

수평축 풍력 블레이드 공력 형상 최적화 설계 프로그램 개발

유철, 손은국, 황성목, 최정철, 이진재, 김석우, 이광세*
한국에너지기술연구원 풍력연구실

Development of Aerodynamic Shape Optimization Program for Horizontal Axis Wind Turbine Blade

Cheol Yoo, Eunkuk Son, Sungmok Hwang, Jungchul Choi, Jin-Jae Lee,
Seokwoo Kim, Gwang-Se Lee*

Wind Energy Laboratory, Korea Institute of Energy Research

요약 본 논문에서는 풍력 발전기 블레이드 공력 설계 프로세스를 정립하고, 최적화 설계 전략을 제시 하였으며, 공력 설계 진행시에 반드시 검토 필요한 제약 조건들에 대해서 정리 하였다. 이를 토대로 하여 연구 목적뿐 아니라, 블레이드 설계자가 실제 업무에 쉽게 적용 가능하고, 초기 개념설계 단계부터 최종 3차원 형상 상세 설계 단계까지 통합적으로 수행이 가능한 BEMT 기반의 공력 설계 프로그램을 개발하였다. 개발된 프로그램 AeroDA는 개념 설계 모듈, 기본 설계 모듈, 최적 TSR 도출 모듈, 국부 형상 최적화 모듈, 성능 해석 모듈, 설계 검증 모듈 및 3차원 형상생성 모듈로 구성이 된다. 개발된 프로그램을 활용하여 NREL에서 공개 배포한 5MW 블레이드를 기반으로하여 하중저감을 위한 개선 설계를 진행하여 본 프로그램이 최적화 설계에 유용하게 사용 가능함을 확인 하였다. 또한 10kW 블레이드 공력 설계 및 터빈 상세 성능 해석을 진행하고, 이를 상용 전문 프로그램 DNV GL Bladed 결과와 비교하여 정확도를 검증하였다.

Abstract In this paper, the aerodynamic design process of wind turbine blades is established. The optimization design strategy is presented and the constraints that must be reviewed during the aerodynamic design process are summarized. Based on this, this study developed a BEMT-based aerodynamic optimal design program that can be applied easily to actual work, not only for research purposes, but also can be integrated from the initial concept design stage to the final 3D shape detail design stage. The developed program AeroDA consisted of a concept design module, basic design module, optimal TSR module, local shape optimization module, performance analysis module, design verification module, and 3D shape generation module. Using the developed program, an improved design of the 5MW blade by NREL was made, and it was confirmed that this program could be used for design optimization. In addition, a 10kW blade aerodynamic design and turbine detailed performance analysis were carried out, and it was verified by a comparison with the commercial program DNVGL Bladed.

Keywords : Aerodynamic design, BEMT, Blade, Performance analysis, Wind turbine blade

1. 서론

전 세계적으로 화석에너지 고갈, 지구 온난화 및 원전 사고에 대한 위기의식이 점차 고조되어, 신재생 에

너지 보급 확대를 위한 투자가 지속적으로 증가하고 있는 상황이며, 신재생에너지 원 중 시스템의 경제성 및 신뢰도가 상대적으로 우수하고, 'MW급'의 대용량 발전이 가능한 풍력 발전에 대한 관심이 지속적으로 증가

본 연구는 한국에너지기술연구원의 주요사업(B7-2443) 및 2017년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행하였습니다. (No. 20143030021130)

*Corresponding Author : Gwang-Se Lee(Korea Institute of Energy Research.)

Tel: +82-64-800-2335 email: lgs@kier.re.kr

Received October 19, 2017

Revised November 23, 2017

Accepted December 8, 2017

Published December 31, 2017

하고 있다.

그러나 해상 풍력 시장이 아직 미성숙 단계이고, 육상 풍력 시장이 점차 포화 상태에 근접함에 따라, 터빈 업체 간의 생존을 위한 과다 경쟁이 이루어지고 있고, 최근 중국 저가 터빈의 공격적인 시장진입으로 터빈 판매 가격은 지속적으로 하락하는 실정이다. 미국 에너지부 발표에 따르면 전 세계 Vestas 터빈 평균 판매 가격이 '08년 \$1,700/kW에서 '16년에 \$1,000/kw로 약 40% 하락하였다[1].

그러나 터빈 판매 가격의 지속적 하락에도 불구하고, 성능 증대 경쟁에 따른 블레이드 대형화로 개발비는 지속적으로 증가하고 있는 실정이다. GE(미), Vestas(덴) 등 선진 터빈 업체는 터빈 가격 경쟁력 확보를 위하여, 핵심 부품인 블레이드의 중량 절감 및 하중 저감을 위한 기술 개발 노력을 치열하게 수행하고 있다. 이런 상황에서, 국산 터빈의 경쟁력을 확보하기 위해서는 독자적인 고성능, 저 하중 블레이드 개발을 위한 설계 역량 및 설계 프로그램 확보가 점차 중요시되는 실정이다.

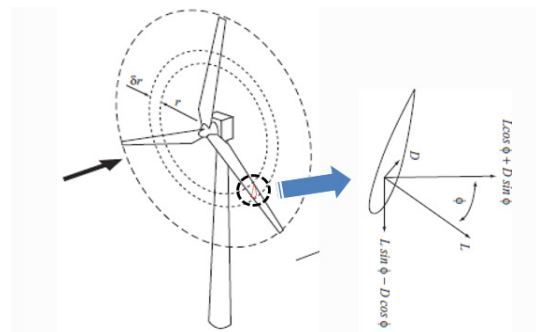
풍력 발전기 블레이드 공력 설계 및 성능해석은 BEMT(Blade Element Momentum Theory)를 기반으로 이루어진다. BEMT는 회전익 항공기 분야에서 개발되었으나, 오래 기간 풍력 분야에서 검증 및 개선되었으며, 현재 모든 풍력 블레이드 성능 해석 프로그램에 사용되고 있다. BEMT 이론 및 블레이드 공력 설계 기법에 대한 다양한 참고 문헌이 있다[2-3]. 그러나 이들은 항공기와 같은 1개 단면 익형을 사용한 기본적인 블레이드 설계 기법에 대한 이론 위주의 서술이기 때문에, 실제 블레이드 개발 시 필요한 다수의 단면 익형을 사용한 최적화 설계에 직접 적용하기 힘든 한계를 갖는다. 따라서 블레이드 개발을 직접 경험하면서 습득한 이론적 및 경험적 지식을 바탕으로 설계자가 쉽게 활용 가능하도록, 최적화 프로세스를 정립하고 블레이드 공력 설계 및 성능 해석 프로그램개발을 위한 연구를 진행 하였다.

2. 공력 설계 프로그램 개발

2.1 설계 전략 및 제약 조건

터빈 성능 과 하중은 모두 블레이드 표면의 압력 분포 차이에서 발생하는 공기역학적인 힘(공력)에 기인한다. 블레이드 공력 형상의 변화는 표면 압력분포 즉 공력의

변화를 야기하게 되고, 이는 블레이드 와 터빈의 성능 특성과 하중특성 모두 변화를 야기하게 된다. 일반적으로 터빈 정상 작동 상태일 때 블레이드 각 단면의 받음각은 5~8도 사이에서 유지되도록 설계를 한다. 이때 성능을 야기하는 힘과 하중을 야기하는 힘의 비율을 Fig. 1과 같이 $L \cdot \cos\phi / L \cdot \sin\phi$ 로 간략히 생각하면 6~11로 나타내어진다. 즉, 공력 중 성능을 야기하는 힘의 성분보다 하중을 야기하는 힘의 성분이 6~11배 크다는 것을 의미한다. 이는 실제 성능/하중 해석 단계 에서도 확인이 가능하며 성능을 증대시키기 위해서, 블레이드 설계를 변경하면, 성능 증가율보다는 하중 증가율이 크게 발생하게 된다. 따라서 블레이드 형상 설계를 진행함에 있어서, 블레이드 성능 특성 뿐 아니라 하중 특성의 검토는 반드시 필요하다.



$$F_{\text{lift}}/F_{\text{drag}} \approx \cos \phi / \sin \phi \approx \cos(5 \sim 8 \text{deg}) / \sin(5 \sim 8 \text{deg}) \approx 6 \sim 11$$

Fig. 1. Aerodynamic force of wind blade

블레이드 개발을 위해서는 공력 설계, 구조 설계, 터빈 하중 해석, 공탄 안전성 평가 및 제작성 검토와 같이 여러 단계를 순차적으로 진행하고, 각 단계에서 요구되는 다양한 요구조건이 만족될 때까지 반복적인 설계 개선 작업을 진행한다. 따라서 초기 개발 단계부터, Fig.2와 같이 예상되는 제약 사항들에 대해서 미리 반영한다면 설계 및 개발 일정을 크게 단축 가능하다.

블레이드를 설계 시 블레이드 공력 성능 증대만 고려한다면, 블레이드 단면을 두께비 18%, 21% 정도의 얇은 익형만을 사용하여 설계를 진행하는 것이 유리하다. 그러나 설계수명 20년 동안 생각할 수 있는 모든 극한 조건 상태에서 구조적인 안정성을 확보해야하는 구조 설계자에게 해결하기 어려운 제약 조건을 주게 되고, 결과적으로 비용 상승을 야기한다. 따라서 초기 단계부터 구조

설계자와 함께 구조 단면 효율을 고려하여 최적의 두께 분포를 결정해야 한다. 일반적으로 40%, 35%, 30%, 21%, 18% 두께비 익형의 조합을 사용하여 설계를 진행하게 된다.

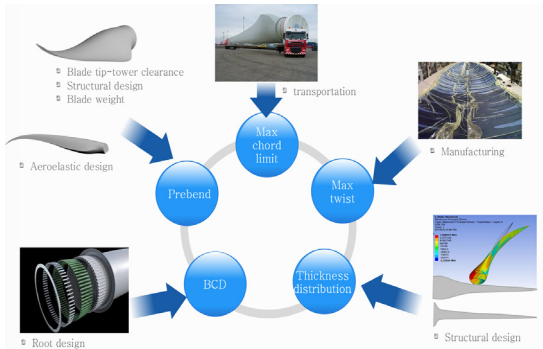


Fig. 2. Aerodynamic design constraint

블레이드 공력 성능 증대 위해서는 루트 부의 시위 길이 증대가 필요하나, 이는 블레이드 중량 증가, 표면 버클링 문제, 제작 및 운송 어려움을 야기하게 되어, 결과적으로 비용 상승을 야기한다. 따라서 모든 연관된 제약 조건을 종합적으로 고려하여 최대 시위길이를 결정한다. 최근 단면 구조 효율 증대를 목적으로 T/E(trailing edge)가 blunt한 flat-back 익형을 적용한 블레이드가 개발되고 있다[4]. 두꺼운 T/E 영향에 의한 소음 특성 악화에 주의해야 한다.

블레이드는 회전 운전 특성으로 블레이드 길이 방향으로 바람의 유입 각도가 변하게 된다. 블레이드 루트(root)에서 유입 각이 가장 크기 때문에 고 받음각에 따른 유동 박리가 발생하여 성능이 감소한다. 박리 영역의 최소화 위해서 루트 비틀림 각도의 증대가 필요하나, 과도한 비틀림 각은 블레이드 제작 단계에서 수지(resin)의 흘러내림에 따른 제작 불량 및 두께 불 균일 등의 문제를 야기하게 된다. 제작성을 고려하여 일반적으로 루트 최대 비틀림 각은 15~18도 사이로 결정하게 된다.

2.2 설계 프로세스

터빈 개념 설계에서 블레이드 길이, 목표 성능, 정격 회전 속도가 결정되고, 설계 제약 조건에 대한 분석이 완료되면, 블레이드 공력 설계를 진행한다.

블레이드 설계 프로세스는 Fig.3에 도시 하였다. 설계 순서는 설계 제약 조건 입력(①), 단면 익형 선정(②), 각

단면의 설계 받음각 설정(③, α), 공력 계수 입력(④), 설계 TSR 결정(⑤, λ , Tip Speed Ratio), flow induction factor 계산 (⑥, a, a'), 단면 바람 유입 각도 계산(⑦, Φ), 시위(chord) 길이 및 비틀림각 계산(⑧, c, β), 단면 받음각 계산 및 성능 해석(⑨) 순으로 진행이 된다. 모든 절차는 블레이드 각 단면에서 동시에 진행되며, 주어진 설계 목표를 만족할 때까지 반복 수행된다.

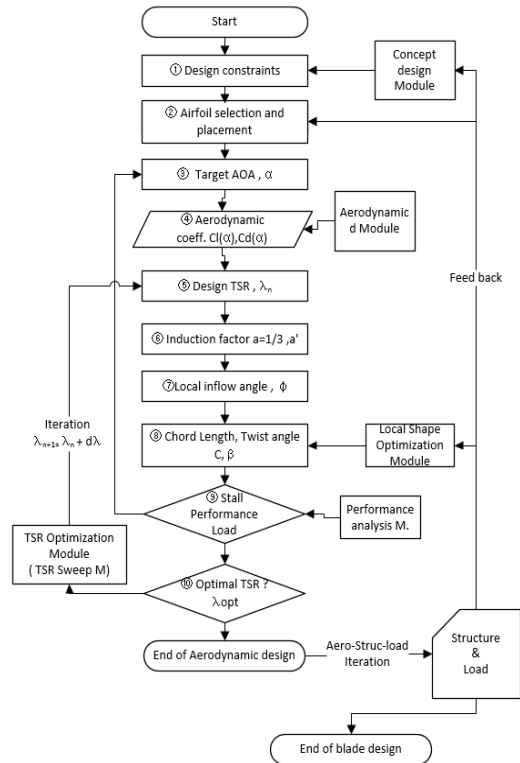


Fig. 3. Blade aerodynamic design process

공력 설계 관련 수식은 Eq.1-6에 표시하였다[2]. Ω 는 블레이드 회전속도, μ 는 무차원 단면 위치, B 는 블레이드 수를 나타낸다. 공력 설계 단계에서는 $a=1/3$ 으로 가정하고, Eq.3을 통하여 시위길이를 계산한다. 성능 해석 단계에서는 설계에서 결정된 시위길이를 기준으로 Eq.3을 통하여 a 를 계산한다.

$$\lambda = \frac{\Omega R}{U_\infty} \quad (1)$$

$$a' = \frac{a(1-a)}{\lambda^2 \mu^2} \quad (2)$$

$$c = \frac{2\pi R}{B\lambda C_l} \frac{4\lambda^2 \mu^2 a'}{\sqrt{(1-a)^2 + (\lambda\mu(1+a'))^2}} \quad (3)$$

$$\tan\phi = \frac{1-a}{\lambda\mu(1+a')} \quad (4)$$

$$\alpha = \phi - \beta \quad (5)$$

$$\beta = \arctan\left(\frac{1-a}{\lambda\mu(1+a')}\right) - \alpha \quad (6)$$

설계 TSR은 공력 형상을 결정하는 가장 중요한 인자이다. TSR이 커지면 블레이드 면적이 증가하고, 작아지면 감소한다. 설계자의 직관 및 경험으로 초기 값을 가정하여 기본 설계를 진행하고, TSR을 변화 시키면서 형상 설계, 성능 해석, 공력 하중 해석을 목표 성능과 목표 하중 조건을 만족할 때까지 반복 수행하는 최적화 설계를 진행한다. 최근의 블레이드 설계 흐름은 고성능 보다는 하중 저감에 중점을 두고 있다. 따라서 설계 TSR이 점차 증가하고 있으며, 블레이드 형상은 slender 해지고 있다.

공력 설계가 완료되면 구조 설계가 진행된다. 구조 설계를 진행하면서 시위 길이, 비틀림 각 및 두께 분포에 대한 수정 요구가 발생하게 되면, 공력 특성을 최대한 유지하면서, 구조 요구사항에 대응하기 위한 공력 수정 설계를 반복적으로 수행한다. 공력-구조 반복 설계를 진행할수록 블레이드 설계 성숙도가 증가하게 된다. 블레이드 공력-구조 설계가 완료되면, 설계 블레이드를 이용해서 터빈 성능 해석 및 하중 해석을 진행한다. 하중해석 단계에서 블레이드 성능, 하중 및 블레이드 중량에 대한 수정 요구사항이 발생하게 되면, 다시 블레이드 설계를 반복 수행하게 된다. 블레이드 설계와 하중 해석 간의 반복 수행을 통해서 터빈 시스템 최적화가 이루어진다.

2.3 설계 프로그램

위에서 정리한 블레이드 최적화 프로세스를 토대로 하여 블레이드 개념 설계, 기본 설계, 최적화 설계, 3차원 형상 설계, 터빈 성능 해석 및 설계 건전성 평가를 통합적으로 수행 가능한 프로그램 AeroDA (Aerodynamic Design and Analysis)를 개발하였다.

AeroDA는 BEMT 이론을 기반으로 개발되었으며, 개념설계 TCD 모듈, 전처리 PreP 모듈, 공력 설계 AeroD 모듈, 성능 해석 AeroA 모듈로 Fig.4와 같이 구성 되고, 각 모듈의 상세 기능은 Fig. 5와 같다. 유사한 상용 프로그램은 DNV GL(노르웨이)의 Bladed등이 있다. Bladed

는 BEMT 기반의 터빈 성능 및 하중 해석에 특화된 프로그램으로 풍력 분야에서 가장 널리 사용되고 있으나, 블레이드 공력 설계 기능은 가지고 있지 않다.

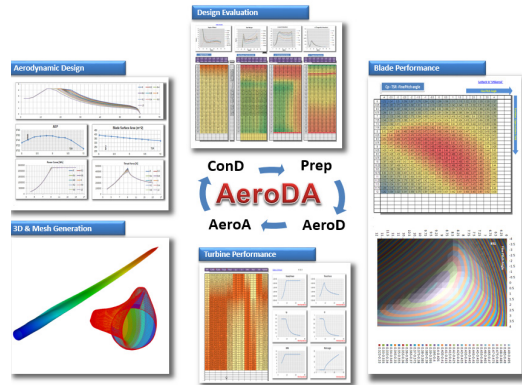


Fig. 4. AeroDA

Main	Sub.	
(Turbine Concept Design)	TCP	Power curve& AEP estimation
	OptD	Optimal blade length estimation
	RGGR	Rated RFM estimation
(Preprocessor)	AF Geo. DB	Airfoil coordinate generation
	AF Coe. DB	Aerodynamic coefficient DB
	Turbine Info.	Turbine information input
	Interpolation	Interpolation
(AeroD (Aerodynamic Design module))	BSD	baseline shape design
	TSRSweep	TSR optimization
	LocalSweep	Blade shape optimization
	2DGen	2D coordinate Gen.
(AeroA (Aerodynamic Analysis module))	3DGen	3D coordinate Gen.
	PCA	Blade performance analysis
	AIA	Blade design Evaluation
	SPA	Turbine performance analysis

Fig. 5. AeroDA Modules



Fig. 6. AeroD module(left), AeroA module(right)

2.4 프로그램 검증

2.4.1 5MW 블레이드 공력 설계

NREL(National Renewable Energy Laboratory)에서 설계하여 공개한 NREL 5MW 터빈 및 블레이드를 정보를 기본으로 하여[5], 터빈 성능 감소를 최소화하는 조건으로, 블레이드 하중 저감을 위한 개선 설계를 진행하였다. 블레이드 형상 최적화에 의한 하중 저감 효과를 비교하기 위해서, 동일 블레이드 길이 및 동일 단면 익형을 사용하여 개선 설계를 진행하였다.

공력 최적화 설계는 AeroD를 사용하여 수행하였으며, AeroA를 사용하여 NREL 5MW 블레이드 및 개선 블레이드 성능 해석을 각각 수행하여 결과를 비교하였다. 성능 특성은 블레이드 Cp (performance coefficient), 터빈 출력커브 및 AEP(전력생산량)를 비교하였으며, 하중 특성은 Thrust force, blade root bending moment를 비교하여 평가하였다. 최근 블레이드 설계 경향은 성능 최대화 보다는 하중 최소화 즉, 저하중 블레이드 설계이다. 이런 흐름에 따라서 하중 저감을 위해서 블레이드는 점차 slender한 형상을 가지게 되고, 성능 감소를 최소화하기 위해서 로터 회전 속도가 증가하는 추세이다. Fig.7-8은 NREL 5MW 블레이드와 개선 사양인 KIER 5MW 블레이드 형상을 비교한 결과이다.

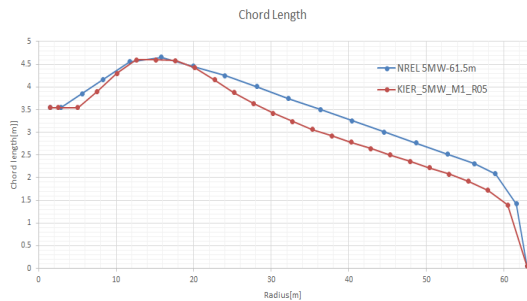


Fig. 7. Chord distribution of NREL 5MW(blue) and KIER 5MW(red) blade

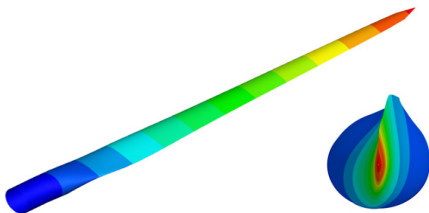


Fig. 8. 3-D shape of KIER 5MW 61.5m blade by 3DGen module

시위 길이는 최소화, 최적화하여 하중을 저감 시키고, 이로 인한 성능 감소를 보상하기 위해서, 정격 RPM을 12.1에서 12.4RPM으로 소폭 증가 시킨 후 비틀림 각 분포를 최적화 하는 방법을 사용하였다. NREL 5MW 블레이드와 개선 블레이드 성능 및 하중 특성 비교 결과는 Table. 1과 Fig. 9에 나타내었다.

AEP는 평균풍속 10m/s, k=2를 가정하여 동일하게 계산을 수행 하였다. 블레이드 코드 길이 분포가 감소하였으나 비틀림 각을 최적화함으로써 AEP는 동등 수준을 확보하였으며, 하중은 5% 정도 감소하는 것을 확인 하였다. 하중 결과는 공력 하중만의 결과이다. 따라서 추후 블레이드 구조 설계 결과를 반영하면 블레이드 면적 감소에 의한 중량 감소 효과로 추가적인 하중 감소가 발생할 것으로 예상된다.

Table 1. Comparison of blade performance and aerodynamic loads

	Max. Cp	AEP (MWh)	Max Thrust (N)	Max.Flap RootBending Moment(kNm)
NREL 5MW	0.483	24,5	706	9,616
KIER 5MW	0.486	24,6	691	9,112
diff(%)	0.8	0.2	-2.2	-5.2

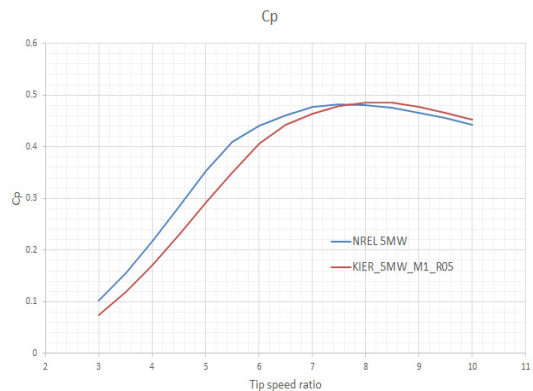


Fig. 9. Blade Cp

2.4.2 10KW 블레이드 공력 설계

10kw 블레이드 공력 기본 설계를 진행하고 TSR 최적화 모듈을 사용하여 최적 설계를 진행하였다. 1단계로 TSR를 4~10 사이에서 1간격으로 수행하여 최적점을 6~8 사이임을 확인 하였다. 이후에 주속비를 6~8 사에

에서 0.2 간격으로 세분화하여 상세 성능 해석을 수행하였다(Fig. 10). 해석 결과는 TSR에 따른 블레이드 성능 Cp, 터빈 출력 커브, 전력생산량 및 공력 하중을 도출한 후 비교 분석 하였다(Fig. 11). 주속비가 커질수록 블레이드 코드 길이는 감소하는 경향을 확인할 수 있다.

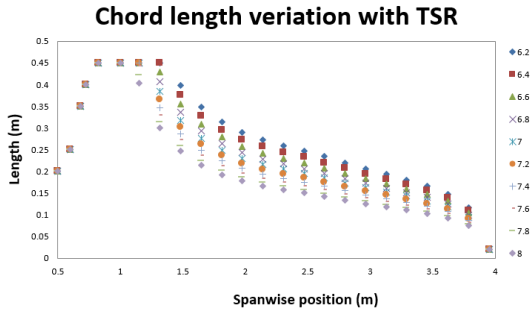


Fig. 10. variation of blade chord length with TSR

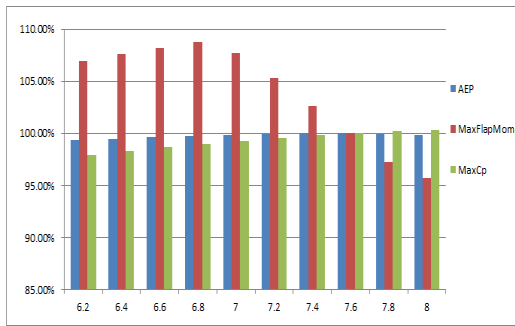


Fig. 11. Variation of AEP and blade root moment with TSR

블레이드 성능 지표인 Cp 값은 TSR 8에서 최대 값이 도출되며, 터빈 성능 지표인 AEP(연간 전력 생산량)는 TSR 7.6 에서 최대화 된다. 블레이드 설계 최종 목표는 전력 생산량 최대화이기 때문에 TSR 7.6를 1차 선정하고, 하중 특성을 비교하였다. 공력 하중은 주속비가 증가함에 따라서 급격하게 감소하는 것을 확인할 수 있다. TSR 7.6과 7.8을 비교하여, 성능 감소량은 0.1% 이내이지만, 하중 감소량은 3% 정도 크게 발생하기 때문에 하중 최소화 위해서 TSR 7.8을 최종 형상으로 결정 하였다.



Fig. 12. Final blade 2D planform shape

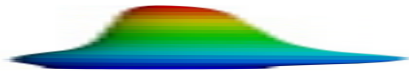


Fig. 13. final blade 3D shape

최종 선정된 블레이드 형상에 대하여, AeroDA 성능 해석 모듈과 Bladed를 이용하여 상세 성능 해석을 각각 수행하고, 그 결과를 Fig. 16-17에 비교하여 표시하였다. Table. 2의 출력 해석 결과를 보면 모든 풍속에서 1% 이내로 정확히 일치하는 것을 확인할 수 있다.

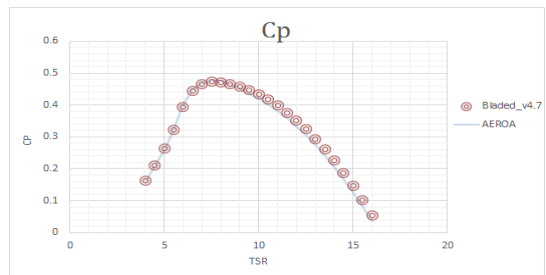


Fig. 14. Cp

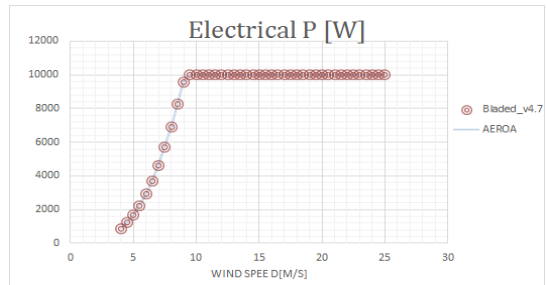


Fig. 15. Power curve

Table 2. Result comparison of Bladed and AeroDA

Wind Speed(m/s)	Power(W) @ Bladed	Power(W) @ AeroDA	Diff.(%)
4	909.0	918.0	0.98
6	3067.8	3098.2	0.98
7	4871.6	4919.9	0.98
8	7271.9	7344.0	0.98
9	10072.9	10177.7	1.03

3. 결론

1. 본 논문을 통하여 블레이드 공력 설계 프로세스를 정립하고, 블레이드 최적화 설계를 위한 전략을 제시하였으며, 공력 설계 중요 제약 조건에 대해 정리하였다.
2. 초기 터빈 개념 설계 단계에서부터, 기본 설계, 형상 최적화, 국부 형상 수정 설계 및 3차원 형상 생성까지 통합적으로 수행 가능한 최적화 프로그램 AeroDA를 개발하였다.
3. NREL 5MW 블레이드 공력 특성을 분석하고, 하중 저감을 목표로 개선 설계를 진행하였다. 이를 통하여 개발된 프로그램이 최적화 설계에 유용하게 사용 가능함을 확인하였다.
4. 개발된 프로그램 검증 을 위해서 10kw 블레이드 설계 및 상세 성능 해석을 수행하고, 결과를 전문 사용 프로그램 DNVGL Bladed 결과와 비교 하여, 모든 풍속 조건에서 최대 1% 이내로 정확히 일치 하는 결과를 확인 하였다.

References

- [1] R. Wiser, M. Bolinger, "2015 Wind Technologies Market Report", pp. 51-52, U.S. Department of Energy, 2015.
- [2] T. Burton, D. Sharpe, N. Jenkins, E. Bossanyi. Wind energy handbook. pp. 39-65, Wiley, 2011.
DOI: <https://doi.org/10.1002/9781119992714>
- [3] P. J. Moriarty, A. C. Hansen, Aerodyn Theory Manual, National Renewable Energy Laboratory, 2005.
DOI: <https://doi.org/10.2172/15014831>
- [4] K. J. Jackson, M. D. Zuteck, C. P. van Dam, K. J. Standish, D. Berry, Innovative design approaches for large wind turbine blades, in Wind Energy, volume 8, pp. 141-171. John Wiley & Sons, 2005.
DOI: <https://doi.org/10.1002/we.128>
- [5] J. Jonkman, S. Butterfield, W. Musial, G. Scott, Definition of a 5-MW Reference Wind Turbine for Offshore System Development. National Renewable Energy Laboratory, 2009.
DOI: <https://doi.org/10.2172/947422>

유철(Cheol Yoo)

[정회원]



- 2004년 2월 : 서울대학교 기계항공공학부 (공학석사)
- 2004년 3월 ~ 2009년 8월 : 현대자동차 남양연구소 엔진개발팀
- 2009년 9월 ~ 2014년 8월 : 삼성중공업 풍력사업부 블레이드 파트
- 2014년 9월 ~ 현재 : 한국에너지기술연구원 풍력연구실

<관심분야>
풍력발전, 블레이드, 공력설계

이광세(Gwang-Se Lee)

[정회원]



- 2011년 2월 : 부산대학교 공과대학원 기계공학부 (석사)
- 2015년 8월 : 부산대학교 공과대학원 기계공학부 (박사)
- 2015년 6월 ~ 현재 : 한국에너지기술연구원 풍력연구실

<관심분야>
풍력, 유동소음, 구조진동, 증속기

황성목(Sungmok Hwang)

[정회원]

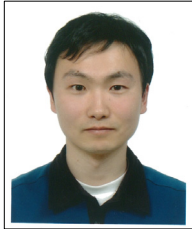


- 2006년 2월 : KAIST 기계항공시스템학부 (기계공학석사)
- 2009년 8월 : KAIST 기계공학과 (기계공학박사)
- 2009년 8월 ~ 2017년 6월 : 삼성중공업 중앙연구소 책임연구원
- 2017년 7월 ~ 현재 : 한국에너지기술연구원 선임연구원

<관심분야>
구조진동, 구조동역학, 진동소음, 신호처리

최 정 철(Jungchul Choi)

[정회원]



- 2002년 8월 : 연세대학교 기계공학 (학사)
- 2008년 4월 : Stuttgart University, Mechanical Engineering (석사)
- 2014년 3월 : Kassel University, Electrical Engineering (박사)
- 2008년 5월 ~ 2014년 2월 : Fraunhofer Institute (IWES)

• 2014년 2월 ~ 현재 : 한국에너지기술연구원

<관심분야>

풍력발전, 데이터 분석

이 진 재(Jin-Jae Lee)

[정회원]



- 2014년 8월 : 제주대학교대학원 전기공학과 (공학석사)
- 2016년 9월 ~ 현재 : 한국에너지기술연구소 기술원

<관심분야>

전력전자, 풍력에너지

김 석 우(Seokwoo Kim)

[정회원]



- 1996년 12월 : Rensselaer Polytechnic Institute, Dept. of Aeronautical & Mechanical Eng. (Ph.D.)
- 2002년 9월 ~ 현재 : 한국에너지기술연구원 책임연구원

<관심분야>

풍력발전

손 은 국(Eunkuk Son)

[정회원]



- 2008년 2월 : 서울대학교 기계항공공학부 (공학석사)
- 2014년 2월 : 서울대학교 기계항공공학부 (공학박사)
- 2016년 3월 ~ 현재 : 한국에너지기술연구원 선임연구원

<관심분야>

공력소음, 후류유동, 풍력소음