

그린에너지 시대의 도약!

윈드타워 (Wind Tower)의 최적설계

조이름 : Windmill

2004007542 박남해
2004007166 전경선



주제 선정 배경

풍력발전기 없어 못판다

시장 커지면서 현대중도 가세...대규모 테스트 단지 마련 시급



지난달 24일 현대중공업은 군산 산업단지 내에 풍력발전기 공장을 신축할 계획을 밝혔다.

13만2000㎡ 용지에 1000억여 원을 들여 2.5MW 용량의 발전기를 연 400MW 규모로 생산하겠다는 것이다.

[이제는 녹색 성장이다-두산] 친환경 기술 선점으로 글로벌 그린 시장 개척

[2008.09.29 18:26]

+ 확대 - 축소



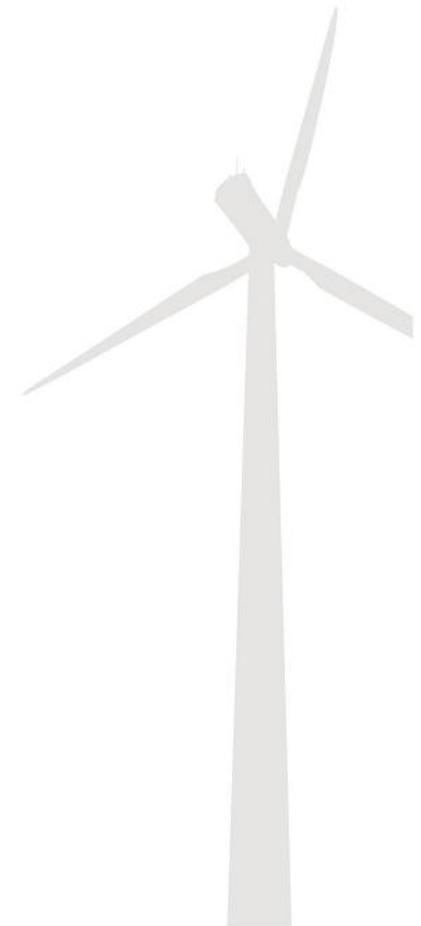
두산의 녹색경영은 양대 핵심 계열사인 두산중공업과 두산인프라코어를 중심으로 추진되고 있다. 주력 사업인 인프라 지원 사업(ISB)에 친환경 기술을 접목해 새로운 시장을 개척하는 방식이다. 동시에 두산은 그린에너지, 차세대 친환경제품 개발 등을 통해 녹색경영에 주력하고 있다.

두산중공업은 지난 4일 캐나다 HTC 지분 15%를 인수하는 계약을 체결했다. HTC는 발전소에서 발생하는 이산화탄소를 제거하는 친환경 원천 기술을 보유한 업체다. 두산중공업은 세계시장 규모가 연간 8700조원에 달하는 ISB 시장 공략을 위해 원천 기술을 하나씩 확보하는 과정에서 HTC에 눈을 돌렸다.

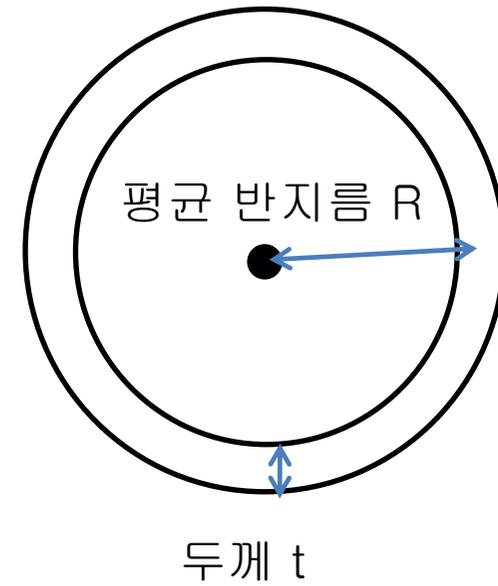
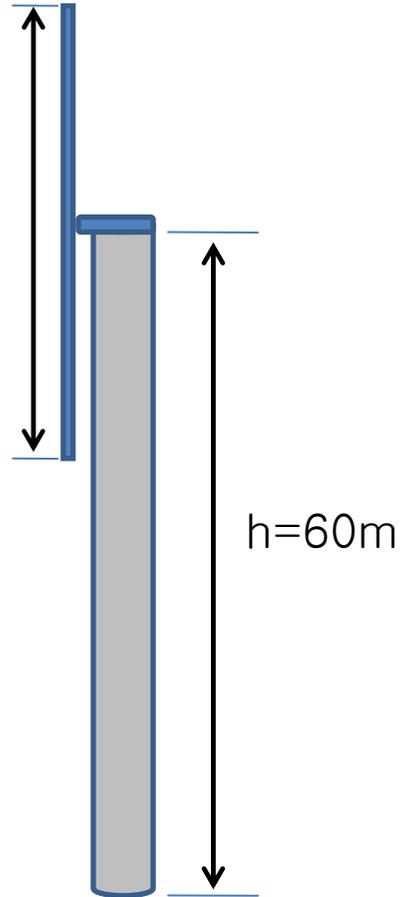
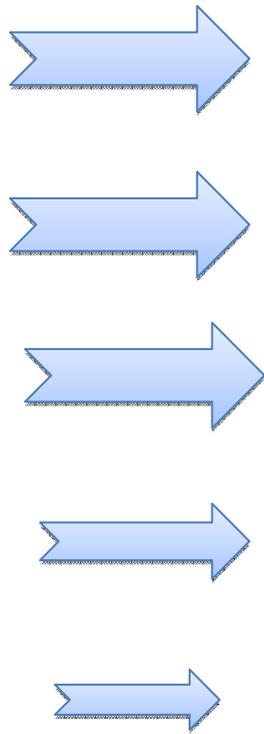
두산중공업은 2010년 개발을 목표로 3MW급 해상풍력발전시스템 기술을 국책과제로 추진하고 있다. 두산 제공

1. Problem Statement

- 제주도에 풍력발전단지를 설립할 예정입니다.
- 풍력발전기의 적절한 Wind turbine은 이미 선택하였고, 그에 따른 풍력발전타워(wind tower)를 건설하고자 합니다.
- Wind tower의 단면은 속이 텅빈 원형 모형(tubular)이며, 평균반지름 R 과 두께 t 로 표현되어 집니다.
- 선택한 Wind turbine의 사양에 맞는 윈드 타워의 높이 h 를 선택하였습니다. (지상으로부터 60m)
- 이 때 최악의 환경 속에서도 풍력발전기가 견딜 수 있도록 Wind tower를 설치하되, 최소의 질량으로 설계하시오.



날개지름 = 80 m



< Wind Tower 단면 >

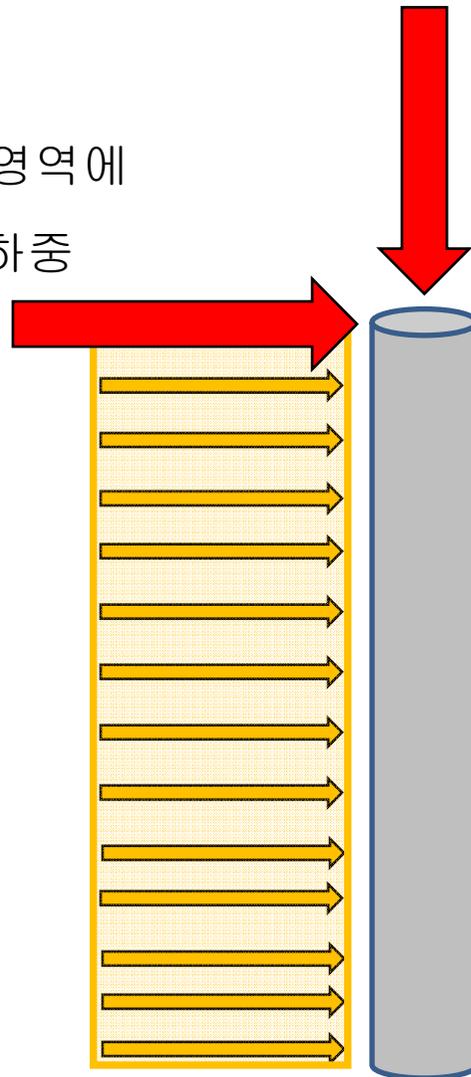
바람 : 제주지역 기본풍속 40 m/s

(건설교통부 의 건축구조 설계기준에 의거)

F2 : 날개의 회전영역에
작용하는 풍하중

F1 : Wind Turbine의 무게에
의한 압축력

F3 : Wind Tower에
작용하는 풍하중



- Tower를 외팔보로 가정 (Fixed-free end condition)
- 바람에 의한 공진효과 무시

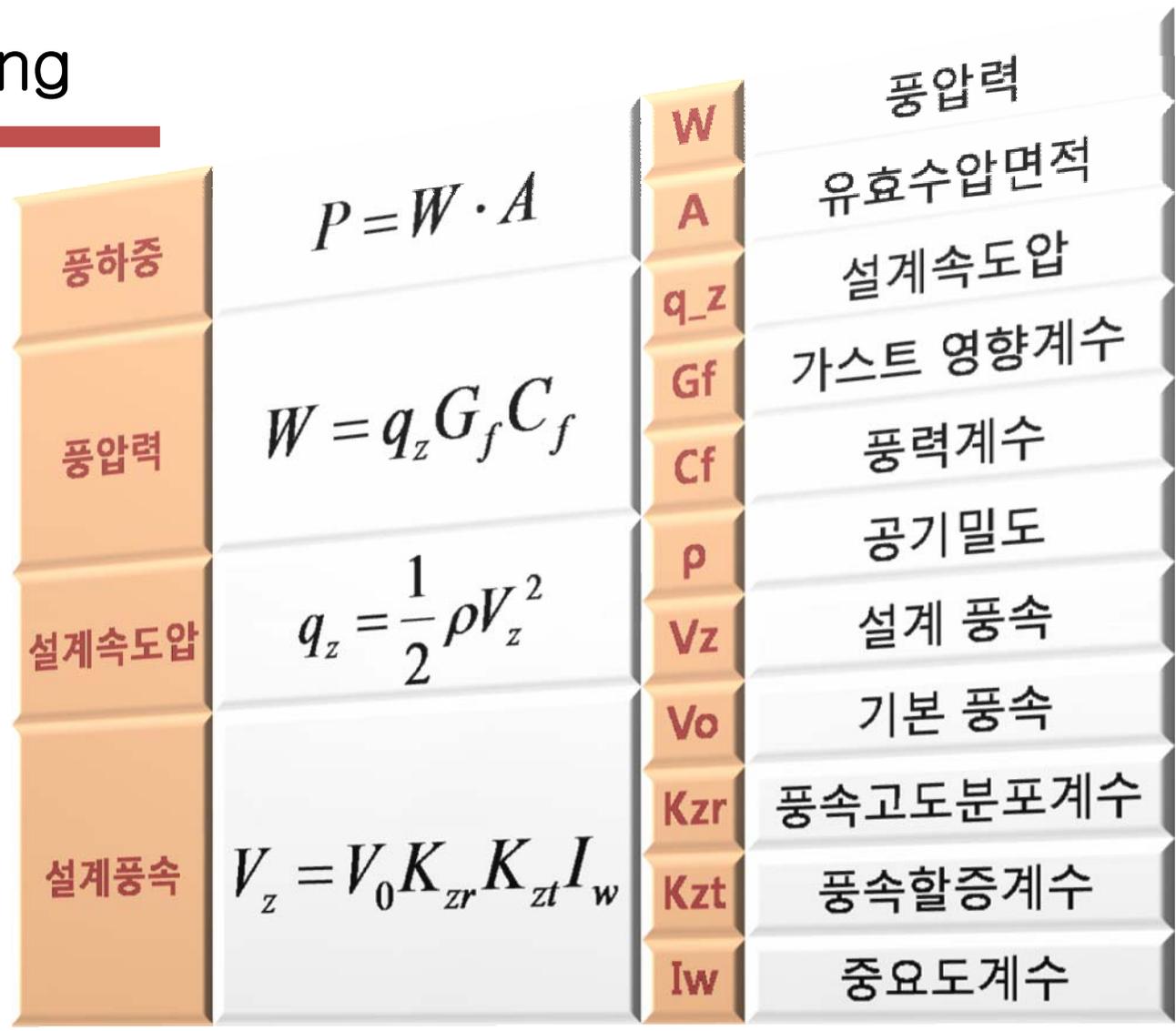


2. Data and Information Collection

- Wind tower 재료 : ASTM A36 Steel, plate
Tensile Strength, Yield = 250 Mpa = S_y
Modulus of Elasticity = 200 Gpa = E
Density(ρ) = 7.85 g/cm^3 , Even Material
(출처 : www.matweb.com)
- Wind turbine 제원 : 독일 NORDEX사 N80
Weight : 91.5 ton
Rotor Diameter : 80 m
(출처 : www.nordex-online.com)
- Safety Factor : 2
- Wind tower의 2차 단면모멘트(I) = $\pi R^3 t$



Wind Loading



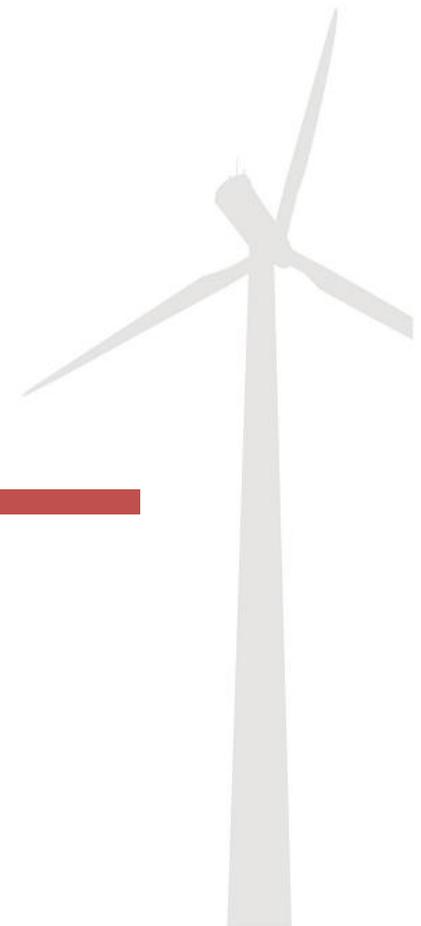
(출처 : 풍력공학입문, 건축구조설계기준(KBC2005))

3. Design variable

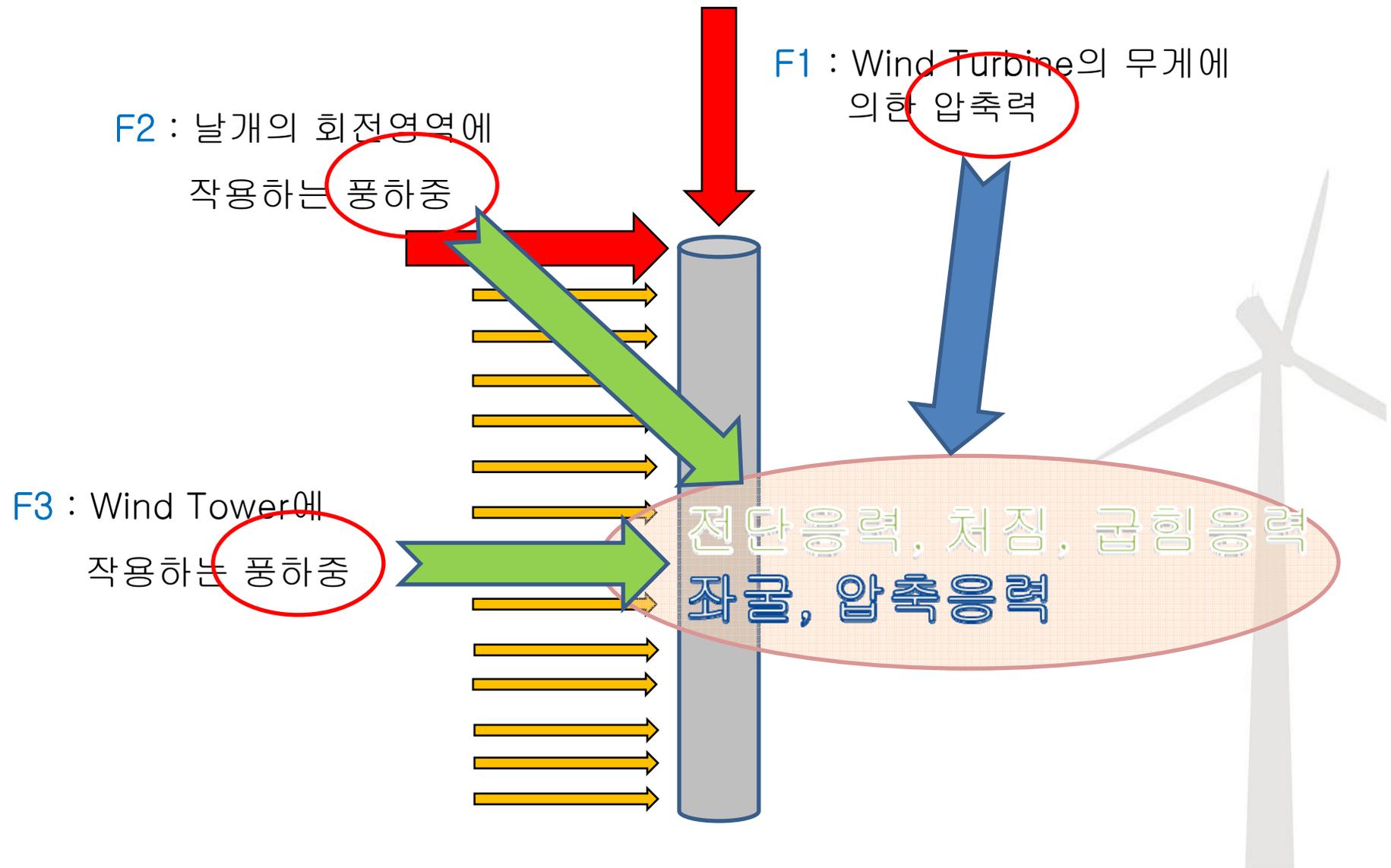
- Wind tower 의 평균 반지름 : R
- Wind tower 의 두께 : t

4. Objection Function

- Mass = $2\pi\rho hRt$



5. Constrains



① Buckling ($P_{cr} \geq P$)

$$S_r = \frac{l_{eff}}{k} \quad (l_{eff} = 2.1l : \text{AISI recommend})$$

$$k = \sqrt{\frac{I}{A}}, \quad (S_r)_D = \pi \sqrt{\frac{2E}{S_y}}$$

$$g_1 : \begin{cases} 1. S_r < (S_r)_D : P \leq P_{cr} = A \left\{ S_y - \frac{1}{E} \left(\frac{S_y S_r}{2\pi} \right)^2 \right\} \text{ Johnson region} \\ 2. S_r \geq (S_r)_D : P \leq P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{l_{eff}^2} \text{ Euler region} \end{cases}$$

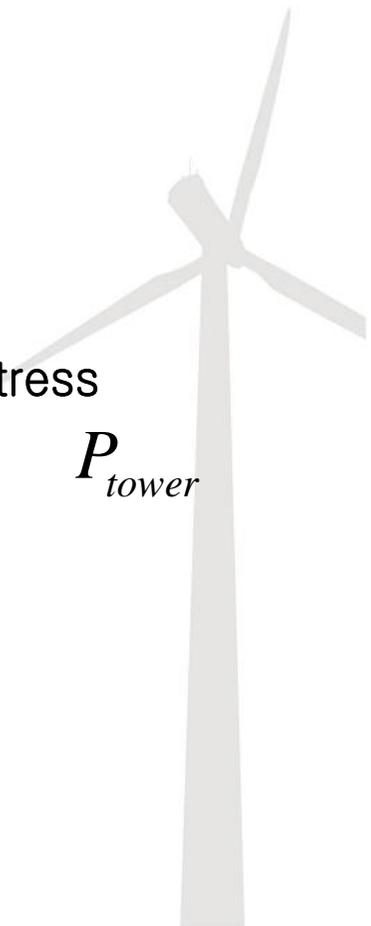
② Maximum compression stress by Axial stress and Bending stress

Wind turbine이 받는 풍하중 : $P_{turbine}$ Tower가 받는 풍하중 : P_{tower}

$$\text{Axial-compression stress } \sigma_1 = \frac{\text{turbine weight}}{2\pi R t}$$

$$\text{Compression stress by Bending stress } \sigma_2 = \frac{Mc}{I} = \frac{(60P_{turbine} + 30P_{tower})R}{\pi R^3 t}$$

$$g_2 : \frac{S_y}{\sigma_1 + \sigma_2} \geq FS = 2$$



③ Shear stress by Bending stress :

Sum of the Shear stress and Axial-compression stress

= Von Mises Effective Stress for 2 Dimensions

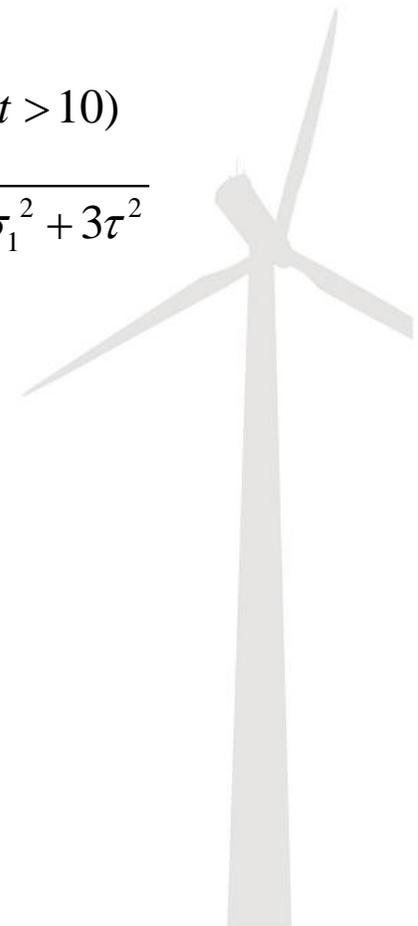
$$\text{Shear stress by Bending stress : } \tau = \frac{2V}{A} = \frac{2(P_{\text{turbine}} + P_{\text{tower}})}{2\pi R t}, (R/t > 10)$$

$$\text{Von Mises Effective Stress } \sigma' = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3\tau_{xy}^2} = \sqrt{\sigma_1^2 + 3\tau^2}$$

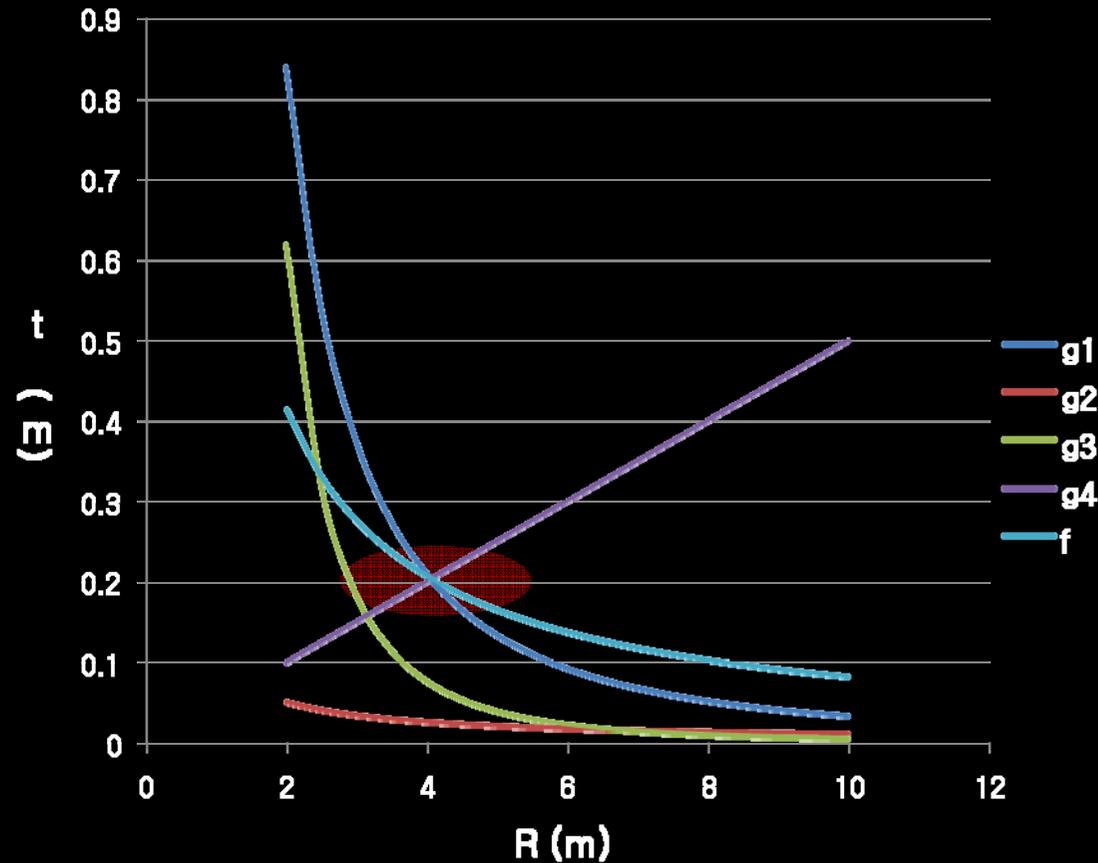
$$g_3 : \frac{S_y}{\sigma'} \geq 2$$

④ $R/t \leq 20$

$$g_4 : \frac{R}{t} \leq 20$$



Graphical Solution



$R = 4.063$ m

$t = 0.203$ m

Mass = 2443 ton

결과 및 고찰

- Wind turbine에 작용하는 풍하중 계산시 선택한 풍력계수의 타당성 여부.
- Wind tower의 재료는 적합하였는가?
- 바람에 의한 공진 현상, 비틀림 진동, 와류진동, 공기력 불안정 진동 등을 고려한다면 좀더 보수적인 설계기준 필요.
- 풍력할증계수와 가스트 영향계수의 정확성.
- 정사각튜브 형태의 Wind tower와의 비교.
($b=6.853\text{m}$, $t=0.171\text{m}$, $\text{Mass}=2212\text{ ton} < 2443\text{ ton}$)
→ 생각한 것과 다르게 Tubular tower보다 질량이 작게 나옴.
질량이 작더라도 가공 및 제작비용 측면에서 불리하다고 생각해봄.





The End...
Thank You