119107-2

보안 과제( ), 일반 과제(O) / 공개(O), 비공개( ), 발간등록번호(O)
농축산물안전생산유통관리기술개발사업 2021

발간등록번호
11-1543000-004072-01

에너지 절감을 위한 수직형 공기순환 팬 기술 개발

2022. 04. 29.

주관연구기관 / 아그로그린(주)

농 림 축 산 식 품 부
(전문기관) 농림식품기술기획평가원

에너지 절감을 위한 수직형 공기순환 팬 기술 개발

2021

농림축산식품부
농림식품기술기획평가원

제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “에너지 절감을 위한 수직형 공기순환 팬 기술 개발”(2019. 11. 26. - 2021. 11. 25.)과제의 최종보고서로 제출합니다.

2022. 04. 29.

주관연구기관명: 아그로그린주식회사 (대표이사) 이 상 훈 (인)

주관연구책임자: 이 상 훈

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 보고서 열람에 동의합니다.

< 요 약 문 >

<table>
<tr><td colspan="2">사업명</td><td colspan="2">역매칭 사업</td><td colspan="2">총괄연구개발 식별번호
(해당 시 작성)</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="2">내역사업명
(해당 시 작성)</td><td colspan="2"></td><td colspan="2">연구개발과제번호</td><td colspan="2">119107-2</td></tr>
<tr><td rowspan="2">기술분류</td><td>국가과학기술
표준분류</td><td>LB0805</td><td>50%</td><td>LB0802</td><td>30%</td><td>LB0901</td><td>20%</td></tr>
<tr><td>농림식품
과학기술분류</td><td>RC0102</td><td>50%</td><td>AA0204</td><td>30%</td><td>AA0303</td><td>20%</td></tr>
<tr><td colspan="2">총괄연구개발명
(해당 시 작성)</td><td colspan="6"></td></tr>
<tr><td colspan="2">연구개발과제명</td><td colspan="6">에너지 절감을 위한 수직형 공기순환 팬 기술 개발</td></tr>
<tr><td colspan="2">전체 연구개발기간</td><td colspan="6">2019. 11. 26. - 2021. 11. 25.(24개월)</td></tr>
<tr><td colspan="2">총 연구개발비</td><td colspan="6">총 567,600 천원
(정부지원연구개발비: 283,800천원, 기관부담연구개발비: 283,800천원, 지방자치단체: 천원, 그 외 지원금: 천원)</td></tr>
<tr><td colspan="2">연구개발단계</td><td colspan="2">기초[ ] 응용[ ] 개발[○]
기타(위 3가지에 해당되지 않는 경우)[ ]</td><td colspan="2">기술성숙도
(해당 시 기재)</td><td colspan="2">착수시점 기준( )
종료시점 목표( )</td></tr>
<tr><td colspan="2">연구개발과제 유형
(해당 시 작성)</td><td colspan="6"></td></tr>
<tr><td colspan="2">연구개발과제 특성
(해당 시 작성)</td><td colspan="6"></td></tr>
<tr><td rowspan="4">연구개발목표 및 내용</td><td colspan="2">최종 목표</td><td colspan="6">○ 에너지 절감을 위한 수직형 공기순환 팬 기술 개발</td></tr>
<tr><td colspan="2">전체 내용</td><td colspan="6">○ 에너지 절감을 위한 온실용 수직 공기순환 팬의 자동화 시스템 개발 및 산업화
○ 에너지 절감을 위한 온실 수직 공기순환 팬 최적 설계</td></tr>
<tr><td rowspan="2">1단계
(해당 시 작성)</td><td>목표</td><td colspan="6">○ 온실의 단열공간 내에 설치되어 수직(버섯모양) 원추형 기류를 형성하여 온실 내 공기를 골고루 순환하여 상하 온도 차 2℃ 이내로 감소시키고 난방 에너지를 10% 절감할 수 있는 수직 공기순환 팬 개발
- 개발 공기순환 팬: 기존의 원주 및 수평 순환 방식이 아닌 수직방향으로 공기를 빨아들여 밑으로 직접 분사하지 않고 방사상 방향으로 분사하여 단열공간 내 공기가 흐르지 않는 부분이 없도록 빠른 시간에 공기를 순환하여 공기 환경개선과 에너지 절감
○ 팬 속도 조절에 의한 최적 풍량 제어, IoT를 이용한 시간 및 시스템 제어가 가능하고 강력한 공기 순환기능을 갖춘 수직 순환 팬 검증
○ 단열공간 내부의 공기를 신속히 골고루 순환시켜 단열공간 내부의 전 영역에서의 온도가 균일하게 유지되도록 하는 수직 순환 팬의 자동화 시스템 산업화
○ 연구 개발 성과(최종(: 특허등록 1건, 기술실시 1건, 제품화 2건, 매출액 1,485백만원, 고용창출 1명, 비SCI 1건, 학술 발표 2건, 홍보전시 2건, 에너지 절감률 10%</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="6"></td></tr>
</table>

<table>
<tr><td rowspan="4">연구
개발
목표
및
내용</td><td rowspan="2">1단계
(해당시 작성)</td><td>내용</td><td>○ 에너지 절감을 위한 온실용 수직 공기순환 팬의 자동화 시스템 개발 및 산업화
- 온실 공기순환 팬 설계를 위한 순환 팬 규격, 성능 등 특성조사 분석
- 빠른 공기순환을 위한 순환 팬 날개 형상, 날개 수 및 배치 설계
- 순환 팬 사양, 규격에 맞는 모터 적정 용량, 모델 선정
- 순환 팬 회전 속도 조절을 위한 전원 공급장치 개발
- 풍량 제어를 통한 최적 풍량 설계
- 순환 팬 하우징(케이싱) 설계
- 공기순환 팬 시작기 제작 및 성능실험
- 온·습도 및 IoT 이용한 제어장치의 종합 설계 및 제작
- 수직 공기순환 팬 현장적응시험
- 수직 공기순환 팬 제품화 및 인증

○ 에너지 절감을 위한 온실 수직 공기순환 팬 최적 설계
- 추력 측정법을 이용한 블레이드 각도별 풍량 측정
- 기류 특성 분석을 통한 팬 적정 블레이드 각도 결정
- 실내의 온도변화 경향에 의한 기류 순환 성능 측정
- 순환 팬 회전 속도에 따른 소비전력과 회전수 측정
- 순환 팬 가동 유무에 따른 온습도 분포 컨투어맵 작성</td></tr>
<tr><td rowspan="2">n단계
(해당시 작성)</td><td>목표</td><td></td></tr>
<tr><td>내용</td><td></td></tr>
</table>

<table>
<tr><td>연구개발성과</td><td>
<예상되는 연구개발성과 유형>
<table>
<tr><th rowspan="2">구분</th><th rowspan="2">논문</th><th rowspan="2">특허</th><th rowspan="2">보고서 원문</th><th rowspan="2">연구 시설 · 장비</th><th rowspan="2">기술 요약 정보</th><th rowspan="2">소프트 웨어</th><th rowspan="2">화합물</th><th colspan="2">생명자원</th><th colspan="2">신품종</th></tr>
<tr><th>생명 정보</th><th>생물 자원</th><th>정보</th><th>실물</th></tr>
<tr><td>예상성과 (N/Y)</td><td>1</td><td>1</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
</table>
<table>
<tr><th>주요 성능지표</th><th>가중치</th><th>최종 개발목표</th><th>달성치</th></tr>
<tr><td>최대회전속도</td><td>20</td><td>700rpm이상</td><td>100%
(892rpm(무부하), 535(부하))</td></tr>
<tr><td>날개 수</td><td>10</td><td>9개 이내</td><td>100%
(7개)</td></tr>
<tr><td>소비전력</td><td>20</td><td>200W 이하</td><td>280W</td></tr>
<tr><td>작동 전원</td><td>20</td><td>230VAC-50/60Hz</td><td>100%</td></tr>
<tr><td>풍 량</td><td>10</td><td>5,000 m^3/h이상</td><td>100%
(5,200m^3/h)</td></tr>
<tr><td>수직온도차</td><td>20</td><td>2℃ 이내</td><td>100%
(2℃)</td></tr>
<tr><td>에너지절감</td><td></td><td>10% 이상</td><td>100%
(10.5%)</td></tr>
<tr><td>자동제어</td><td></td><td></td><td>100%
(스케줄 설정, On/Off제어)</td></tr>
<tr><td>IoT 원격제어</td><td></td><td></td><td>100%
(스마트폰 앱 제어)</td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

연구개발성과 활용계획 및 기대 효과	○ 본 과제를 통해 에너지 절감을 위한 온실용 수직 공기순환 팬의 자동화 시스템 구축 형성한다면 국내뿐만 아니라 세계적인 파급 효과가 매우 클 것으로 기대함 ○ 국내 온실 채소 60%는 난방기를 이용하여 가온하고 있으며, 특히 야간 및 겨울철 난방기 공급열이 온실 상부에 정체되어 에너지 이용효율이 낮아지는 문제가 발생하고 있다. 이러한 온실 내부의 온습도 불균일은 에너지의 소비를 증가시킬 뿐만 아니라 작물의 생육 불균일에 의한 생산성 저하와 재배 관리의 어려움을 초래하는 실정이므로 본 연구를 통해 에너지 절감 효과뿐만 아니라 작물의 성장을 촉진하여 산성을 개선할 수 있을 것으로 사료됨 ○ 농가에서 순환 팬을 설치할 때 대부분 설비업체의 경험에 의존하고 순환 팬의 운용 기술에 대해서 명확한 기준이 제시되어 있지 않은 실정이므로 본 연구 순환 팬에서 명확한 기준을 제시하고 간단한 운용 조작으로 농가에서 직접 설치 및 운용이 가능할 수 있을 것으로 기대됨

연구개발성과의 비공개여부 및 사유													
연구개발성과의 등록·기탁 건수	논문	특허	보고서 원문	연구 시설 ·장비	기술 요약 정보	소프트 웨어	표준	생명자원		화합물	신품종	
								생명 정보	생물 자원		정보	실물
	1	1										

연구시설·장비 종합정보시스템 등록 현황	구입 기관	연구시설 ·장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	ZEUS 등록번호

국문핵심어 (5개 이내)	비닐하우스	온실 팬	공기순환 장치	공기 교반기	에너지 절감
영문핵심어 (5개 이내)	greenhouse	greenhouse fan	Air circulation system	Air stirrer	Energy saving

〈 목 차 〉

1. 연구개발과제의 개요 ····· 1
가. 제품개발 개요 ····· 1
나. 연구개발 대상의 국내·외 현황 ····· 3
다. 연구개발의 목표 및 내용 범위 ····· 4
1) 최종 목표 ····· 4
2) 세부목표 및 내용 ····· 5

2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용 ····· 6
【에너지 절감을 위한 온실용 수직 공기순환 팬이 자동화 시스템 개발 및 산업화(아그로그린)**】** ····· 6
가. 온실 공기순환 팬 설계를 위한 순환 팬 규격, 성능 등 특성 조사 분석 ····· 6
나. 빠른 공기순환을 위한 순환 팬 날개 형상, 날개 수 및 배치 설계 ····· 6
다. 순환 팬 사양, 규격에 맞는 모터 적정 용량, 모델 선정 ····· 6
라. 순환 팬 회전 속도 조절을 위한 전원 공급장치 개발 ····· 6
마. 풍량 제어를 통한 최적 풍량 설계 ····· 6
바. 순환 팬 하우징(케이싱) 설계 ····· 7
사. 공기순환 팬 시작기 제작 및 성능실험 ····· 7
아. 온·습도 및 IoT 이용한 제어장치의 종합 설계 및 제작 ····· 7
자. 수직 공기순환 팬 현장적응시험 ····· 7
차. 수직 공기순환 팬 제품화 및 인증 ····· 7
【에너지 절감을 위한 온실 수직 공기순환 팬 최적 설계(국립한국농수산대학)**】** ····· 8
가. CFD를 이용한 기류변화분석 ····· 8
나. 기류 특성분석을 통한 팬 적정 블레이드 각도 결정 ····· 9
다. 실내의 온도변화 경향에 의한 기류 순환 성능 측정 ····· 9
라. 순환 팬 회전 속도에 따른 소비전력과 회전수 측정 ····· 10
마. 순환 팬 가동 유무에 따른 온습도 분포 컨투어맵 작성 ····· 11

3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도 ····· 12
가. 연구수행 결과: 정성적 연구개발성과 ····· 12
1) 에너지 절감을 위한 온실용 수직 공기순환 팬의 자동화 시스템 개발 및 산업화(아그로그린)·· 12
가) 온실 공기순환 팬 설계를 위한 순환 팬 규격, 성능 등 특성 조사 분석 ····· 12
나) 빠른 공기 순환을 위한 순환 팬 날개 형상, 날개 수 및 배치 설계 ····· 19
다) 순환 팬 사양, 규격에 맞는 모터 적정 용량, 모델 선정 ····· 22
라) 순환 팬 회전 속도 조절을 위한 전원 공급장치 개발 ····· 26
마) 풍량 제어를 통한 최적 풍량 설계 ····· 28
바) 순환 팬 하우징(케이싱) 설계 ····· 30
사) 공기순환 팬 시작기 제작 및 성능실험 ····· 35
아) 온·습도 및 IoT 이용한 제어장치의 종합 설계 및 제작 ····· 37
자) 수직 공기순환 팬 현장적응시험 ····· 37

차) 수직 공기순환 팬 제품화 및 인증 ····· 53
2) 에너지 절감을 위한 온실 수직 공기순환 팬 최적 설계(국립한국농수산대학) ··· 58
가) CFD를 이용한 기류 변화 분석 ····· 58
나) 기류 특성분석을 통한 팬 적정 블레이드 각도 결정 ····· 66
다) 실내의 온도변화 경향에 의한 기류 순환 성능 측정 ····· 69
라) 순환 팬 회전 속도에 따른 소비전략, 회전계를 이용 팬 회전수 측정 ····· 71
마) 순환 팬 가동 유무에 따른 온습도 분포 컨투어맵 작성 ····· 72
나. 정량적 연구개발성과 ····· 76
다. 세부 정량적 연구개발성과 ····· 76
라. 계획하지 않은 성과 및 관련 분야 기여사항(해당 시 작성합니다) ····· 81

4. 목표 미달 시 원인분석(해당 시 작성) ····· 82

5. 연구개발성과 및 관련 분야에 대한 기여 정도 ····· 82

6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획 ····· 83

별첨 자료(참고 문헌 등) ····· 83

1. 연구개발과제의 개요

가. 제품개발 개요

○ 최근 유가 상승과 원자재 가격 상승으로 인해 농가들의 어려움이 갈수록 늘어나고 있어 국제적 유가와 원자재 가격에 영향을 최소화하면서 난방비 절감 효과가 있는 기술에 대한 관심이 늘고 있다. 기존 일반적인 **난방의 열 분배 방식으로는 하우스 내부 온도 편차가 심해 작물의 균형 있는 성장이 어려운 실정**이다.

○ 1990년대 이후 우리나라 시설원예 재배면적과 산업 규모는 정부의 지원 정책과 소비자의 수요 증가에 힘입어 지금까지 빠르게 증가하여왔다. 특히 1990년대 중반 이후 '원예산업 경쟁력 제고 대책'에 따라 정보는 원예시설 설치를 위한 지원 사업으로 원예사업 발전을 이끌어 왔다. 현재 국내 원예 시설재배 면적은 약 6만 5천ha 내외로 비닐하우스 등 시설 설치 면적은 최근 약 5만 4천ha 수준으로(농식품부, 2012) **순환 팬 국내 시장 규모는 꾸준히 증가하는 것으로 추정**하고 있다.

○ 국내 시설원예산업은 신선한 농산물의 수급 안정 및 농가소득과 농산물 수출 증대에 크게 기여하고 있으나 최근 국제유가의 불안정과 원자재 가격의 인상 및 농산물 수요 감소 등 산업의 내·외부의 어려움으로 시설원예 산업이 위축되어 있으며 작물의 주년, 안정생산에 대한 기술을 발전시키면서 생산성을 향상시키는데 주력하고 있다. **저온기와 고온기 온도 관리 전략은 시설원예 작물의 안정생산을 위해서 필수적**이며, 구조 개선, 자재 및 장치 등을 활용하여 온실 내 적정온도를 유지하기 위한 연구로 시설 현대화, 규모화, 영농기술 발전을 위한 지속적인 연구가 필요한 실정이다.

○ 일반적으로 식물은 개화와 착과에 있어 온도, 습도와 같은 환경의 영향을 많이 받게 되는 데, 특히 **높거나 낮은 기온에서 낙화 현상, 온실 내 상하 온도 차이로 작물의 생산성에 영향을 끼치게 된다**. 고온으로 인해 엽온이 상승하게 되면, 기공 전도도가 감소하고, 증산 작용에 영향을 줌으로써 작물의 양분이나 수분의 흡수율과 이용률을 저하 시킬 수 있다. 또 작물 생육에 있어서 지상부를 둘러싸는 대기뿐 아니라 지하부에 존재하는 근권온도 역시 생육 적온 범위를 넘어가게 되면 그것 또한 양분, 수분 흡수율을 저하 시킨다.

○ 고온기 온도 하강 수단으로는 복사광의 차광, 환기, 냉방 기기의 이용, 증발냉각, 지붕 살수 등이 있고, 최근에는 공기열 히트펌프, 지열 시스템 등 냉방시설을 도입하여 고온 극복하기 위해 적극적으로 시도하고 있지만, 온실 전체 냉방은 냉방부하가 상대적으로 크고, 시설 내 냉방시설을 도입하는 초기 비용과 에너지 소모량에 다른 운영 비중이 높아 작물 생육에 적합한 온도로 온실 환경을 유지에는 어려움이 많은 실정이다.

○ 가온 온실의 77.6%가 온풍난방 방식을 이용하고 있으며, 온풍난방 시 난방열이 온실 상부에 정체하여 온실 내 온습도 불균일과 에너지 손실이 발생하고 있어 **온실 내 온습도 등 환경 균일화를 통한 작물 생육증진, 에너지 절감, 고온기 온도 강하 등을 위한 순환 팬과 제어 기술 필요하다.**

○ 현재 일반적으로 농가에서 사용하는 온실 내 공기 교반 장치는 수평형과 원주방향방식이며 수평형 공기 교반 장치는 온실 내 공기를 수평으로 이동시켜 공기를 순환하는 방식이며 원주방향방식 공기 교반 장치는 순환 팬이 원주방향으로 공기를 이동시켜 순환 하는 방식으로 온실 내 공기 및 온도를 균일하게 하는 방식이다. 여기에 히터, 쿨러 등을 설치하여 개선된 몇몇 제품이 나와 있다.

○ 이러한 순환 팬의 단점은 공급열이 온실 상부에 정체되어 에너지 이용효율이 낮아지는 문제가 있으며 특히 겨울철에 온실 내 기온 차이가 생기는 경우가 발생하며 이러한 온실 내부의 온습도 불균일은 냉난방 에너지 소비를 증가시키고, 병해충 발생, 작물의 생육 불균일에 의한 생산성 저하와 재배 관리상의 어려움이 초래할 수 있어 온실 환경관리에 온실 내 온습도, CO_2 농도 등 환경을 균일하게 유지하는 것은 작물 재배 관리, 품질 및 생산성 측면에서 중요한 요소이다.

○ **본 연구에서의 핵심은 비닐하우스와 같은 단열공간에 설치되어 내부의 공기를 순환시켜 단열공간 내부의 전 영역에서의 온도가 균일하게 유지되도록 하는 순환시스템에 관한 것**으로 기존의 원주 및 수평 순환 방식이 아닌 새로운 공기순환 시스템을 개발함으로써 기존 방향 방식의 장점을 채택하고 단점을 보완하여 단순 공기순환 시스템만으로 기존에 손실되는 에너지를 최소화하여 에너지 효율을 높이는 것뿐만 아니라 **온실 내 온습도를 기존 방식보다 빠르고 균일하게 유지함으로써 온실 내 환경개선 효과를 높이는 것이다**.

○ 유럽에서 개발된 유사 팬 사용 시 장점

- 기류 순환 패턴을 만듦
- 미풍의 잎 동요로 건전생육
- 작물 도장 및 고온장해 예방
- 균등한 양질의 농산물 생산 및 생산성 증대
- 위에 있는 따듯한 공기를 재사용하여 공기가 안 통하는 부분이 없도록 함
- 건조한 공기를 옮김으로써 위아래 환경이 균일함
- **버섯 모양으로 공기를 빨아들여 밑으로 직접 분사하지 않음**
- 소비전력 난방 에너지 절감되며 온실 내 온, 습도 분포가 빠른 시간에 이루어짐
- **온실 내 온, 습도 분포가 빠른 시간에 이루어짐에 따라 식물의 생육 생장 촉진, 환경개선, 고품질, 고소득을 가능케 함**
- 제품의 부가가치를 창출 하고, 경쟁력 확보 및 수출을 활성화하는 등 실용화 기술을 확보

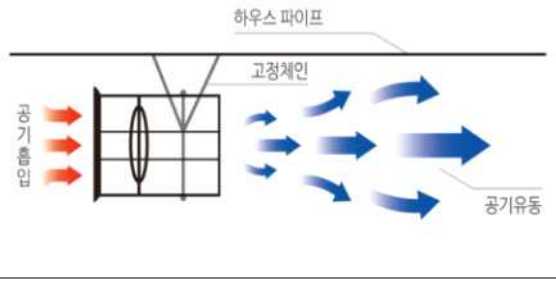
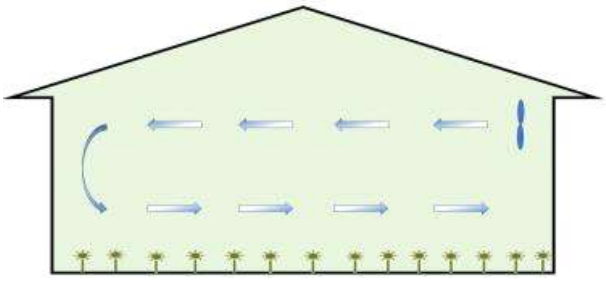
○ 국산화 및 보완 개발될 부분

- **유럽에서 개발된 유사 팬을 기초로 버섯 모양으로 공기를 빨아들여 밑으로 직접 분사하지 않게 하며** 온실 내 온, 습도 분포가 빠른 시간에 **이루어짐에 따라 식물의 생육 생장 촉진, 환경개선, 고품질, 고소득을 가능케 함**
- 온실 내 수직 공기순환 팬 성능평가
- 수직 공기순환 팬 설계 및 제작
- 경제성 및 산업화
- 수직형 공기순환 팬 블레이드의 최적 설계 및 성능평가
- 제품의 부가가치를 창출 하고, 경쟁력 확보 및 수출을 활성화하는 등 실용화 기술을 확보
- 유사 팬의 차이로 날개 수량 크기 및 수량 변경, 자동제어 등으로 차별화함

나. 연구개발 대상의 국내·외 현황

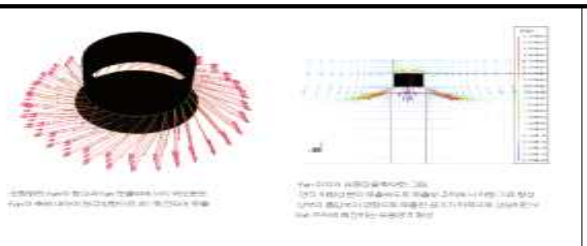
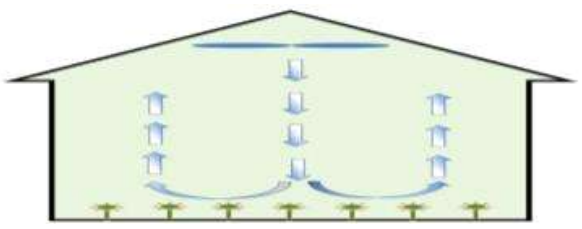
○ **수평 방식**

- 온도 하강
- 최소한의 수량으로 최대 효과 발생
- 하우스 내 온도 편차 해소
- 온도 센서를 통한 온도 편차 제어 가능

<table>
<tr><td> 
</td><td> </td></tr>
<tr><td>공기 방향</td><td>하우스 설치</td></tr>
<tr><td>  </td><td> </td></tr>
<tr><td>하우스 내 공기 흐름</td><td>사용 중인 팬</td></tr>
<tr><td colspan="2">수평 방식 순환 팬</td></tr>
</table>

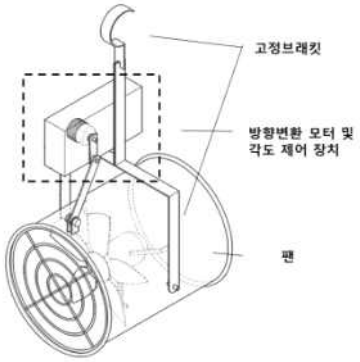
○ **원주방향방식**(원주방향으로 45° 회전되어 토출)

- 상·하 온도 편차를 줄임으로 에너지 절감
- 작물 도장 및 고온장해 예방
- 균등한 양질의 농산물 생산 및 생산성 증대
- 다습으로 발생하는 병해 경감

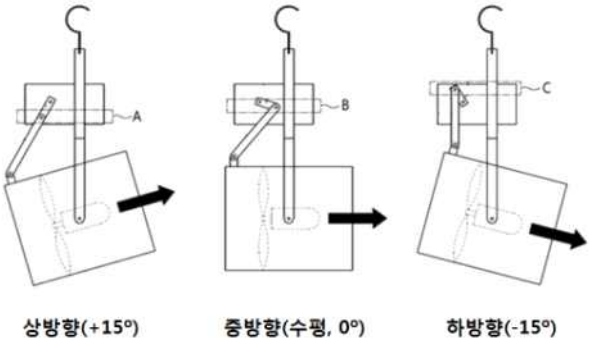
<table>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>공기 방향</td><td>하우스 내 공기 흐름</td></tr>
<tr><td>
</td><td> </td></tr>
<tr><td colspan="2">사용 중인 팬</td></tr>
<tr><td colspan="2">원주방향 방식 순환 팬</td></tr>
</table>

○ **풍향가변형 공기순환 팬 방식**

- 구성: 팬, 고정브래킷, 방향변환 모터, 각도 제어장치, 스마트 컨트롤러
- 일반 공기순환 팬은 수평 설치하여 사용하는 반면 풍향가변형 공기순환 팬은 운용목적에 따라 상 방향, 중 방향(수평), 하 방향, 연속회전이 가능

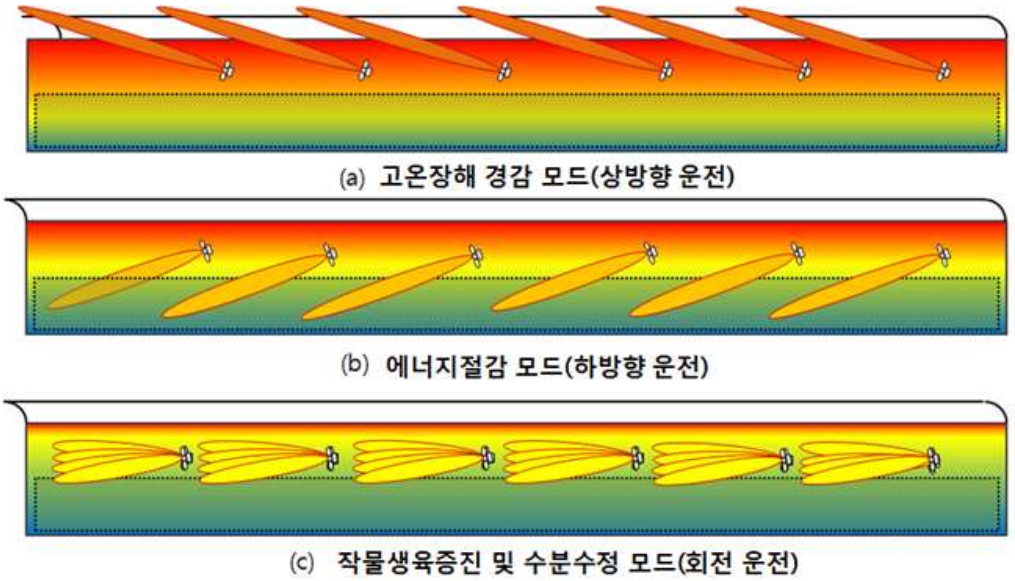


<풍향가변형 공기순환 팬 구성>



<풍향가변형 공기순환 팬 작동 개념도 >

- 컨트롤러 운전 모드
  - 수동 모드: 팬의 풍량, 가동 시간, 방향 등을 직접 설정하여 운용
  - 자동 모드: 설정 온도, 가동 및 정지 시간, 방향 등을 설정하여 설정 온도 이상 및 설정 시간에 따라 자동 운전
  - 스마트 모드: 설정 온도의 상한값, 하한값, 가동 및 정지 시간 설정 가능
    ① 온실 온도 > 상한값: 공기순환 팬 상 방향 운전, 환기 팬 연동
    ② 상한값 > 온실 온도 > 하한값: 공기순환 팬 중 방향 운전
    ③ 하한값 > 온실 온도: 공기순환 팬 하 방향 운전
- 공기순환 팬 운용목적별 작동 방법
  - 고온장해경감 • 에너지 절감 모드 • 작물 생육 증진 모드



<풍향가변형 공기순환 팬 운용 예>

다. 연구개발의 목표 및 내용 범위

1) 최종 목표

○ 온실의 단열공간 내에 설치되어 수직(버섯 모양) 원추형 기류를 형성하여 온실 내 공기를 순환하여 상하 온도 차 2℃ 이내로 감소시키고 난방 에너지를 10% 절감할 수 있는 수직 공기순환 팬 개발

- 개발 공기순환 팬: 기존의 원주 및 수평 순환 방식이 아닌 수직(버섯 모양) 방향으로 공기를 빨아들여 밑으로 직접 분사하지 않고 방사상 방향으로 분사하여 단열공간 내 공기가 흐르지 않는

부분이 없도록 빠른 시간에 공기를 순환하여 공기 환경개선과 에너지 절감

○ 팬 속도 조절에 의한 최적 풍량 제어, IoT를 이용한 시간 및 시스템 제어가 가능하고 강력한 공기 순환기능을 갖춘 수직 순환 팬 검증

○ 단열공간 내부의 공기를 신속히 골고루 순환시켜 단열공간 내부의 전 영역에서의 온도가 균일하게 유지되도록 하는 수직 순환 팬의 자동화 시스템 산업화

○ 연구개발 성과: 특허등록 1건, 기술실시 1건, 제품화 2건, 매출액 1,485 백만 원, 고용창출 1명, 비SCI 1건, 학술 발표 2건, 홍보전시 2건, 에너지 절감률 10%

2) 세부목표 및 내용

○ 버섯 모양으로 공기를 빨아들여 방사상 방향으로 분사하는 수직 순환 팬과 자동화 시스템 개발
- 블레이드 형상과 회전수 최적화 설계
- 온실 내 수직 공기순환 팬 제작 및 성능평가
- 온·습도에 따른 자동제어 시스템 설계 제작
- IoT를 이용한 시간 및 자동제어시스템 구축

○ **주요 기능(규격)**
- 좌우 회전기능 없이도 강력한 공기순환
- 온도, 시간에 의한 자동 및 수동제어
- 최적 풍량 세팅을 위한 팬 속도 조절 기능
- IoT를 이용한 시간 및 시스템 제어 기능

○ **주요 성능지표**

주요 측정지표					
주요 성능지표	단위	최종 개발목표	세계 최고 수준 (NIVOLA/네덜란드)	가중치	측정기관
최대회전속도	rpm	700이상	700	20	인증 기관 또는 자체
날개 수	개	9이내	9	10	인증 기관 또는 자체
소비전력	W	200이하	180~260	20	인증 기관 또는 자체
작동 전원		230VAC-50/60Hz	230VAC-50/60Hz	20	인증 기관 또는 자체
풍 량	m^3/h	5,000이상	5,200	10	인증 기관 또는 자체
수직 온도 차	℃	2이내	3이내	20	인증 기관 또는 자체

○ **핵심기술**
- 온실 내 공기를 순환하고 분배하여 수직적 온도 차이를 감소하는 공기순환 기술
- 수직형 공기순환 팬 블레이드의 최적화 설계
- 온·습도에 따른 순환 팬 자동제어 기술

- IoT를 이용한 시간 및 자동제어시스템 구축
- 기존의 원주 및 수평 순환 방식이 아닌 버섯 모양으로 공기를 빨아들여 방사상 방향으로 분사하는 순환 팬 기술

○ **적용 범위**
- 시설원예용, 축사, 버섯재배사

2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용

【에너지 절감을 위한 온실용 수직 공기순환 팬의 자동화 시스템 개발 및 산업화(아그로그린)】

가. 온실 공기순환 팬 설계를 위한 순환 팬 규격, 성능 등 특성 조사 분석

기존에 국내·외에서 개발된 모델들을 기반으로 각 모델의 장단점을 분석한 후 수직형 공기순환 팬을 선정 분석하여 제품을 국산화함에 기초적인 자료를 축적하였습니다.

수직형 공기순환 팬의 CFD 분석과 날개 개수 9개, 블레이드 각도 23°, 블레이드 바 길이 15.5cm, 블레이드 바 각도 10°, 블레이드 각 면적은 5,785mm² 등 기초 자료 분석을 하였다.

분석 결과를 기초로 개발제품의 시험 조건을 선정 할 수 있는 기준을 마련하였다.

시험 조건은 날개 바 길이는 13.5cm, 15.5cm, 17.5cm, 날개 바 각도는 7°, 10°, 13°, 블레이드 각도 18°, 23°, 28°, 날개 블레이드 면적은 개당 5,785mm²(100%), 7,651mm²(115%)이다.

나. 빠른 공기순환을 위한 순환 팬 날개 형상, 날개 수 및 배치 설계

수직형 공기순환 팬을 설계하기 위하여 공동위탁 기관인 한국농수산대학(책임자, 김동억 교수)과 순환 팬 날개 형상, 날개 수 및 배치 설계 협의를 거쳐 6가지의 조건(15개 세부 시험)선정과 함께 설계 제작하였다. sample 제작으로 Bar 각도(18°, 23°, 28°), 날개 면적(5,785mm² and 6,653mm²), Bar 길이 (13.5cm, 15.5cm, 17.5cm)이다.

다. 순환 팬 사양, 규격에 맞는 모터 적정 용량, 모델 선정

시장에서 판매되는 모터를 시장조사 하였으나 적정 용량에 맞추기 어려워 수직 순환 팬의 Blade 각도 23°, Balde Bar 각도 10°, 블레이드 수 7개(날개 면적(5,785mm²))으로 풍속은 5.03m/s를 재현할 수 있게 모터를 개발하였다.

라. 순환 팬 회전 속도 조절을 위한 전원 공급장치 개발

수직순환 팬의 속도 조절은 Trans를 이용한 전압변경 방식과 반도체를 이용한 방법으로 Trans이용 시 전압변경을 5step으로 전압 선정 범위는 1step 100V±5, 2step 130V±5, 3step 160V±5, 4step 180V±5, 5step 220V±이다. 반도체를 이용 시 AC 모터는 320w의 넓은 전력을 생성하고, 간단한 설계로 광범위하게 적용이 가능하였고, “그린에어팬” 개발에 AC모터를 적용함으로써 팬의 속도를 전기적으로 제어하여 필요한 풍량 및 온도 조절을 할 수 있도록 실시하였다.

마. 풍량 제어를 통한 최적 풍량 설계

7개로 줄이면서 블레이드의 면적은 블레이드 9개와 동일하도록 계산하여 기존 개당 면적(5,785mm²)에 비해 114%(7,518mm²)로 증대하였다. 또한 기존의 공기순환 팬과 변화된 공기순환 팬을 비교하고 CFD를 이용하여 분석을 실시하였다. 분석방법은 기존의 분석 방법과 동일하게 실시하였다.

바. 순환 팬 하우징(케이싱) 설계

전기적 특성 및 안전을 고려하여 설계하였고, 설계도(2D)는 수직 공기 순환장치의 단면도, 평면도 그리고 허브에 결합된 블레이드 바와 블레이드로 설계하였다.

수직 공기순환 팬은 행거, 모터, 허버, 블레이드 바(bar) 및 블레이드를 포함하고 블레이드 및 블레이드 바와 작업자와의 접촉을 방지하는 보호망을 포함 시켰으며 행거는 내측에 모터에 삽입되어 고정되는 하우징 및 하우징 상단에 형성된 고정부를 포함 시켰다.

사. 공기순환 팬 시작기 제작 및 성능실험

기류 분석 실험 및 블레이드 개수 실험을 토대로 블레이드 각도 23°, 블레이드 바 각도 10°, 블레이드 개수 7개(개당 면적 7,651mm²)를 이용하는 것이 적합하였고 상기 조건으로 제작된 공기순환 팬을 이용하여 온실에서의 온도변환을 측정하였다.

시험은 한국농수산대학 온실(23*14*5, L*W*H, m)에서 실시하였다. 수직형 공기순환 팬은 온실 내 정중앙, 지면에서 3m 높이에 설치하였다. 온도센서(HOBO pro v2, Onset Computer Corp., USA)는 수직형 공기순환 팬을 기준으로 좌·우측으로 2m 간격을 두었으며 좌측, 우측, 중앙에 수직으로 4개씩 설치하였고 각 위치마다 1개씩은 공기순환 팬의 상단으로 0.5m 높이 설치하였다. 시험시간은 온실 내부 온도 차가 가장 높은 12시 30분에 작동시켜 30분 동안 10분 간격으로 측정하였다.

아. 온·습도 및 IoT 이용한 제어장치의 종합 설계 및 제작

IOT를 설계제작에 있어서 서버를 구축하고 있는 회사(다원)와 협업하여 원격제어에 필요한 SPEC을 서로 공유하여 제작 할 수 있었다

자. 수직 공기순환 팬 현장적응시험

수직형 공기순환 팬 현장성능실험은 한국농수산대학 2연동 플라스틱 온실(37*14*6, L*W*H, m)에서 2021년 11월 17일부터 21일까지 5일간 수행하였다. 히트펌프 냉난방기의 온실 난방온도는 20℃로 설정하였다. 온실 난방 공기열 히트펌프의 제원은 Table 1과 같으며, 용량은 9.3kW(12RT)이며 열 분배는 온실 상부에 설치한 덕트를 통해 이루어졌다. 수직형 공기순환 팬은 온실 내부 중앙, 정면, 후면에 1대씩 설치하였으며, 순환 팬은 8m 간격으로 설치 높이는 지면에서 3m에 설치하였다.

차. 수직 공기순환 팬 제품화 및 인증

개발 완료된 제품으로 기술이전 받은 업체인 그린테코(주)에서 KC 인증 전기용품 안전인증을 신청하여 안전인증을 받을 수 있었다. 인증에 필요한 자료 및 제품 등을 지원 공급하였다.

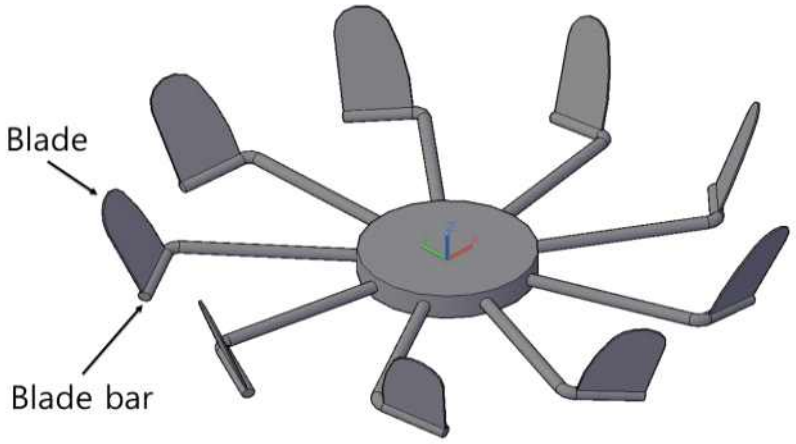
【에너지 절감을 위한 온실 수직 공기순환 팬 최적 설계: 국립한국농수산대학(위탁)】

가. CFD를 이용한 기류변화분석

1) 수직형 공기순환 팬의 CFD 분석을 위한 3D 모델링

본 연구는 수직형 공기순환 팬에 의해 형성되는 온실 내의 기류 특성을 파악하기 위해 CFD 기법으로 유동해석을 수행하였다. CFD분석을 위해 수직형 공기순환 팬 3D 모델링을 실시하였다. 수직형 순환 팬의 3D 모델링은 AutoCAD(ver. 2020, Autodesk, USA)을 이용하여 설계하였으며, 연산을 위한 3차원 격자망 설계를 위하여 상용 소프트웨어인 GAMBIT (ver. 2.4, Fluent Co. New Hampsher, USA)을 사용하였으며, ANSYS FLUENT (ver. 15, ANSYS Inc., PA, USA)를 이용하여 대상 영역에 대한 유체 유동을 해석하였다. 초기 모델은 기존에 국내·외에서 개발된 모델들을 기반으로 각 모델들의 장단점을 분석한 후 모델을 제작하였다. 수직형 공기순환 팬은 일반 공기순환 팬과 다르게 온실 내부의 상부와 하부의 기온차를 줄이는 역할을 하며, 상부의 공기를 하부로 보내고 하부의 공기를 올림으로써 버섯모양의 기류를 생성할 수 있도록 설계하였다.

초기 모델은 날개 개수 9개, 블레이드 각도 23°, 블레이드 바 길이 15.5cm, 블레이드 바 각도 10°, 블레이드 각 면적은 5,785mm²으로 기준으로 설정하였다. 시험 조건은 날개 바 길이는 13.5cm, 15.5cm, 17.5cm, 날개 바 각도는 7°, 10 , 13°, 블레이드 각도 18°, 23°, 28°, 날개 블레이드 면적은 개당 5,785mm²(100%), 7,651mm²(115%)로 분석을 실시하였다.



수직형 공기순환 팬의 CFD 분석을 위한 3D 모델링

2) 수직형 공기순환 팬 CFD 분석

수직형 공기순환 팬의 CFD 분석을 위한 기본 조건 설정은 가상의 유리온실을 기준으로 가로 8m, 세로 8m, 높이 5m로 모델링과 메싱 등의 전처리 과정을 수행하였다. 공기순환 팬의 위치는 유리온실 내부 정중앙에서 높이 3m에 설치하는 것으로 가정하였고 회전 속도는 750rpm으로 설정하였다. CFD 프로그램은 ANSYS 10을 이용하여 분석하였다.

(1) 블레이드 바 각도에 따른 기류 변화

수직형 공기순환 팬에 의해 형성되는 기류의 방향에 영향을 미치는 요인으로는 블레이드 각도, 블레이드 바 각도이며, 풍속과 풍량에 미치는 요인으로는 블레이드 개수, 블레이드 면적, 블레이드 바 길이, 회전 속도가 있다. 기류 변화에 미치는 요인 중 하나인 블레이드 각도에 따른 기류 변화를 분석하였다. 기존 순환 팬(블레이드 개수 9개, 블레이드 각도 23°, 블레이드 바 길이 15.5cm, 블레이드 바 각도 10°, 1개의 블레이드 면적은 5,785mm²)를 기준으로 블

레이드 바 각도를 ±3° 변화를 준 상태에서 CFD 분석을 실시하였다. 블레이드의 면적을 늘렸을 때의 기류 변화를 알아보기 위해 순환 팬의 날개 개수 9개, 블레이드 각도 23°, 블레이드 바 길이 15.5cm인 조건에서 블레이드 크기를 115%로 넓히고 블레이드 바 각도를 7°, 10°, 13°로 하였을 때의 기류 변화를 분석하였다.

(2) 블레이드 바 길이에 따른 기류 변화

수직형 공기순환 팬의 블레이드는 회전운동을 하기 때문에 회전축과 가까운 곳의 선속도(같은 속도로 빙글빙글 도는 운동을 하는 물체에 있어서 어떤 한 점에서의 속도)는 느리고 회전축과 먼 곳은 선속도가 빠르다. 블레이드 길이가 길수록 선속도가 빨라진다. 따라서, 블레이드 바 길이에 따른 기류 변화를 분석하였다.

순환 팬의 날개 개수 9개, 블레이드 각도 23°, 바 각도 10°인 조건에서 블레이드 바 길이 를 13.5cm, 15.5cm, 17.5cm로 하였을 때의 기류 변화를 분석하였다.

(3) 블레이드 각도에 따른 기류 변화

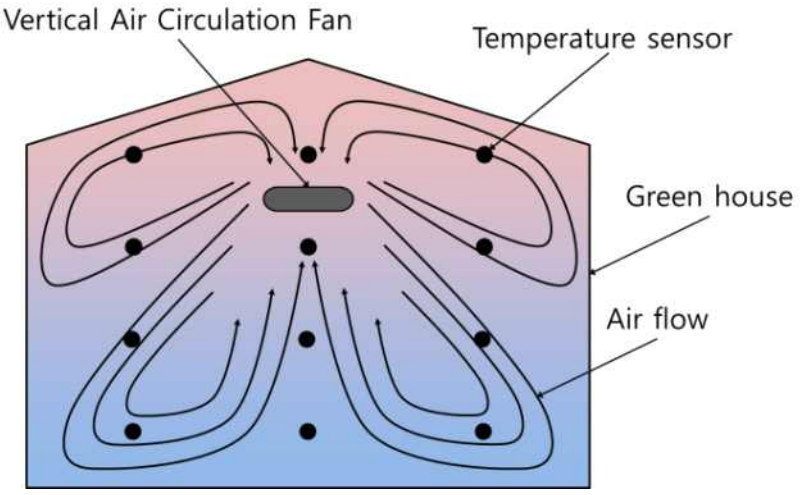
수직형 공기순환 팬의 블레이드 각을 많이 주면 바람은 더 세고 강하게 된다. 블레이드 각도에 따른 기류 변화를 알아보기 위해 순환 팬의 날개 개수 9개, 블레이드 바 길이 15.5cm, 블레이드 바 각도 10°인 조건에서 블레이드 각도를 18°, 23°, 28°로 하였을 때의 기류 변화를 분석하였다.

나. 기류 특성분석을 통한 팬 적정 블레이드 각도 결정

수직형 공기순환 팬 CFD 시뮬레이션 결과 블레이드 각도가 기류의 방향에 가장 크게 영향을 미치는 요소로 분석되었다. 따라서, 블레이드 바 각도가 7°, 10°, 13° 되도록 설정하고 연기를 트레이서로 이용하여 기류의 흐름을 확인하였다. 공기 흐름 가시화를 위한 연기 발생 장치는 연기 분사 장치(Antari, Z-1000II, Taiwan)를 이용하였다. 시험장소는 한국농수산대학 첨단기술센터에서 실시하였다. 기류 형상 촬영 및 분석은 카메라(Sony, RX10, Japan)를 이용하여 동영상을 촬영하였고 촬영된 영상으로 기류 형상을 확인하였다.

다. 실내의 온도변화 경향에 의한 기류 순환 성능 측정

연기를 트레이서로 이용한 기류 특성분석 결과, 블레이드 각도 23°, 블레이드 바 각도 10°가 적합하다고 사료되어 온실에 적용하였을 때의 기류 순환에 의한 온실 온도변화를 측정하였다. 시험은 한국농수산대학 온실(23×14×5, L×W×H, m)에서 실시하였다. 수직형 공기순환 팬은 온실 내 정중앙, 지면에서 3m 높이에 설치하였다. 온도센서(HOBO pro v2, Onset Computer Corp., USA)는 수직형 공기순환 팬을 기준으로 좌·우측으로 2m 간격을 두었으며 좌측, 우측, 중앙에 수직으로 4개씩 설치하였고 각 위치마다 1개씩은 공기순환 팬의 상단으로 0.5m 높이 설치하였다. 시험시간은 온실 내부 온도 차가 가장 높은 12시 30분에 작동시켜 30분 동안 10분 간격으로 측정하였다.



공기순환 팬을 이용한 온도변화 시험 개략도

공기순환 팬을 이용한 온도변화 시험 온실

라. 순환 팬 회전 속도에 따른 소비전력과 회전수 측정

순환 팬의 소비전력은 팬의 토크와 회전 속도에 비례하고, 모터의 효율과 반비례한다. 순환 팬의 소비전력은 순환 팬의 요구 토크와 비례한다. 모터에 전해지는 전압을 조절하면 모터의 토크가 변하면서 회전 속도가 변한다. 모터와 팬의 회전수를 측정해 설계치와 비교하고 순환 팬의 소비전력과 회전수를 측정하기 위해 5단계로 나누어 시험하였다. 시험에 사용한 모터는 수직형 공기순환 팬에 적합한 모터의 조사한 결과를 기반으로 다음 표와 같은 모터를 이용하여 시험하였다. 전류는 테스터기(HIOKI 3280-20, Hioki E.E. Co., Japan)를 이용하여 측정하였고 전력은 전자식 전력량계를 장착하여 각 단계별로 1시간 동안 사용된 전력을 측정하였다.

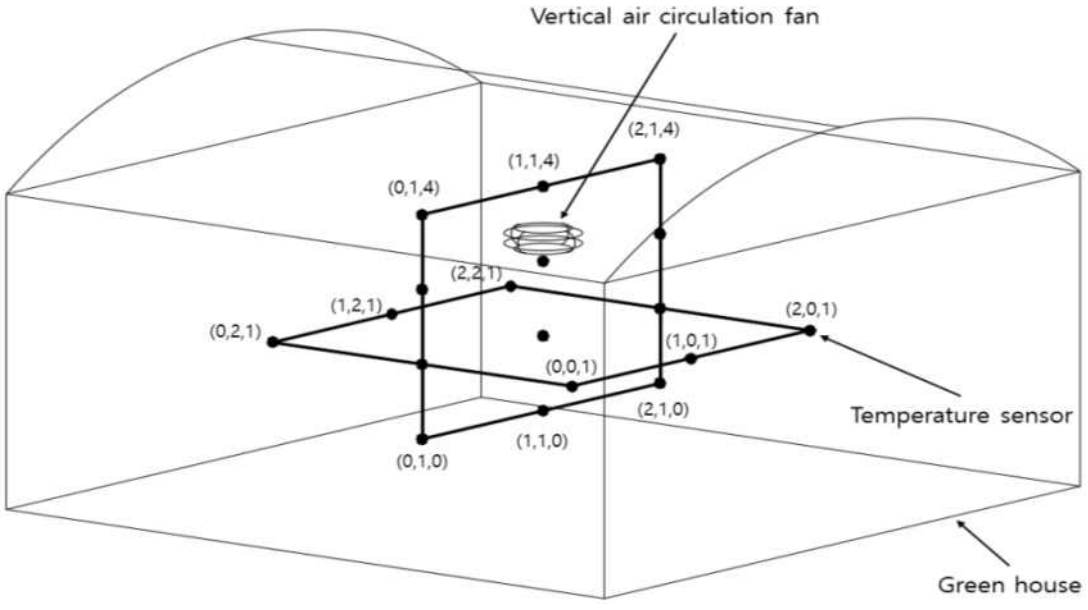
시험에 사용한 모터의 제원

VOLTS	AMPS	WATTS	RPM	HZ	CON	VOLTS	AMPS	WATTS	HZ
220	0.660	91.3	892	60	6.0/450	220	1.36	271	60

시험에 사용된 전자식 전력량계 및 테스터기

마. 순환 팬 가동 유무에 따른 온습도 분포 컨투어맵 작성

컨투어맵은 순환 팬에 의해 생성된 내부 기류에 의해 변화된 내부 온도 분포를 한눈에 확인할 수 있다. 순환 팬 가동 유무에 따른 온습도 분포를 알아보기 위하여 컨투어 평면을 활용한 온실 내부 온도 분포를 분석하였다. 순환 팬 CFD 분석과 연기를 이용한 가시화를 통한 기류 특성 실험 결과를 바탕으로 적합한 수직형 공기순환 팬 모델을 제작하고 온실에 설치하여 온습도 분포를 조사하였다. 시험은 한국농수산대학 내 유리온실(23×14×5, L×W×H, m)에서 실시하였다. 순환 팬 설치 위치는 온실 내 정중앙, 지면에서 3m 높이에 설치하였다. 온도센서(HOBO pro v2, Onset Computer Corp., USA)는 수직형 공기순환 팬을 기준으로 좌·우측으로 2m 간격을 두었으며 좌측, 우측, 중앙에 수직으로 4개씩 설치하였고 각 위치마다 1개씩은 공기순환 팬의 상단으로 0.5m 높이 설치하였다. 수평으로는 상단 좌·우측 및 중앙에 1개씩, 하단 좌·우측 및 중앙에 1개씩 온도 센서를 설치하였다. 온도측정은 주간에 13시부터 16시까지 5분 간격으로 온도측정을 하였으며, 공기순환 팬 작동 시간은 14시부터 30분 동안 실행하였다.



공기순환 팬 및 온도 센서 배치도

3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

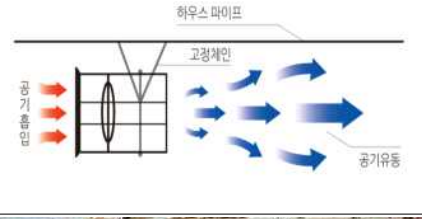
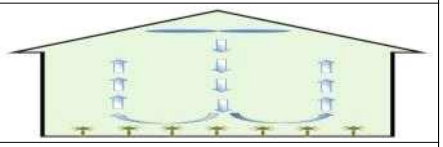
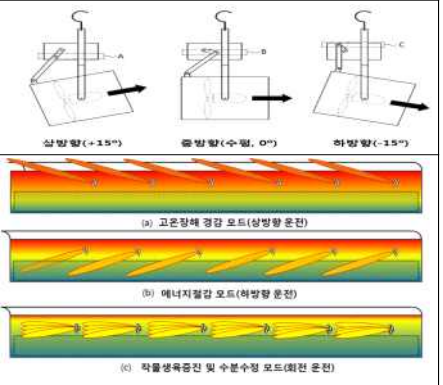
가. 연구수행 결과: 정성적 연구개발성과

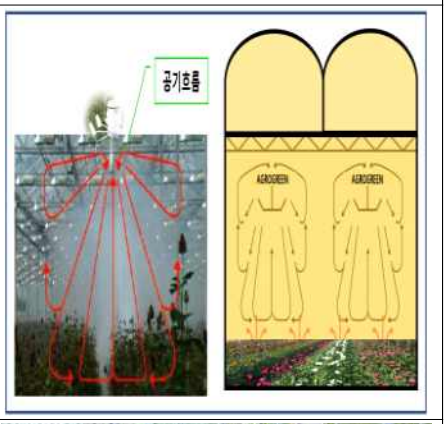
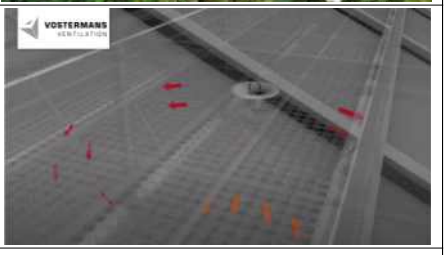
1) 에너지 절감을 위한 온실용 수직 공기순환 팬의 자동화 시스템 개발 및 산업화(아그로그린)

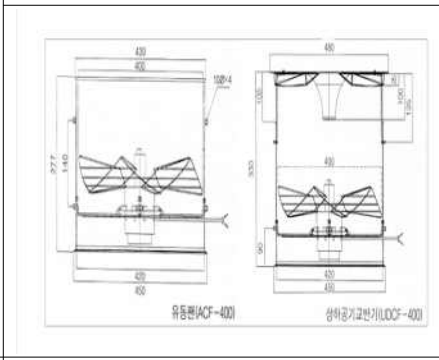
가) 온실 공기순환 팬 설계를 위한 순환 팬 규격, 성능 등 특성 조사 분석

(선행 자료 및 실험을 통한 SPEC 선정)

(1) 국내·외 조사 분석

번호	품명 및 모델	효능 · 효과	제품 사진
①	수평방식 (신안그린테크)	- 온도 하강 - 하우스 내 온도 편차 해소 - 최소한의 수량으로 최대 효과 발생 - 온도 센서를 통한 온도 편차 제어 가능	
②	원주방향 방식 (신안그린테크)	- 상·하 온도 편차를 줄임으로 에너지 절감 - 작물 도장 및 고온장해 예방 - 균등한 양질의 농산물 생산 및 생산성 증대 - 다습으로 발생하는 병해 경감	
③	풍향가변형 공기순환팬 방식	- 일반 공기순환 팬은 수평 설치하여 사용하는 반면 풍향가변형 공기순환 팬은 운용목적에 따라 상 방향, 중 방향(수평), 하 방향, 연속회전이 가능	

번호	품명 및 모델	효능 · 효과	제품 사진
④	유럽(네덜란드)	- 미풍의 잎 동요로 건전생육 - 작물 도장 및 고온장해 예방 균등한 양질의 농산물 생산 및 생산성 증대 - 위에 있는 따듯한 공기를 재사용하여 공기가 안 통하는 부분이 없도록 함 - 건조한 공기를 옮김으로써 위아래 환경을 균일하게 맞춤 - 버섯 모양으로 공기를 빨아들여 밑으로 직접 분사하지 않음 - 소비전력 난방 에너지 절감되며 온실 내 온, 습도 분포가 빠른 시간에 이루어짐 - 온실 내 온, 습도 분포가 빠른 시간에 이루어짐에 따라 식물의 생육 생장 촉진, 환경개선, 고품질, 고소득을 가능케 함	
⑤	수직방식 ㈜에코팜V-FloFan	- 작물에 맞는 미기후생성 - 균일한 온실 환경 유지 - 습도 조절 - 낮고 일정한 대기 속도 - 수직 기류를 통한 에너지 비용 절감 - 원추형 배출구 기류로 최적의 수직 공기 생성 - IP55모터(방수 및 방진) - 저소음(7m에서 45~47 dB)	
⑥	수평방식 ㈜에코팜 질라벡 ZN045	- 경제성 (저에너지소비) - 향상된 바람 방출시스템 (효율적인 공기분배) - 온도 편차 해소 - 제습 효과 - 광합성 촉진 - 곰팡이 방지	
⑦	내부순환 유동팬 수평방식 (㈜선농	- 정체된 공기를 유동시켜 작물의 호흡작용과 증산 작용을 최대화 - 하우스 내의 공기 편차를 최소화 - 국산 성신 모터를 사용함으로써 모터의 불량률을 현저히 낮춤 - 농가 자가 시공이 가능한 제품으로 간편하게 설치 가능	

번호	품명 및 모델	효능 · 효과	제품 사진
⑧	수평방식 씨엔테크S W- SF300	- 최적의 내구성 설계로 다습한 온실 내의 환경을 고려 - 작물에 필요한 풍속(4~5m/sec)으로 소음 최소화 - 대류 형성으로 습기가 작물에 부착하는 것을 방지시켜 온도 편차 해소 - 탄산가스를 순환시키고 공급을 원활하게 하여 촉진 효과를 높임	
⑨	수평방식 (신안그린테크) SGA -04CP	- 온도 하강 - 광합성 촉진 - 하우스 내 온도 편차 해소 - 생육의 균일화	
⑩	수평방식 대동기업사U DCF -400	- 미풍의 공기를 순환시킴으로 실내의 온도 편차를 해소하고 국소적인 고온 상태를 개선 시키는 효과 - 난방장치의 가동으로 인한 실내의 온도 편차를 상하 방향으로 공기를 순환시켜 최소로 줄여줄 수 있고, 야간 가동 시간은 단축되고 연료비 절감 - 장마나 다습으로 인한 공기 정체를 순환시켜 병해 예방효과	 
⑪	수평방식 고풍압 공기 유동팬 (성호산업)	- 온실 내부의 탄산가스를 순환시키고 공급을 원활하게 하여 촉진 효과를 높임으로써 습도를 내려 병해 발생 예방과 온도 편차 해소	
⑫	수평방식 (한일전기) ACFSS-2 50-IP55	- 온도 하강 - 광합성 촉진 - 하우스 내 온도 편차 해소 - 생육의 균일화	

<table>
<tr><th>번호</th><th>품명 및
모델</th><th>효능 · 효과</th><th>제품 사진</th></tr>
<tr><td>⑬</td><td>수평 방식
(㈜대림에너지)
대림 공기
순환팬</td><td>- 하우스 내부의 온도 편차를 줄임(야간 온도를 높이고 주간 온도를 낮춤)
- 하우스 내 이산화탄소를 순환시킴
- 습도를 낮추고 결로 시간을 줄임
- 신선한 외부 공기 유입으로 작물의 물리적 자극을 주어 생육을 균일화함</td><td>
 </td></tr>
<tr><td>⑭</td><td colspan="3">
<table>
<tr><th>회사명</th><th>날개크기
(mm)</th><th>설치형태</th><th>극수
(P)</th><th>소비전력
(W)</th><th>최대풍량
(m3/min)</th><th>회전수
(rpm)</th><th>적용면적
(평/대)</th><th>재질</th><th>소음
(dB)</th></tr>
<tr><td>D1사</td><td>400</td><td rowspan="5">천장설치형</td><td>4</td><td>200</td><td>50</td><td>1780</td><td>50</td><td>Stainless</td><td>15</td></tr>
<tr><td>S1사</td><td>400</td><td>4</td><td>200</td><td>50</td><td>1780</td><td>50</td><td>Stainless</td><td>-</td></tr>
<tr><td>D2사</td><td>400</td><td>-</td><td>200</td><td>37.6</td><td>-</td><td>30~50</td><td>Polypropylene</td><td>-</td></tr>
<tr><td>D3사</td><td>400</td><td>6</td><td>130</td><td>60</td><td>-</td><td>-</td><td>Stainless</td><td>-</td></tr>
<tr><td>S2사</td><td>400</td><td>-</td><td></td><td>67</td><td>-</td><td>40~60</td><td>Stainless</td><td>-</td></tr>
</table>
출처 : 2018. 이태석. 온실 에너지 절감 및 환경개선을 위한 순환 팬 최적 운용기술 연구
</td></tr>
</table>

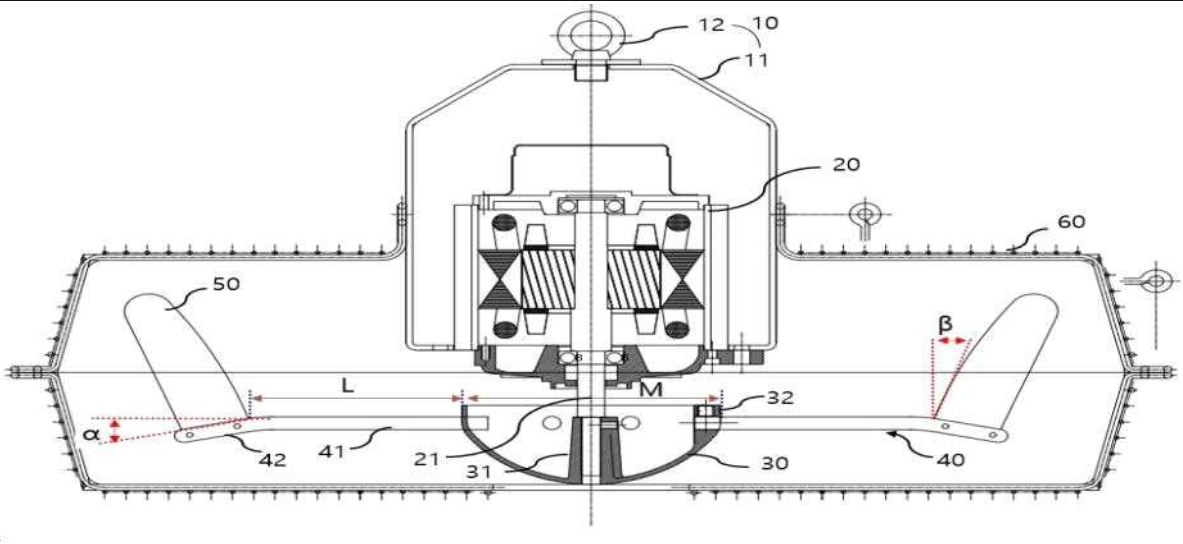
(2) 선행 자료 및 실험을 통한 SPEC 선정

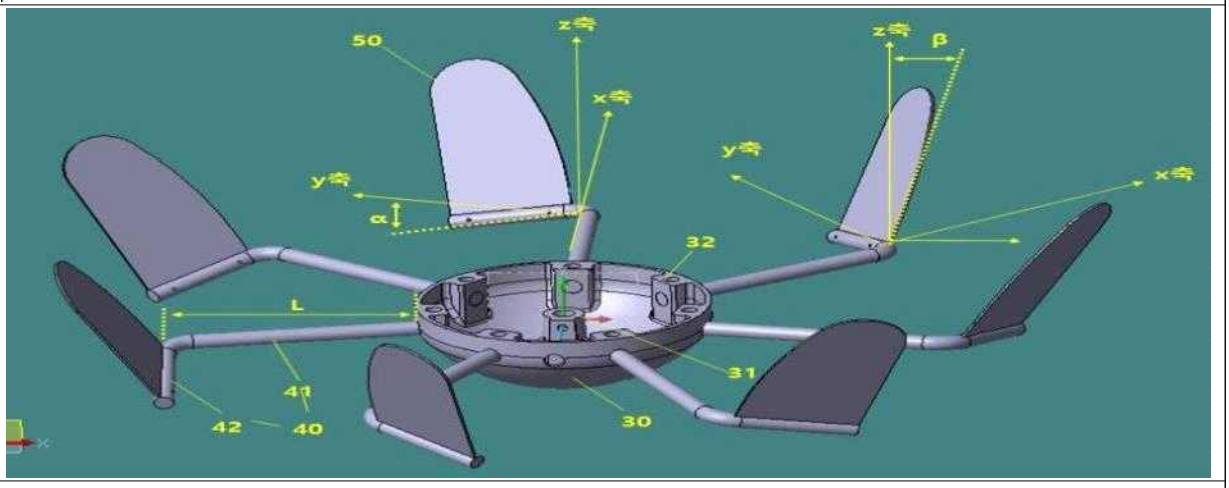
○ 기존에 국내·외에서 개발된 모델들을 기반으로 각 모델들의 장단점을 분석한 후 초기 모델을 선정하였음

○ 기존의 원주 및 수평 순환 방식이 아닌 새로운 공기순환 시스템인 수직형 공기순환 팬은 일반 공기순환 팬과 다르게 온실 내부의 상단과 하단의 기온 차를 평준화시키는 역할로서 상단의 공기를 내리고 하단의 공기를 올릴 수 있도록 버섯 모양의 기류를 생성할 수 있도록 모델링을 실시하였음

○ 세계에서 유일하게 생산 판매하는 수직형 공기순환 팬을 구입 및 분석하여 제품을 국산화함에 기초적인 자료를 축적하였음

○ 수직 팬 구조 및 명칭





Blade(50), Blade Bar 각도(α), Blade Bar 길이(L), Blade 날개 각도(β), 중심 body 길이M(160mm)

<그림 1-1> 설계도 및 명칭

(3) 수직형 공기순환 팬 팬 분석

① 전기적 특성: 주요 측정지표

주요 성능지표	단위	세계 최고 수준(NIVOLA/네덜란드)
최대회전속도	rpm	670
날개 수	개	9
소비전력	W	180~260
소비전류	A	0.9
온도	℃	-25~40
작동 전원		230VAC 50/60Hz
풍 량	m^3/h	5,200

<표 1-1> 주요 측정지표

② 분석을 위한 수직형 공기순환 팬 구입

구입 시 포장 상태

팬 보호망

모터 부분

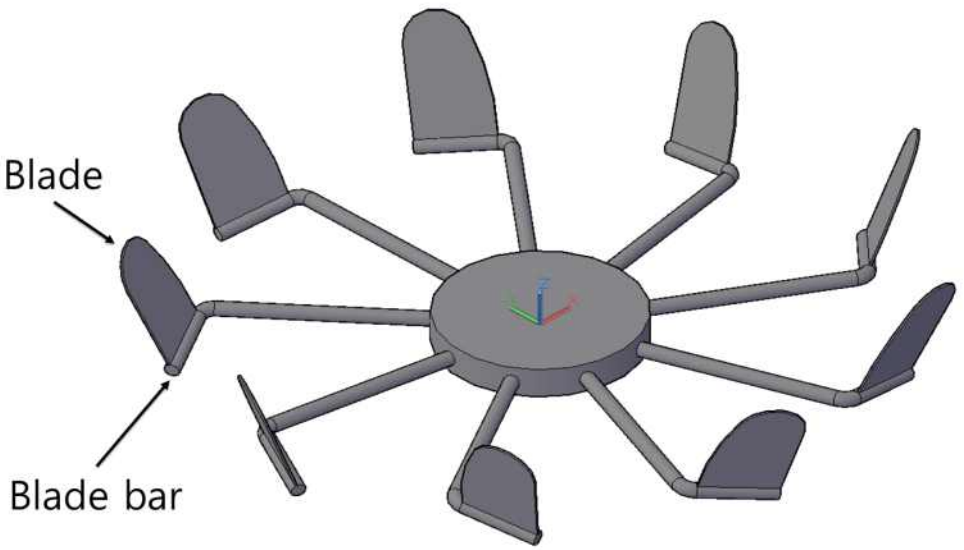
Blade와 날개

조립 완성 시 모습

<그림 1-2> 분석을 위한 수직형 공기순환 팬

③ 수직형 공기순환 팬의 CFD 분석을 위한 3D 모델링

- CFD 분석을 위해 수직형 공기순환 팬 모델링을 실시하였다. 날개 개수 9개, 블레이드 각도 23°, 블레이드 바 길이 15.5cm, 블레이드 바 각도 10°, 블레이드 각 면적은 5,785mm²이었다.



<그림 1-3> 수직형 공기순환 팬 3D 모델링

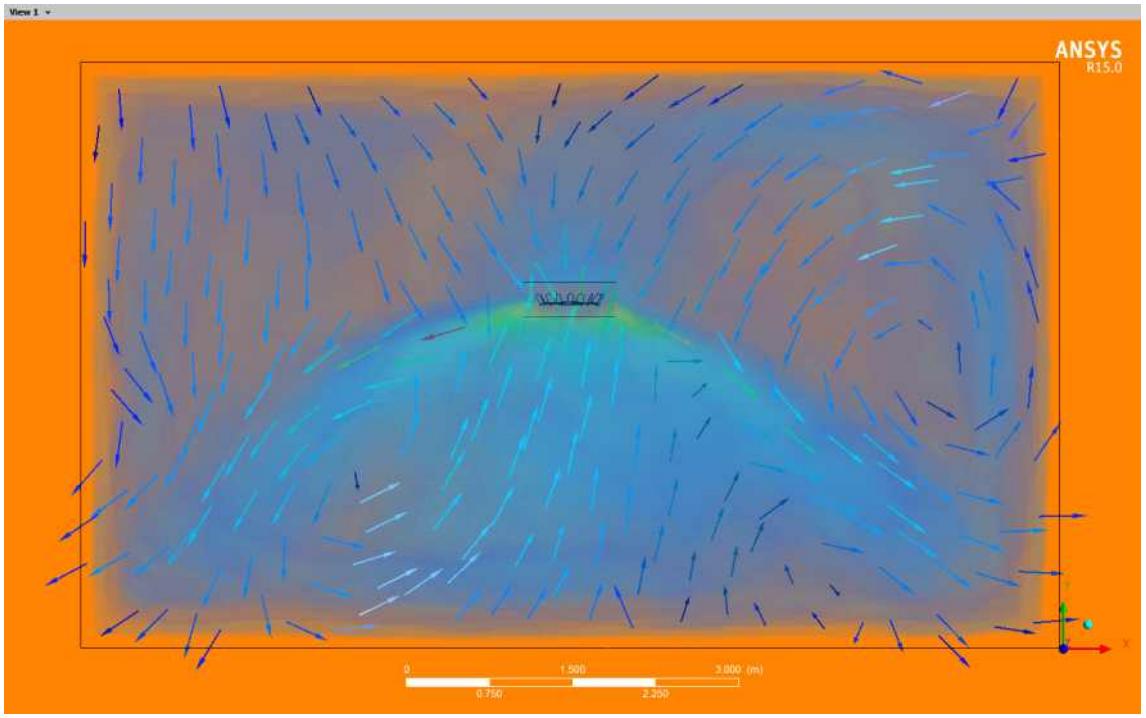
④ 수직형 공기순환 팬 CFD 분석

- 분석을 위한 기본설정은 가상의 유리온실을 기준으로 가로 8m, 세로 8m, 높이 5m로 모델링과 메싱 등의 전처리 과정을 수행하였다. 공기순환 팬의 위치는 유리온실 내부 정중앙에서 높이 3m에 설치하였고 회전 속도는 750rpm으로 설정하였다.

- 블레이드 바 각도에 따른 기류 변화

  오리지날 순환팬(날개 개수 9개, 블레이드 각도 23°±3, 블레이드 바 길이 15.5cm, 블레이드 바 각도 10°, 블레이드 각 면적은 5,785mm²)를 기준으로 CFD 분석을 실시하였다.

- 분석 데이터를 육안으로 확인한 결과 공통적으로 버섯 모양의 기류 형상을 나타났고 순환팬의 기류 방향을 정할 수 있었으며 순환 팬 제작에 기초 자료가 될 것으로 판단 되었다.



<그림 1-4> CFD 분석: 블레이드 각도 : 23°, 바 각도 : 7°

⑤ 결론

- 시험 조건을 선정 할 수 있는 기준을 마련하였다.

  시험 조건은 날개 바 길이는 13.5cm, 15.5cm, 17.5cm, 날개 바 각도는 7°, 10°, 13°, 블레이드 각도 18°, 23°, 28°, 날개 블레이드 면적은 개당 5,785mm²(100%), 7,651mm²(115%)

- 오리지날 순환 팬(날개 개수 9개, 블레이드 각도 23°±3, 블레이드 바 길이 15.5cm, 블레이드 바 각도 10°, 블레이드 각 면적은 5,785mm²)를 기준으로 CFD 분석을 실시하였다.

  또한 수직형 공기순환 팬은 일반 공기순환 팬과 다르게 온실 내부의 상단과 하단의 기온차를 평준화시키는 역할로써 상단의 공기를 내리고 하단의 공기를 올릴 수 있도록 버섯모양의 기류를 생성하였으며 확인할 수 있었다.

나) 빠른 공기 순환을 위한 순환 팬 날개 형상, 날개 수 및 배치 설계

○ 시험 조건 설계

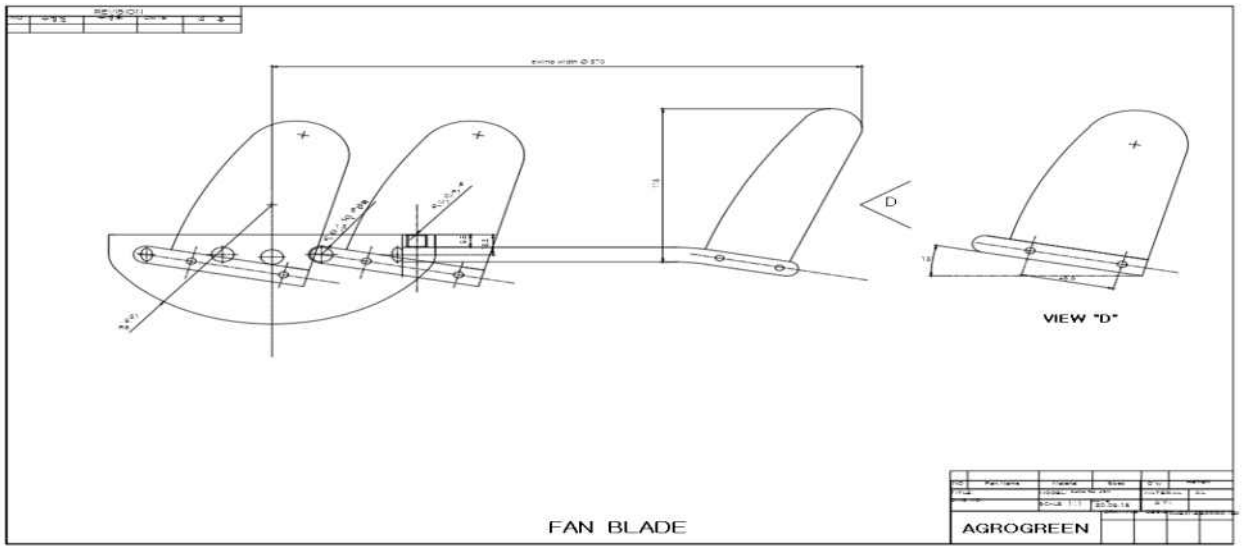
- 수직형 공기순환 팬을 설계하기 위하여 공동위탁 기관인 한국농수산대학(책임자, 김동억 교수) 협의를 거쳐 6가지의 조건(15개 세부 시험)을 협의하였음

번호	시험 조건 및 분석	각도(도)		Blade Bar 길이 (cm)	날개 수량 (개당 면적mm²)	기타
		Blade Bar 각도	Blade 각도			
①	**선행연구에 기준이 된 수직형 공기순환 팬**	10	23	15.5	9(5,785)	CFD 분석은 한국 농수산 대학에서 진행 하였음
②	**(실험 조건 1)** 블레이드 바 각도에 따른 기류 변화	7	23	15.5	9(5,785)	
		10	23	15.5	9(5,785)	
		13	23	15.5	9(5,785)	
③	**(실험 조건 2)** 블레이드 크기 15% 증대 시 바 각도에 따른 기류 변화	7	23	15.5	9(6,653)	
		10	23	15.5	9(6,653)	
		13	23	15.5	9(6,653)	
④	**(실험 조건 3)** 블레이드 바 길이에 따른 기류 변화	10	23	13.5	9(5,785)	
		10	23	15.5	9(5,785)	
		10	23	17.5	9(5,785)	
⑤	**(실험 조건 4)** 블레이드 각도에 따른 기류 변화	10	18	15.5	9(5,785)	
		10	23	15.5	9(5,785)	
		10	28	15.5	9(5,785)	
⑥	**(실험 조건 5)** 블레이드 개수 및 블레이드 크기에 따른 풍속 결과	10	23	15.5	9(5,785)	
		10	23	15.5	7(7,651)	

<표 1-2> 시험 조건 설계

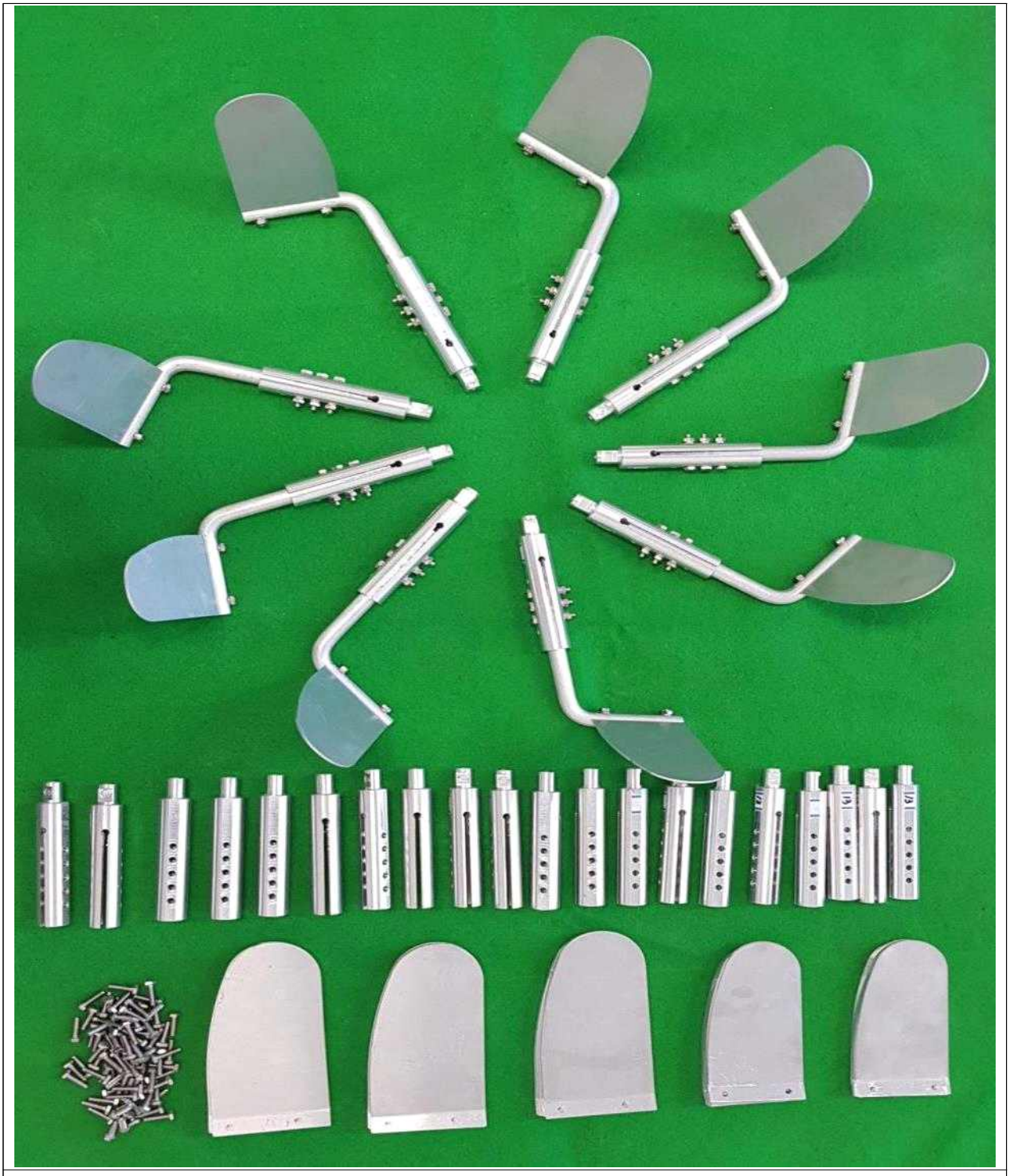
- 위탁기관인 한국농수산대학에서 CFD 분석 및 현장 시험분석 결과 “실험 조건 5”가 적합한 것으로 확인되었음

○ 시험분석을 위한 조건별 제품개발 및 제작



수직 순환 팬 날개 형상: 각도(도) 18, 23, 28 날개 면적mm² :5,785 6,653

수직 순환 팬 BAR(길이 변경13.5, 15.5, 17.5cm) 및 각도(변경 7, 10, 13도)



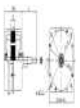
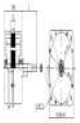
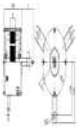
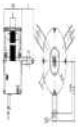
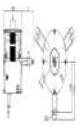
공기 순환을 위한 순환 팬 형상

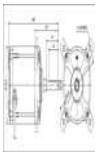
<그림 1-5> 조건별 sample 제작

다) 순환 팬 사양, 규격에 맞는 모터 적정 용량, 모델 선정

○ 시장에서 판매되는 모터를 시장조사 하였으나 적정 용량에 맞추기 어려워 모터를 자체 개발하였음

(1) 시장 판매되는 시장조사

번호	제품		판매업체	규격
	사진	모델		
1		IC-13 no:13825	모터라인	v : 110~240, hz : 60 w : 40~195, rpm: 700~730
2		IC-13 no:13830	모터라인	v : 110~240, hz : 50 w : 55~200, rpm: 700~730
3		IC-13 no:13835	모터라인	v : 110~240, hz : 50 w : 70~230, rpm: 700~730
4		IC-13 no: 13825	모터라인	v : 110~240, hz : 60 w : 40~195, rpm: 700~730
5		IC-13 no: 13830	모터라인	v : 110~240, hz : 50 w : 55~200, rpm : 700~730
6		IC-13 no: 13835	모터라인	v : 110~240, hz : 50 w : 70~230, rpm : 700~730
7		IC-13 no: 13825	모터라인	v : 110~240, hz : 50 w : 40~195, rpm: 700~730
8		IC-13 no: 13830	모터라인	v : 110~240, hz : 50 w : 55~200, rpm: 700~730
9		IC-13 no: 13835	모터라인	v : 110~240, hz : 60 w : 70~230, rpm : 700~730

10			IC-13 no: 13825	모터라인	v : 110~240, hz : 50 w : 40~195, rpm : 700~730
11			IC-13 no: 13830	모터라인	v : 110~240, hz : 50 w : 55~200, rpm : 700~730
12			IC-13 no: 13835	모터라인	v : 110~240, hz : 50 w : 70~230, rpm : 700~730
13			MFM-1581	만승전기	v : 220, hz : 50 w : 200, rpm : 710
14			MFM-1583	만승전기	v : 220 / 380, hz : 50 w : 200, rpm : 710
15			MFM-1783	만승전기	v : 220 / 380, hz : 50 w : 400, rpm : 710
16			MFM-1983	만승전기	v : 220 / 380, hz : 50 w : 750, rpm : 710
17			14625SSJA	티알에스	v : 220, hz : 50/60 w: 118, rpm : 970~990

○ 수직 순환 팬의 Blade 각도 23°, Balde Bar 각도 10°, 블레이드 수 7개(날개 면적(5,785 mm^2))으로 풍속은 5.03m/s를 재현할 수 있는 시장에서 판매되는 유사 모터 모델을 찾기 어려웠음

(2) 모터 개발(MOTOR+ ASSYS)

① 형식 (Type): CONDENSER RUNNING MOTOR FOR CEILING FAN

② 전원 (Powersource): AC220V, 60Hz, 8Pole

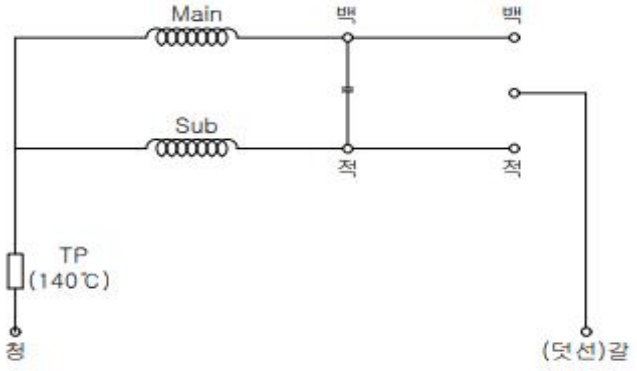
③ 콘덴서 (Condenser): MF 450VAC/6.0㎌, 사각수지, 187REC

④ 전기적 특성 (Electrical Characteristiecs)

특 성 항 목	단위	부 하 (Full-Load)		무부하 (No-Load)	
		표준규격	허용치	표준규격	허용치
전류(Current)	A	1.50	±15%	0.66	±15%
입력(In Put)	W	300	±15%	93.0	±15%
강회전(H Speed)	RPM	535	±50RPM	892	±5RPM

<표 1-3> 전기적 특성

⑤ 결선도 (Connection Diagram)



⑥ 인출선 (Lead Wire): HVSF (0.75㎟×ℓ200±20mm)

⑦ 코드선 (Power Cord): VCTF IEC53 (1.0㎟×ℓ1.5M±50mm)

⑧ 절연등급 (Insulation Class): B종

⑨ 온도상승 (Temperature Rise): At Full - Load
- 권선 (Winding): T 90deg (MAX)
- 철심 (Core): T 90deg (MAX)

⑩ 회전 방향 (Rotation): 시계방향(C.W) & 반시계(C.C.W)

⑪ 온도 과승 보호장치 (Thermal Protector): ST-22 (140℃) or 동품질품.

⑫ 보증수명 (Life): 출고 후 1 Year.

⑬ 소음 (Audible Noise): 50dB MAX.
MOTOR단품으로 정격전압과 주파수를 인가하여 MOTOR전면 50cm 거리에서 소음계 "A" SCALE로 측정하며, 암소음은 25dB 이하로 한다.

⑭ 사용조건 (Shaft Position): Horizontal (From Shaft)

⑮ 절연내력 (Dielectric Strength)
권선과 철심간을 1,800V를 인가하여 1초간 견디어야 한다.

⑯ 절연저항 (Insulation Resistance)
권선과 철심간에 DC 500V의 전압을 가하였을 때 100MΩ 이상일 것.

⑰ 표준시험조건(Standard Test Condition)
온도 20℃, 습도 60%로 한다.

(3) MOTOR TEST DATA

MODEL	RATING	PHASE	INPUT	POLES	RPM	VOLTS	AMPS	WEIGHT	HZ
FAN	CONT	단상	165	8	660	230	0.9	8.6	50
	IP55		0.07kw/ 0.10hp	8	670	230	0.90	8.6	50

① NO - LOAD TEST
② LOCKED-POTOR TEST

VOLTS	AMPS	WATTS	RPM	HZ	CON,V	CON	ROTATION	VOLTS	AMPS	WATTS	HZ
220	0.660	91.3	892	60		6.0/450		220	1.36	271	60

③ FULL - LOAD TEST

SPEED	VOLT	AMPS	WATTS	RPM	HZ	CON,V	ST,VOLT	CONDENSER	비고
1STEP	104	0.402	78.6	217	60				
2STEP	132	0.615	122.4	286	60				
3STEP	161	0.861	174	364	60				
4STEP	180	1.051	216	412	60				
5STEP	220	1.462	300	535	60				

④ TEMPERATURE RISE TEST - deg

CON.	VOLTS	R1(Ω/℃)	R2(Ω/℃)	RUNNING	Nomal	M COIL	HZ	LOAD SIZE
6.0	220	53.89/20	63.5/20	1speed	45.4deg		60	
6.0	220	53.89/20	71.23/20	5speed	81.9deg		60	

⑤ CORE STANDARD 6. WINDING TURNS 7. CONNECTION

PARTS	STATOR	ROTOR
Do/Di	138/85	84.3/20
AirGap		0.30
Length	50	50
Slots	36	45
Skewd		2.0
Material	S-60	S-60
Endring	8x6.5mm	

NOTE - ROTATION : FREE (RIGHT&LEFT)
- LEAD WIRE : HVSF 0.7SQ
- BEARING : (F); #6003RDDZZ (R); #6003RDD

<표 1-4> MOTOR TEST DATA

라) 순환 팬 회전 속도 조절을 위한 전원 공급장치 개발

수직순환 팬의 속도 조절은 Trans를 이용한 전압변경 방식과 반도체를 이용한 방법이 있다. 기존에 많은 제품들이 상용화되어 시중 판매되고 있으나 수직 순환 팬의 용도에 맞게 생산 되는 것은 찾기 어려운 실정이다.

Trans의 권선비 비율 과 반도체인 TRIAC을 이용하여 그린에어팬 회전 속도를 제어했다. Trans의 Type의 경우 최대전력 300W를 제어 할수 있도록 5steps의 전압차를 이용하였고, 반도체의 경우 리니어 방식으로 속도변화를 최대 300W까지 자유롭게 가변할 수 있도록 조정할 수 있도록 설계 제작되었다.

(1) Trans를 이용한 방법

○ CFD분석을 통하여 시험 조건을 변경하여 날개 바 길이는 15.5cm, 날개 바 각도는 10°, 블레이드 각도 23°, 날개 블레이드 면적은 개당 7,651mm²(115%)로 최적의 분석을 실시하였으며 순환 팬의 속도 조절을 통하여 전압변경을 5step으로 하였고 전압 선정 범위는 1step 100V±5, 2step 130V±5, 3step 160V±5, 4step 180V±5, 5step 220V ±5이다. 또한 5step에서 소비전력이 300W로 가장 높게 나타났다. 설계는 자체온도 발생 및 효율 등을 고려하여 280W로 설계 제작하였다.

○ 전류 및 전압 등 장비로는 전류는 테스터기(HIOKI 3280-20, Hioki EE Corp, Japan)를 이용하여 측정하였고 트랜스의 구성으로는 2차 코일에 충실히 전달하기 위해 필요한 것으로 얇은 규소 강판을 여러 장 적층 철심과 코일이 서로 절연되고 물리적으로 고정 시키는 보빈, 일반적으로 에나멜이 입혀진 구리선을 사용하였다.

1. NO - LOAD TEST						2. LOCKED-POTOR TEST					
VOLTS	AMPS	WATTS	RPM	HZ	CON,V	CON	ROTATION	VOLTS	AMPS	WATTS	HZ
220	0.660	91.3	892	60		6.0/450		220	1.36	271	60
FULL - LOAD TEST											
SPEED	VOLT	AMPS	WATTS	RPM	HZ	CON,V	ST,V	CONDENSER		비고	
1STEP	104	0.402	78.6	217	60						
2STEP	132	0.615	122.4	286	60	43					
3STEP	161	0.861	174	364	60	52					
4STEP	180	1.051	216	412	60	48					
5STEP	220	1.462	300	535	60	121					

<표 1-5> step별 전기적 특성

○ 전압변동용 Trans 설계

수직순환 팬의 최대전력을 280W급으로 TRANS를 설계제작 하였다.

1차 전력이 280W는 전압과 전류는 220(V)*1.272(A)이다.

- 내열 클래스: A 종 (허용 최고 온도 : 105°C, 온도 상승한계 : 55°C 이하)
- 해당 기종의 내열 클래스는 A 종 표준

즉 2차 전력 설계는 280W 설정하여 STEP 1-5에 전압, 전류 회전수 등 변경하여 설계 제작하였다.

1차권선은 $N_1 = \frac{\sqrt{2} \times E_1}{2\pi \times f \times A_e \times B_m}$ 의 수식에 의거 소요 전력, 입력전류, 효율, 코어단면적, 코어의 자속밀도, 주파수 등을 적용하여 620턴을 얻게 되었다. 1차권선수 620턴을 설계로 1STEP의 2차전압 104V를 생성하기 위해 2차 권선수 수식

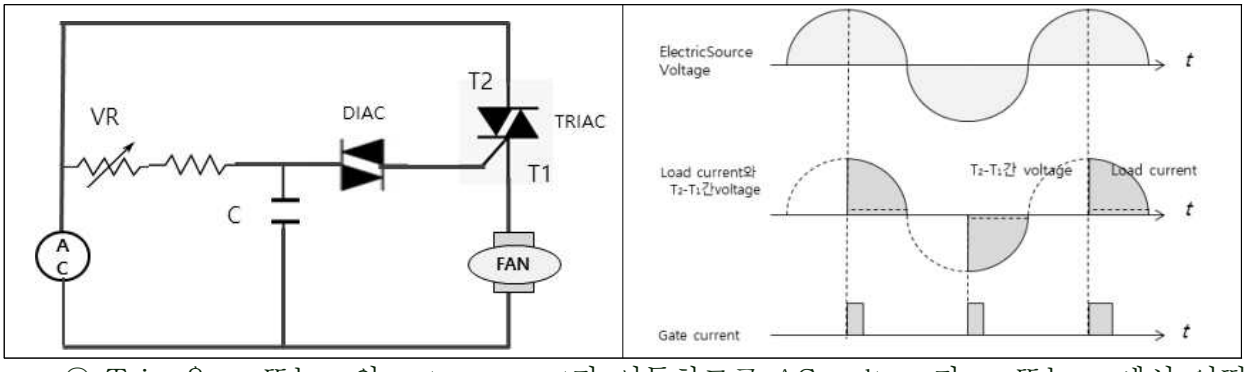
(N2=E2/E1*N1)과 같이 N2=104/220*620으로 151턴으로 설계 제작되었다. 2STEP ~4STEP은 같은 방법으로 2차 권선수를 390, 457, 507턴으로 설계 할 수 있었다. 또한 5STEP은 TRANS를 이용하지 않고 입력 전압을 직접 사용 할 수 있도록 설계 했다.

(2) 반도체를 이용한 방법

○ AC 모터는 320w의 넓은 전력을 생성하고, 간단한 설계로 광범위하게 적용이 가능하다. “그린에어팬” 개발에 AC모터를 적용함으로써 팬의 속도를 전기적으로 제어하여 필요한 풍량 및 온도 조절이 되도록 설계 제작하였다.

○ AC공급 주파수에 의해 모터 속도를 제어하며 고정된 코일의 회전자에 AC전압이 반대편 자기장을 전자기적으로 유도하여 출력 회전 자기장을 생성한다.

○ TRIAC는 3개의 Triode을 가진 AC switch이며 양방향성이다.



○ Triac은 + 또는 -의 gate current가 이동하므로 AC voltage가 + 또는 - 에서 어떤 방향에서든지 ON 상태로 진행 이동한다. 이와 같이 Triac 교류전력을 제어하는 경우에 가장 적합한 반도체로서 현재 우리 주변 및 시장에서 많이 사용되고 있다.

○ Triac의 내압은 통상적으로 반복 OFF 전압 VDRM을 가리킨다.

○ 전류용량은 실효전류로 규정되어 있고 정상전류가 이 값을 초과하지 않도록 디바이스의 전류용량을 설정하였다.

○ Gate 구동하는 트리거 전류 방법은 접합온도 Tj=25℃에서 최대값을 보증, 규정하고 값 이상의 게이트 전류를 흘림으로써 트라이액이 ON 상태로 된다.

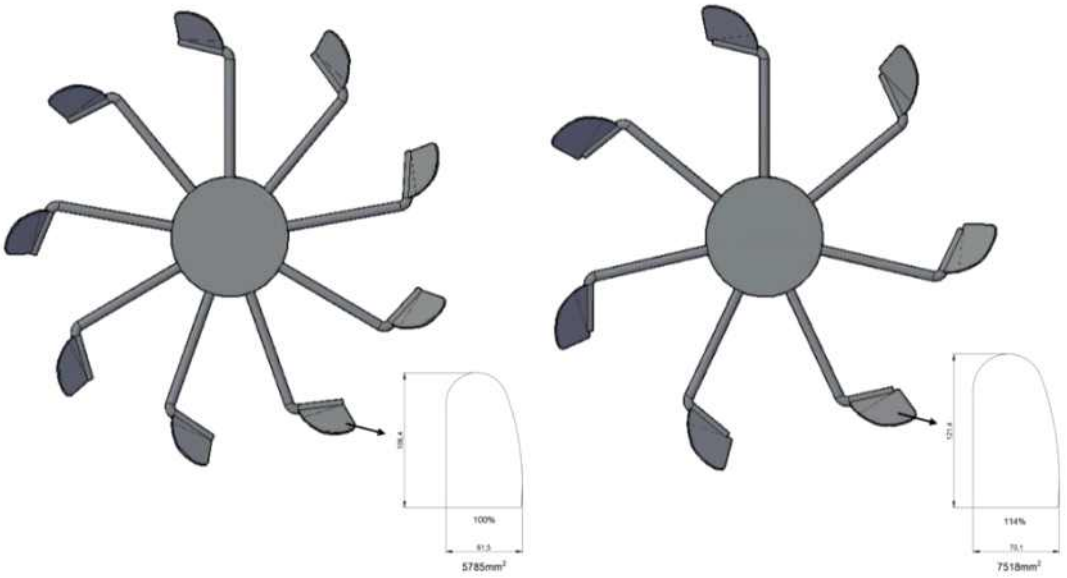
마) 풍량 제어를 통한 최적 풍량 설계

(모터회전 수, 날개 개수, 날개 각도에 따른 소비전력 실험)

○ 팬의 바람의 세기는 날개 개수에 의해서가 아니라 모터의 세기에 따라 달라진다. 날개 개수가 많을수록 바람을 잘게 쪼개어 보내기 때문에 바람이 부드러워진다. 일반적으로 날개 개수가 많을수록 적을수록 날개 각도가 적어 바람은 약해지고 소음이 적어진다. 풍량은 날개의 면적과 관계가 깊으며, 면적이 같고 속도가 같으면 풍량은 같아지게 된다. 회전수가 빠르면 날개 개수가 적고 회전수가 느리면 날개 개수가 많은 것이 일반적이다.

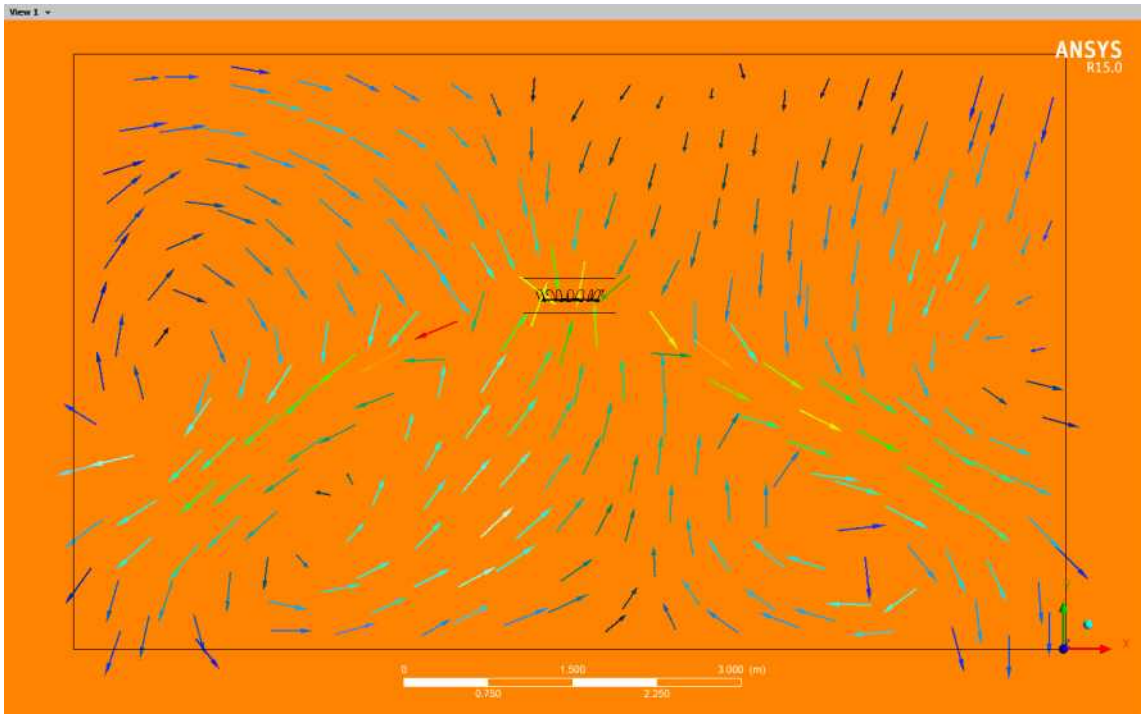
○ 일반적으로 날개 개수를 결정하는 요인에는 여러 가지가 있다. 팬에서 발생하는 압력과 소음, 유량 등의 변수를 맞추어 최적의 상태로 설계한다. 외국에서 시판되고 있는 9개의 날개가 있는 순환 팬의 날개를 7개로 줄이면서 유사한 풍량과 풍속을 구현할 수 있으면 재료, 제작 공정의 단순화를 가져올 수 있다.

○ 9개의 블레이드를 7개로 줄이면서 블레이드의 면적은 블레이드 9개와 동일하도록 계산하여 기존 개당 면적(5,785mm²)에 비해 114%(7,518mm²)로 증대하였다. 또한 기존의 공기순환 팬과 변화된 공기순환 팬을 비교하고 CFD를 이용하여 분석을 실시하였다. 분석방법은 기존의 분석방법과 동일하게 실시하였다.

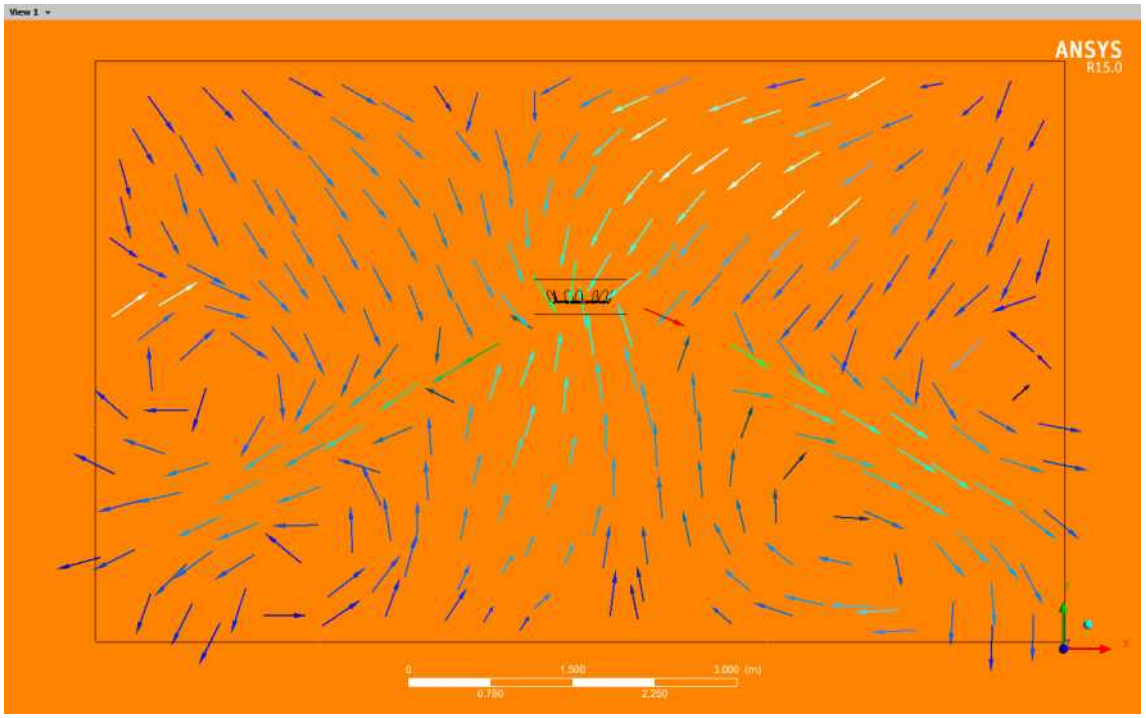


<그림 1-6> 각 공기순환 팬의 3D 모델링 및 팬 블레이드 면적

○ 오리지날 순환 팬과 날개 수를 줄인 블레이드 수 7개 순환 팬을 각각 분석하였다. 두 순환 팬의 기류는 육안으로 비교한 결과 일치하는 것으로 나타났다. 오리지날 순환 팬의 풍속은 5.10 m/s, 블레이드 수 7개, 블레이드 크기 114%인 순환 팬의 풍속은 5.03m/s로 나타났다. 오리지날에 비해 블레이드 수를 줄인 순환 팬의 풍속이 낮은 것으로 나타났으나 이는 0.07m/s로 그 차이가 미미한 것으로 나타나 큰 차이가 없는 것으로 판단된다.



<그림 1-7> 블레이드 크기 : 100%, 블레이드 수 : 9개



<그림 1-8> 블레이드 크기 : 114%, 블레이드 수 : 7

블레이드 각도	바 각도	블레이드 수	블레이드 크기	풍속
23°	10°	9EA	100%	5.10 m/s
23°	10°	7EA	114%	5.03 m/s

<표 1-6> 블레이드 개수 및 블레이드 크기에 따른 풍속 결과

○ 모터 회전수, 날개 개수, 날개 각도에 따른 소비전력 실험

- RPM 측정은 레이저 비접촉 회전수 측정기로 디지털 타코미터(인파로,측정범위: 2,5-9999RPM)를 사용하였다.

① NO - LOAD TEST
② LOCKED-POTOR TEST

VOLTS	AMPS	WATTS	RPM	HZ	CON,V	CON	ROTATION	VOLTS	AMPS	WATTS	HZ
220	0.660	91.3	892	60		6.0/450		220	1.36	271	60

③ FULL - LOAD TEST

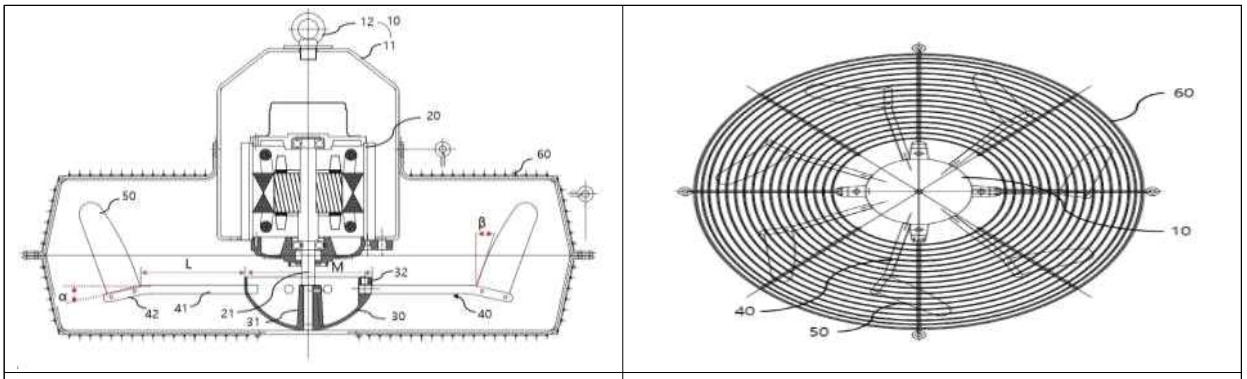
SPEED	VOLT	AMPS	WATTS	RPM	HZ	CON,V	ST,VOLT	CONDENSER	비고
1STEP	104	0.402	78.6	217	60				
2STEP	132	0.615	122.4	286	60				
3STEP	161	0.861	174	364	60				
4STEP	180	1.051	216	412	60				
5STEP	220	1.462	300	535	60				

<표 1-7> 모터 회전수, 날개 개수, 날개 각도에 따른 소비전력 실험

바) 순환 팬 하우징(케이싱) 설계

○ 설계도(2D)는 수직 공기 순환장치의 단면도, 평면도 그리고 허브에 결합된 블레이드 바와 블레이드로 설계하였다.

○ 수직 공기순환 팬은 행거(10), 모터(20), 허버(30), 블레이드 바(bar)(40) 및 블레이드(50)를 포함하고 블레이드 및 블레이드 바와 작업자와의 접촉을 방지하는 보호망(60)을 포함시켰으며 행거(10)는 내측에 모터에 삽입되어 고정되는 하우징(11) 및 하우징 상단에 형성된 고정부(12)를 포함 시켰다. 행거(10)는 스테인레스, 알미늄, ABS 등 공지된 재질로 설계하였다.



수직 공기 순환장치의 단면도 | 수직 공기 순환장치의 평면도

<그림 1-9> 설계도 2D

○ 상기 모터(20)는 소정 경사를 가진 블레이드 바(bar)와 블레이드를 회전시켜 4~6 m/s 풍속으로 허버(30)는 모터의 회전축(21)에 결합되었고 측면 둘레를 따라 블레이드 바(40)가 복수개로 구성 설계하였다.

○ 허버(30)의 중앙에는 회전축이 결합되는 돌출된 삽입부(31)가 형성되고, 내측 측면에는 상기 블레이드 바(40)의 일단이 내측으로 삽입되어 고정될 수 있는 고정부(32)로 설계하였다. 허브(30)의 직경(M)은 13~20cm이다.

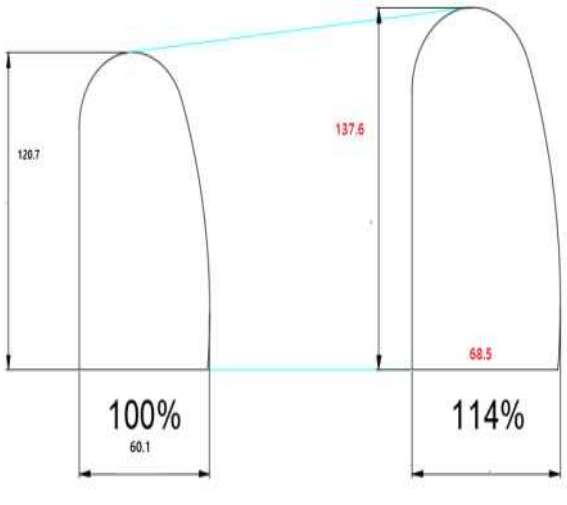
○ 블레이드 바(40)는 제 1 바(bar)(41) 및 제 2 바(bar)(42)를 로 설계되었고 제 1 바(41)는 허버의 측면 둘레를 따라 수평 방향(x축 방향)으로 결합된 바(bar)이다. 여기서, x축 방향(바의 수평방향)은 지면과 평행하고, 상기 허브의 고정부(32)에 결합된 제 1 바의 일단부에서 타단부로 연장되는 방향이다.

○ 여기서, y축 방향은 x축과 동일평면상에 위치하는 x축의 수직축이다. z축 방향은 x축과 y축으로 형성되는 평면과 수직인 축이다.

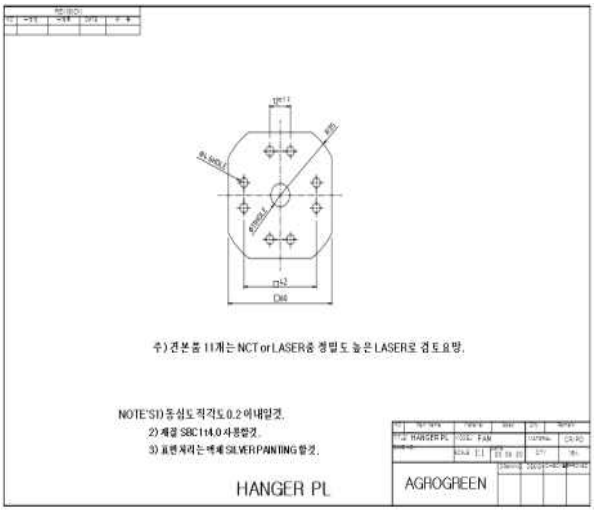
○ 제 1 바(41)의 길이는 15~16cm이고 제 2 바(42)는 상기 제 1 바의 단부에 결합되되, 상기 제 1 바(bar)로 규정되는 x, y 평면에 수직방향((-)z축 방향)으로 소정각도(α) 기울어진다.

○ 제 2바의 소정각도(α)는 9~11°이고 소정각도(Θ)는 12~14°이며 제 2 바(블레이드 바)(42)가 상기 범위일 때, 흡입된 공기가 방사방향(모서리 측면 방향)으로 향하면서 풍속도 9° 미만인 경우보다 높다. 제 2 바의 각도가 9° 미만이면 공기가 직하부로 배출되면서 풍속도 낮아진다.

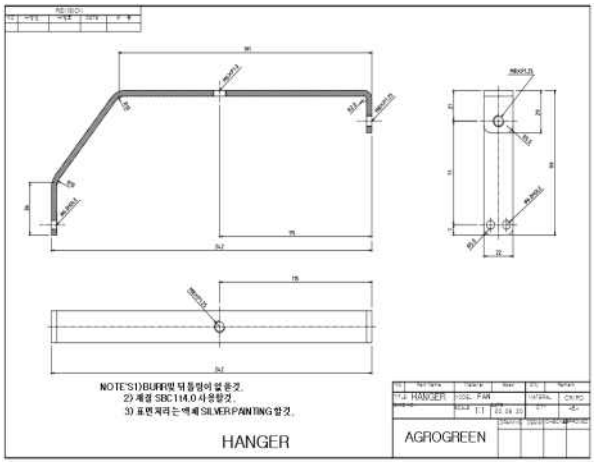
○ 블레이드(50)는 제 2 바(bar)에 고정되되, (+)z축 방향에서 x축 방향으로 소정각도 (β) 기울어지고, z축 방향은 제 1 바(bar)로 규정되는 x, y 평면에 수직인 방향이다. 블레이드의 소정각도(β)는 20~25°이면 풍속 5~6m/a이 유지될 수 있다. 블레이드는 일면의 표면적이 7300㎟~7800으로 7개의 블레이드를 구성 설계하였다.



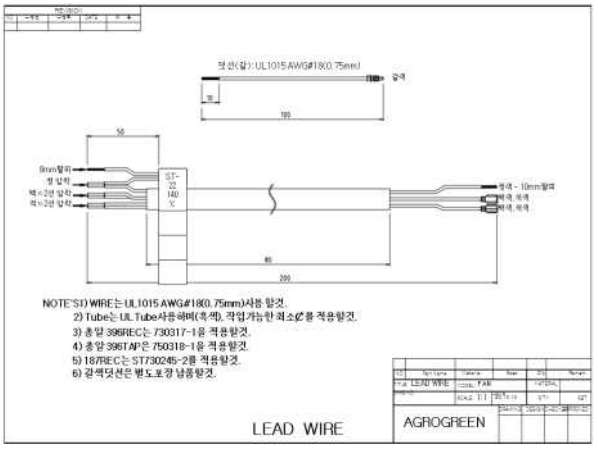
블레이드 변경사항



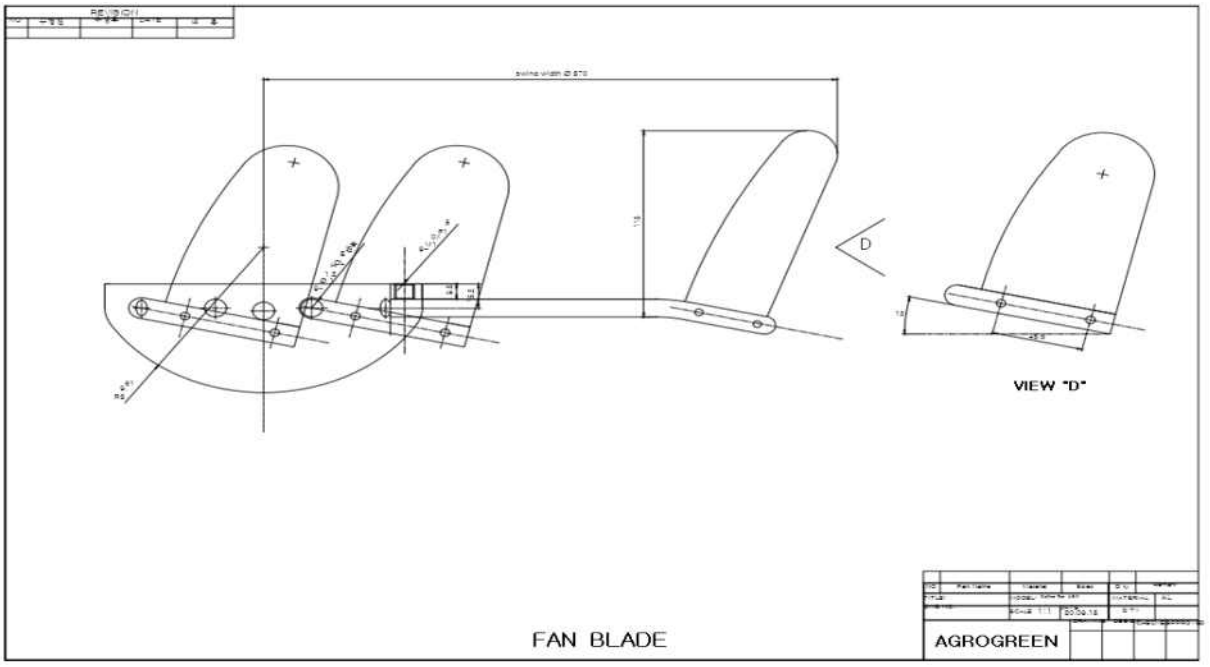
HANGER PL



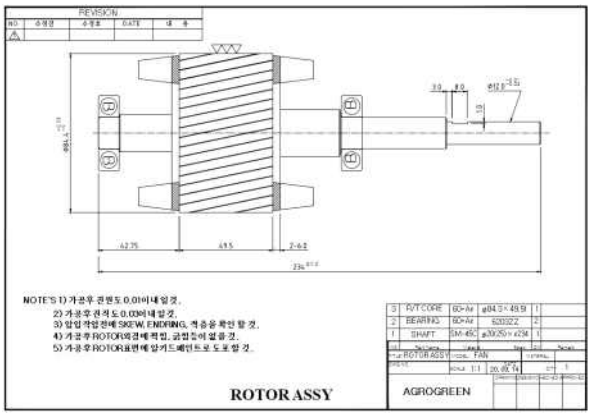
HANGER



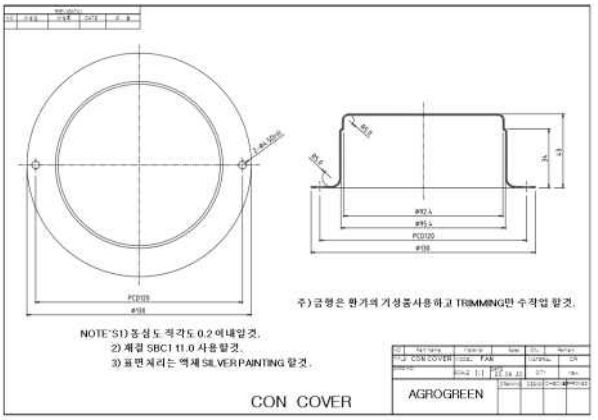
LEAD WIRE



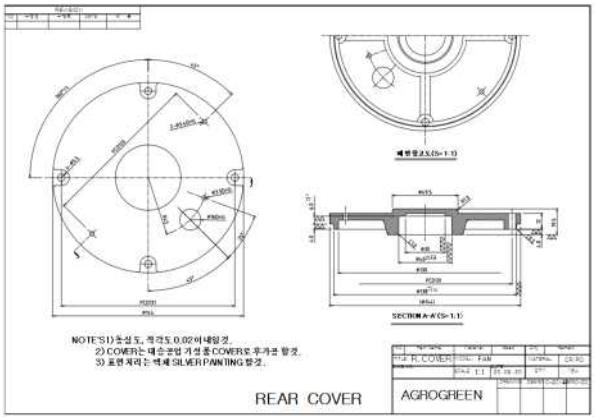
FAN BLADE



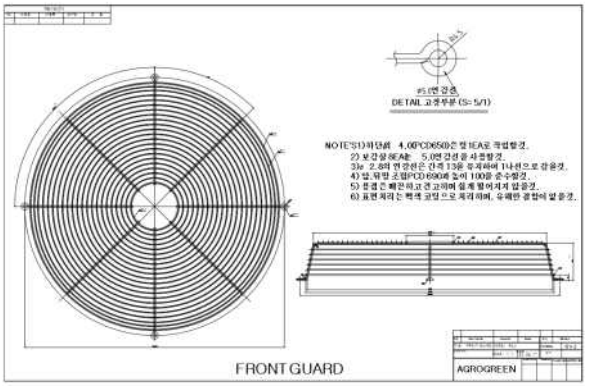
ROTOR ASSY



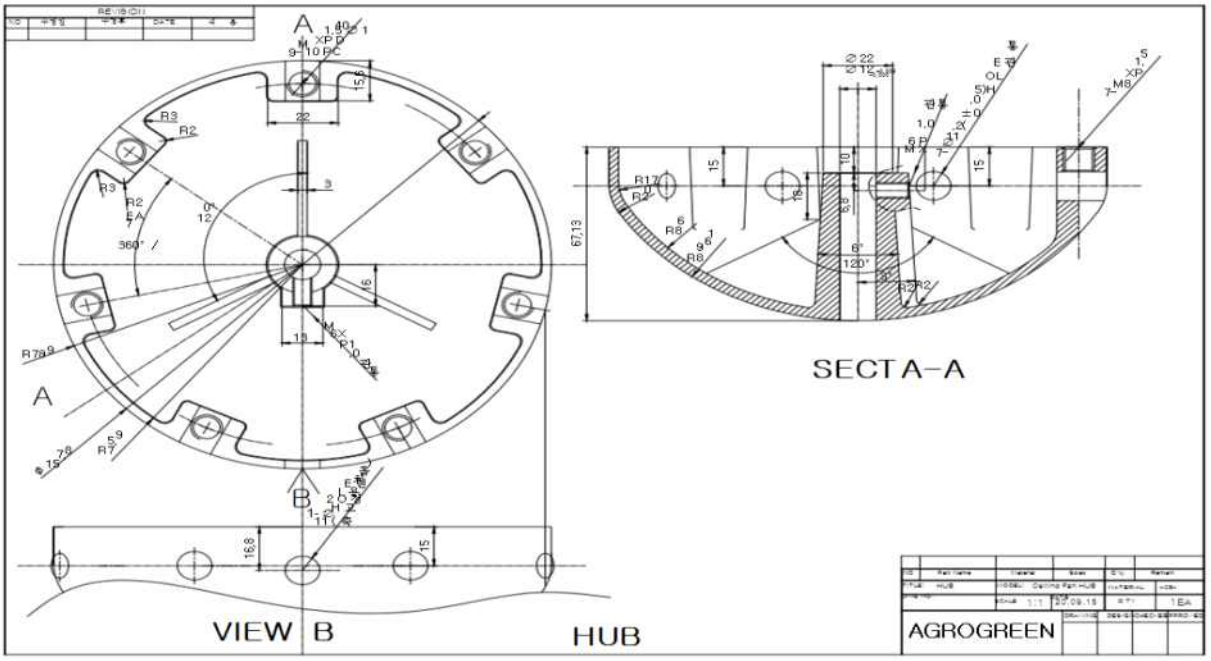
CON COVER



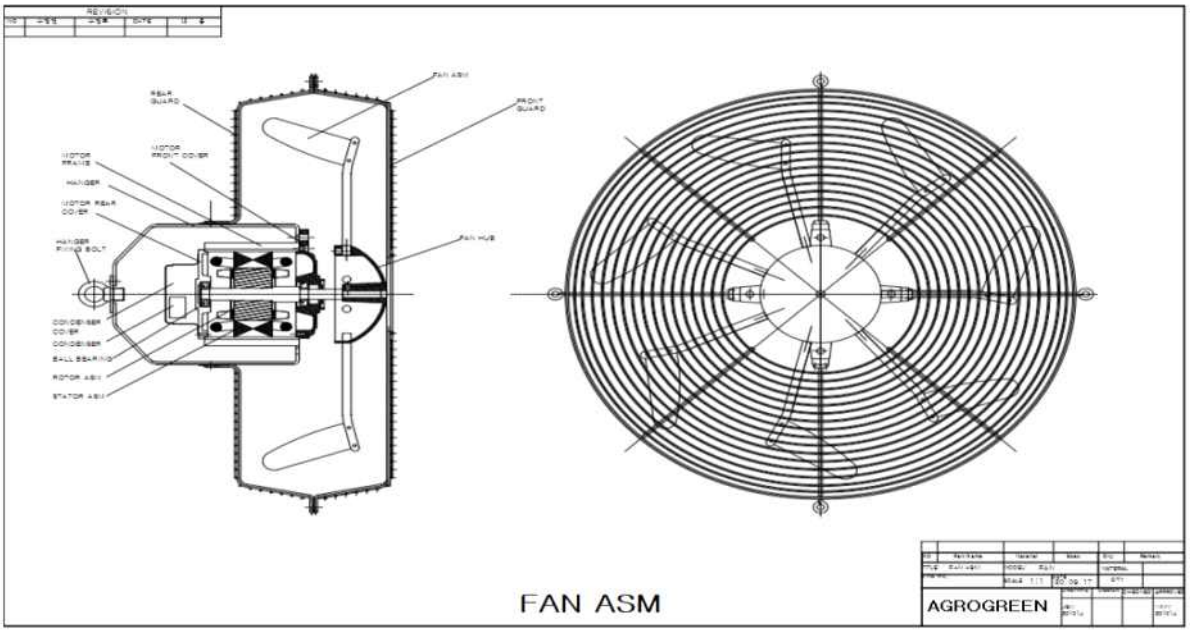
REAR COVER



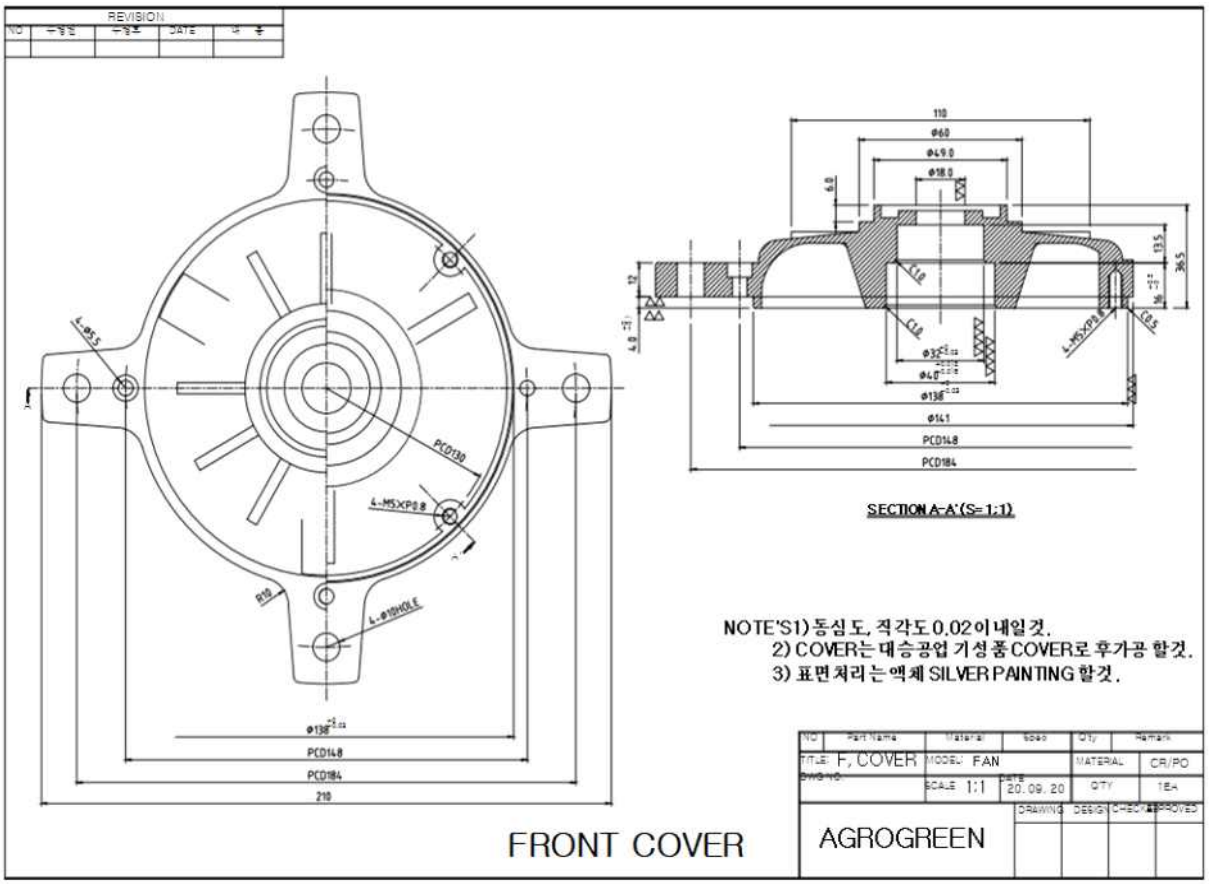
FRONT GUARD



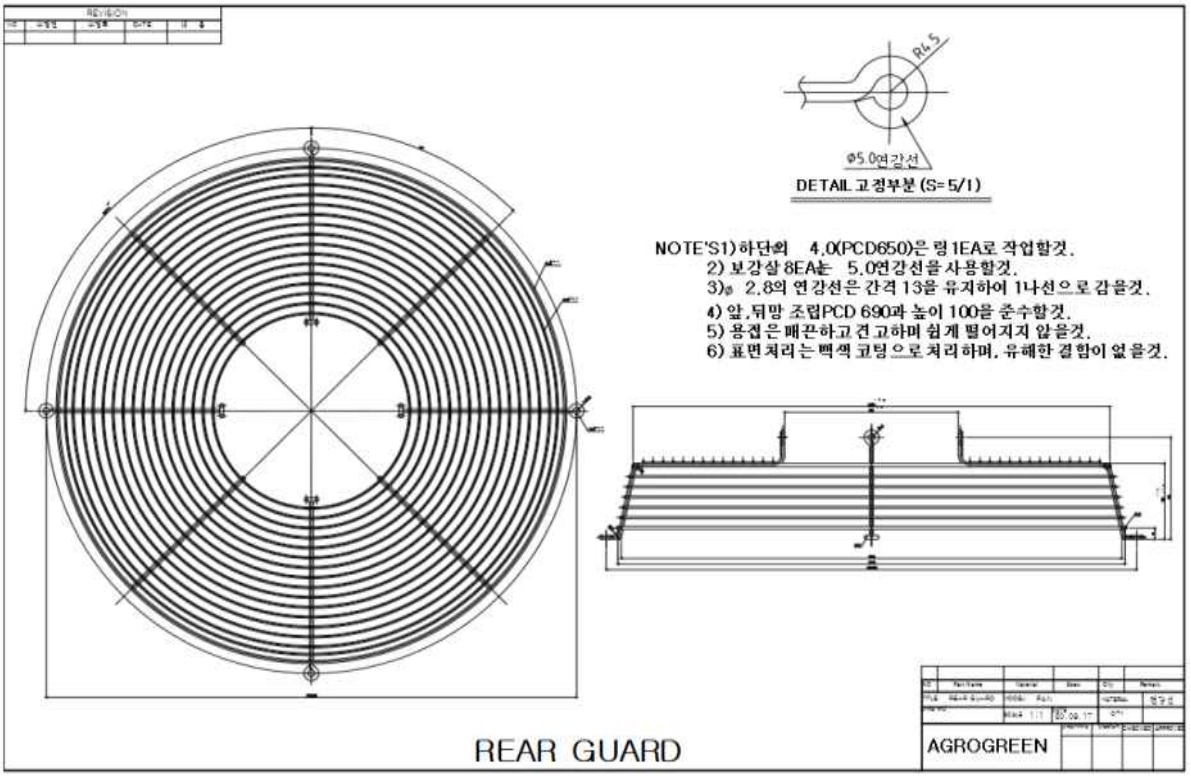
HUB



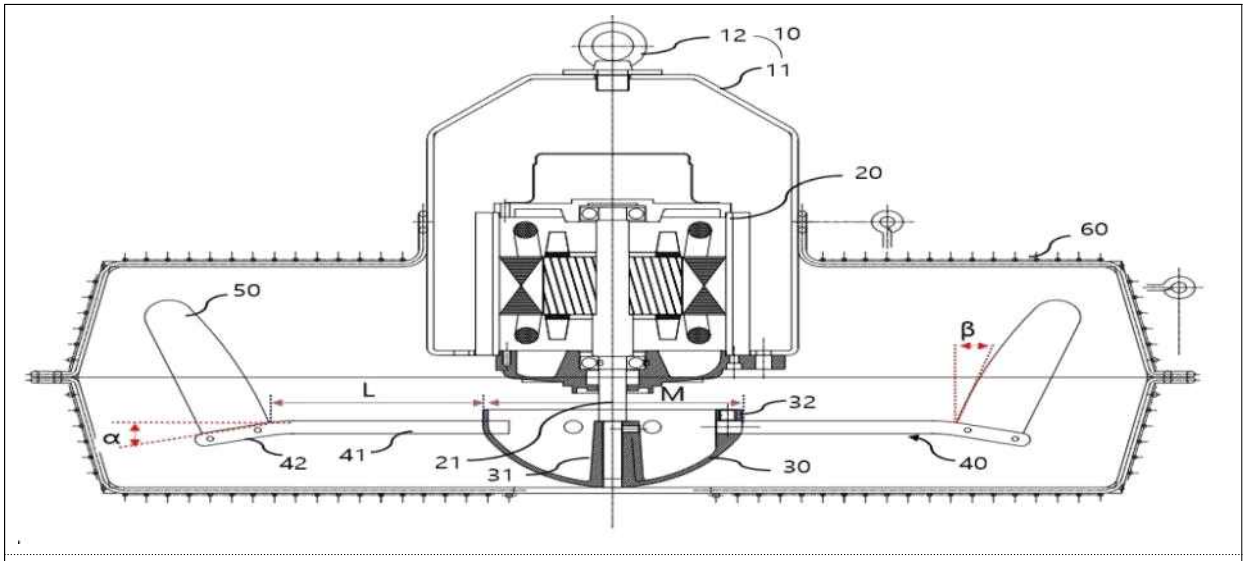
FAN ASM



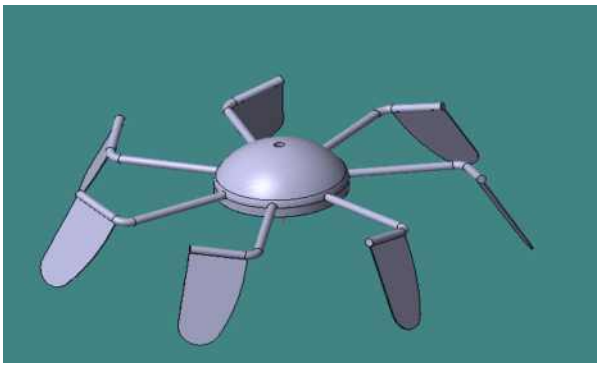
FRONT COVER



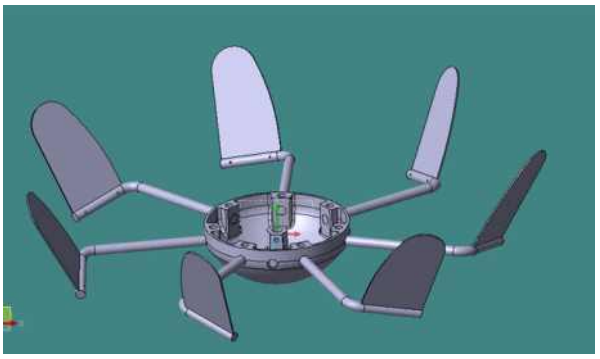
REAR GUARD



MOTOR



수직 팬 형상(TOP VIEW)



수직 팬 형상(BOTTOM VIEW)

<그림 1-10> 설계도

사) 공기순환 팬 시작기 제작 및 성능실험

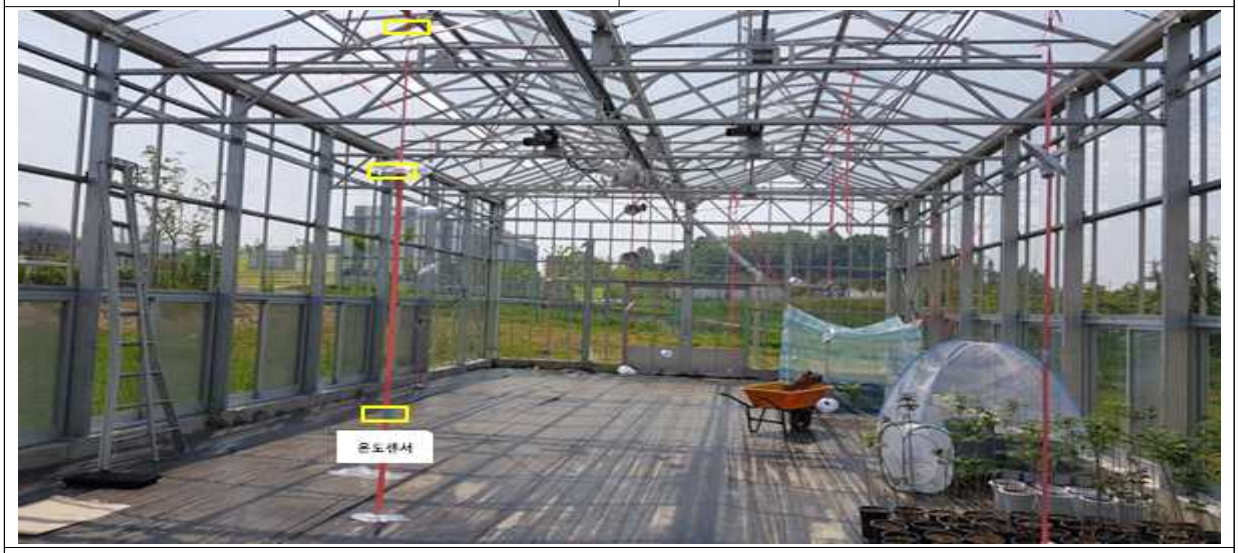
(온실 100평 기준 풍량 설계 및 적정 펜 수량 실험)

○ 온실 실내 온도변화 실험

기류 분석 실험 및 블레이드 개수 실험을 토대로 블레이드 각도 23°, 블레이드 바 각 도 10°, 블레이드 개수 7개(개당 면적 7,651mm²)를 이용하는 것이 적합하였고 상기 조건으로 제작된 공기순환 팬을 이용하여 온실에서의 온도변환을 측정하였다.

시험은 한국농수산대학 온실(23*14*5, L*W*H, m)에서 실시하였다. 수직형 공기순환 팬은 온실 내 정중앙, 지면에서 3m 높이에 설치하였다. 온도센서(HOBO pro v2, Onset Computer Corp., USA)는 수직형 공기순환 팬을 기준으로 좌·우측으로 2m 간격을 두었으며 좌측, 우측, 중앙에 수직으로 4개씩 설치하였고 각 위치마다 1개씩은 공기순환 팬의 상단으로 0.5m 높이 설치하였다. 시험시간은 온실 내부 온도 차가 가장 높은 12시 30분에 작동시켜 30분 동안 10분 간격으로 측정하였다.

초기 내부 온도는 상단이 26.2℃, 하단이 24.8℃로 1.4℃ 차이가 났으며 공기순환 팬 작동 후에는 상단이 24.1℃, 하단이 23.5℃로 0.6℃ 차이로 나타나 상·하단의 온도 차가 줄어든 것으로 나타났다. 온도 센서 수직 데이터에서는 공기순환 팬 작동 10분 후 내부 온도 차가 조금씩 좁아지는 경향이 나타났으며 30분 후에는 내부 온도가 균일화된 것으로 나타났다.

<table>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td>완성된 수직형 공기순환 팬 전면</td><td>완성된 수직형 공기순환 팬 후면</td></tr>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td>하우스 설치</td><td>보호망 제거된 완성된 수직형 공기순환 팬</td></tr>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td>작업장 설치</td><td>가축 사육장 설치</td></tr>
<tr><td colspan="2">  </td></tr>
<tr><td colspan="2">공기순환 팬을 이용한 온도변화 시험 온실</td></tr>
</table>

<그림 1-11> 성능시험

아) 온·습도 및 IoT 이용한 제어장치의 종합 설계 및 제작

IOT를 설계제작에 있어서 서버를 구축하고 있는 회사(다원)와 협업하여 원격제어에 필요한 SPEC을 서로 공유하여 제작할 수 있었다. 세부내용으로는

○ WIFI Connection

원격제어, 스케줄 설정, 일괄제어까지 기능이 있다.

○ 스케줄 설정

스마트폰 앱을 사용하여 예약 설정한 일정/ 시간에 따라 그린에어팬의 On/Off 제어를 할 수 있다.

○ 실시간 소비전력량 확인

연결되어 사용 중인 그린에어팬의 실시간 소비전력량을 스마트폰 APP에서 확인할 수 있다.

○ 일괄제어

스마트폰 앱의 일괄제어 기능을 사용하여 여러 개의 그린에어팬을 한번에 On/Off 제어 할 수 있다.

○ 원격제어 화면

<그림 1-12> IOT DISPLAY

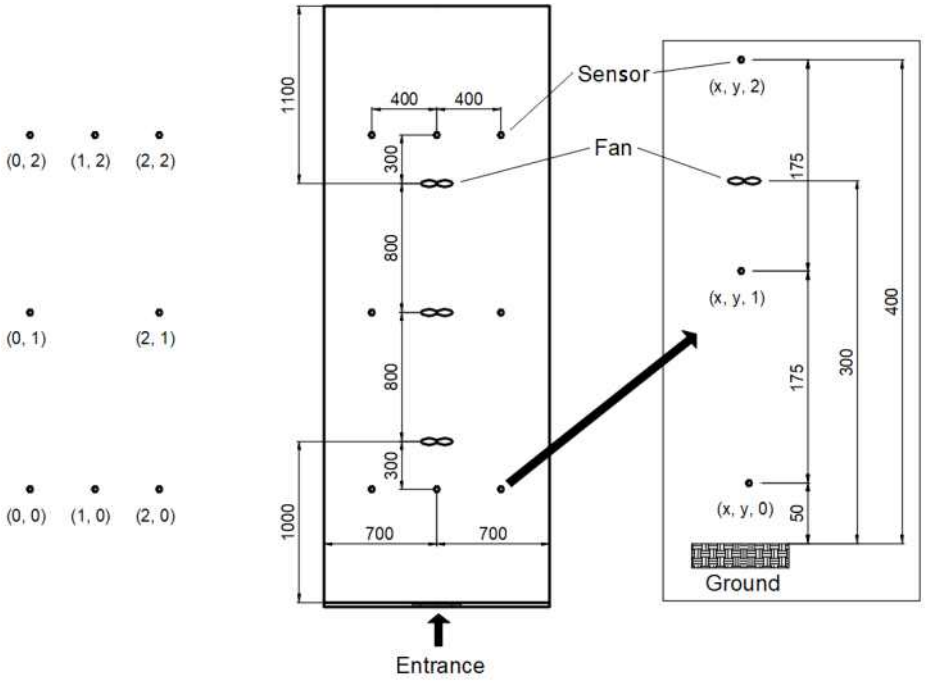
○ IOT적용 방식은 안드로이드폰 전용 App임

자) 수직 공기순환 팬 현장적응시험

(1) 동절기 수직형 공기순환 팬 가동에 의한 온실 내 온습도 분포 균일화

(가) 재료 및 방법

○ 수직형 공기순환 팬 현장성능실험은 한국농수산대학 2연동 플라스틱 온실(37*14*6, L*W*H, m)에서 2021년 11월 17일부터 21일까지 5일간 수행하였다. 히트펌프 냉난방기의 온실 난방온도는 20℃로 설정하였다. 온실 난방 공기열 히트펌프의 제원은 Table 1과 같으며, 용량은 9.3kW(12RT)이며 열 분배는 온실 상부에 설치한 덕트를 통해 이루어졌다. 수직형 공기순환 팬은 온실 내부 중앙, 정면, 후면에 1대씩 설치하였으며, 순환 팬은 8m 간격으로 설치 높이는 지면에서 3m에 설치하였다.



<그림 1-13> The position of temperature measuring points and fans

<그림 1-14> View of the experimental greenhouse

Product name	Ceiling type indoor unit	
Function	Combined heating and cooling	
Model	AM083FNMDBH1	
Power Specifications	220V, 60Hz	
	Cooling	Heating
Performance	8.3kW	9.3kW
Power Consumption	220V	220V
Driving current	1.47A	1.47A
Refrigerant	R-410A	

<표 1-8> Specifications of heat pump system

○ 온습도 분포 측정을 위한 온습도 센서는 HOBO pro v2 U23-001A(Onset Computer Corp., USA)를 사용하였고 제원은 Table 2와 같다. 온습도 센서의 수평 배치는 입구 좌측 센서를 0,0으로 좌표를 정하고 좌우 간격 4m, 앞뒤 간격 11m로 배치하였고 온습

도 측정은 5분 간격으로 하였다. 측정한 데이터는 온습도 센서 내 메모리에 저장되며 전용 리더기(Base U-4, Onset Computer Corp., USA)를 통해 데이터를 노트북으로 취득하였다. 수직 높이에 따른 온습도의 차이를 측정하기 위한 센서는 각 위치마다 지면에서부터 0.5m(온실 내부 베드 높이가 0.25m이며 작물 하단부의 높이를 기준으로 0.5m로 설정함), 2.25m, 4m 높이에 1.75m 간격으로 온습도 센서를 설치하였다. 2.25m 높이는 온실에서 유인 재배하는 토마토, 오이, 멜론 등의 초장 높이에 해당한다. 따라서 작물의 생장점 부근의 온습도와 작물 하부의 온습도를 측정하였다.

HOBO pro v2 U23-001A	
Operation Range	-40° to 70°C (-40° to 158°F)
Real-time Clock	±1 minute per month 0° to 50°C (32° to 122°F)
Battery	1/2 AA, 3.6 Volt lithium, user-replaceable (HP-B)
Battery Life	3 years with 1 minute or greater logging interval
Memory	64K bytes memory (approx. 21,000 temperature and RH measurements)
Cables	No cables
Launch Modes	Immediate start; delayed start
Offload Modes	Offload while logging; stop and offload

<표 1-9> Specifications of temperature and humidity sensor

○ 시험 방법은 온습도 측정은 18:00부터 5일간 측정하였으며, 1일차에 커튼 열은 상태에서 순환 팬 3개 작동, 2일차에 차광 커튼을 닫고 순환 팬 3개 작동, 3일차에 보온 스크린, 차광커튼을 닫고 중앙 순환 팬을 제외한 2개 순환 팬 작동, 4일차에 보온 스크린, 차광커튼을 닫고 순환 팬 미작동, 5일차에는 보온, 차광 커튼을 닫고 순환 팬 3개를 작동시키면서 시험하였다. 시험 데이터는 온실 내부 출입이 없는 야간 19시부터 다음날 06시까지 추출하여 온습도 변화를 비교 분석하였다.

<그림 1-15> View of the vertical air circulation fan installation for improving air temperature distribution in greenhouse

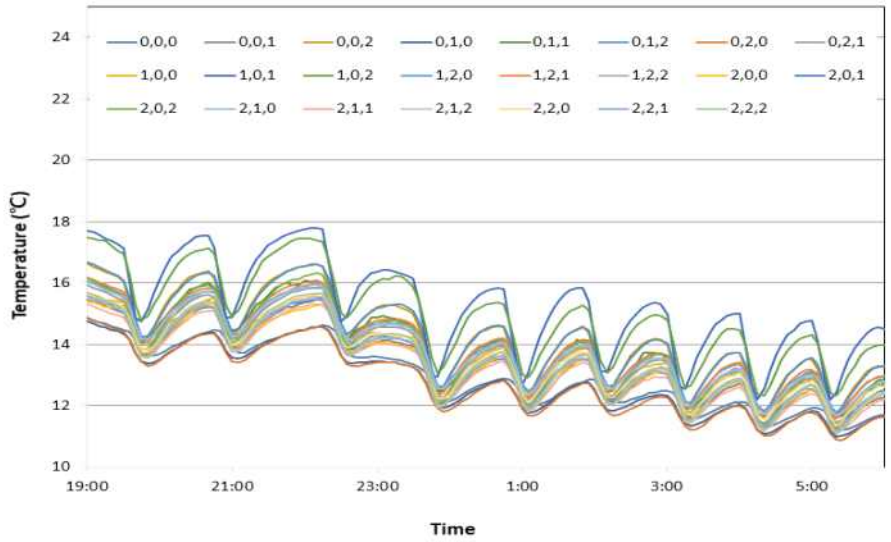
<그림 1-16> Sensors for analysis of air temperature distribution in greenhouse

(나) 실험결과

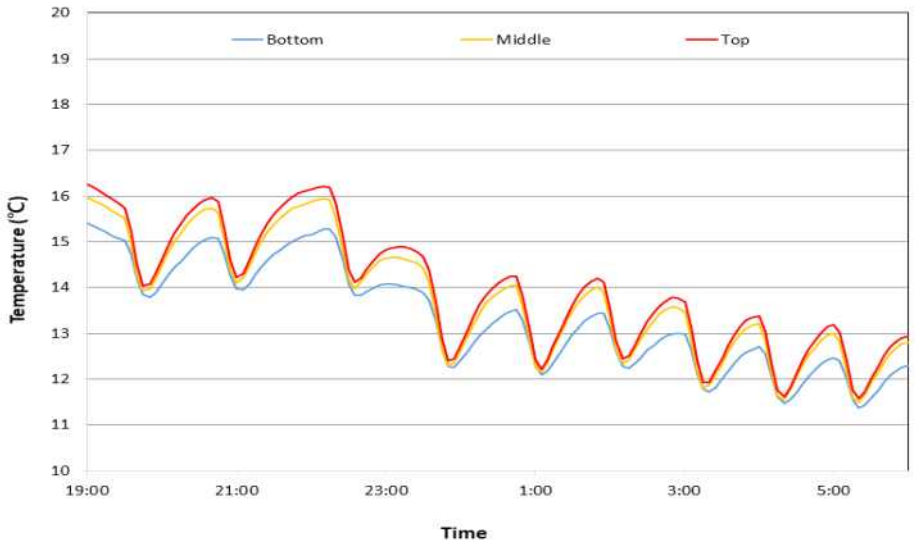
① 커튼 개폐 유무, 순환 팬 가동 유무에 따른 온습도 변화 분석

㉠ 커튼을 열고 순환팬 3개를 가동한 경우 실내 온도변화

○ 수평 커튼을 열고 공기순환 팬 3개를 작동하여 시험한 결과 최고 온도는 17.8℃, 최저 온도는 13.7℃, 최대 온도차는 6.91℃로 나타났으며, 평균 온도는 13.7±1.39℃로 나타났다. 난방기의 작동 여부에 따라 온도변화가 변화하였으며 육안으로 확인 가능할 정도로 그 차이는 크게 나타났다. 그렇지만 커튼의 열림에 따른 열손실이 많아 전체적으로 설정 온도에 도달하지 못하고 지속적으로 온도가 낮아지는 것으로 나타났다.



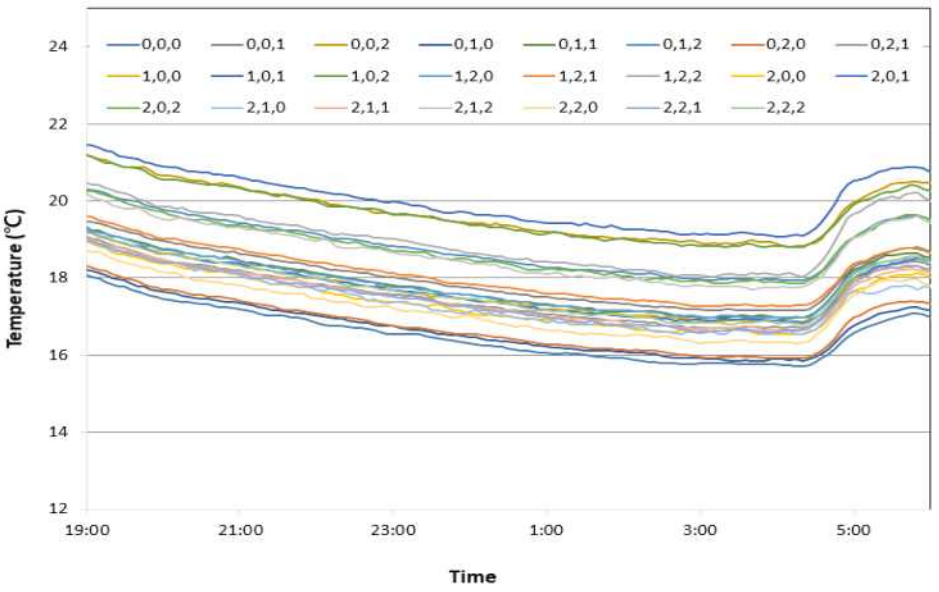
<그림 1-17> Temperature change by position on operating 3 vertical air circulation fans in the condition of curtain opened



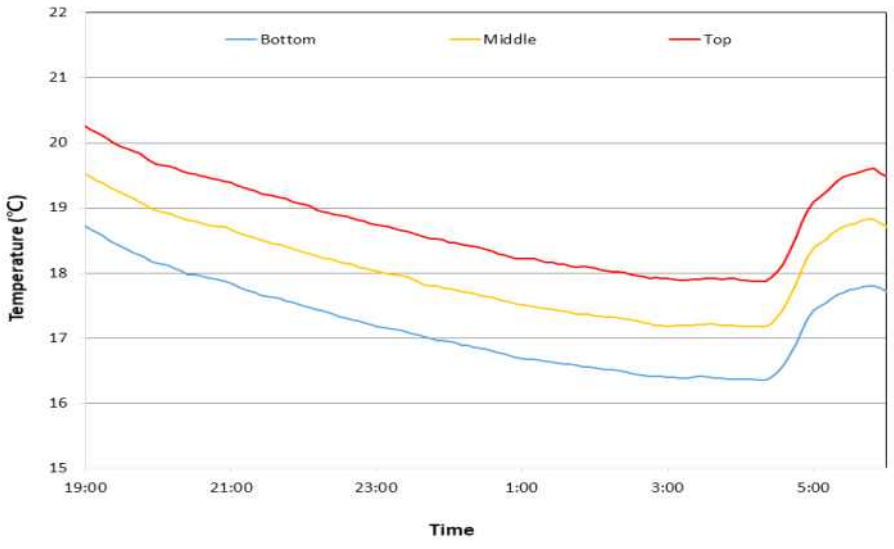
<그림 1-18> Temperature change according to vertical position on operating 3 vertical air circulation fans in the condition of curtain opened

㉡ 차광커튼을 닫고 순환 팬 3개를 가동한 경우 실내 온도변화

○ 차광커튼을 닫고 공기순환 팬 3개를 작동하여 시험한 결과 최고 온도는 21.5℃, 최저 온도는 15.7℃, 최대 온도차는 5.74℃로 나타났으며, 평균온도는 18.0±1.16℃로 나타났다. 실험 결과 상단, 중단, 하단의 평균 온도차는 크지 않은 것으로 나타났다. 상단과 중단은 평균 0.7℃, 상단과 하단은 1.56℃로 2℃ 이내의 편차를 나타내었으나 마찬가지로 차광커튼 만으로는 내부 온도 유지에는 열량이 다소 부족하여 지속적으로 감소하는 것으로 나타났다. 따라서 순환 팬 가동에 의해 상·하단의 온도차가 적어진 것으로 판단된다.



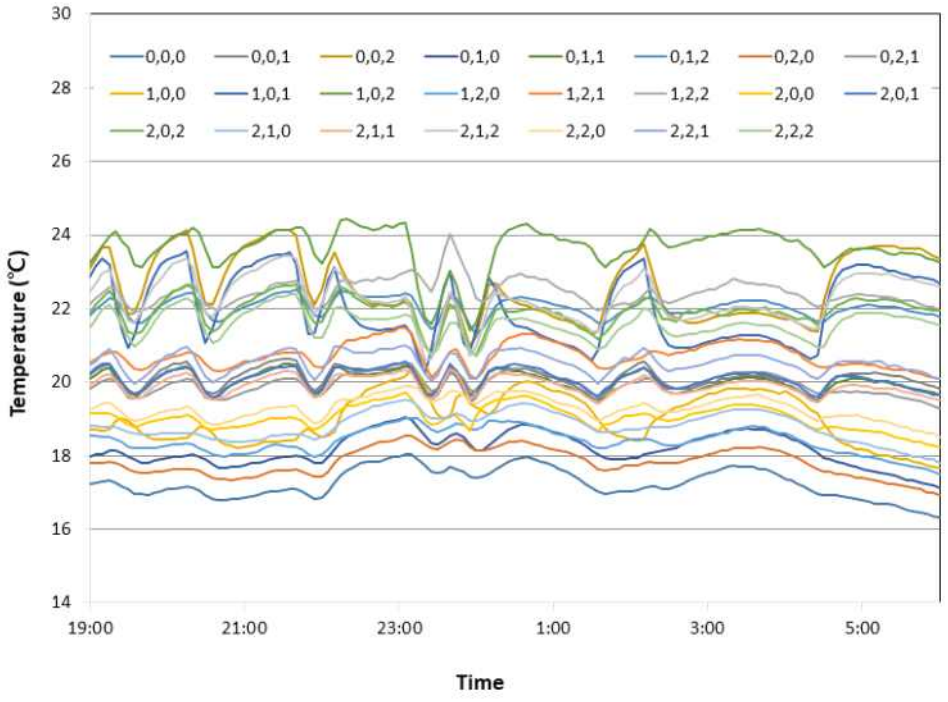
<그림 1-19> Temperature change by position on operating 3 vertical air circulation fans in the condition of shading curtain closed



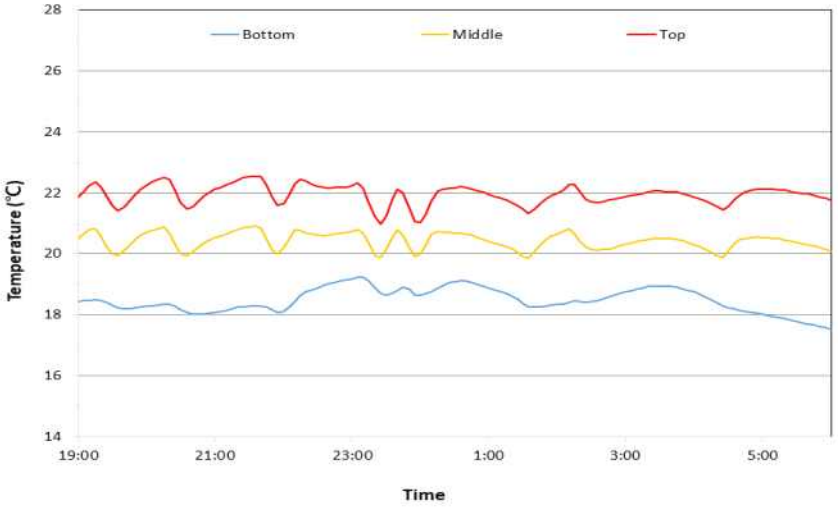
<그림 1-20> Temperature change according to vertical position on operating 3 vertical air circulation fans in the condition of shading curtain closed

㉢ 차광, 보온커튼을 닫고 순환 팬 2개를 가동한 경우 실내 온도변화

○ 차광, 보온커튼을 닫고 순환 팬 2개를 가동한 경우 최고 온도는 24.4℃, 최저 온도는 16.3℃, 최대 온도차는 8.1℃로 나타났으며, 평균온도는 20.3±0.32℃로 나타났다. 그래프를 확인한 결과, 전체적으로 상단과 중·하단의 온도 차가 큰 것으로 나타났으며, 상단과 하단의 평균 온도차는 3.46℃이었고 작물이 성장하는 중단과 하단의 온도차는 1.95℃로 나타났다. 23:00, 02:50에 내부 상단 센서의 온도가 급격히 떨어지는데 환경제어시스템의 온도 센서에서 측정한 값이 25℃ 이상으로 올라가 천창이 열렸던 것으로 사료된다.



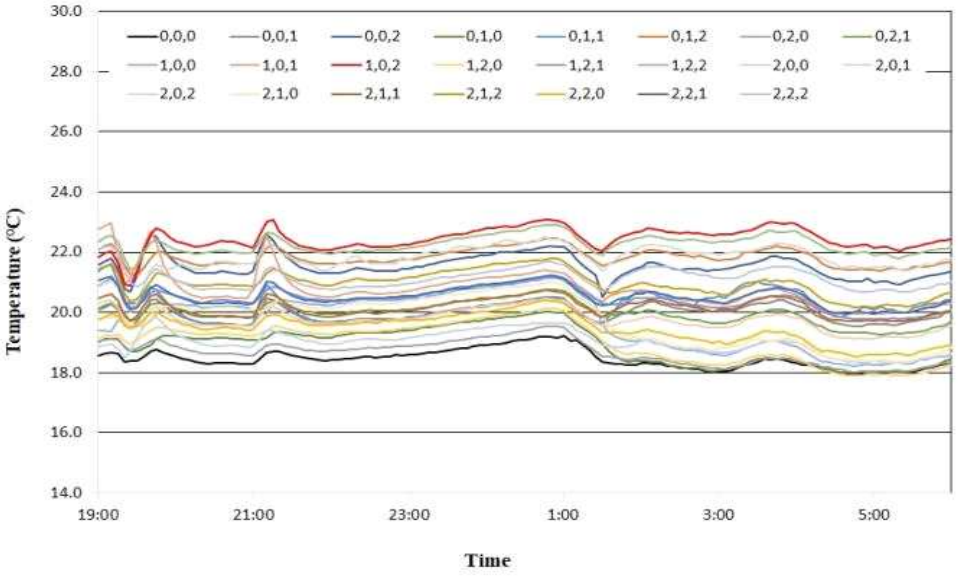
<그림 1-21> Temperature change by position on operating 2 vertical air circulation fans in the condition of thermal screen and shading curtain closed



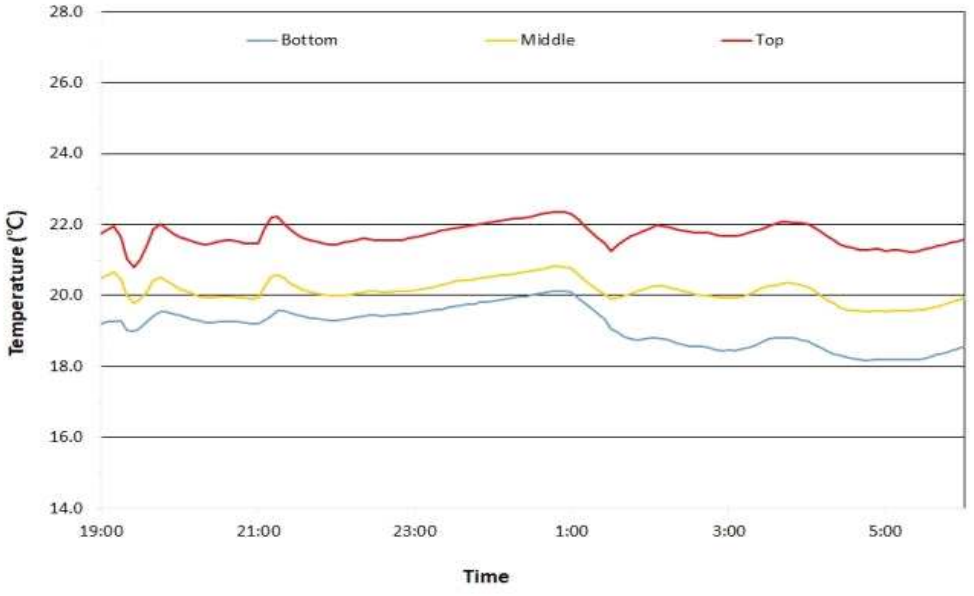
<그림 1-22> Temperature change according to vertical position on operating 2 vertical air circulation fans in the condition of thermal screen and shading curtain closed

㉣ 차광, 보온커튼을 닫고 순환 팬 3개를 가동한 경우 실내 온도변화

○ 차광, 보온커튼을 닫고 순환 팬 3개를 가동한 경우 최고 온도는 23.1℃, 최저 온도는 17.9℃로 나타났으며 평균온도는 20.2±1.3℃로 나타났다. 2일차 시험과 같은 경향으로 나타났으나 2개를 가동한 경우보다 상하간 온도차는 더 적게 나타났다. 상단과 하단의 평균 온도차는 2.6℃로 순환 팬 2개를 가동했을 때 보다 0.86℃ 상하간 편차가 줄어들었으며, 작물이 성장하는 중단과 하단의 온도차는 1.1℃로 2개를 가동했을 때보다 0.85℃ 편차가 줄어들 것으로 나타났다.



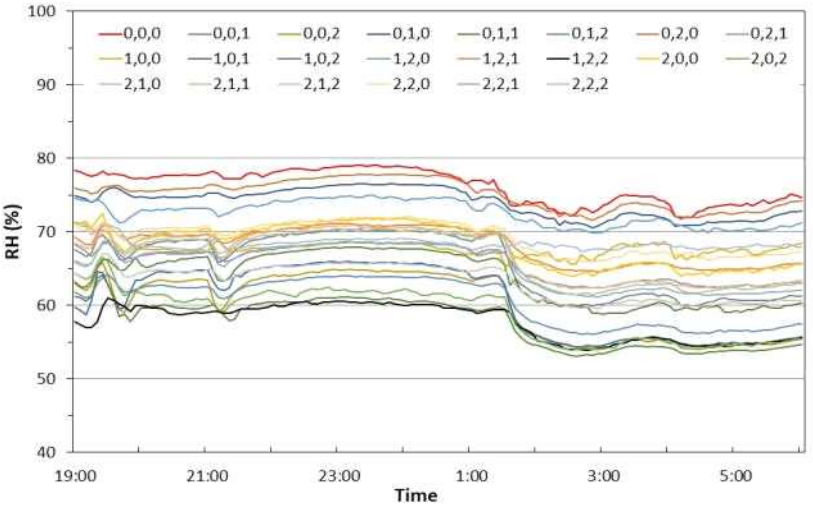
<그림 1-23> Temperature change by position on operating 3 vertical air circulation fans in the condition of thermal screen and shading curtain closed



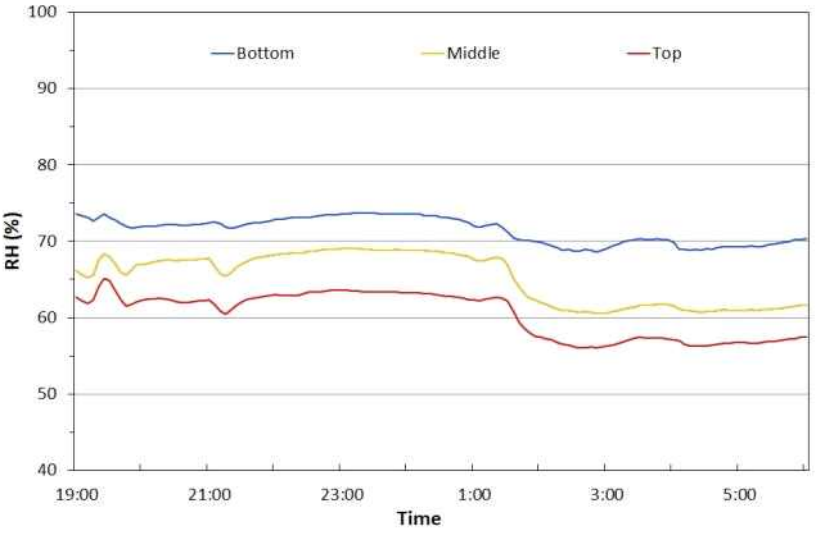
<그림 1-24> Temperature change according to vertical position on operating 3 vertical air circulation fans in the condition of thermal screen and shading curtain closed

㉲ 차광, 보온커튼을 닫고 순환 팬 3개를 가동한 경우 실내 습도변화

○ 차광, 보온커튼을 닫고 순환 팬 3개를 가동한 경우 최고 습도는 79.0% RH, 최저 습도는 53.1% RH로 나타났으며, 평균습도는 66.0±6.04% RH로 나타났다. 상단, 중단, 하단의 평균 습도는 각각 60.7±3.16% RH, 65.2±3.32% RH, 71.5±1.71% RH로 온도와 반비례 관계가 있기 때문에 온도가 높은 상부의 습도는 낮고 온도가 낮은 하부의 습도는 높은 것으로 나타났다. 상부와 하부의 평균습도 차는 10.7% RH로 나타났으며, 작물이 있는 부근의 습도는 6.2% RH의 습도차를 나타내었다. 이는 순환 팬을 가동하지 않고 난방한 경우의 상하간 습도차 20.8% RH에 비해 약 10% RH 습도 편차가 줄어 순환 팬 가동으로 상하간 온도차는 물론 습도차도 줄어드는 효과가 있는 것을 확인할 수 있었다.



<그림 1-25> Humidity change by position on operating 3 vertical air circulation fans in the condition of thermal screen and shading curtain closed

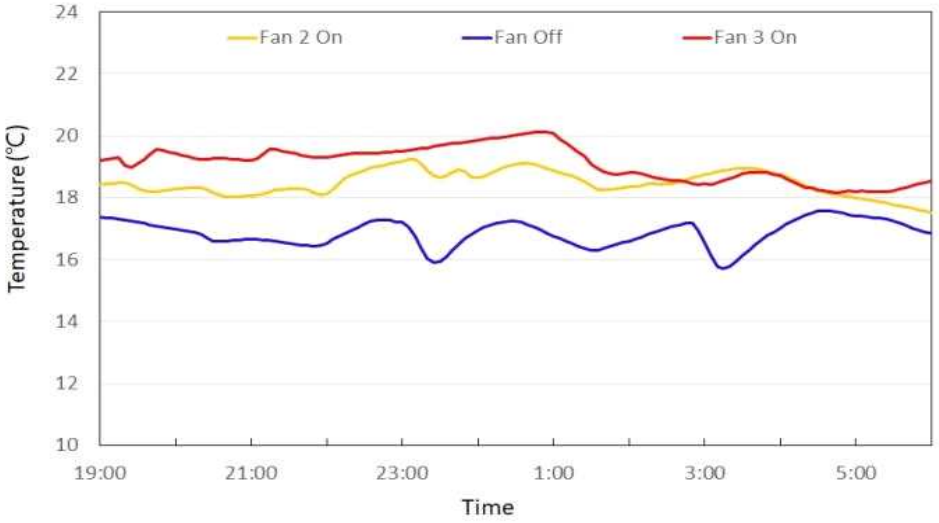


<그림 1-26> Humidity change according to vertical position on operating 3 vertical air circulation fans in the condition of thermal screen and shading curtain closed

② 순환 팬 가동 유무와 갯수에 따른 높이별 온도분석

㉠ 온실 하부의 온도변화

○ 순환 팬 가동 유무와 갯수에 따른 지상 50cm 높이의 평균온도 변화를 비교 분석하였다. 보온 스크린, 차광 커튼을 닫고 공기순환 팬 2개 작동 시 지상 50cm 높이의 평균온도는 18.5±0.40℃, 공기순환 팬 Off시는 16.9±0.42℃, 보온 스크린, 차광 커튼을 닫고 공기 순환 팬 3개 작동 시는 19.1±0.56℃로 나타났다. 지상 50cm 높이의 평균온도는 순환 팬 3개 가동, 2개 가동, Off 순으로 높은 것으로 나타나 수직 공기순환 팬에 의한 온실 수직 방향의 기류 생성과 작물 하부의 온도를 높여주는 효과가 있음을 확인할 수 있었다. 또한, 순환 팬을 가동하지 않고 난방만 한 경우 순환 팬을 가동하면서 난방했을 때 보다 온도변화가 심하게 나타나는 것을 알 수 있었다.



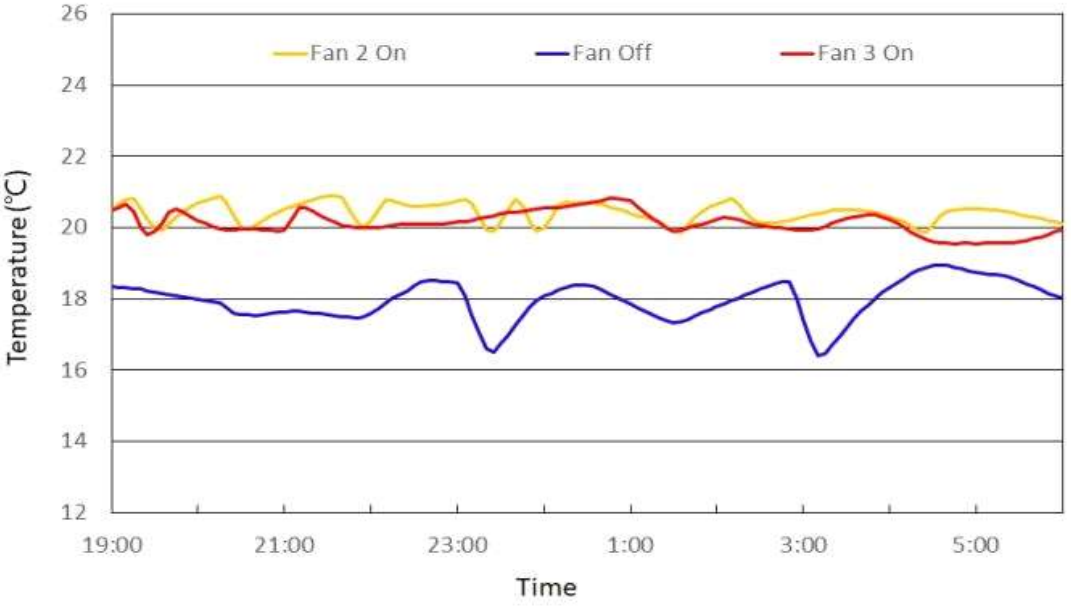
<그림 1-27> Temperature change on vertical air circulation fan at 50cm height

	커튼 열림	차광커튼 닫힘	보온 스크린 + 차광커튼 닫힘		
	공기순환 팬 3개 가동	순환 팬 3개 가동	순환 팬 2개 가동	순환 팬 정지	순환 팬 3개 가동
평균온도	13.4±1.16℃	17.2±0.67℃	18.5±0.40℃	16.9±0.42℃	19.1±0.56℃

<표 1-10> Average temperature on vertical air cirulation fan at 50cm height in night time

㉡ 온실 중간부의 온도변화

○ 순환 팬 가동 유무와 갯수에 따른 지상 225cm 높이의 평균온도 변화를 비교 분석하였다. 공기순환 팬 2개 작동 시 지상 225cm 높이의 평균온도는 20.4±0.27℃, 공기순환 팬 Off시는 18.0±0.55℃, 보온 스크린, 차광 커튼을 닫고 공기순환 팬 3개 작동 시는 20.1±0.31℃로 나타났다. 작물의 초장 높이에 해당하는 225cm 높이의 평균온도는 순환 팬 3개, 2개 가동 시에는 비슷한 온도를 보였으며, Off 시에는 순환 팬 가동 시보다 2℃ 정도 낮은 값을 보였다. 하부온도와 마찬가지로 순환 팬을 가동하지 않고 난방만 한 경우 순환 팬을 가동하면서 난방했을 때 보다 온도변화가 심하게 나타나는 것을 알 수 있었다.



<그림 1-28> Temperature change on vertical air circulation fan at 225cm height

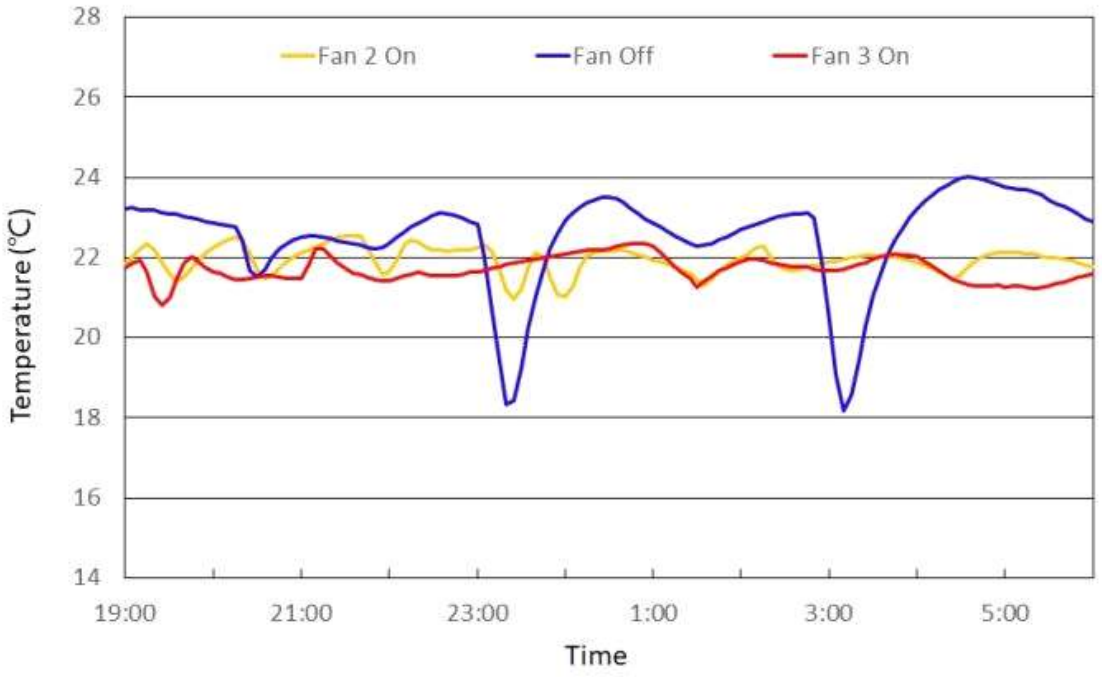
	커튼 열림	차광커튼 닫힘	보온 스크린 + 보온커튼 닫힘		
	공기순환 팬 3개 가동	순환 팬 3개 가동	순환 팬 2개 가동	순환 팬 정지	순환 팬 3개 가동
평균온도	13.6±1.26℃	17.8±0.68℃	20.4±0.27℃	18.0±0.55℃	20.1±0.31℃

<표 1-11> Average temperature on vertical air circulation fan at 225cm height in night time

㉢ 온실 상부의 온도변화

○ 순환 팬 가동 유무와 갯수에 따른 지상 400cm 높이의 평균온도 변화를 비교 분석하였다. 공기순환 팬 2개 작동시 지상 400cm 높이의 평균온도는 21.9±0.32℃, 공기순환 팬 Off시는 22.5±1.19℃, 보온 스크린, 차광 커튼을 닫고 공기순환 팬 3개 작동시는 21.7±0.31℃로 나타났다. 지상 400cm 높이의 평균 온도는 순환 팬 정지, 순환 팬 2개 가동, 순환 팬 3개 가동 순으로 높은 것으로 나타나 수직 공기순환 팬에 의한 온실 수직방향의 기류 순환으로 작물 상부의 온도는 낮추고 하부의 온도는 높임을써 상하간 온도차를 낮추어 온실 수직온도분포를 균일하게 하는 효과가 있음을 확인할 수 있었다.

○ 상부와 하부의 온도차는 보온커튼을 닫은 상태에서 순환 팬을 3대 가동한 경우에는 3.3℃, 2대를 가동한 경우에는 3.9℃, 순환 팬을 가동하지 않은 경우에는 6.4℃로 나타났다. 이와 같은 결과로 온실 난방 시 수직형 순환 팬을 가동함으로써 상하온도차가 2.5℃, 3.1℃로 줄이는 효과가 관찰되었다.



<그림 1-29> Temperature change on vertical air circulation fan at 400cm height

	커튼 열림	차광커튼 닫힘	보온 스크린 + 보온커튼 닫힘		
	공기순환 팬 3개 가동	순환 팬 3개 가동	순환 팬 2개 가동	순환 팬 정지	순환 팬 3개 가동
평균온도	14.0±1.35℃	18.9±0.70℃	21.9±0.32℃	22.5±1.19℃	21.7±0.31℃

<표 1-12> Average temperature on vertical air circulation fan at 400cm height in night time

(2) 하절기 수직형 공기순환 팬 가동에 의한 온실 내 온습도분포 균일화

① 재료 및 방법

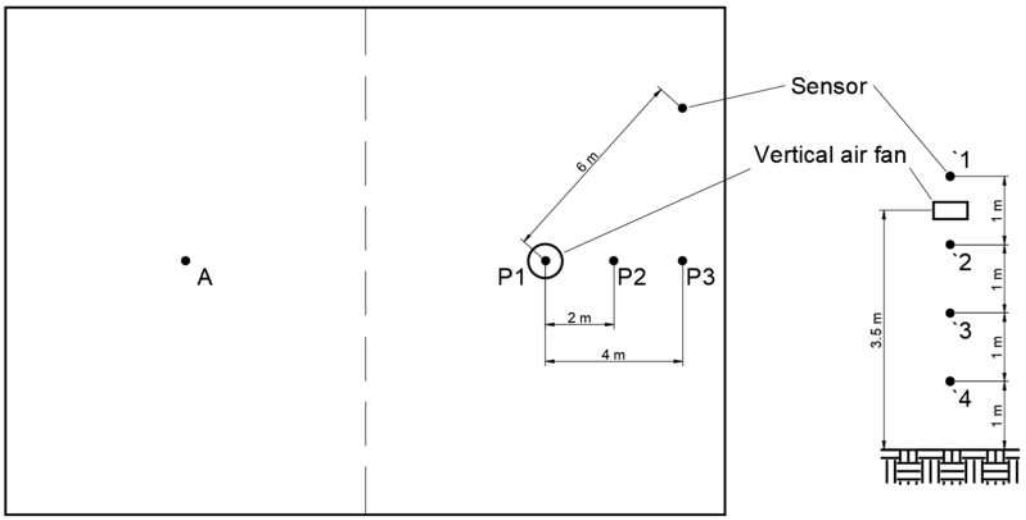
○ 수직형 공기순환 팬 현장성능실험은 전북 익산시 소재 농업기술실용화재단 온실(20m*30m*6m)에서 수행하였다. 히트펌프 냉난방기의 온실 난방온도는 20℃로 설정하였다. 순환 팬은 온실을 4분면으로 나누어 한 면의 중앙에 지면에서 높이 3.5m에 설치하였다.

<그림 1-30> View of a vertical fan and temperature sensors installed in experimental greenhouse

○ 온습도 분포 측정을 위한 온습도센서는 HOBO pro v2 U23-001A(Onset Computer Corp., USA)를 사용하였고 제원은 Table 7과 같다. 온습도센서는 지면에서 1m 간격으로 줄에 매달아 설치하였으며, 위치는 순환 팬의 중앙 우측으로 1m 간격으로 3줄을 설치하였다. 순환 팬이 설치된 곳과 비교하기 위하여 다른 면의 중앙에 온습도 센서를 설치하였다. 시험 기간은 2021년 06월 26일부터 7일 동안 순환팬을 가동하였으며 5분 간격으로 온도를 측정하였다. 측정한 데이터는 온습도센서 내 메모리에 저장되며 전용 리더기(Base U-4, Onset Computer Corp., USA)를 통해 데이터를 노트북으로 취득하였다.

HOBO pro v2 U23-001A	
Operation Range	-40° to 70°C (-40° to 158°F)
Real-time Clock	±1 minute per month 0° to 50°C (32° to 122°F)
Battery	1/2 AA, 3.6 Volt lithium, user-replaceable (HP-B)
Battery Life	3 years with 1 minute or greater logging interval
Memory	64K bytes memory (approx. 21,000 temperature and RH measurements)
Cables	No cables
Launch Modes	Immediate start; delayed start
Offload Modes	Offload while logging; stop and offload

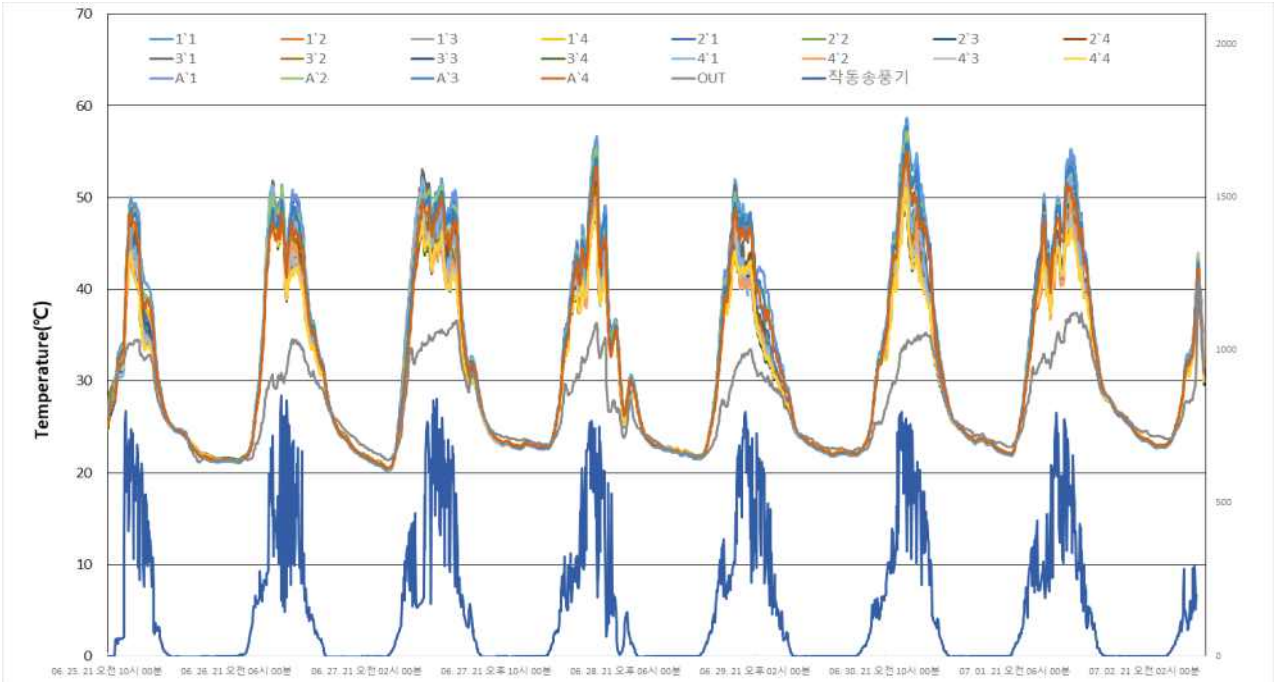
<표 1-13> Specifications of temperature and humidity sensor



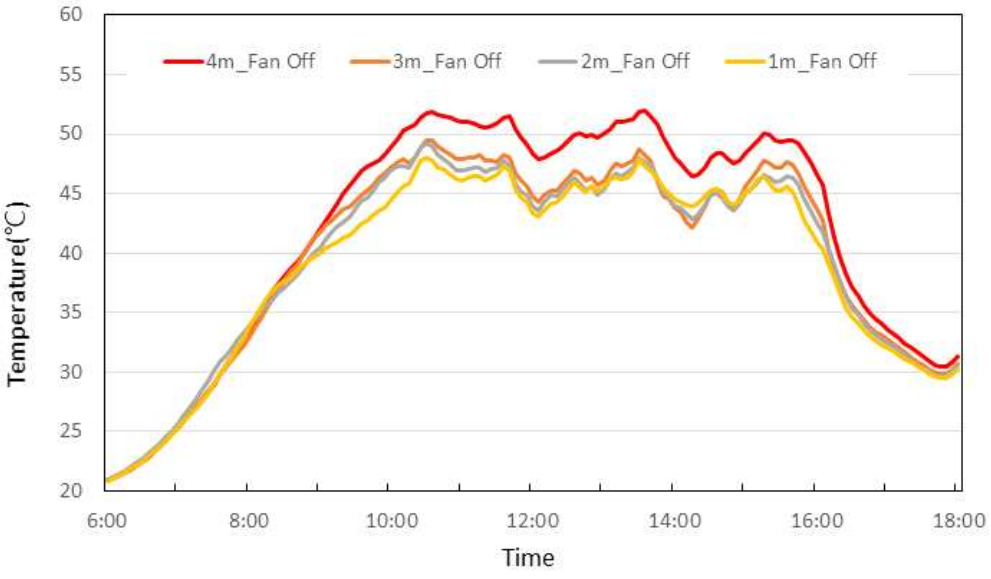
<그림 1-31> The location of air temperature sensors and vertical air fan in the greenhouse

② 실험결과

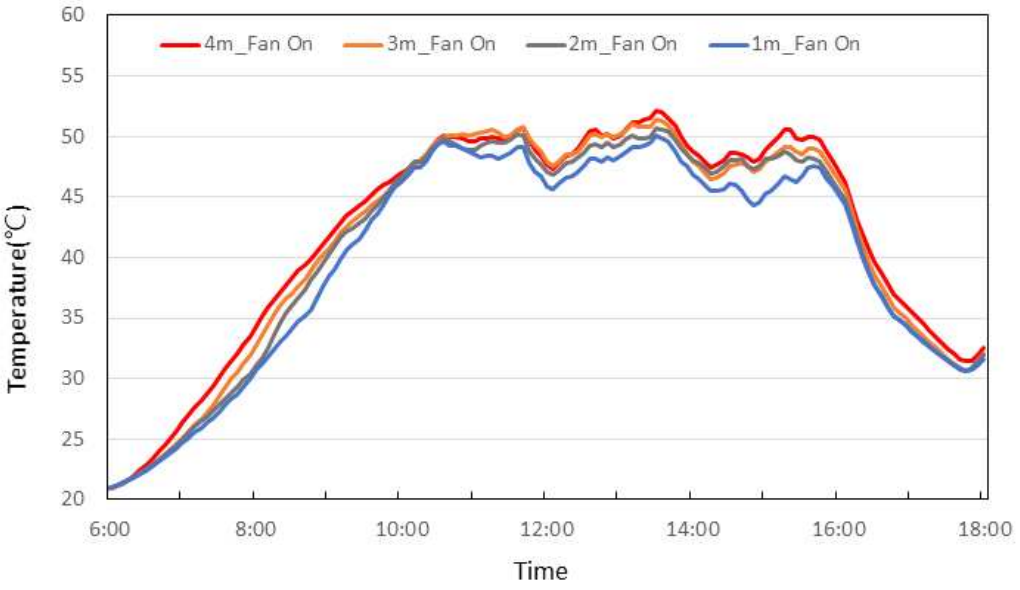
○ 주간 10시~18시 기준으로 순환 팬이 없는 곳에 비해 순환 팬을 가동한 지점의 온도가 1.05 ~ 3.77℃ 정도 낮은 것으로 나타났다. 각 지점의 수직 온도에 따른 표준편차는 순환 팬이 없는 곳에 비해 순환 팬이 가동된 지점의 온도가 낮아지는 결과를 보였다. 6월 27일 6시부터 18시까지 지상 4m 높이의 온도와 1m 높이의 온도 차 평균은 순환 팬이 없는 곳에서는 2.77±1.88℃이었고 최대 온도차는 5.73℃이었다. 순환 팬으로부터 2m 떨어진 위치에서의 지상 4m 높이의 온도와 1m 높이의 온도 차 평균은 2.02±1.08℃이었고 최대 온도차는 4.26℃로 나타났다. 순환 팬을 가동함으로써 4m 높이의 온도와 1m 높이의 온도차 평균을 0.75℃ 낮추는 효과가 있음을 확인할 수 있었다.



<그림 1-32> Temperature change on operating vertical air circulation fan in greenhouse



(a) Fan off



(b) Fan on

<그림 1-33> Temperature change by height on operating vertical air circulation fan in greenhouse

(3) 수직형 공기순환 팬 가동에 의한 난방 에너지 절감

① 재료 및 방법

○ 난방 에너지 절감 실험은 2연동 하우스(520m^2)에서 2021년 11월 19일 부터 21일까지 3일간 수행하였다. 온실 내부 목표 온도를 20℃로 설정하고 순환 팬 3대 가동 유무에 따라 소요되는 소비전력을 측정하였다. 시험에 사용한 순환 팬은 본 연구에서 개발한 전동기를 사용하였으며, 순환 팬에 사용된 전동기의 제원은 다음 표와 같다. 수직형 공기 순환 팬 가동에 의한 절감된 난방 에너지는 전기를 사용한 히트펌프 냉난방 시스템이기 때문에 난방과 순환 팬 가동에 투입된 소비전력으로 비교하였다. 공기열 히트펌프 냉난방 시스템에 의한 난방으로 소요된 에너지는 소비전력은 전자식 전력량계를 설치하여 소비된 전력을 측정하였다.

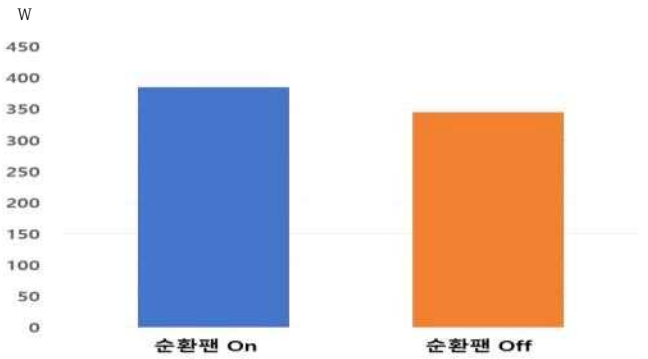
VOLTS(AC)	AMPS	WATTS	RPM	Hz
170	1.32	224	345	60

<표 1-14> Specification of motor for vertical air circulation fan

<그림 1-34> Electronic power meter used to measure power consumption

② 실험결과

○ 공기열 히트펌프 냉난방 시스템에 의한 난방에 소요된 에너지는 순환 팬을 가동하지 않고 난방만 한 경우에는 1일 385.3kWh 소모하였으며, 순환 팬을 24시간 가동하면서 공기열 히트펌프로 난방을 한 경우에는 1일 344.7Wh 10.5% 절감되는 것으로 조사되었다. 주간의 실내 기온이 높아지는 시기, 창 환기가 일어나는 시기, 온실 상하간의 온도 차 등 내부환경을 기준으로 순환 팬 가동을 적절히 제어하고 온실 규모에 맞는 적정 팬의 갯수 선정과 적절한 배치가 이루어지면 난방 에너지를 더 절감할 수 있을 것으로 판단된다.



<그림 1-35> Electric energy saving of in heatpump system with vertical circulation fans

(4) 수직형 공기순환 팬 연구개발 성과

수직형 공기순환 팬 연구개발의 목표대비 달성도는 아래 표에서 보는 바와 같이 정리하였다.

주요 성능지표	최종 개발목표	가중치	달성치
최대회전속도	700rpm이상	20	100%(892rpm(무부하), 535(부하))
날개 수	9개 이내	10	100%(7개)
소비전력	200W 이하	20	280W
작동 전원	230VAC-50/60Hz	20	100%
풍 량	5,000 m^3/h이상	10	100%(5,200m^3/h)
수직온도차	2℃ 이내	20	100%(2℃)
에너지절감	10% 이상		100%(10.5%)
자동제어			100%(스케줄 설정, On/Off제어)
IoT 원격제어			100%(스마트폰 앱 제어)

<표 1-15> Final goal attainment to development goals

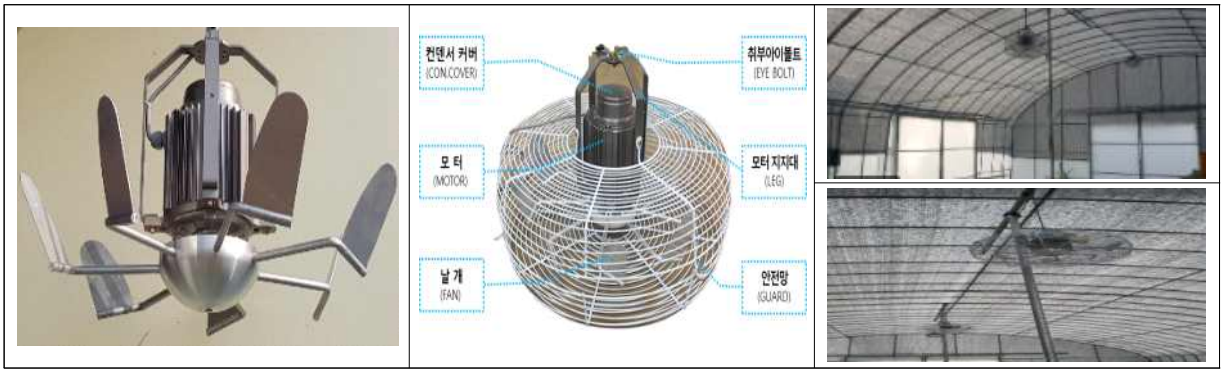
(5) 생산원가분석 및 경제성 분석(예상가)

번호	내 용	단가	600평기준	기 타
가)	허브가이드	8,000	8,000*8개=64,000	
나)	보호망	28,000	28,000*8개=224,000	
다)	날개(블레이드)	20,000	20,000*8개=160,000	
라)	bar	20,000	20,000*8개=160,000	
마)	Motor(주성)	64,800	64,800*8개=518,400	
사)	제어기			제어기 및 설치비는 별도
아)	기타(전기료, 포장비 등)	5,000	5,000*8개=40,0000	
	①--소 계	**145,800**	**1,164,400**	
	②--loss(10%)	14,580	116,440	
	③--영업비 및 관리비(①+ ②)*35%	51,030	448,294	
바)	**합 계(①+ ②+ ③)**	**211,410**	**1,729,134**	
	이 윤(%)	38,590(15%)	270,866(14%)	
사)	**예상 판매가**	**250,000**	**2,000,000**	

<표 1-16> 경제성 분석

차) 수직 공기순환 팬 제품화 및 인증

(1) 제품화



<그림 1-36> 제품 사진

(2) KC인증 전기용품 안전인증 등록

(가) 제품 성능 설명

○ **제품명:** 환풍기 ○ **모델명:** GRF-80

○ **성능설명**

이 기기는 설정된 온도 및 시간에 따라 내부의 공기를 천정에 기기를 설치하여 가장 효율적으로 더운 공기를 수직 순환 할 수 있도록 특수 설계된 제품이다.

기존 방식 보다 빠르고 균일하게 공기를 바닥에서 위로 흡입하여, 원뿔 모양의 기류로 다시 아래로 내려와 외풍이 없는 최적의 공기 혼합 방법으로 온도, 습도, CO2 농도 등 환경을 균일하게 요구하는 곳에 가장 적합한 제품이다.

작동원리는 플레밍 왼손법칙에 의거 전자석을 원판에 배치하여 회전력을 얻어 회전하는 방식이나, 각종의 효율 및 TORQUE를 증가하기 위하여 원판 및 전자석을 대체로 원통형 전기를 발생시키도록 냉각압연규소강대를 외곽부에 배치하고 고정하였다.

강력한 자력을 유도하였으며, 회전자는 동을 사용하나 본 제품은 원가 및 다량의 생산을 원활하게 하기 위하여 2차 저항에는 알루미늄을 사용(순도: 99.8%이상)하여 본 제품의 기본인 전동기를 설계하였다.

여기에 각종의 부착물을 부착하여 MOTOR의 외곽부를 형성하고, 풍량의 최대치와 저소음을 위하여 프로펠러(PROPELLER)형 날개를 적용하였다.

MOTOR와 각종의 부착물(몸체, 날개, 브라켓, BOLT류)을 사용하여 기능성, 안정성, 내구성, 안전성에 중점을 둔 농업용 및 상업용 환풍기이다.

(나) 사용설명서 그린에어팬(GRF-80)

○ **소개**

이 기기는 설정된 온도 및 시간에 따라 내부의 공기를 천정에 기기를 설치하여 가장 효율적으로 더운 공기를 수직 순환 할 수 있도록 특수 설계된 제품입니다.

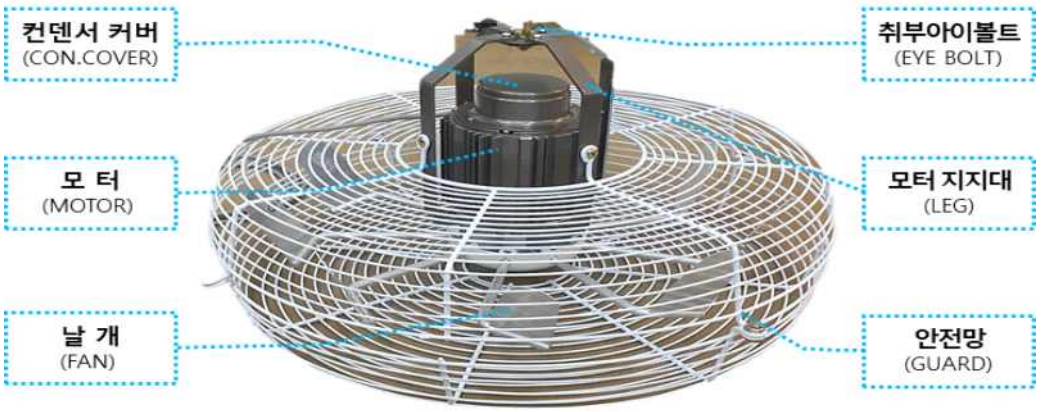
기존 방식보다 빠르고 균일하게 공기를 바닥에서 위로 흡입하여, 원뿔 모양의 기류로 다시 아래로 내려와 외풍이 없는 최적의 공기 혼합 방법으로 온도, 습도, CO2 농도 등 환경을 균일하게 요구하는 곳에 가장 적합한 제품입니다.

- 제원

항 목	규격 및 특성
규 격	∅710 × ∅550 × 410mm
전 원	220V, 60Hz, 300W
재 질	Motor,Fan: AL DC Guard: MSWR
날 개	직경550mm
최대 풍량	110m³/min
중 량	13.2Kg

<표 1-17> 제원

- 제품의 세부 명칭



<그림 1-37> 제품 부분 명칭

○ 설치

본 제품은 설치 시 안전을 고려하여 최소 바닥 면에서 날개까지는 2.4M 이상 높이의 천장에 설치를 권장하고 있습니다.

환풍기(그린에어팬)를 사용하고자 하는 장소의 하우스 내부 작물 등을 확인하여 하우스 길이 및 간격을 정하고 그린에어팬 및 자동제어기 부착 위치를 선정하십시오.
지붕가로대 사이의 길이를 잰 후 25mm파이프 2ea를 자르고, 자른 25mm파이프 양끝을 25mm T고정구 세트를 이용해 고정하십시오.
그린에어펜에 부착된 아이볼트를 지붕가로대(25mm) 파이프에 고정구(25mm)을 이용해 고정해 주십시오.

고정되면 25mm파이프 유격을 이용해 뚜껑 유격을 맞추고, T고정구 및 고정구가 움직이지 않게 고정하십시오.
천장 고정 지지대에 설치하여 환풍기(그린에어팬)와 지지대가 움직이지 않게 고정하십시오.

○ 사용

- 사용 전 컨트롤박스 내부의 차단기를 통해 전원을 켜주십시오.
- 온도 또는 타이머에 의한 자동 ON/OFF 기능을 원하실 경우 “자동”버튼을, 설정 환경과 관계없이 수동으로 동작을 원하실 경우 “수동”버튼을 누르십시오.
- 제어기 전면 외부 LCD 기판에 표시되어있는 숫자는 현재 온도입니다.
- “온도”버튼을 누른 후 설정 온도가 깜빡이는 상태에서 위/아래 화살표를 눌러 설정 온도를 변경할 수 있습니다.
- “속도”버튼을 누른 후 위/아래 화살표를 눌러 팬 회전 속도를 변경할 수 있습니다.
- “타이머”버튼을 눌러 버튼 상단의 램프가 켜지면 타이머 기능이 활성화됩니다.
- Line 1,2,3 버튼으로 3라인 각각의 전원을 공급 또는 차단 할 수 있습니다.

○ **안전 및 주의 사항**

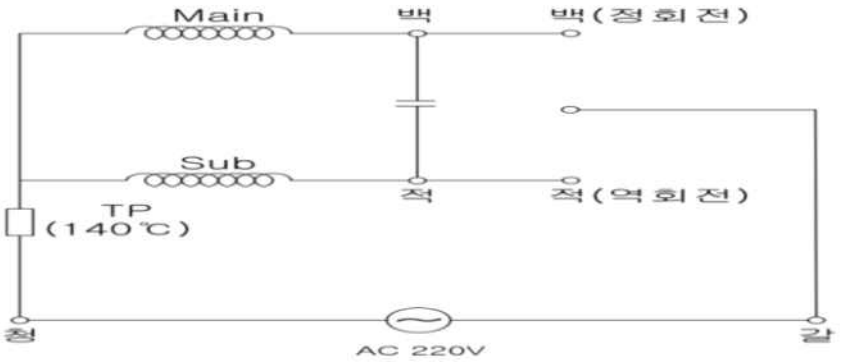
〈안전〉

- 기기를 점검하거나 수리할 때는 반드시 전원 스위치를 끄십시오
- 누전 차단기를 반드시 설치하십시오.
- 기기의 전원선을 구부리거나 파손하지 마십시오.
- 본 기기의 전선이 파손된 경우에는 위험요소를 피하기 위하여 제조자, 대리점 등 유자격자가 교체하여야 합니다.
- 이 기기는 신체, 감각, 정신 능력이 결여되어 있거나 경험과 지식이 부족하여 감독이나 지시 없이는 안전하게 기기를 사용할 수 없는 사람이 사용하도록 제조되지 않았습니다.
- 본 기기는 어린이가 가지고 놀지 않도록 주의 감시하십시오.
- 물기가 묻은 손으로 기기를 조작하지 마십시오.

주의 사항〉

- 사용 시 안전을 위해 접지를 하십시오.
- 규격에 맞는 전선을 사용하십시오.
- 사용 전 정격 전압(단상, 220V 60Hz)을 확인하여 주십시오.
- 임의로 개조, 변형 등을 금지하여 주십시오.
- 제품이 물에 젖지 않도록 사용하십시오.
- 옥외에 설치 시 별도의 방우 장치를 하십시오.
- 설치 위치별 별도의 낙하 방지 및 보조차단기 등의 안전장치를 하십시오.

○ **전기회로도**



(다) KC 인증 전기용품 안전인증 등록증: 기술이전 판매업체로 인증서 신청하였음

전기용품 및 생활용품 안전관리법 시행규칙 [별지 제5호서식]

접수번호 : 20211007-0052

안 전 인 증 서
Safety Certificate

안전인증번호: HH072118-21001A
(Certificate No.)
제조업자/수입업자명: 그린테크(주)
(Manufacturer/importer)
주 소: 경기도 화성시 동탄대로 677-12 , 6층 612호, 613호 (영천동, 효성아이씨티타워)
(Address)
제 품 명: 환풍기
(Product)
기본모델명: GRF-80
(Basic Model)
파생모델명 (Series Model):
GRH-80

정격/안전기준상의 모델구분: 220 V~, 60 Hz, 320 W
(Rating)
시 험 기 준: KC 60335-1(2016-10) KC 60335-2-80(2020-03)
(Standard)

본 인증서는 **제 조 국 명:** 한국
제조업자명: 그린테크(주)
제조공장의 주소: 경기도 화성시 동탄대로 677-12 , 6층 612호, 613호 (영천동, 효성아이씨티타워)
의 제품에만 해당함

「전기용품 및 생활용품 안전관리법 시행규칙」 제8조제2항, 제4항, 제10조제2항 또는 제15조제2항에 따라 안전인증서를 발급합니다.
We issue this Safety Certificate for the above appliances in accordance with the Article 9(2), 9(4), 10(2) or 15(2) of the Enforcement Rule of the Electrical Appliances and Consumer Products Safety Control Act.

2021 년 12 월 08 일
(Year) (Month) (Day)

한국기계전기전자시험연구원
Korea Testing Certification institute

한국기계전기전자시험연구원 연구원장인

※ 이 인증서는 「전기용품 및 생활용품 안전관리법」에 따른 제품의 안전성 확인에 한정된 것이며, 그 밖의 다른 법률이 적용되는 제품의 경우에는 해당 법률에 따라 추가로 인증·허가 등을 받아야 합니다.

첨부서류	1. 전기용품의 안전관리부품 및 재질목록 (List of Critical Components)
	2. 기본모델 · 파생모델의 내용 (Descriptions of the basic and series model)
	3. 안전인증의 변경 현황 (Revisions Status)

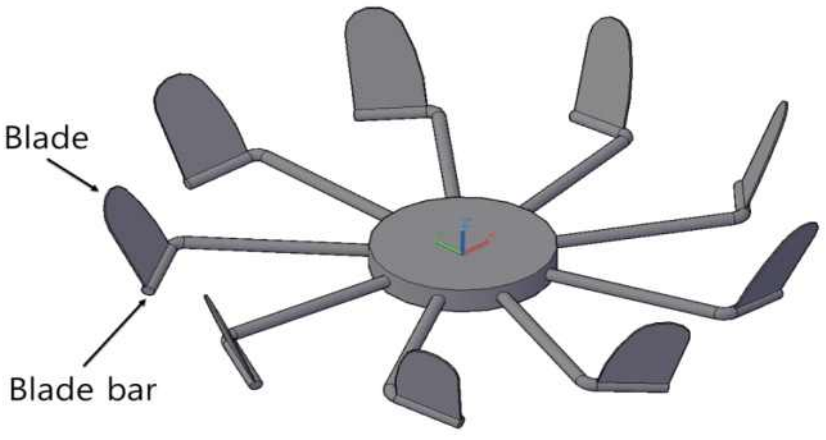
2) 에너지 절감을 위한 온실 수직 공기순환 팬 최적 설계: 국립한국농수산대학(위탁)

가) CFD를 이용한 기류 변화 분석

(1) 수직형 공기순환 팬의 CFD 분석을 위한 3D 모델링

○ CFD분석을 위해 수직형 공기순환 팬 모델링을 실시하였다. 초기 모델은 기존에 국내·외에서 개발된 모델들을 기반으로 각 모델들의 장단점을 분석한 후 초기 모델을 제작하였다. 수직형 공기순환 팬은 일반 공기순환 팬과 다르게 온실 내부의 상단과 하단의 기온차를 평준화시키는 역할로서 상단의 공기를 내리고 하단의 공기를 올릴 수 있도록 버섯 모양의 기류를 생성할 수 있도록 모델링을 실시하였다.

○ 초기 모델은 날개 개수 9개, 블레이드 각도 23°, 블레이드 바 길이 15.5cm, 블레이드 바 각도 10°, 블레이드 각 면적은 5,785mm²으로 기준으로 설정하였다. 시험 조건은 날개 바 길이는 13.5cm, 15.5cm, 17.5cm, 날개 바 각도는 7°, 10, 13°, 블레이드 각도 18°, 23°, 28°, 날개 블레이드 면적은 개당 5,785mm²(100%), 7,651mm²(115%)로 분석을 실시하였다.



<그림 2-1> 수직형 공기순환 팬 3D 모델링

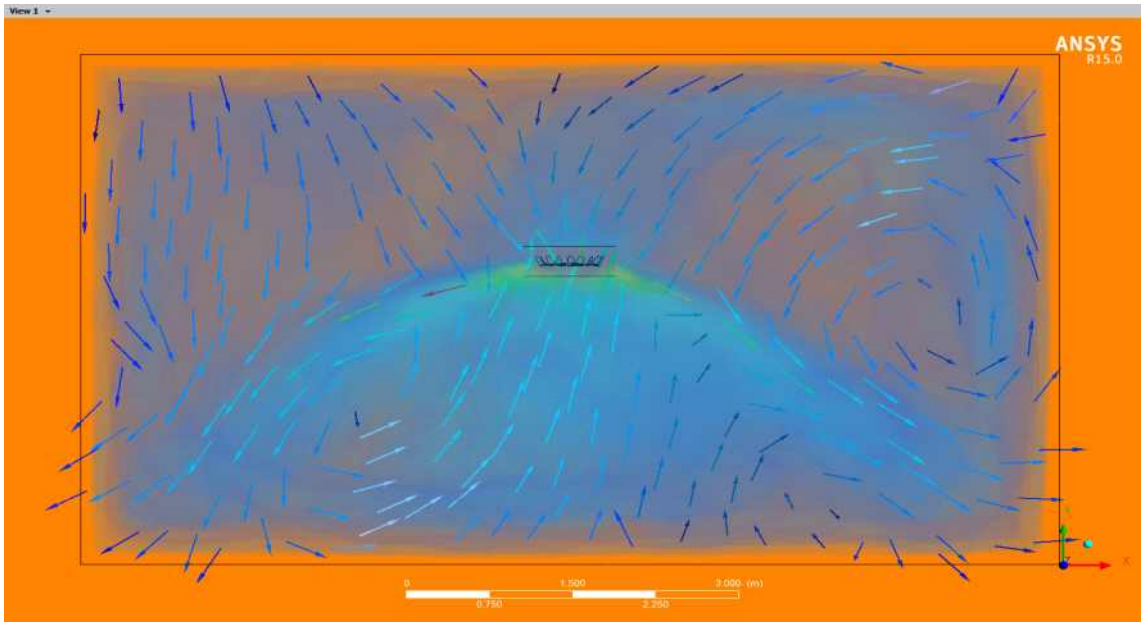
(2) 수직형 공기순환 팬 CFD 분석

○ 분석을 위한 기본설정은 가상의 유리온실을 기준으로 가로 8m, 세로 8m, 높이 5m로 모델링과 메싱 등의 전처리 과정을 수행하였다. 공기순환 팬의 위치는 유리온실 내부 정중앙에서 높이 3m에 설치하였고 회전 속도는 750rpm으로 설정하였다.

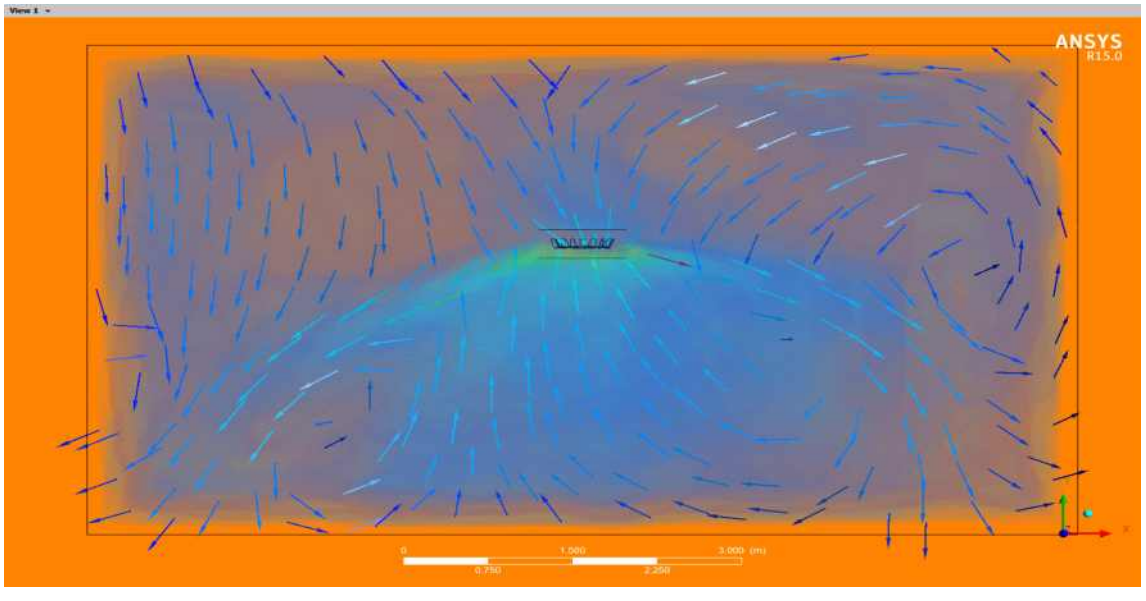
○ 공기 유동은 온실 내부에서 공기를 순환하는 것으로 온실 작물의 잎 주위에 있는 공기가 정체되어 있으면 이산화탄소 유입과 수증기 발산이 억제된다. 공기 유동은 작물의 주위에 바람을 일으켜 증산에 의해 습도가 높은 공기를 이동시키는 것이다. 온실 내 공기를 순환하면 온실 내 온도, 습도, 이산화탄소 등을 균일하게 할 뿐만 아니라 작물의 증산과 광합성 촉진, 병 발생 감소 효과가 있다. 공기를 순환할 때에는 온실 작물 군락 내 바람 속도 0.2m/s 정도가 되도록 공기를 순환하는 것이 좋으나 바람 속도가 빠르면 생육이 불량해지거나 잎이 서로 스쳐 손상되게 된다. 따라서, 순환 팬을 설치할 때는 온실 작물 군락 내 바람 속도가 1m/s를 초과하지 않도록 설치 높이, 간격, 대수 등을 결정한다.

① 블레이드 바 각도에 따른 기류 변화

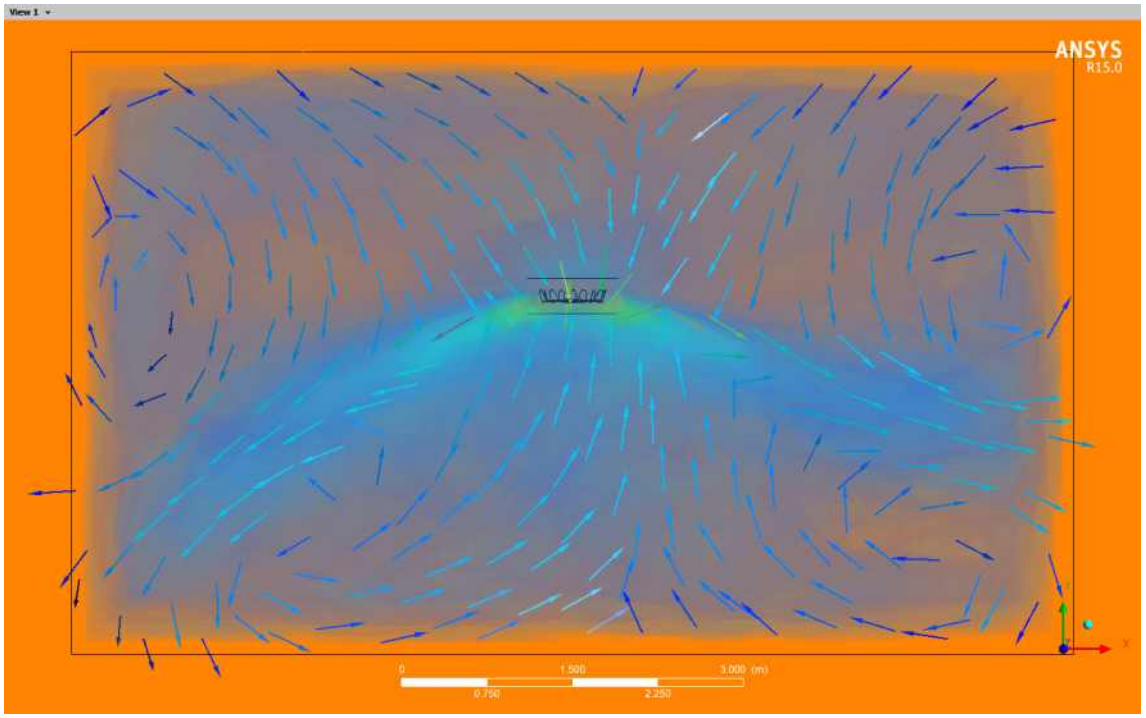
○ 오리지날 순환 팬(날개 개수 9개, 블레이드 각도 23°, 블레이드 바 길이 15.5cm, 블레이드바 각도 10°, 블레이드 각 면적은 5,785mm²)를 기준으로 블레이드 바 각도 ±3°에 대한 CFD 분석을 실시하였다. 블레이드 각도 23°, 블레이드 바 각도 7°의 풍속은 4.79 m/s, 오리지날인 블레이드 각도 23°, 블레이드 바 각도 10°의 풍속은 5.10 m/s, 블레이드 각도 23°, 블레이드 바 각도 13°의 풍속은 5.13 m/s으로 나타났다. 분석 데이터를 육안으로 확인한 결과 공통적으로 버섯 모양의 기류 형상을 나타내었고 블레이드 바 각도가 낮을수록 순환 팬의 기류 방향이 지면으로 향하고 블레이드 바 각도가 높을수록 기류 방향이 측면으로 향하는 것으로 나타났다. 블레이드 바 각도에 따라 순환 팬의 기류 방향을 정할 수 있으며 순환 팬 제작에 기초 자료가 될 것으로 판단된다.



<그림 2-2> 블레이드 각도: 23°, 바 각도: 7°



<그림 2-3> 블레이드 각도: 23°, 바 각도: 10°



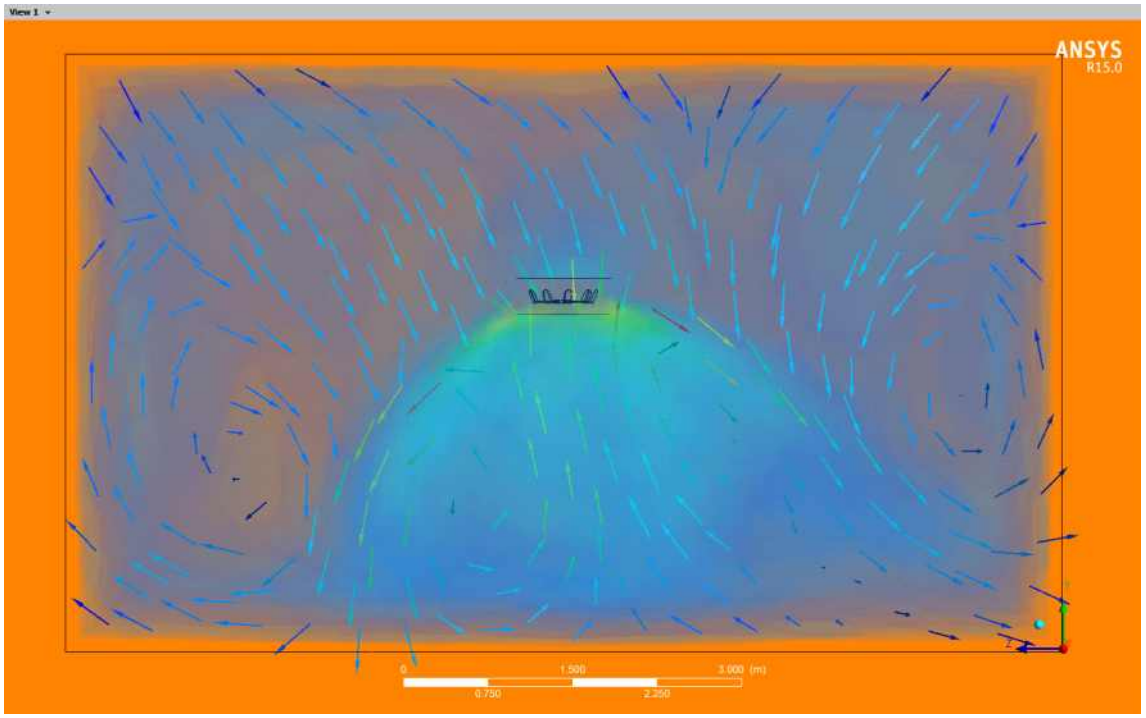
<그림 2-4> 블레이드 각도: 23°, 바 각도: 13°

실험 조건	풍속
블레이드 각도 : 23°, 블레이드 바 각도 : 7°	4.79 m/s
블레이드 각도 : 23°, 블레이드 바 각도 : 10°	5.10 m/s
블레이드 각도 : 23°, 블레이드 바 각도 : 13°	5.13 m/s

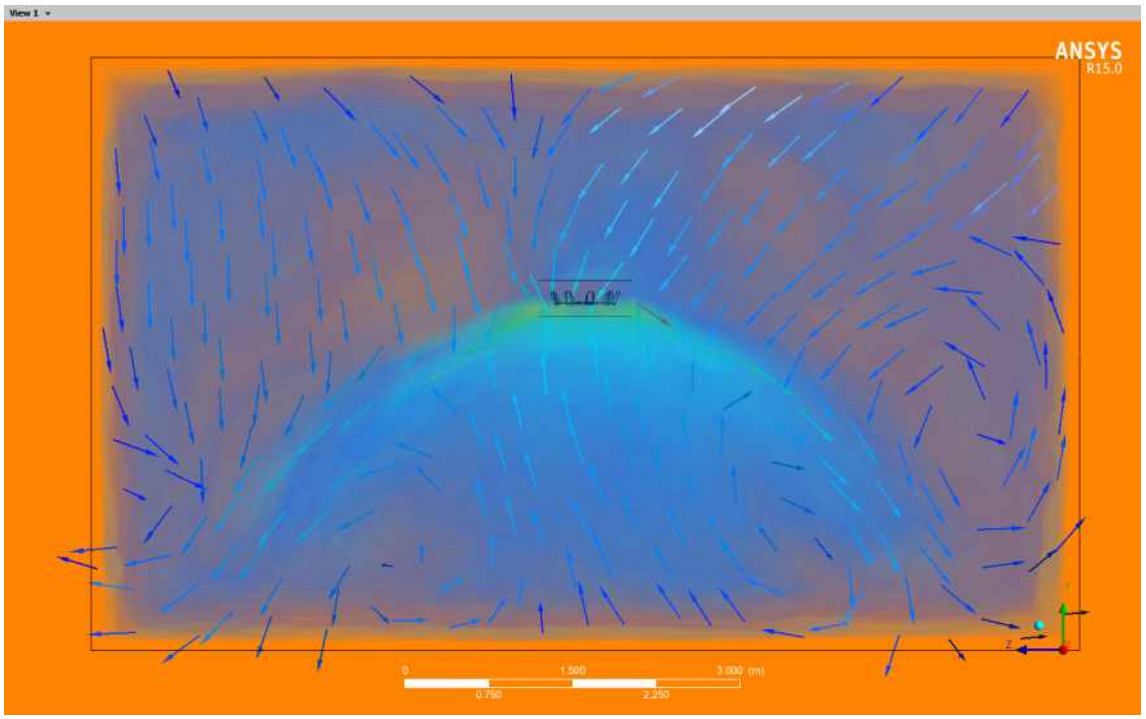
<표 2-1> 블레이드 바 각도에 따른 풍속 결과

② 블레이드 크기 증대 시 바 각도에 따른 기류 변화

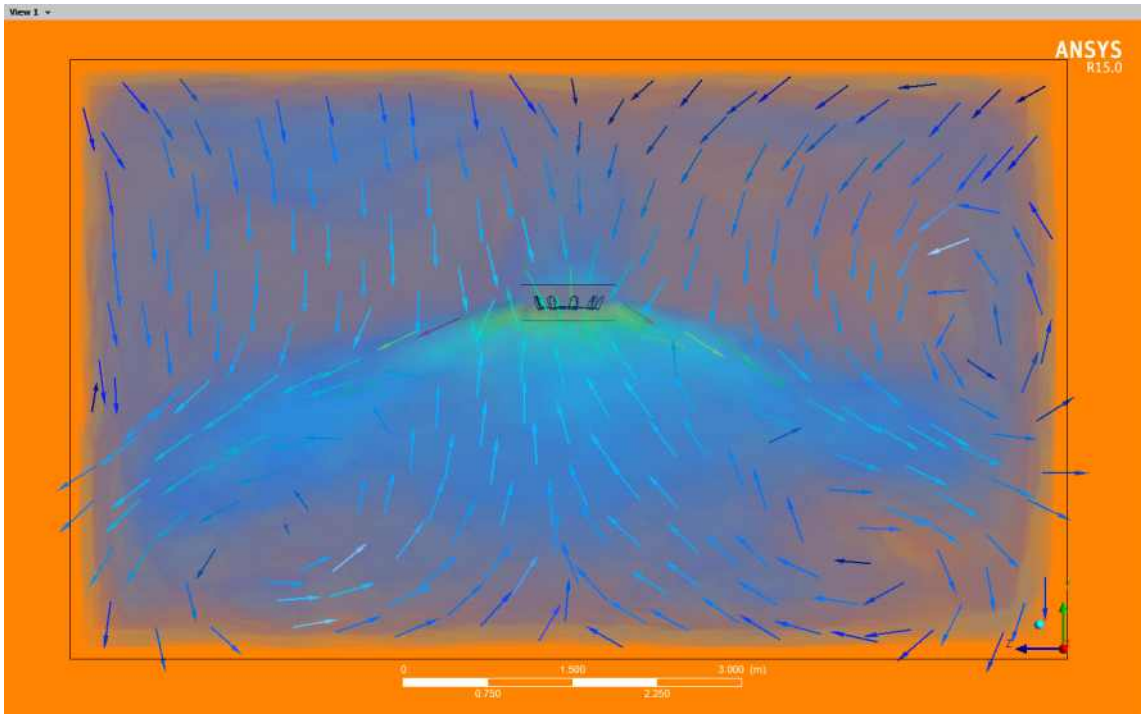
○ 블레이드 크기 115%, 블레이드 각도 23°를 기준으로 바 각도 10°일 때 풍속이 가장 빠른 것으로 나타났고 바 각도 7°일 때 가장 낮은 것으로 나타났다. 오리지날 규격에 비해 풍속이 평균 19% 빨라진 것으로 나타났으며 이전 오리지날 크기보다 기류 방향에 명확한 차이가 나타났다. 블레이드 크기가 커질수록 풍속이 빨라졌으며 추후 풍속 센서를 이용하여 분석내용과 비교가 필요할 것으로 판단된다.



<그림 2-5> 블레이드 크기: 115%, 블레이드 각도: 23°, 바 각도 : 7°



<그림 2-6> 블레이드 크기: 115%, 블레이드 각도: 23°, 바 각도 : 10°



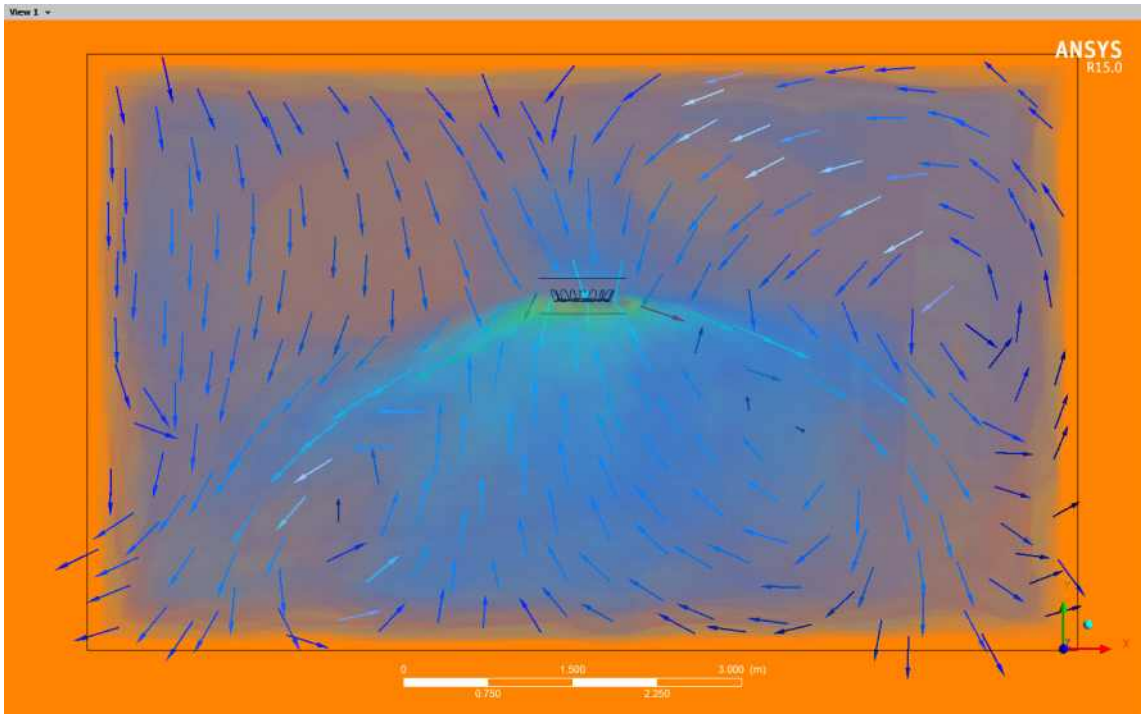
<그림 2-7> 블레이드 크기: 115%, 블레이드 각도: 23°, 바 각도 : 13°

실험 조건	풍속
블레이드 크기 : 115%, 블레이드 각도 : 23°, 바 각도 : 07°	5.06 m/s
블레이드 크기 : 115%, 블레이드 각도 : 23°, 바 각도 : 10°	6.07 m/s
블레이드 크기 : 115%, 블레이드 각도 : 23°, 바 각도 : 13°	5.78 m/s

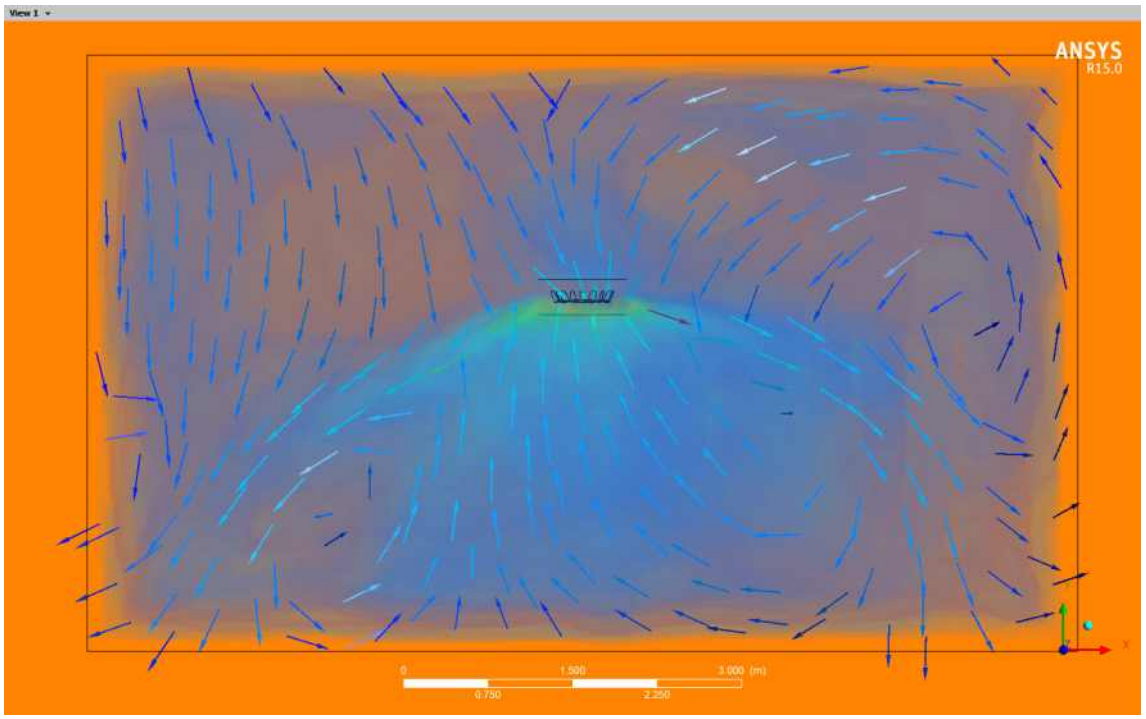
<표 2-2> 크기 115% 블레이드 바 각도에 따른 풍속 결과

③ 블레이드 바 길이에 따른 기류 변화

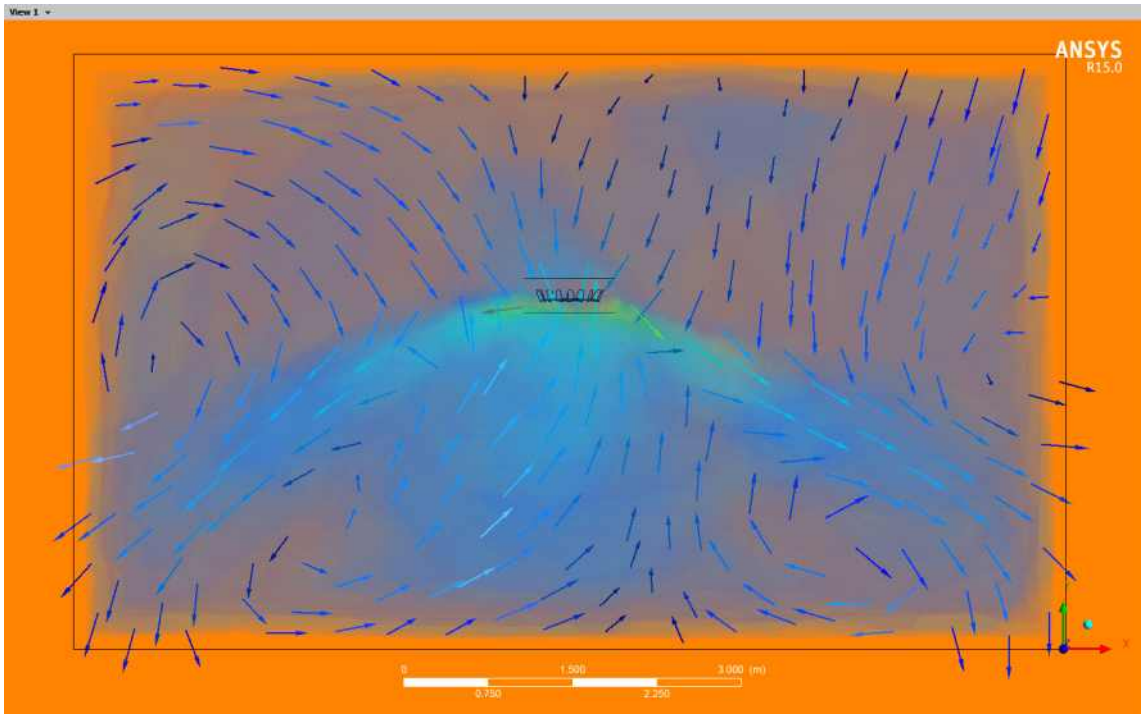
○ 블레이드 각도 23°, 바 각도 : 10°를 기준으로 바 길이 17.5cm일 때 풍속이 가장 빠른 것으로 나타났고 바 길이 15.5cm일 때 가장 낮은 것으로 나타났다. 오리지날 규격에 비해 길이가 -2cm 짧을 때와는 큰 차이가 없는 것으로 나타났으나 +2cm 일 때 풍속이 빨라는 것으로 나타났다. 길이에 대한 분석은 추가 분석이 필요한 것으로 판단된다.



<그림 2-8> 블레이드 각도: 23°, 바 각도: 10°, 바 길이 : 13.5cm



<그림 2-9> 블레이드 각도: 23°, 바 각도: 10°, 바 길이 : 15.5cm



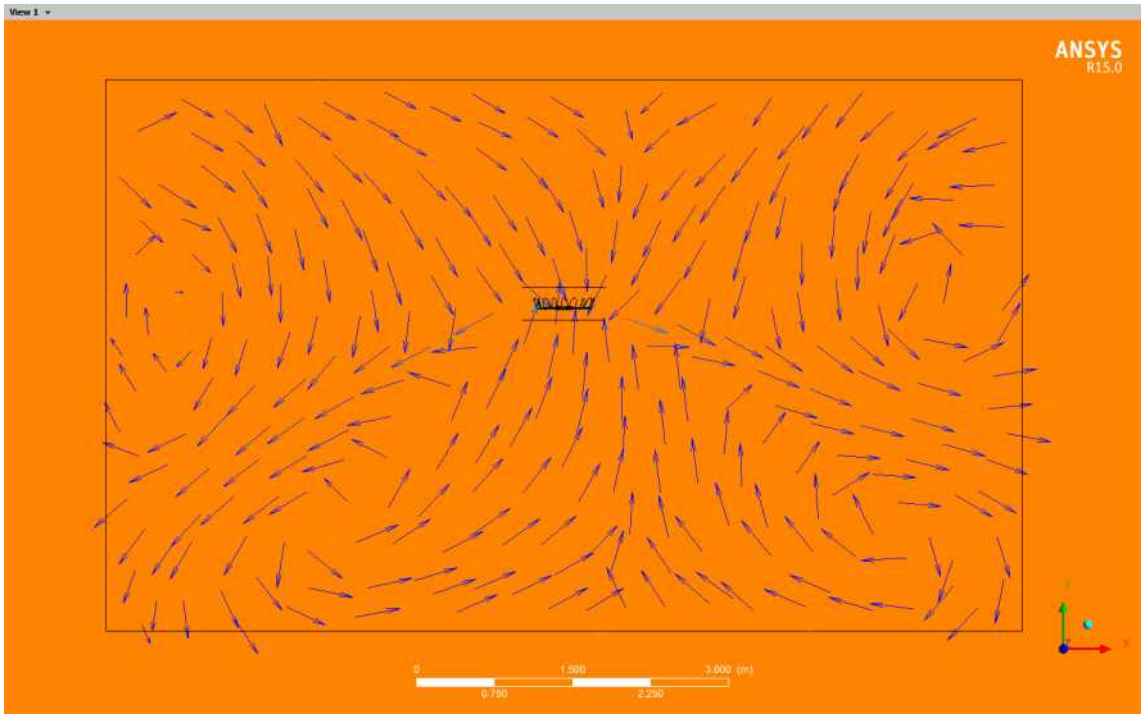
<그림 2-10> 블레이드 각도: 23°, 바 각도: 10°, 바 길이 : 17.5cm

실험 조건	풍속
블레이드 각도 : 23°, 바 각도 : 10°, 바 길이 : 13.5cm	5.17 m/s
블레이드 각도 : 23°, 바 각도 : 10°, 바 길이 : 15.5cm	5.10 m/s
블레이드 각도 : 23°, 바 각도 : 10°, 바 길이 : 17.5cm	5.83 m/s

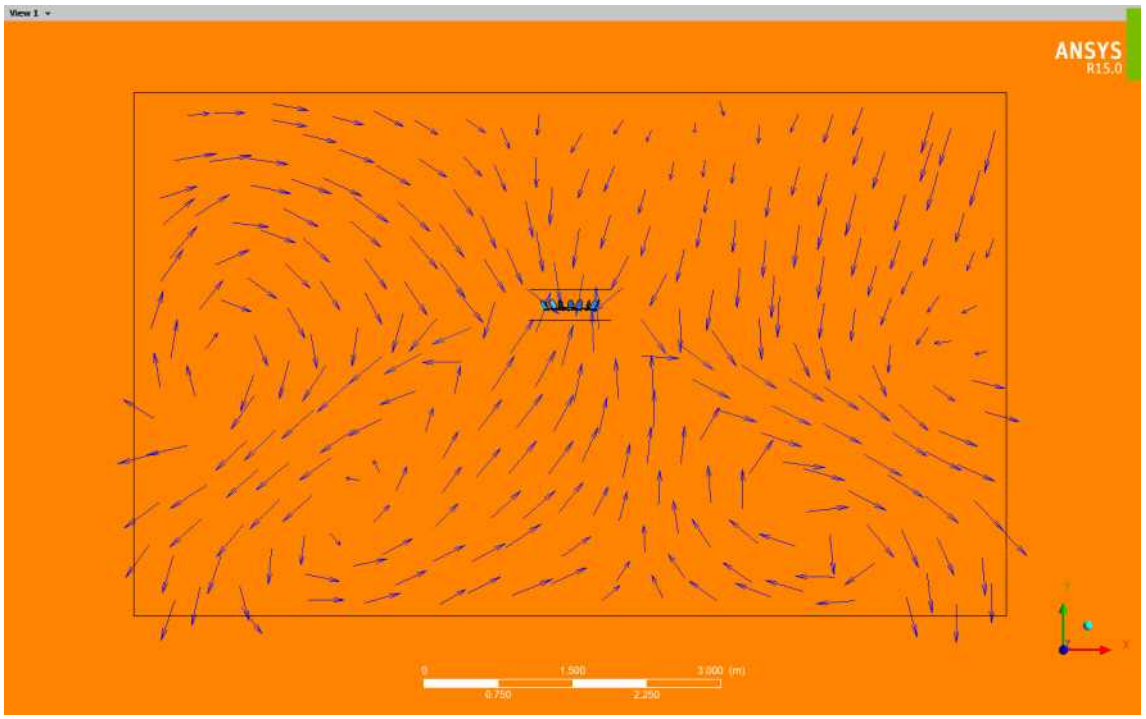
<표 2-3> 블레이드 바 길이에 따른 풍속 결과

④ 블레이드 각도에 따른 기류 변화

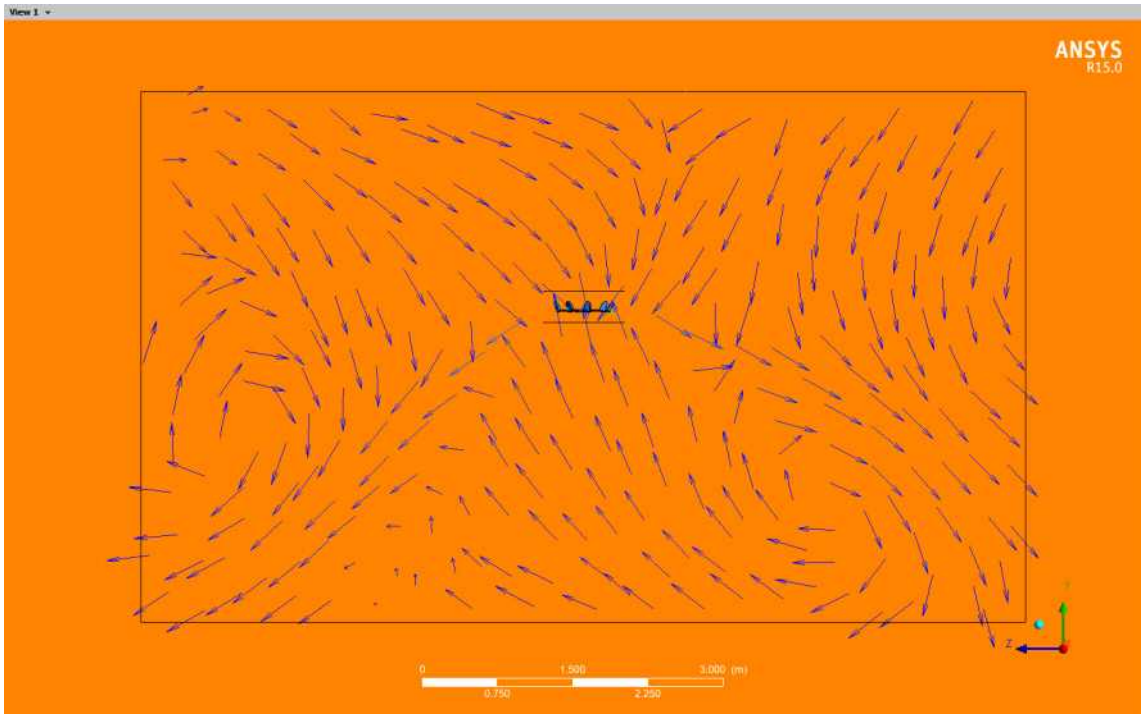
○ 바 각도 10°를 기준으로 블레이드 각도 18°일 때 풍속이 가장 빠른 것으로 나타났고 블레이드 각도 28°일 때 가장 낮은 것으로 나타났으나 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 기류 형상은 육안으로 확인한 결과 각도가 클수록 지면으로 향하고 각도가 작을수록 측면으로 향하는 것으로 보이나 그 차이가 미미하여 블레이드 각도에는 기류 형상에 큰 영향이 적은 것으로 판단된다.



<그림 2-11> 블레이드 각도: 18°, 바 각도: 10°



<그림 2-12> 블레이드 각도: 23°, 바 각도: 10°



<그림 2-13> 블레이드 각도: 28°, 바 각도: 10°

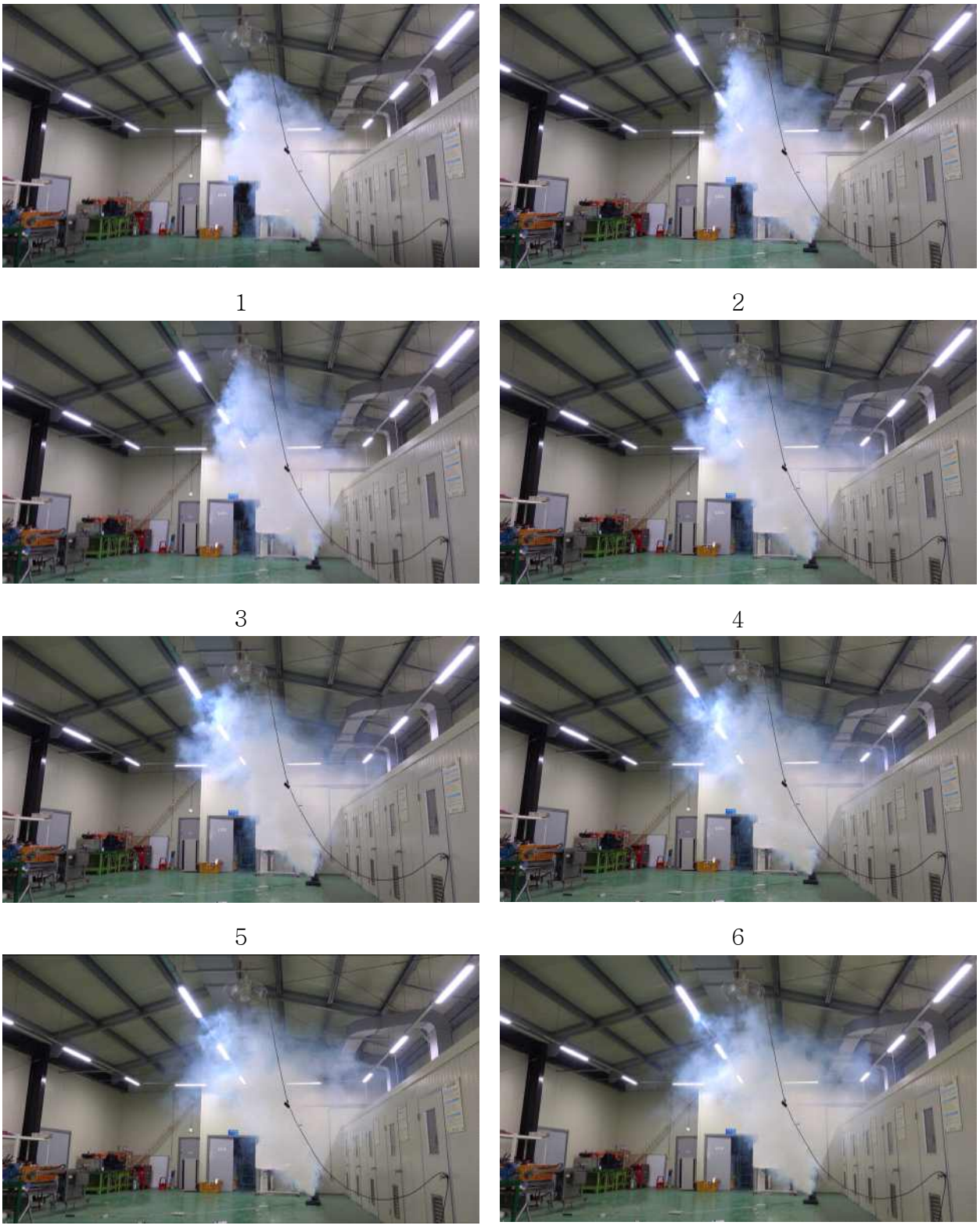
실험 조건	풍속
블레이드 각도 : 18°, 바 각도 : 10°	5.40 m/s
블레이드 각도 : 23°, 바 각도 : 10°	5.34 m/s
블레이드 각도 : 28°, 바 각도 : 10°	5.21 m/s

<표 2-4> 블레이드 각도에 따른 풍속 결과

나) 기류 특성분석을 통한 팬 적정 블레이드 각도 결정

○ 시뮬레이션 결과를 통해 기류의 방향에 영향을 미치는 블레이드 바 각도 7°, 10°, 13° 모델을 제작하여 연기 분사 장치(Antari, Z-1000II, Taiwan)를 이용하여 육안으로 확인하였다. 시험장소는 한국농수산대학 첨단기술센터에서 실시하였다. 기류 형상 촬영 및 분석은 카메라(Sony, RX10, Japan)를 이용하여 동영상을 촬영하였고 촬영된 영상으로 기류 형상을 확인하였다. 또한 전력량 측정장치를 이용하여 1시간 소비된 소비전력을 측정하였다.

○ 시험결과 모든 모델은 시뮬레이션 결과와 같이 공기순환 팬 하단에서 흡입하며 측면에서 분출하는 형상을 생성하였다. 블레이드 바 각도 7°일 때 시뮬레이션 결과보다 더 지면쪽으로 하강하는 기류 형상을 생성하는 것으로 나타났다. 블레이드 바 각도 10°일 때 7° 보다 높은 각도로 기류 형상을 나타내었으며 시뮬레이션 결과와 비슷하게 기류 형상이 생성되었다. 블레이드 바 각도 13°일 때는 공기순환 팬의 좌우로 연기가 흩어지는 형상을 나타내었다. 1시간 동안 측정한 소비전력은 약 0.2kW/h로 측정되었다. 시뮬레이션 결과와 시험결과의 기류 형상이 일치하는 것으로 판단되었으며 카메라 촬영 위치 및 연기 분사장 치로 인한 육안 분석으로는 공기순환 팬 상단의 기류 형상은 확인이 어려워 추후 연구방법을 개선하여 분석해야 할 것으로 사료된다.



1 2

3 4

5 6

7 8

<그림 2-14> 블레이드 각도 7° 모델의 연기 분사 장치를 이용한 기류 형상 분석

1

2

3

4

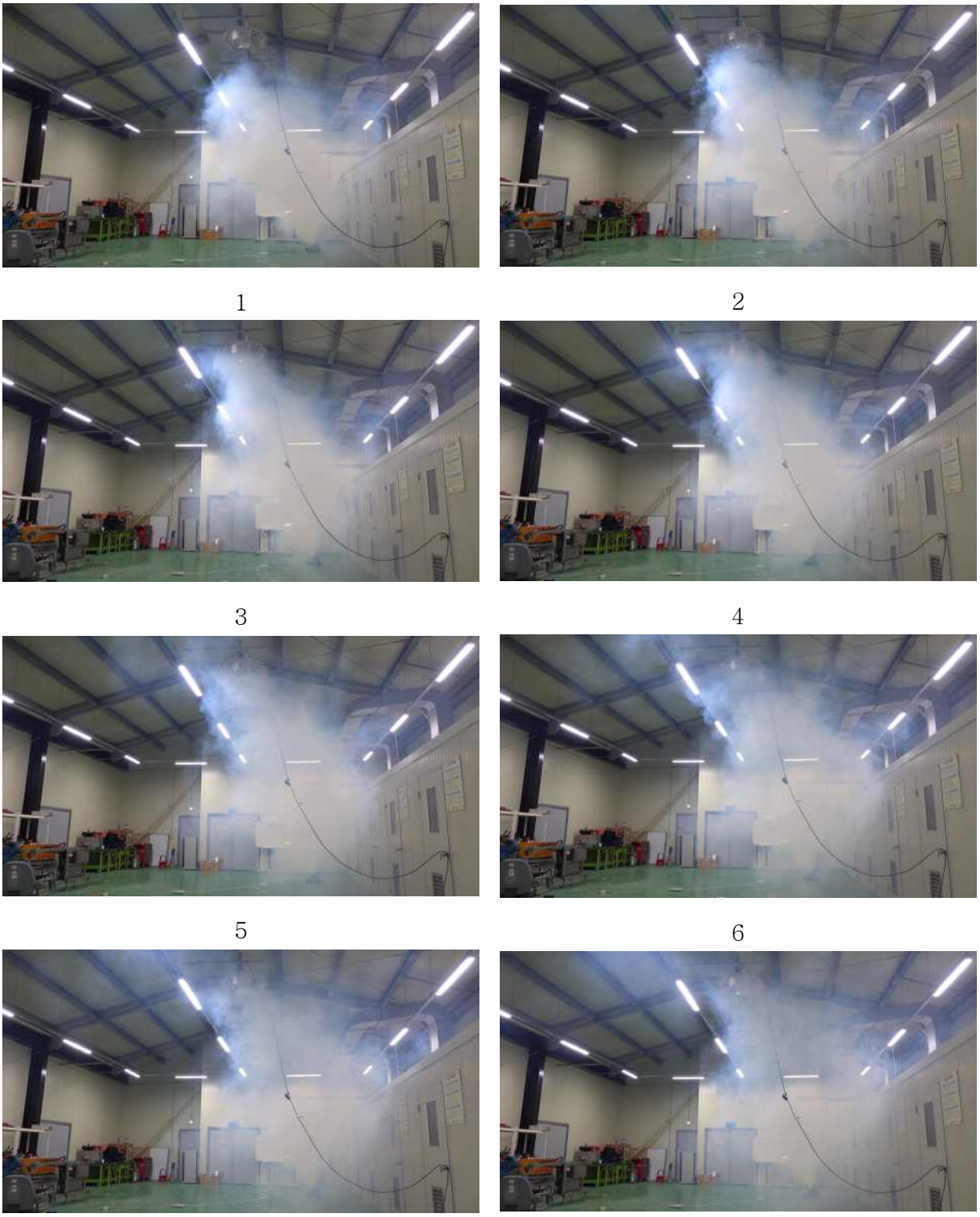
5

6

7

8

<그림 2-15> 블레이드 각도 10° 모델의 연기 분사 장치를 이용한 기류 형상 분석



1 2

3 4

5 6

7 8

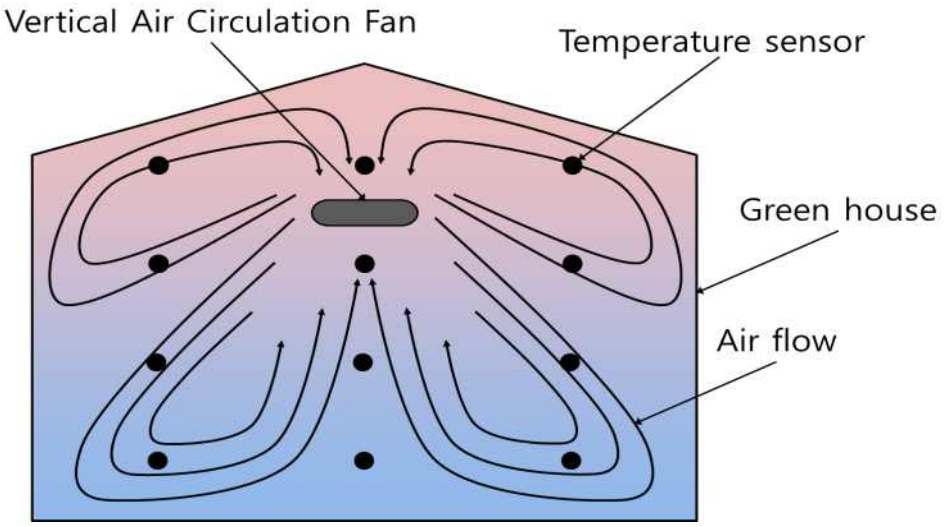
<그림 2-16> 블레이드 각도 13° 모델의 연기 분사 장치를 이용한 기류 형상 분석

다) 실내의 온도변화 경향에 의한 기류 순환 성능 측정

○ 연기 분사 장치 실험결과를 통해 블레이드 각도 : 23°, 블레이드 바 각도 10°를 이용하는 것이 적합하다고 사료되어 온도변화 시험에 적용하기로 결정하였다. 시험은 한국농수산대학 온실(23*14*5, L*W*H, m)에서 실시하였다. 수직형 공기순환 팬은 온실 내 정중앙, 지면에서 3m 높이에 설치하였다. 온도센서(HOBO pro v2, Onset Computer Corp., USA)는 수직형

공기순환 팬을 기준으로 좌·우측으로 2m 간격을 두었으며 좌측, 우측, 중앙에 수직으로 4개씩 설치하였고 각 위치마다 1개씩은 공기순환 팬의 상단으로 0.5m 높이 설치하였다. 시험시간은 온실 내부 온도 차가 가장 높은 12시 30분에 작동시켜 30분 동안 10분 간격으로 측정하였다.

○ 순환 팬으로부터 거리가 멀어질수록 풍속은 약해지며, 온실환경설계기준(2015)에서는 순환 팬을 설치할 때 직경의 35배에 비례하여 팬을 설치하는 것을 권장하고 있다. 풍속은 디지털 풍속계(Testo 425, Germany)로 측정하였으며, 5회 반복 측정한 후 나타낸 평균 값을 기록하였다. 풍속 측정결과, 1m, 2m, 3m, 5m 떨어진 위치에서의 풍속은 각각 1.46m/s, 0.52m/s, 0.25m/s, 0.11m/s로 나타났으며, 공기순환 팬으로부터 3m 이상 벗어나면 풍속은 0.2m/s로 약해지기 때문에 작물에 피해를 주거나 손상을 주지 않을 것으로 판단된다.

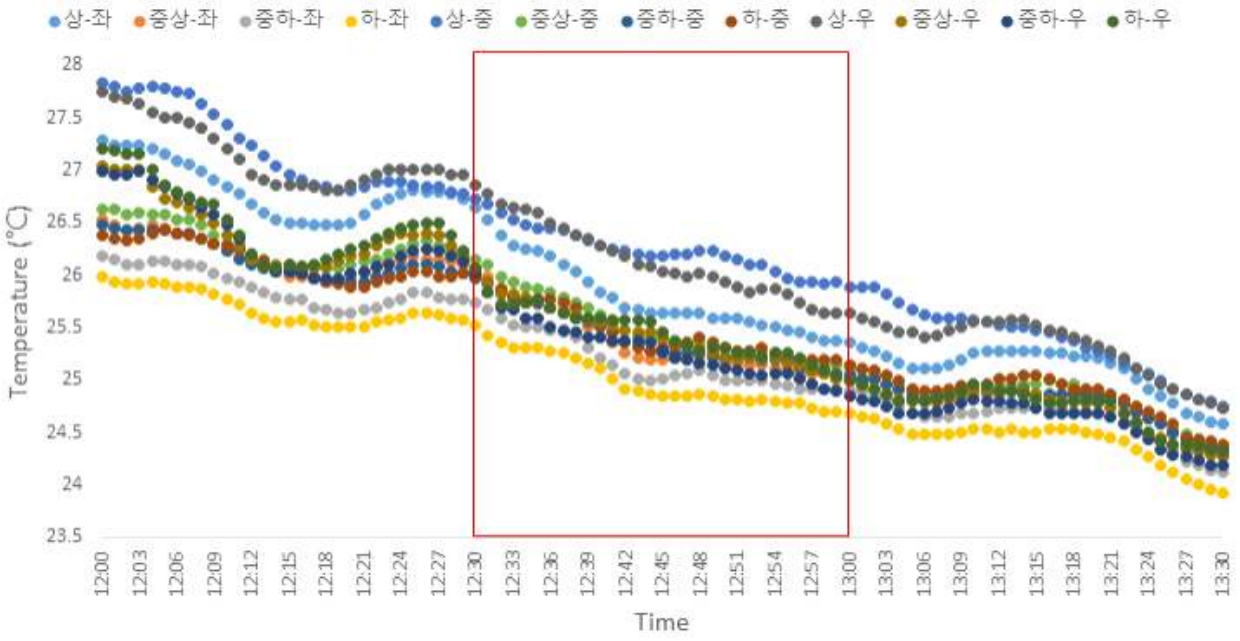


<그림 2-17> 공기순환 팬을 이용한 온도변화 시험 개략도

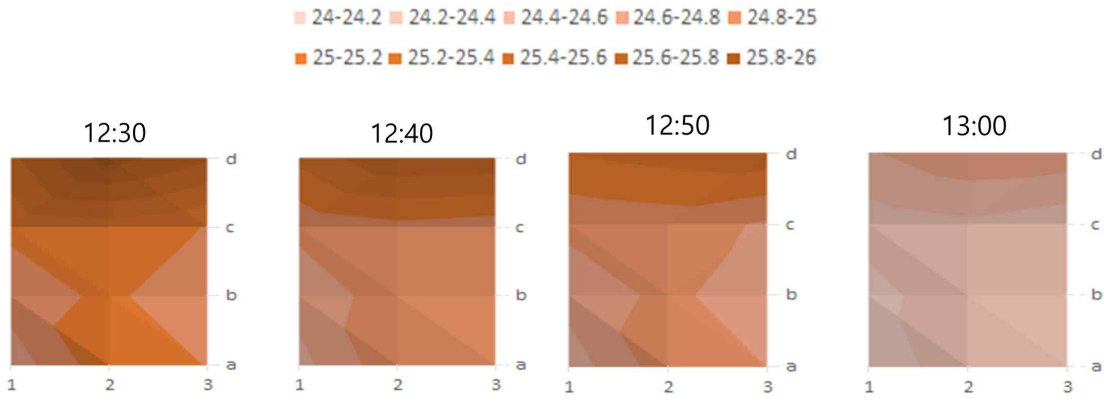
<그림 2-18> 공기순환 팬을 이용한 온도변화 시험 온실

○ 시험결과 온도 센서의 수직 데이터를 분석한 결과 초기 내부 온도는 상단이 26.2℃, 하단 이 24.8℃로 1.4℃ 차이가 났으며 공기순환 팬 작동 후에는 상단이 24.1℃, 하단이 23. 5℃로 0.6℃ 차이로 나타나 상·하단의 온도 차가 줄어든 것으로 나타났다. 온도 센서 수직 데이터

에서는 공기순환 팬 작동 10분 후 내부 온도 차가 조금씩 좁아지는 경향이 나타났으며 30분 후에는 내부 온도가 균일화된 것으로 나타났다. 실험 당시 온실 내부 상·하단 온도 차가 크지 않았으나 내부 온도 균일화가 되었고 추후 온도 센서의 양을 늘려 온실 내부 전체 온도변화를 관찰하고 타 공기순환 팬과 비교가 필요할 것으로 사료된다.



<그림 2-19> 공기순환 팬에 의한 온실 내부 온도변화 그래프



<그림 2-20> 공기순환 팬에 의한 온실 내부 온도 변화 수직그래프

라) 순환 팬 회전 속도에 따른 소비전력, 회전계를 이용 팬 회전수 측정

○ 순환 팬의 소비전력과 회전수를 측정하기 위해 5단계로 나누어 시험하였다. 시험에 사용한 모터는 수직형 공기순환 팬에 적합한 모터의 조사한 결과를 기반으로 다음 표와 같은 모터를 이용하여 시험하였다. 전류는 테스터기(HIOKI 3280-20, Hioki EE Corp, Japan)를 이용하여 측정하였고 전력은 전자식 전력량계를 장착하여 각 단계별로 1시간 동안 사용된 전력을 측정하였다.

VOLTS	AMPS	WATTS	RPM	HZ	CON	VOLTS	AMPS	WATTS	HZ
220	0.660	91.3	892	60	6.0/450	220	1.36	271	60

<표 2-5> 시험에 사용한 모터의 제원

<그림 2-21> 시험에 사용된 전자식 전력량계 및 테스터기

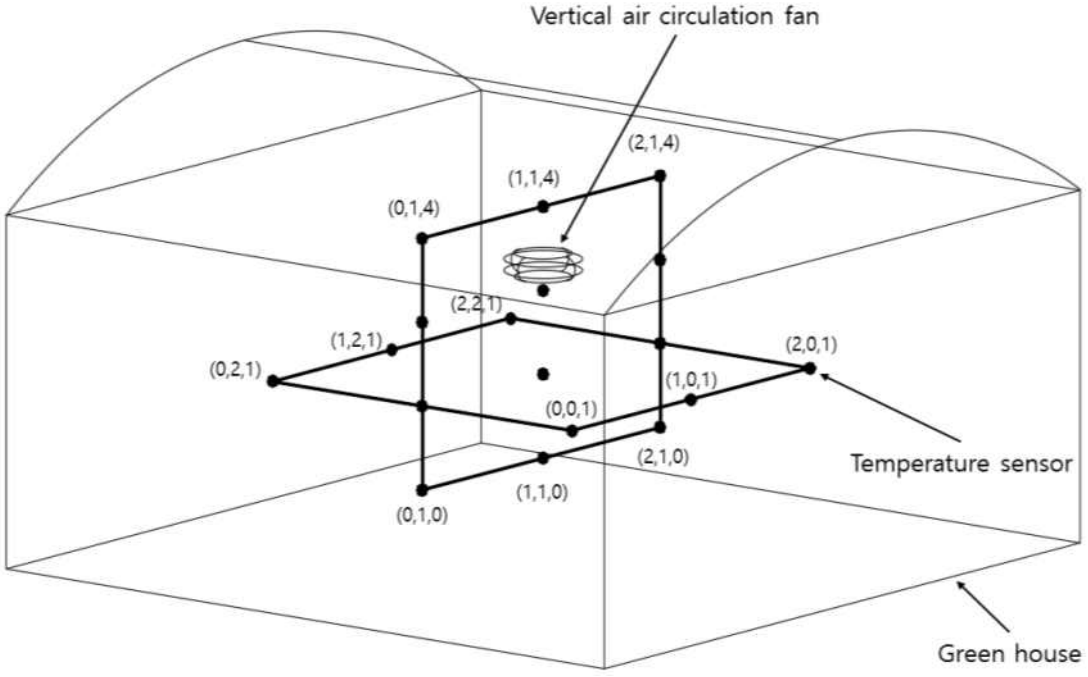
○ 시험결과 1단계에서는 104V, 0.40A, 78.6W, 217RPM, 2단계에서는 132V, 0.61A, 122W, 286RPM, 3단계에서는 161V, 0.86A, 174W, 364RPM, 4단계에서는 180V, 1.05A, 216W, 412RPM, 5단계에서는 220V, 1.46A, 300W, 535RPM으로 측정되었다. 단계가 높아질수록 즉, 회전 속도가 빨라질수록 소비전력은 증가하였으며, 5단계일 때 모터의 소비전력이 가장 높게 나타났다.

SPEED	RPM	VOLT	AMPS	WATTS	HZ
1STEP	217	104	0.402	78.6	60
2STEP	286	132	0.615	122.4	60
3STEP	364	161	0.861	174	60
4STEP	412	180	1.051	216	60
5STEP	535	220	1.462	300	60

<표 2-6> 단계별 모터 회전수 및 소비전력

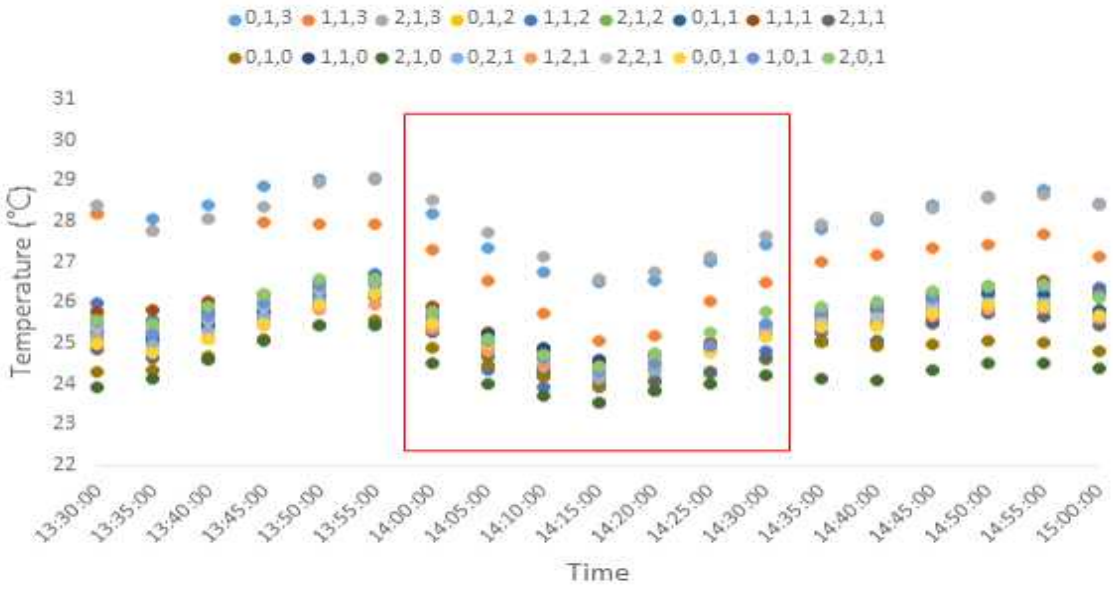
마) 순환 팬 가동 유무에 따른 온습도 분포 컨투어맵 작성

○ 최적화된 수직형 공기순환 팬 모델을 제작하여 한국농수산대학 온실(23*14*5, L*W*H, m)에서 시험을 실시하였다. 설치 위치는 온실 내 정중앙, 지면에서 3m 높이에 설치하였다. 온도센서(HOBO pro v2, Onset Computer Corp., USA)는 수직형 공기순환 팬을 기준으로 좌·우측으로 2m 간격을 두었으며 좌측, 우측, 중앙에 수직으로 4개씩 설치하였고 각 위치마다 1개씩은 공기순환 팬의 상단으로 0.5m 높이 설치하였다. 수평으로는 상단 좌·우측 및 중앙에 1개씩, 하단 좌·우측 및 중앙에 1개씩 온도 센서를 설치하였다. 온도측정은 주간에 13시부터 16시까지 5분 간격으로 온도측정을 하였으며 공기순환 팬 작동 시간은 14시부터 30분 동안 실행하였다.



<그림 2-22> 공기순환 팬 및 온도 센서 배치도

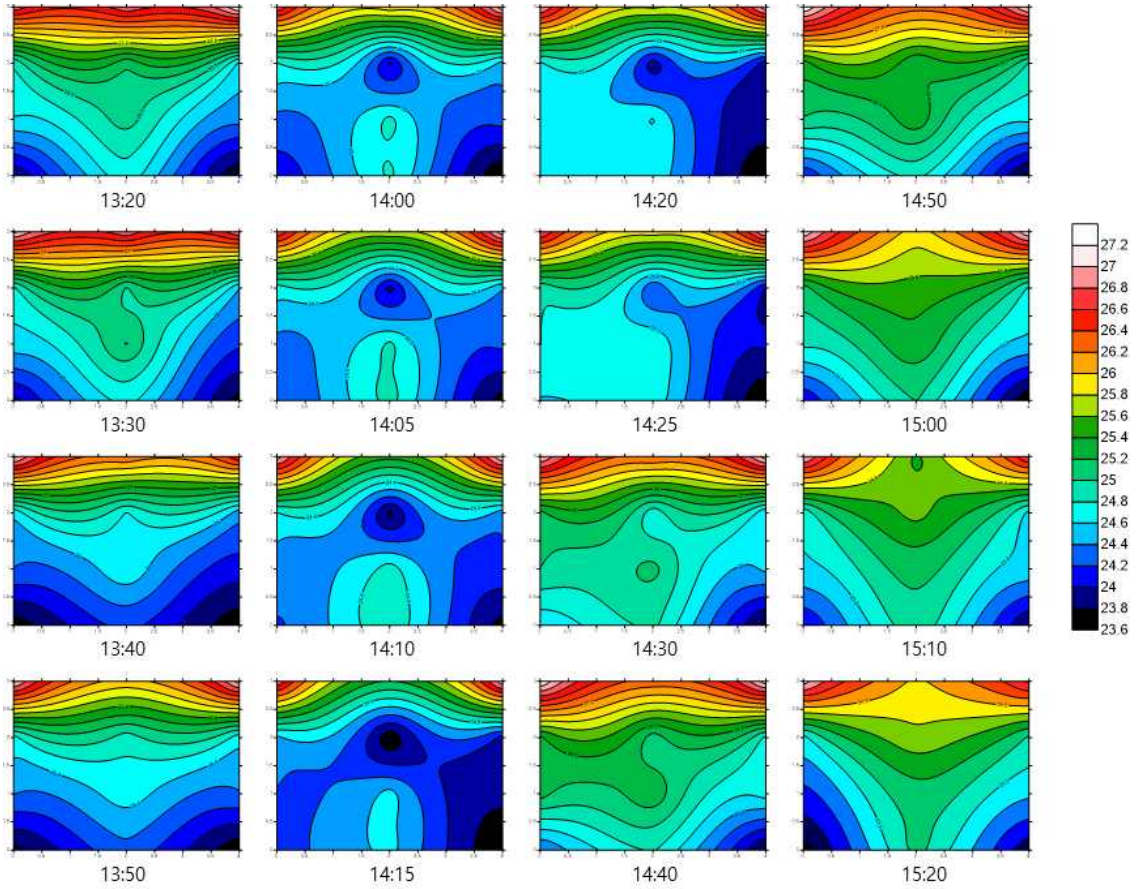
○ 시험결과 공기순환 팬 작동 전 온실 내부 온도는 상단이 29.1℃, 하단이 25.5℃로 나타나 온도 차가 3.64℃이며 표준편차가 1.02℃로 나타났다. 공기순환 팬을 작동 후 온도 편차가 낮아지는 경향을 나타내었으며 작동 20분 뒤 온실 내부 온도는 상단이 26.7℃, 하단이 23.8℃로 나타나 온도 차가 2.91℃이며 표준편차가 0.79℃로 가장 낮은 편차를 나타내었다. 작동 종료 후부터 다시 온도 차 커지기 시작하였으며 25분 뒤 상·하단의 온도 차가 초기 온도 차와 비슷한 4.28℃까지 돌아왔다.



<그림 2-23> 공기순환 팬에 의한 온실 내부 온도변화

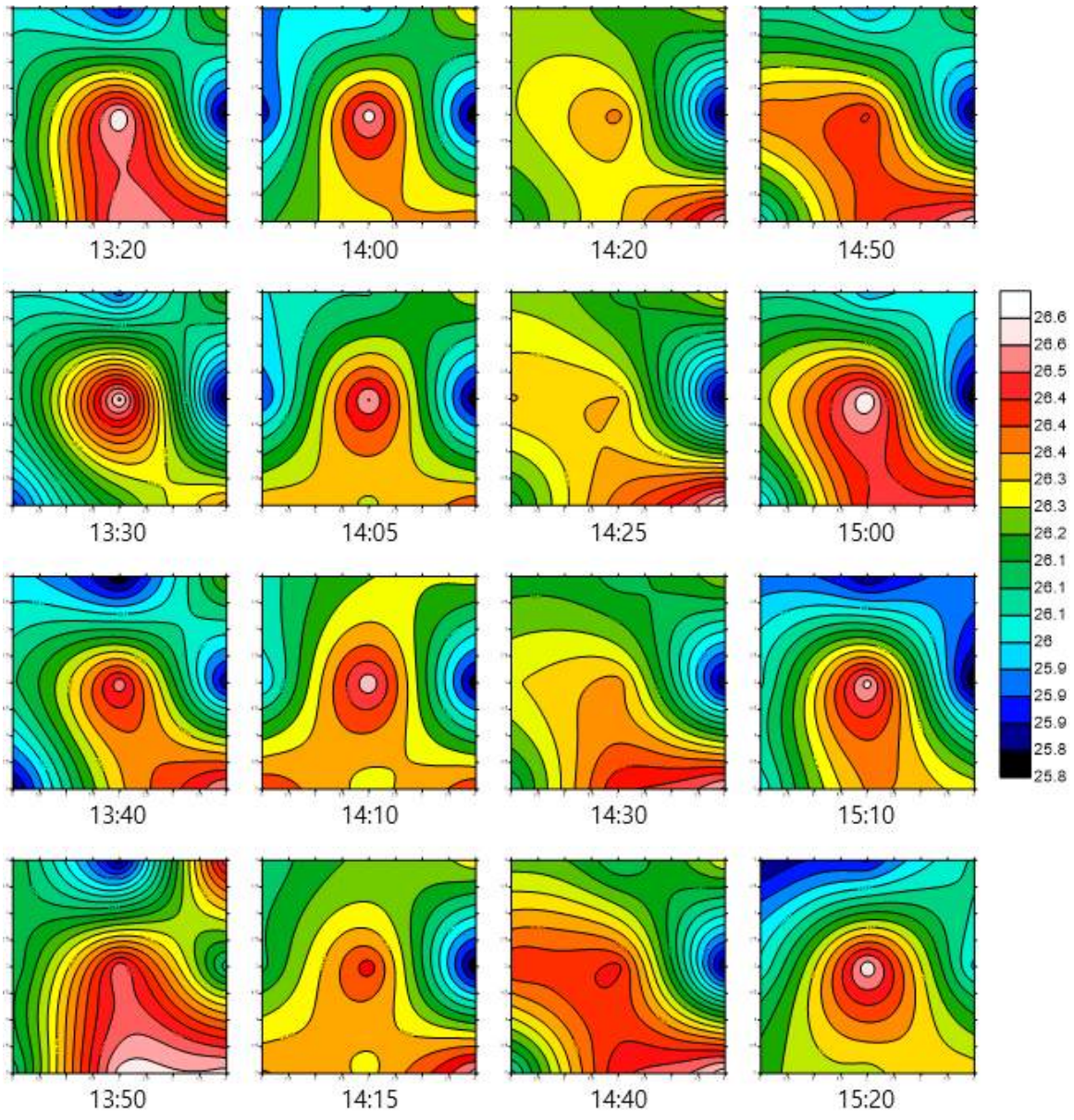
○ 수직 온도분포를 분석한 결과, 14시부터 공기순환 팬이 작동하면서 공기순환 팬 하단으로 온도변화가 발생하였다. 이후 14시 30분 공기순환 팬이 중단과 하단의 온도가 섞이고 있었으며 15시 20분에 초기 상태로 온도가 변화하였다. 공기순환 팬 작동 중 우측의 온도변화가 좌

측에 비해 적은 것으로 나타났는데 이는 공기순환 팬 우측에 온실 내부 기둥으로 인해 공기 순환이 잘 이루어지지 않은 것으로 사료된다.



<그림 2-24> 순환 팬 가동 후 수직 온도분포 변화

○ 수평 온도분포를 분석한 결과, 14시부터 공기순환 팬이 작동하였으며 14시 20분부터 온도변화가 나타나기 시작했다. 이후 15시 20분에 초기 상태로 온도가 변화하였다. 14시부터 공기순환 팬이 작동하여 좌측 중간에 비해 우측 중간은 큰 변화가 없는 것으로 나타났는데 이는 순환 팬 우측에 하우스 내부 기둥으로 인해 기류의 영향이 적었던 것으로 사료된다. 추후 시험에는 공기순환 팬 온도변화 시험에 적합한 시험장소를 재지정하며 온도 센서를 추가하여 수평 온도 데이터에 대한 추가 시험이 필요할 것으로 사료된다.



<그림 2-25> 순환 팬 가동 후 수평 온도분포 변화

나. 정량적 연구개발성과(해당 시 작성하며, 연구개발과제의 특성에 따라 수정이 가능합니다)

< 정량적 연구개발성과표(예시) >

(단위 : 건, 천원)

성과지표명 \ 연도		1단계 (YYYY~YYYY)	n단계 (YYYY~YYYY)	계	가중치 (%)
전담기관 등록·기탁 지표[1]	목표(단계별)				
	실적(누적)				
	목표(단계별)				
	실적(누적)				
연구개발과제 특성 반영 지표[2]	목표(단계별)				
	실적(누적)				
	목표(단계별)				
	실적(누적)				
계					

< 연구개발성과 성능지표(예시) >

평가 항목 (주요성능[1])		단위	전체 항목에서 차지하는 비중[2] (%)	세계 최고		연구개발 전국내 성능수준	연구개발 목표치		목표설정 근거
				보유국/보유기관	성능수준	성능수준	1단계 (YYYY~YYYY)	n단계 (YYYY~YYYY)	
1									
2									

다. 세부 정량적 연구개발성과(해당되는 항목만 선택하여 작성하되, 증빙자료를 별도 첨부해야 합니다)

[과학적 성과]

□ 논문(국내외 전문 학술지) 게재

번호	논문명	학술지명	주저자명	호	국명	발행기관	SCIE 여부 (SCIE/비SCIE)	게재일	등록번호 (ISSN)	기여율
1	Analysis of temperature distribution according to the vertical air circulation fans in greenhouse	Precision Agriculture Science and Techonology	강**	3(4)	대한민국	한국정밀농업학회	비SCI	2021.12		

□ 국내 및 국제 학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표자	발표 일시	장소	국명
1	CFD를 이용한 수직형 순환 팬의 기류 분석	강**	2020.10.30.	전북대학교	대한민국
2	수직형 공기순환 팬을 이용한 온실 내부 온도변화 분석	강**	2020.10.30.	전북대학교	대한민국
3	수직형 공기순환 팬을 이용한 야간 온도변화 분석	강**	2021.04.30.	국립농업과학원 농업공학부	대한민국
4	수직형 공기순환 팬 유·무에 따른 온실 내부 온도변화 분석	김**	2021.10.29.	소노벨 제주	대한민국

□ 기술 요약 정보

연도	기술명	요약 내용	기술 완성도	등록 번호	활용 여부	미활용사유	연구개발기관 외 활용여부	허용방식

□ 보고서 원문

연도	보고서 구분	발간일	등록 번호

□ 생명자원(생물자원, 생명정보)/화합물

번호	생명자원(생물자원, 생명정보)/화합물 명	등록/기탁 번호	등록/기탁 기관	발생 연도

[기술적 성과]

□ 지식재산권(특허, 실용신안, 의장, 디자인, 상표, 규격, 신품종, 프로그램)

번호	지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재)	국명	출원				등록			기여율	활용 여부
			출원인	출원일	출원 번호	등록 번호	등록인	등록일	등록 번호		
1	에너지 절감을 위한 수직형 공기순환 팬	대한민국	농업회사법인아그로그린주식회사	2020.11.06	10-2020-0147243					100	√

○ 지식재산권 활용 유형

번호	제품화	방어	전용실시	통상실시	무상실시	매매/양도	상호실시	담보대출	투자	기타

□ 저작권(소프트웨어, 서적 등)

번호	저작권명	창작일	저작자명	등록일	등록 번호	저작권자명	기여율

□ 신기술 지정

번호	명칭	출원일	고시일	보호 기간	지정 번호

□ 기술 및 제품 인증

번호	인증 분야	인증 기관	인증 내용		인증 획득일	국가명
			인증명	인증 번호		

□ 표준화

○ 국내표준

번호	인증구분[1]	인증여부[2]	표준명	표준인증기구명	제안주체	표준종류[3]	제안/인증일자
1	전기안전인증	여		한국기계전기전자시험연구원		신규	21년12월8일

○ 국제표준

번호	표준화단계 구분[1]	표준명	표준기구명[2]	표준분과명	의장단 활동여부	표준특허 추진여부	표준개발 방식[3]	제안자	표준화 번호	제안일자

[경제적 성과]

□ 시제품 제작

번호	시제품명	출시/제작일	제작 업체명	설치 장소	이용 분야	사업화 소요 기간	인증기관 (해당 시)	인증일 (해당 시)
1	그린 에어팬	21.09.01.	아그로그린(주)	아그로그린,대양씨스템(주)	공기순환		전기안전인증	2021.12.08.

□ 기술 실시(이전)

1

□ 사업화 투자실적

번호	추가 연구개발 투자	설비 투자	기타 투자	합계	투자 자금 성격*

□ 사업화 현황

번호	사업화 방식[1]	사업화 형태[2]	지역[3]	사업화명	내용	업체명	매출액		매출 발생 연도	기술 수명
							국내 (천원)	국외 (달러)		
1	기술이전	신제품 개발	국내				220,000		2021	

□ 매출 실적(누적)

사업화명	발생 연도	매출액		합계	산정 방법
		국내(천원)	국외(달러)		
원뿔수직형 에어교반기	2021	220,000		220,000	
합계		220,000		220,000	

□ 사업화 계획 및 무역 수지 개선 효과

성과					
사업화 계획	사업화 소요기간(년)				
	소요예산(천원)				
	예상 매출규모(천원)		현재까지	3년 후	5년 후
	시장 점유율	단위(%)	현재까지	3년 후	5년 후
		국내			
		국외			
	향후 관련기술, 제품을 응용한 타 모델, 제품 개발계획				
무역 수지 개선 효과(천원)	수입대체(내수)		현재	3년 후	5년 후
	수출				

□ 고용 창출

순번	사업화명	사업화 업체	고용창출 인원(명)		합계
			2020년	2021년	
1	에너지 절감을 위한 수직형 공기순환 팬(그린에어팬)	아그로그린(주)	1	0	1
합계			1	0	1

□ 고용 효과

구분			고용 효과(명)
고용 효과	개발 전	연구인력	
		생산인력	
	개발 후	연구인력	
		생산인력	1

□ 비용 절감(누적)

순번	사업화명	발생연도	산정 방법	비용 절감액(천원)
합계				

□ 경제적 파급 효과

(단위: 천원/년)

구분	사업화명	수입 대체	수출 증대	매출 증대	생산성 향상	고용 창출 (인력 양성 수)	기타
해당 연도							
기대 목표							

□ 산업 지원(기술지도)

순번	내용	기간	참석 대상	장소	인원

□ 기술 무역

(단위: 천원)

번호	계약 연월	계약 기술명	계약 업체명	계약업체 국가	기 징수액	총 계약액	해당 연도 징수액	향후 예정액	수출/ 수입

[사회적 성과]

□ 법령 반영

번호	구분 (법률/시행령)	활용 구분 (제정/개정)	명 칭	해당 조항	시행일	관리 부처	제정/개정 내용

□ 정책활용 내용

번호	구분 (제안/채택)	정책명	관련 기관 (담당 부서)	활용 연도	채택 내용

□ 설계 기준/설명서(시방서)/지침/안내서에 반영

번호	구 분 (설계기준/설명서/지침/안내서)	활용 구분 (신규/개선)	설계 기준/설명서/ 지침/안내서 명칭	반영일	반영 내용

□ 전문 연구 인력 양성

번호	분류	기준 연도	현황										
			학위별				성별		지역별				
			박사	석사	학사	기타	남	여	수도권	충청권	영남권	호남권	기타

□ 산업 기술 인력 양성

번호	프로그램명	프로그램 내용	교육 기관	교육 개최 횟수	총 교육 시간	총 교육 인원

□ 다른 국가연구개발사업에의 활용

번호	중앙행정기관명	사업명	연구개발과제명	연구책임자	연구개발비

□ 국제화 협력성과

번호	구분 (유치/파견)	기간	국가	학위	전공	내용

□ 홍보 실적

번호	홍보 유형	매체명	제목	홍보일

□ 포상 및 수상 실적

번호	종류	포상명	포상 내용	포상 대상	포상일	포상 기관

[인프라 성과]

□ 연구시설・장비

구축기관	연구시설/ 연구장비명	규격 (모델명)	개발여부 (○/×)	연구시설・장비 종합정보시스템* 등록여부	연구시설・장비 종합정보시스템* 등록번호	구축일자 (YY.MM.DD)	구축비용 (천원)	비고 (설치 장소)

[그 밖의 성과](해당 시 작성합니다)

라. 계획하지 않은 성과 및 관련 분야 기여사항(해당 시 작성합니다)

1) 목표 달성 수준

추 진 목 표	달 성 내 용	달성도(%)
에너지 절감을 위한 온실용 수직 공기순환 팬의 자동화 시스템 개발 및 산업화	- 온실 공기순환 팬 설계를 위한 순환 팬 규격, 성능 등 특성 조사 분석 - 빠른 공기순환을 위한 순환 팬 날개 형상, 날개 수 및 배치 설계 - 순환 팬 사양, 규격에 맞는 모터 적정 용량, 모델 선정 - 순환 팬 회전 속도 조절을 위한 전원 공급장치 개발 - 풍량 제어를 통한 최적 풍량 설계 - 순환 팬 하우징(케이싱) 설계 - 공기순환 팬 시작기 제작 및 성능실험 - 온·습도 및 IoT 이용한 제어장치의 종합 설계 및 제작 - 수직 공기순환 팬 현장적응시험 - 수직 공기순환 팬 제품화 및 인증	100
에너지 절감을 위한 온실 수직 공기순환 팬 최적 설계	- CFD를 이용한 기류 분석 - 기류 특성분석을 통한 팬 적정 블레이드 각도 결정 - 실내의 온도변화 경향에 의한 기류 순환 성능 측정 - 순환 팬 회전 속도에 따른 소비전력과 회전수 측정 - 순환 팬 가동 유무에 따른 온습도 분포 컨투어맵 작성	100

4. 목표 미달 시 원인분석(해당 시 작성합니다)

1) 목표 미달 원인(사유) 자체분석 내용

○ 정량적 목표에서 “홍보전시” 1건 미달
- 코로나 19로 인한 환경적인 여건으로 어려움

2) 자체 보완활동

3) 연구개발 과정의 성실성

5. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획

< 연구개발성과 활용계획표(예시) >

구분(정량 및 정성적 성과 항목)			연구개발 종료 후 5년 이내
국외논문	SCIE		매년 목표치
	비SCIE		
	계		
국내논문	SCIE		
	비SCIE		
	계		
특허출원	국내		
	국외		
	계		
특허등록	국내		
	국외		
	계		
인력양성	학사		
	석사		
	박사		
	계		
사업화	상품출시		
	기술이전		
	공정개발		
제품개발	시제품개발		
비임상시험 실시			
임상시험 실시 (IND 승인)	의약품	1상	
		2상	
		3상	
	의료기기		
진료지침개발			
신의료기술개발			
성과홍보			
포상 및 수상실적			
정성적 성과 주요 내용			

< 별첨 자료 >

중앙행정기관 요구사항	별첨 자료
1.	1) 자체평가의견서
	2) 연구성과 활용계획서
2.	1)
	2)

참고문헌

송상현. 2012. 축사 내 질병의 공기 중 전파 분석을 위한 추적 가스 실험 및 공기 유동 해석. 서울대학교 대학원 석사학위 논문.

Alejandro López, Diego Luis Valera*, Francisco Domingo Molina-Aiz, Araceli Peña. 2013. Effectiveness of horizontal air flow fans supporting natural ventilation in a Mediterranean multi-span greenhouse. https://www.researchgate.net/publication /262662702.

Bakker, J.C. 1990. Effects of day and night humidity on yield and fruit quality of glasshouse tomatoes. J. Hort. Sci. 65(3):323-331.

Ishii, M., L. Okushima, H. Moriyama, Y. Furihata. 2012. Influence of circulation fans on the distribution of air temperature and air velocity in a greenhouse. J. SHITA 24:193-200.

Jeong, I.S., C.G. Lee, L.H. Cho, S.Y. Park, M.J. Kim, S.J. Kim, and D.H. Kim. 2020. Development and Validation of Inner Environment Prediction Model for Glass Greenhouse using CFD. Protected Horticulture and Plant Factory 29(3):285-292. [in Korean]

Kim, M.K. 1997. Design standards for greenhouse environment(II). Korea Rural Community and Agriculture Corporation. 149-163. [in Korean]

Kim, Y.J., K.H. Park, C.Y. Kang, Y.H. Kim, H.H. Kim, S.I. Oh. 2010. Structure and prospect of energy supply and demand in agricultural sector. Korea Rural Economic Institute(KREI), Naju, Korea

Kwak, Y.A., K.W. Park, E.K. Kim. 2015. Automatic control system of vertical agitation heater for controlling temperature of greenhouse. J. The Korea Institute of Electronic Communication Sciences 10:623-628. [in Korean]

Lee, S.W. and Y.S. Cho. 2020. Economic feasibility analysis of the renewable energy based business model in the agricultural sector and policy implications - Focusing on the “Smart Farms” using renewable energy -. Innovation Studies 15:1-28. [in Korean]

Lee, T.S., G.C. Kang, H.K. Kim, J.P. Moon, S.S. Oh, J.K. Kwon. 2017. Analysis of air temperature and humidity distributions and energy consumptions according to use of air circulation fans in a single-span greenhouse. Protected Hort. Plant Fac 26:276-282 . [in Korean]

Lee, T.S., G.C. Kang, Y. Paek, J.P. Moon, S.S Oh, J.K Kwon. 2016. Analysis of temperature and humidity distributions according to arrangements of air circulation fans in single-span tomato greenhouse. Protected Hort. Plant Fac 25:277-282. [in Korean]

Ministry of Agricultural Food and Rural Affairs(MAFRA). 2016. 2015 Vegetable Greenhouse Status and Vegetable Production. Sejong, Korea.

Nam, S.W. and Y.S. Kim. 2009. Analysis on the uniformity of temperature and humidity according to environment control in tomato greenhouses. J. Bio-Env. Con. 18:215-224. [in Korean]

Seo, I.H., Lee, I. B. Lee, O.K. Moon and K.S. Kwon. 2014. Aerodynamic approaches for estimation of waste disease spread in pig farm through airborne contaminants. Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers. 56(1):41-49. [in Korean]

Seo, S.J., S.M. Choi and K.Y. Kim. 2006. Design of An Axial Flow Fan with Shape Optimization. Trans. Korean Soc. Mech. Eng. B 30(7):603-611. [in Korean]

Shin, Y.S., I.K. Yeon, S.G. Bae, S.K. Choi and B.S. Choi. 2001. Effect of Air Circultation in Greenhouse on Development of Fermentes Fruits in Oriental Melon. J. Bio-Env. Con. 10(1):23-29. [in Korean]

Yu, I.H., M.W. Cho, S.Y. Lee, H. Chun and I.B. Lee. 2007. Effects of circulation fans on uniformity of meteorological factors in warm air heated greenhouse. Protected Hort. Plant Fac. 16(4):291-296. [in Korean]

Yu, I.H., N.K. Y, M.W. Cho, H.R. Ryu and D.G. Moon. 2014. Development of CFD model for analyzing the air flow and temperature distribution in greenhouse with air-circulation fans 461 - 472 [in Korean]

주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부에서 시행한 2021년 사업의 연구보고서입니다.

2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 농림축산식품부에서 시행한 농생명산업기술개발사업의 연구 결과임을 밝혀야 합니다.

3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니 됩니다.