

12날개풍력타빈의 완전크기모형에 대한 3차원 CFD해석

안철호, 김남철

경애하는 최고령도자 김정은동지께서는 다음과 같이 말씀하시였다.

《풍력과 조수력, 생물질과 태양에너지에 의한 전력생산을 늘이며 자연에너지의 리용범위를 계속 확대하여야 합니다.》

본문에서는 풍력양수기용 12날개타빈의 완전크기모형에 대한 CFD수치모의를 진행하였다. 풍력타빈에 대한 CFD연구는 대부분 전력생산용3날개타빈[1, 2]에 대한것이며 날개수가 10개이상인 풍력타빈에 대한 CFD해석결과는 찾아보기 힘들다.

1. 풍력타빈의 모형화

풍력타빈회전자륜곽의 결정과정은 주요하게 날개자름면, 날개의 피치각과 날개수, 련결대, 회전축과 회전자하브의 선택을 포함한다.

W단위에서 풍력타빈의 출력은

$$P = \frac{1}{2} C_p \rho V^3 \pi R^2 \quad (1)$$

여기서 C_p — 출력계수, ρ — 공기밀도, R — 회전자반경, V — 자유흐름속도이다.

출력은 1kW로 설정한다. 출력계수는 베르누이와 베어링의 쓸림손실, 기계적손실을 고려하여 풍력타빈의 일반적인 설정값[1]인 35%로 취한다. 위에서 언급한 파라미터들과 정격바람속도를 8m/s로 설정하면 날개반경은 1.6m이다. 양수용으로 적합한 NASA LS MOD 0417날개자름면의 특성은 다음과 같다.

① 최대양력계수 $C_{L, \max} = 1.797$ 은 림계마중각 15° 에 대응한다.

② 기준마중각은 -4° 이다.

③ 최대양력저항비 $(C_L / C_D)_{\max} = 86.61$ 은 마중각 6° 와 양력계수 1.1에 대응한다.

풍력타빈의 중요인자인 끝속도비 λ 의 정의는 다음과 같다.

$$\lambda = \frac{\Omega R}{V} \quad (2)$$

여기서 Ω 는 회전자각속도이다.

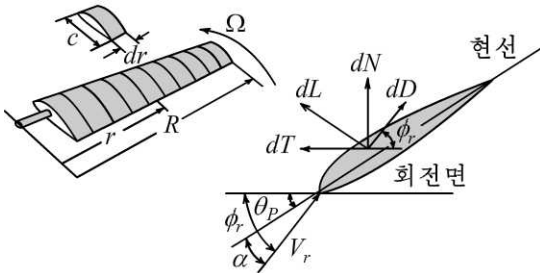
12날개타빈의 설계바람속도는 $V = 4\text{m/s}$, 정격바람속도는 $V = 12\text{m/s}$, 설계회전수는 51r/min이다. 양수를 위해서는 λ 가 4보다 커야 한다.

우선 선행연구[3]에서 제기한 값인 6을 취한다. 날개구조는 날개요소운동량리론[3]에 기초하여 결정한다. 이때 매 날개요소에 대한 상대바람각 ϕ_r 와 현 c 는 다음의 방정식들로부터 얻는다.

$$\phi_r = \frac{2}{3} \tan^{-1} \left(\frac{1}{\lambda_r} \right) \quad (3)$$

$$c = \frac{8\pi}{B(C_L)_D} 1 - \cos \phi_r \quad (4)$$

여기서 $\lambda_r = \lambda(r/R)$, r 는 날개요소의 반경방향길이, R 는 회전자반경, B 는 날개수, $(C_L)_D$ 는 설계양력계수를 의미한다.



날개의 꼬임 θ_T 는

$$\theta_T = \theta_p - \theta_{p,0} \quad (5)$$

이다. 여기서 θ_p 는 날개자름면피치각, $\theta_{p,0}$ 는 날개끝피치각이다.(그림 1)

이때

$$\theta_p = \phi_r - \alpha \quad (6)$$

이다. 여기서 α 는 설계마중각이며 림계마중각인 15° 로 취한다.

그림 1. 날개요소운동량리론의 주요파라미터

우와 같이 얻은 날개자름면피치각과 현길이변화관계를 그림 2에 제시한다.

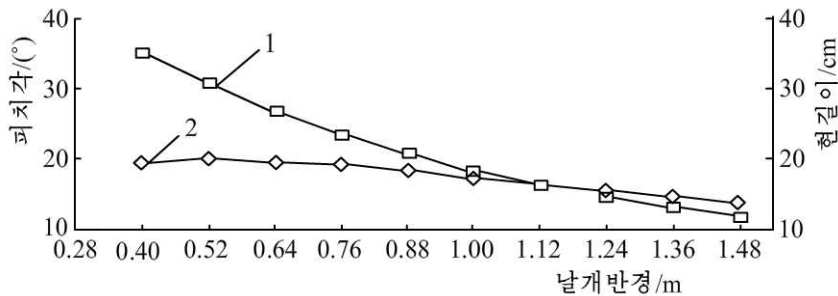


그림 2. 날개반경에 따르는 날개자름면피치각과 현길이변화관계
1-피치각, 2-현길이

2. CFD모형화 및 해석

날개자름면의 자리표를 GAMBIT로 읽어들이고 연결하여 날개표면을 만들며 하브, 연결대들과 결합한다. 타빈회전자의 해석은 운동기준계(MRF)법으로 진행한다. 회전자주위에 직경 $2d$ (d 는 회전자직경), 길이 $0.5d$ 의 원기둥구역을 창조하고 회전구역으로 간주한다. 정지구역은 회전자윗흐름쪽으로 거리 $5d$ 에 속도입구경계를 가지고 아래흐름쪽 $15d$ 에 압력출구면을 가지며 속도입구면직경이 $6d$ 라면 압력출구면직경은 $12d$ 로 설정한다.

회전구역 특히 날개주변을 매우 조밀하게 분할(날개면우의 첫번째 그물높이는 0.15mm , 첫번째 그물의 길이높이비는 100이하로)하고 이 구역밖에서는 성긴 분할을 준다. 날개면주변은 곡면6면체요소들로 분할하고 그밖의 구역은 4~6면체요소들의 혼합그물로 채운다. 12개의 날개타빈을 포함하는 전체 구역의 요소수는 3, 126, 183개이다. 병렬계산을 진행하며 두배정확도압력기반해석자를 리용한다. 입출구흐름이 충분히 발달하였고 보고 5%의 난류세기와 수력학적직경을 설정한다. 압력출구의 계기압력을 링으로 설정하면 속도입구와 동일한 난류세기(5%)와 수력학적직경은 수렴성을 저하시킨다. $\lambda=6$ 에 대응하는 각속도로 회전구역을 돌린다. 난류모형으로서는 자름용력수송(SST) $k-\omega$ 모형을 선택하였는데 표준 $k-\varepsilon$ 모형에 비하여 큰 리탈을 가지는 흐름에서 잘 거동한다.

압력-속도연립도식은 SIMPLPLE를 취한다. 운동량, 난류운동에너지, 비산일속도에 대하여 2차유티름도식을 리용하였다. 전체 계산구역에서 여러가지 흐름변수에 대한 초기값은 입구경계의 값과 동일하게 취하였다. 정상상태수렴풀이가 얻어진 다음 회전자면에 작용하는 압력을 적분하여 법선력과 접선력을 얻고 그에 기초하여 주요동작특성을 얻을 수 있다.

3. 결 과

$\lambda=6$ 에 대하여 각이한 바람속도에서 모의를 진행한다. 바람속도에 따르는 타빈특성량들을 그림 3에 제시하였다.

류사하게 $V=8\text{m/s}$ 와 각이한 λ 에 대한 해석을 진행하였다. 타빈의 회전힘은 $\lambda=0\sim 2$ 에서 거의나 일정하다. $\lambda<2$ 에서 회전힘은 급격히 커져서 $\lambda=4.7$ 에서 최대값에 이르고 그 다음은 감소한다. $\lambda<8$ 에서는 MRF법에 의해 타빈이 강제적으로 회전하며 운동에 반대되는 회전힘이 발생한다는것이 명백히 관측된다. 보다 높은 λ 에 대하여 MRF수법적용의 한계에 대한 보다 심도있는 연구가 요구된다.

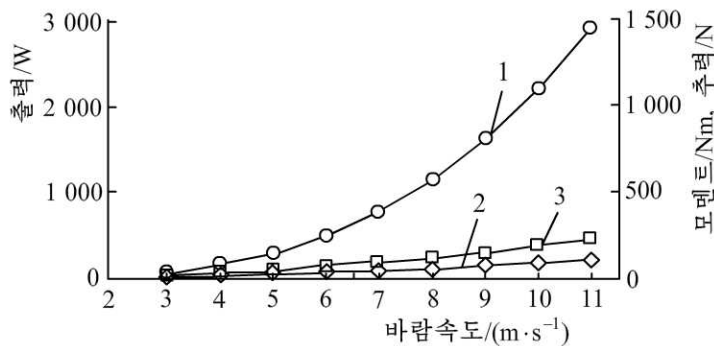


그림 3. 바람속도에 따르는 타빈특성량들

1-출력, 2-모멘트, 3-추력

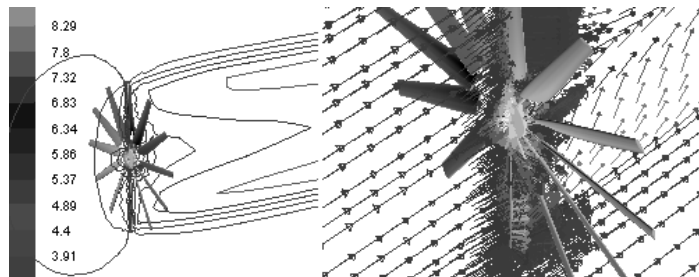


그림 4. 풍속 8m/s일 때 속도의 등값선도와 벡토르도

λ 와 출력의 변화는 $\lambda=5.8$ 에서 도달되는 동력의 최대값을 보여준다. 회전자구조는 $\lambda=6$ 에 기초하여 얻었다. 같은 λ 에서 얻어지는 최대동력은 이론값과 3.33%의 범위에서 일치된다는것을 보여준다. $\lambda<5.8$ 에서는 동력이 λ 가 증가하는데 따라 감소한다.

그림 4에 풍속 8m/s일 때 속도의 등값선도와 벡토르도를 보여주었다.

맺 는 말

일정한 λ 에 대한 MFR수법응용은 λ 의 어떤 한계내에서 효과적이였다. $\lambda=6$ 에 대한 법선힘, 접선힘, 출력은 이론적경향성과 잘 일치한다. 최대동력은 $\lambda=5.8$ 에서 얻어지는데(오차 3.33%) 초기가정과 잘 일치한다.

참 고 문 헌

- [1] M. Keerthana et al.; VI National Conference on Wind Engineering, Dec., 14~15, 2012.
- [2] R. S. Amano et al.; World Academy of Science, Engineering and Technology, 42~60, 2009.
- [3] D. Wood; Small Wind Turbines: Analysis, Design and Application, Springer, 170~291, 2011.

주체109(2020)년 3월 15일 원고접수

3D CFD Analysis of Full-Scale Model of Wind Turbine with 12 Blades

An Chol Ho, Kim Nam Chol

3D CFD simulations of a full-scale model of 1 kW horizontal axis wind turbine with 12 blades for water pumping were carried out by using FLUENT6.3. The wind turbine rotor configuration has been obtained based on the blade element momentum theory. The CFD simulations for a range of tip speed ratios at constant wind speeds has been carried out.

Keywords: wind turbine, 3D simulation, grid modeling, CFD