

R&D
12월 5일 C12

첨단도시개발사업

R&D-12첨단도시C12

도심 빌딩옥상에 적용가능한
10kW급 풍력발전시스템 개발 연구
최종보고서

2014. 5.

국토교통과학기술진흥원

도심 빌딩옥상에 적용가능한 10kW급 풍력발전시스템 개발 연구 최종보고서

2014. 5.

주관연구기관 / 서울과학기술대학교
위탁연구기관 / (주)에코닝

Infrastructure
R&D Report

국토교통부
국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통부장관 귀하

이 보고서를 "도심 빌딩옥상에 적용 가능한 10kW급 풍력발전시스템 개발 연구"과제의 보고서로 제출합니다.

2014.08.27.

주관연구기관명 : 서울과학기술대학교

주관연구책임자 : 정광섭

공동연구원 : 김철호

연구원 : 김성민

" : 강두화

" : 김대규

" : 조현성

" : 이성우

" : 김영래

" : 김원일

" : 윤경호

" : 이필신

보고서 요약서

과제고유번호	12첨단도시 C12	해 당 단 계 연 구 기 간	2012.4.10. ~ 2014.4.30.(2 년)	단 계 구 분	(해당단계)/ (총 단 계)
연 구 사 업 명	첨단도시개발사업				
연 구 과 제 명	최 상 위 과 제 명	도심 빌딩옥상에 적용 가능한 10kW급 풍력발전시스템 개발 연구			
	단위과제명	-			
연 구 책 임 자	정 광 섭	총연구기간 참 여 연구원수	총 : 14명 내부 : 11명 외부 : 3명	총연구비	정부 : 200,000천원 기업 : 101,000천원 계 : 301,000천원
연구기관명 및 소 속 부 서 명	서울과학기술대학교		참여기업명	(주)케이디에이 (주)제이케이엔지니어링	
국제공동연구	상대국명 : 상대국연구기관명 :				
요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)				보고서면수	111
색 인 어 (각 5개 이상)	한 글	풍력터빈, 전산유체동력학, 풍동실험, 횡류형 풍력터빈, 풍력발전			
	영 어	Wind turbine, Computational fluid dynamics, Wind tunnel test, Cross-flow wind turbine, Wind power			

요 약 문

신재생에너지인 풍력에너지를 전기에너지로 변환하는 장치인 풍력발전장치는 기존의 화석연료를 사용하는 화력발전 시스템이 갖고 있는 지구온난화 물질인 이산화탄소의 배출문제를 해결할 수 있는 매우 중요한 전기에너지 확보수단으로 이용되고 있다.

본 연구는 기존의 육상 풍력발전 시스템이 갖고 있는 풍향, 풍속 그리고 바람의 지속성 문제의 해결을 통해 바람의 방향에 상관없이 저 풍속에서도 전기에너지의 생산이 가능한 10kW급 도심용 풍력발전 시스템을 개발하는데 연구의 목표를 두고 연구를 진행하였다.

본 연구에서 개발한 풍력발전시스템은 기존의 양력방식의 수평축 프로펠러형 풍력터빈의 문제점을 보완하는 수직축 횡류형 터빈을 적용한 적층방식의 풍력발전장치를 개발하였다. 또한 저 풍속(4m/s)에서도 풍력발전이 가능하도록 풍력터빈의 전방부에 축소노즐인 벤투리 유로를 설치하여 풍속을 가속시켜 터빈 입구에서 공기의 압력에너지를 극대화도록 설계하였으며, 수직축 횡류형 터빈의 모든 방향으로 유입되는 공기가 터빈 날개와 최적의 유입각도를 유지하도록 입구쪽에 가이드 베인을 설치하여 풍향의 문제를 해결하므로써 발전시스템의 가동율을 극대화 하였다.

총 2년의 기간동안 연구를 진행하였으며,

- (1) 1차년도: 2kW급 풍력발전장치의 최적화 설계 및 이론 성능예측
- (2) 2차년도: 개발모델의 제작 및 풍동 실험을 통한 발전 성능평가 실험

연구의 최종 목표는 2.0kW급 풍력터빈을 5층으로 적층하여 최종 10kW급 풍력발전 시스템을 개발하는 것으로 2차년도에 완성한 모델 풍력터빈의 터빈 1기당(터빈 날개 16개) 터빈의 출력성능이 약 3.9kW로 산출되었다(Fig. 84). 발전기 효율과 인버터의 효율을 고려하여도 설계목표치인 2.0kW의 발전용량은 무난히 달성 할 수 있을 것으로 판단된다.

도심에서의 평균 풍속을 분석한 결과 계절별, 지역별 다소 차이는 있으나 50m~100m의 고도에서 연 평균풍속이 5m/s~7m/s정도로 측정되었다. 본 연구에서 가정한 정격풍속(12m/s) 보다 낮은 풍속 값으로 분석되으며 발전 용량을 감소될 것으로 판단된다. 그러나 1차년도 연구에서 터빈 날개의 갯수가 32개일 때 최고의 출력을 나타내었으므로 실험연구에서 갯수를 16개까지 실험하였으며 이를 32개까지 터빈 날개의 기수를 늘리게 되면 충분히 2.0kW의 출력은 달성될 것으로 판단된다.

또한 풍속이 14m/s일 경우에는 터빈 1기당 약 5kW정도 발전되는 것으로 평가되었다.

이러한 실험결과를 반영하여 본 연구에서 개발된 수직축 횡류형 항력풍력터빈을 적용한 풍력발전시스템은 도심에도 가능하나 풍속이 높은 해변지역 혹은 도서지역에 적용하므로써 매우 효율적으로 활용이 가능할 것으로 확신한다.

특히 발전회사에 적용될 RPS법에 의해 탄소배출에 따른 배출권 문제를 해결하기 위해 기존의 수평축 양력식 풍력터빈보다 저 풍속에서 풍력발전이 가능한 소규모(100kW급)의 풍력발전시스템의 보급하는 것이 한국의 육상풍력발전 환경에 적합하다고 판단된다.

본 연구를 통해 도출된 결과물로는 시제품, 학술논문(3편), 전문학술지(2편), 특허(1건)를 완성하였다.

SUMMARY

A wind power generation device, which converts wind power energy, new regeneration energy, into electric energy, has been used as very importance replacement of electric energy that can solve the problem of carbon dioxide emissions, a cause of global warming, included in the hearting power generation system using existing fossil fuels.

This study has been progressed by aiming to develop the wind power generation system with a 10-kW capacity for downtown areas that can generate electric energy even in a low wind speed condition, regardless of the direction of the wind, through the solution of the problems related to the direction, speed, and duration of the wind, in the existing land wind power generation system.

The wind generation system, developed by this study, resulted in the development of the wind power generation device using a laminating method applied with a drag-type vertical axis wind turbine, which complemented the problem of a lift-type propeller-style horizontal axis wind turbine.

Also, it installed Venturi Euro, a reduction nozzle, in the front of the wind turbine to enable wind power generation even in a low speed condition of the wind (4m/s), and was designed to accelerate the speed and then maximize the pressure energy of air in the entrance of the turbine; and the system operation rate was maximized by solving the problem of wind power through the installation of guide vein near to the entrance so that air flowed from all directions of the drag-type vertical axis turbine can maintain turbine blades and the inflow angle.

This study was conducted for total 2 years;

(1) The first year: The optimal design and theory-based performance estimate of the wind power generation device with 2-kW capacity

(2) The second year: The manufacture of the development model and generation performance evaluation test through the wind tunnel test

The final goal of this study was to develop the wind power generation system with a 10-kW capacity; the output performance of each turbine (16 turbines blade

per turbine), developed in the second year of the study, was revealed as approximately 3.9-kW. (See Figure 84).

Although we consider the efficiency of the generator and inverter, it is expected that the 2.0-kW output capacity, the desired value of this study, can be easily achieved.

In the results which analyzed average wind speed in downtown areas, there were somewhat differences across seasons and regions; however, the average wind speed per year was measured as 5 m/s ~ 7 m/s in the altitude of 50 ~ 10 m. It was lower than regular wind speed (12 m/s) that was expected in this study, and thus was considered that it would decrease generation capacity. However, as in the first year study, the highest output occurred when the number of turbine blades were 32; thus because the experimental study tested with 16 blades, if we increase the number of blades increase up to 32, it is expected to easily achieve 2.0-kW output.

Moreover, in the case of the wind speed 14 m/s, it was evaluated that a turbine generates around 5-kW. Based on these experiment findings, the wind power generation system applied with the drag-type vertical axis wind turbine, developed in this study, may be used for downtown areas; however, it is convinced that the system can be very efficiently utilized in seaside or island areas with high wind speed.

Especially, it is considered that, to solve the carbon dioxide emission problems under the RPS laws applied to generation companies, distributing small (100-kW capacity) wind power generation systems, which can be generated in a low wind speed condition, would be more suitable for the land wind power generation environment in South Korea, rather than existing lift-type vertical axis wind power turbine.

Based on the current study, we obtained the following outcome: a prototype, 3 published journal articles, 2 conference proceedings, and 1 patent.

CONTENTS

Chapter 1. The Purpose of Research Development	1
1.1. The Final Goal of Research Development	1
1.2. The Yearly Purpose and Content of The Research	3
1.3. Technology Development and Patent Trends in Related Fields of Inside and Outside of South Korea	7
Chapter 2. The Content and Outcomes of the Research Performance	23
2.1. The Summary of the Research Outcomes	23
2.2. The Primary Contents of the Research Development	25
Chapter 3. The Achievement Rate of the Research Purpose	137
3.1. The Progress Schedule of the Research Development Performance ..	137
3.2. The Achievement Rate of the Research Development Purpose	138
Chapter 4. The Implement Strategies of the Research Development and the Outcomes	139
4.1. The Implement Strategies of the Research Development	139
4.2. The Expectation Effects of the Research Development Outcomes	143
Chapter 5. Research Outcomes and Practical Use Plans	144
5.1. Research Outcomes	144
5.2. Practical Use Plan of the Research Outcomes	147
References	150
[Appendix] The Standard Table for Outcome Examination	
[Appendix] The Record of Research Performance and Patent Proof	
[Appendix] A Image of the Prototype	

- 목 차 -

제1장 연구개발 목표	1
1절 연구개발 최종목표	1
2절 연차별 연구목표 및 내용	3
3절 관련분야의 국내외 기술개발 및 특허 동향	7
제2장 연구수행 내용 및 결과	23
1절 연구개발 결과 요약	23
2절 연구 개발 주요내용	25
제3장 연구목표의 달성도	137
1절 연구개발 수행 진도표	137
2절 연구개발 목표의 달성도	138
제4장 연구개발 추진전략 및 결과	139
1절 연구개발 추진전략	139
2절 연구 개발 성과의 기대효과	143
제5장 연구 성과 및 활용계획	144
1절 연구 성과	144
2절 연구 성과 활용계획	147
참고문헌	150
[부록] 성과점검 기준표	
[부록] 논문 연구실적 및 특허 증빙	
[부록] 시제품사진	

제1장 연구개발 목표

1절 연구개발 최종목표

1. 최종목표

본 연구는 도심 건축물 옥상에서 풍력발전을 효과적으로 이용하기 위해 수직축 풍력발전 기술을 적용해 에너지를 생산하는 효율적인 복합 풍력발전시스템 개발에 관한 연구이다.

고층건물에 적용되는 10kW급 풍력발전시스템의 설계 및 2kW급 모델 제작, 개발 풍력발전시스템의 관련 논문(10편)과 개발 풍력발전시스템의 관련 특허(3건)를 최종 연구 성과물 목표로 삼았으며, 연구 성과물을 통해 대도심 고층건물 옥상의 풍력에너지를 이용하여 저속에서도 발전이 가능한 풍력발전시스템의 개발과 이것의 활용을 통한 도심의 건물에 전기에너지 공급과 동시에 CO₂ 저감을 통한 탄소배출권 확보를 목표로 하고 있으며, 자원의 효율적·환경 친화 기술이라는 측면에 큰 뜻을 두고 있다.

◇ 개발 풍력발전시스템의 특징

- 저 풍속(4m/s이하)에서도 발전이 가능한 시스템(벤틀리 유로시스템 도입)
- 에너지변환효율이 45%이상인 횡류형 원심터빈적용
- 타워형 기술적용을 통한 제한된 공간에서의 높은 에너지 밀도
- 저소음, 저 진동을 특징으로 하는 원심형 터빈 도입
- 가변 풍량에 따른 최적 발전량을 결정하는 시스템의 특징
- 바람의 방향에 영향이 없으므로 기존의 축류형에 비해 가동율이 2배이상
- 일부의 터빈이 고장으로 정지되어도 정상상태의 터빈은 지속적 발전 가능
- 순수 우리기술로 개발되므로 정비의 기간, 경비가 적음

2. 최종목표의 성격 및 설정근거

현재 세계의 에너지 사용량은 화석 에너지 산업을 한계에 도달하게 했다. 자원과 에너지 가격이 치솟으면서 대량투입에 의존하는 경제시스템은 더 이상 지속 할 수 없게 되었다.

본 연구는 이러한 제한적이고 반영구적인 에너지사용의 해결과 국내의 지리적인 한계를 극복한 자연에너지 활용 기술 개발을 최초 목적으로 설정하였다.

본 연구를 통해 횡류형 풍력발전시스템의 설계 알고리즘 완성을 위한 설계 소프트웨어와 논문 및 특허 성과물을 통해 풍력발전시스템산업분야에 기여하기를 바라며, 2kW급 모델 풍력터빈의 모델 개발 및 성능평가 실험장치 완성과 풍력발전시스템 성능평가 시스템 개발을 통해 풍력 발전시스템의 성능평가 산업분야에 활용되길 기대한다.

또한 구조물 설치에 따른 성능 평가와 발전시스템 설치 베드 설계안 확정을 통해 수직형

풍력타워의 설계안 도출이 이루어져 건축물 구조 및 디자인 산업분야에 기여하기를 바라며, 수직형 풍력발전시스템의 진동 및 소음 해석 알고리즘 완성을 통해 풍력발전시스템 모델에 대한 소음 진동 시험 및 성능평가가 가능해 질 것이다. 이것은 건축물 및 풍력 발전시스템의 소음 진동 평가 산업분야에 활용가능 할 것이다.

3. 정량적 성과목표

연차 (단계)	연차별 성과목표	성과지표	측정방법	목표치	가중치
1차년도 (1단계)	도심형풍력발전시스템의 1차 설계안 도출 - 발전용 풍력터빈 설계안 도출 - 발전시스템 설계안 도출 - 축소 형상모델 제작	- 국내학술지 논문 게재 - 국제학술대회 발표	국내·외 학술 논문지 및 학회 발표 - 전문학술지 1편 - SCIE급 1편 - 학술발표 2편	4건	70%
		2kW급 1차 축소 모델안 도출	시제품제작 (검정용 축소모델제작)	1건	30%
	소 계				100%
2차년도 (2단계)	-도심형 풍력 발전 시스템의 최적화 모델안 도출 및 모델 제작 -2kW급 풍동실험 -2kW급 실증시험 -10kW급 발전시스템의 설계안 도출	- 국내학술지 논문 게재 - 국제학술대회 발표	국내·외 학술 논문지 및 학회 발표 - 전문학술지 1편 - SCIE급 1편 - 학술발표 2편	3건	40%
		국내 지적재산권(특허) 출원	특허출원/등록	1건	20%
		2kW급 시험용 실물 최종 모델안	시제품제작 (풍동시험용 축소모델제작)	1건	40%
	소 계				100%

2절 연차별 연구목표 및 내용

1. 연구목표

본 연구는 도심에서 신재생에너지 생산을 위한 저풍속(4m/s)에서도 발전이 가능한 풍력발전시스템의 개발에 연구목표를 두고 있다.

본 연구프로그램에서 개발하고자 하는 풍력발전시스템은 기존의 풍력발전시스템과는 달리 다음과 같은 주요 특징을 가지게 된다.

- 벤틀리시스템을 적용한 저 유속(4m/s)에서도 가용 발전이 가능하도록 고안된 풍력발전시스템
- 기존의 축류형 터빈(약 20%이하)에 비해 효율(40%이상)이 높은 수직 횡류형 터빈을 적용하여 에너지 변환효율이 높다.
- 터빈입구의 가이드베인을 적용을 통한 바람의 방향에 상관없이 발전이 가능하므로 가동효율이 높다.
(기존의 축류형은 국내에서 가동율이 35%이하이나 본 고안은 가동율이 70%이상으로 기대됨)
- 터빈의 직경이 작으며, 수직형 횡류터빈으로 진동과 공기소음의 문제가 없다.
- 발전시스템을 수직타워형으로 적재하므로써 단위 설치면적당 에너지 변환밀도가 매우 높다.
- 기존의 축류형에 비해 수리, 보수가 용이하며, 고장 난 발전시스템의 보수 중에도 정상적인 터빈은 지속적으로 발전이 가능하다.
- 본 기술은 설계단계에서부터 순수한 우리나라의 기술로 부품의 조달 및 보수유지가 신속하며, 유지비용이 기존의 수입 발전시스템장치에 비해 매우 유리하다.

10kW급 풍력발전시스템 설계안 제시에 연구목표를 두고 있으며, 연구 방법으로는 발전 시스템 당 2kW급 발전이 가능한 횡류형 터빈 및 가이드 베인 최적화 설계안 도출, 풍동실험을 위한 2kW급 풍력발전시스템의 설계 및 제작, 모델 풍력발전시스템의 성능 평가를 위한 풍동실험 실시, 실증시험용 2kW급 풍력타워 모델의 설계 및 제작 한다.

2. 연구내용

가. 구조안전성 검토

연구개발의 내용	연구방법
풍력타워 및 풍력타워를 설치한 건물의 구조안전성 검토	- 건물설치형 풍력타워의 최적 설계 - 풍력타워 및 건물의 구조안전성 검토 - 내풍 및 내진설계 - 기존건물의 풍력타워 설치시 구조 검토 매뉴얼 개발 - 풍력타워의 구조설계지침 개발
건축법 및 관련법령과의 검토 및 문제점 도출	- 연면적 포함여부, 건축물의 일조, 시계, 채광 등의 조건에 따른 인동간격 산정시 건물높이 산입여부 등의 선결 필요 : 정책개발 및 제안 - 건축구조(KBC)적용시 비구조요소, 공작물의 내진설계적합성 여부 연구 - 사용성 설계를 위한 진동기준의 적합성 검토 [건물높이 및 인동거리 산정]

나. 경제성 분석

연구개발의 내용	연구방법
발전원가 비교법에 의한 경제성 분석	- 균등화 발전원가(Levelized Generation Cost) 비교에 의한 건물설치형 풍력타워의 경제성 분석 - 용량, 건설기간, 수명기간, 설비이용율, 이자율 등의 변수에 의한 경제성 분석 연구 $L_c = \frac{\sum_{t=0}^n (c + m + F)(1+e)^t / (1+r)^t}{\sum_{t=0}^n [Gt \times (1 - Ap) \times Cf \times H](1+e)^t / (1+r)^t}$ (여기서, C= 고정비, m=운전유지비, f=연료비, Gt=시설용량, Cf=설비이용률(%), H=발전시간, t=가동연도, n=발전소 수명기간, e=물가상승률, r=할인율(%))

■ 1차년도 연구: 에너지 가용성 판단 및 수직형 횡류풍력발전시스템의 1단계 설계

(주요 연구내용)

- 풍속변화에 따른 고안 발전시스템의 에너지 가용성 분석연구
- 수직 횡류형 풍력발전터빈 및 유입구 가이드베인 설계 및 성능 분석연구
- 풍속가속을 위한 벤투리시스템을 적용한 타워형 구조물 설계 및 분석연구
- 전기에너지 변환시스템의 설계 및 효율성 분석연구
- 1차 설계 완료된 풍력발전시스템의 축소모델 제작 및 적용가능성 분석

■ 2차년도 연구: 2kW급 모델을 통한 10kW급 발전시스템 설계안 작성

(주요 연구내용)

- 풍력발전시스템의 성능평가를 위한 시험장치 개발 및 개선
- 입구 가이드베인 및 발전시스템의 시험장치 설계
- 2kW급 발전시스템의 모델완성 및 풍동실험
- 2kW급 실증연구용 타워 구조물·발전시스템 설계 및 제작
- 실증연구 결과분석 및 10kW급 발전시스템의 설계안 도출

연 차	연구목표	주요 연구내용
1차년도	▪ 횡류형 수직 풍력발전시스템의 가용성 평가 ▪ 입구 벤투리 시스템의 가용성 판단 연구	- 풍력터빈의 설계이론 정리 - 풍력발전시스템의 설계이론 정리 - 풍력발전시스템의 성능평가이론 정리 - 풍속 변화에 따른 성능 예측 이론정리 - CFD 시뮬레이션을 통한 모델 시스템의 성능 예측
	▪ 타워형 구조물의 설계안 도출 및 외형 설계	- 타워형 구조물의 설계이론 정리 - 도심의 주거용 건축물에 적용 가능성 분석 - 건물 형태를 고려한 설계이론 정리 - 구조물 외형에 따른 변화 분석
	▪ 횡류형 터빈의 병렬구조에 따른 진동 및 소음에 대한 시뮬레이션 해석	- 소음 진동 설계이론 정리 - 음향장 · 진동모드 해석 - 소음 분석평가 - 진동 분석평가
2차년도	▪ 풍력발전시스템의 성능평가를 위한 시험 장치 개발 및 개선	- 2kW급 모델 풍력발전시스템의 풍동실험을 통한 검정 - 2kW급 모델 풍력발전시스템의 완성
	▪ 입구 가이드베인 및 발전시스템의 시험장치 설계	- 가이드베인 설치에 따른 하중 시뮬레이션 - 발전시스템 시험장치 설계안 도출
	▪ 풍력시스템 하우징과 건축구조물 사이의 진동특성 평가	- 진동 해석을 통한 성능평가
	▪ 2kW급 풍력시스템 실증 시험으로 2kW급 발전시스템 설계	- 2kW급 실증용 풍력시스템 설계안 및 성능평가 실험
	▪ 입구 가이드베인의 구조물 및 발전시스템의 설치 베드 설계안 확정	- 가이드베인 구조물 설치에 따른 터빈 성능 평가 - 발전시스템 설치 베드 설계안 확정
	▪ 10kW급 풍력 발전시스템의 설계안 확정	- 10kW급 풍력발전시스템의 설계안 도출

3절 관련분야의 국내외 기술개발 및 특허 동향

1. 국내 기술 및 산업 동향

가. 국내 풍력발전 기술 부문

1990년대 초에 대학과 연구원을 중심으로 기초연구 및 소형풍력시스템 연구를 시작하였으며 설계기술의 확보를 위한 기초 연구의 내용에서는 많은 내용이 확보가 된 상태에 있으나, 국내 풍력 에너지의 질 (풍량 및 풍향)이 우수하지 못한 관계로 실용화에는 우수한 결과를 도출하지 못하고 있는 실정이다.

[표 1] 국내 터빈업체 현황

업체	주요내용
유니슨	- 미국 현지 계열사인 원애피와 약 267억원 규모의 풍력발전용 타워 공급계약 체결
효성	- 2012년 말까지 미국 텍사스 주에 2MW급 발전기 160대 공급 - 5MW급 대용량 발전기 개발 적극 추진 중
두산중공업	- 제주도 월정리 앞바다에서 3MW급 자체개발 발전기 시운전 예정 - 포스코 에너지와 제주도 서북해상의 30MW 규모의 해상풍력단지 조성 중
현대중공업	- 서남해 해상풍력단지에 5.5MW급 발전기 2대 공급예정
삼성중공업	- 스코트랜드 파이프주 해안지역의 풍력발전기 설치 및 2014년 생산전력 판매를 위한 전력망 설치에 관한 MOU체결 - 유럽 내 수주와 연계한 발전기공장 가동을 계획
대우조선해양	- 남종발전과 300MW급 풍력단지 건설 계약 - 북미 지역에 2MW급 풍력발전기 55기를 공급계약(1억3000만 달러)등 65기 공급실적

* 자료 : 수출입은행 조사자료

국내의 풍력발전 설비의 개발이 적극적으로 추진되었음에도 불구하고 현재 제주도 행원풍력단지를 비롯한 전국 13개 발전단지에 설치되어 운용되고 있는 풍력발전 설비는 90% 이상이 덴마크(Vestas, Micon), 독일, 미국 등에서 수입된 모델로 운용되고 있는 실정이다. 또한 운용실태가 13개중 6개소가 유효 발전을 하고 있는 실정이다.

이는 정부의 지원 아래 자국시장을 중심으로 성장했던 해외 풍력터빈 제조업체와는 달리

국내 풍력 터빈 제조업체는 시장진입 단계부터 해외시장으로 진출해야 하는 어려움을 안고 있다. 국내 풍력 기업들의 꾸준한 연구 개발 노력으로 자체기술개발 및 외부 outsourcing으로 선진국과 기술격차가 크게 줄고 있으나 실적 부족으로 해외진출에 큰 애로를 겪고 있다. 따라서 이 부분의 해결 여부가 국내 풍력산업 해외진출에 있어 가장 시급한 문제이다.

현재의 발전차액 제도 하에서는 국산기기의 보급이 어려운 상황인데 가장 큰 이유로는 발전사업자가 신뢰성이 높은 외산을 선호하기 때문이다. 이 또한 해결되어야 할 문제이며 Made in Korea 풍력발전기기에 대한 보급의 확대가 필요하다.

나. 국내 수직형 터빈 산업 부문

최근 건물 철골 등 산업플랜트 제작 전문업체인 JKENG(대표 송수윤)는 압력차를 이용해 바람을 흡입한 뒤 내부 수직형 터빈을 돌리는 횡류형 풍력발전기 개발에 성공했다.

기존 풍력발전기가 바람이 부는 방향에 위치한 프로펠러를 돌려 발전하는 방식이라면 신개념 시스템은 강력하고 밀도 높은 압력으로 유발된 바람을 터빈 방향으로 흡입시켜 전기를 생산하는 방식이다.

대기상태의 바람을 이용하는 기존 발전방식에 비해 바람 에너지 전환 효율이 월등히 높아 에너지 생산에 효율성이 높은 발전방식이다.

제주 실증용 발전기는 각 층별 개별 발전하는 방식으로 15층으로 모듈화 할 경우 시간당 약 150kWh 생산이 가능하다.

육각형 모양 발전기는 외부에 대형 프로펠러를 설치할 필요가 없어 소음과 진동이 적다.

또 층별 개별발전 방식으로 모듈화를 통해 대용량 발전이 가능하며 유지보수 비용이 매우 낮다.

소음이 적어 도심지 건물 상층부에 설치 가능하며 4~5개 층 규모의 발전기를 설치하면 해당 건물 소요 전력의 최대 50%를 대체할 수 있으며 발전시스템 외부에 태양전지를 설치할 수 있어 효율성을 높였다.



<그림 1> [국내 수직형 터빈발전시스템 조감도]

다. 시사점 및 결론

풍력 프로젝트 사업 개발 부분에 역량 확대가 필요하다. 풍력 제품들의 EBIT margin 은 하락추세로, 현재 풍력산업 경쟁구도로는 당분간 하락 추세가 지속될 것으로 예상된다.

풍력 운영분야는 상대적으로 양호한 수익률을 나타내고 있다. 화석연료 상승에 따른 화석 발전 단가 상승으로 풍향이 좋은 지역의 경우 양호한 수익률을 기록하고 있다. 더불어 해외 풍력단지 개발에 눈을 돌릴 필요성이 있다. 국내의 경우 풍력발전에 적합한 입지가 제한적인 상황이고, 또한 실적 부족으로 인한 풍력 터빈 수출이 쉽지만은 않은 상황이다.

해외발전 단지 개발을 위해 정부 지원과 더불어 기업-공공기관의 컨소시엄 형태의 진출이 필요하다.

2. 국외 기술 및 산업 동향

가. 국외 풍력발전 기술 부문

유럽 금융위기에도 불구하고 세계 육상풍력 시장은 전년대비 18% 성장한 42.2GW가 설치되었으며, 2012년에도 2011년 대비 13% 증가한 47.7GW 가 설치될 전망이다.

세계 풍력시장은 양호한 성장세를 지속 중 이다. 유럽 금융위기로 인해 금융조달이 어려울 것으로 예상되었으나, 풍력시장으로 자금 유입은 여전히 양호한 상황으로 우호적인 수요 및 금융조달 환경개선으로 2012년 풍력시장도 성장세를 지속할 전망이다.

다만, 2012년 3분기 이후 풍력수요가 주춤할 전망이나, 2012년 말 미국 PTC제도 만기로 인한 불확실이 존재하고 있기 때문에 유럽 및 중국의 신규단지 개발속도는 다소간 더딜 것으로 전망되고 있다.

미국발 불확실성이 완화되는 2013년 2분기 이후 풍력 수요가 다시 살아날 것으로 예상되는데, 특히 중남미를 포함한 이머징 마켓의수요가 크게 증가하여 풍력시장의 성장세는 지속되어 2014년 이후에 풍력시장은 성장세를 회복할 전망이다.

중국 풍력시장은 2020년까지도 선도적인 위치를 점할 것으로 보이며, 캐나다를 중심으로 한 북미시장이 2012년 이후 빠르게 성장할 것으로 전망되고 있다.

나. 풍력터빈 가격 현황 및 전망

풍력터빈 가격하락으로 2011년은 풍력터빈 업체들에게 어려운 한 해였으며, 2012년도 역시 풍력터빈 가격하락 압력은 지속될 전망이다.

2011년 2분기 계약 (2013년 배달예정)된 풍력터빈 가격은 0.91mEUR/MW, Old Model(V90, V80, G90, GE-1.5)의 경우는 0.85 mEUR/MW선에서 거래되고 있고, 신규모델(V112, V100, GE-2.5, SWT-2.3)도 예상가격에서 10~15% 할인된 1.0 mEUR/MW 선에서 거래되고 있다.

중국 업체들은 유럽시장 진입을 위해 15년 유지 보수 및 성능 보증을 포함한 0.6

mEUR/MW 가격을 제시하고 있는 중인데, 이러한 우호적인 계약 조건으로 2012년 대규모 계약이 체결 될 것으로 예상되고 있다. 이렇듯 중국터빈 업체들은 유럽시장 진출을 위해 노력 중에 있다.

아시아 터빈 업체들의 해외진출 가시화 되고 있는데, 미국, 캐나다, 브라질, 핀란드, 칠레 등 시장으로 터빈 수출이 이루어지고 있으며, 북미 지역에서는 0.7 mEUR/MW 이하로 체결 되기도 하여 가격체결 조건은 불리한 상황이다.

다. 풍력터빈 수요&공급현황 및 전망

2012년 풍력터빈 공급능력은 81GW로 수요를 크게 초과하고 있는 상황이며, 터빈 공급능력은 향후 감소하겠지만, 공급과잉 상황은 몇 년간 지속될 전망이다.

현재 공급과잉의 주된 이유는 업체들의 과도한 투자에서 비롯되고 있는데, 특히 중국 업체들의 공격적인 투자에 크게 한 몫을 하고 있다. 이로 인해 중국 및 미국지역의 생산능력 및 공급 과잉이 심각한 상황으로, 특히 중국 중소 터빈업체들의 진입 확대로 중국내 공급과잉이 심각한 상황이다. 이들 업체들은 기술력이 떨어져 수출이 어려울 전망이다.

공장이전 및 합병 등 구조조정이 본격화될 전망으로, Vestas는 경쟁력 확보를 위해 4,000명의 인원을 감축하고 생산기지를 아시아 지역으로 이전할 계획이고, 중국 Tier 2및 Tier3 업체들 중 경쟁력이 떨어지는 업체들은 퇴출되거나 합병될 예정이다.

라. 시장 경쟁구도

최근 자국 시장 위주로 급성장한 중국 업체의 글로벌 시장 영향력은 당분간 크지 않을 전망이다, 대형 Industrial Player의 시장 지배력이 강화될 것이다.

자국 업체 의무 선정 정책의 철폐로 자국내 M/S 하락할 것으로 전망된다. 북미/유럽 시장 내 실적 부재로 향후 2~3년 내 M/S 상승은 제한적일 전망이다. 대형 Industrials/Dominant Player의 시장 지배력 강화가 예상된다.

마. 주요 각국 정부의 지원 정책

기후 변화의 Global Major Trend 에 따라 풍력을 포함한 재생에너지에 대한 정부의 지원은 향후 지속될 것이다.

- 전체 에너지 발전량 중 재생에너지 발전 비중; 북미 2025년 목표, 유럽/아시아 2020년 목표
- 발전현황 '09년 기준, 발전 예상규모', 20년 기준, Emerging Energy Research
- Investment TaxCredit, 시설 투자비용의 30% 세금 면제, 단, 2010년 이전 공사 시작 & 2013년 이전 서비스 시작 조건
- Production Tax Credit, 단위전력 당 \$0.021/kWh 법인세 공제

- Renewable Energy Production Incentive, 생산시작시점부터 10년간 단위전력 생산량 당 \$0.015/kWh 인센티브지급
 - 09년 기준 풍력발전량 Top 3 국가
 - 녹색성장 국가전략, '50년 재생에너지 30% 달성 목표', 20년 기준 6.08% 예상
- (자료 : GH Due Diligence, ADL)

바. 풍력기술개발과 풍력부품의 수요와 공급 동향 및 전망

육상풍력 기술은 성숙 단계에 접어들고 있으나 발전량 증대에 따른 Grid Code의 기준 강화로 Generator/ Drive 분야의 추가적인 기술 혁신이 전망된다.

아시아 지역이 풍력 부품 공급의 생산기지 역할을 하고 있으며, 최근 들어 아시아 업체들의 설비 투자 확대로 부품공급이 과잉되고 있다.

아시아 지역이 나셀을 포함 주요 풍력부품들의 제조기지 역할을 하고 있다. 아시아 지역의 과도한 생산시설 투자로 나셀을 포함한 여러 부품들의 공급과잉이 원인으로 중국을 중심으로 한 아시아 지역이 미주지역 및 유럽지역 풍력부품의 대부분을 공급하고 있다.

중국시장 성장 및 인건비를 포함한 저렴한 제조단가로 중국을 포함한 아시아 지역으로 유럽업체들의 생산시설 이전이 활발하게 이뤄지고 있어, 유럽업체들의 일부는 생산비 문제로 아시아지역으로 생산거점을 이전하고 있다. 미국을 포함한 미주지역은 유럽 및 아시아 지역으로부터 모든 부품을 공급받고 있다.

멕시코 등을 포함한 중남미 지역에서 관련부품 생산 시 공급과잉 우려는 더욱 커질 가능성이 존재한다.

2009년 및 2010년에 걸친 대규모 투자로 주요 풍력 부품의 공급과잉은 심각한 상황. 원자재 가격 상승에도 불구하고 치열한 경쟁 환경으로 부품가격은 오히려 하락 추세이다.

극심한 과잉생산 문제는 2014년까지 해결되기 어려울 전망이다, 경쟁력이 떨어지는 부품업체들은 시장에서 구조조정 될 것으로 예상된다.

아시아 지역이 부품 공급을 위한 전초 기지로서 역할이 확대되고 있으며, 아메리카 지역의 경우 터빈 생산을 위한 부품 공급이 부족한 상황이다.

사. 세계 풍력시장 자금시장 동향

세계 육상풍력시장에 616억 달러가 유입되었으며, 이는 2010년 대비 23%가 감소한 수치이다. 유럽 금융위기로 2011년 1,2분기는 자본유입이 감소되었다. 그리스 등 유럽 국가들의 신용위기로 2011년 상반기는 풍력 프로젝트에 대한 자금 유입이 원활하지 못하였으나, 2011년 하반기 이후 회복세를 기록하고 있는 중이다. 이는 2010년에는 못 미치지만 상반기 안 좋았던 자금 흐름은 개선 중이다.

미국 PTC제도 만료에 따른 불확실성에 영향을 받을 전망으로 2012년 말에 예정된 PTC 제도 만기 연장문제로 다소간 신규 프로젝트 착공이 지연될 것으로 보이나, PTC 제도는 연장될 가능성이 높아 2013년 하반기 이후 정상적인 자금 흐름을 보일 것으로 전망된다.

중국 자금상황은 상대적으로 양호하나 해외 프로젝트 지원에 대해선 보수적인 자금 지원이 예상되고 있는 상황으로, 중국 터빈 업체에 대한 자금지원은 여전히 활발한 상황이나, 중국 터빈업체들의 해외사업 개발에 대해서는 중국터빈 업체들의 품질 및 실적 부족으로 보수적인 지원이 될 것으로 예상된다.

3. 기술 도입 사례

가. 바레인 세계무역센터

바레인 국제 무역센터(The Bahrain World Trade Center, BWTC)에서 세계 최초로 개시된 풍력 터빈은 풍력발전과 건설기술의 결합한 상징적인 건축물이다. 바레인 국제 무역센터는 두 동의 건물로 이루어진 빌딩이며, 이 두 개의 타워 사이에는 일정한 간격으로 세 개의 30m 경간의 건물육교가 설치되어 있으며, 이 육교에는 직경 29m blade를 장착한 세 개의 터빈이 설치되어 있다.

풍력발전이 완전히 가동될 경우, 두 개의 타워(건물)에 필요한 전력의 11~15%에 해당하는 에너지를 제공할 수 있다.



<그림 2> 바레인 국제 무역센터 전경 1



<그림 3> 바레인 국제 무역센터 전경 2

나. 스트라타 타워(Strata Tower, London)

영국 런던에 위치한 높이 148m의 42층인 빌딩인 '스트라타 타워'는 빌딩 최상부에 대형 풍력발전 터빈 3개가 '빌트 인'으로 설치되어 있다. 풍력발전기는 '벤투리 효과'를 이용한 것으로 건물이 필요로 하는 전력의 8%를 생산한다.



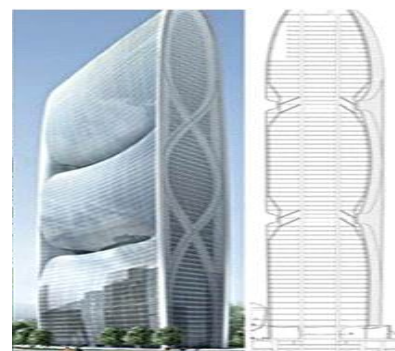
<그림 4> 스트라타 타워 조감도



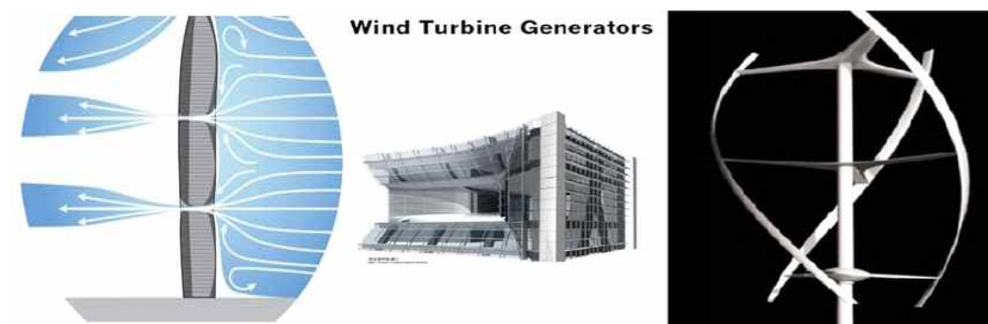
<그림 5> 스트라타 타워 시공현장

다. 펄 리버 타워(Pearl River Tower, China)

펄 리버 타워는 2006년에 공사 시작하여 현재 90%이상 완공 된 상태이다. 이 건물은 바람을 가장 많이 받을 수 있는 방향으로 건물을 배치하고, 건물의 모양과 매싱은 풍속을 증가시키기 위해서 유선형으로 계획하였고, 그 결과 풍속이 주변보다 1.5~2배정도 빨라져서 건물의 중앙에 위치한 터빈을 빠른 속도로 회전시켜서 발전기를 돌리게 된다. 또 이러한 디자인은 고층건물의 상충부가 흔들리는 것을 방지한다.



<그림 6> 펄 리버 타워 조감도



<그림 7> 조합형 터빈 시스템

라. 디스커버리 타워(Discovery Tower, USA)

미국 텍사스 휴스턴에 위치한 디스커버리 타워(Discovery Tower)는 건물옥상에 수직축 풍력발전기를 다수 설치하여 전력생산을 하는 총 31층, 147m 높이의 건축물이다. 건물 높이는 높지 않지만 풍향 조건이 우수한 텍사스에서는 풍력발전에 효과적이다.



<그림 8> 디스커버리 타워 조감도



<그림 9> 디스커버리 타워
발전설비

마. 아나라 타워(Anara Tower, Dubai)

두바이에 125층, 700m 높이로 건설될 예정인 BAWT형 아나라 타워(Anara Tower)이다. 건물 최상단에 설치될 대형 풍력발전기가 담당할 전력공급량에 대해서는 아직 명확하게 공개된 자료는 없다.

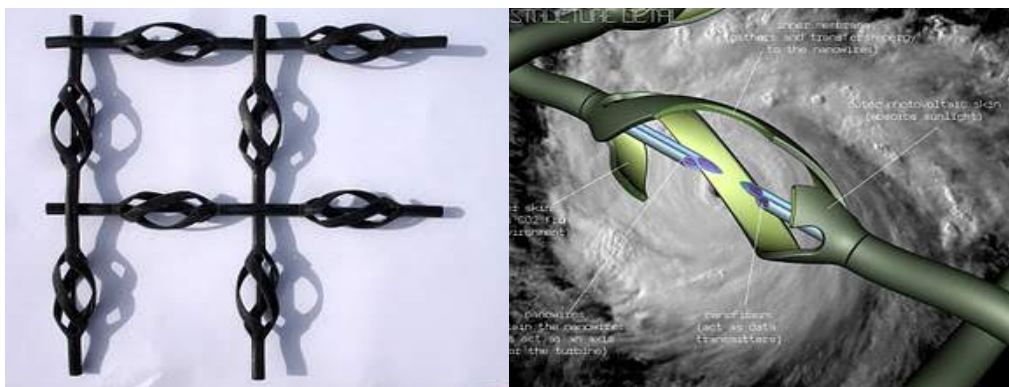


<그림 10> 아나라 타워 조감도

바. 나노 스킨 빌딩

건물에 풍력발전기를 설치하는 기존의 발전개념은 동일하지만, 마이크로 풍력발전기 (micro wind turbine) 또는 나노벤트스킨(NanoVent-skin)과 같은 초소형 풍력발전기를 이용한다는 점에서 신개념의 풍력발전시스템이다.

나노기술은 건물 주위를 흐르는 미세한 바람에 대응하기 위하여 건물표면 전체가 풍력발전기로 포장한 형태이다. 초소형 풍력발전기는 일반적인 회전자에 의한 전자기식 발전방식이 아니라 회전체 양쪽에서 화학에너지 반응을 발생시켜 전기를 얻으며, 그물망처럼 얇은 나노벤트의 집합체로 전달되어 생산된 전기가 모아지게 된다.



<그림 11> 나노 스킨 상세도



<그림 12> 나노스킨 적용 사례

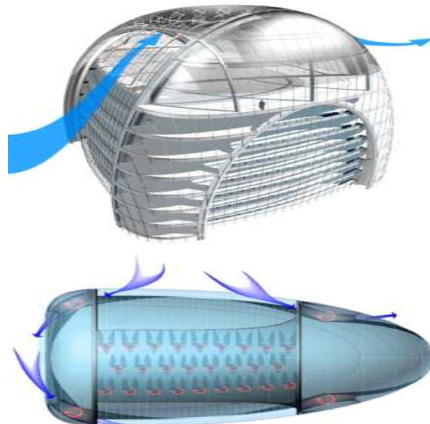
<그림 13> 계획도

사. 클린 테크놀로지 타워(Clean Tech-nology Tower, USA)

미국 시카고에 건설될 예정인 클린 테크놀로지 타워는 주 풍향에서만 발전을 할 수 있는 단점을 보완하기 위해 옥상을 타원형으로 만들고 그 내부를 통과하는 바람을 이용하여 풍력 발전을 하는 시스템이다.



<그림 14> 클린 테크놀로지 타워 조감도



<그림 15> 발전설비 상세도

4. 국내외 특허 동향

가. 건물형 풍력발전기

출원번호	10-2010-0009732
출원일자	2010년 01월 29일
내용	수평축 풍력발전기를 건물 옥상에 설치할 경우에 날개가 일자 형태로 형성되기 때문에 지지대 높이를 높여야하며, 이 로 인해 지지대에 힘(모멘트)가 커져 건물의 구조적인 위험을 초래할 수 있다. 또한 blade가 노출되어 있으므로, 옥상에 안전상의 문제가 따른다. 도심에 높이가 높은 건물이 밀집되어 있는 경우에는 풍향이 상승 또는 하강 기류가 많이 발생하게 되는데 날개가 일자 형태로 형성된 경우에는 상하로 부는 바람을 이용하지 못하는 단점이 있다.
기술적 목표	날개를 'V'자 형태로 형성하여 설치높이를 낮추어 건물에 부여하는 힘(모멘트)을 줄이고, 회전을 하도록 하는 동력용 날개와, 방향을 조절하도록 하는 방향조절용 날개의 역할을 하도록 이루어진 건물형 풍력발전기를 구현하는 데 그 목적이 있다.
발명의 구성 및 작용	날개를 'V'자 형태로 형성하여 설치높이를 낮춤

나. Building type wind power generation station and straight-axis wind turbine

출원국가	China
출원번호	200910059968
출원일자	2009년 07년 13일
내용	Straight-axis wind turbine combined generator are arranged in group in a building cluster, in which the buildings only frames but not walls and support one another, power generation rooms are built between the power wheel layers of the combined generators and adjacent buildings; power wheels are connected with transmission wheels, accelerator boxes and generators by driving belts; and thus, a building type wind power generation station which extends into the air in group for using wind power to develop huge and pollution-free wind energy is built.

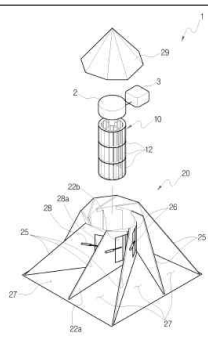
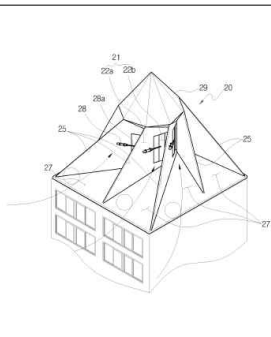
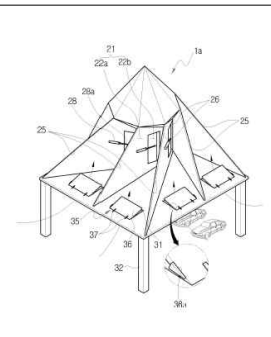
다. 건물 통풍구를 활용한 대체에너지 시스템

출원번호	10-2010-0134866
출원일자	2010년 12월 24일
내용	낭비되는 건물의 통풍구에서 배출되는 공기(바람)를 재활용하기 위한 대체에너지 시스템에 관한 것이다. 기존에 건물에는 많은 통풍구가 설치되어 있고 여기를 통하여 많은 바람들이 계속 방출되고 있다. 하지만 이를 재활용하는 방안이 전혀 없다. 본 발명은 건물의 통풍구에서 발생하는 바람을 재활용하기 위하여, 풍력발전시스템을 통풍구에 설치하여 전기를 생산하도록 하는 시스템이다.
기술적 목표	풍력 발생 장치의 날개(blade) 부분에 태양전지를 부착하여 태양에너지를 전기로 전환하는 시스템도 동시에 구현하는 방식으로 풍력시스템과 태양광시스템 두 가지를 동시에 구현함으로써 신재생에너지를 구현하는 데 그 목적이 있다.
발명의 구성 및 작용	안전그물망: 안전그물망을 제조하여 사람들의 손에 닿지 않도록 한다. 안전확보가능 기어박스(Gearbox) 및 제너레이터(Generator): 기어박스와 제너레이터(발전기)를 설치하여 풍력을 통한 전력발생 가능 날개부(Blade): 다중구조로 여러 개를 겹치지 않게 지그재그로 설치, 상단에 태양전지를 설치하여 풍력과 태양광의 동시발생가능 지지대(축): 날개부와 기어박스 및 제너레이터를 지지하기 위한 축 태양전지: 풍력과 태양광을 통하여 발생한 전력을 저장하여 필요한 곳에 사용 건물 통풍구 통풍구에 풍력의 날개(blade) 부분에 태양전지를 함께 설치

라. Wind power generation drive device for building

출원국가	China
출원번호	200810106484
출원일자	2008년 05월 13일
내용	The invention relate to a wind power generation drive device for a building. The middle part of the building is provided with an air duct facility or device and at least one air duct for ducting air, and the air duct is internally provided with at least one ventilator which is driven by air passing by the air duct to generate wind power to drive a wind power generation device. Air source generated by the building and wind power generated by the ventilator in the air duct are used for driving the wind power generation device to generate power, thus the energy is saved and new energy is generated.

마. 지붕형 풍력발전기

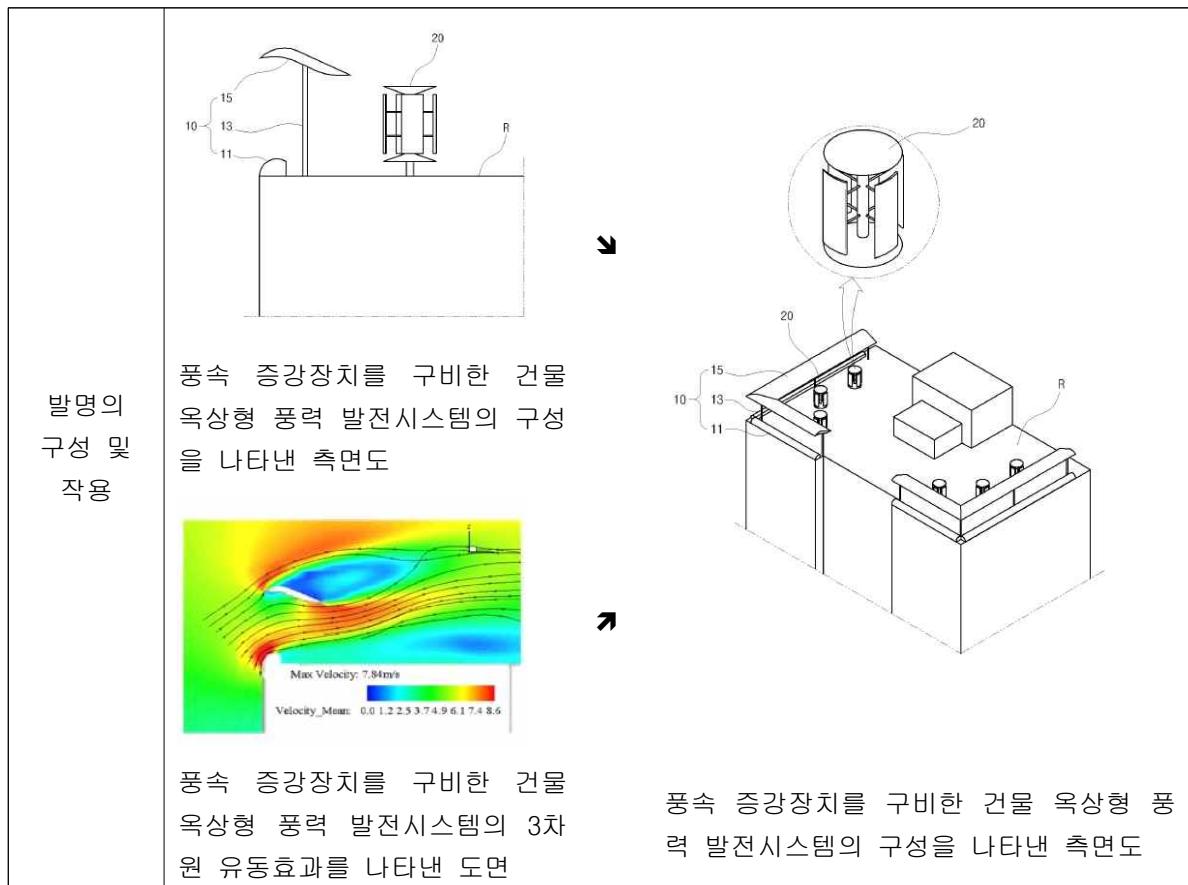
출원번호	10-2011-0027962		
출원일자	2011년 03월 17일		
내용	현재 일부 사용 중인 풍력발전기 풍속이 약하다는 국내 지리적 특성 때문에 만족 할만한 발전효과를 기대할 수 없으며, 풍력발전기를 설치하기 위한 장소가 또한 한정적이다. 또한, 국내에서 사용되고 있는 풍력발전기의 경우 대부분 수입품 (97%)이며, 국내 실정상 기존에 사용되고 있는 유럽형 풍력발전기를 사용하기가 매우 어려운 문제점이 있다. 본 발명은 이러한 문제점들을 보완하기 위한 지붕형 풍력발전기이다. 본 발전기는 기존 건물이나 신축 건물의 지붕 위에 발전기와 축 결합되는 회전팬 을 수직형태로 설치하고, 자연풍이나 빌딩풍이 바람의 형태나 방향에 관계없이 회 전팬의 각 blade에 항시 순풍형태로 집풍 유도하기 위해 집풍유도구조체를 설치하 는 형태이다.		
기술적 목표	본 발명은 풍향변화가 심하거나 풍속이 낮은 곳에서도 발전이 가능하도록 구현하 는데 그 목적이 있다.		
발명의 구성 및 작용	 분해도	 건물 지붕 위에 설치된 상태도	 다른 장소 적용 예 (주차장 상부)

바. Wind power generation drive device for building

출원국가	China
출원번호	200810106484
출원일자	2008년 05월 13일
내용	The invention relate to a wind power generation drive device for a building. The middle part of the building is provided with an air duct facility or device and at least one air duct for ducting air, and the air duct is internally provided with at least one ventilator which is driven by air passing by the air duct to generate wind power to drive a wind power generation device. Air source generated by the building and wind power generated by the ventilator in the air duct are used for driving the wind power generation device to generate power, thus the energy is saved and new energy is generated.

사. 풍속 증강장치 및 이를 구비한 건물 옥상형 풍력 발전시스템

출원번호	10-1071240
출원일자	2011년 09월 30일
내용	건물의 옥상에는 다수의 각종 장식철물들이 설치되는 특성에 의해 기억학적인 측면에서 보면 공기유동이 크게 산란되어 난류(Turbulence)가 발생하게 된다. 이러한 난류발생은 풍력에너지 집중효과로 표현되는 매우 큰 풍속의 발생과는 반대로 풍력발전 측면에서 풍력발전의 효율을 저하시키는 부정적인 요인으로 작용한다. 이는 결과적으로 옥상부위에 발생하는 커다란 풍속으로 인하여 풍력발전이 유리해지더라도 커다란 난류가 발생하게 되면 반드시 유리하다고 할 수 없고 오히려 풍력발전이 저해될 수도 있다. 본 발명은 상기와 같은 문제점을 해결하기 위한 것으로, 건물 옥상에서 장식 철물과 동일한 형태를 가지는 구비한 건물 옥상형 풍력 발전시스템을 설치하는 방식이다.
기술적 목표	건물 옥상에서 장식 철물과 동일한 형태를 가지는 풍속증강장치를 설치하여 풍속을 증폭하고, 풍속증강장치의 후단에 설치된 풍력 발전기에 작용하도록 함으로써 풍력발전기의 발전 성능을 최대가 되도록 하여 건물 풍력 발전의 효율성을 강화시킬 수 있도록 하는 풍속 증강장치 및 이를 구비한 건물 옥상형 풍력 발전 시스템을 제공하는데 그 목적이 있다.



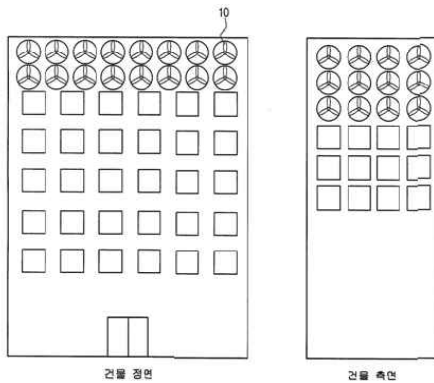
아. Wind power generation drive device for building

출원국가	China
출원번호	200810106484
출원일자	2008년 05월 13일
내용	The invention relate to a wind power generation drive device for a building. The middle part of the building is provided with an air duct facility or device and at least one air duct for ducting air, and the air duct is internally provided with at least one ventilator which is driven by air passing by the air duct to generate wind power to drive a wind power generation device. Air source generated by the building and wind power generated by the ventilator in the air duct are used for driving the wind power generation device to generate power, thus the energy is saved and new energy is generated.

자. Building type wind power generation station and straight-axis wind turbine

출원국가	China
출원번호	200910059968
출원일자	2009년 07년 13일
내용	Straight-axis wind turbine combined generator are arranged in group in a building cluster, in which the buildings only frames but not walls and support one another, power generation rooms are built between the power wheel layers of the combined generators and adjacent buildings; power wheels are connected with transmission wheels, accelerator boxes and generators by driving belts; and thus, a building type wind power generation station which extends into the air in group for using wind power to develop huge and pollution-free wind energy is built.

차. 건물 일체형 풍력발전장치 및 풍력발전장치를 구비한 건물

출원번호	10-2008-0041350
출원일자	2008년 05월 02일
내용	본 발명에 따른 건물 일체형 풍력발전장치는 건물의 외벽에 형성된 통공에 설치되는 blade와, 상기 blade와 연결되어 상기 blade의 회전력을 전기에너지로 변환시켜 전기를 발전하는 제너레이터이다.
기술적 목표	 건물 정면과 건물 측면

국내외에 적용된 특허사례의 경우 건축물에 설치하는 방식은 본 연구와 유사하나 도심에 적용되기 위한 기술이나 발전방식 및 발전기 구동방식에 큰 차이가 있다.

- 저 풍속(4m/s이하)에서도 발전이 가능한 시스템(벤투리 유로시스템 도입)
- 타워형 기술적용을 통한 제한된 시설면적당 높은 에너지 밀도
- 에너지변환효율이 45%이상인 횡류형 원심터빈적용
- 저소음, 저 진동을 특징으로 하는 원심형 터빈 도입
- 가변 풍량에 따른 최적 발전량을 결정하는 시스템의 특징
- 바람의 방향에 영향이 없으므로 기존의 축류형에 비해 가동율이 2배이상
- 일부의 터빈이 고장으로 정지되어도 정상상태의 터빈은 지속적 발전 가능
- 순수 우리기술로 개발되므로 정비의 기간, 경비가 적음

제2장 연구수행 내용 및 결과

1절 연구개발 결과 요약

1. 1차년도

연 차	연구 내용	연구 결과
1차년도	1) 풍력발전 및 풍력터빈 설계이론 정리	풍력터빈 설계이론 정리 완료
	2) 풍속 변화에 따른 성능예측 이론 정리	풍력발전시스템의 성능예측 이론 정리 완료
	3) CFD 시뮬레이션을 통한 시스템 성능예측 및 시제품 제작	CFD시뮬레이션을 통한 수직형 횡류터빈의 설계 완료/ 모델 발전시스템 설계/제작 완료
	4) 타워형 구조물 설계	타워형 풍력발전타워의 설계안 정리 완료
	5) 건축물 주위의 국지적 풍환경 분석	건축물 주위의 국지적 풍환경 분석 완료
	6) 풍력발전 시스템의 건물 적용 가능성 분석	건물 배치형태와 그 외 변수들에 대한 적용가능성 분석 완료
	7) 소음 설계이론 정리	소음 설계이론 정리 완료
	8) 건물에 미치는 진동의 영향 분석	건물에 미치는 진동의 영향 분석 완료
	9) 제작 모델의 소음, 진동 측정 및 분석	제작 모델의 소음 및 진동 측정 결과 및 분석 완료

2. 2차년도

연 차	연구 내용	연구 결과
2차년도	1) 2kW급 모델 풍력발전시스템의 풍동실험을 통한 검정	2kW급 모델 풍력발전시스템의 풍동실험 검정 완료
	2) 2kW급 모델 풍력발전시스템의 완성	2kW급 모델 풍력발전시스템 완성
	3) 구조물 설치에 따른 하중 시뮬레이션	구조물 설치에 따른 하중 시뮬레이션 완료
	4) 발전시스템 설치 베드 설계안 도출	발전시스템 설치 베드 설계안 도출 완료
	5) 진동 해석을 통한 성능 평가	진동 해석을 통한 성능 평가 완료
	6) 2kW급 실증용 풍력시스템 설계안 및 성능평가 실험	2kW급 실증용 풍력시스템 성능평가 실험 완료
	7) 가이드베인 구조물 설치에 따른 터빈 성능 평가	가이드베인 구조물 설치에 따른 터빈 성능 평가 완료
	8) 발전시스템 설치 베드 설계안 확정	발전 시스템 설치 베드 설계안 확정 완료
	9) 10kW급 발전시스템 설계안 도출	10kW급 발전시스템 설계안 도출 완료

2절 연구 개발 주요내용

1. 1차년도 연구개발 주요내용

본 연구는 유체동역학의 분석적 이론을 통해 가용 전기에너지 10kW급 발전을 위한 타워형 발전시스템의 형상을 결정하고, 횡류형 터빈설계이론을 이용하여 최적의 횡류형 터빈을 설계하며, CFD(Computational Fluid Dynamics) 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 이론 설계된 풍력터빈 시스템의 성능을 예측하며, 터빈의 최적화 설계를 도출하였다.

연구의 핵심내용으로는 유체동역학의 이론을 적용한 에너지가용성 판단을 통해 목표 설계치인 유효발전량 10kW급 발전시스템의 형태를 결정하게 된다.

타워형 풍력발전시스템의 형상 결정을 위한 해석연구에서 주요한 설계 변수는 아래에 주어진 바와 같다.

◇ 바람의 속도변화에 따른,

- 발전효율 극대화를 위한 4각형 타워 및 유입 가이드 베인(Inlet Guide Vane)의 최적화 설계
- 회전체(Impeller) 형상의 최적화 설계 (발전용량 10kW·h/단 발전을 위한 풍력터빈 임펠러)
- 회전체(Impeller)의 회전관성을 고려한 회전체(Impeller)의 최적 크기 설계

본 연구에서 최적화 풍력발전시스템 설계를 위해 진행된 주요 연구변수의 종류 및 변수 범위는 아래 [표 2]에 주어진 바와 같다.

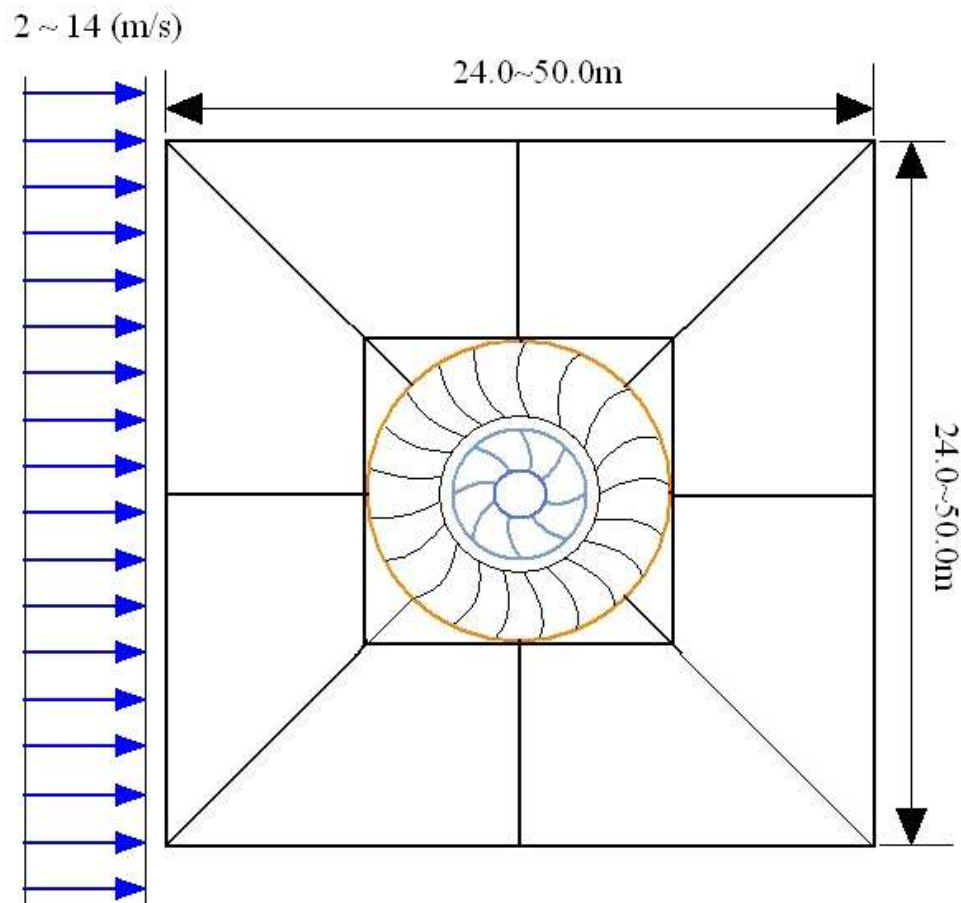
[표 2] 본 연구에서 진행할 풍력발전시스템 설계를 위한 주요변수

연구 변수	단위	해석의 범위	비 고
1. 외부풍속	m/s	3~12	4단계
2. 풍향	degree	0, 22.5, 45	3단계
3. 사각타워의 외경	m	16, 24, 32	3단계
4. 간극(임펠러-가이드)	m	0.2, 0.4, 0.6	3단계
총 변수 연구의 횟수	4 x 3 x 3 x 3 = 108회		

2. 풍력발전 설계이론 및 성능예측 이론 정리

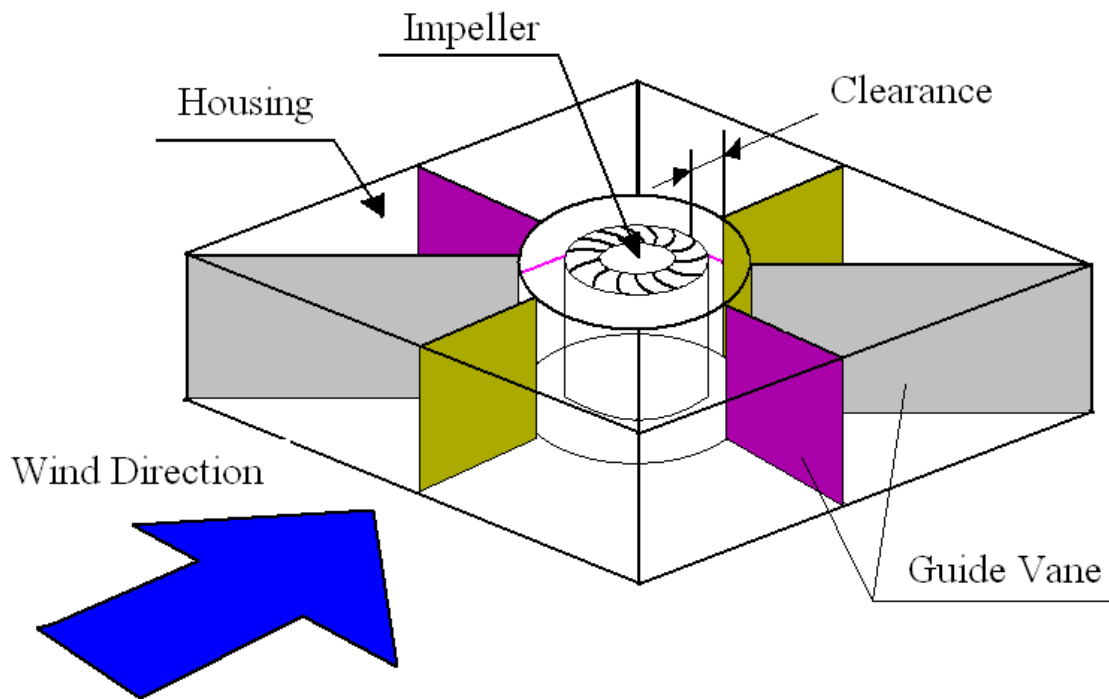
가. 모델 풍력발전 시스템의 형상결정

본 시스템의 가용에너지 타당성 검토를 위해 폭이(24.0m)인 풍력타워 형상을 기준으로 바람의 속도변화(2.0m/s~14.0m/s)와 풍력타워의 크기변화(24.0m~50.0m)를 고려하여 가용 풍력 에너지의 크기를 산출해 보았다.



<그림 16> 제안된 풍력타워의 평면형상의 치수(16.0x16.0m²)

수직 횡류형 모델터빈 1기에서 요구되는 발전용량은 10kW급이며, 이러한 발전용량을 기대하기 위해 요구되는 발전시스템 외형의 크기와 바람의 세기가 어느 정도인지를 유체동력학의 모멘텀 방정식을 이용하여 예측해 보았다.



<그림 17> 횡류형 모델 풍력발전시스템의 개념도

(1) 모델 풍력발전시스템의 가용에너지 산출을 위한 이론 및 조건

바람속도의 변화와 타워의 크기변화에 따른 가능한 발전에너지 용량을 산출하는데 있어 아래의 몇 가지 가정이 주어졌다.

(Assumptions)

(가) 공기의 조건 :

- 온도 : 25oC
- 대기압 : 1atm
- 밀도 : 1.184kg/m3

(나) 작동조건 : 바람의 방향과 세기가 일정함

(다) 발전 구성품의 효율 :

- 풍력터빈 효율(η_T):35%
- 동력전달계 기계효율(η_m):85%
- 발전기의 효율(η_G):85%
- 인버터 효율(η_i):90%
- 풍력타워의 Blockage효율(η_b):70%

(2) 에너지 산출을 위한 이론 정리

유입공기의 질량유량($\dot{m}_{air}$) : $\dot{m}_{air} = \rho A V_{wind}$

유입공기의 관성모멘터(F_{air}) : $F_{air} = \dot{m}_{air} V_{wind}$

유입공기의 운동에너지($Power_{air}$) : $iPower_{air} = \frac{1}{2} \dot{m} V_{wind}^2$

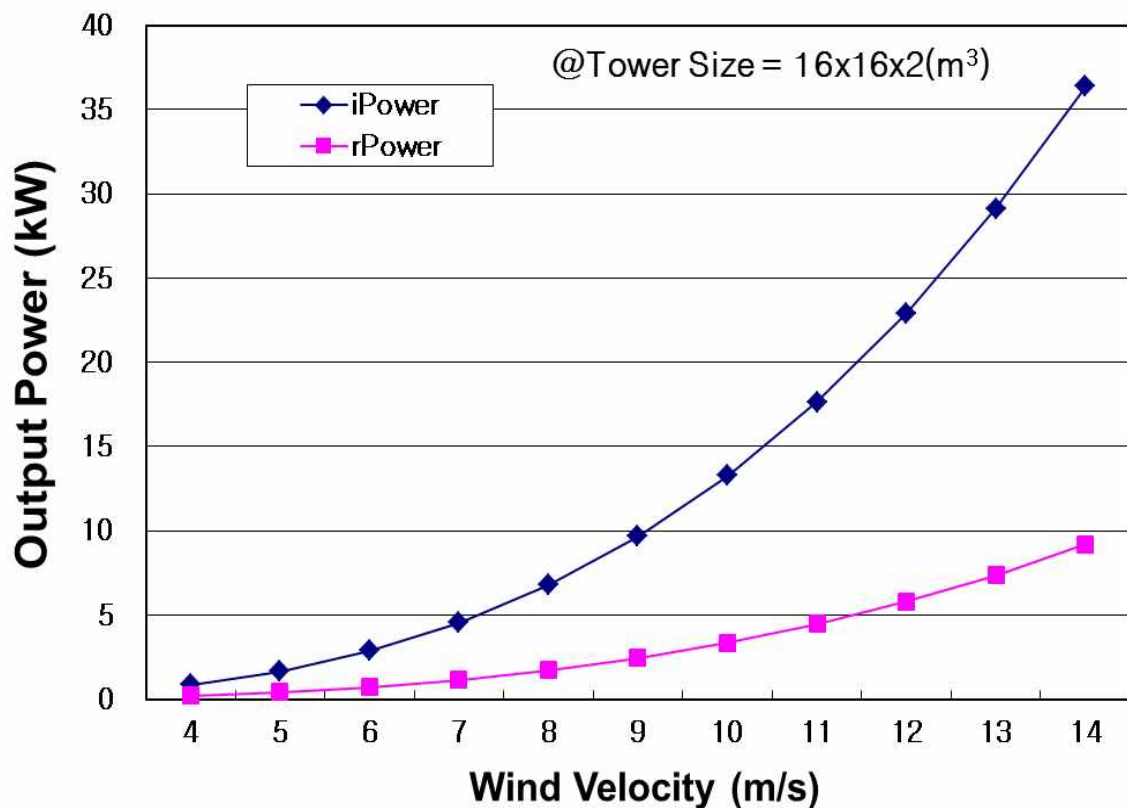
손실을 고려한 유입공기의 에너지준위($Power_{air}$) : $rPower_{air} = \frac{1}{2} \dot{m} V_{wind}^2 (\eta_{total})$

where $(\eta_{total}) = \eta_T \times \eta_m \times \eta_G \times \eta_I$

(3) 가용에너지의 분석결과

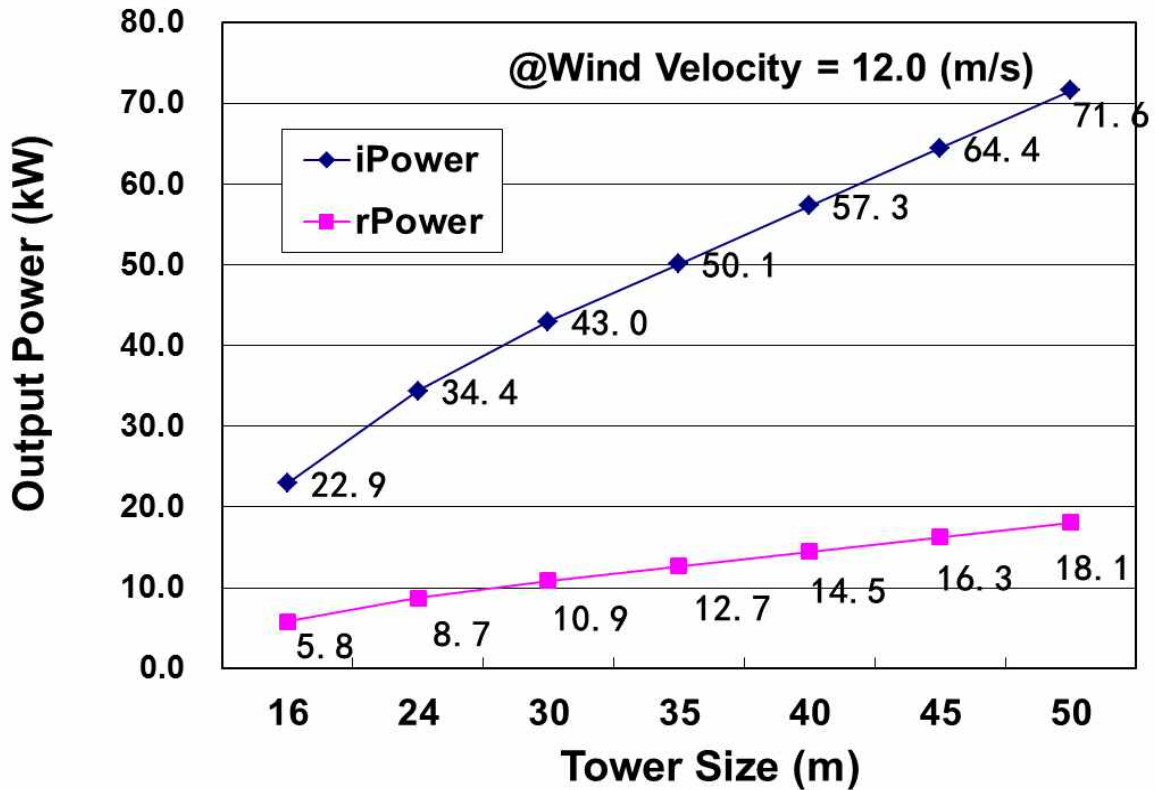
아래의 내용은 위의 산출이론에 따라 정리된 가용 풍력에너지의 예측에 대한 분석 내용이다. 주요 변수로는;

- 풍력타워에 부는 바람의 속도 : 3.0m/s ~ 14.0m/s
- 풍력타워의 체적 : (16.0x16.0x2.0 m³)~(50.0x50.0x2.0m³)



<그림 18> 풍력타워의 입구면적의 크기가 16x2(m²)에서 풍속의 변화에 따른 기대되는 전기발전가능 선도; (iPower: 타워 유입에너지 총량, rPower: 손실계수를 고려한 발전가능 에너지총량)

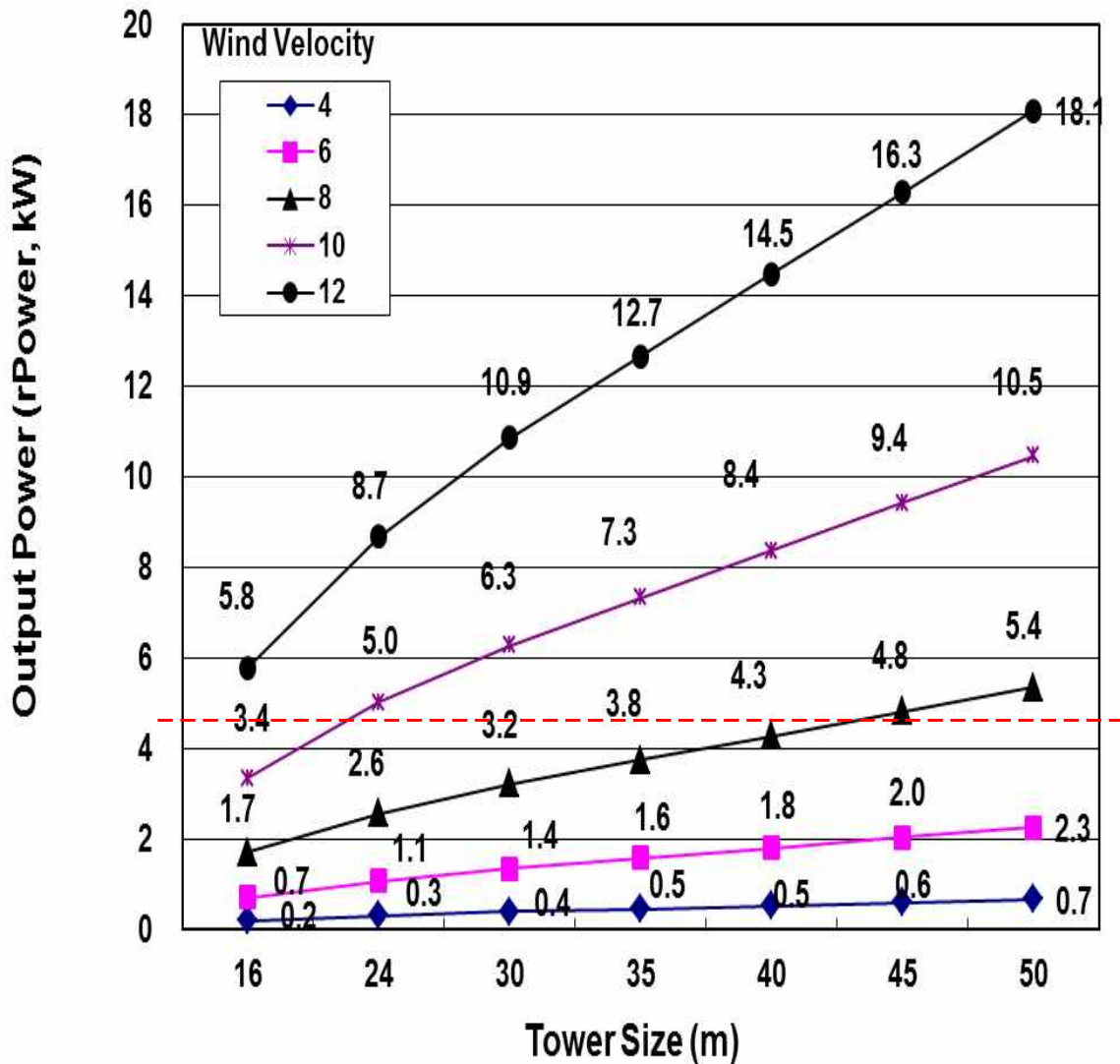
<그림 18>에서 iPower은 시스템에서 발생하는 손실계수의 예측되는 값을 고려하지 않은 상태에서 기대되는 발전용량이며, rPower는 5가지의 중요한 손실계수를 고려하여 산출한 기대되는 발전용량이다. 손실이 고려된 경우 기존의 풍력타워에서 유입 풍속이 8.0m/s에 도달할 때 발전용량은 23.8kW 정도가 예상된다.



<그림 19> 입구풍속이 12.0m/s일 때 풍력타워의 형상크기를 (16.0m~50.0m)변화에 따른 예측 발전용량

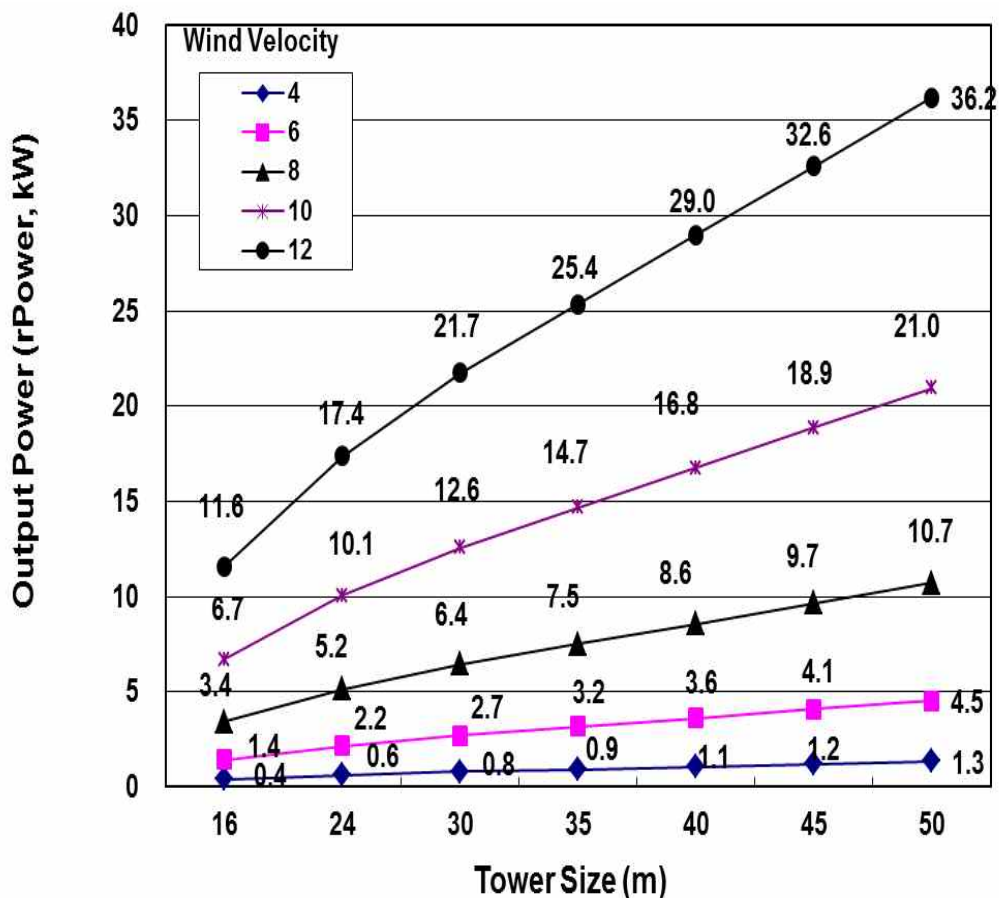
<그림 19>에서 알 수 있듯이 타워의 크기가 증가할수록 발전가능 풍력에너지는 증가함을 보이며 타워 한 면의 크기가 16x2 (m²)일 경우 1개층 당 5.8kW정도의 전기에너지 발전이 기대된다.

다음은 일반적으로 가용한 바람의 속도범위(4.0~12.0m/s)에서 풍력타워의 크기변화에 따른 가용 풍력에너지의 크기를 정리해 보았다.



<그림 20> 풍속의 변화 및 풍력타워의 크기 변화에 따른 예상 발전용량 (타워층 높이:2m)

<그림 20>은 타워입구 풍속이 4~12m/s에서 타워의 크기 변화에 따른 예측되는 유효 발전용량(rPower)이 증가함을 보여준다. 풍속이 4m/s인 경우 타워의 0.7kW~2.3kW, 8m/s의 경우 1.7~5.4kW 그리고 10m/s 풍속에서는 3.4kW~10.5kW 의 발전용량이 예상된다.



<그림 21> 풍속의 변화 및 풍력타워의 크기 변화에 따른 예상 발전용량 (타워층 높이:4m)

타워 1층의 높이를 4m로 하였을 경우, 타워의 크기가 (24mx24m)인 경우에 10m/s의 풍속에 도달할 경우 발전 기대치는 1개의 층에서 10kW에 근접하는 발전용량을 기대할 수 있는 것으로 예측된다.

나. 현재 개발 중인 횡류형 수직풍력발전시스템의 효율성과 경제성 판단

현재 개발하고자 하는 10kW급 횡류형 수직풍력발전시스템의 에너지 유효성에 대해 판단을 위해 유체동력학의 이론을 적용하여 산출해 보았다. 그러나 본 연구를 위한 초기단계에서 언급된 매우 타당한 대부분의 가정들을 도입하였으며, 결과에 대한 신뢰성이 있을 것으로 판단한다.

매우 중요한 가정 중의 하나인 작동조건의 효율에 대한 가정은 보다 정확한 정보를 획득하기 위해 현재 컴퓨터 시뮬레이션을 진행 중에 있다.

본 내용에 대해 좀더 구체적으로 언급을 한다면;

현재까지의 연구에서 아래와 같은 가정으로 접근하였다.

- Turbine Impeller의 효율 : 35%
- Power Transmission 효율 : 85%
- Power Generator 효율 : 85%
- Inverter 효율 : 90%
- Tower Blockage 효율 : 70%

위의 가정은 충분히 안정적인 가정으로 판단되나 연구 결과에 대한 신뢰성을 높이기 위해 현재 진행 중인 CFD시뮬레이션의 결과를 반드시 확인해야 된다고 판단한다.

특히 두 번째 Turbine Impeller와 풍력타워의 Casing사이의 Blocking효과는 유입되는 바람의 속도에너지를 매우 급격하게 떨어뜨려 전기 발전을 위한 유효에너지를 소멸시키는 역할을 하게 된다.

이러한 문제를 최소화하고 유입되는 바람의 에너지를 최대한 회전운동에너지로 전환하기 위해서는 <그림 17>의 Casing과 Impeller사이의 간극(clearance)이 매우 적절하게 확보되는 것이 중요하다.

현재 진행 중인 CFD simulation의 결과를 통해 최적의 clearance를 도출할 수 있을 것으로 판단한다.

다. 가용에너지 산출을 통한 발전시스템의 가용성 정리

개발하고자 하는 횡류형 수직풍력발전시스템의 에너지 유효성에 대해 판단을 위해 유체동역학의 이론을 적용하여 산출해 보았다. 그러나 본 연구를 위한 초기단계에서 매우 타당한 대부분의 가정들을 도입하였으며, 결과에 대한 신뢰성이 있을 것으로 판단한다.

매우 중요한 가정 중의 하나인 작동조건의 효율에 대한 가정은 보다 정확한 정보의 획득을 위해 컴퓨터 시뮬레이션을 통한 정성적 분석을 진행하였다.

본 내용에 대해 좀 더 구체적으로 언급을 한다면;

현재까지의 연구에서 아래와 같은 가정으로 접근하였다.

- Diffuser의 효율(η_D):85%
- Turbine Impeller와 Casing의 Blocking 효율(η_B):80%

위의 가정은 충분히 안정적인 가정으로 판단되나 연구 결과에 대한 신뢰성을 높이기 위해 현재까지 진행했던 CFD시뮬레이션의 결과를 반드시 모델실험을 통해 확인해야 된다. 특히 두 번째 Turbine Impeller와 풍력타워의 Casing사이의 Blocking효과는 유입되는 바람의 속도에너지를 매우 급격하게 떨어뜨려 전기 발전을 위한 유효에너지를 소멸시키는 역할을 하게 된다. 이러한 문제를 최소화하고 유입되는 바람의 에너지를 최대한 회전운동에너지로 전

환하기 위해서는 <그림 17>의 Casing과 Impeller사이의 간극(Clearance)이 매우 적절하게 확보되는 것이 중요하다.

라. 발전타워와 발전터빈(Impeller)의 Blockage영향에 관한 해석 결과

발전타워와 터빈 사이의 간격(Clearance)는 유입되는 풍력의 에너지 저감에 매우 큰 영향을 미치게 된다. 본 연구에서는 타워에 설치되는 터빈의 막힘에 의한 에너지 저감현상을 최소화하기 위한 임펠러의 설치간격을 결정하는데 매우 중요한 연구변수라고 판단된다. 또한 막힘(Blockage)에 따른 효율을 예측하여 발전용 터빈 임펠러의 유효 출력(rPower, KW)을 예측하는데 매우 중요한 변수가 될 것으로 판단된다.

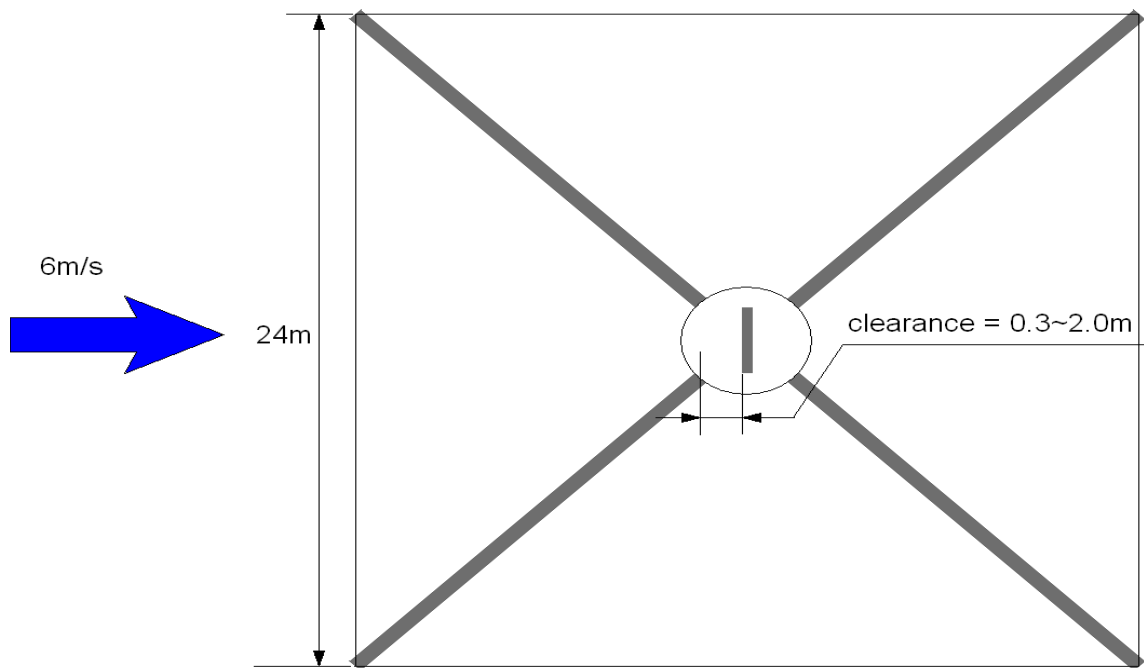
(1) 해석의 조건 :

(가) 간격(Clearance)범위 : 0.3~2.0m

(나) 유입 풍속 : 6m/s

(다) 풍력타워 크기 : 24 x 24 x 4.3(m3)

(2) 성능예측을 위한 해석 모델

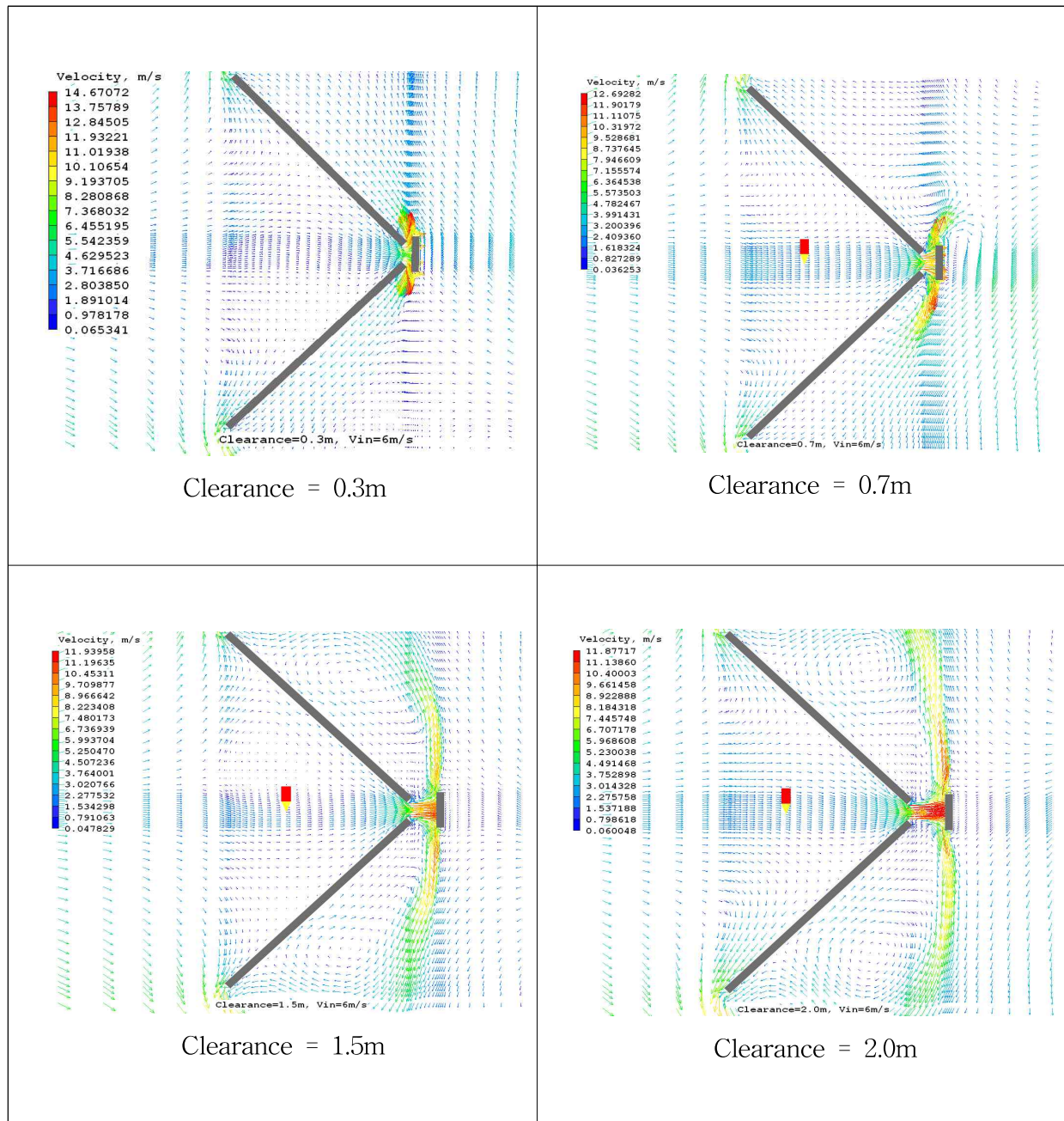


<그림 22> Blockage의 영향에 따른 풍력터빈 임펠러의 효율 저감예측을 위한 해석모델

풍력타워 내부에 풍력터빈 임펠러를 설치함으로써 발생하게 되는 유로의 막힘(Blockage)에 의해 유입되는 공기의 속도가 떨어져 유입되는 공기의 에너지가 손실되는 현상을 정확하게 예측하는 것은 매우 중요하다. 본 해석결과를 통해 유입되는 공기의 에너지 손실을 정확하게 예측하게 되며, 이 손실 값은 실제 발전가용에너지(rPower, KW)를 예측하는데 활용하게 된다.

(3) 시뮬레이션 결과의 정성적 분석

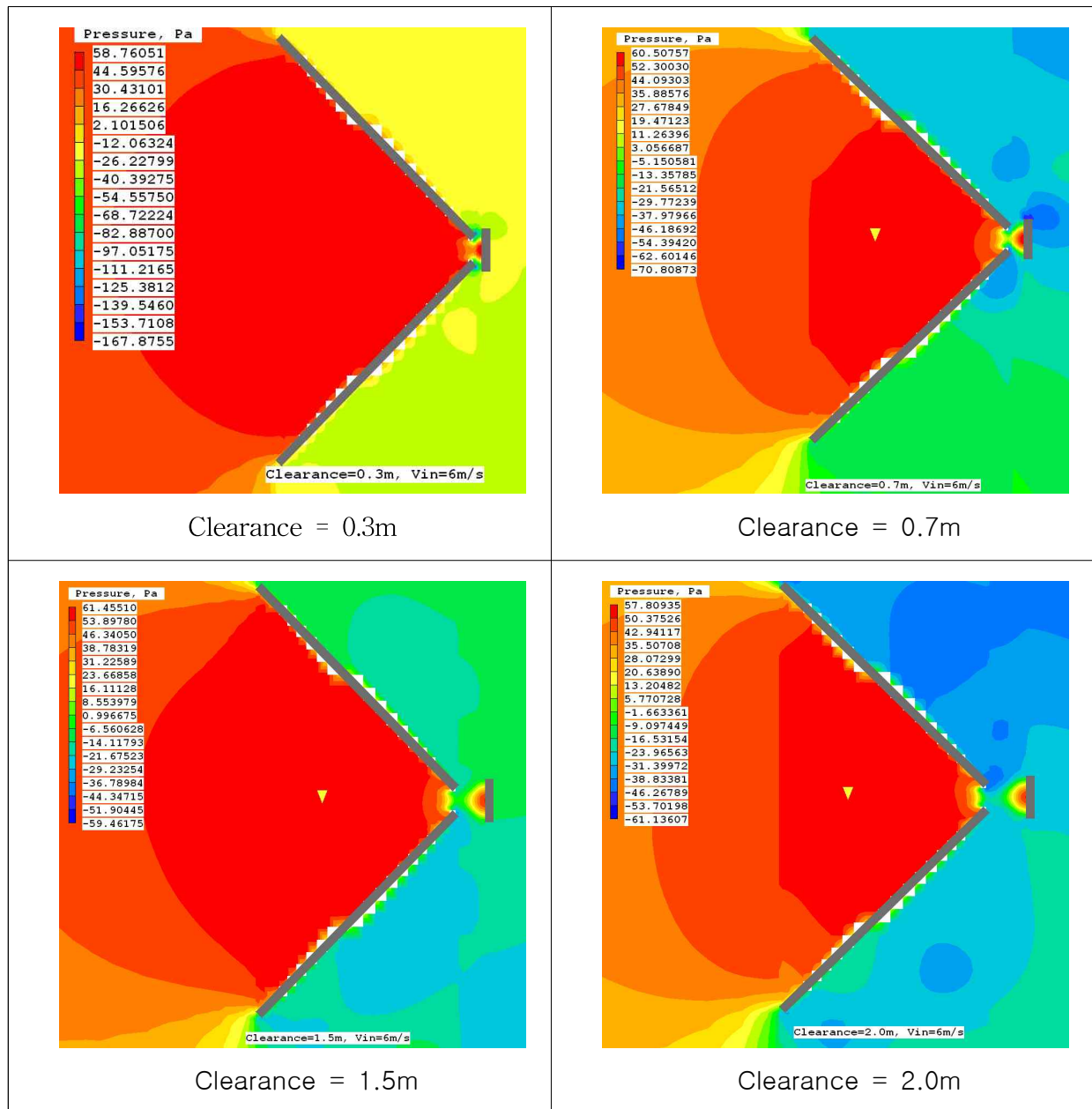
(가) 타워와 임펠러의 간극변화에 따른 공기 토출속도의 변화



<그림 23> 유로의 간극변화에 따른 토출구 유속변화

위의 그림에서 알 수 있듯이 임펠러와 타워 하우징의 거리가 멀어질수록 타워출구의 최대속도가 감소함을 알 수 있다. 이는 유로 저항이 적게 걸린다는 것을 의미한다.

(나) 타워와 임펠러의 간극변화에 따른 공기 토출압력의 변화



<그림 24> 유로의 간극변화에 따른 유로에서의 압력변화

유로 내에서의 정압 역시 간극의 변화에 따라 변화한다는 사실을 알 수 있다. 그러나 1.5m의 간극에서 최대값에 도달한다는 사실을 알 수 있다.

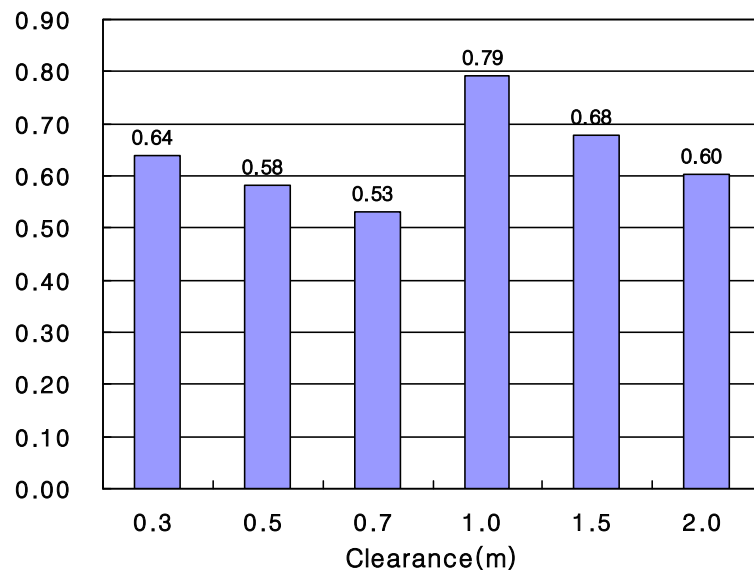
(4) 시뮬레이션 결과의 정량적 분석

본 시뮬레이션을 통해 간극(Clearance)의 변화에 따른 유로 내부의 저항을 고려하여 막힘의 영향에 따른 터빈 임펠러의 에너지 손실을 고려하기 위해 유량계수(Flow coefficient)를

분석해 보았다.

$$C_f = \frac{\dot{m}_{out}}{\dot{m}_{in}}$$

<그림 25>는 임펠러와 타워 유로의 간극변화에 따른 유량계수의 변화를 보여준다. 간극의 길이가 1.0m일 때 유량계수가 최대인 0.79가 산출되었다.



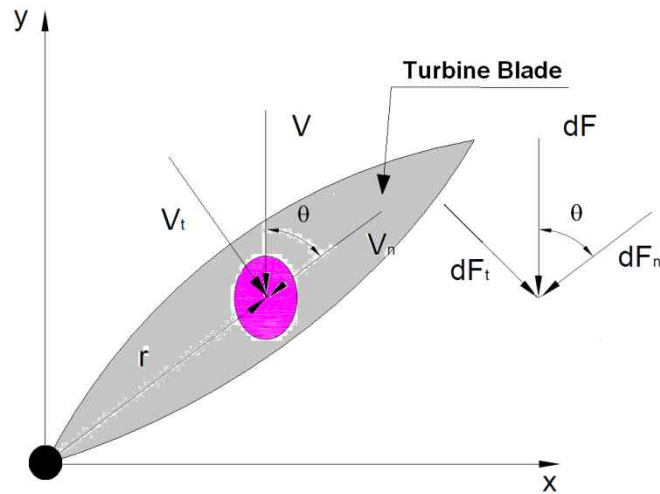
<그림 25> 간극 변화에 따른 유량계수의 변화

마. 풍력터빈 임펠러 설계이론 및 주요 변수연구

(1) 풍력터빈 임펠러의 설계이론

터빈임펠러의 이론 설계는 운동량 보존의 법칙에서부터 시작되며, 이때 회전운동을 하는 터빈, 압축기와 같은 장치의 터빈 임펠러 설계는 각운동량방정식으로부터 시작된다. 아래의 <그림 26>에서처럼 (x-y)평면상의 원점에서 (r)반경의 거리에 위치한 미소체적의 물체가 임의 방향으로 (dF)의 힘을 받았다고 가정하자. 이때 이 미소체적을 터빈 Rotor blade라고 가정할 수도 있다.

외부로부터 터빈의 임펠러 날개가 받게 되는 힘의 작용력(dF)은 반경(r)방향에 수직방향(tangential)과 수평방향(normal)의 힘으로 나누어 생각할 수 있다. 미소물체를 회전시키려는 힘은 (dFt)의 성분이며, 이때의 moment(dTs)의 크기는;



<그림 26> 터빈 날개 상에 작용하는 운동량

$$dT_s = r dF_t$$

여기서 dF_t 는 선형운동량 방정식으로부터 산출할 수 있다.

$$\sum F_t = \iint_{CS} V_t \rho V_n dA + \frac{\partial}{\partial t} \iiint_{CV} T_t \rho dV$$

전체 운동량의 식은;

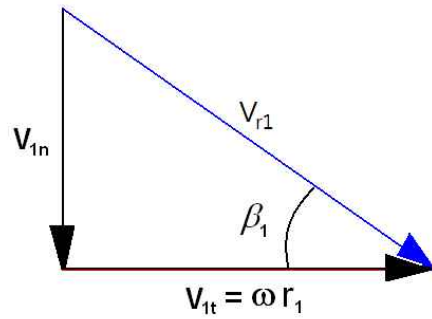
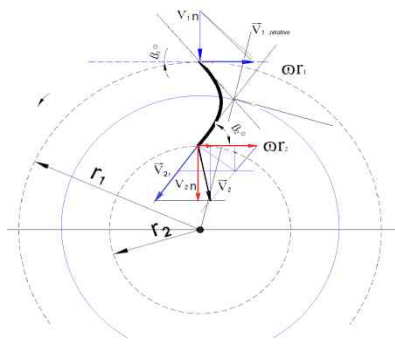
$$T_s = \frac{\partial}{\partial t} \iiint_{CV} (\bar{r} \times \bar{V}) dm + \iiint_{CV} (\bar{r} \times \bar{V}) (\rho \bar{V} \times d\bar{A})$$

정상상태의 식은;

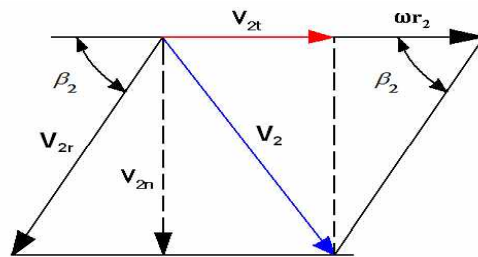
$$T_s = \iint_{CS} (\bar{r} \times \bar{V}) (\rho \bar{V} \times d\bar{A})$$

이러한 각운동량 방정식을 회전체에 적용하여 Euler 운동량 방정식으로부터,

(가) 임펠러 입구에서의 속도삼각형;



(나) 임펠러 출구에서의 속도삼각형;



where

$$V_{1t} = \omega r_1 \quad V_{2t} = \omega r_2 - \frac{V_{2n}}{\tan \beta_2}$$

질량유량;

$$\dot{Q} = A V_n$$

Where A : 터빈의 공기유입면적 (날개의 높이 x 바람의 유입폭)

임펠러 회전축에서의 토크;

$$\tau_s = \rho \dot{Q} (r_1 V_{1t} - r_2 V_{2t})$$

최종적으로 발생동력의 크기;

$$Power = N \times \tau_s = \frac{2\pi N}{60} \times \tau_s$$

(2) 풍력터빈 임펠러의 입·출구 각도 결정

풍력터빈 임펠러의 입·출구 각도(β_1, β_2) 결정은 풍력터빈의 출력을 결정하는 매우 중요한 인자이다.

(가) 임펠러 유입각도(β_1)

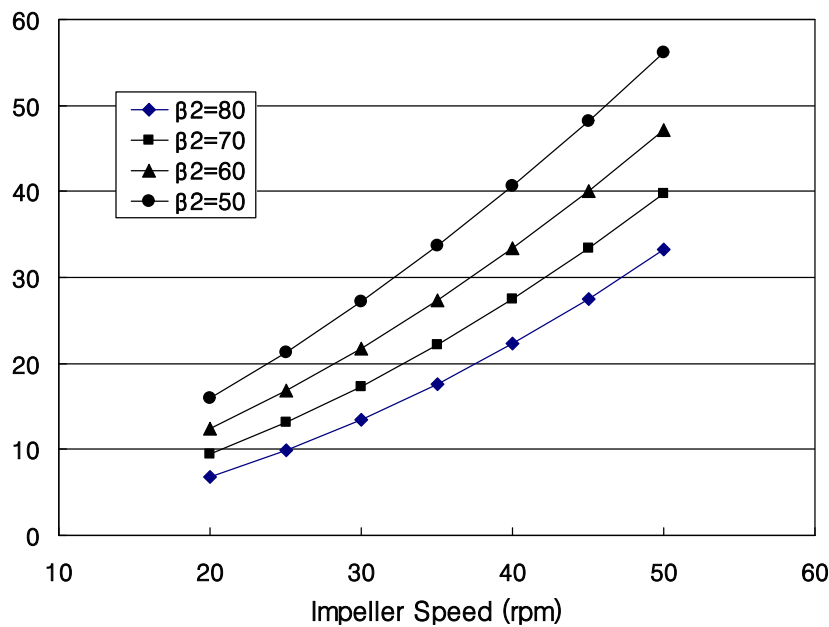
바람의 유입각(β_1)과 터빈 임펠러의 원주 속도의 상대속도(V_{r1})에 의해 결정된다.

(나) 출구각도(β_2)

임펠러 출구각도(β_2)는 터빈의 요구출력을 고려하여 결정하게 된다. 임펠러 출구각도의 크기가 클수록 터빈의 출력은 증가하게 되나 지나치게 커지게 되면 날개 뒷 내부에서의 와류발생으로 인해 출력이 다시 감소하게 된다.

(3) 임펠러 최적화 설계를 위한 변수연구

(가) 터빈 날개의 출구각(β_2) 및 회전수 변화에 따른 임펠러 출력(kW)의 변화



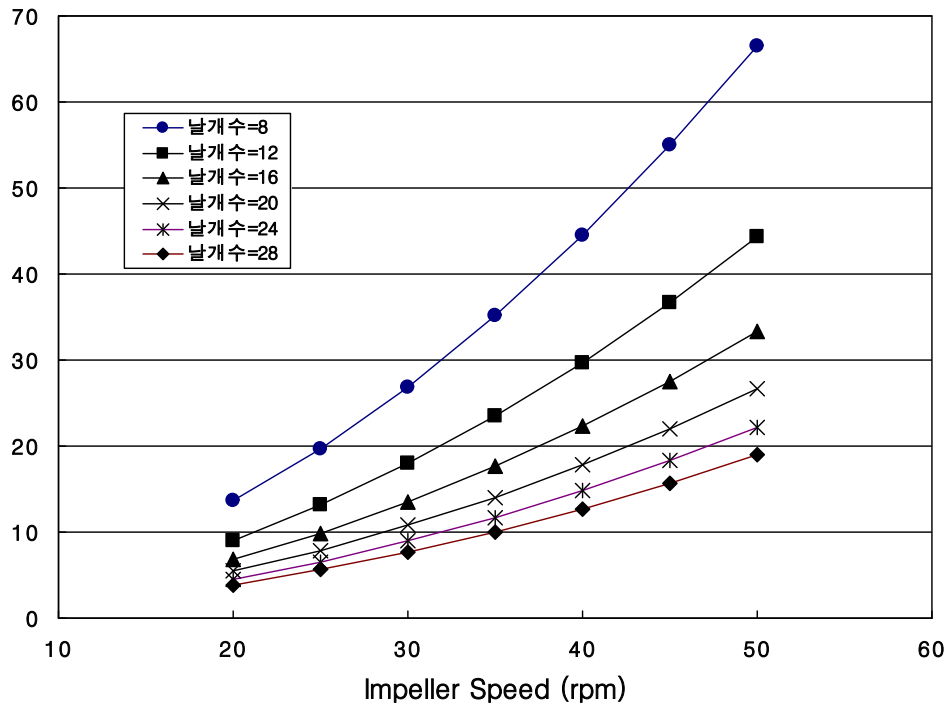
<그림 27> 임펠러 날개의 출구각도(β_2)와 임펠러 회전수 변화에 따른 터빈 출력변화 (날개 개수 = 16개, 입구바람속도=10m/s, Clearance=0.1m, (H/T)r=0.5)

위의 출력 값은 날개갯이 16개인 임펠러에서 날개 출구각도(β_2)의 변화에 따라 생산하는 날개 1개당의 출력에너지를 나타낸다. 임펠러에서 생산되는 되는 총 유효출력은 유효한 날개의 개수를 곱하므로써 예측할 수 있다.

출력의 결과를 분석해 보면;

- 터빈의 회전수가 증가할수록 모든 출구의 각도(β_2)에서 출력이 증가한다는 사실을 알 수 있다.
- 임펠러 출구의 각도(β_2)가 감소할수록, 즉 날개의 출구 각도를 입구 각도(β_1)에 비해 많이 꺾어 줄수록 출력이 증가한다는 사실을 알 수 있다. (그러나 출구각(β_2)의 크기가 어느 범위를 벗어나게 되면 터빈 날개의 표면에서 흐름이 분리되는 현상으로 인해 오히려 출력이 감소되는 현상을 나타내게 된다. 이를 위해 실험적 연구의 결과가 병행되어야 한다.)

(나) 풍력터빈 임펠러의 날개 개수와 회전수 변화에 따른 임펠러의 출력(kW)의 변화



<그림 28> 임펠러 날개의 개수와 임펠러 회전수 변화에 따른 터빈 출력변화
(출구각도(β_2)=80도, 입구바람속도=10m/s, Clearance=0.1m, (H/T)r=0.5)

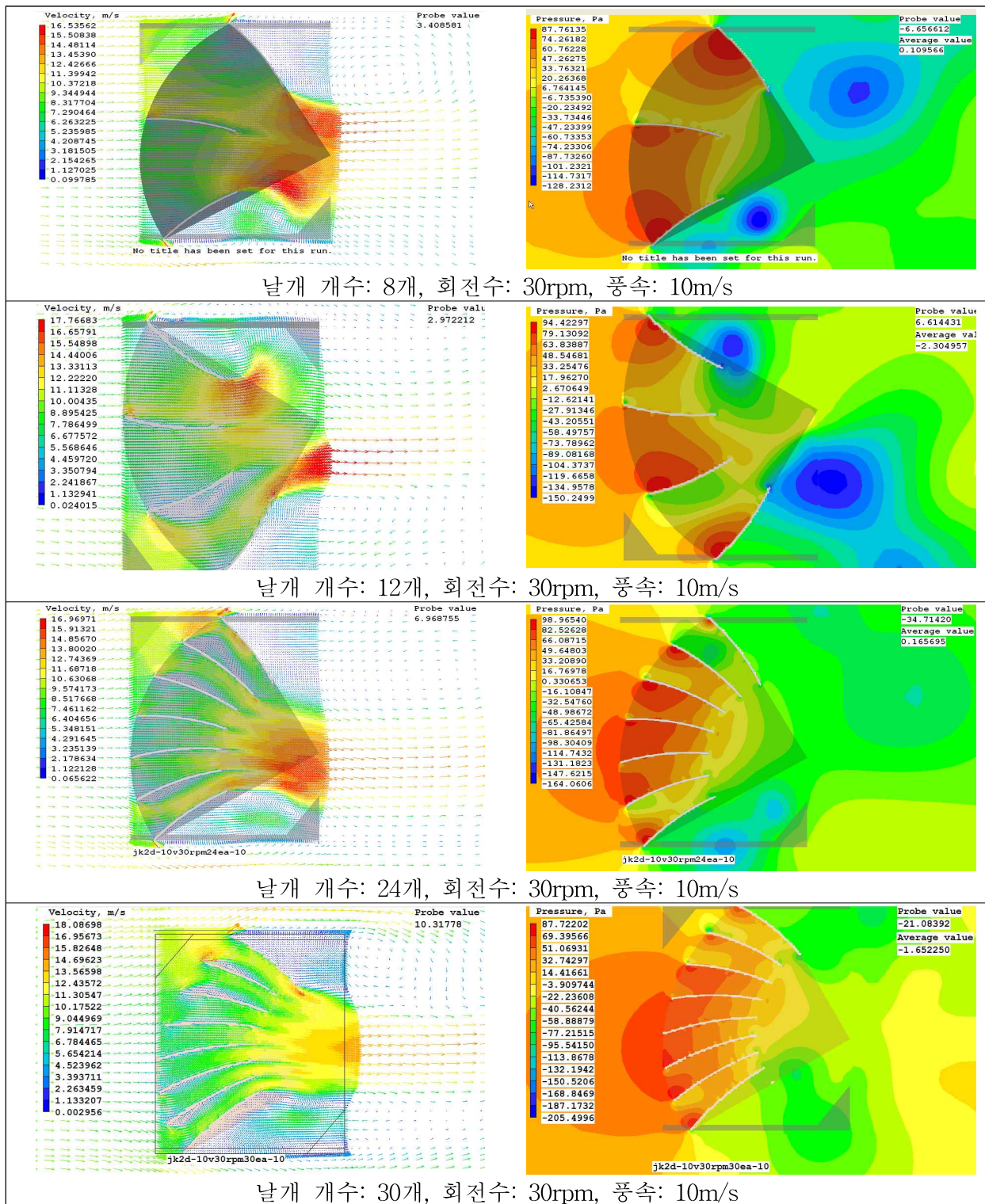
위의 <그림 28>에서는 날개 출구각도(β_2)를 80도로 고정하고 터빈의 회전수 및 날개의 개수 변화에 따른 임펠러 날개 1개에서 생산하는 출력에너지를 나타낸다. 임펠러에서 생산되는 총 출력에너지는 유효한 날개의 개수를 곱해주므로 서 예측할 수 있다.

출력의 결과를 분석해 보면;

- 터빈의 회전수가 증가할수록 날개의 개수에 상관없이 출력에너지가 증가한다는 사실을 알 수 있다.
- 임펠러 날개의 개수가 증가할수록 날개 1개당 출력에너지가 감소한다는 사실을 알 수 있다. 그러나 총 출력에너지는 날개 1개당의 유효에너지를 유효한 날개의 개수만큼 곱해주므로 써 구할 수 있으므로 터빈 임펠러당의 총 출력은 날개의 개수가 많을수록 출력이 증가하게 된다.

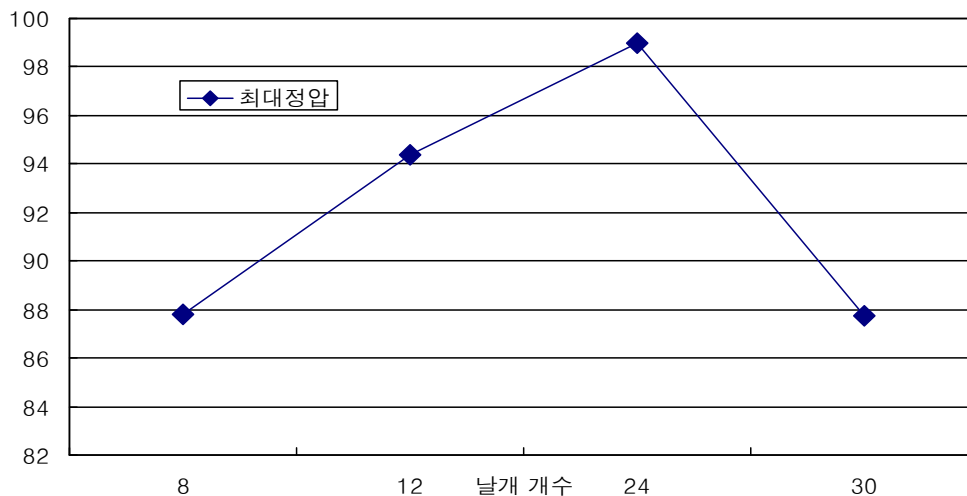
$$[\text{터빈의 총출력 에너지} = (\text{날개1개당의 출력에너지}) \times (\text{유효 날개의 개수})]$$

(4) 날개의 개수 결정을 위한 시뮬레이션 해석 결과의 정성적 분석



<그림 29> 날개의 개수 결정을 위한 시뮬레이션 해석 결과

위의 <그림 29>에서 알 수 있듯이 날개의 개수가 증가할수록 터빈 날개 상에 발생하는 정압이 높아진다는 사실을 알 수 있다.



<그림 30> 날개 개수의 변화에 따른 유동장내에서의 최대 정압변화 비교

위의 결과는 풍속이 10m/s인 공간에서 터빈의 회전수가 30rpm으로 회전할 때 터빈 임펠러 내부에서 발생하는 최고의 정압을 비교, 분석한 결과이다. 터빈 날개의 개수가 24개일 때까지 유로내부의 최대 정압이 증가하는 것으로 산출되었으며, 30개에서는 오히려 최대 정압이 감소되는 현상을 보이고 있다. 즉 날개의 개수가 24개일 때 최대의 정압이 발생하며 이때 최대의 터빈 출력을 기대할 수 있다.

(5) 회전임펠러의 유동장 해석결과

(가) 공기 장에서 Impeller주위에서의 유동현상 및 압력분포

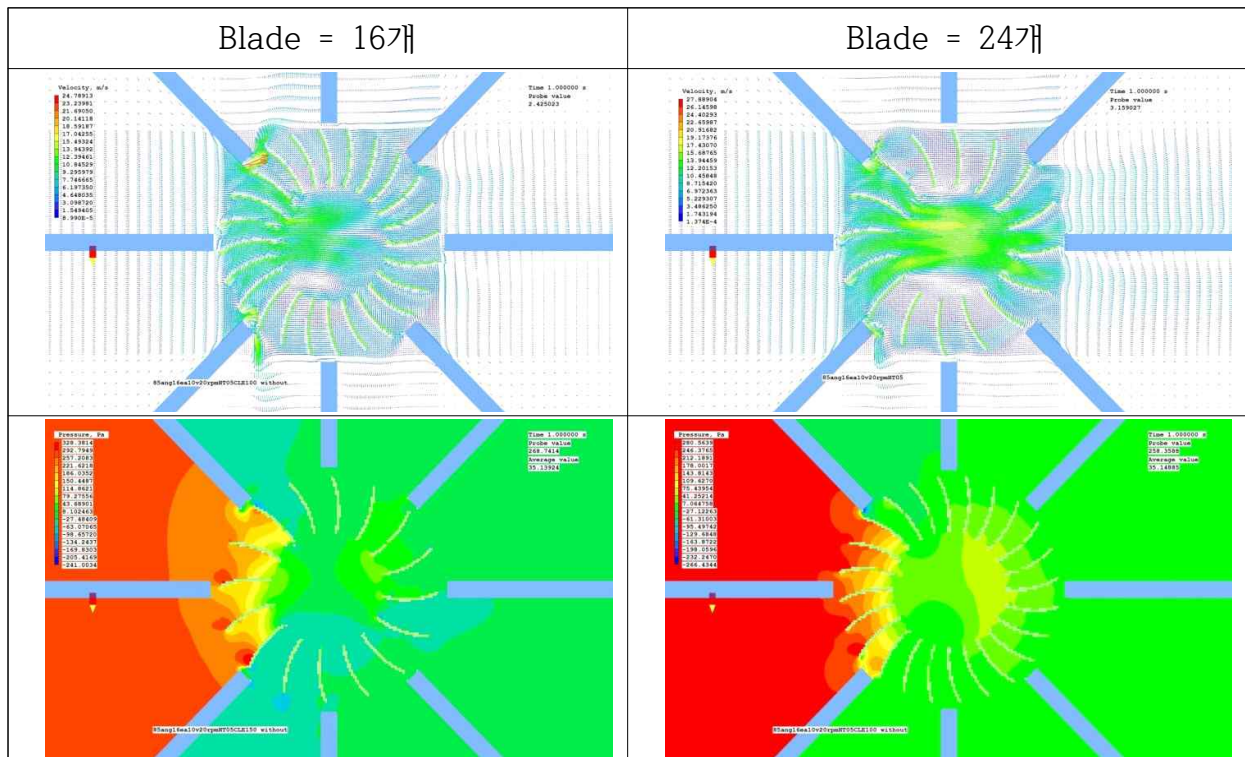
(해석조건)

$V_{in} = 10\text{m/s}$ $\text{rpm} = 20 \text{ rpm}$

출구각도(β_2) = 85도 $(H/T) = 1.0/2.0 = 0.5$

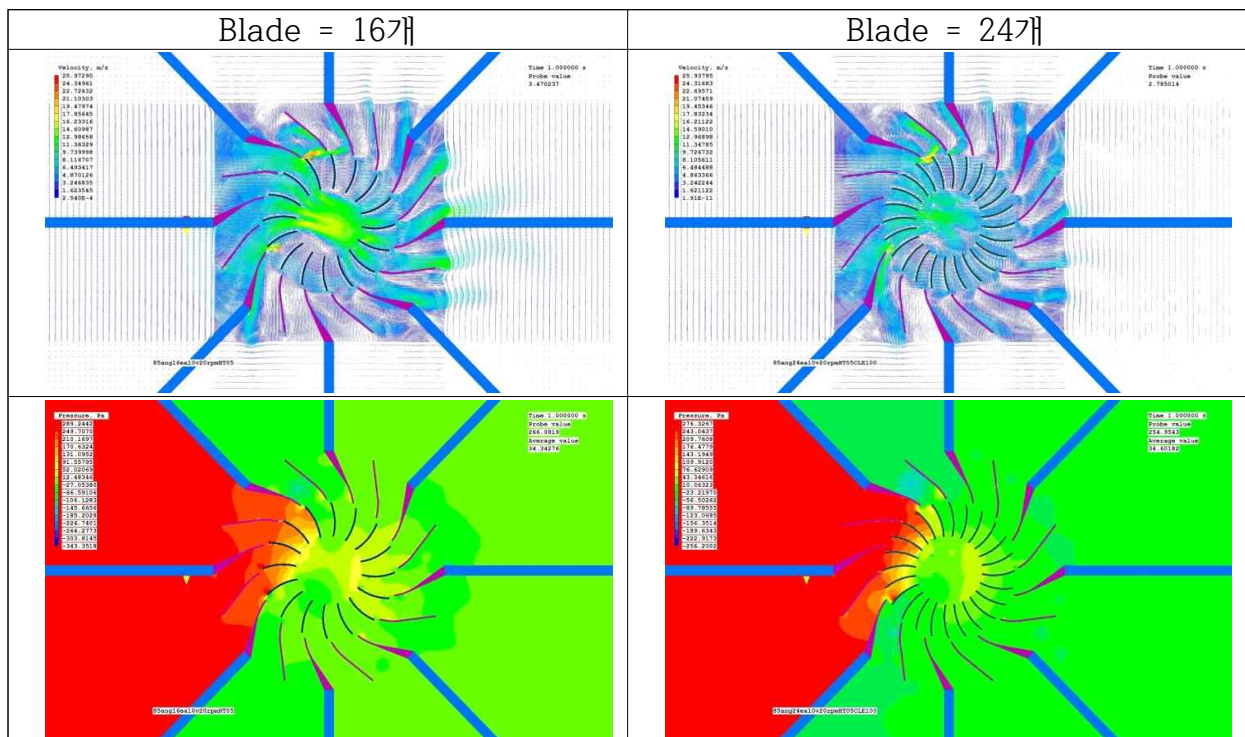
No. of Blade = 16개, 24개 Clearance = 0.1m

(해석결과) 속도벡터와 압력분포의 비교(Guide Vane 없음)



<그림 31> 가이드 베인이 없는 상태에서 임펠러 유동장 내부에서의 속도분포와 압력분포 비교

(나) 속도벡터와 압력분포의 비교(Guide Vane 있음)



<그림 32> 가이드 베인을 설치한 상태에서 임펠러 유동장 내부에서의 속도분포와 압력분포 비교

(다) 간격(Clearance)의 크기변화에 따른 Impeller주위에서의 유동현상 및 압력분포

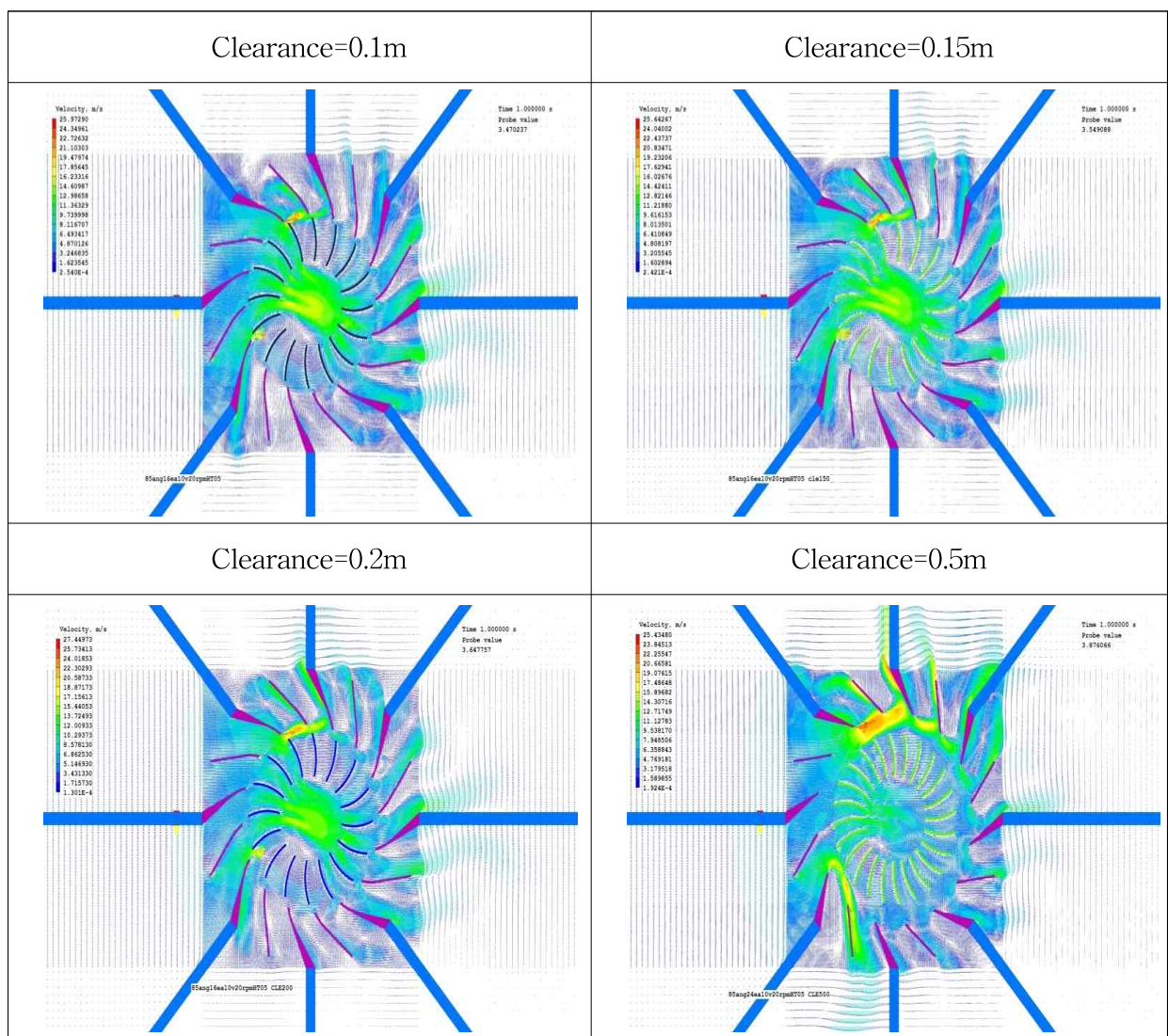
(해석조건)

$V_{in} = 10\text{m/s}$
출구각도(β_2) = 85도
No. of Blade = 16개

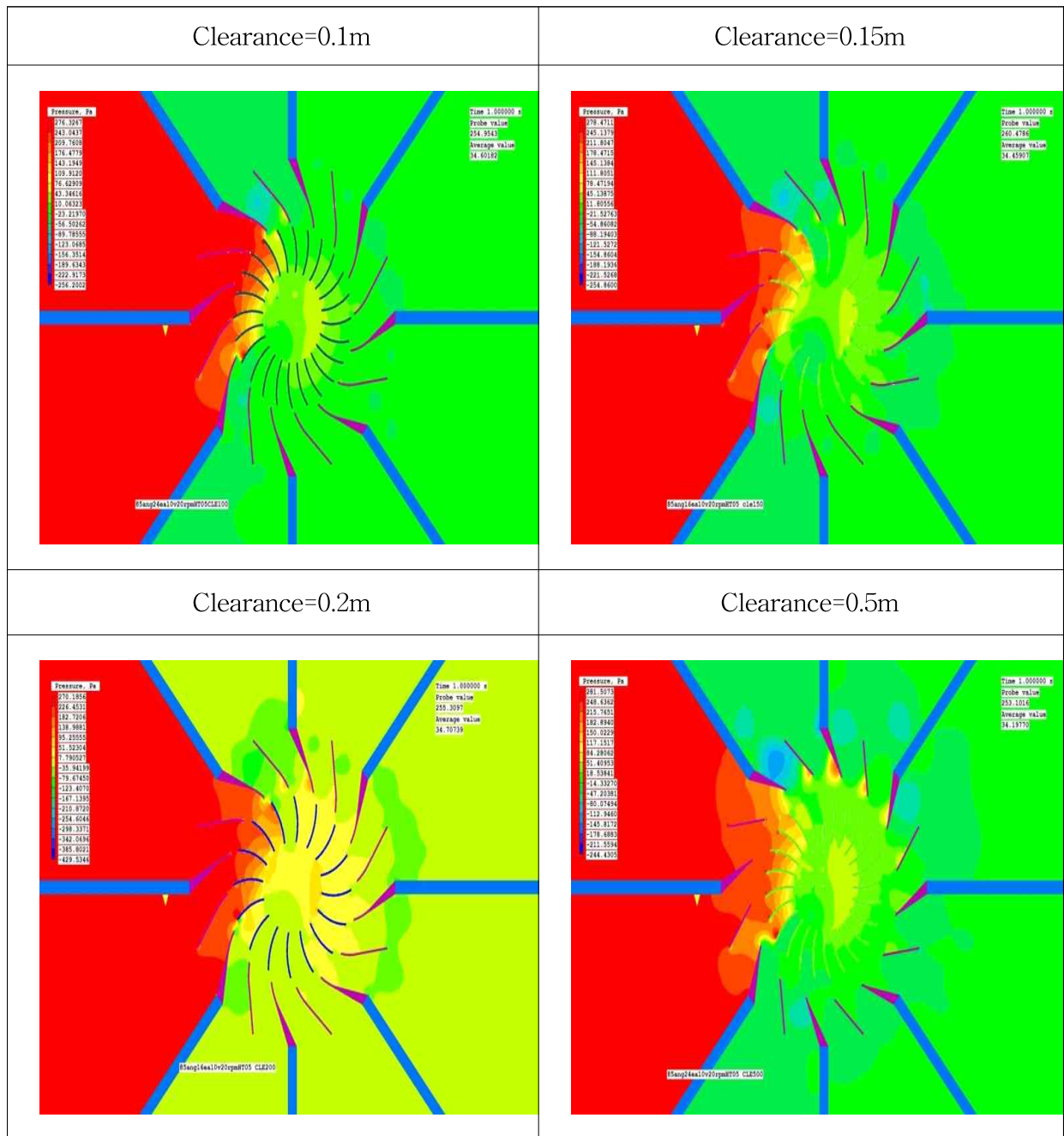
$\text{rpm} = 20 \text{ rpm}$
 $(H/T) = 1.0/2.0 = 0.5$
Clearance = 0.1m, 0.15m, 0.2m, 0.5m

(해석결과)

속도벡터와 압력분포의 비교(Guide Vane)



<그림 33> 임펠러 간격의 변화에 따른 임펠러 유동장 내부에서 유동현상의 비교



<그림 34> 임펠러 간격의 변화에 따른 임펠러 유동장 내부에서 압력분포 비교

위의 <그림 33>와 <그림 34>에서는 가이드 베인이 설치된 상태에서 간극(clearance)의 변화에 따른 임펠러 날개상의 유동특성을 비교해 보았다. 그림 18에서 알 수 있듯이 간극이 커질수록 운동에너지 손실이 간극을 통해 발생한다는 사실을 이해할 수 있다. 그림 19에서는 간극이 0.15m에서 최대 정압이 벤투리의 목에서 발생한다는 사실을 알 수 있었다.

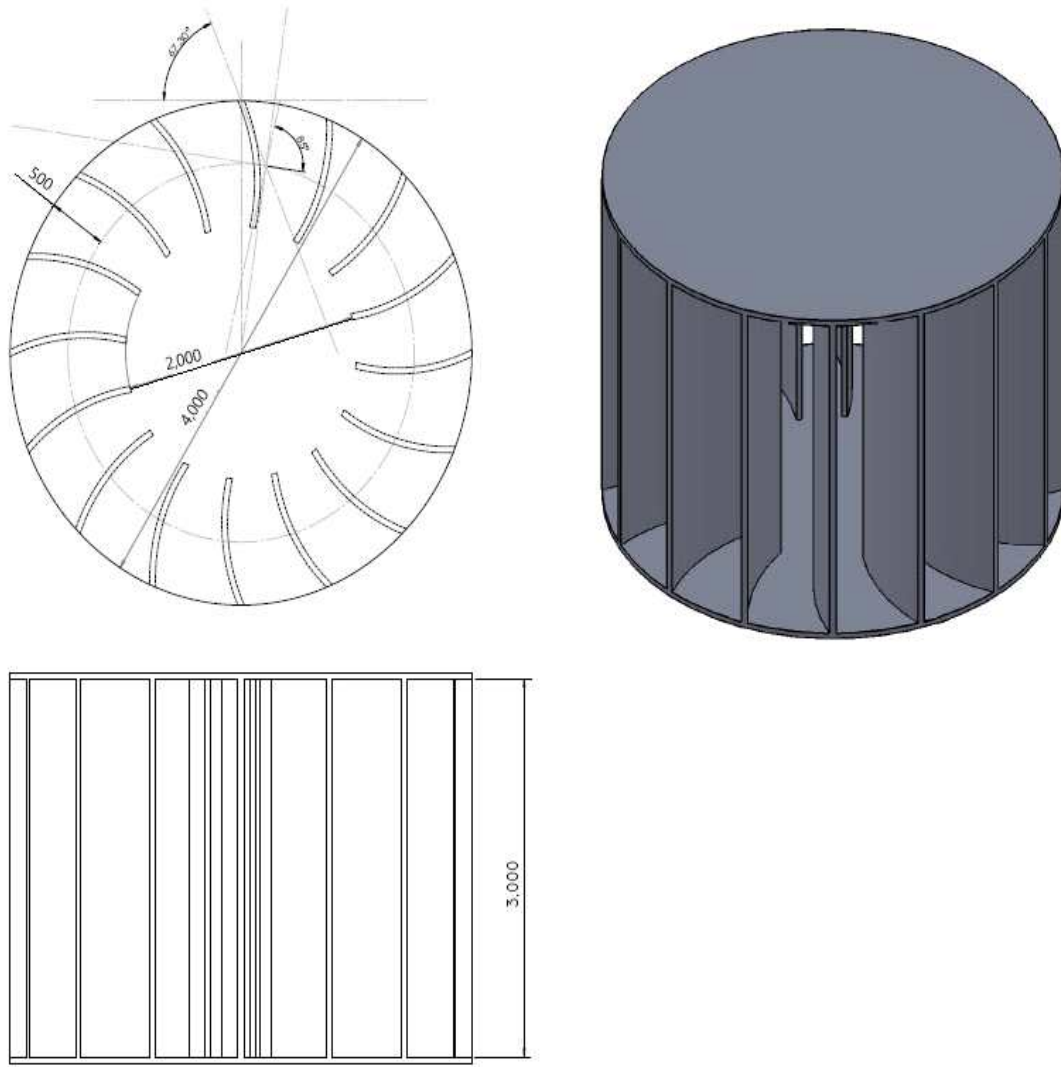
3. 최종 설계안

가. 설계안

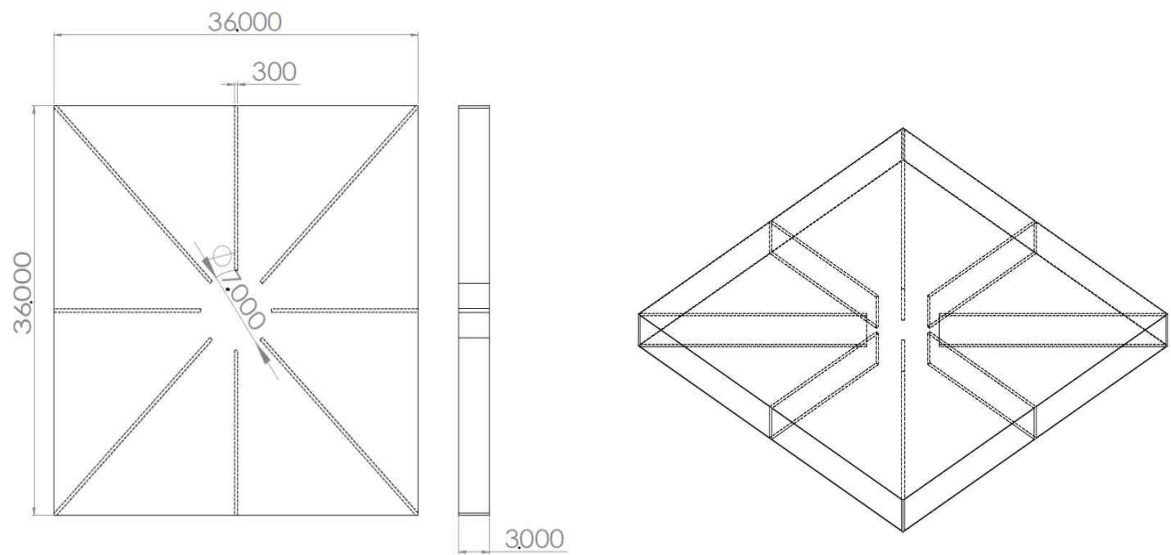
본 연구를 통해 제시된 횡류형 수직풍력발전터빈의 2차원 도면은;

임펠러의 제원 : 직경= 4m, 높이= 3.0m, 날개 개수= 16개, (hub/tip)r= 0.5

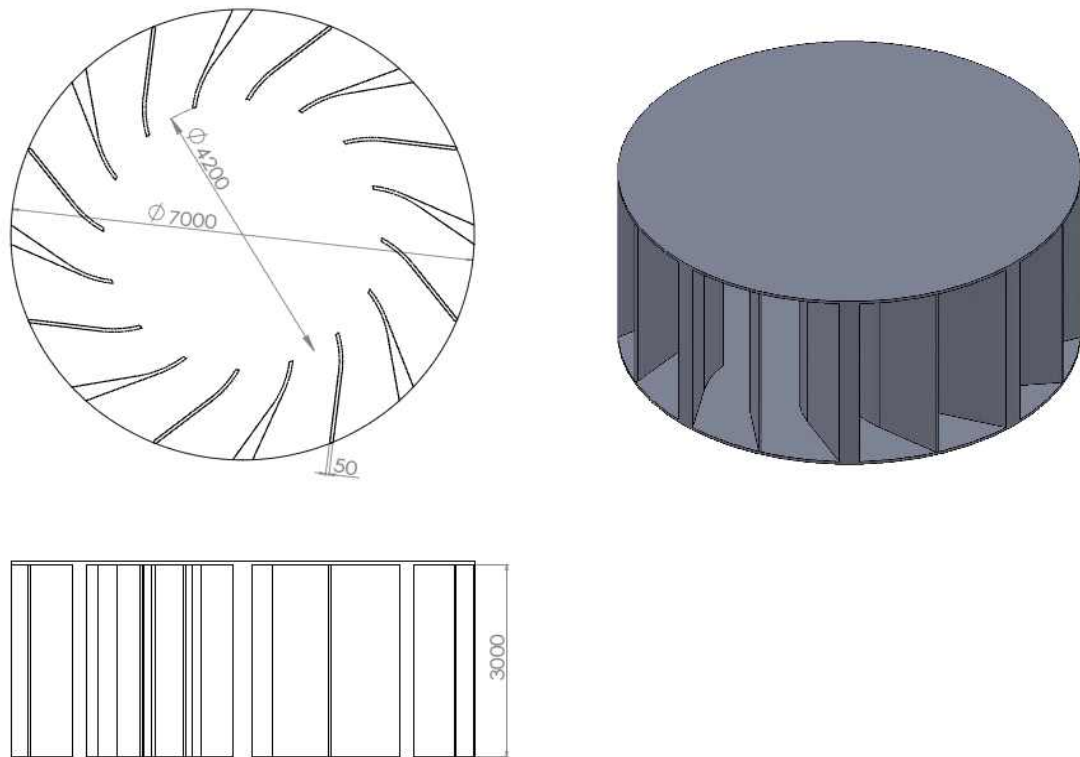
(1) 터빈 임펠러의 2차원 도면



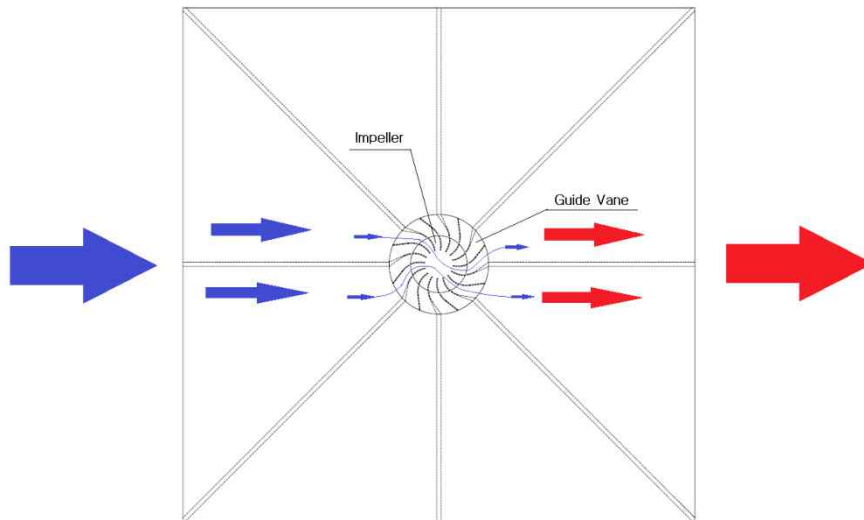
(2) 풍력터빈의 Housing



(3) 풍력터빈 입구 가이드 베인의 3차원 형상



(4) 조립된 상태의 3차원 풍력터빈 형상



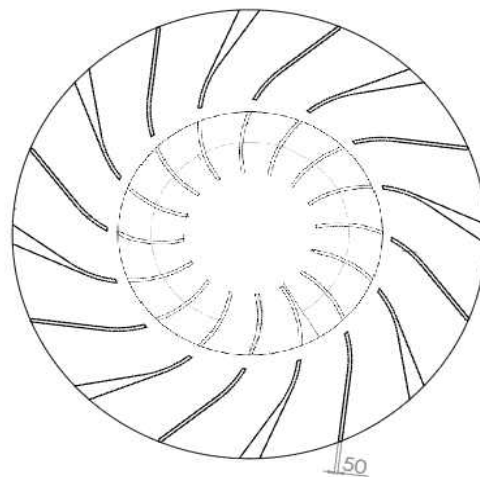
(5) 최종 터빈모델의 Specification

날개의 개수 : 16개

최적 간극 : 0.1m

Hub/Tip : 0.5

작동풍속 : 8~12m/s

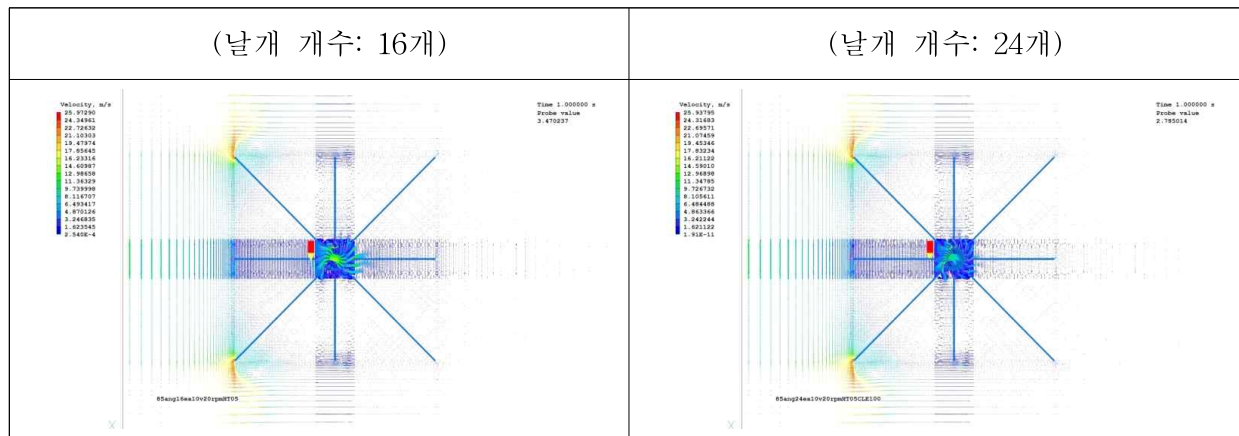


(6) 설계 완료된 풍력발전시스템의 축소모델 제작

Appendix :

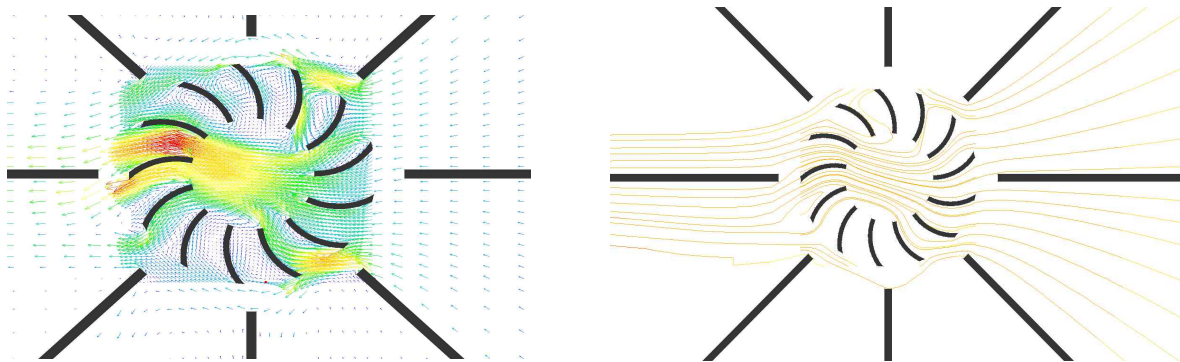
Appendix I : CFD 시뮬레이션의 결과

풍력타워로 유입되는 공기의 속도(10m/s) 조건에서 속도분포와 흐름특성



<그림 36> 풍력타워 유로 내부에서의 공기의 흐름 특성분포
(날개 개수: 16개, 24개, 간극: 0.01m)

위의 <그림 36>에서 알 수 있듯이 24개의 날개에 비해 16개의 날개인 경우가 임펠러날개 사이를 통과하는 공기흐름의 속도가 빠르다는 사실을 알 수 있다. 유입되는 공기가 임펠러로 집중되어 가속된다는 사실을 알 수 있다. 임펠러 내부의 유동을 좀더 자세히 살펴보면,



<그림 37> 터빈 임펠러 주위에서 공기 유동현상

풍력터빈 날개의 후방에서 매우 강한 소용돌이가 유동현상이 발생한다는 사실을 알 수 있으며, 이는 바람의 에너지를 소멸시키는 역할을 하게 되며 풍력터빈에서의 회전토크를 떨어뜨려 발전효율을 저감시키게 된다. 이러한 분석을 통해;

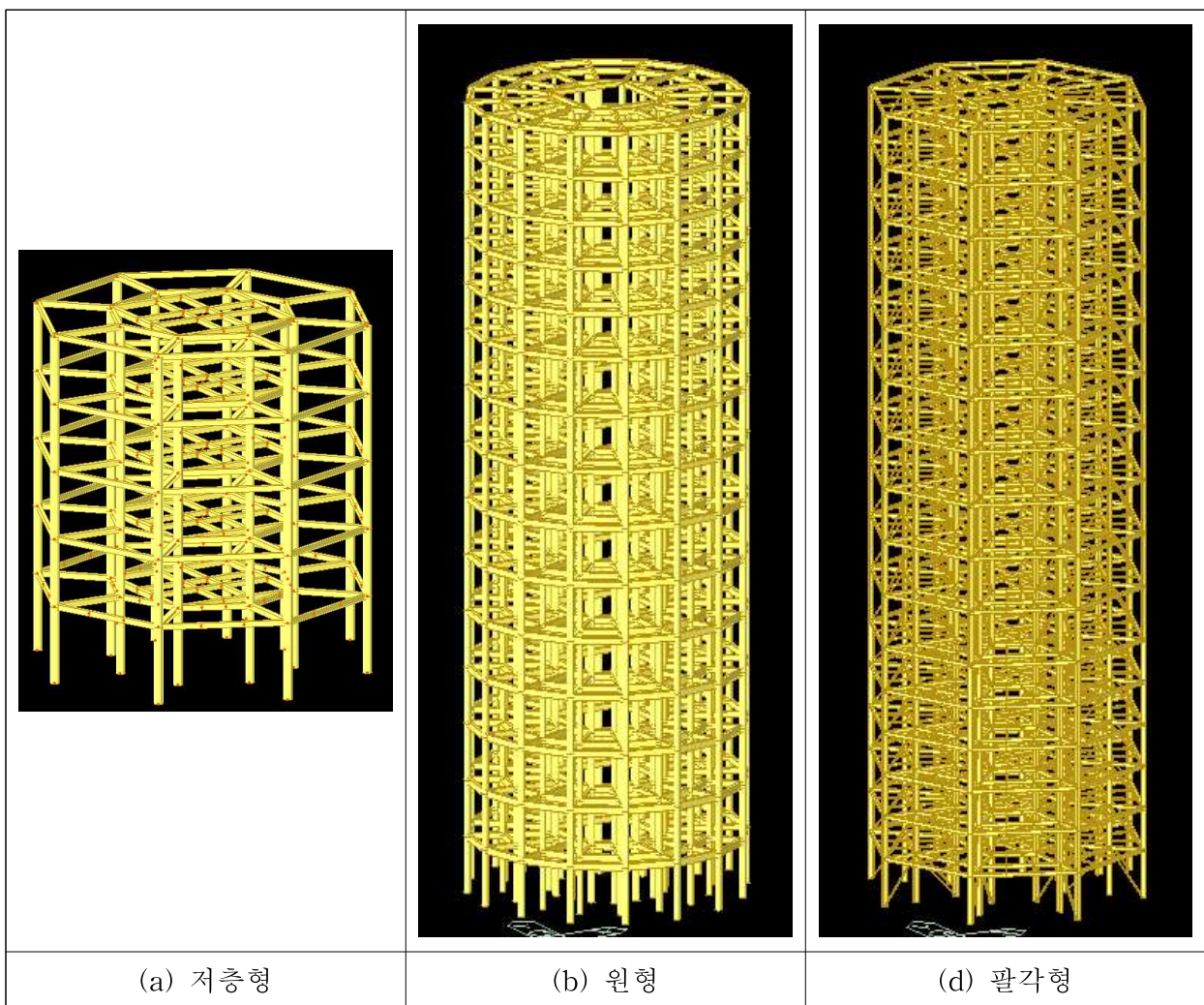
- ① 최적의 간극(clearance)결정
- ② 최적의 풍력터빈 날개 설계(날개의 각도와 개수, 터빈의 (hub/tip)비율 결정)

의 설계치를 결정하고 최적 형상의 유로와 임펠러의 형상을 결정하게 된다.

나. 타워형 구조물의 설계안 도출 및 발전시스템 설계, 제작

(1) 타워형 구조물의 설계

- 건물에 풍력발전을 적용하는 것은 일반적으로 풍력자원이 풍부한 해상지역이나 산간지역에 대형으로 설치하는 독립형과는 다른 개념이 필요하다.
- 건물 설치형 풍력발전시스템은 모듈화 소형화하여 건물의 외벽이나 옥상에 배치하여 의장적 요소와 기능적 요소를 동시에 부여하고자 하는 것으로 정의할 수 있다.
- 건물에 설치를 위한 횡류형 원심터빈을 사용한 풍력타워의 설계를 위해 기본 형상은 중심축에 풍속이 증폭될 수 있도록 원형, 8각형 형상의 평면으로 설계되었으며, <그림 38>과 같다.

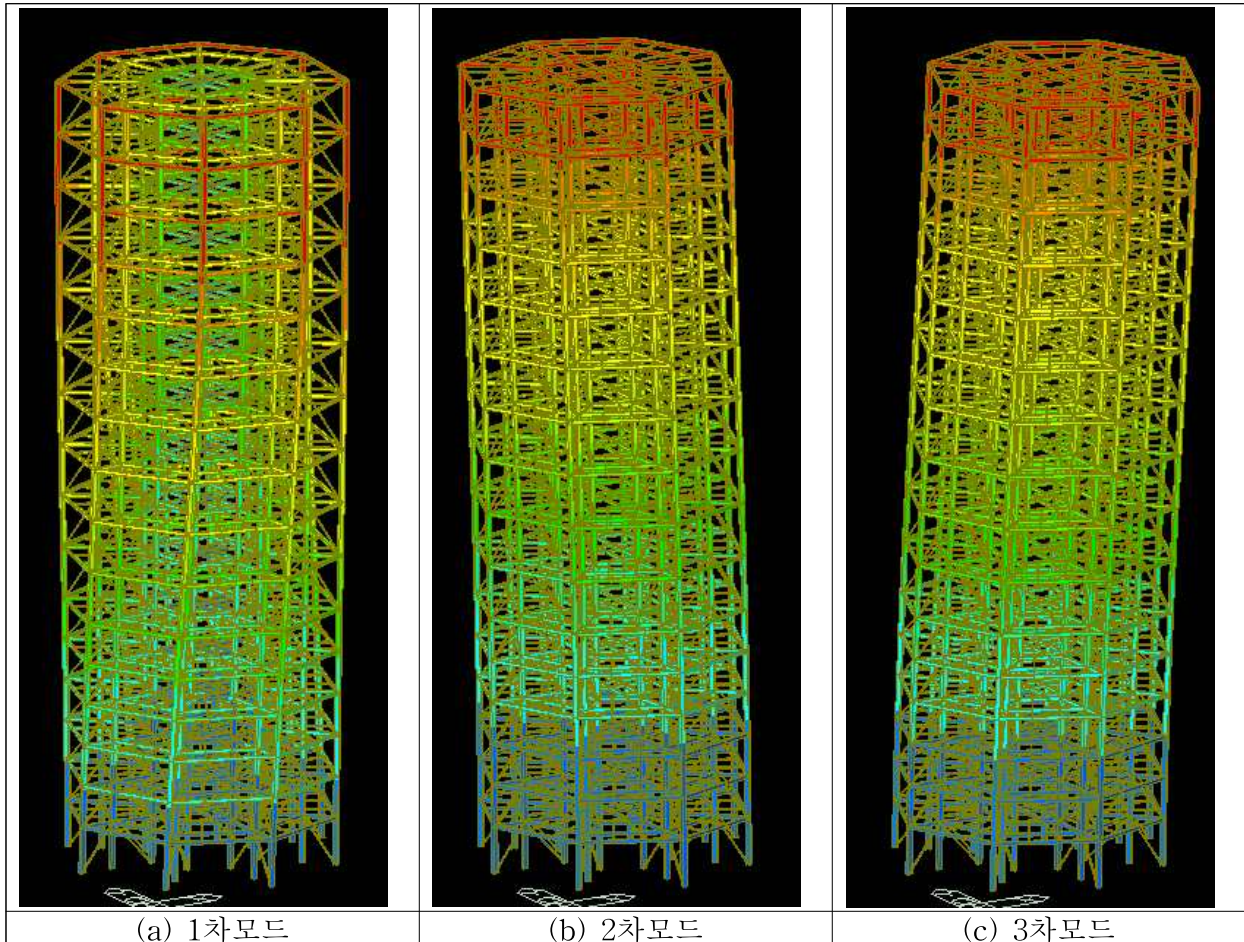


<그림 38> 횡류형 풍력발전타워 설계

- 해석결과 높이 30m에서는 별도의 수평보강없이 풍력타워의 설계가 가능하였으며, 높이 70m 모델에서는 풍력타워에 수평 브레이싱을 했을 경우(모델 c) 1/300 변위

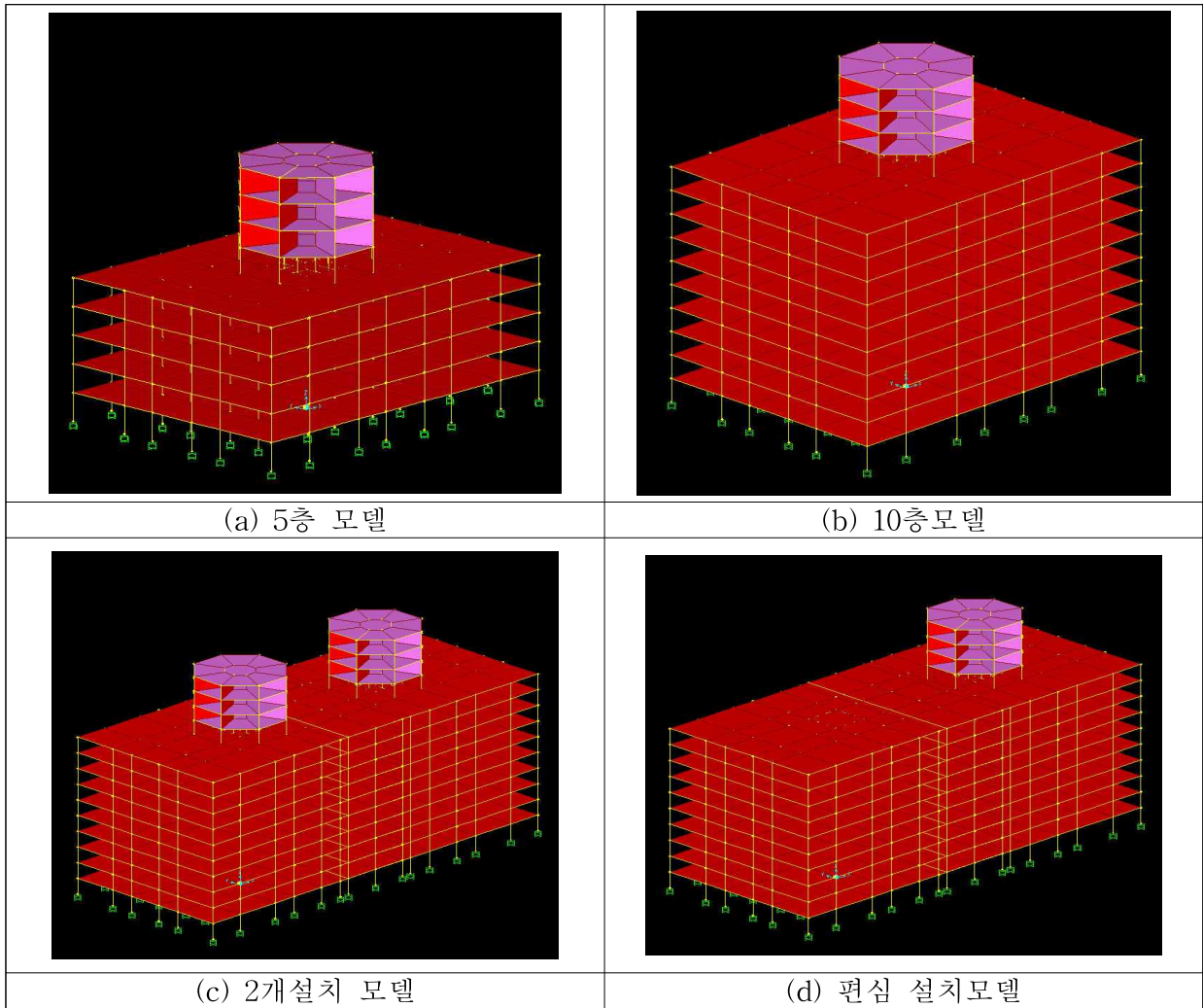
를 만족하는 것으로 나타났다.

- 원형과 팔각형 모델 중에서는 부재의 성능상 원형모델이 보다 우수한 결과를 나타내었으나, 시공성 및 발전타워의 설치 등에 대한 제약조건을 고려하면 팔각형모델에 H형강 기둥의 형태가 보다 합리적으로 판단된다.



<그림 39> 횡류형 풍력발전타워의 동적거동

- 건물에 풍력발전타워의 설치 시 거동을 분석하기 위해 5,10층 모델의 옥상에 풍력발전타워를 설치한 경우와 평면이 긴 건물에서 풍력발전타워를 한쪽만 설치한 경우 등으로 나누어 설계를 수행하였으며 각 모델은 <그림 39>와 같으며, 각부재의 단면 및 설계 조건은 [표 3] ~ [표 5]와 같다.



<그림 40> 건물통합형 풍력발전시스템의 해석모델

[표 3] 부재단면리스트

모델	부재	크기(mm)	배근
5층 모델	기둥(외부)	500×500	8-D22, D10@350
	기둥(내부)	500×500	8-D22, D10@350
	보	400×600	4-D19, D10@300(단부) 4-D19, D10@300(단부)
10층 모델	기둥(외부, 1~5층)	500×500	8-D22, D10@200
	기둥(외부, 6~10층)	600×600	10-D22, D10@250
	기둥(내부, 1~5층)	600×600	10-D22, D10@250
	기둥(내부, 6~10층)	600×600	10-D22, D10@250
	보	400×600	4-D19, D10@300(단부) 4-D19, D10@300(단부)

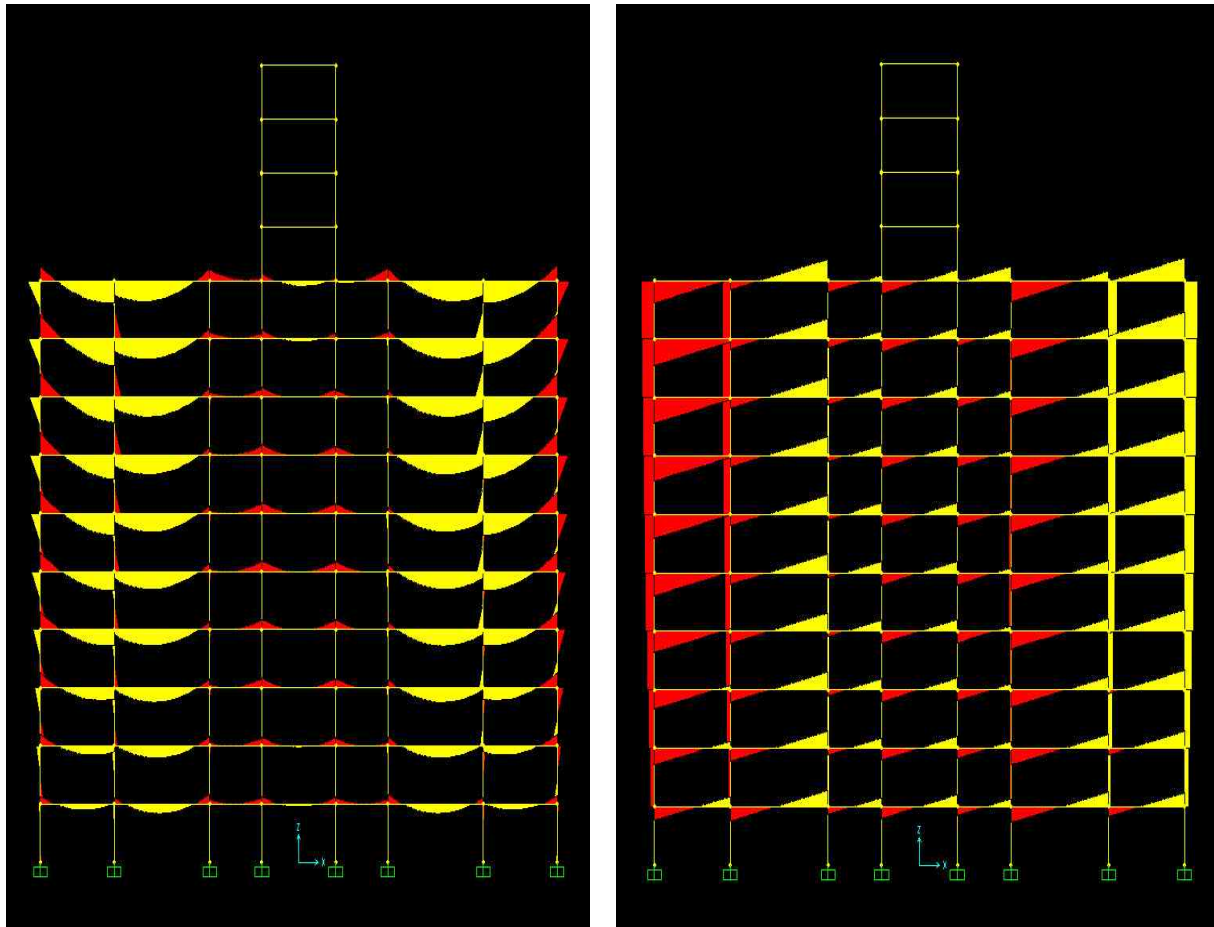
[표 4] 내진설계 조건

구분	변수	비고
지역계수(A)	0.22	지역 1 (서울)
지반조건	Sd	Solid Soil
중요도계수(IE)	1.2	중요도계수 : I
반응수정 계수(R)	3.0	
시스템초과계수(Ω_0)	3.0	
변위증폭계수(Cd)	2.5	

[표 5] 내풍설계 조건

구분	변수	비고
설계풍속 (V_o)	30m/sec	서울
지표면 조도구분	B	
가스트계수(G_f)	2.33	Rigid Structures
중요도계수(I_w)	1.0	

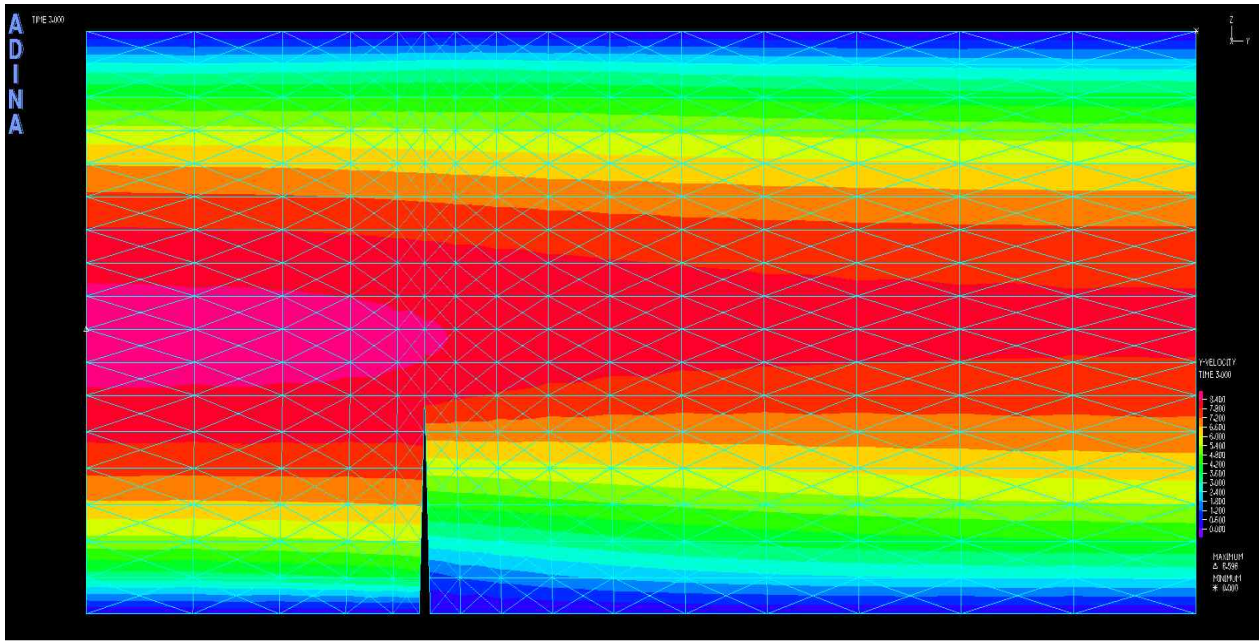
- <그림 41>는 해석결과 풍력발전시스템을 건물적용시의 10층 모델의 모멘트 및 전단력도로서, 일반적으로 소형인 경우(약 20kW급) 자중은 2 tonf 이며, 냉각탑 등과 비슷한 수준을 나타냄으로써 건물의 옥상에 적용 시 추가의 기둥이나 보 또는 슬래브의 보강은 필요치 않는 것으로 판단되었다.
- 다만 한쪽에만 설치한 모델의 경우 강성 비정형상태로서 내진설계 시에 추가적인 고려가 필요한 것으로 나타났다.



<그림 41> 풍력발전타워의 건물 적용 시 모멘트 및 전단력 다이어그램

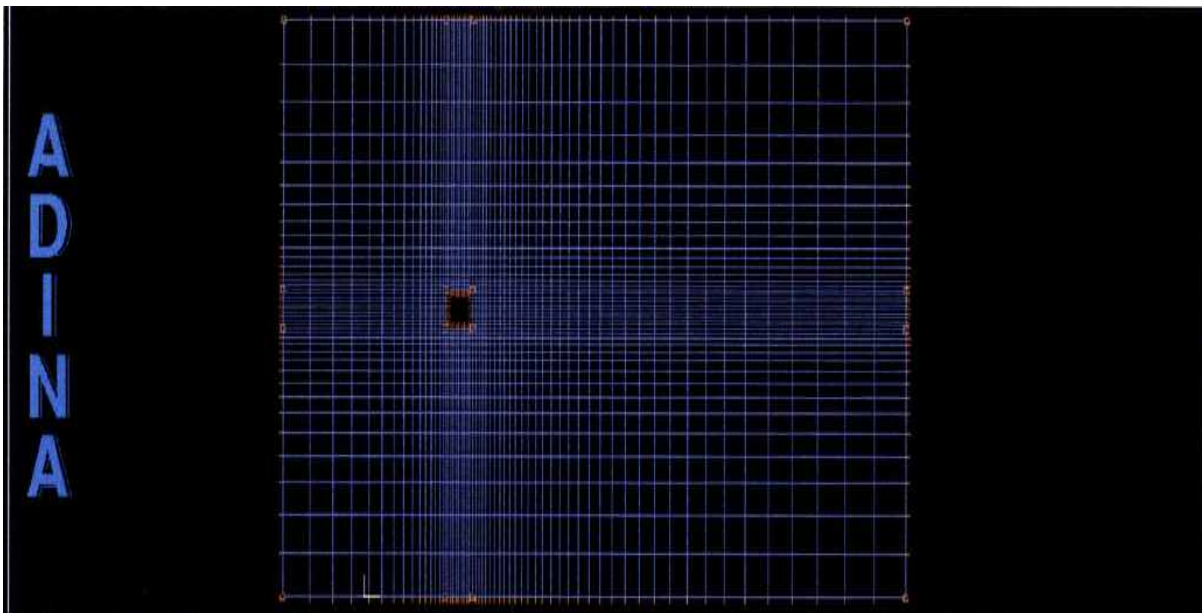
(2) 건축물 주위의 국지적 풍향 분석

- 공기역학적으로 도심지 내 풍 환경 특성은 쉽게 예측하기 어렵다. 수많은 크고 작은 건물군이 만들어내는 불규칙한 유동현상 때문이다. 이러한 불규칙성을 최대한 활용하기 위한 시스템이 건물 옥상 또는 측면 등에 쉽게 설치할 수 있는 형태의 풍력발전 시스템이다.
- <그림 26>는 건물의 높이에 따른 풍속의 변화를 해석모델에서 나타낸 것으로서, 일반적으로 바람은 건물이나 산지 등의 장애물을 통과하는 과정에서 유동이 변형되는 과정에서 바람의 에너지가 감소하기도 하며 또 일부에서는 바람의 에너지가 증폭되기도 한다. 특히, 바람의 편향으로 인하여 더욱 강풍영역이 형성되고 있으며, 하단의 경우에는 강풍영역은 큰 폭으로 줄어드는 것을 보여주고 있다.

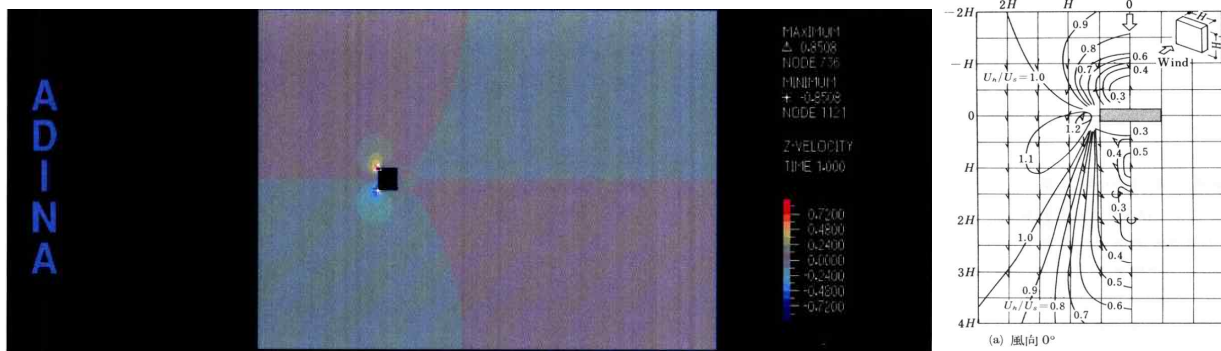


<그림 42> 높이에 따른 풍속의 분포

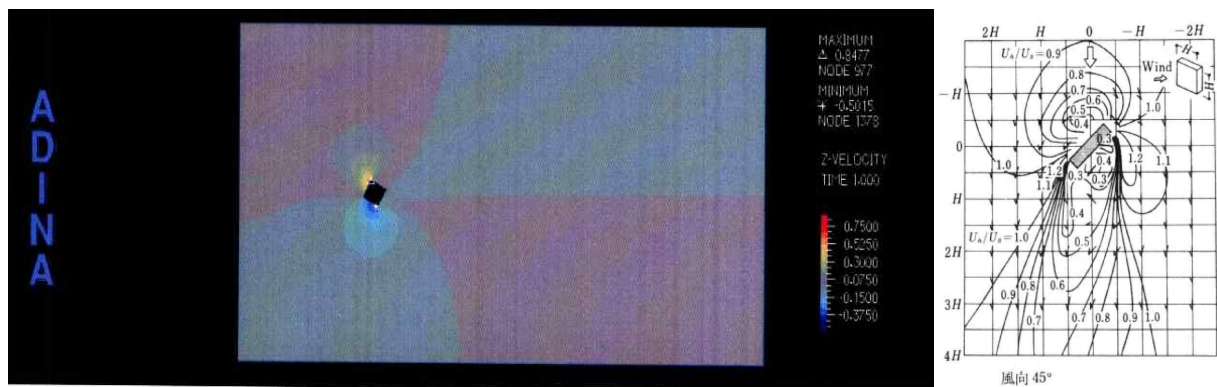
- 건물의 향에 따른 풍속 및 풍질의 변화를 확인하기 위해 건물의 정면 및 45°에서 바람을 받을 때와 원형형상일 때를 구분하여 해석을 수행하였다. 기본 해석모델은 <그림 43>과 같다.



<그림 43> 해석모델



<그림 44> 건물에서 정면으로 바람이 불어올 때의 풍속분포(풍향 0°)



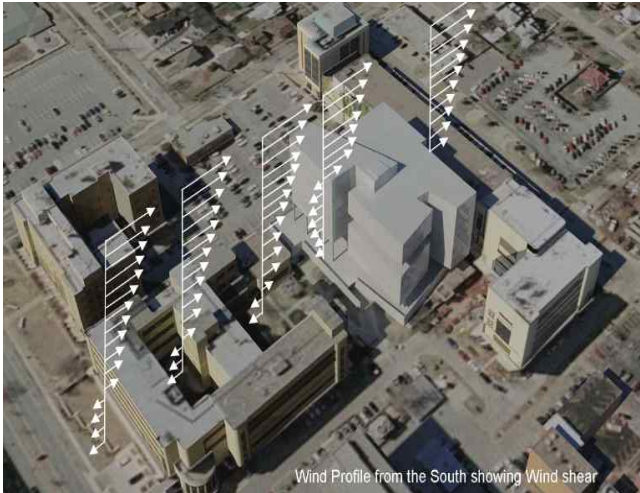
<그림 45> 건물에서 사면으로 바람이 불어올 때의 풍속분포(풍향 45°)

- <그림 44, 45>은 건물의 높이와 폭이 같은 형태에 대해 바람의 방향에 따라서 건물 주변지역의 풍속분포를 해석한 결과를 도시한 것이다. 그림 7과 마찬가지로 건물측면의 타원형 모양의 강풍지역이 발생하고 풍속증가율은 건물이 없을 때에 비해 10%, 20%(풍력에너지는 30%, 70%)정도 상승되어있다. 특히 그림 8의 45°경사각으로 바람이 불어 올 때로 건물 우측부에는 대단히 큰 강풍지역이 발생하며 20% 이상 풍속이 증가하는 영역도 그림 1에 비해 대단히 큰 반면에 좌측부분에는 강풍 지역이 감소하고 있다.

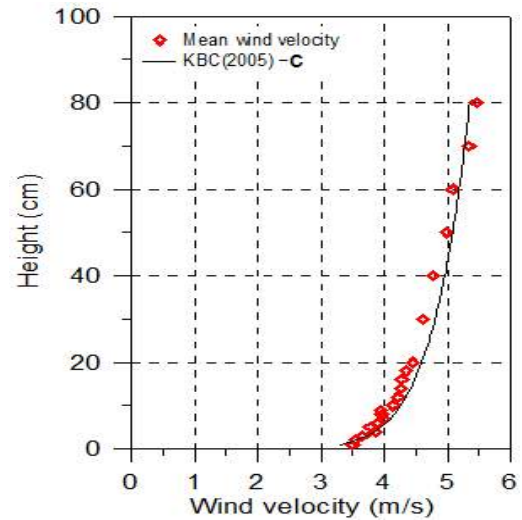
(3) 풍력발전 시스템의 건물적용 시 검토사항

(가) 건물의 배치 형태에 따른 풍향 분석

풍력발전 시스템의 건물 설치방식은 크게 옥상설치와 단지 내 외부공산설치로 분류할 수 있는데 옥상에 설치 시에는 풍속이 층수가 높아질수록 상승되는 바람의 지수법칙을 적용시킬 수 있다.



<그림 46> 도심지 주거용건물의 풍하중 분포



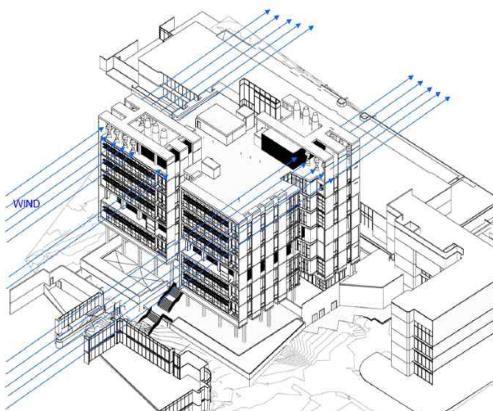
<그림 47> 평균풍속의 연직분포의 예

(나) 장애물

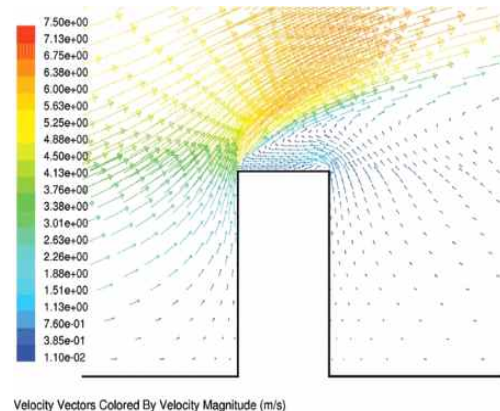
건물이나 나무 그 밖의 구조물과 같은 장애물은 하강기류(downstream) 방향으로 바람을 감소시키고 주위에 난류(turbulence)를 일으키는데 난류는 물체의 앞쪽보다 뒤쪽에 현저히 나타나므로 풍력발전 설치 시 주풍향 방향 앞쪽의 장애물은 피해야 한다. 특히 장애물에 의한 풍속의 감소는 그 높이와 길이에 따라 증가하므로 이에 대한 고려가 뒤따라야 한다.

(다) 언덕 및 터널효과

일반적으로 풍력발전의 설치는 육지의 경우 산이나 언덕에 위치하는데 이는 주 풍향방향에 대하여 넓게 보이는 이점 때문이다. 그러나 바람이 언덕에 도달하면 표면 거칠기에 의한 많은 난류가 발생하므로 이러한 점을 고려해야 한다. 또한 큰 산이나 빌딩사이의 바람은 공기가 압축되어 바람이 현저하게 증가한다.



<그림 48> 건물 상부 풍력발전시스템의 최적설치위치 선정



(라) 소음 및 진동

풍력발전의 소음은 크게 공기역학적 소음과 기계적 소음으로 나눌 수 있다. 공기역학적 소음은 바람이 블레이드를 통과하면서 발생한다. 보통 대형풍력발전단지는 교외의 소음과 관계없는 지역에 위치하므로 큰 문제가 되지 않지만 건물에 적용하는 소형풍력발전기의 소음은 거주 지역에 대한 검토가 필요하다.

최근 기술의 발달로 풍력발전기의 소음은 크게 감소하여 블레이드의 소음은 5dB 이하이고 현재 상용화 되어있는 일반적인 소형풍력발전기는 약 53-55dB 정도로 공동주택 내 소음기준과 비슷한 수준을 나타내고 있어 주변지역에 큰 소음장해를 일으키지는 않는 것으로 나타났다.

다. 횡류형 터빈의 병렬구조에 따른 진동 및 소음

(1) 소음설계

(가) 소음설계이론

① 음의 종류와 특성

- 화이트노이즈(White Noise)

모든 소리를 혼합하면 주파수, 진폭, 위상이 균일하게 끊임없이 변하는 완전 랜덤파형을 형성하며 이를 화이트 노이즈라 한다.

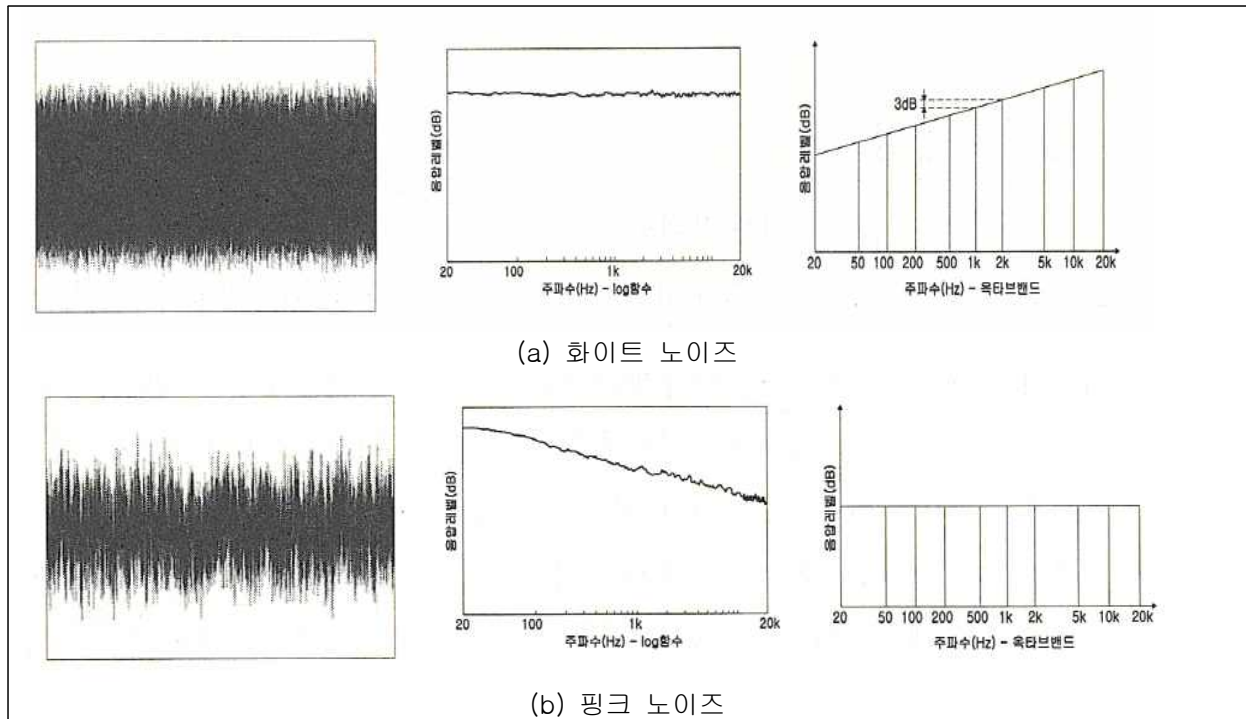
화이트노이즈는 단위 주파수대역(1Hz)에 포함되는 성분의 세기가 전 주파수에 걸쳐 일정한 잡음을 말하며 옥타브당 3dB씩 증가하는 특성을 갖는다. 따라서 화이트 노이즈는 모든 주파수대에 동일한 음량을 가지고 있는 것임에도 불구하고 고음역 쪽으로 갈수록 에너지 밀도가 높아 인간의 귀에는 고음역쪽의 음성분이 더 많은 것으로 들리게 된다.

건축음향에서는 평가의 기준이 되는 적절한 신호로 화이트노이즈를 사용한다.

- 핑크노이즈(Pink Noise)

단위주파수 대역(1Hz)에 포함되는 성분의 세기가 주파수에 반비례하는 성질을 가지고 있는 음을 말한다. 따라서 주파수가 높아짐에 따라 소리가 점점 작아지므로 $1/f$ 음이라고도 하며, 옥타브 당 일정한 에너지를 갖는다.

일반적으로 저음역과 중음역대의 음은 상대적으로 고음역보다는 음량이 높기 때문에 인간의 청각에서는 오히려 화이트노이즈보다 핑크노이즈가 모든 주파수대에 동일한 음량으로 소리가 나고 있는 것처럼 들리게 된다.



<그림 49> 음원의 특성비교

② 음의 지향성

- 음의 전파는 음의 종류에 따라 각기 다른 지향특성을 갖게 된다.
- 음파장이 아주 큰 저주파수일 때 음에너지는 모든 방향으로 균일하게 방사되지만, 파장이 음원보다 고주파수일 때는 음이 퍼져나가는 각도가 좁고 예민하게 된다.

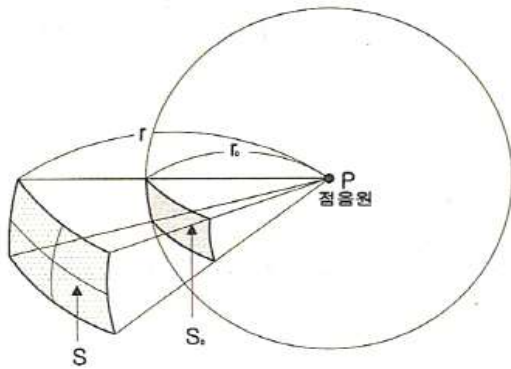
③ 거리감쇠

- 점음원

- 음원은 보통 일정한 크기를 가지고 있으나 그 치수에 비해 거리가 멀리 떨어진 지점에서는 이를 한 개의 점(Point)으로 볼 수 있다, 점음원에서 나오는 음파의 파면(Wave Front)은 구면상으로 펼쳐지므로 구면파라고도 한다.
- 점음원에서 거리 r 만큼 떨어진 점에서 음의 세기 I 는 다음 식과 같다.

$$I = \frac{W}{4\pi r^2} \text{ (W/m}^2\text{)}$$

위 식에서 점음원의 경우 음의 세기는 거리의 제곱에 반비례하여 감쇠되는 것을 뜻하며 이러한 거리감쇠특성을 역자승법칙(Inverse Square Law)이라 한다.



<그림 50> 점음원의 전달특성과 형태

점음원의 음향에너지 밀도 E 는 다음과 같다.

$$E = \frac{I}{c} = \frac{W}{4\pi r^2 c} \text{ (J/m}^3\text{)}$$

거리 r_0 와 r 인 점의 음압레벨을 각각 SPL_0 , SPL 이라면 다음과 같다.

$$SPL_0 = PWL - 20\log_{10} r_0 - 11$$

$$SPL = PWL - 20\log_{10} r - 11$$

거리감쇠를 구하기 위해 이들 식의 차를 구하면 다음과 같으며, 따라서 점음원의 경우 거리가 두 배로 될 때마다 6dB씩 감쇠함을 알 수 있다.

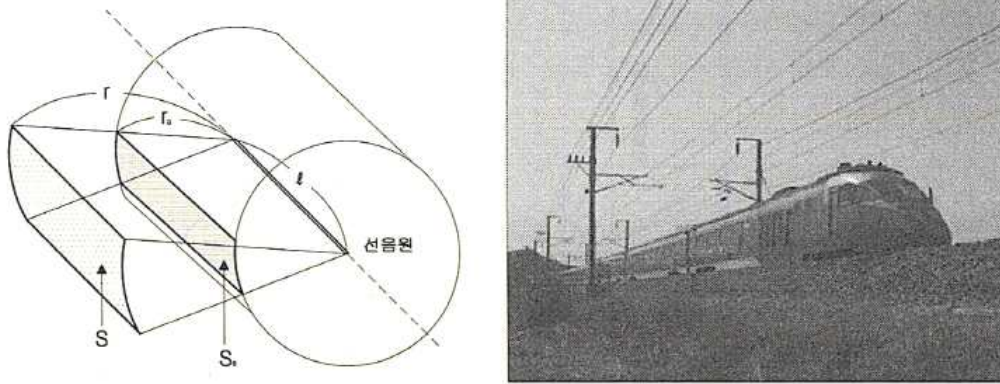
- 선음원(Line Source)

- 자동차도로나 철도와 같이 소음원이 다수 연속하여 이어지는 경우를 선음원이라 한다. 이상적인 선음원은 무수의 점음원이 연속되는 경우이며 음파는 그 선음원을 축으로 원통상으로 펼쳐지므로 원통파라고도 한다.
- 자유공간 중에 무한히 긴 선음원이 있는 경우 그 선상에 있는 각 점음원에서 위상이 무질서한 음을 발생하여 간섭 등이 파동성이 무시되고 그 에너지만을 가산하는 것으로 가정해보면 반경 r 인 원통면을 고려한 음의 세기는 다음과 같다.

$$I = \frac{W}{2\pi r} \text{ (W/m}^2\text{)}$$

여기서, W : 단위길이당 음향출력(W)

위 식에서와 같이 선음원의 경우는 거리에 반비례하여 감쇠함을 알 수 있다.



<그림 51> 선음원의 전달특성과 형태

반경 r_0 와 r 인 점의 음압레벨을 각각 SPL_0 와 SPL 이라 하면 선음원의 길이 l 이 r 에 비해 아주 큰 경우의($r < \frac{l}{3}$) 음압레벨은 다음과 같다.

$$SPL_0 = PWL - 10\log_{10} 2\pi r_0 = PWL - 10\log_{10} r_0 - 8$$

$$SPL_0 = PWL - 10\log_{10} 2\pi r = PWL - 10\log_{10} r - 8$$

여기서, PWL : 단위길이당 음향파워 레벨(dB)

따라서 선음원의 거리감쇠를 구하기 위해 $SPL - SPL_0$ 를 구해보면 다음과 같다.

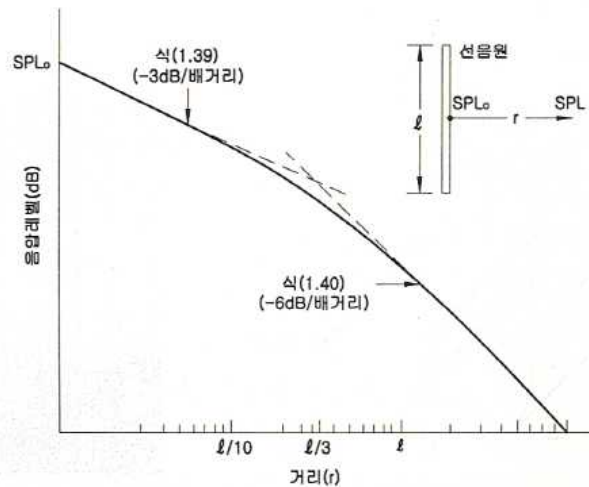
$$SPL - SPL_0 = -10\log\left(\frac{r}{r_0}\right)$$

위 식에서 선음원의 경우는 거리가 두 배로 되면 3dB씩 감쇠함을 알 수 있다.

선음원의 길이 l 이 r 에 비해 짧은 경우의 ($r > \frac{l}{3}$) 음압레벨은 다음과 같다.

$$SPL - SPL_0 = -2\log\frac{3r}{l} - 10\log\frac{l}{3r_0}$$

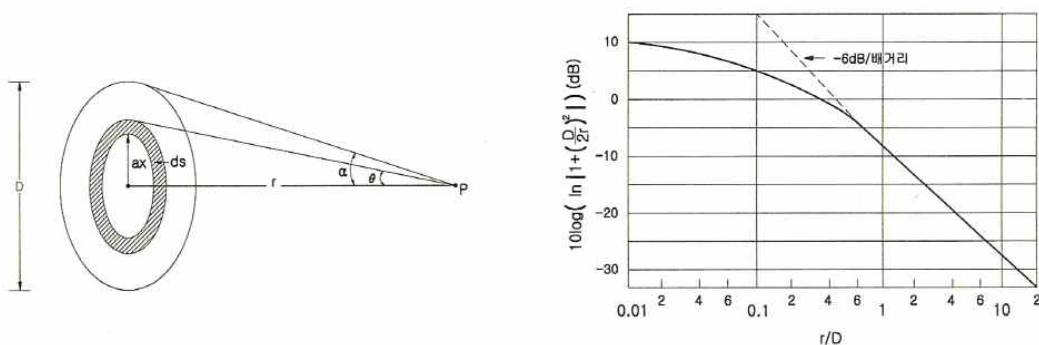
위 식과 같은 경우의 선음원에서는 거리의 두 배당 6dB씩 감쇠하고 있다.



<그림 52> 선음원의 감쇠

- 면음원(Shade Source)

- 벽을 사이에 두고 한 쪽에서 발생한 소리가 벽을 투과하여 생기는 소리처럼 음원이 넓게 펼쳐진 경우를 면음원이라 하며 이상적으로 무수하게 분포된 점음원으로 간주한다.
- 각 점음원은 단위면적당 음향출력(W)을 갖는 위상이 무질서한 소리를 벽면에서 반구상으로 발산하여 간섭 등의 파동성을 무시한다면 선음원의 경우와 같이 그 방사에너지를 적분해주면 된다.



<그림 53> 원형 면음원의 감쇠

- 원형 면음원의 경우,
 - 음원면이 원형의 경우 그 중심에서 수직축상 거리에 의해 음의 세기가 감쇠한다고 가정한다. 그림에서 중심축상 거리 r 에 있는 수음점 P 에 있는 미소면적 ds 에 도달하는 음의 에너지밀도를 음원면 전체에 대해 적분하면 다음과 같다.

$$E = \int_s \frac{W}{2\pi(ax^2 + r^2)c} ds = \frac{W}{c} \int_0^\alpha \tan\theta d\theta$$

여기서 원형 면음원의 직경을 D라 하면,

$$E = \frac{W}{2c} \ln \left\{ 1 + \left(\frac{D}{2\pi} \right)^2 \right\}$$

위 식을 dB로 표현하면,

$$SPL = PWL + 10 \log \left\{ \ln \left| 1 + \left(\frac{D}{2r} \right)^2 \right| \right\} - 3$$

여기서 거리에 관계되는 제2항을 계산하면 그림 (b)와 같다. 횡축은 음원직경을 단위로 하여 거리를 켤 수치이며, 직경과 같은 거리이상에서는 배거리당 6dB이 감소하여 점음원과 유사하나 그보다 가까운 점에서는 경사가 완만함을 알 수 있다.

$r \gg \frac{D}{2}$ 이면 다음과 같다.

$$\ln \left| 1 + \left(\frac{D}{2r} \right)^2 \right| = \left(\frac{D}{2r} \right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{D}{2r} \right)^4 + \dots = \left(\frac{D}{2r} \right)^2$$

따라서 음압레벨은 다음과 같다.

$$SPL = PWL + 20 \log \frac{D}{2r} - 3$$

- 직사각형 면음원의 경우
 - 짧은 변이 a 이고 긴 변이 b 인 직사각형 면으로 부터 거리 r 만큼 이격된 음압레벨을 SPL 이라 하고 면에 가까운 점(거리 r_0)의 음압레벨을 SPL_0 라고 하면 r , a , b 에 따라 다음과 같은 식이 성립된다.

- $r < \frac{a}{3}$ 일 때

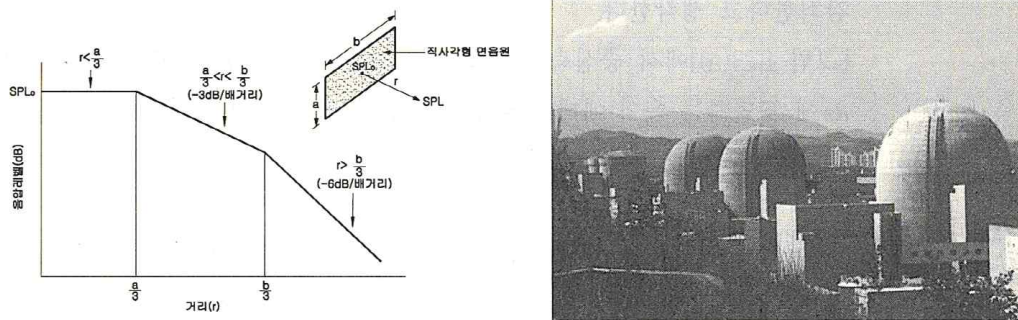
$$SPL = SPL_0$$

- $\frac{a}{3} < r < \frac{b}{3}$ 일 때

$$SPL = SPL_0 - 10\log_{10} \frac{3r}{10}$$

- $r > \frac{b}{3}$ 일 때

$$SPL = SPL_0 - 20\log \frac{3r}{b} - 10\log \frac{3r}{b} - 10\log \frac{b}{a}$$



<그림 54> 직사각형 면 음원의 전달특성과 형태

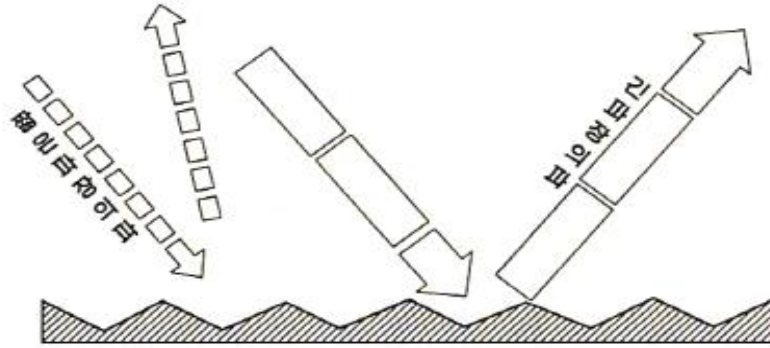
④ 굴절(Reflection) · 반사(Reflection)

서로 다른 2개의 매질 경계면에 평면파가 입사하는 경우 빛과 같이 굴절 및 반사현상이 생긴다. 그림에서 입사각(θ_i)=반사각(θ_r)이며, 굴절각은 θ_t 로서 다음과 같은 식(Snell 법칙)이 성립된다.

$$\frac{\sin \theta_i}{\sin \theta_t} = \frac{c_1}{c_2}$$

여기서, c_1 , c_2 는 각각의 매질 중의 음속

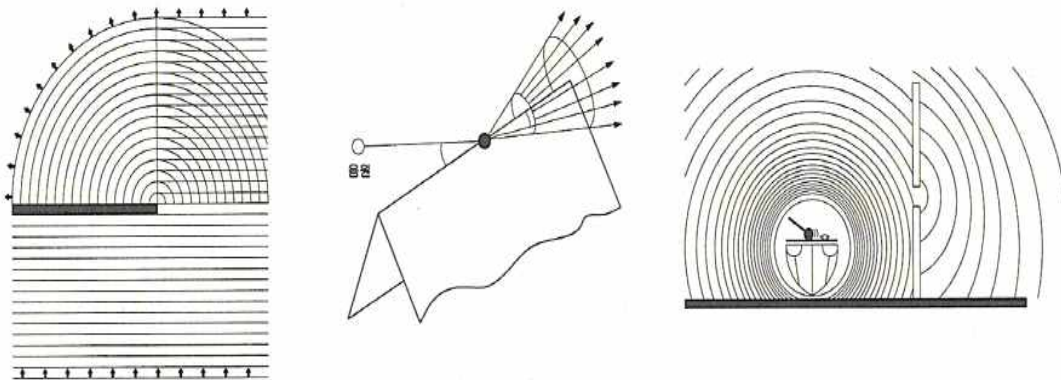
반사법칙이 적용되려면 반사면이 파장에 비하여 훨씬 커야 하며, 반사면에 있는凹凸이 파장에 비해 매우 작을 때와 클 때는 <그림 39>와 같이 반사하고 그 중간치수에서는 복잡한 반사를 한다.



<그림 55>凹凸면에서의 반사

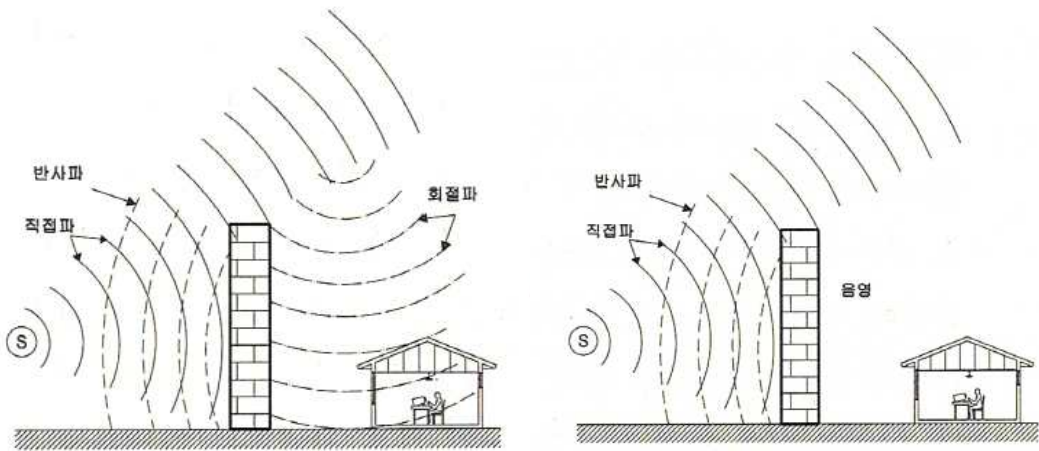
⑤ 회절(Diffraction)

- 음이 투과하지 않는 유한한 크기의 장애물에 음이 입사한 경우 장애물의 크기가 입사음의 파장보다 크면 장애물 뒤에 음영(Sound Shadow)이 생기지만 파장보다 작은 장애물(혹은 작은 구멍)이라면 호이겐스(Huygens)원리에 의해 음파가 장애물의 뒷부분까지 돌아가서 전달되는데 이러한 현상을 회절이라 한다.
- <그림 40>는 호이겐스의 원리와 음파가 모서리에 부딪힌 경우의 현상을 나타낸 것으로 구멍의 치수가 파장보다 작은 경우($x < \lambda$)에는 소리는 구멍을 통해서 모든 방향으로 회절되어 퍼져나감을 보여주고 있다.



<그림 56> 회절현상

야외에서는 소리의 전파경로 중에 담, 방음벽, 건물 등의 장애물이 있는 경우 소리는 그 주변을 회절한다. 이러한 장애물의 길이가 입사음의 파장보다 훨씬 크기 때문에 고주파수 소리는 상당히 감쇠한다.



<그림 57> 음의 회절

(나) 소음전파에 영향을 미치는 요인

- 소리가 옥외공간으로 전파될 때는 거리의 두 배가 떨어지면 6dB씩 감쇠한다. 이러한 역자승법칙은 점음원에서 발생시킨 소리가 주변의 공간으로 확산함에 따라 소리 에너지의 단위면적당 밀도가 점점 작아져가는 현상을 나타내고 있다.
- 현실적으로 소리는 전파하는 과정에서 공기가 지표면에 에너지를 빼앗아가거나 또한 바람이나 공기의 온도 경사 등의 영향에 따라 이상적인 상태와는 상당히 다른 전파를 하기 때문에, 단순히 역자승에 따르지 않는 것이 있다. 특히 소리의 전파거리가 길어질수록 이러한 영향은 현저히 나타나고, 무시할 수 없을 정도의 크기가 되는 일도 있다.

① 공기에 의한 소리의 흡수

소리는 대기 중에 전파될 때, 공기가 에너지를 흡수하여 감쇠한다. 강도 I_0 의 평면파가 거리 d 를 전파하면, 그 때의 소리강도 I 는 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$I = I_0 e^{-md}$$

여기서, m 은 단위길이(1m)를 전파할 때의 공기 감쇠계수이고, 이론적으로는 다음 2개 부분으로 나뉜다.

$$m = m_1 + m_2$$

- m_1 은 공기의 열전도 및 점성에 따라 파동에너지가 잃게 되는 것으로 고전 흡수라 불리며, 소리는 주파수의 자승에 비례하고 습도와는 관계없다.
- m_2 는 공기 중의 산소분자 운동에 의한 것으로 분자흡수라 불리며, 소리는 주파수, 공기의 온도, 습도에 따라 변화한다.

- 그림은 습도에 따른 소음에너지의 감쇠를 나타낸 것으로, 20℃의 온도에서 거리에 따라 주파수 1kHz 이상의 고주파에 해당되는 음향에너지의 감쇠특성을 보여주고 있다. 주파수에 따라 소음감쇠가 급격히 증가하는 상대습도가 있으며 감쇠의 크기는 주파수가 증가할수록 커지게 된다.
- 공기에 의한 음의 흡수는 주파수가 높을수록 많이 흡수되며 주파수가 낮을수록 적게 흡수된다. 일반적으로 1,000Hz까지는 100m를 진행하는 동안 감쇠가 약 1dB을 넘지 않으므로 무시하는 경우가 많다.

② 지표면에 의한 소리의 흡수

- 지표면에 의한 소리의 흡수는 지표에 덮인 소리의 흡수체에 의해 발생한다. 대표적인 소리의 흡수체는 잔디, 관목, 숲 등의 식물이며, 이외에 흙으로 덮인 표면에서의 소리흡수도 있다.
- 도시 주거지의 경우 시멘트나 아스팔트, 벽돌 등으로 포장되어 있으며, 이에 대한 다양한 흡음 상태를 고려하여야 한다.

[표 6] 지표면에 따른 초가 감쇠량

지표면의 종류 \ 감쇠량	주파수별 초과 감쇠량(dB)							
	63Hz	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz	8kHz
지표면(흙)	5.8	5.6	5.2	3.8	-2.1	-2.5	2.5	0.5
아스팔트 포장	5.8	5.7	5.5	3.9	-1.1	-7.2	2.5	1.1
시멘트 포장	6.1	5.9	5.8	5.2	3.2	-6.8	4.8	3.9
진흙	5.9	5.8	5.6	4.6	0.2	-7.5	3.3	1.6
모래	5.9	5.1	3.1	-4.9	-3.5	3.5	-4.1	0.5
자갈	5.9	5.4	4.6	2.1	-4.1	-1.2	-0.1	0.5
초지	5.9	5.3	3.6	-3.9	-4.9	3.1	-3.5	0.5
눈 덮인 지형	5.9	4.6	2.6	-5.6	-4.1	4.1	-4.7	0.5

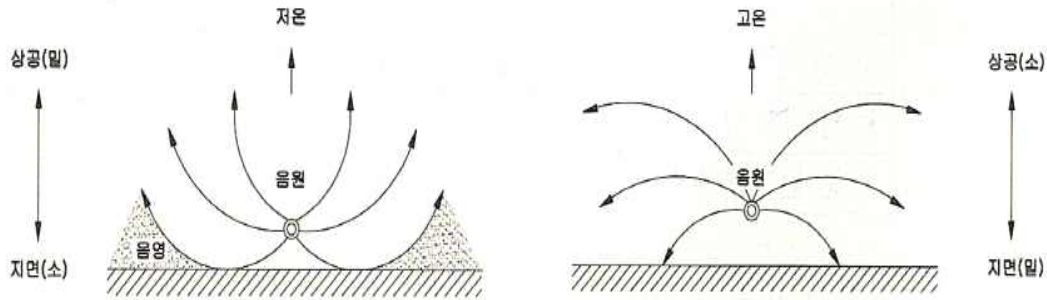
③ 수목에 의한 소리의 감쇠

소음 전파거리의 도중에 숲처럼 수목이 밀집되어 있는 곳이 있다면 소리는 감쇠한다. 그러나 수목에 의한 차음효과가 명확히 나타나는 데에는 수목지대 안쪽 30m 이상은 필요하다.

④ 바람과 기온의 영향

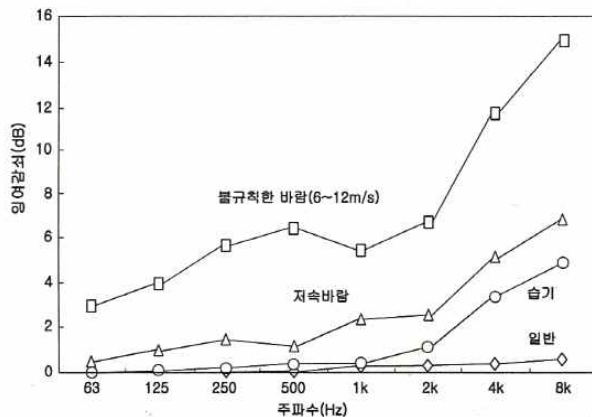
- 회절은 음향에너지가 전파되면서 전파 경로상 음속의 점차적인 변화에 의해 나타나는 현상이며, 음속을 변화시키는 주된 요인은 공기층의 온도분포와 바람이므로 결과적으로 기상조건에 의해 좌우된다.

- 공기층의 온도분포에 따른 영향은 전파경로를 굴곡을 주게 되므로 소음전파에 영향을 미치게 된다. 주간은 음원에서 일정거리 떨어진 지상에 음영을 만들어 음이 전파되기 어려운 장소가 된다. 기온이 상공보다 저온의 경우는 반대로 멀리 떨어진 지점까지 음이 도달한다.

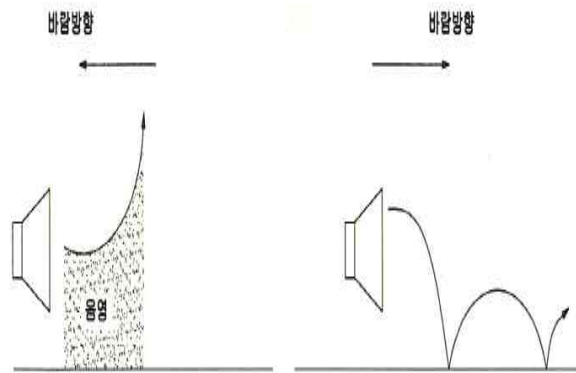


<그림 58> 온도분포에 의한 음의 굴절

- 소음 전파는 바람이나 안개, 연기 등에 의해서도 영향을 받는다. 음원의 출력이 일정한 경우라도 수음레벨이 시간적으로 심하게 변동하는 것은 기상상황이 시시각각 변화하며, 상하 음속차가 양에서 음으로 변하는 시점에서는 몇 분간 35dB이나 변하는 경우도 있다.
- 바람이 부는 방향과 음원방향이 동일한 경우 역방향에 비해 훨씬 먼 거리까지 소리가 전달된다.



<그림 59> 바람에 의한 소음감쇠 효과

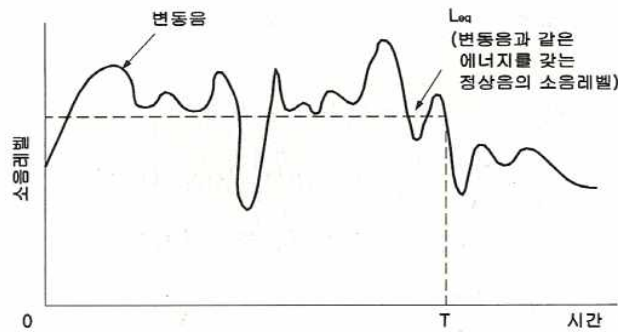


<그림 60> 바람의 방향에 따른 감쇠효과

(다) 소음의 평가

소음의 평가법은 1950년대의 L_{eq} , L_{50} 등의 기초적인 연구에서 시작하여, 1960년대의 TNI를 거쳐, 1990년대부터는 여러 가지 요인을 고려한 다양한 평가방법이 제안되고 있다. 현재는 ISO/R 1996의 개정, 각국의 평가방법의 운용실정에 비추어 L_{eq} 가 일반

화 추세이며, 국내의 소음진동규제법에서도 L_{eq} 를 이용하고 있다.



<그림 61> L_{eq} 의 개념

[표 7] 소음평가방법의 종류

구분	종류
소음레벨의 직접적 평가	Over All SPL(Sound Pressure Level) dB(A), dB(B), dB(C), dB(D)
소음의 크기와 불쾌감의 평가	LL(Loudness) PL(Perceived Level) PNL(Perceived Noise Level)
회화방해의 평가	AI(Articulation Index) SIL(Speech Interference Level) NC(Noise Criteria) NR(Noise Rating)
통계소음레벨	L_{90} , L_{50} , L_{10}
평균최대소음레벨과 발생회 수에기초한 평가	NNI(Noise and Number Index), AI(Annoyance Index)
에너지 평균에 기초한 평가	$\overline{Q}$ (Disturbance Index) $\overline{L_A}$ (Average Sound Level) L_{eq} (Equivalent Sound Level) L_{Teq} (Equivalent Sound Level with Threshold)
레벨과 레벨 변동량에 기초한 평가	TNI (Traffic Noise Index) NPL (Noise Pollution Level) UNI (Unified Noise Index) AI (Annoyance Index Switzwrand)
소음레벨과 스펙트럼 형태에 기초한 평가	CNR_c (Composite Noise Rating Community)
소음레벨과 소음레벨의 변동 및 배경소음에 기초한 평가	BS 4142 ISO R-1996(사회반응에 관한 소음평가법)
최대레벨, 발생회수, 하루시 간에 기초한 평가	NEF (Noise Exposure Forecast) N (Isopsophic Index) R (Classification Index) WECPNL (Weighted Equivalent Continuous Perceived Noise Level)

(가) 등가소음레벨(Leq, Equivalent Sound Level)

- Leq는 변동하는 소음의 레벨의 에너지 평균치, 즉 변동음과 같은 에너지를 지닌 정상음 레벨을 의미한다. 즉, 2개의 소음에너지가 같을 때, 두 소음의 심리적, 생리적 영향도 같다는 등 에너지 가설에 입각하고 있다.
- 일반적으로 큰 폭으로 변동하는 소음을 평가하는 평가량 중의 하나로 변동하는 소음을 주어진 시간동안 변동하지 않는 평균레벨의 크기로 환산하는 방법이다.

등가소음레벨의 산출식은 다음과 같다.

$$L_{eq} = 10 \log \frac{1}{T} \int_0^T 10^{\frac{L(t)}{10}} dt = 10 \log \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_i}{10}} = 10 \log \sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{100} \times f_i \times 10^{\frac{L_i}{10}} \right)$$

여기서,

T : 총 측정시간(초), $L(t)$: 시간 t 의 소음레벨(dBA)

f_i : 일정소음레벨 L_i 의 지속 시간률(%)

L_i : 샘플링 시간 Δt 마다의 소음레벨(dBA)

① 소음통계레벨(LN, Percentile Noise Level)

- 전체 측정기간 중 그 소음레벨을 초과하는 시간의 총합이 N%가 되는 소음레벨을 말하며, 소음레벨의 누적도수 분포로부터 쉽게 구할 수 있다.
- 이 %값이 낮을수록 큰 레벨을 나타내어 $L_{10} > L_{50} > L_{90}$ 의 관계가 있다. 일반적으로 L_{90} , L_{50} , L_{10} 의 값은 각각 배경소음, 중앙값, 침입소음의 레벨값을 나타낸다.

② 국내기준

- 국내 소음관련 제한기준은 아래 [표 8]와 [표 9]와 같다.

[표 8] 공장소음 배출허용기준

대 상 지 역	시간대별		
	낮 (06:00 ~ 18:00)	저녁 (18:00 ~ 24:00)	밤 (24:00 ~ 06:00)
가. 도시지역 중 전용주거지역·녹지지역, 관리지역 중 취락지구·주거개발진흥지구 및 관광·휴양개발진흥지구, 자연환경보전지역 중 수산자원보호구역 외의 지역	50 이하	45 이하	40 이하
나. 도시지역 중 일반주거지역 및 준주거지역	55 이하	50 이하	45 이하
다. 농림지역, 자연환경보전지역 중 수산자원보호구역, 관리지역 중 가목과 라목을 제외한 그 밖의 지역	60 이하	55 이하	50 이하
라. 도시지역 중 상업지역·준공업지역, 관리지역 중 산업개발진흥지구	65 이하	60 이하	55 이하
마. 도시지역 중 일반공업지역 및 전용공업지역	70 이하	65 이하	60 이하

[단위 : dB(A)]

비고

1. 소음의 측정 및 평가기준은 「환경분야 시험·검사 등에 관한 법률」 제6조제1항제2호에 해당하는 분야에 대한 환경오염공정시험기준에서 정하는 바에 따른다.
2. 대상 지역의 구분은 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」에 따른다.
3. 허용 기준치는 해당 공장이 입지한 대상 지역을 기준으로 하여 적용한다.
4. 충격음 성분이 있는 경우 허용 기준치에 -5dB을 보정한다.
5. 관련시간대(낮은 8시간, 저녁은 4시간, 밤은 2시간)에 대한 측정소음발생시간의 백분율이 12.5% 미만인 경우 +15dB, 12.5% 이상 25% 미만인 경우 +10dB, 25% 이상 50% 미만인 경우 +5dB을 허용 기준치에 보정한다.
6. 위 표의 지역별 기준에도 불구하고 다음 사항에 해당하는 경우에는 배출허용기준을 다음과 같이 적용한다.
 - 가. 「산업입지 및 개발에 관한 법률」에 따른 산업단지에 대하여는 마목의 허용 기준치를 적용한다.
 - 나. 「의료법」에 따른 종합병원, 「초·중등교육법」 및 「고등교육법」에 따른 학교, 「도서관법」에 따른 공공도서관, 「노인복지법」에 따른 노인전문병원 중 입소규모 100명 이상인 노인전문병원 및 「영유아보육법」에 따른 보육시설 중 입소규모 100명 이상인 보육시설(이하 “정온시설”이라 한다)의 부지경계선으로부터 50미터 이내의 지역에 대하여는 해당 정온시설의 부지경계선에서 측정된 소음도를 기준으로 가목의 허용 기준치를 적용한다.
 - 다. 가목에 따른 산업단지와 나목에 따른 정온시설의 부지경계선으로부터 50미터 이내의 지역이 중복되는 경우에는 특별자치도지사 또는 시장·군수·구청장이 해당 지역에 한정하여 적용되는 배출허용기준을 공장소음 배출허용기준 범위에서 정할 수 있다.

※) 용어의 정의

- ① 측정소음도 : 소음진동공정시험방법에 정한 측정방법으로 측정한 소음도 및 등가소음도 등을 말한다.
- ② 암소음도 : 측정소음도의 측정위치에서 대상소음이 없을 때 이 시험방법에서 정한 측정방법으로 측정한 소음도 및 등가소음도 등을 말한다.
- ③ 대상소음도 : 측정소음도에 암소음을 보정한 후 얻어진 소음도를 말한다.

[표 9] 생활소음·진동의 규제기준

대 상 지 역	소음원		시간별	아침, 저녁	낮	밤
주거지역, 녹지지역, 관리지역중 취락지구 및 관광·휴양개발진흥지 구, 자연환경보전지역, 그밖의 지 역안에 소재한 학교·병원·공공 도서관	확 성 기	옥외설치		60 이하	65 이하	60 이하
		옥내에서 옥외로 전파		50 이하	55 이하	45 이하
	공장			50 이하	55 이하	45 이하
	사 업 장	동일 건물		45 이하	50 이하	40 이하
		기타		50 이하	55 이하	45 이하
	공사장			60 이하	65 이하	50 이하
그 밖의 지역	확 성 기	옥외설치		65 이하	70 이하	60 이하
		옥내에서 옥외로 전파		60 이하	65 이하	55 이하
	공장			60 이하	65 이하	55 이하
	사 업 장	동일 건물		50 이하	55 이하	45 이하
		기타		60 이하	65 이하	55 이하
	공 사 장			65 이하	70 이하	55 이하

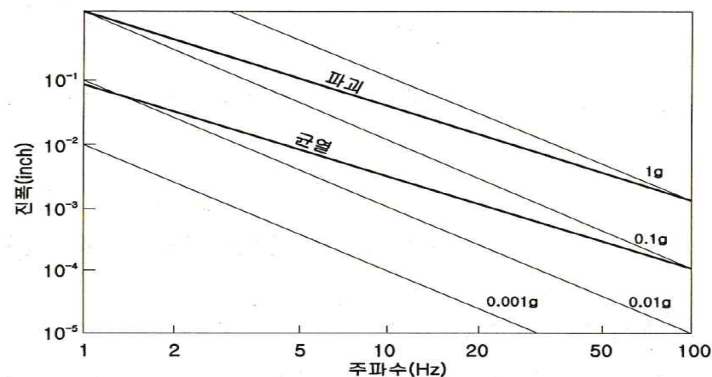
[단위:dB(A)]

※) 시간대의 구분 : 아침(05~07시), 저녁(18~22시), 낮(07~18시), 밤(22~05시)

(2) 진동 설계

(가) 건물에 미치는 진동의 영향

건물에 설치되는 풍력발전시스템의 경우 진동에 대한 영향을 반드시 고려해야 한다. R.A. Waller는 건축구조물에 미치는 진동가속도의 영향을 1~100Hz에서 구조물의 균열과 파괴에 대해 다음 <그림 62>와 같은 기준을 제시하였다.



<그림 62> 구조물에 대한 진동가속도의 영향

[표 10] 건물에 대한 진동의 허용한도

변위로 규정	R. Westwater		
	건물의 강도	최대진폭	허용진폭
	보통의 건물	0.203mm	0.067mm
	강한 건물	0.406mm	0.135mm
	A.G. Reid		
	설비나 기초구조		0.406mm
	주택 및 건물		0.204mm
	교회, 오래된 기념관		0.127mm
진동속도로 규정	E. Banik		
	전혀 손상없음		5mm/s
	경미한 손상		10mm/s
	상당한 손상		50mm/s
	매우 큰 손상		100mm/s
	F.J. Crandell		
	피해의 위험범위		>84mm/s
	피해발생		>119mm/s
진동가속도로 규정	J.R. Thonen & Windes		
	피해가 일어나기 시작한 때		>1.02g
	안전범위		<0.102g

(나) 진동 설계

① 기기의 가진력

기기가 회전운동을 할 때 발생하는 진동에 의한 가진력 F 는 다음과 같다.

$$F = \frac{lW}{g} \times w^2$$

여기서, F : 가진력(kg)

l : 편심거리(m)

W : 회전체의 중량(kg)

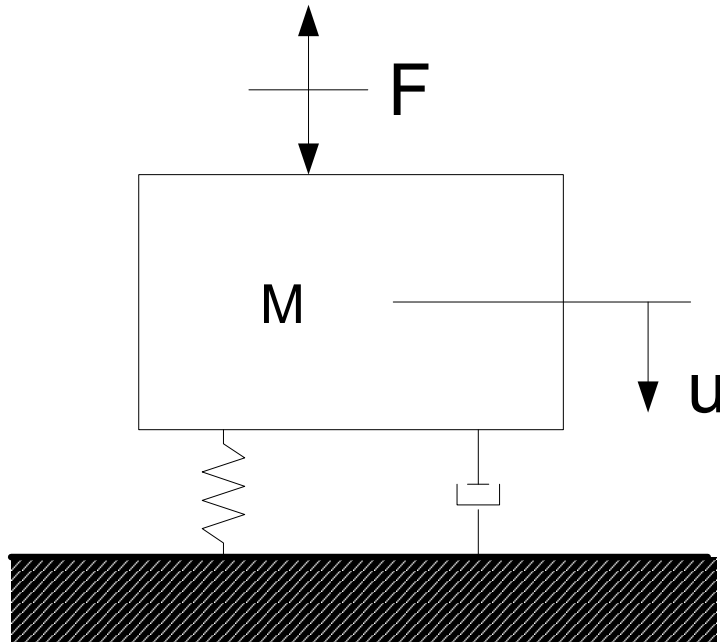
g : 중력가속도

w : 회전각속도(rad/s)($w = 2\pi f$)

f : 회전수(Hz)

② 진동 전달률

풍력발전기가 건물에 설치된 경우에는 바닥을 완전 강체로 보아 바닥에 대한 힘의 전달을 고려하며, <그림 63>과 같이 1자유계의 진동계로 생각하고 바닥에 대한 힘의 전달을 고려하는 것이 간편하다.



<그림 63> 건물에 전달되는 진동 전달률 해석을 위한 단자유도 모델

진동 전달률 T_r 는 다음 식으로 구상할 수 있다.

$$T_r = \frac{\sqrt{1 + 4h^2 \left(\frac{f}{f_0}\right)^2}}{\left\{1 - \left(\frac{f}{f_0}\right)^2\right\}^2 + 4h^2 \left(\frac{f}{f_0}\right)^2}$$

여기서, T_r : 진동 전달률

f_0 : 고유진동수(Hz)

f : 강제진동수(Hz)

h : 감쇠정수

여기서 고유진동수는 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{m}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{\delta}} = 4.98 \sqrt{\frac{1}{\delta}}$$

여기서, K : 스프링 정수(kg/cm)

m : 질량

g : 중력가속도

δ : 스프링 변위량

- T_r 과 f/f_0 의 관계는 다음과 같다.

$f/f_0 = 1$ 일때 $T_r = \infty$, 공진상태

$f/f_0 < \sqrt{2}$ $T_r > 1$, 전달력>외력

$f/f_0 = \sqrt{2}$ $T_r = 1$ 전달력=외력

$f/f_0 > \sqrt{2}$ $T_r < 1$ 전달력<외력

위 관계를 식으로 나타내면 아래와 같으며, h 의 값은 $h \approx 0$ 으로 하는 것이 실용적이므로 위 식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$T_r = \frac{F_T}{F} = \left| \frac{1}{1 - \left(\frac{f}{f_0}\right)^2} \right|$$

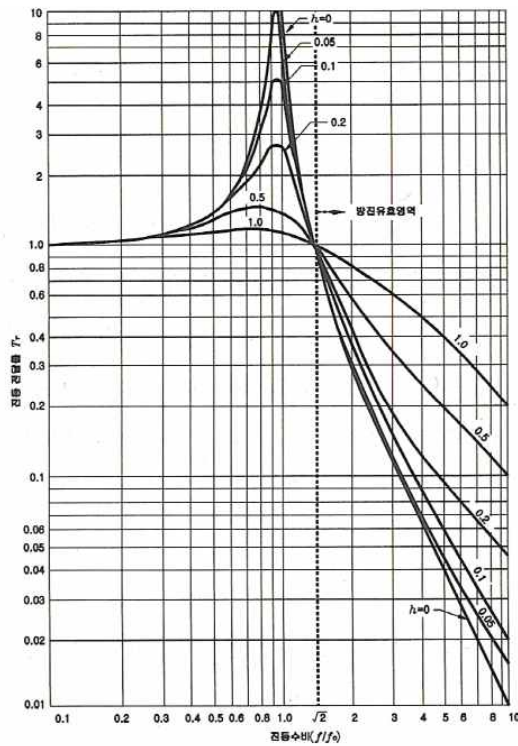
여기서, F :외력

F_T :전달력

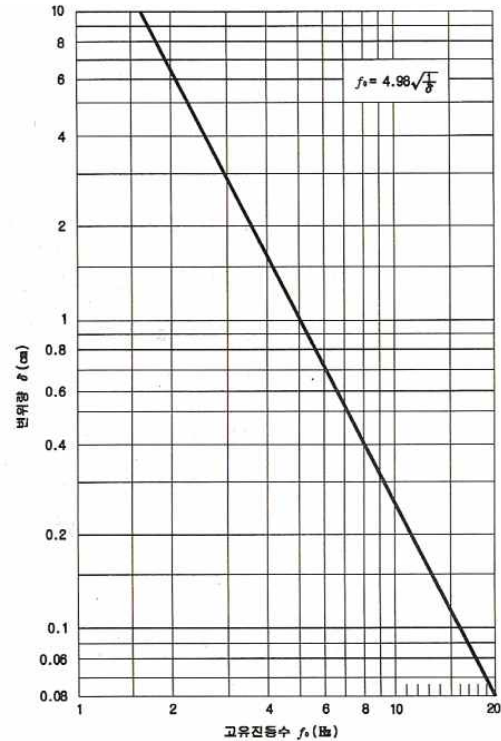
f : 강제진동수(Hz)

f_0 : 고유진동수(Hz)

- 여기서 진동수비(f/f_0)를 4로 하면 진동전달률(T_r)은 1/15이 된다. 일반적으로 방진을 하는 것은 고유진동수(f_0)를 조절하여 진동수비를 약 4정도로 한다.
- 위 식에서 스프링 변위량에 의해 고유진동수가 결정되며 <그림 48>, <그림 49>과 같다.



<그림 64> 진동전달률과 진동 수비와의 관계



<그림 65> 고유진동수와 변위량 (처짐)과의 관계

③ 진동저감 설계 순서

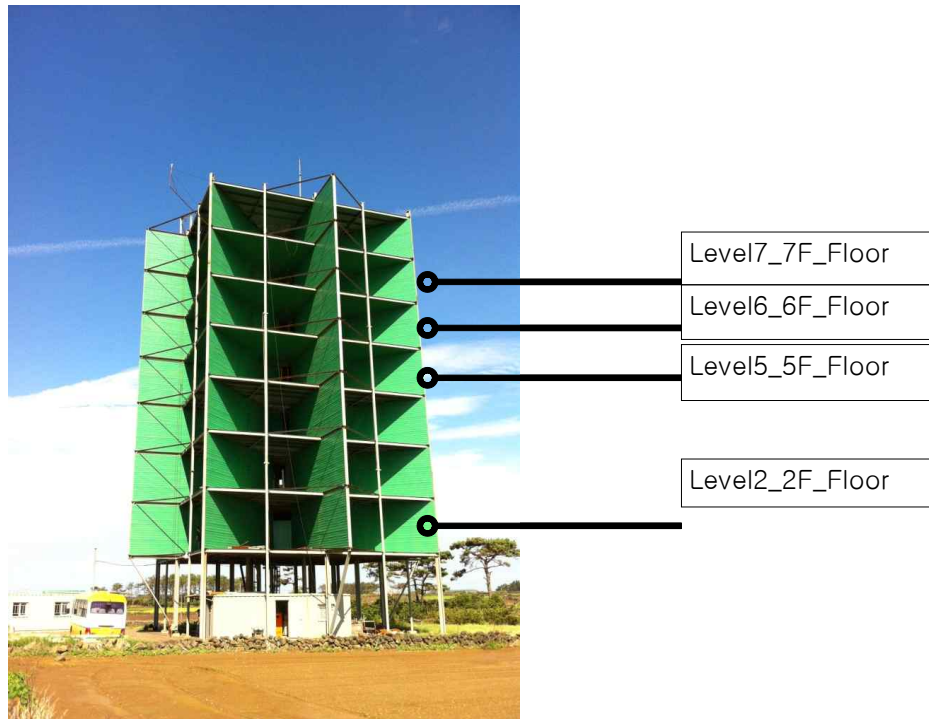
- 진동원의 강제진동수(f)를 알고 충분한 방진효과를 얻으려면 진동수비가 $\sqrt{2}$ 이상이 되도록 고유진동수(f_0)를 결정한다.
- 고유진동수를 토대로 스프링 변위량(처짐)을 구한다.
- 진중량(W)를 안전하게 지지하고 변위량(처짐) δ 를 얻을 수 있는 방진재료를 선정한다.
- 정적 처짐량의 할증률 : 코일스프링 1, 방진고무 1.1~1.6, 펠트 9~17

(3) 소음 및 진동 분석평가

본 연구에서는 제주도 서귀포시 모슬포에 시험 설치된 풍력발전기의 소음·진동을 측정하여 건물 옥상에 설치시의 사용성 문제 등을 검토하고자 하였다. 풍력발전기(wind turbine)는 <그림 66>와 같이 지상 8층 구조의 원심 터빈형 풍력발전 시스템으로 탑상형의 각 층별로 개별 발전하는 방식이다. 육각형 모양의 발전기는 외부에 대형 블레이드를 설치할 필요가 없어 소음과 진동이 적으며, 층별 개별 발전방식으로 모듈화를 통해 대용량 발전이 가능한 시스템으로 도심지 건물 옥상에 적용이 가능하도록 개발되었다.

(가) 개 요

- Wind Turbine 사양은 아래 표 9와 같다.
- 제주 Wind-Turbine 전체 제원: 16m x 16m x 30m(H)-지상 8층 구조



<그림 66> 제주현장 Wind Turbine구조

[표 11] Wind Turbine specification

구분	Floor	Elevation(m)	T u r b i n e Power	Blade No.	Blade size(mm) 직경D x 높이H
Level1	Ground base 1F	GL+0	-	-	-
Level2	2F FL	GL+5.5	-	-	-
Level3	3F FL	GL+9.0	-	5	
Level4	4F FL	GL+12.5	3.5kw	20	3,000Dx2,000H
Level5	5F FL	GL+16.0	5.0kw	24	3,800Dx2,000H
Level6	6F FL	GL+19.5	5.0kw	24	3,800Dx2,000H
Level7	7F FL	GL+23	3.5kw	20	5,000Dx2,000H
Level8	8F FL	GL+26.5	-	-	-

(나) 진동 측정 결과 및 분석

① 진동가속도 레벨(dB)

- 지상1층 및 5층~7층까지 4개 장소의 위치에서 진동측정 결과는 아래 [표 12]와 같다.
- 측정조건은 wind-Turbine이 무 부하 상태로 운전되는 조건이다. 즉, blade와 연결된 감속기와 전동기 사이에 운동이 전달되지 않고 분리된 상태이다.

[표 12] Turbine 위치(층)에 따른 진동가속도 레벨

구 분	진동가속도 레벨(dB)			풍속 (Max.)m/sec
측정위치	X	Y	Z	
1F	44.7	45.6	34.4	
5F	53.8(63.3)	60.0(67.7)	58.1(65.5)	5~6
6F	56.6(64.3)	53.7(62.3)	68.3(75.4)	5~6
7F	51.4(60.5)	63.8(77.2)	54.7(64.6)	4.5~5
평균	53.9(62.7)	59.2(69.1)	60.4(68.5)	5.25

주의1), ()는 측정 시간 동안의 최대치

주의2), 풍속은 최대풍속으로 Air-shroud 입구 풍속임

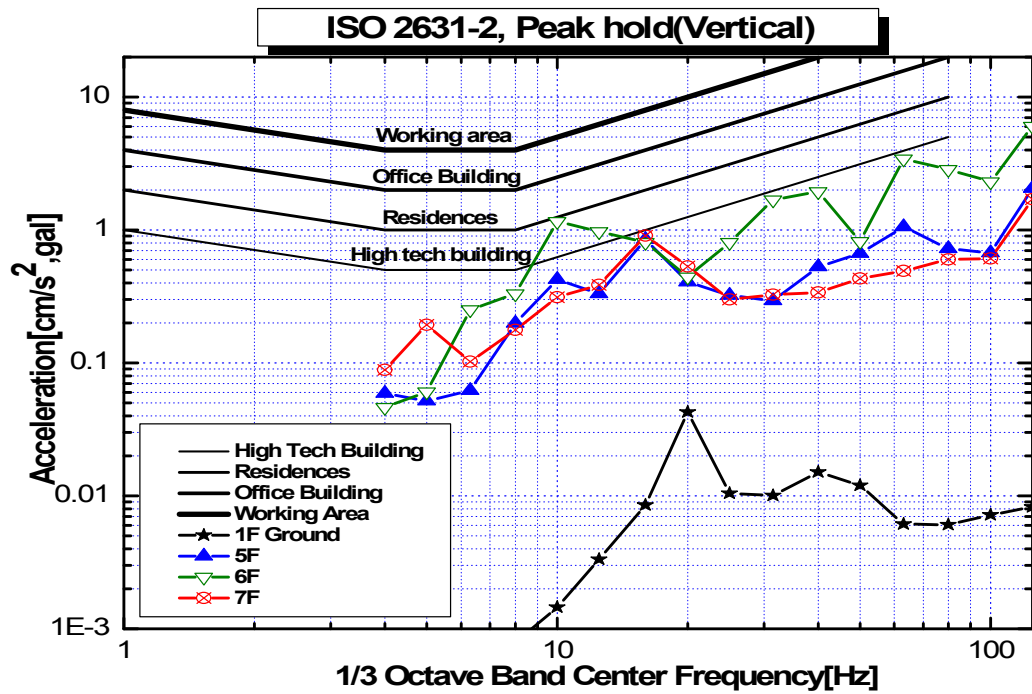
- 1층을 제외한 평균 진동가속도는 수직방향에 대하여 약68.5dB, 수평방향에 대하여 약 62.7~69.1dB 수준을 보였다.

② 건축물에 따른(ISO 2631-2)진동 권장치와 비교

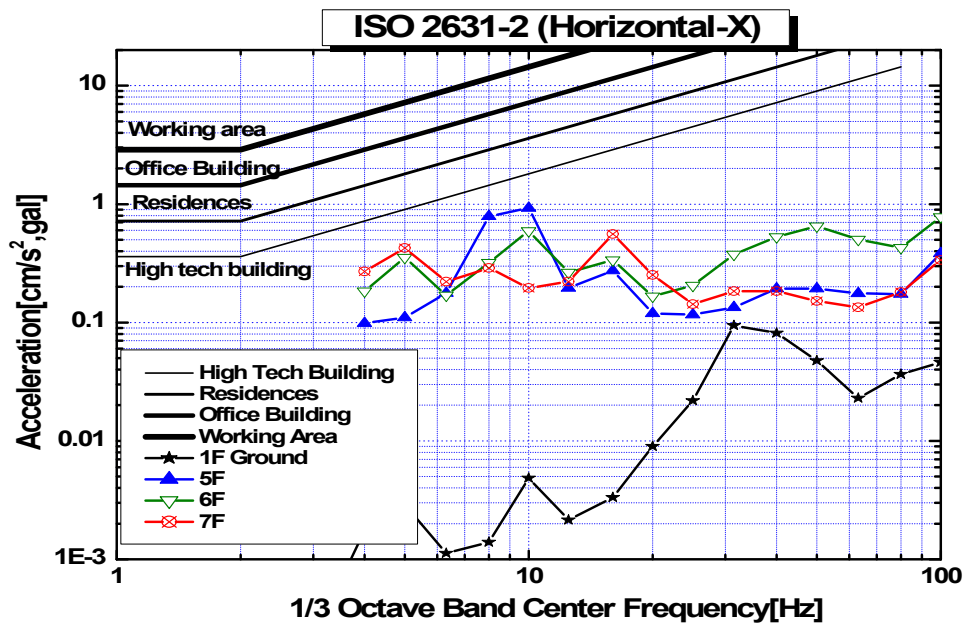
- 건축물 용도에 따른 ISO 2631-2의 평가 기준을 이용하여 Wind-Turbine 구조물 진동을 평가한 결과 무 부하 상태에서 주거용 빌딩 권장치 이하로 나타났다. 본 결과는 측정시간 대 계측된 최대 진동 값(Peak hold)을 적용하여 평가한 결과이다.

[표 13] 건축물의 용도에 따른 진동 권장치(ISO 2631-2)와 비교

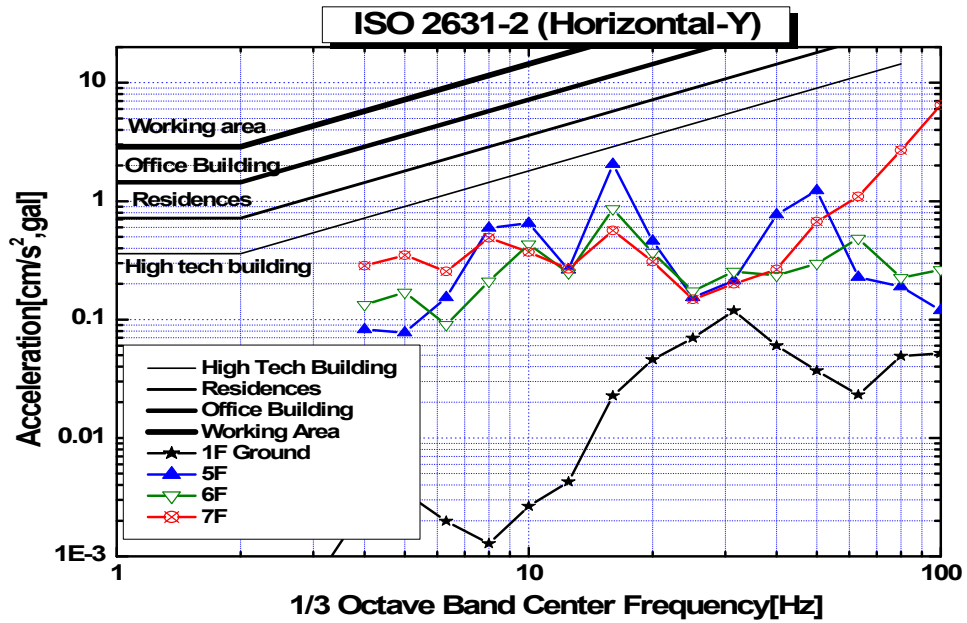
구 분	ISO 2631-2			비고
측정위치	X	Y	Z	
1F	High tech building zone	High tech building zone	High tech building zone	
5F	High tech building zone	High tech building zone	Residence building zone	
6F	High tech building zone	High tech building zone	High tech building zone	
7F	High tech building zone	High tech building zone	High tech building zone	



<그림 67> ISO 2631-2 건축물 진동 권장치(Z-Vertical)



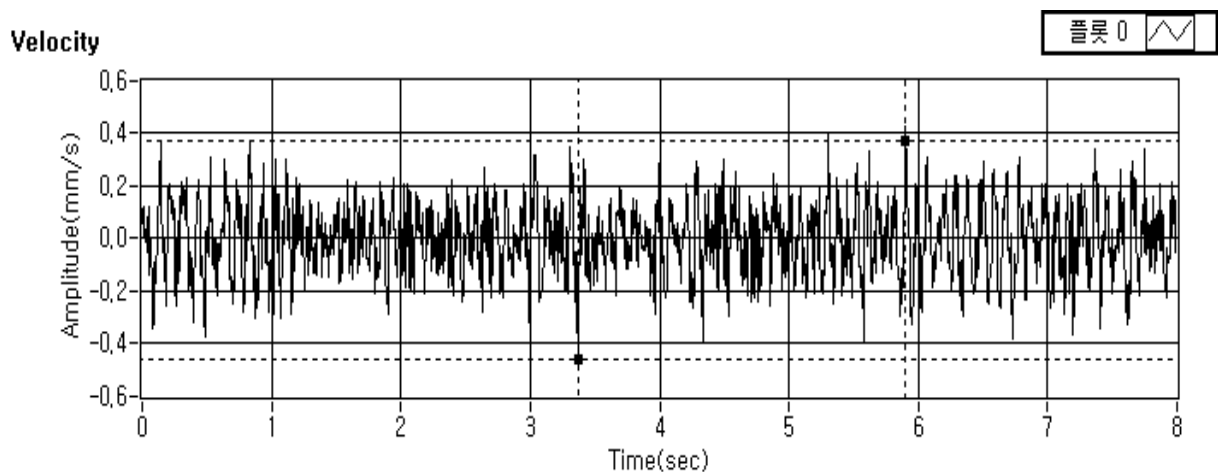
<그림 68> ISO 2631-2 건축물 진동 권장치(X-Horizontal)



<그림 69> ISO 2631-2 건축물 진동 권장치(Y-Horizontal)

③ 건축물, 기계 구조물 등 진동에 의한 속도 진폭 한계

- 구조물의 경우 일반적으로 0.3cm/sec(0.3kine)이하이면 문제를 발생하지 않는다고 본다.
- 따라서 본 Turbine 구조물의 진동수준은 [표 13]에서와 같이 매우 양호한 상태이다.



<그림 70> 6층 Wind-turbine Time history (수직방향) 0.4/-0.48mm/sec

[표 14] 속도시간이력 속도 진폭

구 분	Peak amplitude (Velocity Time history) mm/sec			Vector sum (mm/sec)	평가 (mm/sec)
측정위치	X	Y	Z		
1F	0.03	0.05	0.01	0.06	<3.0 (O.K)
5F	0.2	0.29	0.18	0.40	<3.0 (O.K)
6F	0.24	0.2	0.48	0.57	<3.0 (O.K)
7F	0.28	0.35	0.22	0.50	<3.0 (O.K)

(다) 소음 측정 결과 및 분석

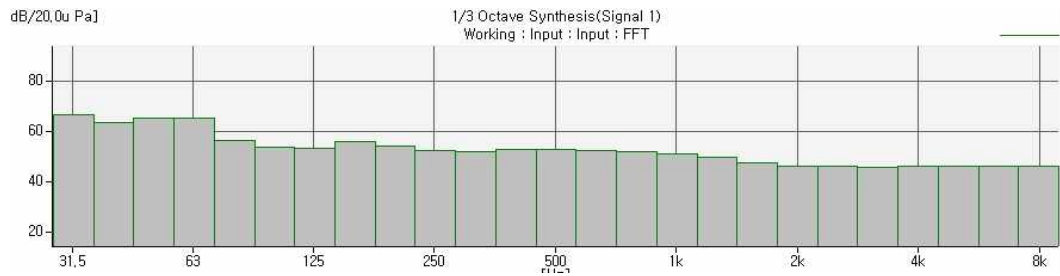
본 보고서에서는 소음환경기준과 생활소음 규제기준에 근거하여 Wind Turbine에 대해서는 주간 낮 시간대(07~18시)에 가동하는 조건으로 50dB(A) 이하를 소음기준으로 정하였다.

- 옥타브 밴드별 소음레벨(dB)
 - 지상 5~7층까지 3개의 장소의 위치에서 소음측정결과는 위 [표 14]와 같다.
 - 측정조건은 wind-turbine이 무부하 상태로 운전되는 조건이다.
 - [표 15]의 음압레벨은 turbine blade의 근거리에서 측정한 결과로 소음레벨은 전파거리가 2배가 증가할 때마다 6dB감소하는 역이승 법칙에 의거 turbine을 주거지역에서 20m 떨어진 곳에 설치하면 소음기준을 잡은 50dB(A)에 만족하는 결과를 얻을 것으로 본다.

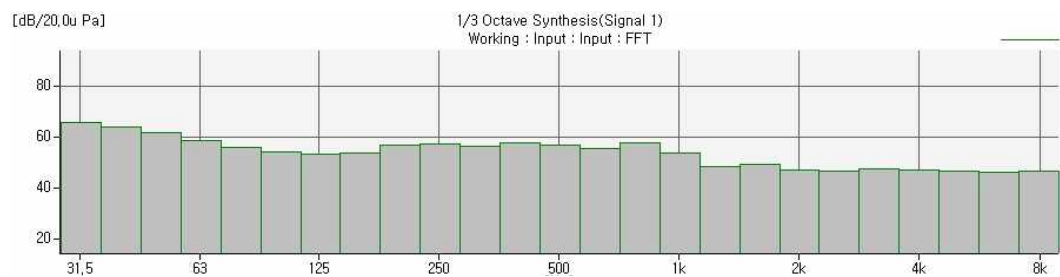
[표 15] Turbine 위치(층)에 따른 옥타브 밴드별 소음레벨

구 분	O.A. dB(A)	Octave Band SPL per Frequency [dB]							
측정위치		63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
5F	65.9	65	53.1	51.9	52.4	50.6	45.9	45.6	45.9
6F	63.2	58.3	52.7	56.7	56.2	53.3	46.8	46.7	46.3
7F	61.7	59.9	51.6	50.4	50.5	47.2	44.3	44.7	45.7

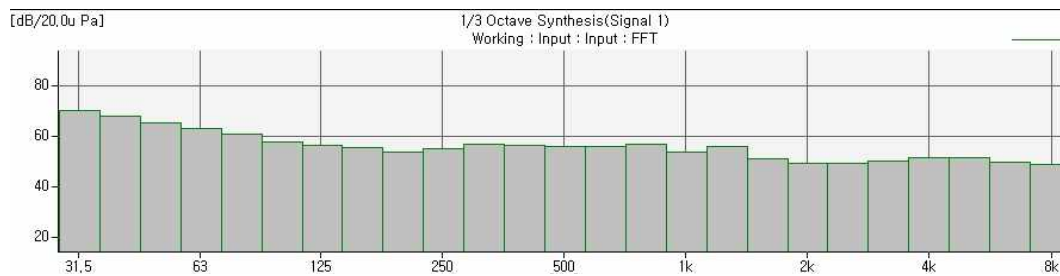
주의1) O.A.(Overall Value) : 옥타브밴드 주파수에 해당하는 소음레벨을 모두 합산한 값임.



<그림 71> 5층 wind-turbine 옥타브별 소음측정결과



<그림 72> 6층 wind-turbine 옥타브별 소음측정결과



<그림 73> 7층 wind-turbine 옥타브별 소음측정결과

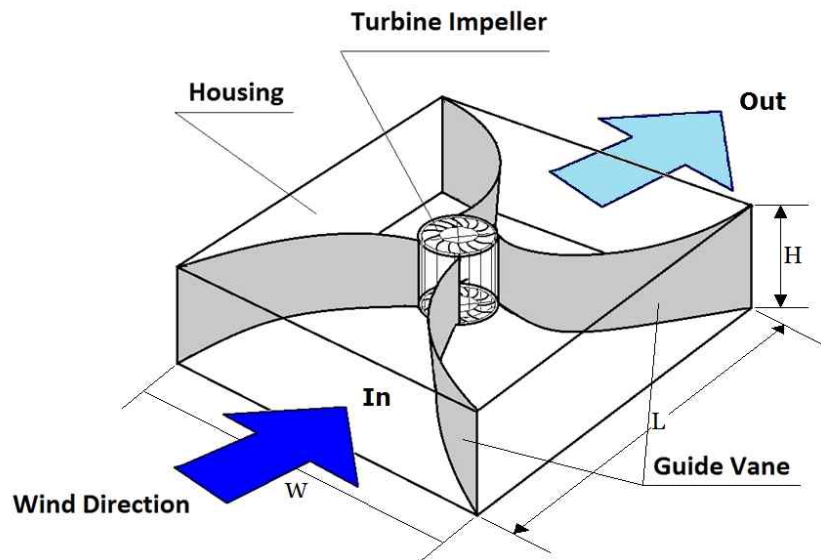
4. 2차년도 최종연구 결과

가. 1차년도 연구에서 개발된 모델 수직축 풍력발전시스템의 성능평가를 위한 실험 연구

(1) 2kW급 횡류형 수직풍력발전장치의 구조 및 형상설계

본 연구에서 개발된 수직축 횡류형 풍력터빈은 양력식 터빈이 아닌 항력식 발전용 풍력터빈으로 바람의 속도에너지가 입구쪽의 가이드베인을 통과하는 순간 가속이 되며, 터빈임펠러의 입구에서 압력에너지로 전환되어 터빈임펠러를 회전시키는 회전일로 변환된다.

Fig. 1에서 알 수 있듯이 터빈 입출구에서의 압력차가 클수록 터빈을 구동하는 가용에너지가 커지게 되며, 선행연구[1]를 통해 알 수 있었듯이 터빈임펠러 외부에 설치되는 가이드베인의 구조물은 터빈임펠러의 출구부분에서 강한 와류현상을 유발하며 이로 인해 터빈임펠러 전후방에서의 압력차를 증폭시키는 역할을 하게 되며 이는 항력식 풍력터빈에 매우 긍정적인 작용을 하게 된다.

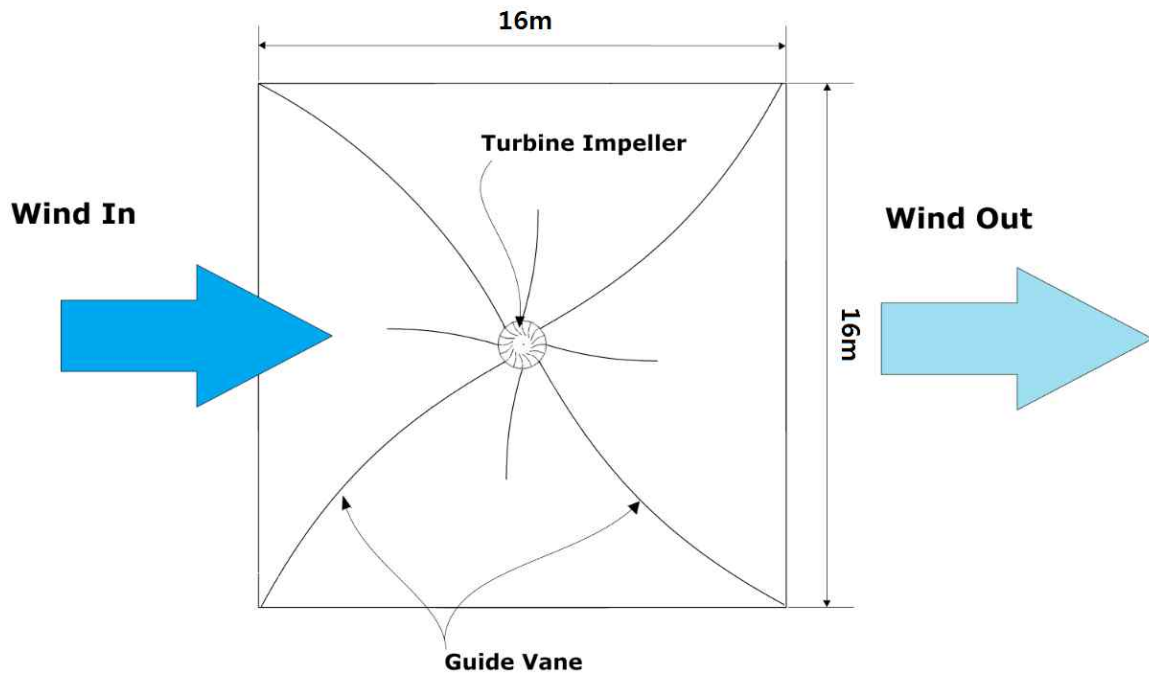


<그림 74> Physical concept of the model wind power generation system:
16m(W)x16m(L)x2m(H)

(가) 모델 풍력발전장치의 구조

<그림 74>는 본 연구에서 개발된 횡류형 터빈을 장착한 2kW급 수직풍력발전장치의 평면형상을 보여준다. 실제 풍력 터빈입구에 설치되는 가이드베인 입구면적의 크기는 (16mx2m)로 설계되어지나 본 실험연구에서는 가용한 아음속 풍동의 검사체적의 크기에 맞추어 가이드베인 입구

의 면적비를 실물의 약 1/5 scale로 제작하여 설계 풍력터빈의 성능평가 시험을 실시하였다.



<그림 75> Configuration of the developed model wind power generation system; (top-side view)

실험을 위한 모델 가이드베인의 입구와 목의 면적비($AR=A_{th}/A_{in}$)는 0.19로 설정하였다.



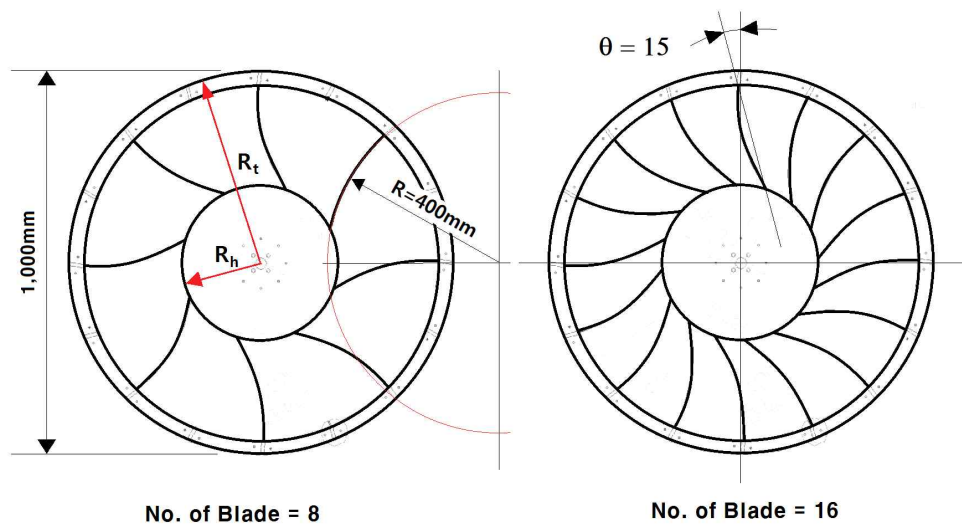
<그림 76> The model wind turbine system with the guide vanes and turbine impeller installed at the test section of the subsonic wind tunnel.

<그림 76>은 아음속 풍동의 검사공간 내부에 설치된 1/5 축소모델 풍력발전장치의 형상을

보여준다.

(나) 횡류형 풍력터빈 임펠러의 구조

<그림 77>는 본 연구에서 개발된 횡류형 터빈임펠러의 평면도를 보여준다. 본 실험연구를 위해 (1/2) scale의 축소모형을 제작하여 출력성능 실험을 실시하였다. 임펠러 블레이드의 코드(chord) 길이는 31.7cm이며, 붙임각(θ)은 15도이다. 임펠러의 $(R_h/R_t)R$ 는 0.4로 설계하였으며 임펠러 날개의 기수는 8개와 16개로 고정하여 설계하였다.



<그림 77> 2-Dimensional view of the model turbine impeller and its geometry.

<그림 78>은 터빈 블레이드가 16개 장착된 임펠러가 조립되어 토크와 회전수를 측정하는 장치에 장착된 모습을 보여준다.



<그림 78> The model turbine impeller assembled with 16 blades and mounted on the test bed.

(2) 2kW급 모델 횡류형 수직풍력발전장치의 성능평가실험

본 실험연구에서는 선행연구[2]를 통해 설계된 수직형 풍력발전시스템의 최적화 축소 모델을 완성하고, 제작하여 풍력발전 성능을 평가하기 위해 실험용 풍동실험을 실시하였다. 실험 풍속을 3단계로 나누어 모델터빈의 출력성능을 측정하였으며, 풍속변화에 따른 터빈의 회전 수와 토크를 측정하여 제동출력을 산출하였다.

(가) 실험을 위한 풍동실험장치

개발된 모델 풍력발전장치의 풍속조건 변화에 따른 제동출력(brake power)을 측정하기 위해 개방형 풍동을 사용하였으며 풍동 검사부의 채원은 폭 4.5m, 높이 2.5m 그리고 길이 25m로 자세한 작동제원은 아래 [표 16]에 주어진 바와 같다.

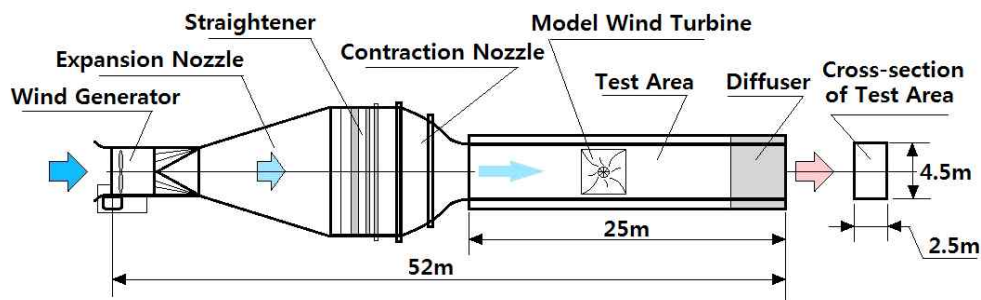
[표 16] Specification of the Wind Tunnel

1	Type	Subsonic Open-type Wind Tunnel
2	Total length	52m
3	Test section size	4.5m x 2.5m x 25m
4	Wind speed	0.3 ~ 17.5m/s
5	Turbulent Intensity	< 5%
6	Flow uniformity	within 1.5%

풍동은 아음속 개방형 풍동으로 검사부의 폭과 높이가 각각 4.5m, 2.5m로 검사부의 크기를

고려하여 본 연구에서 개발한 모델 풍력발전장치의 크기를 결정하여 가이드베인의 크기는 약 (1/5)배로 축소하고 풍력터빈 임펠러의 경우는 (1/2)배의 크기로 축소하여 제작하여 실험을 실시하였다.

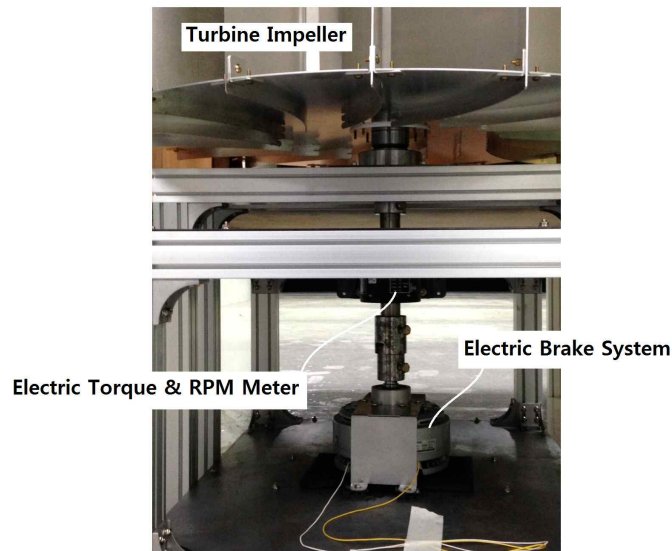
<그림 79>는 본 연구에 사용된 개방형 아음속 풍동이 평면도를 보여주며 검사부(test area)의 중앙부에 모델 풍력터빈을 설치하고 바람 속도변화에 따른 토크와 임펠러 회전수를 계측하여 터빈의 제동출력을 산출하였다.



<그림 79> Top-view of the 4.5x2.5x25m open-type low speed wind tunnel.

제동출력의 산출을 위해 터빈 임펠러의 하단부위에 토크미터와 전자제어식 제동장치를 부착하고 각 실험 풍속(4, 6, 8m/s)에서 터빈의 회전수를 변화 시켜가며 제동토크(brake torque)의 변화를 계측하였다.

<그림 80>은 터빈 임펠러 하단부위에 설치된 전자제어식 제동장치(electric controlled brake system)과 터빈임펠러축과 제동장치 축 사이에 설치되어 축의 제동토크(brake torque) 변화를 측정하기 위한 동력계의 사진을 보여준다.



<그림 80> Assembly of the electric brake system and digital torque meter with the model turbine impeller.

(나) 터빈 성능평가를 위한 주요 실험변수

본 연구에서 설계/제작된 풍력발전시스템은 가이드베인의 크기가 3.6m x 3.6m x 1.6m이며, 내부에 장착되는 횡류형 터빈 임펠러는 Fig. 4에서 보듯이 외경이 1.0m, 내경이 0.4m이며 날개의 기수가 8, 16개인 2종류를 제작하여 실험을 실시하였다. 모델 발전장치를 풍동의 시험부에 설치 후 풍동의 가용 풍속을 판단하기 위해 예비실험을 실시하였으며 그 결과 풍동 팬속도의 변화에 따른 최대 풍속이 8.5m/s로 측정되었다. 이를 근거로 실험을 위한 풍속을 결정하였다.

발전장치의 입구풍속은 4m/s, 6m/s, 8m/s 3단계로 나누어 실험하였으며 이때 바람의 속도와 온도는 가이드베인 입구의 전방 3.5m에서 측정하였다.

[표 17] Experimental Parameters and Its Ranges

	Parameter	Range
1	Wind speed	4~8m/s
2	No. of Blade	8, 16
3	Wing-tip clearance	10mm

(다) 실험결과 분석을 위한 이론

풍속의 변화에 따라 터빈 임펠러의 제동토크와 임펠러 회전수를 측정하여 제동출력은 다음의 식으로 풍력터빈의 제동출력을 산출하는 이론은 다음과 같다.

풍력터빈의 제동출력(P_{brake}),

$$P_{brake} = T_{brake} \times N = \frac{2\pi N}{60} \quad (\text{watts})$$

풍력터빈의 유입에너지(P_{inlet}),

$$P_{inlet} = \frac{1}{2} \dot{m} V^3 = \frac{1}{2} \rho A V^3 \quad (\text{watts})$$

풍력터빈의 제동효율(η_{brake})

$$\eta_{brake} = \frac{P_{brake}}{P_{inlet}} \times 100(\%)$$

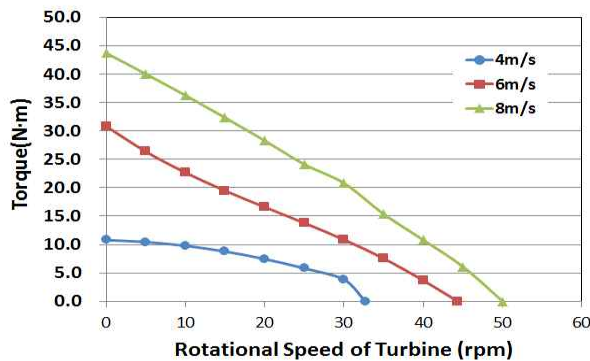
(3) 성능평가 실험결과 및 분석

모델 풍력발전장치의 풍속변화에 따른 터빈임펠러의 회전수와 토크의 크기변화를 알아보았다. 일정한 풍속 즉 풍력발전장치로 유입되는 바람의 운동에너지가 일정한 조건에서 터빈의 회전수를 증가시키면 토크는 감소하게 되며, 터빈 날개의 기수가 증가할수록 많은 풍력에너지를 흡수한다는 사실을 알 수 있다.

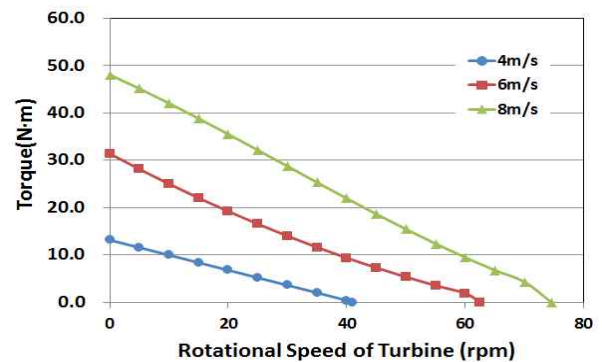
(가) 풍속변화에 따른 터빈의 토크/회전수변화

Fig. 8에서 알 수 있듯이 일정한 풍속에서 유입되는 바람의 운동에너지가 일정하므로 회전수가 감소하게 되면 터빈의 제동토크는 증가한다는 사실을 알 수 있다. 또한 동일한 풍속에서 터빈의 날개 기수가 8개보다 16개일 때가 에너지 흡수율이 높다는 사실을 알 수 있다. 즉 8m/s의 풍속에서 날개 기수가 8개일 때에는 최대 토크가 4.46kgf·m정도이나 16개일 경우에는 약 4.9kgf·m정도로 약 10%정도 제동 토크가 증가한다는 사실을 알 수 있다. 최대 회전수 역시 날개 기수가 16개일 때가 약 49% 증가하였다.

(a) No. of Turbine Blade : 8ea



(b) No. of Turbine Blade : 16ea



<그림 81> Variation of the model turbine speed with the brake torque with the change of the wind speed.

(나) 모델 풍력발전장치에서 터빈회전수 변화에 따른 제동출력변화

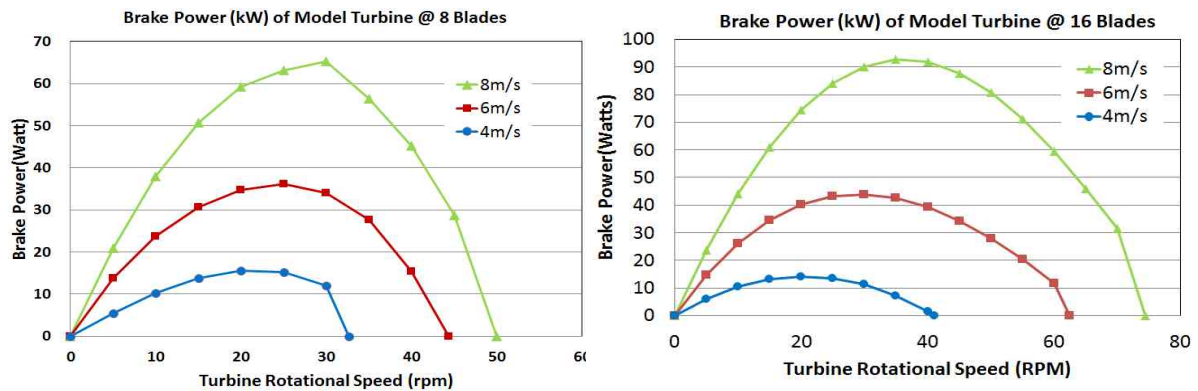
<그림 81>은 실제 프로토타입 풍력발전시스템에 비해 약 (1/5) scale의 크기인 모델 풍력발전시스템의 제동출력의 변화를 나타내는 선도이다. 일정한 풍속에서 터빈의 회전수가 증가할 때 출력이 증가하나 특정속도에 도달하게 되면 제동토크의 감소로 출력이 다시 감소하게 된다.

8m/s의 동일한 풍속에서 터빈 날개의 기수가 8개인 경우는 최대 출력이 65.3watt로 측정되나 16개인 경우는 최대 출력이 약 42% 증가하는 92.8watt가 측정되었다.

(다) 모델 풍력발전장치에서 터빈회전수 변화에 따른 제동출력변화

<그림 82>는 실제 프로토타입 풍력발전시스템에 비해 약 (1/5) scale의 크기인 모델 풍력발전시스템의 제동출력의 변화를 나타내는 선도이다. 일정한 풍속에서 터빈의 회전수가 증가할 때 출력이 증가하나 특정속도에 도달하게 되면 제동토크의 감소로 출력이 다시 감소하게 된다.

8m/s의 동일한 풍속에서 터빈 날개의 기수가 8개인 경우는 최대 출력이 65.3watt로 측정되나 16개인 경우는 최대 출력이 약 42% 증가하는 92.8watt가 측정되었다.



<그림 82> Variation of the brake torque of the model turbine with the turbine rotational speed with the change of the wind speed.

(라) 실물 풍력발전장치에서 터빈회전수 변화에 따른 제동출력변화

본 실험연구에서 설계/제작하여 출력성능을 실험한 모델 풍력발전장치(model wind power system)의 크기는 실물 풍력발전장치(Prototype wind power system)에 비해 기하학적으로 입구의 면적비가 약 (1:5.6)이며, 터빈 임펠러의 직경역시 (1:2)의 비율로 축소된 크기이다. 즉,

① 실물풍력발전장치(Prototype Wind Turbine)의 크기:

입구가이드베인 면적: 16m x 2m

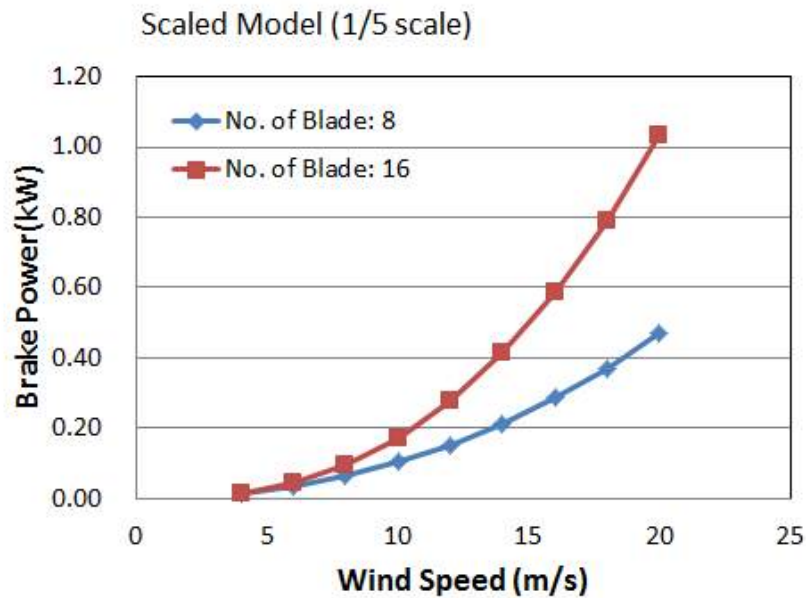
실물 터빈의 투영면적비: 2m x 2m

② 축소모델발전장치(Model Wind Turbine)의 크기:

입구가이드베인 면적: 3.6m x 1.6m

모델 터빈의 투영면적비: 1m x 1.6m

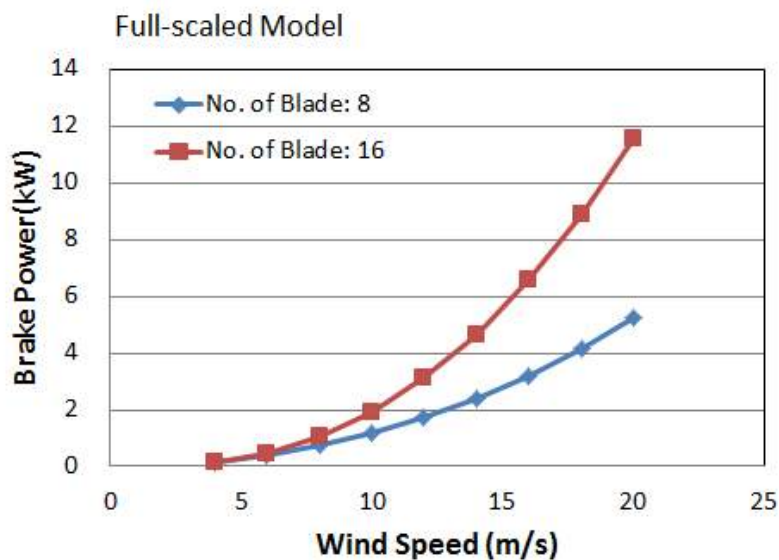
위의 실물형상과 모델형상의 기하학적 형상의 비율을 고려하여 실물형상 풍력발전장치의 출력성능을 예측해 보면, 유입되는 공기의 운동에너지의 량이 약 5.6배 증가하게 되며, 터빈 임펠러를 통해 흡수되는 에너지의 량 역시 이론적으로 약 2.5배 정도 증가하는 것으로 판단할 수 있다. 이러한 기하학적 상사(geometrical similarity)의 개념을 도입하여 모델과 실물형상 풍력발전시스템의 출력성능을 예측해 보면,



<그림 83> Variation of the brake power of the model wind turbine with the wind speed with the change of the blade number.

<그림 83>에서 알 수 있듯이 날개의 기수가 2배인 16개의 터빈 임펠러를 장착하였을 경우 제동출력이 매우 크게 증가한다는 사실을 알 수 있다. 정격풍속인 12m/s에서 8개의 기수인 경우는 출력이 153watt이며, 16개인 경우는 278watt로 산출되었다. 즉 약 82%정도 출력이 증가하는 것으로 나타났다.

Fig. 11은 실물 풍력발전시스템의 제동출력(brake power)을 산출한 결과이다.



<그림 84> Variation of the brake power of the prototype wind turbine with the wind speed with the change of the blade number.

<그림 84>는 실물 풍력발전시스템의 제동출력(brake power)을 산출한 결과이다. 바람의 정격속도인 12m/s에서 날개의 기수가 8개인 경우 출력이 2.14kW가 산출되었으며, 16개인 경우는 제동출력이 약 82%증가한 3.9kW로 산출되었다.

(4) 결 론

본 실험연구에서는 현재까지 설계된 횡류형 터빈을 장착한 수직형 풍력발전시스템을 제작하여 풍동장치를 이용하여 풍속의 변화에 따른 모델 풍력발전장치에서의 제동출력성능을 측정하였다. 또한 본 실험을 결과를 바탕으로 실물크기의 프로토타입 풍력발전시스템에서의 출력성능을 산출하였다. 실험결과에 의하면 최초 연구과제의 목표치인 풍속 12m/s에서 풍력발전시스템 당 2kW의 출력을 충분히 생산할 수 있는 풍력발전시스템의 개발이 가능한 것으로 판단된다. 본 연구결과를 정리해 보면,

- 모델 풍력발전시스템 출력성능의 경우 정격 풍속인 12m/s의 속도에서 날개 기수가 8개일 때 153watt의 출력이 측정되었으며, 16개인 경우는 82%의 출력이 증가된 278watt의 출력이 측정되었다. 즉 터빈 날개의 기수가 증가할 수 록 보다 많은 바람의 속도에너지를 흡수한다는 사실을 알 수 있었다. 선행의 이론연구[3]에서는 날개의 기수가 최대 24개까지 출력이 증가하는 것으로 나타났으므로 추후 보완적 실험연구가 필요한 것으로 판단된다.

- 모델 풍력발전시스템의 실험결과를 바탕으로 기하학적 상사의 개념을 도입하여 프로토타입 실물 풍력발전시스템의 성능을 산출해 본 결과 정격 풍속인 12m/s에서 날개의 기수가 8개인 경우 제동출력이 2.14kW가 산출되었으며, 16개인 경우는 3.9kW의 출력이 산출되었다. 이 경우 역시 터빈 날개의 기수를 최대 24까지 늘렸을 때 출력이 더욱 상승할 것으로 기대되며 보완연구가 필요한 것으로 판단된다.

나. 타워높이가 층간 풍속에너지의 변화에 미치는 영향에 대한 연구

(1) 서론

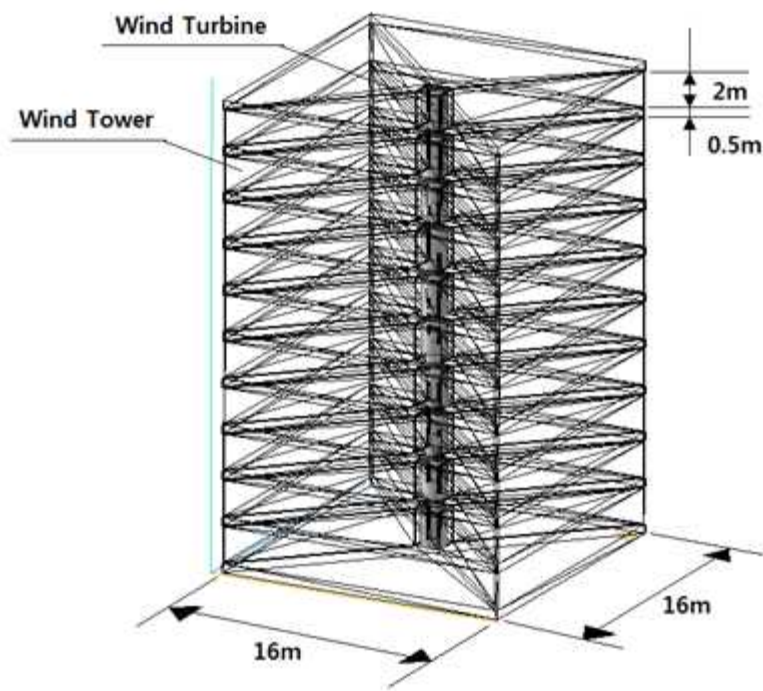
풍력타워는 층별 설치되는 풍력터빈으로 유입되는 풍력에너지의량을 결정하는 가이드베인(guide vane)의 역할을 하게 된다. 본 연구에서는 타워의 높이 변화에 따라 층별로 설치되는 풍력터빈으로 유입되는 풍력에너지의 변화에 관해 알아 보았다. 본 연구를 통해 도출되는 연구 결과는 층별로 달라지는 풍력에너지량의 변화를 통해 층별로 예측되는 발전 가능량을 예측하는데 중요한 자료로 활용될 수 있다.

(2) 모델 풍력타워의 형상 및 제원

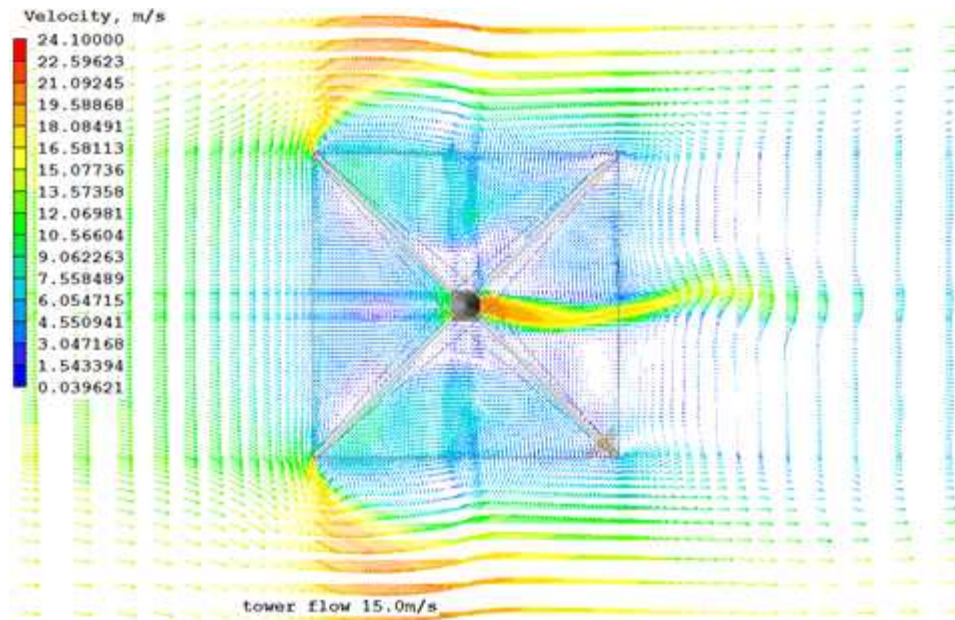
본 수치해석 연구에서는 5층과 10층 높이의 풍력타워를 실물형상으로 모델링 하였으며 각 층당 가로x세로의 길이가 동일한 (16m x 16m)이며 층당 높이는 2m이며, 층간 높이는 0.5m로 설정하였다.

아래 <그림 85>는 본 연구를 위해 적용된 10층 풍력타워의 구조를 보여준다. 타워의 높이는 25.5m이며, 타워의 내부에는 풍력터빈이 설치되어 있다.

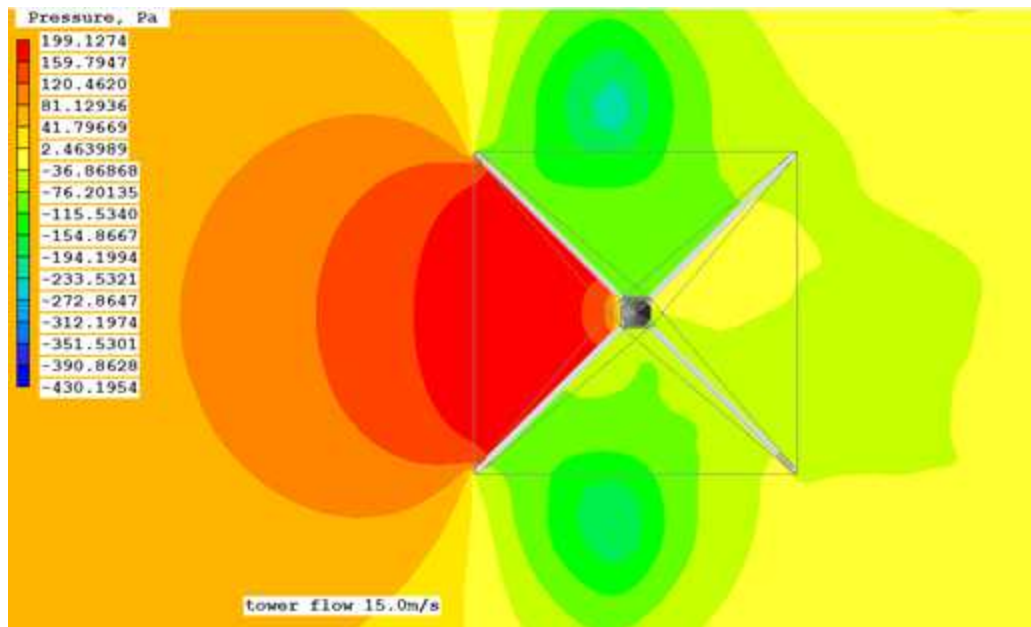
<그림 86>~<그림 88>은 풍속 15m/s일 때 타워 주위에서의 풍속분포, 압력분포 그리고 난류에너지의 분포를 보여준다. <그림 86>은 타워 7층 입구에서 유속이 가속되고 있으며 벽면에서는 회전류가 발생하는 것을 보여준다. <그림 87>은 입구에서의 압력분포를 나타낸다. 타워 내부에서 압력이 매우 높이 상승한다는 사실을 알 수 있으며, 이때 압력의 에너지는 풍력터빈을 회전시키는 회전운동에너지로 전환되어 전기에너지를 생산하는데 사용된다.



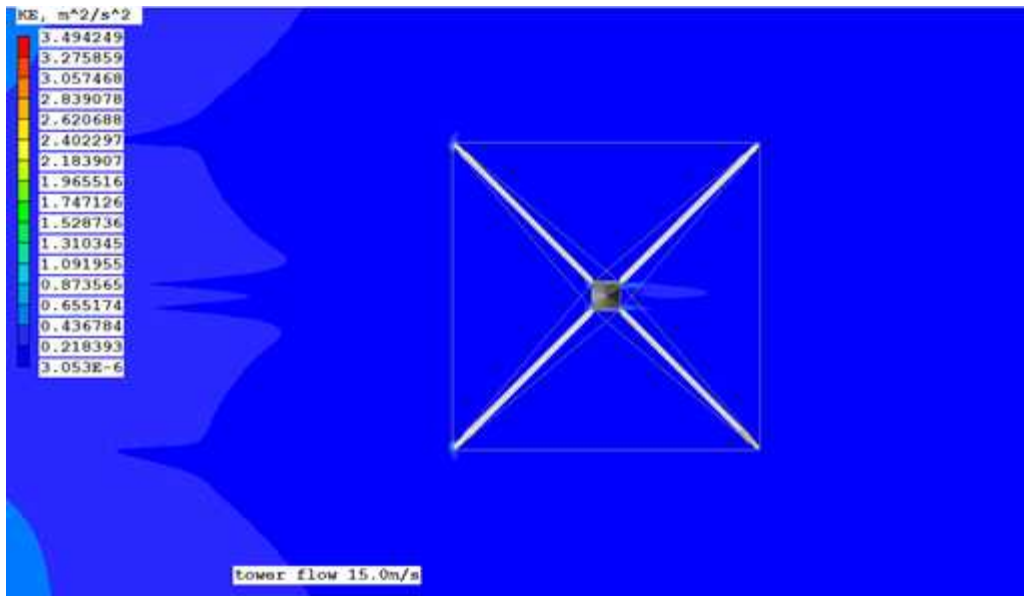
<그림 85> Configuration of a Physical Model of the 10-story Wind Tower



<그림 86> Velocity distribution on the 7th story of the wind tower



<그림 87> Pressure distribution on the 7th story of the wind tower



<그림 88> Turbulent Kinetic Energy distribution on the 7th story of the wind tower

<그림 88>은 난류운동에너지의 분포를 보여준다. 풍력터빈 출구 부에서의 난류운동에너지는 높지 않으므로 터빈의 토출 유동은 잘 이루어 질 것으로 판단된다.

(3) 수치해석 연구를 위한 해석기법과 조건

(가) 수치해석 연구를 위한 해석기법

풍속의 변화에 따른 풍력타워 주위에서 발생하는 공기의 유동현상을 수치해석 기법으로 묘사하기 위해 유한체적법(Finite Volume Method)을 적용하는 범용CFD코드인 영국 CHAM사의 PHOENICS (ver. 2011)1)을 사용하였다. 해석 경계조건의 단순화를 위해 바람은 풍속이 균일하다고 가정하였으며, 해석을 위한 공기의 유동 장은 다음과 같이 정의하였다.

- 준3차원 유동 (Quasi-3D Flow)
- 난류유동 (Turbulent Flow)
- 비압축성유동(Incompressible Flow)
- 정상유동 (Steady Flow)
- 등온유동 (Isothermal Flow)

검사체적내의 비압축성 난류유동장 해석을 위해 3차원 Navier-Stokes 방정식2)을풀었으며, 난류해석을 위해 표준 ($k-\epsilon$) 모델3)을사용하였다. 점성이 낮은 기체의 경우 상대적으로 표면 마찰저항이 매우 낮아 대류 열전달의 현상은 무시하여 에너지 방정식은 풀지 않았다. 또한 유동해석의 수렴성 판단을 위해 각 변수들의 계산 잉여율(residual fraction)이 10-4%이하로

떨어질 때까지 충분히 반복적으로 계산하였다. 비압축성, 난류 유동장의 해석을 위한 지배방정식은 다음과 같다.

지배방정식(Governing Equations);

- 연속방정식(continuity equation)

$$\frac{\partial U_i}{\partial x_i} + \frac{\partial U_j}{\partial x_j} + \frac{\partial U_k}{\partial x_k} = 0 \quad (1)$$

- 운동량방정식(momentum equation)

$$\begin{aligned} \frac{\partial U_i}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (U_i U_j) = & -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x_i} + \\ & \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\nu \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_i} + \frac{\partial U_j}{\partial x_j} \right) - \overline{u_i u_j} \right] - g_i \end{aligned} \quad (2)$$

- 난류운동에너지방정식(turbulent kinetic energy)

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (U_j k) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\nu + \frac{\nu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_i} \right] + G - \varepsilon \quad (3)$$

- 소산방정식(energy dissipation equation)

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x_i} (U_j \varepsilon) = & \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\nu + \frac{\nu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] \\ & + \frac{\varepsilon}{k} (C_{\varepsilon 1} G - C_{\varepsilon 2} \varepsilon) \end{aligned} \quad (4)$$

$$-\overline{u_i u_j} = \nu_t \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} k \delta_{ij}$$

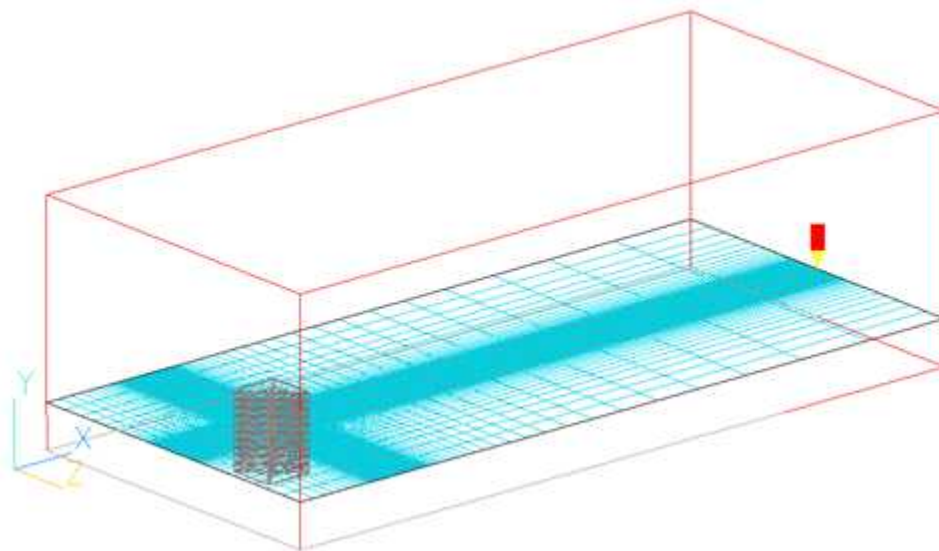
$$G = -\frac{u_i u_j}{\partial x_i} \frac{\partial U_i}{\partial x_j}, \quad \nu_t = C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon}$$

where ,

$$(C_\mu = 0.09, C_{\varepsilon_1} = 1.44, C_{\varepsilon_2} = 1.92, \sigma_k = 1.0, \sigma_\varepsilon = 1.0)$$

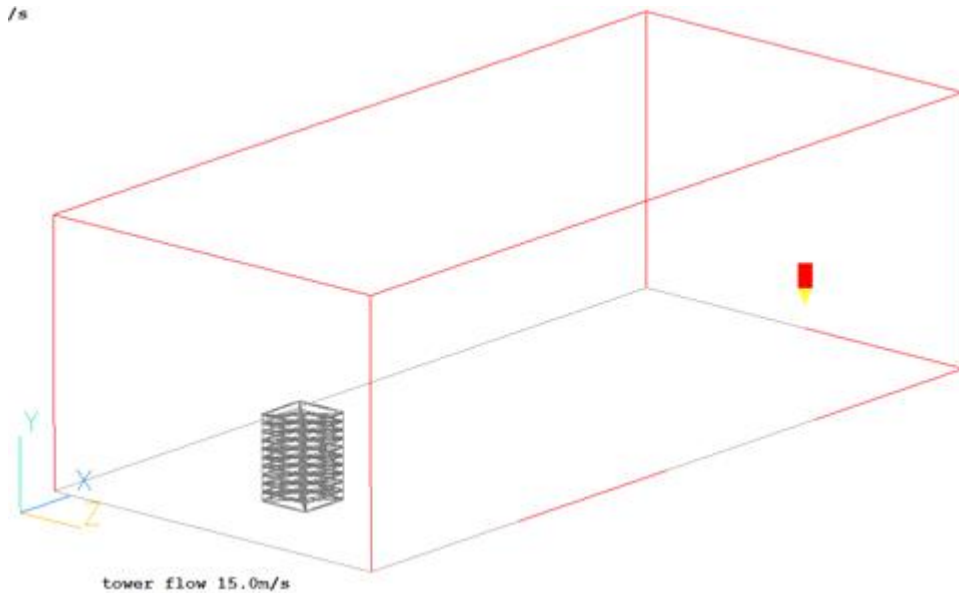
(나) 수치해석 연구를 위한 격자 생성법

해석 공간에서의 격자생성을 위해 CAD-to-CFD 격자 생성법(grid generation method)1)을 이용하였다. 범용 3D CAD프로그램인 ProEngineer (Ver. 5.0)를 이용하여 모델 차체의 3차원 형상을 만들고 이 형상파일을 수치해석 도메인(numerical domain)으로 불러와 직각 좌표계 상에서 정방격자(rectangular grid)를 생성하여 해석을 위한 격자 파일을 완성하였다.



<그림 89> A typical numerical grid of the model wind tower with the (130x124x121) grid size

<그림 89>는 10개 층으로 구성된 풍력타워의 수치해석을 위한 수치해석 격자를 보여준다. 검사체적 내에서 해석격자의 크기는 격자시험을 거쳐 최종적으로 결정된 (130x124x121)으로 약 195만개 정도의 격자로 형성되었다.



<그림 90> A numerical domain of the model wind turbine; (domain size : 250m x 80m x 116m)

<그림 90>은 본 해석연구를 위한 계산영역의 크기를 보여준다. 해석의 신뢰성을 높이기 위해 모델타워의 후방에 충분한 계산영역을 주어 검사체적 내에서 유동장이 충분히 발달되도록 하였다.

(다) 수치해석의 경계 및 초기조건

유동장 내에서 속도와 압력의 값을 산출하기 위해 SIMPLE알고리즘[7]을 적용하였으며 난류 운동방정식(standard turbulent model)의 대류 항(convection term) 계산을 위해 하이브리드(hybrid scheme)[7]방법을 사용하였다.

해석의 경계 및 초기조건;

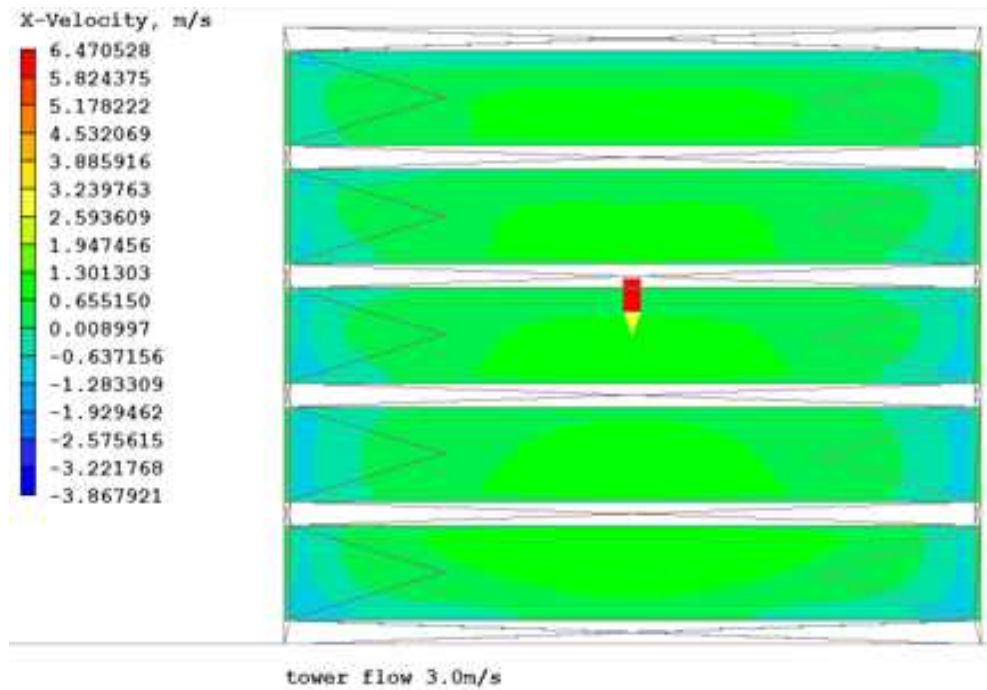
- Inlet : 속도경계 조건($V_{wind} = 15\text{m/s}$)
- Outlet : 유동장이 완전히 발달되었다는 조건하에 압력경계조건($P_{out} = 1\text{atm}$)
- Surface of model tower : No-slip 경계조건
- Low wall : 풍속과 동일한 속도로 정의

(4) 연구결과 및 고찰

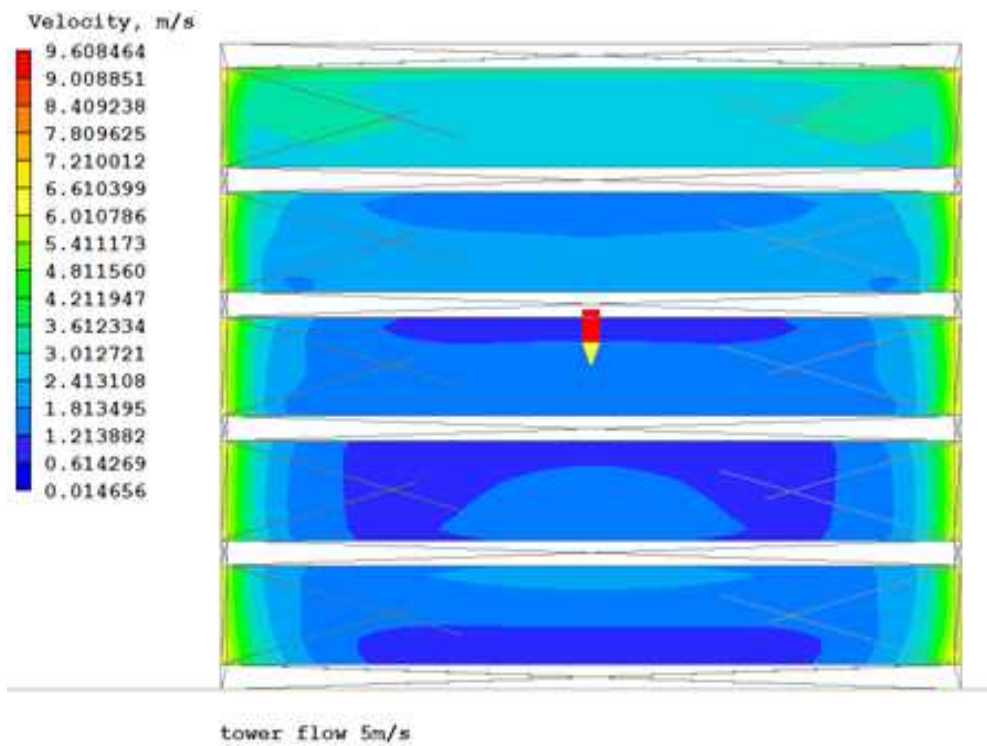
(가) 타워의 높이 변화에 따른 층별 터빈입구에서의 유입속도분포

① 5층 높이 타워입구에서의 유입속도분포

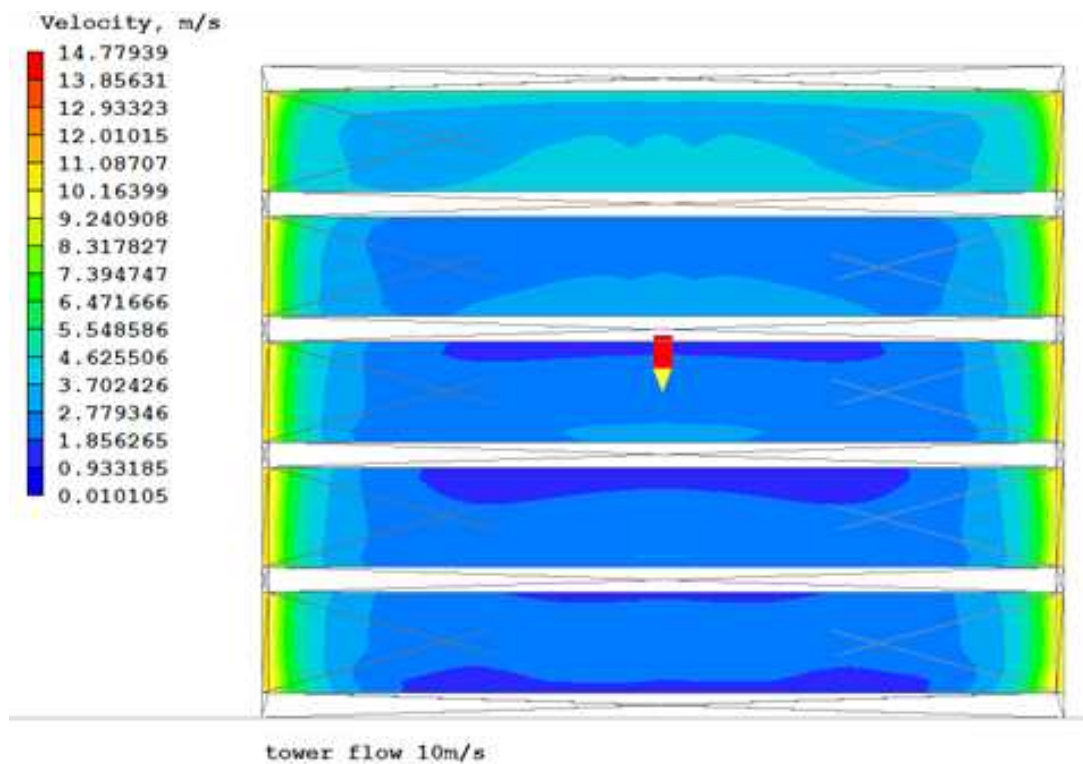
㉔ 풍속(3m/s)



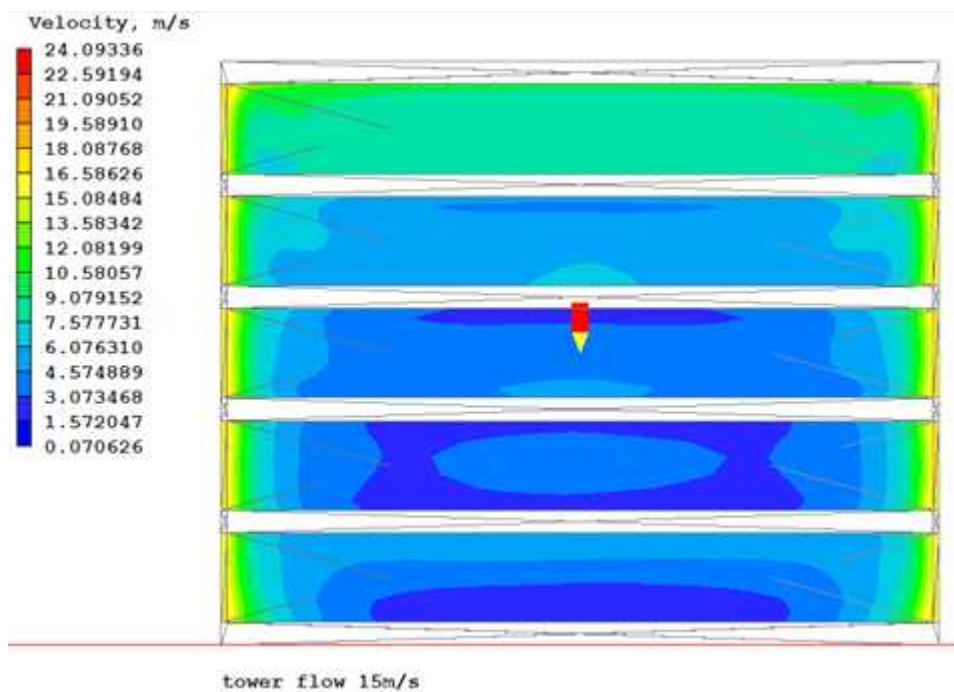
㉕ 풍속(5m/s)



㉔ 풍속(10m/s)

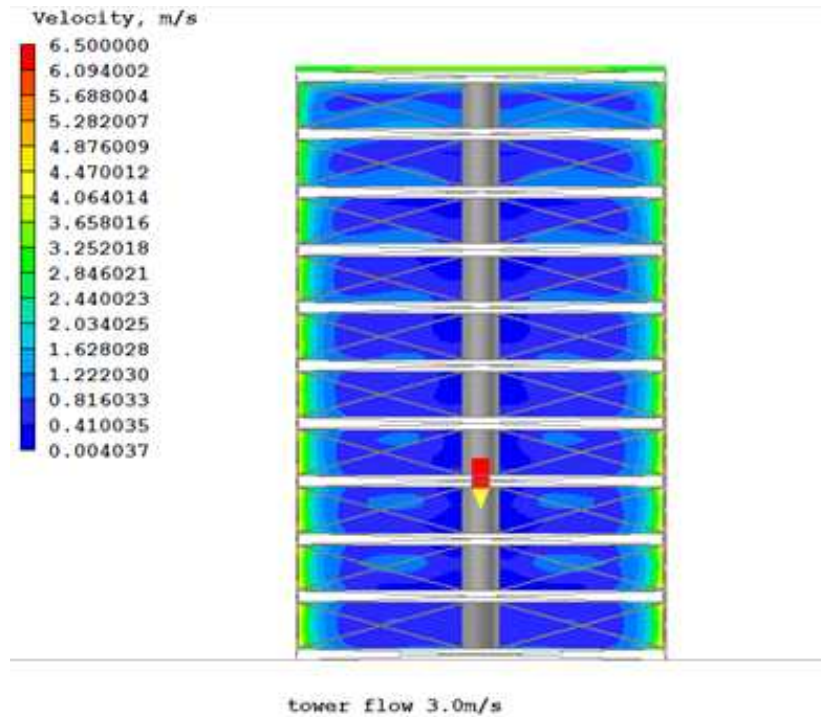


㉕ 풍속(15m/s)

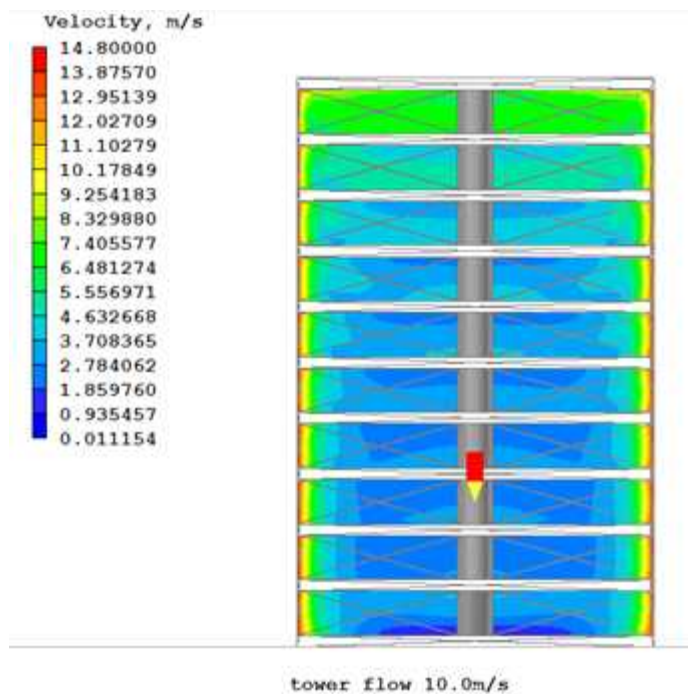


② 10층 높이 타워입구에서의 유입속도분포

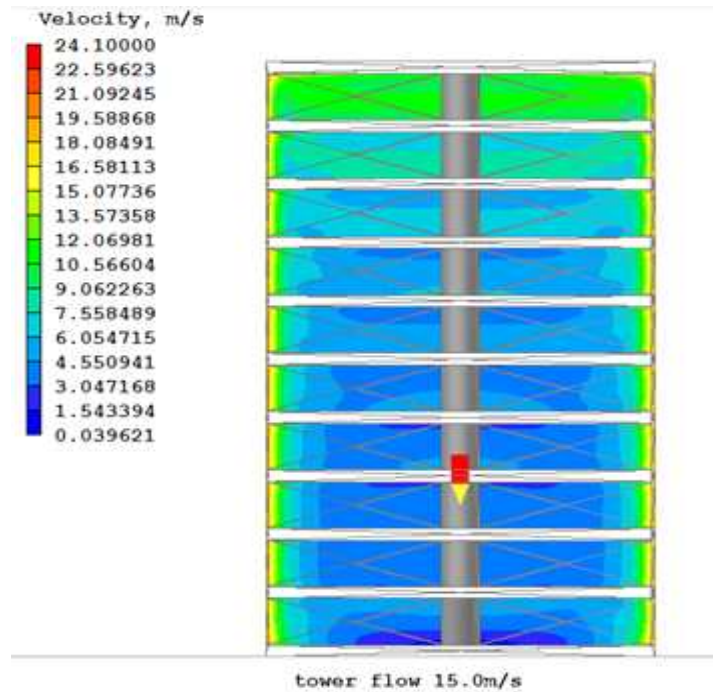
㉓ 풍속(3m/s)



㉔ 풍속(10m/s)



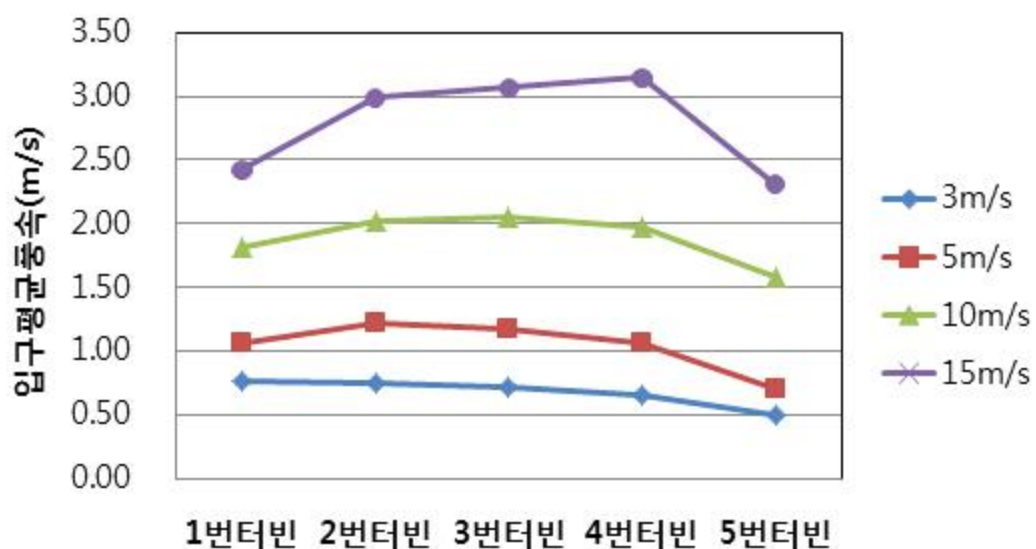
㉔ 풍속(15m/s)



(나) 타워의 높이 변화에 따른 층별 터빈입구에서의 평균풍속 분포

① 5층 타워구조물에서의 층별 터빈입구 평균속도

아래 그림은 대기 풍속의 변화에 따른 5층타워 구조물에서 층별 유입평균 풍속의 변화를 보여준다.

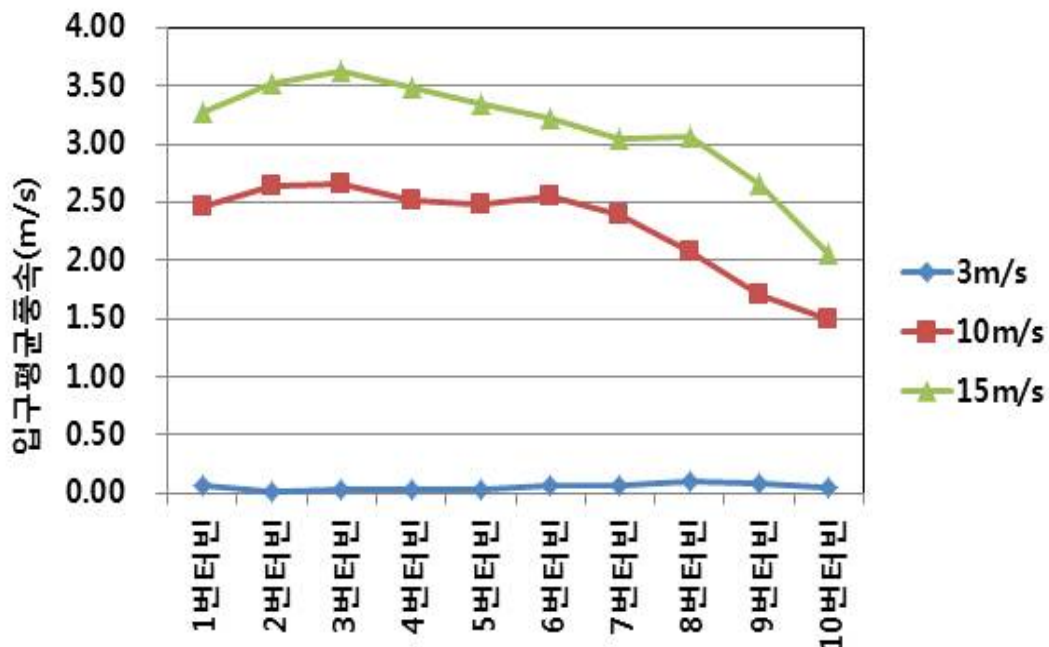


<그림 91> 대기풍속 변화에 따른 층별 터빈의 평균유입풍속의 변화

<그림 91>에서 알 수 있듯이 타워의 하부 층과 상부 층에 비해 중간층에서의 유입 풍속이 높다는 사실을 알 수 있다. 하부 층에서는 지면효과에 의해 속도가 감소되는 특성을 보이며, 상부 층에서는 상부 표면에서의 와류현상에 의해 속도가 감소되어 유입속도가 낮아지는 특성을 나타내게 된다.

② 10층 타워구조물에서의 층별 터빈입구 평균속도

아래 그림은 대기 풍속의 변화에 따른 10층타워 구조물에서 층별 유입평균 풍속의 변화를 보여준다.



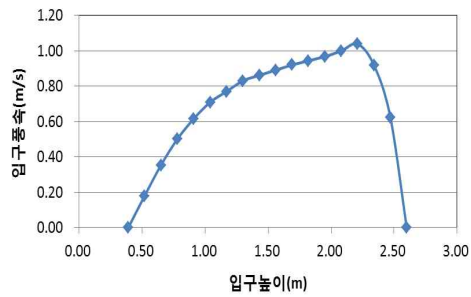
<그림 92> 대기풍속 변화에 따른 층별 터빈의 평균유입풍속의 변화

<그림 92>에서 알 수 있듯이 저 풍속에서는 층별 유입속도의 변화가 뚜렷하게 차이를 보이지 않으나 10m/s이상의 풍속에서는 유입풍속의 변화가 뚜렷하게 나타난다. 지상 층에서 7층까지는 터빈 입구의 유입풍속이 평균 유입속도 보다 증가하나 8층 이상부터 최 상층까지는 낮아진다는 사실을 알 수 있다. 이러한 현상은 하부 층에서는 지면효과에 의해 속도가 감소되는 특성을 보이며, 상부 층에서는 상부 표면에서의 와류현상에 의해 속도가 감소되어 유입속도가 낮아지는 특성을 나타내게 된다.

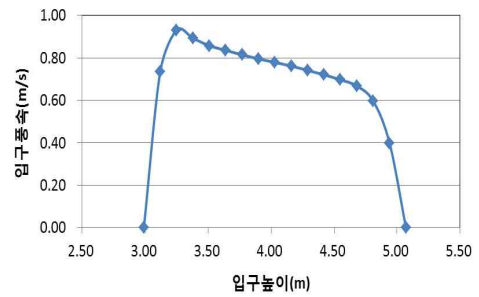
(다) 타워 층별 터빈입구에서의 풍속 분포

① 5층 타워건물의 층별 터빈입구 속도분포

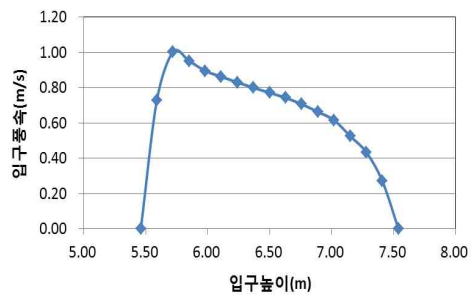
(1층)



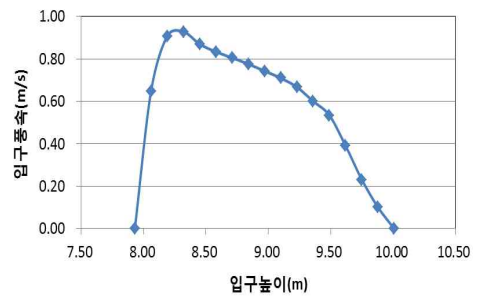
(2층)



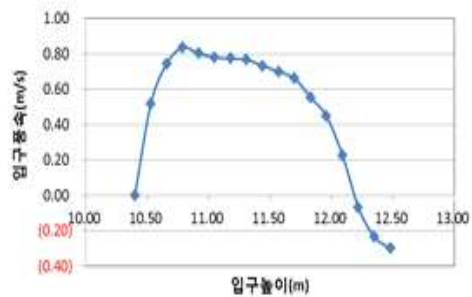
(3층)



(4층)

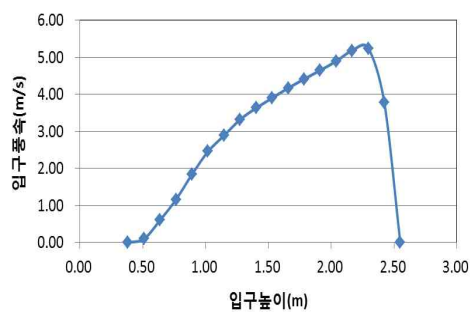


(5층)

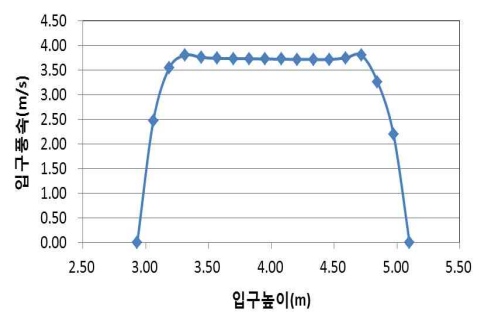


② 10층 타워건물의 층별 터빈입구 속도분포

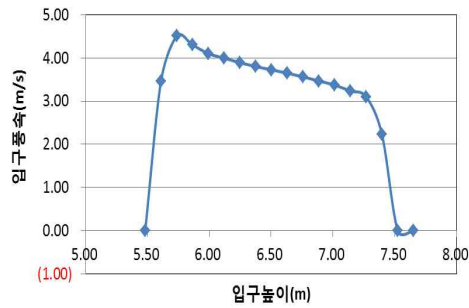
(1층)



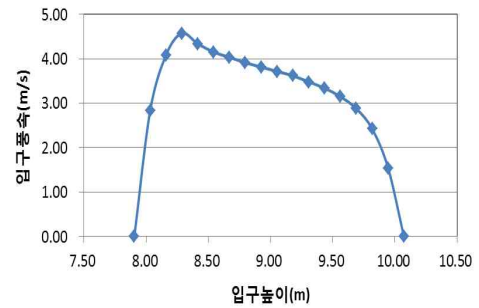
(2층)



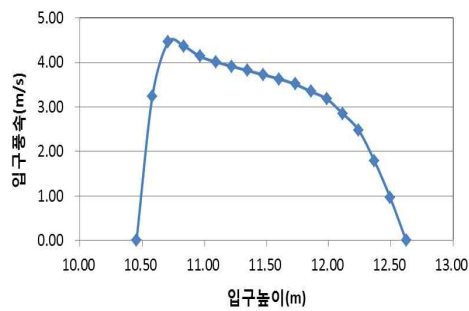
(3층)



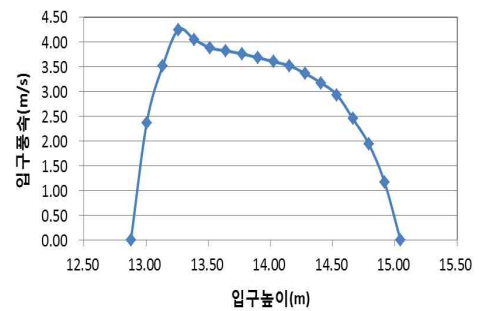
(4층)



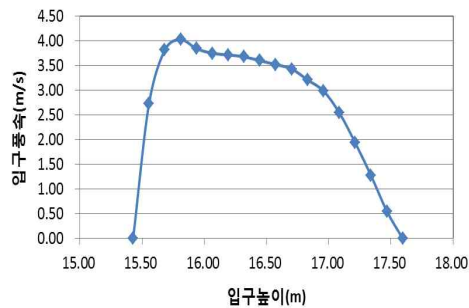
(5층)



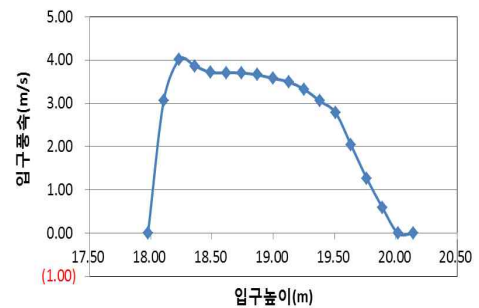
(6층)



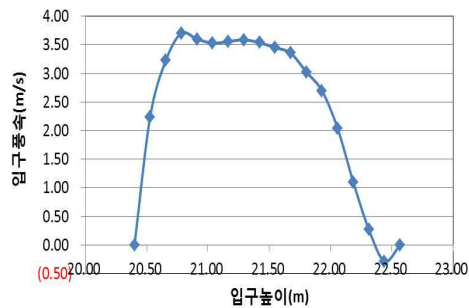
(7층)



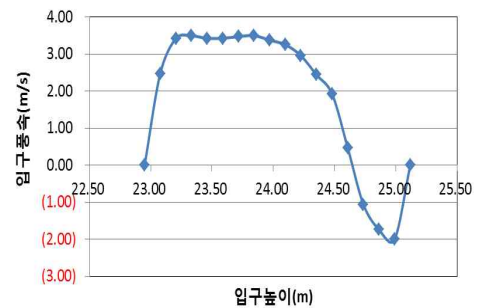
(8층)



(9층)



(10층)



다. 풍속 보정에 의한 도심 빌딩 옥상에서의 풍력 발전 가능성 분석에 대한 연구

(1) 서론

지구온난화의 주된 이유가 이산화탄소와 같은 인간의 활동으로 생산되는 물질로 지목되었으며, 이 물질들을 줄이기 위해 탄소 저감운동의 필요성이 대두되고 있다. 특히 국내 전력 생산량의 40이상이 탄소를 발생시키는 화석연료가 사용되어 이산화탄소를 감축시키는 풍력 발전과 같은 신재생에너지에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 특히 풍력발전은 풍속의 세제곱에 비례하여 출력이 얻어지므로 풍황 자원의 분포가 풍력발전단지 건설의 타당성 조사에 가장 큰 영향을 미친다. 풍력발전량분석을 위해서 풍황의 측정과 주변지역의 통계적인 보정이 이루어지는 것이 일반적이며, 지형과 지면조도 이외에도 상대습도 기압, 지구 자전, 태양복사열 등이 풍속높이 보정 변수로 알려져 있다. 하지만 이 모든 변수의 측정과 적용이 어려워 풍력 발전 타당성조사에서는 풍황을 장기간 조사하고 측정된 지역 10km이내의 근거리의 지형과 지면조도를 고려하여 추정하고 있다. 즉, 측정된 풍황을 기준으로 지형과 지면조도의 관계를 반영하여 풍력에너지 분포를 추정한다.

본 과제에서 풍력발전은 도심지 빌딩옥상에서 발전하는 형식이므로 도심지의 높이에 따른 풍속보정이 필요하다. 이에 따라 풍속과 높이의 관계식인 Deacon의 방정식을 이용하여 높이에 따른 풍속을 분석하여 보았다. 본 연구는 도심빌딩 옥상에서 풍력발전 가능성을 기상청 데이터를 활용하여 분석하였으며, 본 연구를 통해 도출되는 연구결과는 도심지의 빌딩 높이에 따라 달라지는 풍속을 예측하여 발전용량을 계산하는데 활용되는 기초자료가 될 것이다.

1. 활용자료

가. 기상청 자료

홈 > 날씨 > 기후자료 > 국내기후자료 > 연월보자료 > **기상연월보**

국내기후자료 | 연·월보자료 ★ 사용지표 뉴수거 스크린 인쇄

기상연월보 | **연·월보자료** | **평가기상연월보** | **해당기상연월보**

☒ **기상연월보**

종류: **월보** | 년도: **2012년** | 월: **1월** | **확인**

2012년 1월 기상월보 PDF자료 보기

기상연월보는 기상청에서 운영하고 있는 전국의 유인관측소와 무인관측소에서 관측한 자료를 이용하여 통계간행물로 발간한 것입니다.

- 1992년부터 발간한 기상연보와 2004년부터 발간한 기상월보의 PDF파일을 보실 수 있습니다. 아래에서 종류와 년, 월을 선택하시고 확인 버튼을 클릭하시면, 새창으로 PDF 자료를 보실 수 있습니다.
- 제공되지 않는 기간의 자료는 국회도서관(<http://www.nanet.go.kr/>)에서 검색 해 보실 수 있습니다.
- 그 외 기상청 전자민원 (<http://minwon.kma.go.kr/>) 또는 민원실(02-2181-0233)에서 자료제공(유료서비스) 받으실 수 있습니다.

* 기상월보 자료는 해당월 이후 45일 이내에 게재됩니다.
* 기상연보 자료는 해당년 이후 5개월 이내에 게재됩니다.

<그림 93> 기상청 기상월보 및 기상연보 자료 사이트

본 연구에서는 2012년 1월 1일부터 2012년 12월 31일까지 우리나라 기상청에서 집계한 기상자료를 이용하여 79개 측정 점에서 10개 중소도시와 대도시의 높이에 따른 풍속을 분석하여 보았다.

나. 높이에 따른 풍속보정식(Deacon 방정식)

지면에서 고도가 높아질수록 밀도가 낮아지는 반면 풍속은 높아진다. 풍속과 높이의 관계는 측정된 데이터를 통계학적으로 분석한 결과 대수 법칙을 따르며 Deacon방정식으로 정립되어 있다. Deacon방정식은 대기의 안정도 (Windshear: α)에 따라 할증정도를 표현한 것으로 식(1)과 같다.

$$U(z) = U(z_a) \times \left(\frac{z}{z_a}\right)^\alpha \quad \text{식(1)}$$

여기서 z , $U(z)$ 는 z 높이와 z 높이에서의 풍속이고 z_a , $U(z_a)$ 는 z_a 높이와 z_a 높이에서의 풍속이다. 또한 α 는 대기 안정도를 나타내는 척도로써 wind shear 혹은 풍속할증계수라고 한다. Deacon방정식에 따르면 풍속할증계수는 지형의 변화계측지점을 기준으로 기하평균높이와 지면조도(Roughness)에 의해서 결정되며 이를 식으로 나타내면 식(2)와 같다.

$$\alpha = a + b \ln(U(z))$$

$$a = \frac{1}{\ln\left(\frac{z_g}{z_o}\right)} + \frac{0.088}{1 - 0.088 \ln\left(\frac{z_a}{10}\right)} \quad \text{식(2)}$$

$$b = \frac{-0.088}{1 - 0.088 \ln\left(\frac{z_a}{10}\right)}$$

여기서 z_g 는 기하평균높이 z_o 는 지면 거칠기(지면조도), z_a 는 풍속측정높이이다. 기하 평균 높이는 해발고도의 기하평균으로써 Met mast 고도에서 표본점 고도의 할증에 대한 기하 평균 산출방법은 식(3)과 같다.

$$\sqrt[n]{a_1 \cdot a_2 \cdot a_3 \cdot \dots \cdot a_n} = \prod_{i=1}^n a_i \quad \text{식(3)}$$

여기서 n 은 표본점의 개수이며, a 는 표본점과 측정 지점의 할증이다. 식(2)에 따르면 풍속이 클수록 지면으로부터 wind shear가 낮아지며 지형의 기하평균높이가 높을수록 지면으로

부터 wind shear가 낮아지며 지면조도가 높을수록 지면으로부터 wind shear가 높아진다. 또한 측정지점이 같고 높이가 다른 2개소 이상의 풍속이 측정되었을 경우 식(1)을 벽에 대한 외삽 법칙으로 연립하면 식(4)와같이 wind shear 산출이 가능하다.

$$\alpha = \frac{\ln\left(\frac{U(z)}{U(z_a)}\right)}{\ln\left(\frac{Z}{Z_a}\right)} \quad \text{식(4)}$$

2. 측정지점 개요

그림 2는 기상청 기상관측망지도이다. 본 연구에서는 국내 79개 기상관측망 관측소 중에서 광역도시 및 대도시 10개소를 정하여 측정된 데이터를 바탕으로 분석을 하였다.

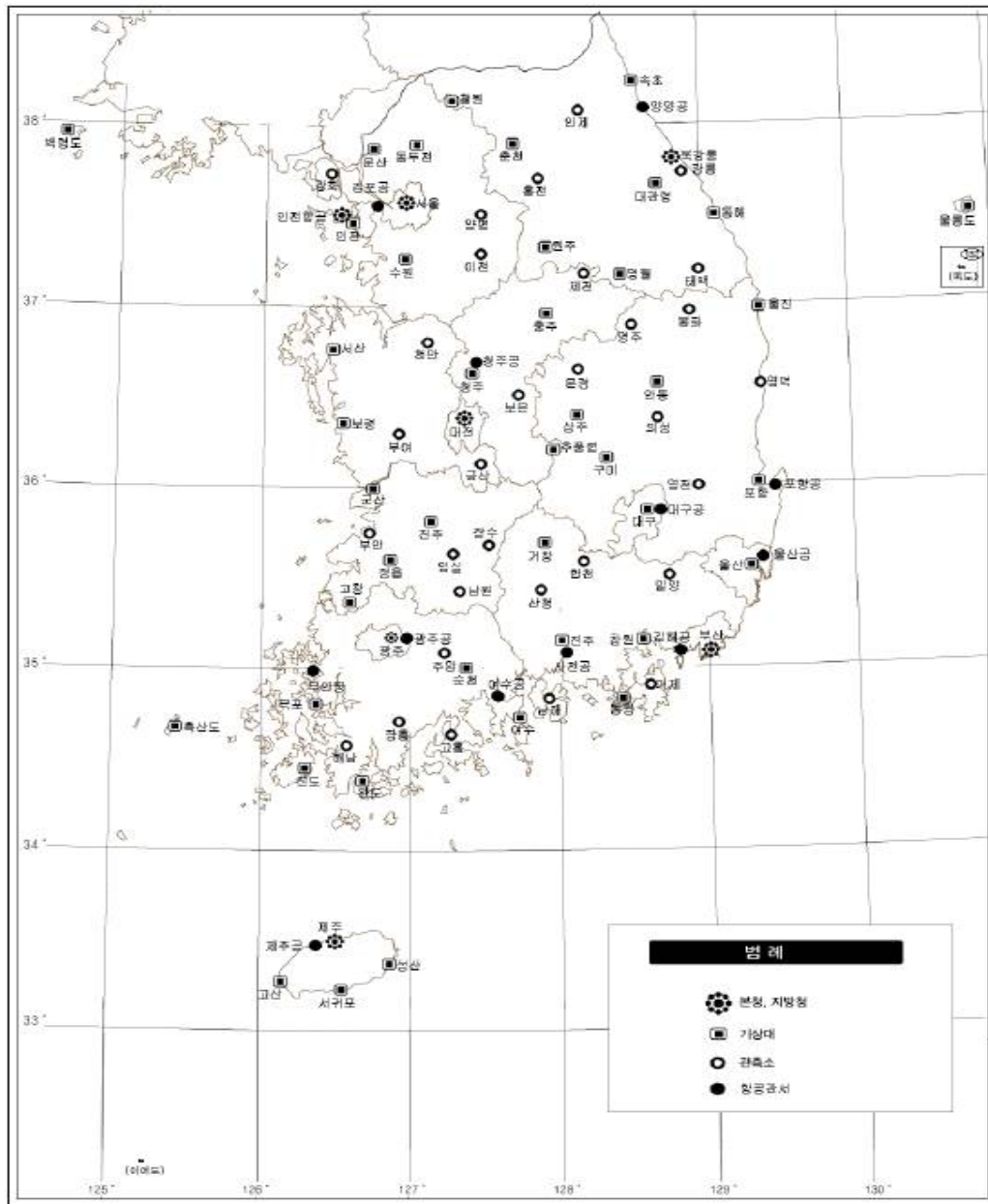
[표 18]은 측정분석지점의 개요를 나타낸다.

[표 18] 측정분석지점 개요

관측지점			북위 (N)	동경 (E)	H (m)	Hb (m)	ht (m)	ha (m)	hr (m)
105	강릉	Gangneung	37°45′	128°53′	26.0	27.5	1.7	17.9	0.6
108	서울	Seoul	37°34′	126°57′	85.8	86.5	1.5	10.0	0.6
112	인천	Incheon	37°28′	126°37′	68.2	70.2	1.5	10.0	0.6
119	수원	Suwon	37°16′	126°59′	34.1	35.5	1.5	18.7	0.5
133	대전	Daejeon	36°22′	127°22′	68.9	70.1	1.6	19.8	0.6
143	대구	Daegu	35°53′	128°37′	64.1	65.2	1.8	10.0	0.6
152	울산	Ulsan	35°33′	129°19′	34.6	35.8	1.5	12.0	0.5
156	광주	Gwangju	35°10′	126°53′	72.4	75.3	1.5	17.5	0.6
159	부산	Busan	35°06′	129°01′	69.6	70.2	1.6	17.8	0.6
184	제주	Jeju	33°30′	126°31′	20.4	21.1	1.8	12.3	0.6

H : 노장의 해발높이 (Height of observation field above mean sea level)
H : 기압계의 해발높이 (Height of barometer above mean sea level)
b : 온도계의 높이 (Height of thermometer above the ground)
ht : 풍속계의 지상높이 (Height of anemometer above the ground)
ha : 우량계의 지상높이 (Height of rain gauge above the ground)
hr :

기상관측망 Meteorological observation network



<그림 94> 국내 기상관측망지도

3. 연구결과 및 분석

그림 3은 Excel을 이용하여 raw data를 만든 모습을 나타낸다. 사용데이터는 2012년 1월부터 12월까지 1년간 측정지점 10소의 평균풍속, 최대풍속을 사용하였다. 높이에 따른 풍속 보정은 각 측정소의 풍속할증계수를 구하여 Deacon방정식에 측정 점의 높이, 측정 점의 풍

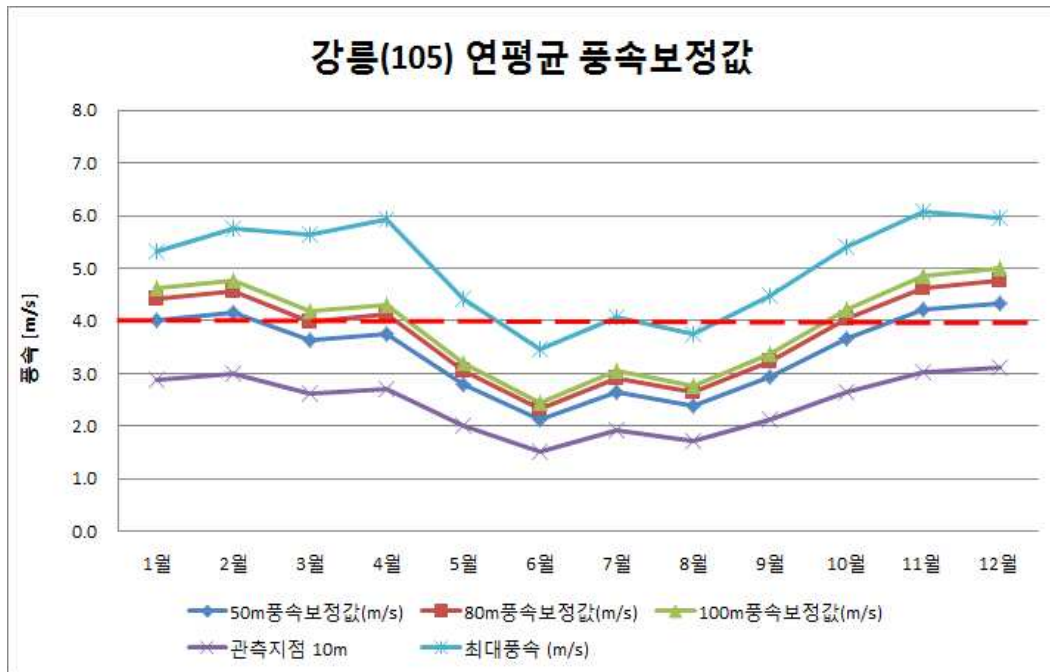
속, 보정 점의 높이를 각각 대입한 뒤 보정 점의 풍속을 구하는 방법을 사용하였다. 발전에 필요한 최소 풍속은 본 과제에서 실시한 풍동실험의 최소 풍속 값인 4m/s로 하였다. 그래프 상 x축에 평행한 점선으로 표시하였다.

#	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1	2012년	1월	강릉(105)					서울(108)					인천(112)				
2			풍속합종계수 a		0.20331			풍속합종계수 a		0.24359			풍속합종계수 a		0.26766		
3			관측지점 10m		50m풍속	80m풍속	100m풍속	관측지점 10m		50m풍속	80m풍속	100m풍속	관측지점 10m		50m풍속	80m풍속	100m풍속
4			평균풍속	최대풍속	보정값	보정값	속보정값	평균풍속	최대풍속	보정값	보정값	속보정값	평균풍속	최대풍속	보정값	보정값	속보정값
5			(m/s)	(m/s)	(m/s)	(m/s)	(m/s)	(m/s)	(m/s)	(m/s)	(m/s)	(m/s)	(m/s)	(m/s)	(m/s)	(m/s)	(m/s)
6		1일	2.5	5.7	3.5	3.8	4.0	2.9	7.0	4.3	4.8	5.1	4.4	13.0	6.8	7.7	8.1
7		2일	3.1	5.7	4.3	4.7	5.0	2.3	4.6	3.4	3.8	4.0	2.1	4.2	3.2	3.7	3.9
8		3일	3.6	5.5	5.0	5.5	5.7	2.5	5.8	3.7	4.1	4.4	3.5	8.8	5.4	6.1	6.5
9		4일	1.5	6.4	2.1	2.3	2.4	3.1	5.3	4.6	5.1	5.4	5.5	9.1	8.5	9.6	10.2
10		5일	4.0	5.5	5.5	6.1	6.4	1.5	3.8	2.2	2.5	2.6	2.4	5.1	3.7	4.2	4.4
11		6일	2.5	4.7	3.5	3.8	4.0	2.5	5.0	3.7	4.1	4.4	3.4	6.9	5.2	5.9	6.3
12		7일	3.3	5.8	4.6	5.0	5.3	1.6	3.2	2.4	2.7	2.8	2.0	3.5	3.1	3.5	3.7
13		8일	3.2	6.8	4.4	4.9	5.1	1.7	4.6	2.5	2.8	3.0	1.7	4.2	2.6	3.0	3.1
14		9일	4.0	7.1	5.5	6.1	6.4	1.9	4.5	2.8	3.2	3.3	1.7	4.5	2.6	3.0	3.1
15		10일	3.4	5.6	4.7	5.2	5.4	2.5	4.8	3.7	4.1	4.4	3.1	8.2	4.8	5.4	5.7
16		11일	3.3	6.1	4.6	5.0	5.3	3.1	6.1	4.6	5.1	5.4	5.4	9.9	8.3	9.4	10.0
17		12일	4.8	7.4	6.7	7.3	7.7	2.5	6.3	3.7	4.1	4.4	2.9	6.0	4.5	5.1	5.4
18		13일	3.1	5.4	4.3	4.7	5.0	2.5	6.1	3.7	4.1	4.4	3.9	8.7	6.0	6.8	7.2
19		14일	3.4	6.3	4.7	5.2	5.4	2.1	5.5	3.1	3.5	3.7	2.3	8.0	3.5	4.0	4.3
20		15일	2.6	4.9	3.6	4.0	4.2	2.4	4.2	3.6	4.0	4.2	3.1	6.7	4.8	5.4	5.7
21		16일	2.2	4.7	3.1	3.4	3.5	1.4	3.6	2.1	2.3	2.5	2.8	5.1	4.3	4.9	5.2
22		17일	1.4	3.5	1.9	2.1	2.2	1.8	4.5	2.7	3.0	3.2	2.7	4.7	4.2	4.7	5.0
23		18일	2.2	4.5	3.1	3.4	3.5	1.7	3.9	2.5	2.8	3.0	2.8	5.0	4.3	4.9	5.2
24		19일	1.3	2.5	1.8	2.0	2.1	2.9	6.6	4.3	4.8	5.1	2.7	4.3	4.2	4.7	5.0
25		20일	1.7	3.4	2.4	2.6	2.7	3.4	5.3	5.0	5.6	6.0	2.6	4.0	4.0	4.5	4.8
26		21일	1.0	2.0	1.4	1.5	1.6	2.8	5.9	4.1	4.6	4.9	3.3	7.7	5.1	5.8	6.1
27		22일	2.8	5.9	3.9	4.3	4.5	4.2	6.4	6.2	7.0	7.4	5.9	8.1	9.1	10.3	10.9
28		23일	4.3	6.1	6.0	6.6	6.9	3.4	6.3	5.0	5.6	6.0	4.6	7.4	7.1	8.0	8.5
29		24일	3.4	5.5	4.7	5.2	5.4	2.5	5.4	3.7	4.1	4.4	2.6	9.7	4.0	4.5	4.8
30		25일	4.0	6.3	5.5	6.1	6.4	3.1	6.1	4.6	5.1	5.4	4.6	9.2	7.1	8.0	8.5
31		26일	3.7	6.6	5.1	5.6	5.9	2.5	6.4	3.7	4.1	4.4	3.1	6.0	4.8	5.4	5.7
32		27일	2.7	5.5	3.7	4.1	4.3	2.5	4.8	3.7	4.1	4.4	3.3	5.5	5.1	5.8	6.1
33		28일	1.6	3.0	2.2	2.4	2.6	2.5	4.7	3.7	4.1	4.4	3.5	6.1	5.4	6.1	6.5
34		29일	2.7	4.9	3.7	4.1	4.3	2.8	5.3	4.1	4.6	4.9	3.9	7.0	6.0	6.8	7.2
35		30일	3.1	5.4	4.3	4.7	5.0	2.8	6.1	4.1	4.6	4.9	4.3	6.6	6.6	7.5	8.0
36		31일	3.3	6.3	4.6	5.0	5.3	3.1	7.5	4.6	5.1	5.4	4.7	10.4	7.2	8.2	8.7

<그림 95> Data sheet의 모습

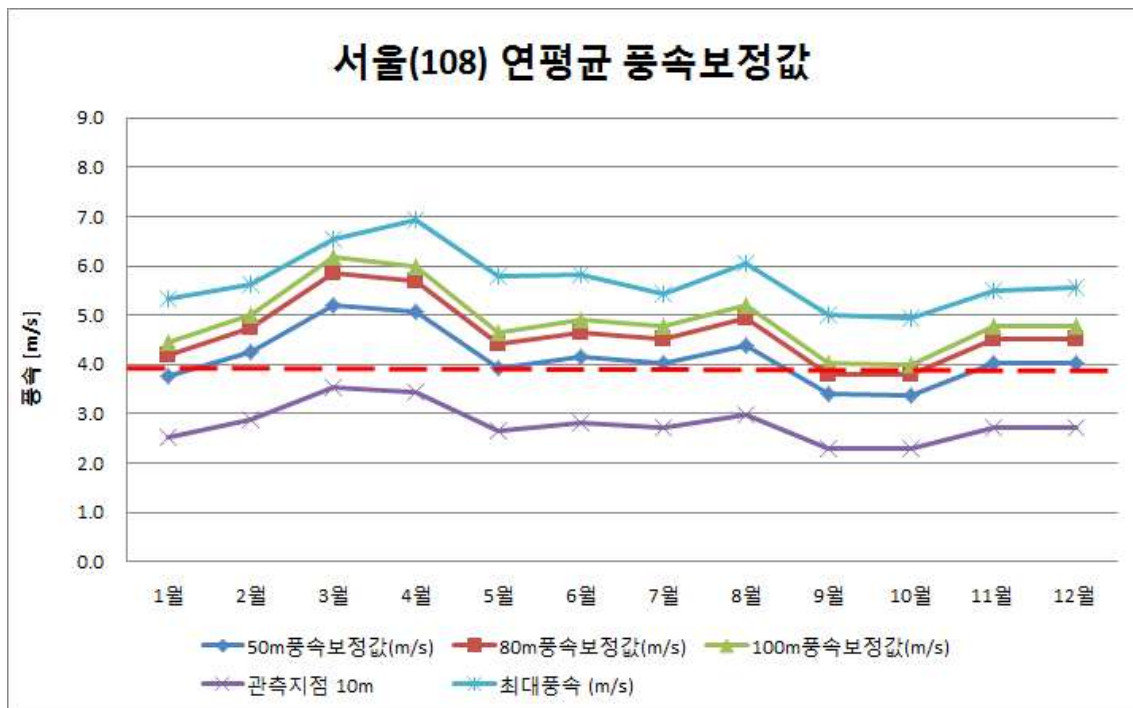
가. 연평균 풍속보정

(1) 강릉(105) 연평균 풍속보정



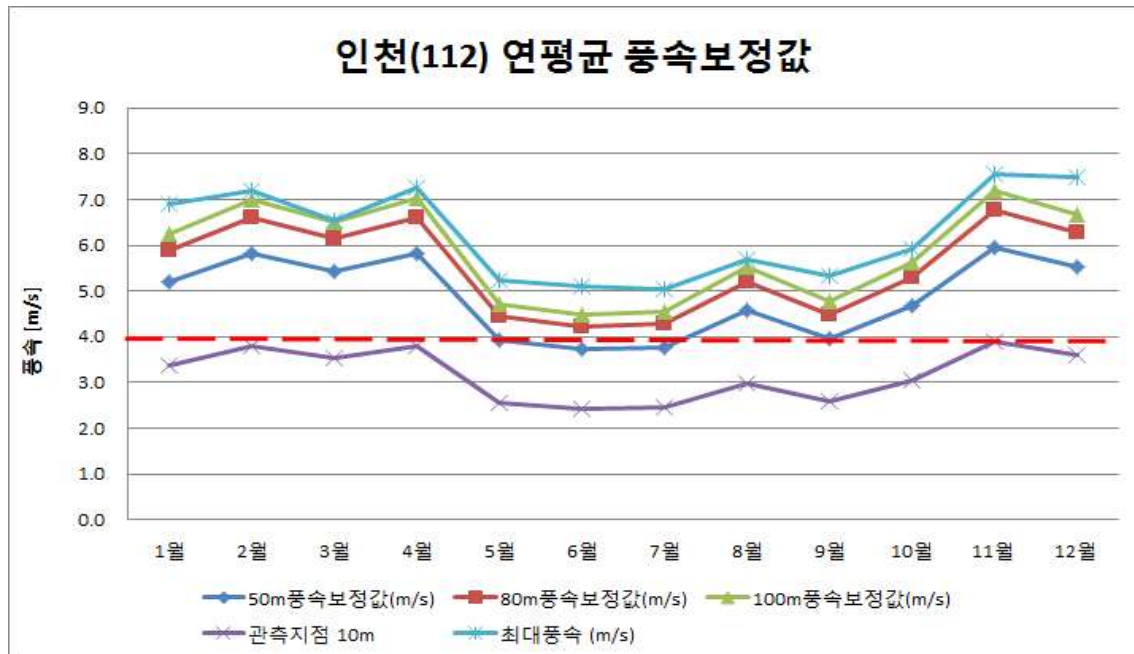
<그림 96> 강릉(105) 관측소의 50m, 80m, 100m높이에 따른 연평균 풍속보정

(2) 서울(108) 연평균 풍속보정



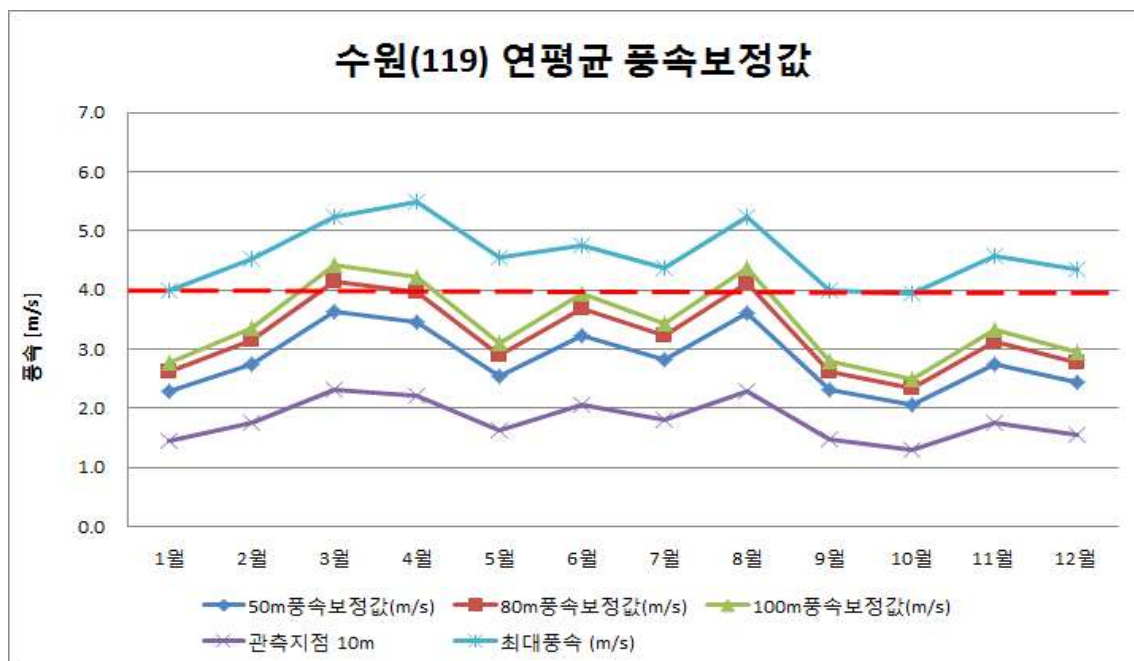
<그림 97> 서울(108) 관측소의 50m, 80m, 100m높이에 따른 연평균 풍속보정

(3) 인천(112) 연평균 풍속보정



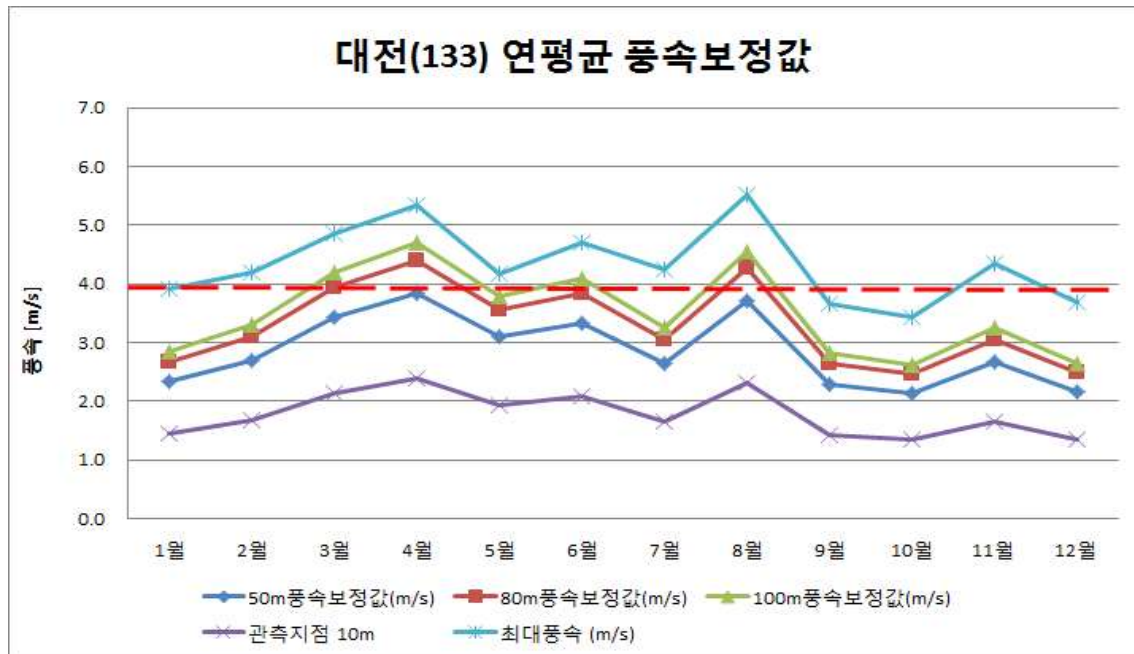
<그림 98> 인천(112) 관측소의 50m, 80m, 100m높이에 따른 연평균 풍속보정

(4) 수원(119) 연평균 풍속보정



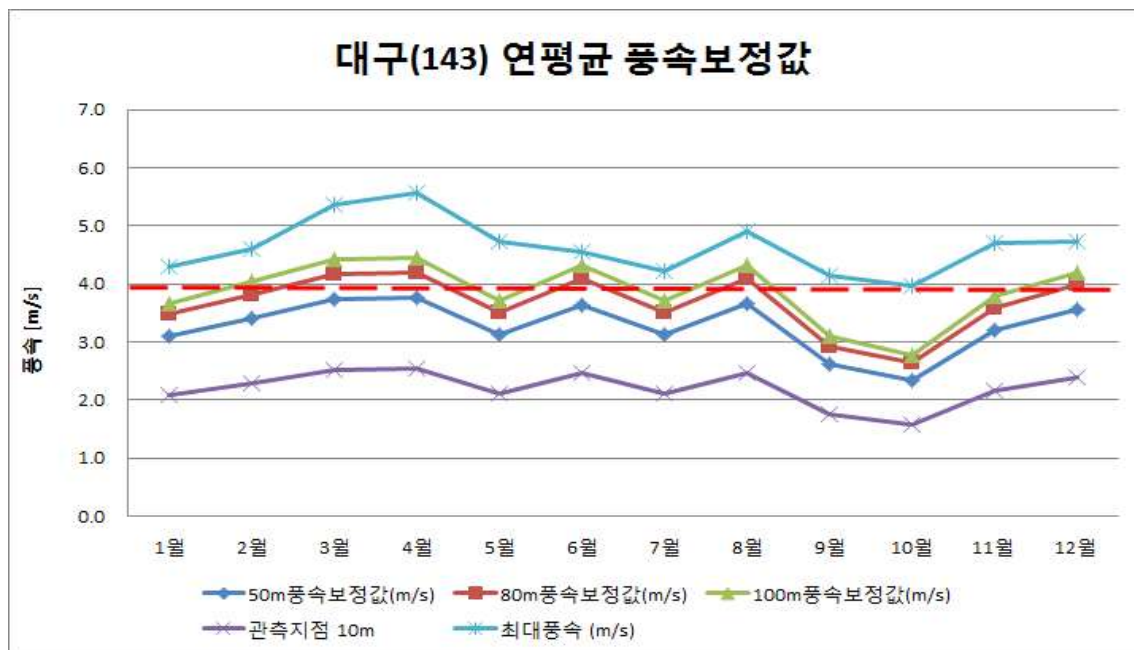
<그림 99> 수원(119) 관측소의 50m, 80m, 100m높이에 따른 연평균 풍속보정

(5) 대전(133) 연평균 풍속보정



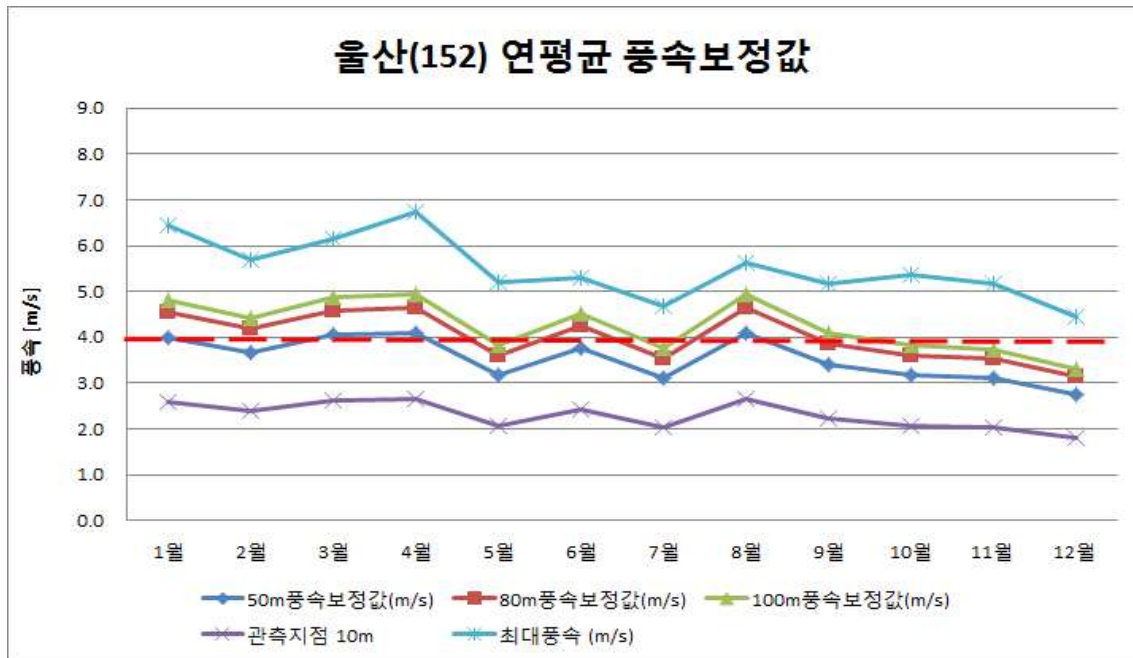
<그림 100> 대전(133) 관측소의 50m, 80m, 100m높이에 따른 연평균 풍속보정

(6) 대구(143) 연평균 풍속보정



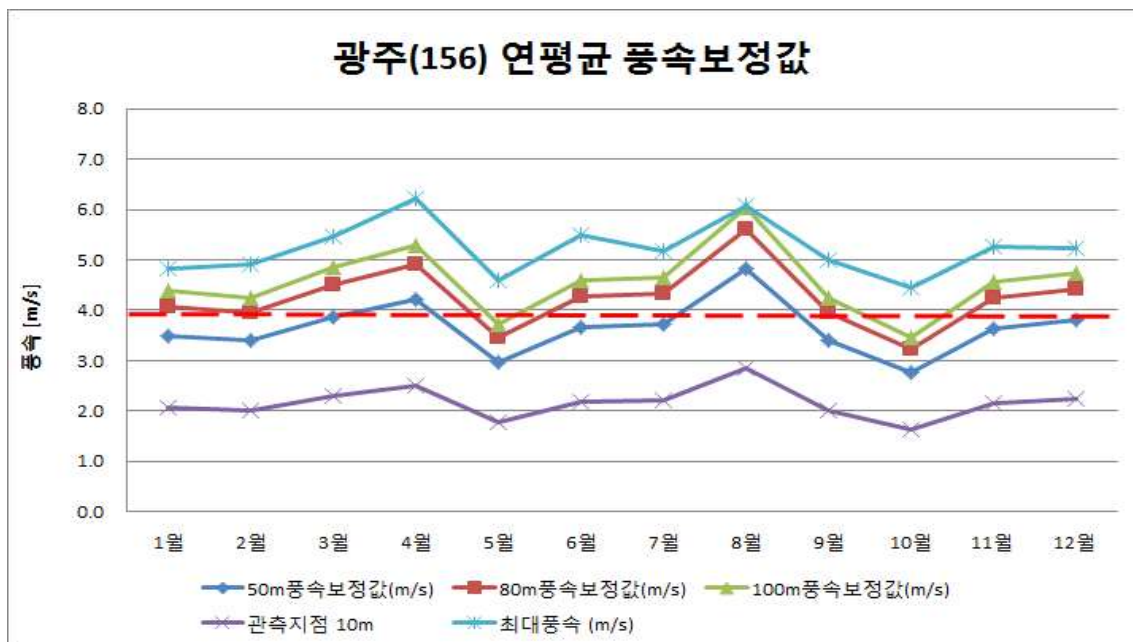
<그림 101> 대구(143) 관측소의 50m, 80m, 100m높이에 따른 연평균 풍속보정

(7) 울산(152) 연평균 풍속보정



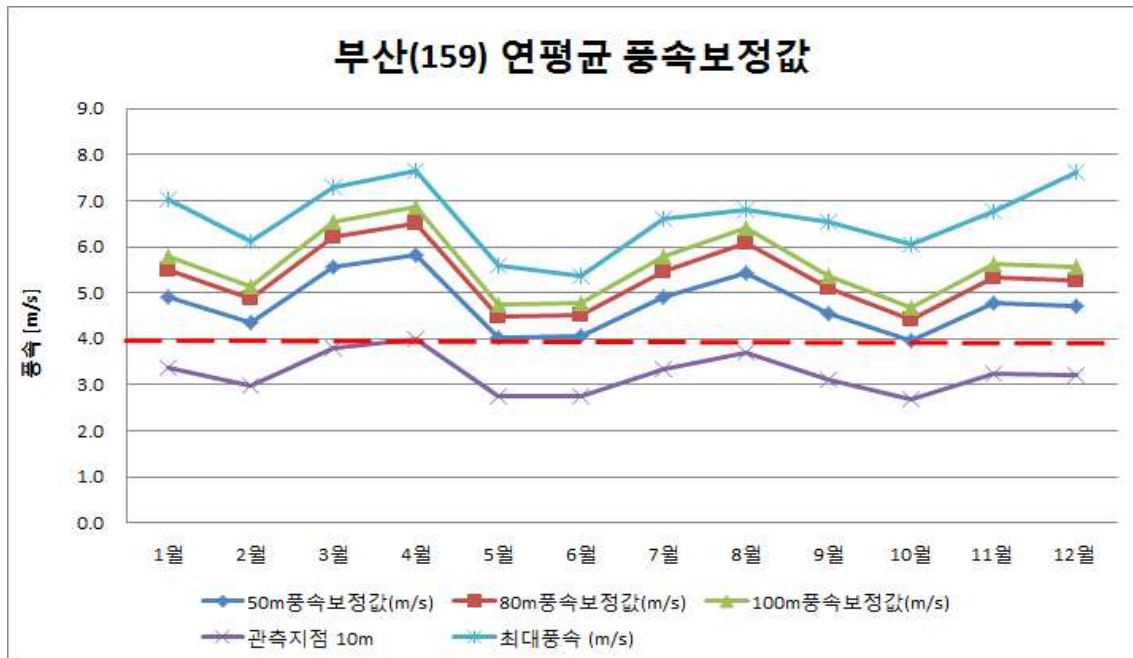
<그림 102> 울산(152) 관측소의 50m, 80m, 100m높이에 따른 연평균 풍속보정

(8) 광주(156) 연평균 풍속보정



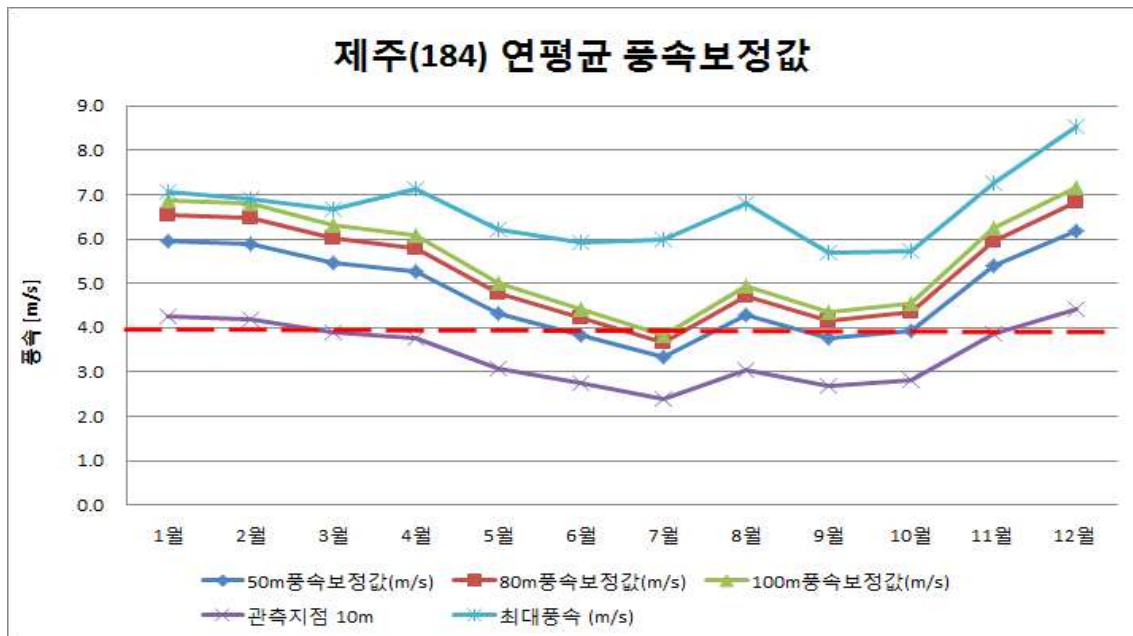
<그림 103> 광주(156) 관측소의 50m, 80m, 100m높이에 따른 연평균 풍속보정

(9) 부산(159) 연평균 풍속보정



<그림 104> 부산(159) 관측소의 50m, 80m, 100m높이에 따른 연평균 풍속보정

(10) 제주(184) 연평균 풍속보정

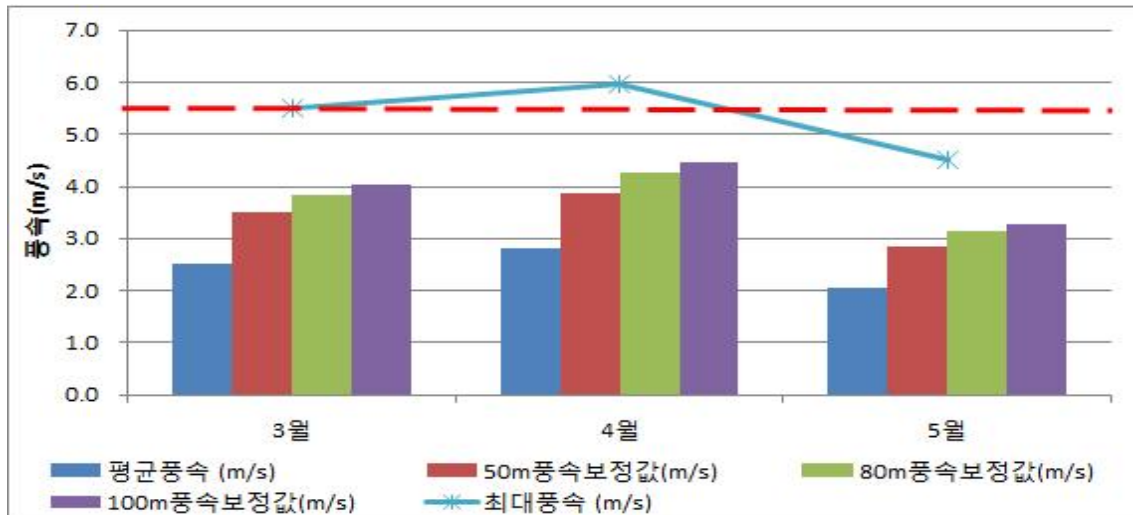


<그림 105> 제주(184) 관측소의 50m, 80m, 100m높이에 따른 연평균 풍속보정

나. 계절별 풍속보정

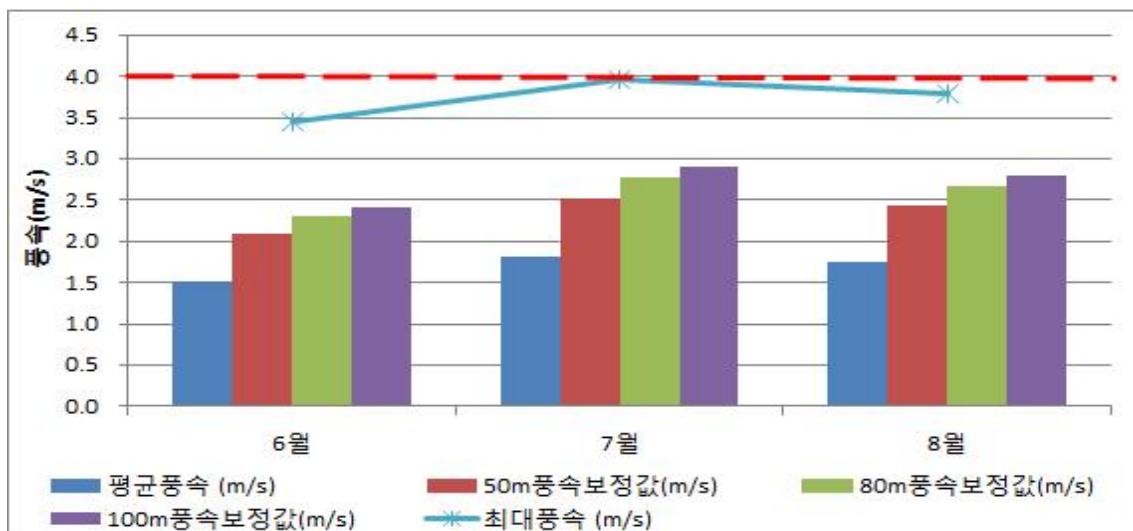
(1) 강릉(105) 계절별 풍속보정

(가) 강릉(105) 춘절기 풍속보정



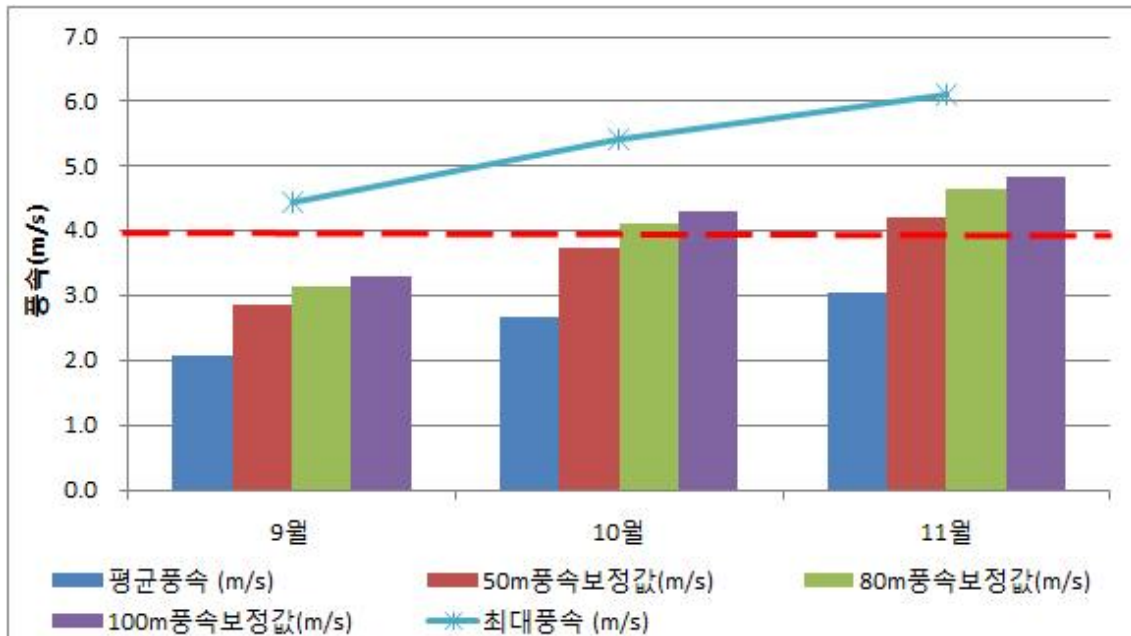
<그림 106> 강릉(105) 관측소의 50m, 80m, 100m높이에 따른 춘절기 풍속보정

(나) 강릉(105) 하절기 풍속보정



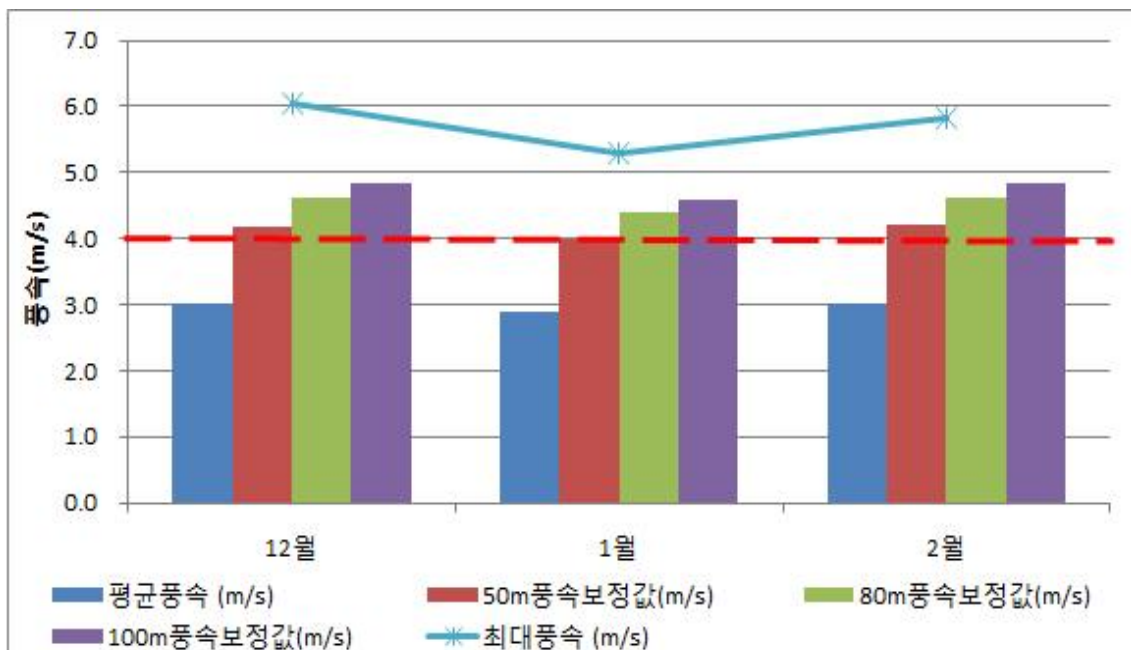
<그림 107> 강릉(105) 관측소의 50m, 80m, 100m높이에 따른 하절기 풍속보정

(다) 강릉(105) 추절기 풍속보정



<그림 108> 강릉(105) 관측소의 50m, 80m, 100m높이에 따른 추절기 풍속보정

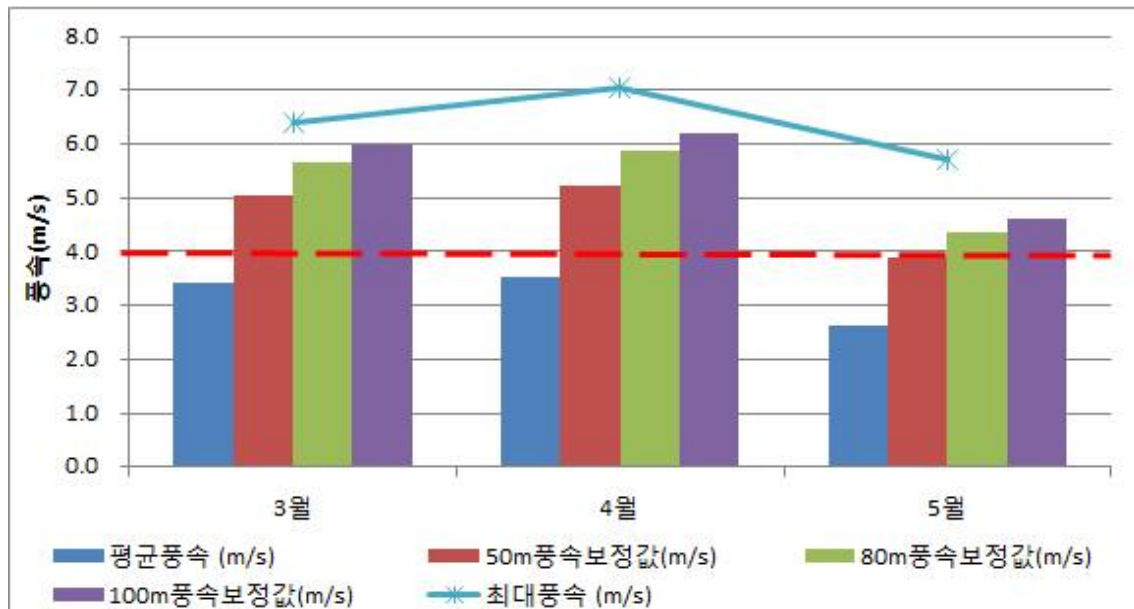
(라) 강릉(105) 동절기 풍속보정



<그림 109> 강릉(105) 관측소의 50m, 80m, 100m높이에 따른 동절기 풍속보정

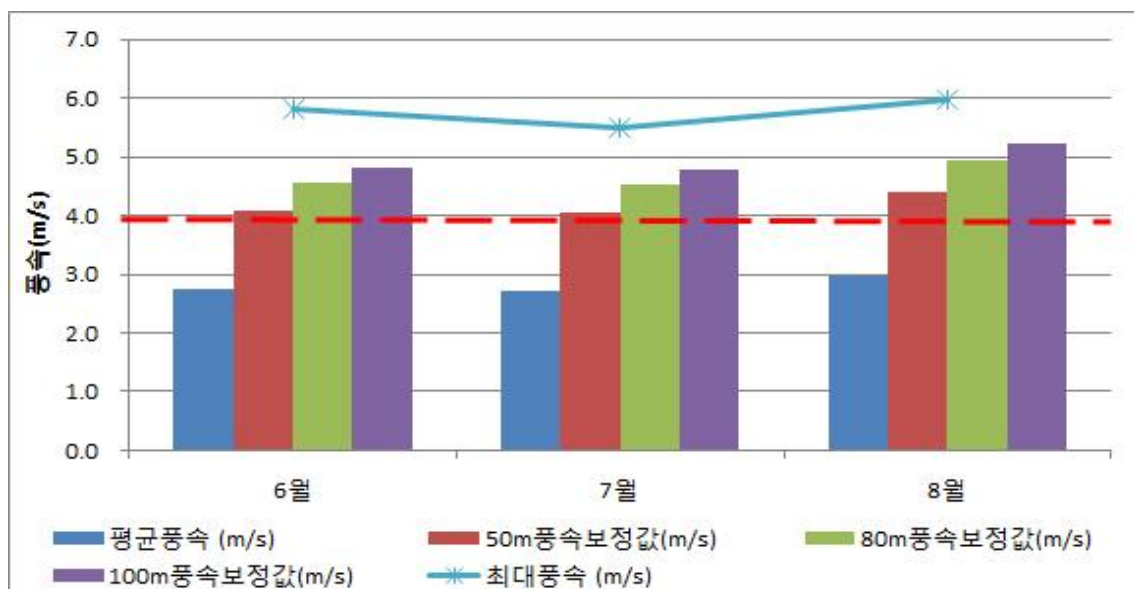
(2) 서울(108) 계절별 풍속보정

(가) 서울(108) 춘절기 풍속보정



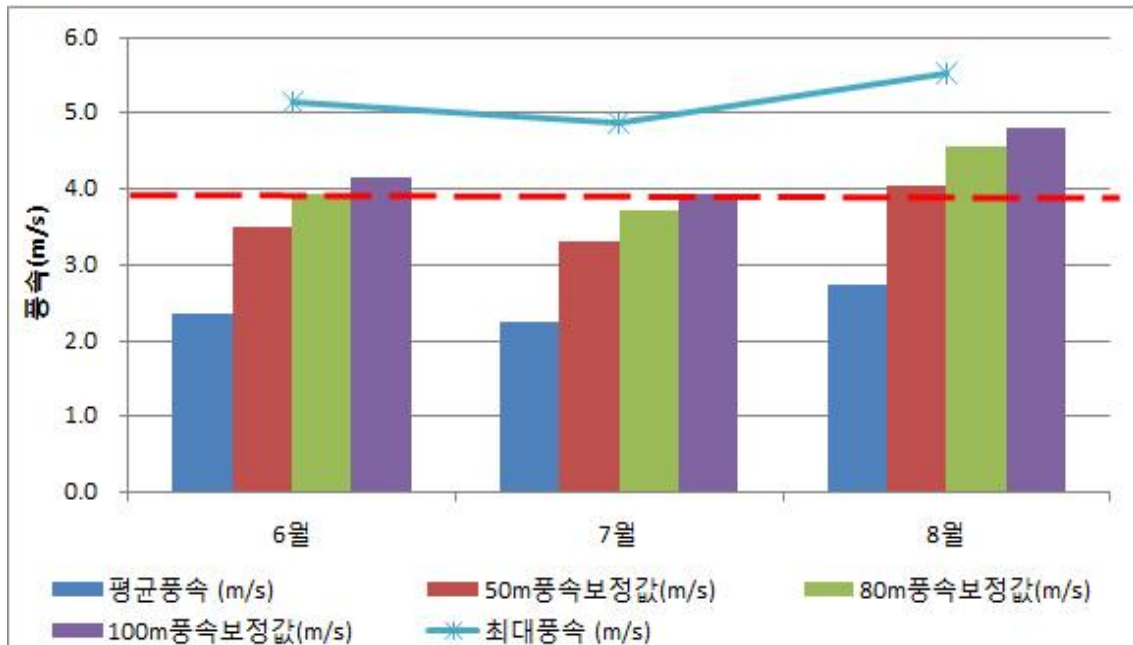
<그림 110> 서울(108) 관측소의 50m, 80m, 100m높이에 따른 춘절기 풍속보정

(나) 서울(108) 하절기 풍속보정



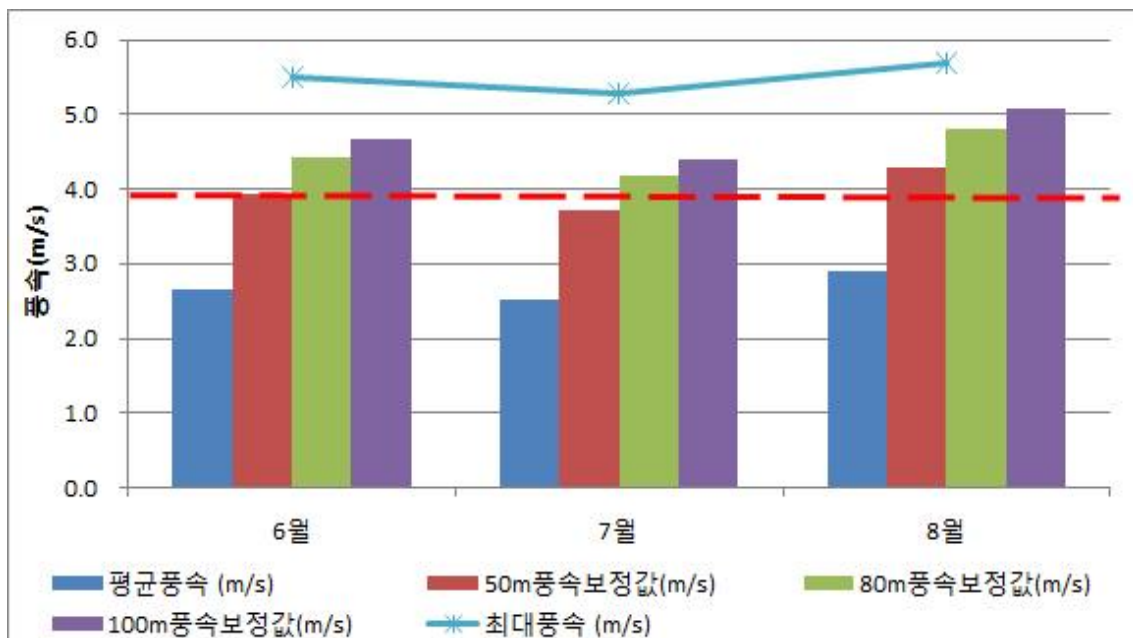
<그림 111> 서울(108) 관측소의 50m, 80m, 100m높이에 따른 하절기 풍속보정

(다) 서울(108) 추절기 풍속보정



<그림 112> 서울(108) 관측소의 50m, 80m, 100m높이에 따른 추절기 풍속보정

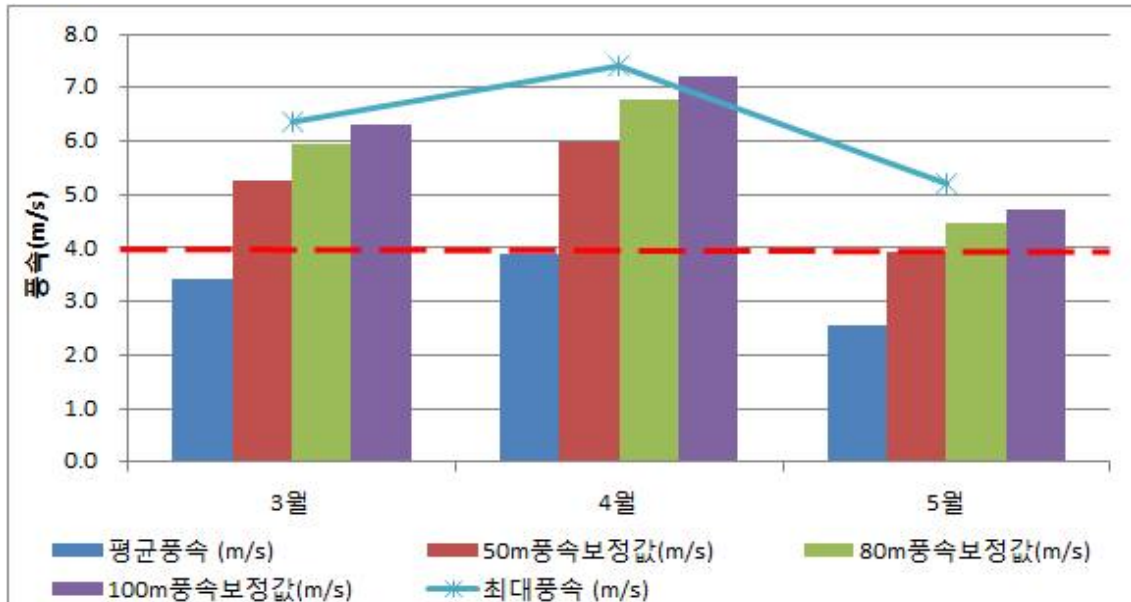
(라) 서울(108) 동절기 풍속보정



<그림 113> 서울(108) 관측소의 50m, 80m, 100m높이에 따른 동절기 풍속보정

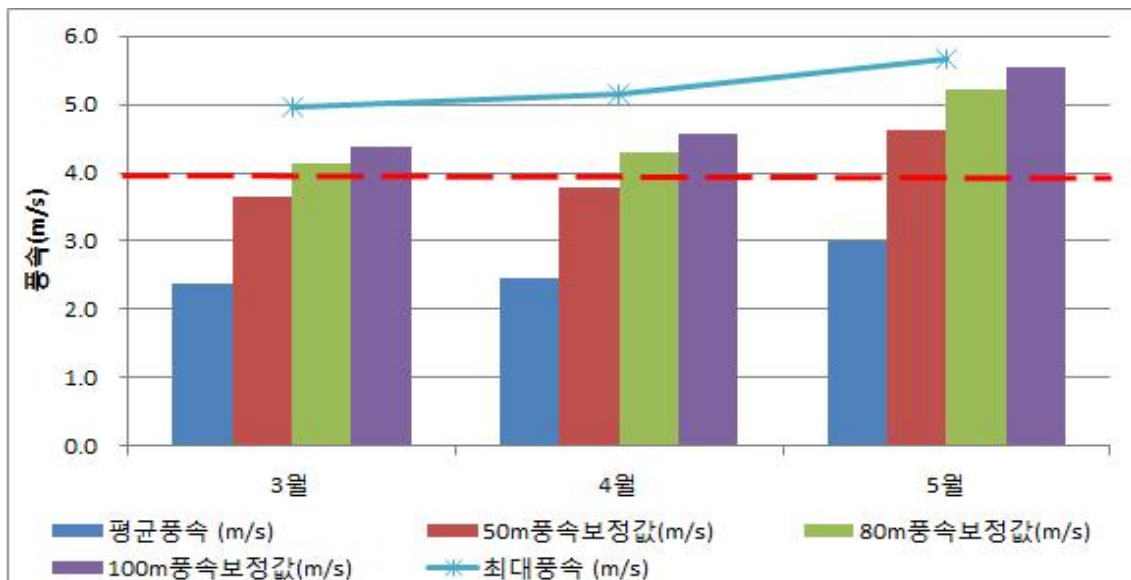
(3) 인천(112) 계절별 풍속보정

(가) 인천(112) 춘절기 풍속보정



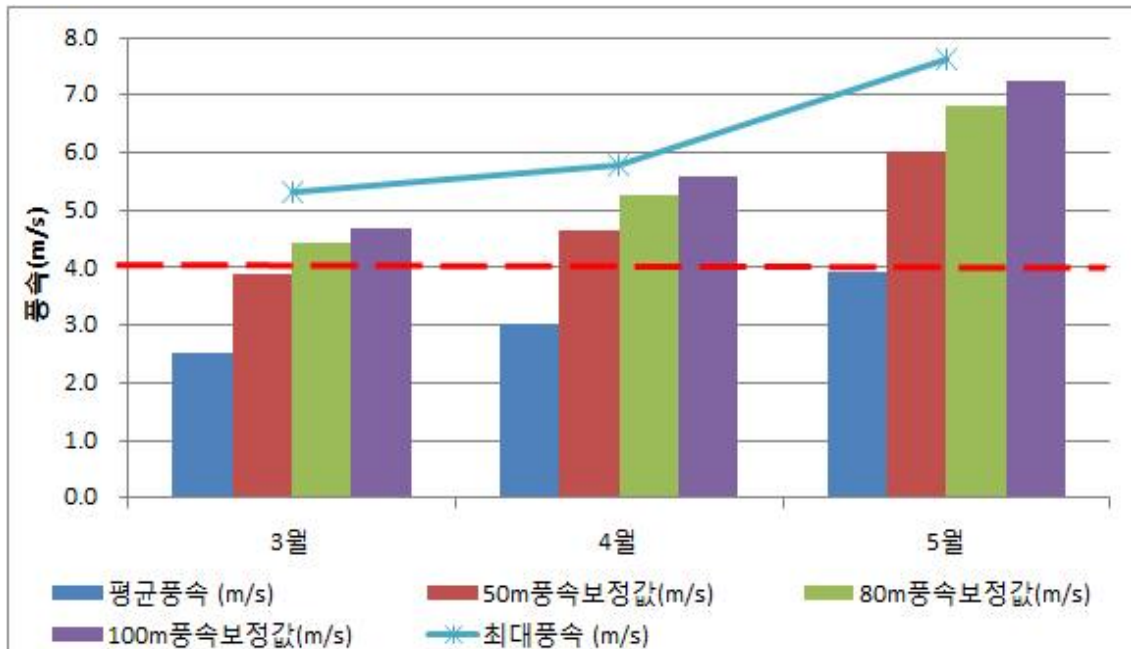
<그림 114> 인천(112) 관측소의 50m, 80m, 100m높이에 따른 춘절기 풍속보정

(나) 인천(112) 하절기 풍속보정



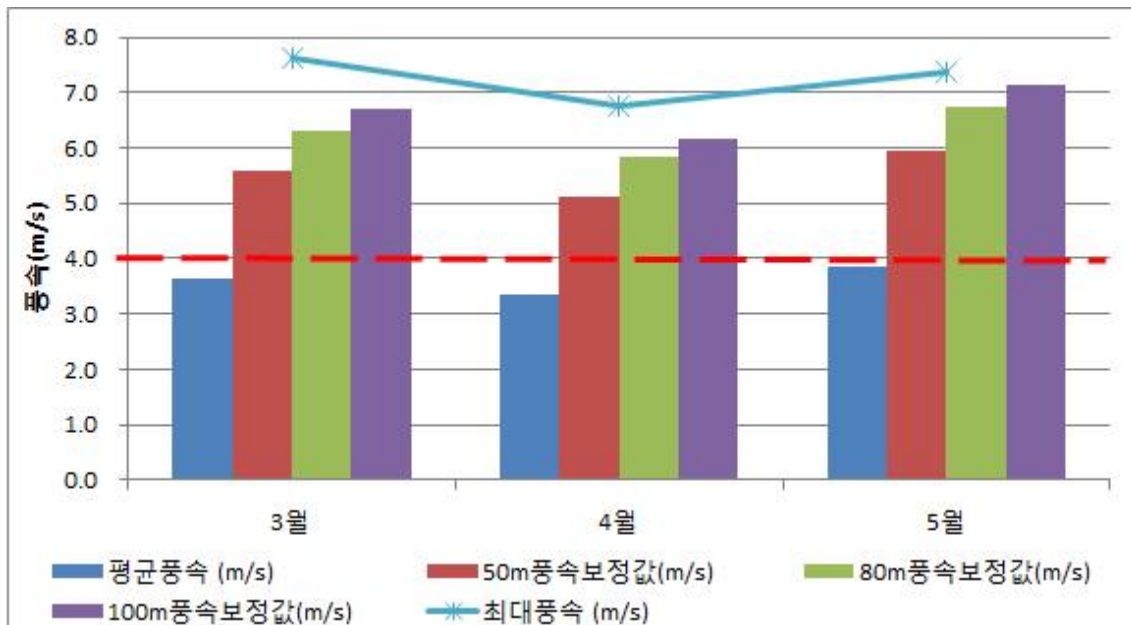
<그림 115> 인천(112) 관측소의 50m, 80m, 100m높이에 따른 하절기 풍속보정

(다) 인천(112) 추절기 풍속보정



<그림 116> 인천(112) 관측소의 50m, 80m, 100m높이에 따른 추절기 풍속보정

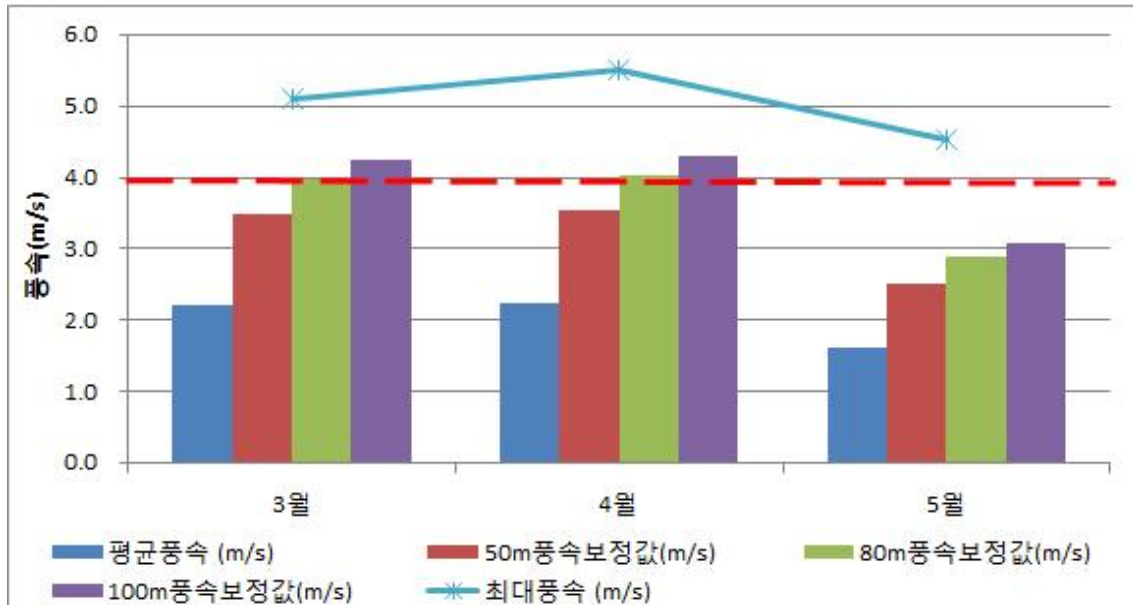
(라) 인천(112) 동절기 풍속보정



<그림 117> 인천(112) 관측소의 50m, 80m, 100m높이에 따른 동절기 풍속보정

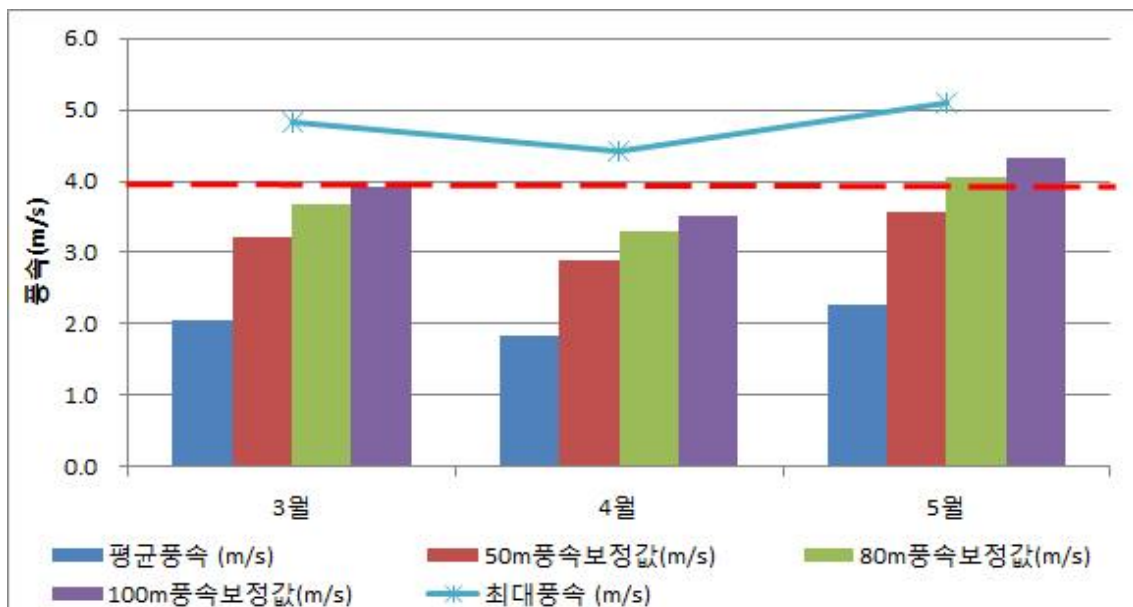
(4) 수원(119) 계절별 풍속보정

(가) 수원(119) 춘절기 풍속보정



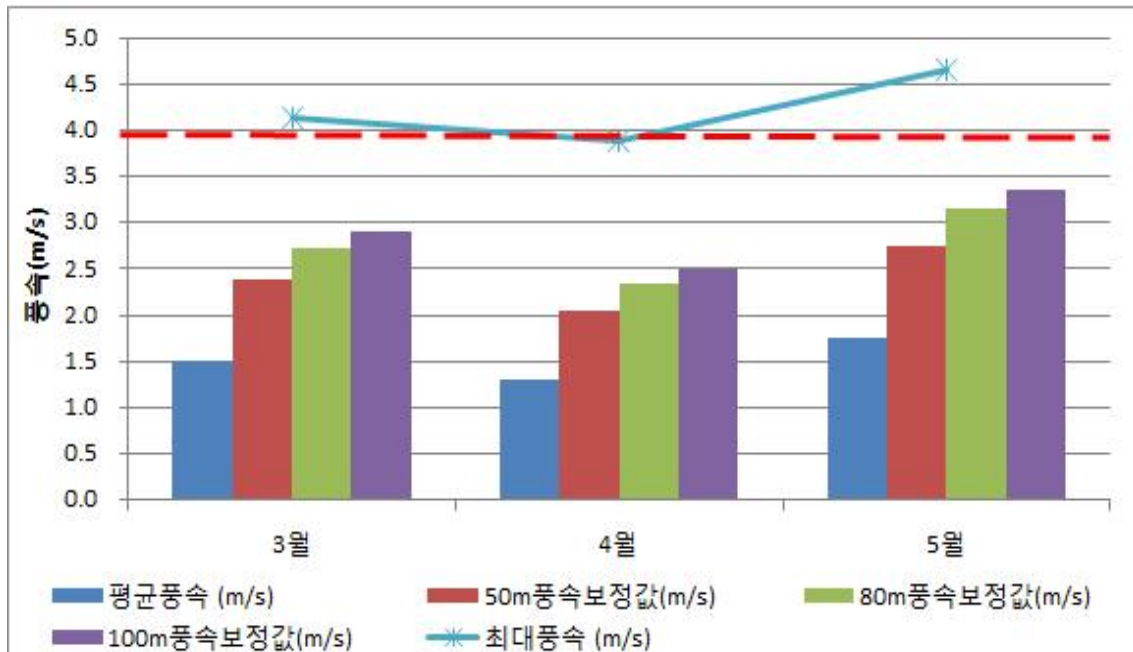
<그림 118> 수원(119) 관측소의 50m, 80m, 100m높이에 따른 춘절기 풍속보정

(나) 수원(119) 하절기 풍속보정



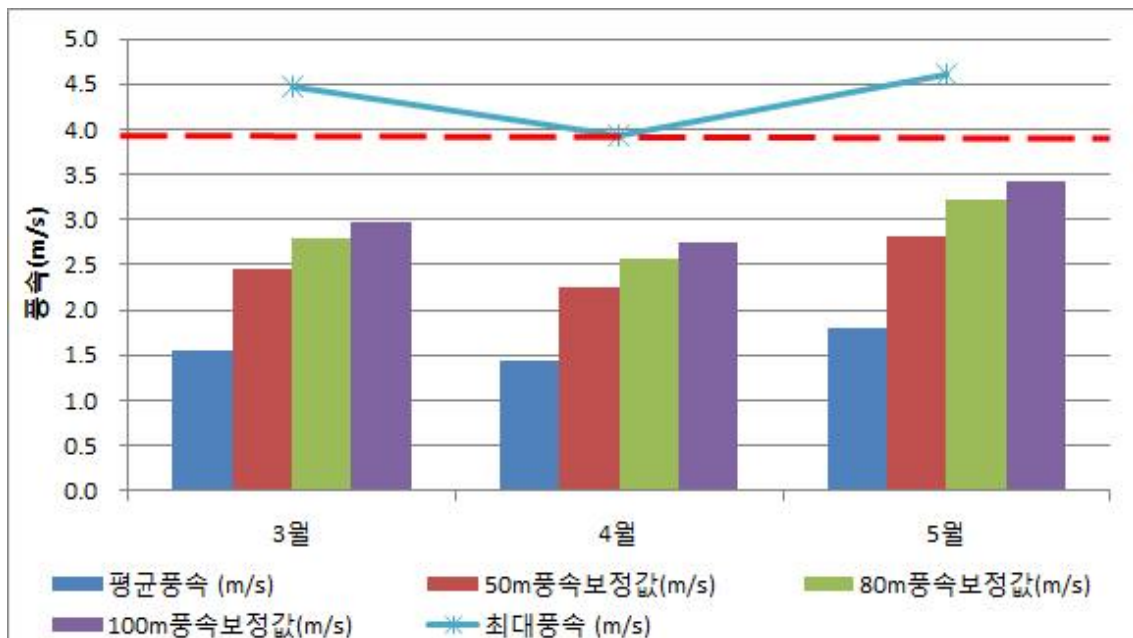
<그림 119> 수원(119) 관측소의 50m, 80m, 100m높이에 따른 하절기 풍속보정

(다) 수원(119) 추절기 풍속보정



<그림 120> 수원(119) 관측소의 50m, 80m, 100m높이에 따른 추절기 풍속보정

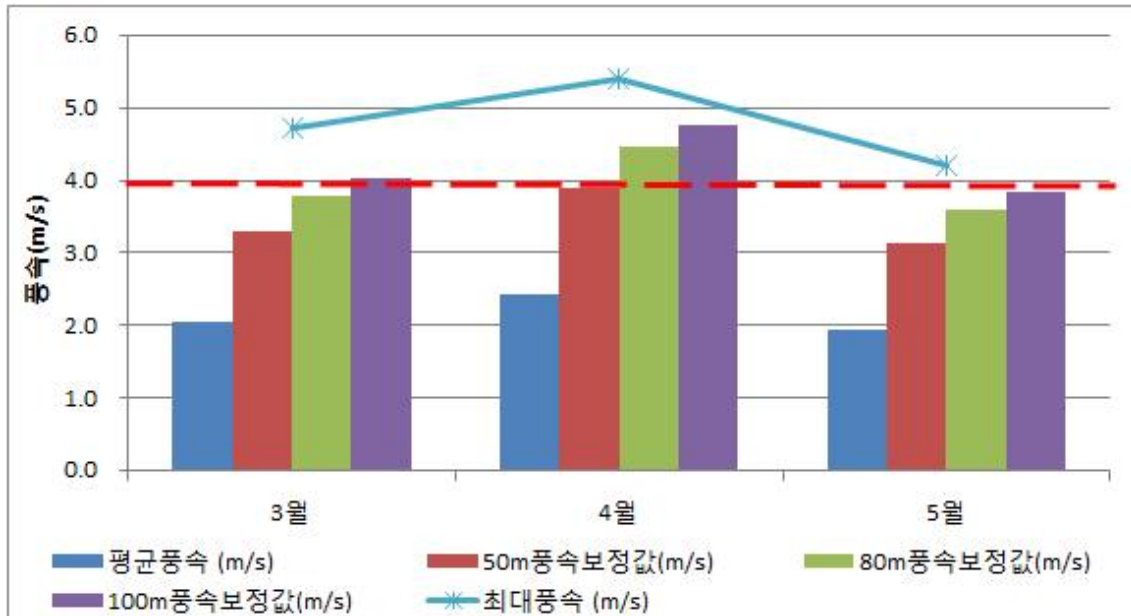
(라) 수원(119) 동절기 풍속보정



<그림 121> 수원(119) 관측소의 50m, 80m, 100m높이에 따른 동절기 풍속보정

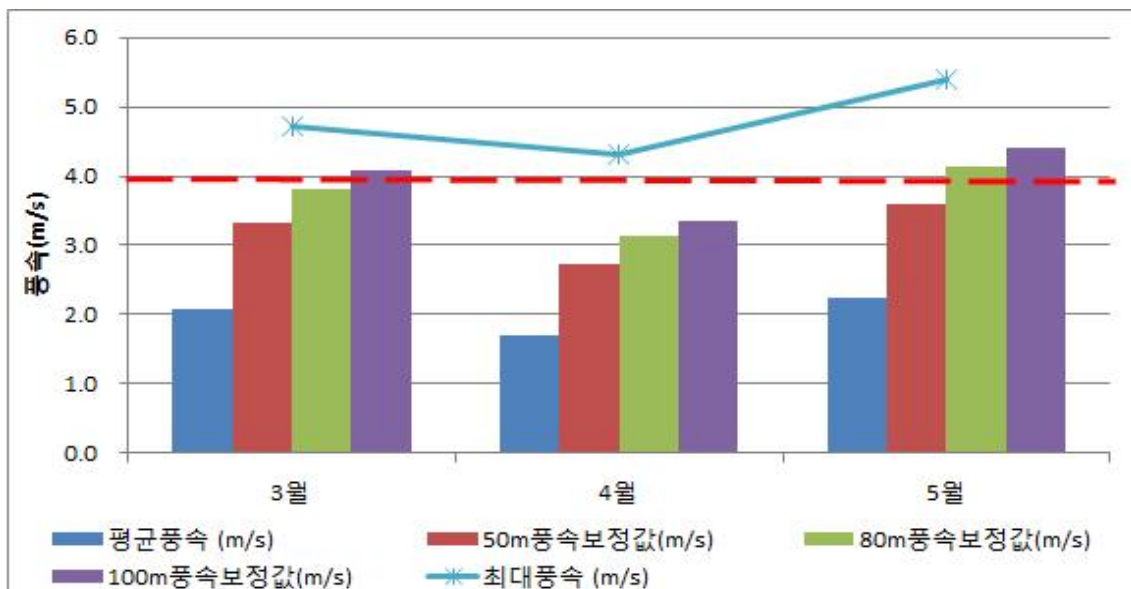
(5) 대전(133) 계절별 풍속보정

(가) 대전(133) 춘절기 풍속보정



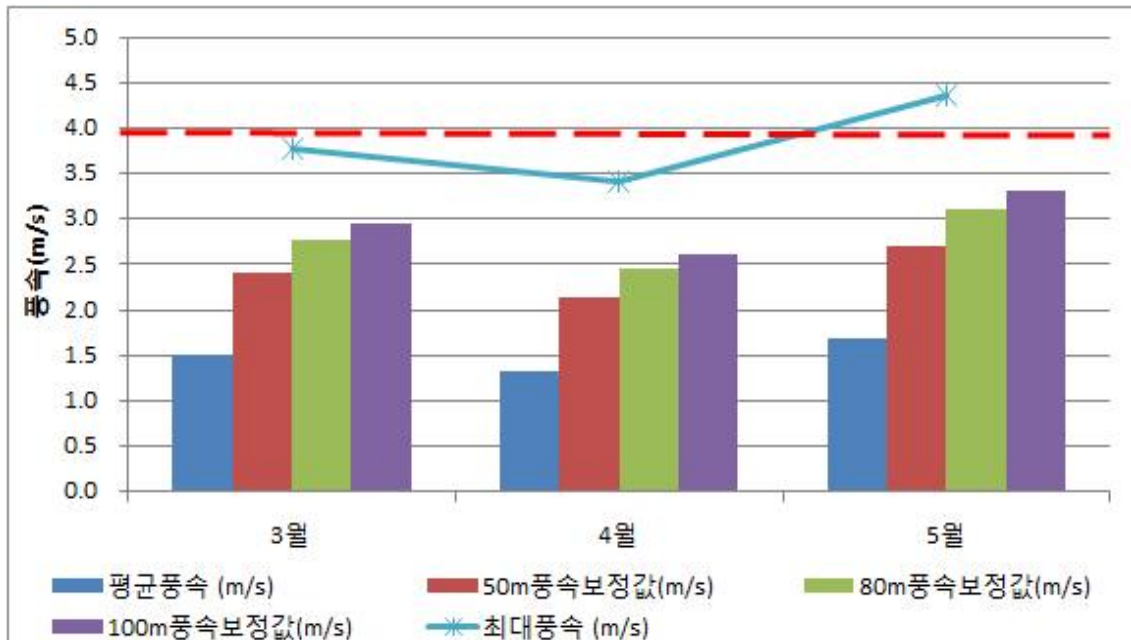
<그림 122> 대전(133) 관측소의 50m, 80m, 100m높이에 따른 춘절기 풍속보정

(나) 대전(133) 하절기 풍속보정



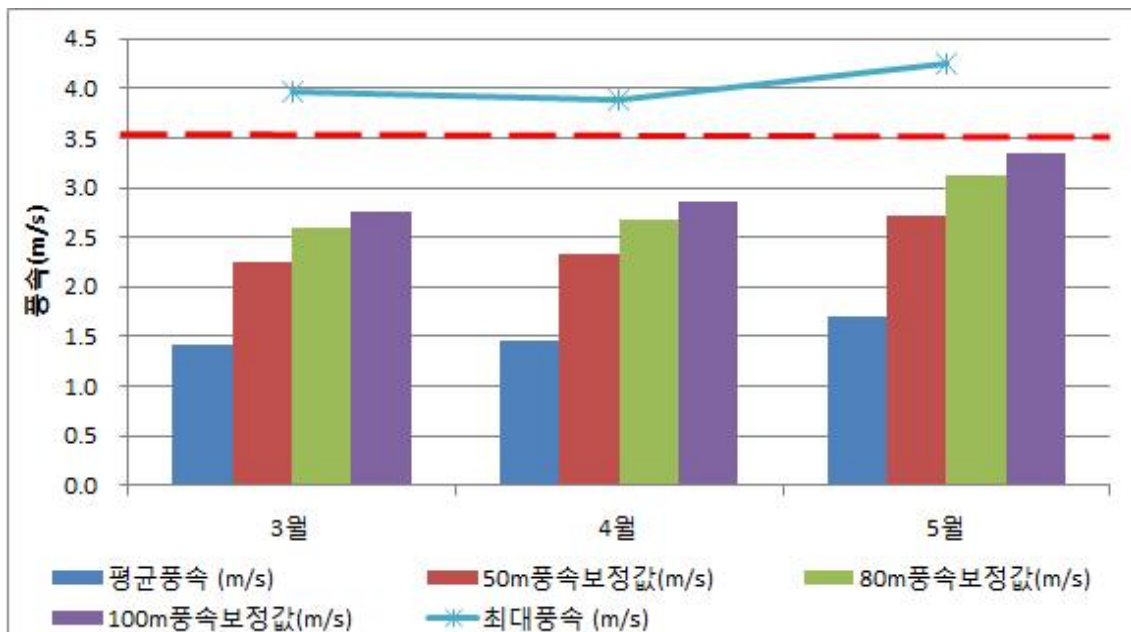
<그림 123> 대전(133) 관측소의 50m, 80m, 100m높이에 따른 하절기 풍속보정

(다) 대전(133) 추절기 풍속보정



<그림 124> 대전(133) 관측소의 50m, 80m, 100m높이에 따른 추절기 풍속보정

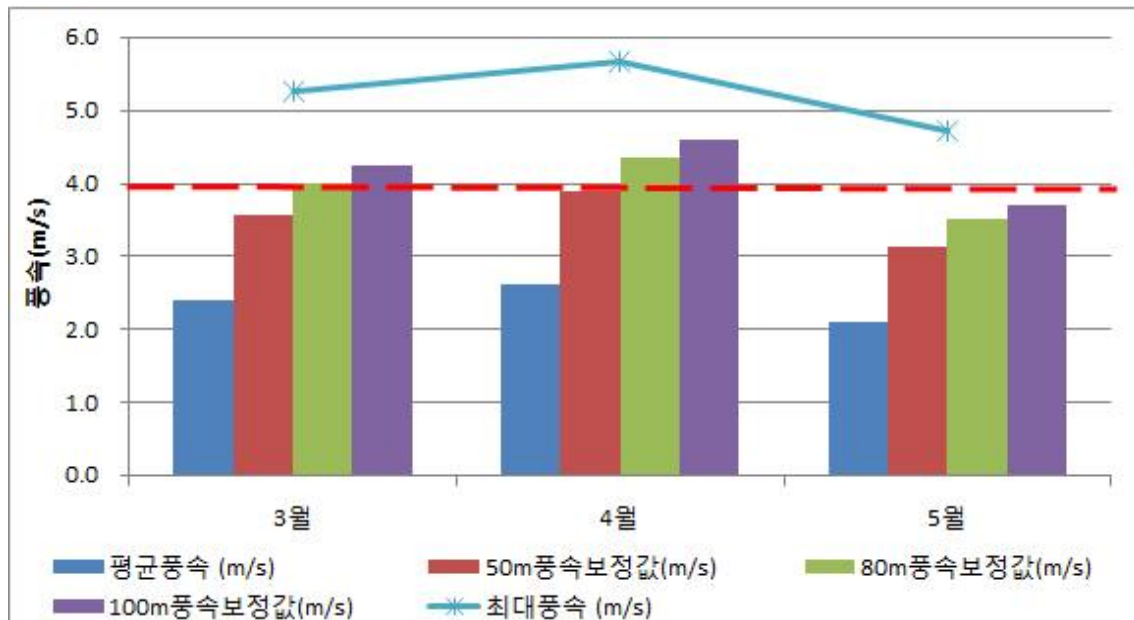
(라) 대전(133) 동절기 풍속보정



<그림 125> 대전(133) 관측소의 50m, 80m, 100m높이에 따른 동절기 풍속보정

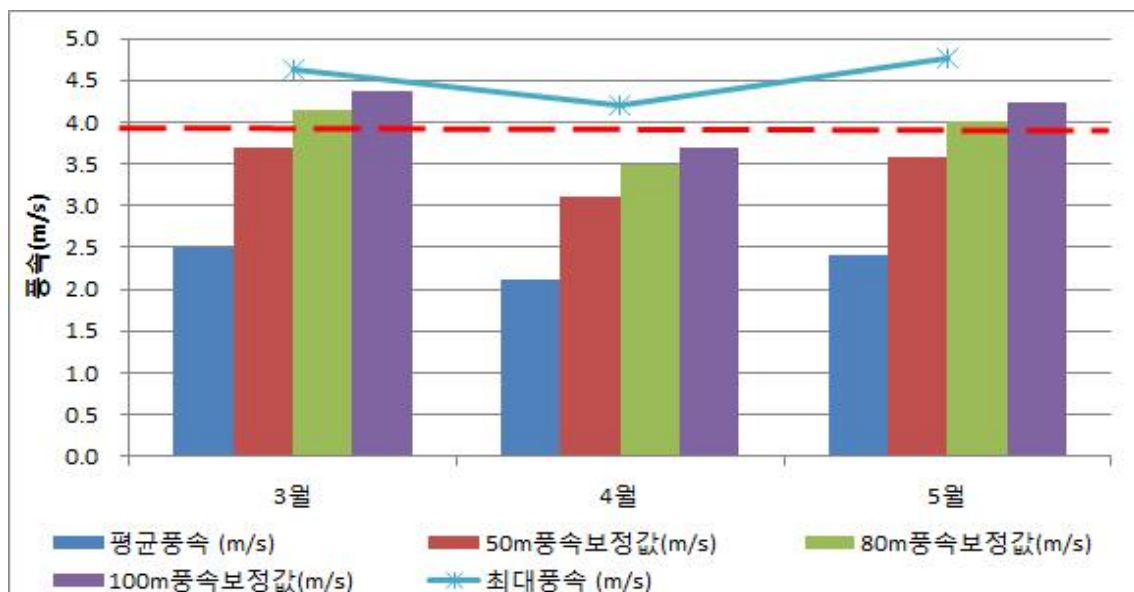
(6) 대구(143) 계절별 풍속보정

(가) 대구(143) 춘절기 풍속보정



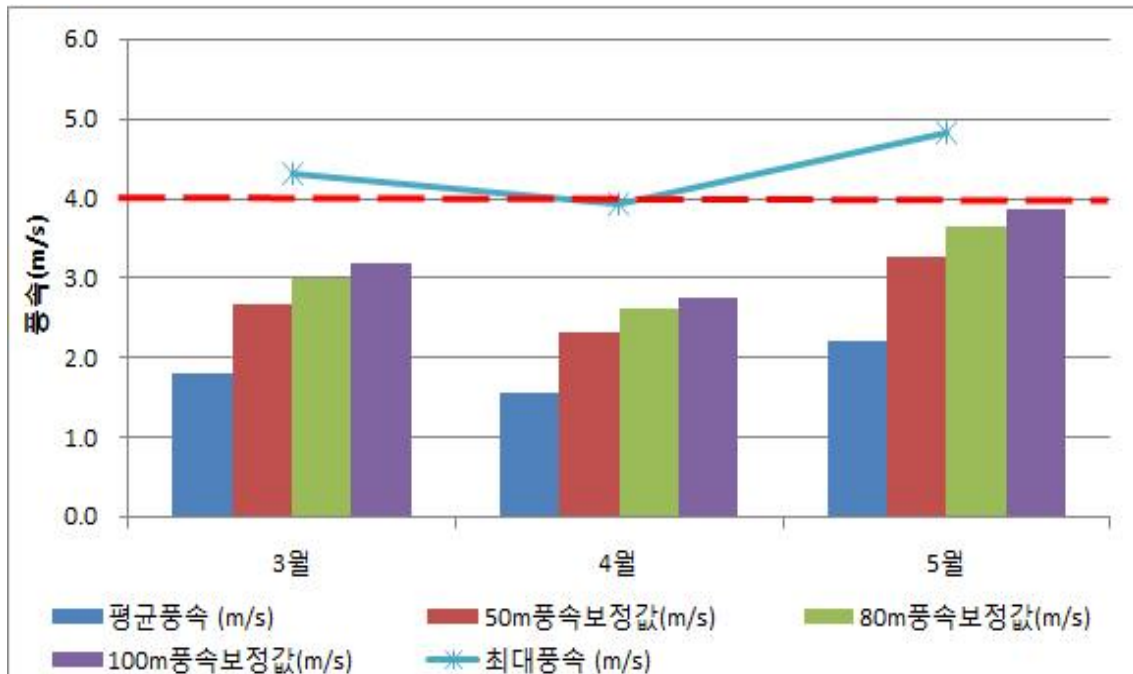
<그림 126> 대구(143) 관측소의 50m, 80m, 100m높이에 따른 춘절기 풍속보정

(나) 대구(143) 하절기 풍속보정



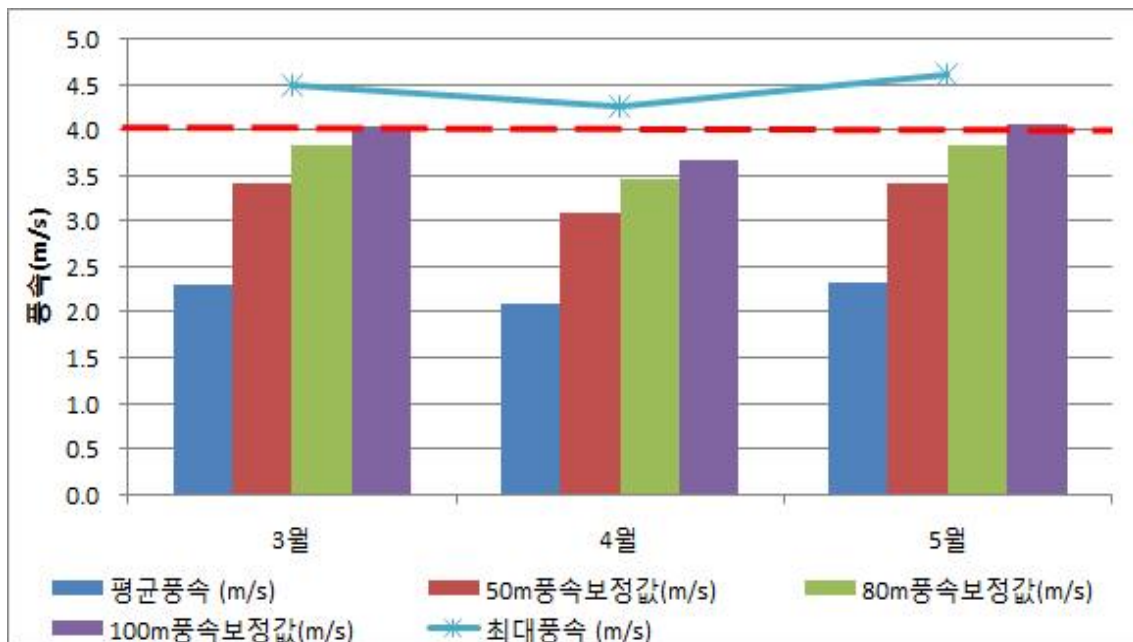
<그림 127> 대구(143) 관측소의 50m, 80m, 100m높이에 따른 하절기 풍속보정

(다) 대구(143) 추절기 풍속보정



<그림 128> 대구(143) 관측소의 50m, 80m, 100m높이에 따른 추절기 풍속보정

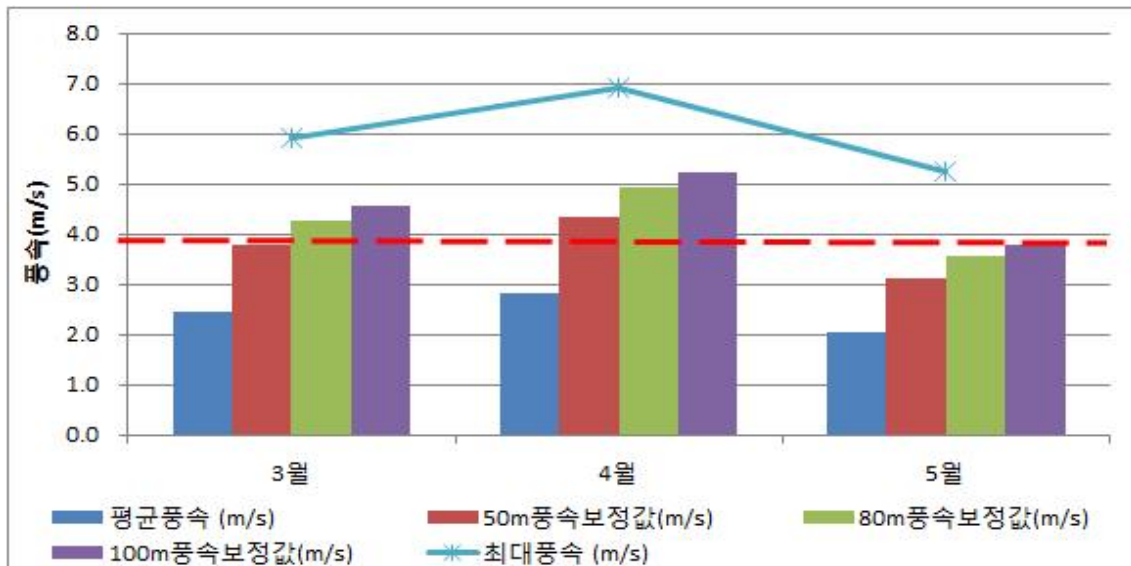
(라) 대구(143) 동절기 풍속보정



<그림 129> 대구(143) 관측소의 50m, 80m, 100m높이에 따른 동절기 풍속보정

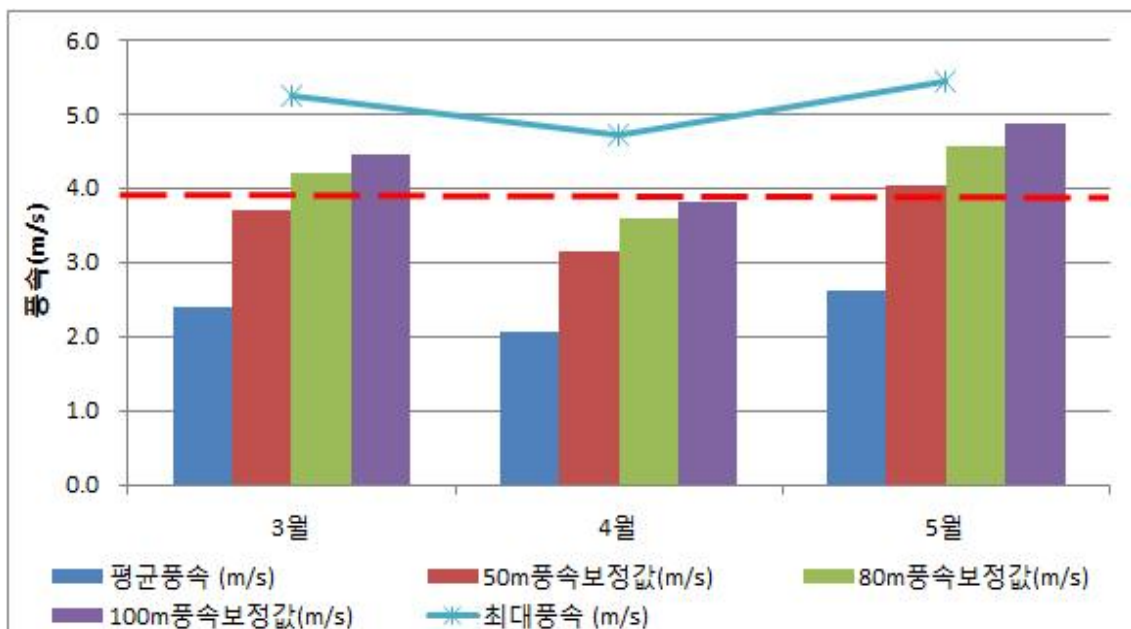
(7) 울산(152) 계절별 풍속보정

(가) 울산(152) 춘절기 풍속보정



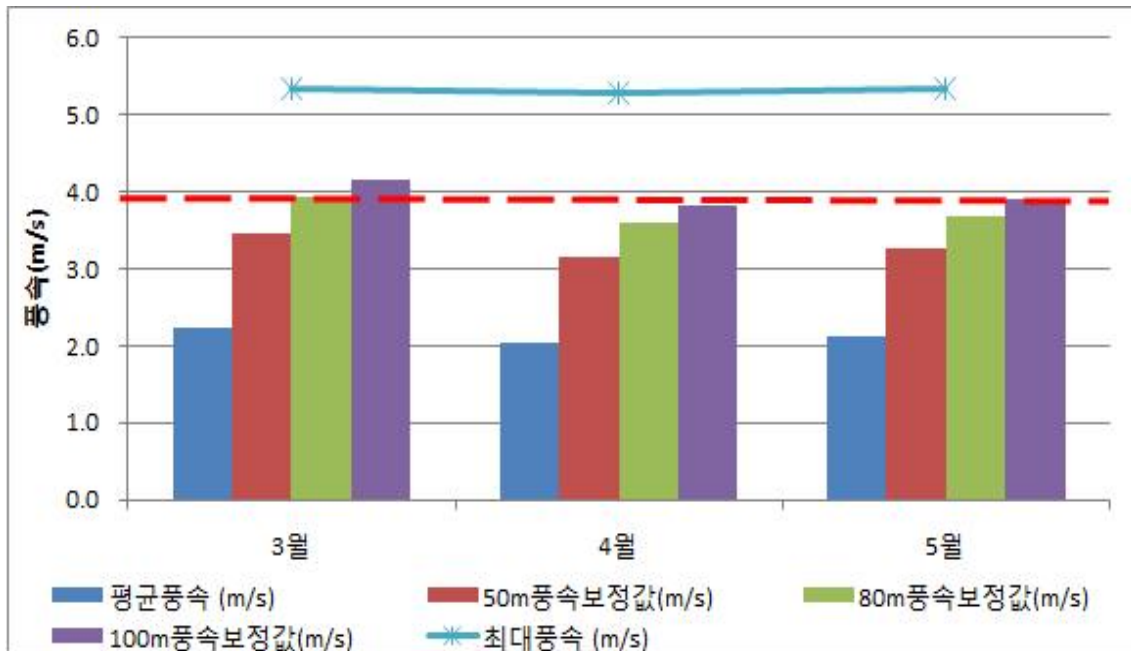
<그림 130> 울산(152) 관측소의 50m, 80m, 100m높이에 따른 춘절기 풍속보정

(나) 울산(152) 하절기 풍속보정



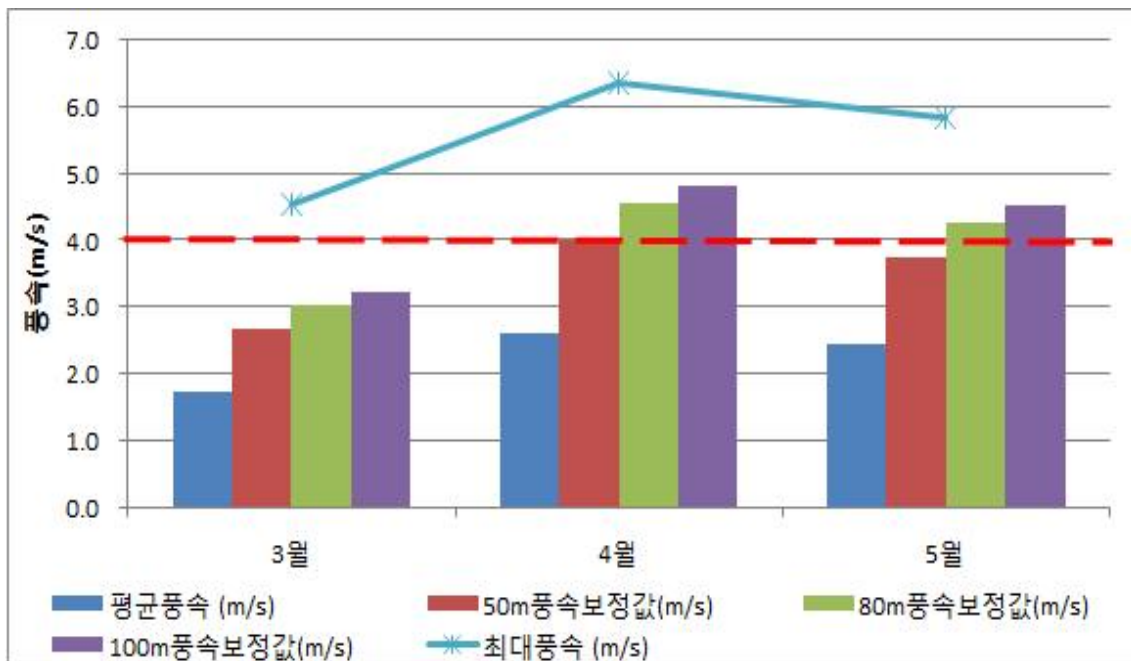
<그림 131> 울산(152) 관측소의 50m, 80m, 100m높이에 따른 하절기 풍속보정

(다) 울산(152) 추절기 풍속보정



<그림 132> 울산(152) 관측소의 50m, 80m, 100m높이에 따른 추절기 풍속보정

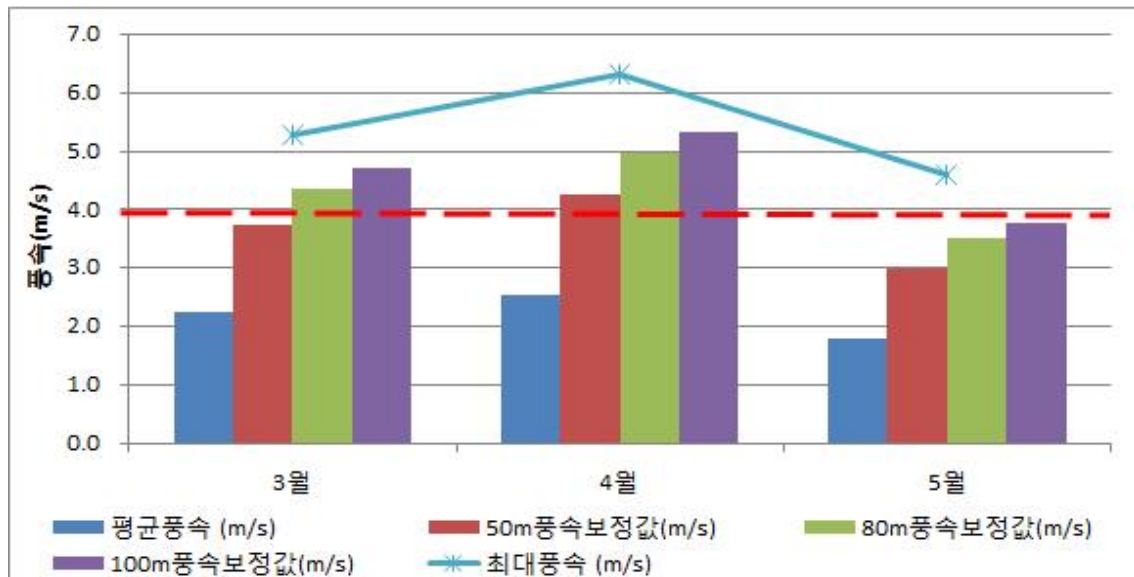
(라) 울산(152) 동절기 풍속보정



<그림 133> 울산(152) 관측소의 50m, 80m, 100m높이에 따른 동절기 풍속보정

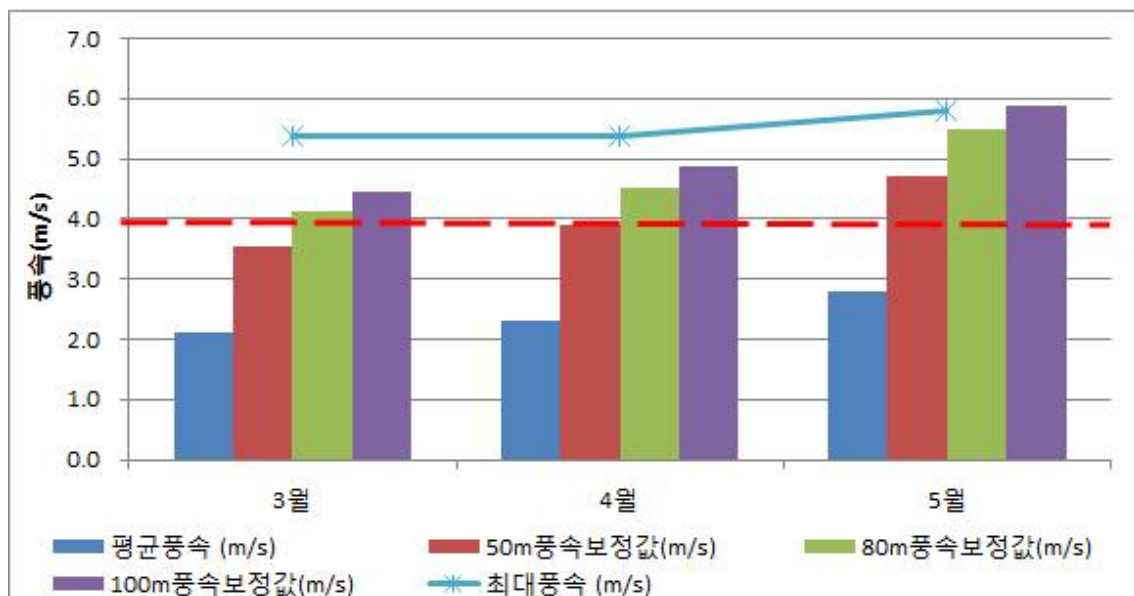
(8) 광주(156) 계절별 풍속보정

(가) 광주(156) 춘절기 풍속보정



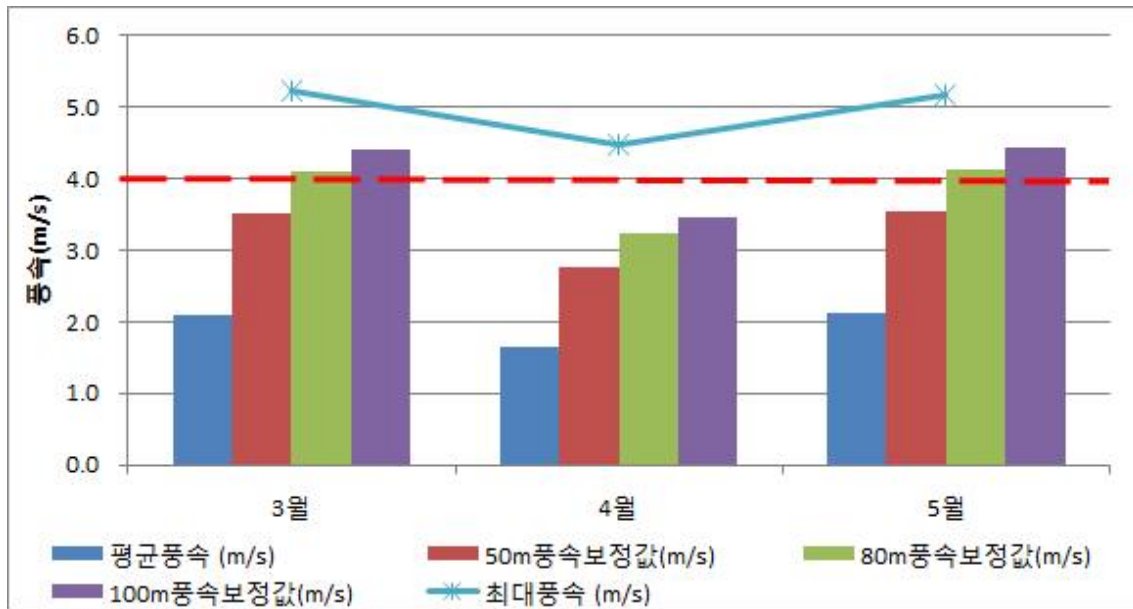
<그림 134> 광주(156) 관측소의 50m, 80m, 100m높이에 따른 춘절기 풍속보정

(나) 광주(156) 하절기 풍속보정



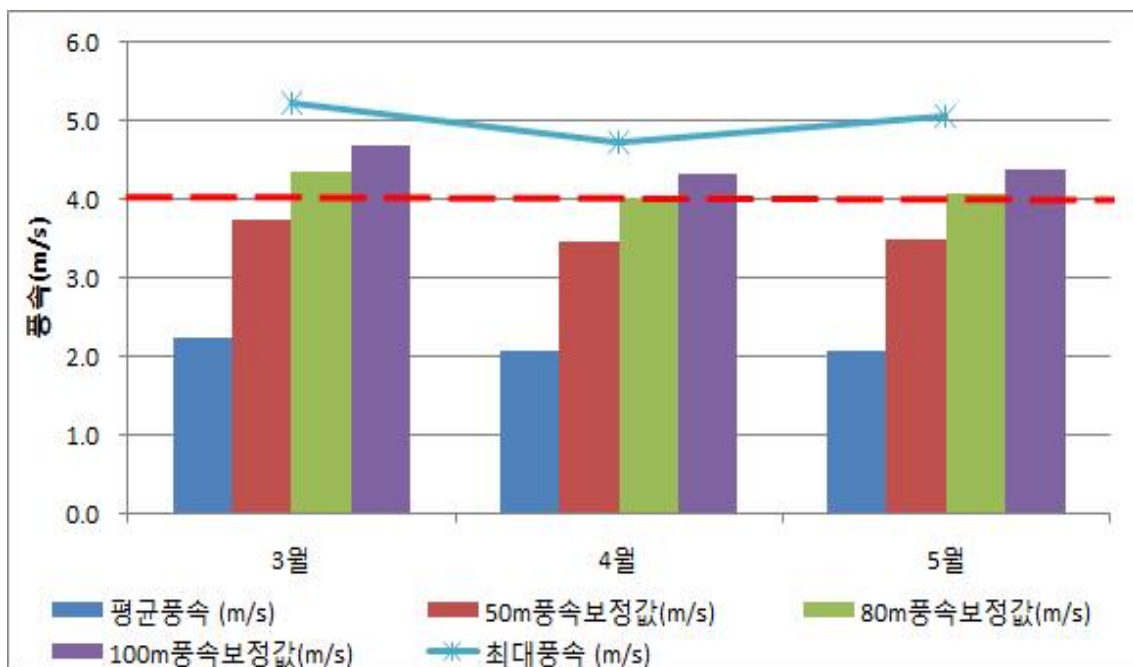
<그림 135> 광주(156) 관측소의 50m, 80m, 100m높이에 따른 하절기 풍속보정

(다) 광주(156) 추절기 풍속보정



<그림 136> 광주(156) 관측소의 50m, 80m, 100m높이에 따른 추절기 풍속보정

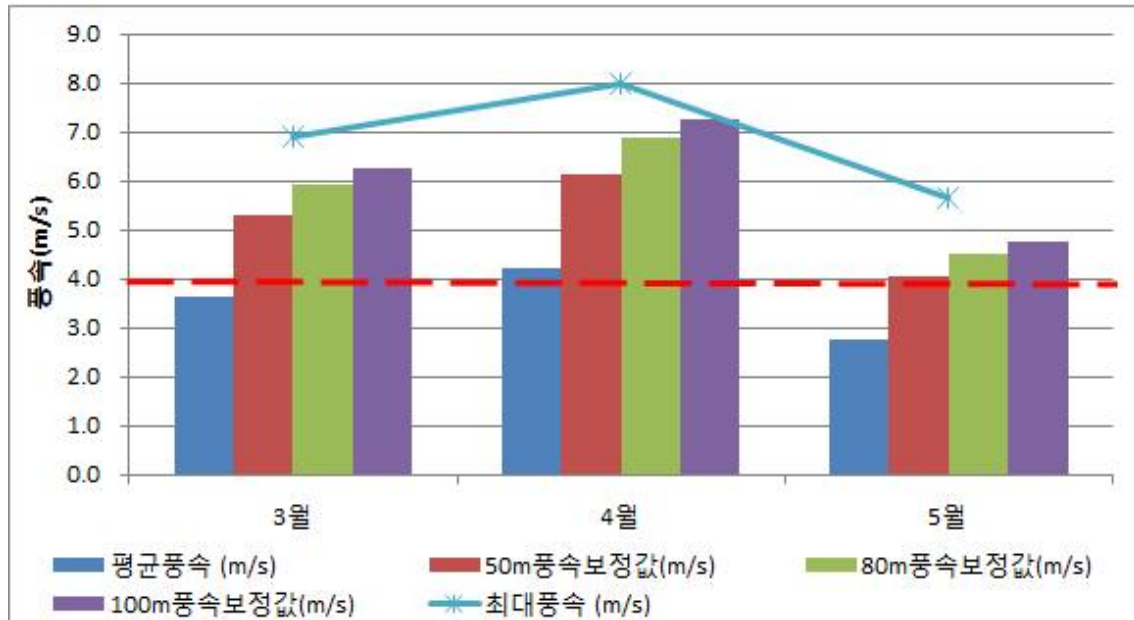
(라) 광주(156) 동절기 풍속보정



<그림 137> 광주(156) 관측소의 50m, 80m, 100m높이에 따른 동절기 풍속보정

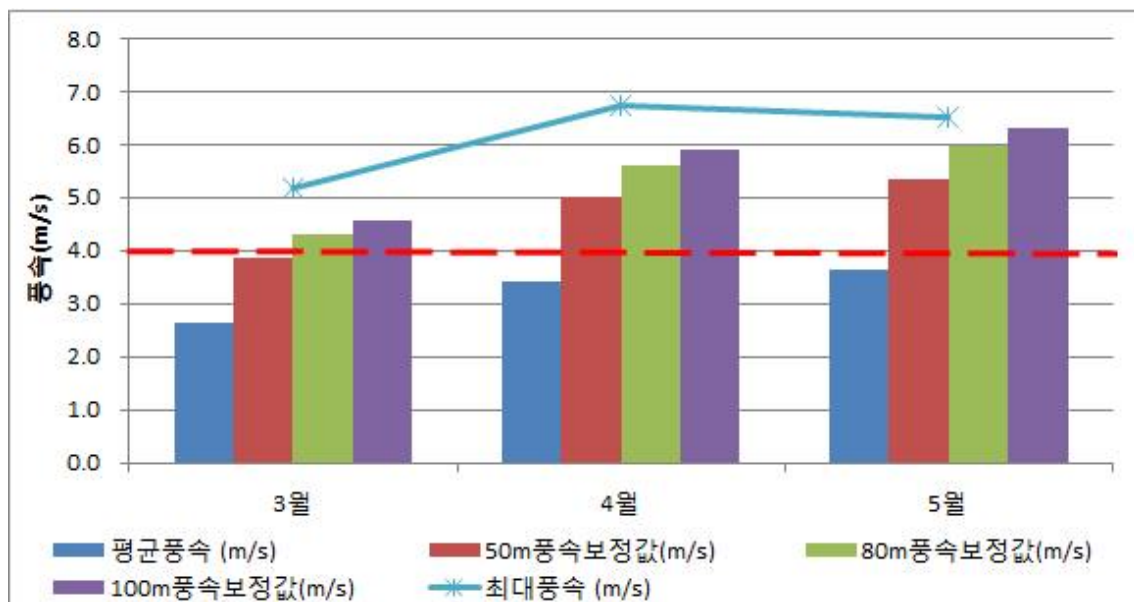
(9) 부산(159) 계절별 풍속보정

(가) 부산(159) 춘절기 풍속보정



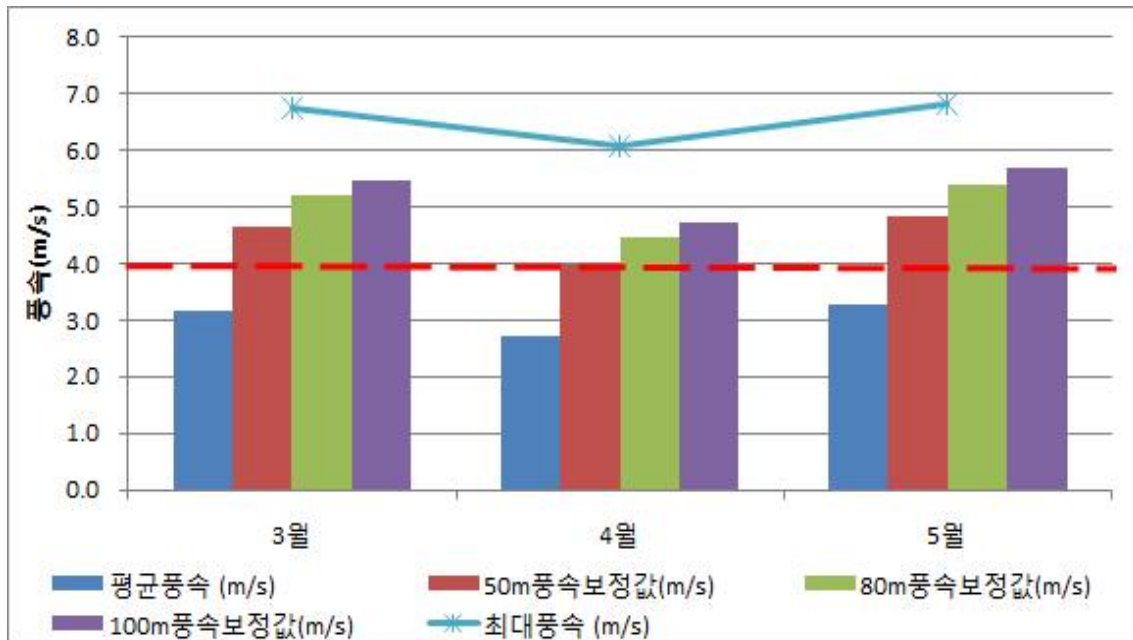
<그림 138> 광주(156) 관측소의 50m, 80m, 100m높이에 따른 춘절기 풍속보정

(나) 부산(159) 하절기 풍속보정



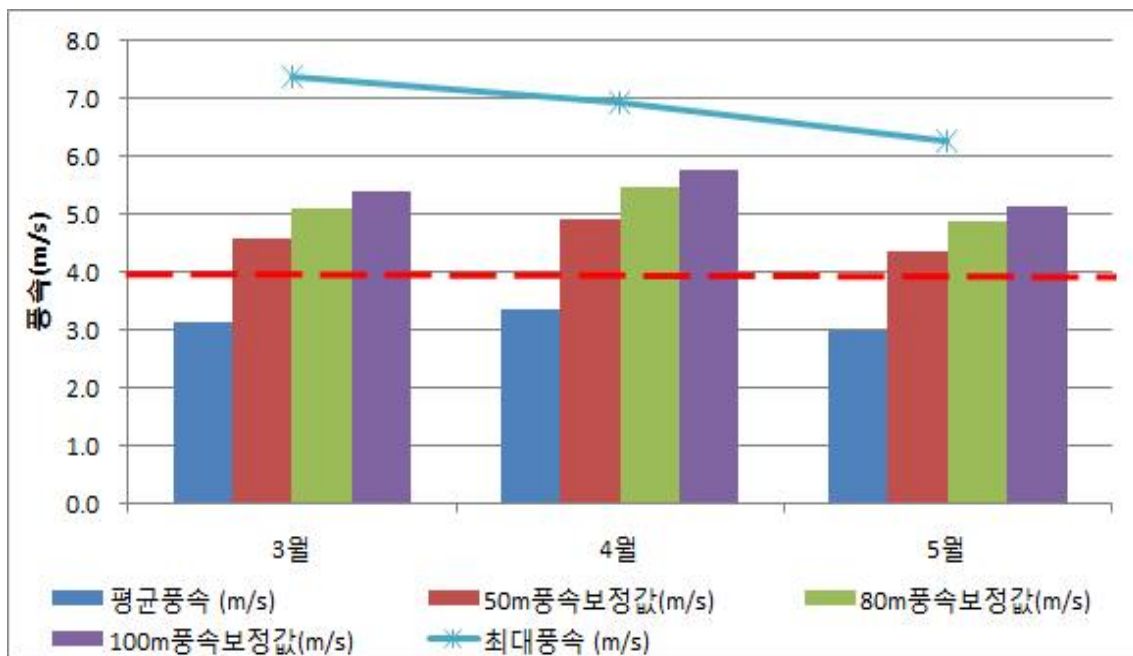
<그림 139> 광주(156) 관측소의 50m, 80m, 100m높이에 따른 하절기 풍속보정

(다) 부산(159) 추절기 풍속보정



<그림 140> 광주(156) 관측소의 50m, 80m, 100m높이에 따른 추절기 풍속보정

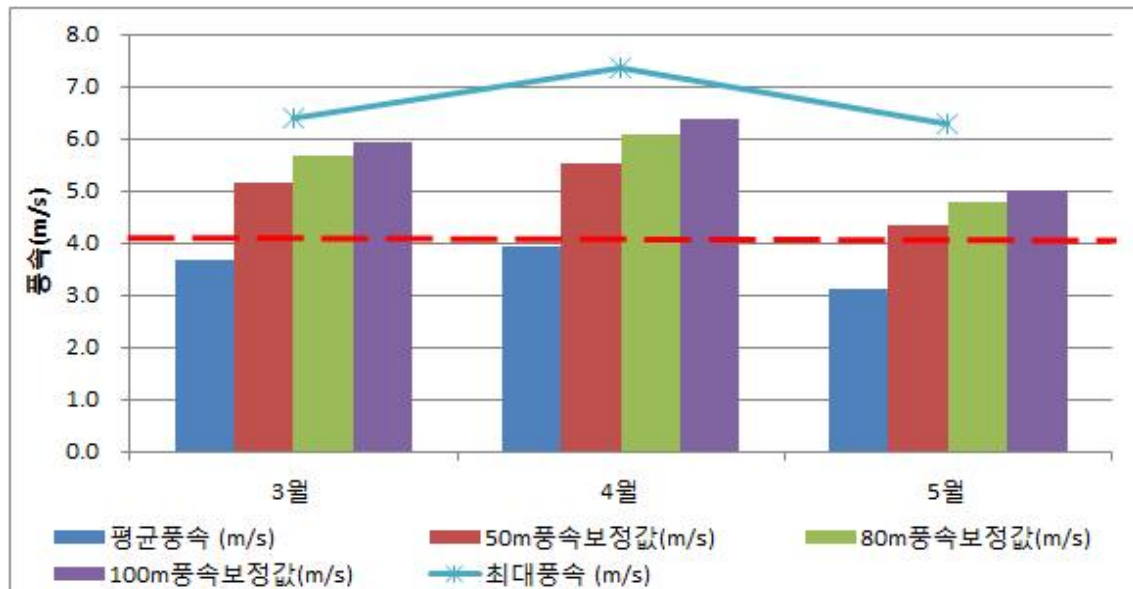
(라) 부산(159) 동절기 풍속보정



<그림 141> 광주(156) 관측소의 50m, 80m, 100m높이에 따른 동절기 풍속보정

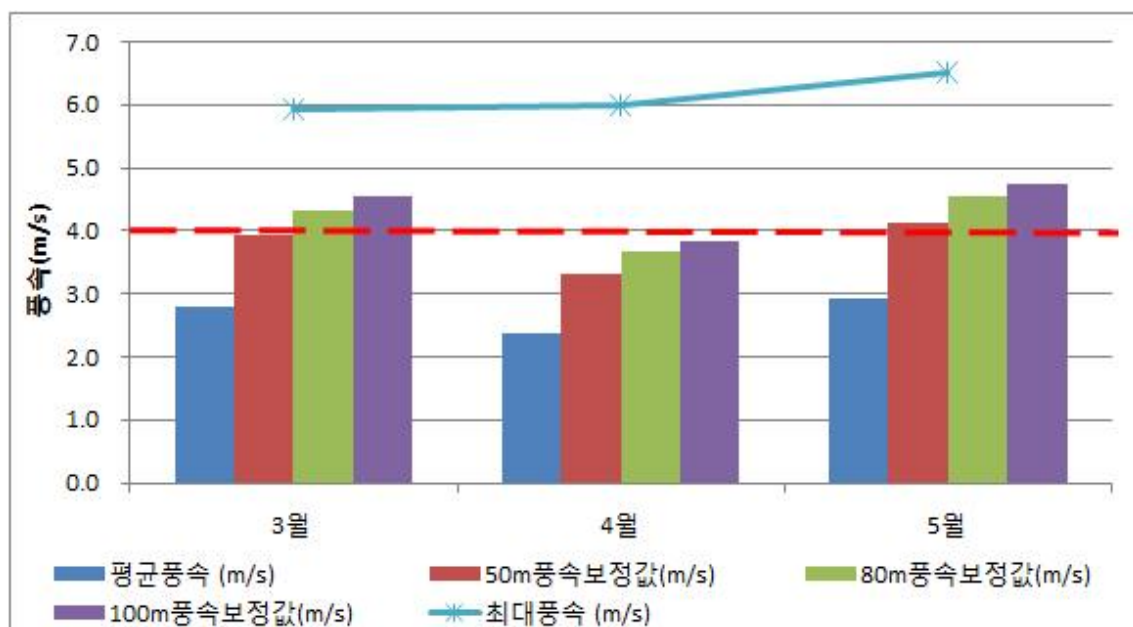
(10) 제주(184) 계절별 풍속보정

(가) 제주(184) 춘절기 풍속보정



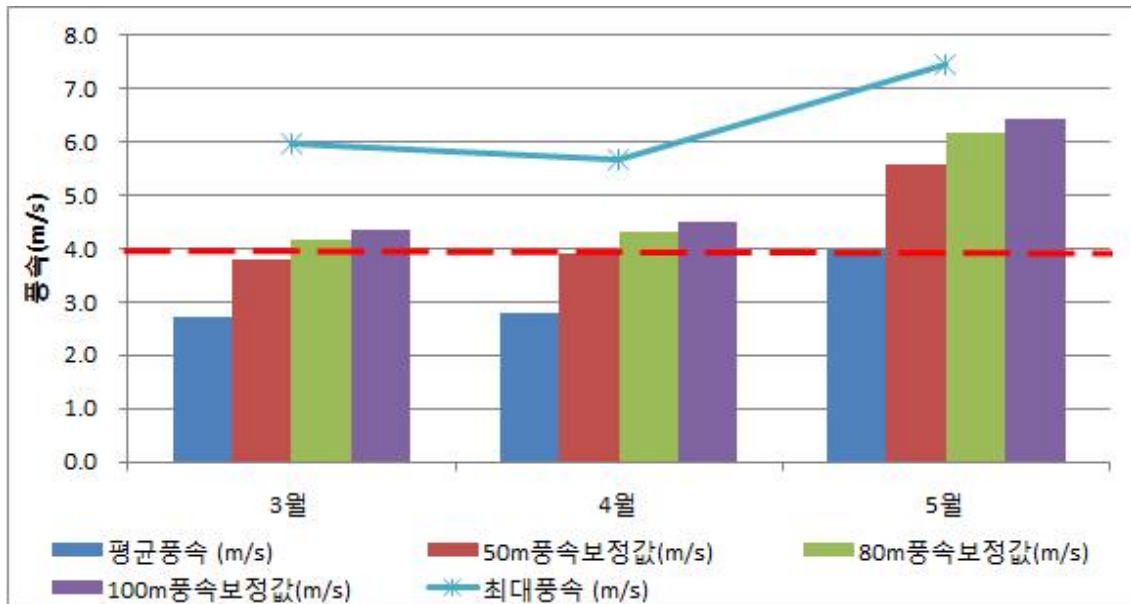
<그림 142> 제주(184) 관측소의 50m, 80m, 100m높이에 따른 춘절기 풍속보정

(나) 제주(184) 하절기 풍속보정



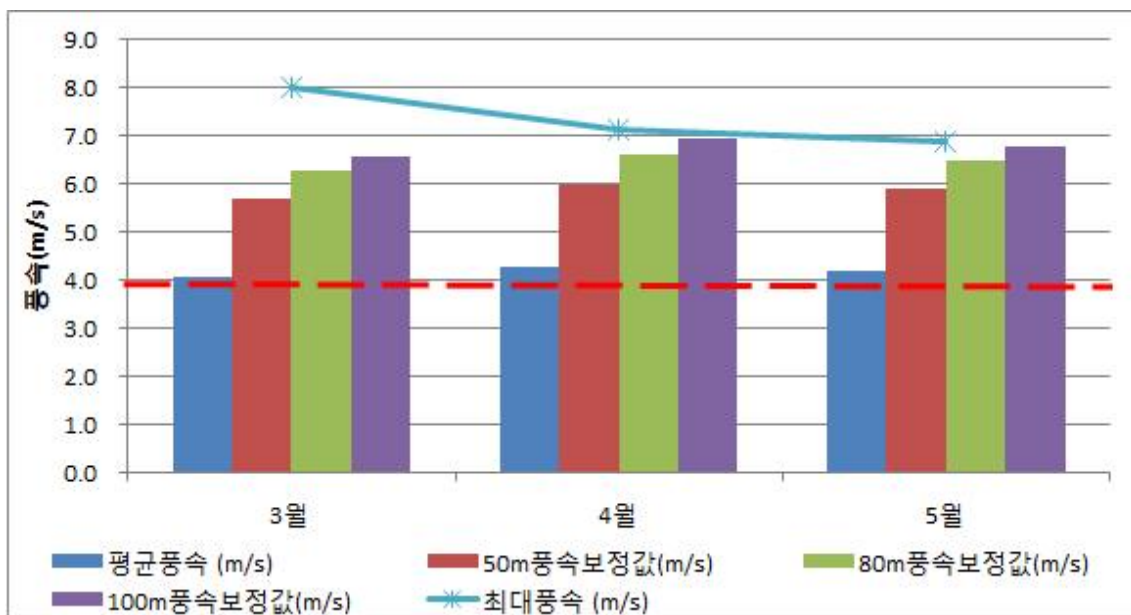
<그림 143> 제주(184) 관측소의 50m, 80m, 100m높이에 따른 하절기 풍속보정

(다) 제주(184) 추절기 풍속보정



<그림 144> 제주(184) 관측소의 50m, 80m, 100m높이에 따른 추절기 풍속보정

(라) 제주(184) 동절기 풍속보정



<그림 145> 제주(184) 관측소의 50m, 80m, 100m높이에 따른 동절기 풍속보정

제3장 연구목표의 달성도

1절 연구개발 수행 진도표

1. 1차년도 주요 추진 결과

연차	연구목표	연구내용	201212												2013		연구비 (천원)	비중 (%)
			(월)												(월)			
			4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2					
1차 년도	횡류형 수직풍력발전 시스템의 가용성 평 가	풍력발전 및 풍력터빈 설 계이론 정리														10,380	6.92%	
		풍속 변화에 따른 성능예측 이론 정리														10,380	6.92%	
		CFD 시뮬레이션을 통한 시스템 성능예측 및 시제품 제작														20,760	13.84%	
	타워형 구조물의 설 계안 도출 및 발전시 스템 설계, 제작	타워형 구조물의 설 계이론 정리														10,380	6.92%	
		건물 형태를 고려한 설 계이론 장외와 주거형 건물에 적용 가능성 분석														10,380	6.92%	
		2kW 발전 가능한 수직형 풍력터빈 시스 템 설계 및 모델 제작														35,820	23.88%	
	횡류형 터빈의 병렬구 조에 따른 진동 및 소 음에 대한 시뮬레이션 해석	소음 진동 설 계이론 정리														10,380	6.92%	
		음향장 해석														20,760	13.84%	
		진동모드 해석														20,760	13.84%	

2. 2차년도 주요 추진 결과

연차	연구목표	연구내용	2013 (월)												2014 (월)				연구비 (천원)	비중 (%)
			3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4				
2차 년도	풍력발전시스템의 성능평가를 위한 시험장치 개발 및 개선	2kW급 모델 풍력발전시스템의 풍동실험을 통한 검증																16,943	11.3%	
		2kW급 모델 풍력발전시스템의 완성																48,341	32.2%	
	입구 가이드베인 및 발전시스템의 시험장치 설계	가이드베인 설치에 따른 하중 시뮬레이션																16,943	11.3%	
		발전시스템 시험장치 설계안 도출																22,591	15.1%	
	풍력시스템 하우징과 건축구조물 사이의 진동특성 평가	진동 해석을 통한 성능평가																16,943	11.3%	
	2kW급 풍력시스템 실증 시험으로 2kW급 발전시스템 설계	2kW급 실증용 풍력시스템 설계안 및 성능평가 실험																16,943	11.3%	
	입구 가이드베인의 구조물 및 발전시스템의 설치 베드 설계안 확정	가이드베인 구조물 설치에 따른 터빈 성능 평가																		
		발전시스템 설치 베드 설계안 확정																		
	10kW급 발전시스템 설계안 작성	10kW급 발전시스템 설계안 도출																11,296	7.5%	

2절 연구개발 목표의 달성도

	목 표	달 성 도 (%)	내 용
1차년도	• 건축물 및 구조물 설계	100%	• 건축물 및 구조물 형태에 따른 변화 분석 결과 도출
	• 2kW 발전시스템의 임펠러 및 가이드베인 설계	100%	• 시뮬레이션 결과 분석을 통한 2kW 발전 가능확인
	• 발전시스템의 설계 및 성능예측 시뮬레이션	100%	• 발전시스템의 발전 가능성 평가 결과분석 확인
	• 횡류형 터빈의 별령구조에 따른 진동 및 소음에 대한 측정 및 평가	100%	• 소음 및 진동 설계이론 적립. 및 소음 및 진동의 분석 평가 확인
2차년도	• 풍력발전시스템의 성능평가를 위한 시험 장치 개발 및 개선	100%	• 2kW급 모델 풍력발전시스템의 풍동실험을 통한 검정
	• 입구 가이드베인 및 발전시스템의 시험장치 설계		• 2kW급 모델 풍력발전시스템의 완성
	• 풍력시스템 하우징과 건축구조물 사이의 진동특성 평가		• 가이드베인 설치에 따른 하중 시뮬레이션
	• 2kW급 풍력시스템 실증시험으로 2kW급 발전시스템 설계	100%	• 발전시스템 시험장치 설계안 도출
	• 입구 가이드베인의 구조물 및 발전시스템의 설치 베드 설계안 확정		• 진동 해석을 통한 성능평가
	• 10kW급 풍력 발전시스템의 설계안 확정		• 2kW급 실증용 풍력시스템 설계안 및 성능평가 실험
			• 가이드베인 구조물 설치에 따른 터빈 성능 평가
			• 발전시스템 설치 베드 설계안 확정
			• 10kW급 풍력발전시스템의 설계안 도출

제4장 연구개발 추진전략 및 결과

1절 연구개발 추진전략

1. 연구개발 추진체계

구 분	주관연구기관	참여기업
1차년도 (가용성 및 기초설계)	-건축 설계 이론 정리 -벤투리를 적용한 타워형 구조물의 설계 -적용 가능한 건축설비 신기술 정리 -풍력터빈 및 발전시스템 설계이론 정리 -풍력발전시스템의 성능평가이론 정리 -모델 시스템 성능 예측 시뮬레이션 -구조물의 모드해석, 휨, 진동절연, 진동 전달을 저감 방안, 방진재 특성조사 -진동·소음 스펙트럼 분석 및 관심(연구대상) 주파수 연구 및 거리에 따른 감쇠특성 연구	- 타워형 구조물 설계 및 제작을 위한 기술참여 - 터빈 임펠러 및 가이드 베인의 설계참여
2차년도 (모델시스템 의 실증연구 및 목표장치의 설계안 도출)	-발전시스템의 성능평가를 위한 시험장치 개발 및 개선 -임구 가이드베인 및 발전시스템의 시험장치 설계 -풍력시스템의 하우징과 건축구조물 간의 진동특성 평가 -2kW급 풍동실험용 모델 제작 및 풍동실험 -2kW급 실증실험용 타워제작 및 시스템 설계 -10kW급 발전시스템 설계안 작성	- 2kW급 풍력터빈의 모델설계 및 제작지원 - 실증연구를 위한 벤투리 적용 풍력타워 설계 및 제작

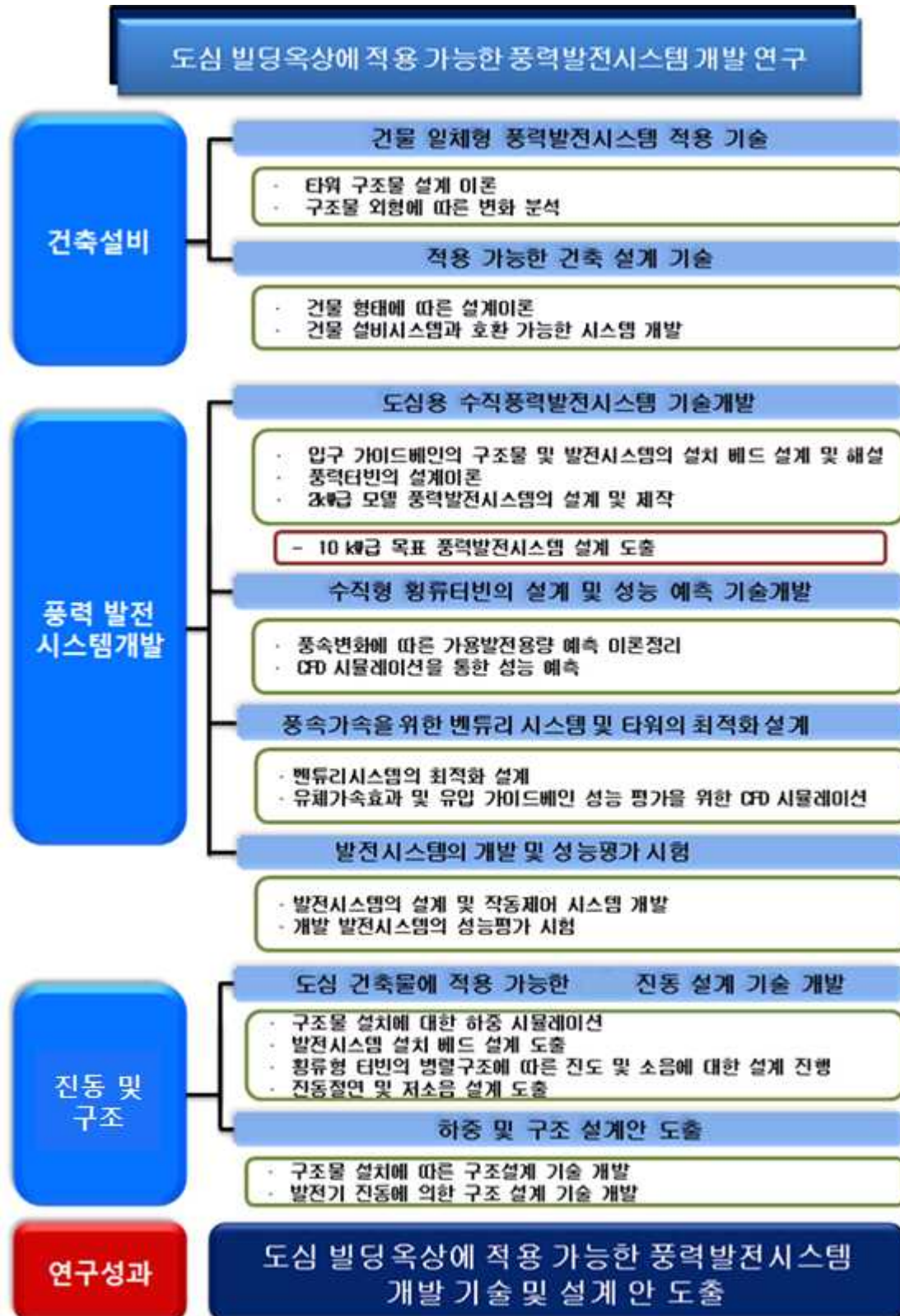
2. 연차별 세부 추진 결과

가. 1차년도

연차	연구내용	세부추진 결과	수행 기간 (주)	해당 기관
1차 년도	■ 기초문헌조사 - 국내외 풍력발전시스템 자료 조사 - 설계 이론 정리 - 에너지가용성 판단연구	- 풍력터빈 및 발전시스템의 설계이론 정리 - 풍력발전시스템의 성능평가이론 정리 - 풍속 변화에 따른 성능 예측 이론 정리 - CFD 시뮬레이션을 통한 모델 시스템의 성능 예측	8	주관
	■ 타당성 조사 - 설계이론을 통한 타워형 구조물의 적용 가능성 검증 - 시뮬레이션을 통한 적용 가능성 검증	- 건물 형태 및 타워형 구조물의 설계 이론 정리 - 타워형 구조물 설치가 주거환경에 미치는 영향 분석 - 횡류형 터빈 및 가이베인의 설계 - 소음 진동 설계이론 정리 - 소음의 발생, 전파, 감쇠 및 저감방안 구조물의 모드해석, 웬 진동절연, 진동 전달을 저감 방안, 방진재 특성조사 - 진동전파특성 조사 - 소음·진동 분석평가 - 웬소음·진동 관한 주파수스펙트럼 측정, 음향파워(음압레벨) 분석/평가, 관심대상 주파수 연구, 거리에 따른 소음·진동감쇠 연구, 구조물의 감쇠비 측정 - 전기 발전시스템의 설계/효율성 분석	36	주관 / 참여 기업
	■ 연차보고서 작성 - 풍력발전 시스템 설계이론 정리 및 적용가능성 검증	- 정리된 설계이론으로 시스템 성능 예측 - 성능 예측으로 타워형 구조물에 적용 가능성 검증	12	주관

나. 2차년도

연차	연구내용	세부추진 결과	수행기간 (주)	해당기관
2차 년도	■ 성능평가를 위한 시제품 제작 2kW급 풍력발전시스템의 풍동실험 모델 설계/제작	2kW급 모델 풍력발전시스템의 설계 모델 시스템의 성능평가 장치 설계 및 제작 - 모델의 풍동실험을 통한 성능분석/설계변수연구		주관/ 참여 기업
	■ 구조물 설계 및 해석안 도출 입구 가이드베인 및 발전시스템의 시험장치 설계 입구 가이드베인의 구조물 및 발전시스템의 설치 베드 설계안 확정	- 가이드베인 설치에 따른 하중 시뮬레이션 - 발전시스템 시험장치 설계안 도출 가이드베인 구조물 설치에 따른 터빈 성능 평가		주관
	■ 발전시스템 설계를 위한 실증 시험 2kW급 풍력시스템 실증시험체 제작	- 2kW급 실증용 풍력시스템 설계안 및 성능평가 실험		주관/ 참여 기업
	■ 최종보고서 작성 성능평가를 기반으로 10kW급 풍력 발전시스템 설계안 확정	10kW급 발전시스템 설계안 도출		주관



<그림 146> 도심빌딩 옥상에 적용 가능한 풍력발전 시스템 개발 연구

2절 연구 개발 성과의 기대효과

1. 기술적 측면

신재생에너지의 한 분야인 풍력발전시스템에 관한 내용으로 기존의 축류형 풍력발전시스템과는 달리 바람의 방향에 상관없이 저 풍속에서도 발전이 가능하며 축류형 풍력터빈의 적용으로 높이방향으로 터빈을 쌓아 올림으로써 단위 면적당 발전용량이 높아져 주어진 공간에서 기존 축류형 풍력시스템에 비해 에너지밀도를 극대화 할 수 있다는 장점이 있으며, 축류형 터빈의 적용으로 진동과 소음의 문제가 대폭 개선된 풍력발전 터빈시스템의 개발에 연구의 목적을 두고 있다. 이러한 장점으로 인해 도심의 건물 최상층에 그 지역의 풍력특성을 고려하여 일정규모의 풍력터빈을 설치, 운용함으로써 건물운용에 필요로 하는 전기에너지의 일부를 신재생에너지로 공급이 가능하다.

2. 경제·산업적 측면

건물운용에 필요로 하는 전기에너지의 일부를 신재생에너지로 공급이 가능하며, 이를 통해 이산화탄소 배출량의 저감효과도 기대할 수 있을 것으로 기대한다. 또한 본 연구 과제를 통해 에너지 위기에 대응방안으로 신재생에너지 및 에너지효율화 기술 개발 및 기술력 확보와 환경오염예방 기술 특허로 에너지 산업의 활성화를 도모하여 지역산업 활성화, 고용창출, 에너지산업기술 개발에 따른 산업체간의 경쟁, 수출경쟁력 확보 등의 효과도 기대할 수 있다.

제5장 연구 성과 및 활용계획

1절 연구 성과

1. 논문게재 성과

게재 연도	논문명	저자			학술지명	Vol. (No.)	국내 외 구분	SCI 구분
		주저 자	교신 저자	공동 저자				
2013.2	수직구조물 후방의 와류현상이 구조물에 설치된 벤투리관의 유체가속 효과에 미치는 영향에 관한 해석 연구	정광 섭	김철 호	조현 성	대한설비 공학 논문집	Vol. 25 No.2	국내	
2014.3	횡류형 터빈을 적용한 수직축 풍력발전시스템의 성능평가를 위한 실험 연구	조현 성	김철 호	정광 섭	한국산학 기술학회 논문지	Vol.1 5 No.3	국내	

2. 학술대회 발표 성과

발표일	발표명	저자	학술대회명	국내외 구분
2012.12.1	도심지 건물적용을 위한 풍력발전기의 진동 및 소음 평가	정광섭 외 3명	한국생활환경학회 동계학술대회	국내
2013.11.22	응축방식을 이용한 담수화시스템의 성능예측을 위한 분석연구	김철호 외 4명	대한설비공학회 2013년동계	국내

3. 특허 성과

출원된 특허의 경우					등록된 특허의 경우				
출원 연도	특허명	출원인	출원국	출원 번호	등록 연도	특허명	등록인	등록국	등록 번호
2013	풍력발전유니트 및 수직적층형	정광섭 외 3명	한국	10-2013-0157200	2013	풍력터빈을 이용한 담수 생산 장치	김철호	한국	10-2010-117606
2013	Wind Power Generation unit and	정광섭 외 3명	국제	PCT/KR2013/011718					

4. 기술료 징수 현황(연구개발과제에 참여한 협동연구기관 및 참여기관 포함)

기 징수액	해당연도 징수액	향후 징수액	합계
-	-	-	-

(단위 : 백만원)

5. 사업화 현황

사업화명	사업화내용	사업화 업체 개요				기매출액	해당연도 매출액	매출액 합계
		업체명	대표자	종업원수	사업화형태			
-	-	-	-	-	-	-	-	-

(단위 : 백만원)

6. 인력활용/양성 성과

가. 인력지원 성과

지원 총인원	지원 대상 (학위별, 취득자)				성별		지역별		
	박사	석사	학사	기타	남	여	수도권	대전	기타지역
15	1	2	1	-	3	-	3	-	-

나. 장·단기 연수지원 성과

장기 (2개월 이상)		단기 (2개월 미만)	
국내	국외	국내	국외
-	-	-	-

다. 산업기술인력 양성 성과

프로그램명	프로그램 내용	교육기관	교육 개최회수	총 교육시간	총 교육인원
-	-	-	-	-	-

7. 국제화/협력 성과

가. 인력교류 성과

외국 연구자 유치				해외 파견			
유치기간(월)	국적	학위	전공	파견기간(월)	파견국	학위	전공
-	-	-	-	-	-	-	-

나. 기술무역 성과

(단위 : 백만원)

기술명	분야	징수액	해당연도 징수액	향후 예정액	계약 업체명	계약업체 소속국가	수출/수입
-	-	-	-	-	-	-	-

다. 학술회의 개최 성과

명칭	기술 분야	규모			개최장소	지원금액 (백만원)
		참가국	인원	기간(일)		
-	-	-	-	-	-	-

라. 국제협력 기반

MOU 체결			수요조사			공동연구	
대상국	대상기관	수집자료 (건)	대상국	과제접수 (건)	과제도출 (건)	대상국	협약연구비 (백만원)
-	-	-	-	-	-	-	-

마. 경제사회 파급효과

산업지원 성과 (단위 : 건)				고용창출 성과 (단위 : 명)		
기술지도	기술이전	기술평가	합계	창업	사업체 확장	합계
-	-	-	-	-	-	-

2절 연구 성과 활용계획

1. 연구 결과의 활용방안

- 가. 도심 건축물 옥상에 적용 가능한 저속(4m/s정도) 풍력발전 시스템 원천기술 확보
- 나. Ducted 횡류형 수직풍력터빈의 적용을 통한 진동, 소음 최소화를 통한 친환경 풍력발전시스템 기술력 확보
- 다. 타워형 구조물 도입을 통한 바람의 방향에 상관없이 가동율이 85%이상인 시스템 개발 및 실용화
- 라. 고효율의 ducted cross-flow turbine(터빈효율: 40~50%) 적용을 통한 시스템 개발 및 제품화

- (1) 도심 건축물에 적용 가능한 저속 풍력발전 시스템에 대한 신산업 창출
- (2) 향후 후속 연구: 주거용 및 소형 주택용 저속 풍력발전 시스템 개발과 태양열 발전을 복합시킨 복합자연에너지 활용 시스템 구축

2. 기대성과 및 파급효과

본 연구는 신재생에너지의 한 분야인 풍력발전시스템에 관한 내용으로 기존의 축류형 풍력발전시스템과는 달리 바람의 방향에 상관없이 저 풍속에서도 발전이 가능하며 축류형 풍력터빈의 적용으로 높이방향으로 터빈을 쌓아 올림으로써 단위 면적당 발전용량이 높아져 주어진 공간에서 기존 축류형 풍력시스템에 비해 에너지밀도를 극대화 할 수 있다는 장점이 있으며, 축류형 터빈의 적용으로 진동과 소음의 문제가 대폭 개선된 풍력발전 터빈시스템의 개발에 연구의 목적을 두고 있다. 이러한 장점으로 인해 도심의 건물 최상층에 그 지역의 풍력특성을 고려하여 일정규모의 풍력터빈을 설치, 운용함으로써 건물운용에 필요로 하는 전기에너지의 일부를 신재생에너지로 공급이 가능하며, 이를 통해 이산화탄소 배출량의 저감 효과도 기대할 수 있을 것으로 기대한다.

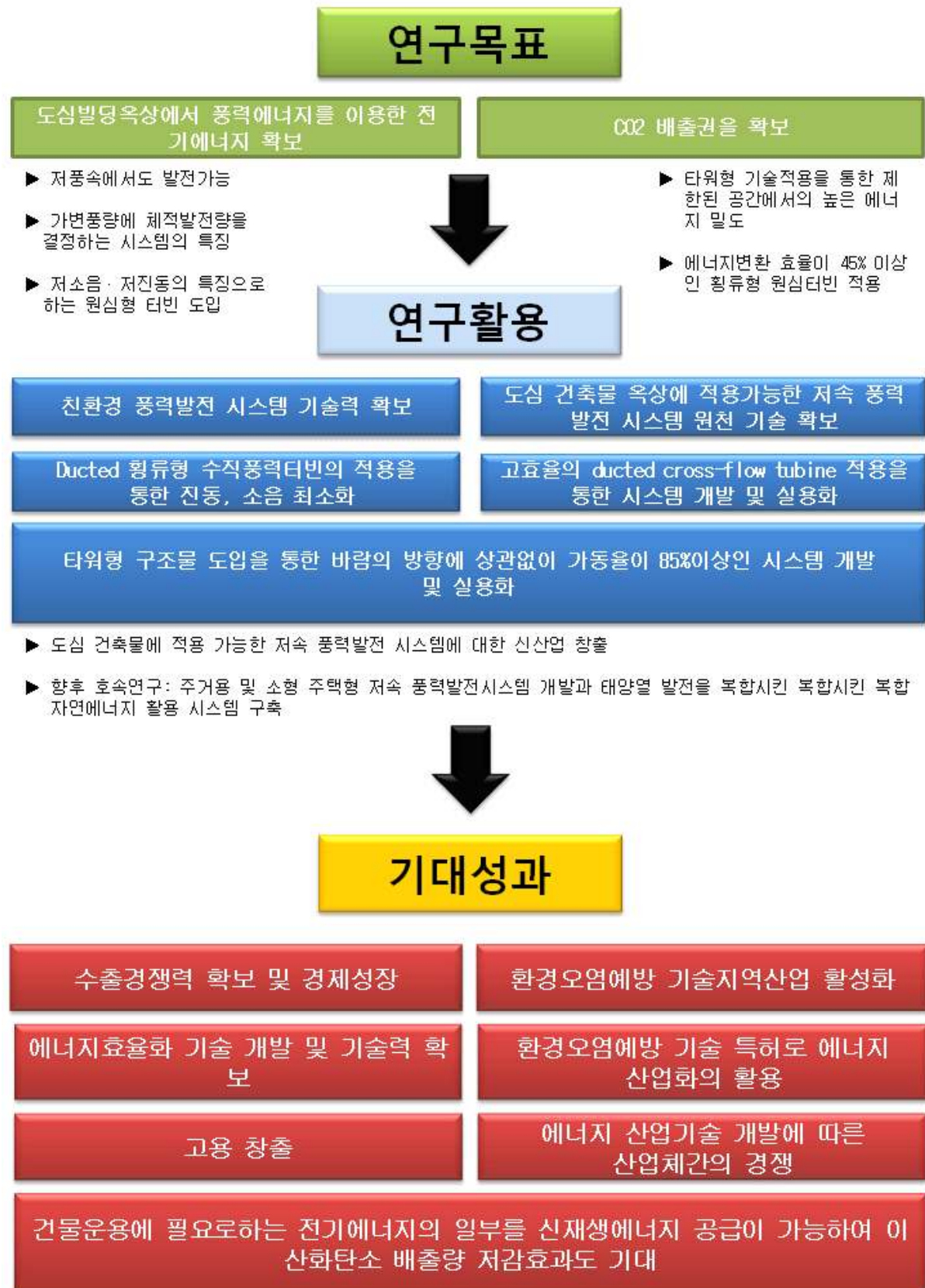
또한 본 연구 과제를 통해 에너지 위기에 대응방안으로 신재생에너지 및 에너지효율화 기술 개발 및 기술력 확보와 환경오염예방 기술 특허로 에너지 산업의 활성화를 도모하여 지역산업 활성화, 고용창출, 에너지산업기술 개발에 따른 산업체간의 경쟁, 수출경쟁력 확보 등의 효과도 기대할 수 있다.

3. 추가 연구 필요성

후속연구에서는 모델(약 1:10~1:15 scale)의 풍동실험을 통한 성능분석의 절차를 거쳐 이론설계의 결과를 검증하여야 하며, 궁극적으로는 실물(proto-type)의 발전시스템을 설계/제작하여 설치 현장에서의 풍력발전 효과를 검증하는 것이 필수적이다.

이를 토대로 주거용 및 소형 주택용 저속 풍력발전 시스템 개발과 태양열 발전을 복합시킨 복합자연에너지 활용 시스템 구축이 가능하리라 전망해 본다.

4. 기대성과 및 파급효과 도식화



◇ 참고문헌

- (1) 정광섭, 수직 공간 내에서 고도변화에 따른 기압차로 인한 기류현상 예측에 관한 연구, 서울산업대학교 건축학부, 설비공학회 논문집, 2009
- (2) 정광섭, 유도관을 이용한 풍력발전시스템, (출원번호: 10-2009-0058520)
- (3) 정광섭, 횡류형 파워 터빈에서 솔리디티 영향에 관한 수치해석 연구, 서울산업대학교 건축학부, 설비공학회 논문집, 2010
- (4) 김철호, 정광섭, 초고층 건물 내에서 수직 공기유로 비율에 관한 연구, 서울산업대학교 자동차공학과, 대한설비공학회 하계학술대회, 2010
- (5) 정광섭, 초고층 건물에서 수직 공기유로(Air Stack)를 이용한 풍력에너지 활용 방안에 대한 연구, 서울산업대학교 건축학부, 대한설비공학회 추계학술대회, 2009
- (6) 김철호, 정광섭, 축소-확대 유로에 적용한 횡류형 수직 풍력발전시스템의 개발, 서울산업대학교 건축학부, 설비공학회 논문집, 2011
- (7) 김건훈 외2인, 1.5MW 풍력발전시스템 출력 성능시험 및 불확도 분석, 한국에너지기술연구원, 한국태양에너지학회, 2006
- (8) 조운모 외3인, Dual-Rotor 풍력 발전 시스템 성능 해석 및 피치 제어에 관한 연구, 전북대 항공우주공학과 대학원, 한국항공우주학회, 2005
- (9) 최영준 외3인, ICE61400-25 국제 표준프로토콜을 적용한 풍력 발전 모니터링 시스템 개발 사례 연구, 명지대 공대 전기공학과 교수, 전기학회, 2010
- (10) 고석환 외3인, LabView를 이용한 풍력발전 성능평가용 모니터링 시스템 개발, 한국에너지기술연구원, 한국태양에너지학회논문집, 2009
- (11) 이상혁 외4인, PMSG를 이용한 풍력 발전 시스템의 3병렬 운전과 계통 연계 기술, 아주대 전자공학과 석사과정, 전력전자학회 논문집, 2010
- (12) 조병하 외1인, 계층적 구조를 갖는 풍력발전 실증단지 원격 풍향 모니터링 시스템 구축, 강원대학교 기계 메카트로닉스공학부, 한국정밀공학회지, 2009
- (13) 박진철 외2인, 공동주택에서의 소형풍력발전시스템 적용에 관한 연구, 경민대학 건축과 부교수, 한국태양에너지학회 논문집, 2008
- (14) 육의수 외3인, 도시형 풍력발전 시스템을 위한 퍼지로지직 기반 MPPT알고리즘 개발, 군산대학교 전자정보공학부, 한국지능시스템학회 논문지, 2010
- (15) 김승영 외1인, 도시형 풍력발전 시스템의 효율적 에너지 관리를 위한 인공신경망 기반 최대 전력점 추종 알고리즘 개발, 군산대학교 전자정보공학부, 한국지능시스템학회 논문지, 2009
- (16) 김정재 외1인, 영구자석형 동기기에 의한 가변속 풍력발전 시스템의 PSCAD/EMTDC 시뮬레이션 모델 개발, 전기안전공사, 전력전자학회 논문집, 2005
- (17) 한병문 외3인, 유도발전기식 풍력발전시스템의 STATCOM 적용 타당성 분석, 명지대학 전기공학과 교수, 전기학회 논문집, 2004
- (18) 조운모 외3인, 이중 로터 풍력발전 시스템 모델링 및 시뮬레이션에 관한 연구, 전북대 항공우주공학과 대학원, 한국항공우주학회, 2004

- (19) 남윤수 외2인, 작동 조건 변화에 따른 풍력발전 시스템의 동적 특성 해석, 강원대학교 기계 메카트로닉스공학부, 대한기계학회 논문집, 2009
- (20) 문대선 외1인, 칼만필터 및 인공신경망에 기반한 가변속 풍력발전 시스템을 위한 비선형 제어기 설계, 군산대학교 전자정보공학부, 한국지능시스템학회 논문지, 2010
- (21) 윤성욱 외2인, 풍력발전 복합형 건축물에 대한 고찰, 쉼덕 주식회사 기술연구소 신재생에너지팀, 한국풍공학회지 기술기사, 2009
- (22) 박정우, 풍력발전 계통연계 기술, 한국전기연구원, 전력전자학회지, 2007
- (23) 이형우 외5인, 풍력발전시스템의 진동특성, 부산대학교 기계기반융합부속소재인재양성센터, 한국마린엔지니어링학회지, 2011
- (24) 김세호, 풍력발전시스템에 연계된 계통의 과도상태해석, 제주대학교 전기전자공학부, 한국태양에너지학회 논문집, 2003
- (25) 정맹화 외2인, 해상용 풍력발전 시스템에 대한 소개, (주)STX 기술연구소, 한국동력기계공학회 추계학술대회논문집, 2002
- (26) C.T. Kiranoudis, N.G. Voros T.K. and Z.B. Maroulis, "Short-cut design of wind farms," Energy Policy, Vol. 29, No. 7, pp. 567-578, 2001.
- (27) Andrew Grant, Cameron Johnstone and Nick Kelly, "Urban wind energy conversion: The potential of ducted turbines," Renewable Energy, Vol. 33, Issue 6, pp. 1157-1163, 2008.
- (28) A.S. Bahaj, L. Myers and P.A.B. James, "Urban energy generation: Influence of micro-wind turbine output on electricity consumption in buildings," Energy and Buildings, Vol. 39, pp. 154-165, 2007.
- (29) Tony Burton, David Sharpe, Nick Jenkins and Ervin Bossanyi, WIND ENERGY HANDBOOK, John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, West Sussex, England, 2001.
- (30) J.F. Manwell, J.G. McGowan and A.L. Rogers, WIND ENERGY EXPLAINED, John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, West Sussex, England, 2002.
- (31) Michael Werle and Walter Presz, "Ducted Wind/Water Turbines and Propellers Revisited," Journal of Propulsion and Power, Vol. 24, No. 5, pp. 1146-1150, 2008.
- (32) Michael Werle and Walter Presz, "Ducted Wind/Water Turbines and Propellers Revisited," Journal of Propulsion and Power, Vol. 24, No. 5, pp. 1146-1150, 2008
- (33) R. Lanzafame and M. Messina, "Fluid dynamics wind turbine design: Critical analysis, optimization and application of BEM theory," Renewable Energy, Vol. 32, Issue 14, pp. 2291-2305, 2007.
- (34) Nak Joon CHOI, Sang Hyun Nam, Jong Hyun Jeong and Kyung Chun KIM, "CFD study on power output of 2 MW class wind turbine arrangement according to the separation distance," International Symposium on Low Carbon & Renewable Energy Technology, Jeju, Korea, 2010.
- (35) D.C. Quarton, "The evolution of wind turbine design analysis-A Twenty Year Progress Review," International Journal of Wind Energy. Vol. 1, pp.5-24, 1998.

- (36) CERMAK, J.E. (1971), Laboratory Simulation of the Atmospheric Boundary Layer, AIAA J., Vol. 9, September.
- (37) CERMAK, J.E. (1976), "Aerodynamics of Buildings," Annual Review of Fluid Mechanics, Vol. 8, pp. 75 - 106.
- (38) DERICKSON, R.G. and PETERKA, J.A. (2004), Development of a Powerful Hybrid Tool for Evaluating Wind Power in Complex Terrain: Atmospheric Numerical Models and Wind Tunnels, Paper No. AIAA-2004-1005, AIAA/ASME Conference on Wind Power, Reno, NV.
- (39) 今日からモノ知りシリーズ トコトンやさしい 風力發展の本,
牛山泉, B&Tブックス, 日刊工業新聞社
- (40) 風の力で町おこし・村おこし 風力發展入門 (改訂版) 地域エネルギー新時代 ,工学博士,
清水幸丸 著, パワー社
- (41) 風力エネルギー 讀本, 牛山 泉 (編著,) Wind energy, Ohmsha
- (42) Peter Fuglsang講演原稿、2002年9月
- (43) 新エネルギーの導入促進に関する提言、NEF新エネルギー産業會議、平成14年
- (44) 風力發電システムの設計マニュアル、NEDO
- (45) ここが知りたい風力發電Q&A、關知市/池田誠、(2002.3月)
- (46) 2011, PHOENICS Technical Report (TR/326), Concentration Heat And Momentum Limited.
- (47) 2001, Douglas, J.F., Fluid Mechanics, Prentice Hall, pp.406-447.
- (48) 1980, Patankar, S.V., Numerical Heat Transfer and Fluid Flow, Hemisphere Publishing Corp.

[부록] 성과점검 기준표

1차년도

성과 지표 목표 점검	세부과제(공동과제)명 (연구목표, 분야)	성과목표	성과지표	성과검증 기준					기초치	달성평점 (평균1~5)	
				목표수준		측정방법	검증방법				
				목표치	달성치						
	1	건축물 및 구조물 설계	1-1	건축물 및 구조물 형태에 따른 변화 분석	①	건축물 및 구조물 형태에 따른 변화 분석 결과 도출	90%	98%	시뮬레이션을 통한 분석	발표 (보고서)	25
	2	2kW 발전시스템의 임펠러 및 가이드베인 설계	2-1	2kW 발전 가능한 수직형 풍력터빈 시스템 설계와 성능	①	시뮬레이션 결과 분석을 통한 2kW 발전가능확인	2kW급	2kW급	2kW급 발전용 터빈시스템 및 성능예측결과 분석	발표 (보고서)	30
	3	발전시스템의 설계 및 성능예측 시뮬레이션	3-1	2kW 발전용량의 발전시스템 설계 및 모델제작	①	발전시스템의 발전 기능 평가 결과분석 확인	2kW급	2kW급	2kW급 발전시스템 형상모델 완성	발표 (보고서)	25
	4	횡류형 터빈의 베어링구조에 따른 진동 및 소음에 대한 측정 및 평가	4-1	벤 소음에 관한 주파수 스펙트럼 측정	①	소음 및 진동 설계기준 소음 및 진동의 분석 평가 확인	90%	90%	음압레벨, 주파수 스펙트럼, 거리감쇠 특성 분석	발표 (보고서)	20
4-2	벤 소음용파워 분석평가 구조물의 감쇠비 측정										
종합점수 = ∑ (성과목표별 달성평점 x기준치)											
양적 지표 점검	사업연계지표	목표		특허출원/등록	목표 건수	달성 건수	증빙	인정 건수	달성률 (%)	기초치	달성평점
		시제품제작/검정용 축소모델제작)		시제품출원/등록	-	-	-	-	-	-	-
		SW 등록건수		SW 등록건수	1	1	1	-	-	30	-
		국내 학술논문지 및 학회발표건수 - 전문학술지 1편 - SCIE급 1편 - 학술발표 2편		국내 학술논문지 및 학회발표건수 - 전문학술지 1편 - SCIE급 1편 - 학술발표 2편	-	-	-	-	-	-	-
				종합점수 = ∑ (성과별달성률x기준치)							
100											

2차년도

성과지표명 (연구목표, 분야)	성과목표	성과지표	성과검증 기준				기량치	달성평점 (평균1~5)	
			목표수준		측정방법	검증방법			
			목표치	달성치					
성과지표 목표 점검	1 타워형 구조물 외형에 따른 성능 시험	1-1 타워형 구조물 외형에 따른 최적의 설계안 도출	90%	98%	타워형 구조물에 대한 성능 시뮬레이션	항상면 (중상)	10		
	2 2kW급 풍동시험용 모델 풍차제작	2kW급 풍력터빈 시스템의 성능시험 평가서 완성	90%	98%	2kW성능평가 풍동 보고서 확인	발표 (보고서)	20		
	3 2kW급 발전시스템 성능평가 시험	2kW급 발전시스템의 완성	90%	98%	2kW급 발전시스템 완성 확인	항상면 (중상)	20		
	4 발전터빈 구조체의 진동최적화	2kW급 터빈과 구조체 등 파괴의 공진 등 문제점 조사 및 개선	90%	98%	터빈구조물의 동적 해석 최적화	발표 (보고서)	10		
	5 풍력발전시스템 하우징 구조물 설계	풍력발전시스템 하우징 구조물 설계안 도출	90%	98%	하우징 구조물의 진동특성분석	발표 (보고서)	20		
	6 10kW급 풍력발전시스템 설계안 제시	10kW급 풍력발전시스템 설계안 완성	90%	98%	10kW급 발전시스템의 설계도	발표 (보고서)	20		
종합점수 = ∑ (성과목표별 달성평점 ×기량치)									
연구지표 점검	사업연계지표	목표	목표건수	달성 건수	증빙	인정 건수	달성률 (%)	기량치	달성평점
		특허출원/등록	1	1	1			20	
		시제품제작 (풍동시험용 시험체 제작)	1	1	1			40	
		SW 등록건수	-	-	-				
		국내외 학술논문지 및 학회발표 - 전문학술지 1편 - SCIE급 1편 - 학술발표 3편	3	3	3			40	
		종합점수 = ∑ (성과별달성률×기량치)							

[부록] 논문 연구실적 및 특허 증빙

수직구조물 후방의 와류현상이 구조물에 설치된 벤투리관의 유체가속 효과에 미치는 영향에 관한 해석 연구

정 광 섭, 김 철 호^{*†}, 조 현 성^{**}

서울과학기술대학교 건축학부, ^{*}서울과학기술대학교 기계·자동차공학과, ^{**}서울과학기술대학교 NID 융합대학원

Effect of Rear-Vortex of a Convergent-Divergent Duct on the Flow Acceleration Installed in a Vertical Structure

Kwang-Seop Chung, Chul-Ho Kim^{*†}, Hyun-sung Cho^{**}

School of Architecture, Seoul National University of Science and Technology, Seoul 139-743, Korea

^{*}Department of Mechanical and Automotive Engineering, Seoul National University of Science and Technology, Seoul 139-743, Korea

^{**}NID Fusion Graduate School, Seoul National University of Science and Technology, Seoul 139-743, Korea

(Received November 26, 2012; revision received January 8, 2013)

ABSTRACT: A convergent-divergent nozzle or venturi nozzle has been used to accelerate the wind speed at its throat. The wind speed at the throat is inversely proportional to its area according to the continuity equation. In this numerical study, an airflow phenomena in the venturi system placed at a vertical structure was investigated to understand the vortex effect occurred at the rear-side of the vertical structure on the air speed increment at the throat of the venturi system. For this study, a venturi system sized by 20(m)×20(m)×6(m) was modelled and the area ratio(AR) of the model venturi was 2.86. To see the vortex effect on the air flow acceleration in the venturi throat, two different boundary conditions was defined. From the study, it was found that the pressure coefficient(CP) of the venturi system with the vortex formed at the exit of the venturi was about 2.5times of the CP of the venturi system without the vortex effect. The velocity increment rate of the venturi system with the vortex was 61% but 9.5% only at the venturi system without the vortex. Conclusively, it can be said that the venturi system installed in a vertical structure has very positive effect on the flow acceleration at its throat due to the vortex formed at the rear-side of the vertical structure.

Key words: Venturi duct(벤투리관), Computational Fluid Dynamics(전산유체동력학), Vortex effect(와류효과)

기 호 설 명

C_P : pressure coefficient
 A_R : area ratio
 R_{VI} : velocity increment rate

V_{wind} : wind velocity
 V_{th} : velocity at throat,
 V_{in} : velocity at the inlet of venturi nozzle

1. 서 론

자연계에서 유체의 흐름 속도를 가속시키기 위해 수축-확대 노즐(convergent-divergent nozzle)인 벤투

[†] Corresponding author

Tel.: +82-2-970-6347; fax: +82-2-979-7032

E-mail address: profchkim@seoultech.ac.kr

리관을 활용한다. 본 연구는 벤투리관이 설치되는 수직구조물에서 유체가 벤투리관의 목(throat)을 통과할 때 유체의 흐름이 가속되는 원리를 이해하고 가속에너지원의 원인분석을 통해 흐름의 에너지를 극대화하는 벤투리관 구조물을 설계하는 기법을 도출하는데 연구의 목적을 두고 있다. 일반적으로 유체가 벤투리관을 통과할 때 유체의 가속원리는 단순히 유체동력학의 이론인 연속방정식의 개념에 따라 유로의 단면적에 반비례하여 흐름 속도가 가속되는 것으로 산출된다. 그러나 Fig. 1에서처럼 수직구조물 내부에 설치된 벤투리의 경우는 구조물의 후방에서 와류(vortex)가 발생하게 되며 이러한 와류의 현상에 의해 벤투리관의 입·출구에서 압력차가 발생하여 벤투리 목에서의 유체의 속도에 영향을 미치게 된다는 물리적 현상을 예측할 수 있다.

본 해석 연구에서는 이러한 수직구조물의 후방에서 발생하게 되는 흐름의 와류현상이 벤투리관을 통과하는 유체유동의 특성에 미치는 영향을 수치해석 기법을 이용하여 정성, 정량적으로 분석하였다.

2. 수치해석 연구를 위한 벤투리유로를 포함하는 수직구조물의 형상

유동장내에서 유속에너지를 증대시키기 위해 적용되는 벤투리관 내부에서의 유체유동 현상을 이해하기 위해 Fig. 2와 같은 벤투리관의 유동장을 설정하였다. 폭과 길이가 각각 20 m이며 높이 6 m인 벤투

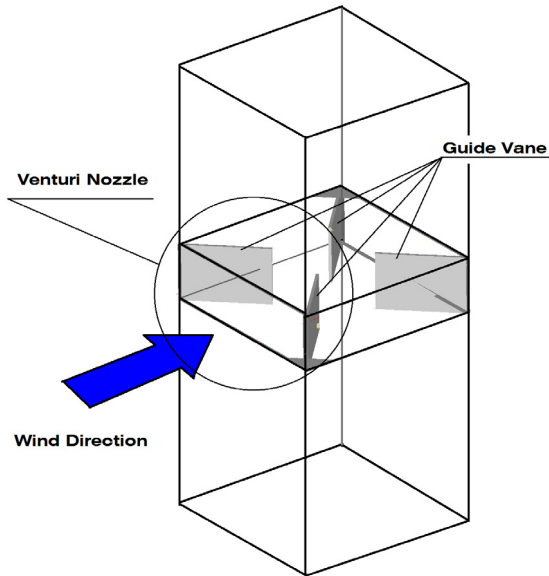


Fig. 1 Prospective view of the proposed cross flow vertical wind turbine system.

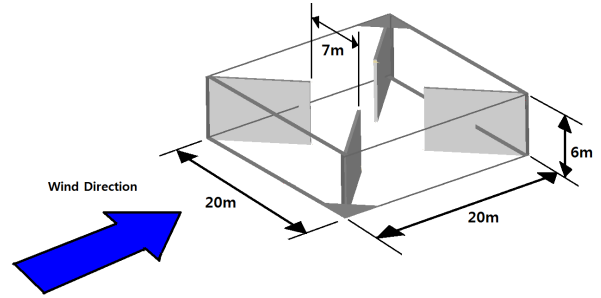


Fig. 2 Physical domain of the model flow field : 20 m(W)×20 m(L)×6 m(H).

리관 형상을 기준으로 바람의 속도를 6.0~16.0 m/s로 변화시켜가며 유동장의 특성변화와 벤투리 목에서의 가속특성을 분석하였다. 벤투리관의 목과 입구의 면적비($A_R = A_{th}/A_{in}$)는 0.35로 설정하였으며, 유입되는 바람은 STP 상태의 공기로 가정하였으며, 바람의 세기와 방향은 일정하다고 가정하였다.

벤투리관의 가속효과를 평가하기 위해 다음의 두 가지 항을 비교 평가하였다.

- (1) 벤투리 목에서의 가속효과
- (2) 벤투리 입 출구에서의 압력계수(C_p)

에너지 산출을 위한 이론정리 :

- Pressure Coefficient (C_p)

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

여기서 ΔP 는 벤투리 출구와 목에서의 압력차

- Velocity Increment Rate(R_{VI})

$$R_{VI}(\%) = \frac{V_{th} - V_{in}}{V_{in}} \quad (2)$$

여기서

V_{th} : velocity at throat,

V_{in} : velocity at the inlet of venturi nozzle

3. 해석연구를 위한 주요변수 및 해석조건

본 해석연구는 저속의 바람을 가속시키기 위해 적용하는 벤투리관을 수직구조물에 설치하였을 경우 바람의 속도가 가속되는 원리를 구체적으로 이해하

고, 가속 효과가 어느 정도인지를 정량적으로 판단하기 위해 CFD(computational fluid dynamics)기법을 이용하여 수치해석 연구를 실시하였다.

3.1 수치해석연구를 위한 벤투리관의 주요 형상변수

벤투리관의 입구와 목의 면적비(A_R)는 0.35로 고정하였으며, 풍속은 벤투리관이 설치되어있는 수직구조물의 전방 20 m에서 균일하게 불어온다고 가정하고 6~16 m/s로 변화시켰다. 특히 수직구조물 후방에서 발생하게 되는 와류(vortex) 유동 현상이 벤투리관 내부에서 유체의 가속효과에 미치는 영향에 관해 알아 보기위해 수직 타워구조물의 해석 시 경계조건을 타워 후방의 와류효과를 고려한 모델(WTO, open model)과 무시한 모델(WTC, closed model) 2가지로 정의하였다. Table 1은 본 해석 연구를 위해 적용한 벤투리 모델의 종류와 해석조건을 보여준다.

3.2 유동장 해석을 위한 수치해석 기법

수직구조물 내부에 설치된 벤투리관에서의 유동현상을 수치 해석적으로 묘사하기 위해 유한체적법(Finite Volume Method)⁽¹⁾을 적용한 PHOENICS(ver. 2011)⁽²⁾ CFD 프로그램을 사용하였으며 해석을 위한 공기 유동 장은 다음과 같이 정의하였다.

- 3차원 난류유동(3D Turbulent Flow)
- 비압축성유동(Incompressible Flow)
- 정상유동(Steady Flow)
- 등온유동(Isothermal Flow)

검사체적내의 비압축성 난류유동장 해석을 위해 3차원 Navier-Stokes 방정식⁽³⁾을 풀었으며, 난류해석을 위해 표준($k-\epsilon$) 모델⁽⁴⁾을 사용하였다. 점성효과에 의한 고체 표면에서의 대류 열전달의 현상은 무시할 수 있으므로 에너지 방정식은 풀지 않았다.

Table 1 Important geometrical variables of the model venturi system and its boundary and initial conditions

	Area Ratio(A_R)	V_{wind} (m/s)	Vortex Effect
WTO	0.35	6~16	with vortex
WTC			w/o vortex
model venturi size : 20 m(W)×20 m(L)×6 m(H)			

유동해석의 수렴성 판단을 위해 각 변수들의 계산 잉여율(residual fraction)이 10^{-4} 이하로 떨어질 때까지 충분히 반복적으로 계산하였다. 정상, 비압축성, 난류 유동장의 해석을 위한 지배방정식은 다음과 같다.

지배방정식(Governing Equations)

- 연속방정식

$$\frac{\partial U_i}{\partial x_i} + \frac{\partial U_j}{\partial y_j} + \frac{\partial U_k}{\partial z_k} = 0 \quad (3)$$

- 운동량방정식

$$\begin{aligned} \frac{\partial U_i}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (U_i U_j) = & -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x_i} \\ & + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\nu \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) - \overline{u_i u_j} \right] - g_i \end{aligned} \quad (4)$$

- 난류운동에너지 방정식

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (U_j k) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\nu + \frac{\nu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G - \epsilon \quad (5)$$

- 소산방정식

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (U_j \epsilon) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\nu + \frac{\nu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] + \frac{\epsilon}{k} (C_{\epsilon 1} G - C_{\epsilon 2} \epsilon) \quad (6)$$

여기서 $-\overline{u_i u_j} = \nu_t \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} k \delta_{ij}$

$$G = -\overline{u_i u_j} \frac{\partial U_i}{\partial x_j}, \quad \nu_t = C_\mu \frac{k^2}{\epsilon}$$

($C_\mu = 0.09$, $C_{\epsilon 1} = 1.44$, $C_{\epsilon 2} = 1.92$, $\sigma_k = 1.0$, $\sigma_\epsilon = 1.0$)

해석 공간의 격자생성을 위해 CAD-to-CFD 격자생성법⁽⁵⁾을 이용하였다. 유동장내의 벤투리관 모델 형상(physical model)을 수치해석 모델(numerical model)로 만들기 위해 먼저 3D CAD 프로그램인 ProEngineers를 이용하여 3차원의 실제 형상을 만들고 이 캐드파일을 해석 공간인 수치해석 도메인

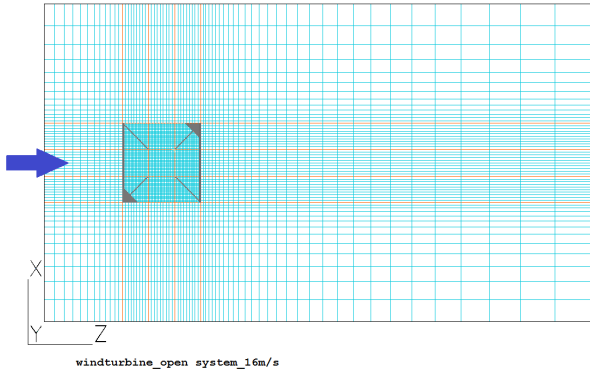


Fig. 3 A typical 2-D numerical grad of the open channel with the model venturi system(WTO).

으로 불러와 직각 좌표계 상에서 정방격자(rectangular grid)를 생성하여 해석을 위한 격자 파일을 생성하였다. Fig. 3은 벤투리시스템을 설치한 해석 도메인의 2차원 수치 격자계의 예를 보여준다. 해석격자의 크기는 격자시험을 거쳐 최종적으로(56×1×69)의 값으로 결정하였다. 벤투리시스템 후방 부위에 충분한 계산영역을 주어 검사체적의 출구에서 유동장이 충분히 발달되도록 하였다.

3.3 수치해석의 경계 및 초기조건

유동장 내의 압력산출을 위해 SIMPLE 알고리즘⁽⁴⁾을 적용하였으며 운동방정식과 난류 방정식(standard-turbulent model)의 대류항(convection term) 계산을 위해 하이브리드(hybrid scheme) 방법을 사용하였다.

해석을 위한 경계 및 초기조건 :

- Inlet : 속도경계조건으로 바람의 속도범위를 6.0 ~ 16.0 m/s로 변화시킴.
- Outlet : 압력경계조건으로 출구의 바깥쪽은 유동이 완전히 발달하였다고 가정함.
- 모든 고체의 표면은 미끄럼이 없는 경계조건(No-slip boundary condition)으로 정의함.
- 해석 영역의 좌우 측면과 위쪽 면 역시 유동장이 완전히 발달하였다고 가정하여 압력경계조건으로 정의함.

4. 연구결과 및 분석

수직구조물 내부에 설치된 벤투리관에서 공기흐름

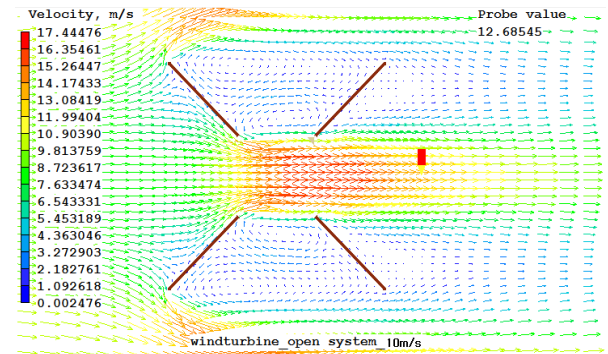
의 가속효과를 분석하기 구조물 후방에서의 와류가 있는 모델과 와류의 효과를 무시할 수 있는 2개의 모델을 설정하고 벤투리 관내의 입구와 목(throat)에서의 속도의 변화율과 압력계수(C_p)의 변화를 정량적으로 분석하여 보았으며, 또한 공기의 가속원리를 정성적으로 분석해 보았다.

4.1 수직구조물 후방의 와류(vortex)현상 유무에 따른 유동특성 분석

Fig. 4는 수직구조물 후방에서의 와류유동의 유무에 따른 벤투리관 유동장 내부에서의 공기 유동현상을 보여 준다. 유동 패턴을 유사하게 보이나 와류의 영향이 있는 경우가 벤투리 후방에서의 압력저감으로 속도가 증가한다는 사실을 보여 준다. 이로 인해 벤투리관 목에서의 속도가 크게 가속될 수 있다는 사실을 알 수 있다.

Fig. 5는 위와 같은 조건에서 벤투리관 주위에서의 정압분포를 보여준다. 와류의 효과가 있는 경우가

(with swirl)



(without swirl)

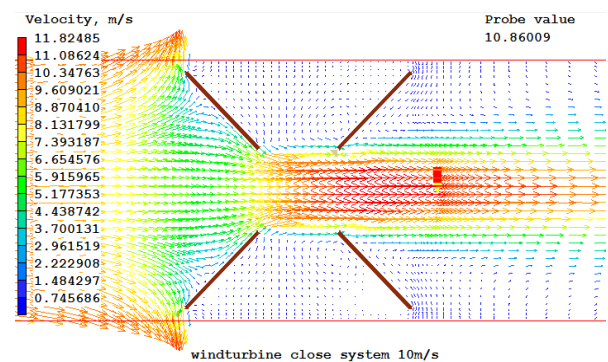
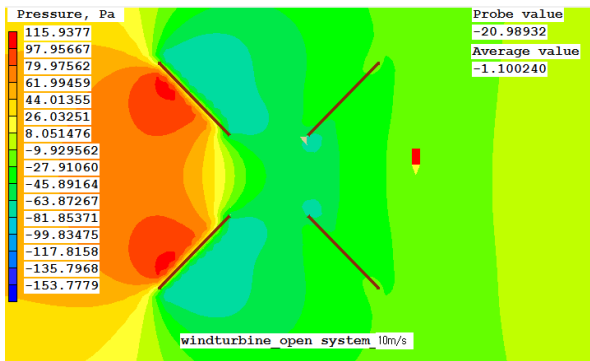
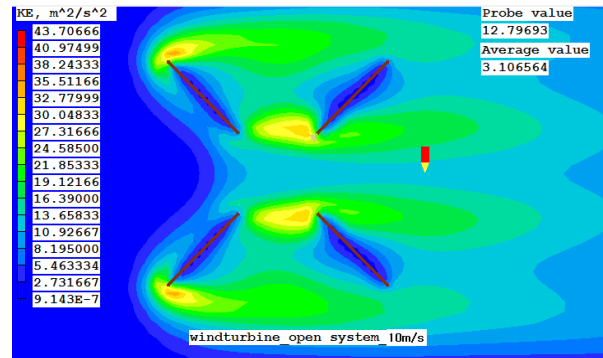


Fig. 4 Compression of the air speed distribution at the flow field with and without the vortex effect at the rear-side of the vertical stack : $V_{wind} = 10 \text{ m/s}$.

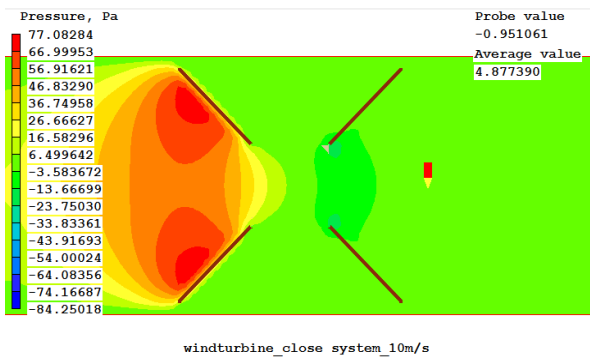
(with swirl)



(with swirl)



(without swirl)



(without swirl)

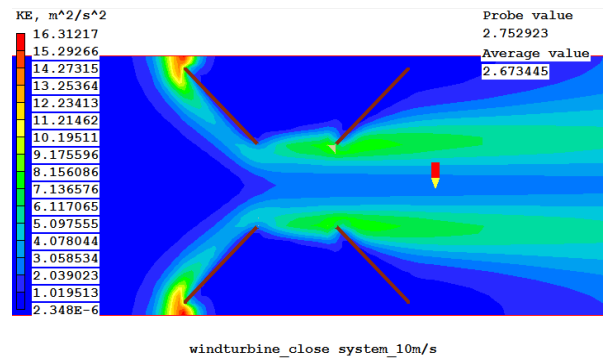


Fig. 5 Compression of the static pressure distribution at the flow field with and without the vortex effect at the rear-side of the vertical stack : $V_{\text{wind}} = 10 \text{ m/s}$.

Fig. 6 Compression of the turbulent kinetic energy distribution at the flow field with and without the vortex effect at the rear-side of the vertical stack : $V_{\text{wind}} = 10 \text{ m/s}$.

벤투리관 후방에서의 정압이 훨씬 낮게 걸린다는 사실을 알 수 있다.

즉 벤투리관의 전후방의 압력차이가 크게 유발하므로 목에서의 공기속도가 크게 증가할 수 있다고 판단된다.

Fig. 6은 와류효과의 유무에 따른 벤투리관 유동장 내부에서의 난류운동에너지 분포를 비교하는 그림이다. 와류의 효과가 있는 경우가 벤투리관 내부에서의 난류운동에너지가 높다는 사실을 알 수 있다. 즉 벤투리관 후방에서의 난류운동에너지의 강도가 높다는 의미이며 이로 인해 관의 출구에서의 정압이 낮아지는 원인이 되며 이는 벤투리관의 목에서 속도가 증가하게 되는 원인이 된다.

4.2 수직구조물 후방의 와류(vortex)현상 유무에 따른 공기의 가속효과 분석

Fig. 7은 벤투리관 입구와 목에서의 차압의 크기 변화를 나타내는 선도이다. 차압이 클수록 벤투리관

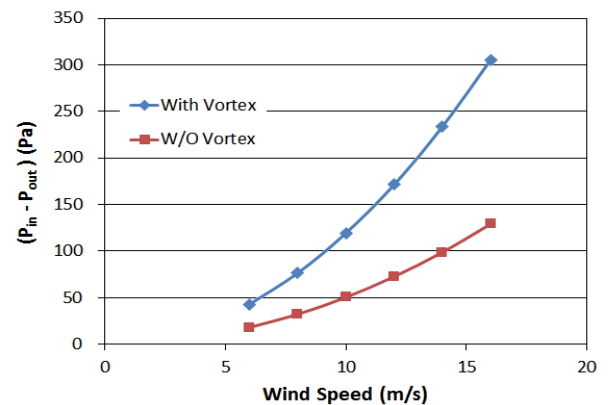


Fig. 7 Variation of the pressure difference between inlet and throat of the venturi duct with the wind speed.

에서의 공기가속 효과가 증대됨을 의미한다. 그림에서 알 수 있듯이 수직구조물 후방에서 와류현상이 있을 때가 차압의 크기가 증가한다는 사실을 알

수 있다. 이는 후방의 와류현상이 압력을 떨어뜨려 벤투리관 목에서의 공기의 흐름을 가속시키는데 역할을 하게 된다.

Fig. 8은 수직구조물 후방에서 와류효과의 유무에 따른 벤투리관에서의 압력계수(C_p)의 크기를 보여준다. 수직구조물 후방에 와류가 발생하는 경우가 그렇지 않은 경우에 비해 압력계수가 2배 이상 된다는 사실을 알 수 있다. 이 역시 압력계수가 클수록 벤투리관 목에서 유체를 가속시키는 압력에너지의 크기가 크다는 것을 의미한다.

Fig. 9는 바람의 유입속도변화에 따른 벤투리관 목에서 공기의 속도변화를 나타내는 그림이다. 수직구조물 후방에서의 와류효과는 앞에서 언급되었듯이 벤투리관 목에서 유체를 가속시키는데 긍정적인 효과를 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이 벤투리관 후방에서의 와류현상은 목에서의 공기흐름의 속도

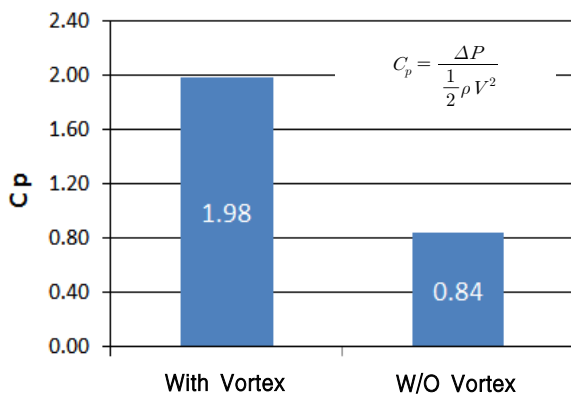


Fig. 8 Comparison of pressure coefficient(C_p) of the venturi duct with or without the vortex effect at the rear of a vertical structure.

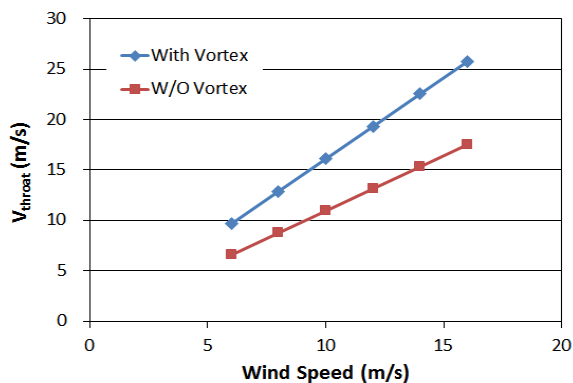


Fig. 9 Variation of the air speed at the venturi throat with the inlet wind speed.

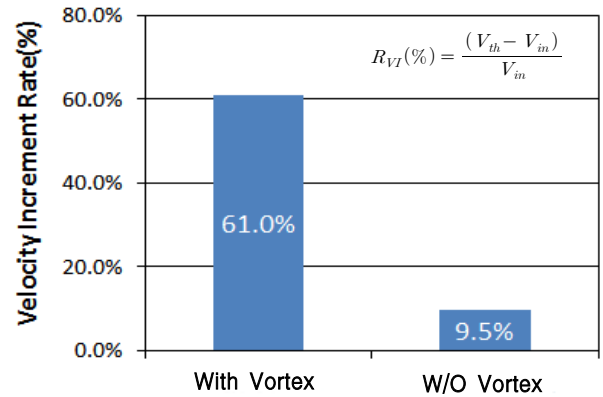


Fig. 10 Comparison of velocity increment rate(R_{vI}) of the venturi duct with or without the vortex effect at the rear of a vertical structure.

를 가속시키는데 긍정적인 효과를 나타냄을 알 수 있다. 또한 바람의 속도가 증가할수록 벤투리관 목에서의 공기의 속도가 커진다는 사실을 알 수 있다.

Fig. 10은 벤투리관에서 공기의 속도증가율을 나타내는 선도이다. 수직구조물 후방에서 와류효과가 존재할 때 벤투리관 목에서 공기속도가 입구속도에 비해 61% 정도 증가한다는 사실을 알 수 있으며, 그렇지 않은 경우는 입구와 목의 면적비를 2.86배 정도로 축소하였음에도 불구하고 속도는 9.6% 정도 증가함을 보여준다.

5. 결 론

본 연구에서는 수직구조물 내부에 설치되는 벤투리관 목에서의 공기속도의 가속효과에 관해 알아보았다. 수직구조물의 후방에는 공기의 와류현상이 발생하게 되며 이러한 와류현상은 벤투리관의 출구부에 낮은 압력을 형성하여 벤투리관 목에서의 공기의 속도를 증가시키는 역할을 하게 된다. 본 연구 결과에 의하자면,

(1) 벤투리관에서의 압력계수(C_p)값은 바람의 속도에 상관없이 와류의 현상이 존재할 때는 1.98, 와류의 현상을 무시할 경우 0.84로 일정한 값을 나타내었다. 즉 수직구조물 후방의 와류효과는 구조물 후방에서의 압력을 2배 이상 낮추는데 기여하였다고 판단할 수 있다.

(2) 와류효과가 존재할 경우 벤투리관의 입구와 목의 면적비가 2.86배임에도 불구하고 목에서의 바람 속도 증가율이 61% 정도 된다는 사실을 알 수 있었

으며, 와류현상이 존재하지 않을 경우는 바람속도증가율은 불과 9.5% 정도 된다는 사실을 알 수 있었다.

즉 타워형 구조물에 설치되는 벤투리관에서 유체가 가속되는 원리는 단순한 연속방정식에 의한 벤투리관 입출구의 면적비에 의해 결정되는 것이 아니라 타워후방에서 발생하게 되는 와류현상의 에너지가 벤투리관의 목에서 유체 속도를 증가시키는데 6배 이상 매우 크게 작용한다는 사실을 알 수 있었다.

후 기

본 연구는 국토해양부 첨단도시개발 연구개발사업의 연구비지원(과제번호 “12첨단도시C12”)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. Douglas, J. F. et al., 2001, Fluid Mechanics, Prentice Hall, pp. 406-447.
2. PHOENICS PIL Manual, 2011, Version 2010, CHAM Ltd.
3. Cengel, Y. A. and Cimbala, J. M., 2009, Fluid Mechanics Fundamentals and Applications, McGraw-Hill International, 2nd edition, pp. 472-476.
4. Patankar, S. V., 1980, Numerical Heat Transfer and Fluid Flow, Hemisphere Publishing Corp.
5. Thompson, R. L., 1991, Body Fitted Coordinate, John Wiley and Sons, Inc.

횡류형 터빈을 적용한 수직축 풍력발전시스템의 성능평가를 위한 실험 연구

조현성¹, 정광섭², 김철호^{3*}

¹서울과학기술대학교 NID융합기술대학원, ²서울과학기술대학교 공과대학 건축학부

³서울과학기술대학교 공과대학 기계·자동차공학과

An Experimental Study for the Performance Analysis of a Vertical-type Wind Power Generation System with a Cross-flow Wind Turbine

Hyun-Sung Cho¹, Kwang-Seop Chung² and Chul-Ho Kim^{3*}

¹NID Fusion Graduate School, Seoul National University of Science and Technology

²School of Architecture, Seoul National University of Science and Technology

³Dept. of Mechanical and Automotive Engineering, Seoul National University of Science and
Technology

요 약 본 최근 성장하고 있는 해상 풍력의 실험연구에서 풍동시험이 수직형 횡류 풍력발전시스템의 성능을 조사하기 위해 실시되었다. 풍동의 시험 부분은 제한된 크기로 인해 실제 풍력 발전의 입구 안내 베인을 약 1/5로 축소시켰고, 터빈 임펠러의 지름을 모형 임펠러의 1/2로 감소시켰다. 임펠러 블레이드 갯수는 풍력 발전 시스템의 출력에 대한 또 다른 중요한 변수이기 때문에 8개와 16개로 변경하여 시험하였다.

실험 분석 결과, 모형 풍력 터빈의 출력 제동력은 정격 풍속 12m/s에서 블레이드 갯수가 8개 보다 16개일 때 82% 출력이 증가된 278와트로 측정되었고, 정격 제동력은 정격 작동 조건에서 3.9kW로 계산되었다.

Abstract In this experimental study for the current growing offshore wind, a wind tunnel test was conducted to examine the performance of the vertical-type cross-flow wind turbine power generation system. Due to the limited size of the test section of the wind tunnel, the inlet guide vane of the original wind power generation was scaled down to about 1/5 and the turbine impeller diameter was also reduced to 1/2 of the prototype impeller. The number of the impeller blade is another important parameter to the output power of the wind power generation system and the number was varied 8 and 16.

From the analysis of the experimental result, the output brake power of the model wind turbine was measured as 278watts with the 16-blade at 12 m/s of the rated wind speed and the rated brake power of the prototype wind turbine is calculated to 3.9kW at the rated operating condition.

Key Words : Computational fluid dynamics, Cross-flow wind turbine, Wind tunnel test, Wind turbine

1. 서론

대기의 기압차에 의해 발생하는 바람의 운동에너지를 전기에너지로 변환하기 위해 에너지 변환장치로 풍력터빈을 개발하여 활용해 오고 있다. 풍력에너지는 태양광/

태양열, 수력, 조류, 조력 등의 다른 종류의 신재생에너지에 비해 에너지 밀도가 매우 낮아 개발의 가치가 낮게 평가되어왔다. 최근 바람의 방향과 세기가 지상의 바람에 비해 우수한 해상풍력에너지 자원의 개발에 풍력발전의 선진국들이 적극 나서고 있다.

본 논문은 국토해양부 첨단도시개발 연구개발사업의 연구비지원(과제번호 “12첨단도시C12”)에 의해 수행되었음.

*Corresponding Author : Chul-Ho Kim(Seoul National Univ. of Science and Technology)

Tel: +82-10-5219-6304 email: profchkim@seoultech.ac.kr

Received February 4, 2014

Revised March 3, 2014

Accepted March 6, 2014

풍력발전을 위한 바람에너지의 질은 크게 세 가지로 정의될 수 있다. 즉 바람의 방향과 풍속 그리고 바람의 지속성이 바람의 질을 결정하는 중요한 요소이다. 이러한 측면에서 볼 때 지상에서의 바람은 해상에서 발생하는 바람에 비해 난류성이 강한 질이 낮은 풍력에너지 자원이다.

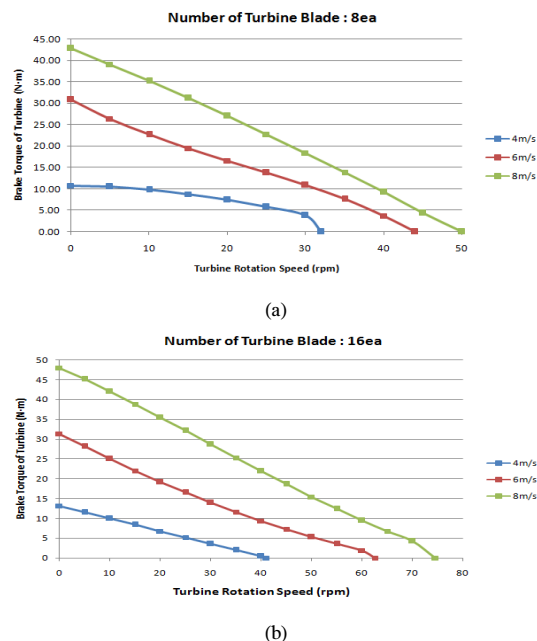
본 실험 연구에서는 선행설계연구[1]에서 개발된 2kW 급 풍력발전시스템의 축소 모델을 제작하였으며 개방형 아음속 풍동장치를 이용하여 풍속과 풍력발전용 터빈의 날개 기수의 변화에 따른 제동출력을 측정하였다. 이러한 모델 풍력발전장치의 실험 결과를 바탕으로 실물 풍력발전 장치에서 생산하게 되는 출력성능을 산출해 보았다.

1.1 성능평가 실험결과 및 분석

모델 풍력발전장치의 풍속변화에 따른 터빈임펠러의 회전수와 토크의 크기변화를 알아보았다. 일정한 풍속 즉 풍력발전장치로 유입되는 바람의 운동에너지가 일정한 조건에서 터빈의 회전수를 증가시키면 토크는 감소하게 되며, 터빈 날개의 기수가 증가할수록 많은 풍력에너지를 흡수한다는 사실을 알 수 있다.

1.1.1 풍속변화에 따른 터빈의 토크/회전수변화

Fig. 1에서 알 수 있듯이 일정한 풍속에서 유입되는 바람의 운동에너지가 일정하므로 회전수가 감소하게 되면 터빈의 제동토크는 증가한다는 사실을 알 수 있다.



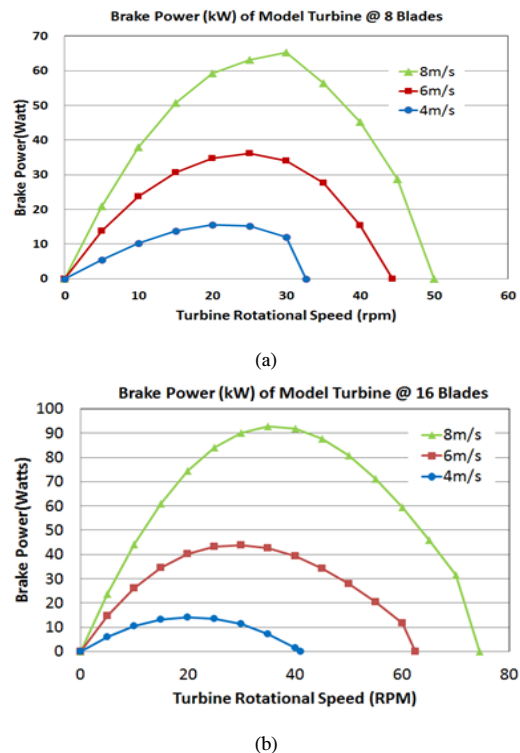
[Fig. 1] Variation of the model turbine speed with the brake torque with the change of the wind speed. (a) No. of turbine blade : 8ea, (b) No. of turbine blade : 16ea

또한 동일한 풍속에서 터빈의 날개 기수가 8개보다 16개 일 때가 에너지 흡수율이 높다는 사실을 알 수 있다. 즉 8m/s의 풍속에서 날개 기수가 8개일 때에는 최대 토크가 43.7 N·m정도이나 16개일 경우에는 약 48.0 N·m정도로 약 10%정도 제동 토크가 증가한다는 사실을 알 수 있다. 최대 회전수 역시 날개 기수가 16개일 때가 약 49% 증가하였다.

1.1.2 모델 풍력발전장치에서 터빈회전수 변화에 따른 제동출력변화

Fig. 2는 실제 프로토타입 풍력발전시스템에 비해 약 (1/5) scale의 크기인 모델 풍력발전시스템의 제동출력의 변화를 나타내는 선도이다. 일정한 풍속에서 터빈의 회전수가 증가할 때 출력이 증가하나 특정속도에 도달하게 되면 제동토크의 감소로 출력이 다시 감소하게 된다.

8m/s의 동일한 풍속에서 터빈 날개의 기수가 8개인 경우는 최대 출력이 65.3watt로 측정되나 16개인 경우는 최대 출력이 약 42% 증가하는 92.8watt가 측정되었다.



[Fig. 2] Variation of the brake torque of the model turbine with the turbine rotational speed with the change of the wind speed. (a) Brake power (kW) of model turbine @ 8 blades, (b) Brake power (kW) of model turbine @ 16 blades

1.1.3 실물 풍력발전장치에서 터빈회전수 변화에 따른 제동출력변화

본 실험연구에서 설계/제작하여 출력성능을 실험한 모델 풍력발전장치(model wind power system)의 크기는 실물 풍력발전장치(Prototype wind power system)에 비해 기하학적으로 입구의 면적비가 약 (1:5.6)이며, 터빈 임펠러의 직경역시 (1:2)의 비율로 축소된 크기이다. 즉,

(1) 실물풍력발전장치(Prototype Wind Turbine)의 크기:

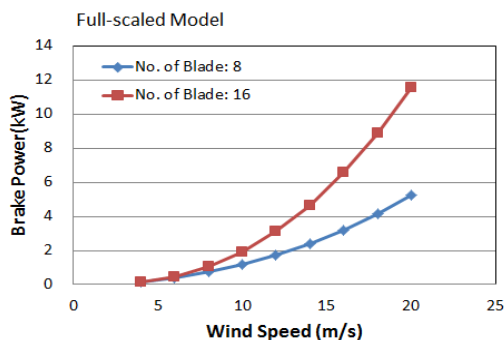
- 입구가이드베인 면적: 16m x 2m
- 실물 터빈의 투영면적비: 2m x 2m

(2) 축소모델발전장치(Model Wind Turbine)의 크기:

- 입구가이드베인 면적: 3.6m x 1.6m
- 모델 터빈의 투영면적비: 1m x 1.6m

위의 실물형상과 모델형상의 기하학적 형상의 비율을 고려하여 실물형상 풍력발전장치의 출력성능을 예측해 보면, 유입되는 공기의 운동에너지의 량이 약 5.6배 증가하게 되며, 터빈 임펠러를 통해 흡수되는 에너지의 량 역시 이론적으로 약 2.5배 정도 증가하는 것으로 판단할 수 있다. 이러한 기하학적 상사(geometrical similarity)의 개념을 도입하여 모델과 실물형상 풍력발전시스템의 출력성능을 예측해 보면,

Fig. 2에서 알 수 있듯이 날개의 기수가 2배인 16개의 터빈 임펠러를 장착하였을 경우 제동출력이 매우 크게 증가한다는 사실을 알 수 있다. 정격풍속인 12m/s에서 8개의 기수인 경우는 출력이 153watt이며, 16개인 경우는 278watt로 산출되었다. 즉 약 82%정도 출력이 증가하는 것으로 나타났다.



[Fig. 3] Variation of the brake power of the prototype wind turbine with the wind speed with the change of the blade number.

Fig. 3은 실물 풍력발전시스템의 제동출력(brake power)을 산출한 결과이다. 바람의 정격속도인 12m/s에서 날개의 기수가 8개인 경우 출력이 2.14kW가 산출되었으며, 16개인 경우는 제동출력이 약 82%증가한 3.9kW로 산출되었다.

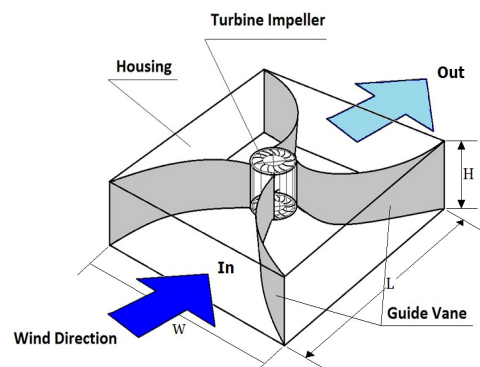
2. 본론

2.1 횡류형 수직풍력발전장치의 구조 및 형상 설계

본 연구에서 개발 중인 풍력발전시스템은 기존의 축류형(axial-flow type) 방식과는 달리 육상 바람의 질(wind quality)의 문제를 극복하기 위해 저 풍속(4m/s)에서도 발전이 가능하도록 터빈의 입구에 바람의 에너지를 모으는 역할을 하는 입구 가이드 베인(inlet guide vane)을 설치하였으며 이 가이드베인은 바람의 방향에 상관없이 바람의 유입각도를 터빈임펠러의 최적 유입각도를 유지하는 역할을 하게 된다.

본 연구에서 개발된 수직축 횡류형 풍력터빈은 양력식 터빈이 아닌 항력식 발전용 풍력터빈으로 바람의 속도에너지가 입구쪽의 가이드베인을 통과하는 순간 가속이 되며, 터빈임펠러의 입구에서 압력에너지로 전환되어 터빈 임펠러를 회전시키는 회전일로 변환된다.

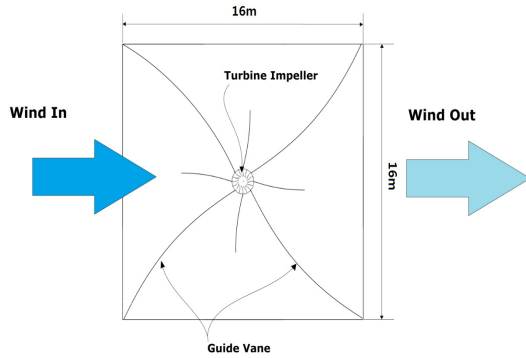
Fig. 4에서 알 수 있듯이 터빈 입출구에서의 압력차가 클수록 터빈을 구동하는 가용에너지가 커지게 되며, 선행연구^[1]를 통해 알 수 있었듯이 터빈임펠러 외부에 설치되는 가이드베인의 구조물은 터빈임펠러의 출구부분에서 강한 와류현상을 유발하며 이로 인해 터빈임펠러 전후방에서의 압력차를 증폭시키는 역할을 하게 되며 이는 항력식 풍력터빈에 매우 긍정적인 작용을 하게 된다.



[Fig. 4] Physical concept of the model wind power generation system: 16m(W)x16m(L)x2m(H)

2.1.1 풍력발전장치의 구조

Fig. 5는 본 연구에서 개발된 횡류형 터빈을 장착한 2kW급 수직풍력발전장치의 평면형상을 보여준다.



[Fig. 5] Configuration of the developed model wind power generation system; (top-side view)

실제 풍력 터빈입구에 설치되는 가이드베인 입구면적의 크기는 (16mx2m)로 설계되었으나 본 실험연구에서는 가용한 아음속 풍동의 검사체적의 크기에 맞추어 가이드베인 입구의 면적비를 실험물의 약 1/5 scale로 제작하여 설계 풍력터빈의 성능평가 시험을 실시하였다.

실험을 위한 모델 가이드베인의 입구와 목의 면적비 ($AR=A_{th}/A_{in}$)는 0.19로 설정하였다.

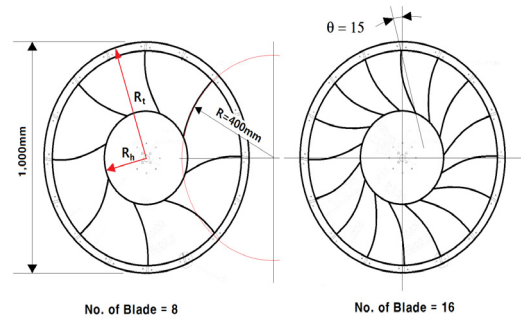
Fig. 6은 아음속 풍동의 검사공간 내부에 설치된 1/5 축소모델 풍력발전장치의 형상을 보여준다.



[Fig. 6] The model wind turbine system with the guide vanes and turbine impeller installed at the test section of the subsonic wind tunnel.

2.1.2 횡류형 풍력터빈 임펠러의 구조

Fig. 7는 본 연구에서 개발된 횡류형 터빈임펠러의 평면도를 보여준다. 본 실험연구를 위해 (1/2) scale의 축소 모델을 제작하여 출력성능 실험을 실시하였다. 임펠러 블레이드의 코드(chord) 길이는 31.7cm이며, 붙임각(θ)은 15도이다. 임펠러의 (R_h/R_t)R는 0.4로 설계하였으며 임펠러 날개의 기수는 8개와 16개로 고정하여 설계하였다.



[Fig. 7] 2-Dimensional view of the model turbine impeller and its geometry.



[Fig. 8] The model turbine impeller assembled with 16 blades and mounted on the test

d. Fig. 8는 터빈 블레이드가 16개 장착된 임펠러가 조립되어 토크와 회전수를 측정하는 장치에 장착된 모습을 보여준다.

2.2 풍력발전시스템의 성능평가실험

본 실험연구에서는 선행연구[2]를 통해 설계된 수직형 풍력발전시스템의 최적화 축소 모델을 완성하고, 제작하여 풍력발전 성능을 평가하기 위해 실험용 풍동실험을 실시하였다. 실험풍속을 3단계로 나누어 모델터빈의 출력성능을 측정하였으며, 풍속변화에 따른 터빈의 회전수

와 토크를 측정하여 제동출력을 산출하였다.

2.2.1 실험을 위한 풍동시험 장치

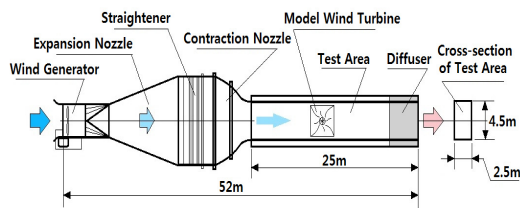
개발된 모델 풍력발전장치의 풍속조건 변화에 따른 제동출력(brake power)을 측정하기 위해 개방형 풍동을 사용하였으며 풍동 검사부의 재원은 폭 4.5m, 높이 2.5m 그리고 길이 25m로 자세한 작동제원은 아래 Table 1에 주어진 바와 같다.

풍동은 아음속 개방형 풍동으로 검사부의 폭과 높이가 각각 4.5m, 2.5m로 검사부의 크기를 고려하여 본 연구에서 개발한 모델 풍력발전장치의 크기를 결정하여 가이드 베인의 크기는 약 (1/5)배로 축소하고 풍력터빈 임펠러의 경우는 (1/2)배의 크기로 축소하여 제작하여 실험을 실시하였다.

[Table 1] Specification of the Wind Tunnel

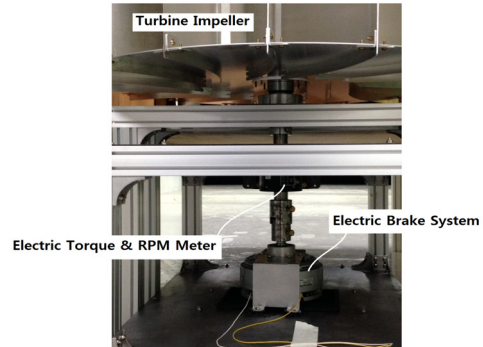
Type	Subsonic Open-type Wind Tunnel
Total Length	52m
Test section size	4.5m×2.5m×25m
Wind speed	0.3~17.5m/s
Turbulent intensity	< 5%
Flow uniformity	within 1.5%

Fig. 9은 본 연구에 사용된 개방형 아음속 풍동이 평면도를 보여주며 검사부(test area)의 중앙부에 모델 풍력터빈을 설치하고 바람 속도변화에 따른 토크와 임펠러 회전수를 계측하여 터빈의 제동출력을 산출하였다.



[Fig. 9] Top-view of the 4.5x2.5x25m open-type low speed wind tunnel.

제동출력의 산출을 위해 터빈 임펠러의 하단부위에 토크미터와 전자제어식 제동장치를 부착하고 각 실험 풍속 (4, 6, 8m/s)에서 터빈의 회전수를 변화 시켜가며 제동토크(brake torque)의 변화를 계측하였다.



[Fig. 10] Assembly of the electric brake system and digital torque meter with the model turbine impeller.

Fig. 10은 터빈 임펠러 하단부위에 설치된 전자제어식 제동장치(electric controlled brake system)과 터빈임펠러 축과 제동장치 축 사이에 설치되어 축의 제동토크(brake torque)변화를 측정하기 위한 동력계의 사진을 보여준다.

2.2.2 터빈성능평가를 위한 주요 실험변수

본 연구에서 설계/제작된 풍력발전시스템은 가이드 베인의 크기가 3.6m x 3.6m x 1.6m이며, 내부에 장착되는 횡류형 터빈 임펠러는 Fig. 4에서 보듯이 외경이 1.0m, 내경이 0.4m이며 날개의 기수가 8, 16개인 2종류를 제작하여 실험을 실시하였다. 모델 발전장치를 풍동의 시험부에 설치 후 풍동의 가용 풍속을 판단하기 위해 예비실험을 실시하였으며 그 결과 풍동 팬속도의 변화에 따른 최대 풍속이 8.5m/s로 계측되었다. 이를 근거로 실험을 위한 풍속을 결정하였다.

발전장치의 입구풍속은 4m/s, 6m/s, 8m/s 3단계로 나누어 실험하였으며 이때 바람의 속도와 온도는 가이드 베인 입구의 전방 3.5m에서 측정하였다.

[Table 2] Experimental Parameters and Its Ranges

Parameter	Range
Wind speed	4~8m/s
No. of Blade	8, 16
Wing-tip clearance	10mm

2.3 실험결과 분석을 위한 이론

풍속의 변화에 따라 터빈 임펠러의 제동토크와 임펠러 회전수를 측정하여 제동출력은 다음의 식으로 풍력터빈의 제동출력을 산출하는 이론은 다음과 같다.

- 풍력터빈의 제동출력(P_{brake}),

$$P_{brake} = T_{brake} \times N = \frac{2\pi N}{60}$$

- 풍력터빈의 유입에너지(P_{inlet}),

$$P_{inlet} = \frac{1}{2} \dot{m} V^3 = \frac{1}{2} \rho A V^3$$

- 풍력터빈의 제동효율(η_{brake})

$$\eta_{brake} = \frac{P_{brake}}{P_{inlet}} \times 100(\%)$$

3. 결론

본 실험연구에서는 현재까지 설계된 횡류형 터빈을 장착한 수직축 풍력발전시스템을 제작하여 풍동장치를 이용하여 풍속의 변화에 따른 모델 풍력발전장치에서의 제동출력성능을 측정하였다. 또한 본 실험을 결과를 바탕으로 실물크기의 프로토타입 풍력발전시스템에서의 출력성능을 산출하였다. 실험결과에 의하면 최초 연구과제의 목표치인 풍속 12m/s에서 풍력발전시스템 당 2kW의 출력을 충분히 생산할 수 있는 풍력발전시스템의 개발이 가능한 것으로 판단된다. 본 연구결과를 정리해 보면,

(1) 모델 풍력발전시스템 출력성능의 경우 정격 풍속인 12m/s의 속도에서 날개 기수가 8개일 때 153watt의 출력이 측정되었으며, 16개인 경우는 82%의 출력이 증가된 278watt의 출력이 측정되었다. 즉 터빈 날개의 기수가 증가할 수 록 보다 많은 바람의 속도에너지를 흡수한다는 사실을 알 수 있었다. 선행의 이론연구[3]에서는 날개의 기수가 최대 24개까지 출력이 증가하는 것으로 나타났으므로 추후 보완적 실험연구가 필요한 것으로 판단된다.

(2) 모델 풍력발전시스템의 실험결과를 바탕으로 기하학적 상사의 개념을 도입하여 프로토타입 실물 풍력발전시스템의 성능을 산출해 본 결과 정격 풍속인 12m/s에서 날개의 기수가 8개인 경우 제동출력이 2.14kW가 산출되었으며, 16개인 경우는 3.9kW의 출력이 산출되었다. 이 경우 역시 터빈 날개의 기수를 최대 24까지 늘렸을 때 출력이 더욱 상승할 것으로 기대되며 보완연구가 필요한 것으로 판단된다.

References

- [1] Kwang-Seop Chung, Chul-Ho Kim, Hyun-sung Cho, "Effect of Rear-Vortex of a Convergent-Divergent Duct on the Flow Acceleration Installed in a Vertical Structure", Korean J. Air-Conditioning and Ref. Eng., Vol. 25, No. 2, pp. 94-10, 2013.
DOI: <http://dx.doi.org/10.6110/KJACR.2013.25.2.094>
- [2] Sang-Hoon Jung, Kwang-Seop Chung, Chul-Ho Kim, "Development of a Cross-flow Type Vertical Wind Power Generation System for Electric Energy Generation Using Convergent-Divergent Duct", Korean J. Air-Conditioning and Ref. Eng., Vol. 23, No. 8, pp.543-548, 2011.
DOI: <http://dx.doi.org/10.6110/KJACR.2011.23.8.543>
- [3] Kwang-Seop Chung, Chul-Ho Kim, Final Report : A development of 10kW-class wind power generation system applicable for the roof of the building, high-tech city development project in 2012., Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2012.
- [4] Douglas, J. F., et al, Fluid Mechanics, Prentice Hall, pp. 406-447, 2001.
- [5] Y. A.Cengel and J. M.Cimbala, Fluid Mechanics Fundamentals and Applications, McGraw-Hill International, 2nd edition, pp.472-476, 2009.

조 현 성(Hyun-Sung Cho)

[정회원]



- 1993년 10월 : NSW대학교 기계·생산대학원 산업공학과 (공학 석사)
- 2002년 2월 : 서울과학기술대학교 NID융합기술대학원 나노·IT 융합기술프로그램학과 (공학박사 과정)
- 1999년 1월 ~ 2009년 1월 : 트라이인컴기술연구소 연구소장
- 2013년 8월 ~ 현재 : 서정대학교 자동차과 겸임 교수

<관심분야>

메카트로닉스, CFD시뮬레이션, 정보통신

정 광 섭(Kwang-Seop Chung)

[정회원]



- 1974년 2월 : 한양대학교 공대 건축공학과 (공학사)
- 1991년 8월 : 한양대학교 대학원 건축공학과 (공학박사)
- 2008년 10월 ~ 현재 : 서울과학기술대학교 건축기계설비연구소 소장
- 1981년 6월 ~ 현재 : 서울과학기술대학교 건축학부 교수

<관심분야>

친환경건축, 건축공기조화설비

김 철 호(Chul-Ho Kim)

[정회원]



- 1982년 2월 : 인하대학교 공과대학원 항공공학과 (공학석사)
- 1995년 7월 : NSW대학교 기계·생산공학부 대학원 기계공학과 (공학박사)
- 1984년 2월 ~ 1986년 7월 : 육군3사관학교 대학부 전임강사
- 1987년 9월 ~ 1996년2월 : LG전자연구소 책임연구원
- 1996년 3월 ~ 현재 : 서울과학기술대학교 공과대학 기계·자동차공학과 교수

<관심분야>

엔진설계, 자동차공기역학, CFD시뮬레이션

도심지 건물적용을 위한 풍력발전기의 진동 및 소음 평가

정광섭* · 김철호** · 황기태*** · 서대원*** · 장문기*

*서울과학기술대학교 건축학부, **서울과학기술대학교 기계·자동차공학과, *** (주)에코닝
지진방재기술연구소

Evaluation of Noise and Vibration for Application of Wind Power Systems in Buildings

Kwang-Seop Chung*, Chul-ho Kim**, Kee-tae Hwang***, Dae-won Seo***,
Mun-ki Jang*

**School of Architecture, Seoultech, Seoul, Korea*

***Department of Mechanical and Automotive Engineering, Seoultech, Seoul, Korea*

****Econing Co. Ltd., Seongnam, Korea*

*****The Graduate School of Industry and Engineering Architectural Engineering Department,
Seoultech, Seoul, Korea*

Abstract : Recent years have seen growing interest in renewable energy. Wind energy is recognized as one of the most important sources of renewable energy. Also, integrating wind energy system into building design is a small but growing trend. However, in the case of wind energy on buildings that produce noise and vibration problems. Thus, this paper discussed a dynamic characterization test for commercial wind turbines. The test results of noise and vibration of wind power systems are satisfied established standards for residential areas.

Keywords : Wind power, Wind turbine, Noise, Vibration, Integrating wind energy system

1. 서 론

최근 우리 사회는 지구에너지의 고갈 및 지구온난화 등의 문제에 직면해 있으며, 건설분야에 있어서도 지속가능 건축에 대한 관심과 CO₂절감에 대한 요구가 증가하고 있으며, 이에 따라 태양열, 빛, 풍력 등의 대체에너지에 대한 관심이 높아지고 있는 상황이다, 특히 풍력에너지는 무공해, 무제한의 바람을 이용하므로 환경에 미치는 영향이 거의 없어 대체에너지로 유럽, 미국 등을 중심으로 널리 연구 및 이용되고 있다. 대부분의 풍력발전은 해안지대 등을 중심으로 대형화되고 있지만, 최근에는 도심건축물에 적용가능한 소형 풍력발전시스템의 사용에 대한 연구 또한 계속되고 있다. 그러나 건물적용 풍력발전은 경제성, 효율성의 문제와 함께 풍력발전시스템으로 인한 소음과 진동이 실용화에 가장 큰 장애요소가 되고 있다. 따라서 본 연구에서는 건물 옥상에 적용이 가능한 원심터빈형 풍력발전시스템의 소음 및 진동을 측정하여 도심지 건물의 적용가능성에 대해 검토하고자 하였다.

2. 풍력발전 시스템의 소음 및 진동측정

풍력발전의 소음은 크게 공기역학적 소음과 기계적 소음으로 구분할 수 있다. 공기역학적 소음은 바람이 블레이드를 통과하면서 발생하게 되며, 거주영역과 가까운 곳에 위치할 경우 검토대상이 되어야 한다.

본 연구에서는 제주도에 시험설치된 풍력발전기의 소음·진동을 측정하여 건물 옥상에 설치시의 사용성 문제 등을 검토하고자 하였다. 풍력발전기(wind turbine)는 <Fig..1>과 같이 지상 8층 구조의 원심터빈형 풍력발전 시스템으로 탑상형의 각 층별로 개별 발전하는 방식이다. 육각형 모양의 발전기는 외부에 대형 블레이드를 설치할 필요가 없어 소음과 진동이 적으며, 층별 개별 발전방식으로 모듈화를 통해 대용량 발전이 가능한 시스템으로 도심지 건물에 적용이 가능하도록 개발되었다. <Table 1>은 풍력타워의 제원과 계층 위치를 나타내었고, 소음 및 진동의 측정은 <Fig.1>에 나타난 바와 같이 1, 5, 6, 7층에서 수행하였다.

Table 1. Specification of Wind Turbine

구분	Floor	Elevation(m)	Turbine Power	Blade No.	Blade size(mm) D x H
Level1	Ground base	GL+0	-	-	-
Level2	2F FL	GL+5.5	-	-	-
Level3	3F FL	GL+9.0	-	5	-
Level4	4F FL	GL+12.5	3.5kw	20	3,000x2,000
Level5	5F FL	GL+16.0	5.0kw	24	3,800x2,000
Level6	6F FL	GL+19.5	5.0kw	24	3,800x2,000
Level7	7F FL	GL+23	3.5kw	20	5,000x2,000
Level8	8F FL	GL+26.5	-	-	-

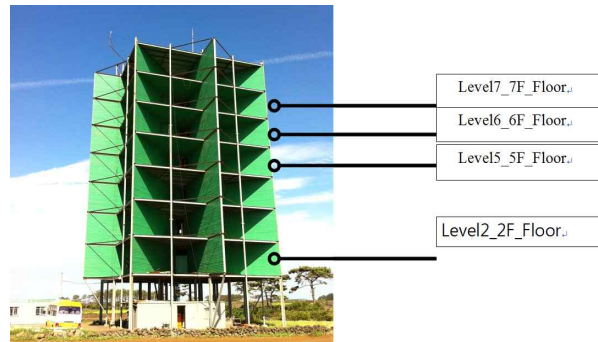


Fig. 1. Wind Turbine.

3. 결과 및 분석

3.1. 진동

지상 1층 및 5~7층 까지 4개소의 위치에서 측정한 진동가속도의 측정치는 <Table 2>와 같이 측정되었다. 측정조건은 Wind Turbine이 무부하 상태로 운전되는 조건으로 풍속은 Ait-shroud에서의 최대 풍속을 나타낸 것이다.

Table 2. Acceleration of Wind Turbine

Measured Location	Acceleration Level(dB)			Wind Velocity (Max.)m/sec
	X	Y	Z	
1F	44.7	45.6	34.4	
5F	53.8(63.3)	60.0(67.7)	58.1(65.5)	5~6
6F	56.6(64.3)	53.7(62.3)	68.3(75.4)	5~6
7F	51.4(60.5)	63.8(77.2)	54.7(64.6)	4.5~5
Mean	53.9(62.7)	59.2(69.1)	60.4(68.5)	5.25

ISO 2631-2에서는 진동에 대한 불쾌감 등 사람의 반응 정도를 수치적으로 나타낸 등가반응 곡선을 진동이 전달되는 인체 축에 대하여 가속도와 속도로 제시하고 있다. 진동방향에 대한 인체의 인지 등가곡선은

진동에 대한 불쾌감을 느끼는 진동수준으로, 이는 건물용도, 환경, 사람의 활동 등의 영향을 받는다.

측정시간대에서 계측된 최대 진동값에 대해 Wind Turbine 의 진동은 ISO 2631-2에서 제안하고 있는 주거용 건물의 진동제한기준과 비교하여, <Fig.2>에 각 방향의 진동측정값과 기준의 비교를 나타내었다. 그림에서 나타난 바와 같이 각 방향의 wind turbine으로 인한 진동은 기준값 이하의 값을 나타내어, 건물 적용 시 거주성능에 문제가 없을 것으로 판단된다. <Table 3>은 wind turbine의 측정 속도로서, 속도에 대한 건축물 진동평가 기준치로서는 DIN 4150-2, SN 640 312a에서 계속적 진동에 대해 주거건물은 3mm/sec를 제안하고 있으며, 기준에 대해 20% 이하의 양호한 결과를 나타내어 건물의 적용이 가능할 것으로 판단된다.

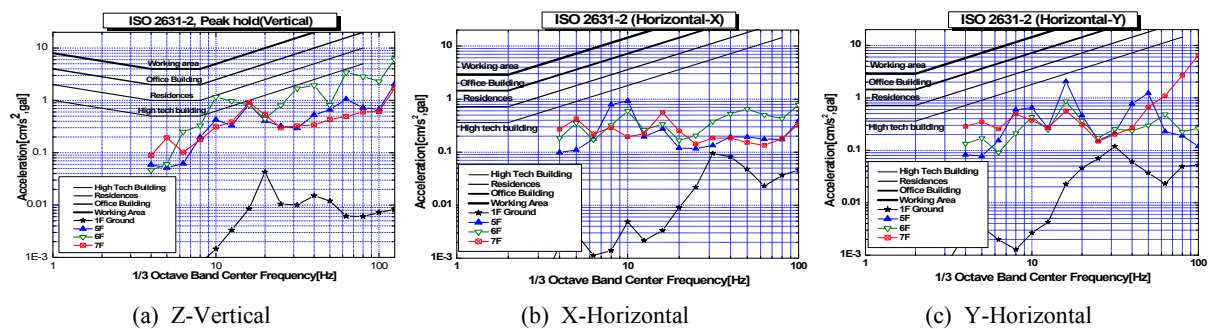


Fig. 2. Comparison of ISO 2631-2 and Measured Acceleration.

Table 3. Velocity of Wind Turbine

Measured Location	Peak amplitude (Velocity Time history) mm/sec			Vector sum (mm/sec)	평가 (mm/sec)
	X	Y	Z		
1F	0.03	0.05	0.01	0.06	<3.0 (O.K)
5F	0.2	0.29	0.18	0.40	<3.0 (O.K)
6F	0.24	0.2	0.48	0.57	<3.0 (O.K)
7F	0.28	0.35	0.22	0.50	<3.0 (O.K)

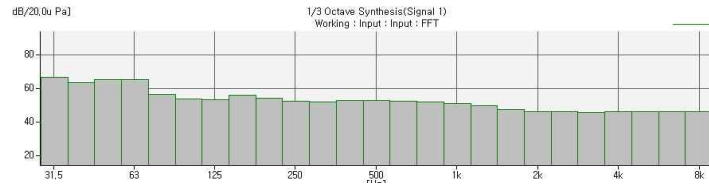
3.2. 소음

<Table 4>는 wind turbine의 측정된 소음을 나타낸 것이다. 현재 주거지역에서는 야간 시 45dB이하를 요구하고 있으며, <Table 4>의 음압레벨은 turbine blade의 근거리에서 측정한 결과로 소음레벨은 전과 거리가 2배가 증가할 때마다 6dB감소하는 역이승 법칙에 의거 turbine을 주거지역에서 20m 떨어진 곳에 설치하면 만족하는 결과를 얻을 것으로 예상된다, 그러나 도심지 건물에 본 풍력발전기의 설치를 위해서는 소음에 대한 추가적인 대책이 필요할 것으로 판단된다.

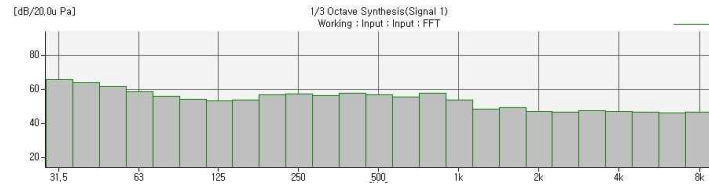
Table 4. Noise of Wind Turbine

Measured Location	O.A. dB(A)	Octave Band SPL per Frequency [dB]							
		63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
5F	65.9	65	53.1	51.9	52.4	50.6	45.9	45.6	45.9
6F	63.2	58.3	52.7	56.7	56.2	53.3	46.8	46.7	46.3
7F	61.7	59.9	51.6	50.4	50.5	47.2	44.3	44.7	45.7

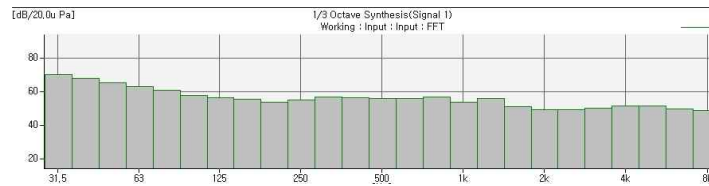
O.A.(Overall Value) : 옥타브밴드 주파수에 해당하는 소음레벨을 모두 합산한 값임.



(a) 5층 wind-turbine 옥타브별 소음측정결과



(b) 6층 wind-turbine 옥타브별 소음측정결과



(c) 7층 wind-turbine 옥타브별 소음측정결과

Fig. 3. Measured Noise of Wind Turbines

4. 결론

본 연구에서는 도심지 건물에서의 풍력발전시스템의 적용성을 검토하기 위해 원심터빈형 풍력발전기의 소음·진동을 측정 및 평가, 분석하였다. 분석결과 진동은 기준이하로 나타났으며, 소음은 야간기준으로 10-20%정도 초과하는 결과가 나타났으나, 근거리 측정결과로서 이의 보완이 가능하므로 도심지에 적용이 가능할 것으로 판단된다. 다만, 도심지 풍력발전 시스템의 성공을 위해서는 소음, 진동문제 뿐만 아니라, 구조적 안전성 및 사용성, 시각적 영향, 위치의 문제 등에 대한 기술적 해결노력이 병행되어야 할 것으로 판단된다.

후기

본 연구는 국토해양부 첨단도시개발 연구개발사업의 연구비지원(과제번호 “12첨단도시13”)에 의해 수행되었습니다.

인용문헌

- 전현도, 박진철, 이연구.(2010). 초고층 건물의 풍력발전시스템 적용에 관한 연구. *대한건축학회 논문집(계획계)*, 26(8), 273-280.
- 윤성욱,전완호,김현구.(2009). 풍력발전 복합형 건축물에 대한 고찰. *한국풍공학회지*, 13(3), 45-51.
- Brad C. Cochran, and Rick R., Damiani, (2008). Harvesting Wind Power from Tall Buildings, *Wind Power*, June, 1-11.

응축방식을 이용한 담수화 시스템의 성능예측을 위한 분석연구

김 철 호*, 김 원 일**†, 최 재 영**, 김 재 철**, 김 민 선**

Analytical Study on the Performance Analysis of a Desalination System by Condensing Method

Chul Ho Kim*, Won Il Kim**, Jae Young Choi**, Jae Choul Kim**, Min Sun Kim**

*Department of Mechanical and Automotive Engineering, College of Engineering, Seoul National University of Science and Technology, Seoul 139-743, Korea

**Undergraduate Student Department of Mechanical and Automotive Engineering, College of Engineering, Seoul National University of Science and Technology, Seoul 139-743, Korea

Key Words: Desalination(담수), Heat transfer(열전달), condensation(응축), Wind Turbine(풍력터빈)

Abstract

A new concept of an Eco-friendly desalination method is introduced in this study. The main idea of the desalination method of seawater is the condensation of the vaporized seawater by solar heat energy on the surface of seashore. The wind turbine blade plays a role of heat exchanger condensing the vaporized water in the air. Fig. 1 show the details of the operating concept of the Eco-friendly desalination system with the wind power generation turbine.

In this analytical study, the vaporized water in air was arranged and the parametric study was studied. First, an analytical estimate the amount of freshwater produced from the system with the change of the temperature difference between the humid air and turbine blade, and the relative humidity in air, and wind speed.

From the analytical calculation, 44,229(ton/year) of freshwater was produced at the vertical-type wind turbine(Diameter = 4m, Height = 3m) as the relative humidity is 80%, the temperature difference between the impeller blade and the humid air is 35℃ and the wind speed is 10m/s.

Nomenclature

T : 온도(℃)

T_f : 막온도 $= (T_{sat} + T_s)/2$ (℃)

T_v : 과열증기의 온도 (℃)

C : 비열 ($J/kg \cdot ^\circ C$)

h_{fg} : 잠열 (J/kg)

k_l : 응축수의 열전도도 ($W/m \cdot ^\circ C$)

μ_l : 응축수의 점성 ($kg/m \cdot s$)

g : 중력가속도 (m/s^2)

L : 수직평판의 높이 (m)

A : 수직평판의 폭 (m)

Re : 레이놀즈수 (무차원)

h_{ver} : 수직평판에서의 평균 열전달 계수

H : height (mm)

W : width (mm)

L : length (mm)

A : area (mm^2)

$\dot{Q}$: heat transfer rate (J/s)

* 서울과학기술대학교 기계자동차공학과 교수

E-mail : hokim@seoultech.ac.kr

TEL : (02)970-6347 FAX : (02) 979-7032

**서울과학기술대학교 기계자동차공학부 학부생

† 비회원, 서울과학기술대학교 기계자동차공학부

$\dot{m}$: condensing rate (kg/s)
 L : length (mm)

subscript

sat : saturate
 ver : vertical
 s : surfaced
 f : fluid
 v : vapor
 l : condensed liquid
 ∞ : ambient condition

1. 서 론

UN에서 제시한 21세기 인류가 직면한 중요 3대 해결과제로 식량, 에너지 그리고 물 부족 문제가 선정하였다. 식음용 물 부족의 문제는 지구상의 특정지역의 문제가 아닌 인류 전체를 위협하는 심각한 문제로 인식되어있다.

물은 인간뿐만 아니라 지구상의 모든 생명체에 매우 중요한 자원이다. 현재도 지구상의 많은 지역에서는 식음용 물 부족현상으로 인해 인간을 포함하는 지구의 생명체가 생명의 위협을 받고 있으며, 머지않아 전 세계적인 위기상황을 맞게 될 것이라고 전 세계의 과학계가 관심을 표명하고 또한 해결방안을 위해 노력을 기울이고 있다.

기존 식수원의 오염 문제점을 해결하고 장기적인 식수원 확보를 위해서 우리나라를 포함하는 선진국에서는 오래 전부터 바닷물로부터 담수를 생산하는 담수화 장치(Desalination System)을 개발하여 식수나 공업용수로 사용하였다. 그러나 현재 사용 중인 담수화장치의 가동에너지원은 대부분 화석에너지로부터 생산되는 전기에너지를 사용한다는 문제점을 가지고 있다. 따라서 물 생산과 동시에 주요 온실가스로 지목된 이산화탄소를 배출한다는 문제점을 안고 있다.

본 연구에서는 기존의 담수 생산방법과는 달리 신재생에너지만을 이용하는 방식으로 태양열에 의해 증발된 해수면에서의 수증기를 응축의 원리를 이용하여 담수를 생산하게 되는 친환경 담수장치(Eco-friendly Desalination System)를 제안하며, 그 가능성을 판단하는데 연구의 목적을 두고 있다.

2. 시스템 구성 및 작동원리

2.1 시스템구성

아래 Fig. 1은 본 연구에서 제안한 친환경 담수화장치의 구성도를 보여준다. 시스템 구동에 필요한 전기에너지는 풍력발전과 태양광 발전장치를 통해 확보하게 된다.

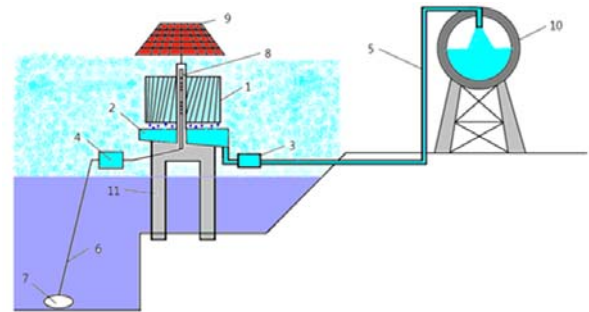


Fig. 1 Schematic diagram of the desalination system

담수장치의 각부 명칭;

- | | |
|---------------|--------------|
| 1) 수직형 횡류형 터빈 | 2) 담수 용기 |
| 3) 담수 펌프 | 4) 심해수 펌프 |
| 5) 담수 이송관 | 6) 심해수 이송관 |
| 7) 심해수 취수 필터 | 8) 임펠러 냉각 유로 |
| 9) 터빈 임펠러의 도면 | 10) 지상 담수 탱크 |
| 11) 솔라셀 판넬 | |

2.2 담수 시스템의 작동원리

본 장치의 작동원리에 관해 간단히 설명하면,

1) 태양열에너지

태양의 열에너지에 의해 바닷물이 해수면에서 증발되어 해면에 습도가 높은 수증기 층이 형성된다.

2) 풍력 및 태양광 에너지

풍력터빈과 태양광 셀을 이용하여 전기에너지를 생산한다.

3) 심해수의 냉온에너지

해수면의 수증기를 터빈 날개를 이용하여 응축하게 되며 이때 풍력터빈 날개의 온도를 떨어뜨려 응축효율을 극대화하기 위해 차가운 심해수(5~10°C)를 양수하여 풍력터빈의 날개를 냉각한다.

4) 응축수 생산

냉각된 풍력터빈의 날개를 이용하여 해수면의 포화증기를 응축하여 담수를 생산하게 된다.

5) 담수를 육지로 수송

풍력과 태양광에너지를 이용해 생산된 전기에너지를 이용하여 물 펌프를 구동하여 풍력터빈에서 생산된 담수를 육지의 물 저장고로 담수를 수송하게 된다.

3. 응축이론(4)

증기의 액화는 증기의 온도가 포화온도 T_{sat} 이하로 낮아질 때 발생한다. 이러한 현상은 일반적으로 증기가 포화온도 T_{sat} 보다 낮은 고체표면 T_s 와 접촉할 때 발생한다.

응축의 형태는 막응축과 물방울응축으로 구분되며 막응축은 표면을 적시면서 중력의 영향으로 미끄러지고 표면에 액체막을 형성한다. 보다 많은 증기가 막 위에서 응축되므로 액체막의 두께는 유동방향을 따라 커진다. 물방울응축에서 응축된 증기는 연속적인 막 대신 표면에 물방울을 형성하고 표면은 다른 크기의 수많은 물방울로 덮이게 된다. 막응축에서 표면은 점차적으로 두께가 증가하는 액막으로 덮이게 되면 증기와 고체표면 사이의 이 액체 벽은 열저항으로 작용한다. 증기가 응축할 때 발생하는 증발열 h_{fg} 는 고체표면에 도달하기 전에 이 저항을 통과하여야 하며 열은 다른 쪽의 매체에 전달된다. 그러나 물방울 응축에서는 어느 정도 크기 이상이 되면 물방울은 밑으로 미끄러지면서 표면이 다시 증기에 노출된다. 이 경우 열저항을 하는 액막은 존재하지 않는다. 결과적으로 물방울 응축은 막응축에 비하여 10배 이상의 열전달률을 얻을 수 있다. 따라서 열전달 방식으로 물방울 응축이 보다 바람직하며 증기첨가제나 표면처리를 이용하여 물방울응축을 유지하기가 어렵고 결국 막응축으로 변하기 때문에 그다지 성공적이지 못하여 열전달 설계에서는 보다 안전하게 막응축으로 가정한다.

3.1 응축의 물리적 모델(2)

포화온도 보다 낮은 수직벽을 정체된 수증기가 접촉할 때 응축으로 인해 형성된 액체는 얇은 막

을 형성하게 되며 중력의 영향으로 수직 평판을 따라 하강하면서 기체의 운동을 유도하게 된다. 액체에 의해 유도된 증기운동은 액체의 속도에 영향을 주게 되며 증기와 액체의 상호작용으로 인해 Fig. 2과 같은 2상(two phases) 경계층이 형성된다.

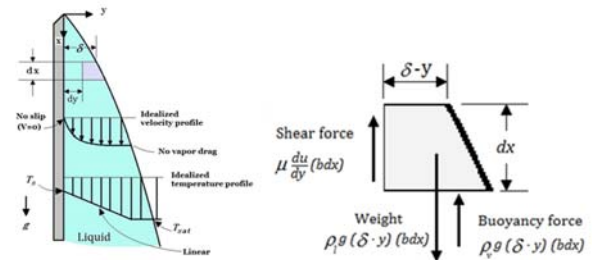


Fig. 2 Flow characteristics of the liquid film formed on the surface of a vertical condensing plate

아래의 Table 1의 값은 상대습도의 변화에 따른 응축율에 필요한 물성치를 나타낸다.(3) 상대습도에 따른 온도는 포화수증기량(이슬점의 온도)으로 산출하였으며 응축수의 모든 물성값은 응축기표면의 막온도(liquid temperature)의 조건으로 계산하였다.

$$T_f = [T_{sat} - T_s]/2 \quad (1)$$

4. 응축률 계산

4.1 응축수의 온도를 가정

응축수가 생성될 때 온도는 응축수와 습공기면위의 온도 T_{sat} 부터 응축수의 표면온도 T_s 까지 변한다.

따라서 응축수의 온도는 평균온도인 막온도 $T_f = [T_{sat} - T_s]/2$ 로 계산하여 가정할 수 있다.

4.2 수정된 잠열(h_{fg})을 구하는 공식(4)

응축률을 구하기 위해서는 수정된 잠열을 구해야 한다.(1)

$$h_{fg}^* = h_{fg} + 0.68 \times C_{pl} \times (T_{sat} - T_s) \quad (2)$$

(※대기의 상대습도가 100%일 경우의 수정된 잠열 공식)

(1)식에서 사용되는 잠열은 (T_{sat} = 이슬점 온도)에서 계산되어야 한다.

$$h_{fg}^* = h_{fg} + 0.68 \times C_{pl} \times (T_{sat} - T_s) + C_{pv} (T_{sat} - T_s) \quad (3)$$

(※대기의 상대습도가 100%가 아닌 경우의 수정된 잠열 공식)

$C_{pv}(T_{sat} - T_s)$ 는 T_∞ 가 T_{sat} 까지 냉각되기 위해 방출되는 열량을 말한다. 즉, 응축이 될 때 상대습도를 유지하기 위한 요소이다. (2) 식에서 사용되는 잠열은 T_v 의 과열증기가 이슬점 온도까지 내려간 다음 계산된 식이다.

4.3 평균열전달 계수에 대한 Nusselt의 가정(1)

높이가 L 이고, 폭이 W 로 T_s 의 일정한 온도를 유지하며 포화온도 T_{sat} 의 증기에 노출된 수평 평판이 있을 때, 수직평판 위의 응축에서 열전달 계수에 대한 해석적인 관계는 아래와 같다.

- 1) 평판과 대기는 T_s 와 T_{sat} 의 일정한 온도로 각각 유지되며, 액체막을 통과한 온도는 선형적으로 변함.
- 2) 액체막을 통과한 열전달은 순수한 전도에 의하여 이루어짐
(액체막에는 어떠한 대류도 일어나지 않는다.)
- 3) 증기의 속도는 낮아서(또는 0) 응축된 물질을 끌어올리지 못함.
(액체와 증기의 계면에서 점성전단이 일어나지 않는다.)
- 4) 응축된 물질의 유동은 층류이고 액체의 성질은 일정.
- 5) 응축된 물질의 가속은 무시.

Nusselt은 위의 5가지를 가정하고, 수정된 잠열을 이용하여 수직평판의 층류 막응축에 대한 평균열전달 계수는 식(4)과 같다.

$$h_{ver} = 0.943 \left[\frac{g \rho_l (\rho_l - \rho_v) h_{fg}^* k_l^3}{\mu_l (T_{sat} - T_s) L} \right]^{\frac{1}{4}} (W/m^2 \cdot ^\circ C) \quad (4)$$

4.4 열전달 계수를 이용한 열전달률과 응축률

수직으로 된 응축기의 면적 A_s 에서 응축이 일어나는 동안 열전달률은 식(4)과 같고 식(5)으로 응축률을 계산할 수 있다.(1)(4)

$$\dot{Q} = h A_s (T_{sat} - T_s) (J/s) \quad (5)$$

$$\dot{m}_{con} = \frac{\dot{Q}}{h_{fg}^*} (kg/s) \quad (6)$$

5. 해석결과분석

5.1 이론에 따른 응축률 산출결과

Fig. 4는 연간 응축량으로 나타내었고 응축효율은 고려하지 않은 가장 이상적인 응축률이다.
(※실제 터빈 블레이드의 사이즈 : $5m \times 10m$)

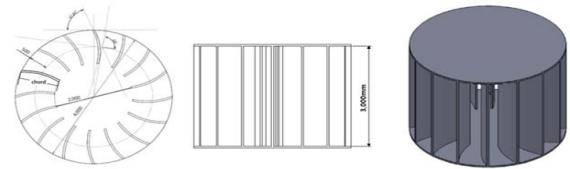


Fig. 3 Schematic Diagram of the Windturbine

Table 1 Condensation area of the turbine blade

Blade	W(m)	L(m)	Area(m ²)
1EA	5	10	50
Total(26EA)	130	260	1300

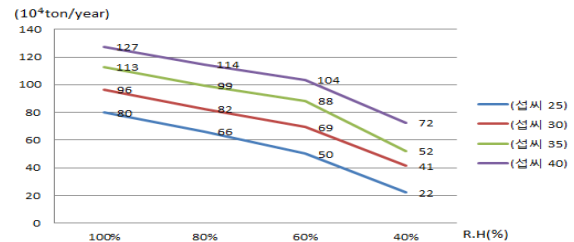


Fig. 4 Relative humidity-Condensation rate Curve

6. 응축실험장치 및 방법

본 실험은 이론값과 실제 실험값의 오차율을

구하고 원인을 분석하여 이론식에 실제 응축률에 대한 Factor를 고려하기 위해서 하였다.

6.1 이론에 따른 응축률 산출결과

본 연구를 위한 실험 장치는 응축 챔버와 응축 챔버 내부의 온·습도를 조절하기 위한 습공기 챔버와 주변장치들로 구성되어 있다.

Table 2 size of Condensation chamber

	W(m)	H(m)	L(m)
Condensation block	0.3	0.19	0.003
Condensation chamber(R)	1	0.9	0.37
Relative humidity-air chamber(L)	1	0.9	0.65

Table 3 Control condition of experiment part

	control method
Temperature control	Halogen lamp
Relative humidity control	humidifier
Heat insulation material	Extruded polystyrene
Forced convection control	Fan

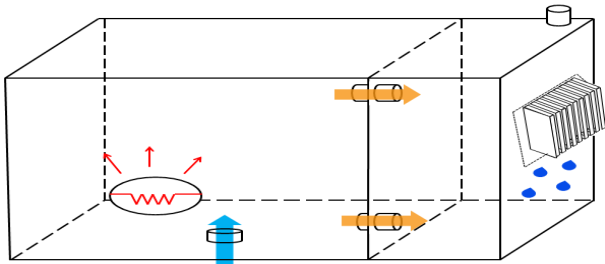


Fig. 5 Schematic Diagram of the Experimental System.

6.2 응축실험의 과정

Table 4 Condition of experiment with Relative humidity and temperature

	Condition
Temperature of chamber(℃)	30
Relative humidity(%)	80
Temperature of condensation block(℃)	10
Velocity of fan(m/s)	0, 0.1, 0.5, 1.0

실험 응축률에 대한 효율계수는 응축기온도가 10℃이고 강제대류는 0m/s일 때를 기준으로 하여 구했다.

6.3 응축실험 결과값 - 강제대류

결과값을 통하여 0m/s의 속도와 1m/s속도 일 때 응축률은 최대 약 350%의 증가율을 나타내는 것을 볼 수 있다. 그 원인으로는 45°의 방향으로 응축기에 팬을 작동시키면 응축되어 있는 물방울의 점성보다 중력에 인하여 떨어지려는 힘이 훨씬 크게 작용하기 때문이다.

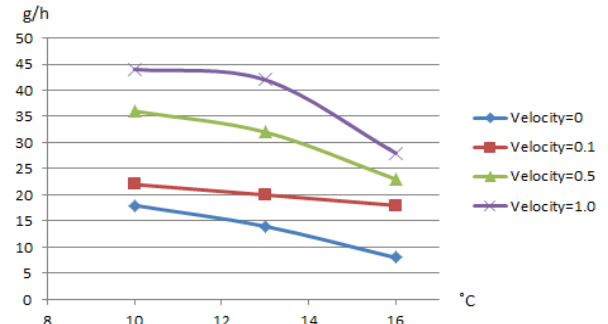


Fig. 6 Condensation rate curve with the Air Velocity

6.3 응축기의 액체 막온도와 대기온도의 변화에 따른 응축실험 결과

응축 챔버 내부의 경계조건을 30℃,80%/응축기 온도를 10℃, 13℃, 16℃로 고정했다. 하지만 실제 응축기의 온도(10℃기준)는 22℃까지 상승했다.

CFD 해석을 이용한 열전달해석을 통하여 응축기 주변의 대기온도가 30℃가 아닌 27℃라는 것을 알 수 있었고 온도분포에 따라 상대습도도 75%까지 감소한다는 것을 알 수 있었다.

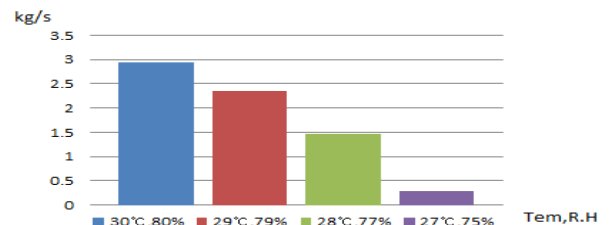


Fig. 7 Temperature/R.H-Condensation rate

6.5 실제 담수 장치에 응축계수를 고려한 응축률 결과값

응축막에 대한 실제 온도와 대기온도/상대습도의 변화에 따른 응축계수 (0.0377), 압력상승 및

평판과의 점성에 대한 계수(0.061)를 고려한 결과 최종적으로 본 연구에 대한 응축률을 예상할 수 있다.

따라서, 실험을 통해 얻어진 응축효율을 고려하고 터빈 블레이드의 실제 사이즈에 적용하여 계산하였다.

7. 결론

본 연구에서는 상대습도와 온도의 변화에 따른 자가발전 응축담수화 장치의 응축률을 Nueeslt의 가정과 평판에서의 평균열전달 계수를 통해서 이론적으로 산출하고자 하였다. 이론을 증명하기 위해서 모델링을 하였으며, 모델링을 통해서 실험값을 산출하였다. 실험값은 이론값과 많은 차이를 보였고, 그 원인을 분석한 결과 아래와 같은 오차의 원인을 얻을 수 있었다.

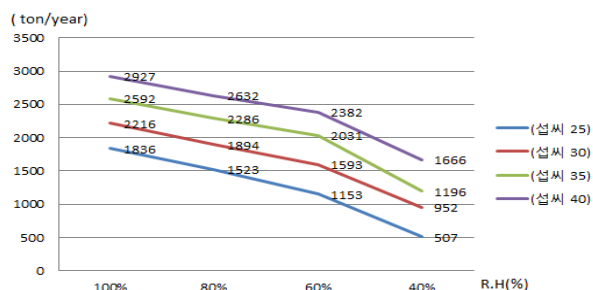


Fig. 8 Relative humidity-Condensation rate Curve

1) 이론에서는 응축기 평판의 낮은 온도를 일정하게 유지하여 계산되어 있지만, 실제 응축기 평판의 온도는 응축막의 영향으로 인해서 응축기 평판의 온도가 상승하였다.

2) 실제 대기 환경에서, 습공기가 응축기 평판으로 접근할 때, 응축기 평판의 낮은 온도의 영향과 제습의 기능으로 응축기 평판 근처에서 온도와 상대습도가 감소하였다. 이는 응축률을 계산하는데 상당한 영향을 끼친다.

3) 실험의 방식 중 강제유동 팬을 구동시켜 응축기 평판과 응축수 사이의 전단력의 영향력을 확인하고자 하였다. 강제유동 팬의 속도를 증가시킬수록 응축률이 증가하였는데, 이러한 실험을 통해서 정확한 전단력 이론식을 산출할 수는 없었지만, 평판과 응축수 사이의 전단력이 어느 정도 응축률에 영향을 미치는지 알 수 있었다.

4) 이론식에 계산되어진 값들은 모두 압력이 약 0.1atm 에 가까울 때 계산된 값들이다. 하지만 실제 대기의 환경은 1atm이기 때문에 습공기와 물의 물성치에서 많이 차이를 가지고 있다.

본 연구를 통해서 이론의 응축률과 실험을 통한 응축률은 많은 오차가 발생했다. 하지만 응축 계수를 적용했을 때, 자가발전 응축담수화 장치에 대한 응축률의 오차를 줄일수 있었다.

오차를 추가적으로 줄이기 위해서는 응축기 평판과 응축수의 전단력을 감소시켜야 한다. 전단력이 감소될 경우 평판에서 응축수가 생산되면 중력에 영향으로 빠르게 하강 할 것이며, 이는 전단력의 영향을 받게 되는 표면장력을 최소화시켜 더욱 높은 응축률을 보일 것으로 기대된다.

후기

본 연구는 서울과학기술대학교 공학교육혁신센터의 캡스톤디자인연구 지원비를 받아 ‘풍력터빈을 이용한 친환경 담수장치 연구개발’을 위해서 수행되었습니다.

참고문헌

- (1) Kim, C. J., Kim, T. G., Son, Y. S, Yong, H. T and Yun, R, 2008, "Fundamentals of Heat and Mass Transfer", 6rd edn., Gyobobook, Korea, pp. 740~744.
- (2) Sung, H. C., Kim, K. H., 2000, "Comparative Analysis of Models for Free Convective Film Condensation on an Isothermal Vertical Wall," *Trans. Korean Soc. Mech. Eng.B*, Vol. 24, No. 10, pp. 1380~2487.
- (3) "Heat transfer material table", 3rd edn., Trans. of JSME.
- (4) Cho, H. H., An, S. K., 2010, "Heat Transfer", Trans. Lecture Note of Chosununiversity with Eco-freindly car of Edoucation center., pp.123~142.



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2012-0056082
(43) 공개일자 2012년06월01일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

C02F 1/14 (2006.01) *B01D 1/00* (2006.01)

B01D 5/00 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2010-0117606

(22) 출원일자 2010년11월24일

심사청구일자 2010년11월24일

(71) 출원인

서울과학기술대학교 산학협력단

서울특별시 노원구 공릉로 232 (공릉동, 서울과
학기술대학교)

(72) 발명자

김철호

서울특별시 노원구 노원로 58, 404동 509호 (공릉동, 우방아파트)

(74) 대리인

이종혁

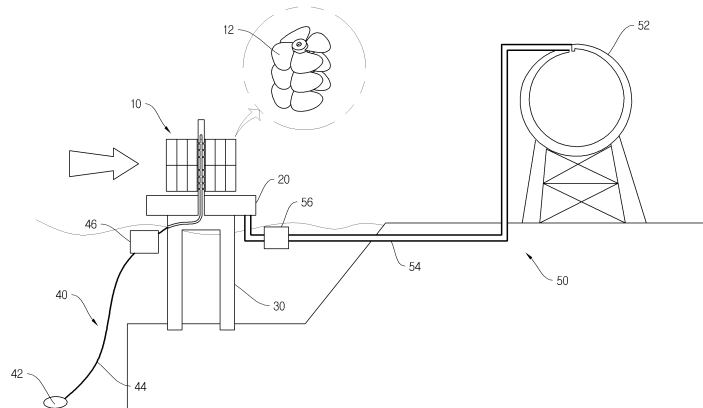
전체 청구항 수 : 총 6 항

(54) 발명의 명칭 풍력터빈을 이용한 담수 생산 장치

(57) 요약

별도의 유한자원이 소모되지 않도록 재생에너지인 태양열에너지와 풍력에너지를 이용하여 인간의 생존에 필요한 식음료를 생산하는 풍력터빈을 이용한 담수 생산 장치가 개시된다. 이를 위하여 근해의 해수면 상부에 설치되고, 해양 풍력에 의해 임펠러가 회전되며, 태양열에 의해 자연 증발되는 수증기를 상기 임펠러의 표면을 이용하여 응축시켜 담수를 생산하는 풍력터빈을 포함하는 풍력터빈을 이용한 담수 생산 장치를 제공한다. 본 발명은 환경과 인체에 해를 입히지 않으면서도 장기간에 걸쳐 대량으로 사용할 수 있는 재생에너지를 사용하므로, 자연을 보호하면서 담수를 생산할 수 있다.

대표도 - 도3



특허청구의 범위

청구항 1

근해의 해수면 상부에 설치되고, 해양 풍력에 의해 임펠러가 회전되며, 태양열에 의해 자연 증발되는 수증기를 상기 임펠러의 표면을 이용하여 응축시켜 담수를 생산하는 풍력터빈을 포함하는 풍력터빈을 이용한 담수 생산 장치.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 임펠러에 일단이 구비되고, 상기 일단에 대응되는 타단이 해수에 구비되어 상기 해수를 임펠러에 제공하는 해수 제공수단을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 풍력터빈을 이용한 담수 생산 장치.

청구항 3

제 2 항에 있어서, 상기 해수 제공수단은

혼합층, 수온약층, 심해층 중 어느 한 층에 위치한 해수 취수 필터와,

상기 해수 취수 필터와 임펠러를 연결하는 해수 이송관, 및

상기 해수 이송관에 설치되어 해수 취수 필터로부터 유입된 해수를 임펠러에 제공하는 해수 펌프를 포함하는 것을 특징으로 하는 풍력터빈을 이용한 담수 생산 장치.

청구항 4

제 1 항에 있어서, 상기 풍력터빈의 하부에 설치되어 상기 풍력터빈으로부터 생산된 담수를 저장하는 담수용기를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 풍력터빈을 이용한 담수 생산 장치.

청구항 5

제 4 항에 있어서,

지면에 설치되어 담수를 저장하는 담수 탱크와,

상기 담수용기와 담수 탱크를 연결하는 담수 이송관, 및

상기 담수 이송관에 설치되어 담수용기에 저장된 담수를 담수 탱크로 제공하는 담수 펌프가 구비된 것을 특징으로 하는 풍력터빈을 이용한 담수 생산 장치.

청구항 6

근해의 해수면 상부에 설치되고, 해양 풍력에 의해 임펠러가 회전되며, 태양열에 의해 자연 증발되는 수증기를 상기 임펠러의 표면을 이용하여 응축시켜 담수를 생산하는 풍력터빈;

상기 풍력터빈의 하부에 설치되어 상기 풍력터빈으로부터 생산된 담수를 저장하는 담수용기;

혼합층, 수온약층, 심해층 중 어느 한 층에 위치한 해수 취수 필터와, 상기 해수 취수 필터와 임펠러를 연결하는 해수 이송관, 및 상기 해수 이송관에 설치되어 해수 취수 필터로부터 유입된 해수를 임펠러에 제공하는 해수 펌프로 이루어진 해수 제공수단;

지면에 설치되어 담수를 저장하는 담수 탱크와, 상기 담수용기와 담수 탱크를 연결하는 담수 이송관, 및 상기 담수 이송관에 설치되어 담수용기에 저장된 담수를 담수 탱크로 제공하는 담수 펌프로 이루어진 담수 저장수단; 및

상기 풍력터빈에 연결되어 풍력터빈으로부터 생산된 전기를 저장하며, 상기 전기를 해수 펌프와 담수 펌프로 제공하는 축전기를 포함하는 풍력터빈을 이용한 담수 생산 장치.

명세서

기술 분야

[0001] 본 발명은 풍력터빈을 이용한 담수 생산 장치에 관한 것으로, 보다 상세하게는 별도의 유한자원이 소모되지 않도록 재생에너지인 태양열에너지와 풍력에너지를 이용하여 인간의 생존에 필요한 식음료를 생산하는 풍력터빈을 이용한 담수 생산 장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 최근 세계적으로 물 부족문제가 대두되고 있지만, 이러한 물 부족은 더욱 심각해질 전망이다. 이와 같은 물 부족 문제를 해결하기 위한 방안으로 댐 건설, 지하수 개발 등이 있으나, 댐 건설의 경우에는 자연환경의 훼손뿐만 아니라 막대한 비용이 소요되기 때문에 쉽지 않고, 지하수 개발의 경우에도 무분별한 개발로 인해 지하수자원이 고갈되어 있을 뿐만 아니라 지하수의 오염이 심각하기 때문에 수자원의 확보가 쉽지 않아 장기적으로는 근본적인 해결책이 되지 못한다.

[0003] 이와 같은 문제점들을 해결하기 위해 미국, 일본, 독일 등은 이미 오래 전부터 바닷물로부터 담수를 얻는 방법들을 개발하여 식수나 공업용수로 사용하고 있다. 일반적으로 바닷물은 주성분인 염화나트륨이 대략 2.7 중량%가 함유되어 있고, 염화마그네슘이 대략 3,800ppm, 황산마그네슘이 대략 1,700ppm, 황산칼슘이 대략 1,300ppm, 황산칼륨이 대략 900ppm이 함유되어 있다.

[0004] 이와 같은 바닷물을 처리하여 담수를 얻기 위해 대한민국 등록특허공보 제10-227327호(99. 11.1 공고)에는 응집제 등을 첨가하지 않으면서 바닷물을 정화할 수 있고, 오존의 이용효율을 향상시킬 수 있는 바닷물 처리방법 및 장치에 대한 기술이 개시되어 있다. 여기서 제안되고 있는 방법은 바닷물에 자기력을 작용하고 오존을 주입한 후, 활성탄으로 이루어지는 촉매층을 통과시켜 재차 응집물을 여과에 의하여 제거시켜서 오존의 이용효율을 높이고자 하는 방법이다. 도 1 및 도 2는 여기서 제안되고 있는 바닷물을 이용하여 담수를 얻는 방법을 위한 오존믹서(자기처리 반응조)를 설명하기 위한 도면이다.

[0005] 도 1을 참조하면, 종래 바닷물을 오존 및 자기처리하기 위한 오존믹서(500)는 PVC관 등의 통형상체(512, 532)상에 연이어 배치되는 자기처리부(510)와 오존주입부(530)로 이루어진다. 이때 자기처리부(510)는 통형상체(512)의 내측벽으로부터 일정한 간격으로 떨어지도록 배치되는 막대형 상자석체(520)가 설치된다. 이 막대형 상자석체(520)는 여러 개의 작은 영구자석들을 N극과 S극이 서로 대향하도록 배열하여 구성된다.

[0006] 도 2를 참조하면, 오존주입부(530)는 통형상체(532)의 외부의 오존발생기로부터 연장되는 L자형의 오존주입관(540)이 삽입되고, 이 오존주입관(540) 주위에 날개체(550)가 설치되며, 날개체(550)보다 하류측에는 다수개의 돌기체(560)가 설치된다. 여기서 날개체(550)는 피처리수의 흐름방향에 대해 30 내지 45°로 경사지고, 서로 역방향으로 비틀려진 한 쌍의 날개판(552, 554)으로 이루어진다. 그리고 다수개의 돌기체(560)는 통형상체(532)의 내측벽면에 고정된 원주부(562)와 이 원주부(562)의 선단에 형성되는 버섯형상부(564)로 이루어져 통형상체(532)의 내측벽면에 갈지자형상으로 배치된다.

[0007] 이와 같은 오존믹서(500)를 사용하여 바닷물을 담수화하는 방법은 원형관을 따라 흐르는 바닷물에 자기처리부(510)에서 자기력이 작용하도록 하고, 오존주입부(530)에서 오존이 혼합되면서 분해되도록 하여 여과기에서 응집물이 제거되도록 하여 담수를 얻도록 하는 것이다.

[0008] 그러나 이와 같은 바닷물의 담수화 방법 및 장치는 바닷물을 대량으로 처리하여 담수를 얻기 위한 시설에는 적합하지 않다. 즉, 이와 같은 종래 장치는 바닷물의 체류시간을 위해 다수개의 오존믹서(500)를 사용할 수밖에 없어 담수 시설을 중복으로 건설해야 하는 문제점이 있고, 오존주입부(530)에서 날개체(550)와 돌기체(560)의 구성만으로는 오존의 효과적인 혼합이 이루어지지 않아 그 효율이 낮으므로 자기처리, 오존 및 여과처리를 2차에 걸쳐 실시해야 하는 문제가 있다. 또한, 상기 장치에 의한 바닷물의 담수화 방법은 바닷물을

응집 → 산화 및 분해 → 여과의 순으로 처리하도록 되어 있으므로, 결국 응집물이 분해되는 결과로 인해 담수의 처리효율이 낮다는 문제가 발생한다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0009] 따라서, 본 발명의 목적은 근해의 해수면에서 태양열에 의해 자연적으로 증발하는 수증기를 해양 풍력에 의해 회전하는 풍력터빈의 날개 표면을 이용하여 응축시킴으로서 담수를 생산하고, 바람에 의해 생산된 풍력에너지를 이용하여 상기 담수를 육지로 이송하는 풍력터빈을 이용한 담수 생산 장치를 제공하는데 있다.

과제의 해결 수단

[0010] 상술한 본 발명의 목적을 달성하기 위하여, 본 발명의 일 실시예에서는 근해의 해수면 상부에 설치되고, 해양 풍력에 의해 임펠러가 회전되며, 태양열에 의해 자연 증발되는 수증기를 상기 임펠러의 표면을 이용하여 응축시켜 담수를 생산하는 풍력터빈을 포함하는 풍력터빈을 이용한 담수 생산 장치를 제공한다.

발명의 효과

[0011] 본 발명에 의한 담수 생산 장치는 동력원으로 풍력энер지를 사용하고, 해수의 증발은 태양열에너지에 의해 이용하기 때문에 구동을 위한 별도의 유한에너지에 사용하지 않는다. 이와 같이, 본 발명은 환경과 인체에 해를 입히지 않으면서도 장기간에 걸쳐 대량으로 사용할 수 있는 재생에너지에 사용하므로, 자연을 보호하면서 담수를 생산할 수 있다.

[0012] 또한, 본 발명은 해수를 이용하여 다량의 담수를 지속적으로 생산할 수 있으므로, 물 부족 문제를 해결할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0013] 도 1 및 도 2는 종래의 오존믹서를 설명하기 위한 도면이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 담수 생산 장치를 설명하기 위한 구성도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0014] 이하, 첨부도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예들에 의한 풍력터빈을 이용한 담수 생산 장치(이하, '담수 생산 장치'라고 한다.)를 상세하게 설명한다.

[0015] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 담수 생산 장치를 설명하기 위한 구성도이다.

[0016] 도 3을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 의한 담수 생산 장치는 해양 풍력에 의해 임펠러(12)가 회전되며, 태양열에 의해 자연 증발되는 수증기를 상기 임펠러(12)의 표면을 이용하여 응축시켜 담수를 생산하는 풍력터빈(10)을 포함하며, 상기 임펠러(12)에 해수를 제공하는 해수 제공수단(40)과 상기 응축된 담수를 저장하는 담수용기(20)를 더 포함할 수 있다.

[0017] 이하, 도면을 참조하여 각 구성요소별로 보다 구체적으로 설명한다.

[0018] 먼저 본 발명의 일 실시예에 의한 담수 생산 장치는 풍력터빈(10)을 포함한다.

[0019] 상기 풍력터빈(10)은 근해의 해수면 상부에 구비되어 태양열에 의해 증발된 수증기를 응축시켜 담수를 생산하는 것으로서, 수증기가 응축된 공간을 제공하는 동시에 풍력에너지에 전기에너지로 변환시키기 위한 임펠러(12)가 구비된다.

- [0020] 도 3에 도시된 바와 같이, 상기 임펠러(12)는 원주 상에 동일간격으로 복수개의 날개가 설치되어 해풍에 의해 회전하는 것으로서, 풍력에너지를 전기에너지로 원활하게 변화시키고 수증기가 응축되는 표면적을 충분히 제공하기 위해 수직방향으로 다수개가 설치될 수 있다.
- [0021] 필요에 따라, 상기 임펠러(12)는 응축효과를 극대화하고, 생성된 응축수(담수)가 중력에 의해 쉽게 중력방향으로 떨어질 수 있도록 날개표면에 예를 들면 발수처리 등의 코팅처리를 할 수 있다.
- [0022] 여기서, 날개가 해수면에 수평적으로 구비되어 있기 때문에, 태양열에 의해 증발되는 수증기는 임펠러(12)의 표면에서 원활하게 응축되어 담수를 형성한다.
- [0023] 한편, 풍력터빈(10)이 해수면의 상부에 구비되기 위해, 풍력터빈(10)을 해저면으로부터 지지하는 풍력터빈 지지대(30)가 풍력터빈(10) 하부에 설치된다. 이러한 풍력터빈 지지대(30)는 해수에 침수되지 않도록 해수면 상부에 풍력터빈(10)을 위치시킬 수 있다면 어떠한 형태로 형성되어도 무방하다.
- [0024] 또한, 상기 풍력터빈(10)과 풍력터빈 지지대(30) 사이에는 풍력터빈(10)으로부터 생산된 담수를 저장하기 위한 담수용기(20)가 구비될 수 있다. 이러한 담수용기(20)는 풍력터빈(10)의 하부에 설치되어 있기 때문에 풍력터빈(10)의 표면으로부터 응축된 후 낙하하는 담수를 저장할 수 있다.
- [0025] 구체적으로, 상기 담수용기(20)는 풍력터빈(10)의 회전에 의해 풍력터빈(10)으로부터 이탈되는 담수를 원활하게 저장할 수 있도록 풍력터빈(10)보다 넓은 면적을 갖도록 형성된다. 그리고 담수용기(20)는 하부에 위치한 해수면으로부터 증발되는 수증기가 풍력터빈(10)으로 원활하게 유입될 수 있도록 중앙에 관통홀이 형성될 수 있다. 또한, 담수용기(20)는 상부에 설치된 풍력터빈(10)으로부터 낙하한 담수가 원활하게 저장될 수 있도록 중공이 형성되고 상부면 전체가 개방되도록 형성되거나 중공이 형성되고 상부면에 다수개의 관통홀이 구비되도록 형성될 수 있다.
- [0026] 그리고 본 발명에 따른 담수 생산 장치는 해수 제공수단(40)을 더 포함할 수 있다.
- [0027] 상기 해수 제공수단(40)은 임펠러(12)의 표면 온도를 낮춰 수증기의 응축효과를 향상시키기 위해 구비되는 것으로서, 이를 위해 임펠러(12)에 일단이 구비되고 상기 일단에 대응되는 타단이 해수에 구비되어 임펠러(12)에 해수를 제공한다.
- [0028] 구체적으로, 해수 제공수단(40)은 해수 취수 필터(42)와, 해수 이송관(44), 및 해수 펌프(46)를 포함한다.
- [0029] 상기 해수 취수 필터(42)는 혼합층, 수온약층, 심해층 중 어느 한 층에 위치하며, 혼합층, 수온약층 또는 심해층의 해수를 여과하여 흡입하는 역할을 수행한다.
- [0030] 상기 해수 이송관(44)은 해수 취수 필터(42)와 임펠러(12)를 연결하여 해수 취수 필터(42)로부터 유입된 해수를 임펠러(12)에 제공하는 역할을 수행한다. 도 3에 도시된 바와 같이, 상기 해수 이송관(44)은 풍력터빈(10)에 형성되는 수증기의 응축을 방해하지 않는 상태로 해수를 임펠러(12)에 제공할 수 있도록 일단부가 임펠러(12)의 중심부를 관통하도록 형성된다.
- [0031] 특정 양태로서, 상기 해수 이송관(44)으로는 해수의 압력에 의한 변형의 방지를 위해 강화플라스틱복합관을 사용할 수 있다. 이러한 강화플라스틱복합관은 유리섬유, 불포화폴리에틸렌수지, 골재를 주원료로 하며, 내외면은 유리섬유강화층이고, 중간층은 수지모르타르인 복합관을 사용할 수 있다.
- [0032] 상기 해수 펌프(46)는 해수 이송관(44)에 설치되어 해수 취수 필터(42)로부터 유입된 해수를 임펠러(12)에 제공하는 것으로서, 이러한 목적을 달성할 수 있다면 어떠한 펌프를 사용하여도 무방하다.
- [0033] 또한, 본 발명의 일실시예에 의한 담수 생산 장치는 담수 저장수단(50)을 더 포함할 수 있다.
- [0034] 상기 담수 저장수단(50)은 풍력터빈(10)을 통해 지속적으로 생산한 담수를 원활하게 저장하기 위해 구비되는 것으로서, 담수 탱크(52)와, 담수 이송관(54), 및 담수 펌프(56)를 포함한다.
- [0035] 상기 담수 탱크(52)는 풍력터빈(10)으로부터 지속적으로 생산된 담수를 저장할 수 있도록 지면에 설치된 장치로서, 이러한 목적을 달성할 수 있다면 어떠한 저장 탱크를 사용하여도 무방하다.
- [0036] 상기 담수 이송관(54)은 담수용기(20)와 담수 탱크(52)를 연결하여 담수용기(20)로부터 유입된 담수를 담수

탱크(52)에 제공하는 역할을 수행한다.

[0037]

[0038]

아울러, 본 발명의 일실시예에 의한 담수 생산 장치는 축전기(미도시)를 더 포함할 수 있다.

[0039]

상기 축전기는 해풍에 의해 풍력터빈(10)의 임펠러(12)가 회전하며 생산하는 전기를 저장하는 것으로서, 이를 위해 풍력터빈(10)에 연결설치된다.

[0040]

이때, 축전기는 저장된 전기를 해수 펌프(46)와 담수 펌프(56)에 제공하여 해수 펌프(46)와 담수 펌프(56)를 구동시킨다.

[0041]

이와 같이, 본 발명에 따른 담수 생산 장치는 태양열에너지에 사용하여 해수로부터 담수를 생산하고, 풍력에너지를 이용하여 상기 담수의 생산을 보조하며 기 생산된 담수를 지면에 구비된 담수 저장수단(50)으로 이송한다. 즉, 본 발명에 따른 담수 생산 장치는 석탄, 석유 등의 유한에너지가 아닌 재생에너지만을 사용하여 지속적으로 담수를 생산할 수 있다.

[0042]

따라서, 본 발명은 풍력터빈(10), 해수 제공수단(40), 담수 저장수단(50)을 구동시키기 위한 비용이 발생하지 않고, 유한에너지의 사용에 의해 환경 오염 문제가 유발되는 것을 방지할 수 있으며, 지속적으로 생산되는 담수에 의해 물 부족 문제를 해결할 수 있다.

[0043]

이상에서 본 발명의 바람직한 실시예를 참조하여 설명하였지만, 해당 기술분야의 숙련된 당업자는 하기의 특허청구범위에 기재된 본 발명의 사상 및 영역으로부터 벗어나지 않는 범위 내에서 본 발명을 다양하게 수정 및 변경시킬 수 있음을 이해할 수 있을 것이다.

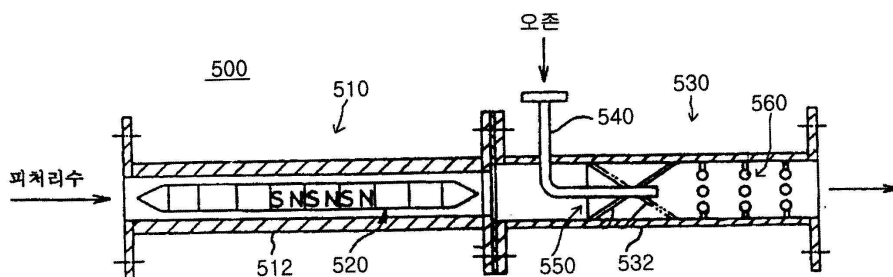
부호의 설명

[0044]

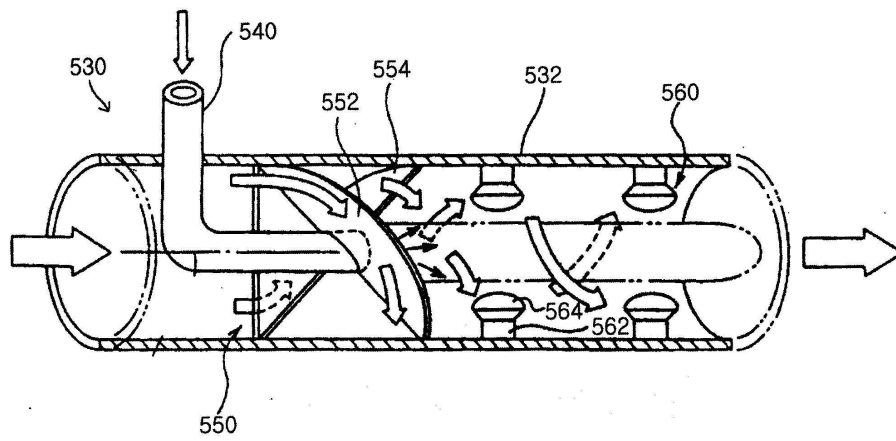
10 : 풍력터빈	20 : 담수용기
30 : 풍력터빈 지지대	40 : 해수 제공수단
42 : 해수 취수 필터	44 : 해수 이송관
46 : 해수 펌프	50 : 담수 저장수단
52 : 담수 탱크	54 : 담수 이송관
56 : 담수 펌프	

도면

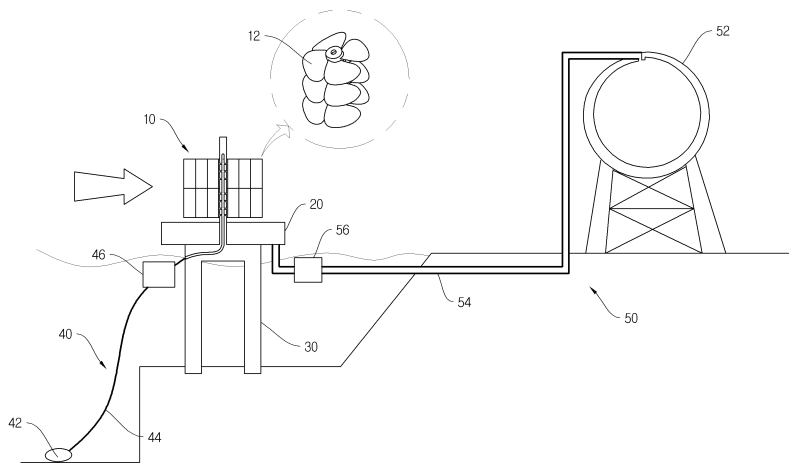
도면1



도면2



도면3



[부록] 시제품사진

축소모형 시제품





풍동실험 실증시험장비





주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 첨단도시개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.

별지 15. 연구개발결과 활용계획서

연구개발결과 활용계획서

A. 과제 일반정보

사 업 명	국토교통기술촉진사업		과학기술표준분류	M0606
과 제 유 형	☐ 기초 ☐ 응용 ☒ 개발	실용화대상여부	☒ 실용화 ☐ 비실용화	
연구과제명	도심 빌딩옥상에 적용가능한 10kW급 풍력발전시스템 개발 연구	과 제 구 분	☐ 일 반 ☒ 연구단 ☐ 사업단	
주관연구기관	서울과학기술대학교	연구책임자	정 광 섭	
세 부 과 제 명	-			
협동연구기관	-	연구책임자	-	
총 연구기간	2012년 4월 10일 ~ 2014년 4월 30일 (25개월)			
총 연구개발비	정부출연금	민간부담금	합계	
(단위 : 천원)	200,000,000원	101,000,000원	301,000,000원	
공동연구기관	-			
참 여 기 업	(주)케이디에이, (주)제이케이엔지니어링			
구 분	성과활용책임자		성과활용실무자	
성 명	김재일		곽승렬	
소속기관/부서	(주)케이디에이		(주)케이디에이	
E-mail	jikim1955@naver.com		kwak6871@naver.com	
연락처	010-8983-3450		010-5331-6871	

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제35조(연구개발결과의 보고) 제2항에 의거 연구개발결과 활용계획서를 제출합니다.

붙임 1. 성과총람 원고 1부.

2. 기술소개자료 각 1부(기술별).

2014 년 7월 10일

주관(협동) 연구기관장 : 정 광 섭 (직인)

B. 요소기술 정보

☐ 요소기술 총괄

과제명 (세부과제명)	해당 기관명	핵심연구성과	요소기술*	정부출연금 (백만원)	기술실시계약 대상여부**	비고
1세부 : 도심 빌딩옥상에 적용가능한 10kW급 풍력발전시스 템 개발 연구	주관 : 서울과 학기술 대학교	횡류형 수직축 풍력발전시스템	1-가.	200	대상	-
	공동 :	-	-	-	-	-
소 계				200	-	-
연구단 운영비				101	-	-
합 계				301	-	-

- 귀 기관의 R&D를 통해 창출된 주요 요소기술 정보를 작성해 주십시오.
- 요소기술이 2개 이상인 경우, 해당 양식을 추가하여 작성해 주십시오.(요소기술 수만큼 기재)
- 요소기술: R&D 성과물을 구성하는 단위기술로서, 기술이전이나 활용의 대상이 되는 단위 성과물

구 분	1-가
요소기술명	횡류형 수직축 풍력발전시스템
기술개요	
관련 키워드	풍력터빈, 전산유체동력학, 풍동실험, 횡류형 풍력터빈, 풍력발전
기술 분류	(첨부한 기술분류표를 참조하여 세분류를 기재하십시오.)
결과물 유형*	☐ 공법/기법 ☒ 장비/장치 ☐ 재료/자재 ☐ SW ☒ 시스템 ☐ 기준/지침 ☐ 기타
기술수명주기**	☒ 기술도입기 ☐ 기술성장기 ☐ 기술성숙기 ☐ 기술쇠퇴기

* 본 보고서는 R&D 결과물의 유형을 아래와 같이 분류하고 있습니다. 내용을 충분히 숙지하시고 귀 기관이 수행한 R&D 과제에 해당하는 것을 선택해 주십시오.

번호	구분	내용	예시
1	공법/기법	기존 장비와 자재 등을 활용하되, 새로운 절차 및 방법을 제시	시공방법, 설계기법, 분석/평가기법
2	장비/장치	새로운 기계적 구조나 작동원리를 활용하여 기존 장치와 설비를 대체	기계, 로봇, 부품, 측정장치
3	재료/자재	새로운 원료, 재료를 활용하여 기존의 것을 대체	FRP, 강화 콘크리트, 철강재료
4	S/W	새로운 Data Base, 해석 및 설계 방법을 적용한 컴퓨터 프로그램	설계 프로그램, 사업관리시스템, 데이터베이스
5	시스템	다양한 장치와 S/W가 결합하여 일체로 활용되는 유형	고속철도, 경량전철, 공조시스템
6	기준/지침(안)	각종 법령, 건설공사기준, 지침 등	건설교통 법령, 설계기준, 시공기준 안전기준, 표준
7	기 타	()	인프라구축, 정책기획 등

** 아래 기술수명주기 분류를 참조하시어 해당되는 단계를 선택해 주십시오.

번호	구분	내용
1	기술도입기	기술의 잠재적 가능성만 있는 단계
2	기술성장기	기술개발국 및 일부 선진국에서 활용되고 있는 단계
3	기술성숙기	선진국 사이에서 활발한 기술이전이 일어나며, 기술의 표준화가 되어가는 단계
4	기술쇠퇴기	선진국에서 개도국으로 기술이전이 활발하게 일어나고, 선진국에서는 기술의 가치가 저하되나, 개도국에서는 아직 시장의 가치가 높은 기술

C. 성과활용 네트워크 정보

- 귀 기관의 R&D를 통해 개발된 기술을 활용하기 위해 필요한 시험·검증, 현장적용 및 수요기업 정보를 작성해 주십시오.
- 요소기술이 2개 이상인 경우, 해당 양식을 추가하여 작성해 주십시오.(요소기술 수만큼 기재)

요소기술 구분	1-가	요소기술명	횡류형 수직축 풍력발전시스템
구 분		주체명	
연구개발결과 시험·검증기관		해당없음	
연구개발결과 수요기업		해당없음	
연구개발결과 현장적용 기관·업체		해당없음	
연구개발결과 추가 R&D(사업비) 투자·자문 기관		해당없음	

D. 성과 정보

- 귀 기관의 성과 정보에 대한 자료 수집을 위한 것입니다.
- 본 과제를 통해 발생한 성과를 기재해 주십시오.

1. 특허등록

No.	요소기술 구분	특허명칭	등록번호	등록일	출원인 (등록권리자)
A-1	1-가	풍력터빈을 이용한 담수 생산 장치	10-2010-0117606	20101124	김철호 (서울과학기술대학교)
A-2	1-가	풍력발전 유닛 및 수직적층형 풍력발전시스템	10-2013-0157200	20131217	정광섭, 김철호, 광승렬 (서울과학기술대학교)
A-3	1-가	Wind Power Generation unit and	PCT/KR2013/011718	20131217	정광섭, 김철호, 광승렬 (서울과학기술대학교)

2. 학술지 게재

No.	요소기술 구분	SCI/ 일반	논문명	학술지명	ISBN ISSN	주저자명	Vol. (No)	시작 페이지	끝 페이지	게재 일자
B-1	1-가	일반	수직구조물 후방의 와류현상이 구조물에 설치된 벤투리관의 유체가속 효과에 미치는 영향에 관한 해석 연구	설비공학논문집	1229-6422	정광섭	25권 2호	94	100	2013.2.25
B-2	1-가	일반	횡류형 터빈을 적용한 수직축 풍력발전 시스템의 성능평가를 위한 실험 연구	한국산학기술학회논문지	1975-4701	조현성	제15권 제3호	1272	1278	2014.5.3
B-3	1-가	일반	도심지 건물적용을 위한 풍력발전기의 진동 및 소음 평가	한국생활환경학회 동계학술대회 논문집	1226-1289	정광섭	-	-	-	2012.12.1
B-4	1-가	일반	응축방식을 이용한 담수화 시스템의 성능예측을 위한 분석 연구	대한설비공학회 학술발표대회논문집	1229-6422	김철호	Vol.2013 No.11	186	194	2013.11.22

3. 소프트웨어 등록

No.	요소기술 구분	SW명칭	창작일	저작자명	등록일	등록번호	저작권자명
E-1	-	-	-	-	-	-	-
E-2	-	-	-	-	-	-	-

4. 신기술 지정

No.	요소기술 구분	명칭	출원일	고시일	보호기간	지정번호
F-1	-	-	-	-	-	-
F-2	-	-	-	-	-	-

5. 시제품 제작

No.	요소기술 구분	시제품명	출시/제작일	제작업체명	설치장소	이용분야
C-1	1-가	풍력발전 축소모형 시제품 제작	2012.12	(주)부품디비	서울과학기술 대학교 프론 티어관 702호	풍력발전연구
C-2	1-가	실증시험을 위한 축소모델 및 성능평 가 실험장치 설계 및 제작	2013.09	(주)부품디비	서울과학기술 대학교 프론 티어관 702호	풍력발전연구

6. 현장시험*

No.	요소기술 구분	현장시험명	시험일	시험장소	주요내용
D-1	1-가	프로토타입 2kW급 수직축 횡류형 풍력발전 터빈성능시 험	2013.11.01.~02	현대건설 마북동 풍동실험장	2kW급 풍력터빈의 출력성능을 시험

* 현장시험: 개발기술의 보완이나 검증을 위하여 실험현장에 최초로 시험·적용하는 행위

7. 표준/인증

No.	요소기술 구분	인증번호 (규격번호)	인증명	취득일	취득기관	관리기관
K-1	-	-	-	-	-	-
K-2	-	-	-	-	-	-

8. 정책채택

No.	요소기술 구분	구분	정책명	관련기관 (담당부서)	시행일시	채택내용
L-1	-	-	-	-	-	-
L-2	-	-	-	-	-	-

9. 법령 반영

No.	요소기술 구분	구분	활용구분 (신규/개선)	명 칭	해당조항	시행일시	관리부처	제정/개선내용
M-1	-	-	-	-	-	-	-	-
M-2	-	-	-	-	-	-	-	-

10. 설계기준, 시방서, 지침에 반영

No.	요소기술 구분	구 분 (설계기준/시방서/지침)	활용구분 (신규/개선)	설계기준/시방서/지침 명칭	반영일시	반영내용
J-1	-	-	-	-	-	-
J-2	-	-	-	-	-	-

11. 기술실시계약

No.	요소기술 구분	계약명	실시기업명	계약체결일	기술사용 시작일	기술사용 종료일	징수일자	징수금액 (천원)	계약 유형
G-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G-2	-	-	-	-	-	-	-	-	-

12. 사업화/제품화

No.	요소기술 구분	사업화명	사업화내용	업체명	사업자 등록번호	매출액(천원)	매출발생년도	고용실적(명)
H-1	-	-	-	-	-	-	-	-
H-2	-	-	-	-	-	-	-	-

13. 현장적용(시공)**

No.	요소기술 구분	발주기관명	시공업체명	적용현장명	공사시작일	공사종료일	공사금액(천원)***
I-1	-	-	-	-	-	-	-
I-2	-	-	-	-	-	-	-

** 현장적용(시공): 사업화주체(기업)가 개발기술을 실제 공사현장(수주)에 적용하여 매출이 발생하는 경우

***공사금액: 당해 기술이 적용된 공사의 총공사금액

E. 성과활용 정보

- 귀 기관의 성과활용 정보에 대한 자료 수집을 위한 것입니다.
- 요소기술이 1개 이상인 경우, 해당 양식을 추가하여 작성해 주십시오.(요소기술 수만큼 기재)

구분	1-가	요소기술명	횡류형 수직축 풍력발전시스템																			
※ 본 보고서에서 사용하는 “성과의 활용”이란 용어는 아래와 같은 의미를 가지고 있습니다. “국토교통 R&D 성과의 활용”이란? 국토교통 R&D 성과가 산업적 활용을 통해 부가가치를 창출하거나 공공적 활용을 통해 공익에 기여하는 경우에 대해 <활용되었다>고 판단합니다. 본 조사에서는 사업화/기업화에 의한 제품의 매출발생, 입찰 및 발주 절차를 거친 공법 등의 실제 공사 현장적용을 성과 활용으로 분류하고 있습니다. 다만 R&D의 목적이 법/기준/지침 마련인 경우, 법/기준/지침의 반영을 성과 활용으로 분류합니다.																						
1. 위 내용을 고려하였을 때 현재시점(R&D 종료)에서 귀 기관의 R&D 결과물은 그 성과가 활용되었습니까? (2) 1. 예, 활용되었습니다. 2. 아니요, 활용되지 않았습니다.																						
2. 귀 기관이 수행한 건설교통 R&D 사업의 종료 후, 결과물이 활용되기까지 거쳐야 하는 프로세스를 <보기>와 같은 단계로 정의하였습니다. 귀 기관의 R&D 결과물의 활용프로세스 상 현재 단계를 표시하여 주십시오. <보기> R&D사업 종료 후 성과 활용에 이르는 단계 <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 10%;">단계</th><th style="width: 30%;">단 계 명(R&D 종료시점)</th><th style="width: 60%;">단 계 정 의</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2" style="text-align: center;">I</td><td>기술 개발 단계</td><td rowspan="2" style="text-align: center;">국가 R&D 사업을 통해 연구개발이 완료된 단계</td></tr> <tr> <td>☒완료</td></tr> <tr> <td rowspan="2" style="text-align: center;">II</td><td>기술 검증·보완 단계</td><td rowspan="2" style="text-align: center;">시제품 제작, 현장시험적용 등을 통해 기술을 검증하고 보완하여 기술적 완성도를 높이는 단계</td></tr> <tr> <td>☐준비 ☒진행중 ☐완료</td></tr> <tr> <td rowspan="2" style="text-align: center;">III</td><td>실용화 추진 단계(마케팅)</td><td rowspan="2" style="text-align: center;">제품판매 및 공사수주를 위한 마케팅(제안·홍보·입찰 등) 단계</td></tr> <tr> <td>☐준비 ☐진행중</td></tr> <tr> <td rowspan="2" style="text-align: center;">IV</td><td>시장수용 단계</td><td rowspan="2" style="text-align: center;">제품 판매나 공사 수주를 통해 실제 매출이 발생하는 단계</td></tr> <tr> <td>☐초기발생 ☐지속발생</td></tr> </tbody> </table>				단계	단 계 명(R&D 종료시점)	단 계 정 의	I	기술 개발 단계	국가 R&D 사업을 통해 연구개발이 완료된 단계	☒ 완료	II	기술 검증·보완 단계	시제품 제작, 현장시험적용 등을 통해 기술을 검증하고 보완하여 기술적 완성도를 높이는 단계	☐ 준비 ☒ 진행중 ☐ 완료	III	실용화 추진 단계(마케팅)	제품판매 및 공사수주를 위한 마케팅(제안·홍보·입찰 등) 단계	☐ 준비 ☐ 진행중	IV	시장수용 단계	제품 판매나 공사 수주를 통해 실제 매출이 발생하는 단계	☐ 초기발생 ☐ 지속발생
단계	단 계 명(R&D 종료시점)	단 계 정 의																				
I	기술 개발 단계	국가 R&D 사업을 통해 연구개발이 완료된 단계																				
	☒ 완료																					
II	기술 검증·보완 단계	시제품 제작, 현장시험적용 등을 통해 기술을 검증하고 보완하여 기술적 완성도를 높이는 단계																				
	☐ 준비 ☒ 진행중 ☐ 완료																					
III	실용화 추진 단계(마케팅)	제품판매 및 공사수주를 위한 마케팅(제안·홍보·입찰 등) 단계																				
	☐ 준비 ☐ 진행중																					
IV	시장수용 단계	제품 판매나 공사 수주를 통해 실제 매출이 발생하는 단계																				
	☐ 초기발생 ☐ 지속발생																					
3. 위 2에서 I~III단계라고 응답한 경우, R&D 결과물을 활용하기 위해 지속적인 활동을 진행하실 예정입니까?(1) 1. 예, 계속 활용을 추진할 예정입니다. 2. 아니요, 활용추진을 중단하였습니다.																						
4. 귀 기관이 위 2번에서 응답한 단계까지 수행한 주요 활동내용을 구체적으로 설명해 주십시오. ※ 만약 귀 기관이 위 2번에서 III단계라고 응답한 경우, I 단계, II 단계, III단계의 주요 활동내용(주제, 시기, 산출물이나 공사명 등을 구체적으로 기입)을 작성해 주십시오. ※ 수행한 주요 활동내용을 기재하시고 B. 성과 및 활용정보에서 기재한 활용성과 번호를 함께 기재해 주십시오.																						

단계	단계명	주요 활동내용
I	기술 개발 단계	2kW급 풍력발전시스템 이론설계 완료 설계완성모델의 성능예측완료
II	기술 검증·보완 단계	2:1축소모델 설계 제작완료 2:1축소모델 성능시험장치설계 제작 2:1축소모델의 성능시험 완료
III	실용화 추진 단계	-
IV	시장 수용 단계	-

F. 성과활용 계획

- 귀 기관의 성과활용 계획에 대한 자료 수집을 위한 것입니다.
- 요소기술이 1개 이상인 경우, 해당 양식을 추가하여 작성해 주십시오.(요소기술 수만큼 기재)

구분	1-가	요소기술명	횡류형 수직축 풍력발전시스템		
1. 동 연구개발결과의 향후 5년간(활용보고서 제출 기간) 성과활용 목표·계획을 표기해 주십시오.					
단 계	종료 후 1년	종료 후 2년	종료 후 3년	종료 후 4년	종료 후 5년
I	기술 개발 단계	기술 개발 단계	기술 개발 단계	기술 개발 단계	기술 개발 단계
	☒ 완료	☒ 완료	☒ 완료	☒ 완료	☒ 완료
II	기술 검증·보완 단계	기술 검증·보완 단계	기술 검증·보완 단계	기술 검증·보완 단계	기술 검증·보완 단계
	☒ 준비 ☒ 진행중 ☐ 완료	☒ 준비 ☒ 진행중 ☐ 완료	☒ 준비 ☒ 진행중 ☒ 완료	☒ 준비 ☒ 진행중 ☒ 완료	☒ 준비 ☒ 진행중 ☒ 완료
III	실용화 추진 단계 (마케팅)	실용화 추진 단계 (마케팅)	실용화 추진 단계 (마케팅)	실용화 추진 단계 (마케팅)	실용화 추진 단계 (마케팅)
	☐ 준비 ☐ 진행중	☐ 준비 ☐ 진행중	☒ 준비 ☐ 진행중	☒ 준비 ☒ 진행중	☒ 준비 ☒ 진행중
IV	시장수용 단계	시장수용 단계	시장수용 단계	시장수용 단계	시장수용 단계
	☐ 초기발생 ☐ 지속발생	☐ 초기발생 ☐ 지속발생	☐ 초기발생 ☐ 지속발생	☐ 초기발생 ☐ 지속발생	☒ 초기발생 ☐ 지속발생
2. 귀 기관이 위 1번에서 응답한 활용계획의 주요 활동내용(예정/기획)을 구체적으로 설명해 주십시오.					
단 계	단계명	주요 활동내용			
		주체*	성과물**/개수	시기	내용
I	기술 개발 단계	서울과학기술대학교	위의 성과물갯수	R&D종료시점	R&D 기간 내 완료
II	기술 검증·보완 단계	서울과학기술대학교, (주)케이디에이	축소모델시험/1회	R&D종료시점	R&D 기간 내 완료
III	실용화 추진 단계	(주)케이디에이	1:1실증시험/1회	~종료후 3년	연구개발결과 기술이전
IV	시장 수용 단계	(주)케이디에이	제품화/ 3개	~종료후 5년	발전시스템 3회 시공
* 주체: 연구주관기관(연구책임자)과 함께 Co-Work을 진행하는 기업/기관명 ** 성과물: 각 단계별 성과활용 과정에서 발생한 성과물(예: 시험적용, 시제품, 현장적용 등)					
3. 귀 기관의 R&D 결과물을 활용하기 위해서는 기준이나 지침의 제·개정이 필요합니까? (2)					
1. 예, 필요합니다.					
2. 아니오, 필요하지 않습니다.					
4. 위 3에서 1번이라고 응답한 경우, 향후 기준/지침 채택을 위한 세부적인 활동 계획을 설명해 주십시오.					

구 분 (설계기준/시방서/지침)	활용구분 (신규/개선)	내용
-	-	-

국토교통연구개발사업 성과총람 원고

주관연구기관명	서울과학기술대학교
연구책임자명	정 광 섭

I. 과제 기본정보

사업명	국토교통기술촉진연구사업	
최상위과제명	도심 빌딩옥상에 적용가능한 10kW급 풍력발전시스템 개발 연구	
(핵심·세부) 과제명	-	
연구책임자 정보	(성 명) 정 광 섭 (전 화) 010-8746-1607 (이메일) kschung@seoultech.ac.kr (소 속) 서울과학기술대학교 건축학부 건축공학과	

II. 연구개발 배경 및 목표

1. 연구배경

정부는 ‘저탄소 녹색성장’을 향후 60년의 새로운 국가비전으로 제시 하였다. ‘저탄소 친환경 기술’은 새로운 성장을 이끌어낼 전략산업이라는 인식이 전 세계적으로 확산되고 있다. 일류 선진국가의 경우 에너지산업에 대한 적극적인 지원과 투자를 하고 있다. 선진국 대열에 진입 하고, 더 나아가 에너지산업을 리드하기 위해서는 저탄소친환경 기술 및 신재생에너지에 대한 기술 투자와 기술력을 확보해야 한다.

본 연구는 이러한 흐름에 부합하는 기술 개발을 목표로 하고 있으며, 자원의 효율적 환경 친화 기술이라는 측면에 큰 뜻을 두고 있다. 풍력발전을 통해 에너지를 생산하는 기술은 환경 친화적, 경제적 발전을 넘어 국가 비전 및 미래에 부합되는 기술이다.

2. 연구목표

본 연구에서는 저 풍속(4m/s이하)에서도 발전이 가능한 풍력발전시스템의 개발을 통해 도심 건물에서 필요한 전기에너지를 공급함과 동시에 CO2 저감을 통한 탄소배출권 확보에 기여하게 된다.

개발 풍력발전시스템의 특징

- 저 풍속(4m/s이하)에서도 발전이 가능한 시스템(벤투리 유로시스템 도입)
- 에너지변환 효율이 45% 이상인 횡류형 원심터빈 적용
- 타워형 기술적용을 통한 제한된 공간에서의 높은 에너지 밀도
- 저 소음, 저 진동을 특징으로 하는 원심형 터빈 도입
- 가변 풍량에 따른 최적 발전량을 결정하는 시스템의 특징

Ⅲ. 연구개발 내용 및 결과물

1. 주요 연구내용

(1) 횡류형 수직풍력발전시스템의 가용성 평가

- 풍력터빈의 설계이론 정리
- 풍력발전시스템의 설계이론 정리
- 풍력발전시스템의 성능평가이론 정리
- 풍속 변화에 따른 성능 예측 이론정리
- CFD 시뮬레이션을 통한 모델 시스템의 성능 예측

(2) 타워형 구조물의 설계안 도출 및 외형 설계

- 타워형 구조물의 설계이론 정리
- 도심의 주거용 건축물에 적용 가능성 분석
- 건물 형태를 고려한 설계이론 정리
- 구조물 외형에 따른 변화 분석

(3) 횡류형 터빈의 병렬구조에 따른 진동 및 소음에 대한 시뮬레이션 해석

- 소음 진동 설계이론 정리
- 음향장 · 진동모드 해석
- 소음 분석평가
- 진동 분석평가

(4) 풍력발전시스템의 성능평가를 위한 시험 장치 개발 및 개선

- 2kW급 모델 풍력발전시스템의 풍동실험을 통한 검정
- 2kW급 모델 풍력발전시스템의 완성

(5) 입구 가이드베인 및 발전시스템의 시험장치 설계

- 가이드베인 설치에 따른 하중 시뮬레이션
- 발전시스템 시험장치 설계안 도출

(6) 풍력시스템 하우징과 건축구조물 사이의 진동특성 평가

- 진동 해석을 통한 성능평가

(7) 2kW급 풍력시스템 실증 시험으로 2kW급 발전시스템 설계

- 2kW급 실증용 풍력시스템 설계안 및 성능평가 실험

(8) 입구 가이드베인의 구조물 및 발전시스템의 설치 베드 설계안 확정

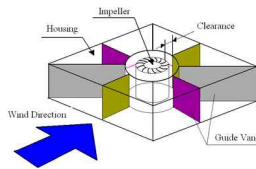
- 가이드베인 구조물 설치에 따른 터빈 성능 평가
- 발전시스템 설치 베드 설계안 확정

(9) 10kW급 풍력 발전시스템의 설계안 확정

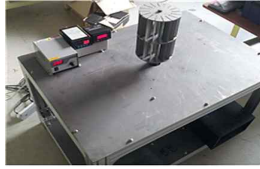
- 10kW급 풍력발전시스템의 설계안 도출

2. 연구개발 결과

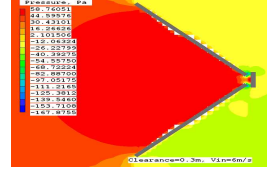
(1) 횡류형 수직풍력발전시스템의 가용성 평가



설계이론 정리

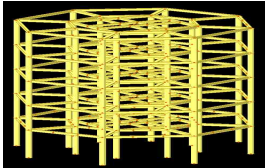


축소모형 제작

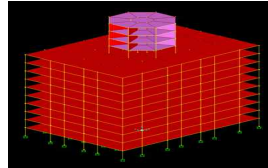


CFD 분석모습

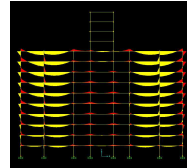
(2) 타워형 구조물의 설계안 도출 및 외형 설계



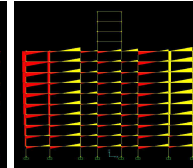
타워형 구조물 설계



구조 안전성 분석

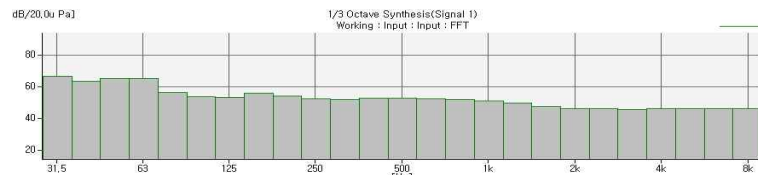


모멘트 및 전단력 다이어그램



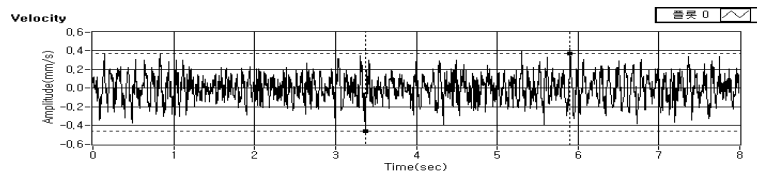
(3) 횡류형 터빈의 병렬구조에 따른 진동 및 소음에 대한 시뮬레이션 해석

- 소음 진동 설계이론 정리
- 음향장 · 진동모드 해석
- 소음 분석평가



5층 wind-turbine 옥타브별 소음측정결과

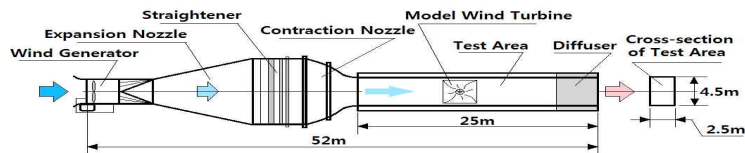
- 진동 분석평가



6층 Wind-turbine Time history (수직방향) 0.4/-0.48mm/sec

(4) 풍력발전시스템의 성능평가를 위한 시험 장치 개발 및 개선

- 2kW급 모델 풍력발전시스템의 풍동실험을 통한 검정



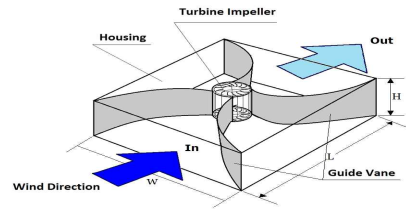
- 2kW급 모델 풍력발전시스템의 완성



2. 연구개발 결과

(5) 입구 가이드베인 및 발전시스템의 시험장치 설계

- 가이드베인 설치에 따른 하중 시뮬레이션
- 발전시스템 시험장치 설계안 도출

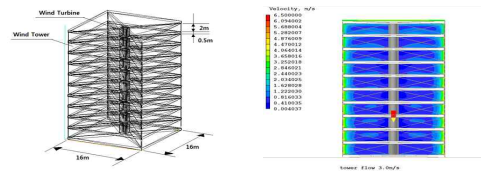


(6) 풍력시스템 하우징과 건축구조물 사이의 진동특성 평가

- 진동 해석을 통한 성능평가

(7) 2kW급 풍력시스템 실증 시험으로 2kW급 발전시스템 설계

- 2kW급 실증용 풍력시스템 설계안 및 성능평가 실험

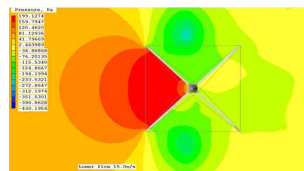


구조물 모델링

성능평가실험

(8) 입구 가이드베인의 구조물 및 발전시스템의 설치 베드 설계안 확정

- 가이드베인 구조물 설치에 따른 터빈 성능 평가



- 발전시스템 설치 베드 설계안 확정

(9) 10kW급 풍력 발전시스템의 설계안 확정

- 10kW급 풍력발전시스템의 설계안 도출

3. 연구개발 성과

(1) 공공적 성과

- 풍력발전을 통한 신재생에너지확보
- 신재생에너지를 확보하여 CO₂ 배출권 확보
- 국내 발전사의 RTS법에 의한 탄소배출권의 경제적 해결

(2) 기술적 성과

신재생에너지의 한 분야인 풍력발전시스템에 관한 내용으로 기존의 축류형 풍력발전시스템과는 달리 바람의 방향에 상관없이 저 풍속에서도 발전이 가능하며 축류형 풍력터빈의 적용으로 높이방향으로 터빈을 쌓아 올림으로써 단위 면적당 발전용량이 높아져 주어진 공간에서 기존 축류형 풍력시스템에 비해 에너지밀도를 극대화 할 수 있다는 장점이 있으며, 축류형 터빈의 적용으로 진동과 소음의 문제가 대폭 개선된 풍력발전 터빈시스템의 개발에 연구의 목적을 두고 있다. 이러한 장점으로 인해 도심의 건물 최상층에 그 지역의 풍력특성을 고려하여 일정규모의 풍력터빈을 설치, 운용함으로써 건물 운용에 필요로 하는 전기에너지의 일부를 신재생에너지로 공급이 가능하다.

(3) 학술적 성과

- 현재까지 적용된 적 없는 횡류형 수직축 풍력터빈의 설계안 도출
- 가이드베인을 이용하여 풍향에 관계없는 발전가능
- 벤추리 효과를 적용한 저풍속(4m/s) 발전가능

(4) 경제적 성과

건물운용에 필요로 하는 전기에너지의 일부를 신재생에너지로 공급이 가능하며, 이를 통해 이산화탄소 배출량의 저감효과도 기대할 수 있을 것으로 기대한다.

또한 본 연구 과제를 통해 에너지 위기에 대응방안으로 신재생에너지 및 에너지효율화 기술 개발 및 기술력 확보와 환경오염예방 기술 특허로 에너지 산업의 활성화를 도모하여 지역산업 활성화, 고용창출, 에너지산업기술 개발에 따른 산업체간의 경쟁, 수출경쟁력 확보 등의 효과도 기대할 수 있다.

(5) 기타 성과

- 적층형 발전방식 도입하여 토지면적당 발전 가능한 에너지 밀도를 높일 수 있다.
- 타워구조물 전후방의 압력차이 증가로 인하여 발전효율을 높일 수 있다.

IV. 활용계획 및 기대효과

1. 활용계획

- 도심 건축물 옥상에 적용 가능한 저속(4m/s정도) 풍력발전 시스템 원천기술 확보
- Ducted 횡류형 수직풍력터빈의 적용을 통한 진동, 소음 최소화를 통한 친환경 풍력발전시스템 기술력 확보
- 타워형 구조물 도입을 통한 바람의 방향에 상관없이 가동율이 85%이상인 시스템 개발 및 실용화
- 고효율의 ducted cross-flow turbine(터빈효율: 40~50%) 적용을 통한 시스템 개발 및 제품화

2. 기대효과

- 도심 건축물에 적용 가능한 저속 풍력발전 시스템에 대한 신산업 창출
- 향후 후속 연구: 주거용 및 소형 주택용 저속 풍력발전 시스템 개발과 태양열 발전을 복합시킨 복합자연에너지 활용 시스템 구축

3. 선진 기술수준과의 기술격차 해소

기존 선진기술은 수평형 발전방식을 사용하여 풍향의 변화나 고장률을 고려할 때 평균 가동률 30% 이하이다.

본 연구의 가이드베인이 설치된 수직횡류형 발전방식을 도입하면 풍향의 변화에 상관없이 적층형 방식을 채택하여 유지보수가 뛰어나 가동률을 기존 방식에 비하여 2배 이상을 유지할 수 있다.

기술소개자료(SMK : Sales Material Kit)

횡류형 수직축 풍력발전시스템

□ 기술개요

발전효율이 높고 대용량화를 실현한 횡류형 수직축 풍력발전기의 시스템 기술이다.
장점으로는 풍향변화에 독립적이고, 높은가동율, 향상된 에너지전환효율, 토지자원활용의 극대화, 저소음 저진동등이 있다.

□ 기존 기술의 문제점

- ❶ 낮은 품질로 인한 낮은 발전효율 및 가동효율
- ❷ 기술 및 제품의 해외의존도 90%이상으로 높음
- ❸ 발전설비 초기투자비용 높음
- ❹ 국내여건에 따른 대형육상풍력발전 운용효율 실효성 낮음(국내 13개소 중 6개소만 유효발전)

□ 기술의 차별성 및 효과

차별성

바람의 압력차를 이용하여 풍력발전의 가장 난제인 풍향의 변화에 영향을 받지 않고 발전하는 방식으로 소음과 진동이 적어 대도시 건물옥상에 설치 가능하며 순수 국내 기술을 활용하기 때문에 유지보수비용을 절감할 수 있다.

기술적효과

기존 수평축에 비해 품질에 관계없으며, 가이드베인을 활용하여 압력차를 이용하여 저풍속에서 발전가능하며, 진동 및 소음이 적음.

- 바람의 방향에 관계없이 발전
- 소음과 진동이 전혀 없어 대도시 건물 옥상에도 설치 가능
- 타워 내부에서 압력 차이를 발생시켜 발전
- 저속(4%)에서도 발전 가능
- 각 층별로 개별 터빈과 발전기, 시스템 설치로 설치용량 조절 용이



경제적 효과

100% 국내 기술이므로 A/S, 유지비용 월등히 저렴하며, 발전기 타워의 구조물과 관련한 제조업, 공사설치업종 일자리 창출 효과가 있을 것이다.

- 100% 국내 기술이므로 A/S, 유지비용 월등히 저렴
- 단위면적당 에너지 발전효율이 높음
- 발전기 타워의 철구조물과 관련한 제조업, 공사설치업종 일자리 창출
- 내용연수 30년 이상 (반영구적)



□ 기술활용 실적 및 기술내용

활용실적

- 해당 없음
-
-

기술내용

- 저 풍속(4m/s이하)에서도 발전이 가능한 시스템(벤투리 유로시스템 도입)
- 에너지변환효율이 45%이상인 횡류형 원심터빈적용
- 타워형 기술적용을 통한 제한된 공간에서의 높은 에너지 밀도
- 저소음, 저 진동을 특징으로 하는 원심형 터빈 도입
- 가변 풍량에 따른 최적 발전량을 결정하는 시스템의 특징
- 바람의 방향에 영향이 없으므로 기존의 축류형에 비해 가동율이 2배이상
- 일부의 터빈이 고장으로 정지되어도 정상상태의 터빈은 지속적 발전 가능
- 순수 우리기술로 개발되므로 정비의 기간, 경비가 적음

□ 수요처 및 권리현황

수요처

수요처	적용처
■ 국내외 발전사, 건설사	■ 국내외 발전사, 건설현장
■ 한국전력공사, 주택공사 등	■ 한국전력공사, 주택공사 등

권리현황

지식재산권 기재

- 국내특허 2건, PCT출원 1건

특허명	특허번호	비고
■ 풍력발전유니트 및 수직적층형	10-2013-0157200	등록
■ 풍력터빈을 이용한 담수생산 장치	10-2010-117606	출원
■ Wind Power Generation unit and	PCT/KR2013/011718	출원

□ 추가기술정보

기술분류

- 기술개념확립
- 연구실환경검증
- 시제품제작
- 실제환경검증
- 신뢰성평가
- 상용품제작
- 사업화

기술수준

시장전망

-수요증가에 따른 풍력발전 산업분야의 성장을 촉진
-지속적인 R&D, 생산, 시공 등 유관 분야를 위한 신규 인력의 고용 창출
-경량화, 표준화, 신소재 개발, 원격운전 및 관리를 위한 IT 기술의 접목 등 타 산업분야와 연계 증진.

□ 문 의

관리자

- 국토교통과학기술진흥원 성과활용실(031-389-6000)
- techbiz@kaia.re.kr

연구자

서울과학기술대학교
정광섭
010-8746-1607
kschung@seoultech.ac.kr

“도심 빌딩옥상에 적용가능한 10kW급 풍력발전시스템 개발 연구” 최종성과물 총람

1. 연구개발과제 개요

사 업 명	국 토 교 통 기 술 촉 진 연 구 사 업			
연구개발단계	☐ 기초연구 ☐ 실험 ☐ 시작품 ☒ 실용화 ☐ 사업화	최 종 성 과 유 형	☒ 공법,기법 ☐ 재료,자재 ☒ 소프트웨어 ☐ 장비,장비 ☒ 시스템 ☒ 정책,제도 ☐ 기타	
연구과제명	도심 빌딩옥상에 적용가능한 10kW급 풍력발전시스템 개발 연구		과제구분	☐ 일반 ☒ 연구단 ☐ 사업단
주 관 연 구 기 관	서울과학기술대학교		연구책임자	정 광 섭
총 연 구 기 간 및 연구개발비 (단위 : 천원)	2012년 04월 10일 ~ 2014년 04월 30일 (2년 1개월)			
	정부출연금	민간부담금	정부외 출연금	합계
	200,000,000원	101,000,000원	-	301,000,000원
당 해 년 도 연구기간 및 연구개발비 (단위 : 천원)	2013년 02월 10일 ~ 2014년 04월 30일 (14개월)			
	정부출연금	민간부담금	정부외 출연금	합계
	100,000,000원	51,000,000원	-	151,000,000원

2. 연구 목표 및 주요 연구내용

☐ 연구개발 최종목표

본 연구는 도심에서 신재생에너지 생산을 위한 저풍속(4m/s)에서도 발전이 가능한 풍력발전시스템의 개발에 연구목표를 두고 있다.

10kW급 풍력발전시스템 설계안 제시에 연구목표를 두고 있으며, 연구 방법으로는 발전 시스템 당 2kW급 발전이 가능한 횡류형 터빈 및 가이드 베인 최적화 설계안 도출, 풍동실험을 위한 2kW급 풍력발전시스템의 설계 및 제작, 모델 풍력발전시스템의 성능 평가를 위한 풍동실험 실시, 실증시험용 2kW급 풍력타워 모델의 설계 및 제작을 한다.

- 고층건물에 적용되는 10kW급 풍력발전시스템의 설계
- 2kW급 모델 제작·개발
- 풍력발전시스템의 관련 논문
- 풍력발전시스템의 관련 특허

□ 주요 연구내용

○ 1차년도 연구: 에너지 가용성 판단 및 수직형 횡류풍력발전시스템의 1단계 설계

- 풍속변화에 따른 고안 발전시스템의 에너지 가용성 분석연구
- 수직 횡류형 풍력발전터빈 및 유입구 가이드베인 설계 및 성능 분석연구
- 풍속가속을 위한 벤투리시스템을 적용한 타워형 구조물 설계 및 분석연구
- 전기에너지 변환시스템의 설계 및 효율성 분석연구
- 1차 설계 완료된 풍력발전시스템의 축소모델 제작 및 적용가능성 분석

○ 2차년도 연구: 2kW급 모델을 통한 10kW급 발전시스템 설계안 작성

- 풍력발전시스템의 성능평가를 위한 시험장치 개발 및 개선
- 입구 가이드베인 및 발전시스템의 시험장치 설계
- 2kW급 발전시스템의 모델완성 및 풍동실험
- 2kW급 실증연구용 타워 구조물·발전시스템 설계 및 제작
- 실증연구 결과분석 및 10kW급 발전시스템의 설계안 도출

3. 연구개발 핵심성과

연번	세부	핵심성과명	핵심성과 설명	성과유형
1		횡류형 수직풍력발전시스템의 가용성 평가	- CFD 시뮬레이션을 통한 시스템 성능예측 및 시제품 제작 - 풍력발전 및 풍력터빈 설계이론 정리 - 풍속 변화에 따른 성능예측 이론 정리	시스템
2		타워형 구조물의 설계안 도출 및 발전시스템 설계, 제작	- 2kW 발전 가능한 수직형 풍력터빈 시스템 설계 및 모델 제작 - 타워형 구조물의 설계이론 정리 - 건물 형태를 고려한 설계이론 정리와 주거형 건물에 적용 가능성 분석	장비·장치
3		횡류형 터빈의 병렬구조에 따른 진동 및 소음에 대한 시뮬레이션 해석	- 소음 진동 설계이론 정리 - 음향장 해석 - 진동모드 해석	시스템
4		풍력발전시스템의 성능평가를 위한 시험 장치 개발 및 개선 설계진행	- 2kW급 모델 풍력발전시스템의 완성 - 2kW급 모델 풍력발전시스템의 풍동실험을 통한 검정	장비·장치
5		입구 가이드베인의 구조물 및 발전시스템의 설치 베드 설계 및 해석	- 구조물 설치에 따른 하중 시뮬레이션 - 발전시스템 설치 베드 설계안 도출	시스템
6		풍력시스템 하우징과 건축구조물 사이의 진동특성 평가	- 진동 해석을 통한 성능 평가	시스템
7		2kW급 풍력시스템 실증 시험으로 2kW급 발전시스템 설계	- 2kW급 실증용 풍력시스템 설계안 및 성능평가 실험	시스템
8		입구 가이드베인의 구조물 및 발전시스템의 설치 베드 설계안 확정	- 발전시스템 설치 베드 설계안 확정 - 가이드베인 구조물 설치에 따른 터빈 성능 평가	시스템
9		10kW급 발전시스템 설계안 작성	- 10kW급 발전시스템 설계안 도출	시스템

4. 최종성과물 일람

□ (1세부) 도심 빌딩옥상에 적용가능한 10kW급 풍력발전시스템 개발 연구, 서울과학기술대학교(정광선)

구분	과제명	최종성과명 (핵심성과명) ¹⁾	최종성과물형태 ²⁾ (성과유형)	기술수준 ³⁾		경제성 ⁴⁾		성과우수성		성과물 발생시기 (개발완료시점)	최종 최종 수치 ⁷⁾	활용실적 (실적발생시) 및 활용방안 (미발생시) ⁸⁾	기대효과 ⁹⁾	기술실 시계약 ¹⁰⁾	비고 ¹¹⁾
				연구 전 (‘12)	연구 후 (‘14)	연구 전 (‘12)	연구 후 (‘14)	기존 기술과의 차별성 ⁵⁾	정량적 성과 ⁶⁾						
1-1 서울과학기술대학교	도심 빌딩옥상에 적용 가능한 10kW급 풍력발전시스템 설계안 작성	10kW급 발전시스템 설계안 작성	시스템	- 저풍속(4m/s 이하)에 서도 발전이 가능한 시스템 없음 - 바람의 방향이 발전량의 영향을 받음	- 저풍속(4m/s 이하)에 서도 발전이 가능 - 바람의 방향에 영향을 받지 않고 발전량이 2배 이상	미흡	양호	- 저풍속(4m/s 이하)에 서도 발전이 가능한 시스템(벤투리 유로시스템 도입) - 에너지변환효율이 45%이상인 횡류형 원심터빈 적용 - 타워형 기술적 용을 통한 제한된 공간에서의 높은 에너지 밀도 - 저소음, 저진동을 특징으로 하는 원심형 터빈 도입 - 가변 풍량에 따른 최적 발전량을 결정하는 시스템의 특징 - 바람의 방향에 영향을 없으므로 기존의 축류형에 비해 가동율이 2배 이상 - 일부의 터빈이 고정으로 설치되어도 정상상태의 터빈은 지속적 발전 가능 - 순수 우리기술로 개발되므로 정부의 기간, 경비가 적음	- 논문 4건 - 특허 3건	’14.4	풍발기산체 력전생업	-(방안)00000 / 예상활용처 / 예상활용시기	-도심의 건물에 전기를 에너지 공급 -CO2 저감을 통한 탄소배출권 확보	-미체결	-00백만원 비용절감

최종평가위원 의견사항 보완대비표

□ 과제정보

과제명	주관연구기관	연구책임자
도심 빌딩옥상에 적용 가능한 10kW급 풍력발전시스템 개발 연구	서울과학기술대학교	정 광 섬 (인)

□ 평가위원 의견

구분	보완요청내용	보완여부 (√ 표기)	보완답변 (보고서 페이지 기재 또는 보완 증빙서류 별도 제출)
수정·보완 사항	○ 특이사항 없음 -	☐ 보완 ☐ 부분보완 ☐ 보완불가	○ 해당사항 없음
	○ 특이사항 없음 -	☐ 보완 ☐ 부분보완 ☐ 보완불가	○ 해당사항 없음
	○ 특이사항 없음 -	☐ 보완 ☐ 부분보완 ☐ 보완불가	○ 해당사항 없음
기타 의견			

□ 전문기관 검토의견

구분	보완요청내용	보완여부 (√ 포기)	보완답변 (보고서 페이지 기재 또는 보완 증빙서류 별도 제출)
수정·보완 사항	○ 해당사항 없음 -	☐ 보완 ☐ 부분보완 ☐ 보완불가	○ 해당사항 없음
	○ 해당사항 없음 -	☐ 보완 ☐ 부분보완 ☐ 보완불가	○ 해당사항 없음
	○ 해당사항 없음 -	☐ 보완 ☐ 부분보완 ☐ 보완불가	○ 해당사항 없음
기타 의견			