



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

박사학위논문

간이 풍동 실험장치의 특성 분석
및 교육적 활용에 관한 연구

제주대학교대학원

과학교육학부 물리교육전공

양 용 준

2020년 2월

간이 풍동 실험장치의 특성 분석 및 교육적 활용에 관한 연구

지도교수 강 동 식

양 용 준

이 논문을 교육학 박사학위 논문으로 제출함

2019 년 12 월

양용준의 교육학 박사학위 논문을 인준함

심사위원장 _____

위 원 _____

위 원 _____

위 원 _____

위 원 _____

제주대학교 대학원

2019 년 12 월

A Study on the Characteristic Analysis and Educational Application of Simplified Wind Tunnel

Yong-Jun Yang
(Supervised by professor Dong-Shik Kang)

A thesis submitted in partial fulfillment of the requirement for the degree of Doctor of Philosophy in Physics Education

2019 . 12 .

This thesis has been examined and approved.

.....
Thesis director, Dong-Shik Kang, Prof. Faculty of Science
Education

.....
.....
.....

.....
Date

Faculty of Science Education
GRADUATE SCHOOL
JEJU NATIONAL UNIVERSITY

목 차

I. 서론	1
II. 이론적 배경	6
1. 2015 교육과정의 핵심역량과 과학과 핵심 역량	6
2. 안정적 평형상태와 감쇠 조화 운동	8
1) 안정성의 정의	8
2) 과다감쇠(over damping), 미급감쇠(under damping), 임계감쇠(critical damping) 함수	8
3. 양력	10
4. 글라이더의 피치, 롤, 요 운동과 안정성	12
5. 주날개의 시위선과 평균공력시위선, 공력중심	13
1) 주날개의 시위선	13
2) 평균공력시위선	13
3) 공력중심(AC)	14
6. Excel 해 찾기 기능과 Logger Pro Ver 3.14를 이용한 비선형 곡선 맞춤	15
1) 비선형 곡선 맞춤(Non-Linear Curve Fitting)	15
2) Excel 해 찾기 기능을 이용한 비선형 곡선 맞춤	18
3) Logger Pro Ver 3.14를 이용한 비선형 곡선 맞춤	15
7. 풍동의 시험부 단면 균질도	20
III. 연구내용 및 방법	21
1. 글라이더의 안정성 교육을 위한 교재 제작	21
1) 교재개발의 취지와 방향	21
2) 글라이더 안정성 교재 개발	22
2. 에어서클레이터와 정류격자를 이용한 오픈형 간이 풍동 실험장치 제작	23

3. 연무기를 이용한 풍동 실험 장치의 직진성 확인	25
4. 풍동 실험 장치의 풍속 특성 분석	27
5. 실험용 글라이더 제작	31
6. 주날개의 앞뒤 위치에 따른 피치 각도 변화 실험	32
7. 주날개의 시위선 각도 변화에 따른 롤 평형 변화	32
8. 피치, 롤, 요 운동에 대한 감쇠 운동 분석	34
IV. 연구결과 및 논의	39
1. 글라이더의 안정성을 교육할 수 있는 영재 물리수업자료 개발 결과 39	
1) 2015 개정 교육과정 물리학II 교과서에 제시된 안정성 개념 분석	39
2) 풍동장치에 띄운 글라이더를 이용한 글라이더 안정성 탐구 활동 개발	41
2. 유동가시화를 통한 풍동의 직진성 비교 분석 결과 및 논의	46
1) 정류격자가 있을 때와 없을 때의 풍동의 직진성 비교	46
2) 유선형 날개 주위의 유동 확인 및 양력에 관한 논의	51
3) 글라이더 위아래의 유동 관찰	54
3. 에어서큘레이터와 정류격자로 구성된 풍동의 풍속 특성 분석 결과 및 논의	55
4. 글라이더 주날개의 앞뒤 위치에 따른 피치 각도 변화 결과 및 논의 74	
5. 글라이더 주날개의 시위선 각도에 따른 롤 평형 상태 변화	75
6. 피치, 롤, 요 운동에 대한 감쇠 운동 분석 결과 및 논의	82
V. 결론 및 제언	88
감사의 글	90
참고문헌	91
<부록> 직선으로 활공하는 글라이더 만들기(GED 탑재 자료)	95

그 립 목 차

[그림 II-1] 임계감쇠 및 과다감쇠함수의 그래프(Fowles et al, 2005).....	9
[그림 II-2] 미급감쇠함수의 그래프(Fowles et al, 2005).....	9
[그림 II-3] 베르누이 법칙에 의한 양력 설명.....	10
[그림 II-4] 작용-반작용에 의한 양력의 설명.....	11
[그림 II-5] 글라이더의 3가지 축.....	12
[그림 II-6] 시위선.....	13
[그림 II-7] 평균공력시위선.....	13
[그림 II-8] 공력중심.....	14
[그림 II-9] 측정값과 모델함수값의 차이.....	15
[그림 II-10] Excel 해 찾기 기능.....	17
[그림 II-11] 해 찾기 기능 적용 이후 카이제곱합, 상수, 그래프의 변화.....	17
[그림 II-12] Logger Pro Ver 3.14를 이용한 비선형 곡선 맞춤 방법.....	19
[그림 II-13] Logger Pro Ver 3.14 곡선 추세선 맞춤 테스트 결과.....	19
[그림 II-14] 풍동의 균질도 측정(김권택 외, 2007).....	20
[그림 III-1] 정류격자의 규격.....	24
[그림 III-2] 정류격자.....	24
[그림 III-3] 에어서큐레이터와 정류격자로 구성된 풍동.....	25
[그림 III-4] 연무기 구성.....	26
[그림 III-5] 연무기를 이용한 풍동 바람 유동 가시화.....	26
[그림 III-6]. 풍속 측정 영역 분할.....	27
[그림 III-7] 풍속 측정을 위한 거치대 및 아이폰 수준기.....	28
[그림 III-8] 에어서큐레이터 위치 고정을 위한 클립과 표시.....	28
[그림 III-9] 풍속계의 위치.....	29
[그림 III-10] 풍속계 높이 조절을 위한 장치.....	29
[그림 III-11] 풍동장치 하단부 풍속 측정을 위한 기구 설치.....	30
[그림 III-12] 거리 측정을 위한 자 배치.....	30

[그림 III-13] 풍속계.....	30
[그림 III-14] 실험용 글라이더 제작.....	31
[그림 III-15] 주날개의 앞뒤 위치에 따른 피치 각도 변화 실험.....	32
[그림 III-16] 시위선을 접지 않았을 때의 롤 평형 상태.....	33
[그림 III-17] 시위선에 각도를 주었을 때 롤 평형 상태 변화.....	33
[그림 III-18] 글라이더의 감쇠운동 분석을 위한 실험 설정.....	34
[그림 III-19] 풍동장치에 떠 있는 글라이더의 피치 운동 분석 방법.....	35
[그림 III-20] 풍동장치에 떠 있는 글라이더의 롤 운동 분석 방법.....	36
[그림 III-21] x축에 대한 롤 각도 θ_r	37
[그림 III-22] 질량 중심 맞추기.....	37
[그림 III-23] y축에 대한 요 각도 θ_y	38
[그림 IV-1] 무게중심 위치와 안정성(김성진 외, 2017).....	39
[그림 IV-2] 배의 안정성(곽성일 외, 2017).....	40
[그림 IV-3] 오뚝이의 안정성(손정우 외, 2017).....	40
[그림 IV-4] 자동차의 안정성(김성원 외, 2017).....	40
[그림 IV-5] 풍동장치에 띄운 글라이더.....	41
[그림 IV-6] 정류격자가 있을 때의 유동.....	46
[그림 IV-7] 정류격자가 없을 때의 유동.....	47
[그림 IV-8] 정류격자가 있는 경우 풍동의 전면부 유동.....	48
[그림 IV-9]. 정류격자가 없는 경우 풍동의 전면부 유동.....	48
[그림 IV-10] 연기 토출부와 토출부를 이용한 유동 가시화(임창수 외, 2007).....	49
[그림 IV-11] 초고속 카메라를 이용한 유동가시화 분석(김세현 외, 2014).....	50
[그림 IV-12] 유선형 날개 주위의 유동. 날개가 상승하기 직전.....	51
[그림 IV-13] 유선형 날개 주위의 유동. 위치 고정.....	52
[그림 IV-14] 풍동장치에 띄운 글라이더 주위의 유동.....	54
[그림 IV-15] 영역별 평균 풍속 분포.....	56
[그림 IV-16] A_{11} 영역에서 거리에 따른 풍속 분포.....	59
[그림 IV-17] A_{12} 영역에서 거리에 따른 풍속 분포.....	59

[그림 IV-18]	A_{13} 영역에서 거리에 따른 풍속 분포	60
[그림 IV-19]	A_{14} 영역에서 거리에 따른 풍속 분포	60
[그림 IV-20]	A_{21} 영역에서 거리에 따른 풍속 분포	61
[그림 IV-21]	A_{22} 영역에서 거리에 따른 풍속 분포	61
[그림 IV-22]	A_{23} 영역에서 거리에 따른 풍속 분포	62
[그림 IV-23]	A_{24} 영역에서 거리에 따른 풍속 분포	62
[그림 IV-24]	A_{31} 영역에서 거리에 따른 풍속 분포	63
[그림 IV-25]	A_{32} 영역에서 거리에 따른 풍속 분포	63
[그림 IV-26]	A_{33} 영역에서 거리에 따른 풍속 분포	64
[그림 IV-27]	A_{34} 영역에서 거리에 따른 풍속 분포	64
[그림 IV-28]	A_{41} 영역에서 거리에 따른 풍속 분포	65
[그림 IV-29]	A_{42} 영역에서 거리에 따른 풍속 분포	65
[그림 IV-30]	A_{43} 영역에서 거리에 따른 풍속 분포	66
[그림 IV-31]	A_{44} 영역에서 거리에 따른 풍속 분포	66
[그림 IV-32]	풍동으로부터 거리 1.5 cm 지점의 단면 풍속 분포	67
[그림 IV-33]	풍동으로부터 거리 5 cm 지점의 단면 풍속 분포	67
[그림 IV-34]	풍동으로부터 거리 10 cm 지점의 단면 풍속 분포	68
[그림 IV-35]	풍동으로부터 거리 15 cm 지점의 단면 풍속 분포	68
[그림 IV-36]	풍동으로부터 거리 20 cm 지점의 단면 풍속 분포	69
[그림 IV-37]	풍동으로부터 거리 25 cm 지점의 단면 풍속 분포	69
[그림 IV-38]	풍동으로부터 거리 30 cm 지점의 단면 풍속 분포	70
[그림 IV-39]	풍동으로부터 거리 35 cm 지점의 단면 풍속 분포	70
[그림 IV-40]	풍동으로부터 거리 30 cm 지점의 단면 풍속 분포	71
[그림 IV-41]	풍동으로부터 거리 45 cm 지점의 단면 풍속 분포	71
[그림 IV-42]	풍동으로부터 거리 50 cm 지점의 단면 풍속 분포	72
[그림 IV-43]	풍동으로부터 거리 55 cm 지점의 단면 풍속 분포	72
[그림 IV-44]	주날개 위치 변화에 따른 피치 각도 변화	74
[그림 IV-45]	글라이더 주날개의 위치 변화에 따른 피치 각도 변화	75

[그림 IV-46] 시위선 각도가 0°일 때 롤 평형.....	76
[그림 IV-47] 시위선 각도가 10°일 때 롤 평형.....	76
[그림 IV-48] 시위선 각도가 20°일 때 롤 평형.....	77
[그림 IV-49] 시위선 각도가 30°일 때 롤 평형.....	77
[그림 IV-50] 시위선 각도가 40°일 때 롤 평형.....	78
[그림 IV-51] 시위선 각도가 50°일 때 롤 평형.....	78
[그림 IV-52] 시위선 각도가 60°일 때 롤 평형.....	79
[그림 IV-53] 시위선 각도가 70°일 때 롤 평형.....	79
[그림 IV-54] 시위선 각도가 80°일 때 롤 평형.....	80
[그림 IV-55] 시위선 각도가 90°일 때 롤 평형.....	80
[그림 IV-56] 시위선 각도가 100°일 때 롤 평형.....	81
[그림 IV-57] 시위선 각도가 120° 이상 일 때 롤 평형.....	81
[그림 IV-58] 피치 운동 분석.....	82
[그림 IV-59] 롤 운동 분석.....	83
[그림 IV-60] 요 운동 분석.....	83
[그림 IV-61] 피치 안정성 설명.....	86

표 목 차

<표 III-1> 교재 개발기간 및 일정	22
<표 III-2> 보네이도 633 에어서클레이터의 기본 사양	23
<표 IV-1> 간이 풍동에 띄운 글라이더의 안정성 탐구활동 자료	42
<표 IV-2> 창의적인 글라이더 설계	44
<표 IV-3> 글라이더 날리기	45
<표 IV-4> 영역별 거리에 따른 평균 풍속 분포(단위는 m/s)	55
<표 IV-5> 제작된 풍동의 균질도	57
<표 IV-6> 미급감쇠 모델함수에 대한 상수값	84
<표 IV-7>. 임계감쇠 모델함수에 대한 상수값	84
<표 IV-8> 시험부 단면의 영역별 평균 풍속 분포	86

국문초록

간이 풍동 실험장치의 특성 분석 및 교육적 활용에 관한 연구

양용준

글라이더의 안정성에 관한 6차시의 영재 교재를 개발하였다. 역량 기반 교육과정의 취지에 따라 핵심역량을 함양할 수 있도록 교재를 구성하였으며, 학생들이 탐구와 토론을 통해 내용을 이해할 수 있도록 글라이더의 안정성을 보여줄 수 있는 실험을 개발하고 도입하였다. 개발한 교재는 <부록>에 제시하였으며, 2020년도에 영재교육종합데이터베이스(GED)에 탑재되어 영재 교육 현장에 투입될 예정이다.

영재 교재 제작을 위해 개발한 실험은 폼보드로 제작한 글라이더를 간이 풍동 실험장치에 띄우는 실험이었다. 실험을 개발하는 과정에서 성능은 다소 부족하더라도 구성과 활용이 간단한 풍동이 필요하여 간이 풍동을 에어서큘레이터와 정류격자로 구성하였다. 본 연구에서 활용한 간이 풍동장치로도 글라이더의 안정성을 보여줄 수 있는 현상을 구현할 수 있었다. 교육 현장에서 충분히 활용 가능한 부분이 있어 에어서큘레이터와 정류격자로 구성된 풍동의 풍속 특성을 확인하는 실험도 진행하였다. 연무기를 이용하여 풍동장치에 의한 유동을 구현한 결과 정류격자가 없을 때에 비해 바람이 직선으로 진행하였다. 또한 풍동 전면부를 16개 영역으로 나누고 각 영역의 거리에 따른 풍속을 측정하였다. 시험부 단면 풍속의 균질도는 28 %였으며, 최소 풍속은 1.7 m/s, 최대 풍속은 4.7 m/s였다. 일반적인 풍동에 요구되는 성능에는 미치지 못하지만 글라이더의 안정성을 보여주고 간단한 양력을 발생시키는데에는 충분한 성능을 보여주었다.

영재 교재 개발을 위해 간이 풍동 실험 장치에 글라이더를 띄우고 피치, 롤, 요 운동 변화를 주었을 때 원래의 평형상태로 돌아오는 현상을 관찰하였다. 이 상태에서 글라이더의 평형상태가 안정적인지를 확인하기 위해 글라이더가 평형상태로 돌아오는 운동을 미급감쇠 함수와 임계감쇠함수로 근사시켜 보았다. 피치

와 요 운동의 경우에는 미급감쇠 함수로 근사가 잘 되었으며, 롤 운동의 경우에는 평형상태의 노이즈를 고려한 함수로 근사시켰을 때, RMSE값이 더 작게 측정 이 되었다. 롤 운동의 경우에는 비선형 곡선 맞춤을 위한 추가적인 분석이나 실험이 필요하다.

본 연구에서 개발한 교재와 풍동 및 글라이더의 안정성을 보여줄 수 있는 실험은 교육현장에서 충분히 활용이 가능하다.

ABSTRACT

A Study on the Characteristic Analysis and Educational Application of Simplified Wind Tunnel

Yong-Jun Yang

A six-hour teaching material on the stability of gliders was developed. The material was organized to foster key competences on competency-based curriculum. And some experiments were developed and introduced to check the stability of gliders so that students can understand the contents through exploration and discussion. Developed materials are presented in Appendix and will be loaded in the GED (Gifted Student Database) at 2020.

The experiment developed for making material for gifted children was to fly a glider in a simple wind tunnel. In the course of developing the experiment, we needed a simple wind tunnel device that was easy to compose and use. At last we could compose the wind tunnel with an air circulator and a rectifier. The simple wind tunnel device used in this study showed the stability of gliders. Also it showed us good characteristic to be utilized in the classroom. So we conducted experiment to check wind speed characteristics of the wind tunnel formed by an air circulator and rectifier. When the wind flow in wind tunnel device was visualized with a fog machine, the wind proceeded making more straight line, compared with the state of no rectifier. In addition, the wind speed was measured according to the distance of each area by dividing the front part of the wind tunnel into 16 areas. The homogeneity of the wind speed of the test section was 28%, and the minimum wind speed was 1.7 m/s. The maximum wind speed was 4.7 m/s. This wind tunnel is not enough to show performance required to the normal wind tunnel but it is sufficient to demonstrate glider stability and to

generate the lift force. To develop the teaching materials for the gifted students, we observed the phenomenon of the gliders' returning to the original equilibrium state by putting them on a simple wind tunnel and by giving changes in pitch, roll and yaw motion. In order to verify that the equilibrium of the glider is stable, the motion of the glider's returning to equilibrium was approximated to the under-damping function and the critical damping function. In the case of pitch and yaw motion, under damping function was successful in approximation. In the case of roll motion, the RMSE value was smaller when noise function was added. For roll motion, additional analysis or experimentation is required for nonlinear curve alignment.

The teaching materials, the wind tunnel device, and the experiments developed in this study are thought to be able to be directly used in the classroom.

I. 서론

4차 산업혁명 시대가 도래하고 초지능 초연결사회가 되어감에 따라 지식과 데이터의 양은 기하급수적으로 늘어나고 있다. 사회가 급변하고 정보의 양이 기하급수적으로 늘어나면서 빅데이터를 분석하는 능력과 인공지능의 도입이 각광을 받고 있으며, 이에 따라 학교의 지식 전달 기능은 점차 감소할 것으로 예측되고 있다(최민영, 2019). 하지만 역량의 함양시키는 부분에서는 여전히 학교와 교사의 역할이 중요할 것이라는 연구 결과가 있다(최민영, 2019). 이는 교육과정이 지식 전달 중심이 아닌 역량을 중심으로 전환되어야 할 필요성이 있음을 나타낸다.

인공지능이 각광을 받기 전에도 지식 중심의 교육 과정을 역량 중심으로 전환해야 한다는 필요성은 제기되어 왔다. 기존의 교육과정은 지식을 습득하는데에 초점이 맞추어져 있어, 실생활에서 직면하는 실제적인 문제를 해결할 능력을 갖춘 인재를 양성하는데에는 적합하지 않았기 때문이다(조현희, 2019; 백남진 외, 2014). 세계적으로도 역량을 기반으로 교육과정을 운영해야 한다는 주장이 강조되기 시작하였다. 경제협력개발기구(OECD)의 ‘DeSeCo 프로젝트’에서는 공식적으로 역량 함양의 중요함을 표명하였으며, 평생학습사회를 대비한 핵심 역량을 기반으로 학교교육을 재편할 것을 제시하였다(조현희, 2019; 이주연 외, 2017; 손민호, 2011). 핀란드와 싱가포르를 비롯한 여러 나라들은 이러한 세계적 관심에 따라 ‘역량’의 개념을 교육과정에 포함시켰으며(임유나, 2018; 백남진, 2014), 우리나라에서도 이러한 흐름에 따라 기존의 지식을 중심으로 하는 교육과정을 역량 중심으로 한 교육과정으로 개편해야 한다는 주장이 제기되었다(조현희, 2019).

이러한 노력의 결과로 우리나라의 2015 개정 교육과정은 역량 기반 교육과정으로 설계되었으며(김경자 외, 2015), 우리나라 교육과정에서는 최초로 공식적인 교육과정에 핵심 역량이 도입되었다(교육부, 2015). 학교 교육과정이 단순한 지식과 기능 습득을 위한 교육과정이 아닌, 범교과적인 통합적 사고능력과, 문제해결 능력을 갖춘 인재 양성을 위한 교육과정이어야 한다는 관심이 반영된 것이다(조현희, 2019).

역량은 ‘무엇을 아는가?’가 아닌 ‘무엇을 할 수 있는가?’와 관련이 있다(조현희,

2019). 경제협력개발기구(OECD)의 ‘DeSeCo 프로젝트’에서는 역량을 ‘특정한 상황이나 맥락에서 발생하는 복잡한 욕구들을 개인의 심리사회적 특성들을 동원하여 성공적으로 해결하는 능력’으로 정의하였다(조현희, 2019; OECD, 2005). 백남진과 온정덕(2014)에 따르면 역량은 학습의 결과로 갖게 된 능력, 또는 학생이 무엇을 할 수 있는지를 나타내는 수행 능력과 전인적 발달을 지향하는 총체성을 의미한다.

4차 산업혁명과 지식정보화시대의 도래는 산업사회에서 요구되던 능력과는 다른 능력을 필요로 하며, 세계의 대학들은 급변하는 시대에 맞는 인재를 양성해야 한다는 요구를 받고 있다(건양대학교 ACE 교육과정 개발평가팀, 2012). 또한 고령화사회에서는 평생학습능력과 문제해결능력이 점차 강조될 것이다. 이에 따라 전인적이고 상황에 대처할 수 있는 인재를 양성하기 위해 역량의 함양은 점점 강조될 것이다.

역량 기반 교육과정이 국가 교육과정의 기본 원리로 선정되면서 영재 교육 분야에서도 2018년도부터 역량 중심 영재 교육 프로그램을 개발하고 확산하는 계획을 수립하여 추진하고 있다(교육부, 2018). 각 시도 교육청에서는 역량 중심 영재 교재 개발 사업을 통해 역량 중심 영재교재를 개발하고 영재교육 종합 데이터베이스에 탑재하고 있다.

본 연구자는 역량 중심 영재교재개발 사업 중 물리 분야의 교재 개발에 참여하여 글라이더의 안정성을 교육할 수 있는 자료를 개발하게 되었다. 글라이더의 안정성은 여러 측면이 있지만 피치(pitch), 롤(Roll), 요(Yaw)운동에 대한 안정성은 중고등학생들이 자주 접하게 되는 고무동력기나 콘덴서 비행기 제작과 직접적인 관계가 있어서 영재 교육 주제로도 적합하다고 판단했다.

과학 교과 역량을 함양할 수 있도록 교재를 제작하도록 요구받았기 때문에, 단순 지식의 전달과 문제 풀이 위주가 아닌 탐구 중심의 수업 설계가 필요하였다. 탐구활동은 학생들이 과학 지식과 과학의 본성 개념을 습득할 수 있게 도와줄 뿐 아니라 과학적 방법론을 익히게 하는데 매우 적합하며(이세연 외, 2018; 이경호 외, 2015), 실험과 탐구에 소요되는 시간을 단축하는 것이 학생들의 과학탐구 능력 향상에 큰 도움이 될 수 있기 때문이다(최성봉, 2008).

이러한 이유로 위 세가지 운동에 대한 안정성을 실험을 통해 탐구하고 발전시

킬 수 있는 교육 자료를 개발하기 위해 세가지 운동 변위에 대한 복원력을 통제된 환경에서의 간단한 실험을 통해 탐구할 수 있는 자료를 찾아보았으나, 실험실에서 보여줄 수 있는 자료나 활동은 거의 찾아볼 수 없었다.

안정성과 관련된 개념들은 주로 안정성이 깨진 경우 글라이더가 어떻게 활공하는지를 보여주거나 삽화를 통한 이론적인 개념을 교육하는 방향으로 제시되는 것이 대부분이었다(장인식, 외 2016; 이용복 외, 2011). 현재 제시되고 있는 방법들로도 글라이더의 안정성을 설명할 수 있지만, 학생들의 과학적 탐구 능력을 함양하고, 학생들에게 글라이더가 안정성이 적용되는 상황을 제대로 인식시키기 위해서는 통제된 환경에서 글라이더의 안정성을 실험적으로 보여줄 수 있는 탐구 활동이 더 적합하였다. 글라이더나 비행체를 통제되지 않은 환경에서 단순히 날리거나 이론으로만 접하는 것 보다는 통제된 환경에서 직접 탐구할 수 있도록 해 주는 것이 탐구와 이해를 위한 소요 시간을 줄이면서도 다양한 변인을 조작하면서 결과를 관찰하는 데 효과적일 것이다.

통제된 환경의 작은 공간에서 비행 상태를 연구하고 확인하는 방법으로는 풍동 실험이 이상적이다(김채현 외 2010; 최준섭 외, 2006; 이진호 외 2004). 하지만 실제 대학 및 산업 현장에서 사용되는 풍동실험장치는 중고등학교 현장에서 사용하기에는 부피를 많이 차지하고 가격이 비싸서 활용성이 떨어질 뿐만 아니라, 풍동 및 실험의 정밀도 향상을 위한 부가적인 작업이 많아져서 중고등학교에서 쉽게 접근하기가 어렵다. 조별 활동을 위해 풍동 실험장치를 조별로 하나씩 제공하는 데에도 어려움이 있다.

이러한 문제를 해결하기 위한 노력으로 조옥찬(1988)은 대학 수업에 활용이 가능한 소형 풍동을 제작하였으며, 최준섭과 이충완(2006)은 중고등학교에서 활용할 수 있는 학습용 풍동을 개발하였다. 최준섭과 이충완(2006)이 제작한 풍동은 외형의 크기가 720*370*900 mm로 기존의 풍동 실험장치들에 비해 부피가 작으면서도 풍동의 균질도는 2.43 %로 교육현장에서는 충분히 활용이 가능한 풍동장치이다. 하지만 정체부, 수축부, 시험부 등을 별도로 제작해야 해야 하며(최준섭 외, 2006), 여러 학생들이 실험하기에는 부피가 여전히 큰 편에 속했다. 특히 시험부가 폐쇄되어 있어서 글라이더의 안정성을 보여주기 위한 풍동으로는 적합하지 않은 측면이 있었다.

본 연구에서는 단순하면서도 제작과 사용이 간단한 풍동장치가 필요하여 선풍기 보다 직진성이 강하다고 알려져 있는 에어서클레이터와 정류격자만으로 풍동을 구성해 보았다. 그리고 가벼운 폼보드로 글라이더를 제작하여 피치(pitch), 롤(Roll), 요(Yaw)운동에 대한 안정성을 구현해 보았다. 그랬더니 특정한 위치에서 글라이더가 3가지 축에 대한 회전 변화에 대해 복원력을 받아 원래의 위치로 돌아오는 것을 확인할 수 있었다. 이는 글라이더의 안정성을 보여 주기에 매우 적합한 현상이었다. 뿐만 아니라 이를 구현하기 위해 사용한 풍동 장치는 제작된 글라이더를 띄우고 운동을 분석하는 데에는 충분한 풍량과 성능을 보여주었다. 정밀한 실험이 아닌 가벼운 현상을 보여주거나 확인하기에는 오히려 기존의 풍동 장치보다 더 적합한 측면이 있다고 판단되었다.

하지만 에어서클레이터와 정류격자로만 구성된 풍동 장치가 어떤 특성을 보이는지에 대한 자료는 찾아볼 수 없었다. 전국과학전람회 출품 작 중 선풍기와 정류격자를 이용한 간단한 풍동장치로 날개 단면적의 양항비를 측정하고자 했던 노력이 있었으나 해당 연구에서는 양항비 측정에 어려움이 있어 결국 송풍기를 변경하고 폐쇄형 시험부를 따로 제작하는 등 결과적으로는 부피가 큰 풍동으로 실험을 진행하였다(김채연 외, 2010). 유튜브에는 정류격자 없이 선풍기만으로 실험용 날개를 띄우는 고양력 실험장치에 관한 영상이 있지만, 선풍기만으로 풍동 구성이 가능한지에 대한 설명이나 날개를 고정된 장치에 대한 별도의 설명은 없었다.

에어서클레이터와 정류격자로만 구성된 풍동의 특성과 한계를 정확히 알 수 없어 풍동 실험이 필요한 시점에서 불필요한 노력과 어려움이 동반되며, 교육 현장에서는 풍동장치의 사용율이 저조할수 밖에 없다는 아쉬움이 있었다. 교육 및 학습용으로 활용할 수 있는 풍동이 산업용 풍동보다 경량화되는 이유는 대부분 풍동에 대한 접근성과 관련이 있지만, 현재까지 국내에서 개발된 학습용 풍동들은 최소한의 풍동 요건은 만족시키고자 하였다(김권택 외, 2007; 최준섭 외, 2006; 조옥찬 외, 1988). 현재까지 개발된 학습용 풍동은 일반적으로 사용되는 풍동의 요구조건에 거의 근접하거나 약간 모자란 수준이었다.

본 연구자는 일반적인 풍동에 요구되는 특성에 비해 많이 모자라더라도 학습용으로 더욱 간편한 형태의 풍동이 필요하다고 생각한다. 이유는 중등학교급에서

항상 정밀하고 정량적인 실험만을 필요로 하지는 않기 때문이며, 컴퓨터에 비교하자면 소비자들이 항상 고사양의 cpu가 탑재된 노트북만을 필요로 하지는 않기 때문인 것과 같다. 가벼운 문서 작업이나 웹서핑 정도는 저전력의 저사양 cpu로도 충분히 편안한 활용이 가능하다. 풍동 역시 매우 저사양의 풍동이더라도 활용성은 더욱 좋을 수 있다. 이러한 이유로 본 연구자는 글라이더의 안정성을 중고등학교 학생들에게 교육할 수 있는 교육 자료를 개발함과 동시에, 에어서큘레이터와 정류격자로 이루어진 풍동의 특성을 하는 연구를 시작하게 되었다. 이에 대한 본 연구의 목적은 아래와 같다.

첫째, 글라이더의 안정성을 주제로 과학 교과 역량을 구현할 수 있는 탐구활동 위주의 교재를 개발할 수 있는가?

둘째, 에어서큘레이터와 정류격자로 구성된 간이 풍동은 어떠한 풍속 특성을 갖는가?

셋째, 간이 풍동에 띄운 글라이더가 안정성을 갖는다는 사실을 어떻게 보일 수 있는가?

II. 이론적 배경

1. 2015 개정 교육과정의 핵심역량과 과학과 핵심역량

2015 개정 교육과정에서는 6개의 핵심역량을 총론에 제시하고 있으며, 핵심역량을 구현하기 위해 교과별 교육과정에 교과 핵심역량을 제시하고 있다(조현희, 2019; 이상원 외, 2018; 교육부, 2015).

교육과정 총론에 제시된 핵심역량은 자기관리 역량, 지식정보처리 역량, 창의적 사고 역량, 심미적 감성 역량, 의사소통 역량, 공동체 역량이며(교육부, 2015), 과학과 교육과정에 제시된 과학과 핵심 역량은 과학적 사고력, 과학적 탐구 능력, 과학적 문제 해결력, 과학적 의사소통 능력, 과학적 참여와 평생학습 능력이 다(교육부, 2015). 2015 개정 교육과정 총론 해설에 제시된 6가지 핵심역량은 다음과 같은 의미를 가진다.

자기관리 역량은 삶을 위해 필요한 기초적인 능력과 자질을 꾸준히 개발하고 관리하는 능력과 사회 변화에 유연하게 대응할 수 있는 능력을 의미한다(교육부, 2015).

지식정보처리 역량은 삶에서 직면하는 문제 해결을 위해 자료와 정보를 수집하고, 이를 효과적으로 처리하여 문제를 합리적으로 해결할 수 있는 능력을 의미한다(교육부, 2015).

창의적 사고 역량은 다양한 지식과 전문 영역의 깊은 지식을 바탕으로 독창적인 발상을 산출하고, 다양한 경험과 정보를 융합하여 활용할 수 있는 능력을 의미한다(교육부, 2015).

심미적 감성 역량은 개방적 태도와 반성적 성찰을 바탕으로 사회 현상들과 타인에 대해 공감할 수 있고, 감수성과 문화적 소양을 바탕으로 삶과 사물의 아름다움을 발견하며 행복을 누리고 질 높은 삶을 살 수 있는 능력을 의미한다(교육부, 2015).

의사소통 역량은 생각과 감정을 효과적으로 표현할 수 있고, 타인의 언어와 생

각, 감정을 이해할 수 있으며, 경청과 존중으로 갈등을 효과적으로 조정할 수 있는 능력을 의미한다(교육부, 2015).

공동체 역량은 수용과 실천, 책임감을 바탕으로 타인과 협업할 수 있고 상호작용할 수 있으며, 배려하며 함께 살아갈 수 있는 능력을 의미한다(교육부, 2015).

2015 개정 과학과 교육과정에 제시된 5가지 과학과 핵심역량은 다음과 같은 의미를 가진다.

과학적 사고력은 주장과 증거의 관계를 탐구하는 과정에서 필요하며, 과학 사회와 이론 등을 토대로 논리적으로 추론하고 비판적으로 고찰하며 창의적으로 사고할 수 있는 능력등을 포함하는 개념이다(교육부, 2015).

과학적 탐구 능력은 과학적 문제를 해결하기 위해 필요하며, 다양한 방법으로 증거를 수집하고 평가하며 새로운 과학 지식을 구성하는 능력을 의미한다(교육부, 2015).

과학적 문제 해결력은 개인적 혹은 공적 문제를 과학적 지식과 사고를 활용하여 해결할 수 있는 능력을 의미한다(교육부, 2015).

과학적 의사 소통 능력은 다양한 의사 소통 방법과 매체를 통해 제시되는 과학 기술 정보를 이해하고 표현할 수 있으며, 증거를 근거로 하여 논증할 수 있는 능력을 포함하는 개념이다(교육부, 2015).

과학적 참여와 평생학습 능력은 사회 공동체의 일원으로서 과학기술의 사회적 문제에 관심을 가지고 의사 결정에 참여하며 새로운 과학 환경에 적응하기 위해 꾸준히 학습할 수 있는 능력을 의미한다(교육부, 2015).

2015 개정 교육과정의 물리학I과 물리학II의 과학과 핵심 역량은 성취기준에 고르게 분포하고 있지는 않으며, 과학적 사고력과 과학적 탐구 능력이 주를 이루고, 과학적 문제 해결력과 의사소통 능력, 과학적 참여와 평생학습 능력은 상대적으로 덜 분포되어 있다(이상원 외, 2018).

2. 안정적 평형상태와 감쇠 조화 운동

1) 안정성의 정의

평형상태에 있는 시스템에 변위가 가해졌을 때, 시스템이 원래의 평형 상태로 돌아오는 성질이 있으면 이 시스템은 안정된 평형을 이루고 있다고 하며, 평형상태에서 오히려 멀어지는 경우는 불안정한 평형을 이루고 있다고 한다.(김성원 외 2017; 김성진 외, 2017; 광성일 외 2011; 김영민 외 2011; Halliday et al, 2006; Fowles et al 2005).

2) 과다감쇠(over damping), 미급감쇠(under damping), 임계감쇠(critical damping) 함수

속도에 비례하는 감쇠력이 있는 조화진동에 관한 운동방정식은 (1)식으로 주어진다(Fowles et al, 2005).

$$I\ddot{\theta} + c\dot{\theta} + k\theta = 0 \dots\dots\dots (1)$$

여기서 I 는 관성모멘트 또는 질량, c 는 비례상수, k 는 탄성계수이다.(Fowles et al, 2005). 감쇠인자 γ 와 각진동수에 해당하는 물리량 ω_0 를 (2), (3)식으로 정의하면,

$$\gamma \equiv \frac{c}{2I} \dots\dots\dots (2)$$

$$\omega_0 \equiv \sqrt{\frac{k}{I}} \dots\dots\dots (3)$$

운동방정식은

$$[D^2 + 2\gamma D + \omega_0^2]\theta = 0 \dots\dots\dots (4)$$

으로 치환이 가능하며, 이 때 D 는 θ 에 관한 미분 연산자를 의미한다((Fowles et al, 2005). (2) 식의 감쇠인자는 본 연구에서 곡선맞춤으로 구하였다. 그리고

이 미분방정식을 풀면 각도의 시간에 대한 함수는 (5)식으로 주어진다.

$$\theta(t) = A_1 e^{-(\gamma-q)t} + A_2 e^{-(\gamma+q)t} \dots\dots\dots (5)$$

이때,

$$q = \sqrt{\gamma^2 - \omega_0^2} \dots\dots\dots (6)$$

이다. 각도 변화의 시간에 대한 과다감쇠(overdamping)함수는 식 (5)에서 두 지수가 모두 실수이고 상수가 초기조건으로 결정되는 경우이다. 이 때는 강한 감쇠력으로 인해 진동이 일어나지 않는다(Fowles et al, 2005).

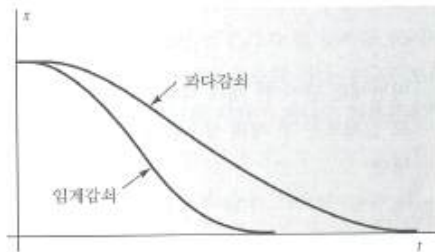
각도 변화의 시간(t)에 대한 미급감쇠(underdamping) 함수는

$$\theta = \exp(-\gamma t)(A \sin(\omega_0 t + \phi)) + B \dots\dots\dots (7)$$

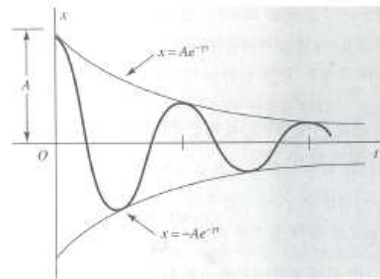
로 주어지며, 임계감쇠(critical damping) 함수는

$$\theta = (At + B)\exp(-\gamma t) + C \dots\dots\dots (8)$$

로 주어진다(Fowles et al, 2005). 여기서 A, B, C 는 최소제곱법을 이용한 비선형 곡선 맞춤에 의해 얻어지는 상수이다. [그림 II-1], [그림 II-2]는 임계, 과다, 미급 감쇠함수의 그래프 개형을 나타낸다(Fowles et al, 2005).



[그림 II-1] 임계감쇠 및 과다감쇠함수의 그래프(Fowles et al, 2005).



[그림 II-2] 미급감쇠함수의 그래프 (Fowles et al, 2005).

평형상태에서 조화진동에 근사할 수 있는 노이즈가 있는 경우의 미급감쇠 함수는 조화진동항을 추가하여 다음과 같이 근사하였다.

$$\theta = \exp(-\gamma t)(A \sin(\omega_0 t + \phi)) + D \sin(\omega_0 t) + B \dots\dots\dots (9)$$

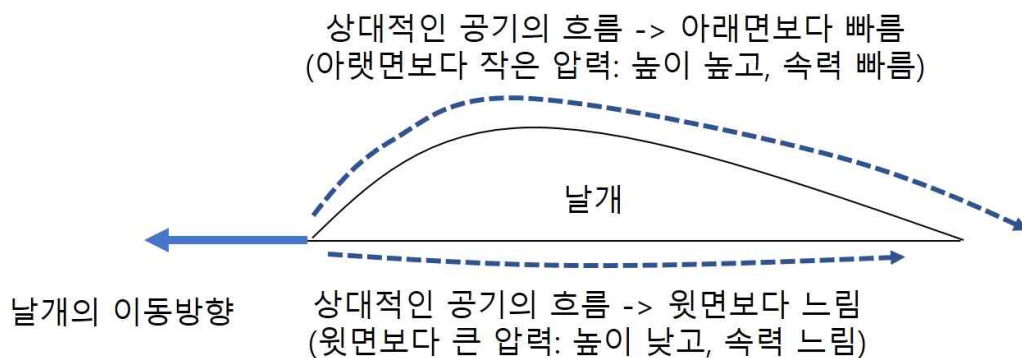
어떠한 시스템에 변위가 가해졌을 때, 시스템이 미급감쇠모델 또는 임계감쇠모델로 설명될 수 있다면, 안정성의 정의에 따라 해당 시스템은 안정적인 평형 상태에 있다고 할 수 있다.

3. 양력

항공기가 중력을 극복하고 위로 뜨게 하는 힘을 양력이라고 한다(장인식 외, 2011). 양력을 설명하는 물리적인 법칙으로는 작용-반작용 법칙, 베르누이 법칙, 아르키메데스의 법칙이 있다. 이 중 부력에 해당하는 아르키메데스 법칙에 의한 양력은 열기구에 적용이 되는 법칙인데, 본 논문에서는 다루지 않으므로 자세한 설명은 생략한다.

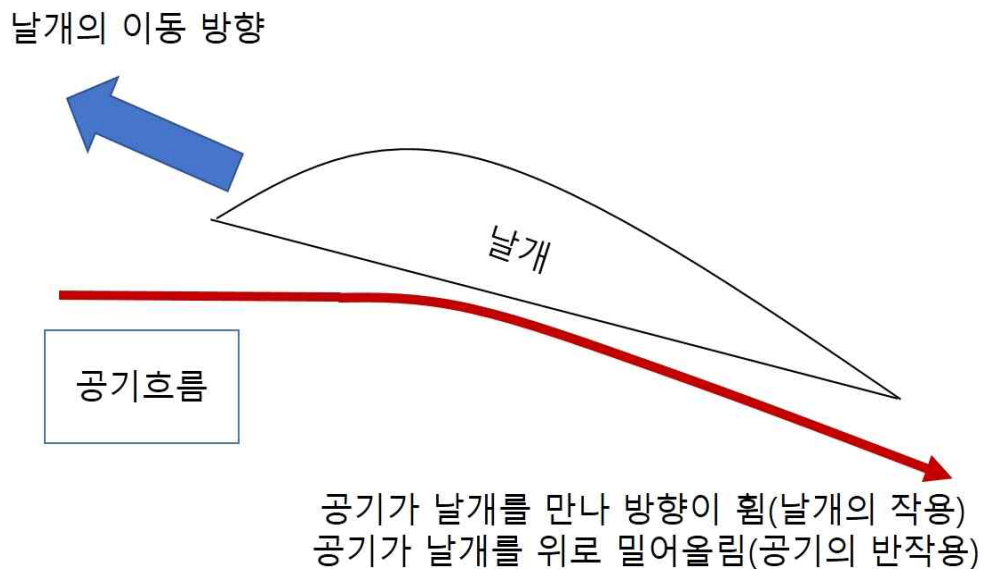
베르누이 법칙에 의한 양력은 단면이 유선형으로 제작된 날개의 위아래를 지나가는 공기의 속도차에 의한 압력의 차이로 양력을 설명한다. 비행기를 앞으로 나가게 하는 추력에 의해 지면에 대해 정지해 있는 공기를 빠른 속도로 비행기가 통과하게 되면 상대적으로 공기는 비행기에 대해 비행기의 속도로 뒤로 이동하게 된다. 이 때 유선형으로 제작된 날개는 날개 위아래 공기의 속도가 달라지는 원인이 되는데 날개의 윗부분의 속도가 빨라진다. 베르누이 법칙에 따르면 높이가 비슷한 지점에서는 공기의 속도가 빠를수록 공기의 압력이 낮아지므로(장인식 외, 2016), 날개의 아래부분의 압력이 날개의 윗부분의 압력보다 세지게 된다. 따라서 날개의 아랫 부분에서 비행기를 위로 올리는 양력이 발생하게 된다.

[그림 II-3]은 베르누이 법칙에 의한 양력을 모델화한 것이다.



[그림 II-3] 베르누이 법칙에 의한 양력 설명.

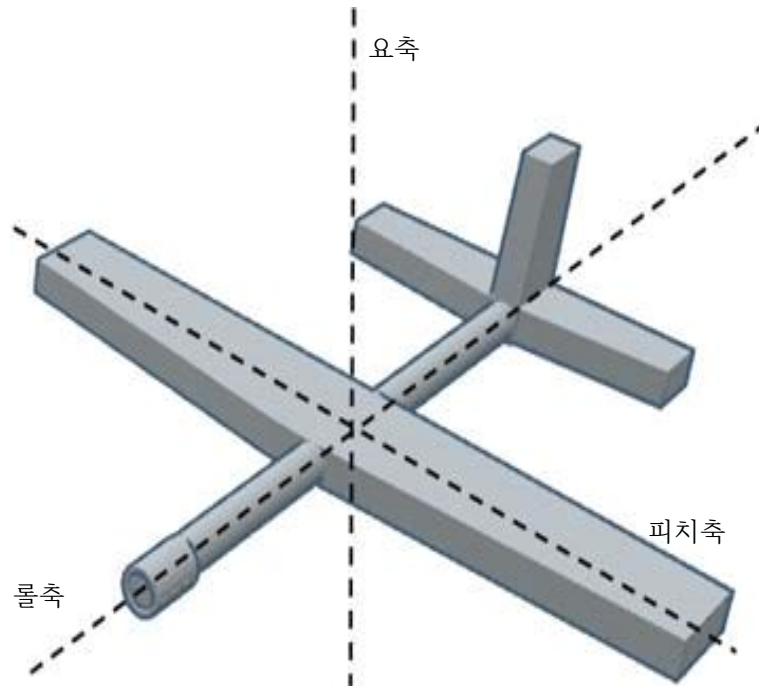
작용-반작용 법칙에 의한 양력의 설명은 공기가 비행기의 날개를 미는 힘에 의하여 비행기가 뜨는 원리이다. 선풍기 바람에 종이를 수직으로 위치시키면 종이 가 선풍기 바람에 밀리는 것을 느낄 수 있을 것이다. 베르누이 법칙 때와 마찬가지로 비행기가 추력에 의해 앞으로 나아가면 공기는 상대적으로 비행기의 뒤로 이동한다. 이 때 비행기의 날개가 기울어져 공기의 힘을 받는 면적이 생기면 날개는 공기를 밀어내고, 그에 대한 반작용으로 공기도 날개를 밀어낼 것이다. 이 힘에 의해 비행기가 위로 떠오를 수 있다. 작용-반작용의 법칙으로 항공기가 양력을 받기 위해서는 공기의 힘을 받는 면적이 필요하여, 공기의 흐름에 대해 날개의 아랫면이 각도를 가져야 하는데 이 각도를 받음각이라고 한다(장인식 외, 2016). [그림 II-4]는 작용-반작용에 의한 양력을 표현한 것이다. 비행기는 추력이 있기 때문에 공기에 의해 뒤로 밀리지 않고 전진하면서 양력을 받을 수 있다.



[그림 II-4] 작용-반작용에 의한 양력의 설명.

베르누이 법칙과 작용-반작용의 법칙은 모두 양력을 설명하는데 중요한 법칙이다. 다만 적용되는 조건과 상황에 차이가 있으므로, 둘 중 어느 법칙이 맞는지 를 논하는 것은 합리적이지 않다.

4. 글라이더의 피치, 롤, 요 운동과 안정성

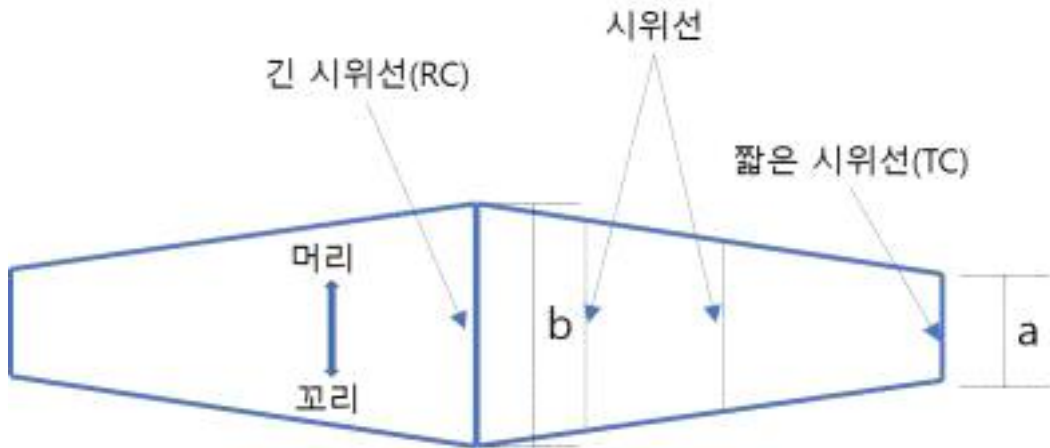


[그림 II-5] 글라이더의 3가지 축.

[그림 II-5]와 같이 글라이더는 수직인 3개의 축을 갖으며 각각을 가로축, 세로축, 수직축 또는 피치축, 롤축, 요축이라고 한다(장인식 외, 2016). 각 축에 대한 회전운동을 피치운동, 롤운동, 요운동이라고 하는데, 각 운동에 대해 원래의 상태로 돌아오려는 성질이 있으면 글라이더는 안정적이다(장인식 외, 2016). 특히 글라이더의 세 축의 평형상태에서 변위가 가해졌을 때, 미급감쇠 또는 임계감쇠 모델로 근사가 가능한 운동을 한다면 글라이더는 안정적인 평형상태에 있다고 할 수 있다.

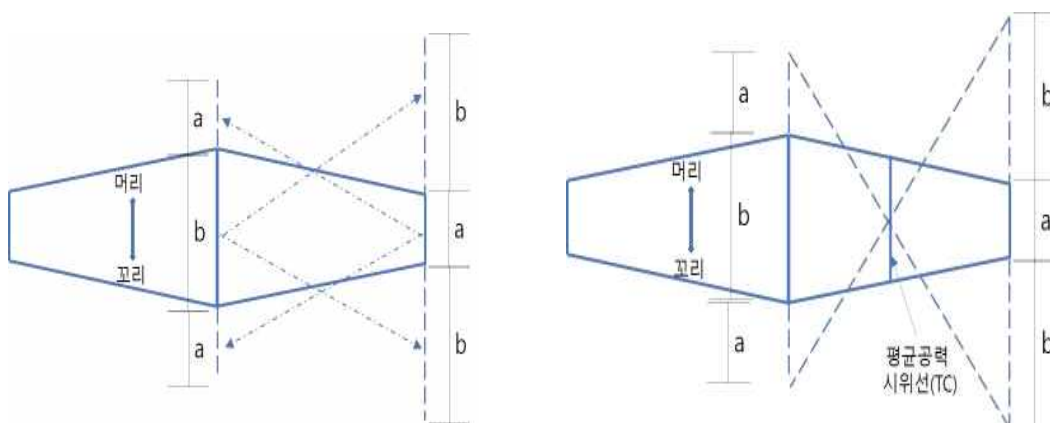
5. 주날개의 시위선과 평균공력 시위선, 공력중심(양용준 외, 2020 : GED 탐재 교재 내용 발췌)

1) 주날개의 시위선: [그림 II-6]에서와 같이 날개의 앞에서부터 뒷부분까지 이은 선을 시위선이라고 하며, 몸체와 가까운 부분의 가장 긴 시위선을 긴 시위선, 날개 끝의 가장 짧은 선을 짧은 시위선이라고 한다.



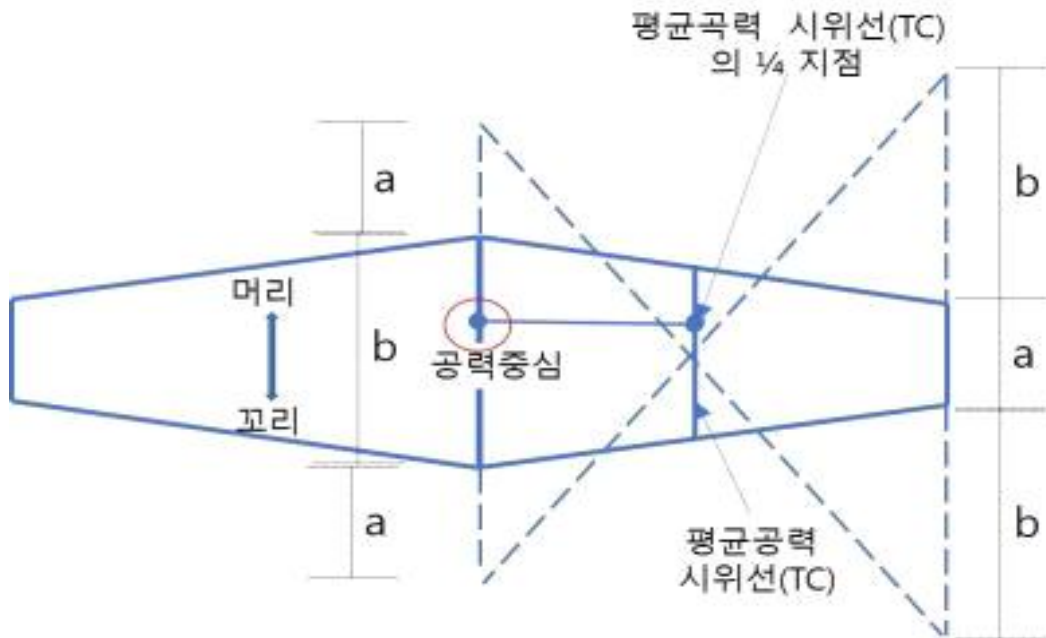
[그림 II-6] 시위선.

2) 평균공력시위선: [그림 II-7]과 같이 짧은 시위선 앞뒤로 긴 시위선 길이 만큼 연장선을 긋고, 긴 시위선 앞뒤로 짧은 시위선 길이 만큼 연장선을 그은 후 양 끝점을 이은 대각선의 교점을 지나는 시위선을 평균공력시위선이라고 한다.



[그림 II-7] 평균공력시위선.

3) 공력중심(ac): [그림 II-8]과 같이 평균공력시위선의 머리 부분에서 약 $\frac{1}{4}$ 지점의 점에서 날개의 중심축에 내린 수선과 중심축이 만나는 지점이 주날개의 공력중심이다.



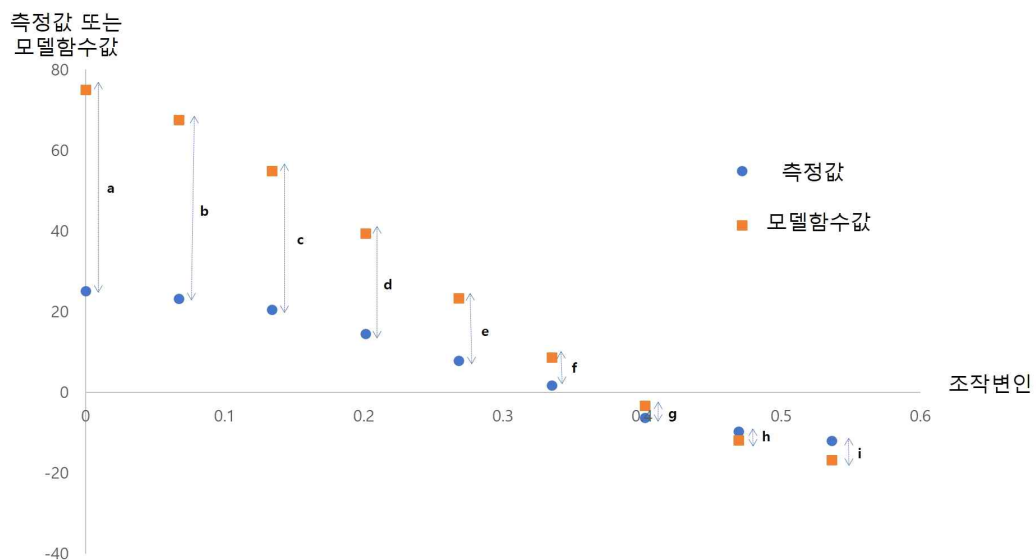
[그림 II-8] 공력중심.

6. Excel 해 찾기 기능과 Logger Pro Ver 3.14를 이용한 비선형 곡선 맞춤

1) 비선형 곡선 맞춤(Non-Linear Curve Fitting)

실험 데이터를 분석하여 데이터를 가장 잘 설명할 수 있는 함수를 찾아내는 방법을 곡선 맞춤(Curve Fitting)이라고 한다. 데이터가 선형 함수로 가장 잘 설명이 되는 경우에는 선형 회귀 분석법(Linear Regression Analysis)을 이용하여 데이터를 분석할 수 있지만 비선형 함수인 경우에는 선형 회귀 분석법을 사용할 수 없고 최소자승법을 이용하여 함수를 찾아야 한다. 비선형으로 표현되는 데이터를 선형이 아닌 곡선함수로 표현하기 위해 상수를 구하는 과정을 비선형 곡선 맞춤(Non-Linear Curve Fitting)이라고 한다(김세현, 2018).

2) Excel 해 찾기 기능을 이용한 비선형 곡선 맞춤



[그림 II-9] 측정값과 모델함수값의 차이.

[그림 II-9]에서와 같이 측정값을 표현하기 위해 모델로 정한 함수의 함수값과 측정값의 차이를 a, b, \dots, i 라고 할 때, 이 차이를 제공한 값을 카이 제곱(χ^2)이라

하고 이를 다 더한 값을 카이 제곱 합($\sum x^2$)이라고 정의하면

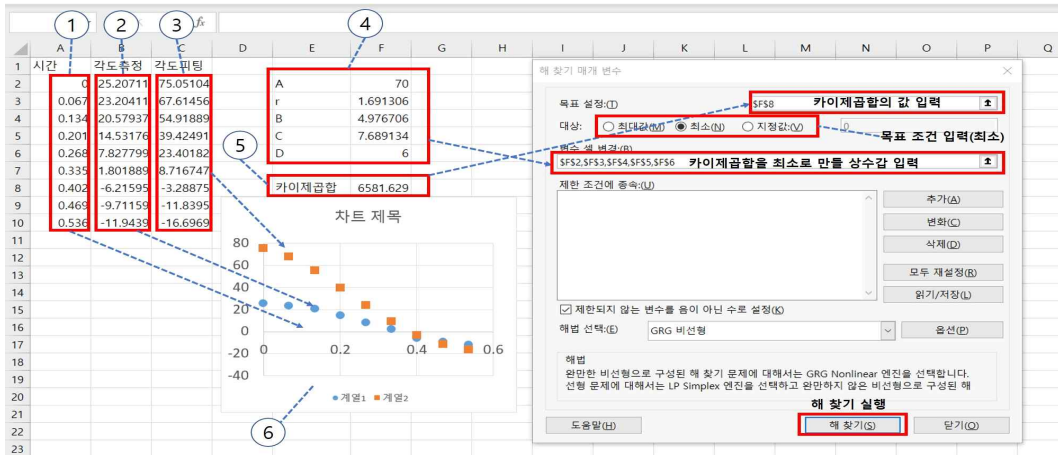
$$\sum x^2 = a^2 + b^2 + \dots + i^2 \dots\dots\dots (10)$$

모델 함수는 주어진 비례상수에 따라 함수값이 바뀌게 되는데, 최소제곱법은 (10)식의 카이 제곱 합을 최소로 하는 비례상수를 구하는 과정이다. 모델로 정한 함수의 상수를 최소제곱법으로 구했을 때, 모델 함수는 측정값을 가장 잘 표현하는 상태가 된다고 할 수 있다(양용준 외, 2017).

비선형 함수로 표현이 가능한 측정값과, 측정값을 표현할 수 있는 비선형 모델 함수가 정해졌을 때, Excel의 함수와 해 찾기 기능을 이용하면 비선형 곡선 맞춤을 컴퓨터를 이용하여 쉽게 실행할 수 있다. Excel 해 찾기 기능을 이용한 최소제곱법의 예제는 양용준과 강동식(2017)의 연구에 제시되어 있는데, 해당 연구에서는 선형 함수를 모델로 사용하였으나, 비선형 함수에서도 활용할 수 있는 방법이다.

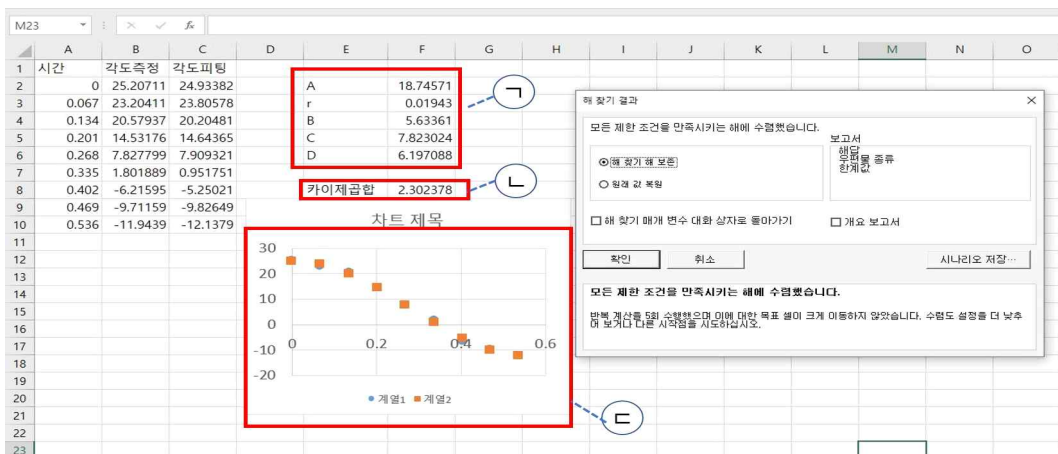
[그림 II-10]에서 ①은 조작 변인에 해당하는 시간값들에 해당되며 ⑥ 그래프의 가로축 값이 된다. ②는 본 연구에서 시간에 따른 각도 변화를 측정한 측정값이며 그래프에서 채워진 동그라미 형태로 표현된 값들이다. ③은 측정값을 표현하기 위해 시간에 따른 미급감쇠함수(2절의 식 (7))의 함수값을 나타낸 것이며 그래프에서는 채워진 네모로 표현되어 있다. 미급감쇠함수에 필요한 상수들은 ④와 같이 임의로 정한 값이며 해 찾기를 실행한 이후에는 카이제곱합을 최소로 하는 값으로 변경되는 값이다. 이 때 주의해야 할 사항은 임시로 상수들을 정할 때에는 그래프에 어느 정도 근접하게 설정하는 것이 오류를 줄이기 위해서 중요하다. ⑤는 카이제곱합을 나타낸 것이며, ③, ② 데이터의 각 셀의 값을 빼준 값을 제공해서 다 더한 것이며, Excel에서는 sumxmy2 함수를 이용하면 이 값을 쉽게 도출할 수 있다(양용준 외, 2017). 해찾기를 실행하면 [그림 II-10] 오른쪽의 대화 상자가 열리는데, 목표 설정에는 ④의 카이제곱합의 값이 들어있는 셀을 입력하고, 이 값을 최소로 할 것이므로 대상의 영역에는 ‘최소’를 선택한다. 변수 셀에는 ⑤의 상수값들을 입력시키는데, 값이 들어있는 셀들을 ‘세포’로 구분해서 입력하면 된다. 이후 해찾기를 실행

행시키면 ④의 값들을 변화시켜 ⑤의 값을 최소로 하는 값을 컴퓨터가 계산한다.



[그림 II-10] Excel 해 찾기 기능.

[그림 II-11]은 해 찾기를 실행하고난 후의 변화를 나타낸 것이다. ㉑,㉒,㉓을 상수값을 [그림 II-10]의 ④,⑤,⑥과 비교해 보면, 카이제곱합 ⑤는 6581.625에서 2.302378로 매우작아진 것을 알 수 있으며, 이는 ④의 임시로 정한 상수값이 ㉑과 같이 바뀌면서 동시에 바뀌게 된 것이다. 즉 해 찾기 기능으로 ㉒을 최소로 하는 ㉑값을 찾아준 것이며, 이 방법이 최소제곱법이다. ㉓과 ⑥을 비교해 보면 ㉓이 ⑥에 비해 측정값을 더 잘 표현한다는 것을 볼 수 있다.

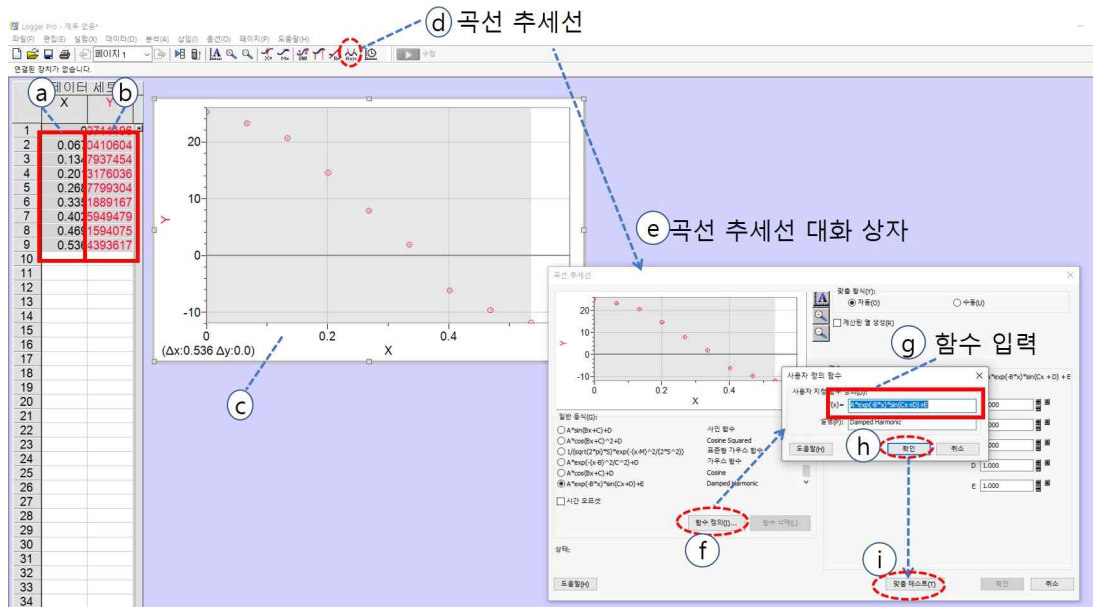


[그림 II-11] 해 찾기 기능 적용 이후 카이제곱합, 상수, 그래프의 변화.

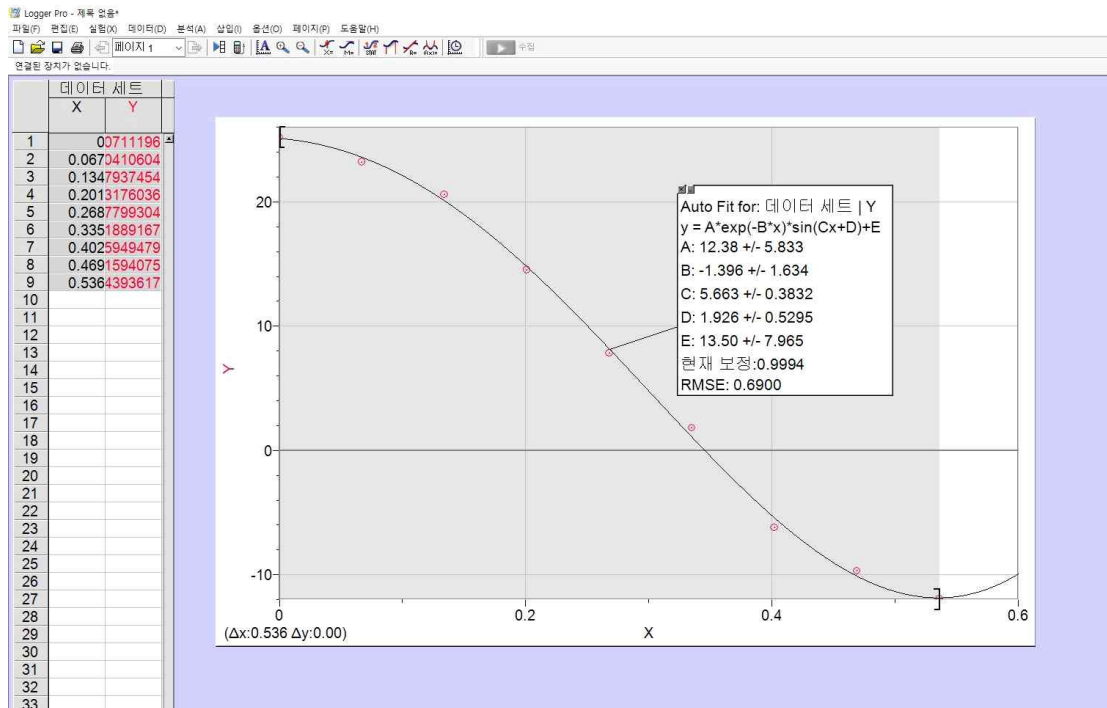
양용준과 강동식(2017)의 연구 <부록>에 해 찾기 기능을 이용하여 최소제곱법을 적용한 예제가 있다. 해당 연구에서는 선형 함수를 이용하여 곡선 맞춤을 했으나 비선형 함수에서도 가능한 방법임으로 해당 연구를 참조하면 비선형 곡선 맞춤을 할 수 있다.

3) Logger Pro Ver 3.14를 이용한 비선형 곡선 맞춤.

Logger Pro Ver 3.14 프로그램에서는 곡선 추세선 기능으로 비선형 곡선 맞춤을 할 수 있다. 데이터가 있는 경우 Excel보다 간단하게 함수에 대한 상수값을 산출할 수 있지만 주어지는 통계적 값이 한정되어 있어서 통계적 분석을 할 때에는 추가적인 계산을 별도로 진행해야 한다. [그림 II-12]는 Logger Pro Ver. 3.14를 이용한 비선형 곡선 맞춤 방법이다. ㉑는 조작변인인 시간, ㉒는 시간에 대한 각도 측정값이다. Excel과 다르게 함수값은 미리 정하지 않는다. ㉑와 ㉒를 입력하면 ㉓와 같이 ㉑값들에 대한 ㉒의 그래프가 그려진다. 데이터를 선택한 후 ㉔의 곡선추세선 버튼을 누르면 ㉕와 같은 곡선 추세선 대화 상자가 나오는데, 대화 상자의 맞춤테스트 ㉖ 버튼을 누르면 함수를 입력할 수 있는 추가 대화 상자가 나온다. ㉗위치에 함수를 입력하고 확인 ㉘버튼을 누르고 최종적으로 맞춤테스트 ㉙ 버튼을 누르면 그림 [III-13]에서와 같이 데이터를 표현하는 함수 그래프가 주어지고, 함수를 입력했을 때 구하고자 하는 상수값들이 별도의 말풍선에 표시된다. 그리고 평균 제곱근 편차(Root Mean Square Error: RMSE) 값을 자동으로 산출하여 제시해 준다.



[그림 II-12] Logger Pro Ver 3.14를 이용한 비선형 곡선 맞춤 방법.



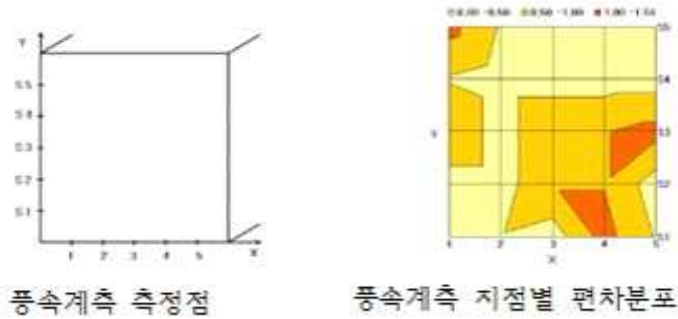
[그림 II-13] Logger Pro Ver 3.14 곡선 추세선 맞춤 테스트 결과.

7. 풍동의 시험부 단면 균질도

풍동의 균질도는 풍동의 단면 또는 거리에 따른 풍속이 일정한지를 나타내는 지표라고 할 수 있다. 본 논문에서는 김권택 등(2007)이 교육실험용 미니풍동을 테스트할 때 사용했던 방법을 사용하였다. 풍동을 몇 개의 구역으로 나누어 각 구역에서 측정된 풍속을 v 라 하고, 나눈 구역의 풍속들의 평균값을 \bar{v} , 표준편차를 ρ 라고 하면 측정하고자 하는 영역에서의 풍속의 균질도 I 는 (11)의 식으로 주어진다.

$$I = \frac{\rho}{\bar{v}} \times 100 \quad [\text{단위 \%}] \dots\dots\dots (11)$$

[그림 II-14]는 김권택 등(2007)의 연구에서 균질도를 테스트했던 결과를 나타낸 것이다.



시험부에서의 측정점별 풍속 및 균질도

Y \ X	1	2	3	4	5	\bar{v}	ρ	$\frac{\rho}{\bar{v}} \times 100$
1	13.9	13.9	14.0	13.8	13.9	13.97	0.09	0.64
2	14.0	14.0	14.1	14.1	14.0			
3	14.1	14.0	14.1	14.1	13.8			
4	13.9	14.0	14.0	14.0	14.0			
5	13.8	13.9	14.0	14.0	13.9			

[그림 II-14] 풍동의 균질도 측정(김권택 외, 2007).

III. 연구 내용 및 방법

1. 글라이더 안정성 교육을 위한 교재 제작

1) 교재개발의 취지와 방향

제주특별자치도 교육청에서는 2019 역량 중심 영재교재 개발 사업 공모를 통하여 2020년부터 사용할 교재 개발을 추진하였으며, 본 연구자도 사업에 참여하여 교재를 집필하게 되었다. 교재 개발진은 현직 초등교사 5명과 중등 교사 5명으로 구성되었으며, 교육학 박사학위를 가진 현직 장학관이 연구책임자로 임명되었다.

교재는 초등학교용과 중등학교용 각 30차시로 구성하였다. 주제는 초등과 중등에서 각각 5개의 주제로 1개의 집필자가 한개의 주제에 대한 6차시의 교재를 개발하기로 합의하였다. 교재 개발의 최종 산출물은 개발보고서, 교사용 지침서, 학생용 교재(워크북) 3가지이며, 현직 과학 교사로 구성된 전문가 2인과 한국교육개발원에서 위촉한 전문가 1인의 심의를 받은 후 심의 의견에 따른 수정정보완조치표도 함께 제출하도록 요구받았다.

교재 개발 사업의 대주제는 ‘안정성’으로 2015 개정 교육과정에서는 고등학교 물리학II 힘과 운동 단원과 연계되는 개념이며(교육부, 2015), 다섯 가지 하위 소주제는 자전거, 자동차, 글라이더, 드론, 우주선의 안정성이었다. 본 연구자는 글라이더의 안정성을 주제로 한 6차시의 자료 개발을 담당하였다. 집필진은 교재의 내용과 구성이 2015 개정 과학과 교육과정의 핵심역량을 함양할 수 있게 설계할 것을 요구받았다. 교재 개발기간 및 일정은 <표 III-1> 과 같다.

<표 III-1> 교재 개발기간 및 일정.

일정	내용
2~4월	역량중심 영재교육 프로그램 개발을 위한 기초 설계 및 가이드라인
5월	프로그램 개발진 선정 및 1차 워크숍 실시
6월	2차 워크숍 실시: 개발진의 개발 계획, 개념도 등의 빅아이디어, 세부내용(1차시) 검토
5~7월	프로그램 개발
8월	프로그램 중간 점검: 전문가·영역별 개발진 검토
8~10월	프로그램 개발
11월	프로그램 최종 점검(프로그램 별 전문가 심의) 및 검토 의견 수정·보완
12월 말	최종결과물 수합 및 영재교육종합데이터베이스(GED) 탑재

2) 글라이더 안정성 교재 개발

‘안정성’이라는 대주제에 맞는 2015 개정 교육과정의 개념을 도입하여 교재를 구성하고자 2015 개정 교육과정의 물리학II 교과서에 제시되는 안정성 개념을 분석하고, 교과서에 제시된 예시의 특성을 글라이더의 상황에 구현하고자 하였다. 폼보드로 제작한 글라이더를 풍동에 띄웠을 때 특정 위치의 평형상태에서 변화에 대해 오뎅이처럼 원래의 상태로 돌아오는 현상을 구현하고 이를 탐구할 수 있는 형태로 교재를 제작하였다. 또한 배운 내용을 적용하여 글라이더를 창의적으로 설계할 수 있는 탐구활동도 함께 제시하였다.

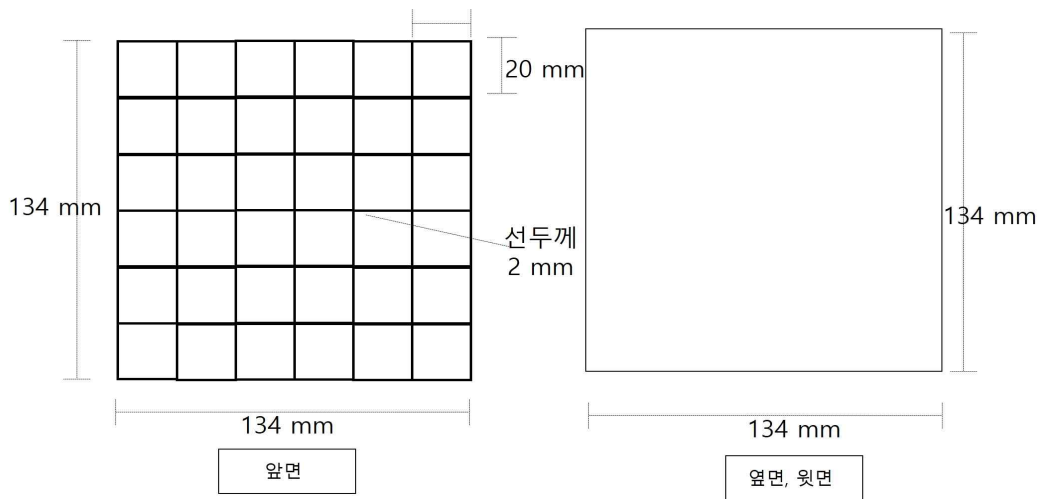
2. 에어서큘레이터와 정류격자를 이용한 간이 풍동 실험장치 제작

본 연구에 사용된 풍동장치는 에어서큘레이터와 정류격자로만 구성하였다. 에어서큘레이터는 보네이도 633제품을 사용하였으며, <표 III-2>는 보네이도 633 제품의 기본 사양이다. 본 연구에서는 Level 3의 속도만 사용하였다.

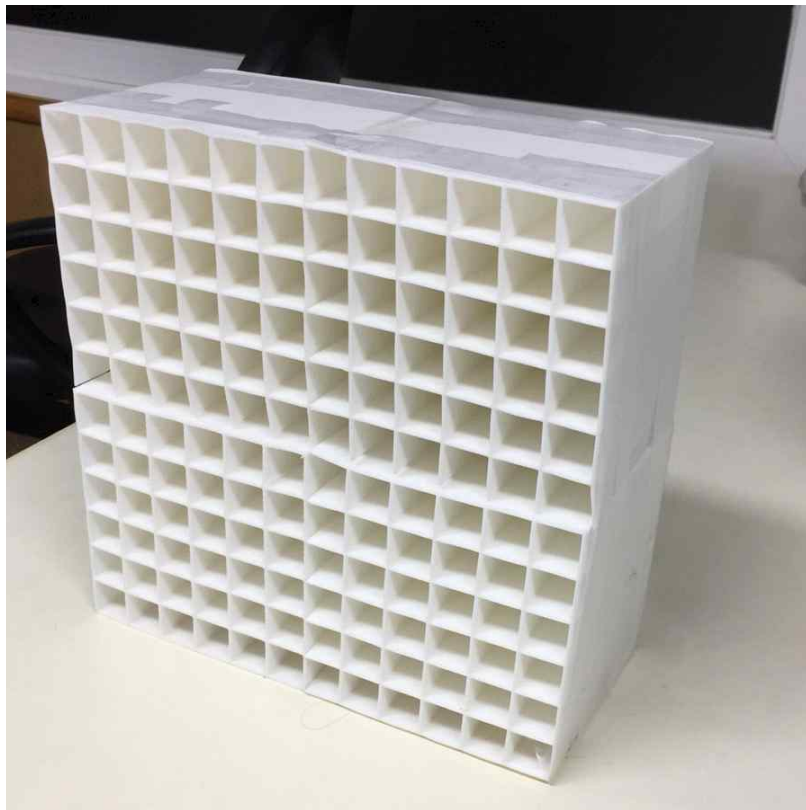
<표 III-2> 보네이도 633 에어서큘레이터의 기본 사양.

사양		사양 값		
크기(cm ³)		21.8×30.5×34.5		
중량(kg)		2.63		
속도단계	Level 1	Level2	Level3	
소비전력(W)	43	51	65	
회전수(rpm)	1000	1250	1600	
공기흐름량(cpm)	235	297	389	
소음(DB)	53	59	66	
최대풍속(m/분)		450		
날개지름(cm)		22.8		
송풍원추외경(cm)		27.9		
공기이동거리(m)		23		

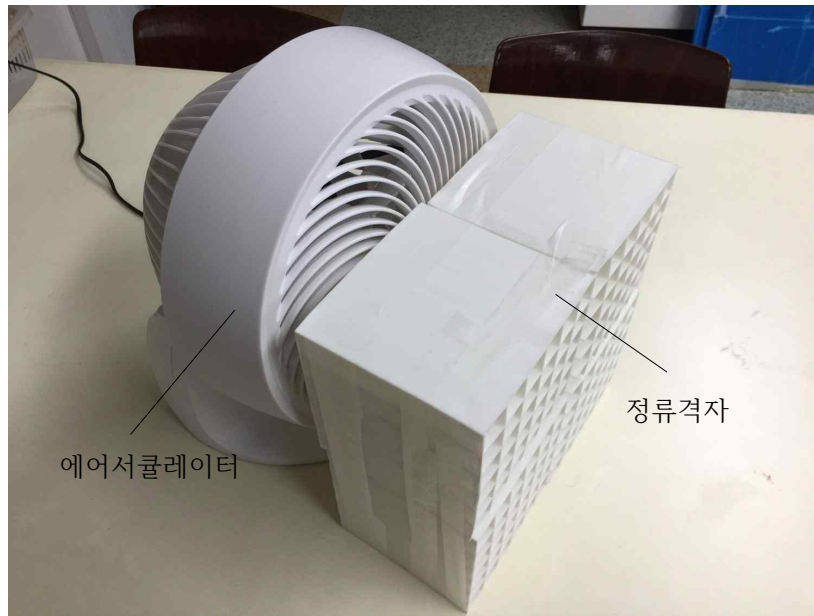
정류격자는 한국산업표준에 제시된 규격을 따르고자 하였으나(산업표준심의회, 2017), 3D 프린터의 성능과 격자의 견고성 등의 문제를 해결하고자 [그림 III-1]와 같은 규격으로 제작하였다. 3D 프린터의 출력 크기 제한으로 인하여 4개를 출력하여 결합하였다. 3D 프린터가 없는 경우에는 빨대를 이용하여 제작이 가능하며, 빨대를 이용한 정류격자는 임창수와 최준섭(2007)의 연구를 참고할 수 있다. [그림 III-2]은 실제 제작한 정류격자이며, [그림 III-3]은 간이 풍동장치의 구성을 나타낸 것이다.



[그림 III-1] 정류격자의 규격. 3D 프린터로 4개를 출력하여 결합함.



[그림 III-2] 정류격자. 그림 5 규격의 격자 4개를 출력하고 스카치 테이프로 결합하여 제작.



[그림 III-3] 에어서클레이터와 정류격자로 구성된 풍동.

3. 연무기를 이용한 풍동 실험 장치의 직진성 확인

정류격자 없이 선풍기로 양력을 발생시키는 실험이 유튜브에도 올라와 있다. 하지만 본 연구에서 글라이더를 풍동 장치에 띄울 때 에어 서클레이터만 이용한 경우 글라이더가 빙글빙글 돌아 제대로 띄울 수 없었다. 정류격자를 사용하자 이러한 문제가 해결되었는데, 그 이유를 바람을 직선으로 내보내어 주는 정류격자의 역할에 비추어 설명해보고자 연무기를 이용하여 정류격자가 있는 경우와 없는 경우 바람의 모양을 구현하여 확인해 보았다. 본 연구에 사용된 연무기는 [그림 III-4]에 제시된 S-400W이며, 리모컨을 이용하여 연기 발생을 키고 끌 수 있다. 연무액은 인체에 무해하다고 나와 있지만 정확한 성분을 알 수 없어 실험 중에는 KF-94 마스크를 착용하였다.



[그림 III-4] 연무기 구성.

유동가시화를 하기 위해서 [그림 III-5]와같이 연무기의 연기를 에어서큐레이터 후방에서 분사시켜 에어서큐레이터 전면으로 통과되게 하였다. 정류격자의 유무에 따른 바람의 방향을 촬영하여 비교하였으며, 에어서큐레이터 후방의 여러 지점에서 연기를 분사시켰을 때 어떠한 형태로 바람이 분사되는지를 촬영하여 관찰하고 비교하였다. 추가적으로 유선형의 날개 모양과 실험용으로 제작한 글라이더 주변의 공기 흐름도 촬영하였다.



[그림 III-5] 연무기를 이용한 풍동 바람 유동 가시화.

4. 풍동 실험 장치의 풍속 특성 분석

제작한 풍동 장치가 어떤 풍속 특성을 갖는지 확인하기 위해 [그림 III-6]과 같이 정류격자의 영역을 A_{11} 부터 A_{44} 까지의 16개 영역으로 분할하였다.



[그림 III-6] 풍속 측정 영역 분할.

각 영역에서 거리에 따른 풍속의 변화를 측정하기 위하여 과학상자로 풍속계를 거치할 수 있는 장치를 제작하였으며, 장치의 수평을 맞추기 위해 아이폰의 수준기 앱을 이용 하여 [그림 III-7]과 같이 설치하였다.



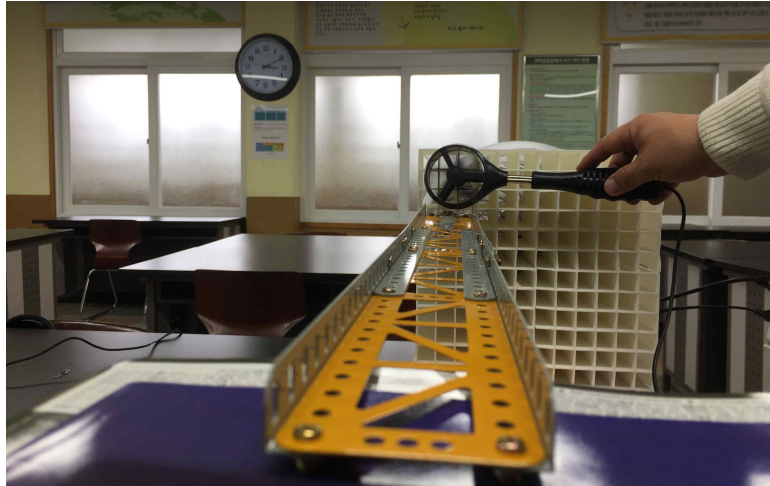
[그림 III-7] 풍속 측정을 위한 거치대 및 아이폰 수준기.

에어컨쿨레이터와 정류격자의 위치를 통제하기 위해 [그림 III-8]에 제시된 것처럼 정류격자에 클립을 3개 부착하고, 에어컨쿨레이터에 클립이 위치할 지점을 표시해 두었다.

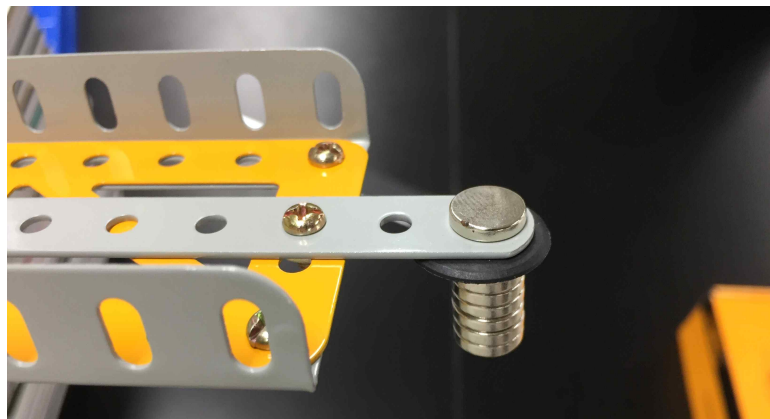


[그림 III-8] 에어컨쿨레이터 위치 고정을 위한 클립과 표시.

[그림 III-9]와 같이 장치 위에 풍속계를 위치하였을 때 풍속계의 중심이 측정 영역의 중심에 위치할 수 있도록 [그림 III-10]과 같이 거치대의 끝 부분에 자석을 이용하여 거치대의 높이를 적절하게 조정하였다.



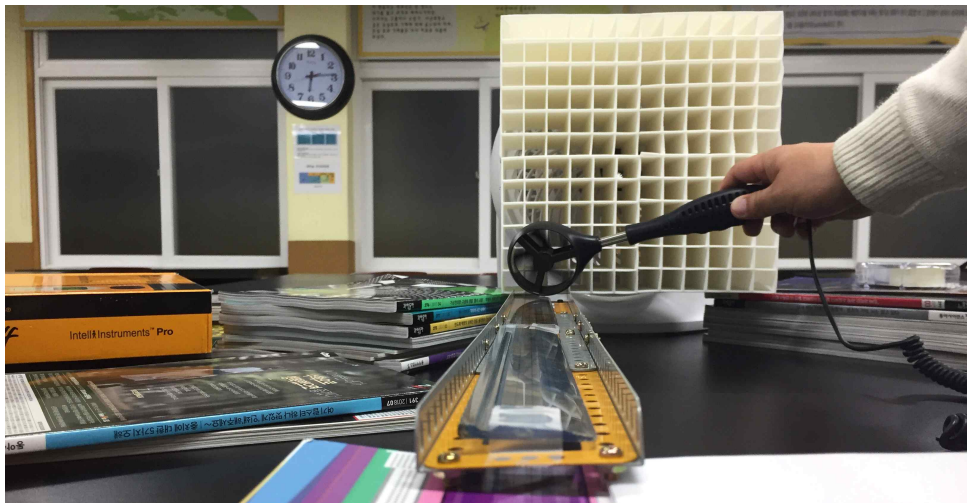
[그림 III-9] 풍속계의 위치.



[그림 III-10] 풍속계 높이 조절을 위한 장치.

풍동장치의 하단부인 $A_{41} \sim A_{44}$ 영역은 [그림 III-11]과 같이 장치를 설치하였으며 [그림 III-10]에서 자석의 개수를 28개로 늘려 바닥으로부터 장치의 높이를 조정하였다. 풍동으로부터의 거리는 장치 위에 [그림 III-12]와 같이 30 cm 자 2개를 거치하여 5 cm 단위로 55 cm 까지 측정하였다. 풍속계의 두께가 3 cm가 되기

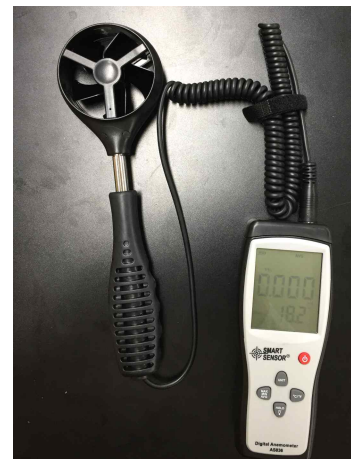
때문에 풍속계의 중간 부분인 1.5 cm 부분을 측정 부분으로 정하였으며, 30 cm 자에서 눈금 0과 30의 바깥 5 mm의 영역도 고려하여 거리를 측정하였다. 풍속은 [그림 III-13]에 제시한 ARCO 디지털 풍속계 AS-836으로 측정하였으며, 해당 지점에서의 풍속이 지속적으로 변하기 때문에 평균값 모드로 측정하였다. 평균값 모드로 측정할 경우에도 소수점 2~3자리까지의 숫자는 지속적으로 변화하였기 때문에 측정값은 소수점 2자리에서 반올림하여 소수점 1자리까지 나타내었다.



[그림 III-11] 풍동장치 하단부 풍속 측정을 위한 기구 설치.



[그림 III-12] 거리 측정을 위한 자 배치.

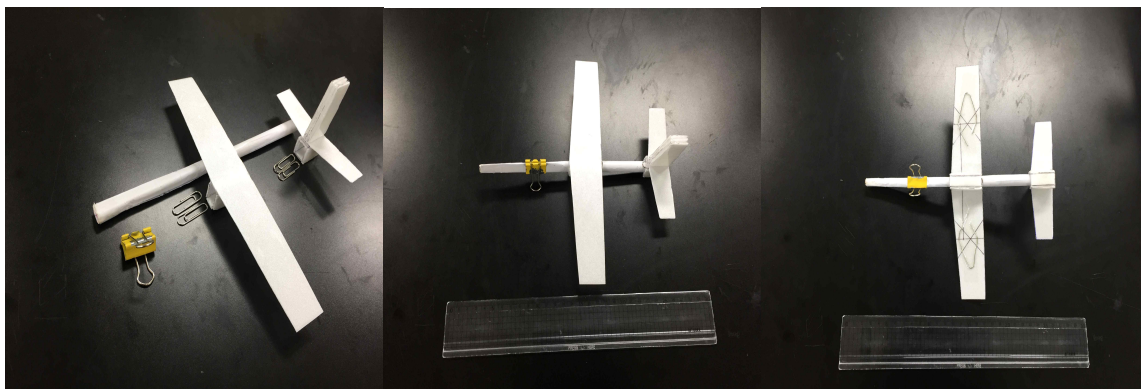


[그림 III-13] 풍속계 (AS-836).

$A_{11} \sim A_{44}$ 영역이 전부 나타난 단면의 특성을 보여주기 위해서 Origin 프로그램으로 거리에 따른 단면 특성을 나타내 보았다. 단면의 풍속은 색으로 나타내어 영역별 풍속 분포를 쉽게 나타낼 수 있게 하였다.

5. 실험용 글라이더 제작

[그림 III-14]에서와 같이 글라이더의 몸통은 수수깡을 A4용지로 포장하여 제작하였다. 수수깡만 사용하게 되면 벽에 충돌할 때 쉽게 부러지는 단점이 있으나 A4 용지로 겹을 포장하면 이러한 문제를 해결할 수 있었다. 주날개와 꼬리날개는 우드락으로 제작하였으며, 주날개 아랫면에는 클립을 펴서 고정하여 날개의 각도를 조정할 수 있게 하였다. 날개와 몸통을 결합하기 위한 사각기둥모양의 거치대도 우드락을 이용하여 별도로 제작하여, 주날개와 꼬리날개를 앞뒤로 움직일 수 있게 하였다. 무게중심을 조정하기 위해서 문서용 집게를 무게추로 사용하였으며, 앞뒤로 위치 조정이 가능하게 설계하였다.



[그림 III-14] 실험용 글라이더 제작. 주날개 및 무게추용 집게를 앞뒤로 움직일 수 있게 설계했으며, 주날개의 시위선 각도를 클립으로 조절할 수 있게 설계함.

6. 주날개의 앞뒤 위치에 따른 피치 각도 변화 실험

글라이더 주날개의 앞뒤 위치에 따른 피치 운동 변화를 확인하기 위해서 [그림 III-15]와 같이 주날개를 앞에서 3 cm 위치부터 1 cm 간격으로 뒤로 이동시키면서 글라이더가 y 축과 이루는 피치 각도 변화를 촬영하여 측정하였다.



[그림 III-15] 주날개의 앞뒤 위치에 따른 피치 각도 변화 실험.

7. 주날개 시위선 각도 변화에 따른 롤 평형 변화

글라이더 주날개의 시위선 각도가 다를 때 롤 평형 상태가 어떻게 변화하는지 확인해 보기 위해서 오른쪽 주날개의 시위선을 날개가 위치한 평면에서 10° 간격으로 90° 까지 변화시키면서 롤 평형상태가 어떻게 변화하는지를 촬영하였다.

[그림 III-16]은 평형상태의 글라이더 위치를 나타낸 것이며, [그림 III-17]은 글라이더의 시위선 날개를 특정한 각도로 접었을 때의 평형상태를 나타낸 것이다.



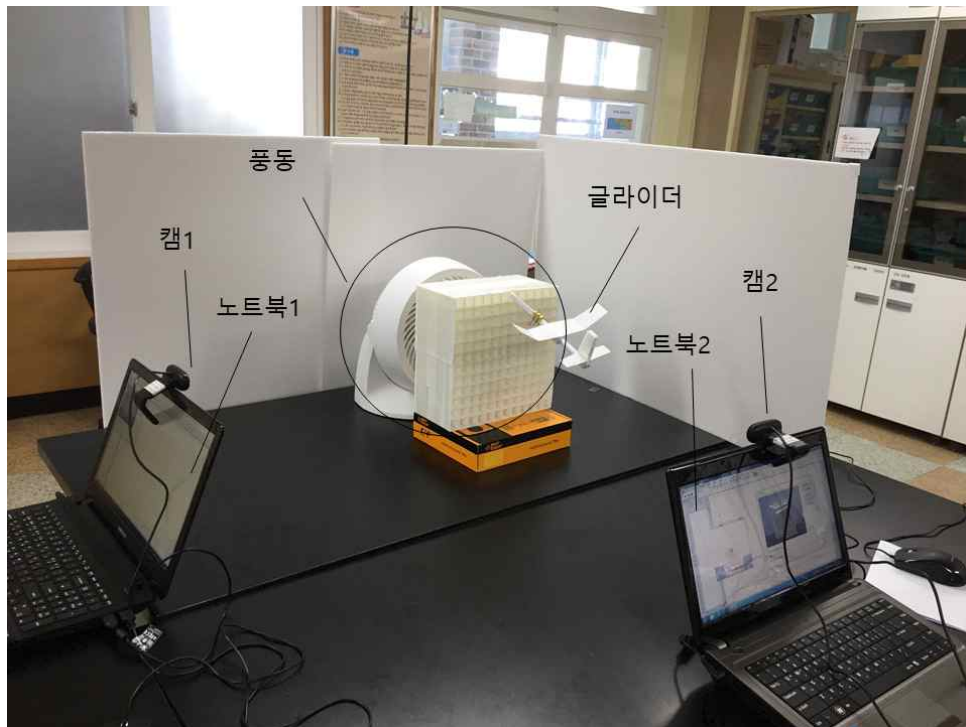
[그림 III-16] 시위선을 접지 않았을 때의 롤 평형 상태.



[그림 III-17] 시위선에 각도를 주었을 때 롤 평형 상태 변화.

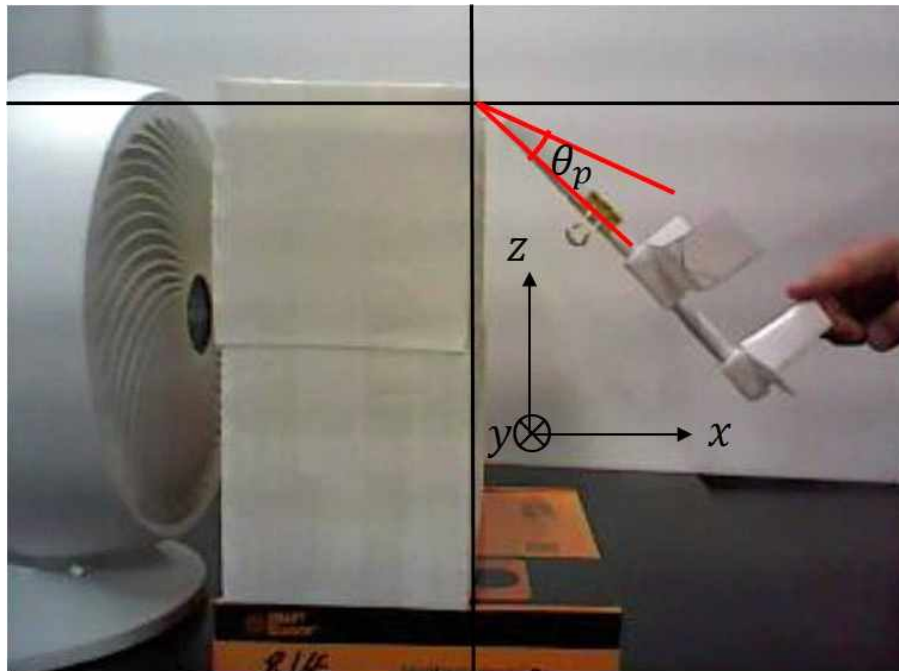
8. 피치, 롤, 요 운동에 대한 감쇠 운동 분석

[그림 III-18]과 같이 풍동장치를 설치하고 실로 정류격자와 글라이더를 연결하여 글라이더가 공중에 뜨게 하였다. 글라이더의 운동은 정면과 측면에서 동영상을 촬영하여 3차원 위치변화 정보를 습득한 후, 필요한 좌표계에서 분석하였다. 웹캠을 2개 사용하여 하나는 xy평면 데이터를 측정하고 다른 하나는 yz 평면의 데이터를 측정하게 하였다. 분석 프로그램은 Logger Pro Ver. 3.14와 Microsoft사의 Excel 2016을 사용하였다. 위치 변화가 없는 축의 값은 무시하여 각 운동을 2차원상에서 분석하였다. 피치, 롤, 요 운동의 경우 글라이더가 xyz축에 각각 평행하게 평형을 이루지 않으므로, xy 평면, yz 평면, zx 평면에 정사영 시킨 값으로 각각의 운동을 분석하였다. 정류격자와 글라이더 사이에 연결된 실의 운동도 무시하여 데이터를 추출하였다.



[그림 III-18] 글라이더의 감쇠운동 분석을 위한 실험 설정. 캠 1은 xz 평면을, 캠 2는 yz 평면 데이터를 측정한다.

피치축 변화에 대한 감쇠 정도를 확인하기 위해서 [그림 III-19]에서와 같이 실이 고정되어 있는 부분을 원점이자 회전축으로 설정한 후, 평형 위치에 대한 변화 각도를 측정하였다. Logger Pro 3.14에서는 각도를 측정하는 기능이 없기 때문에 원점에 대한 (x,z)좌표를 추출하고 역탄젠트를 적용하여 x축에 대한 각도와 평형위치의 x축에 대한 각도값의 차이로 평형위치에서 변화한 각도를 측정하였다. 역탄젠트값의 계산은 Logger Pro에서 추출한 값을 엑셀로 옮겨 계산하였으며, 계산한 값을 다시 Logger Pro로 옮겨 임계감쇠함수와 미급감쇠함수로 피팅하였다.

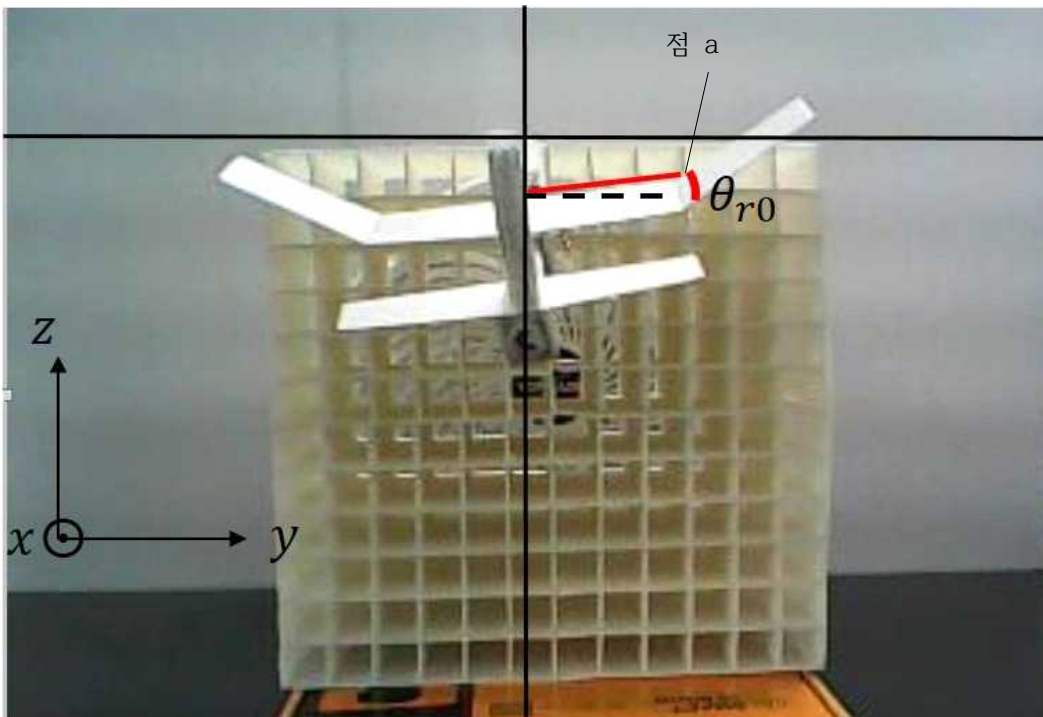


[그림 III-19] 풍동장치에 떠 있는 글라이더의 피치 운동 분석 방법. 좌표계는 그림에 주어져 있으며 피치각도(θ_p)는, 평형 상태의 글라이더 몸체와 이루는 각도를 의미한다.

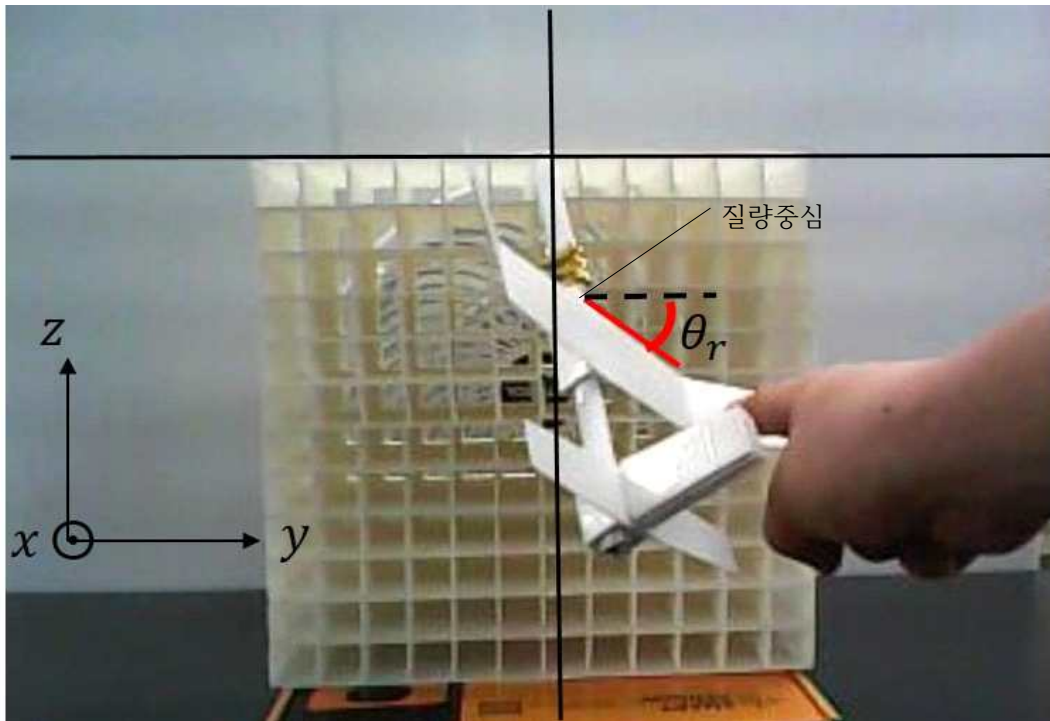
롤 운동에 대한 감쇠정도를 확인해 보기 위해 [그림 III-20]에서와 같이 yz평면에서 실이 고정되어 있는 부분을 원점으로 잡고, [그림 III-21]에서와 같이 무게중심과 날개를 이은 선분이 무게 중심을 지나고 y축과 평행인 선과 이루는 각도를 측정하였다. 각도는 무게중심에 대한 점 a의 yz좌표의 역탄젠트 값으로 계산하였다. 무게 중심의 위치는 [그림 III-22]의 방법을 이용하여 주날개 앞부분에

위치하게끔 조절하였다.

롤 운동을 관찰하기 위해 한쪽 날개를 아래로 눌렀다 떼면 무게 중심의 위치도 함께 변하기 때문에 무게 중심의 위치변화와 그림에 표시된 날개 a부분의 위치 정보를 모두 추출하였다. 시간에 따른 a점의 yz 좌표와 무게중심 좌표의 차이를 구하면 무게중심에 대한 a점의 yz평면상에서의 상대적인 위치좌표를 구할 수 있다. 이후의 과정은 피치운동을 분석할 때와 동일하다.



[그림 III-20] 풍동장치에 떠 있는 글라이더의 롤 운동 분석 방법. 좌표계는 그림에 주어졌으며 각도($\theta_{r,0}$)는, 평형 상태의 주날개가 y축과 이루는 각도이다.

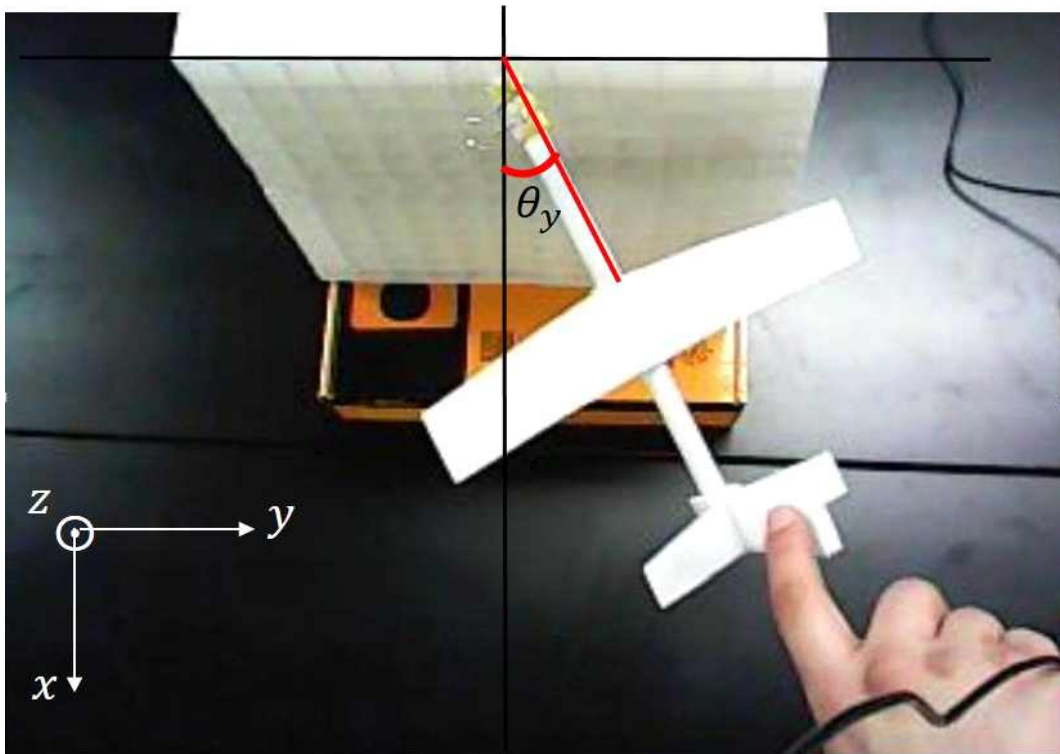


[그림 III-21] y축에 대한 롤 각도 θ_r . 롤 각도는 질량중심에 대한 각도 $\theta_r - \theta_{r0}$ 를 의미한다.



[그림 III-22] 질량 중심 맞추기.

[그림 III-23]은 요 운동 분석에서 측정된 각도 설명을 위해 추가적으로 촬영한 것이다. 실제 데이터 분석은 [그림 III-18]에서 사용한 캠 2개의 데이터에서 원점에 대한 x좌표와 y좌표를 추출하여 분석하였다. 또한 [그림 III-20]와 [그림 III-21]에서와 같이 꼬리 부분이 머리 부분보다 아래로 내려와 있으므로, [그림 III-23]에 표시된 각도는 xy평면에 정사영된 선분의 각도가 된다. 평형상태에서 글라이더의 몸체는 거의 y축과 일치하였으며, [그림 III-23]에서와 같이 평형위치에서의 기체의 몸체와 꼬리 날개를 오른쪽으로 밀어 요운동을 발생시켰을 때 몸체 사이의 각도를 추출하기 위해 x,y 좌표를 두 개의 동영상에서 각각 추출하였으며 이후의 작업은 피치운동을 분석할 때와 동일하다.



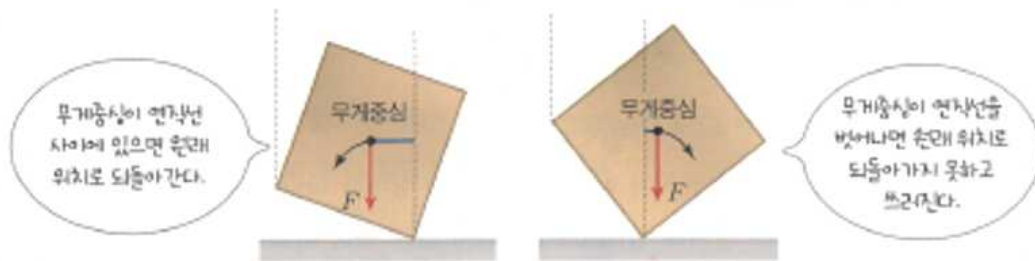
[그림 III-23] y축에 대한 요 각도 θ_y .

IV. 연구결과 및 논의

1. 글라이더의 안정성을 교육할 수 있는 영재 물리 수업자료 개발 결과

1) 2015 개정 교육과정 물리학II 교과서에 제시된 안정성 개념 분석

2009 개정 교육과정의 고등학교 물리I과 2015 개정 교육과정의 물리학II 교과서에서는 안정적인 상태를 변화가 일어났을 때 복원력에 의해 원래의 상태로 돌아올 수 있는 상태로 제시한다.(강남화 외, 2017;곽성일 외, 2017; 김영민 외, 2017; 김성원 외, 2017; 김성진 외, 2017; 손정우 외, 2017). 구조물의 안정성을 설명하기 위해 가장 많이 제시되는 설명은 [그림 IV-1] 에서와 같이 무게중심의 위치와 바닥이 지면과 접촉하는 면적에 따른 안정성 차이이다(김성진 외, 2017).



[그림 IV-1] 무게중심 위치와 안정성(김성진 외, 2017).

구조물에 관계 없이 안정성을 설명하기 위해서 도입하는 예로는 무게중심을 낮게 만드는 방향으로 복원력이 작용하는 오투기와, 부력 작용점 변화에 의해 복원력이 작용하는 선박의 안정성, 받침면의 기울기가 같을 때 무게중심의 위치에 따라 쓰러지는 정도가 다른 자동차 등이 있다(강남화 외, 2017; 곽성일 외, 2017; 김영민 외, 2017; 김성원 외, 2017; 김성진 외, 2017; 손정우 외, 2017).

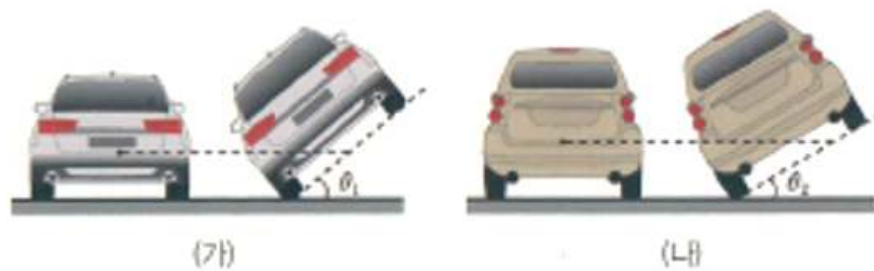
[그림 IV-2]~[그림 IV-4]는 그 예이다.



[그림 IV-2] 배의 안정성(곽성일 외, 2017).



[그림 IV-3] 오뎅이의 안정성(손정우 외, 2017).



[그림 IV-4] 자동차의 안정성(김성원 외, 2017).

교육과정에 제시되는 안정성의 예들은 변화가 주어졌을 때 원래의 상태로 돌아올 수 있는지에 관한 예이다.

2) 풍동장치에 띄운 글라이더를 이용한 글라이더 안정성 탐구 활동 개발

글라이더를 이용한 안정성 탐구 활동을 위해 [그림 IV-5]와 같이 에어 서클레이터와 정류격자를 이용한 간이 풍동을 구성하고 글라이더를 풍동에 띄우는 탐구를 개발하였다. 손으로 들기 어려운 경우에는 테이프로 고정하여도 무방하다. 그림에서 글라이더의 수평 꼬리 날개를 눌렀다 떼거나 수직 꼬리 날개를 옆으로 밀었다 놓으면 오뎅이처럼 원래의 위치로 돌아온다. 주날개의 한 끝을 눌렀다 떼어도 원래의 위치로 돌아오는 것을 볼 수 있다.



[그림 IV-5] 풍동장치에 띄운 글라이더.

이 현상을 이용하여 구성된 탐구 활동은 <표 IV-1>에 제시하였다.

<표 IV-1> 간이 풍동에 띄운 글라이더의 안정성 탐구활동 자료.

● 기본형 글라이더 띄우기

- ① 사진과 같이 간이 풍동장치를 작동하고 실을 이용하여 글라이더를 띄우고 글라이더가 공중에 떠서 평형을 유지하는 상태에 있게 한다.
- ② 평형상태에서 주날개의 양 끝이나 꼬리날개를 위아래로 눌렀다가 떼고 글라이더가 어떻게 되는지 관찰한다. 수직꼬리날개는 좌우로 눌렀다가 떼면서 글라이더가 어떻게 되는지 관찰한다.
- ③ 정류격자 없이 글라이더를 띄워본다.

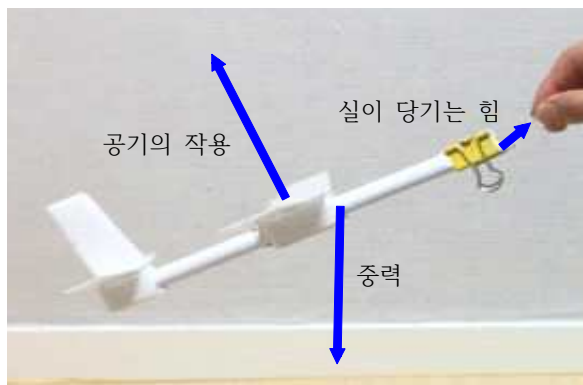


간이 풍동장치로 글라이더 띄우기

○ 기본형 글라이더 안정성 탐구

- 글라이더가 공중에 떠 있을 때 작용하는 힘들을 그림으로 표현해 봅시다.

[학생 활동 및 답변 예시]



- 기본형 글라이더는 날개의 단면이 유선형이 아니고 평평하게 되어 있다. 간이 풍동장치로 글라이더를 띄울 때, 글라이더가 뜨는 원리는 생각하기의 주장1 때문이라고 생각하는지 주장2 때문이라고 생각하는지 토론하고 적어 봅시다.

[학생 활동 및 답변 예시]

☞ 주장1이라고 생각. 날개가 유선형이 아니면 날개의 윗부분을 통과하는 공기의 속력이 아랫부분을 통과하는 공기의 속력 보다 빠르지 않다. 공기가 미는 힘에 의해 뜬다고 생각한다.

- 글라이더 주 날개를 아래나 위로 눌렀다 뺐을 때 다시 원래대로 돌아오는 이유를 토론하고 적어 봅시다.

[학생 활동 및 답변 예시]

☞ 날개가 기울면 날개 좌우의 면이 공기와 만나는 면적이 달라진다.

☞ 날개 좌우 면을 공기가 밀어내는 힘이 달라진다.

☞ 공기의 흐름에 반대로 기울어진 날개 부분에 힘이 더 작용하여 결국 복원력이 작용한다.

- 글라이더의 꼬리날개를 위아래로 눌렀다 떼었을 때 평형상태로 돌아오는 이유를 토론하고 적어 봅시다.

[학생 활동 및 답변 예시]

☞ 비행기의 꼬리가 아래로 내려가면 주날개와 꼬리날개가 공기와 닿는 면적이 증가하여 꼬리를 다시 올린다.

☞ 비행기의 꼬리가 위로 올라가면 공기와 날개가 닿는 면적이 감소하여 양력을 잃어버리면 중력에 의해 다시 아래로 내려온다.

☞ 공기가 날개를 밀어내는 힘과 중력에 의해 복원력이 작용한다.

- 글라이더를 실제로 날릴 때 풍동장치의 바람과 실의 역할을 하는 요소가 무엇인지 토론하고 적어 봅시다.

[학생 활동 및 답변 예시]

☞ 바람은 글라이더의 비행에 의한 상대적인 공기의 속도

☞ 실의 역할은 글라이더가 비행하는 과정에서의 관성

☞ 동력 글라이더라면 동력에 의한 추력

- 정류격자 없이 글라이더를 실로 띄워 보고 어떻게 되는지 관찰하고, 정류격자의 역할을 생각해 봅시다.

[학생 활동 및 답변 예시]

☞ 정류격자가 없으면 비행기가 빙글빙글 돌아간다.

☞ 정류격자는 회전하는 바람을 일정한 직선 바람으로 변환해 주는 역할을 한다.

<표 IV-1>의 탐구활동은 현상을 관찰한 후 탐구와 토론을 통해 질문을 해결하도록 구성하였다. 탐구활동은 과학과 핵심역량 중 과학적 사고력과 과학적 탐구능력을 함양할 수 있는 활동이며(이세연 외, 2018), 토론을 통해서도 과학적 의사소통 및 과학적 참여능력을 함양할 수 있다. <표 IV-1>의 탐구활동을 통해 알게된 지식을 적용해 볼 수 있는 탐구활동을 <표 IV-2>, <표 IV-3>에 제시하였다. 이 탐구활동은 글라이더의 안정성에 영향을 미치는 요소를 고려하여 창의적인 글라이더를 직접 설계하고 날려보는 활동으로, 배운 내용을 적용할 수 있는 탐구활동이다.

<표 IV-2> 창의적인 글라이더 설계.

탐구하기(100분) 직선으로 날아가는 창의적인 글라이더 설계 및 제작하기

- 직선으로 날아가는 창의적인 글라이더 설계 및 제작하기
- 준비물: 우드락(2T), 연필, 자, 가위, 커터칼, 양면테이프, 스카치테이프, A4용지, 수수깡, 클립, 집게
- 앞 차시에서 배운 여러 원리를 바탕으로 직선으로 날아가는 글라이더를 직접 설계 및 제작해 봅시다.
- 제작 목적: 6차시에 제작된 글라이더로 평가 예정
 - 특정 거리에서 홀라후프 안에 글라이더가 들어가도록 설계 및 제작
- 제한사항
 - 무동력 글라이더로 제작(동력장치 부착 금지)
 - 공력중심의 위치를 주날개 위에 표시해야 한다.
 - 몸통의 길이와 주날개의 양 끝 사이의 길이는 25~35 cm
 - 과학실 내의 다른 재료는 사용가능하나 재료의 추가 주문 및 구매는 안된다.
 - 기본형 글라이더와 동일한 구조와 형태인 경우 감점
 - 날개의 모양이나 특성에 대해 인터넷이나 다른 자료를 참고하는 것은 가능

<표 IV-3> 글라이더 날리기.

탐구하기(50분) 글라이더 날리기

○ 글라이더를 날려 봅시다.

● 준비물: 홀라후프, 창의적으로 제작한 조별 라이더

● 앞 차시에서 제작한 글라이더를 날려 봅시다.

● 평가방법

- 바람이 불지 않도록 복도의 창문을 닫고 날리기 시작하는 지점으로부터 10 m 떨어진 지점에 홀라후프로 통과 목표 범위를 지정한다.

- 한 팀당 5회의 기회를 부여하여 글라이더가 홀라후프를 통과한 횟수에 따라 점수 부여함

- 기본점수는 50점이며 1회 통과할 때마다 10점씩 부여한다.

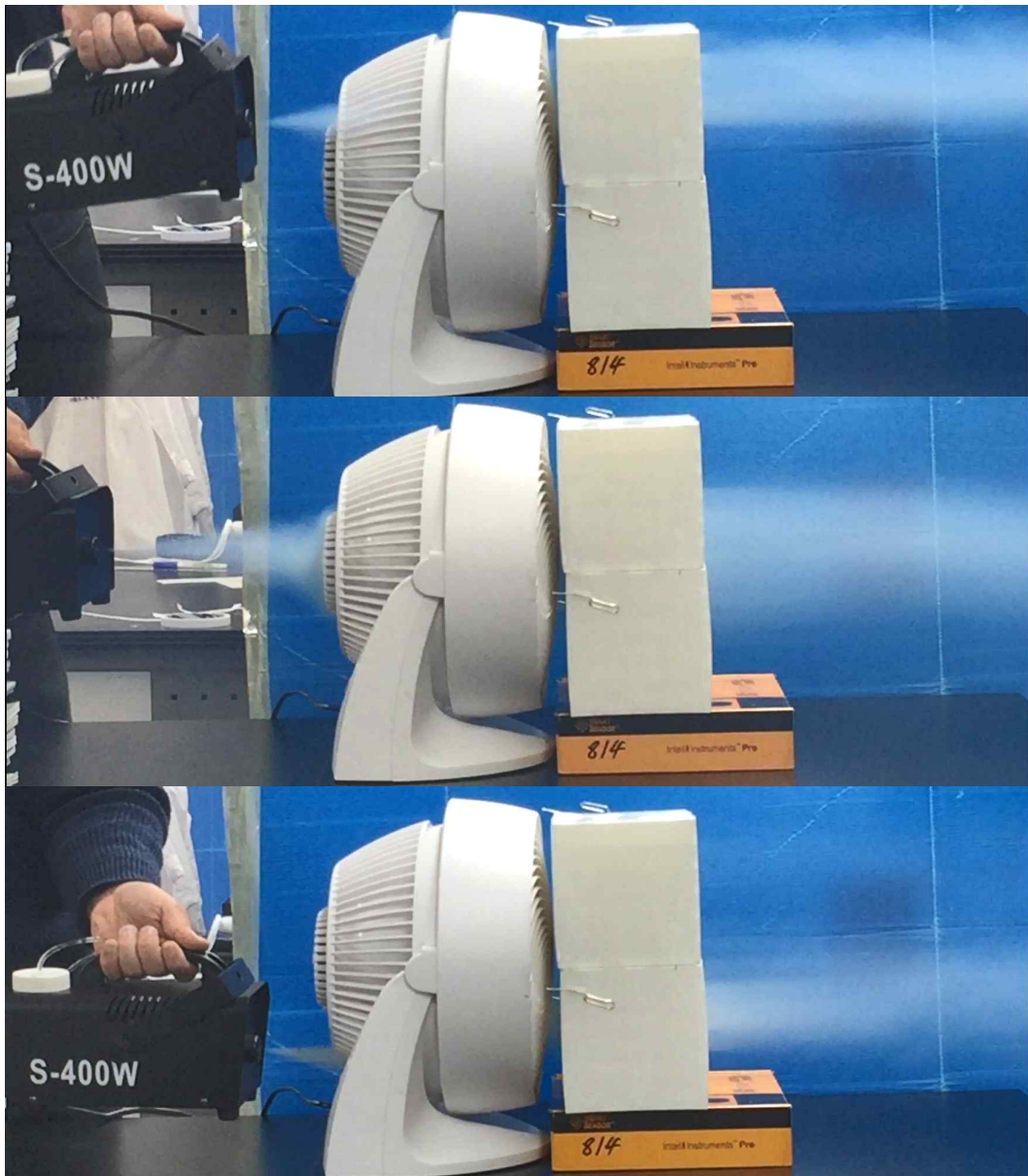
- 글라이더를 던진 이후 무게중심과 공력중심 및 날개를 조정할 수 있다.(조정시간 30초)

제주특별자치도교육청의 공모사업을 통해 개발된 역량 중심 영재교육 교재는 2020년부터 2년동안 영재교육종합데이터베이스(GED)에 탑재될 예정이며, 제주특별자치도교육청의 허가를 받아 본 연구자가 제작한 6차시의 교사용 지침서와 학생용 활동지의 내용은 본 논문의 <부록>에 전문을 첨부하였다.

2. 유동 가시화를 통한 풍동의 직진성 확인 실험

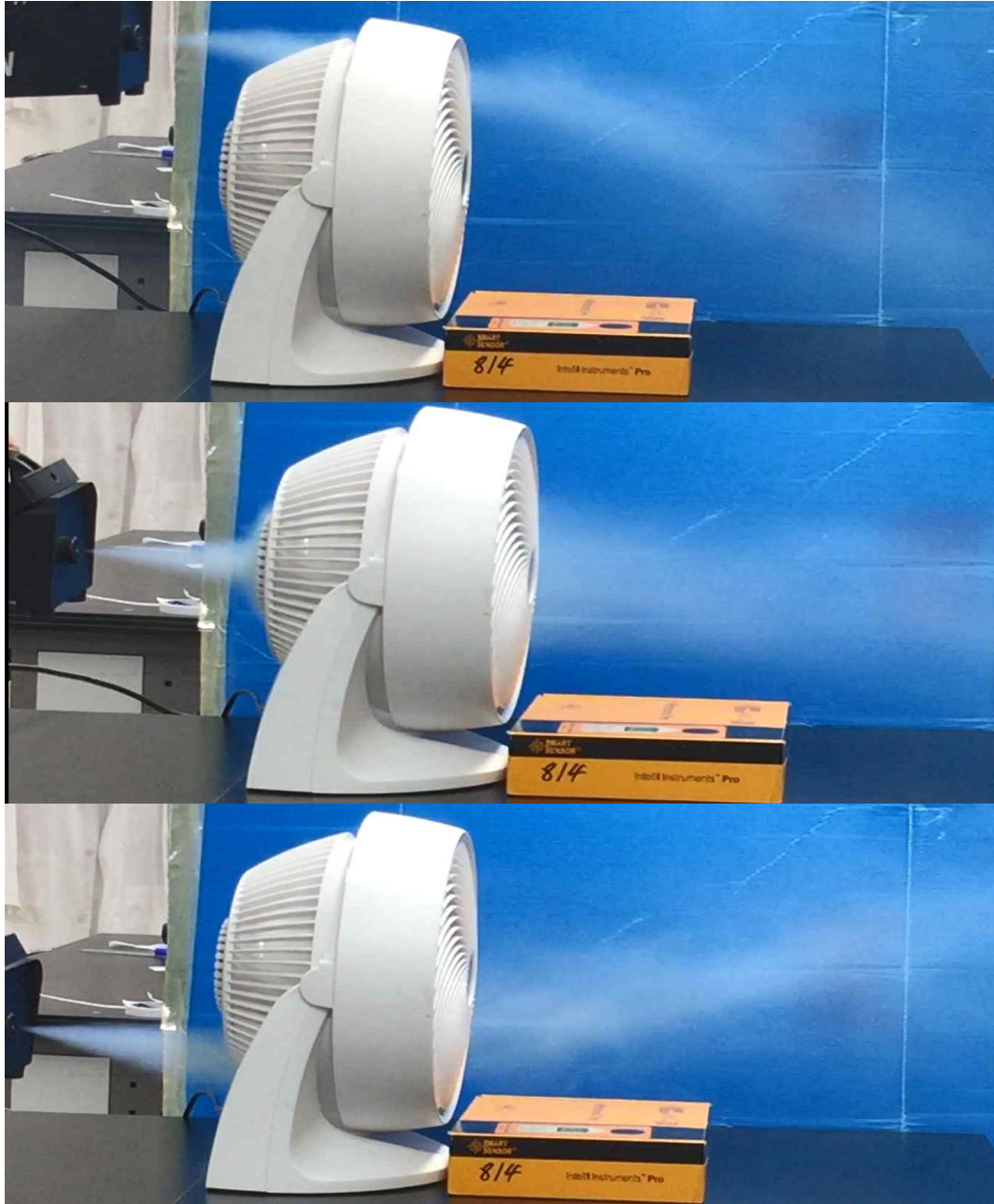
1) 정류격자가 있을 때와 없을 때의 풍동 직진성 비교

[그림 IV-6]은 에어서큘레이터 앞에 정류격자가 있는 경우 정류격자를 통과한 연기의 진행방향을 촬영한 것이다.



[그림 IV-6] 정류격자가 있을 때의 유동.

[그림 IV-7]은 정류격자 없이 에어서클레이터만 있는 경우 연기의 진행방향을 촬영한 것이다.



[그림 IV-7] 정류격자가 없을 때의 유동.

정류 격자가 있는 경우에는 연기가 통과하는 위치에 상관 없이 정류격자를 지나 일정 거리를 연기가 직선으로 이동하지만, 정류격자가 없는 경우 에어서클레

이터를 통과한 연기의 방향이 한 방향으로 일정하지 않고 꺾이거나 불안정한 것을 볼 수 있다. 정류격자의 유무는 일정한 방향으로 바람을 발생시키는데 중요한 역할을 한다는 것을 알 수 있다. 특히 그림과 같이 2차원 평면상에는 잘 나타나지 않지만 정류격자가 없는 경우 연기가 회전하면서 진행되는 것을 볼 수 있다. 따라서 정류격자 없이 글라이더를 띄우는 경우 바람의 회전 방향에 따라 글라이더가 회전할 가능성이 높다. [그림 IV-8],[그림 IV-9]는 풍동 전면부를 촬영한 것이다. 정류격자가 없는 경우 연기가 회전하며 분사되는 것을 관찰할 수 있다.

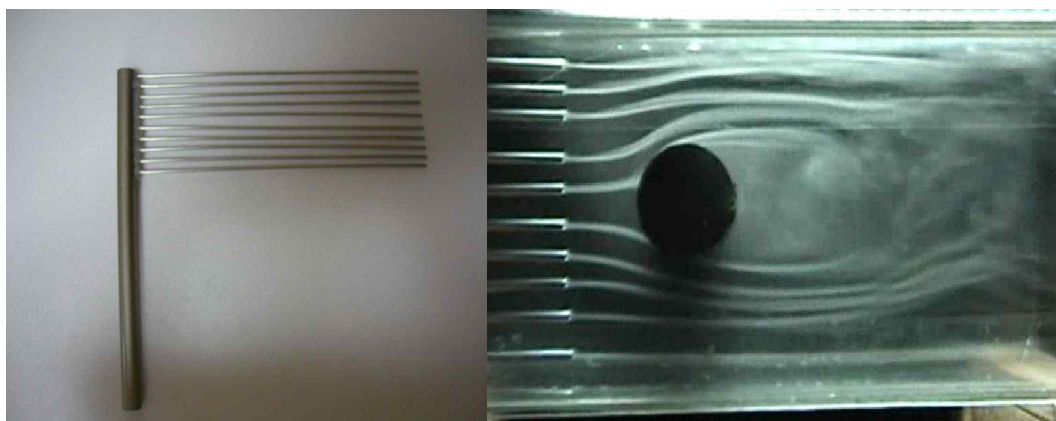


[그림 IV-8] 정류격자가 있는 경우 풍동의 전면부 유동.



[그림 IV-9] 정류격자가 없는 경우 풍동의 전면부 유동.

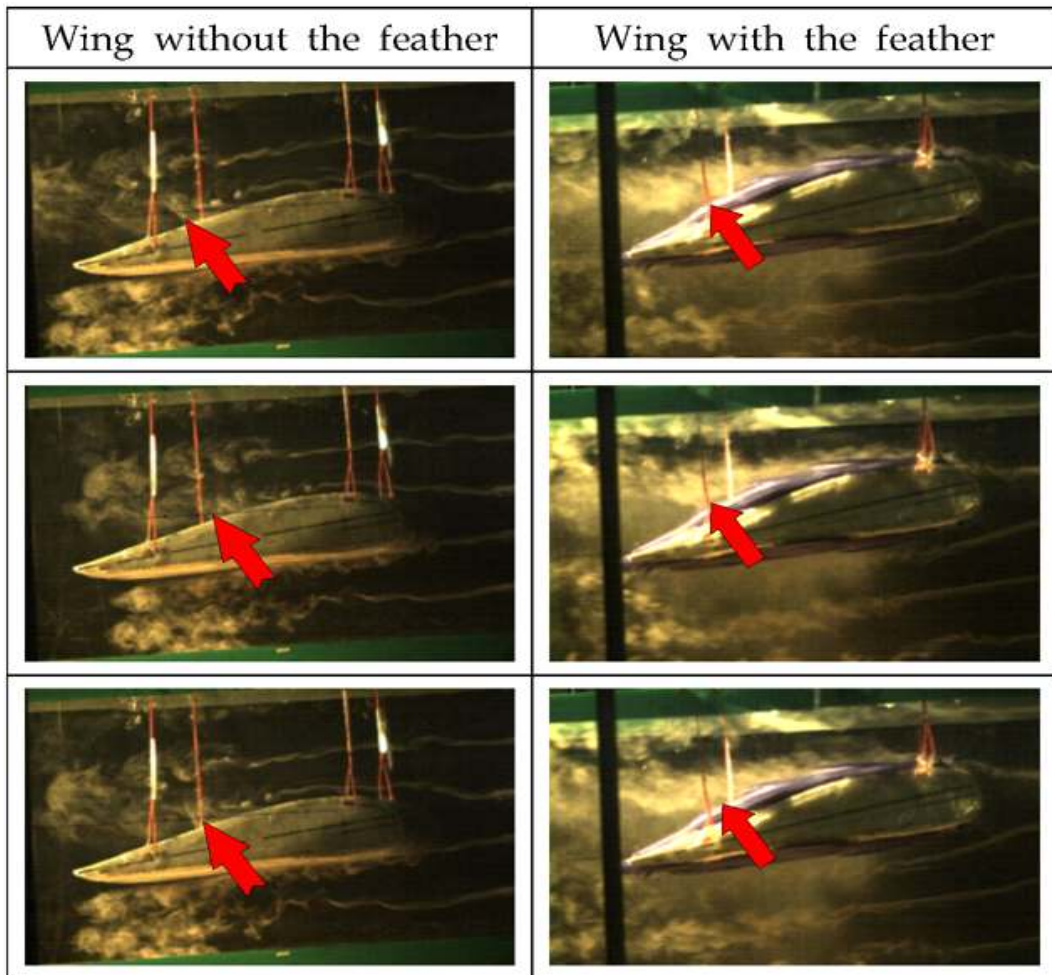
본 연구에서의 유동가시화 방법은 기존에 개발된 유동가시화 방법과는 차이가 있다. 본 연구에서는 연무기를 이용하여 연기를 하나의 두꺼운 선으로 가시화 하였으나, 일반적으로는 임창수와 최준섭(2007)의 연구에서와 같이 연기를 여러 개의 선으로 가늘게 분사시켜 유선을 관찰할 수 있도록 제작하고 있다. [그림 IV-10]은 임창수와 최준섭(2007)이 제작한 연기 토출부와 토출부에서 방출되는 가시화된 유선으로 실험하는 장면이다.



[그림 IV-10] 연기 토출부와 토출부를 이용한 유동 가시화(임창수 외, 2007).

해당 연구에서는 연기를 발생시키기 위해 열선으로 파라핀과 엔진오일 혼합 용액으로 적신 유리 섬유를 가열하였으며(임창수 외, 2007), 초음파 가습기로도 유동을 가시화한 경우도 있다(박은주 외, 2017). 본 연구에서 활용한 연무기와 같은 종류의 연기 발생 장치를 이용한 실험도 있다(김세현 외, 2014). 연기 토출부를 이용한 유동 가시화 방법은 유선이 가시화되어 유동을 유선으로 설명하기가 용이하며, 유동의 분포를 파악하기가 쉽고, 레이놀즈 수에 따른 항력 그래프 등을 이용하여 정량적인 실험도 가능한 장점이 있다(임창수 외, 2007). 하지만 연기 토출부를 별도로 제작해야 하며, 연기를 밀어주는 압력을 만들어 주기 위해 팬을 달거나 공기 주입 펌프를 이용하는 등 별도의 장치를 제작해야 하는 번거로움이 있다. 김세현 외(2014)의 연구에서는 발 펌프나 팬과 같은 장치가 보이지 않는데 연기를 밀어주는 압력 장치가 없으면 [그림 IV-11]과 같이 연기가 직선으로 뿜

어나가지 못하고 흩어져서 유선을 관찰하기 어려워질 수 있다. 김세헌 외(2014)의 연구에서는 초고속카메라를 이용하여 물체 주변의 유동을 순간적으로 촬영하여 이 부분을 극복하였다.



[그림 IV-11] 초고속 카메라를 이용한 유동가시화 분석(김세헌 외, 2014).

본 연구에서 사용한 유동가시화의 방법은 유선을 관측하거나 가시화된 유동을 통해 정량적인 분석을 하는 데에는 어려움이 없지만, 연기를 발생시키고 관찰하기는 매우 편리하며, 풍동 장치가 개방되어 있기 때문에 풍속계를 이용하여 물체 주변의 대략적인 풍속을 직접적으로 측정하거나, 풍동에 떠 있는 글라이더에 변

화를 주면서 주변의 유동을 관찰하기는 비교적 쉽다는 장점이 있다. 본 연구에서와 같이 정량적인 특성 보다는 대략적인 유동 확인을 하는 데에는 연기 토출부 방식보다는 연무기를 에어서큐레이터 뒤에서 분사하는 방식이 더 효율적일 수 있다. 유동 가시화에는 본 연구에 제시된 방법 말고도 다양한 방법이 있다. 여러 방법들 중에서 상황에 맞는 유동 가시화 방법을 정리한다면 중고등학교 교육 현장에서 상황에 맞게 경제적이고 효과적인 유동 가시화 실험을 할 수 있을 것이라 판단된다.

2) 유선형 날개 주위의 유동 확인 및 양력에 관한 논의

[그림 IV-12]와 [그림 IV-13]은 폼보드로 만든 유선형 날개를 과학상자로 만들고 고정대에 고정시켜 날개 주위 유동을 촬영한 것이다. [그림 IV-12]의 경우는 날개가 위로 상승하는 경우이며, [그림 IV-13]의 경우에는 해당 위치에 고정이 되는 상태이다.



[그림 IV-12] 유선형 날개 주위의 유동. 날개가 상승하기 직전.



[그림 IV-13] 유선형 날개 주위의 유동. 위치 고정.

유선형 날개의 위 아래 속도를 측정해 보면 아랫 부분의 속력이 더 빠르다. 베르누이 법칙에 따르면 유속이 빠른 곳에서 압력이 낮아지므로 [그림 IV-12]의 경우 날개가 상승하는 것은 베르누이 법칙으로 설명하기에는 어려움이 있다. [그림 IV-12], [그림 IV-13]의 경우에는 양력이 발생하는 원리를 작용-반작용으로 설명하는 것이 합리적이다.

2015 개정 교육과정에서는 유체역학과 관련된 부분이 삭제되어 비행기의 날개가 받는 양력의 원리에 대한 내용은 다루지 않고 있다(교육부, 2015). 09 개정 교육과정 고등학교 물리I 교과서에서는 양력의 원리를 베르누이 법칙으로 설명한다(곽성일 외, 2011 ; 김영민 외, 2011). 즉 날개 윗면의 유속이 날개 아랫면의 유속보다 빠르기 때문에 아랫면을 위로 들어 올리는 압력이 커져서 양력이 발생한다고 설명한다.

하지만 양력을 설명하는데 작용-반작용의 원리도 중요하다. 중고등학교 학생들에게 양력을 작용-반작용의 원리로 설명하는 논문도 있다(McLean, 2018; Spathopoulos, 2011). 특히 비행기가 이륙하는 상황에서는 고양력 장치인 플랩과

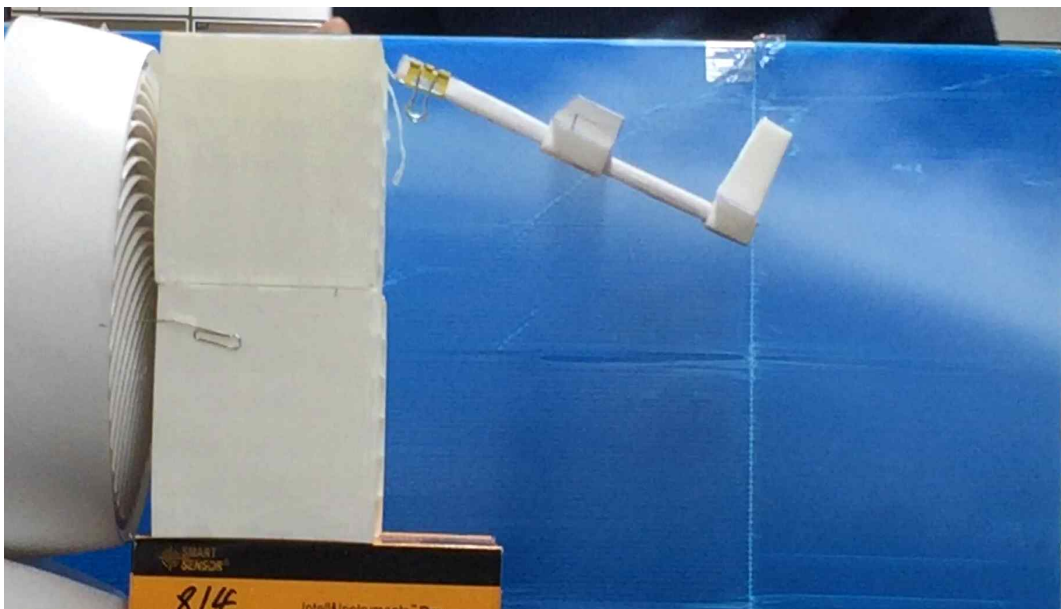
기수를 들어올려 적절한 받음각을 만들어주는데(장인식 외, 2016). 이륙시 발생하는 양력을 설명하기 위해서는 작용-반작용 법칙이 필요하다. 이는 공기의 유속에 따른 압력차에 의한 양력이 아닌 공기가 힘으로 비행기를 밀어내는 힘과 관련이 있으며, 날개에 작용하는 항력의 수직방향 성분과도 관련이 있다(McLean, 2018; Spathopoulos, 2011).

항공기의 받음각에 따른 양력은 속력과 관련이 있는데, 받음각이 작을 때 중력을 상쇄시킬 수 있는 양력을 받기 위해서는 항공기의 속력이 매우 빨라야 한다. 받음각이 작을 때의 양력은 베르누이 법칙의 영향을 더 많이 받을 것이다. 이를 중고등학교의 교육현장에 적용해 보자. 중고등학교 학생들은 실제 운항되는 항공기를 직접적이고 실제적으로 탐구하기는 매우 어렵기 때문에 고무동력기나 모형 글라이더, 콘텐서 비행기 등을 가지고 비행기의 원리를 학습하거나 탐구를 한다. 이런 항공기들은 비행 속력이 실제 비행기에 비해서는 매우 작다. 일반적인 항공기가 이륙할 때는 12도의 받음각에서 대략 시속 300 km/h의 속력을 받아야 적절한 양력을 받고 이륙할 수 있는데, 탐구용 비행체들은 빨라야 시속 20 km가 되지 않는다. 이 경우 베르누이 법칙에 의해 양력을 받는다고 설명하기에는 맞지 않는 부분이 있다. 하지만 작용-반작용 법칙으로는 설명이 가능하다. 특히 모형 글라이더의 경우에는 자체 추진력이 없기 때문에 중력 퍼텐셜 에너지를 운동에너지로 전환시키면서 바로 추락하지 않고 전진하며 조금씩 낙하한다. 속력을 받으면서 낙하하기 때문에 날개는 공기로부터 공기저항을 받게 되는데, 이 힘이 일정한 양력을 만들어낸다고 설명이 가능하다. 즉, 중등학교급에서 양력의 원리를 실험으로 보여주기에는 작용-반작용 법칙이 적합한 것이다.

[그림 IV-12]와 [그림 IV-13]은 작용-반작용에 의한 양력을 충분히 설명할 수 있는 현상이다. [그림 IV-12]에서는 날개의 압부분이 위로 들려 있어서 풍동에서 나온 공기가 날개의 아랫 면에 힘을 가한다. 그 힘의 y축 방향 성분이 있어서 날개는 위로 올라가게 된다. 날개를 고정하는 기둥이 없었다면 날개는 뒤로 날아가 버렸겠지만, 기둥이 날개를 받쳐주는 힘을 가하여 기둥을 따라 날개가 올라간다. 비행기가 이륙하는 상황에 적용해 본다면, 비행기는 추진력이 있기 때문에 전진하면서 상승할 수 있게 된다. [그림 IV-13]은 상승했던 날개가 하강하다가 특정 위치에 멈춰 있는 상황이다. 기둥이 없었다면 공기가 날개의 윗면에 힘을 가하기

때문에 뒤로 밀려나면서 하강했을 것이다. 하지만 기둥의 존재로 뒤로 밀려나지 않고, 기둥과의 마찰력이 있어서 특정 위치에서 정지해 있을 수 있다. 풍동 장치를 끄면 기둥과 날개 사이의 마찰력이 줄어들어 날개는 중력을 받아 아래로 하강한다. 특히 [그림 IV-12]와 [그림 IV-13]에서 날개의 윗면보다 아랫면의 속도가 빠르다는 것이 중요하다. 베르누이 법칙에 따르면 이 경우 양력을 설명하기 어려워진다. 하지만 작용-반작용으로는 설명이 가능하다. 뒷절에서 다루겠지만 제작한 풍동의 최대 풍속은 6 m/s 보다 작다. 하지만 이 속도에서도 풍동의 특정 위치에서 실을 이용하여 글라이더를 안정적으로 띄울 수 있다. 모형 항공기와 저속비행에서의 양력은 작용-반작용 법칙으로 설명하는 것이 더욱 합리적이다. 고속 비행에서 더 영향력이 커지는 베르누이 법칙은 현재로서는 이론으로 설명하거나 베르누이 법칙이 일어나는 간단한 현상을 보여주고 해당 원리로 설명하는 것이 적절하다.

3) 글라이더 위아래의 유동 관찰



[그림 IV-14] 풍동장치에 띄운 글라이더 주위의 유동.

[그림 IV-14]는 풍동에 띄운 글라이더 위아래의 유동을 촬영한 것이다. 직진하

던 바람이 글라이더에 부딪혀 아래 부분은 아래 방향으로 방향이 바뀌고 윗부분에서는 와류가 생성되는 것을 볼 수 있다. 글라이더 윗 부분의 유속이 더 느리지만 글라이더는 해당 위치에서 평형을 이루며 중력에 대항하는 양력을 받는다. [그림 IV-14]의 상황도 베르누이 법칙 보다는 작용-반작용의 법칙으로 설명하는 것이 적절하다.

3. 에어서클레이터와 정류격자로 구성된 풍동의 풍속 특성 분석 결과 및 논의

<표 IV-4>은 영역별 거리에 따른 평균 풍속값을 나타낸 것이다. 풍속의 단위는 m/s이며 풍속계의 평균값 측정 기능을 이용하여 측정하였다.

<표 IV-4> 영역별 거리에 따른 평균 풍속 분포(단위는 m/s).

거리(cm)	영역															
	A ₁₁	A ₁₂	A ₁₃	A ₁₄	A ₂₁	A ₂₂	A ₂₃	A ₂₄	A ₃₁	A ₃₂	A ₃₃	A ₃₄	A ₄₁	A ₄₂	A ₄₃	A ₄₄
1.5	1.9	5.1	5.0	2.0	5.1	3.9	4.3	5.0	4.4	4.2	4.0	4.8	1.5	4.8	4.4	1.9
5.0	2.0	5.1	4.9	2.0	5.0	3.6	3.9	4.9	4.4	4.3	3.8	4.8	1.4	4.6	4.3	2.1
10.0	2.1	4.9	4.8	1.9	4.9	3.6	4.0	4.7	4.4	4.2	3.8	4.8	1.4	4.5	4.2	2.0
15.0	2.1	4.8	4.7	2.1	4.9	3.5	4.1	4.9	4.2	4.2	3.9	4.7	1.7	4.4	4.2	2.4
20.0	2.1	4.8	4.7	2.0	4.9	3.8	4.0	4.7	4.0	4.3	3.9	4.7	1.6	4.3	4.1	2.2
25.0	2.1	4.7	4.6	1.9	4.8	3.7	4.0	4.6	3.8	4.3	3.9	4.5	1.5	4.0	3.9	2.2
30.0	2.1	4.6	4.5	2.0	4.7	3.7	4.3	4.4	3.9	4.1	3.9	4.4	1.8	4.1	4.1	2.3
35.0	2.0	4.4	4.5	2.1	4.6	3.8	4.2	4.5	3.8	4.1	3.9	4.5	1.8	4.0	4.2	2.4
40.0	2.2	4.3	4.4	2.0	4.5	3.8	4.2	4.4	3.8	4.1	3.8	4.5	1.8	3.9	4.3	2.6
45.0	2.1	4.1	4.4	2.1	4.4	3.8	3.9	4.4	3.7	4.1	3.7	4.5	1.8	4.0	4.3	2.8
50.0	2.1	4.1	4.4	2.4	4.2	3.7	3.9	4.2	3.5	4.0	3.6	4.4	1.8	4.0	4.4	3.0
55.0	2.3	4.1	4.5	3.0	4.3	3.9	4.1	4.3	3.3	4.1	3.8	4.4	1.7	3.9	4.5	3.2
평균 (m/s)	2.1	4.6	4.6	2.1	4.7	3.7	4.1	4.6	3.9	4.2	3.8	4.6	1.7	4.2	4.2	2.4
표준편차 (m/s)	0.1	0.4	0.2	0.3	0.3	0.1	0.1	0.3	0.4	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	0.2	0.4

[그림 IV-15]는 영역별 평균 풍속 분포를 나타낸 것이다. 평균 풍속 분포를 보면 A_{11} , A_{14} , A_{41} , A_{44} 영역의 풍속과 나머지 영역의 풍속 차이가 많이 발생하는데, 그 이유는 원형으로 된 에어 서클레이터가 사각형 정류격자를 다 채우지 못하여 바람이 일부만 통과하는 영역에 존재하기 때문인 것으로 판단된다.



[그림 IV-15] 영역별 평균 풍속 분포.

풍속의 균질도는 교육실험용 미니 풍동의 시험부 균질도를 계산한 방식(김권택 외, 2007)으로 계산하였는데, 에어서클레이터 가장자리에서 바람이 일부만 통과하는 영역을 고려하여 A_{11} , A_{14} , A_{41} , A_{44} 영역을 포함한 균질도와 제외한 균질도를 모두 계산하였다. 계산한 결과는 <표 IV-5>에 제시하였으며, 소수점 둘째 자리에서 반올림하여 소수점 첫 번째 자리까지 나타내었다.

<표 IV-5> 제작된 풍동의 균질도.

조건	평균 풍속(m/s)	표준 편차(m/s)	균질도(%)
$A_{11}, A_{14}, A_{41}, A_{44}$ 영역 포함	3.7	1.0	28
$A_{11}, A_{14}, A_{41}, A_{44}$ 영역 제외	4.3	0.34	7.9

A_{11} , A_{14} , A_{41} , A_{44} 영역을 포함한 경우 풍동의 균질도는 28 %이며, 제외한 경우 균질도는 7.9 %이다. 에어서클레이터의 바람이 통과하는 영역이 넓어진다면 A_{11} , A_{14} , A_{41} , A_{44} 영역을 제외한 경우의 균질도에 가까워 질 것으로 판단되지만 7.8 %의 균질도 역시 일반적인 풍동에 요구되는 균질도에는 미치지 못한 균질도이다. 적정 균질도가 0.3 % 이내라는 연구 결과가 있으며(Mehta, 1979), 김권택 외 3명이 제작한 학습용 풍동의 균질도는 0.64 %로 본 연구에서 제작한 풍동의 균질도보다는 훨씬 좋은 수치이다. 하지만, 본 연구에서 제작한 풍동은 앞의 두 연구 결과에서 제작한 풍동에 비해 제작 방법이 간단하고 부피가 작으며, 보관이 용이하다.

정밀한 실험을 수행하거나 고차원적인 작업을 수행하는 경우가 아닌 중등학교 교육과정에서 사용될 풍동은 어느 정도의 균질도를 갖는 것이 적합한지에 대한 연구를 찾아보기는 힘들다. 교육용 풍동을 산업용 풍동보다 가볍고 단순하게 제작하고자 하는 이유는 접근성 때문이다(김권택 외, 2007). 하지만 교육용으로 제작하는 풍동 역시 기본적인 풍동의 요구 조건과 정밀성을 갖춰야 한다는 생각에서 크게 벗어나지 못한듯 하다. 정밀성을 크게 요구하지 않는 간단한 상황에서도

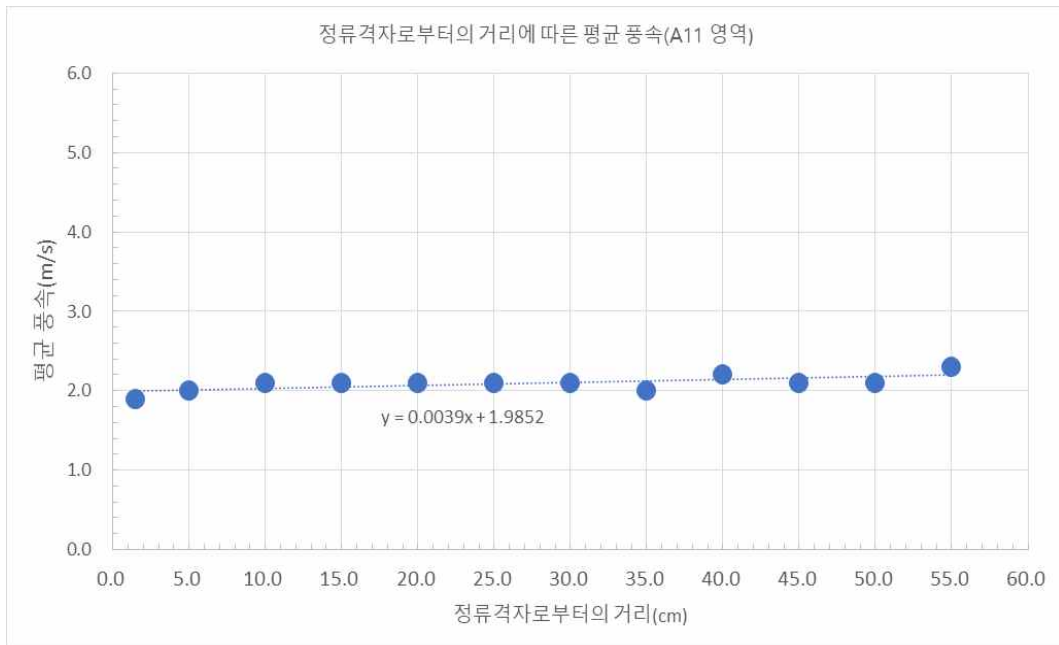
기존의 성능이 좋은 풍동을 사용해야 한다는 생각을 갖게 된다면 풍동 실험에 대한 부담감을 갖게 되는 것은 당연하다.

본 연구에서 사용한 에어서큘레이터와 정류격자만으로 구성된 풍동장치는 기존에 개발된 교육용 풍동(김권택 외, 2007; 최준섭 외, 2006; 조옥찬 외, 1988)에 비해서는 균질도와 풍속, 공기의 간섭과 같은 대부분의 특성을 만족시키지는 못한다. 하지만 본 연구자가 구현하고자 했던 글라이더가 오뎅이와 같은 안정성을 보여주는 상황과, 받음각에 의한 양력을 보여주는 등 기본적인 교육적 현상을 보여줄 수 있는 풍동이었다. 뒷절에서 설명하겠지만, 본 연구자가 글라이더를 띄운 위치에서 글라이더가 안정성을 갖는 이유는 본 연구에서 사용한 풍동장치의 풍속 특성과 작용-반작용 법칙으로 해석이 가능하다.

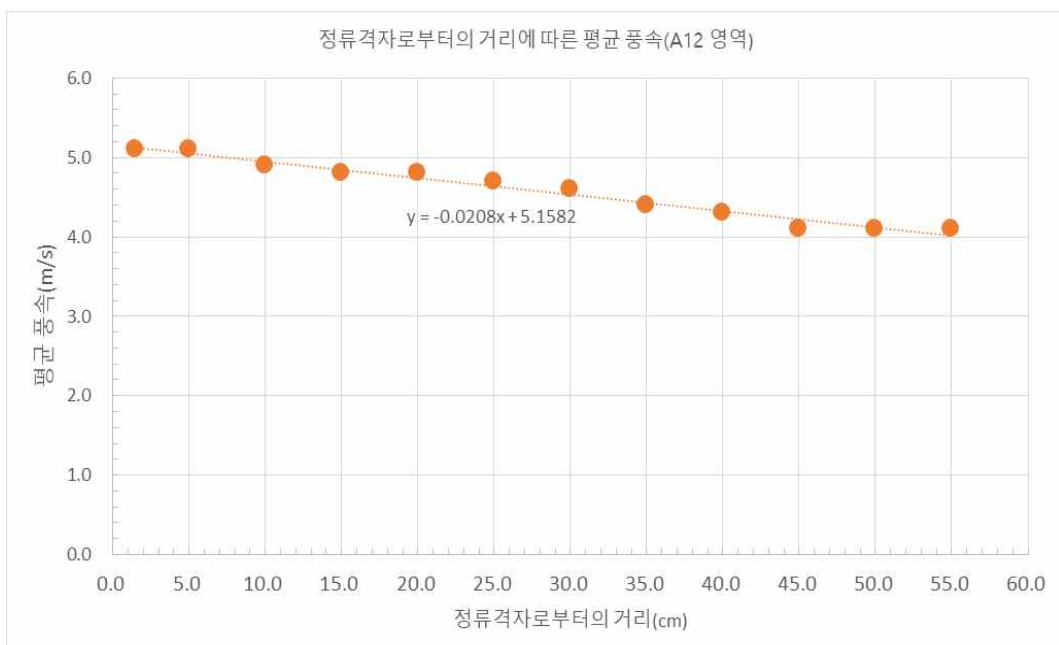
본 연구자는 교육용 풍동의 경우 교육 목적과 용도에 맞는 경제적인 풍동 제작을 위해서는 풍동의 모든 요건을 갖추지 않은 상태에서 풍동이 어느 정도의 성능과 역할을 할 수 있는지를 정리하는 것도, 풍동에 대한 교사와 학생들의 접근성을 향상시킬 수 있는데 도움이 될 것이라 생각한다. 컴퓨터의 경우에는 컴퓨터를 사용하는 목적에 따라 저가의 저사양 제품에서부터 고가의 고사양제품까지 다양한 성능의 컴퓨터가 출시되고 있다. 풍동장치를 비롯한 교육장치 역시 비슷한 상황이 조성되는 것이 활용성에 도움이 될 것은 당연하다. 본 연구에서 풍동장치의 균질도를 향상시키기 위해서는 확산부와 축류부를 별도로 제작하고, 풍속이 더 좋은 송풍기를 알아보는 등 여러 방법이 있었지만, 본 연구에서 사용된 풍동장치와 같이 보관과 사용이 용이한 풍동장치를 제작할 수는 없었다.

풍동의 영역을 16개로 나누고 각 영역의 거리에 따른 풍속 데이터를 수집한 이유는 본 연구에서 사용한 풍동이 필요한 교육자와 학생들에게 기본적인 풍동의 특성을 제시하기 위해서이다. 거리에 따른 풍속 그래프에서 거리에 따른 풍속의 균질도도 정확하다고 볼 수는 없지만, 정밀하지 않은 기본적인 현상을 구현하거나 보여주기 위해 본 연구에서 사용한 풍동장치를 구성하는 경우 좋은 참고자료가 될 것이다. 기초적인 풍동 실험과 현상 구현은 본 연구에서 사용된 풍동을 사용하고 보다 정밀한 정량적 실험이 필요한 경우 선행 연구에서 제작한 풍동들을 제작하여 활용한다면 풍동을 이용한 실험의 효율과 경제성이 좋아질 것이라 기대한다.

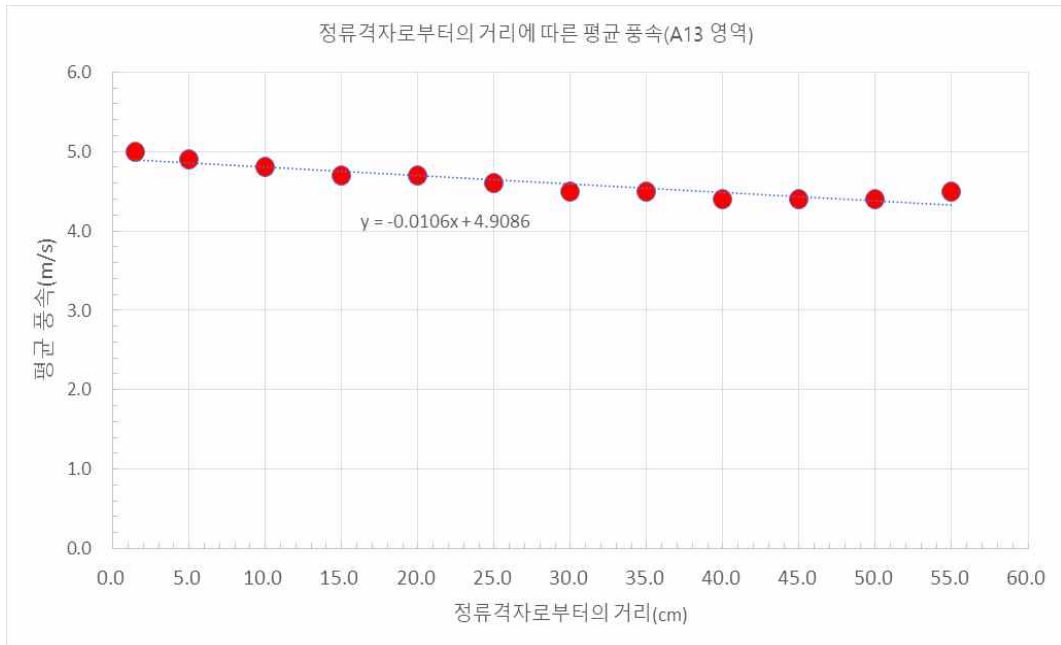
[그림 IV-16]~[그림 IV-31]은 영역별로 정류격자로부터의 거리에 따른 평균 풍속 값을 그래프로 나타낸 것이다.



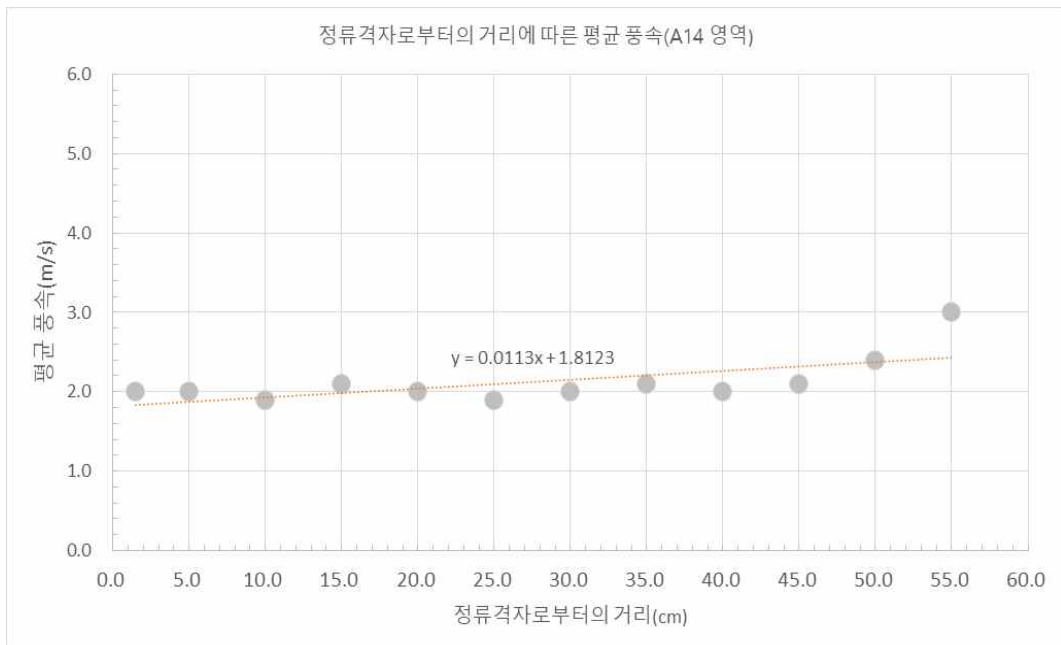
[그림 IV-16] A₁₁영역에서 거리에 따른 풍속 분포.



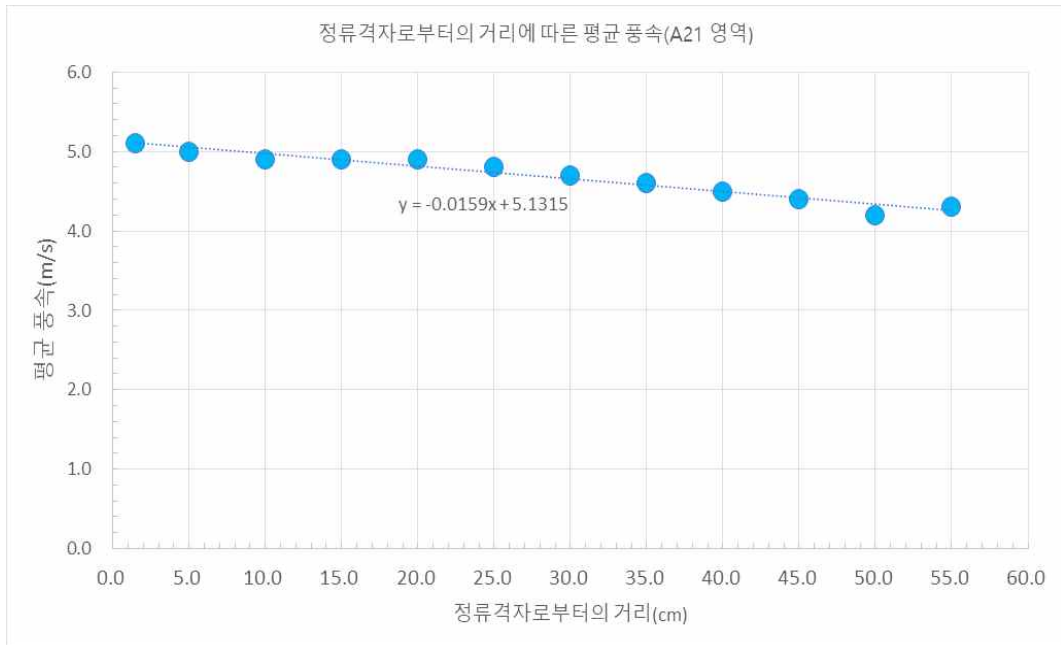
[그림 IV-17] A₁₂영역에서 거리에 따른 풍속 분포.



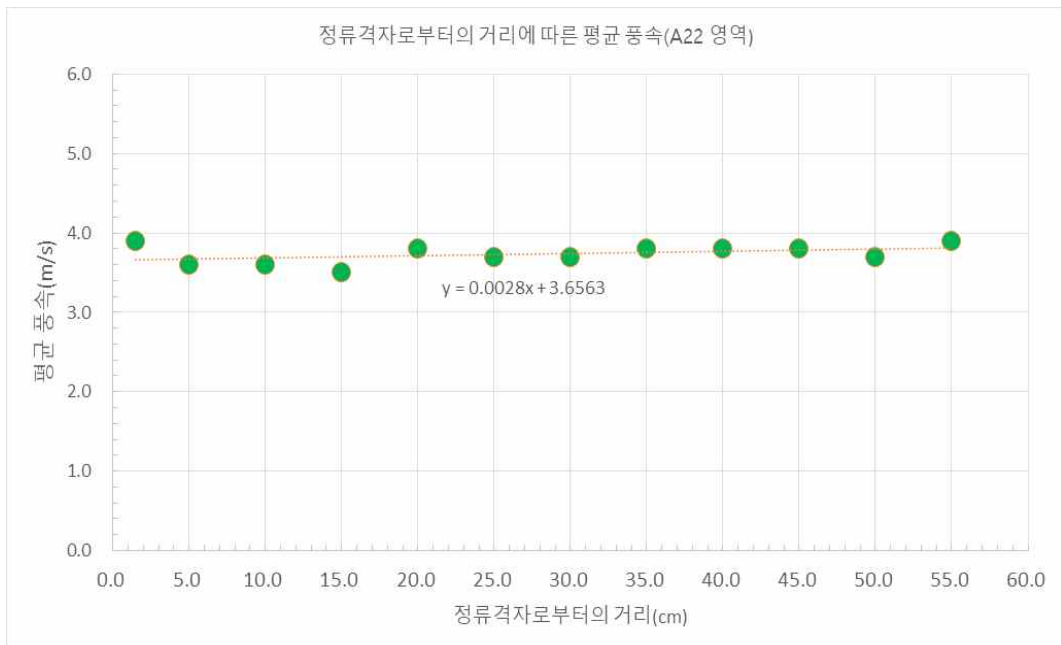
[그림 IV-18] A₁₃영역에서 거리에 따른 풍속 분포.



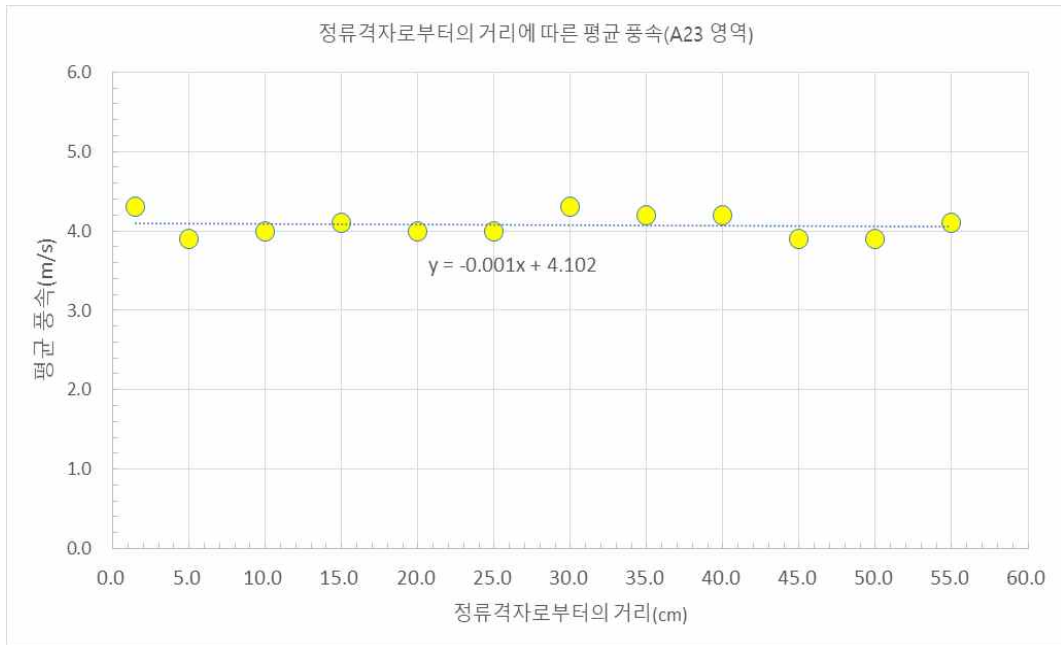
[그림 IV-19] A₁₄영역에서 거리에 따른 풍속 분포.



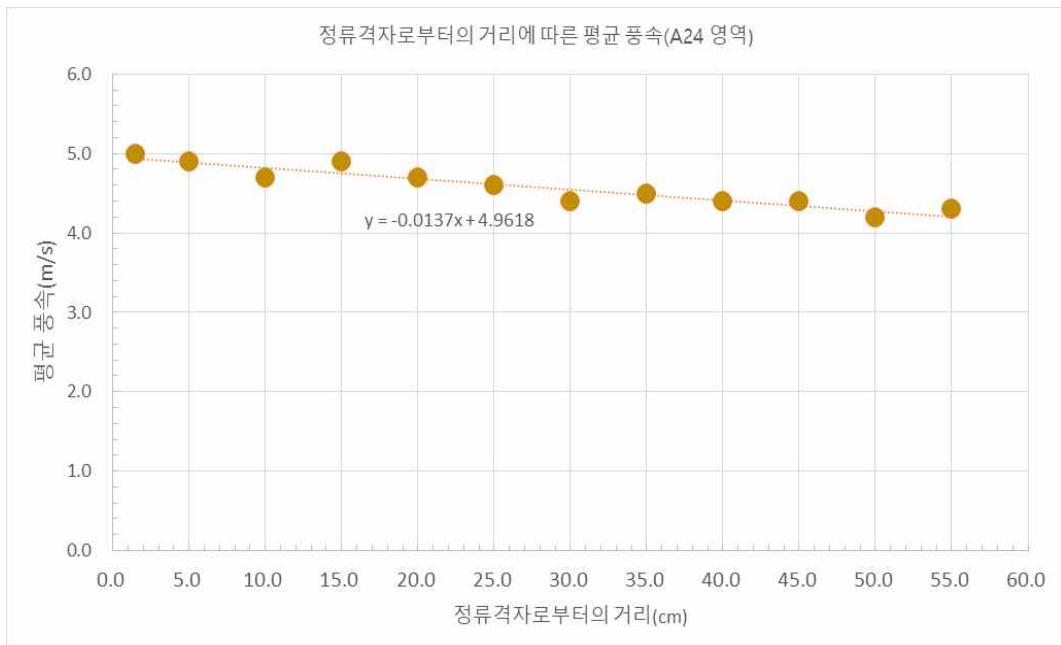
[그림 IV-20] A₂₁영역에서 거리에 따른 풍속 분포.



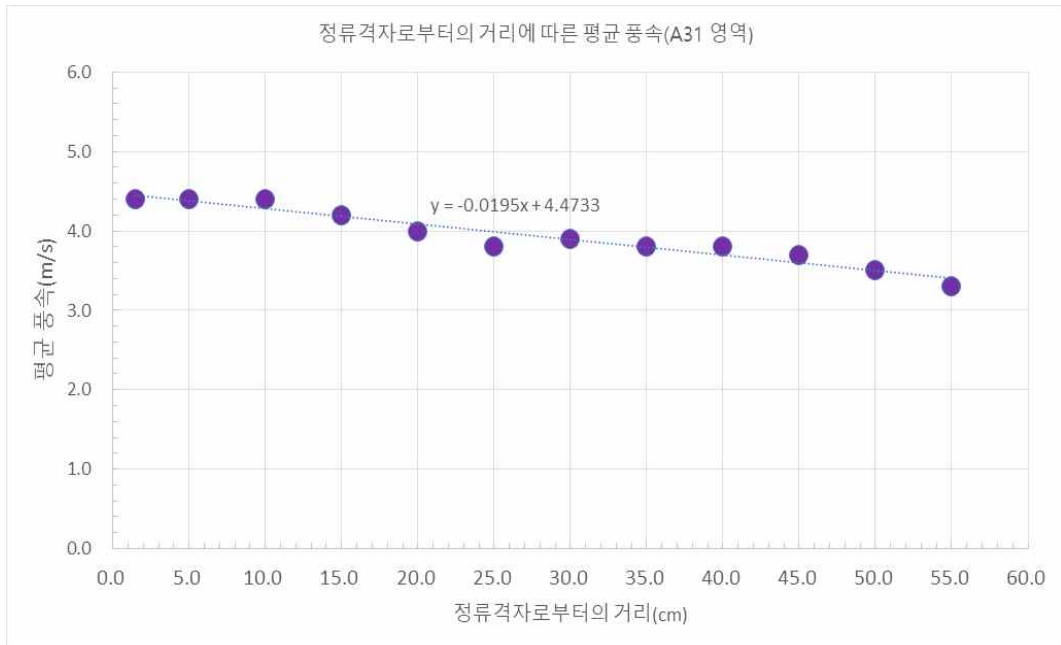
[그림 IV-21] A₂₂영역에서 거리에 따른 풍속 분포.



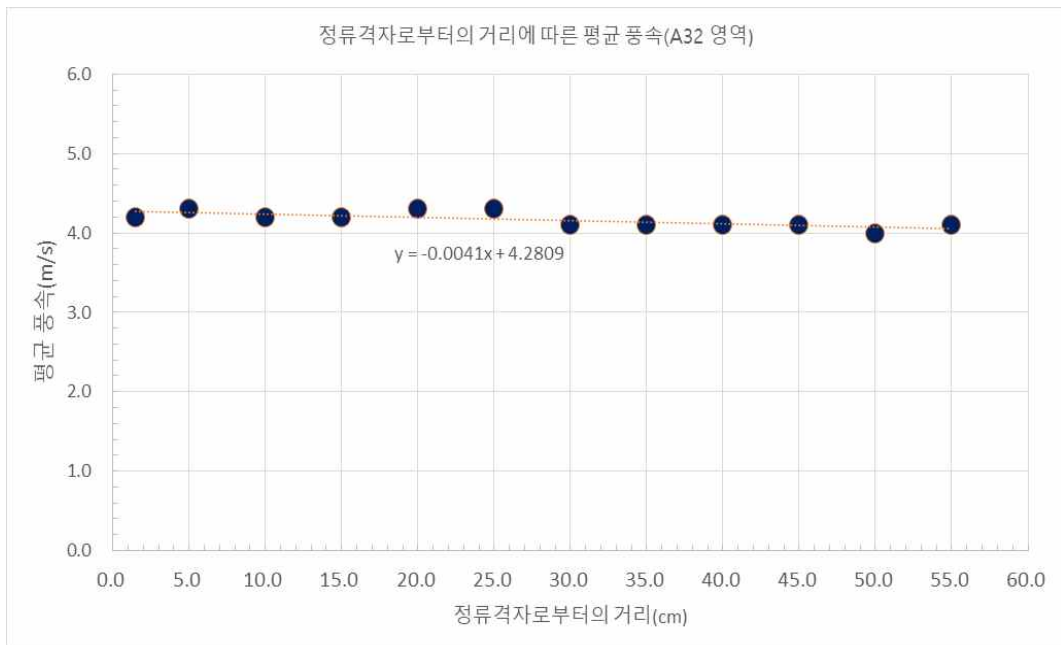
[그림 IV-22] A₂₃영역에서 거리에 따른 풍속 분포.



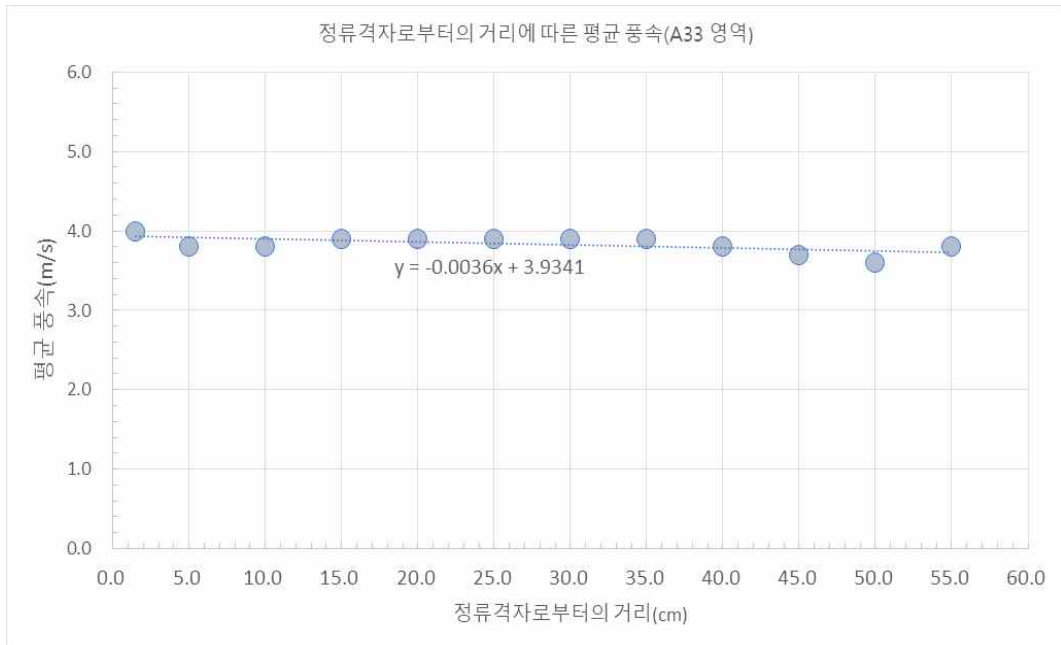
[그림 IV-23] A₂₄영역에서 거리에 따른 풍속 분포.



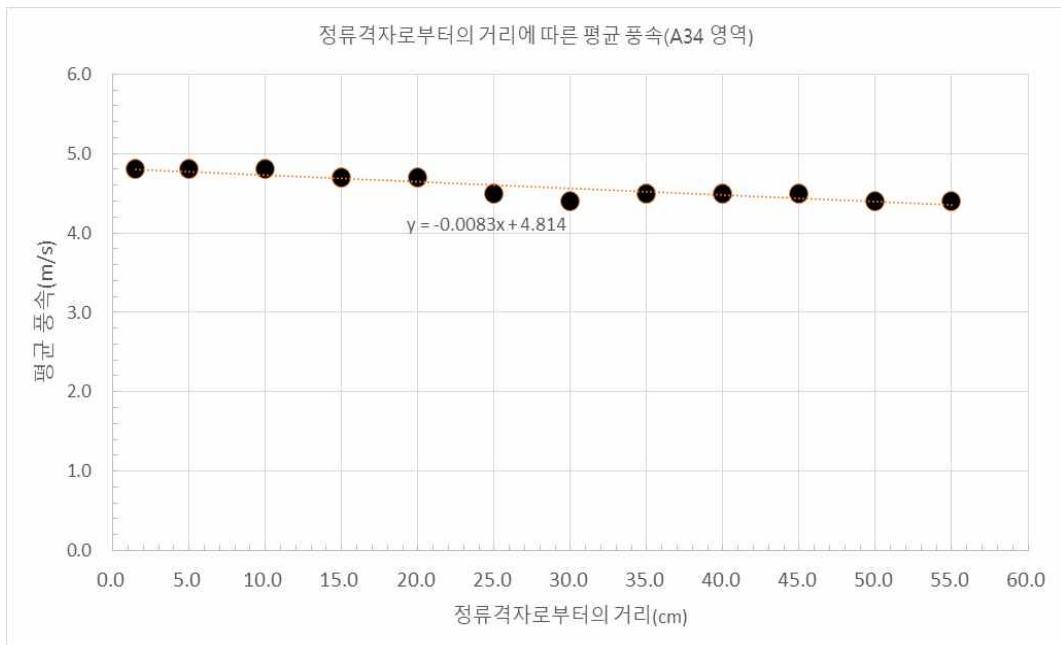
[그림 IV-24] A₃₁ 영역에서 거리에 따른 풍속 분포.



[그림 IV-25] A₃₂ 영역에서 거리에 따른 풍속 분포.



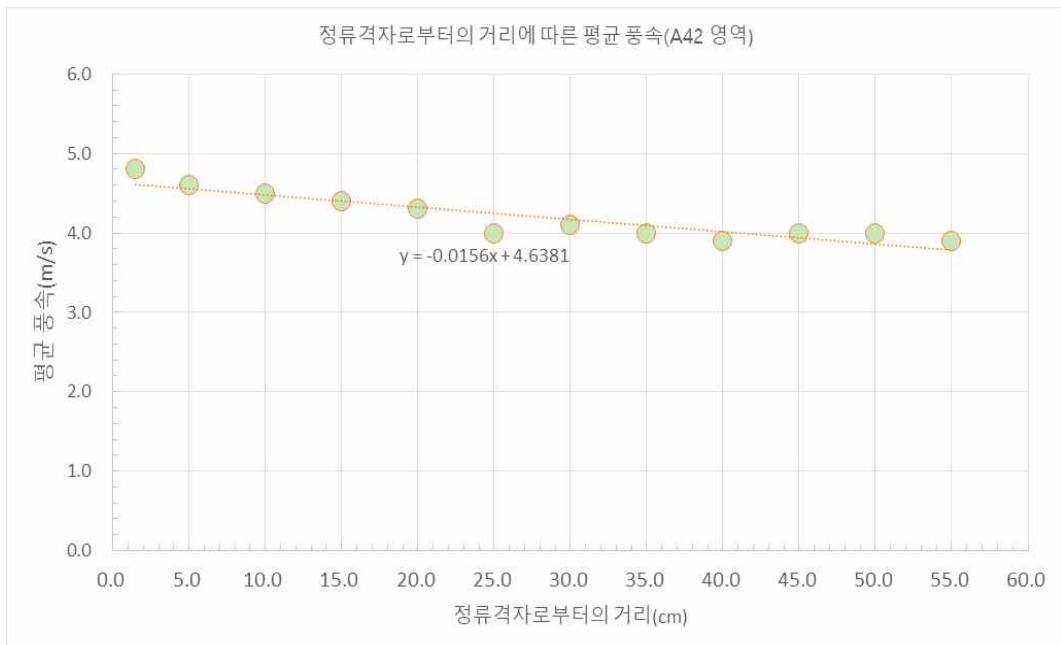
[그림 IV-26] A₃₃ 영역에서 거리에 따른 풍속 분포.



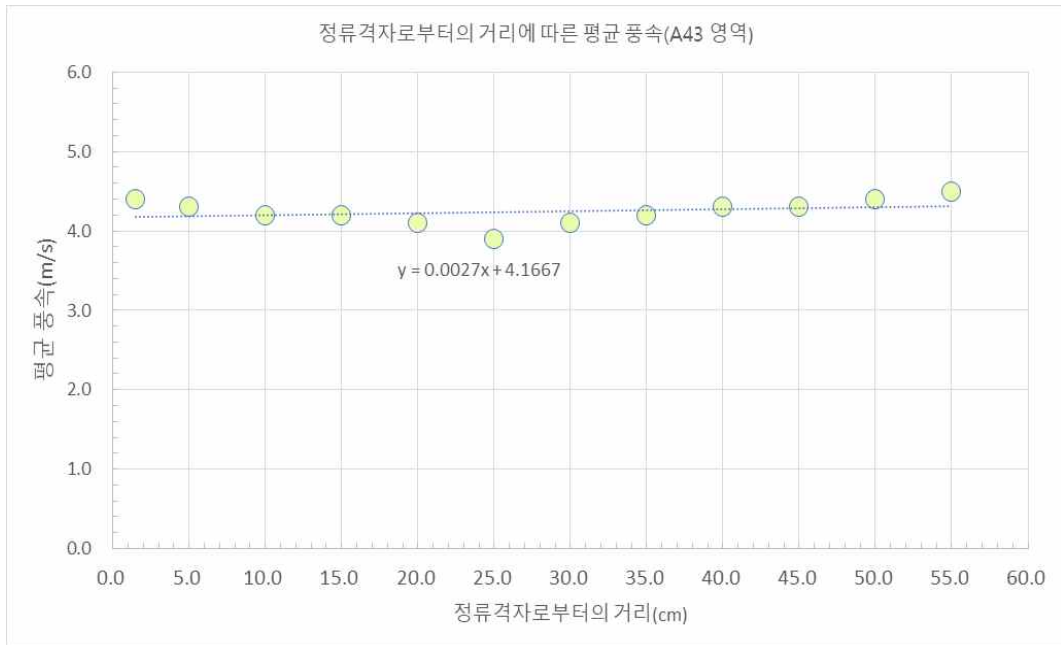
[그림 IV-27] A₃₄ 영역에서 거리에 따른 풍속 분포.



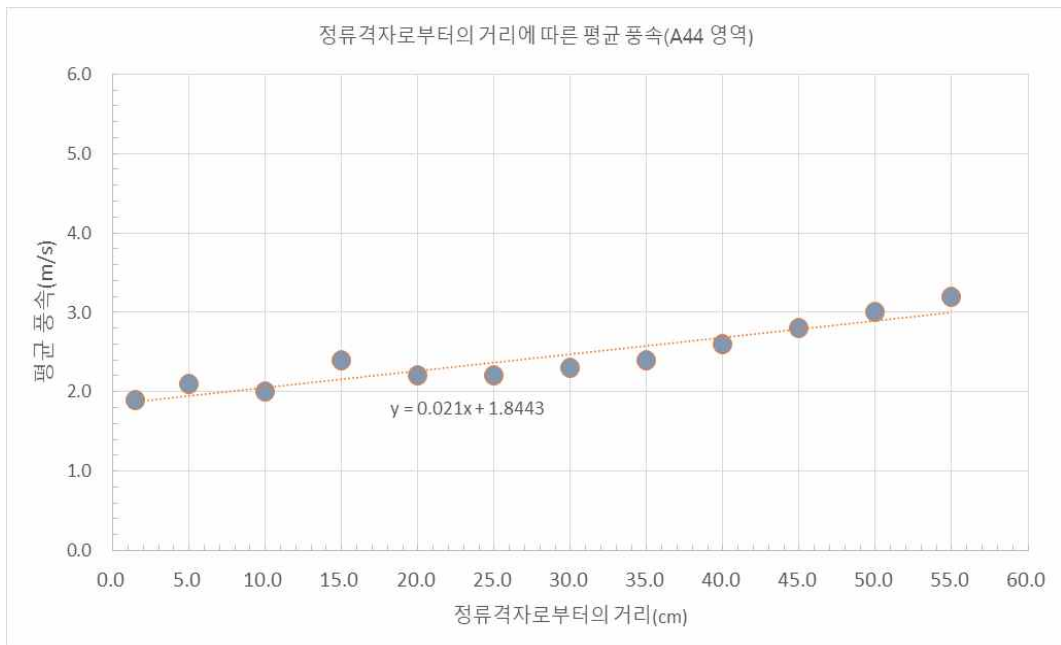
[그림 IV-28] A₄₁영역에서 거리에 따른 풍속 분포.



[그림 IV-29] A₄₂영역에서 거리에 따른 풍속 분포.

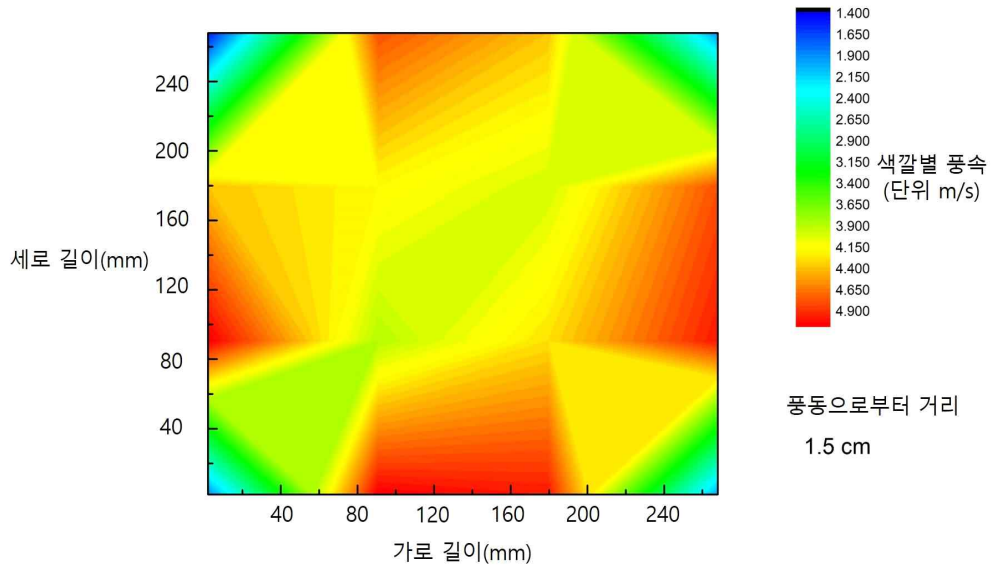


[그림 IV-30] A₄₃영역에서 거리에 따른 풍속 분포.

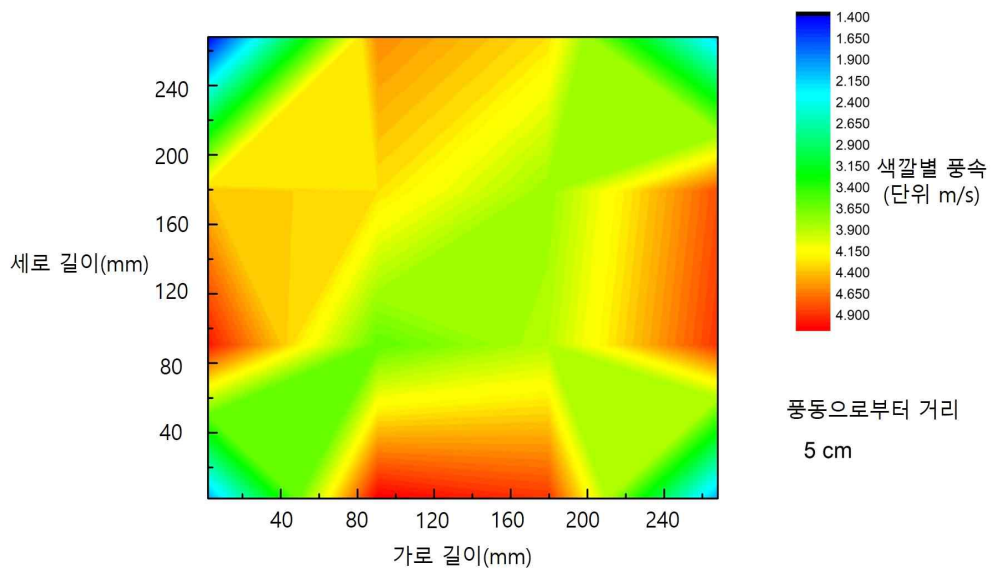


[그림 IV-31] A₄₄영역에서 거리에 따른 풍속 분포.

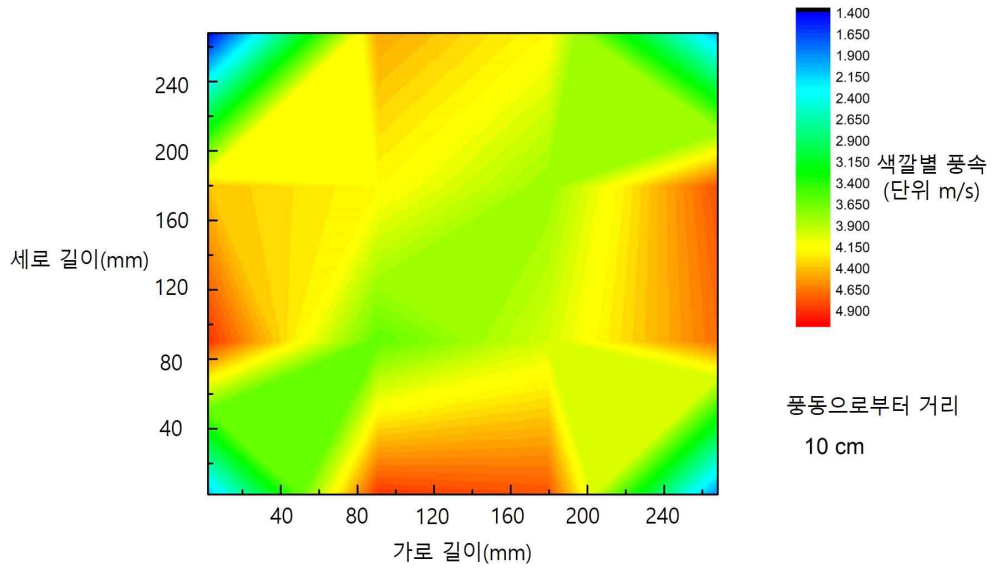
[그림 IV-32]~[그림 IV-43]은 거리에 따른 풍동 단면의 풍속 분포를 색 분포로 나타낸 것이다.



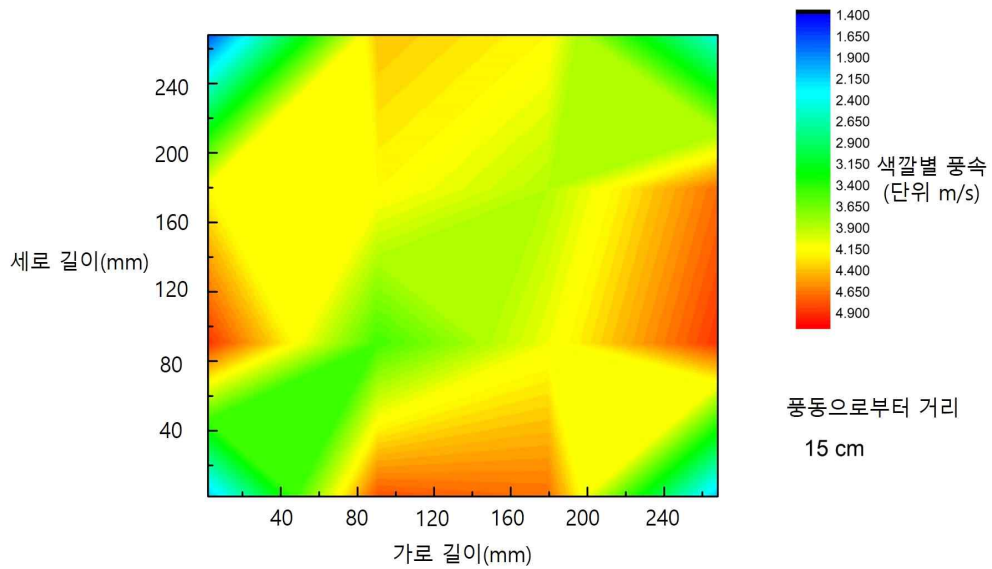
[그림 IV-32] 풍동으로부터 거리 1.5 cm 지점의 단면 풍속 분포.



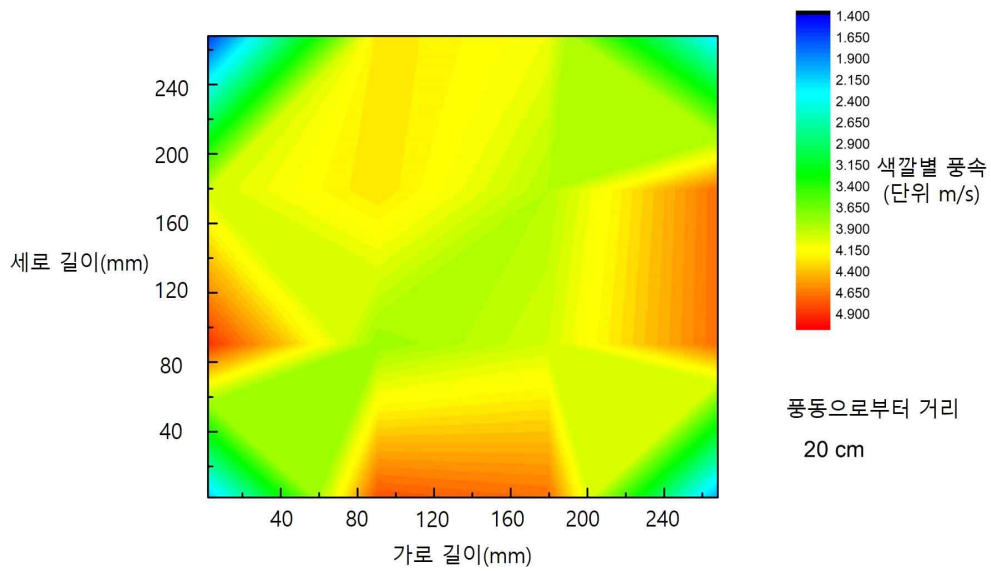
[그림 IV-33] 풍동으로부터 거리 5 cm 지점의 단면 풍속 분포.



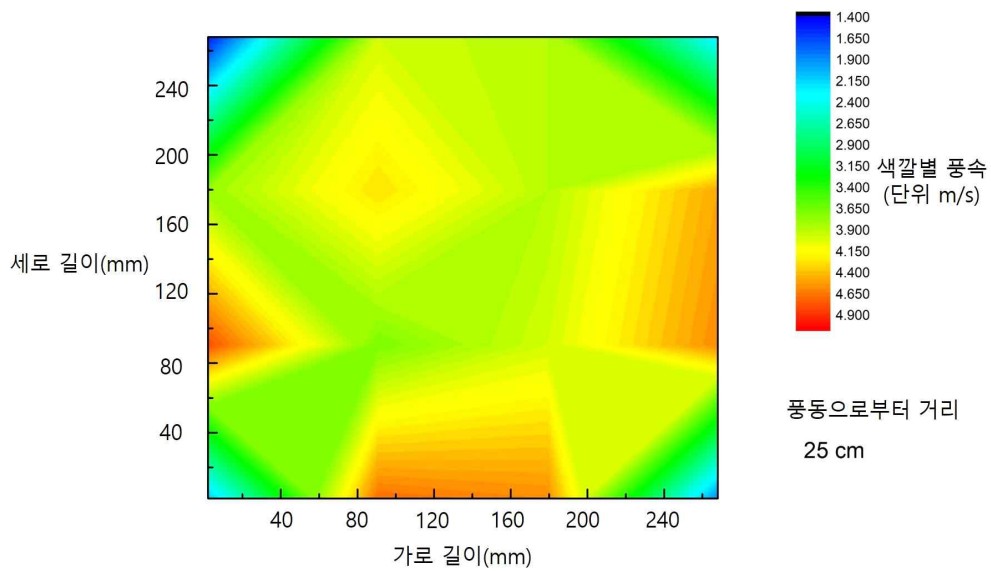
[그림 IV-34] 풍동으로부터 거리 10 cm 지점의 단면 풍속 분포.



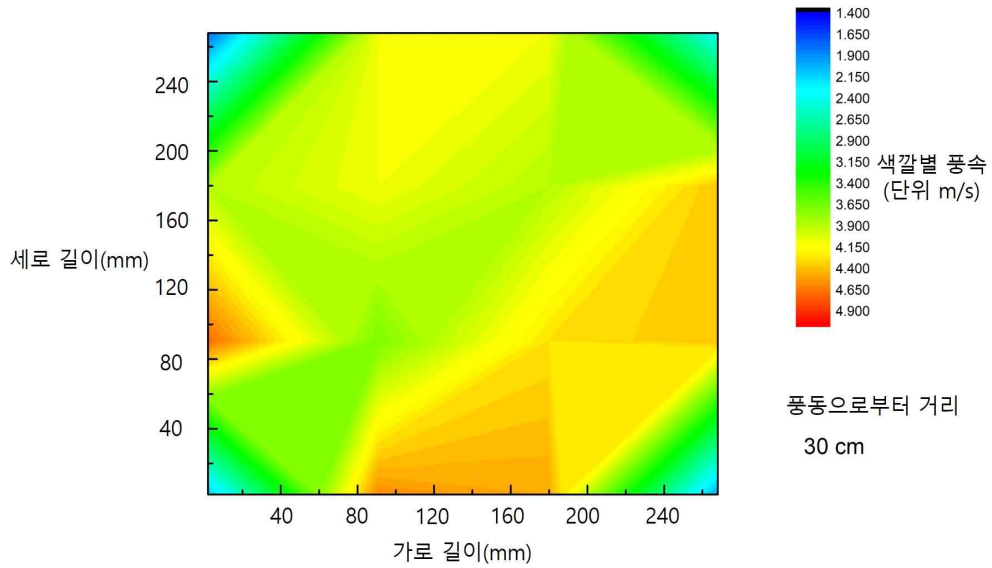
[그림 IV-35] 풍동으로부터 거리 15 cm 지점의 단면 풍속 분포.



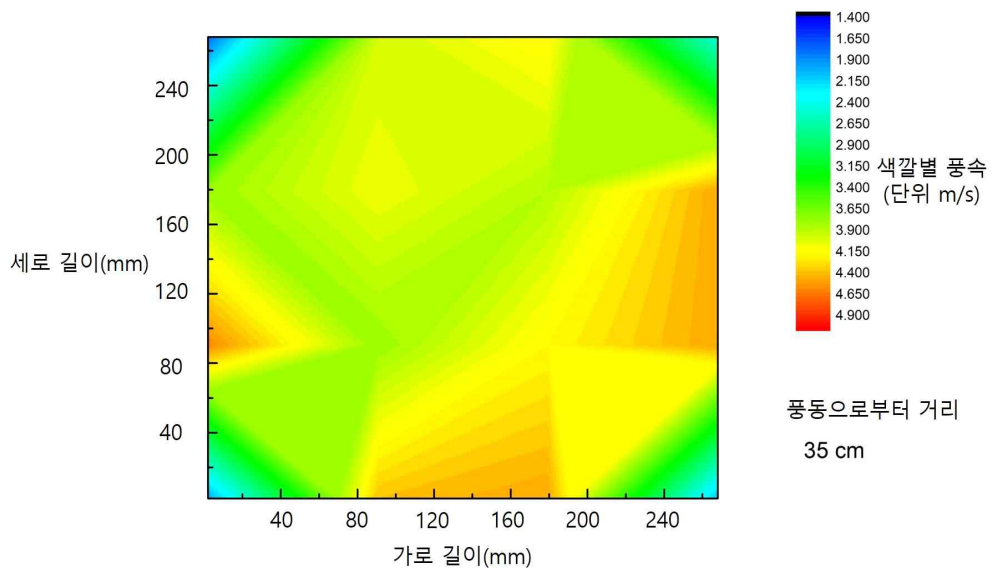
[그림 IV-36] 풍동으로부터 거리 20 cm 지점의 단면 풍속 분포.



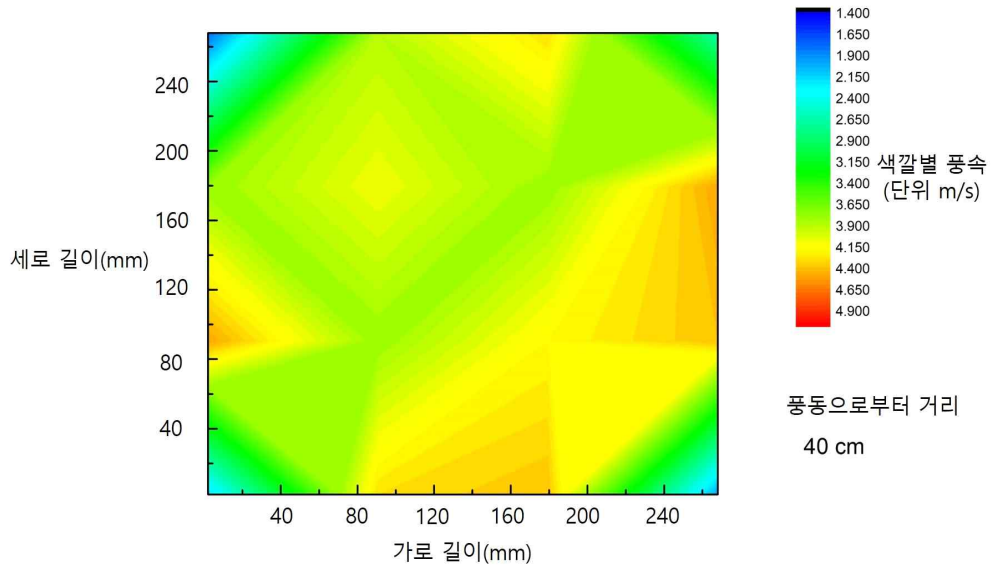
[그림 IV-37] 풍동으로부터 거리 25 cm 지점의 단면 풍속 분포.



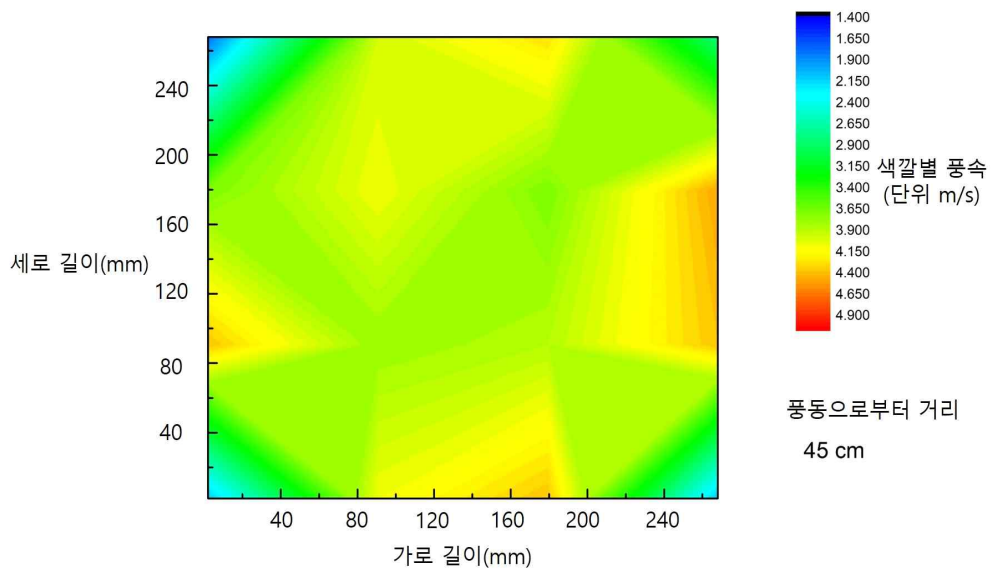
[그림 IV-38] 풍동으로부터 거리 30 cm 지점의 단면 풍속 분포.



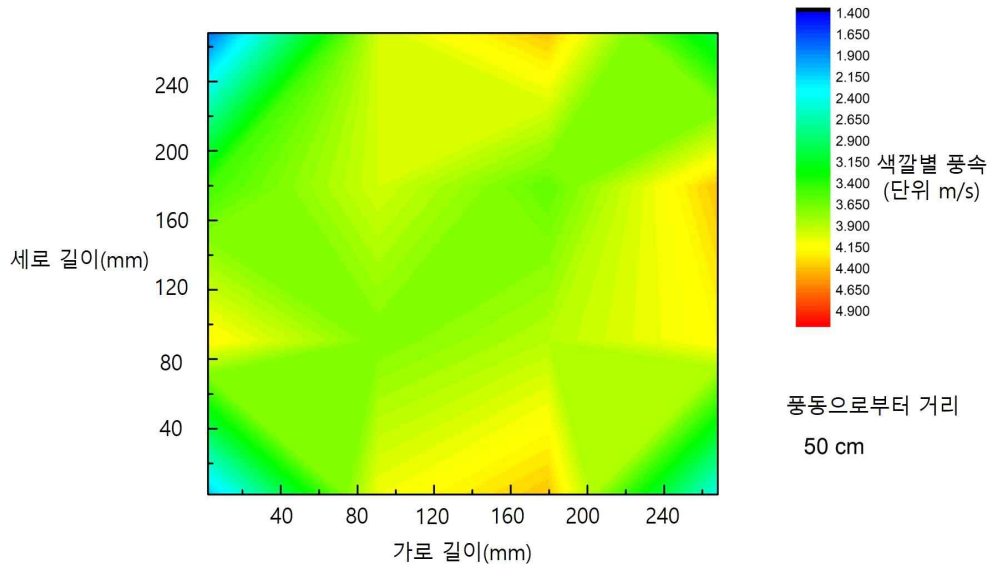
[그림 IV-39] 풍동으로부터 거리 35 cm 지점의 단면 풍속 분포.



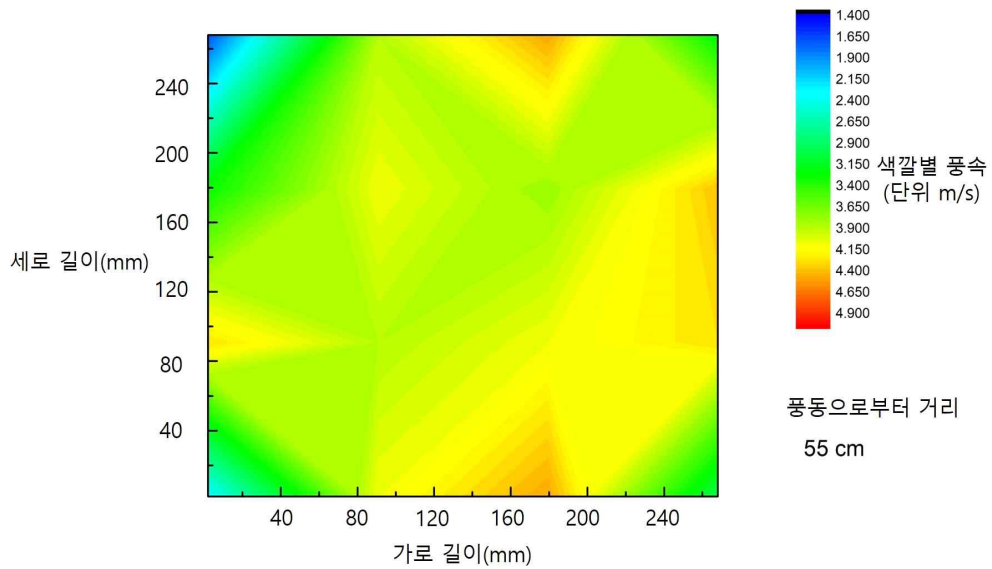
[그림 IV-40] 풍동으로부터 거리 30 cm 지점의 단면 풍속 분포.



[그림 IV-41] 풍동으로부터 거리 45 cm 지점의 단면 풍속 분포.



[그림 IV-42] 풍동으로부터 거리 50 cm 지점의 단면 풍속 분포.



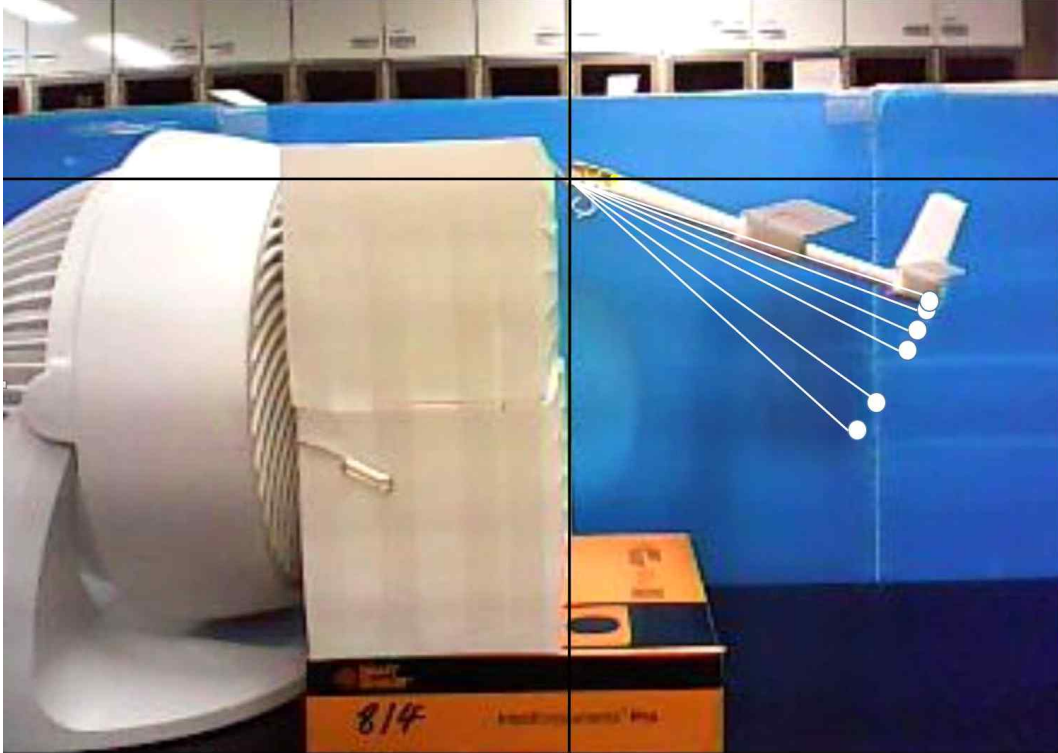
[그림 IV-43] 풍동으로부터 거리 55 cm 지점의 단면 풍속 분포.

[그림 IV-16]~[그림 IV-31]의 측정 위치 별 거리에 따른 풍속 그래프는 각 영역별로 거리에 따라 풍속의 세기가 어떻게 바뀌는지를 확인할 수 있는 데이터이다. 거리가 늘어날수록 풍속이 평균적으로 약간 줄어들지만, 50 cm 범위 내에서는 기울기가 0.02 이내로 보통 주어지므로 영역간 격차에 비하면 변동폭이 크지 않다.

[그림 IV-32]~[그림 IV-43]는 거리에 따른 시험부 단면의 풍속을 색으로 환산하여 표현한 것이다. 거리에 따라 단면의 풍속 특성이 어떻게 변화하는지 볼 수 있다. 풍속이 4 m/s 이상인 영역의 풍속이 거리에 따라 점차 감소하는 것을 확인할 수 있지만 나머지 영역에서는 큰 변동폭을 보이지 않는다.

[그림 IV-16]~[그림 IV-43]의 자료는 에어서큘레이터와 정류 격자로 구성된 풍동을 사용하는 경우 특정 위치에서의 풍속 특성을 확인하여 물리적인 의미를 분석하는데 사용될 수 있다. 개방형 풍동이면서 일반적인 풍동에 요구되는 균질성을 갖추고 있지 않은 간이 풍동의 특성상 특정 단면의 특성으로 현상을 분석하기 보다는 전반적인 영역에서의 풍동 풍속의 분포를 확인하는 것이 물리적 의미를 확인하는 데에 적절하다.

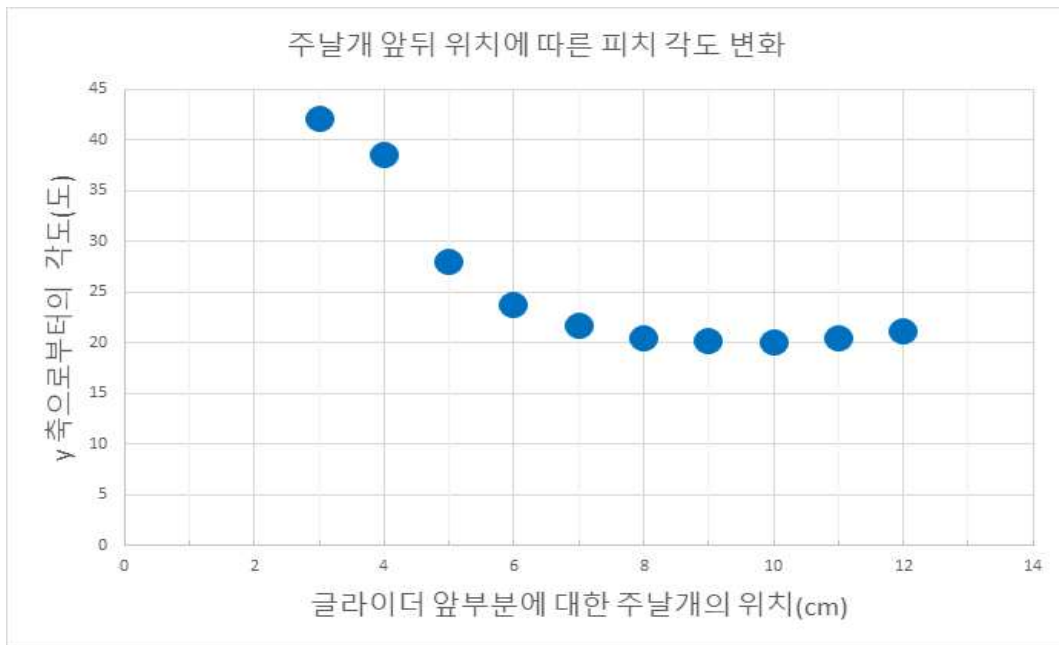
4. 글라이더 주날개의 앞뒤 위치에 따른 피치 각도 변화 결과 및 논의



[그림 IV-44] 주날개 위치 변화에 따른 피치 각도 변화.

[그림 IV-44]는 글라이더를 풍동 장치에 띄우고 주날개를 글라이더 앞부분 3 cm 위치에서부터 1 cm씩 뒤로 이동시키면서 글라이더가 z축과 이루는 각도가 어떻게 변화하는지를 촬영하여 비교해본 것이다. 그림에서 글라이더의 위치는 주날개가 11 cm 위치에 있을 때의 글라이더이다. 하얀색 선은 글라이더가 3 cm에 있을 때 글라이더의 각도부터 8 cm 위치에 있을 때 까지의 날개의 각도를 나타낸 것이며 주날개가 뒤로 이동할수록 각도가 작아지면서 글라이더의 꼬리가 점점 상승하였다. 8 cm 이후에는 주날개를 뒤로 이동시켜도 각도의 변화가 없었으며 12 cm 위치 이후부터는 글라이더가 불안정한 상태에 놓이게 되어 11 cm 위치 까지만 촬영하였다. 그림 53은 3 cm부터 11 cm 위치까지 1 cm 간격으로 주날개가 뒤로 이동할 때 y축으로부터 글라이더가 이루는 각도를 나타낸 그래프이다. 글라이더의 피치운동은 공력중심과 무게 중심의 위치관계와 관련이 있다(장

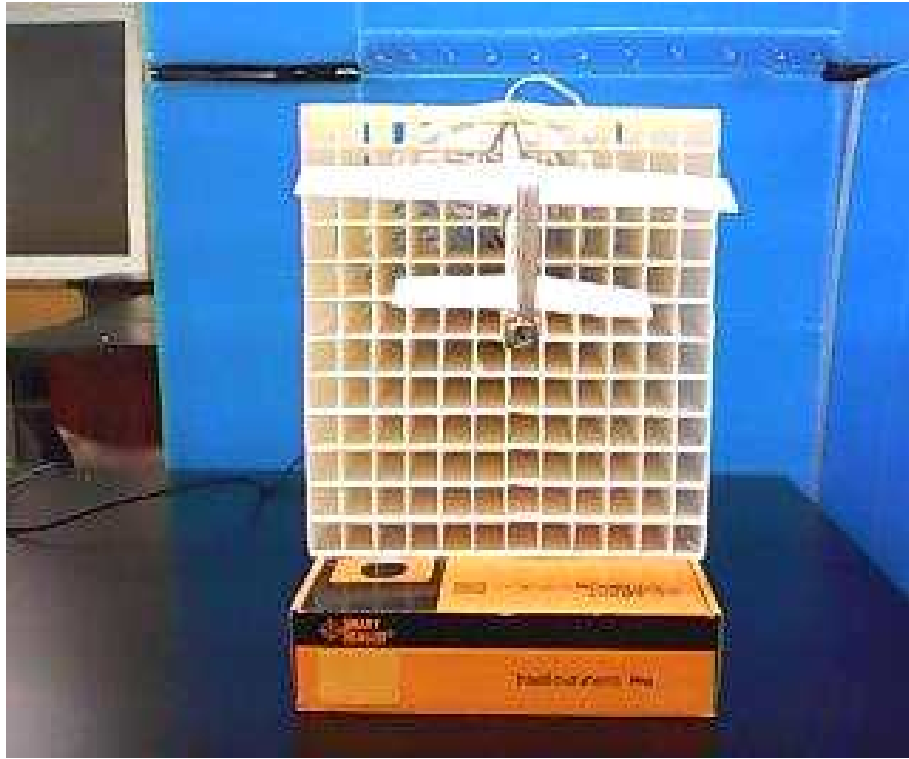
인식 외, 2016). 주날개가 머리 방향으로 이동하면 공력 중심의 위치가 앞으로 오게 되어 머리가 들리게 되고, 주날개가 꼬리 방향으로 이동하면 공력중심의 위치가 무게 중심에 대해 점점 뒤로 이동하게 되어 머리가 앞으로 내려가게 된다. [그림 IV-45]의 결과를 통해 공력중심과 무게중심의 위치관계에 따른 피치운동 변화를 학생들에게 교육할 수 있다.



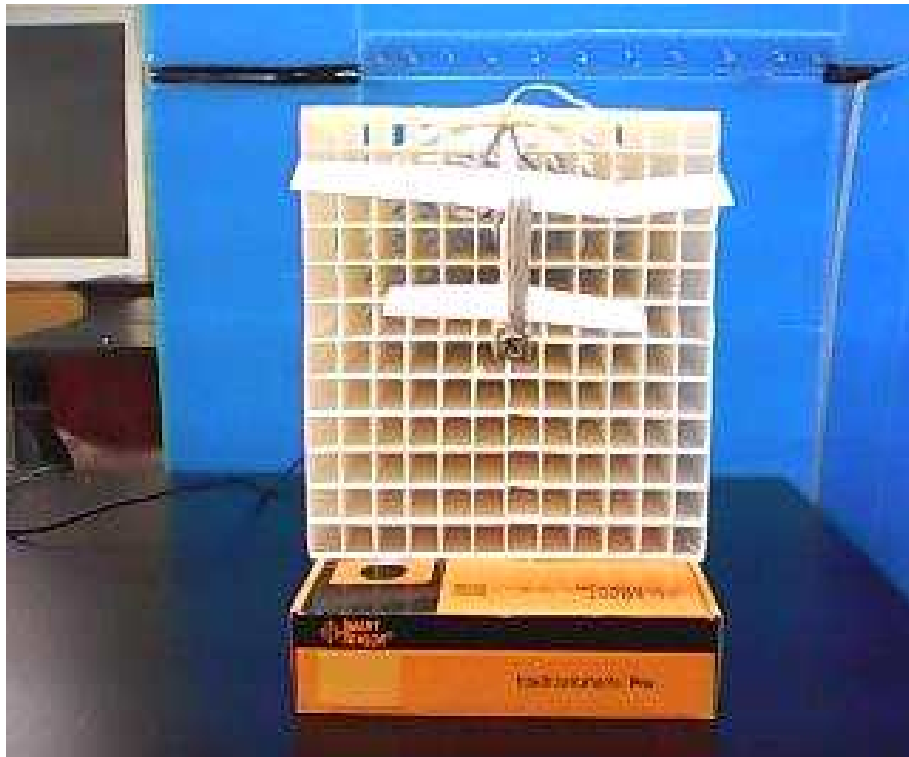
[그림 IV-45] 글라이더 주날개의 위치 변화에 따른 피치 각도 변화.

5. 글라이더 주날개 시위선에 각도에 따른 롤 평형 상태 변화

[그림 IV-46]~[그림 IV-57]까지는 글라이더를 풍동 장치에 띄우고 오른쪽 주날개의 시위선을 구부렸을 때 시위선 각도에 따른 글라이더의 평형 상태를 촬영한 것이다.



[그림 IV-46] 시위선 각도가 0°일 때 롤 평형.



[그림 IV-47] 시위선 각도가 10°일 때 롤 평형.



[그림 IV-48] 시위선 각도가 20°일 때 롤 평형.



[그림 IV-49] 시위선 각도가 30°일 때 롤 평형.



[그림 IV-50] 시위선 각도가 40°일 때 롤 평형.



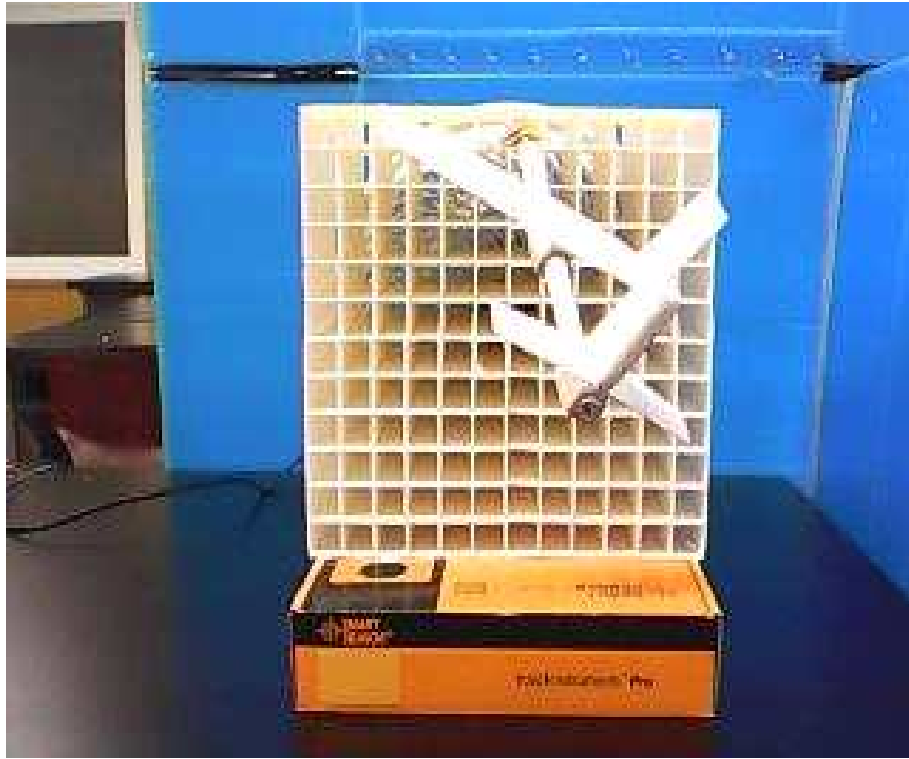
[그림 IV-51] 시위선 각도가 50°일 때 롤 평형.



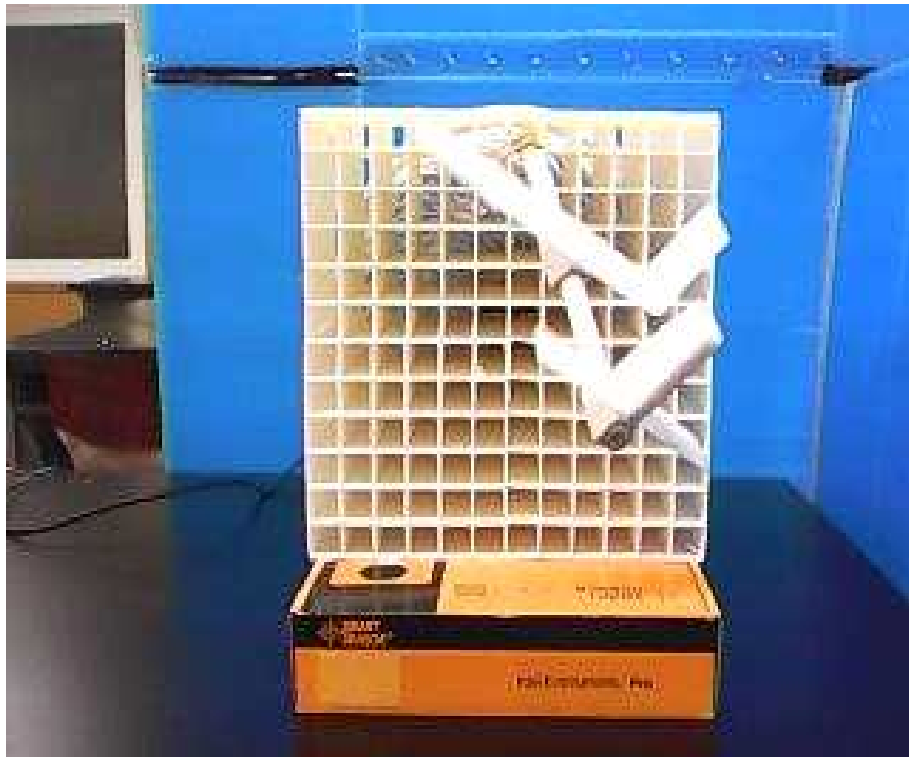
[그림 IV-52] 시위선 각도가 60°일 때 물 평형.



[그림 IV-53] 시위선 각도가 70°일 때 물 평형.



[그림 IV-54] 시위선 각도가 80°일 때 롤 평형.



[그림 IV-55] 시위선 각도가 90°일 때 롤 평형.



[그림 IV-56] 시위선 각도가 100°일 때 롤 평형.

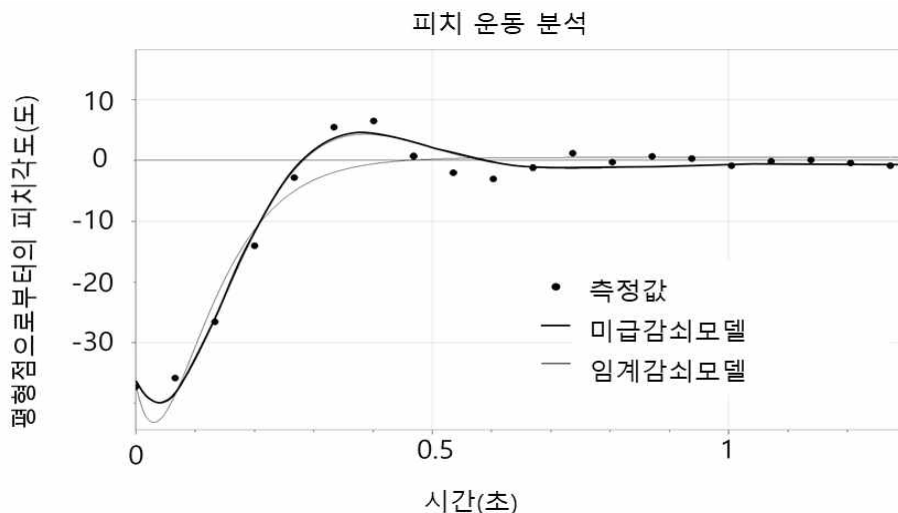


[그림 IV-57] 시위선 각도가 120° 이상 일 때 롤 평형.

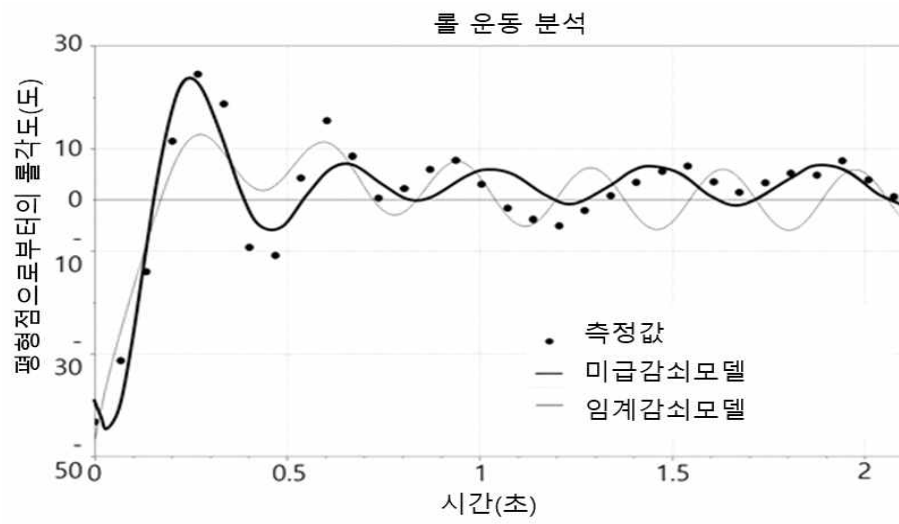
오른쪽 주날개의 각도를 10° 단위로 변경하였을 때 120° 까지는 롤 평형 상태가 점점 오른쪽으로 롤 회전을 한 상태로 변화하였으며 120° 이후에는 롤 평형상태의 변화가 없었다. 롤 운동은 양쪽 날개에 작용하는 공기력의 차에 의해 결정이 되는데, 시위선이 구부러지면 해당 날개가 공기 압력을 받는 면적이 달라지게 된다. 면적이 줄어들면 면적이 줄어들지 않는 날개에 비해 상대적으로 힘을 덜 받게 되어 구부러진 날개 방향으로 롤 운동을 하게 된다. 이 결과를 이용하면 롤 운동이 발생하는 원리를 학생들에게 설명할 수 있다.

6. 피치, 롤, 요 운동에 대한 감쇠운동 분석 결과 및 논의

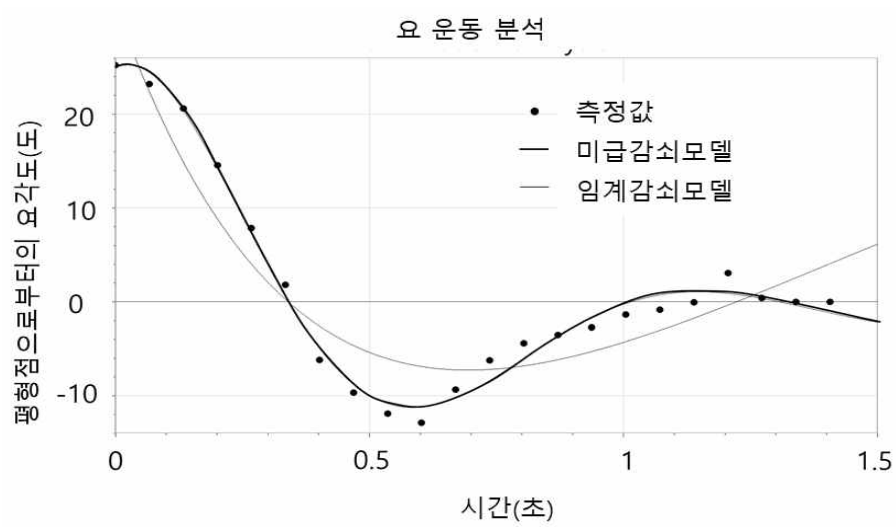
[그림 IV-58]~[그림 IV-60]은 각각 피치, 롤, 요 운동에서 시간에 따른 평형점으로부터의 각도 변화값 및 이를 임계감쇠함수와 미급감쇠함수로 피팅한 결과를 나타낸 것이다. [그림 IV-59]의 데이터에서는 평형상태에서 미세한 롤 진동 노이즈가 있어 임평형상태의 조화진동항을 추가하여 근사하였다. 조화진동항이 있는 경우가 없는 경우보다 평균 제곱근 편차(Root Mean Square Error: RMSE) 값이 더 작게 측정되었다.



[그림 IV-58] 피치 운동 분석.



[그림 IV-59] 룰 운동 분석.



[그림 IV-60] 룰 운동 분석.

<표 IV-6>과 <표 IV-7>는 각각 미급감쇠진동, 임계감쇠진동 모델에서 피팅을 통해 얻은 상수 값 들을 나타낸 것이다. 각 상수는 유효숫자 2자리로 표현하였다.

<표 IV-6> 미급감쇠 모델함수에 대한 상수값(비선형 곡선 맞춤으로 계산).

	A	γ	ω_0	ϕ	B	C	RMSE
피치 운동	58±6.3	5.9±0.81	9.0±0.49	3.8±0.093	-0.69±0.52	-	1.9
롤 운동	58±5.7	3.6±0.60	14±0.28	17±0.097	3.9±1.6	2.9±0.92	5.0
요 운동	30±1.1	1.9±0.13	5.6±0.17	1.1±0.072	-2.0±0.34	-	1.3

<표 IV-7>. 임계감쇠 모델함수에 대한 상수값(비선형 곡선 맞춤으로 계산).

	A	B	γ	C	D	RMSE
피치 운동	1000±300	37±3.3	15±2.0	0.52±0.87	-	3.2
롤 운동	-280±69	47±6.5	5.2±0.99	5.9±1.8	-18±0.24	6.9
요 운동	-160±30	-5.8±39	1.4±0.53	37±37	-	4.1

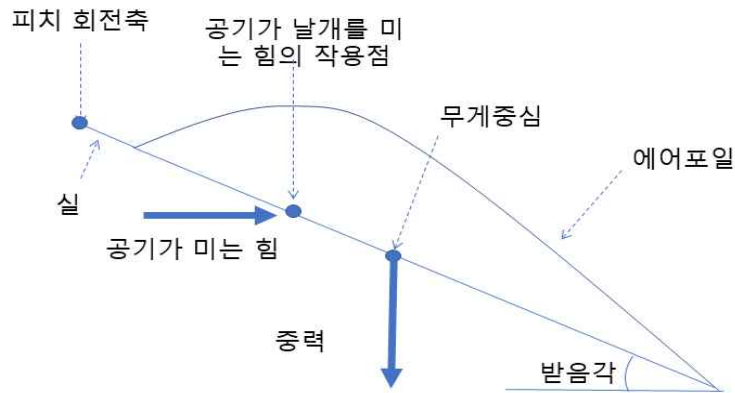
측정 결과를 살펴보면 피치, 롤, 요 회전에 대한 각도 변화 측정값들은 임계감쇠모델 보다는 미급감쇠모델에서 RMSE 값이 더 작게 측정되었다. 임계감쇠모델 보다는 미급감쇠모델이 간이 풍동장치에 띄운 글라이더의 운동 분석에 더 적합한 근사모델임을 알 수 있다. 하지만 피치와 요 운동의 경우 1~2회 정도 진동 후 평형 위치에 도달하기 때문에 임계감쇠모델과 큰 차이는 없었다. 풍동 장치에 띄운 글라이더는 피치, 요 축에 대한 각도 변화에 대해 임계감쇠에 가까운 미급감쇠진동을 한다고 설명할 수 있다. 롤 모델의 경우에는 평형 상태의 노이즈를 표현한 조화진동항이 포함된 미급감쇠함수로 근사했을 때의 RMSE 값이 가장 작지만 주기가 피치와 요 운동에 비해 불안정한 부분이 있다. 하지만 롤 변화에 대해서도 글라이더는 평형상태로 돌아온다는 것은 충분히 보여줄 수 있다.

[그림 IV-58]~[그림 IV-60]의 결과가 설명하는 물리적인 의미는, 제작한 풍동 장치에 글라이더를 띄웠을 때 안정성을 가질 수 있다는 것이다. 평형상태의 글라이더에 피치, 롤, 요 운동 변화를 주면 원래의 평형 상태로 감쇠 운동을 하며 되 돌아온다는 것을 의미한다. 풍동에 띄운 글라이더에 변화를 주었을 때, 원래의

평형상태로 돌아오는 현상은 글라이더의 안정성을 설명하는데 적절하다.

6 m/s 이내의 저속 풍동에 띄운 글라이더의 안정성은 베르누이 법칙 보다는 작용-반작용의 법칙(뉴턴의 운동 제 3법칙)으로 설명하는 것이 합리적이다. 유동 가시화에서 설명했던 것과 같이 글라이더와 날개의 위 아래 풍속을 측정해 보면, 아랫면 아래의 풍속이 윗부분 보다 더 빠른 경우에도 받음각이 있는 경우 날개는 양력을 받아서 위로 상승했다. 따라서 베르누이 법칙으로는 설명이 되지 않는다. 하지만 작용-반작용 법칙으로는 설명이 가능하다. 또한 작용-반작용으로 양력을 설명하는 논문들이 존재한다(McLean, 2018; Spathopoulos, 2011). 작용-반작용에 의한 양력은 풍동에서 방출되는 바람이 글라이더의 날개 아랫면을 만나 방향이 바뀌는 것으로 설명할 수 있다.

피치 안정성은 공기가 미치는 힘에 의한 돌림힘과 중력이 날개를 당기는 힘에 의한 돌림힘으로 설명할 수 있다. 이 때 바람에 의한 힘은 주날개의 공력 중심에 작용한다고 가정한다. [그림 IV-61]에서 풍동장치에서 발생하는 공기가 날개를 미치는 힘은 날개를 반시계방향으로 회전하는 돌림힘의 원인이 된다. 중력은 날개를 반시계방향으로 회전시키는 돌림힘의 원인이 된다. 글라이더는 공기가 미치는 힘에 대한 돌림힘과 중력에 의한 돌림힘이 평형을 이루는 상태에서 평형을 이루게 된다. 실제 비행과 다르게 풍동장치에 띄운 글라이더는 실로 고정이 되어 있는데, 글라이더 전면부 실이 길어지면 글라이더의 맨 앞부분의 운동을 무시하기 어려워지므로, 실은 글라이더 운동에 방해가 되지 않는 범위 내에서 짧게 연결해야 한다. 평형상태에서 받음각의 변화가 일어나면 돌림힘의 균형이 깨지는데, 날개에 반시계 방향의 회전 변화가 생기면 받음각이 작아지면서 공기가 미치는 힘에 의한 돌림힘이 약해지므로 시계방향으로 복원력을 받고, 시계 방향으로 회전 변화가 생기면 받음각이 커지면서 공기가 미치는 힘에 의한 돌림힘이 강해지므로 반시계 방향으로 복원력을 받는다. 이러한 원리로 풍동에 띄운 글라이더의 피치 안정성을 설명할 수 있다.



[그림 IV-61] 풍동장치에 띄운 글라이더의 피치 안정성 설명. 받음각이 커지면 피치 회전축에 대해 공기가 미는 힘에 의한 돌림힘이 커지고, 받음각이 작아지면 중력에 의한 돌림힘이 커진다. 따라서 받음각이 변하면 평형상태로 돌림힘이 작용하게 된다.

요 안정성도 공기가 미는 힘으로 설명할 수 있는데, 이는 일반적인 요 안정성 설명과 크게 다르지 않다(장인식 외, 2016). 수직꼬리날개는 평형상태에서는 풍동의 바람과 평행한 상태에 있는데, 요 운동에 변화가 생기면 변화가 생긴 부분이 바람과 수직으로 닿는 면적이 증가하므로 공기가 미는 힘을 받게 된다. 어떤 방향으로든 요 운동 변화가 발생하면 수직꼬리날개는 바람과 평행한 위치가 되도록 힘을 받게 될 것이므로 변화에 대해 평형상태로 돌아오는 안정성을 가질 수 있다. 물 운동의 경우에도 공기가 날개를 미는 힘으로 설명이 가능하다. 하지만 본 연구에서는 풍동장치의 특성에서 안정성이 발생하는 측면이 있다. 풍동장치의 풍속 특성을 분석하기 위해서 풍동의 시험부 단면을 16개의 구역으로 나누는 결과는 <표 IV-8> 와 같다.

<표 IV-8> 시험부 단면의 영역별 평균 풍속 분포.

영역(평균풍속 m/s)	영역(평균풍속 m/s)	영역(평균풍속 m/s)	영역(평균풍속 m/s)
$A_{11}(2.1)$	$A_{12}(4.6)$	$A_{13}(4.6)$	$A_{14}(2.1)$
$A_{21}(4.7)$	$A_{22}(3.7)$	$A_{23}(4.1)$	$A_{24}(4.6)$
$A_{31}(3.9)$	$A_{32}(4.2)$	$A_{33}(3.8)$	$A_{34}(4.6)$
$A_{41}(1.7)$	$A_{42}(4.2)$	$A_{43}(4.2)$	$A_{44}(2.4)$

<표 IV-8> 의 결과를 살펴보면 $A_{11} \sim A_{14}$ 가 위치한 1행의 영역은 좌우의 평균 풍속 분포가 대칭적인데 비해 다른 행의 값들은 대칭적이지 않다. 글라이더는 1행의 중앙에 글라이더가 위치해 있을 때 안정성을 가졌다. 제작한 글라이더는 상반각이 0도이거나 시위선을 구부리지 않아도 롤 안정성을 보이는데, 이는 글라이더 날개 끝부분이 평형상태일 때 위치하는 A_{11} , A_{14} 영역의 풍속이 A_{21} , A_{46} 영역의 값보다 많이 작기 때문인 것으로 판단된다. 평형상태에서 한쪽 날개가 아래로 기울어지면 기울어진 날개는 평형상태보다 아래부분의 바람을 맞게 되는데, 아래부분의 풍속이 강하기 때문에 날개를 더 강하게 밀어낸다. 올라간 날개는 상대적으로 바람을 덜 받거나 받지 않는다. 따라서 날개는 본래의 위치로 돌아오려는 복원력을 받는다. 본 연구에서 풍동장치에 띄운 글라이더가 롤 안정성을 갖게 할 수는 있지만 안정성을 갖게 되는 원인에 대해서는 추가적인 연구가 필요하다.

V. 결론 및 제언

역량 기반 교육과정의 흐름에 맞추어 글라이더의 안정성을 교육할 수 있는 6차시의 역량 중심 영재 교재를 개발하였다. 2015 개정 교육과정 물리학II에서 가르치는 안정성 개념과 연관짓기 위하여 교과서를 분석하였으며, 분석 결과에 따라 변화에 대해 원리의 위치로 돌아오는 현상을 글라이더로 구현한 실험을 고안하였다. 또한 과학과 핵심역량 중 과학적 사고력과 탐구능력을 신장시키기 위해 글라이더의 안정성을 실험적으로 보여줄 수 있는 탐구활동을 제시하였으며, 학생들의 과학적 의사소통능력과 과학적 참여 능력 신장을 위해서 토론과 탐구 중심으로 교재를 설계하였다. 교재의 전문은 <부록>에 탑재하였으며, 개발한 교재는 영재교육종합데이터 베이스에 2020년도에 탑재될 예정이다. 개발한 교재에 대한 적용 및 효과는 추후 후속 연구에서 다룰 예정이다.

해당 교재는 개발 과정에서 3차례의 심의 의견을 받았는데 6차시로 진행하기에는 학습해야 할 양이 많다는 지적이 있었다. 교재는 6차시로 제작이 되었지만, 교사의 판단과 수업 환경에 맞추어 적절히 분량을 선택하여 사용하기를 권장한다. 심의 의견에는 2015 개정 교육과정의 5가지 핵심 역량 중 과학적 탐구 능력 향상에는 효과가 있을 것이나 과학적 참여와 평생학습능력을 함양할 수 있는 활동은 빈약해 보인다는 평가가 있었다. 이 부분을 개선하고자 조사를 해 보았으나, 과학적 참여와 평생학습능력을 함양하기 위해 학습지를 어떻게 구성해야 하는지에 대한 본 연구자의 지식과 자료가 부족하여 이 부분을 잘 개선하지 못하였다. 2015 개정 교육과정의 과학과 핵심 역량과 성취기준의 관계를 분석한 논문에서도 물리학I, II의 경우는 과학적 사고력과 탐구능력에 비해 과학적 의사소통 능력, 과학적 참여와 평생 학습 능력과 같은 핵심 역량 매우 부족하게 나타나고 있다고 분석하였다(이상원 외,2018). 역량 중심 교육과정이 효과적으로 구현되기 위해서는 5가지 핵심 역량을 골고루 함양하기 위해서 각 핵심 역량을 어떻게 반영하는지에 대한 연구가 추가적으로 진행되어야 할 필요가 있다.

영재교육 뿐만 아니라 2015 개정 교육과정의 물리학II 단원의 안정성 개념을 수업할 때에도 풍동장치에 띄운 글라이더의 안정성을 예로 들 수 있다. 기존 교과서에 제시되는 오뎅이나 부력의 작용점 이동에 따른 배의 안정성의 예와 비교해

보았을 때, 평형상태의 글라이더에 변화를 주었을 때 원래의 위치로 돌아오는 현상을 보여주는 것은 안정성을 보여주는 예로 적합하다. 기존에 교과서에 제시되는 예 이외에 항공기의 안정성에 대한 예를 추가함으로써 안정성에 대한 학생들의 인식과 적용범위를 확대할 수 있을 것이다.

연무기를 이용하여 정류격자가 있는 경우와 없는 경우 바람의 진행 형태를 관찰해 보았을 때, 정류격자가 있는 경우가 없는 경우 보다 바람이 직선으로 진행하는 것을 관찰할 수 있었다. 바람의 회전 성분을 직진하게 변환시키기 위해서 풍동을 구성할 때 최소한 정류격자는 필요할 것으로 판단된다. 풍동의 풍속 특성을 분석해 보았을 때, 풍동 시험부의 최소 풍속은 1.7 m/s, 최대 풍속은 4.7 m/s였으며, 풍동의 균질도는 가장자리 영역을 제외했을 때 7.9 %, 포함했을 때 28 %로 측정되었다. 풍속은 기존에 개발된 풍동들과 비교했을 때는 풍속이 작은 편에 속했으며, 풍속의 균질도 역시 기존에 개발된 풍동과 비교하면 좋지 못한 특성을 보여주었다. 하지만 선행 연구에서 제작한 풍동에 비해 부피를 적게 차지하며 구성이 간단하여 간단한 풍동 실험이 필요한 경우 쉽게 시도해볼 수 있는 풍동 실험 장치였다. 본 연구에서는 정류격자를 3D 프린터로 출력하였으나 3D 프린터 사용이 어려운 경우에는 빨대를 이용하여 정류격자를 제작한 연구들을 참고할 수 있다(임창수 외, 2007; 박은주 외, 2017). 정밀하고 균질도가 높은 풍동을 사용할 것인지, 성능은 조금 부족하더라도 쉽게 접근할 수 있는 풍동을 사용할 것인지는 풍동을 필요로 하는 사람의 여건과 실험 상황에 맞춰서 선택할 수 있도록 환경을 구성하는 것은 정밀도가 높은 풍동을 제작하는 것 만큼 중요할 수 있다. 중고등학교 교육 현장에서 보다 경제적이고 효율적으로 필요한 풍동을 활용할 수 있게 되기를 기대한다.

글라이더의 안정성 교육자료를 개발하기 위해 폼보드로 글라이더를 제작하였다. 제작한 글라이더는 무게추의 역할을 하는 집게와 주날개의 앞뒤 위치를 쉽게 조절할 수 있도록 설계하였으며, 클립을 이용하여 평균공력시위선의 각도를 조절할 수 있다. 이 글라이더를 본 연구에서 활용한 풍동장치에 실로 띄울 때 특정한 위치에서 글라이더는 안정성을 갖게 되었다. 즉, 평형상태에서 피치, 롤, 요 운동에 변화를 주었을 때 원래의 평형상태로 돌아오려는 성질을 가졌다. 글라이더의 안정성을 확인해 보기 위해서 피치, 롤, 요 운동의 각도변화의 시간에 대한 데이터

값을 임계감쇠와 미급감쇠운동으로 근사해 보았는데, 오차범위 내에서 근사가 가능하였다. 이는 글라이더가 안정적인 평형상태에 있다는 것을 보여주는 것이다. 이 현상은 2009 개정 교육과정의 고등학교 물리I 교과서와, 2015 개정 교육과정 물리학II 교과서에서 안정성을 설명하기 위해 제시하는 오뎅이나 선박의 예와 연결이 되는 예이다. 따라서 글라이더의 안정성을 통제된 환경에서 구현하고 탐구하는데 적합한 활동일 뿐만 아니라 고등학교 교육과정에서도 충분히 예로 제시할 수 있는 현상이다. 항공기를 이용한 안정성의 예시가 교과서에는 제시되지 않고 있는데, 학생들의 안정성의 적용 범위를 확대하고 안정성의 이해를 높이는 데 도움이 될 것이라 기대한다.

감사의 글

본 연구는 제주특별자치도 교육청의 2019 역량 중심 영재 교재 개발 사업의 일환으로 진행되었으며, 교재개발비 및 소정의 실험재료비를 지원받았습니다. 또한 개발된 교재는 2020년도부터 일정 기간 동안 영재교육종합데이터베이스(GED)에 탑재될 예정입니다.

참 고 문 헌

- 강경중(2009). 생애능력 함양을 위한 실업교육 체제의 현황과 과제, 한국직업능력개발원.
- 강남화, 최호명, 최원석, 임성민, 강태욱, 김익수(2017). 고등학교 물리학II, 천재교육.
- 건양대학교 ACE 교육과정 개발평가팀(2012). 역량중심 교육과정 개발 매뉴얼, 건양대학교.
- 곽성일, 류상호, 김대규, 안종제, 이옥수, 김재혁, 남경식, 김익수(2011). 고등학교 물리 I, 천재교육.
- 교육부(2016). 2015 개정 교육과정 질의·응답자료, 교육부 홈페이지 <http://www.moe.go.kr>(검색일 2019.12.09.).
- 교육부(2018). 4차 영재교육진흥종합계획, 경상북도교육청 홈페이지 p 14. <http://www.gbe.kr>(검색일 2019.12.04.).
- 교육부(2015). 과학과 교육과정, 교육부 고시 제 2015-74호 [별책 9].
- 교육부(2015). 2015 개정 교육과정 총론 해설 고등학교, 교육부.
- 김경자, 곽상훈, 백남진, 송호현, 온정덕, 이승미, 한혜정, 허병훈, 홍은숙(2015). 2015 개정 교육과정 총론 시안 [최종안] 개발 연구, 교육부 국가교육과정개정 연구위원회.
- 김권택, 정승준, 박상덕, 김호경(2007). 교육실험용 미니풍동의 설계·제작 및 풍동 실험을 위한 계측 시스템 개발, 한국풍공학회 학술발표회 논문집. (10) 146-153.
- 김성원, 신승희, 오경애, 이승국, 이영미, 장정은(2017). 고등학교 물리학 II, 지학사.
- 김성진, 김대규, 문연호, 안형수, 권경필, 민보경, 박기영(2017). 고등학교 물리학II, 미래엔.
- 김세현(2018). 사물인터넷을 활용한 물리진자의 조화운동 연구, New Physics: Sae Mulli 68(1) 1151-1156.
- 김세현, 최규선, 김동균, 안형주, 임윤혁, 김민성, 오장원(2014). 깃털의 중형비 및 날개 받음각에 의존하는 비행성능 연구, New Physics: Sae Mulli 64(1) 102-109.

- 김영민, 김익균, 김재권, 김중복, 박병윤, 박종원, 정현주, 한인식(2017). 고등학교 물리학II, 교학사.
- 김영민, 김익균, 김성원, 박병윤, 정병훈, 박종원, 김재권, 권경필(2011). 고등학교 물리학 I, 교학사.
- 김채현, 임한슬, 문보영(2010). 비행기 날개의 형상은 비행과 어떤 관계가 있을까?, 제 59회 전국과학전람회 출품작, 작품번호 1110.
- 박은주, 김연수, 서현수(2017). 비행기 날개 표면의 온도변화에 따른 양력 및 항력 향상 방안 탐구, 제 63회 전국과학전람회 출품작, 작품번호 1123.
- 백남진(2014). 교과 특수 역량에 기반한 성취기준 개발의 방향 탐색: 호주, 캐나다, 싱가포르 사회과 교육과정을 중심으로, 교육과정연구 32(4) 163-194.
- 백남진, 온정덕(2014). 역량 기반 교과 교육과정에서 기준과 수행의 의미, 교육과정연구 32(4) 17-46.
- 산업표준심의회(2017). 송풍기의 시험 방법, 한국산업표준 KS B 6311. 21~22.
- 손민호(2011). 역량중심교육과정의 가능성과 한계: 역량 개념을 중심으로, 교육실천연구 10(1) 101-121.
- 손정우, 이봉우, 문홍주, 박승호, 이세연, 전병희(2017). 고등학교 물리학 II 교사용 지도서, 비상교육.
- 손정우, 이봉우, 문홍주, 박승호, 이세연, 전병희(2017). 고등학교 물리학 II, 비상교육.
- 양용준, 강동식(2017). Excel 해 찾기 기능을 이용한 최소제곱법 교수-학습자료 개발, 현장과학교육 11(2) 260-273.
- 이상원, 남일균, 임성민(2018). 2015 개정 교육과정의 과학과 핵심역량과 물리 교과 성취기준과의 관계성, New Physics: Sae Mulli 68(10) 1081-1095.
- 이세연, 이봉우(2018). 고등학교 물리 교사들이 교과서 탐구 지도에서 겪는 어려움, 한국과학교육학회지 38(4). 519-526.
- 이용복, 고수미, 김혜진, 이나연, 이혜주(2011). 항공 중등용, 교육과학기술부, 한국항공우주연구원.
- 이주연, 이근호, 이병천, 가은아(2017). 역량기반 학교 교육과정의 실천 사례 특징 분석: 교육과정 연구학료를 중심으로, 교육과정평가연구 20(1). 1-30.
- 이진호, 변영환, 장조원, 이재우, 허철준, 배기준, 배영우(2004). 교육용 초음속 풍

- 동 개발 및 성능 검증에 관한 연구, 한국항공우주학회지 32(8) 129-137.
- 임유나(2018). 핀란드 2014 개정 국가 교육과정의 특징 분석: 역량 구현 방식을 중심으로, 교육과정연구 35(1) 145-171.
- 임창수, 최준섭(2007). 학습용 풍동의 연기 유동가시화 장치 개발, 대한공업교육학회지, 32(2) 87-103.
- 임창수, 최준섭(2007). 학습용 풍동의 연기 유동가시화 장치 개발, 한공업교육학회지 32(2) 87-103.
- 장인식, 정윤식(2016). 조종사 표준교재 비행이론, 진문화/국토교통부 항공안전정책과. 4-2~4-13.
- 조옥찬, 유상신, 이동호(1988). 교육실험용 소형풍동 제작, 국항공우주학회지 16(2) 59-67.
- 조현희(2019). 2015 개정 교육과정에 근거한 학교 및 교실 수준의 역량 기반 교육과정 설계 유형 탐색, 교육과정평가연구 22(2) 1-30.
- 최민영, 이태욱(2019). 인공지능 교육의 현황과 학교 및 교사의 역할 변화 예측, 한국컴퓨터교육학회 학술발표대회 논문집 23(2) 85-88.
- 최성봉(2008). MBL 활용 수업이 중학교 학생들의 과학탐구능력과 그래프 작성 및 해석능력에 미치는 효과, 한국지구과학회지 29(6) 487-494.
- 최준섭, 이충완(2006). 수송기술 학습에 적합한 풍동의 시제품 개발, 한국기술교육학회지 6(2) 129-145.
- Doug McLean(2018). Aerodynamic Lift, Part 2: A Comprehensive Physical Explanation, The Physics Teacher 56, 521-524.
- Edward P. Wyremneck(2009). Video Analysis with a Web Camera, The physics Teacher 47 28-29.
- Grant R. Fowles, George L. Cassiday(2005). Analytical Mechanics, Cengage Learning.
- Marina Milner-Bolosin, Rachel Moll(2008). Physics Exam Problem Reconsidered: Using Logger Pro to Evaluate Student Understanding of Physics, The Physics Teacher 46 494-500.
- Rabindra D. Mehta(1979). The aerodynamic design of blower tunnels with

wide-angle diffusers, Progress in Aerospace Sciences, 18 59-120.

Vassilis Spathopoulos(2011). Flight Physics for Beginners: Simple Examples of Applying Newton's Laws, The Physics Teacher 49, 373-376.

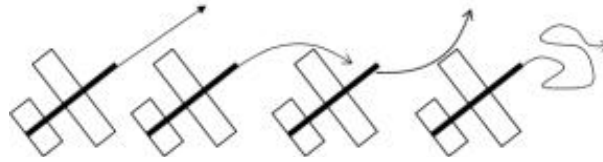
<부록> 직선으로 활공하는 글라이더 만들기(2020년도 GED 탑재)

1차시	기본형 글라이더 만들기	관련 역량 중요도
		 

목표	기본형 글라이더를 제작하고 글라이더가 직선으로 곧게 비행할 수 있도록 원리에 맞게 조치를 취할 수 있다.
정규과정과의 연계	작용 반작용, 압력, 평형과 안정성
준비물	글라이더 설계도, 우드락 2T, 가위, 칼, 30 cm 자, A4 용지, 집게, 클립, 양면테이프, 스카치 테이프.

생각하기(5분) 글라이더 비행을 위해 취할 수 있는 조치

○ 그림과 같이 글라이더가 곧게 날지 않을 때, 어떤 조치를 취할 수 있을까요?



글라이더의 여러 가지 비행 경로

[답변 예시]

- ☞ 글라이더의 주날개 위치를 조정한다.
- ☞ 글라이더 날개의 좌우 무게 중심을 맞춘다.
- ☞ 무게 추의 위치를 조정한다.
- ☞ 글라이더 날개가 휘지 않고 대칭을 이루게 조정한다.

가이드

이번 차시에서는 주날개의 위치와 무게 집계의 위치, 날개의 비틀림을 조정할 수 있는 기본형 글라이더를 제작할 것이다. 조정이 가능한 글라이더를 제작하고 날려보는 활동을 통해 글라이더의 활공을 조정하기 위해 조치할 수 있는 방법과 원리를 이해할 수 있도록 한다.

탐구하기(40분) 기본형 글라이더 만들기

● 기본형 글라이더 제작(30분)



- 준비물: 글라이더 설계도(부록), 수수깡, 우드락 (1T, 3T), 가위, 칼, 30 cm 자, A4 용지, 집게, 클립, 양면테이프, 스카치 테이프, 접착제
* 날개와 날개 거치대는 우드락으로 제작. 설계도면은 우드락에 테이프로 고정하여 사용

• 기본형 글라이더 만들기(주날개, 꼬리날개, 몸통, 무게추)

- ① 1T 우드락으로 주날개를 제작하고 좌우 시위선에 그림과 같이 클립을 부착한다. 그리고 'ac'라고 쓰여진 점의 위치에 구멍을 뚫는다.



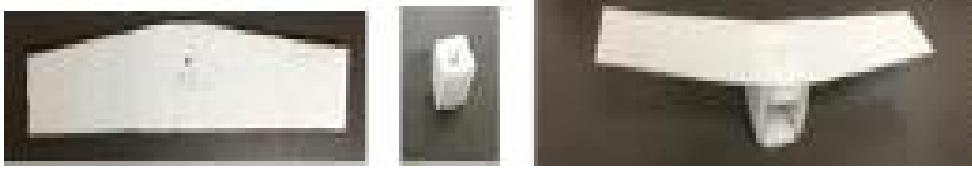
- ② 3T 우드락으로 주날개 거치대를 오려서 사각기둥 형태로 만들고 양면테이프나 접착제로 고정시킨다.



- ③ 주날개 거치대와 주날개를 양면테이프로 그림과 같이 결합한다.



- ④ 1T 우드락으로 수평 꼬리 날개를 만들고, 3T 우드락으로 수평꼬리날개 거치대를
 ②번 과정과 같이 제작한 후 수평 꼬리 날개와 수평 꼬리 날개 거치대를 양면테이프로
 결합한다.



- ⑤ 3T 우드락으로 수직 꼬리 날개 3개를 제작하고, 테이프로 결합시킨 후 양면테이프로
 수평 꼬리날개 윗부분에 양면테이프로 그림과 같이 결합한다.



- ⑥ 수수깡을 23 cm 길이로 자르고 A4 용지로 감싼다.(수수깡이 잘 부러지기 때문에
 A4로 포장)



- ⑦ 그림과 같이 몸통, 집게, 주날개, 꼬리날개를 결합하면 완성된다.(거치대와 몸통이
 헐거우면 클립을 사이에 넣어 고정시킴)



- 기본형 글라이더 날리고 조정해 보기(10분)
- 기본형 글라이더를 날려보고 어떻게 날아가는지 적어 봅시다.
 - * 친구들이 글라이더에 맞지 않게 주의!

[학생 활동 및 답변 예시]

- ☞ 머리가 급격히 위로 들린 후 추락한다.
- ☞ 머리가 아래로 급격히 꺾인 후 추락한다.
- ☞ 직선으로 곧게 잘 날아간다.
- ☞ 날개가 왼쪽이나 오른쪽으로 기울면서 기울어진 방향으로 글라이더가 휜다.
- ☞ 글라이더가 빙글빙글 돈다.

- 글라이더 머리에 결합한 집게와 주날개의 위치를 앞뒤로 조정할 때, 글라이더의 비행 경로가 어떻게 변화하는지 적어 봅시다.

[학생 활동 및 답변 예시]

- ☞ 집게를 뒤로 이동시키거나 주날개를 뒤로 이동시키면 비행시 글라이더 머리가 위쪽으로 올라간다.
- ☞ 집게를 앞으로 이동시키거나 주날개를 앞으로 이동시키면 비행시 글라이더 머리가 아래로 향한다.

- 글라이더 주날개의 비틀림을 날개에 결합된 클립으로 조정해 보고, 주날개 가운데 부분의 선을 접어 날개 끝부분이 위쪽으로 꺾이게 조정하면서 글라이더의 비행 경로가 어떻게 변화하는지 적어 봅시다.

[학생 활동 및 답변 예시]

- ☞ 날개의 비틀림에 따라 휘는 방향이 바뀐다.
- ☞ 비틀림을 잘 조정하면 날개가 휘지 않고 직선으로 날아갈 수 있다.
- ☞ 날개 가운데 부분의 선을 접어서 대칭을 맞추면 비행기가 한쪽으로 기울 때 다시 원래 자리로 돌아온다.

- 글라이더가 직선으로 곧게 비행하게 하려면 글라이더를 어떻게 조정해야 하는지 적어 봅시다.

[학생 활동 및 답변 예시]

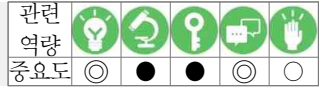
- ☞ 집게와 주날개의 위치를 적절히 조절하여 앞 뒤 무게중심을 적절히 맞춘다.
- ☞ 주날개가 비틀어지지 않게 잘 조정한다.
- ☞ 수직 꼬리날개를 견고하게 제작한다.

정리하기(5분)

- 글라이더가 잘 날지 않을 때 취할 수 있는 조치를 정리하여 봅시다.

학습 내용 글라이더 활공 조정

글라이더가 비행 중 머리가 위로 들릴 때는 주날개를 앞으로 이동시킨다. 머리가 아래로 꺾여 추락하는 경우는 주날개를 뒤로 이동시킨다. 글라이더가 비행 중 오른쪽이나 왼쪽으로 기울어져 비행 방향이 바뀌는 경우에는 테이프 등으로 양쪽 주날개의 무게를 맞추거나, 날개가 뒤틀리지 않도록 보정 해 주어야 한다. 비행 중 머리가 왼쪽이나 오른쪽으로 움직이는 경우에는 수직 꼬리날개가 곧바로 서게 한다.



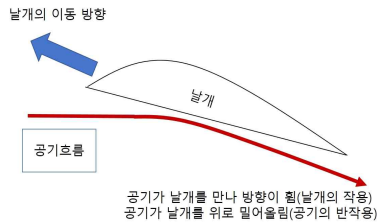
목표	간이 풍동과 실로 연처럼 글라이더를 띄운 후 글라이더의 안정성을 관찰하고, 그 원리를 설명할 수 있다.
정규과정과의 연계	작용 반작용, 압력, 평형과 안정성
준비물	에어 서클레이터, 정류격자, 실, 기본형 글라이더, 클립

생각하기(5분) 비행기가 뜨는 원리?

- <보기>의 두 주장은 비행기가 뜨는 원리를 설명하기 위해 제시되는 두 가지 원리를 나타낸 것이다. 어느 주장이 더 타당해 보이는지 토론해 봅시다.

<주장1> 작용 반작용에 의한 양력 설명

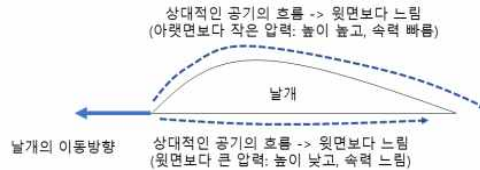
- 작용과 반작용: A가 B에게 힘을 가하면, 동시에 B도 A에게 크기는 같고 방향이 반대인 힘을 가하게 된다. (뉴턴의 제 3법칙)
- 날개가 위로 기울어진 상태로 공기를 진행하면, 날개가 공기를 밀게 되는데, 그 반작용으로 공기가 날개를 밀어낸다.



날개의 속력이 빠를수록 공기를 강하게 밀어내므로, 공기도 날개를 강하게 밀어내게 된다. 즉 날개의 속력이 빠를수록 양력이 커진다.

<주장2> 베르누이 법칙에 의한 양력 설명

- 베르누이 법칙: 공기의 압력은 높이가 높고 속력이 빠를수록 작아진다.
- 그림과 같은 유선형 단면을 갖는 날개가 공기를 통과할 때 위로 갈라지는 공기의 속력이 아래로 갈라지는 공기의 속력보다 빠르다.



날개 위 아랫면의 공기 속도 차이는 날개가 공기를 통과하는 속력이 빠를수록 커진다. 즉 날개의 속력이 빠를수록 날개 위 아래의 압력 차이가 커져서 양력이 커진다.

[학생 활동 및 답변 예시]

- ☞ 작용-반작용이다. 선풍기나 입김으로 종이를 불 때 날아가는 현상은 공기가 종이를 밀기 때문이다. 즉 공기가 미치는 힘이 비행기를 띄우는 것이다.
- ☞ 베르누이 법칙에 의한 것이다. A4용지의 짧은 모서리 양 끝을 두 손으로 잡고 종이의 윗면에 평행하게 입김을 불면 A4용지가 떠오른다. 이 원리로 양력을 설명할 수 있다.

가이드

이번 차시에서는 간이 풍동 실험장치와 실을 이용하여 전 차시에서 제작한 글라이더를 연처럼 띄울 것이다. 그리고 공중에 뜬 상태에서 주날개의 한 끝이나 글라이더의 꼬리를 위 아래로 눌렀다가 떼어서 원래의 평형상태로 돌아오는 안정성을 갖는지 확인해볼 것이다. 간이 풍동 실험장치는 에어 서클레이터와 정류격자를 이용하여 간단한 오픈형으로 제작하며 이 때 주의사항은 비행기의 주날개 전체 길이가 에어 서클레이터의 날개가 회전하면서 만드는 원의 지름보다 작아야 한다. 또한 간이 풍동은 매우 짧은 거리에서만 층류가 생성되므로 정류격자와 에어 서클레이터 사이의 간격을 최대한 줄이고, 기본형 글라이더는 정류격자와 가까운 거리에서 띄운다. 또한 실을 너무 길게 잡지 않도록 한다.

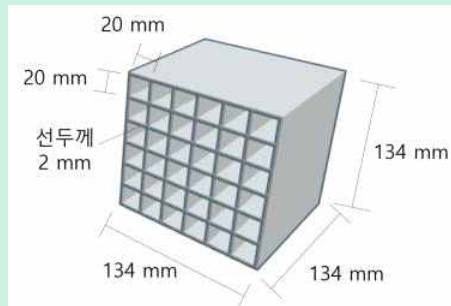
탐구 및 토론하기(40) 간이 풍동 실험장치로 기본형 글라이더 띄우기

○ 글라이더 안정성 관찰 탐구

- 준비물: 에어서클레이터, 정류격자, 실, 클립, 기본형 글라이더

수업 TIP

- 예비 실험에서 사용한 에어서클레이터는 보네이도 633 제품이다. 바람이 세면 좋다.
- 정류격자는 3D 프린터로 제작하였는데, 빨대를 여러개 겹쳐서 테이프로 붙여 사용해도 된다. 정류격자의 역할은 회전하며 진행되는 에어서클레이터의 바람을 직선으로 나오는 바람으로 전환하는 것이다.
* 3D프린터로 제작시 정류격자 제원(1/4 부분이므로 4개를 제작하여 결합하며, 접합면의 두께만 1 mm로 설정한다.)



- 실을 길게 잡으면 글라이더가 위아래로 진동하므로 길지 않게 잡는다.
- 기본형 글라이더 띄우기
 - ① 사진과 같이 간이 풍동장치를 작동하고 실을 이용하여 글라이더를 띄우고 글라이더가 공중에 떠서 평형을 유지하는 상태에 있게 한다.
 - ② 평형상태에서 주날개의 양 끝이나 꼬리날개를 위아래로 눌렀다가 떼고 글라이더가 어떻게 되는지 관찰한다. 수직꼬리날개는 좌우로 눌렀다가 떼면서 글라이더가 어떻게 되는지 관찰한다.
 - ③ 정류격자 없이 글라이더를 띄워본다.

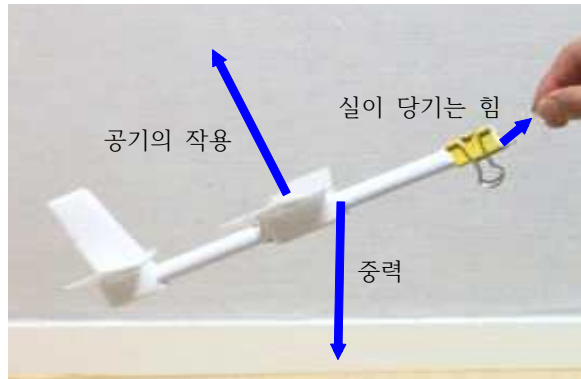


간이 풍동장치로 글라이더 띄우기

○ 기본형 글라이더 안정성 탐구

- 글라이더가 공중에 떠 있을 때 작용하는 힘들을 그림으로 표현해 봅시다.

[학생 활동 및 답변 예시]



- 기본형 글라이더는 날개의 단면이 유선형이 아니고 평평하게 되어 있다. 간이 풍동장치로 글라이더를 띄울 때, 글라이더가 뜨는 원리는 생각하기의 주장1 때문이라고 생각하는지 주장2 때문이라고 생각하는지 토론하고 적어 봅시다.

[학생 활동 및 답변 예시]

☞ 주장1이라고 생각. 날개가 유선형이 아니면 날개의 윗부분을 통과하는 공기의 속력이 아랫부분을 통과하는 공기의 속력 보다 빠르지 않다. 공기가 미치는 힘에 의해 뜬다고 생각한다.

- 글라이더 주 날개를 아래나 위로 눌렀다 뺐을 때 다시 원래대로 돌아오는 이유를 토론하고 적어 봅시다.

[학생 활동 및 답변 예시]

☞ 날개가 기울면 날개 좌우의 면이 공기와 만나는 면적이 달라진다.

☞ 날개 좌우 면을 공기가 밀어내는 힘이 달라진다.

☞ 공기의 흐름에 반대로 기울어진 날개 부분에 힘이 더 작용하여 결국 복원력이 작용한다.

- 글라이더의 꼬리날개를 위아래로 눌렀다 떼었을 때 평형상태로 돌아오는 이유를 토론하고 적어 봅시다.

[학생 활동 및 답변 예시]

- ☞ 비행기의 꼬리가 아래로 내려가면 주날개와 꼬리날개가 공기와 닿는 면적이 증가하여 꼬리를 다시 올린다.
- ☞ 비행기의 꼬리가 위로 올라가면 공기와 날개가 닿는 면적이 감소하여 양력을 잃어버리면 중력에 의해 다시 아래로 내려온다.
- ☞ 공기가 날개를 밀어내는 힘과 중력에 의해 복원력이 작용한다.

- 글라이더를 실제로 날릴 때 풍동장치의 바람과 실의 역할을 하는 요소가 무엇인지 토론하고 적어 봅시다.

[학생 활동 및 답변 예시]

- ☞ 바람은 글라이더의 비행에 의한 상대적인 공기의 속도
- ☞ 실의 역할은 글라이더가 비행하는 과정에서의 관성
- ☞ 동력 글라이더라면 동력에 의한 추력

- 정류격자 없이 글라이더를 실로 띄워 보고 어떻게 되는지 관찰하고, 정류격자의 역할을 생각해 봅시다.

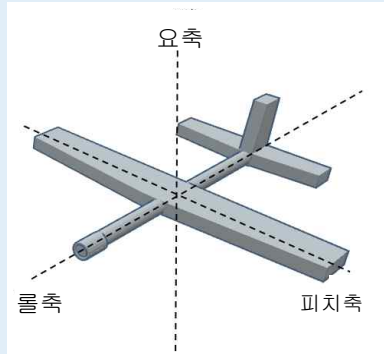
[학생 활동 및 답변 예시]

- ☞ 정류격자가 없으면 비행기가 빙글빙글 돌아간다.
- ☞ 정류격자는 회전하는 바람을 일정한 직선 바람으로 변환해 주는 역할을 한다.

○ 글라이더의 회전 운동과 안정성의 원리를 요약해서 적어 봅시다.

학습 내용 글라이더의 회전 운동과 안정성

글라이더는 가상의 수직 방향 3개 축에 대한 회전 운동에 대해 안정성을 가져야 한다. 글라이더의 머리와 꼬리를 연결한 축을 롤축이라고 하며, 이 축에 대해서 주날개가 회전하는 운동을 롤 운동이라고 한다. 날개의 양 끝을 연결하는 선을 피치축이라고 하며, 이 축에 대해서 글라이더의 머리와 꼬리가 회전하는 운동을 피치 운동이라고 한다. 롤축과 피치축이 만나는 점을 지나고 롤축과 피치축이 위치한 평면에 수직인 선을 요축이라고 하며, 요축에 대해 글라이더가 평면상에서 회전하는 운동을 요 운동이라고 한다. 글라이더가 이 3개의 회전운동에 대해 안정성을 가지면 직선으로 곧게 날아갈 수 있으나 그렇지 못하면 특정 방향으로 휘거나 실속으로 속력을 잃어버린다.



○ 글라이더의 비행 원리를 요약해서 정리해 봅시다.

학습 내용 양력의 원리와 글라이더의 안정성

글라이더나 비행기는 날개에 작용하는 양력에 의해서 중력을 극복하고 비행이 가능하다. 글라이더는 자체적인 동력이 없으므로 중력 퍼텐셜에너지를 운동에너지로 전환시켜 자체 추력을 얻는데, 이 때 글라이더가 공기 속을 이동하면서 글라이더 날개와 공기 사이에 충돌이 일어난다. 간이 풍동 실험장치에서는 글라이더가 공중에 정지해 있지만 운동 중 발생하는 공기와 날개의 충돌을 에어 서클레이터의 바람이 만들어 주며, 정류격자는 소용돌이 형태의 바람을 직선 형태의 층류로 바꾸어주는 역할을 한다. 날개가 공기를 밀면 그에 대한 반작용으로 공기가 날개를 밀어 올리는데, 이 때 공기가 날개를 미는 힘의 크기는 공기의 흐름과 날개 사이의 각도와 매우 밀접한 관계가 있다. 간이 풍동 실험장치로 글라이더를 띄우면 글라이더가 특정한 각도를 이루면서 평형을 이루는 것을 볼 수 있는데, 이 때 주날개의 양 끝이나 꼬리날개를 위 아래로 누르면 기울어진 부분이 공기와 부딪히는 면적이 반대 부분 보다 넓어져서 힘을 많이 받게 된다. 따라서 평형 위치에서 변화가 생겼을 때, 원래 위치로 돌아오려는 복원력을 받게 된다.

보충자료 양력의 원리에 관한 논란과, 비행기의 방향전환 방법

● 양력의 원리에 관한 논란: 생각하기에 제시된 작용-반작용 법칙과 베르누이 법칙에 의한 양력 개념은 날개를 띄우는 측면에서는 둘 다 적절한 설명이다. 비행기 날개 주위의 공기의 흐름은 실제로는 매우 복잡하므로 어느 특정한 원리에 의해서만 양력이 발생한다고 볼 수 없으며, 특정한 조건이나 상황에 따라 두 개념이 모두 적용되는 것으로 보아야 옳다. 다만 이번 차시에 제작한 기본형 글라이더는 날개가 유선형이 아닌 평면형으로 베르누이 법칙을 적용하기에는 어려움이 있으나, 날개의 위 아래로 압력차가 없다고 생각해서도 안 된다.

• 비행기의 방향전환

- 주날개의 에일러론

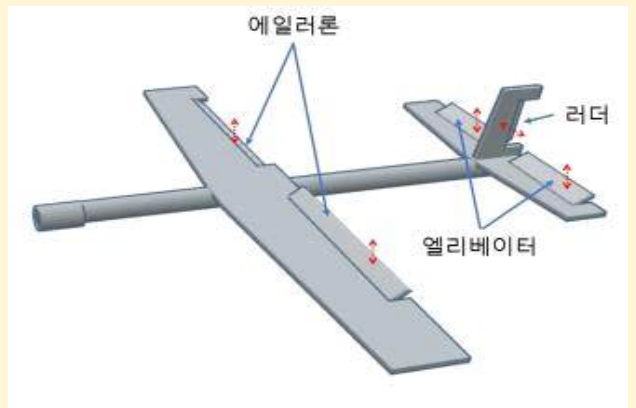
에일러론이 올라간 날개는 아래로 힘을 받고 내려간 날개는 위로 힘을 받아 비행기 주 날개가 에일러론이 아래로 내려간 방향이 위로 가게끔 롤 운동을 하며, 내려간 날개 방향으로 비행기가 방향을 전환한다.

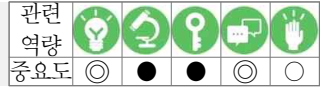
- 수직 꼬리날개의 러더

러더가 왼쪽으로 꺾이면 공기가 수직꼬리 날개를 오른쪽으로 밀고, 러더가 오른쪽으로 꺾이면 공기가 수직꼬리날개를 왼쪽으로 밀어서 비행기의 요 운동을 조정하여 좌우로 방향을 전환한다.

- 수평 꼬리날개의 엘리베이터

엘리베이터가 올라가면 꼬리날개가 아래로 힘을 받고 내려가면 위로 힘을 받는다. 피치 운동을 조정하여 상하 운동을 조정한다.

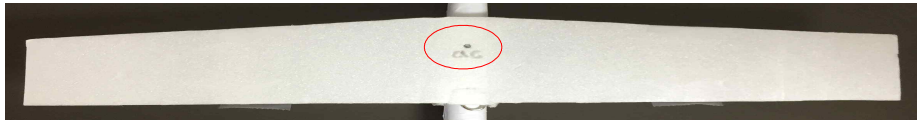




목표	<ul style="list-style-type: none"> • 공력 중심의 개념을 설명할 수 있다. • 글라이더 날개를 설계하고 공력 중심을 구할 수 있다.
정규과정과의 연계	작용 반작용, 압력, 평형과 안정성
준비물	날개 그림, 자, 펜

생각하기(5분) 기본형 글라이더 주날개의 'ac'는 무엇을 의미할까?

- 그림은 기본형 글라이더 주날개 중심에 뚫려 있는 점 'ac'를 나타낸 것입니다. 이 점이 의미하는 것은 무엇일까요?



[학생 활동 및 답변 예시]

☞ 날개의 무게 중심

☞ 날개에 공기가 작용하는 힘의 중심

- 글라이더를 날릴 때, 머리가 위로 급격히 들릴 때는 주날개를 앞으로 이동시키고, 머리가 아래로 급격히 내려갈 때는 주날개를 뒤로 이동시키는 이유는 무엇일까요?

[학생 활동 및 답변 예시]

☞ 중력과 공기가 위로 들어 올리는 힘의 균형을 맞추기 위해서

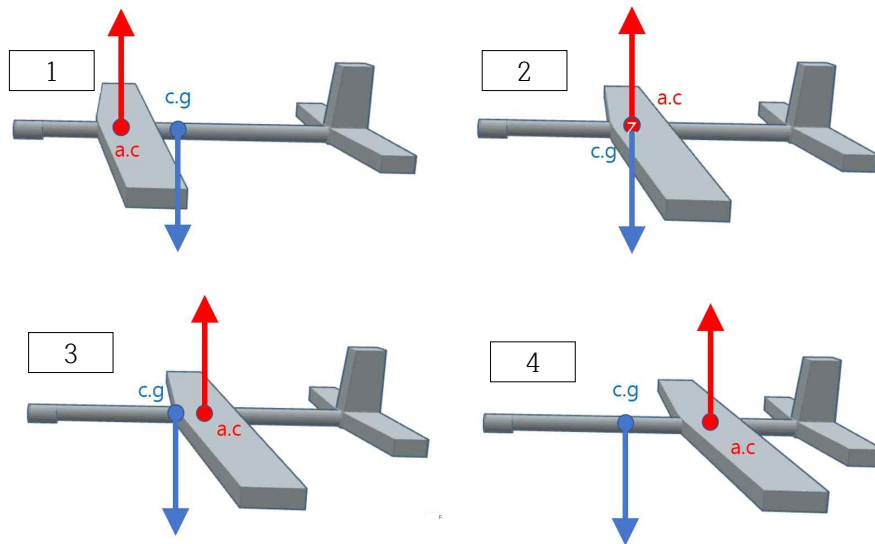
☞ 날개의 위치에 따라 공기가 작용하는 지점이 달라지기 때문

가이드

이번 차시에서는 날개를 설계할 때 공력 중심의 위치를 고려해서 설계할 수 있도록 하는 것이 목표이다. 또한 공력중심의 위치가 날개에 표시되어 있을 때 무게 중심과 공력 중심의 위치를 조정할 수 있도록 하는 것도 중요하다. 공력중심의 개념과 공력 중심을 구하는 방법을 먼저 설명하고 이후 학생들이 날개를 보고 공력 중심을 구해볼 수 있도록 한다.

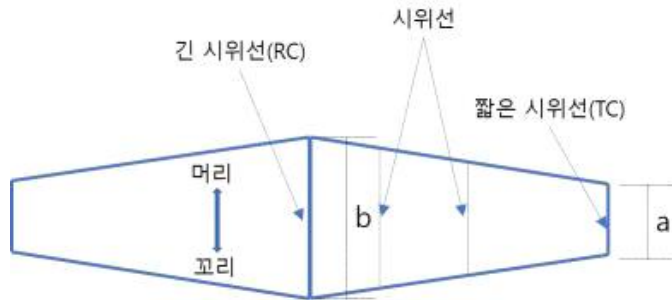
○ 글라이더 날개의 공력중심

어떤 물체의 중력이 무게중심이라는 한 점에 작용한다고 생각할 수 있는 것과 같이 글라이더와 같은 비행 물체의 날개에 작용하는 공기의 힘이 한 점에 작용하는 것과 같다고 생각할 수 있는 한 점이 존재하는데 이를 압력중심(CP)이라고 한다. 하지만 압력 중심은 날개의 받음각이 변하면 위치를 다시 정해야 하는 불편함이 있기 때문에, 받음각이 변하더라도 피치 운동에 작용하는 회전력이 변하지 않는 지점이 필요하다. 실험에 의해 이러한 점이 존재한다는 것이 밝혀졌으며 이 점을 공력중심(AC)이라고 한다. 글라이더를 설계할 때에는 이 공력중심(AC)과 무게중심(CG)의 위치를 적절하게 배분해야 피치 운동에 대한 안정성을 얻을 수 있다. 앞 차시의 기본형 글라이더의 집계와 주날개의 위치를 조정하는 것은 공력중심(AC)과 무게중심(CG)의 위치를 조정하는 활동이라고 볼 수 있다. 따라서 날개를 설계할 때는 공력중심(AC)의 위치를 함께 적어주는 것이 좋다. 아래 그림에서 1번과 같은 경우는 압력 중심이 무게중심보다 앞에 있어서 비행 시 머리가 들리는 경우이다. 2번은 공력중심과 무게중심이 일치하는 경우로 비행 중에는 머리가 약간 들리게 된다. 3번은 무게중심보다 공력 중심이 약간 뒤에 있는 경우로 비행중 머리와 꼬리가 가장 안정적으로 비행이 가능하다. 4번은 무게중심보다 공력 중심이 많이 뒤에 있는 상태로 비행시 머리가 아래로 급격히 내려간다.

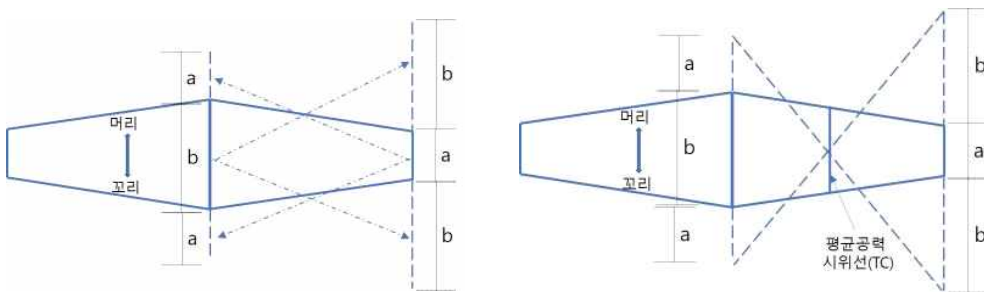


○ 간단한 대칭 주날개의 공력 중심 구하기

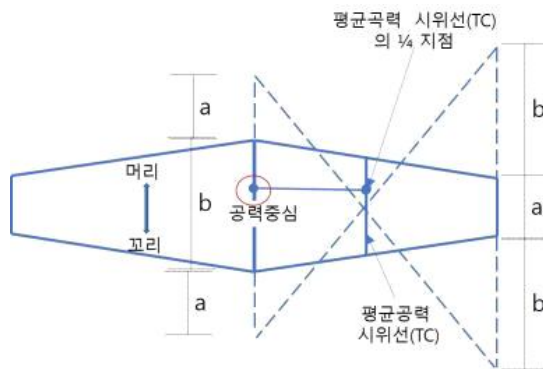
- 주날개의 시위선: 날개의 앞에서부터 뒷부분까지 이은 선을 시위선이라고 하며, 몸체와 가까운 부분의 가장 긴 시위선을 긴 시위선, 날개 끝의 가장 짧은 선을 짧은 시위선이라고 한다.



- 평균공력시위선: 그림과 같이 짧은 시위선 앞뒤로 긴 시위선 길이 만큼 연장선을 긋고, 긴 시위선 앞뒤로 짧은 시위선 길이 만큼 연장선을 그은 후 양 끝점을 이은 대각선의 교점을 지나는 시위선을 평균공력시위선이라고 한다.

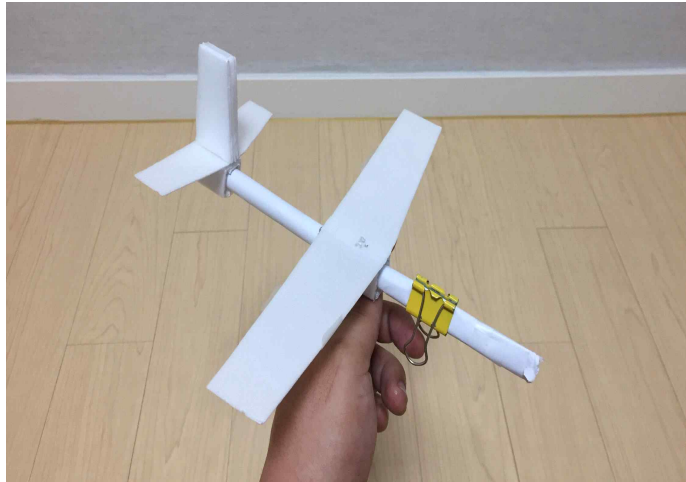


- 공력중심(ac): 평균공력시위선의 머리 부분에서 약 $\frac{1}{4}$ 지점의 점에서 날개의 중심축에 내린 수선과 중심축이 만나는 지점이 주날개의 공력중심이다.



○ 글라이더에서 무게 중심과 공력중심의 위치관계를 확인하는 방법

무게 중심의 위치는 그림과 같이 글라이더 아래 부분에 손가락을 올려 놓아 쉽게 구할 수 있다. 날개의 윗부분에 공력 중심의 위치가 표시되어 있으므로 무게 중심과 공력 중심의 위치를 조정할 수 있다.



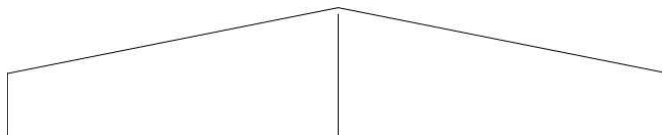
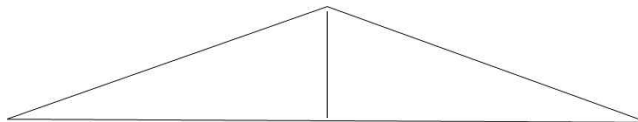
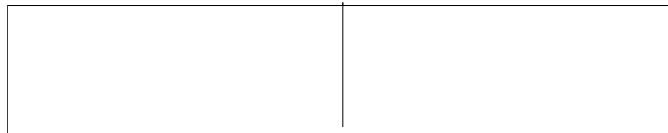
공력중심과 무게중심 맞추기

적용하기(20)

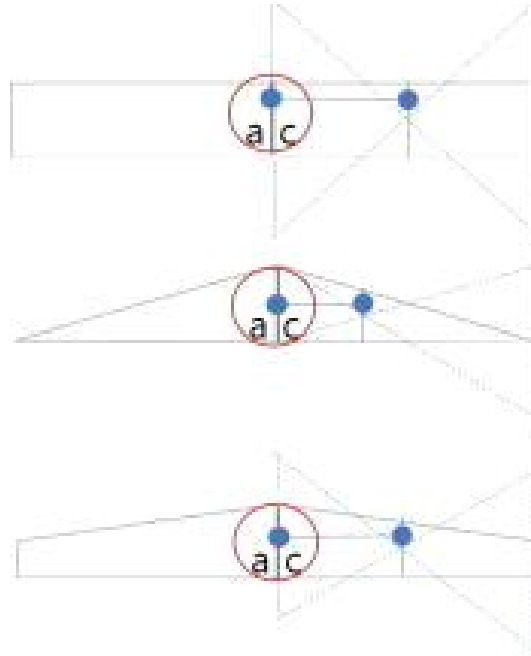
여러 날개의 공력 중심을 구해 봅시다.

○ 날개의 공력 중심 구하기

- 준비물: 날개 그림, 자, 펜
- 아래 3개의 날개에서 공력 중심의 위치를 표시해 봅시다.



[학생 활동 및 답변 예시]



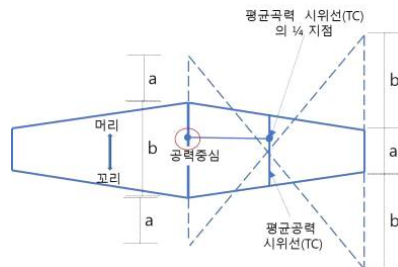
정리하기(10분)

- 글라이더의 공력 중심과 무게 중심을 어떻게 설정할지 설명해 봅시다.

학습 내용 글라이더의 공력 중심과 무게 중심

글라이더의 피치 운동 안정성을 위해 공력 중심과 무게 중심을 적절히 조정해야 한다. 기본형 글라이더에는 공력 중심의 위치가 표시되어 있으며, 집계와 주날개의 위치를 변경하며 공력 중심과 무게 중심의 위치를 조정하여 피치 운동에 대한 안정성을 확보할 수 있다. 일반적으로 공력 중심이 무게중심보다 살짝 뒤에 있는 것이 안정적이다.

- 간단한 직선 대칭 날개에서 공력중심을 구하는 과정을 간단히 정리해 봅시다.





목표	직선으로 날아가는 글라이더를 설계하고 제작할 수 있다.
정규과정과의 연계	작용 반작용, 압력, 평형과 안정성
준비물	우드락(2T), 연필, 자, 가위, 커터칼, 양면테이프, 스카치 테이프, A4 용지, 수수깡, 클립, 집게, 글루건, 우드락접착제

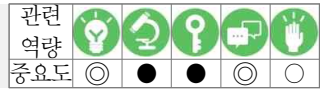
탐구하기(100분) 직선으로 날아가는 창의적인 글라이더 설계 및 제작하기

- 직선으로 날아가는 창의적인 글라이더 설계 및 제작하기
- 준비물: 우드락(2T), 연필, 자, 가위, 커터칼, 양면테이프, 스카치테이프, A4용지, 수수깡, 클립, 집게
- 앞 차시에서 배운 여러 원리를 바탕으로 직선으로 날아가는 글라이더를 직접 설계 및 제작해 봅시다.
- 제작 목적: 6차시에 제작된 글라이더로 평가 예정
 - 특정 거리에서 홀라후프 안에 글라이더가 들어가도록 설계 및 제작
- 제한사항
 - 무동력 글라이더로 제작(동력장치 부착 금지)
 - 공력중심의 위치를 주날개 위에 표시해야 한다.
 - 몸통의 길이와 주날개의 양 끝 사이의 길이는 25~35 cm
 - 과학실 내의 다른 재료는 사용가능하나 재료의 추가 주문 및 구매는 안된다.
 - 기본형 글라이더와 동일한 구조와 형태인 경우 감점
 - 날개의 모양이나 특성에 대해 인터넷이나 다른 자료를 참고하는 것은 가능

가이드

이번 차시에서는 학생들이 직접 글라이더를 설계 및 제작해 볼 수 있도록 한다. 학생들이 토론하고 조사할 수 있는 충분한 조건을 제시한다.

6차시 글라이더 날리기



목표	글라이더를 직선으로 날릴 수 있다.
정규과정과의 연계	작용 반작용, 압력, 평형과 안정성
준비물	홀라후프, 바람이 불지 않는 공간, 제작된 글라이더, 줄자, 홀라후프를 고정할 장치

탐구하기(50분) 글라이더 날리기

○ 글라이더를 날려 봅시다.

- 준비물: 홀라후프, 창의적으로 제작한 조별 라이더

- 앞 차시에서 제작한 글라이더를 날려 봅시다.

• 평가방법

- 바람이 불지 않도록 복도의 창문을 닫고 날리기 시작하는 지점으로부터 10 m 떨어진 지점에 홀라후프로 통과 목표 범위를 지정한다.
- 한 팀당 5회의 기회를 부여하여 글라이더가 홀라후프를 통과한 횟수에 따라 점수 부여함
- 기본점수는 50점이며 1회 통과할 때마다 10점씩 부여한다.
- 글라이더를 던진 이후 무게중심과 공력중심 및 날개를 조정할 수 있다.(조정시간 30초)

가이드

이번 차시에서는 학생들이 직접 글라이더를 날려보면서 제작한 글라이더의 성능을 평가해 보고, 글라이더가 직선으로 날아갈 수 있도록 적절히 조정할 수 있는 연습을 할 수 있도록 한다.

5. 평가 기준표


가. 교사 평가

1) 평가 기준표


차시	주제	성취기준	성취수준	
1	기본형 글라이더 만들기	기본형 글라이더를 제작하고 글라이더가 직선으로 곧게 비행할 수 있도록 원리에 맞게 조치를 취할 수 있다.	상	기본형 글라이더를 제 시간에 완성하고, 활공 문제에 따라 적절한 조치를 취할 수 있다.
			중	기본형 글라이더를 시간이 걸리더라도 완성하고, 활공 문제에 따라 어느 정도 조치를 취할 수 있다.
			하	글라이더를 완성하지는 못하였지만 최선을 다한다.
2	기본형 글라이더의 비행 원리와 안정성 탐구	간이 풍동과 실로 연처럼 글라이더를 띄운 후 글라이더의 안정성을 관찰하고, 그 원리를 설명할 수 있다.	상	글라이더를 간이 풍동장치로 연처럼 부양시켜 평형상태를 유지하게 하고, 3가지 축에 대한 안정성과 비행 원리를 확인하고 적절히 설명할 수 있다.
			중	글라이더를 간이 풍동장치로 연처럼 부양시켜 평형상태를 유지하게 하고, 3가지 축에 대한 안정성과 비행 원리를 확인하고 어느 정도 설명할 수 있다.
			하	글라이더를 간이 풍동장치로 부양시키지 못하거나, 3가지 축에 대한 안정성과 비행 원리에 대해 말할 수 있다.
3	글라이더 주날개의 공력중심	공력 중심의 개념을 설명할 수 있다. 글라이더 주날개에 공력중심을 표시할 수 있다.	상	공력 중심의 개념을 적절히 설명하고, 기본적 대칭 주날개에 공력중심의 위치를 적절하게 표시할 수 있다.
			중	공력 중심의 개념을 어느 정도 설명할 수 있으며, 기본적 대칭 주날개에 공력중심의 위치를 대략적으로 표시할 수 있다.
			하	공력 중심에 대해 말할 수 있으며, 기본적 대칭 주날개에 공력중심의 위치를 표시할 수 있다.
4-5	직선으로 활공하는 글라이더 만들기	직선으로 날아가는 글라이더를 설계하고 제작할 수 있다.	상	직선으로 활공할 수 있는 글라이더를 완성할 수 있다.
			중	글라이더를 완성할 수 있다.
			하	글라이더를 완성하지는 못하였으나 최선을 다해 임한다.
6	글라이더 날리기	글라이더를 직선으로 날릴 수 있다.	상	제작한 글라이더를 날려 4~5회 목표 범위를 통과하게 할 수 있다.
			중	제작한 글라이더를 날려 2~3회 목표 범위를 통과하게 할 수 있다.
			하	제작한 글라이더를 날려 1회 이하로 목표 범위를 통과하게 할 수 있다.

2) 태도평가

● 모둠 협동성 수준

모둠	평가기준				
	참여 수준이 낮음		참여 수준이 높음		
					
	기본형 글라이더 제작, 창의적 글라이더 제작 등 시간 안에 산출물을 만들기 위한 역할 분담을 잘 하였으며, 개인의 역할 수행을 통해 팀의 성공에 기여한다.				
()모둠					
()모둠					
()모둠					
()모둠					
특기사항					

● 개인별 참여 수준

이름	평가기준				
	참여 수준이 낮음		참여 수준이 높음		
					
	과제 수행을 위한 몰입하여 역할을 수행하였으며, 과제 완성을 위해 성실히 노력한다.				
특기사항					

나. 학생평가

1) 모듈 평가

()모듈 이름 ()

모듈평가				
잘함: ◎, 보통: ○, 노력요함: △				
구분	기본형 글라이더 완성도	창의적 글라이더 완성도	창의적 글라이더 직선활공	잘된 점 / 아쉬운 점
()모듈				
()모듈				
()모듈				
()모듈				

2) 자기 평가

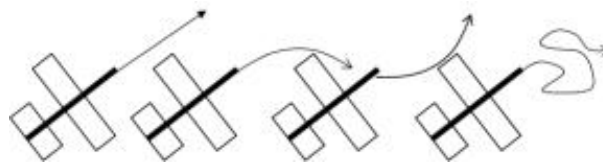
자기성찰평가		
잘함: ◎, 보통: ○, 노력요함: △		
평가기준		평가결과
지식	글라이더 활공을 조정하는 방법 설명할 수 있다.	
	글라이더 비행 원리 설명할 수 있다.	
태도	조별 활동에 성실히 참여하였다.	
탐구	직선으로 활공하는 글라이더를 제작하고 날릴 수 있다.	
<활동을 마무리 하면서 느낀 점>		

6. 활동지

1/6 차시	활동지	_____ 교육지원청 영재교육원/영재학급
기본형 글라이더 만들기	1	_____ 학교 이름 _____

생각하기 글라이더 비행을 위해 취할 수 있는 조치

- 그림과 같이 글라이더가 곧게 날지 않을 때, 어떤 조치를 취할 수 있을까요?



글라이더의 여러 가지 비행 경로

탐구하기(40분) 기본형 글라이더 만들기

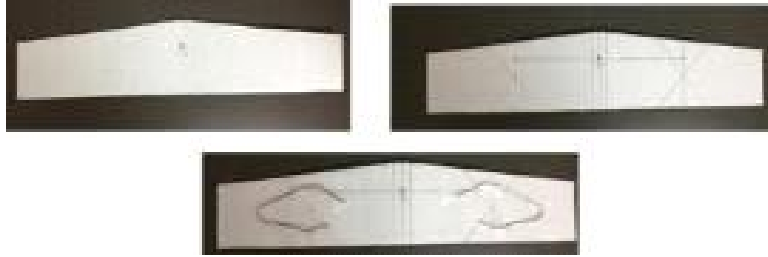
- 기본형 글라이더 제작(30분)



- 준비물: 글라이더 설계도(부록), 수수깡, 우드락 (1T, 3T), 가위, 칼, 30 cm 자, A4 용지, 집게, 클립, 양면테이프, 스카치 테이프, 접착제
 - * 날개와 날개 거치대는 우드락으로 제작. 설계도면은 우드락에 테이프로 고정하여 사용

- 기본형 글라이더 만들기(주날개, 꼬리날개, 몸통, 무게추)

- ① 1T 우드락으로 주날개를 제작하고 좌우 시위선에 그림과 같이 클립을 부착한다. 그리고 'ac'라고 쓰여진 점의 위치에 구멍을 뚫는다.



- ② 3T 우드락으로 주날개 거치대를 오려서 사각기둥 형태로 만들고 양면테이프나 접착제로 고정시킨다.



- ③ 주날개 거치대와 주날개를 양면테이프로 그림과 같이 결합한다.



- ④ 1T 우드락으로 수평 꼬리 날개를 만들고, 3T 우드락으로 수평꼬리날개 거치대를 ②번 과정과 같이 제작한 후 수평 꼬리 날개와 수평 꼬리 날개 거치대를 양면테이프로 결합한다.



- ⑤ 3T 우드락으로 수직 꼬리 날개 3개를 제작하고, 테이프로 결합시킨 후 양면테이프로 수평 꼬리날개 윗부분에 양면테이프로 그림과 같이 결합한다.



- ⑥ 수수깁을 23 cm 길이로 자르고 A4 용지로 감싼다.(수수깁이 잘 부러지기 때문에 A4로 포장)



- ⑦ 그림과 같이 몸통, 집게, 주날개, 꼬리날개를 결합하면 완성된다.(거치대와 몸통이 헐거우면 클립을 사이에 넣어 고정시킴)



- 기본형 글라이더 날리고 조정해 보기(10분)
- 기본형 글라이더를 날려보고 어떻게 날아가는지 적어 봅시다.
 - * 친구들이 글라이더에 맞지 않게 주의!

- 글라이더 머리에 결합한 집게와 주날개의 위치를 앞뒤로 조정할 때, 글라이더의 비행경로가 어떻게 변화하는지 적어 봅시다.

- 글라이더 주날개의 비틀림을 날개에 결합된 클립으로 조정해 보고, 주날개 가운데 부분의 선을 접어 날개 끝부분이 위쪽으로 꺾이게 조정하면서 글라이더의 비행 경로가 어떻게 변화하는지 적어 봅시다.

- 글라이더가 직선으로 곧게 비행하게 하려면 글라이더를 어떻게 조정해야 하는지 적어 봅시다.

정리하기(5분)

- 글라이더가 잘 날지 않을 때 취할 수 있는 조치를 정리하여 봅시다.

2/6 차시	활동지 2	_____ 교육지원청 영재교육원/영재학급
기본형 글라이더의 비행 원리와 안정성 탐구		_____ 학교 이름 _____

생각하기 비행기가 뜨는 원리?

○ <보기>의 두 주장은 비행기가 뜨는 원리를 설명하기 위해 제시되는 두 가지 원리를 나타낸 것이다. 어느 주장이 더 타당해 보이는지 토론해 봅시다.

<주장1> 작용 반작용에 의한 양력 설명

- 작용과 반작용: A가 B에게 힘을 가하면, 동시에 B도 A에게 크기는 같고 방향이 반대인 힘을 가하게 된다. (뉴턴의 제 3법칙)
- 날개가 위로 기울어진 상태로 공기를 진행하면, 날개가 공기를 밀게 되는데, 그 반작용으로 공기가 날개를 밀어낸다.

날개의 속력이 빠를수록 공기를 강하게 밀어내므로, 공기도 날개를 강하게 밀어내게 된다. 즉 날개의 속력이 빠를수록 양력이 커진다.

<주장2> 베르누이 법칙에 의한 양력 설명

- 베르누이 법칙: 공기의 압력은 높이가 높고 속력이 빠를수록 작아진다.
- 그림과 같은 유선형 단면을 갖는 날개가 공기를 통과할 때 위로 갈라지는 공기의 속력이 아래로 갈라지는 공기의 속력보다 빠르다.

날개 위 아랫면의 공기 속도 차이는 날개가 공기를 통과하는 속력이 빠를수록 커진다. 즉 날개의 속력이 빠를수록 날개 위 아래의 압력 차이가 커져서 양력이 커진다.

● 글라이더 안정성 관찰 탐구

- 준비물: 에어서큘레이터, 정류격자, 실, 클립, 기본형 글라이더
- 기본형 글라이더 띄우기

- ① 사진과 같이 간이 풍동장치를 작동하고 실을 이용하여 글라이더를 띄우고 글라이더가 공중에 떠서 평형을 유지하는 상태에 있게 한다.
- ② 평형상태에서 주날개의 양 끝이나 꼬리날개를 위아래로 눌렀다가 떼고 글라이더가 어떻게 되는지 관찰한다. 수직꼬리날개는 좌우로 눌렀다가 떼면서 글라이더가 어떻게 되는지 관찰한다.
- ③ 정류격자 없이 글라이더를 띄워본다.



간이 풍동장치로 글라이더 띄우기

● 기본형 글라이더 안정성 탐구

- 글라이더가 공중에 떠 있을 때 작용하는 힘들을 그림으로 표현해 봅시다.

- 기본형 글라이더는 날개의 단면이 유선형이 아니고 평평하게 되어 있다. 간이 풍동장치로 글라이더를 띄울 때, 글라이더가 뜨는 원리는 생각하기의 주장1 때문이라고 생각하는지 주장2 때문이라고 생각하는지 토론하고 적어 봅시다.

- 글라이더 주 날개를 아래나 위로 눌렀다 뺐을 때 다시 원래대로 돌아오는 이유를 토론하고 적어 봅시다.

- 글라이더의 꼬리날개를 위아래로 눌렀다 떼었을 때 평형상태로 돌아오는 이유를 토론하고 적어 봅시다.

- 글라이더를 실제로 날릴 때 풍동장치의 바람과 실의 역할을 하는 요소가 무엇인지 토론하고 적어 봅시다.

- 정류격자 없이 글라이더를 실로 띄워 보고 어떻게 되는지 관찰하고, 정류격자의 역할을 생각해 봅시다.

이해 및 정리하기

- 글라이더의 회전 운동과 안정성의 원리를 요약해서 적어 봅시다.

- 글라이더의 비행 원리를 요약해서 정리해 봅시다.

보충자료 양력의 원리에 관한 논란과, 비행기의 방향전환 방법

- 양력의 원리에 관한 논란: 생각하기에 제시된 작용-반작용 법칙과 베르누이 법칙에 의한 양력 개념은 날개를 띄우는 측면에서는 둘 다 적절한 설명이다. 비행기 날개 주위의 공기의 흐름은 실제로는 매우 복잡하므로 어느 특정한 원리에 의해서만 양력이 발생한다고 볼 수 없으며, 특정한 조건이나 상황에 따라 두 개념이 모두 적용되는 것으로 보아야 옳다. 다만 이번 차시에 제작한 기본형 글라이더는 날개가 유선형이 아닌 평면형으로 베르누이 법칙을 적용하기에는 어려움이 있으나, 날개의 위 아래로 압력차가 없다고 생각해서도 안 된다.
- 비행기의 방향전환
 - 주날개의 에일러론

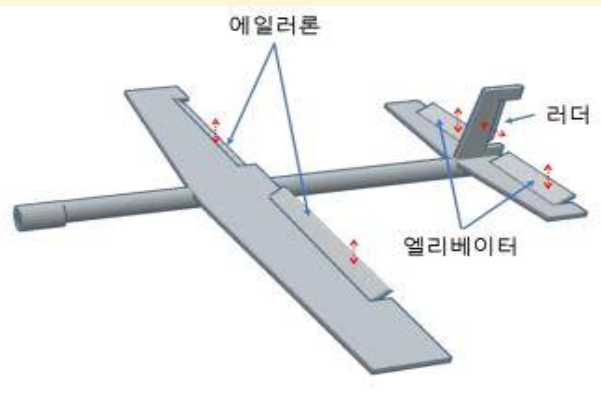
에일러론이 올라간 날개는 아래로 힘을 받고 내려간 날개는 위로 힘을 받아 비행기 주 날개가 에일러론이 아래로 내려간 방향이 위로 가게끔 롤 운동을 하며, 내려간 날개 방향으로 비행기가 방향을 전환한다.

- 수직 꼬리날개의 러더

러더가 왼쪽으로 꺾이면 공기가 수직꼬리 날개를 오른쪽으로 밀고, 러더가 오른쪽으로 꺾이면 공기가 수직꼬리날개를 왼쪽으로 밀어서 비행기의 요 운동을 조정하여 좌우로 방향을 전환한다.

- 수평 꼬리날개의 엘리베이터

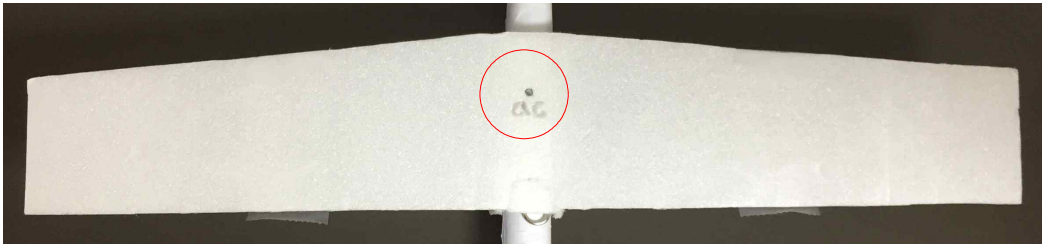
엘리베이터가 올라가면 꼬리날개가 아래로 힘을 받고 내려가면 위로 힘을 받는다. 피치 운동을 조정하여 상하 운동을 조정한다.



3/6 차시	활동지 3	_____ 교육지원청 영재교육원/영재학급
글라이더 주날개의 공력중심		_____ 학교 이름 _____

생각하기 기본형 글라이더 주날개의 'ac'는 무엇을 의미할까요?

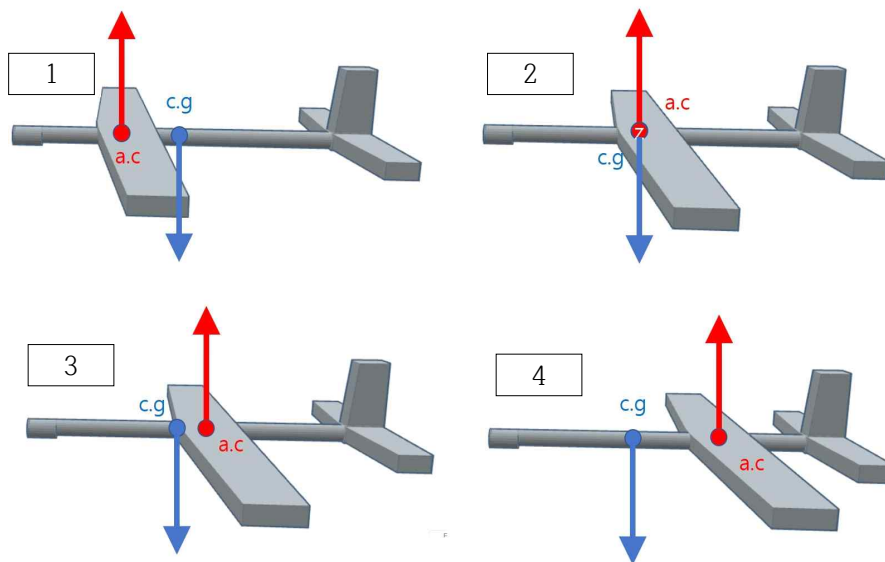
- 그림은 기본형 글라이더 주날개 중심에 뚫려 있는 점 'ac'를 나타낸 것입니다. 이 점이 의미하는 것은 무엇일까요?



- 글라이더를 날릴 때, 머리가 위로 급격히 들릴 때는 주날개를 앞으로 이동시키고, 머리가 아래로 급격히 내려갈 때는 주날개를 뒤로 이동시키는 이유는 무엇일까요?

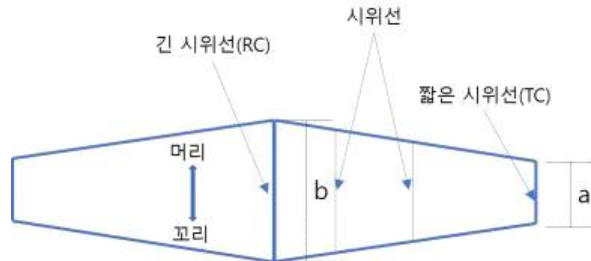
● 글라이더 날개의 공력중심

어떤 물체의 중력이 무게중심이라는 한 점에 작용한다고 생각할 수 있는 것과 같이 글라이더와 같은 비행 물체의 날개에 작용하는 공기의 힘이 한 점에 작용하는 것과 같다고 생각할 수 있는 한 점이 존재하는데 이를 압력중심(CP)이라고 한다. 하지만 압력 중심은 날개의 받음각이 변하면 위치를 다시 정해야 하는 불편함이 있기 때문에, 받음각이 변하더라도 피치 운동에 작용하는 회전력이 변하지 않는 지점이 필요하다. 실험에 의해 이러한 점이 존재한다는 것이 밝혀졌으며 이 점을 공력중심(AC)이라고 한다. 글라이더를 설계할 때에는 이 공력중심(AC)과 무게중심(CG)의 위치를 적절하게 배분해야 피치 운동에 대한 안정성을 얻을 수 있다. 앞 차시의 기본형 글라이더의 집계와 주날개의 위치를 조정하는 것은 공력중심(AC)과 무게중심(CG)의 위치를 조정하는 활동이라고 볼 수 있다. 따라서 날개를 설계할 때는 공력중심(AC)의 위치를 함께 적어주는 것이 좋다. 아래 그림에서 1번과 같은 경우는 압력 중심이 무게중심보다 앞에 있어서 비행 시 머리가 들리는 경우이다. 2번은 공력중심과 무게중심이 일치하는 경우로 비행 중에는 머리가 약간 들리게 된다. 3번은 무게중심보다 공력 중심이 약간 뒤에 있는 경우로 비행중 머리와 꼬리가 가장 안정적으로 비행이 가능하다. 4번은 무게중심보다 공력 중심이 많이 뒤에 있는 상태로 비행시 머리가 아래로 급격히 내려간다.

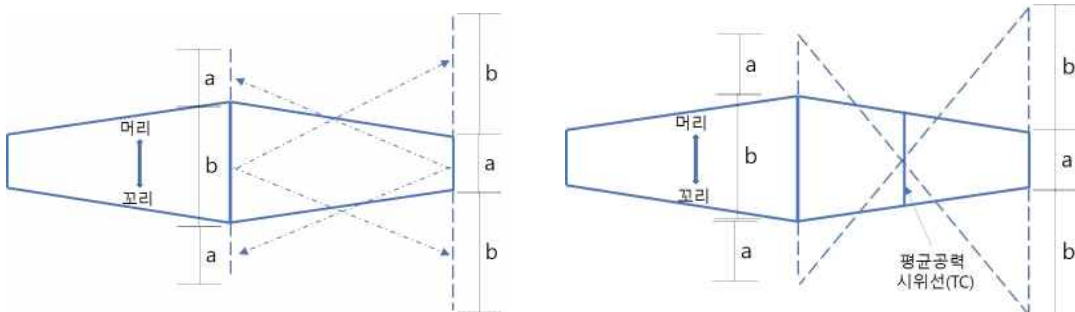


○ 간단한 대칭 주날개의 공력 중심 구하기

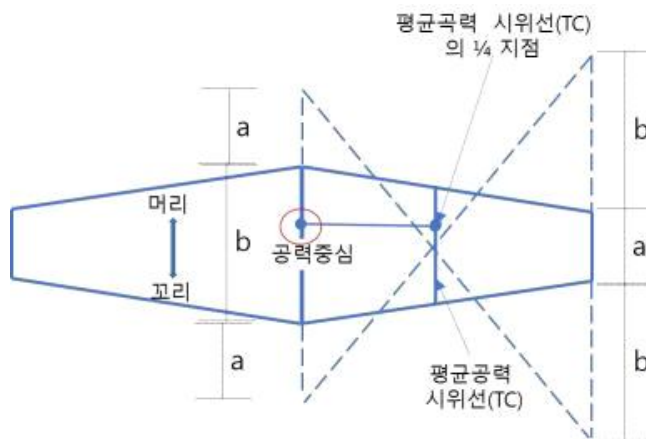
- 주날개의 시위선: 날개의 앞에서부터 뒷부분까지 이은 선을 시위선이라고 하며, 몸체와 가까운 부분의 가장 긴 시위선을 긴 시위선, 날개 끝의 가장 짧은 선을 짧은 시위선이라고 한다.



- 평균공력시위선: 그림과 같이 짧은 시위선 앞뒤로 긴 시위선 길이 만큼 연장선을 긋고, 긴 시위선 앞뒤로 짧은 시위선 길이 만큼 연장선을 그은 후 양 끝점을 이은 대각선의 교점을 지나는 시위선을 평균공력시위선이라고 한다.

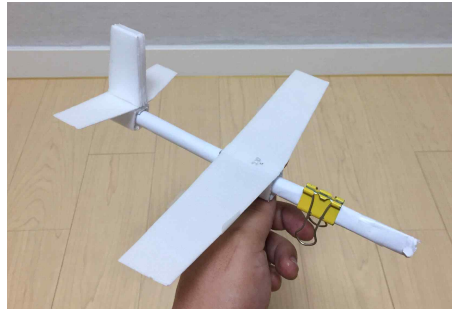


- 공력중심(ac): 평균공력시위선의 머리 부분에서 약 $\frac{1}{4}$ 지점의 점에서 날개의 중심축에 내린 수선과 중심축이 만나는 지점이 주날개의 공력중심이다.



● 글라이더에서 무게 중심과 공력중심의 위치관계를 확인하는 방법

무게 중심의 위치는 그림과 같이 글라이더 아래 부분에 손가락을 올려 놓아 쉽게 구할 수 있다. 날개의 윗부분에 공력 중심의 위치가 표시되어 있으므로 무게 중심과 공력 중심의 위치를 조정할 수 있다.



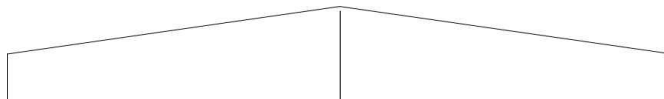
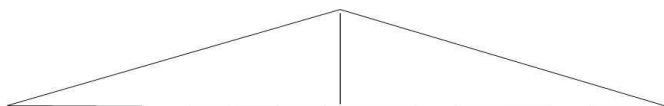
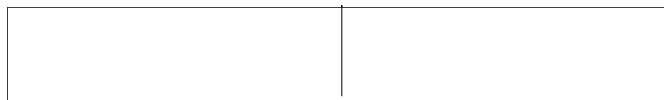
공력 중심과 무게 중심 맞추기

적용하기

여러 날개의 공력 중심을 구해보자.

● 날개의 공력 중심 구하기

- 준비물: 날개 그림, 자, 펜
- 아래 3개의 날개에서 공력 중심의 위치를 표시해 봅시다.



정리하기

- 글라이더의 공력 중심과 무게 중심을 어떻게 설정할지 설명해 봅시다.

- 간단한 직선 대칭 날개에서 공력중심을 구하는 과정을 간단히 정리해 봅시다.

4~5/6 차시	활동지 4	_____ 교육지원청 영재교육원/영재학급
직선으로 활공하는 글라이더 만들기		_____ 학교 이름 _____

탐구하기 직선으로 날아가는 창의적인 글라이더 설계 및 제작하기

○ 직선으로 날아가는 창의적인 글라이더 설계 및 제작하기

- 준비물: 우드락(2T), 연필, 자, 가위, 커터칼, 양면테이프, 스카치테이프, A4용지, 수수깡, 클립, 집게
- 앞 차시에서 배운 여러 원리를 바탕으로 직선으로 날아가는 글라이더를 직접 설계 및 제작해 봅시다.
- 제작 목적: 6차시에 제작된 글라이더로 평가 예정
 - 특정 거리에서 홀라후프 안에 글라이더가 들어가도록 설계 및 제작
- 제한사항
 - 무동력 글라이더로 제작(동력장치 부착 금지)
 - 공력중심의 위치를 주날개 위에 표시해야 한다.
 - 몸통의 길이와 주날개의 양 끝 사이의 길이는 25~35 cm
 - 과학실 내의 다른 재료는 사용가능하나 재료의 추가 주문 및 구매는 안된다.
 - 기본형 글라이더와 동일한 구조와 형태인 경우 감점
 - 날개의 모양이나 특성에 대해 인터넷이나 다른 자료를 참고하는 것은 가능

6/6 차시	활동지 5	_____ 교육지원청 영재교육원/영재학급
글라이더 날리기		_____ 학교 이름 _____

탐구하기 글라이더 날리기

○ 글라이더를 날려 봅시다.

• 준비물: 홀라후프, 창의적으로 제작한 조별 라이더

• 앞 차시에서 제작한 글라이더를 날려 봅시다.

• 평가방법

- 바람이 불지 않도록 복도의 창문을 닫고 날리기 시작하는 지점으로부터 10 m 떨어진 지점에 홀라후프로 통과 목표 범위를 지정한다.
- 한 팀당 5회의 기회를 부여하여 글라이더가 홀라후프를 통과한 회수에 따라 점수 부여함
- 기본점수는 50점이며 1회 통과할 때마다 10점씩 부여한다.
- 글라이더를 던진 이후 무게중심과 공력중심 및 날개를 조정할 수 있다.(조정시간 30초)