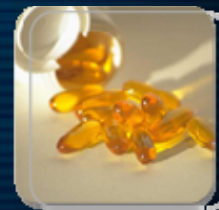


# Power Plant Optimum Design

## Wind Power Plant



**Team TOP**  
**Kim keun hyung**  
**Lim sung hun**  
**Lee chang jun**

# 서론

- 2020년 풍력에너지, 세계 전력의 10% 대체
- 현재 세계 50여국에서 1만KW가 넘는 풍력에너지 생산
- 강원도 1500 kW급 풍력발전기 66기 설치
- 효성그룹, ‘그린에너지’로 기업 경쟁력 확보
- 2003년 기준, 전세계 시장의 89.8% 를  
미국, 유럽이 차지



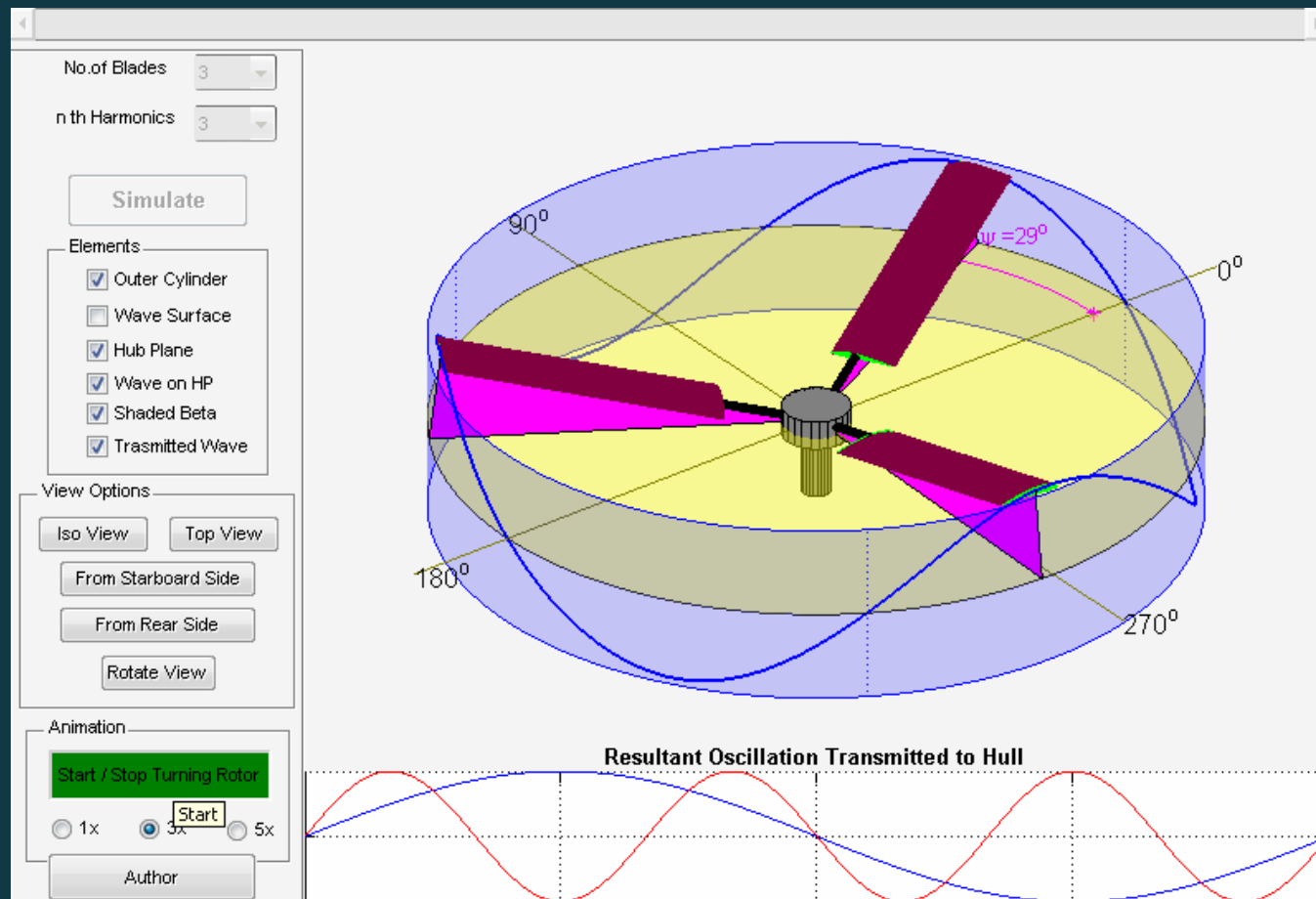


# Project Statement

- 제주 지역의 평균 풍속: 7~8 m/s
- 기존의 풍력 발전기 전력량: 연간 650kW(한 대당)
- 프로펠러형 풍력 발전기: 로터, 모터, 기어박스, 발전기, 타워
- 블레이드 3개 일 때, 최대 효율
- 기존의 전력량 만족, 생산비 최소화  
(단, 생산비는 재료비+건설비)

# Information

- 3-Blade Simulation with Matlab



# Information

$$\bullet P_e = \frac{1}{2} cb \rho V_\infty^3 \frac{4}{27} \left( \frac{C_L}{C_D} \right)^2 C_L$$

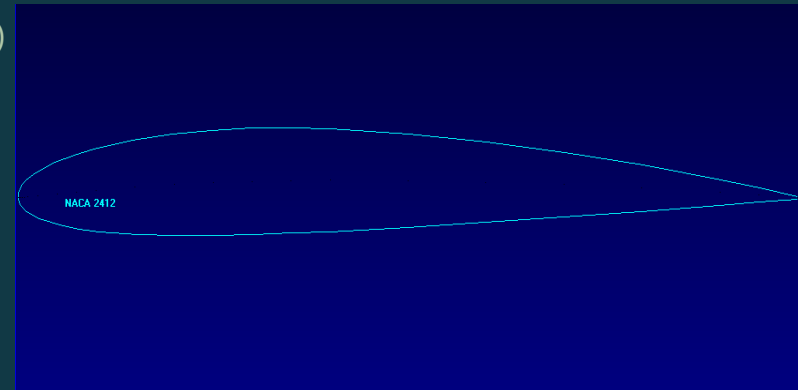
$$C_D = 0.01 C_L = 0.01(0.8) = 0.008 \quad (\text{익 형 NACA4412})$$

$$\rho = 1.27 \text{ kg/m}^3$$

$$V_\infty = 7.5 \text{ m/s}$$

$b$ : 프로펠러의 반경

$c$ : 블레이드 시위길이



$$\bullet F_P = \frac{1}{2} \rho \left( V_0^2 - \left( \frac{V_0}{3} \right)^2 \right) (2\pi b^2) \quad (\text{최대 출력일 경우})$$

$$\bullet F_w = WA = W(2HR_T)$$

$$W = q C_f = 125.8 \quad (80\text{m기동 분포하중과 } 7.5\text{m/s 풍속에 의한 계수})$$

# Information

$$\bullet \tau_s = \frac{b}{I_P} \left( \frac{b}{\lambda V_\infty} \left( \frac{1}{2} c b \rho V_\infty^3 \frac{4}{27} \left( \frac{C_L}{C_D} \right)^2 C_L \right) \right)$$

$\lambda = 2$  (100kW이상 대형 풍력 발전기 주속비)

$$I_P = \frac{\pi}{2} R_s^4$$

$R_s$ : 축의 반지름

$$\tau_{all} = 550 MPa \quad (SM40C)$$

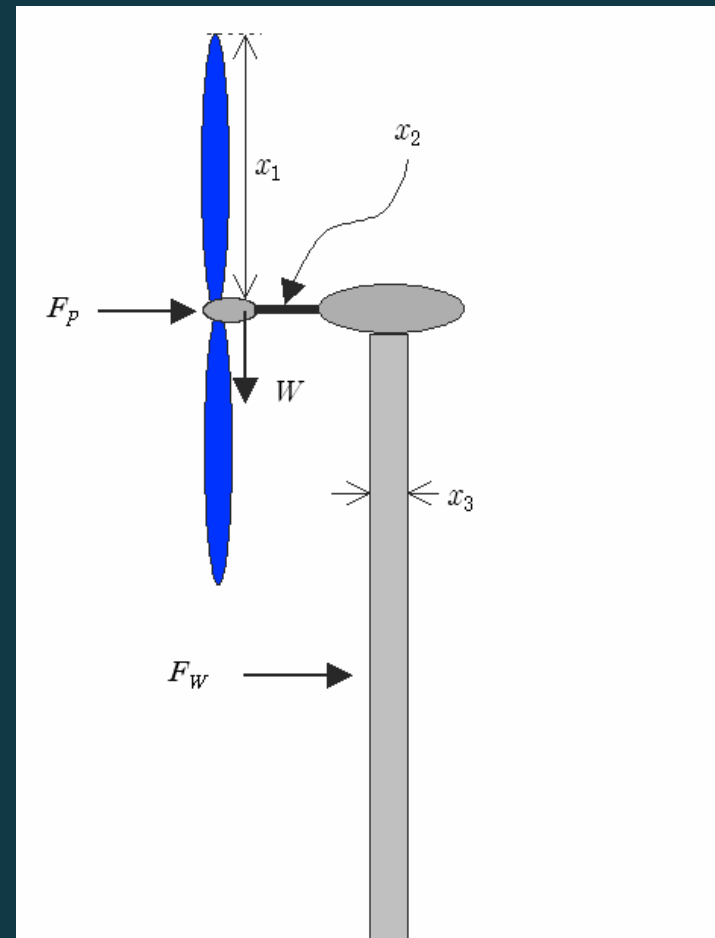
$$\eta_{gb} = \eta_g = 0.85 \text{ (100kW이상의 대형 풍력 발전기)}$$

$$\bullet \sigma_{max} = \frac{P}{A} \left( 1 + \frac{ec}{r^2} \sec \left( \sqrt{\frac{P}{EI}} \frac{L_e}{2} \right) \right) \quad L_e = 2L = 160, \quad W = 2(28)R_{pg} \text{ (GFRP소재 블레이드)}$$

$$\bullet f_{ck} = 240 \text{ kgf / cm}^2 = 23.5 Mpa$$

# Design Variable

- $x_1$  = 로터의 반지름
- $x_2$  = 축의 반지름
- $x_3$  = 타워의 반지름
- $x_4$  = 로터의 시위길이



# Cost Function

- $(3 \times (\frac{20}{14.7} x_1 x_4) \times C_1) + (\pi x_2^2 \times 1 \times C_2) + (\pi x_3^2 \times 80 \times C_3)$

$C_1$ (Rotor단가): 24십만원/ $m^3$

$C_2$ (중심축단가): 17억원/ $m^3$

$C_3$ (기둥단가): 40만원/ $m^3$

→ 단가는 기존 풍력 발전기 평균가 기준

# Constraints

1)  $650 \times 10^3 - 317.5 \times 10^3 x_1 x_4 \leq 0$  [전력량]

2)  $3537.22 \left( \frac{x_1^3 x_4}{x_2^4} \right) - 550 \times 10^6 \leq 0$  [축비틀림]

3)  $512555.3 \frac{1}{x_3^2} + 10159.94 \frac{x_1^2}{x_3^3} - 349.73 \frac{x_1}{x_3^3} \leq 0.4 f_{ck}$  [허용인장구속]

$$f_{ck} = 23.5 \text{ Mpa}$$

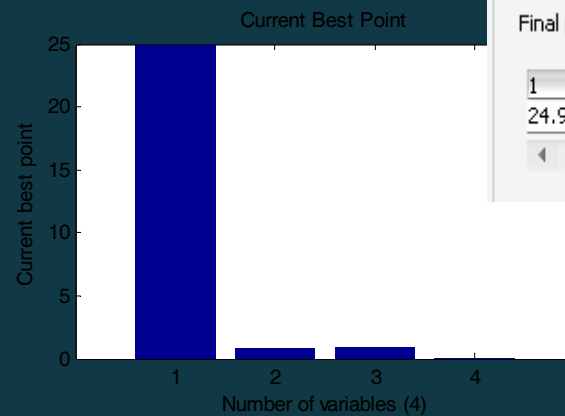
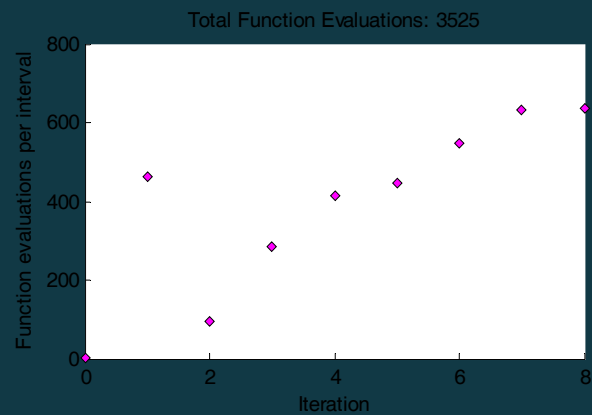
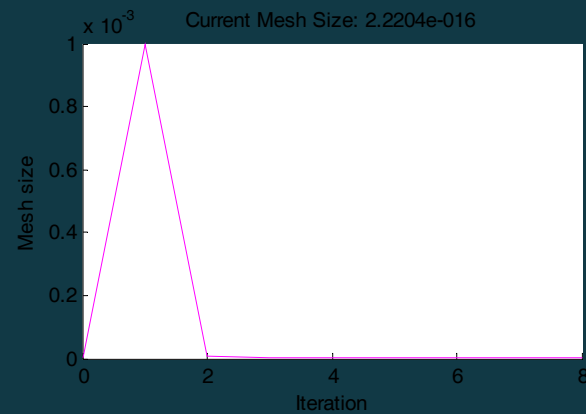
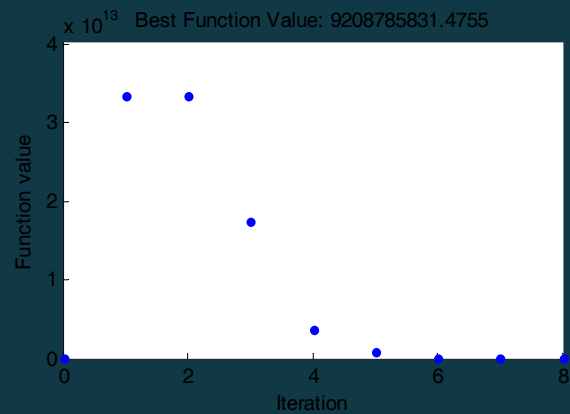
4)  $12813.88 \frac{1}{x_3} + 127 \frac{x_1^2}{x_3^2} \leq 0.4 f_{ck} + 0.32 \sqrt{f_{ck}}$  [허용전단구속]

5)  $0 < x_2 < x_1 < 80$  [기하학적구속]

6)  $0 < x_3$  [기하학적구속]

# Result

- 1) Pattern search



Final point:

| 1        | 2       | 3       | 4       |
|----------|---------|---------|---------|
| 24.99902 | 0.41461 | 0.89557 | 0.08189 |

Stop

# Result

- 2) Excel Solver  
(Quasi-Newton)

|                 |    | initial | optimum     |
|-----------------|----|---------|-------------|
| Design variable | x1 | 25      | 22.24841763 |
|                 | x2 | 0.2     | 0.248121414 |
|                 | x3 | 100     | 1.21233455  |
|                 | x4 | 10      | 0.092017515 |

|                    |     |              |              |
|--------------------|-----|--------------|--------------|
| Constraints        | g1  | -78725000    | 1.03493E-07  |
|                    | g2  | 3.44882E+11  | 395742622.8  |
|                    | g3  | -9394868.106 | -6159161.073 |
|                    | g4  | -9401415.181 | -9348209.918 |
|                    | g5  | -24.8        | -22.00029622 |
|                    | g6  | -55          | -57.75158237 |
|                    | g7  | -25          | -22.24841763 |
|                    | g8  | -0.2         | -0.248121414 |
|                    | g9  | -100         | -1.21233455  |
|                    | g10 | -10          | -0.092017515 |
| Objective function | f   | 1.05064E+11  | 332112166.9  |



# Result

|            | 실제 Data | Psearch  | Error(%)   | Solver    | Error(%)   |
|------------|---------|----------|------------|-----------|------------|
| x1(로터의 반경) | 25      | 24.99902 | 0.00392    | 22.24842  | 11.00632   |
| x2(축의 반경)  | 0.16    | 0.41461  | -159.13125 | 0.2481214 | -55.075875 |
| x3(타워의 반경) | 2       | 0.89557  | 55.2215    | 1.21234   | 39.383     |
| x4(시위길이)   | 0.4     | 0.08189  | 79.5275    | 0.092     | 77         |



# Analysis of Error

- 1) 목적함수 정식화의 문제점
  - 재료 값 산정의 모호함
  - 인건비 및 제작비 고려의 어려움
  - 발전기 수명 고려 미비
- 2) 제약조건 정식화의 문제점
  - 로터 강도에 대한 고려 미비
  - 풍량 변화에 의한 진동 해석 불가
  - 실제 제주지역의 지반 상태 해석 어려움



# Reference

- 풍력공학입문 (우산천, 2006)
- 풍력 발전 자료 모음집 (김석권, 2002)
- 풍력 발전 기술 자료집 (김석권, 2004)
- Wind Power in Power Systems  
(Thomas Ackermann, 2005)