

# Modified Strip Theory 를 이용한 풍력터빈 블레이드의 공력탄성학적 특성 해석

## Aeroelastic Analysis of Wind Turbine Blades using Modified Strip Theory

이종원\* · 이준성\* · 한재홍† · 신형기\*\* · 방형준\*\*

Jong-Won Lee, Jun-Seong Lee, Jae-Hung Han, Hyung-Ki Shin and Hyung-Joon Bang

### 1. 서론

최근의 풍력터빈 시스템은 에너지 생산 단가를 줄이기 위하여 점점 대형화되고 있고 이 때문에 풍력터빈 시스템의 공력탄성학적 안정성의 중요해지고 있다. 최근에 MW 급 대형 풍력터빈 시스템의 공력탄성학적 안정성에 대한 연구가 활발히 수행되고 있으며 많은 대학과 연구소에서 공탄성 해석 툴을 개발하여 풍력터빈 설계 및 공탄성 해석에 사용하고 있다. 개발된 툴에 사용되는 공력모델은 대부분이 BEM (Blade Element Momentum) 공력 모델로 풍력터빈의 공력 모델로 가장 많이 사용된다[1~5].

본 연구에서는 풍력터빈의 공력하중을 계산하기 위해 BEM 공력 모델이 아닌 Modified Strip Theory 라는 새로운 공력모델을 사용하고 MSC/ADAMS 상에서 유체-구조 연계를 통해 풍력터빈 블레이드의 공탄성 해석을 수행하였다.

### 2. 공탄성 모델

#### 2.1 공력 모델

본 연구에서 공력 모델은 Modified Strip Theory(이하 MST)를 사용하였다. MST 는 DeLaurier[6]가 플레핑 날개 공력 모델로 처음 제안한 것으로 날개를 여러 개의 strip 으로 나누어 각 strip 에 대한 공기력 해석을 적용하고 날개 전체에 대한 공력을 계산하는 해석적 공력 모델이다. 김대관[7]등은 큰 합성 받음각에서도 사용할 수 있도록 기존의 MST 를 개선하였으며, 피칭 및 플러징 운동을 고려한 동적 실속 모델도 추가하였다. 본 연구에

서는 개선된 MST 를 풍력터빈 블레이드에 맞게 모델을 수정하여 블레이드에 작용하는 하중을 계산하기 위하여 사용하였다.

#### 2.2 유체-구조 연계

구조 모델은 MSC/NASTRAN 에서 구조 물성치(재료 물성치, 강성, 단면적 크기 등)를 이용하여 모델링한 후 모드해석을 통한 MNF(Modal Neutral File)을 형성한다. MNF 에는 모드정보, 강성 및 질량행렬 등의 정보를 포함하고 있으며 이를 MSC/ADAMS 에 연계하여 유연다물체계 해석을 수행할 수 있도록 하였다. 또한 MSC/ADAMS 에는 별도의 공력모델을 제공하지 않기 때문에 MST 를 공력 모델로 하여 외부 함수로서 연계시켜 공력하중을 계산하도록 하였다.

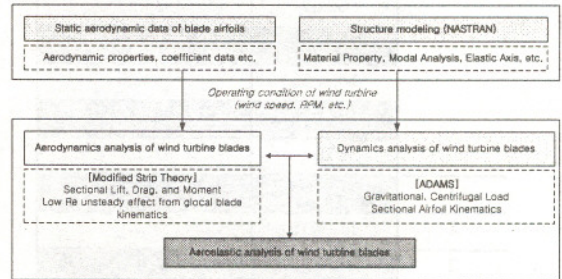


그림 1 Scheme of aeroelastic analysis for wind turbine

### 3. 해석 결과 및 토의

#### 3.1 해석모델

본 연구에 사용되는 MST 모델과 구조 모델과 연계한 공탄성 모델의 타당성을 검증하기 위하여 61.5m 의 길이를 가지는 NREL (National Renewable Energy Laboratory) 5MW 급 풍력터빈의 블레이드를 대상으로 공탄성 해석을 수행하였다.

† 교신저자; 정회원, KAIST 항공우주공학과  
E-mail : jaehunghan@kaist.ac.kr  
Tel : (042) 350-3723, Fax : (042) 350-3710  
\* KAIST 항공우주공학과  
\*\* 한국에너지기술연구원

자세한 구조 및 공력 물성치는 참고문헌[8]에서 확인 가능하다.

### 3.2 공탄성 특성

구조모델의 경우, MSC/NASTRAN 에서 49 개의 node 와 tapered beam element 를 사용하여 모델링 하였으며 모드해석을 통해 얻어진 MNF 파일을 MSC/ADAMS 에 flexible mode 로 연계하였고 각 노드에 MST 공력모델을 적용하였다.

풍속이 11.5m/s 이고 회전속도가 12.1rpm 인 경우에 대해 풍력터빈 블레이드의 하중분포와 블레이드의 변형을 예측하였다.

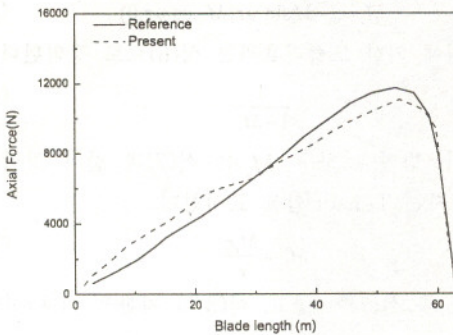


그림 2 Axial force distribution [9]

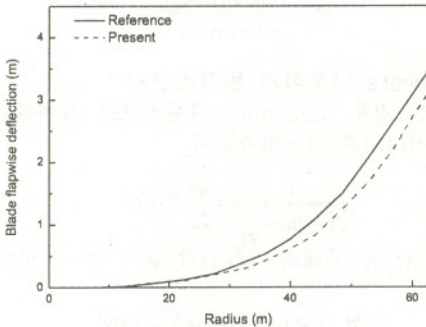


그림 3 Flapwise deflection [9]

MST 공력 모델에 의해 예측된 하중분포를 살펴보면 대체적으로 참고문헌의 결과와 유사함을 알 수 있으며(그림 2) 이러한 공력 결과를 바탕으로 같은 풍속 및 회전속도에서 풍력터빈 블레이드의 변형량을 살펴보고자 하며 참고문헌의 결과와 유사한 결과를 도출함을 알 수 있다(그림 3). MST 공력 모델을 이용하여 풍력터빈 블레이드의 하중을 예측함에 있어 익단 손실 등의 여러가지 보정식을 활용한 BEM 공력을 이용한 참고문헌의 결과와 비교를 통해 충분히 예측

할 수 있을 것으로 판단하였다.

## 4. 결 론

본 연구에서는 MST 라는 플래핑 날개 공력모델을 풍력터빈 블레이드 모델로 수정하여 MSC/ADAMS 를 이용해 수립한 구조모델과 연계하여 공탄성 해석을 수행하였다. 우선 새로운 공력모델과 연계해석의 검증을 위해서 하중분포 및 그 때의 블레이드 변형 해석을 수행하였으며 참고문헌과 비교하였다. 그 결과 MST 를 이용한 공력하중이 BEM 공력을 이용한 참고문헌의 결과와 유사한 경향성을 나타내는 것을 확인하였으며 이에 MST 공력 모델을 이용해 풍력터빈 블레이드의 하중을 충분히 예측가능할 것으로 판단된다.

## 후 기

본 연구는 한국에너지기술연구원을 통해 지식경제부의 신재생에너지기술개발사업으로부터 지원받아 수행되었습니다 (과제번호 20093020020030-11-3-010).

## 참고문헌

- (1) D.W. Lobitz, "Aeroelastic stability predictions for a MW-sized blade," *Wind Energy*, Vol.7, pp.211-224, 2004.
- (2) M.H. Hansen, "Aeroelastic instability problems for wind turbines," *Wind Energy*, Vol. 10, pp.551-577, 2007.
- (3) C. Lindenburg and H. Snel, "Aero-elastic stability analysis tools for large wind turbine rotor blades," *Energy Research Centre of the Netherlands*, 2003.
- (4) A. Ahlstrom, "Aeroelastic simulation of wind turbine dynamics," Doctoral thesis in Structural Mechanics, KTH, Sweden, 2005.
- (5) M.O.L. Hansen, "Aerodynamics of wind turbines," Earthscan, 2<sup>nd</sup> edition, 2008.
- (6) J.D. DeLaurier, "An aerodynamic model for flapping-wing flight," *Aeronaut. J.* 97(964), pp. 125-130, 1993.
- (7) D.K. Kim, J.S. Lee, J.Y. Lee and J.H. Han, "An aeroelastic analysis of a flexible flapping wing using modified strip theory," *SPIE Smart Structures and Materials & Nondestructive Evaluation and Health Monitoring*, San Diego, CA, USA, Mar. 2008.
- (8) J. Jonkman, S. Butterfield, W. Musial, and G. Scott, "Definition of a 5MW reference wind turbine for offshore system development," *Technical report NREL/TP-500-38060*, 2009.
- (9) W. Shen, W. Jun, and J.N. Soensen, "Shape optimization of wind turbine blades," *Wind Energy*, 2009.

5월 12일(수) 논문발표

<b>㉠ 자동차(기어)</b> (5월 12일(수) 13:10~15:10) - 라마다1(2F)	<b>좌장 : 박찬일(강릉원주대)</b>
백래시를 가진 헬리컬 기어의 비선형 진동 .....	박찬일(강릉원주대)···61
하이브리드 차량용 무단변속기 소음진동 개발에 관한연구 .....	류상익, 이현구, 김무석, 강구태(현대차)···63
기어 그라인딩 장비 가공조건 최적화에 대한 실험적 연구 .....	이현구, 김무석, 황선양, 권오준, 강구태(현대차)···65
중형상용디젤엔진(MDDE)의 기어 래틀 소음 최소화 .....	소강영, 강구태(현대차), 최성배(계양정밀)···67
TPA 기술을 이용한 소형버스 액슬기어 소음발생 원인 및 저감기술 개발 .....	이상권, 신용우, 김성중(인하대)···69
베어링의 운동을 고려한 평 기어의 동적 해석 .....	정진태, 김우형(한양대)···70
<b>㉡ 항공기</b> (5월 12일(수) 13:10~15:10) - 라마다2(2F)	<b>좌장 : 황창전(항우연)</b>
+상류형 풍력 터빈의 주요 소음원과 방사소음에 대한 실험적/이론적 고찰 .....	이광세, 정철용, 신수현(부산대), 정성수(표준연)···72
*+The Response of a Blade Row to a Three-dimensional Turbulent Gust .....	Dingbing Wei, 김대환, 정철용(부산대)···74
+Modified Strip Theory를 이용한 풍력터빈 블레이드의	
공력탄성학적 특성 해석 .....	이종원, 이준성, 한재홍(KAIST), 신형기, 방형준(에너지기술연)···76
회전음원의 도플러효과에 관한 근사이론 .....	전원주(수리과학연)···78
한국형 기동헬기(KVH) 주로터 블레이드 동적	
발란싱 시험 .....	김덕관, 윤철용, 송근용, 김승호(항우연), 강상남(항공우주산업), 한정호(국과연)···80
공진현상을 이용한 실물 복합재 헬리콥터 블레이드의	
피로수명 평가 .....	기영중, 김태주(항우연), 문성욱(항공우주산업), 한정호(국과연)···82
<b>㉢ 가전1</b> (5월 12일(수) 13:10~15:10) - 라마다3(2F)	<b>좌장 : 주재만(삼성전자)</b>
배관 내에서 R600a 냉매의 유동양식이 간헐류일 때 발생하는 유동 소음 특성 분석 .....	한형석(DTaq), 김민성, 정의복(부산대)···84
압축기 가진 스펙트럼 분석을 활용한 배관계 응력해석 .....	정두한, 정우승, 윤경중, 모진용(삼성전자)···86
+해석 및 실험적 방법을 통한 에어컨 유로 소음의 저소음화 .....	서범준, 박형택, 윤지현, 오재웅(한양대), 이우엽(호원대)···88
+해석적 방법을 통한 PDP TV의 PCB보드 소음저감 .....	박형택, 정재은, 양인형, 박군동, 오재웅(한양대)···90
+가진 위치에 따른 나노 임프린트 스테이지의 진동실험 .....	김규학, 이지성, 정재일, 임홍재(국민대)···92
<b>㉣ 에너지저장장치</b> (5월 12일(수) 13:10~15:10) - 라마다4(2F)	<b>좌장 : 박경조(전남대)</b>
+플라이휠 에너지 저장 장치의 회전 동특성 해석을 위한 2D	
모델링 방법 제시 .....	구동식, 최병근(경상대), 배용채, 이욱륜(전력연)···94
강자성 재료에서의 전자기력 발생 지연 측정 방법 .....	김우연, 강민수, 이종민, 김승중(KIST), 배용채(전력연)···96
질량중심 제어를 이용한 플라워휠 시스템의 강제모드 제어 .....	유승열, 최원영, 노명규(충남대), 배용채(전력연), 김정완(SL)···98
Steel Rotor를 이용한 플라워휠 에너지 저장장치의	
이상신호에 관한 실험적 연구 .....	조성원, 이욱륜, 이두영, 김희수, 배용채(전력연)···100
S20C 재질의 축 방향 전자기 베어링 코어에서 발생하는 시간 지연의 보상 제어 .....	김우연, 이종민, 김승중(KIST), 배용채(전력연)···102
플라이휠 에너지 저장 장치용 영구자석 베어링의 부하용량 측정 실험 .....	이학인, 이욱륜, 배용채, 김희수(전력연)···104
<b>㉤ 건축물 내부진동</b> (5월 12일(수) 15:40~17:40) - 탐라홀(8F)	<b>좌장 : 황재승(전남대)</b>
물류센터 상층 바닥슬라브의 크랙발생 원인 규명 및	
대책방안 연구 .....	박상근, 이흥기, 백재호(알엠에스테크놀로지), 전종균(선문대)···106
동물원구센터에 대한 진동영향평가 및 대책연구 .....	장강석, 김영찬, 윤제원, 정주목, 홍병국, 서효선(유니스트테크놀로지)···108
건물 바닥구조 해석모델의 Correlation & Updating .....	정민기, 임지훈(브이테크), 조경환(GS건설), 이상엽(LMS Korea)···110
동적강성 보강에 따른 건물바닥 크랙 및 진동 저감에 관한 연구 .....	정주목, 김영찬, 장강석, 윤제원, 홍병국, 서효선(유니스트 Tech)···112

2010

창립 20주년 기념  
춘계 학술대회 논문집

Proceedings of the KSNVE Twentieth Anniversary Spring Conference

ISSN 1598-2785

20<sup>th</sup>



사단법인 한국소음진동공학회  
The Korean Society for Noise and Vibration Engineering

후 원 환경부 | 제주특별자치도  
한국과학기술단체총연합회 | 한국연구재단