MW급 풍력 Blade의 Field수리로 인한 Airfoil의 형상 변형에 따른 공력특성

The Aerodynamic Characteristics of Shape Deformation of Airfoil according to Field Repair of MW-Class Wind Turbine Blade

유홍석*, 이장창
안동대학교

초 록

풍력발전은 재생에너지로써 유망한 대체 에너지원으로 각광받고 있으며, 국내에서는 이미 영덕, 영양 등의 풍력단지가 가동 중에 있다. 그러나 장기간 사용되어온 터빈이 반 이상이며, 그 중에서도 바람의 영향을 많이 받는 블레이드는 끝단 Tip이 벌어지는 파손이 발생하곤 한다. Blade Field의 유지보수를 통해 수명연장이 가능하나, 형상변화로 공력특성에 영향을 미치게 된다. 본 연구에서는 MEXICO 터빈용 블레이드의 Tip부분에 대해서 EDISON을 활용하여, 수리로 인해 변경된 Blade의 공력특성 변화를 분석하였다. 형상변경은 상용 프로그램 Pontwise로 작업했으며, 익형 주위의 유동을 2D비압축성 유동으로 가정하고 EDISON CFD의 2D_Incomp-2.1_P solver를 수치해석을 수행하였다.

Key Words : 공력특성 (Aerodynamic Characteristics), 풍력터빈 (Wind Turbine), 블레이드 (Blade), 익형 (Airfoil), 변형 (Deformation), Chord(익현), Camber(캠버), 양항비 (Lift-to-drag Ratio), 전산유체역학 (Computational Fluid Dynamics)

1. 서 론

1.1 연구배경

세계 각국은 화석 에너지의 고갈과 같은 위기 속에 지속적인 성장을 위해서, 녹색기술에 대한 투자를 경쟁적으로 확대하고 있으며 그 중요성이 점점 커지고 있다. 특히 풍력에너지는 유망한 대체에너지원으로 주목받고 있으며, 국내에서는 선진기술을 보유한 조선과 더불어 육지보다 해상풍력발전에 대한 투자가 점증 추세에 있다. 주로 MW급 이상의 대형풍력터빈이 각광받고 있으며 이러한 터빈의 고출력 핵심은 Blade에 있다. 가볍고도 강풍에 견딜 수 있도록 복합소재를 적층하여 제조되므로 지속적으로 강풍을 받아들이다 보면 풍화침식에 의해 Fig. 1 처럼 Blade의 끝단 Tip 부분이 벌어져 터빈구동에 장애를 가져오게 된다. 벌어진 Blade Field는 수리를 통해 Fig. 2 처럼 다시 접합 가능하지만 이 과정에서 Blade의 두께가 달라져 공력특성의 변화로 소음발생 및 터빈효율에 영향을 미칠 수 있다.

1.2 연구목표

본 연구에서는 파손된 Blade Tip의 수리를 통해 형상이 변경된 Airfoil의 공력특성 변화를 파악하고자, MEXICO 터빈용 블레이드를 구성하고 있는 에어포일을 이용하였다. EDISON CFD를 활용하여 수리전/후의 양항비를 해석하고 각각의 데이터를 비교해 보고자 한다. 이를 통해 Blade Field의 수리가 터빈효율에 미치는 영향을 제시하고, 향후 상용코드인 Fluent를 이용한 연구를 진행하여 EDISON CFD의 해석 결과와 그 차이를 비교해 보고자 한다.

Fig. 1 파손된 블레이드 팁

Fig. 2 수리된 블레이드 팁

2. 본론

2.1 해석모델

MEXICO 블레이드는 3가지 다른 에어포일 들로 구성되어 있다[2]. 본 연구에서는 MEXICO 블레이드 단면중 바깥쪽의 익형인 NACA64(3)-418을 이용하여, 뒷전 부근의 Field 수리로 인한 익형의 두께 변화에 따른 공력특성의 변화량을 조사하였다. 먼저 EDISON CFD와 상용코드인 Fluent를 이용하여 초기 NACA64(3)-418의 공력해석을 수행하였으며, 수리로 인한 변형된 익형의 공력특성을 조사하기위해서는 익형의 선단으로부터 70%인 지점부터 시작하여 익형의 끝단까지 두께비를 증가시키면서 그 공력특성을 조사하였다.

2.2 수치해석

풍속은 Re = 1.0×10^{6}을 기준으로 하여 14.694[m/s]으로 설정하고, NACA64(3)-418 익형 주위의 유동을 2차원 비압축성 점성유동으로 가정하였다. 익형 주위로 C type의 정렬격자를 생성하고, Y+ 값을 1미만으로 하기 위하여 First Cell Height를 $1.0\times e^{-5}$으로 하였다. 격자수는 약 10000개를 사용했으며, 에어포일 주변의 유동변화로부터 영향이 최소화 되도록 Far field 크기는 익현의 15배로 하였다. 공기의 압력과 온도는 각각 1atm과 288.15K($15℃$)로 가정하였으며, 경계조건으로는 Viscous Adiabatic Wall과 Far-Filed B.C, Block Communication을 사용하였다. solver로는 유한 체적법(Finite Volume Method)을 기반으로 하는 2D_Incomp-2.1_P를 사용하였으며, 받음각은 $-0^{\circ}\sim4^{\circ}$로 1°씩 변화시켜가면서 해석하였다.

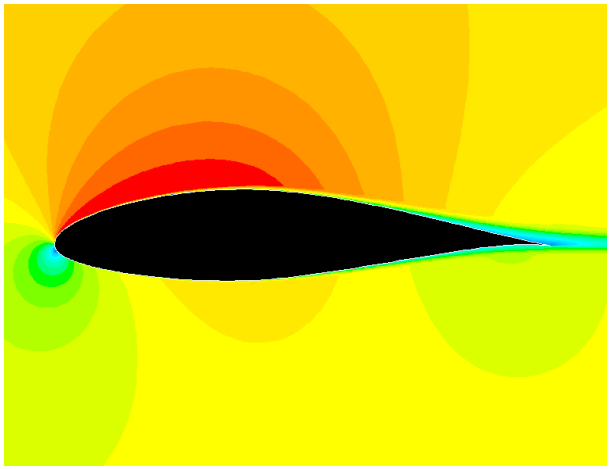

Fig. 3 NACA64(3)-418의 속도장
받음각 = 4°, 풍속 = 14.694[m/s]

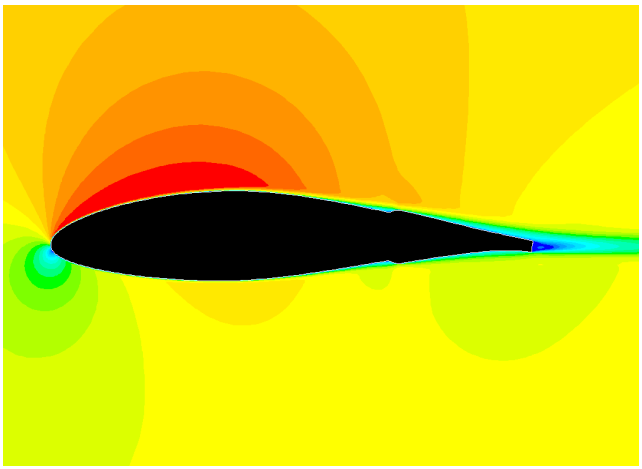

Fig. 4 코드길이 70%에서 최대캠버 절반만큼 두꺼워진 NACA64(3)-418의 속도장
받음각 = 4°, 풍속 = 14.694[m/s]

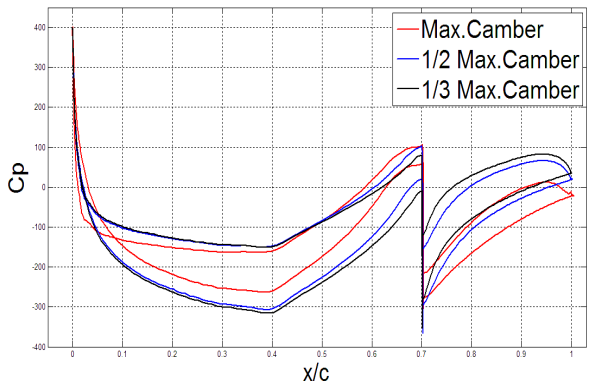

Fig. 5 받음각=0°, 코드길이 70%부터 형상변경된 NACA64(3)-418의 압력계수 비교

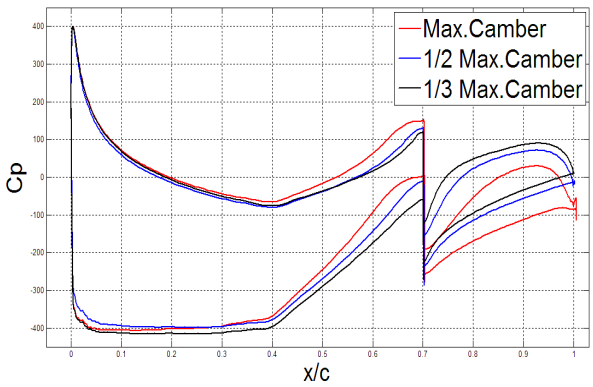

Fig. 6 받음각=4°, 코드길이 70%부터 형상변경된 NACA64(3)-418의 압력계수 비교

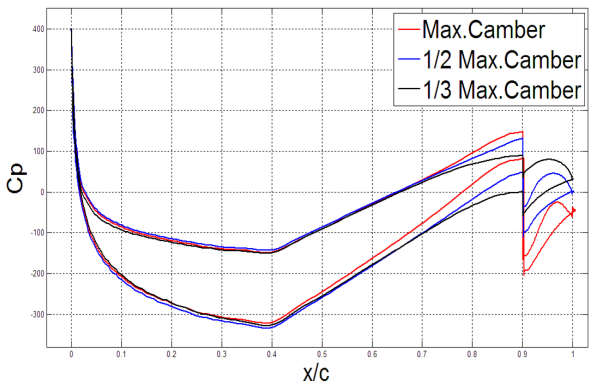

Fig. 7 받음각=0°, 코드길이 90%부터 형상변경된 NACA64(3)-418의 압력계수 비교

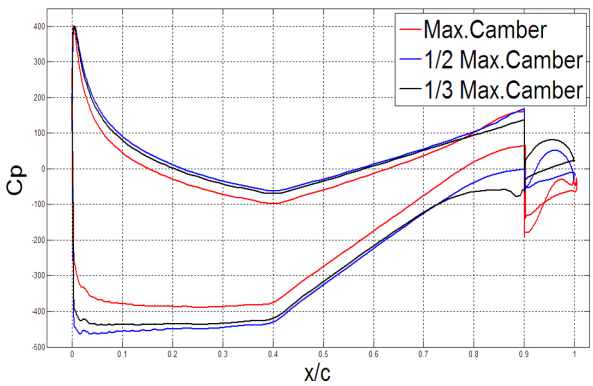

Fig. 8 받음각=4°, 코드길이 90%부터 형상변경된 NACA64(3)-418의 압력계수 비교

Fig. 3은 Re = 1.0×10^6와 AOA = 4° 조건에서 NACA64(3)-418 익형의 속도장을 보여주고 있으며, Fig. 4는 같은 조건에서 NACA64(3)-418 익형의 Chord 70% 부분부터 끝단까지 Upper와 Lower의 형상을 최대 캠버의 1/2 두께 만큼 부풀린 새로운 형상에 대한 속도장을 보여주고 있다. 형상이 두꺼워진 만큼의 굴곡 변화로 인해 속도장 분포에 변화가 있음을 볼 수 있다. Fig. 5는 NACA64(3)-418 익형 위아래 면의 압력계수를 Re = 1.0×10^6와 AOA = 0° 조건에서 계산한 경우로 Chord 70% 부분에서부터 익형의 두께를 최대 캠버만큼, 최대 캠버의 절반, 최대 캠버의 1/3 크기로 달리하여 비교하였다. Chord 70% 부분부터 두께가 변하는 경우, 전반적으로 익형전체의 압력계수 변화와 더불어 형상이 변하는 위치에서 천이로 인해 압력계수가 한 순간 낮아짐을 볼 수 있다. 특히 Chord 70% 이후부터는 최대캠버 1/3의 두께를 가진 익형이 가장 큰 압력계수를 가졌으며, 두께가 두꺼울수록 압력계수가 낮게 나왔다. Fig. 6에서처럼 AOA = 4° 일 때는 두께가 변하는 부근에서만 압력계수의 변화가 잘 나타났으며, Fig. 7은 같은 조건에서 AOA = 0° 일 때 압력계수 변화를 보여주고 있다. Chord 70% 부분부터의 두께 변화로 인해 전반적인 압력계수의 변화를 보였던 Fig. 5와 달리 전반적으로 Chord 90% 위치 이전까지는 압력계수에 큰 변화가 없었지만 형상이 변경되는 부근에서 압력계수의 변화를 보였다. Fig. 7에 비해 받음각이 커지면 익형의 윗면과 아랫면들의 압력계수 차이가 확실하게 나타나는 것이 Fig. 8로부터 알수 있다. Fig. 5-8에서 보인 바와 같이 두께변화 위치가 익형형상의 절반에 가까울수록 공력특성의 변화가 전반적으로 크게 차이 났으며, 기존의 NACA64(3)-418이 가지던 본래의 천이현상 발생 지점이 이동하여 형상 변경되는 위치에서 발생하고 있다. 두께변화가 시작된 지점 이후부터는 최대캠버의

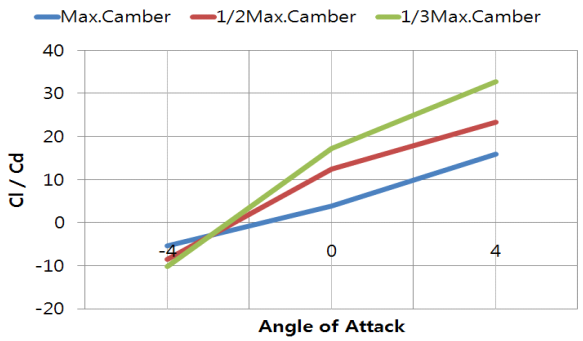

Fig. 9 코드길이 70%부터 형상변경된
NACA64(3)-418의 받음각에 따른 양항비 비교

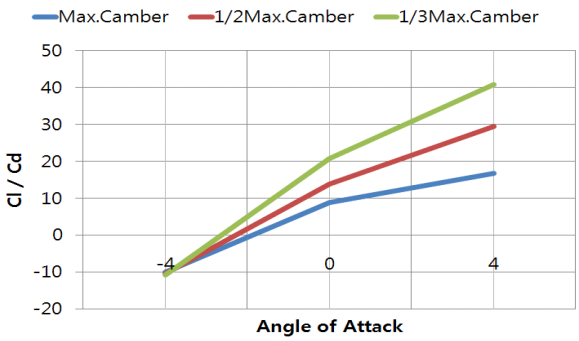

Fig. 10 코드길이 80%부터 형상변경된
NACA64(3)-418의 받음각에 따른 양항비 비교

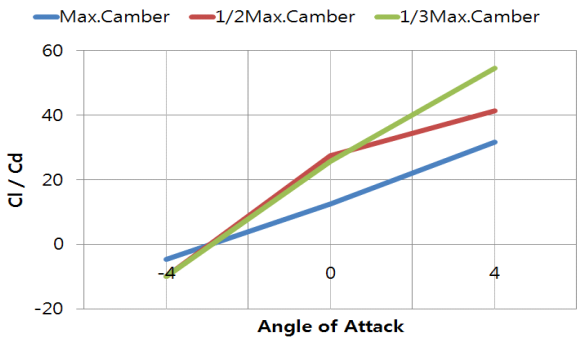

Fig. 11 코드길이 90%부터 형상변경된
NACA64(3)-418의 받음각에 따른 양항비 비교

1/3만큼 변형된 경우가 가장 압력계수가 낮게 크게 예측되었으며, 받음각이 커짐에 따라 두께변화가 있기 전까지는 익형 윗면에 대해서 최대캠버 만큼 두꺼워진 경우의 압력계수가 가장 낮았다. 두께의 변화량과 변형 위치마다 받음각 변화에 따른 양항비의 변화는 Fig. 9-11에 잘 나타나있다. 그림에서 보는 바와 같이 받음각이 -4°에서 4°까지 커질수록 양항비는 증가했으며, 최대 캠버의 1/3만큼 두께가 커진 경우가 양항비가 가장 크게 나왔다. 두께 변화 위치가 Chord 80%에 해당할 때 받음각에 따른 모델들의 양항비 변화폭이 점차 커져갔으며, 특히 두께변화의 위치가 Chord 90% 부분부터 해당될 때 양항비가 가장 크게 나왔다. 같은 조건에서 AOA = 0°일 때 최대캠버의 절반 두께만큼 증가한 익형은 최대캠버 1/3 두께 모델과 비슷한 양항비가 예측되었다.

3. 결 론

본 연구에서는 EDISON CFD를 활용하여 MEXICO 블레이드를 구성하는 에어포일 형상 중에서 NACA64(3)-418과 이를 형상 변경시킨 익형들의 공력특성을 살펴보았다. 익형의 두께를 증가시킨 NACA64(3)-418의 해석결과는 기존의 모델이 가지던 천이 지점을 형상변형이 일어나는 위치로 이동시켰다. 최대 캠버 만큼 두께변화를 준 모델이 천이 현상이후 가장 낮은 압력계수가 예측되었지만, 최대 캠버의 1/3만큼 두께 변화를 준 모델이 가장 양항비가 좋게 나왔다. 수리를 통한 형상 변경 전후의 익형에 대한 공력특성을 종합적으로 비교해 볼 때 풍력터빈이 가동되는 저속 영역에서의 결과는 익형의 본래 형상에서 크게 벗어나지 않게 Blade filed를 얇게 수리하는 것이 상대적으로 공력성능이 우수한 것으로 나타났다. 이는 풍력터빈 수리 방안에서 반드시 고려되어야 할 주요사항이다.

후 기

본 연구는 미래창조과학부의 지원 사업인 첨단 사이언스 교육 허브 개발 사업의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

(1) 이태형, 김철완, 조태환, 안석민. 2010, “두께비가 큰 블레이드의 에어포일 공력특성에 관한 수치해석 연구,” *한국항공우주학회 2010년도 추계학술발표회 논문집(Ⅰ)*, 161-164

(2) K. Boorsma, J. G. Schepers, 2009, "Description of experimental setup MEXICO measurements"

(3) 항공우주학회, 2011 “항공우주학개론,” 제5판, 경문사, (주)경문북스, P46-80

(4) Ira H. Abbott and Albert E. von Doenhoff, 1959, "Theroy of Wing Sections: Including a Summery of Airfoil Data," McGraw-Hill Book Company, P31-63