

## 풍황 하중조건 데이터 자동생성화를 이용한 풍력터빈 하중해석의 효율 향상에 관한 연구

안 경민<sup>1)</sup>, 임 동수<sup>2)</sup>, 이 현주<sup>3)</sup>, 최 원호<sup>4)</sup>, 이 승구<sup>5)</sup>

### Study on the efficiency improvement of wind turbine load analysis by using automatic generation for wind load condition data

Kyoung Min Ahn, Dong Soo Lim, Hyun Joo Lee, Won Ho Choi, Seung Kuh Lee

**Key words :** Wind Turbine, Load Analysis, Wind load condition, Design Load Case

**Abstract :** Load analysis software enables to design wind turbines effectively and exactly. In this paper, Bladed software developed by Garrad Hassan and Partners is used for load analysis. When using Bladed software, many time is requested to input data which is called by pre-processing. So in this paper, pre-processing is automated by in-house software(BX). With this BX software, we can reduce the total time for pre-processing about 90%

#### 1. 서 론

풍력터빈 설계 과정에서 하중해석은 그림 1과 같이 터빈에 작용하는 하중을 예측하여 구성기기의 설계 하중을 도출하며 시스템의 성능을 평가하는 기능을 한다. 그러나 풍력터빈 개발 초기에는 모델이 소형으로 제작되고 우수한 풍황을 갖는 지역에 설치하여 발전을 하였기 때문에 개발자들이 하중해석의 중요성을 크게 인식하지는 못하였다. 그래서 이시기에는 하중해석의 정확성을 높이기보다는 해석결과를 보수적으로 이용하는 방법으로 시스템을 설계하였다. 그 후 대형 모델이 개발되고 난류가 강한 지역에 설치되면서

기존과 같은 방법은 많은 비용을 요구하게 되었고 결국은 정확한 하중 해석이 필요하게 되었다.<sup>1)</sup>

현재에는 풍력 터빈의 구조 해석과 풍황의 공기역학적 해석이 결합되어 하중해석 기법이 상당히 개선되었으며 이는 유용한 해석용 소프트웨어를 개발하는데 적용되었다. 표 1과 같은 대표적 상용 소프트웨어들은 보다 효율적이고 정확하게 하중해석을 가능하게 해주며 풍력터빈 산업에서 중요한 역할을 하고 있다.

(주) 효성에서는 이러한 해석용 소프트웨어 중에서 GH사의 Bladed를 이용하여 750kW 및 2MW의 복수 시스템을 개발하고 있는데, 설계 프로세

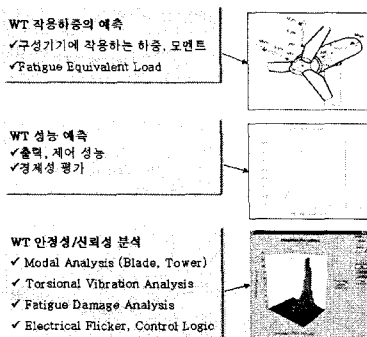


그림 1 풍력터빈 하중해석

- 1) (주) 효성 중공업연구소  
E-mail : autovan@hyosung.com  
Tel : (02)707-4366 Fax : (02)707-4399
- 2) (주) 효성 중공업연구소  
E-mail : dslim@hyosung.com  
Tel : (055)268-9076 Fax : (055)268-9260
- 3) (주) 효성 중공업연구소  
E-mail : brocken@hyosung.com  
Tel : (02)707-4364 Fax : (02)707-4399
- 4) (주) 효성 중공업연구소  
E-mail : choiwh@hyosung.com  
Tel : (02)707-4370 Fax : (02)707-4399
- 5) (주) 효성 중공업연구소  
E-mail : sklee1@hyosung.com  
Tel : (02)707-4301 Fax : (02)707-4399

No.	소프트웨어	개발사	특징
1	FAST	NREL (USA)	풍력터빈해석전용 Aerodyn library와 연계하여 사용
2	ADAMS	MSC Software (USA)	일반다물체시스템용 Aerodyn library와 연계하여 사용
3	DHAT	GL (German)	풍력터빈해석전용 풍력터빈인증기관
4	Bladed	GH (UK)	풍력터빈해석전용 풍력터빈건설팅기관

표 2 하중해석용 소프트웨어

스 효율을 개선시키기 위해 노력하고 있다.

이에 본 논문에서는 Bladed 소프트웨어를 이용한 하중해석의 효율 향상을 위해, 해석 시 대량의 시간적/인적 자원소요를 요구하는 전처리(Pre-Processing)과정을 자동화하였다. 이 전처리는 설정된 풍황 조건에 따른 입력하중조건 데이터를 수립하는 과정이다.

## 2. 하중 해석 프로세스

하중해석 프로세스는 그림 2와 같은 과정으로 진행된다.

개념 설계에 의해 풍력터빈 모델과 class가 정의되면 이를 이용하여 외부조건, 즉 풍황을 설정한다. 풍황은 각 인증 규정에서 조금씩 차이를 갖고 있지만 거의 유사한 조건을 보인다. (주) 효성에서는 독일 Germanischer Lloyd사의 인증 규정을 기초로 풍황을 설정하였다. 설정된 풍황과

Design situation	DLC	Wind conditions <sup>1</sup>	Other conditions <sup>2</sup>	Type of analysis	Partial safety factors	
1. Power production	1.0	NWV $V_{w,0} \leq V_{w,1} < V_{w,2}$		U	N	
	1.1	NWV $V_{w,0} \leq V_{w,1} < V_{w,2}$		U	N	
	1.2	NWV $V_{w,0} \leq V_{w,1} < V_{w,2}$		F	-	
	1.3	ECD $V_{w,0} \leq V_{w,1} < V_{w,2}$		U	N	
	1.4	NWV $V_{w,0} \leq V_{w,1} < V_{w,2}$	External electrical fault	U	N	
	1.5	EDG $V_{w,0} \leq V_{w,1} < V_{w,2}$	Cable loss	U	N	
	1.6	EDG $V_{w,0} \leq V_{w,1} < V_{w,2}$		U	N	
	1.7	EWV $V_{w,0} \leq V_{w,1} < V_{w,2}$		U	N	
	1.8	EDG $V_{w,0} \leq V_{w,1} < V_{w,2}$		U	N	
2. Power production after occurrence of fault	1.10	NWV $V_{w,0} \leq V_{w,1} < V_{w,2}$	Ice formation	F/U	N	
	1.11	NWV $V_{w,0} \leq V_{w,1} < V_{w,2}$	Temperature effects	U	N	
	1.12	NWV $V_{w,0} \leq V_{w,1} < V_{w,2}$	Earthquake	U	-	
	1.13	NWV $V_{w,0} \leq V_{w,1} < V_{w,2}$	Cold loss	F	-	
	2.1	NWV $V_{w,0} \leq V_{w,1} < V_{w,2}$	Fault in the control system	U	N	
	2.2	NWV $V_{w,0} \leq V_{w,1} < V_{w,2}$	Fault in the safety system or providing external electrical fault	U	A	
	2.3	NWV $V_{w,0} \leq V_{w,1} < V_{w,2}$	Fault in the control system or safety system	F	-	
	3. Start-up	3.1	NWV $V_{w,0} \leq V_{w,1} < V_{w,2}$		F	-
		3.2	EDG $V_{w,0} \leq V_{w,1} < V_{w,2}$		U	N
3.3		EDG $V_{w,0} \leq V_{w,1} < V_{w,2}$		U	N	
4. Normal shut-down	4.1	NWV $V_{w,0} \leq V_{w,1} < V_{w,2}$		F	-	
	4.2	EDG $V_{w,0} \leq V_{w,1} < V_{w,2}$		U	N	
5. Emergency shut-down	5.1	NWV $V_{w,0} \leq V_{w,1} < V_{w,2}$		U	N	
	5.2	NWV $V_{w,0} \leq V_{w,1} < V_{w,2}$		U	N	
6. Period (rehabilit or idling)	6.0	NWV $V_{w,0} \leq V_{w,1} < V_{w,2}$	Priority maintenance (see Section 4.4.3.3)	U	N <sup>10</sup>	
	6.1	EDM Reference period 30 years		U	N	
	6.2	EDM Reference period 30 years	Cold loss	U	A	
	6.3	EWV Reference period 1 year	Extreme collapse shadow	U	N	
7. Period (rehabilit or idling)	6.4	NWV $V_{w,0} \leq V_{w,1} < V_{w,2}$		F	-	
	6.5	EDG $V_{w,0} \leq V_{w,1} < V_{w,2}$	Ice formation	U	N	
	6.6	NWV $V_{w,0} \leq V_{w,1} < V_{w,2}$	Temperature effects	U	N	
8. Period (rehabilit or idling)	7.1	EDM Reference period 1 year		U	A	
	8.1	EDG $V_{w,0} \leq V_{w,1} < V_{w,2}$	To be specified by the manufacturer	U	F	
9. Transport, erection, dismantling and repair	8.2	EDM Reference period 1 year	Locked state	U	A	
	8.3	EDM Reference period 1 year	Vehicle-induced transverse vibrations	F	-	

표 3 GL 규정에 의한 DLC

터빈 모델은 각 DLC(Design Load Case)조건에 적합하도록 해석용 소프트웨어에 입력한다. 풍력터빈은 확실적인 조건에서 운전을 하기 때문에 외부 조건은 통계적인 값들을 이용하게 된다. 일반적으로 인증 규정에서는 이러한 점을 고려하여 DLC를 정의하고 이에 따른 하중해석을 요구하고 있다. GL에서 규정하는 DLC는 약 1000여개로 표 2에서 개략적인 내용을 살펴볼 수가 있다.<sup>2)</sup>

시뮬레이션 구동으로 각 DLC에 대한 해석이 완료되면 해당되는 안전계수와 풍황 발생 빈도를

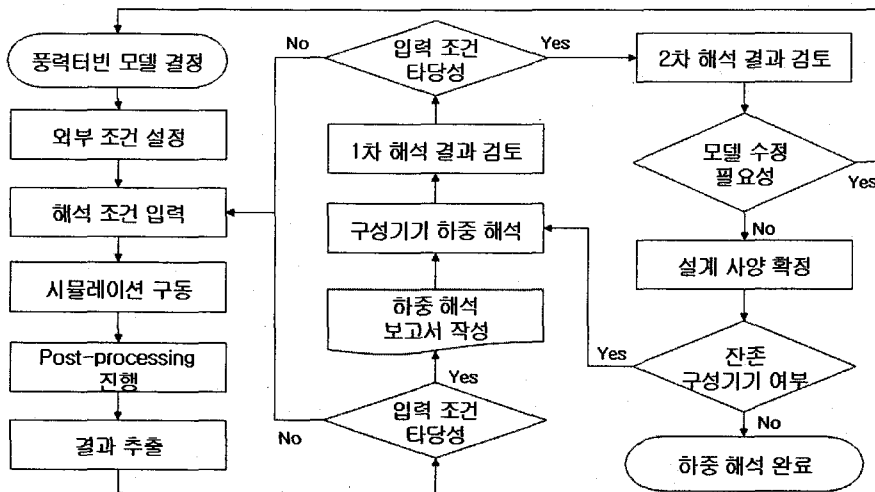


그림 2 풍력터빈 하중해석 프로세스

해석 조건	특성 값	
WTGS	HS48-750kW	HS90-2MW
Rotor Diameter	48m	92m
Hub Height	50m	76.6m
Wind Profile	15 turbulent model	

표 4 풍력터빈 하중해석 조건

고려하여 시스템의 극치(ultimate) 하중 및 피로 하중을 해석한다. 피로하중은 설계 수명 20년을 고려하여 해석한다.

극치 하중과 피로 하중으로부터 해석의 타당성을 검토한 후 이상이 없을 시에는 시스템 하중 해석 보고서를 작성하여 각 구성기기들의 상세설계가 진행되도록 구성기기의 하중해석을 진행한다. 구성기기의 하중해석이 완료되면 결과를 검토하여 해석의 타당성을 재확인하고 구성기기별 적합성을 평가한다. 이후 모델 수정의 필요성 여부를 확인하여 추가 작업이 진행된다.

이러한 하중해석 프로세스 중에서 해석조건 입력 과정, 즉 전처리 과정에는 장시간의 반복 작업이 소요되기 때문에 이를 자동화하면 풍력 터빈 설계 시간을 단축시킬 수 있을 것으로 사료되어 자동화 소프트웨어를 개발하게 되었다.

### 3. 풍황 하중조건 데이터 자동생성화

그림 2와 같은 하중해석 프로세스로 해석을 수행하기 위해서는 표 2의 DLC를 입력해야 하는데, 이는 1개의 해석 모델에 대하여 약 1000여개의 풍황 하중조건 데이터의 수동 입력을 필요로 하며, 또한 표 3과 같은 설정 파라미터 중 1개라도 변경되면 전체 데이터가 모두 변경되어 재입력이 필요하게 된다.

따라서 하중해석을 위한 대량의 풍황 하중조건 데이터 입력의 자동화는 물론, 표3과 같은 해석조건 변경 시, 하중입력 데이터를 재입력해야 하는 단점을 제거하기 위해, 풍황 하중조건 데이터 생성 자동화 소프트웨어를 개발하였다. 이 소프트웨어는 DLC 1.3-1.9에 해당하는 풍황 하중조건 데이터를 Template으로 미리 제작하여 표 3의 조건 변화에 따라, 표 2의 DLC데이터를 자동 생성하는 것이다. 그 전처리 수행시간의 단축 및 효율성 증가는 표 4와 같다. Template 데이터는 DLC 1.3-1.9에 대해서 1개씩만 사전에 입력하면 되고, 하중해석 조건이 변경되어도 수정될 필요는 없다.

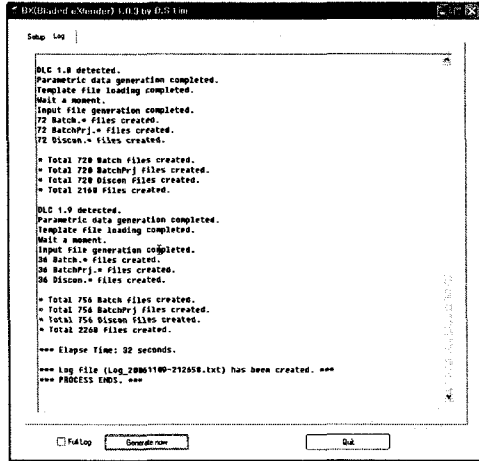


그림 4 데이터 자동생성 소프트웨어 Log window

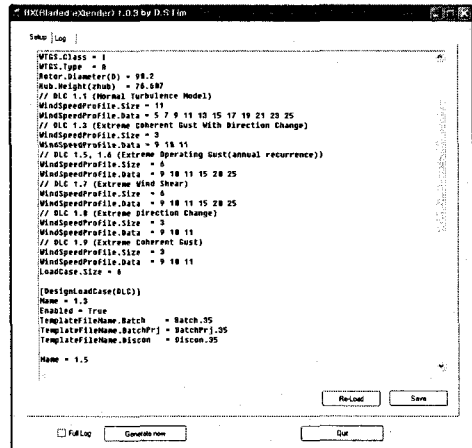


그림 3 데이터 자동생성 소프트웨어 Setup window

그림 3과 4에 풍황 하중조건 데이터 생성 자동화 소프트웨어의 화면을 나타내었다. 초기 화면에서 표 3의 정보를 입력해놓고, Generate버튼을 누르게 되면, Bladed 해석용 하중 조건 데이터가 자동생성 된다. 하중조건 데이터가 생성되는 동안 그 세부과정은 소프트웨어 화면상의 Log탭에서 그림 3과 같이 상세히 표시된다.

데이터 자동생성 소프트웨어의 성능은 표 4에서 비교하였다. 수동으로 데이터를 입력할 경우 DLC 1.3-1.9의 해석을 위해서는 총 13.8시간으로 약 1.5Man Day가 필요한 반면 자동화 소프트웨어를 사용하면 90% 감소된 1.38시간만이 필요하다. 제품 개발 시 5개의 모델을 검토한다고 가정하면 이러한 시간차이는 더욱 증가할 것이다. 또한 수동 입력 시 발생할 수 있는 오류를 감안하면 자동

구분	DLC 개수 (dlc 1.3~1.9)	**Case당 입력시간	총 시간
수동입력	828	60 second	13.8 hour
자동화 프로그램	828	6 second	1.38 hour

표 5 DLC 데이터 입력시간 비교

화 소프트웨어는 제품의 설계 최적화를 향상시킬 것이다.

#### 4. 결 론

본 논문에서는 풍력터빈용 하중해석 소프트웨어의 데이터 입력시간 단축을 위하여 자동생성 소프트웨어를 개발하였고 그 성능을 검토하였다. 자동생성 소프트웨어는 수동 입력과 비교하여 90%의 시간 감소 효과를 보였다.

일반적으로 제품 개발 시에는 다양한 설계 조건의 가능성이 고려되며 또한 각 모델에 대한 성능 평가가 진행된다. 본 논문에서는 소개된 소프트웨어를 이용하여 제품의 설계시간 단축을 이루었고 결과적으로 풍력 터빈의 설계 품질을 높일 수 있었다.

#### 후 기

본 연구는 산업자원부의 전력산업연구개발사업의 지원으로 수행중인 "국제기술제휴 및 협력에 의한 2MW급 풍력발전시스템 상용화 개발" 과제의 일환으로 수행된 연구결과이다.

#### References

- [1]Paul S Veers, Sandy Bufferfield, 2001, "Extreme Load Estimation for Wind Turbines: Issues and Opportunities for Improved Practice", AIAA-2001-0044.
- [2]Germanischer Lloyd, 1999, "Regulations for the Certification of Wind Energy Conversion.
- [3]Bossanyi, E.A, 1997, "BLADED for Windows Theory Manual," Bristol, England: Garrad Hassan and Partners Limited, September.