

일회용 나무 젓가락의 최적설계

C.S.I.(Chop_Stick Investigation)

이름	역할
박 상 병	모델링 및 계산 담당
박 재 원	데이터 수집 및 분석

왜 나무젓가락에 관심을 보이는가?

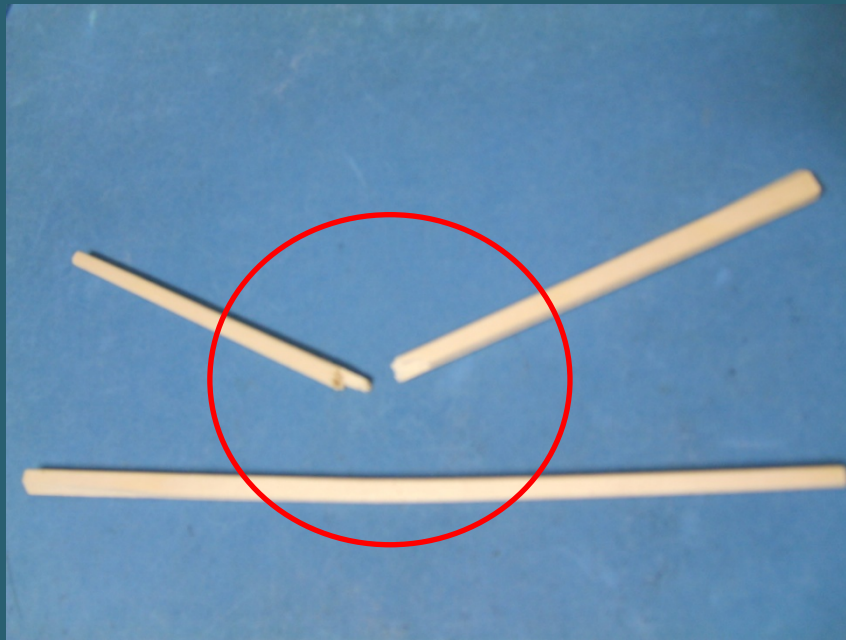
- ▣ 젓가락을 사용하는 민족이 세계를 지배할 것이다.

- “제3의 물결” “미래혁명” 저자 앨빈 토플러

- ▣ 젓가락 사용은 더 이상 기계적이지 않은 지식인의 행위 손가락의 연장인 것처럼 자유자재, 능수능란한 영양 섭취의 도구

- 프랑스 기호학자 롤랑 바르트 저서 “기호의 제국” 중에서

Project/Problem statement



- ▣ 기존 사용하고 있는 나무 젓가락이 부러지고,
- ▣ 손가락에 통증이 있음
- ▣ 기존 젓가락의 설계가 최적인지 의문이 생겼다.

Data and Information

▣ Assumption

- 나무재질 : 전나무
- 양 젓가락에 균일한 하중이 작용
- 재료의 결함 무시
- 나무젓가락의 자중 무시
- 나무젓가락을 손으로 잡는 길이 10 cm

Data and Information

▣ 데이터

Table) 목재의 허용응력

단위: $[kg/cm^2]$

	압축응력	인장/휨응력	전단응력
적송, 흑송	120	135	10.5
삼송, 전나무	90	105	7.5

나무젓가락의 탄성계수 : $E = 0.84 \times 10^4 [kg/cm^2]$

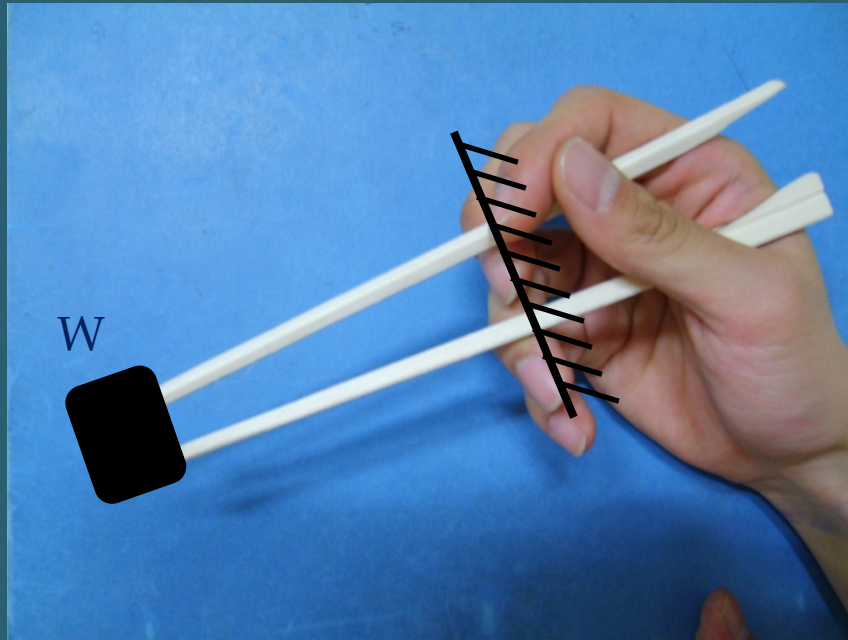
최대허용 질량 : $W_{\max} = 1[kg]$

최대허용 처짐 : $\delta_{all} = 1.3[cm]$

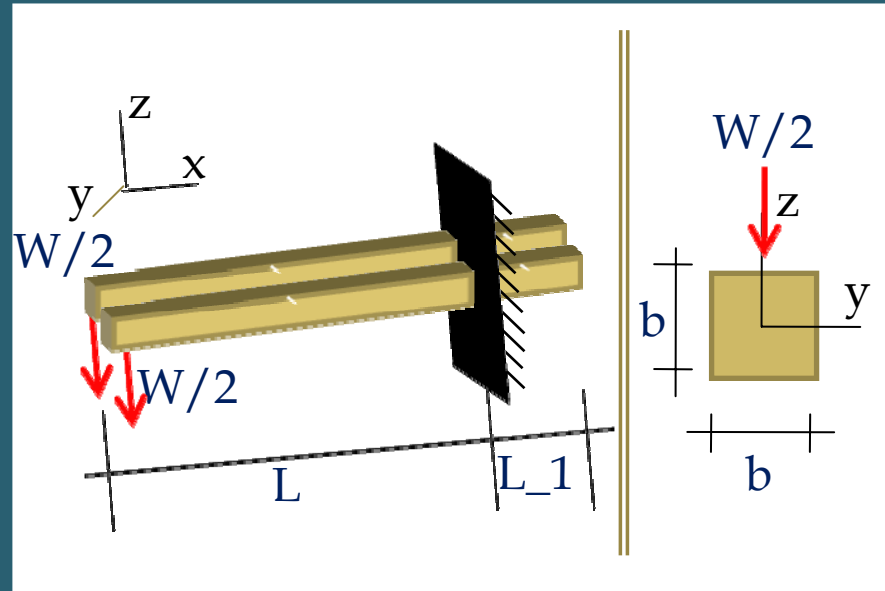
설계 영역 제한 : $0.2 \leq 폭 \leq 0.7[cm]$

$4 \leq 길이 \leq 14[cm]$

Mathematical Modeling(정사각형 단면)



Modeling



▣ Design Variables

$x_1 = \text{단면에 따라 다름}, x_2 = L$

Problem Formulation

▣ 단면에 따른 variables

단면	x_1	c	A	I
정사각형	한변(b)	$\frac{1}{2}x_1$	x_1^2	$\frac{1}{12}x_1^4$
정삼각형	한변(b)	$\frac{\sqrt{3}}{3}x_1$	$\frac{1}{2\sqrt{2}}x_1^2$	$\frac{\sqrt{3}x_1^4}{96}$
원	반지름(d)	$\frac{1}{2}x_1$	$\frac{\pi}{4}x_1^2$	$\frac{\pi x_1^4}{64}$

Problem Formulation

▣ Formulation

$$\sigma_{\max} = \frac{Mc}{I} (M = PL = \frac{1}{2}Wx_2)$$

$$\delta_{\max} = \frac{PL^3}{3EI} (L = x_2, E = 8.04 \times 10^4 [kg/cm^2])$$

$$\tau_{\max} = \frac{3V}{2A} (V = P = \frac{1}{2}W)$$

$$0.2 \leq x_1 \leq 0.7 [cm]$$

$$4 \leq x_2 \leq 14 [cm]$$

Problem Formulation

▣ Objective function

minimize : $f = V = Al = Ax_2$

▣ Constraints

$$g_1 \equiv \sigma - \sigma_{all} \leq 0$$

$$g_2 \equiv \delta - \delta_{all} \leq 0$$

$$g_3 \equiv \tau - \tau_{all} \leq 0$$

$$g_4 \equiv -x_1 + 0.2 \leq 0$$

$$g_5 \equiv x_1 - 0.7 \leq 0$$

$$g_6 \equiv -x_2 + 4 \leq 0$$

$$g_7 \equiv x_2 - 14 \leq 0$$

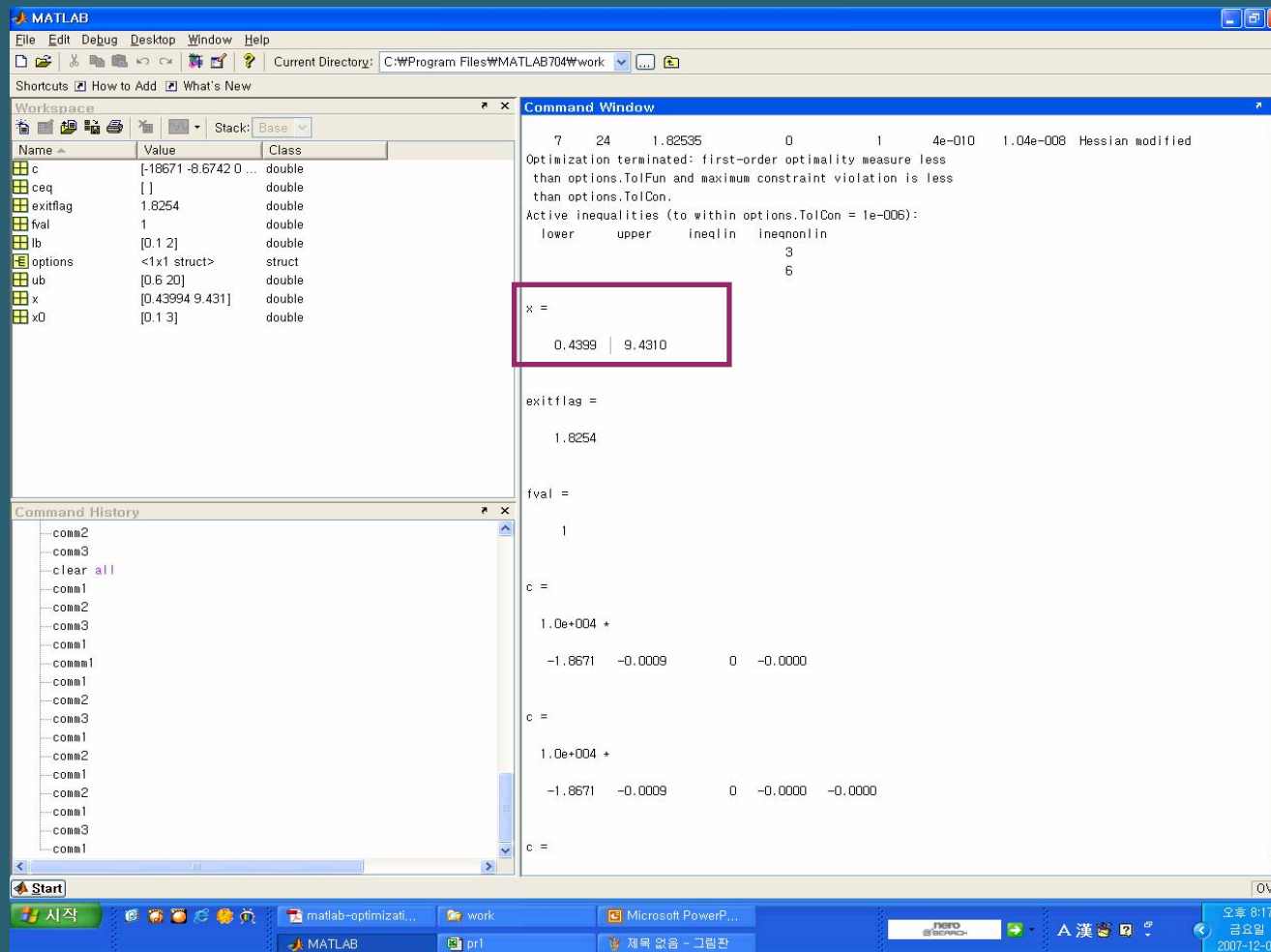
Optimization Results

▣ Excel 해찾기를 이용한 해석

Design variable						
		정사각형	정삼각형	원		
	x_1	0.431	0.599	0.511	[cm]	
	x_2	9.841	9.345	9.642	[cm]	
Data						
	허용응력					
	휨 응력	135	[kg/cm ²]			
	전단응력	10.5	[kg/cm ²]			
	탄성계수	8.04E+03	[kg/cm ²]			
	최대질량	1	[kgf]			
	최대처집	1.2	[cm]			
단면에 따른 variable						
		정사각형	정삼각형	원		
	c	0.2155	0.345833	0.2555		
	A	0.185761	0.126855	0.205084		
	I	0.002876	0.002323	0.003347		
Objective F						
	f	정사각형	정삼각형	원		
		1.828074	1.185463	1.977419		
Constraints						
		정사각형	정삼각형	원		
	g1	124.87	131.14	122.881	<=	135
	g2	1.12E+00	1.02E+00	1.19E+00	<=	1.2
	g3	2.018723	2.956124	1.828519	<=	10.5
	g4	-0.431	-0.599	-0.511	<=	-0.2
	g5	0.431	0.599	0.511	<=	0.6
	g6	-9.841	-9.345	-9.642	<=	-4
	g7	9.841	9.345	9.642	<=	14

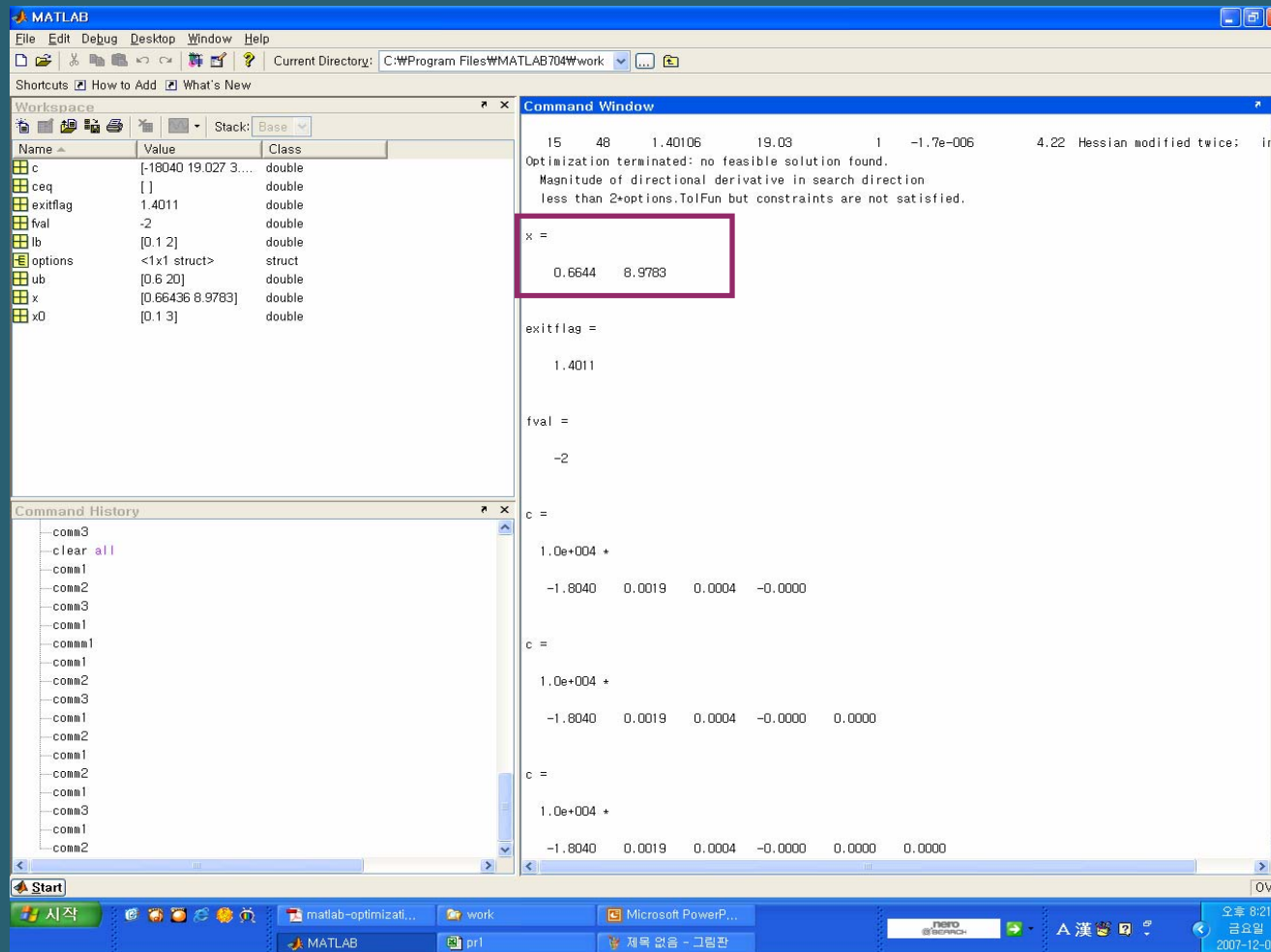
Optimization Results

▣ Matlab을 통한 해석(정사각형단면)



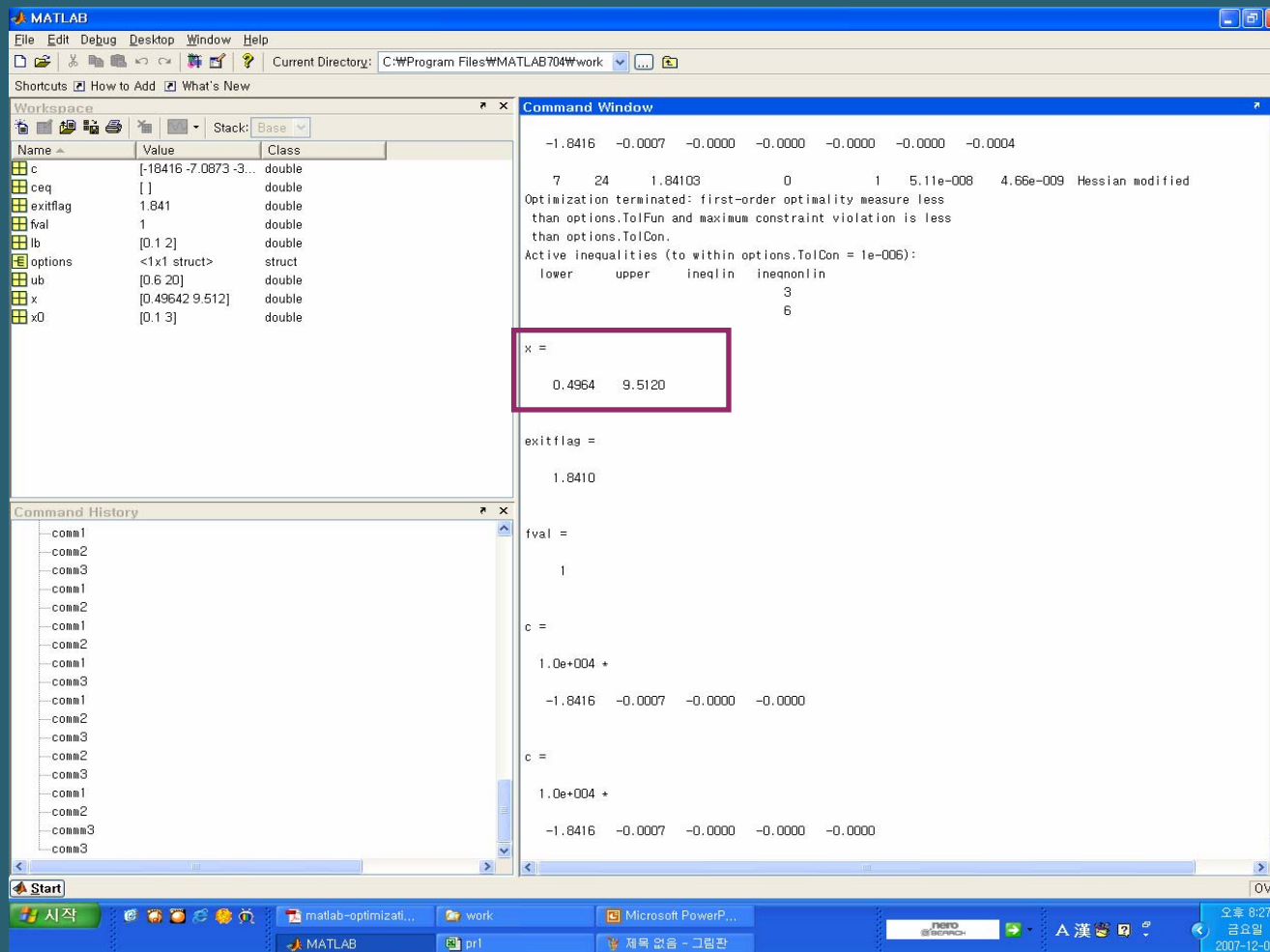
Optimization Results

▣ Matlab을 통한 해석(정삼각형단면)



Optimization Results

▣ Matlab을 통한 해석(원형단면)



Discussions

	현재 품	Excel			Matlab		
	정사각형	정사각형	정삼각형	원형	정사각형	정삼각형	원형
x_1	0.48	0.431	0.599	0.511	0.44	0.67	0.49
x_2	11	9.841	9.345	9.612	9.431	8.97	9.512
L	21	19.8	19.3	19.6	19.4	18.9	19.5
f	2.53	1.82	1.18	1.98	1.83	1.40	1.84

Discussions

- ▣ 최적 : 삼각형, $x_1=0.599$, $x_2=9.345$, $f=1.18$
 - 하지만 실용상 문제(사용상 불편, 가공cost)를 고려하여보면 f 값이 그 다음으로 좋은 사각형단면이 최적이라고 생각한다.
- ▣ 최적(보정) : 사각형, $x_1=0.431$, $x_2=9.841$, $f=1.82$
- ▣ 기존 제품과 비교하여 $\Delta f=0.71(\text{cm}^3/\text{개})$ 의 이득을 보았다.