경량화와 안정성 비교를 통한 쿼드콥터 드론 경향성 분석

4드론 조
신현기 심재훈

팀명 선정 이유 : 4드론

- 드론에 관련된 4가지 요소 분석

- 스타크래프트라는 게임에서
  모든 것을 건 초반 올인 전략의 이름

Process Flow

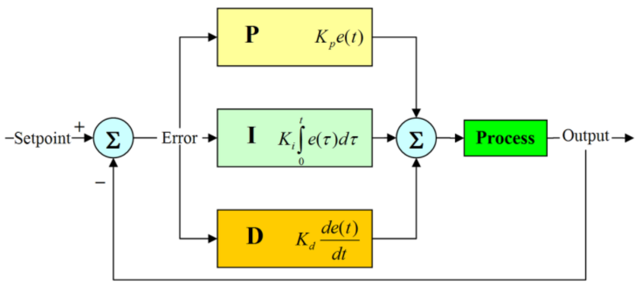
Design	Design	Analysis	Analysis	Analysis
시뮬링크 드론 모델링	Catia를 통한 3차원 모델링	유한요소분석	드론 경량화에 따른 경향 분석 -사각빔 두께 1mm ~ 8mm 에 따른 분석	골격 디자인에 따른 경향분석 - I 빔 - 내부철심 사각 빔과 비교)

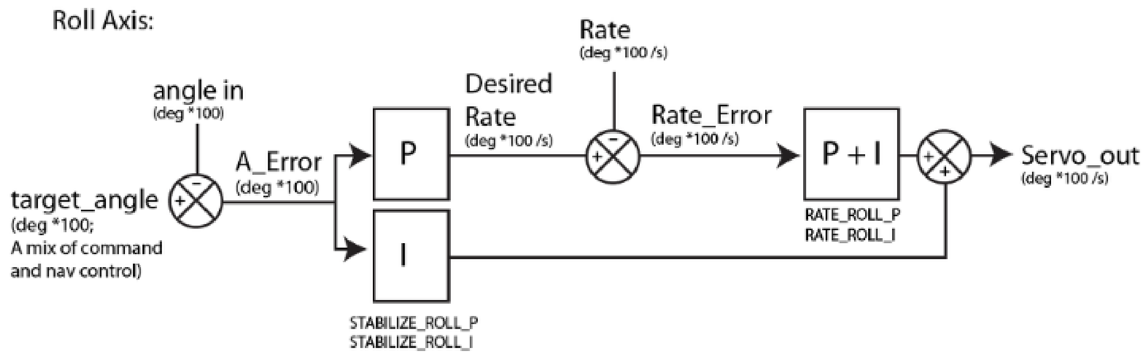
드론 모델링 by Simulink

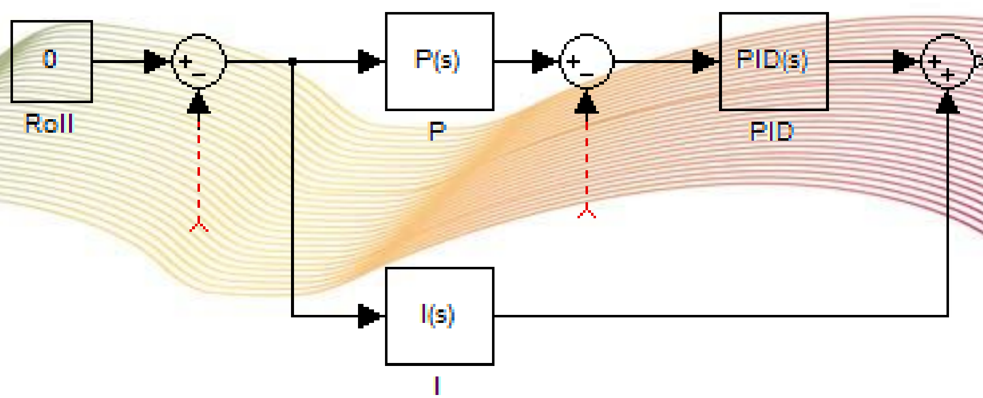
- 이중 PID 제어

- 기계적 제어와 에너지를 연계한 Multy Physics 설계

이중 PID 제어



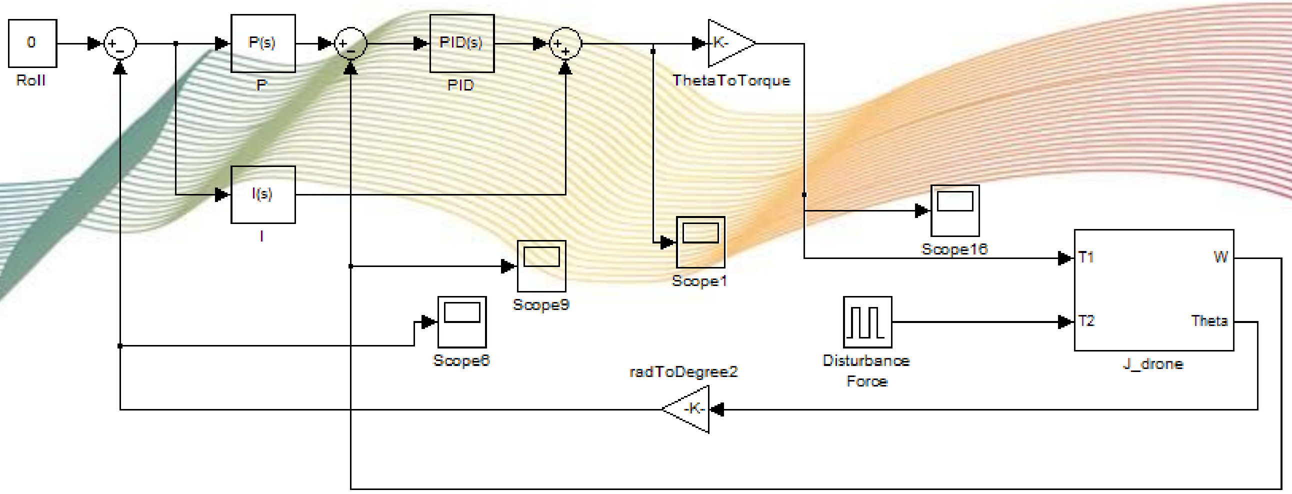




- 실제 드론에서 정밀한 제어를 위해 사용하는 이중 PID제어를 구현

이중 PID 제어

- 드론이 유지하길 원하는 각도를 input으로 설정 후 제어
- 이 때 발생하는 각도 오차에 선형적으로 비례하는 각속도를 가지도록 제어
- 그런 각속도를 발생시키기 위한 토크를 계산하여 발생시킴



$$T = J_{Drone} * \ddot{\theta}$$

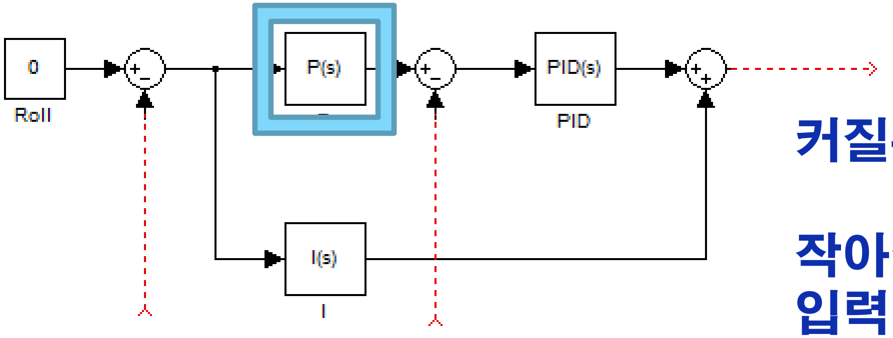
$$\dot{\theta} = P_1 * \theta$$

$$T = J_{Drone} * \frac{d}{dt}\frac{d}{dt} * \theta$$

$$T = J_{Drone} * \frac{d}{dt}(P_1 * \theta)$$

$$T = J_{Drone} * P_1^2 * \theta$$

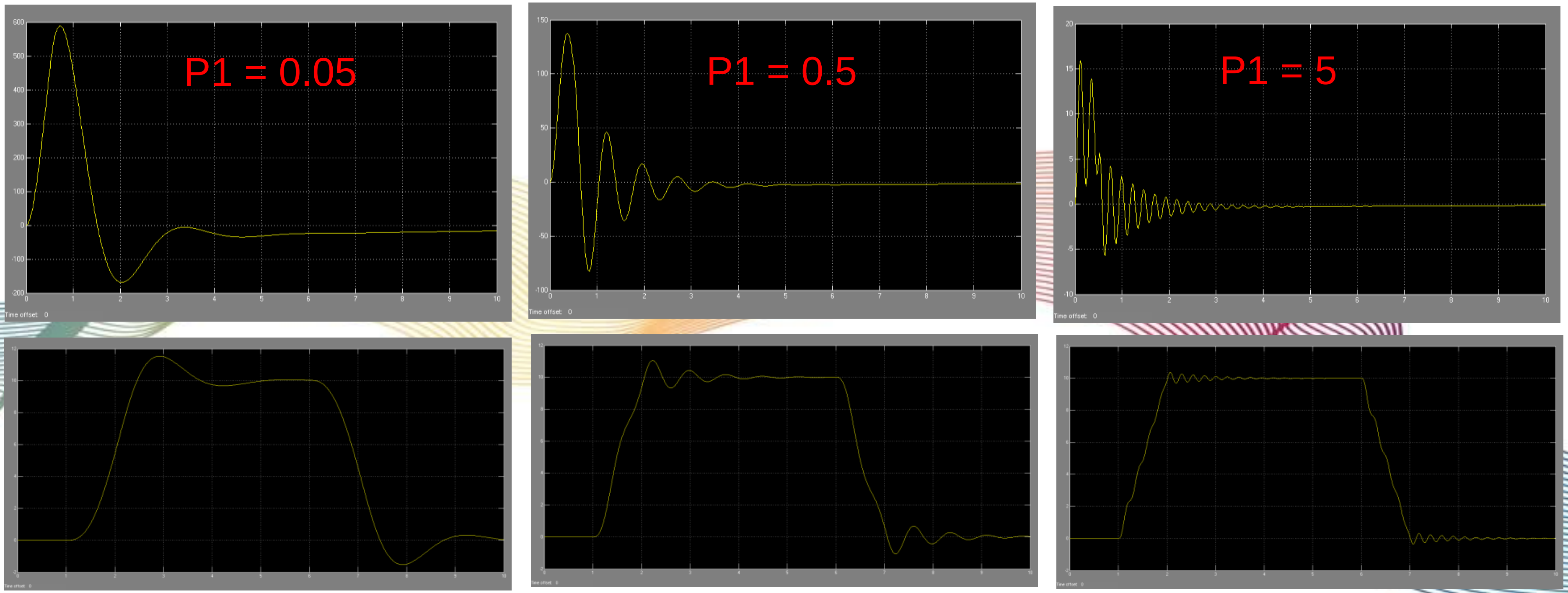
First P GAIN



커질수록 각속도가 급격하게 변하므로 불안정

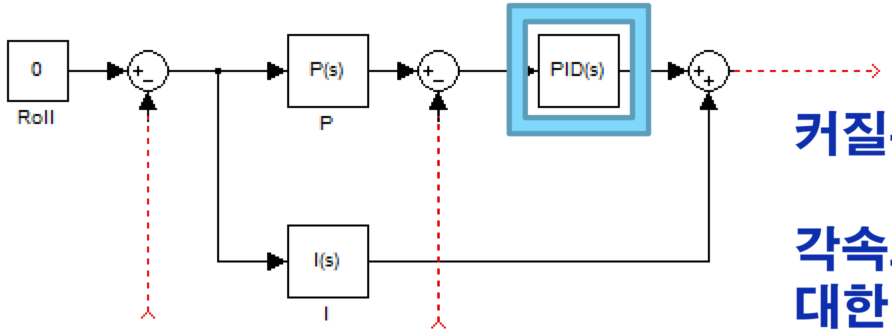
vs

작아질수록 각속도가 완만하게 변하므로
입력에 대한 반응속도가 느려짐



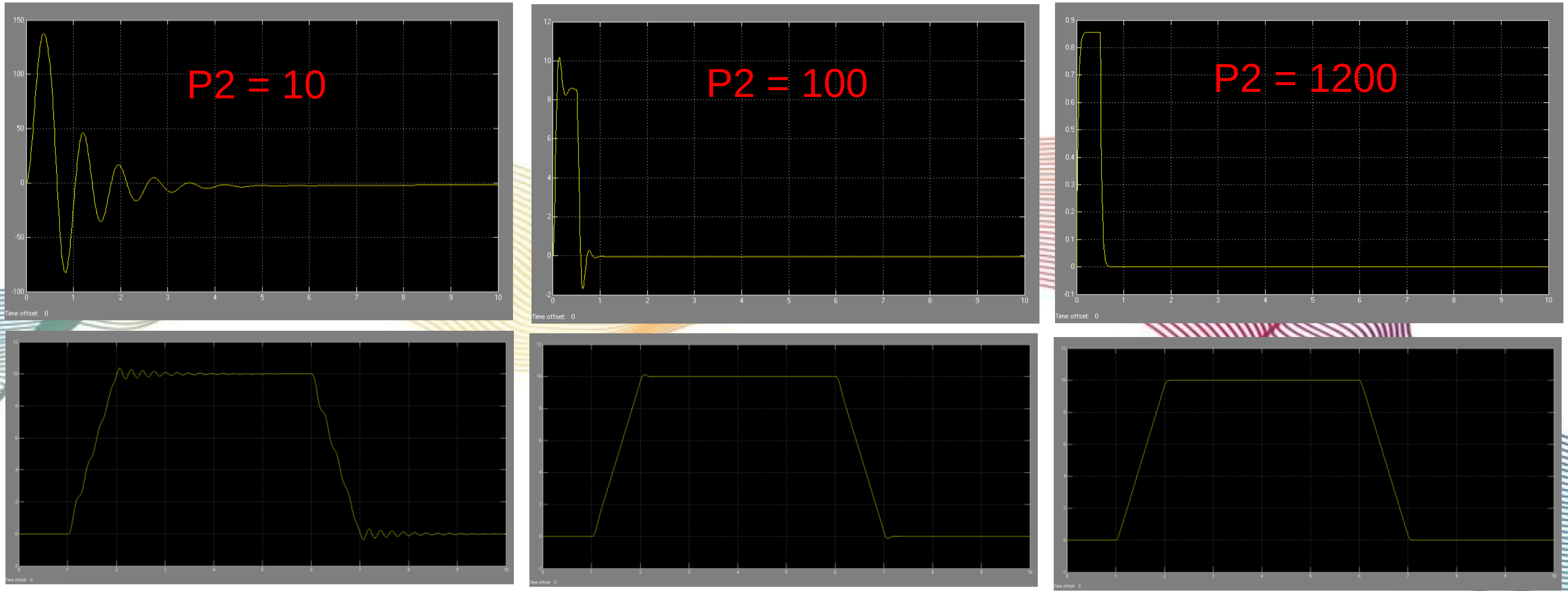
When P2 = 10

Second P GAIN



커질수록 시스템의 안정성이 증가

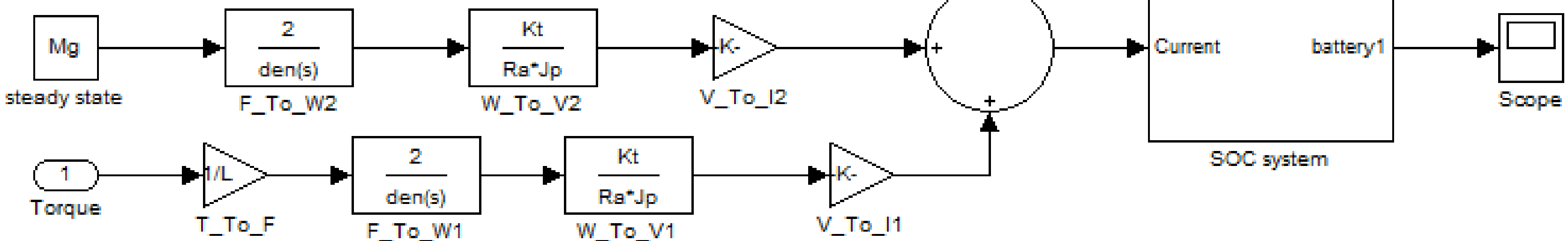
각속도에 대한 제어는 각도(INPUT)의 미분량에 대한 제어와 같으므로 사실상 D제어의 역할을 수행함을 알게 되었다.



When P1 = 0.5

SOC 분석 알고리즘 설계

$$\frac{W_m(s)}{V_a(s)} = \frac{K_t}{(R_a + L_a s)(J_m s + B_m) + K_e K_e}$$



제어하는데 필요한 토크는 모터를 통해 발생한다.

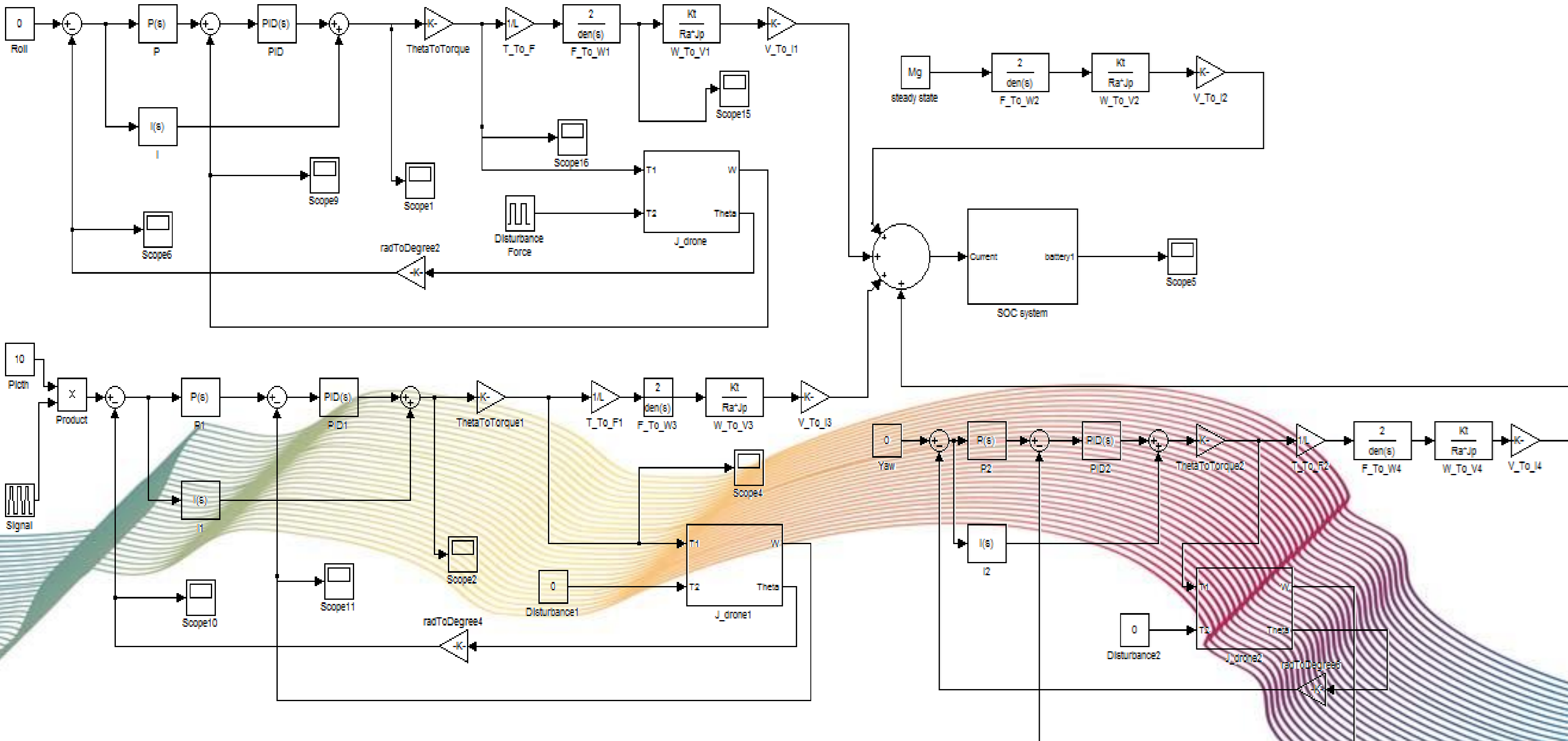
그 때 필요한 전력량과 기본적으로 소모하는 전력을 합해 소모하는 에너지를 관측하는 알고리즘

SOC의 경우 과제로 나왔던 모듈을 이용

$$F = \frac{1}{2} A C_d \rho V^2 \quad \Rightarrow \quad F = \frac{1}{2} A C_d \rho * K_b * V$$

선형근사

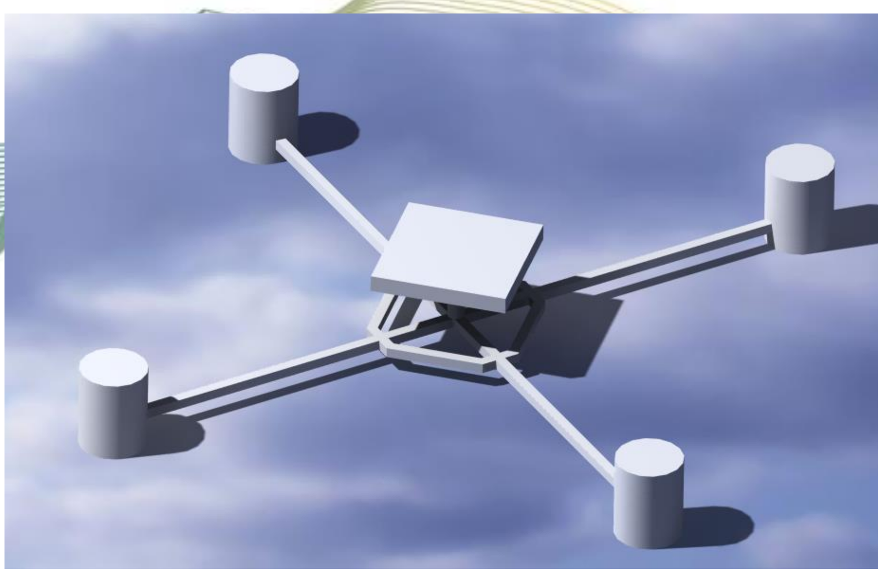
Complete Design

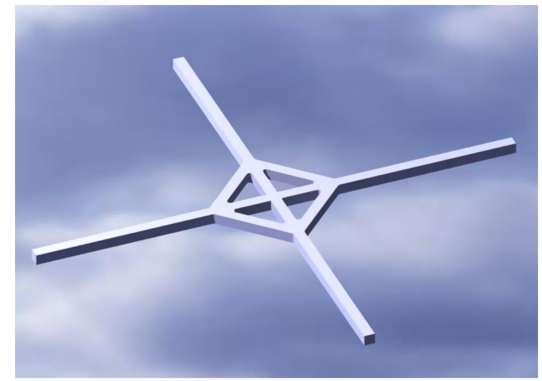


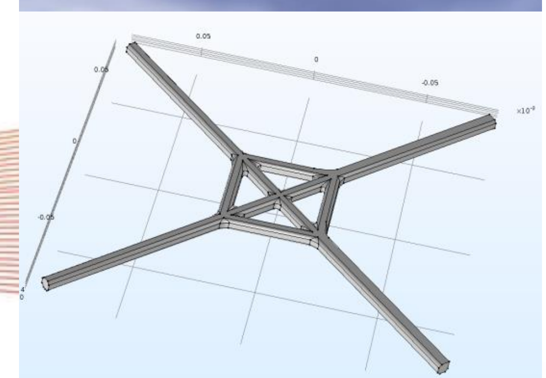
P1 = 0.5 P2 = 1200 I1=0.01 I2=1

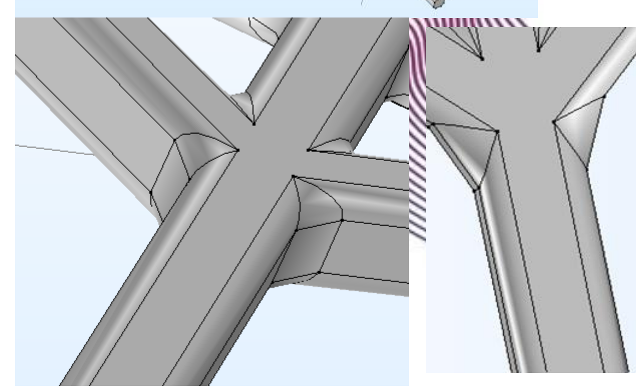
Catia Modeling

드론사양
- 무게: 50g
- 배터리: 3.7V/500mA
- 조종시간: 10~11분
- 통신방식: 블루투스 (미포함)
- 통신거리: 20m(개활지)
- 조종방법: 핸드폰 어플리케이션
- Flight control: Air Copter V2.2(Multiwii Base)





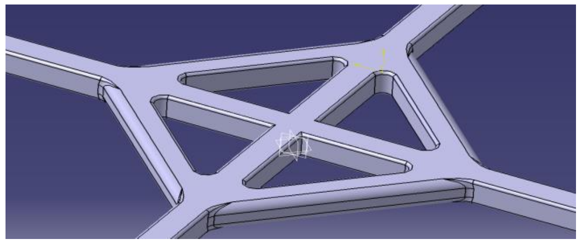




유한요소 분석

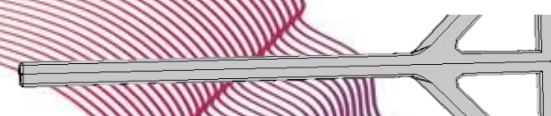
- COMSOL 시뮬레이션 계획

1. 3D 모델링에 대해
   1) 필렛처리

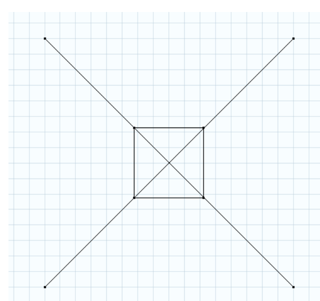


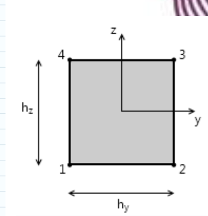
   2) 항복응력 도달 힘 구현을 위해 Time-dependent 스터디 (충돌구현)
      -충돌시간 0.01 초 가정. Step 0.001s

   3) Edge load 로 한 군데 끝 모서리부분에 힘 작용
   4) 선으로 최대응력이 예상되는 부분에 그어 시간에 따른 응력변화 관찰
   5) Mesh는 Free Tetrahedral 의 Fine size로 처리



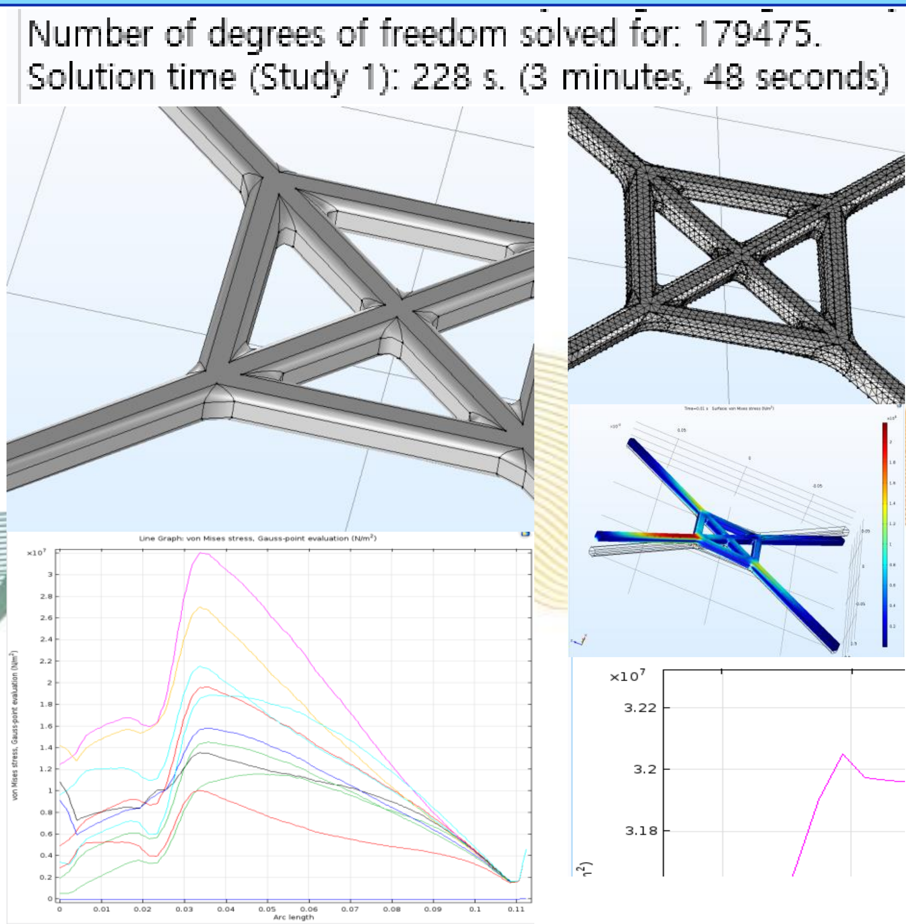
2. 2D 모델링에 대해
   1) Point Load 로 한쪽 끝에 힘작용
   2) 도면 작성 및 단면설정





유한요소 분석

- 2D 근사화 타당성 검토

3D 모델링 항복강도 도달 힘 분석 7.2N	2D모델링 항복강도 도달 힘 분석 8.0N
	

골격 경량화에 의한 경향 분석

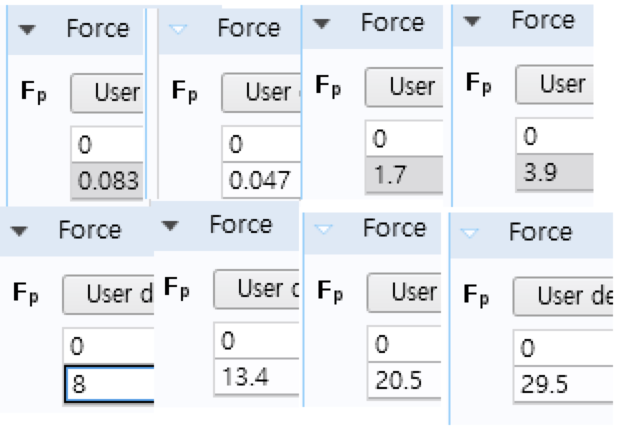
1. 내구성

2. 안정성

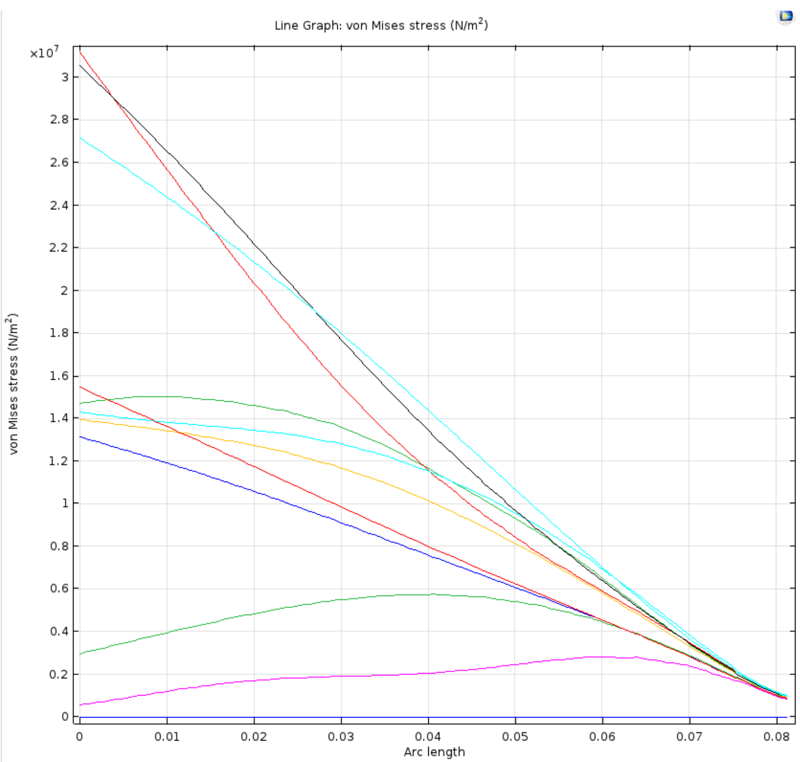
3. 비행시간

4. 결론

1. 내구성 분석

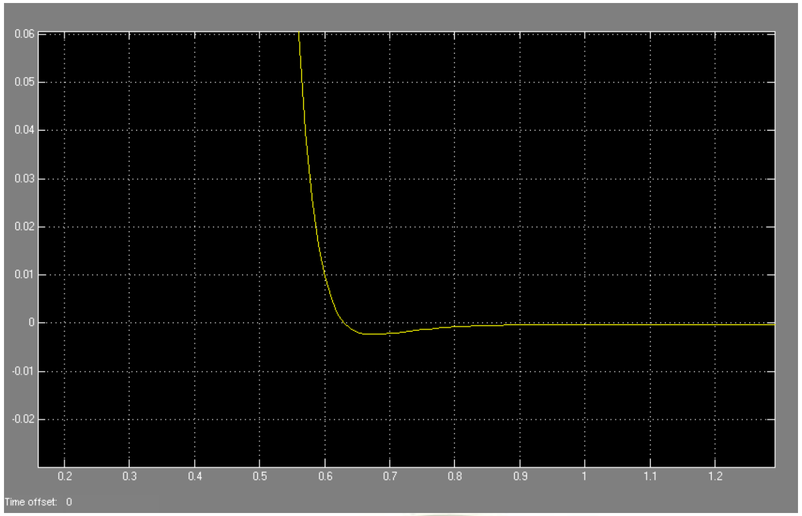


빔 두께[mm]	허용 외력[N]
1	0.083
2	0.047
3	1.7
4	3.9
5	8.0
6	13.4
7	20.5
8	29.5



항복강도 = 330 kg/cm^2
= 32.34 MPa

2. 안정성 분석



일정 외력이 들어왔을 때
평형을 되찾는데 까지 걸리는 시간을 측정

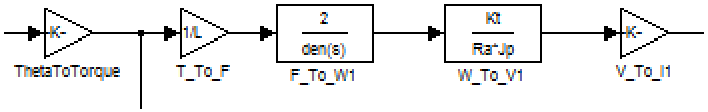
빔 두께[mm]	반응속도[s]
1	0.6314
2	0.6314
3	0.6314
4	0.6314
5	0.6314
6	0.6314
7	0.6314
8	0.6314

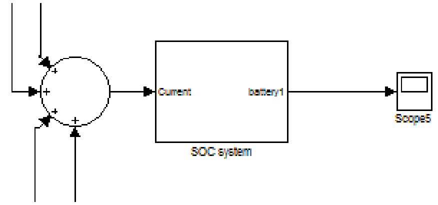
- 예상 : 빔 두께에 따른 중량변화에 비례하여 반응속도가 감소할 것이다.

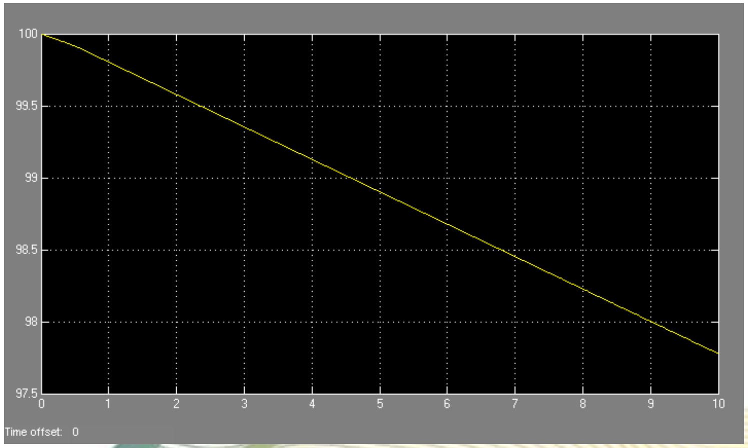
-결과 : 이중 PID 제어를 통해 관성모멘트에 비례한 힘이 발생하고 그 때문에 반응속도는 드론 중량에 영향을 받지 않는다.

$$T = J_{Drone} * P_1^2 * \theta$$

3. 비행시간 분석







빔 두께[mm]	비행시간[s]
1	1015
2	910
3	841
4	782
5	707
6	655
7	579
8	524

비행을 유지시키는모터의 출력

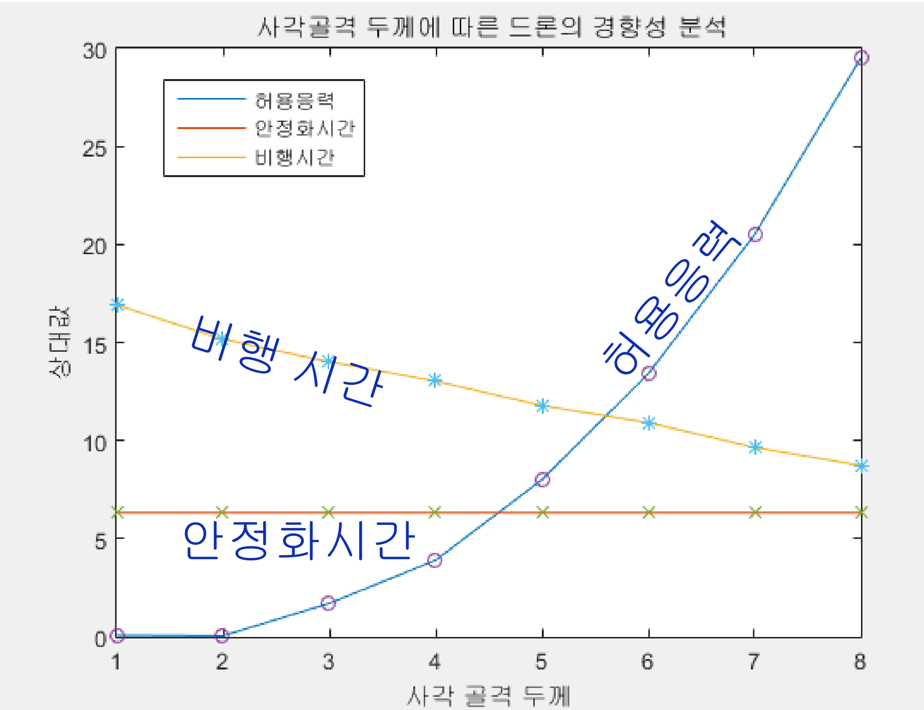
필요한 전류

SOC 감소시킴

10초 동안 감소한 배터리량

총 에너지 소비 시간 계산

4. 사각 빔의 두께에 따른 경향성 결론 및 Surrogate Modeling



빔이 두꺼워질수록
내구성은 증가
비행시간은 감소

허용응력

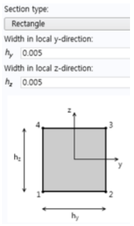
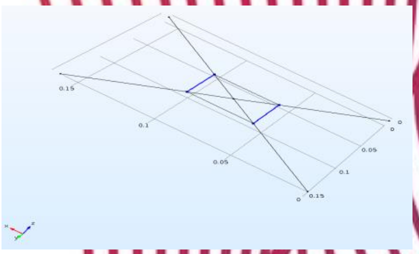
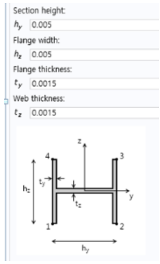
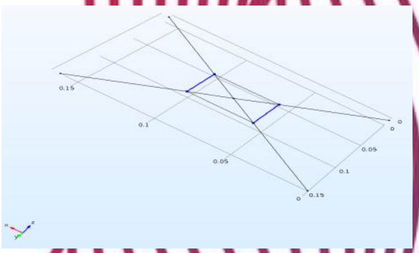
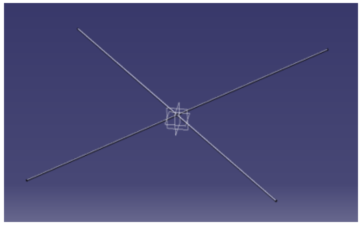
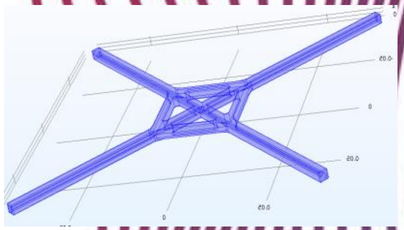
$$F_{allowed}(N) = 0.001676x^4 - 0.006297x^3 + 0.591x^2 - 1.633x + 1.101$$

비행시간

$$Time_{flight}(s) = -68.15x + 1058$$

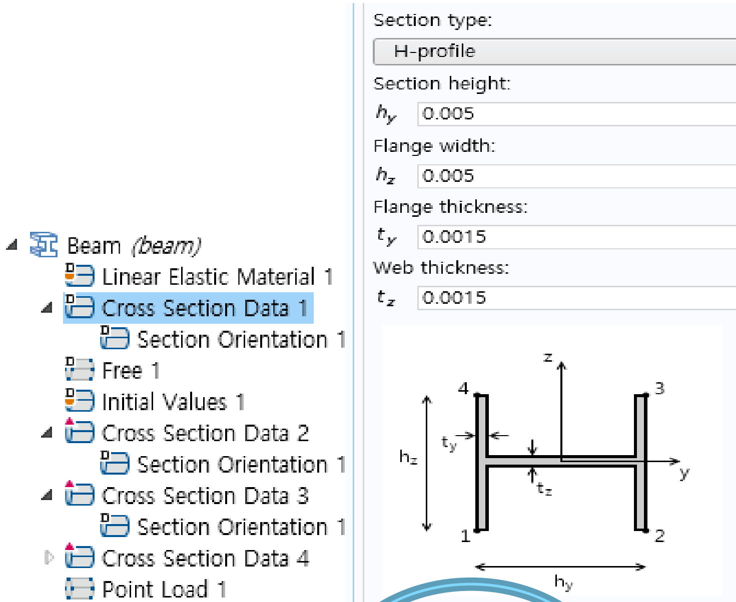
surrogate model 점검 @10mm	허용응력(N)	비행시간(s)
시뮬레이션	60.0	420
Surrogate model	54.3	427
오차	9.5 %	1.7%

다른 골격 디자인에 의한 경향 분석
(사각 빔(기준), I 빔 , 내부 철심 박은 빔)

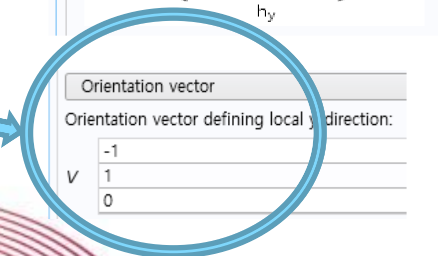
골격 디자인	모델링
사각빔(기준)	 
I 빔	 
내부철심	 

유한요소 분석

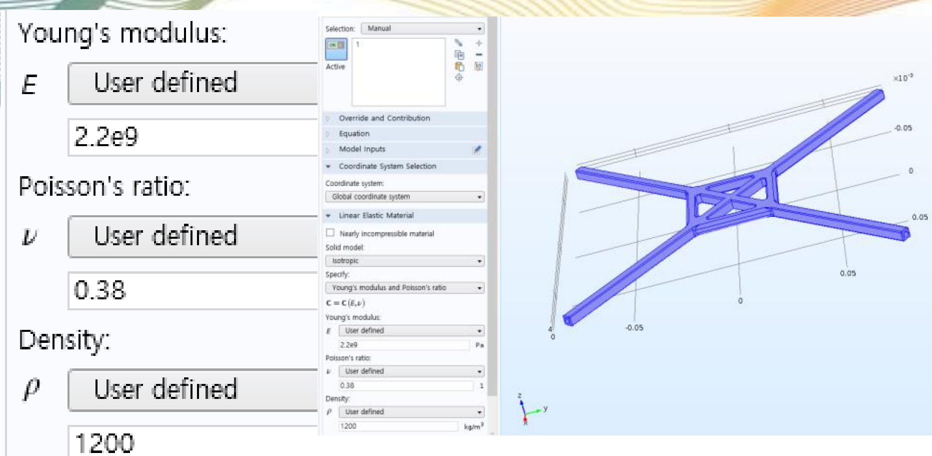
– COMSOL 시뮬레이션 계획

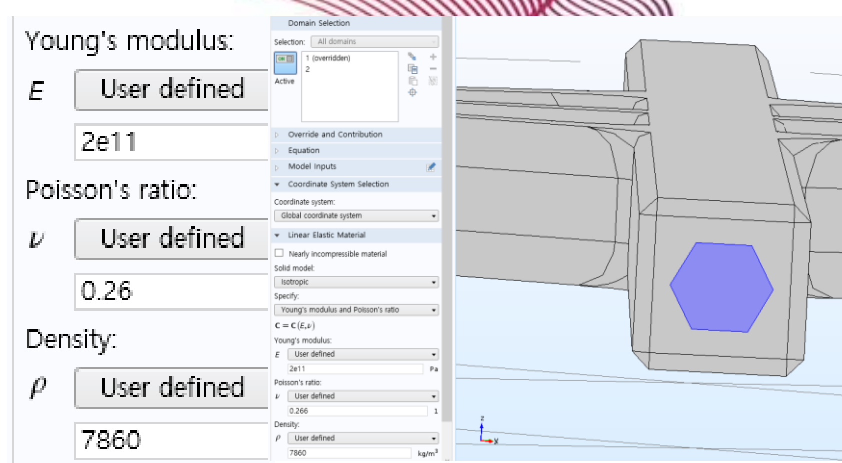


1. I 빔에 대해
   1) 오른쪽에서와 같이 H-profile 선택 후, 단면 정보 입력
   2) section-orientation 설정으로 I 빔 구현
   3) 나머지는 2D time dependent 구현 방식과 동일

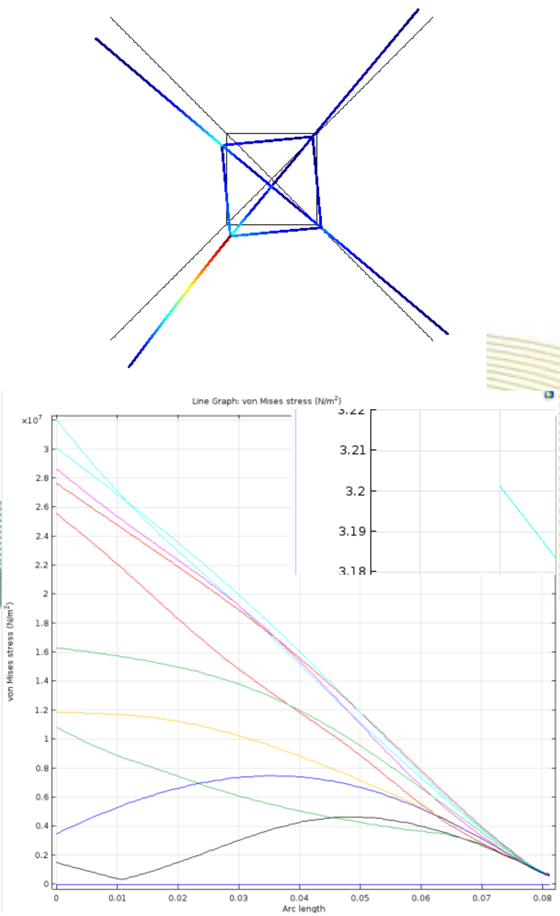
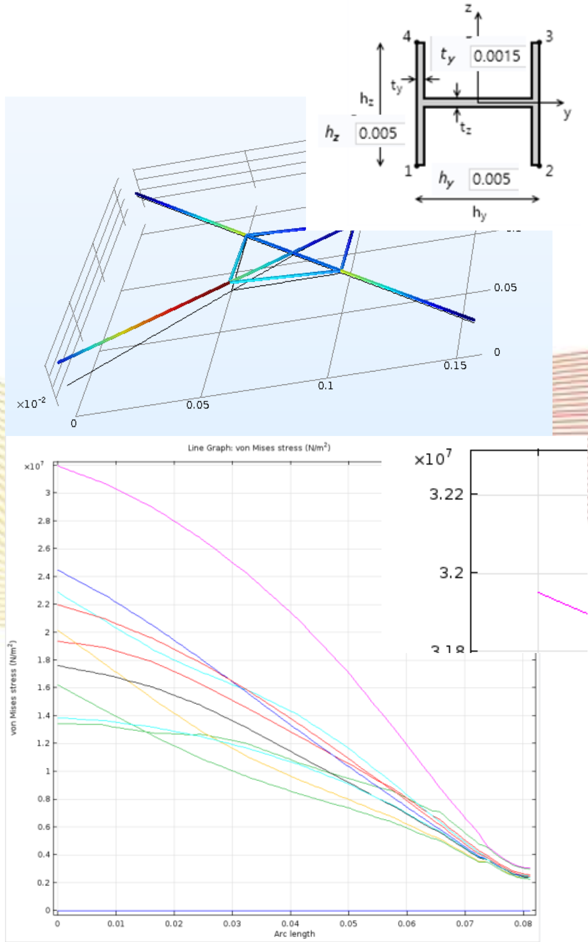
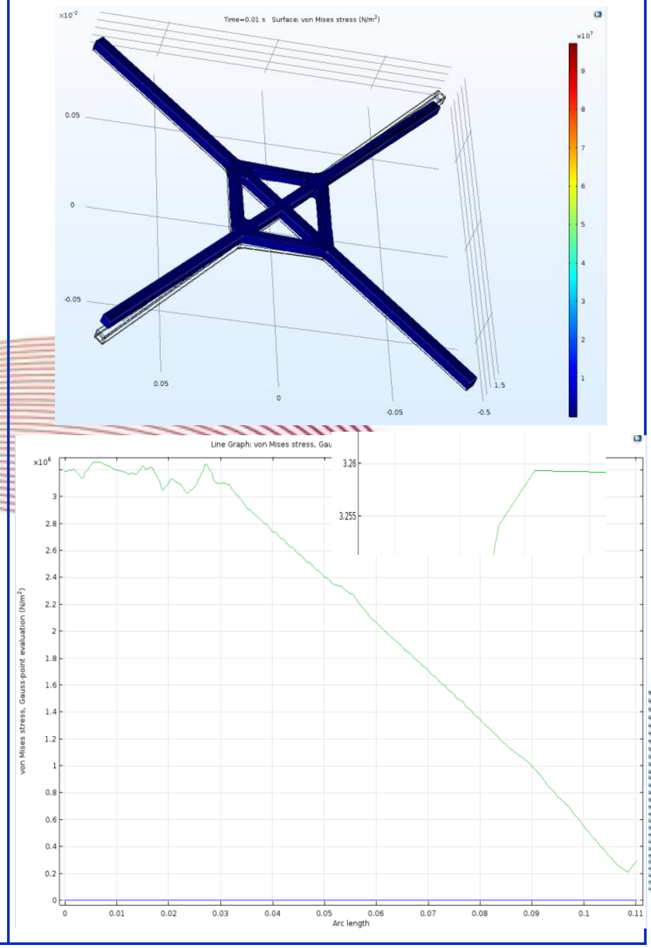


2. 내부철심을 가진 빔에 대해
   1) 내부철심과 외부 플라스틱 골격에 대한 재료 정보를 각각 입력
   2) 나머지는 3D time dependent 구현 방식과 동일



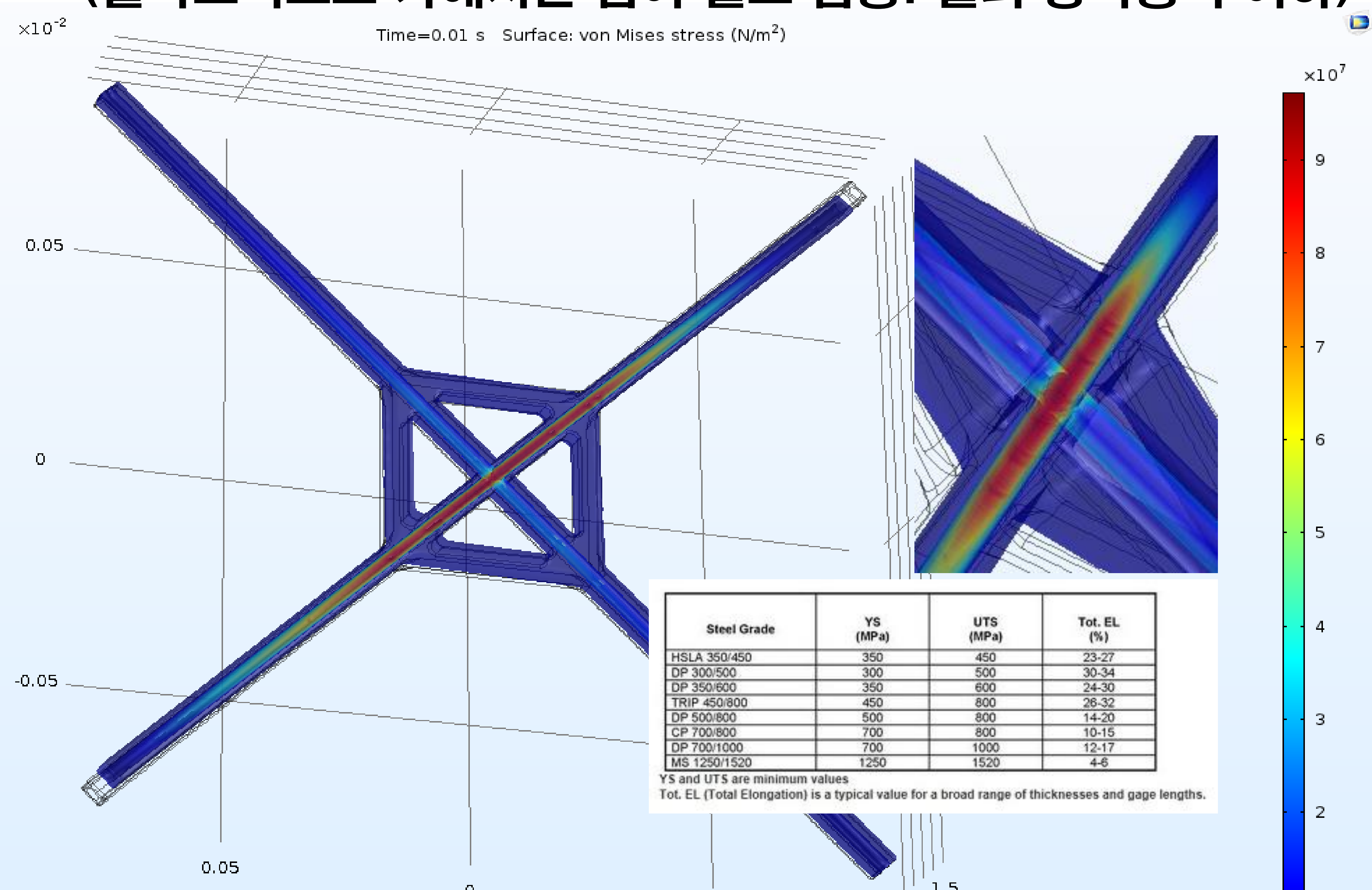


내구성분석(8.0N기준최대응력분석)

사각빔	I 빔	내부철심
		

내부철심 스트레스 분석

(플라스틱으로 가해지는 힘이 철로 집중. 철의 항복응력 이하)

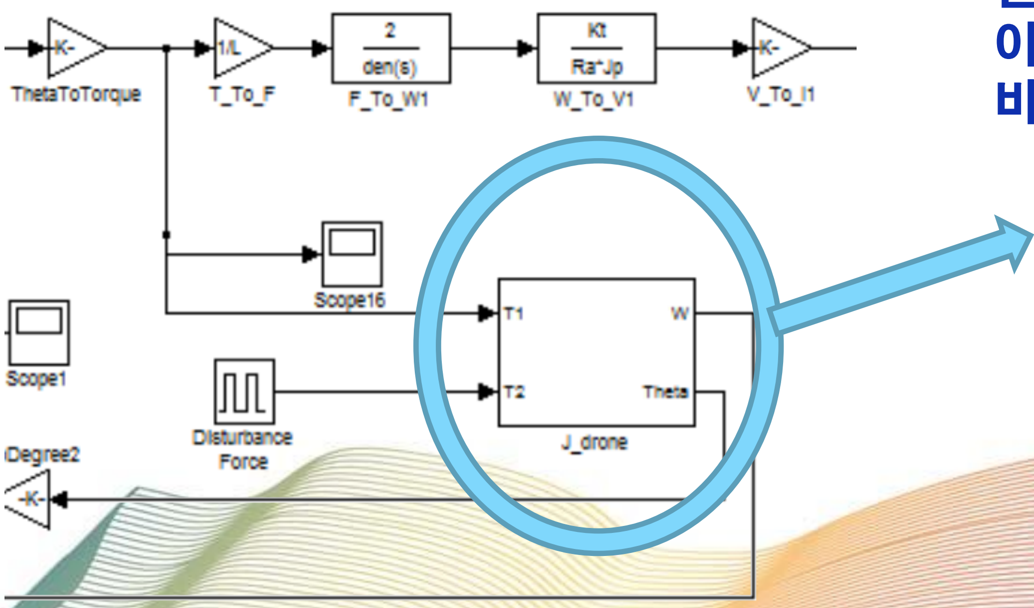


Steel Grade	YS (MPa)	UTS (MPa)	Tot. EL (%)
HSLA 350/450	350	450	23-27
DP 300/500	300	500	30-34
DP 350/600	350	600	24-30
TRIP 450/800	450	800	26-32
DP 500/800	500	800	14-20
CP 700/800	700	800	10-15
DP 700/1000	700	1000	12-17
MS 1250/1520	1250	1520	4-6

YS and UTS are minimum values

Tot. EL (Total Elongation) is a typical value for a broad range of thicknesses and gage lengths.

안정성 분석

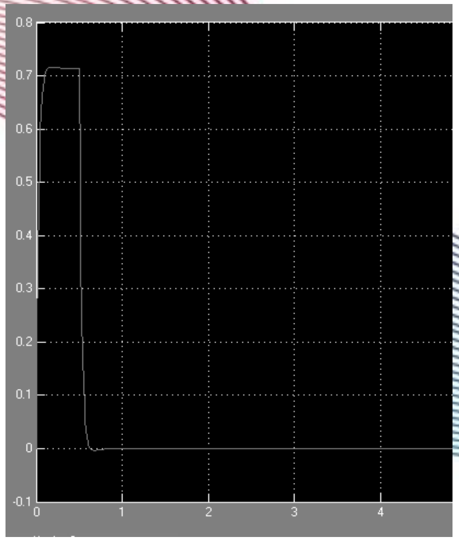


관성모멘트와 질량이 바뀌지만
아래식에 의해 토크도 비례하여
바뀌므로 안정화 시간 동일

$$T = J_{Drone} * \frac{d}{dt}\frac{d}{dt} * \theta$$

$$T = J_{Drone} * \frac{d}{dt}(P_1 * \theta)$$

$$T = J_{Drone} * P_1^2 * \theta$$



사각 빔에서 중량 분석에서 나왔듯 드론의 모양이나
중량은 드론의 외력에 대한 반응속도에 영향을 주지 못함

결과 값 정리

골격 디자인	8.0N외력 작용 시 최대응력	반응속도[s]	비행시간[s]
사각 빔	약 32Mpa	0.6314	707
I 빔	약 32Mpa	0.6314	875
내부철심	약 3.26Mpa	0.6314	530

골격의 디자인에 따른 경향성 결론

1. I 형은 같은 내구성에서 23.8 % 향상 된 비행시간을 얻을 수 있음
2. 철심을 박은 형태는 비슷한 드론 무게에서 철의 특성상 높은 내구성을 가짐
3. 골격의 디자인은 충분히 드론의 스펙에 영향을 줄 수 있다.

Q&A