장) = 위치E + ⊿운동E

위치E + 운동E(탄성E로 저장) − Energy Loss = 위치E + ⊿운동E



Dillman, C.J. and Nelson, R.C. (1968): The Mechanical Energy Transformations of PoleVaulting with a Fiberglass Pole

II. Data and Information Collection



- 옐레나 이신바예바 Profile
  - ✓ 키 : 174.0 cm / 체중 : 65.0 kg
  - ✓ 속력 :$v = \frac{\text{도움닫기 거리}}{\text{도움닫기 시간}} = \frac{40}{4} = 10\,m/s$ (동영상 측정)
  - ✓ 서양인 여자의 신체 무게중심 : 신장의 약 55%

    무게중심 h1=174 * 0.55=95.7cm
- 세계신기록 – 5m 05
- 에너지
  - ✓ 운동에너지 = $E_k = \frac{mv^2}{2} = \frac{65\times8\times8}{\ldots}$ = 2080
  - ✓ 탄성에너지 = $U = \frac{P^2L^3}{6EI} = \ldots$
  - ✓ 위치에너지 = mgh

✓ Energy Loss by Body

$$\Delta E = \frac{P^2}{2k_h}\cos^2(\phi+\alpha)$$

✓Energy Loss by Impact

$$\Delta E = \frac{1}{2}mv^2\cos^2(\phi+\alpha)$$

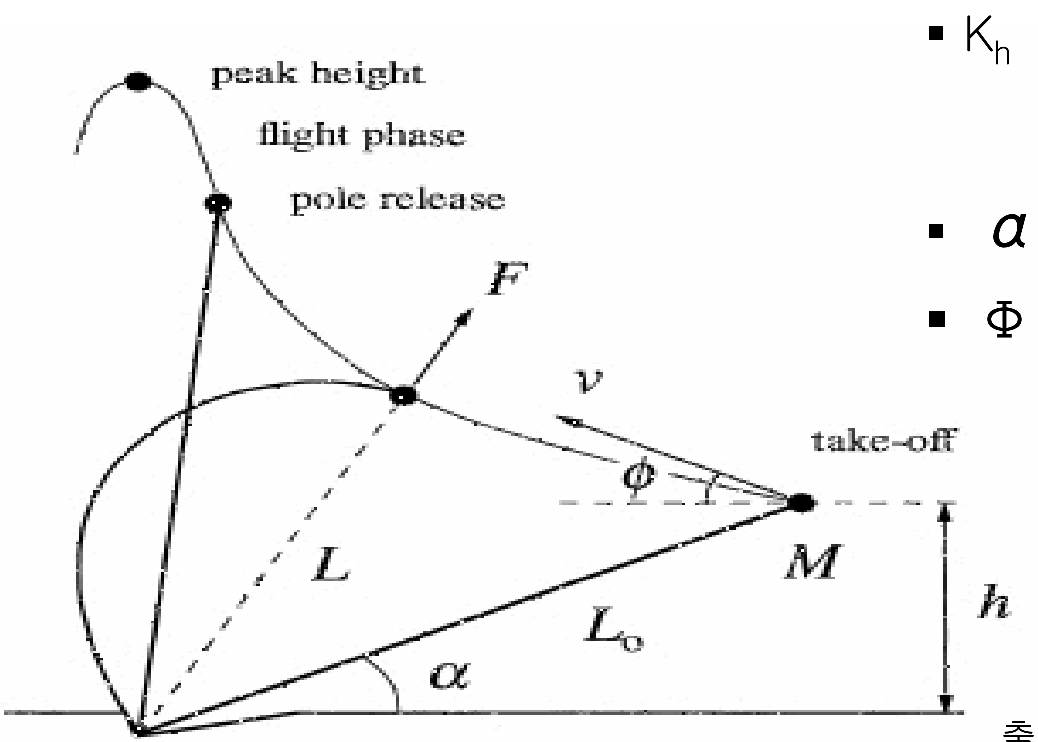
II. Data and Information Collection

✓ Energy Loss by Body

$$\Delta E = \frac{P^2}{2k_h}\cos^2(\phi+\alpha)$$

✓Energy Loss by Impact

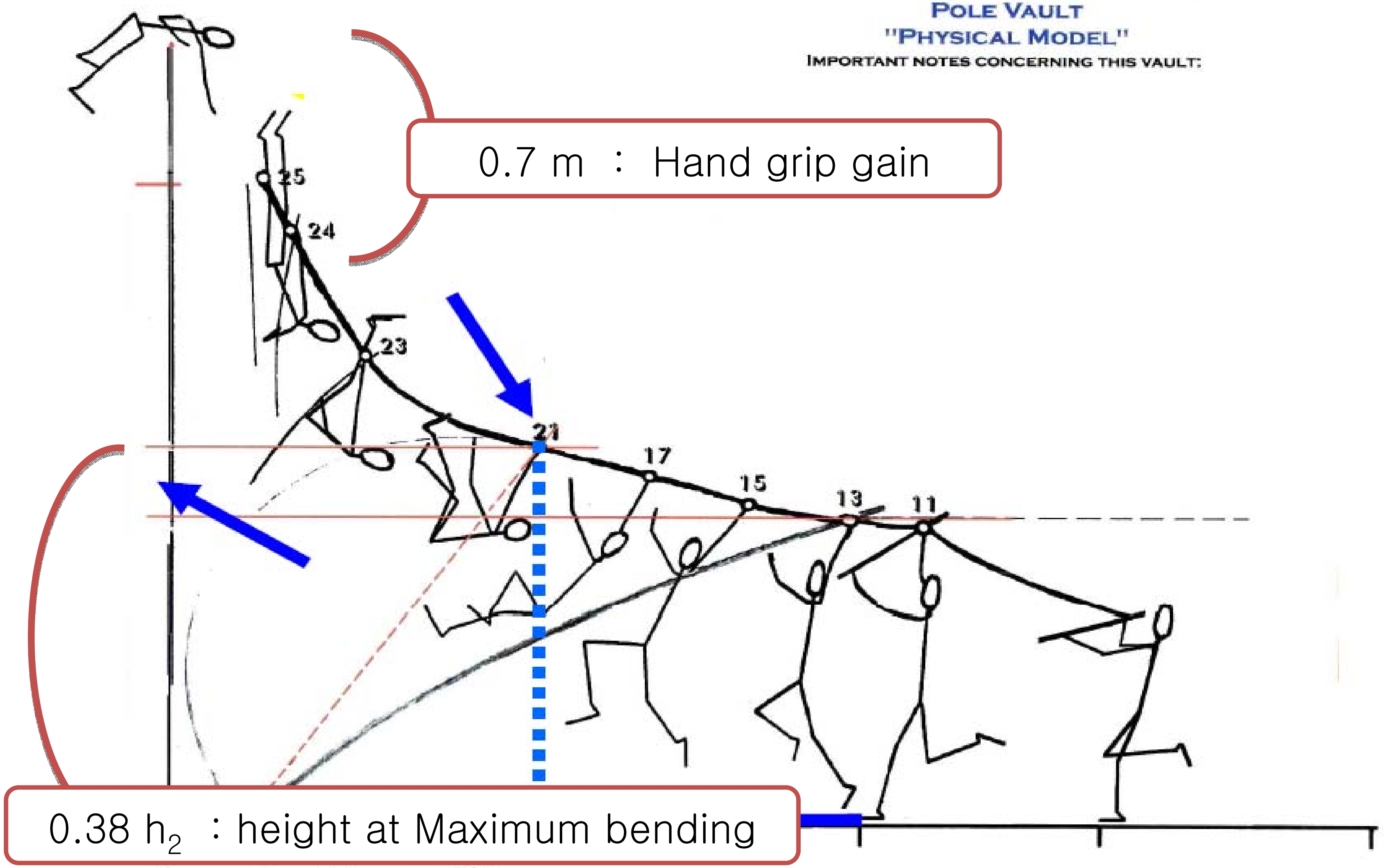
$$\Delta E = \frac{1}{2}mv^2\cos^2(\phi+\alpha)$$



- K_h = 어깨, 엉덩이, 다리 근육 등의 Energy loss factor (A급 선수들의 경우 : 250 N/m)
- α = 20 °
- Φ = 20 °

출처 : 'The perfect vault',Mike Clapson 2005

II. Data and Information Collection



I. Statement

II. Data and Information Collection

III. Identification of design variables

IV. Identification of an objective function

V. Identification of constraints

VI. Graphical method

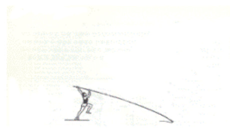
VII. Solve by Excel & Matlab

VIII. 기존 설계와의 비교

IX. COMMENT

III. Identification of design variables

- 장대
  - ✓ 장대의 길이 l
  - ✓ 장대의 지름 d
  - ✓ 장대의 탄성계수 E = 68.9 GPa
- 인간
  - ✓ 신장 x =174 cm
  - ✓ 체중 m =65 kg
  - ✓ 속력 v =10 m/s
  - ✓ Energy loss factor = 250 Nm^{-1}
- 환경
  - ✓ 도약 거리 = 40 m



I. Statement

II. Data and Information Collection

III. Identification of design variables

IV. Identification of an objective function

V. Identification of constraints

VI. Graphical method

VII. Solve by Excel & Matlab

VIII. 기존 설계와의 비교

IX. Comment

IV. Identification of an objective function

$$mgh_1 + \frac{1}{2}mv^2 = mgh_2$$

$$mgh_1 + mg\frac{h_2}{2} + \frac{2P^2l^3}{3E\pi r^4} = mgh_2$$

$$\boxed{h_2(l\ ,r) = \frac{2\left(mgh_1 + \frac{2P^2l^3}{3E\pi r^4}\right)}{mg}}$$

IV. Identification of an objective function

$$mgh_1 + \frac{1}{2}mv^2 \boxed{-\frac{P^2}{2k_h}\cos^2(\phi+\alpha) - \frac{1}{2}mv^2\cos^2(\phi+\alpha)} = mgh_2$$

$$mgh_1 + mg(0.38h_2) + \frac{2P^2l^3}{3E\pi(d_o{}^4 - d_i{}^4)} - \frac{P^2}{2k_h}\cos^2(\phi+\alpha) - \frac{1}{2}mv^2\cos^2(\phi+\alpha) = mgh_2$$

$$\boxed{h_2(l\,,r) = \frac{\left(mgh_1 + \frac{2P^2l^3}{3E\pi(d_o{}^4 - d_i{}^4)} - \frac{P^2}{2k_h}\cos^2(\phi+\alpha) - \frac{1}{2}mv^2\cos^2(\phi+\alpha)\right)}{(1-0.38)\,mg} + 0.7}$$

I. Statement

II. Data and Information Collection

III. Identification of design variables

IV. Identification of an objective function

V. Identification of constraints

VI. Graphical method

VII. Solve by Excel & Matlab

VIII. 기존 설계와의 비교

IX. Comment

V. Identification of constraints

- g1 : $mg - \dfrac{EI\pi^2}{l^2} \le 0$ Euler's buckling
- g2 : 4m – l ≤ 0 L 의 경계조건
- g3 : d – 3 cm ≤ 0 d_0 의 경계조건
- g4 : 2.5 cm – d ≤ 0 d_0 의 경계조건
- g5 : $\rho l\pi(d_o{}^2 - d_i{}^2) - 3 \le 0$ 질량 제한 조건
- g6 : $l - \dfrac{h}{\sin\alpha} \le 0$ 최소 각도 조건

I. Statement

II. Data and Information Collection

III. Identification of design variables

IV. Identification of an objective function

V. Identification of constraints

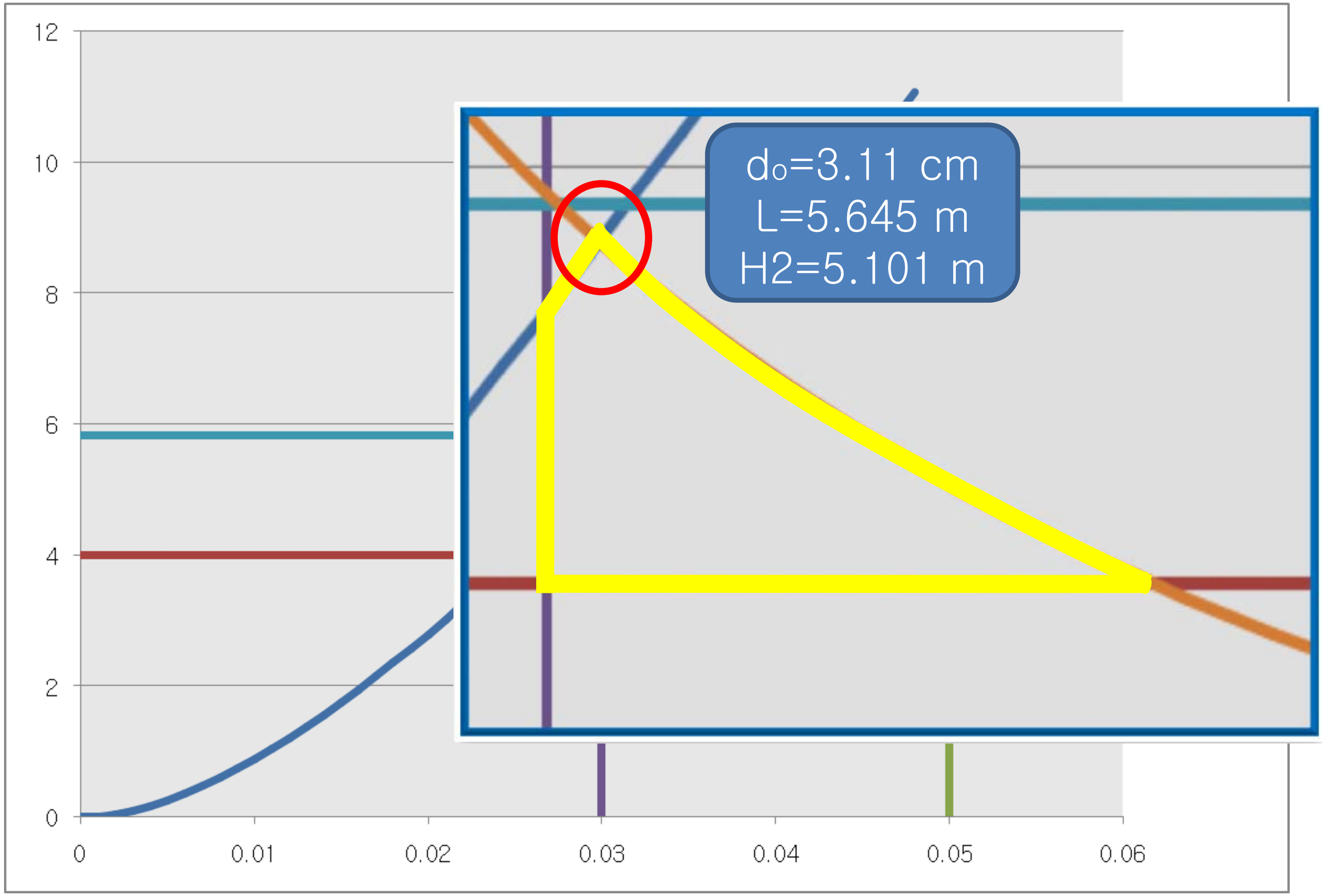
VI. Graphical method

VII. Solve by Excel & Matlab

VIII. **기존 설계와의 비교**

IX. Comment

VI. Graphical method



I. Statement

II. Data and Information Collection

III. Identification of design variables

IV. Identification of an objective function

V. Identification of constraints

VI. Graphical method

VII. Solve by Excel & Matlab

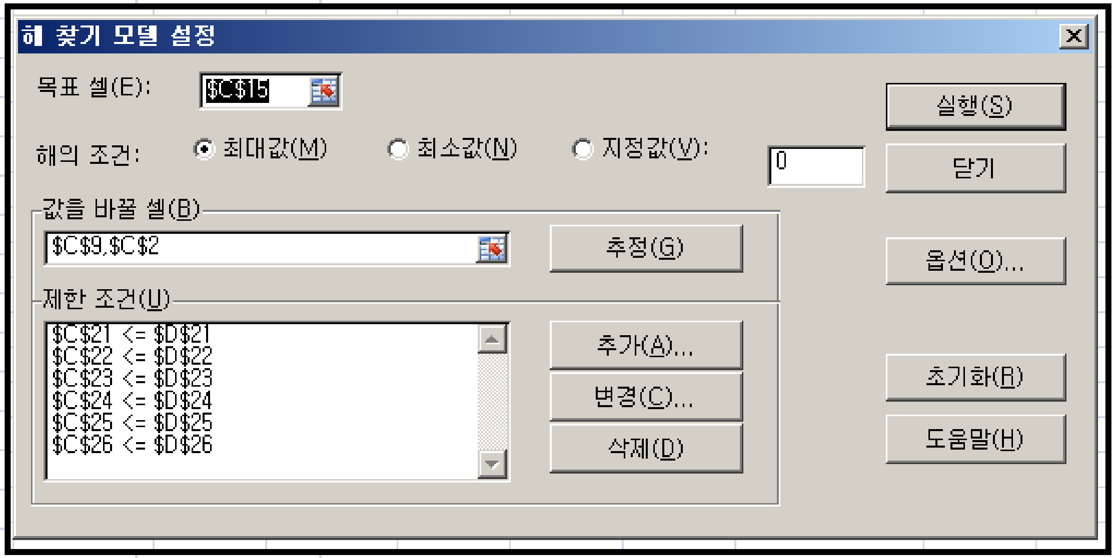
VIII. 기존 설계와의 비교

IX. Comment

VII. Excel _ Solver

ro	3800		
d_o	0.031175749	t	0.003
d_i	0.028175749		
m	65		
v	10		
h1	0.957		
kh	250		
F0	650		
l	5.64540157		
a	0.34906585		
E	68000000000		
I	3.0867E-08		
Φ	0.34906585		
Energy=	1773.716268		
h2=	5.101281061		

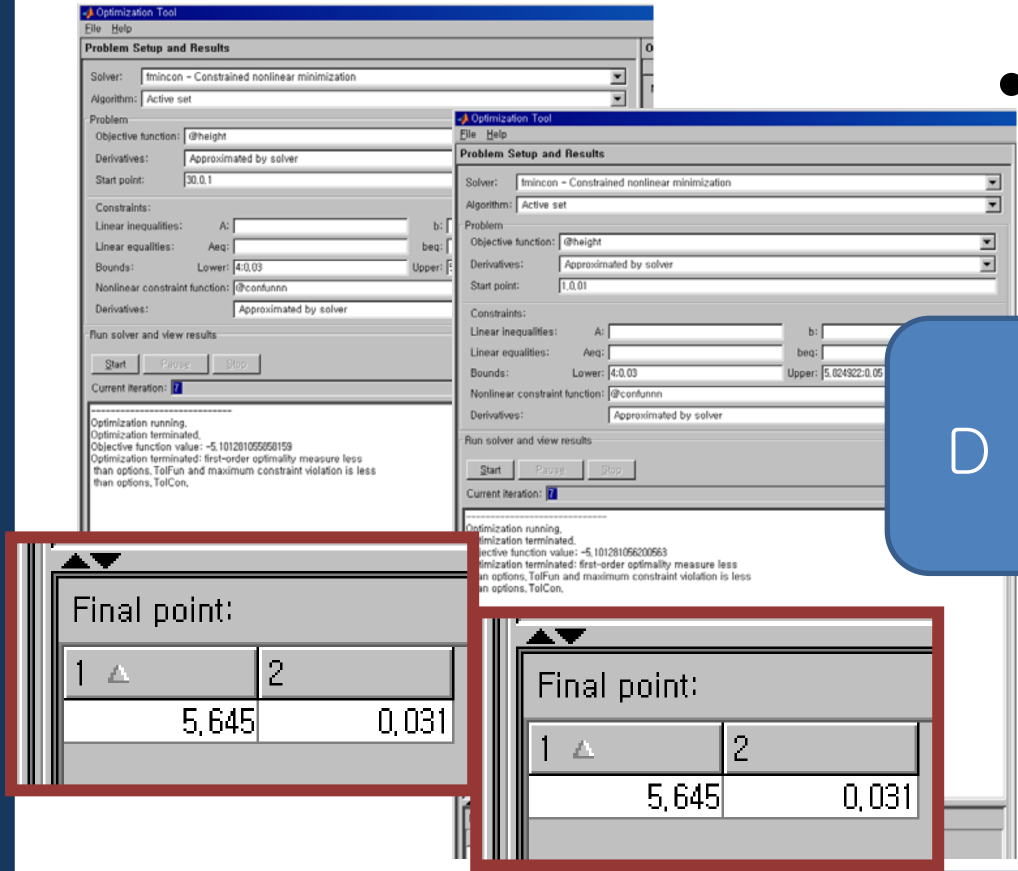
Constraints		
g1	-1.98088E-09	0
g2	-1.64540157	0
g3	-0.018824251	0
g4	-0.001175749	0
g5	4.16197E-10	0
g6	-0.17952079	0



D : 31 mm , L : 5.64 m

해답 보고서 2 / 민감도 보고서 2 / 시나리오 요약 / Sheet1 / Shee

VII. MATLAB - fmincon

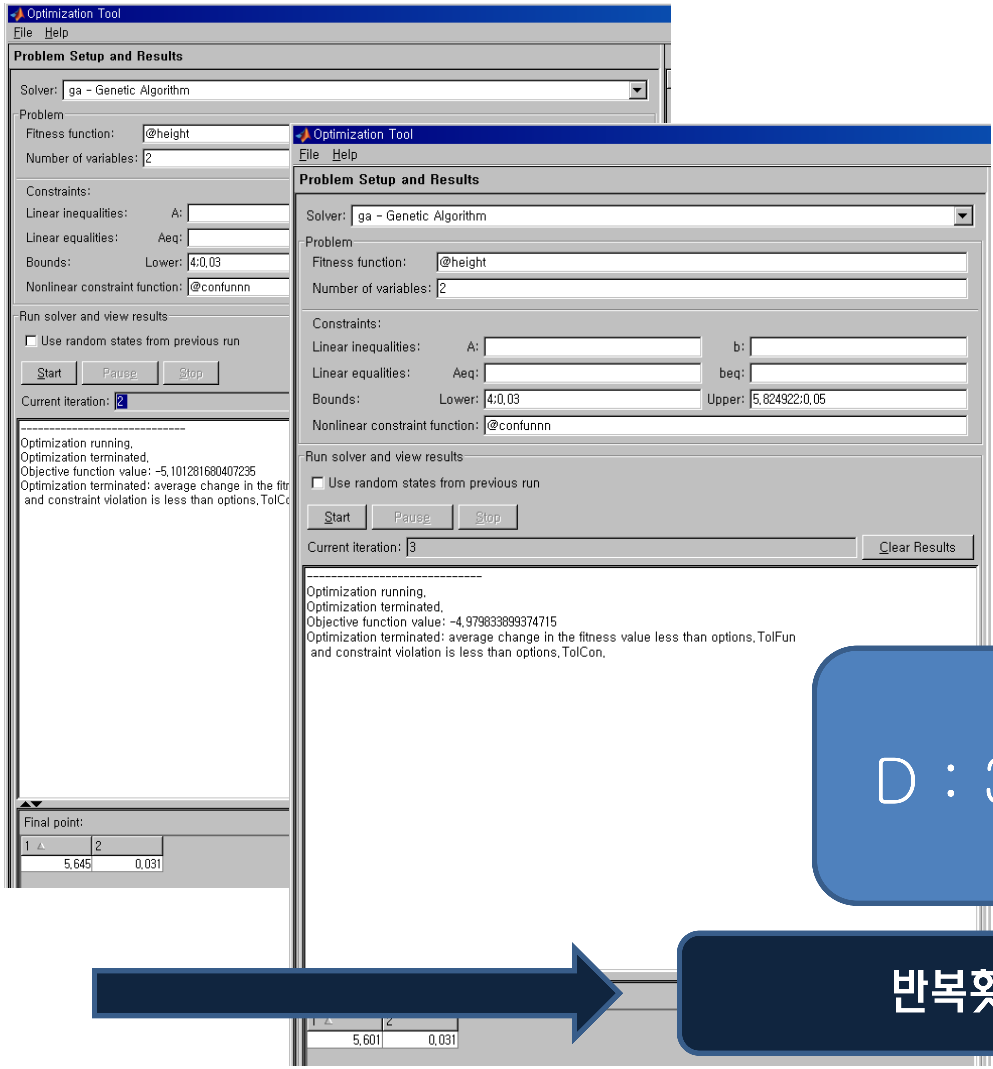


- **초기값의 변화**
  - [30, 0.1] [1 0.01]

D : 31 mm , L : 5.645 m

초기값의 영향을 받지 않는다.

VII. MATLAB_ GA

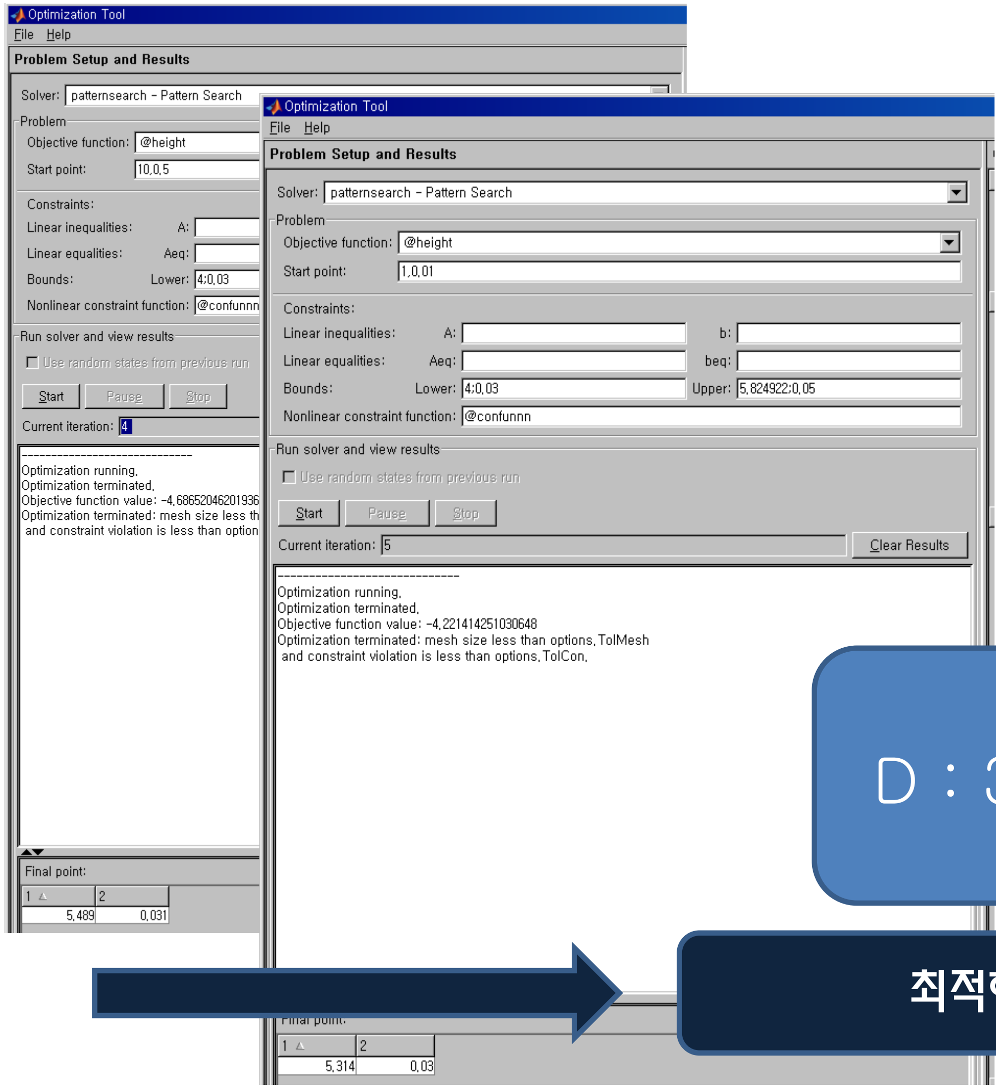


- Population의 변화

D : 31 mm , L : 5.645 m

반복횟수가 초기값의 영향을 받음

VII.MATLAB_ Pattern Search

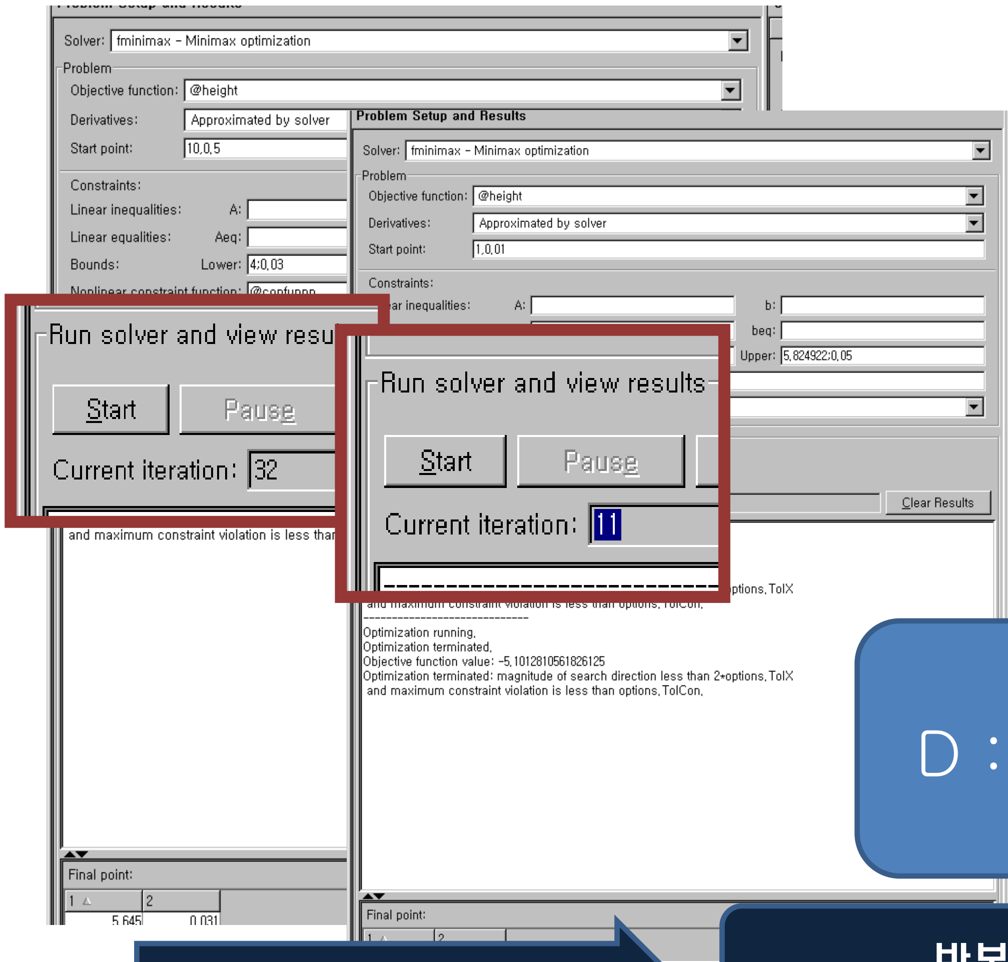


- **초기값의 변화**
  - [10, 0.5] [1 0.01]

D : 30 mm , L : 5.314 m

최적해가 초기값의 영향을 받음

VII. MATLAB_ fminimax



- 초기값의 변화
  - [10, 0.5] -> 32회 반복
  - [1 ,0.01] -> 11회 반복

D : 31 mm , L : 5.645 m

반복횟수가 초기값의 영향을 받음

VII. MATLAB

Fmincon

초기값	[30 0.1]	[1 0.1]
L [m]	5.645	5.645
D_o [mm]	31	32
H_2 [m]	5.1013	5.1013

Pattern Search

초기값	[10 0.5]	[1 0.01]
L [m]	5.489	5.314
D_o [mm]	31	30
H_2 [m]	4.6865	4.2214
iteration	4	5

Ga

L [m]	5.645	5.601
D_o [mm]	31	31
H_2 [m]	5.1013	4.9798
Iteration	2	3
population	20	5

Fminimax

초기값	[10 0.5]	[1 0.01]
L [m]	5.645	5.645
D_o [mm]	31	31
H_2 [m]	5.1013	5.1013
iteration	32	11

I. Statement

II. Data and Information Collection

III. Identification of design variables

IV. Identification of an objective function

V. Identification of constraints

VI. Graphical method

VII. Solve by Excel & Matlab

VIII. 기존 설계와의 비교

IX. Comment

VIII.기존 설계와의 비교

- 장대는 어떤 재질(材質)이나 재료의 합성물로 만들어도, 어떤 길이와 굵기가 되어도 무방하나 기본 표면은 매끄러워야 한다.

  – 육상경기연맹 (www.kaf.go.kr)

- 일반적인 장대의 길이
  – L = 4.5m 이상 d_0 = 3.0 Cm 이상 (t= 3 mm 내외)

최적화한 장대의 제원
L = 5.645m d_0 = 3.1 cm

최종 높이 h2= 5.101 m
(현 세계 기록 5.05 m + 0.051 m)

I. Statement

II. Data and Information Collection

III. Identification of design variables

IV. Identification of an objective function

V. Identification of constraints

VI. Graphical method

VII. Solve by Excel & Matlab

VIII. 기존 설계와의 비교

IX. Comment

IX. Comment

- **최적의 장대 설계**

  최적화한 장대의 길이 + α
  L = 5.645m d = 3.1Cm

- **다양한 최적화 방법에 대한 고찰**
  - Excel _ Solver
  - MATLAB _ fmincon , ga
    Pattern Search , fminimax

IX. Comment

- 더 나은 설계를 위해서 . .

  - 2차원으로 가정한 설계를 3차원으로 확장, 그에 따른 물리적 영향 고려

  -선수 개인의 특성 분석

  -공학적인 분석 + 신체 운동학적 분석

◆ Reference

• Fundamentals of Machine component design 3rd edition,
Robert C. Juvinall , Kurt M. Marshek

• Introduction to sports biomechanics , 정철수, 신인식

• Dillman, C.J. and Nelson, R.C. (1968): The Mechanical Energy Transformations
of Pole Vaulting with a Fiberglass Pole. J. Biomechanics, 1, 175-183.

• Ekevad, M. and Lundberg, B. (1997): Influence of Pole Length and Stiffness on the Energy Conversion in Pole-Vaulting. J. Biomechanics, 30, 259-264.

• 육상경기 : 이론과 실제 , 박준기

• http://www.wikipedia.org/

•국제육상경기연맹 http://www.iaaf.org/

Thanks for listening.
Do you have any questions?