

A photograph of the Space Shuttle Discovery during its ascent. The orbiter is attached to the external tank and solid rocket boosters. Large plumes of fire and smoke are visible at the base of the vehicle. The background shows a clear blue sky and a distant horizon.

물로켓 최대비거리 를 위한 최적설계

Team : Discovery

박상정, 박정우

The produce of this project

지난 중간발표에 대한
Review

결론 및 지난
설계와의 비교

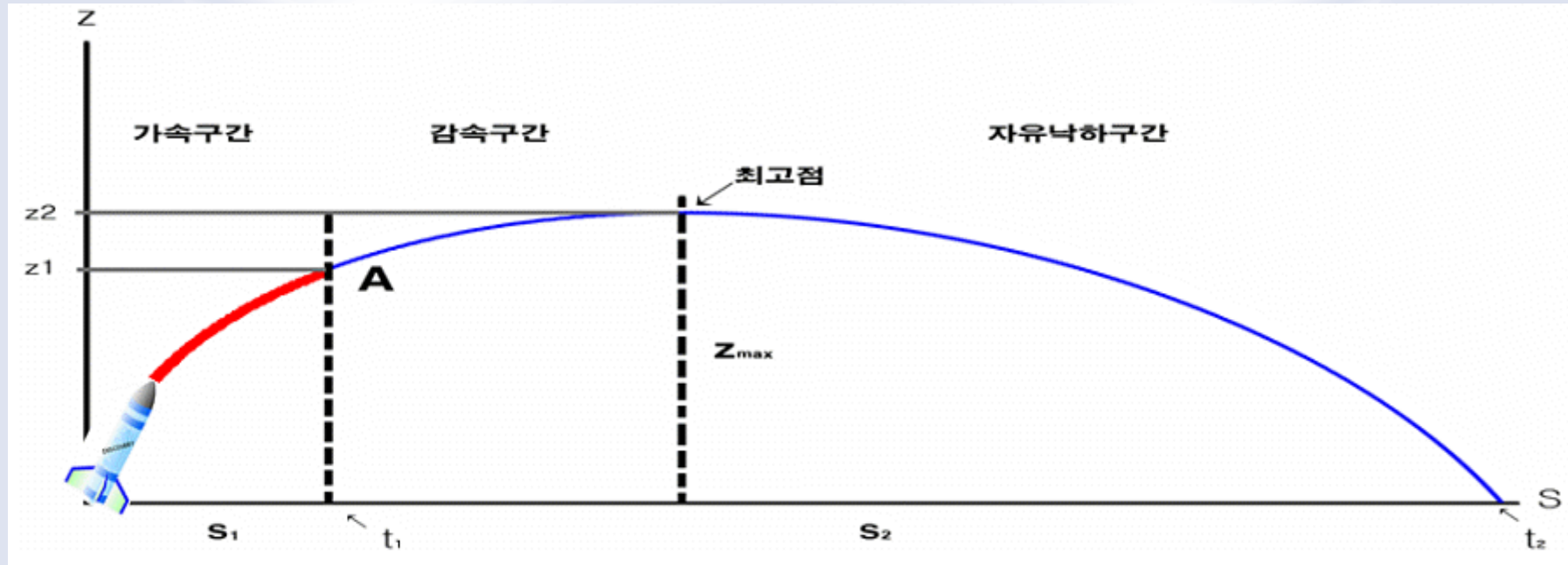


향상된 설계에 대한
정식화 과정

Optimum tool을 이용한
최적설계 값을 찾는다.



The Review of last project



1. Objective function

선형운동량와 연속방정식으로 부터
목적함수 유도.

$$S_{Max} = \int_0^{t_1} v_e \cos \theta \ln \frac{m_o + m_R}{m_o + m_R - \dot{m}_f t} dt + v_e \cos \theta \ln \frac{m_o + m_R}{m_R} t_2$$

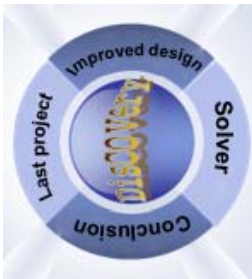
2. Design valuables

$$0 < m_o (\text{물의 무게}) < 1.5kg$$

$$0 < \theta (\text{발사각도}) < 90^0$$

3. Constraints

$$\dot{V}_{RZ} = (V_R \sin \theta) = \frac{\dot{m}_f V_e \sin \theta}{m_o + m_R} \rangle g$$

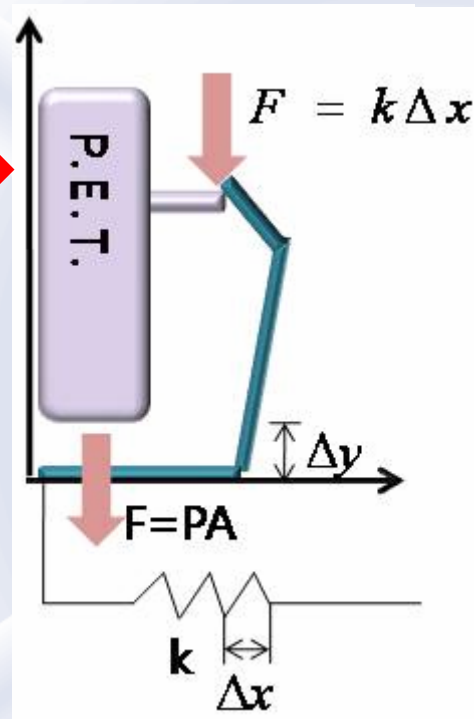


The improved design of this project

:: 물로켓 발사대 (철제 - Power Max) ::



압력 주입 후



Assumption: 위낙의 고가의 장비라 분해를 해볼 수는 없었지만, 등가적으로 이런 모형이라고 예상.

$$\rightarrow PA \leq k\Delta x$$

Another Constraint : $PA - 30 \leq 0$

원형 관로의 손실

1. 마찰 손실 :

다르시-바이스바하 공식

$$h_L = f \frac{L}{D_h} \frac{V^2}{2g}$$

니크라제 공식

$$f = 0.0032 + \frac{0.221}{Ne^{0.237}}$$

레이놀즈 수

$$Ne = \frac{\rho V D}{\mu}$$

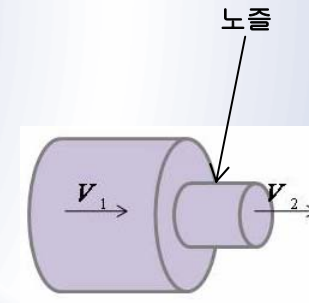
2. 부차 손실 :

$$h_M = K_L \frac{V^2}{2g}$$

종형유입구 $K_L = 0.05$

3. 손실 압력 :

$$\Delta P = \gamma(h_M + h_L)$$

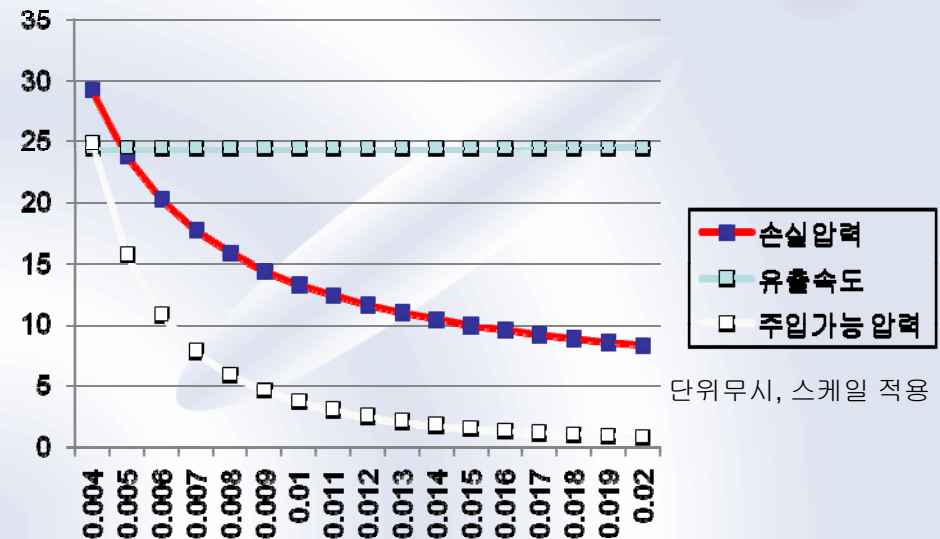




The improved design of this project

노즐 사용

1. 현재 시판되는 노즐의 지름은 8mm
2. 필요성
 - (1) 노즐의 지름이 커질수록 손실압력감소
 - (2) 유출속도 변화 거의 없음
 - (3) 주입가능 압력 또한 급격히 감소한다.
3. 그러므로 노즐을 사용하면 비거리를 향상 시킬 수 있다.



Summary

Design valualbes : m_0, D_2, θ

Objective function :
$$S_{Max} = \int_0^{t_1} v_e \cos \theta \ln \frac{m_o + m_R}{m_o + m_R - \dot{m}_f t} dt + v_e \cos \theta \ln \frac{m_o + m_R}{m_R} t_2$$

Constraints :
$$g_1 = -\frac{\dot{m}_f V_e \sin \theta}{m_o + m_R} + 9.806 < 0$$

$$g_2 = PA_2 - 30 < 0$$

$$g_3 = -D_2 < 0$$

$$g_4 = D_2 - 0.02 < 0$$

$$g_5 = -m_0 < 0$$

→ z방향 가속도는 중력가속도 보다 커야한다.

→ 주입가능 압력에 따른 노즐의 지름

→ $0 < \text{노즐의 지름} \leq 0.02\text{m}$

→ 초기물의 양은 0보다 커야한다.



The Optimum design valuables

- Excel을 이용한 뉴턴법 1차식 해찾기

mr	D1	A1	A2	Ve	Mf	t1	H	S1	Z1	v0	t2	s2
0.1	0.09	0.00636	8.57E-05	24.08339	2.09214	0.24518	0.15852	2.19263	2.89323	34.05928	7.03055	176.319

순환식

$$Ve = \sqrt{\frac{2(P - \Delta P)D_1^4}{\rho(D_1^4 - D_2^4)}}$$

Pressure decrease

Ne	f	hl	hk	delta p
253719	0.04358	3.80139	1.518884	52170.571

(난류)

Initial values

D2	P	m0	theta	S
0.01	350000	0.5095	0.9824	173.875

(m)

(Pa)

(Kg)

(rad)

(m)

Constraints

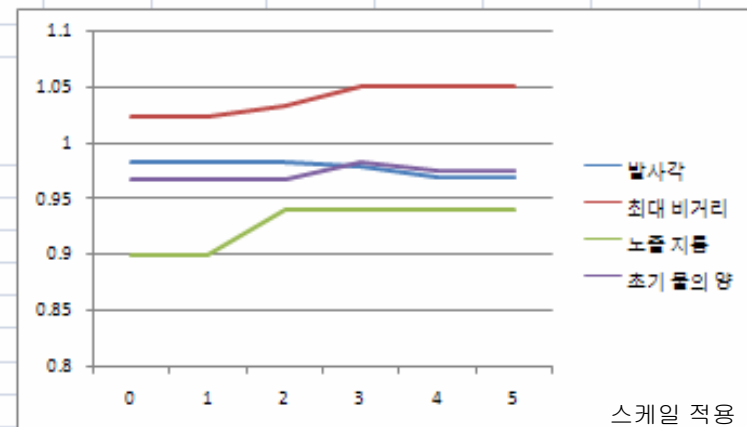
g1	g2	g3	g4	g5
2.6E-07	2.3E-13	-0.0104	-0.009553	-0.5129596

Results

D2	P	m0	theta	S
0.01045	350000	0.51296	0.96832	178.5117

시나리오 요약

초기값:	1	2	3	4	5
만든 사람 박 정우 날짜 12/9/2007	만든 사람 박 정우 날짜 12/9/2007	만든 사람 박 정우 날짜 12/9/2007	만든 사람 박 정우 날짜 12/9/2007	만든 사람 박 정우 날짜 12/9/2007	만든 사람 박 정우 날짜 12/9/2007
변경 셀:					
\$H\$13	0.01	0.01	0.0104468	0.01045	0.010447
\$K\$13	0.9824	0.9824	0.9824014	0.97882	0.96833
\$J\$13	0.5095	0.509501	0.5094971	0.51736	0.51297
결과 셀:					
\$L\$13	173.875	173.8749	175.52271	178.448	178.512
scaling f	1.02279	1.022794	1.0324865	1.04969	1.05007
D	0.9	0.9	0.9402085	0.94021	0.94021
mr	0.96805	0.968051	0.9680444	0.98298	0.97464



Optimum Points

D2 (노즐의 지름) : 0.01045m
m0 (초기 물의 양) : 0.51296
 θ (발사각) : 0.96832rad (55.48도)

Maximum value

S(최대비거리)= 178.5117m

Condition of Solver

정밀도 : 0.000001

수렴도 : 0.000001



The Optimum design valuables

- Excel을 이용한 공액경사법 1차식 해찾기

Values

mr	D1	A1	A2	Ve	Mf	t1	H	S1	Z1	v0	t2	s2
0.1	0.09	0.00636	8.57E-05	24.408339	2.09214	0.24518	0.15852	2.19263	2.89323	34.05928	7.03055	176.319

Pressure decrease

Ne	f	hl	hk	delta p
253719	0.0435761	3.80139	1.518884	52170.571

(단류)

Initial values

D2	P	m0	theta	S
0.01	350000	0.5095	0.9824	173.875

(m) (Pa) (Kg) (rad) (m)

Constraints

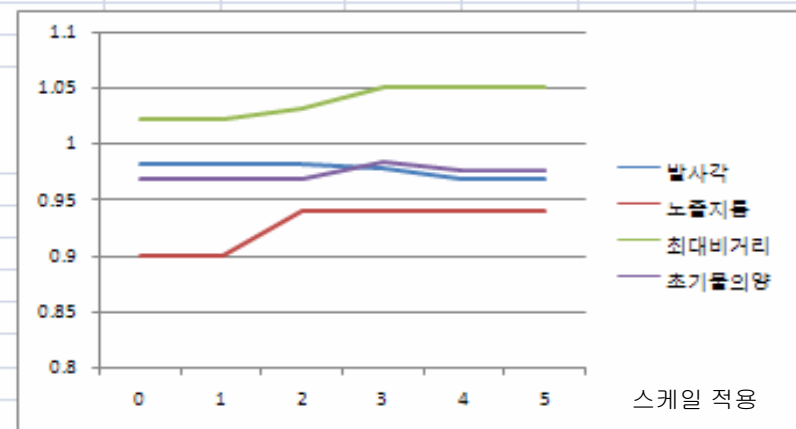
g1	g2	g3	g4	g5
2.7E-07	2.309E-13	-0.0104	-0.009553	-0.5129596

Results

D2	P	m0	theta	S
0.01045	350000	0.51296	0.96832	178.5117
			55.4805	

시나리오 요약

	초기값:	1	2	3	4	5
		만든 사람 박 경우 날짜 12/9/2007	만든 사람 박 경우 날짜 12/9/2007	만든 사람 박 경우 날짜 12/9/2007	만든 사람 박 경우 날짜 12/9/2007	만든 사람 박 경우 날짜 12/9/2007
변경 셀:						
\$H\$13	0.01	0.01	0.0104468	0.01045	0.01045	0.010447
\$K\$13	0.9824	0.9824	0.9824014	0.97882	0.96833	0.968318
\$J\$13	0.5095	0.509501	0.5094971	0.51736	0.51297	0.51296
결과 셀:						
\$L\$13	173.875	173.8749	175.52271	178.448	178.512	178.5117
scaling D2	0.9	0.9	0.9402085	0.94021	0.94021	0.940209
f	1.02279	1.022794	1.0324865	1.04969	1.05007	1.050069
m0	0.96805	0.968051	0.9680444	0.98298	0.97464	0.974623



Optimum Points

D2 (노즐의 지름) : 0.01045m
 m0 (초기 물의 양) : 0.51296
 θ (발사각) : 0.96832rad (55.48도)

Maximum value

S(최대비거리)= 178.5117m

Condition of Solver

정밀도 : 0.000001
 수렴도 : 0.000001



The Optimum design valuables

- MATLAB fmincon

Global Optimum solution!!

Constraints 1, 2 is Active.

$$g_1 = -\frac{\dot{m}_f V_e \sin \theta}{m_o + m_R} + 9.806 < 0$$

$$g_2 = PA_2 - 30 < 0$$

(2) Optimum Points

D2 (노즐의 지름) : 0.0104m

m0 (초기 물의 양) : 0.5296

θ (발사각) : 0.9666rad (55.48도)

(3) Maximum value

S(최대비거리)= 179.7571m

(4) 반복수, 알고리즘

lower upper ineqlin ineqnonlin

1
2

x =

0.0104 0.5296 0.9666

fval =

-179.7571

exitflag =

4

output =

iterations: 6

funcCount: 33

stepsize: 1

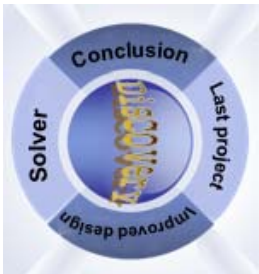
algorithm: 'medium-scale: SQP, Quasi-Newton, line-search'

firstorderopt: 2.1831e-006

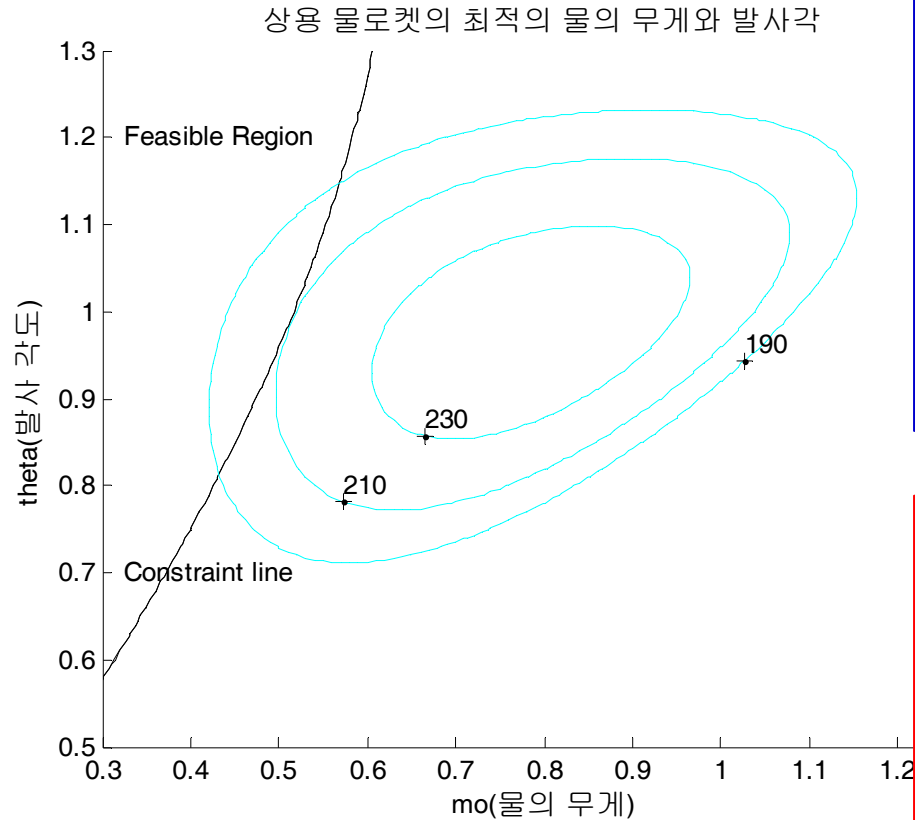
cgiterations: []

hessian =
det H = 2.459 × 10⁻⁴
1.0e+003 *
8.0608 0.0668 -0.1919
0.0668 0.0135 0.1153
-0.1919 0.1153 1.0623

x	D2	m0	θ (도)	S
뉴턴법	0.01045	0.51296	55.48	178.5117
공액경사	0.01045	0.51296	55.48	178.5117
SQP	0.0104	0.5296	55.38	179.757



Compare to the last design



1) Last design value

	A	B	C
1	M	0.6	0.509453
2	TH	0.9	0.982495
3	f	190.8456	209.3167
4	g1	-2.1E-08	
5			
6	각도	56.2928	
7	물의 양	0.509453	
8			

2) Improved design value

Initial values

반복횟수 5회!!

D2	P	m0	theta	S
0.01	350000	0.5095	0.9824	173.875
(m)	(Pa)	(Kg)	(rad)	(m)

Results

D2	P	m0	theta	S
0.010447	350000	0.51296	0.968318	178.5117
			55.48051	

>> 결과

- 1) 지난 설계 결과를 초기 값으로 활용하여 빠른 수렴성을 얻을 수 있었다.
- 2) 지난 설계에 비해 적은 최대비거리가 도출 되었지만, 이는 노즐에서의 압력손실에 의한 영향이다.



Compare to the last design & conclusion

1. 비교 분석

The last design

- 1) 변수의 개수 : 2개
- 2) 최대 비거리 : 209.31m
- 3) 적정 변수 값
 m_0 (물의 양) = 0.5094kg
 θ (발사각) = 56.29도

The improved design

- 1) 변수의 개수 : 3개
- 2) 최대 비거리 : 178.51m
- 3) 적정 변수 값
 m_0 (물의 양) = 0.5129kg
 θ (발사각) = 55.48도
D2 (노즐지름) = 10.44mm

2. 노즐의 지름

- 전문 과학 기구판매 회사인 '아카데미'에서는 노즐은 8mm로 제작하여 판매하고 있다. 이번 프로젝트의 값과는 2.44mm의 차이가 있다.
만약 판매회사에서 노즐의 지름을 약 10mm로 설계한다면 최대 비거리가 향상 되리라 기대합니다.

3. 프로젝트의 의의

1. 시중에 판매되는 로켓 제작 키트는 너무 비싼 가격에 판매되고 있다. 비싼 것은 3만원을 호가하고 있다.
2. 물로켓을 자작으로 만들시, 최고 성능을 위한 최적의 조건을 제시한다.
3. 최대 비거리의 조건을 알기 위해 Try and Error를 행하면, 물로켓 파손의 위험이 매우크다.

4. 결론

- 이번 프로젝트 처럼, 목적함수와 제약이 nonlinear이고, 변수가 3개 이상이 되면, 초기값에 최적해가 매우 민감하게 반응하였다. 이는 많은 Local optimum solution이 존재하기 때문이다.