

출품번호
1716

## 제62회 전국과학전람회

# 선인장 groove구조의 공학적 활용에 관한 연구

출품부문	학생부	출품분야	산업 및 에너지
------	-----	------	----------

2016. 7.

구 분	성 명
출품학생	김은정, 오은성, 이하경
지도교사	이창봉

## 목 차

1. 연구 동기 .....	1
2. 연구 목적 .....	1
3. 이론적 배경 .....	2
4. 선행연구 분석 .....	4
5. 연구 과정 .....	5
가. 실험 장치의 제작 .....	5
1) 풍동실험장치 제작 .....	5
2) 선인장 모형의 제작 .....	9
가) 실제 선인장 groove 형태 관찰 .....	9
나) 1차 모델 .....	10
다) 2차 모델 .....	10
라) 3차 모델(실험 모델) .....	11
3) 바람에 의해 선인장 모형이 받는 힘의 크기 측정 장치의 제작 .....	11
가) 로드셀 (Weight Sensor Module) .....	11
4) 선인장 모형의 가속도 변화 측정 장치 제작 .....	12
가) 3축 가속도 센서 .....	12
나) 아두이노 프로그래밍 .....	13
5) 풍압 측정 장치 제작 .....	14
가) 풍압계와 간이 피토크 .....	14
나) 풍압 측정값의 보정 .....	14
나. 선인장 groove 구조의 유체역학적 특성 탐구 과정 .....	16
1) groove 수에 따른 선인장 모형이 받는 힘의 크기 측정 과정 .....	16
2) groove 수에 따른 선인장 모형의 가속도 변화 측정 과정 .....	17
3) groove 수에 따른 선인장 모형의 각 부위 풍압 측정 과정 .....	18
다. 선인장 groove 구조의 공학적 활용 가능성에 대한 탐구 과정 .....	19
1) groove 형태를 적용한 블레이드의 풍력발전 효율 비교 .....	19
2) groove 형태를 적용한 교각의 물에 대한 저항의 크기 비교 .....	20
6. 연구 결과 .....	21
가. 선인장 groove 구조의 유체역학적 특성 탐구 결과 .....	21
1) 바람에 의해 선인장 모형이 받는 힘의 크기 측정 결과 .....	21
2) groove 수에 따른 선인장 모형의 가속도 변화 비교 결과 .....	22
3) groove 수에 따른 모형 각 부분의 풍압 비교 결과 .....	24
나. 선인장 groove 구조의 공학적 활용 가능성에 대한 탐구 결과 .....	24
1) groove 형태를 적용한 풍력 발전기의 효율 측정 결과 .....	25
2) groove 형태를 적용한 교각의 물에 대한 저항의 크기 비교 결과 .....	26
7. 결과 분석 .....	27
8. 결론 및 제언 .....	28
9. 참고문헌 .....	28

## 표 목차

[표 1] 선행 연구 분석 .....	4
[표 2] 로드셀 장치 정보 .....	11
[표 3] 풍압 측정 장치 정보 .....	14
[표 4] 풍압 측정 값 .....	15
[표 5] 실제 선인장과 실험 모형의 레이놀즈수 비교 .....	16
[표 6] groove 수에 따라 선인장 모형이 받는 힘의 측정값 .....	21
[표 7] 원기둥 가속도 변화 .....	22
[표 8] 5각기둥 가속도 변화 .....	22
[표 9] 10각 기둥 가속도 변화 .....	23
[표 10] 20각 기둥 가속도 변화 .....	23
[표 11] RMS 평균 값 .....	23
[표 12] groove가 없는 원기둥 모형 표면의 풍압 측정값 .....	24
[표 13] 5개 groove 모형 표면의 풍압 측정값 .....	24
[표 14] 10개 groove 모형 표면의 풍압 측정값 .....	24
[표 15] groove 수에 따른 박리점 위치 .....	25
[표 16] 풍력발전기 블레이드에 대한 groove 적용 여부에 따른 발전 효율 비교 .....	25
[표 17] X축 가속도 변화 비교 .....	26
[표 18] Y축 가속도 변화 비교 .....	26
[표 19] 가속도 변화의 RMS값 .....	26

## 그림 목차

[그림 1] 사구아로 선인장 .....	2
[그림 2] 사구아로 선인장의 뿌리 .....	2
[그림 3] 층류와 난류에서의 박리 및 항력비교 .....	3
[그림 4] 최종풍동실험장치 설계도 .....	5
[그림 5] Settling Chamber .....	5
[그림 6] 초기 허니콤 구조 .....	5
[그림 7] 최종 허니콤 구조 .....	5
[그림 8] Contraction Cone .....	6
[그림 9] 모기장과 허니콤 구조 .....	6
[그림 10] 레이저 커팅기 .....	6
[그림 11] Test Section .....	6
[그림 12] Test Section .....	6
[그림 13] 개폐 뚜껑 .....	6
[그림 14] Diffuser .....	7
[그림 15] Drive Section .....	7
[그림 16] 쿨링팬 12038S2XT .....	7
[그림 17] 허니콤 구조 제작과정 .....	7

[그림 18] 허니콤 구조 제작과정 .....	7
[그림 19] 정류부 제작과정 .....	8
[그림 20] 쿨링팬 모듈 제작모습 .....	8
[그림 21] 쿨링팬 모듈 제작모습 .....	8
[그림 22] 완성된 쿨링팬 모듈 .....	8
[그림 23] 완성된 풍동실험장치에 .....	8
[그림 24] 완성된 풍동실험장치에 송풍기를 연결한 모습 .....	8
[그림 25] FB 9600 .....	8
[그림 26] FB ACADEMY .....	8
[그림 27] 다양한 구조의 선인장 형태 .....	9
[그림 28] groove 수 5개 1차 모형 .....	9
[그림 29] groove 수 10개 1차 모형 .....	9
[그림 30] 원기둥 .....	9
[그림 31] groove 수 5개 1차 모형 .....	9
[그림 32] groove 수 10개 1차 모형 .....	9
[그림 33] 원기둥 .....	9
[그림 34] groove 수 5개 2차 모형 .....	10
[그림 35] groove 수 10개 2차 모형 .....	10
[그림 36] 원기둥 .....	10
[그림 37] groove 수 5개 2차 모형 .....	10
[그림 38] groove 수 10개 2차 모형 .....	10
[그림 39] 원기둥 .....	10
[그림 40] groove 수 5개 3차 모형 .....	10
[그림 41] groove 수 10개 3차 모형 .....	10
[그림 42] groove 수 20개 3차 모형 .....	10
[그림 43] 원기둥 .....	10
[그림 44] groove 수 5개 3차 모형 .....	11
[그림 45] groove 수 10개 3차 모형 .....	11
[그림 46] groove 수 20개 3차 모형 .....	11
[그림 47] 원기둥 .....	11
[그림 48] 아두이노에 연결 .....	11
[그림 49] 로드셀 장치 .....	11
[그림 50] 시리얼 모니터로 출력되는 값들 .....	11
[그림 51] 3축 가속도 센서 (MMA 7455) .....	12
[그림 52] 센서의 내부 회로 .....	12
[그림 53] BREAD BOARD에 부착된 3축 가속도 센서 .....	13
[그림 54] 아두이노 UNO .....	13
[그림 55] 아두이노 UNO와 MMA 7455 가속도계 연결회로 .....	13
[그림 56] 아두이노 스케치 프로그램 .....	13
[그림 57] 시리얼 모니터를 통해 출력되는 값들 .....	13
[그림 58] 간이 피토크(플라스틱관) .....	14

[그림 59] 풍압계 .....	14
[그림 60] 풍압계 모델 HT-1890 .....	15
[그림 61] 송풍기 모델 TIP-250S .....	15
[그림 62] 풍속계 모델 .....	15
[그림 63] 로드셀 센서를 부착한 모델 .....	17
[그림 64] 선인장 모형이 받는 힘의 크기 측정 실험 .....	17
[그림 65] 측면 사진 .....	18
[그림 66] 가속도 센서의 연결 모습 .....	18
[그림 67] 원기둥 모형의 풍압 측정 위치 .....	18
[그림 68] 5개의 groove 모형의 풍압 측정 위치 .....	18
[그림 69] 10개의 groove 모형의 풍압 측정 위치 .....	18
[그림 70] groove가 적용된 블레이드 .....	19
[그림 71] groove가 없는 블레이드 .....	19
[그림 72] 교육용 풍력발전기 Wind Pitch .....	19
[그림 73] 풍력발전 효율 비교 실험 .....	19
[그림 74] 교각 모형 실험 (groove 5개) .....	20
[그림 75] 교각 모형 실험 (groove 10개) .....	20
[그림 76] 실험 장치 .....	20
[그림 77] groove의 수에 따른 선인장 모형이 받는 힘의 비교 .....	22

## 1. 연구 동기

미국 애리조나 사막지대를 지나가다 보면 길쭉하면서 둥글고 양팔을 벌리고 있는 듯한 모습이 매력적인 사와로 선인장들을 만날 수 있다. 사와로 선인장은 미국 애리조나 지역에만 서식하는 종으로 건조하고 척박한 환경에서도 무려 200년 이상을 살 수 있다고 한다. 대다수의 사와로 선인장들은 15m정도의 큰 키를 갖고 있으나 예상 외로 뿌리의 깊이는 30cm로 매우 얕은 편이다. 우리는 바람도 많이 부는 척박한 환경에서 선인장은 어떻게 얕은 뿌리로 큰 키를 지탱하면서 성장하고 살아갈 수 있는지에 대해 궁금증을 가지게 되었다.

많은 사람들이 선인장을 떠올리면 가시가 박힌 구조를 생각할 것이다. 그러나 선인장에는 가시 구조 외에도 줄기를 따라 세로로 난 긴 홈 구조인 groove라는 독특한 구조도 가지고 있다. 우리는 골프공의 딴플 구조처럼 물체의 형상이 바람에 대한 저항을 변화시킬 수 있다는 사실로부터 선인장의 긴 홈인 groove 구조가 바람의 저항을 줄여주어 얕은 뿌리에도 쓰러지지 않았을 것이라고 추측하였다.

그러므로, 우리는 다양한 형태의 선인장 모형을 제작하고 이를 이용해 선인장의 groove구조가 바람의 저항을 줄여주는지 알아보고 groove의 수나 형태에 따라 바람의 저항이 어떻게 달라지는지 알아보려고 하였다. 또한 선인장 groove구조가 바람의 저항을 줄여주는 효과가 있다면 이것을 바람의 에너지를 이용하는 풍력발전기의 블레이드 형태나 흐르는 물의 저항을 받는 교각의 형태에 적용했을 때 그 효과가 어떠한지 탐구해보고자 한다.

## 2. 연구 목적

선인장 groove 구조를 본 딴 모델을 이용하여 groove 구조가 바람의 저항에 미치는 영향을 알아보고 groove 구조의 공학적인 활용 가능성을 알아보려고 한다.

- 첫째, 선인장 모형의 groove 수와 형태에 따른 바람 저항의 변화를 알아본다.
- 둘째, 선인장 모형의 groove 구조가 가지는 공기 유동의 특성을 알아본다.
- 셋째, 선인장 모형의 groove 구조를 적용한 에어포일의 풍력발전 효율을 알아본다.
- 넷째, 선인장 모형의 groove 구조를 적용한 교각의 수류저항 감소효과를 알아본다.

### 3. 이론적 배경

#### 가. 선인장

선인장은 다육식물의 일종으로 다육식물은 건조한 환경에 견디기 위해 수분을 저장하는 조직을 진화시킨 식물들을 말한다. 현재 전 세계적으로 약 3000종 이상이 존재하는 것으로 알려져 있다. 대부분의 선인장들은 잎 대신 그 자리에서 가시를 가지고 있으며 줄기의 형태에는 구형, 편원형, 원통형 등 독특한 형태들을 찾아볼 수 있다. 선인장의 표면에는 깊은 주름(groove)이 있는 것을 살펴볼 수 있다. 이 주름들은 주변의 복사열에 의해 체온이 일정온도 이상 올라가지 않도록 조절해주는 라디에이터(Radiator)역할을 하는 것으로 알려져 있다. 선인장은 공갈이 등근모양부터 4각, 5각의 홈을 가진 형태와 30개에 이르는 많은 홈을 가진 형태 심지어는 끈 같이 생긴 다양한 형태를 찾아볼 수 있다. 미국 애리조나 사막에서 서식하는 사구아로 선인장(Saguaro cacti)은 평균 높이가 12~15m 정도 되는 거대한 선인장으로 특별한 점은 높고 거대한 몸집에 비해 뿌리는 30cm 내외로 매우 얇게 존재한다는 점이다. 애리조나 사막의 기후를 살펴보면 매년 수차례의 허리케인과 열대성 폭풍이 영향을 미치며 많은 바람이 분다. 하지만 이런 기후에서 얇은 뿌리를 가진 사구아로 선인장은 넘어지지 않고 서식한다.



[그림 1] 사구아로 선인장



[그림 2] 사구아로 선인장의 뿌리

#### 나. 항력

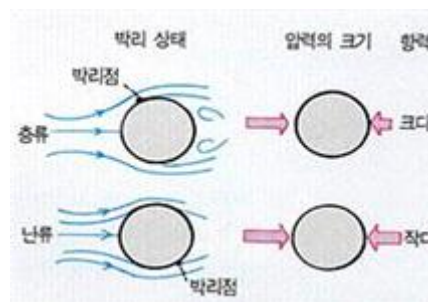
항력이란 물체가 유체 내를 움직일 때 이 움직임에 저항하는 힘으로 마찰력과 압력으로 구분된다. 항력의 일부는 직접적인 마찰에 의해 발생하는 마찰항력으로 벽면 전단응력에 의한 것이며, 일부는 압력에 의한 것으로 압력항력이라 부른다. 마찰력은 물체의 표면에서 평행한 방향 쪽으로 작용하는 반면 압력은 물체의 표면에 수직인 방향으로 작용한다. 유체 내에서 움직이는 고체의 경우에 항력은 유체의 유동과 동일한 방향으로 작용하는 모든 유체역학적 힘의 합을 말한다.

마찰항력의 경우 유동방향의 벽면 전단력 성분이므로 유동과 수직인 표면에서 0 이고, 유동이 표면과 평행한 경우에는 마찰저항이 표면에 작용하는 전체 전단력과 같이 그 값이 최대가 된다. 유동과 평행인 표면에서는 압력의 영향을 받지 않는다. 항력은 유체의 밀도, 형상, 크기, 상류속도, 물체가 위치한 방향뿐만 아니라 다른 여러 가지 요인에 의해 변하게 된다. 항력계수는 주로 물체의 형상에 따라 달라지는 형상에 대한 함수이지만 Reynolds 수와 표면 거칠기에 의해서도 그 값이 변할

수 있다. 낮은 Reynolds 수에서 대부분의 항력은 마찰항력에 의해 발생한다. 특히 항공기 날개와 같이 유선형의 형태를 가지고 있는 물체의 경우가 해당된다. 마찰저항은 또한 표면적에 비례한다. 그러므로 넓은 표면적을 가진 물체는 큰 마찰저항이 발생한다. 마찰 항력계수는 층류유동에서 표면 거칠기의 영향을 받지 않지만, 난류유동에서는 경계층으로 튀어나오는 표면 거칠기 요소 때문에 표면 거칠기에 큰 영향을 받게 된다. 압력항력은 정면의 면적과 비례하고 유체 내에 잠긴 물체의 앞과 뒤에 작용하는 압력 차이에 비례한다. 물체가 뭉툭한 형상, 유동방향과 수직 방향 일 때 압력이 커지게 된다. 따라서 유동에 평행하게 놓인 얇은 평판에서는 0이 된다.

## 다. 박리영역

박리영역이란 유체의 재순환과 역류가 발생하는 물체 뒤의 저압영역을 말한다. 박리영역은 2개의 유동흐름이 재부착되면서 끝나게 되는데 박리영역은 이 2개의 유동흐름으로 둘러싸인 부피를 말한다. 박리가 생성되는 과정은 유체입자가 원주와의 마찰작용으로 인해 운동에너지를 잃고 어느 지점에 도달하면 속도가 0이 되게 된다. 박리점에서 유선은 원주표면으로부터 이탈하게 되고 그 뒤에는 후류가 생성되게 된다. 박리는 층류에서 일어나기 쉬우며 난류에서는 일어나기 어렵다.



[그림 3] 층류와 난류에서의  
박리 및 항력비교

## 라. Renolds 수

유체의 흐름에서는 점성에 의한 힘이 층류가 되게끔 작용하며, 관성에 의한 힘은 난류를 일으키는 방향으로 작용한다. 이 관성력과 점성력의 비를 구한 것이 Reynolds 수(Re)이다. Reynolds 수는 유체흐름의 시간규모와 운동량 확산의 시간규모의 비를 의미하기도 하며, 난류에 의한 확산과 분자에 의한 확산의 비를 의미하기도 한다. Reynolds 수의 크기에 따라 일정한 속도를 가진 흐름에 수직으로 놓여진 원주를 지나 나타나는 흐름의 모양은 달라진다. Reynolds 수가  $10^2 \sim 10^5$ 의 값을 가질 때에는 Reynolds 수가 증가함에 따라 와열은 부서지고 뒤따르는 흐름은 난류상태로 바뀌게 된다. Reynolds 수에 따라 유체의 흐름은 층류유동과 난류유동으로 구분된다. 물체의 표면에 돌기를 만들어 형상저항을 감소시키는 Reynolds 수는 약 4만에서 40만 정도이다. 이 범위보다 레이놀즈수가 커지거나 작게 되면 오히려


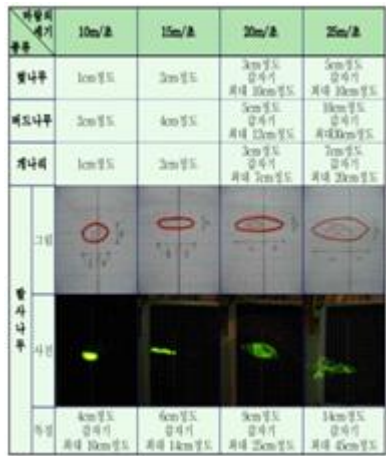


려 전체저항이 커지게 된다. Reynolds 수를 구하는 식은 다음과 같다.

$$Re = \frac{\rho v D}{\eta} = \frac{v D}{\nu}$$

( $v$  = 유속,  $D$  = 원기둥의 지름,  $\rho$  = 유체의 밀도,  $\eta$  = 유체의 점성계수,  $\nu$  = 유체의 동점성 계수)

#### 4. 선행연구 분석

선행연구 작품	차별성	비고
 <p>간이 풍동 장치를 이용한 건물 주위의 바람 유동 패턴 분석</p>	<p>이 연구는 건물에 바람이 불어 부딪힐 때 어떤 식으로 난류가 생기고 어떤 곳에서 풍속이 가장 커지는지에 대한 연구이다. 난류의 형태를 가시화할 수 있는 장치와 건물을 지날 때의 바람의 변화에 대해 탐구하자는 목적을 갖고 있다. 이 연구에는 건물 배치에 따른 바람의 변화를 보려고 하고 있으나 본 연구에서는 groove 구조일 때의 바람의 저항 변화와 이를 이용한 공학적 활용 가능성에 대한 연구로 차별성이 있다.</p>	<p>제 55회 전국과학전람회</p>
 <p>바람에 의해 흔들리는 나뭇가지의 모양은 나무구조에 따라 어떻게 달라질까?</p>	<p>바람에 의한 나뭇가지의 흔들림과 그에 따른 나무 구조를 조사하여 강한바람에도 부러지지 않고 과일의 떨어짐이 적은 이상적인 나무 구조를 찾아내는 목적을 갖고 있다. 이 연구에서는 바람에 세기에 따른 변화를 낚시용 케미라이트를 가지 끝에 부착하여서 변화되는 모습을 관찰하였다. 본 연구는 선인장의 groove구조의 형태에 따른 바람의 저항 감소 효과를 알아보고 이를 풍력발전기의 블레이드에 적용하여 발전 효율을 높일 수 있는 가능성에 대한 연구로 차별성이 있다.</p>	<p>제 56회 전국과학전람회</p>

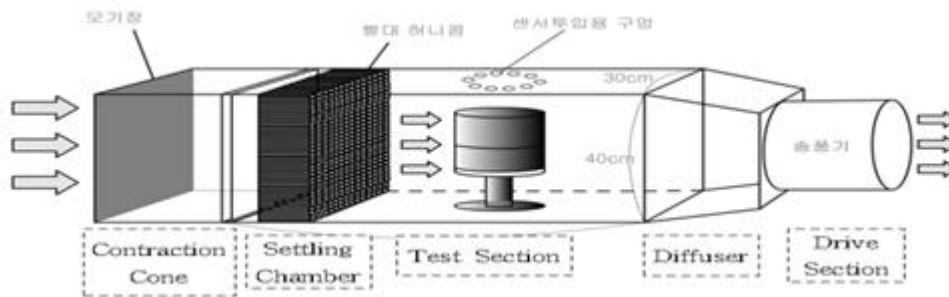
[표 1] 선행 연구 분석

## 5. 연구 과정

### 가. 실험 장치의 제작

#### 1) 풍동실험장치 제작

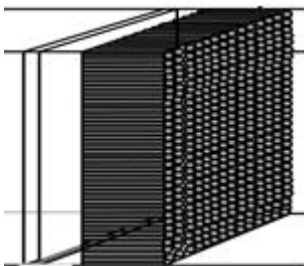
우리는 본 실험에서 선인장의 groove 구조가 바람이 많이 부는 환경에서 어떠한 효과를 가져 올 수 있는지 알아보기 위해 풍동실험을 진행하기로 결정하고 풍동실험을 위한 간이 풍동실험장치를 직접 제작하였다. 풍동(wind tunnel)은 인공적인 공기 흐름 속의 물체가 받는 영향과 물체로 인한 흐름의 변화 등을 조사하는 장치로 바람과 건축물의 관계, 난기류의 해석에도 이용된다. 우리가 최종적으로 제작한 풍동실험장치의 설계도는 다음과 같다.



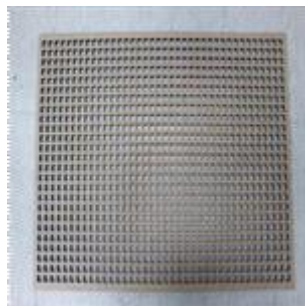
[그림 4] 최종풍동실험장치 설계도

풍동실험장치는 크게 Settling Chamber, Contraction Cone, Test Section, Diffuser, Drive Section으로 구성된다.

가) Settling Chamber는 허니콤 구조로 이루어져 있는 부분을 의미하며 허니콤 구조는 층류 형성 역할을 한다. 허니콤구조는 직경 1cm의 빨대를 이용하여 10cm 두께로 제작하였다. 초기 허니콤 구조를 제작할 때에는 30cm\*40cm 두께 5T인 나무판에 레이저 커팅기를 이용하여 1cm 정사각형 구멍을 뚫어 제작하려 하였으나 제작시간이 오래 걸려 빨대를 이용하여 제작하였다.



[그림 5] Settling Chamber

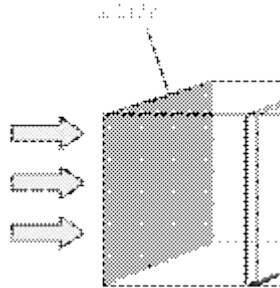


[그림 6] 초기 허니콤 구조



[그림 7] 최종 허니콤 구조

나) Contraction Cone은 바람이 유입되는 위치로 바람을 거르기 위한 모기장을 설치하였다. 모기장과 허니콤 사이에 층류형성 확인 실험 시 사용할 연기를 가둘 수 있는 공간을 확보하기 위해 20cm의 간격을 둘 수 있도록 아크릴판 (20cm\*40cm 2장, 20cm\*30cm 2장)을 레이저커터로 절단하여 제작하였다.



[그림 8] Contraction Cone

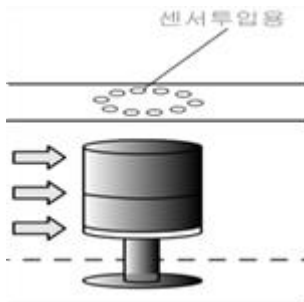


[그림 9] 모기장과 허니콤 구조



[그림 10] 레이저 커팅기

다) Test Section에 해당하는 부분은 물체를 설치하는 부위로 투명한 아크릴 (50cm\*40cm 2장, 50cm\*30cm 2장)을 사용하여 제작하였다. 층류형성 실험을 진행할 때 연기의 진행모습을 살펴보기 위하여 아크릴 판의 한 옆면과 아랫면은 검은색 도화지를 부착하였다. 또한 윗부분에는 진동 측정 시 점퍼가 나올 부분, 풍압측정 시 풍압계를 넣기 위한 구멍을 뚫었다. 실험을 진행할 때 외부 공기의 유입을 최소화하기 위해 이를 개폐할 수 있는 뚜껑을 제작하였다. 아크릴판을 서로 부착할 때에는 아크릴 접착제를 사용하여 부착하였다.



[그림 11] Test Section

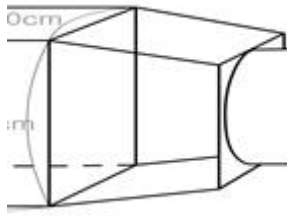


[그림 12] Test Section



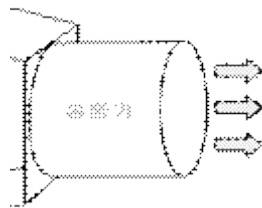
[그림 13] 개폐 뚜껑

라) Diffuser부분은 공기가 부드럽게 풍동실험장치로 들어갈 수 있도록 해주는 부분으로 20cm 두께로 제작하였으며 아크릴판 4장을 경사지게 부착하여 제작하였다. Diffuser의 끝부분은 송풍기의 입구와 크기가 동일한 구멍을 뚫은 아크릴판을 이용하여 막아 다른 공기의 유입은 차단하였다. 송풍기를 사용할 때와 쿨링팬을 사용할 때 바람이 부는 위치가 다르기 때문에 이 부분은 탈부착이 가능하도록 제작하였다.



[그림 14] Diffuser

마) Drive Section은 송풍기 또는 쿨링팬이 위치하는 부분을 말한다. 처음에 실험을 계획 할 때는 송풍기만 이용하여 실험을 진행하려 했으나 송풍기의 풍속이 너무 세다는 문제점이 발생하였다. 따라서 풍속을 조절할 수 있고 바람이 강하지 않은 쿨링팬 또한 실험에 사용하였다. 쿨링팬은 모델 12038S2XT를 사용하였으며 쿨링팬 6개를 판에 부착하여 실험을 진행하였다. 송풍기를 사용할 때는 송풍기의 바람이 강해 공기를 빨아들이는 쪽으로 실험을 진행하였다.



[그림 15] Drive Section



[그림 16] 쿨링팬  
12038S2XT

1차 풍동실험 장치를 제작할 때에는 가로 1m 세로 70cm 높이 50cm 로 제작하였으나 설계한 모델에 비해 풍동실험장치가 너무 크고 크기가 지나치게 커져 풍동실험장치가 안정적이지 못하여 새로운 크기의 풍동실험 장치를 제작하게 되었다. 모형의 크기가 10cm 안팎인 것을 고려하여 가로 70cm 세로 30cm 높이 40cm의 축소된 풍동실험장치를 제작하였다.



[그림 17]허니콤 구조 제작과정



[그림 18] 허니콤 구조 제작과정





[그림 19] 정류부 제작과정



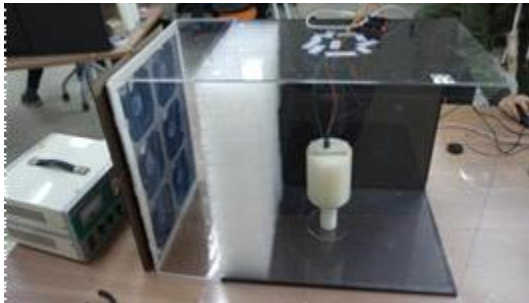
[그림 20] 쿨링팬 모듈 제작모습



[그림 21] 쿨링팬 모듈 제작모습



[그림 22] 완성된 쿨링팬 모듈



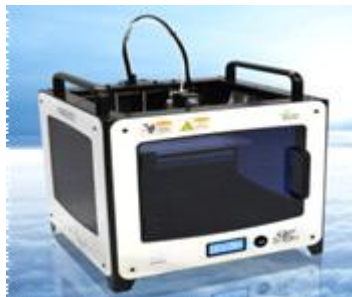
[그림 23] 완성된 풍동실험장치에  
쿨링팬을 연결한 모습



[그림 24] 완성된 풍동실험장치에 송풍  
기를 연결한 모습

## 2) 선인장 모형의 제작

모형은 SOLID WORKS를 이용하여 3D 모델링을 하였으며 3D 프린터 FB 9600  
과 FB ACADEMY 모델을 이용하여 TPU와 PLA소재로 출력하였다.



[그림 25] FB 9600



[그림 26] FB ACADEMY

가) 실제 선인장 groove 형태 관찰



[그림 27] 다양한 구조의 선인장 형태

관찰한 선인장은 주로 크기가 15cm 내외였으며 groove는 5개, 7개, 10개, 20개, 30개 등 다양했다. 이중 5개, 10개, 20개의 groove를 가진 선인장을 모델로 3D 모형을 제작하였다.

나) 1차 모델 제작

유연성이 큰 소재인 TPU 소재로 15cm 높이의 5개의 groove를 가진 모델, 10개의 groove를 가진 모델, 대조군으로 원기둥 모델을 제작하였다.



[그림 28] 5개



[그림 29] 10개



[그림 30] 원기둥



[그림 31] 5개



[그림 32] 10개



[그림 33] 원기둥

제작한 선인장 모형들은 동일한 높이와 직경으로 제작하였으나 groove의 수에 따라 질량이 다른 문제가 있었다. 동일한 조건에서 실험하기 위해서는 형태를 제외한

모든 조건이 동일해야하므로 변인통제를 위해 질량을 동일하게 할 필요가 있었다.

#### 다) 2차 모델

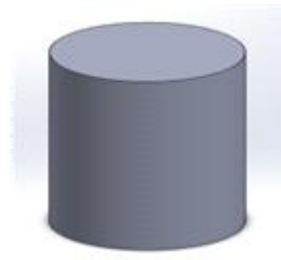
1차 모델의 문제점을 보완하여 PLA 소재의 직경이 10cm이며, 높이가 10cm인 5개의 groove를 가진 모델, 10개의 groove를 가진 모델, 원기둥 모델이다. 1차 모델에서는 15cm 높이였으나 프린팅 시간이 오래 걸리는 등의 제한점이 발견되어서 높이를 10cm로 줄였으며 질량을 동일하게 하기 위해 추를 넣을 수 있는 구멍을 만들었다.



[그림 34] 5개



[그림 35] 10개



[그림 36] 원기둥



[그림 37] 5개



[그림 38] 10개



[그림 39] 원기둥

높이를 10cm로도 줄였음에도 불구하고 여전히 모델을 프린팅 하는 데에 걸리는 시간적인 부담이 컸다. 그래서 7cm로 높이를 줄였고, 실제 선인장의 다양한 형태를 테스트하기 위해 groove 수를 20개로 늘린 모델도 추가하여 제작하였다.

#### 라) 3차 모델(실험 모델)

최종 제작된 선인장 모형은 PLA 소재의 직경 7cm, 높이 7cm의 5개의 groove를 가진 모델, 10개의 groove를 가진 모델, 20개의 groove를 가진 모델, 원기둥 모델이며 중앙의 홈에 추를 넣어 모두 질량을 동일하게 통제하였다.



[그림 40] 5개



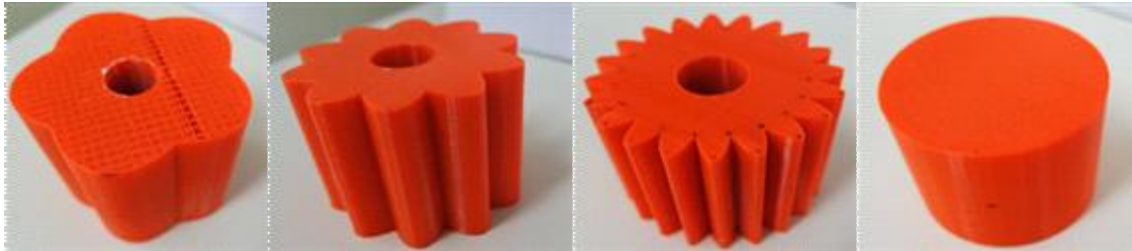
[그림 41] 10개



[그림 42] 20개



[그림 43] 원기둥



[그림 44] 5개

[그림 45] 10개

[그림 46] 20개

[그림 47] 원기둥

### 3) 바람에 의해 선인장 모형이 받는 힘의 크기 측정 장치의 제작

풍동장치 내에서 선인장 모형이 받는 힘을 비교하기 위해 물체가 받는 힘을 직접 측정하기로 하였다. 바람이 불 때, 풍하중에 의해 선인장 모형이 힘을 받게 되는데, 이 때 모형이 받는 힘을 측정하기 위해 로드셀을 이용한 장치를 제작하였다.

#### 가) 로드셀 (Weight Sensor Module)

• 제품이름: DFR-SEN0160	• 지연 오차 : 0.03%
• 용량 : 5Kg	• 입력및출력 저항 : 1000 Ω
• 최대 하중 : 15kg	• 선의 오차 : 0.03%
• 제품크기 : 80 x 12.7 x 12.7mm	• 크립(3분) : 0.03%
• 정밀 수준 : 0.5	• 출력감도 : 1.2 mv/V
• 측량 범위 : 5kg	• 온도계수 : 50 ppm/K
• 안전 하중 : 12kg	• 영점평형 : 0.3 mv/V
• 중복 오차 : 0.03%	• 작동온도 범위 : -10~+40℃

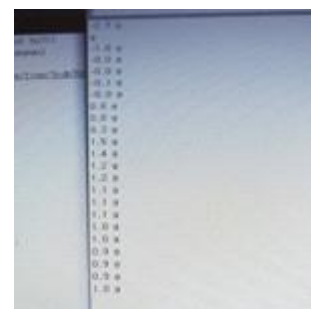
[표 2] 로드셀 장치 정보



[그림 48] 아두이노에  
연결



[그림 49]  
로드셀 장치



[그림 50] 시리얼 모니  
터로 출력되는 값들

로드셀이란 힘(토크)을 검출하는 센서이다. 힘을 가하면, 그것을 전기신호로 변환하며, 하중(힘)을 전기신호로 변환하여 하중변환기라고도 한다. 로드셀은 전자저울, 시험기, 유량계, 산업용 저울, 각종 측정기 등에서 쓰인다. 로드셀 표면에 스트레인 게이지가 부착되어 있는데, 로드셀이 변형하게 되면 이 스트레인게이지도 변



형하게 되고 이 변형의 양으로 인해 저항값이 변화하는 것이다. 로드셀은 이와 같은 원리로 힘을 전기신호로 변환하게 된다. 로드셀로 바람에 받는 힘을 직접적으로 측정하였다.

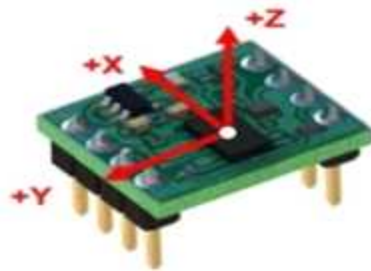
위의 센서를 weight sensor와 아두이노 UNO, 점퍼(연결하는 선)로 연결하고 프로그램을 코딩하여 받는 힘을 시간에 따라 출력하였다.

#### 4) 선인장 모형의 가속도 변화 측정 장치 제작

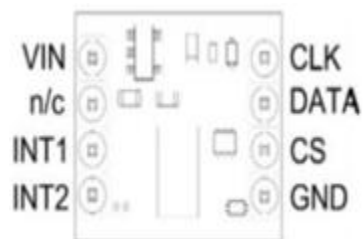
풍동장치 내에서 선인장 모형이 바람에 의해 받는 총 에너지를 비교하기 위해 선인장 모형의 가속도 변화를 측정하기로 하였다. 풍하중에 의한 에너지는 선인장 모형의 진동을 일으키고 이때의 가속도 변화에 대한 실효치(RMS)를 비교하여 바람에 의해 모형이 받는 에너지를 비교하기 위함이다.

##### 가) 3축 가속도 센서

물체의 가속도 변화를 측정하기 위해서 3축 가속도 센서(MMA 7455)를 사용하였다. 3축 가속도 센서는 회전이나 움직임을 측정하는데 적합한 센서로, 중력 가속도에 대한 변화량을 X, Y, Z축 방향으로 각각 아날로그나 디지털 신호로 나타낼 수 있는 센서이다. 원리는 가속도 센서 내에 piezoelectric materials(압전물질)에 무게 추와 스프링이 연결되어있는데, 여기서 압전물질이란 압(pressure)을 가하면 전(electric)을 발생시키는 물질이므로 측정대상의 움직임에 따라 압력이 높아지면 높아질수록 정전용량이 올라간다. 용량의 오르고 내림으로 가속도가 어느 정도인지 판단할 수 있다. 측정 범위는  $\pm 1g$  up to  $\pm 250g$ 이다.

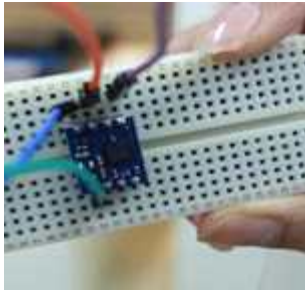


[그림 51] 3축 가속도 센서 (MMA 7455)



[그림 52] 센서의 내부 회로

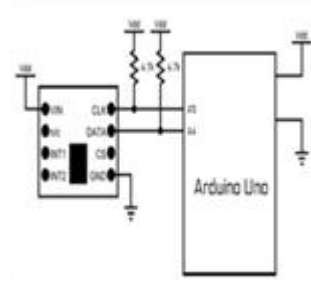
위의 센서를 아두이노 bread board에 연결한 다음 아래 그림과 같이 아두이노 UNO와 점퍼로 연결하고 코딩하여 가속도 값을 시간에 따라 출력하였다.



[그림 53] BREAD BOARD에 부착된 3축 가속도 센서

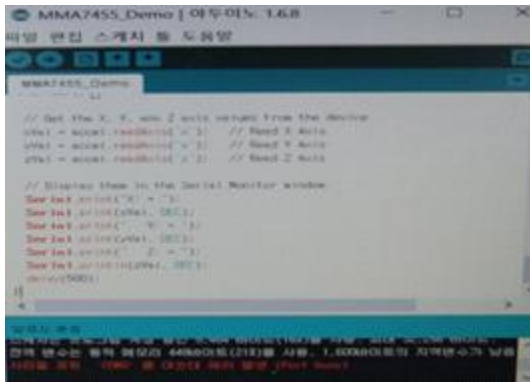


[그림 54] 아두이노 UNO



[그림 55] 아두이노 UNO와 MMA 745 5 가속도계 연결회로

## 나) 아두이노 프로그래밍



[그림 56] 아두이노 스케치 프로그램



[그림 57] 시리얼 모니터를 통해 출력되는 가속도 값들

## 5) 풍압 측정 장치 제작

풍압 측정은 피토관을 이용하나 본 연구에 사용할 수 있는 일자형 피토관과 풍압계는 너무 고가여서 구입할 수 없었다. 우리는 저렴한 풍압계를 구입하고 플라스틱관을 이용하여 간이 피토관을 제작하고 베르누이 방정식을 이용하여 풍속을 풍압으로 변환한 후에 이를 이용하여 보정하여 사용하였다.

### 가) 풍압계와 간이 피토관

풍압 측정은 HT-1890를 이용하여 측정하였다.



정확도	±0.3% FSO(25℃)
반복성	±0.2% (Max ±0.5% FSO)
비선형성 /히스테리시스	±0.29% FSO
최대압력	10 psi
응답속도	0.5초
기능	Data Recoding - Max, min, Ave, 11pressure Units, 차압 측정 (Differential Pressure)

[표 3] 풍압 측정 장치 정보



[그림 58] 간이 피토관(플라스틱관)



[그림 59] 풍압계

### 나) 풍압 측정값의 보정

간이 피토관으로 측정한 풍압과 실제 풍압을 비교하기 위해 풍압계 사전실험을 진행하였다. 일반적으로 베르누이 방정식을 이용하여 풍압(P)는  $P = C \times F \times \rho \times v^2 / 2$  이므로 풍속을 측정하여 풍압을 구할 수 있다. C는 저항계수, F는 바람을 직각으로 받는 판(板)의 면적,  $\rho$ 는 공기밀도, v는 풍속이다.

- (1) 거리에 따른 풍속을 측정한 뒤 저항계수, 판의 면적, 공기의 밀도는 모두 일정한 상수 값이므로 이를 대입하여 풍압으로 변환하였다.
- (2) 간이 피토관으로 측정한 풍압을 보정하기 위해 다음과 같이 실험하였다.



[그림 60] 풍압계  
모델 HT-1890



[그림 61] 송풍기 모델  
TIP-250S



[그림 62] 풍속계 모델

- (가) 5m 떨어진 지점에서 송풍기를 틀고 풍속을 측정한다.
- (나) 베르누이 방정식을 이용하여 풍속을 이용하여 풍압을 계산한다.
- (다) 같은 위치에서 풍압계를 이용하여 풍압을 측정한다.
- (라) (가)와 (나) 과정을 4.5m, 4m, 3.5m, 3m, 2.5m, 2m, 1.5m, 1m, 0.5m에 대해서도 동일하게 실시한다.
- (마) (나)와 풍압 값과 (다)의 풍압 값을 비교한다.

풍속계로 측정한 풍속과 이를 이용해 계산하여 얻은 풍압과 간이 피토관으로 측정한 풍압은 다음과 같다.

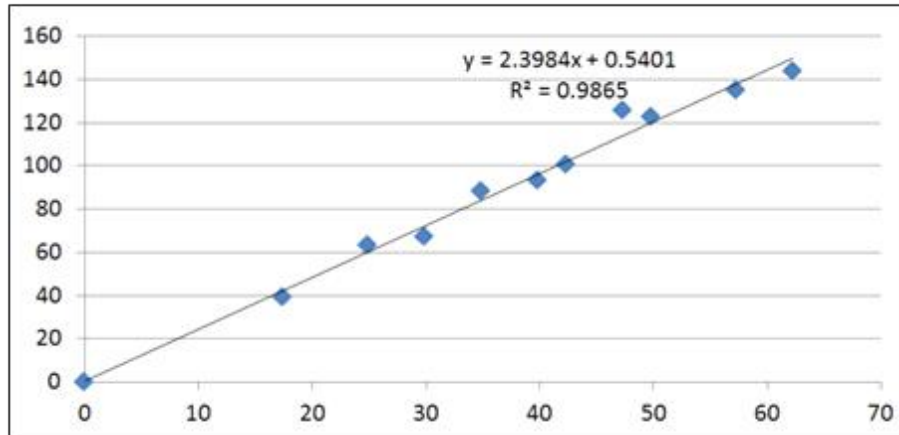
거리	풍속	식에 대입하여 구한 풍압(A)(Pa)	간이 피토관으로 측정한 풍압(B)(Pa)
0.5m	9.2	1439.94	6221
1m	8.9	1347.562	5723.32
1.5m	8.6	1258.246	4727.96
2m	8.5	1229.155	4976.8
2.5m	7.7	1008.672	4230.28
3m	7.4	931.6056	3981.44
3.5m	7.2	881.929	3483.76
4m	6.3	675.2269	2986.08
4.5m	6.1	633.0359	2488.4
5m	4.8	391.9685	1741.88

[표 4] 풍압 측정 값

간이 피토관으로 측정한 풍압과 베르누이의 정리를 이용해 풍속으로부터 계산한 풍압을 비교하기 위해 최소자승법을 이용해 표준곡선을 나타내고 이를 이용하여 다음과 같은 보정식을 구하였다.

$$P_A = 2.3984 \cdot P_B + 0.5401$$

( $P_A$ 는 보정된 풍압,  $P_B$ 는 간이 피토관으로 측정한 풍압)



본 실험에서 풍압계를 이용하여 측정한 풍압을 사용할 때는 위와 같은 보정식을 이용해 구한 풍압값( $P_A$ )을 사용하였다.

## 나. 선인장 groove 구조의 유체역학적 특성 탐구 과정

레이놀즈수가 40,000~400,000 정도의 범위에서는 마찰 저항이 항력 저항보다 작은 환경이 조성되는데 이 때, 이 범위 보다 레이놀즈수가 커지거나 작게 되면 오히려 전체 저항이 커지게 된다. 사막의 선인장의 조건으로부터 레이놀즈수를 계산해보면 이 범위에 해당되며 본 실험의 조건에서도 레이놀즈수를 40,000~400,000 범위로 하기 위해 실험 모델의 직경은 7cm, 풍속은 8.9m/s 으로 설정하였다.

구분		직경	풍속	동점성계수 (20℃)	Re(레이놀즈 수)
실제 사막 (선인장)	최소조건	15cm	8.3 m/s	0.000015	83000
	최대조건	25cm	22.2m/s	0.000015	370000
실험 모형	실험조건	7cm	8.9 m/s	0.000015	41533.33

[표 5] 실제 선인장과 실험 모형의 레이놀즈수 비교

### 1) groove 수에 따른 선인장 모형이 받는 힘의 크기 측정 과정

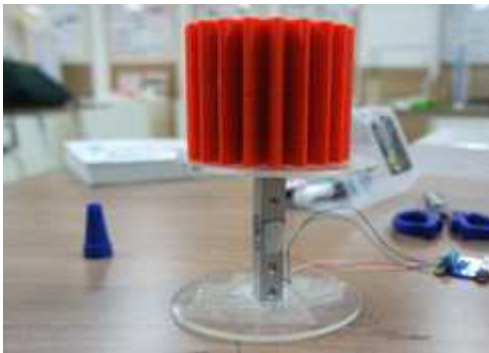
풍동장치 내에서 일정한 속도의 바람이 불 때, 다양한 수의 groove를 가진 선인장 모형과 groove가 없는 원기둥 모형(대조군)이 받는 힘의 크기를 로드셀 센서를 이용해 다음과 같이 측정하고 비교하였다.

가) 크기가 같은 groove의 수가 5개, 10개, 20개인 선인장 모형과 groove가 없는 원기둥 모형의 무게를 동일하게 통제하기 위해 질량을 무게를 측정하고 무게 보정 물질을 넣어 무게를 동일하게 통제하였다.

나) 무게를 동일하게 통제한 원기둥 모델에 로드셀 센서를 위와 같은 사진과 같이 연

결과로 로드셀과 아두이노 uno를 연결한 후 노트북에 연결한다.

- 다) 간이 풍동실험장치에 이 물체를 넣은 다음 송풍기를 작동시킨다
- 라) 0.2초 간격으로 데이터를 측정하였다.
- 마) 송풍기를 작동시킨 후, 약 2초 후부터 0.2초 간격으로 8초까지 연속적으로 측정  
한 다음 출력된 값을 평균을 계산한다.
- 바) groove가 5개, 10개, 20개인 모델을 판에 붙인 후 각각 동일한 방법으로 실험을  
진행한다.



[그림 63] 로드셀 센서를 부착한  
선인장 모형



[그림 64] 선인장 모형이 받는 힘  
의 크기 측정 실험

## 2) groove 수에 따른 선인장 모형의 가속도 변화 측정 과정

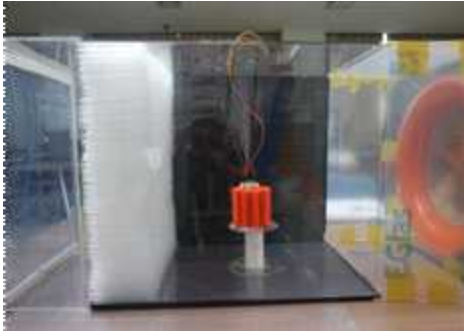
일정한 속도의 바람이 불 때 다양한 수의 groove를 가진 선인장 모형과 groove가 없는 원기둥 모형(대조군)이 바람으로부터 받는 에너지의 크기를 비교하기 위해 선인장 모형의 가속도의 변화를 다음과 같이 측정하고 비교하였다.

- 가) 무게를 동일하게 보정한 선인장 모형에 센서와 bread board를 부착한 다음, 약 20 초 동안은 송풍기를 작동시키지 않은 상태에서 물체의 가속도 변화를 0.5초 간격으로 측정한다.
- 나) 20초 후 부터는 송풍기를 작동시킨 후 가속도 변화를 0.5초 간격으로 20초 동안 측정한다.
- 다) 송풍기를 작동 시키지 않은 상태에서의 값들을 x축, y축으로 각각 평균을 낸 다음, (작동시키기 전 평균 값-송풍기 작동시킨 다음 가속도 값)을 구한 다음, 그 값의 절댓값을 취한 뒤 평균을 내서, 가속도의 변화량이 어느 정도인지 확인한다.
- 라) 각각 구한 x축과 y축의 값의 RMS값을 구한다.

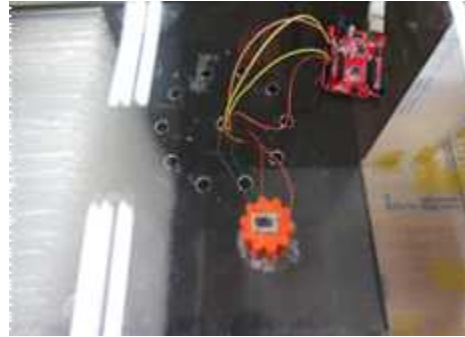
RMS값	$\{(x\text{축의 가속도})^2 + (y\text{축의 가속도})^2\}^{1/2}$
------	---

- 마) 위와 같은 방법으로 선인장 모형의 groove의 수를 다르게 하여 가속도의 변화를 반복하여 측정하였다.





[그림 65] 측면 사진



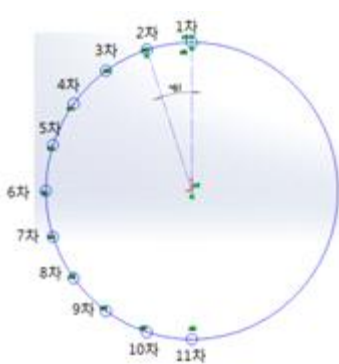
[그림 66] 가속도 센서의 연결 모습

### 3) groove 수에 따른 선인장 모형의 각 부위 풍압 측정 과정

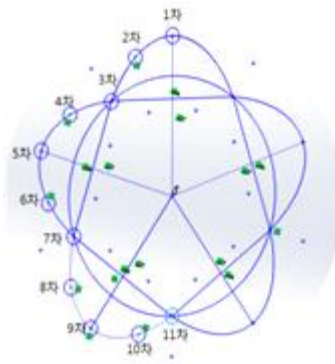
이론적 배경에서 살펴본 바와 같이 물체가 바람으로부터 받는 힘의 크기는 물체 표면에 형성되는 박리점의 위치에 따라 달라지며 박리점의 위치가 물체의 뒤로 지연될 때 물체가 바람으로부터 받은 힘(항력)은 감소하게 된다.

groove를 가진 선인장 모형이 바람으로부터 받는 힘의 크기가 달라지는 이유를 알아보기 위해 다음과 같이 groove가 없는 원기둥 모형과 groove가 있는 선인장 모형 표면의 각 부위별 풍압을 측정하여 박리점의 위치를 비교하였다.

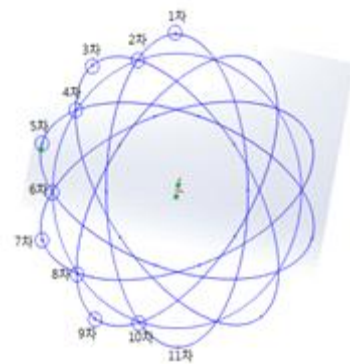
- 가) 원기둥의 표면에 일정한 간격으로 20등분한 위치를 표시한 후 1번부터 11번까지 번호를 표시 한다.
- 나) 간이 피토크를 바람이 부는 위치인 1번 위치의 물체 표면에 부착한다.
- 다) 송풍기를 10초간 틀어 10초 동안 평균 풍압을 측정한다.
- 라) 같은 위치에서 3번의 측정을 통해 반복실험을 진행한다.
- 마) 원기둥에서 같은 실험을 11번까지 반복한다.
- 바) 5각기둥과 10각기둥에서도 실험을 동일한 방법으로 진행한다.
- 사) 각 부위의 풍압값을 기록하고 측정한 풍압값은 앞서 얻은 보정식( $P_A = 2.3984 \cdot P_B + 0.5401$ )을 이용하여 실제 풍압에 가깝게 보정하였다.



[그림 67] 원기둥 모형의 풍압 측정 위치



[그림 68] 5개의 groove 모형의 풍압 측정 위치



[그림 69] 10개의 groove 모형의 풍압 측정 위치

## 다. 선인장 groove 구조의 공학적 활용 가능성에 대한 탐구 과정

바람의 저항을 줄여주는 선인장 groove 구조의 활용 가능성을 알아보기 위해 풍력발전기의 블레이드와 물의 저항을 받는 교각 모형에 적용하고 그 효과를 비교해보았다.

### 1) groove 형태를 적용한 블레이드의 풍력발전 효율 비교

현재 발전용으로 많이 쓰이고 있는 프로펠러형 수평축 풍력발전기는 블레이드가 회전할 때 회전 방향으로 받는 공기의 저항으로 인해 발전 효율이 떨어지게 된다. 선인장의 groove 구조를 풍력 발전기의 블레이드에 적용했을 때 블레이드가 회전 방향으로 받는 공기 저항을 줄여준다면 풍력발전기의 발전 효율이 일반적인 groove가 없는 블레이드에 비해 높을 것이라고 가정하고 이를 알아보기 위해 다음과 같은 실험을 실시하였다.

- 가) 선인장의 groove 구조를 적용시킨 풍력발전기용 블레이드와 groove구조가 없는 블레이드를 동일한 크기로 모델링하고 3D 프린터로 각각 출력한다.
- 나) groove 구조가 없는 블레이드를 교육용 풍력발전기에 장치한 후 풍력발전기에 전압전류계를 연결한다.
- 다) 송풍기를 이용하여 풍력발전기에 일정한 속도의 바람을 가하고 이때 발생하는 전압을 측정한다.
- 라) 가)~다)의 과정을 groove를 적용한 블레이드를 장치한 풍력발전기에 동일하게 실시하고 이때 발생하는 전압을 측정한다.
- 마) groove 구조가 있는 블레이드와 groove구조가 없는 블레이드를 각각 장치했을 때 풍력발전기에서 발생한 전압을 비교한다.



[그림 70] groove가 적용된 블레이드



[그림 71] groove가 없는 블레이드



[그림 72] 교육용 풍력발전기 Wind Pitch



[그림 73] 풍력발전 효율 비교 실험



## 2) groove 형태를 적용한 교각의 물에 대한 저항의 크기 비교

교각이란 교량의 하부 구조로 교량을 받치고 있는 기둥을 의미한다. 교각의 형태에 groove구조를 적용하여 흐르는 물에 의해 받는 힘이나 에너지를 작게 할 수 있다면 교각의 내구성이 높아질 것이다. 따라서 groove구조를 가진 모형이 groove가 없는 원기둥 모형에 비해 흐르는 물에서도 저항을 적게 받는 지 비교하기 위해 다음과 같이 실험하였다.

가) 일정한 속도로 물이 흐르도록 하는 실험장치를 제작한다.

나) 실험장치에 다양한 수의 groove가 있는 교각 모형을 장치하고 가속도 센서를 모형의 위에 부착한다.

다) 일정한 속도로 물을 흐르게 한 후 가속도 센서와 노트북을 이용하여 교각 모형의 가속도 변화를 실시간으로 측정하고 RMS값을 계산하여 물이 모형에 가하는 에너지의 크기를 계산한다.

라) groove가 없는 교각 모형에 대해서도 동일하게 실험하고 그 결과를 groove가 있는 교각 모형과 비교한다.



[그림 74] 교각 모형 실험  
(groove 5개)



[그림 75] 교각 모형 실험  
(groove 10개)



[그림 76] 실험 장치

## 6. 연구 결과

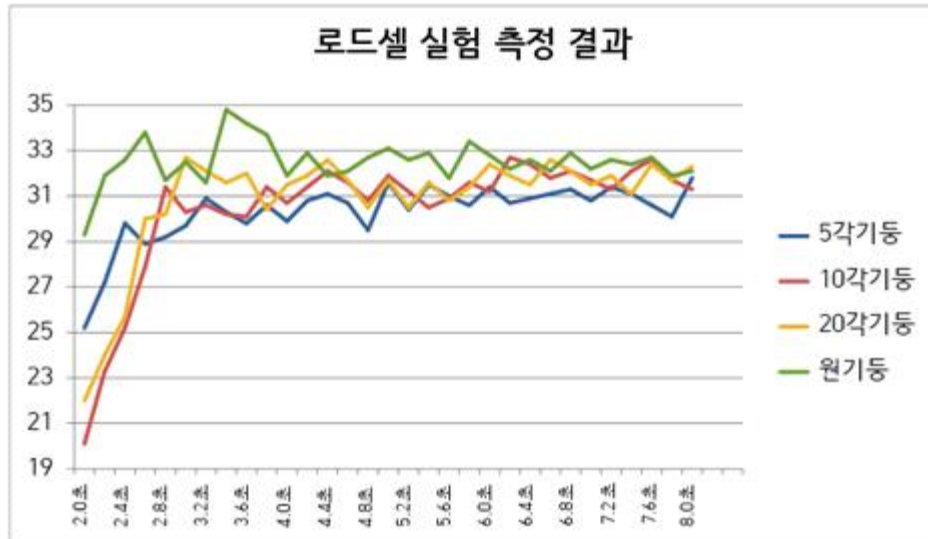
### 가. 선인장 groove 구조의 유체역학적 특성 탐구 결과

#### 1) 바람에 의해 선인장 모형이 받는 힘의 크기 측정 결과

로드셀 센서를 이용하여 바람이 부는 환경에서 각 선인장 모형이 받는 힘의 크기를 비교하였다. 센서를 이용하여 측정한 값은 다음과 같다.

groove의 수 시간	5개	10개	20개	groove없음 (원기둥)
2.0초	25.2	20.1	22	29.3
2.2초	27.2	23.3	24	31.9
2.4초	29.8	25.2	25.7	32.6
2.6초	28.9	27.9	30	33.8
2.8초	29.2	31.4	30.2	31.7
3.0초	29.7	30.3	32.7	32.5
3.2초	30.9	30.6	32.1	31.6
3.4초	30.3	30.2	31.6	34.8
3.6초	29.8	30.1	32	34.2
3.8초	30.6	31.4	30.4	33.7
4.0초	29.9	30.7	31.5	31.9
4.2초	30.8	31.4	31.9	32.9
4.4초	31.1	32.1	32.6	31.9
4.6초	30.7	31.6	31.7	32.1
4.8초	29.5	30.8	30.5	32.7
5.0초	31.6	31.9	31.7	33.1
5.2초	30.4	31.2	30.5	32.6
5.4초	31.5	30.5	31.6	32.9
5.6초	31	30.9	30.8	31.8
5.8초	30.6	31.6	31.4	33.4
6.0초	31.4	31.2	32.4	32.8
6.2초	30.7	32.7	31.9	32.2
6.4초	30.9	32.4	31.5	32.6
6.6초	31.1	31.8	32.6	32.1
6.8초	31.3	32.1	32.1	32.9
7.0초	30.8	31.7	31.5	32.2
7.2초	31.4	31.3	31.9	32.6
7.4초	31.1	32.1	31.1	32.4
7.6초	30.6	32.6	32.4	32.7
7.8초	30.1	31.7	31.7	31.9
8.0초	31.8	31.3	32.3	32.1
평균	30.33	30.55	30.89	32.52

[표 6] groove 수에 따라 선인장 모형이 받는 힘의 측정값



[그림 77] groove의 수에 따른 선인장 모형이 받는 힘의 비교

로드셀을 이용하여 모델이 바람에 의해 받는 힘의 크기를 비교하였을 때 groove가 없는 원기둥에 비해 groove가 있는 선인장 모형이 받는 힘이 모두 적었으며 특히 groove의 수가 5개인 모형의 경우 바람에 의해 받는 힘이 원기둥 모형에 비해 최대 7.20%가 감소한 것을 알 수 있다.

## 2) groove 수에 따른 선인장 모형의 가속도 변화 비교 결과

가속도 센서를 이용하여 바람이 부는 환경에서 각 선인장 모형의 가속도 변화를 비교하였다. 센서를 이용하여 측정한 값은 다음과 같다.

### (1) 원기둥(groove가 없음)

항목	1차	2차	3차	4차	5차
X축	2.975	3.2725	3.22125	2.735	2.98
Y축	2.123	1.95625	1.855	1.49125	1.955
RMS	4.529	3.813	3.717	3.115	3.564

[표 7] 원기둥 가속도 변화

### (2) groove수가 5개인 모형

항목	1차	2차	3차	4차	5차
X축	1.7025	2.165	2.1375	1.83375	1.99375
Y축	1.0775	1.1375	1.14	0.93375	1.2625
RMS	2.0148	2.4456	2.4225	2.07277	2.35986

[표 8] 5각기둥 가속도 변화

(3) groove수가 10개인 모형

항목	1차	2차	3차	4	5차
X축	1.0375	1.54625	1.325	2.27	1.225
Y축	1.75	2.6425	2.42	2.325	2.37
RMS	2.03443	3.06165	2.75899	2.325	2.667869

[표 9] 10각 기둥 가속도 변화

(4) groove수가 20개인 모형

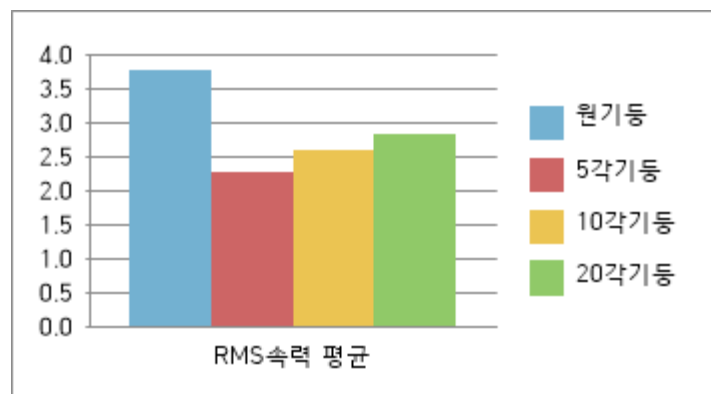
항목	1차	2차	3차	4	5차
X축	2.2326	1.945	1.9175	1.9175	1.225
Y축	2.356336	1.9825	1.94375	1.94375	2.37
RMS	3.246	2.778	2.73	2.73	2.668

[표 10] 20각 기둥 가속도 변화

(5) RMS 평균

groove 수 항목	없음 (원기둥)	5개	10개	20개
RMS평균	3.7476	2.263106	2.569588	2.8304

[표 11] RMS 평균 값



바람에 의한 가속도 변화량은 모형의 groove수가 5개일 때 가장 작았으며, 그 다음 10개, 20개, 원기둥으로 증가하는 것을 알 수 있다. 각 선인장 모형의 가속도 값에 대한 RMS 평균도 groove수가 5개, 10개, 20개, 원기둥 순으로 증가하였다. 이것으로부터 groove가 없는 원기둥 모형에 비해 groove가 있는 선인장 모형이 바람으로부터 더 적은 에너지를 받음을 알 수 있다.

### 3) groove수에 따른 모형 각 부분의 풍압 비교 결과

groove가 있는 선인장 모형이 원기둥 모형에 비해 바람의 저항을 적게 받는 이유를 알아보기 위해 모형 표면의 풍압을 측정하여 박리점의 위치를 추정하였다.

가) 원기둥(붉은 선이 박리점의 위치로 추정되는 영역)

	1차	2차	3차	4차	5차	6차	7차	8차	9차	10차	11차
1차	57.290	54.799	-29.890	-69.744	-29.890	-12.454	-9.9635	0	0	0	0
2차	59.781	47.326	-27.399	-67.254	-27.399	-9.963	-9.963	0	0	0	0
3차	62.272	47.326	-29.890	-69.744	-29.890	-14.945	-12.454	0	0	0	0
평균	59.781	49.817	-29.060	-68.914	-29.060	-12.454	-10.793	0	0	0	0
평균 (보정값)	143.918	120.021	-69.157	-164.743	-69.157	-29.329	-25.345	0.540	0.540	0.540	0.540

[표 12] groove가 없는 원기둥 모형 표면의 풍압 측정값

나) groove수 5개(붉은 선이 박리점의 위치로 추정되는 영역)

	1차	2차	3차	4차	5차	6차	7차	8차	9차	10차	11차
1차	54.799	44.836	0	-74.726	-29.890	-19.927	0	0	0	0	0
2차	59.781	47.326	0	-67.254	-29.890	-22.418	0	0	0	0	0
3차	57.290	44.836	0	-74.726	-37.363	22.418	0	0	0	0	0
평균	57.290	45.666	0	-72.235	-32.381	-6.642	0	0	0	0	0
평균 (보정값)	137.944	110.065	0.540	-172.708	-77.122	-15.390	0.540	0.540	0.540	0.540	0.540

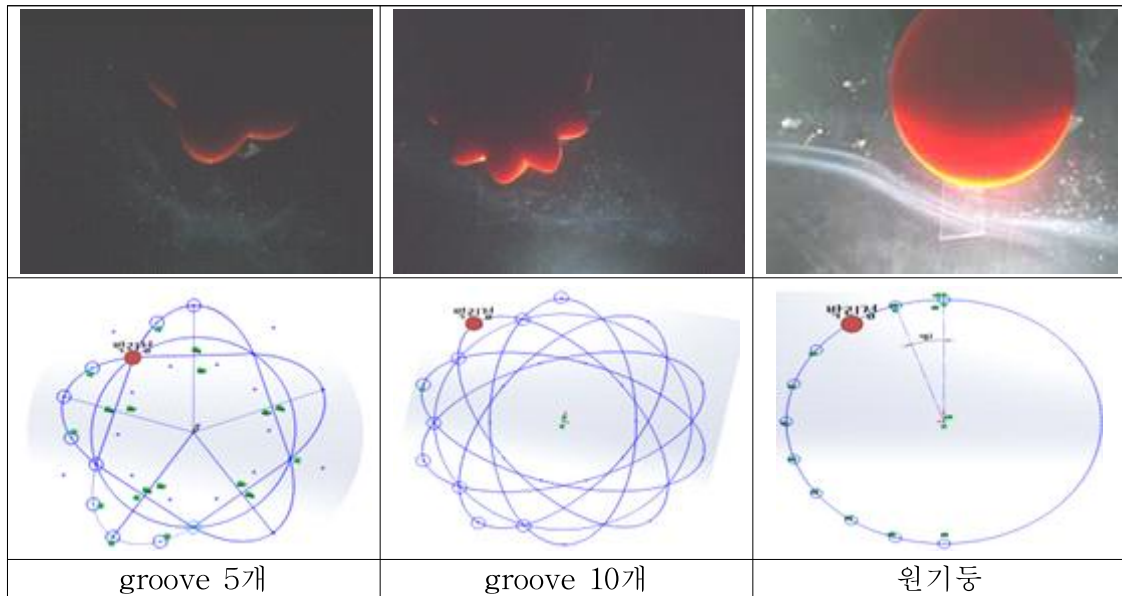
[표 13] 5개 groove 모형 표면의 풍압 측정값

다) groove수 10개(붉은 선이 박리점의 위치로 추정되는 영역)

	1차	2차	3차	4차	5차	6차	7차	8차	9차	10차	11차
1차	42.345	29.890	0	-42.345	-37.363	-19.927	-7.47	0	0	0	0
2차	42.345	27.399	0	-39.854	-34.872	-17.436	-9.963	0	0	0	0
3차	47.326	29.890	0	-39.854	-37.363	-17.436	-7.472	0	0	0	0
평균	44.005	29.060	0	-40.684	-36.533	-18.266	-8.302	0	0	0	0
평균 (보정값)	106.081	70.237	0.540	-97.036	-87.080	-43.269	-19.371	0.540	0.540	0.540	0.540

[표 14] 10개 groove 모형 표면의 풍압 측정값

위 결과를 그림으로 나타내면 다음과 같다.



[ 표 15 ] groove 수에 따른 박리점 위치

선인장 모형 표면의 풍압 측정 결과를 보면 풍압 값이 양수에서 음수로 변하는 부분이 나타난다. 그 사이에서 풍압이 0이 되는 부분이 박리점으로 박리가 일어나는 부분이라 볼 수 있다. 박리점의 경우 원기둥이 가장 앞쪽에서 나타났으며 5각기둥과 10각기둥에서는 비슷한 부분에서 나타난 것을 볼 수 있다. 박리점이 선인장 형태의 모형에서 뒤쪽으로 지연된 것으로 보아 모형에 대한 바람에 의한 저항(항력) 감소 효과를 있는 것으로 생각된다.

## 나. 선인장 groove 구조의 공학적 활용 가능성에 대한 탐구 결과

### 1) groove 형태를 적용한 풍력 발전기의 효율 측정 결과

선인장의 groove 구조를 적용한 블레이드와 groove가 없는 일반적인 블레이드를 풍력발전기에 장치했을 때 발생한 전압은 다음과 같다.

구분 \ 실험횟수	1차	2차	3차	평균
groove가 적용된 모델	23V	22V	22V	22.3V
groove가 없는 모델	18V	18V	19V	18.3V

[표 16] 풍력발전기 블레이드에 대한 groove 적용 여부에 따른 발전 효율 비교

풍력발전기에 날개에 groove를 적용한 블레이드를 장착했을 때 groove가 없는 일반적인 블레이드보다 전압이 22% 더 높게 발생하였다.

## 2) groove 형태를 적용한 교각의 물에 대한 저항의 크기 비교 결과

일정한 속도로 흐르는 물에서 groove를 가진 교각 모형과 groove가 없는 원기둥 교각 모형의 가속도 변화를 측정 한 결과는 다음과 같다.

X축	원기둥	5각기둥	10각기둥	20각기둥
1차	0.64	0.865	0.95	0.64
2차	0.96	0.64	0.76	0.96
3차	0.695	0.885	0.88	0.73
4차	0.86	0.765	1.14	0.7
평균	0.78875	0.78875	0.9325	0.7575

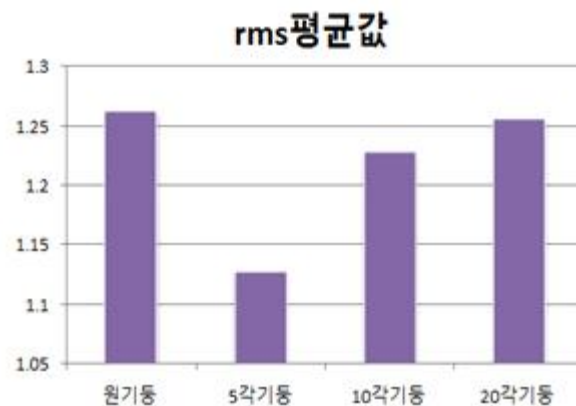
[표 17] X축 가속도 변화 비교

Y축	원기둥	5각기둥	10각기둥	20각기둥
1차	1.06	0.695	0.89	1.06
2차	1	0.76	0.775	1
3차	0.91	0.885	0.665	0.95
4차	0.95	0.775	0.855	0.98
평균	0.98	0.77875	0.79625	0.9975

[표 18] Y축 가속도 변화 비교

RMS	원기둥	5각기둥	10각기둥	20각기둥
1차	1.238225	1.109617	1.301768	1.238225
2차	1.386218	0.9872	1.085461	1.386218
3차	1.145044	1.251579	1.103007	1.198082
4차	1.281444	1.166287	1.425	1.204326
평균	1.262733	1.128671	1.228809	1.256712

[표 19] 가속도 변화의 RMS값



흐르는 물의 저항을 받는 교각 모형의 경우에서 groove가 있는 모형이 groove가 없는 원기둥 교각 모형보다 가속도 변화가 적었으며 groove의 수가 5개, 10개, 20개 순으로 가속도의 RMS 값이 증가하여 groove의 수가 적을 경우에 더 적은 에너지를 받음을 알 수 있다.

## 7. 결과 분석

가. 선인장 모형이 바람에 의해 받는 힘의 크기를 비교하였을 때 groove가 없는 원기둥 모형에 비해 groove가 5개인 모형의 경우 바람에 의해 받는 힘의 크기가 7.20%가 감소하였고, groove가 10개인 모형의 경우 6.45% 감소하였으며 20개 기둥의 경우에는 원기둥에 비해 5.25% 감소하였다. 그러므로 선인장의 groove 구조는 물체에 가해지는 바람의 힘을 감소시킴을 알 수 있다.

나. 일정한 속력의 바람이 가해졌을 때 선인장 모형의 가속도 변화의 RMS는 groove 수가 5개, 10개, 20개, 원기둥 순으로 증가하였다. 이것은 선인장의 groove 구조를 적용한 모형들이 groove가 없는 원기둥 모형보다 바람에 의해 받는 에너지가 더 적은 것을 알 수 있다.

다. 선인장 모형과 원기둥 모형 표면의 풍압을 측정하여 박리점의 위치를 실험적으로 확인한 결과, groove 구조를 가진 모형들이 원기둥보다 박리점이 더 뒤쪽에 나타나는 것을 알 수 있었다. groove 구조를 가진 선인장 모형이 바람의 저항을 덜 받는 이유는 groove 구조에 의한 박리점의 지연 때문인 것으로 생각된다.

마. 풍력 발전기의 블레이드에 groove 구조를 적용했을 때 groove가 없는 일반적인 블레이드에 비해 발전 효율은 22% 증가하였다. 이것은 선인장의 groove 구조가 풍력 발전기 블레이드의 회전 방향에서 받는 공기의 저항을 줄여 회전 효율이 높아진 결과로 생각된다.

바. 흐르는 물의 힘을 받는 교각의 경우에도 groove 구조를 적용했을 때 groove가 없는 일반적인 교각에 비해 물이 가하는 에너지를 최대 11% 적게 받으므로 교각의 안정성이나 내구성을 높일 수 있을 것으로 생각된다.



## 8. 결론 및 제언

- 가. 사막에서 서식하는 선인장의 독특한 groove 구조는 사막지역의 강한 바람에 대한 저항을 줄여주어 선인장이 쓰러지지 않고 살 수 있도록 해주는 진화적 적응의 결과로 생각된다.
- 나. 풍력 발전기의 블레이드에 groove 구조를 적용한다면 블레이드의 회전 시 발생하는 공기의 저항을 감소시킴으로서 동일한 속력의 바람에 대해서도 회전 효율을 높여 발전효율의 증가가 있을 것으로 기대된다.
- 다. 선인장의 groove 구조는 바람이나 물 등 흐르는 유체에서 물체가 받는 저항을 줄여주므로 기계장치의 실린더 등 부품의 작동 효율 향상, 교각, 고층 빌딩 등의 건축물의 내구성 향상 및 진동 저감에 공학적으로 적용할 수 있을 것이라고 생각된다.
- 라. 본 연구를 기초로 다양한 공학 분야에서 최적화된 형태의 groove 구조의 적용 방법에 대한 추가 연구가 필요할 것으로 생각된다.

## 9. 참고문헌

1. 박종천, 임계 레이놀즈수 측정에 관한 연구 (제 23회 전국 과학 전람회)
2. 강보영 외 1명, 간이 풍동장치를 이용한 건물주위의 바람 유동 패턴 분석 (제 55회 전국 과학 전람회)
3. Magesh Raj Ravindran, Computational Study for Analysis of the Potential for Drag. Reduction for Flow around a Circular Cylinder and Cactus-Shaped Cylinders
4. 곽승현, 낮은 레이놀즈 수에서 벽면에 근접하여 이동하는 실린더 주위의 유동 해석
5. 물체의 형상에 따른 항력계수의 측정(2012.11)
6. 임난영 외 1명, 물체에 부딪히는 바람의 회오리 현상에 관한 우리들의 탐구 (제 34회 전국과학전람회)
7. 김민우 외 1명, 장대형 교량 단면 주위의 바람유동 특성과 교량보의 응력분포에 관한 실험적 연구 (제 50회 전국과학전람회)