

GOVP1200708657

최 종
연구보고서

초생추의 생육환경제어
시스템 개발

Development of chicks
environment control system

주 관 기 관 : 건국대학교
협동연구기관명 : 서울대학교
참 여 기 관 명 : 우테크엔지니어링

농 립 부

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “초생추의 생육환경제어 시스템 개발에 관한 연구” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2006 년 7 월 15 일

주관연구기관명 : 건국대학교

총괄연구책임자 : 성 시 흥

세부연구책임자 : 문 상 호

협동연구기관명 : 서울대학교

연구 책임자 : 이 인 복

참 여 기 관 명 : 우테크엔지니어링

연구 책임자 : 우 병 준

요 약 문

I. 제 목

초생추의 생육환경제어 시스템 개발에 관한 연구

II. 연구개발의 목적 및 필요성

목 적 :

우리나라 양계산업의 국제 경쟁력을 강화하기 위하여 항온·항습 시스템을 이용한 초생추의 자동화 계사개발.

필요성 :

1)기술적측면

산란기에 접어든 산란계가 얼마나 산란율을 높게 유지하고 지속성을 나타내는가 하는 것은 채란농가에 있어서 수익성을 좌우하는 대단히 중요한 요인이기 때문에 산란기의 사양관리가 효율적으로 행해져야 함을 물론, 무엇보다도 먼저 병아리의 육성이 효율적으로 행해져야 한다.

2)경제·산업적 측면

양계산업이 국제경쟁력을 갖추고 사육농가의 소득을 보장받기 위해서는 경영규모 확대를 통한 전문경영 형태로의 전환이 필수적이다. 그러나 현재 산란계 및 종계 농가들의 경영여건 하에서 시설개선 없이 규모확대에 의한 전문경영 형태로의 전환은 노동력 제한 때문에 어려움이 많다. 따라서 이러한 한계점을 극복하기 위해서는 시설자동화를 통한 노동력 절감 및 생산성 향상, 경영규모 확대를 통해 경영을 효율화하는 것이 장기적으로 나아가야 할 방향이라고 생각된다. 또한 양계경영에서 사육환경이 차지하는 비중은 매우 크다. 현대양계는 규모화·자동화를 통해 인력의존을 최소화하면서 고도의 생산성을 실현해가고 있다. 따라서 국내 양계산업의 세계화를 위해서는 조속히 낙후된 계사환경을 개선하는데 투자를 강화해야 할 것이요구되고 있다.

3)사회 문화적 측면

아무리 수입이 개방되어도 신선도가 요구되는 계란이나 닭고기는 국내 생산의 몫이 될 것이며, 다른 동물성단백질에 비하여 영양 면에서 전혀 뒤지지 않고, 단위당 가격이 상대적으로 저렴하며, 성인병 예방에도 도움이 되는 양계산업에 관심을 가져야 할 것이다.

Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위

1) 1 차년도

구분	개발 내용 및 개발 범위
1차년도 (2003)	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 학술 정보 수집 <ul style="list-style-type: none"> - 국내외 Data Base, 학술지 및 인터넷 활용 학술 자료 수집 ◦ 현장 정보 실습 <ul style="list-style-type: none"> - 농가 현장 방문을 통한 관련 애로사항 파악 ◦ 자료조사, 현장조사 후 국내여건 적합한 모델 선정 <ul style="list-style-type: none"> - 25평, 무창계사
	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 초생추 계사 제작 <ul style="list-style-type: none"> - 모델 선정에 따른 설계 - 지붕, 외벽 : 갈바늄 철판 - 내외벽 : 우레탄 폼 충전
	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 직립식 케이지 시스템 제작 <ul style="list-style-type: none"> - 배터리 케이지 설계 - 용접철망 형태 - 4단×2열×6칸
	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 급이 • 급수 시스템 제작 <ul style="list-style-type: none"> - 이송 콘베이어 시스템 중 플랫폼인형 급이 시스템 적용 - 니플형 급수 시스템 제작 ◦ 자동계분 belt 시스템 제작 <ul style="list-style-type: none"> - pp belt 시스템 적용 ◦ 향온 • 향습 시스템 제작 <ul style="list-style-type: none"> - 온도 : 24℃ ~ 31℃ 유지 (계사 내) - 습도 : 45℃ ~ 70℃ 유지 (계사 내) ◦ 점등시스템 제작 <ul style="list-style-type: none"> - 하단 10 ~ 15 Lux 유지 ◦ 제어 및 감시기능 시스템 제작 <ul style="list-style-type: none"> - 향온 • 향습 및 모든 시스템에 대한 제어 및 감시기능 설계
<ul style="list-style-type: none"> ◦ CFD 모델 설계 ◦ CFD를 이용한 공기유동 분석 	

2) 2 차년도

구분	개발 내용 및 개발 범위
	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 대조군 : 기존 초생추 농장 선정(1000수 기준) <ul style="list-style-type: none"> - 실험기간 : 양계산업의 가장 취약한 하계에 실험 실시 - 실험설계 : 기존 계사와 실험 계사로 구분 - 실험시설 : 각 계상에 1000수의 초생추를 공시 ◦ 체중 <ul style="list-style-type: none"> - 1주 단위로 측정 - 기존의 초생추의 평균체중과 표준체중을 비교 ◦ 체중의 균일도 <ul style="list-style-type: none"> - 기준 군에서 100마리의 초생추 무게 측정 - 평균체중에서 ±10% 내의 균일도 측정 ◦ 초생추 육성률 <ul style="list-style-type: none"> - 3~4주령의 초생추로 인정받은 마리수 측정 ◦ 사료 요구율 <ul style="list-style-type: none"> - 3~4주령 기준의 닭의 폐사율 측정 ◦ 폐사율 <ul style="list-style-type: none"> - 3~4주령 기준 닭의 폐사율 측정 ◦ 각 기준 모두 기존의 90%달성 목표
2차년도 (2004)	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 초생추 계사 제작 <ul style="list-style-type: none"> - 모델 설정에 따른 설계 - 지붕, 외벽 : 갈바늄 철판 - 내외벽 : 우레탄 폼 충전 ◦ 직립식 케이지 시스템 제작 <ul style="list-style-type: none"> - 배터리 케이지 - 용접철망 형태 - 4단×2열×30칸 ◦ 급이 • 급수 시스템 제작 <ul style="list-style-type: none"> - 플렛체인형 급이 시스템 적용 - 니플형 급수 시스템 제작 ◦ 자동계분 belt 시스템 제작 <ul style="list-style-type: none"> - 자동 pp belt 시스템 적용 ◦ 향온 • 향습 시스템 제작 <ul style="list-style-type: none"> - 온도 : 24℃ ~ 31℃ 유지 (계사 내) - 습도 : 45℃ ~ 70℃ 유지 (계사 내) ◦ 점등시스템 제작 <ul style="list-style-type: none"> - 하단 10 ~ 15 Lux 유지 ◦ 제어 및 감시기능 시스템 제작

	<ul style="list-style-type: none"> - 정보기능 - 항온 · 항습 시스템 제어기능 - 급수 시스템 및 기타 제어 기능
	<ul style="list-style-type: none"> o 공기유동 측정 o 유동 정상적 가시화

3) 3 차년도

구분	개발 내용 및 개발 범위
3차년도 (2005)	<ul style="list-style-type: none"> o 체중 <ul style="list-style-type: none"> - 1주 단위로 측정 - 기존의 초생추의 평균체중과 표준체중을 비교 o 체중의 균일도 <ul style="list-style-type: none"> - 기준 군에서 100마리의 초생추 무게 측정 - 평균체중에서 ±10% 내의 균일도 측정 o 초생추 육성률 <ul style="list-style-type: none"> - 3~4주령의 초생추로 인정받은 마리수 측정 o 사료 요구율 <ul style="list-style-type: none"> - 3~4주령 기준의 닭의 폐사율 측정 o 폐사율 <ul style="list-style-type: none"> - 3~4주령 기준 닭의 폐사율 측정 o 각 기준 모두 기존의 100%달성 목표 <hr/> <ul style="list-style-type: none"> o 케이지 시스템 보완 o 급이 시스템 보완 o 급수 시스템 보완 o 자동계분 belt 시스템 보완 o 항온 · 항습 시스템 보완 o 점등시스템 보완 o 제어 및 감시기능 시스템 보완

	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 환기량 측정 ◦ 내부공기유동 측정
--	---

IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

(1) 기술적 측면

- 초생추 계사 시스템 제작 기술 개발 및 향상
- 케이지 시스템 제작 기술 개발 및 향상
- 급이·급수 시스템 제작 기술 및 향상
- 자동계분 belt 시스템 제작 기술 및 향상
- 항온·항습 시스템 제작 기술 및 향상
- 제어 및 감시 기능 시스템 제작 기술 및 향상

(2) 경제·산업적 측면

- 항온·항습 시스템을 응용함으로써, 케이지의 상·하단과 계사내의 온습도 편차를 최소화 시킬 수 있다.
- 열관리 비용도 수수당 20원 정도로 (15kW×12시간×21일×45원/10,000수) 현재의 수수당 100원 정도에 비해 80%정도 열에너지를 절약할 수 있다.
- 계분처리를 자동화한다. 자동화시 전체적으로 케이지의 높이를 낮출 수 있어 작업 능력을 향상시킬 수 있으며, 눈높이 수준의 관리가 가능하다.
- 질병 발생이 우려되는 무창계사 내의 공기를 filter에 의한 먼지제거와 청정공기의 공급으로 유해가스가 발생되지 않아 방역상 우수한 효과가 있다.
- 본 시스템을 유추사 및 성계사 부근에 배치함으로써 이용과 수송경비의 단축, 초생추의 스트레스 감소 등 여러 가지 효과를 얻을 수 있다.

(3) 활용방안

- 시스템의 산업화를 통한 양계 산업의 경쟁력 향상 활용
- 시스템의 산업화를 통한 내수판매 및 수출에 활용
- 시스템에 대한 대 농민 영농 계획에 활용
- 시스템에 대한 학생기술에 활용
- 특허출원에 활용
- 사업화에 활용할 예정

ABSTRACT

Generally, chicks hatch in a hatchery and are transferred to flat-floored barns immediately or within a day to be raised until they are sold. However, chicks show high mortality between hatchery and the 7th day, and improving on the raising conditions in early stage would greatly decrease mortality and illnesses to produce healthier poultry. The ultimate goal of this study was to develop a chick incubator in a cage of five columns and two rows to be transportable on roads. The ventilation system aims at delivering fresh air evenly to all chicks in the cages and discharging contaminants from the belts for manure management. These are important factors for the balanced growth of chicks and a lower rate of illnesses. Through the field experiment and the CFD simulation, the thermal uniformity and stability were very excellent while the air temperature and humidity were controlled very well. The difference of the averaged air temperatures at all the cages was only 0.4°C while 32.1°C, 32.1°C, 32.6°C, and 32.5°C, respectively for C-1, C-2, C-3, and C-4. The averaged relative humidities at the locations were 71.3%, 71.5%, 72.1%, and 68.2%, respectively.

CONTENTS

Chapter I. Introduction

- i. Technopolis development present state
- ii. Functional analysis and comparative analysis
 1. Raising function
 2. Raising administrative function
- iii. Conveyor system planning and capacity analysis
 1. Summary
 2. Belt conveyor planning
 3. Axis minute transfer conveyor
 4. Class phul leys chain gold elder brother process analysis
- iv. Cage optimization plan
 1. Cage structure plan
 2. Expect great things

Chapter II. The incubator efficient change of air structure research through an air float interpreting of the chicks.

- i. Introduction
- ii. Materials and methods
- iii. Results and discussions
- iv. conclusion

Chapter III. A spot verification experiment of chicks incubator.

- i. Introduction
- ii. Materials and methods
- iii. Results and discussions

The reference literature

목 차

제 1장. 서론

제1절. 기술개발 현황

제2절. 기능 분석 및 비교 분석

1. 사육 기능

가. 계사

나. 케이지 시스템

2. 사육 관리 기능

가. 급이

나. 급수

다. 환기

라. 점등

마. 제어 및 감시 기능

제3절. 이송 컨베이어시스템 설계 및 성능분석

1. 개요

2. Belt Conveyor 설계

1) 견적에 필요한 사항

가. 컨베이어의 길이와 경사높이가 표시되어 있는 도면 혹은 사양

나. 운반물의 성질

다. 전기적인 조건 (예 : 구동 Motor)

2) 기본설계에 필요한 기본사양

가. 컨베이어의 수평, 수직거리

나. Belt 의 폭, 속도

다. 운반물의 비중과 허용경사각도 및 측각

라. 운반능력

마. Idler 의 경사각

바. Driver 롤러의 종류 및 WarP Angle(일반적으로 210~220 degree)

사. Idler 의 간격

아. Belt 접합방법, 등

3) Belt conveyor 의 계산

가. 운반물의 최대크기 및 belt 폭

나. 운반능력

다. Belt conveyor 의 사양선정

- 라. Belt 의 장력계산
 - 4) Belt 사양 선정
 - 가. Belt 사양 선정의 순서
 - 나. 운반물 입자의 크기와 충강력과의 관계 (내충격성)
 - 다. Pulley 직경과 ply 수
 - 라. Ply 수의 결정
 - 마. Belt 의 사양표시방법
 - 바. Belt 의 두께와 무게산출
 - 사. Pulley 의 축직경
 - 5) Coupling의 선정
 - 가. Fluid coupling
 - 나. Gear coupling
 - 다. Chain coupling
 - 6) Back stop 장치
 - 가. 사용 목적
 - 나. 역전 torque의 산출 ; TB
 - 다. 역전방지장치의 종류
 - 7) Take-up 장치
 - 가. 설치위치
 - 나. 종류
 - 다. stroke 의 결정
 - 라. weight 의 결정
 - 8) 각종 idler의 표준설치간격
 - 9) Belt의 수명
 - 10) 탈하선의 정점 및 방물곡선
 - 가. 방물곡선의 계산
 - 나. 방물곡선에 따른 운반물 낙하지점의 계산
3. 축분 이송 컨베이어
4. 급이 플렛체인 금형공정 분석
- 1) 개요
 - 2) 금형 공정의 기초 및 이론적 배경
 - (1) 전단 가공
 - 가. 전단면의 형상
 - 나. Clearance
 - 다. 전단에 필요한 힘

제 4절. 케이지 최적화 설계

- 1. 케이지 구조설계
- 2. 향운 향습기(Expect great things)

제 2장. 공기유동해석을 통한 초생추 인큐베이터 효율적 환기구조 연구

제 1절. Introduction

제 2절. Materials and methods

- 1) 전산유체역학 (Computational fluid dynamics)
- 2) 환기효율성 분석
- 3) Experimental procedures

제 3절. 결과 및 고찰

- 1) 인큐베이터 설계 초기조건
- 2) CFD결과 정확도 검증
 - 가. 명목시간 상수(◆)을 이용한 정확도 검증
 - 나. 축소모형을 이용한 정확도 검증
- 3) CFD 환기구조 적정설계
- 4) Preliminary CFD 분석
- 5) CFD모델 설계

제 4절. 결 론

제 3장. 초생추 인큐베이터의 현장 검증실험

제 1절. Introduction

제 2절. Materials and methods

- 1) 최종 제작 모델
- 2) 환기구조 적정설계
- 3) 현장 적응성 실험
 - 3-1) 환경조건 및 측정 방법
 - 3-2) 향온향습 시스템의 설정환경

제 3절. Results and discussions

- 1) 환기구조 적정설계
- 2) 현장 적응성 실험
 - 2-1) 온도분포
 - 2-2) 습도분포
 - 2-3) 분진 및 암모니아 가스
 - 2-4) 폐사율, 증체량, 및 사료효율성

참고자료 및 문헌

제 1장. 서론

제1절. 기술개발 현황

양계시설의 무인자동화시스템은 선진 축산국인 네덜란드, 독일, 이탈리아, 미국 등에서 고밀도 사육용 일괄처리 자동화시스템으로 개발되어 사용되어 왔으며, 이 시스템을 구성하는 각 단위 요소들은 상호 정교하게 연계되어 있으므로 제품의 품질이나 생산성의 향상을 위하여는 이와 관련된 핵심 기술 및 핵심 부품의 개발이 무엇보다도 중요한 문제이다.

양계시설의 무인자동화시스템은 무창계사와 개방계사의 두 종류가 개발되어 왔으며 지금까지 우리나라의 양계시설은 개방계사방식의 사육시스템을 위주로 발전되어왔다.

개방계사는 환경조건에 무방비한 상태로, 여름철 고온으로 인한 폐사 발생률이 높고, 환기조절이 용이하지 못하여 단위면적 당 사육수수가 제한되고 단위수수 당 시설비용이 높으며 겨울철 24℃ 내외의 사육 온도를 유지시킬 수가 없으므로 사료섭취량이 증가하여 생산성이 저하된다. 여름철 고온기에는 체온 조절을 위해 과도한 음수로 연변이 발생하여 축분 건조가 용이하지 못하며, 계분의 부패로 환경을 오염시키고 차광을 조절할 수가 없어 카니발리즘과 식란습관을 유발시키고, 노동 의존도가 높다. 그러나 투자 비용이 저렴하고, 정전 등 비상사태에 대해 비교적 안전하다는 장점을 갖고 있다.

무창계사는 계사내의 환기를 강제로 조절할 수 있어 여름철 고온기에도 적절한 온도를 유지하는 데 유리하며, 차광효과가 있으며 사양관리가 용이하고, 계사의 단열지수를 높여 단위면적 당 사육수수를 증가시켜 마리 당 자동화 시설비와 건축비를 절감할 수 있을 뿐만 아니라 동절기 축사내 온도를 사육에 용이하게 유지시켜 생산성을 향상시킬 수 있다. 또 계사 내에서 축분을 발효에 용이한 조건으로 건조시킬 수 있으며, 소음과 악취 및 축분에 의한 환경오염을 감소시킬 수가 있으나, 단점으로는 초기 시설투자비용이 과다하며, 정전 등 비상사태 발생시 과대한 손실을 유발시킬 수도 있다.

이상과 같은 두 계사의 장단점을 비교·분석해 보면, 개방계사는 사양관리와 생산성 향상을 통한 경쟁력 강화에 상당한 문제점이 있으며, 무창계사는 개방계사보다 초기 시설투자비용이 많이 소요되나, 고밀도 사육으로 마리 당 시설비가 저렴하고, 생산성이 높으며 사양관리가 용이하고, 설비의 신뢰도를 높일 수 있는 장점이 있고, 감시경보장치를 고도화하면 정전 등 비상사태 발생에도 적절히 대응할 수 있어 손실을 방지할 수 있다. 따라서 고밀도로 사육할 수 있고 임의로 사양관리를 조절할 수 있는 무창계사에 대한 연구개발은 세계적인 추세가 되고 있다.

그럼에도 불구하고 우리 나라에서는 무창계사에 대한 국제 경쟁력 부족으로 외국 선진국의 자동화 시스템이 무분별하게 도입되고 있어, 이와 관련된 핵심기술 및 핵심부품 개발이 시급한 실정이다. 특히 초생추에 무창계사 자동화시스템을 적용한 연구 및 개발은 거의 이루어지지 않고 있다.

제2절. 기능 분석 및 비교 분석

초생추 양계시설의 자동화시스템에서 요구되는 기본적인 기능은 사육기능을 위한 계사 케이지 시스템과 사양관리 기능을 위한 급이, 급수, 자동계분, 점등, 환기 및 감시경보 기능으

로 분류된다.

1. 사육 기능

가. 계사

계사는 닭의 생산능력을 최대로 올리기 위해 외부의 부적합한 환경조건을 차단 또는 조절하고, 닭을 사육하면서 발생하는 내부의 환경조건을 조절하여 생산성을 최대로 유지하는 기능을 가진다. 또, 닭을 능률적으로 관리하기 위한 시스템과 상태를 감시하기 위한 여러 기계기구들도 필수적인 요소이다.

우리 나라는 계절에 따른 온도차가 극심하며, 여름철 고온 다습한 기후조건은 계절에 따른 온도변화의 폭이 작은 유럽지역과는 다르다. 즉 고밀도 무창계사는 유럽에서 개발되어 우리나라에 도입된 것으로, 기후조건이 다른 관계로 계사의 형태, 천장, 단열재의 종류와 두께, 환기방식에 있어서 우리 나라의 기후조건을 고려하여야 한다. 특히 여름철 고온 다습한 우리나라의 기후는 여름철 고온에 대한 대비가 무엇보다도 중요한 요소로 지적되고 있다.

계사는 일반적으로 주변보다 높고, 장애물이 없어 통풍이 잘 되는 지역을 선정하여야 하며, 특히 저습지는 피하는 것이 좋다. 건물의 방향은 동-서방향으로 배열하는 것이 일사량의 영향을 적게 받아 유리하지만 지형적으로 이런 배치가 어려울 경우도 있고, 단열을 잘 하면 어느 정도는 극복할 수 있다. 또 계사주변에 낙엽성 수목을 심어 여름에는 그늘이 지도록 하는 것이 좋다.

바람의 방향은 환기효율에 지대한 영향을 미친다. 단열이 잘 된 경우는 일조량의 영향을 적게 받지만, 이 경우에도 통풍에 대한 고려는 달라지지 않는다. 주변 여건이 허용하는 한 환기량이 많은 여름철 바람의 방향을 고려하여 입기구를 내면 환기 효율을 높일 수 있을 뿐만 아니라 동력비도 줄일 수 있다. 환기방식에있어서 고온 다습한 기후에서 계사 내에 발생하는 열을 효과적으로 제거하기 위한 연구가 필요하다. 본 연구에서는 항온·항습 시스템을 적용하여 이 문제를 극복하고자 하였으며, 만약의 비상사태를 대비하여 터널식 환기 방식도 채택하여 초생추의 체감온도를 떨어트리하고자 하였다.

본 연구를 위해 건설한 실험 초생추계사는 폭 3m, 길이 11.15m, 높이 3.6m로 갈바늄 철판으로 지붕과 외벽을 대고,우레탄 폼을 10cm 두께로 시공하여 단열의 효과를 극대화 하고자 하였다. 천장은 지붕 트러스 밑에 시공하였다.

나. 케이지 시스템

케이지 시스템은 설치 방식에 따라 직립식과 층계식 A형이 있으나, 고밀도 사육과 단위수 수 당 시설비 절감이라는 측면에서 직립식을 채택하였으며, 케이지옆 칸막이 방식은 계사 내의 공기 유속과 흐름을 저해하지 않는 용접철망 형태를 채택하는 것이 철관칸막이 형태보다 유리하다고 판단된다. 또한, 케이지의 재질은 축사내의 gas나 습기 및 온도 조건이 소재의 내구성을 저하시키는 부식을 가속화 시키므로 내구성 유지를 위하여 KS 용융아연도금 3종 철판으로 제작하였다.

제작된 케이지는 폭 1.2cm, 길이 80cm, 높이 20cm 각각 120, 80, 40cm 로 총 96개의 케이지가 설치되어 있으며 1㎡당 60수 기준으로 총 6,200 수의 수용능력을 가진다.

2. 사육 관리 기능

가. 급이

급이 방식은 사료 급이통이 대차에 장착되어 움직이는 트롤리 방식과 이송콘베이어시스템에 의해 이송되는 방식으로 분류되며, 트롤리 방식은 고속 이송이불가능하며, 급이스트레스 증대 및 급이욕구 유발에 불리하고, 레일에서의 이탈현상이 간혹 발생하여 사고 유발 요인이 높다. 이송콘베이어 시스템에는 플렉소오거형과 플랫체인식, 체인바 형태, 디스크와이어 이송 방식이 있으며, 이 가운데 플랫체인방식이 내구성 및 보수 유지, 고장 발생 빈도를 감소시킬 수 있다는 측면에서 유리한 것으로 알려져 있어 본 연구에서는 이 방식을 채택하였다.

나. 급수

급수는 과도한 음수를 방지하고, 오염을 감소시킬 수 있다는 이점 때문에 니플형을 채택하였으며, 온도변화에 의한 변형 및 이물질 고착화의 우려가 있는 플라스틱 제품보다는 스테인레스 스틸 제품이 보수유지에 유리할 것으로 생각된다. 또한 급수파이프는 원형보다는 니플의 고정위치 확보가 유리한 사각형 P.V.C. 파이프를 채택하였으며, 파이프 연결부분은 온도변화에 따라 신축성이 있는고무 제품을 채택하였다.

다. 환기

무창계사의 환기방식은 터널식과 크로스식으로 구분된다. 우리나라는 계절이 따른 온도차가 극심하며, 여름철 고온 다습한 기후조건은 계절에 따른 온도의 변화 폭이 낮은 유럽 지역과는 구분되어야 한다. 즉, 고밀도 무창계사는 유럽에서 개발되어 우리 나라에 도입된 것으로, 기후 조건이 다른 관계로 환기 방식에 있어서 많은 시행착오를 거듭하고 있다. 특히 여름철 고온 다습한 우리 나라의 기후는 여름철 고온에 대한 대비가 무엇보다도 중요한 요소로 지적되고 있다. 따라서, 환기 방식에 있어서 고온 다습한 기후에서 계사 내에서 계사 내에 발생하는 열을 효과적으로 제거하기 위한 방법의 연구가 필요하다. 이러한 점을 해결하기 위하여 본 연구에서는 항온·항습시스템을 이용하여 초생추 계사 내의 온도를 항상 일정하게 유지하도록 설계하였다. 또한, 고온기나 비상사태에 대비하여 터널식 환기방식도 채택하여 만약의 사태에 대비 하도록 하였다.

라. 점등

점등은 하단의 밝기가 10~15 룩스가 되도록 하며, 타이머에 의해 점등 관리가 이루어지도록 하였다.

마. 제어 및 감시 기능

본 무창계사의 이상 사태 발생시, 관리 감독자와 호출 통신을 하여 이상발생을 즉각 조치

할 수 있는 감시 경보기능을 설계하였다.

제3절. 이송 컨베이어시스템 설계 및 성능분석

1. 개요

초생추양계시설의 자동화에 필요한 컨베이어는 사료탱크로부터의 이송 컨베이어, 사료 급이 컨베이어, 축분이송컨베이어로 구성되어 있다.

사료탱크로부터의 이송컨베이어는 분체 이송 플렉스오거 방식을 채택하고, 사료급이 컨베이어는 플랫체인방식, 축분이송 컨베이어는 벨트 컨베이어를 적용하였다.

2. Belt Conveyor 설계

1) 견적에 필요한 사항

가. 컨베이어의 길이와 경사높이가 표시되어 있는 도면 혹은 사양

나. 운반물의 성질

(1) 운반물의 명칭, (2) 운반능력, (3) 온도, (4) 입도, (5) 화학적 성질, 등
다. 전기적인 조건 (예 : 구동 Motor)

(1) 전압 (volts), (2) 사이클 (Hz), (3) 상 (Phase), 등

2) 기본설계에 필요한 기본사양

가. 컨베이어의 수평, 수직거리

나. Belt 의 폭, 속도

다. 운반물의 비중과 허용경사각도 및 측각

라. 운반능력

마. Idler 의 경사각

바. Driver 롤러의 종류 및 WarP Angle(일반적으로 210~220 degree)

사. Idler 의 간격

아. Belt 접합방법, 등

3) Belt conveyor 의 계산

가. 운반물의 최대크기 및 belt 폭

Belt 의 폭은 운반물 최대 크기의 약 3배 정도로 하는 것이 가장 적당하다.

나. 운반능력

다음 식과 같이 계획 운반량을 결정한다

$$Q_t = 60 \times A \times v \times \rho \times \gamma$$

$$= 60 \times K \times (0.9 \times B - 0.05)^2 \times V \times \rho \times \gamma$$

여기서, Q_t ; belt conveyor 의 운반능력 (T/hr), A ; 운반물의 적재 단면적 (m^2), v ; belt 의 속도 (m/min), ρ ; 운반물의 비중, K; 정수(측각에 대한 결정), γ ; 경사에 따른 운반능력의 저하율, B; belt의 폭이다.

<운반물 속도와 최대속도>

운반물의 종류	belt 폭(mm)					
	400이하	500~750	900이상	400이하	500~750	900이상
	표준속도(m/min)			최대속도(m/min)		
곡물류	60~100	60~150	100	150	150~200	

다. Belt conveyor 의 사양선정

(1) 장력계산을 위한 필요조건

<장력계산을 위한 필요조건>

순 번	필요조건
1	belt 의 폭 (mm)
2	belt 의 속도 (m/min)
3	운반량 (ton/hr)
4	수평길이 (m)
5	양정 (m) upper lift. or lower lift
6	경사각도 , 전경사, 혹은 일부경사
7	구동방식 ; sinRle drive, 혹은 fandon drive
8	구동 Dully 와 belt 의 접촉각
9	구동 pully 표면 ; 고무피막을 한것. 혹은 하지않은 것
10	roller 의 설치간격 ; carrier 측과 return 측
11	tripper 의 유무 및 수 ; 고정식과 이동식

(2) 사양선정을 위한 필요조건

순 번	필요항목	필요이유 및 관련사항
1	운반물 사양 - 명칭 - 입도(최대 및 평균) - 비중 - 물질의 성상 - 열의 유무 - 기름의 유무	- belt의 총장력 및 cover 고무의 두께선정 - 내열 belt 선정 - 내유 belt 선정
2	사용장소 - 환경온도가 국내 일반조건과 같은가? - 적외선, 일광, 오존상태가 국내 일반조건과 같은가?	- 특수한 기후를 고려
3	pully 직경 - head, tail, take-up, band	- belt의 피로, 특히 joint 부의 수명
4	take-up slotter 길이	- belt의 신장에 따른 심체재료 및 강도선정
5	carrier 형식 및 경사각도	- 운반능력 확인
6	경사각도	- 운반 가부의 결정
7	접합방법	- 안전을 검토

라. Belt 의 장력계산

벨트컨베이어의 계산식과 성능시험방법은 KS 규격(JIS- B-8805)에 의해 계산하고, 축동력을 구하여 그 소요 동력수에 따라 벨트에 가해지는 장력을 산출한과 구동축에 걸리는 동력수는 다음의 여러 가지 저항을 동반하는 에너지가 소비된다

- 벨트의 중량, carrier roller, return roller, 그밖에 구동부분의 중량 및 운반물의 중량에 의한 회전마찰저항
- 경사 컨베이어의 수직부하동력
- tripper, 혹은 scraper를 사용하는데 필요한 동력
- 기동시, 가동부분의 가속저항
- 기타, 적재부의 가속저항, scut, brush 등과 belt 사이의 마찰저항, belt creep에 의한 hysteresis loss, belt 변형 및 굴곡에 대한 내부응력손실, 공기저항 등을 고려해야 한다.

Carrier roller는 일반적으로 ball bearing을 사용하는 것으로 하고, carrier roller의 표면의 마찰계수를 f 라 하면,

$$f = \mu \times \frac{d}{D}$$

μ ; bearing의 마찰계수, d ; 축의 직경(mm), D ; carrier roller 의 직경(mm)이다. 일반적으로 $f=0.023 \sim 0.005$ 의 범위에 있으며, 동력 계산시 carrier roller 표면상의 마찰계수 $f=0.03$ 으로 하는 것이 안전하다.

(1) 소요동력 계산

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + P_t$$

$$= 0.06 \times f \times w \times v \times \frac{1+l_0}{367} + f \times Q_t \times \frac{1+l_0}{367} \pm \frac{h \times Q_t}{367} + P_t \text{ [kw]}$$

여기서, P ; 소요동력(kw), P_1 ; 무부하동력(kw), P_2 ; 수평부하동력(kw), P_3 ; 수직부하동력(kw), P_t ; tripper의 소요동력(kw), f ; roller의 회전마찰계수, w ; 운반물 이외의 운반부분의 중량(kg/m), v ; belt의 속도(m/min), l ; 컨베이어의 길이(m:구동부와 조동부 사이의 거리), l_0 ; 중심거리의 수정값(m), Q_t ; 운반량(t/hr), h ; 양정(m)이다.

f 와 l_0 의 값

장치구조상의 특성	f	l_0
회전저항이 보통 roller를 사용한 장치에서 설치상태가 양호하지 않은 것	0.03	49
회전저항이 특히 작은 roiBer를 사용한 장치에서 설치상태가 양호한 것	0.022	66

(2) 전동기 출력계산

$$P_m = \frac{P}{\eta}$$

여기서, P_m : 전동기 출력(kw), P 소요동력(kw), η : 기계효율($\eta=0.75\sim0.85$)이다.

(3) Belt의 장력과 구동

$$\frac{F_1}{F_2} = e^{\mu\theta}$$

$$F_p = F_2(e^{\mu\theta} - 1), \text{ 혹은 } F_2 = F_p \times \frac{1}{e^{\mu\theta} - 1}$$

여기서, F_1 : belt 구동 pulley의 긴장측 장력(kg), F_2 , belt 이완측 장력(kg), $F_p = F_1 - F_2$; belt의 유효장력(kg), θ : 구동 pulley에 대한 belt의 접촉각(radian), μ : pulley면과 belt의 마찰계수이다.

(4) 유효장력산출

유효장력은 회전력에서 존재하며, 다음과 같다.

$$F_p = \frac{6120 \times P}{v} = F_1 - F_2$$

여기서, F_p : 유효장력(kg), F_1 : 구동 belt pulley의 긴장측장력(kg), P ; 소요동력(kw), F_2 ; 이완측장력(kg), v ; belt 속도(m/min)이다.

(5) 이완측 장력산출

이완측 장력은 유효장력에 상당하는 마찰력을 구동 pulley에 발생시키는데 필요한 장력으로, 다음과 같이 산출한다.

$$F_2 = F_p \frac{1}{e^{\mu\theta} - 1} = F_p \times K$$

여기서, μ : 구동 pulley와 belt 사이의 마찰계수, θ : belt의 접촉각(radian),

$$K: \frac{1}{e^{\mu\theta} - 1} \text{ 이다.}$$

belt 구동 pulley의 형식	사용형태	μ
고무피막을하지 않은 강재 pulley	흙탕물 종류	0.1
	습한 경우	0.1~0.2
	건조한 경우	0.25
고무피막을 한 pulley	흙탕물 종류	0.2
	습한 경우	0.2~0.3
	건조한 경우	0.35

	피막을 하지 않은 경우 pulley			고무피막을 한 pulley		
	건조한 경우	습한 경우	흙탕물 종류	건조한 경우	습한 경우	흙탕물 종류
single 구동 (접촉각 200°)	0.718	0.990	2.39	0.418	0.541	0.990
tandom 구동 (접촉각 400°)	0.212	0.329	0.990	0.095	0.140	0.329

(6) 경사장력의 산출

경사장력은 컨베이어가 경사되어 있을 경우에 belt 의 자중에 의해 상부 beltpulley 부분에 발생하는 장력으로 다음과 같이 산출한다.

$$F_3 = w_1 \times l_1 \times (\sin \alpha - f \times \cos \alpha)$$

여기서, F_3 ; 경사장력 [kg], w_1 ; belt 의 자중 (kg/m), l_1 ; 경사부의 길이(m), α ; 경사 각도, f; roller 의 회전마찰계수이다.

(7) 최소장력의 산출

belt의 이완이 큰 경우 take-up 중량을 증가시켜 적당한 이완조정을 해야한다. 이때의 장력 F_4 를 belt의 최소장력이라 하고, 일반적으로 roller 설치간격의 1/50 (2%) 정도의 이완 (catenary sag)을 주는 것이 바람직하다.

① carrier 측 ; $F_4 = \frac{50}{8} \times l_c \times \left(\frac{Q_t}{0.06 \times v} + w_1 \right)$

② return 측 ; $F_4 = \frac{50}{8} l_R \times w_1$

여기서, F_4 ; 최소장력 [kg], l_c ; carrier roller 의 설치간격 (m), l_R ; return roller의 설치간격 (m), v ; bolt 의 속도 [m/min], w_1 ; belt 의 자중 [kg/m], Q_t , 운반량 (t/hr) 이다.

(8) Belt 에 가해지는 최대장력의 산출

① 수평 conveyor 인 경우 ;

$$F_2 > F_4 \text{ 이면, } F_{\max} = F_1 = F_p + F_2$$

$$F_2 < F_4 \text{ 이면, } F_{\max} = F_p + F_4$$

② 경사 conveyor 인 경우 ;

$$F_2 > F_3 + F_4 \text{ 이면, } F_{\max} = F_1 = F_p + F_2$$

$$F_2 < F_3 + F_4 \text{ 이면, } F_{\max} = F_p + F_3 + F_4$$

여기서, F_{\max} ; 최대장력 [kg], F_p ; 유효장력 [kg], F_2 ; 이완측장력 [kg], F_3 ; 경사장력 [kg], F_4 ; 최소장력 [kg] 이다.

4) Belt 사양 선정

가. Belt 사양 선정의 순서

(1) 최대장력(F_{\max})이 산출되면, 다음식에 의해 1cm 당의 필요 최저 심체충강력을 결정한다.

$$T_d \geq \frac{F_{\max} \times S_f}{B}$$

여기서, T_d ; 필요 최저심체충강력(kg/cm), B ; belt 의 폭, S_f ; 표준 최소안전율이다.

<표준 최소안전율>

conveyor 길이	100m 미만	500m 미만	1,000m 미만	1,000m 이상
표준최소안전율	14	13	12	일반적으로 steel cord belt를 사용

Ply 수는 3-ply 이상의 것에 대하여 적용한다.

(2) Trough angle 과 충강력

Ply 수가 많으면 belt의 경직성이 증가하고, carrier와의 접촉에 있어 악영향을 미친다. 반

대로 ply수가 작으면 carrier shanktion부에 국부피로와 적절한 휨을 형성하지 못하여 belt의 처짐을 크게 하는 원인이 된다.

(3) Cover 고무두께의 선정

- Maker 의 자료를 이용한다.

나. 운반물 입자의 크기와 총강력과의 관계 (내충격성)

내충격성의 측면에서는 다음을 만족시켜 주어야 한다.

운반물 입자의 크기	최저심체 총강력
15 mm 이하	100
15~50 mm 이하	150
50~100 mm 이하	300
100~150 mm 이하	400
150~250 mm 이하	800
250~350 mm 이하	1,000

단, chute 낙차는 2m를 표준으로 하고, chute 직낙차는 0.5m 이하로 한다.

다. Pulley 직경과 ply 수

pulley 의 직경을 크게 할 수록 belt 의 수면에 좋은 영향을 미치게 한다. 이는 belt 굴곡시에 과도한 내부응력의 발생을 방지하기 위한 것이다.

라. Ply 수의 결정

이는 선택한 belt의 ply수에 관계없이 belt의 허용응력에 상당하는 ply수를 계산하는 것이다.

$$n = \frac{F_{\max} \times S_f}{B \times \sigma_p}$$

여기서, Fmax ; 최대강력 [kg], σ_p ; belt 의 ply 당 허용응력 [kg/cm · ply], B ; belt 의 폭 [cm], n ; ply 수 (ea) 이다.

마. Belt 의 사양표시방법

- Maker catalog 참조

바. Belt 의 두께와 무게산출

(1) Belt의 두께 ; t

$$t = t_1 + t_2 + (t_3 \times n - 0.3) \text{ [mm]}$$

(2) 단위길이당 belt 의 무게 ; w

$$w_1 = [(t_1 + t_2) \times 1.2 + w_0 \times n] \times B \text{ [kg/m]}$$

여기서, n ; ply 수 [ea], t1 ; belt 상면 cover 의 두께 [mm], t2 ; belt 하면 cover 의 두께 [mm], B ; belt 의 폭 [m], t3 및 w0

t3 및 w0 의 값 (rubber belt)

blet 종류	w ₀ [kg/m ²]	t ₃ [mm]	belt 종류	w ₀ [kg/m ²]	t ₃ [mm]
ND#50	1.25	0.90	VN#100	1.25	0.95
NN#100	1.15	0.80	VN#150(160)	1.25	1.00
NN#150(160)	1.20	0.95	VN#200	1.35	1.10
NN#200	1.25	1.00	VN#250	1.45	1.20
NN#250	1.35	1.10	VN#300	1.60	1.40
NN#300	1.55	1.15	VN#350	1.80	1.50
NN#350	1.70	1.40	CC#50	1.70	1.10
NN#400	1.90	1.50	CC#60	1.80	1.20

사. Pulley 의 축직경

(1) Drive pulley 축경 ; d

$$d \geq 12.8 \times \sqrt[4]{\frac{P}{n}} \text{ [mm]}$$

여기서, P ; motor 의 소요동력 (kw), n ; 축의 회전수 (rpm)

(2) Tail, take-up, band 및 snub pulley 의 축경은 moment 에 충분하도록 $\frac{\delta}{e} \leq \frac{1}{3,000}$ 의 범위로 한다.

5) Coupling의 선정

가. Fluid coupling

- (1) 사용범위 ; concave curve가 있는 conveyor 및 75kw 이상의 구동동력을 가지는 conveyor에 사용
- (2) 설치장소 ; motor와 감속기 사이에 설치
- (3) 설치목적 ; conveyor의 기동시 전달 torque를 원활하게 하기 위하여 사용

나. Gear coupling

- (1) 사용범위 ; fluid coupling을 사용하지 않는 곳
- (2) 설치장소 ; motor와 감속기의 직결용
- (3) 선정방법 ;

$$P_c = \frac{100 \times P \times s}{n}$$

여기서, P ; motor의 용량 [kw], s ; 보정계수 (약1.9), n ; motor의 회전수 [rpm]이다.

다. Chain coupling

- (1) 설치장소 ; 감속기와 drive pulley 와의 지결에 사용
- (2) 선정방법 ;

$$T = \frac{974 \times P}{n} \times s$$

$$n = \frac{v}{\pi \times D} \text{ [rpm]}$$

여기서, T ; 전달 torque [kg-m], P ; 전달부하용량 [kw], s ; 안전율 (약2.0), v ; belt의 속도 [m/min], D ; drive pulley의 직경 [m] 이다.

6) Back stop 장치

가. 사용 목적

부하운전 중 사고 또는 정전 등으로 belt의 구동 motor가 정지되었을 때 운반물의 중량에 의하여 belt가 역전되는 것을 방지하며, 감속기의 파손을 막기 위하여 상향경사 conveyor에 사용한다.

나. 역전 torque의 산출 ; TB

$$T_B = P_3 - e(P_1 + P_2) \times \frac{973}{n} \times s \text{ [kg-m]}$$

여기서, P3 ; 수직부하동력 [kw], P1 ; 무부하동력 [kw], P2 ; 수평부하동력 [kw], e ; 저항 감소율 (약 0.8), n ; 구동축 회전수 [rpm], $n = \frac{v}{\pi \times D}$ (v ; belt의 속도 m/min), s ; 안전계수 (약 1.5~2.0)

다. 역전방지장치의 종류

- (1) cam clutch type (32,000 kg-m 까지 사용)
 - BS type : 저속회전용
 - Mg-R type : 고속회전용
- (2) band brake type (500 kg-m 까지 사용)
- (3) ratchet type (600 kg-m 까지 사용)

7) Take-up 장치

가. 설치위치 : 일반적으로 head pulley 측에 설치한다.

나. 종류 :

- (1) screw take-up ; conveyor 의 길이 30m 이하에 사용
- (2) 수평중추식
- (3) 수직중추식

다. stroke 의 결정 ; s

- (1) 중추식 conveyor take-up ;

$$s = 0.025 \times L + B \text{ [m]}$$

여기서, L ; conveyor 길이 [m], B ; belt 의 폭 [m] 이다.

- (2) screw take-up

< Screw take-up >

conveyor 길이 (m)	6 이하	6~12	12~18	18~24	24~30
stroke (mm)	225	355	450	760	900

라. weight 의 결정

- (1) take-up 장치를 설치한 부분의 belt 장력에 약 2배의 무게가 필요하다.
- (2) screw take-up 의 작동은 수동으로 하며, gravity take-up 의 작동은 자동으로 한다.
- (3) gravity take-up 의 하중은 설치높이에 따라 주물 또는 concrete box 로 한다.

8) 각종 idler의 표준설치간격

< 각종 idler 의 표준설치간격 >

belt 폭	carrier idler		return idler	training idler	impact idler
	$\gamma < 1.6$	$\gamma > 1.6$			
400	1,350		3,000	10,000 ~ 15,000	200 ~ 300
450	1,350	1,200			
500 ~ 700	1,200		2,700	15,000 ~ 20,000	300 ~ 400
750	1,200	1,000			
800 ~ 900					
1,000				20,000	400 ~ 500
1,200 이상	1,000	2,400			

9) Belt의 수명

Belt의 수명은 conveyor의 길이, belt 속도 및 각 pulley의 크기와 cover고무의 강도 및 도깨, 그리고 각종 idler의 간격과 운전조건 및 운반물의 종류 등을 고려하여 계산한다.

수명계산식:

$$Q_t = Q \times K \text{ [ton]}$$

여기서, Q_t ; 내용총운반량 [ton], Q ; 내용운반량 [ton], K ; 내용율의 계수

10) 탈하선의 정점 및 방물곡선

가. 방물곡선의 계산

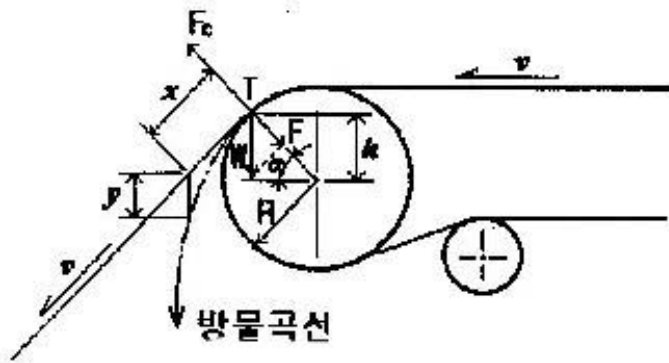


그림. 방물곡선

F_C ; 원심력 [kg]

w ; 운반물의 무게 [kg]

F ; w 의 축방향 분력 (혹은 구심력) [kg]

v ; belt 의 속도 [m/sec]

정점 T 에서의 원심력 F_C 는 ;

$$F_C = \frac{w \times v^2}{g \times R} \quad (1)$$

여기서, g ; 중력가속도 (9.8 m/sec^2), R ; head pulley 의 반경과 belt 두께의 합 [m] 이다.
구심력 F 는 ;

$$F = w \times \sin \alpha \quad (2)$$

식 (1)과 (2) 사이에 힘의 평형조건이 성립하므로,

$$\frac{w \times v^2}{g \times R} = w \times \sin \alpha$$

가 되며, 따라서

$$\sin \alpha = \frac{v^2}{g \times R}$$

또한, h 는 ;

$$h = R \times \sin \alpha = \frac{v^2}{g}$$

한편, $x=vt$, $y=\frac{1}{2} \times g \times t^2$ 이므로, 이들의 관계를 계산하면, 방물곡선을 그릴 수 있으며 운반물의 낙하지점 (working point)을 알 수 있다.

나. 방물곡선에 따른 운반물 낙하지점의 계산

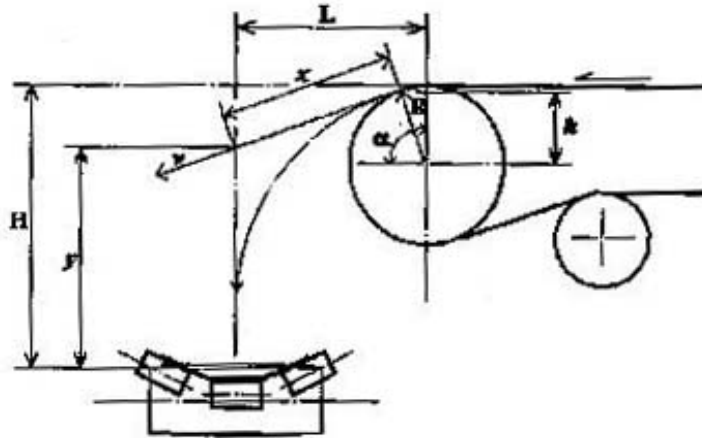


그림 . 방물곡선에 따른 운반물 낙하지점의 계산

$$L=R \times \cos a+x \times \sin a, \quad H=y+x \times \cos a+(R-h) \text{ 이며, 따라서}$$

$$y=H+h-R-x \times \cos a$$

또한, $y=\frac{1}{2} \times g \times t^2$ 에서 $t=\frac{x}{v}$ 이므로

$$y=\frac{1}{2} \times g \times t^2=\frac{g \times x^2}{2 \times v^2}$$

$$=H+h-R-x \times \cos a$$

가 된다. 위 식을 다시 정리하면

$$\left(\frac{-g}{2 \times v^2}\right) \times x^2+\cos a \times x-(H+h-R)=0 \text{ 가 되고,}$$

이 식을 풀면

$$x=\frac{-\cos a+\sqrt{\cos ^2 a+2 g / v^2(H+h-R)}}{g / v^2}$$

가 되며, 따라서

$$L = R \cos \alpha + \left[\frac{-\cos \alpha + \sqrt{\cos^2 \alpha + 2g/v^2(H+h-R)}}{g/v^2} \right] \sin \alpha$$

윗식에 $\sin \alpha = \frac{v^2}{g \times R}$, $\cos \alpha = \frac{\sqrt{g^2 \times R^2 - v^4}}{g \times R}$ 및 $h = \frac{v^2}{g}$ 를 각각 대입하면,

$$L = \frac{\sqrt{g^2 \times R^2 - v^4}}{g} + \frac{v^4}{g^2 \times R} \left[-\frac{\sqrt{g^2 \times R^2 - v^4}}{g \times R} + \sqrt{1 - \left(\frac{v^2}{g \times R}\right)^2 + \frac{2g}{v^2} \left(H + \frac{v^2}{g} - R\right)} \right]$$

가 되며, 이미 알고 있는 R과 v의 값으로부터 L과 H의 관계를 알 수 있다.

(단, $R \geq \frac{v^2}{9.8}$ 으로 한다).

3. 축분 이송 컨베이어

축분 이송컨베이어에 요구되는 성능을 분석하여 정리해 보면,

- 1) 축분의 화학적 성분으로 인한 내부식성
- 2) 축분이 집분된 상태에서의 초기기동부하와 이에 따른 벨트의 장력
- 3) 축분배출시 스크레이퍼 작업의 원활
- 4) 1열 4단을 동시 구동시키기 위한 동력전달장치의 구성 및 설계 등을 들 수 있으며, 특히 2), 3)항의 요구조건을 충족하기 위하여, 벨트의 소재를 두께 1~1.2mm의 폴리프로필렌 벨트를 사용하거나, 구동장치에서 초기 기동부하를 흡수할 수 있는 coupling 체결방법을 채택하는 것이 좋다.

4. 급이 플렛체인 금형공정 분석

1) 개요

금형공정에 있어서, 기본적으로 요구되는 성능은 높은 생산성과 균일한 제품을 생산할 수 있는 가공법의 개발과, 제품이 경량이면서 고장력 인장 강도를 유지할 수 있고, 또한 재료를 경제적으로 사용할 수 있도록 하여야 한다.

급이용 플렛체인의 금형공정에 있어서, 현재의 문제점을 제시하고 각 문제점에 대한 해결 방안을 강구하여, 그 결과를 실제 현장에 적용하는 것을 연구의 목표로 하고 있다. 즉 현재 급이용 플렛체인의 금형 공정상에서 발생하고 있는 문제점을 정리해 보면 다음의 사항들로 요약해 볼 수 있다.

- (1) bending 부의 crack 발생
- (2) 전단 과정에서 절단 상의 극심한 burr 의 발생
- (3) 플렛체인 연결부의 자동화
- (4) 재료의 분석

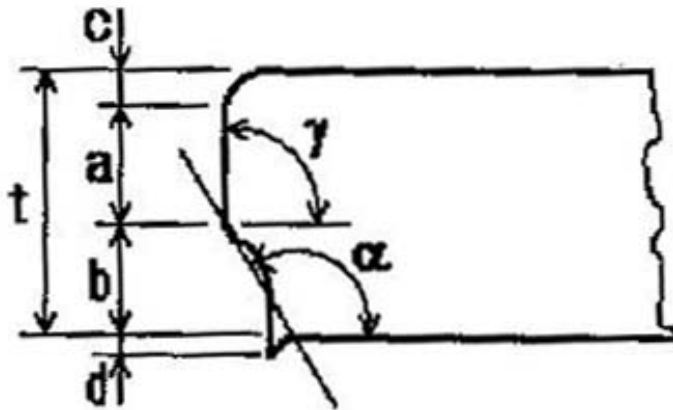
2) 금형 공정의 기초 및 이론적 배경

급이용 플랫폼인의 금형 공정에서 중점적으로 이루어지는 작업 공정은 전단 가공과 굽힘 가공법이 주로 이용되고 있으며, 특히 플랫폼인을 자동 양산하기 위해서는 progressive가공법에 의한 생산 방식의 도입이 필수적이다. 이들 가공법을 이해하는 것은 생산성을 높이고 제품의 균일성을 유지한다는 측면에서 매우 중요한 것으로서, 본 절에서는 전단 가공 및 굽힘 가공법과 progressive 가공법에 대한 이론적 배경과 기술적으로 검토되어야 할 사항들을 정리하여 아래에 기술하였다.

(1) 전단 가공

가. 전단면의 형상

전단 과정에서 분리된 전단면의 형상은 그림 4-1에 나타낸 바와 같이 대체로 전단면(a), 파단면(b), 처짐(c), burr(d) 등 4 개의 부분으로 나누어진다.



전단면의 현상

여기서, 금형 제작상에 필요한 기술적 문제를 검토해 보면 다음과 같다.

- ① (a)의 전단면은 제품의 치수 정도를 결정하는 중요한 부분으로, 가능하면 넓은 것이 바람직하며 γ 값이 90° 이어야 한다.
- ② (b)의 파단면은 clearance에 의해 결정되며, clearance가 판 두께의 10% 이하인 경우에는 clearance가 작을 수록 파단면의 범위는 좁고 10~20%정도까지는 거의 변화가 없다. 또한 그 이상이 되면 다시 파단면의 범위로 감소한다. 또한, 파단면과 재료 표면과의 각도 α 는 clearance가 크게 되면 될수록 크게 된다. 따라서, 실제 금형 제작에서는 clearance가 작은 쪽이 바람직하다.
- ③ (c)의 처짐, 혹은 shear droop은 경한 재료일수록 작게 되고, 파단면이 크게된다.

<재질에 따른 shear droop ratio>

재질	sheer droop ratio
강(0.10%C) 소둔재	50
// 냉간 압연재	38
강(0.20%C) 소둔재	40
// 냉간 압연재	38
강(0.30%C) 소둔재	33
// 냉간 압연재	22
규소 강판	30

④ (d)의 burr는 일반적으로 판 두께의 10%이하로 규제하며, burr와 clearance와의 관계에서 clearance가 18%를 넘으면 burr가 크게 되는 경향을 나타낸다.

나. Clearance

① Clearance가 과소한 경우

이 경우에는 2차 전단 현상이 일어나며, 광택면 즉 버니싱면이 2개소가 발생한다.

Clearance가 판 두께의 3% 이하가 되면, 2차 전단면은 점점 증가하고, 파단면은 반대로 좁게 되어 plate 전체가 전단면으로 된다.

② Clearance가 작은 경우

Crack이 엇갈리는 정도가 (1)의 경우보다 감소하나, 2차 전단이 부분적으로 행해지며, 외관은 버니싱면이 군데군데 나타난다.

③ Clearance가 적당한 경우

상하 crack이 일직선상으로 만나게 되며, 휨, shear droop, burr의 존재가 뚜렷하고, 타발력이 가장 이상적인 상태로 된다.

④ Clearance가 과대한 경우

절단면이 거칠게 되고, 파단면이나 burr가 많이 된다. 휨, shear droop이 많아지고 타발력은 감소하는 경향을 갖는다.

⑤ Clearance의 결정

clearance의 값은 피가공재료의 재질과 두께, 그리고 제품의 정밀도, 형상 등에 따라 결정되며, 일반적으로 피가공재 두께의 몇 %로 결정한다. 본 연구에서는 3.5~4%로 하였다.

<Clearance의 실용치(단위:%×t/one-side cutting edge)>

재질	정밀 블랭킹 또는 극박판	일반 블랭킹 또는 박판, 중후판
순철	2~4	4~8
연강	2~5	5~10
고탄소강	4~8	8~13
규소강판 T급	5~6	7~12
규소강판 B급	4~5	6~10
스테인레스강	3~6	7~11

일반적으로, 두꺼운 판재일수록 clearance를 작게 하고, 경한 판재는 두께의 6~10%, 연한 것은 3~6%가 적당하다.

다. 전단에 필요한 힘

① 전단 저항(S)

$$S = \frac{P_{\max}}{A} \quad [\text{kg/mm}^2]$$

여기서, Pmax; 최대하중 [kg], A; 절단면적 [mm²]이다. 일반적으로 전단저항 S는 재료의 인장 강도(σ_b)의 80%를 취한다. 즉 $S=0.8\sigma_b$ 로 한다.

② 블랭킹 힘과 일량

(가) 블랭킹 힘 ; P

$$P = l \times t \times S \quad [\text{kg}]$$

여기서, l ; 전단 길이 [mm], t ; 판두께 [mm], S ; 재료의 전단저항 [kg/mm²] 이다.

(나) 일량 ; E

$$E = \frac{k \times P \times t}{1,000} \text{ [kg} \cdot \text{m]}$$

여기서, k ; 에너지 보정계수, P ; 블랭킹 힘 [kg], t ; 판두께 [mm] 이다.

<에너지 보정계수 : k>

재 질	보정계수 k
일반재료	0.63
경질재(스프링강)	0.45
압연경질재	0.30
강철판(연질) 0.2%C 까지	0.64
강철판(연질) 0.1%C 까지	
규소강판(연질)	0.50
강철판(연질) 0.2~0.3%C 까지	
강철판(연질) 0.3~0.6%C 까지	0.45
강철판(경질) 0.2~0.3%C 까지	
강철판(경질) 0.4%C 이상	0.40
강철판(연질) 0.6%C 이상	

제 4절. 케이지 최적화 설계

1. 케이지 구조설계

양계시설 자동화의 근간이 되는 케이지 구조는 초생추의 능력을 변화시키는 케이지의 수용 조건인 수당 생활면적과 수당 급이면적 및 한칸당 사육수수를 고려하여 설계되었다. 유럽에서 수입되고 있는 직립식 케이지의 규격을 조사한 결과 수당 생활면적과 수당 급이면적 및 한 칸 당 사육수수는 다음과 같다.

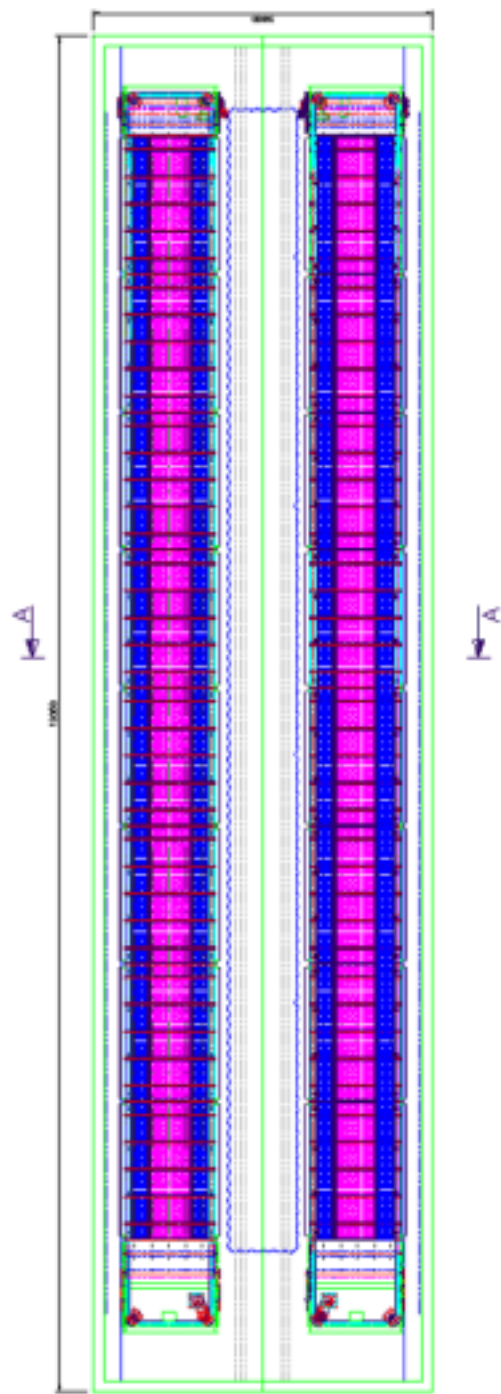
< 수당 생활면적, 수당 급이면적 한 칸 당 사육수수 >

제조회사	체적			바닥 총면적	한칸당 사육수수	수당 생활면적	수당급이면 적
	전면폭	높이	깊이				
B.D	40	45	50	2,000	4	500	10
F.A	50	41	50	2,500	6(5)	416.7(500)	8.3(10)
SP	60	40	45	2,700	6(5)	450(540)	10(12)
FT	50.6	45	47.4	2,398	6(5)	399.7(480)	8.4(10.1)
SM	50	44	51.5	2,575	6(5)	429.2(515)	8.3(10)
ETC	50	46.8	46.8	2,340	6(5)	390(468)	8.3(10)
	40	42	42	1,680	4	420	10
	51	45	45	2,295	5	459	10.2
	49	50	50	2,450	5	490	9.8

백색계의 미국표준과 갈색계 사육의 유럽표준의 2가지를 제작하는 이태리 F사의 규격은 다음과 같다.

	USA STANDARD	CEE STANDARD
전면폭(cm)	49	49
깊이(cm)	50	50
높이(cm)	38	43
사육수수	7	5
바닥면적(cm ² /수)	350	490
계 종	백색계	갈색계

본 추생추 양계시설 자동화 시스템의 케이지 규격은 120cm×80cm×40cm를 기준으로 하였다. 케이지의 옆 칸막이 구조는 일반적으로 두가지 형태 즉 아연판과 용접철망으로 되어 있으나 우리나라에서는 여름철 고온에 대비하여 터널식 환기의 채택으로 공기유속의 흐름을 방해하지 않는 용접철망구조가 바람직하다.



* 배차 평면도 *
 (SCALE 1 : 30)

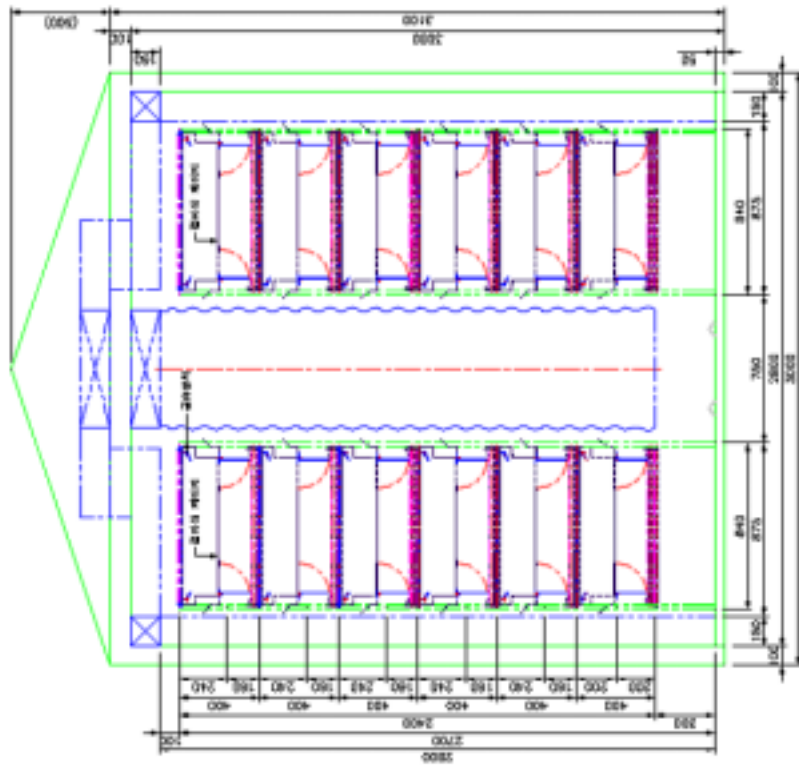
- 내·외벽

; 내부에 우레탄 폼을 충진한 100mm 두께로 설계하여 최대한 냉난방 효과를 얻을수 있도록 설계하였음.

- 케이지 시스템 설계 및 제작

; 직립식 케이지 설계 (120cm × 80cm × 40cm)용접 철망.

초생추가 이송시 트레스를 줄이기 위하여 Cage가 천천히 개폐되도록 설계하였으며 닭들이 밖으로 나가지 못하도록 접이식 케이지를 개발하였으며 이 부분은 특히 출원 예정이며 그 설계도면은 다음과 같다.

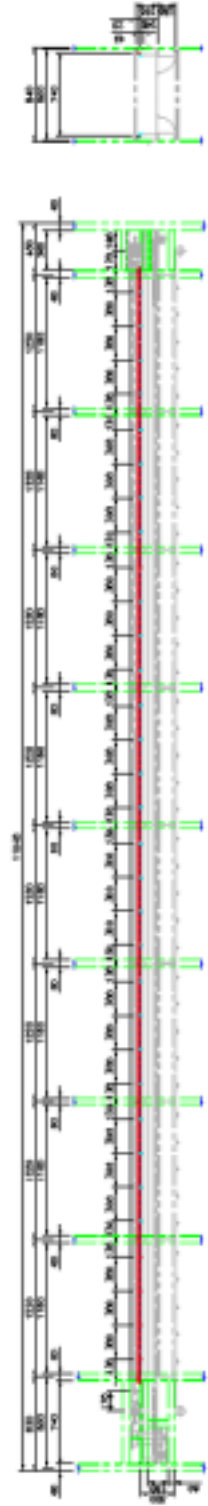
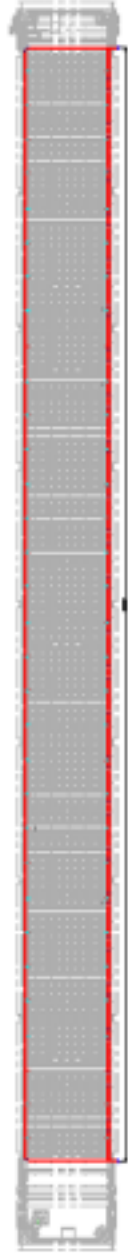


단면 상세 도면 A-A
(SCALE 1:20)

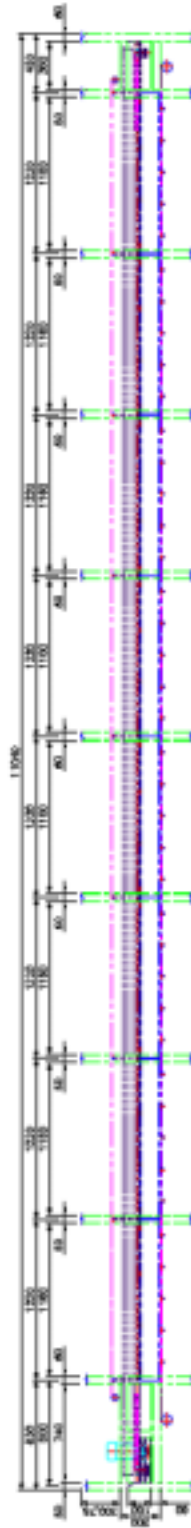
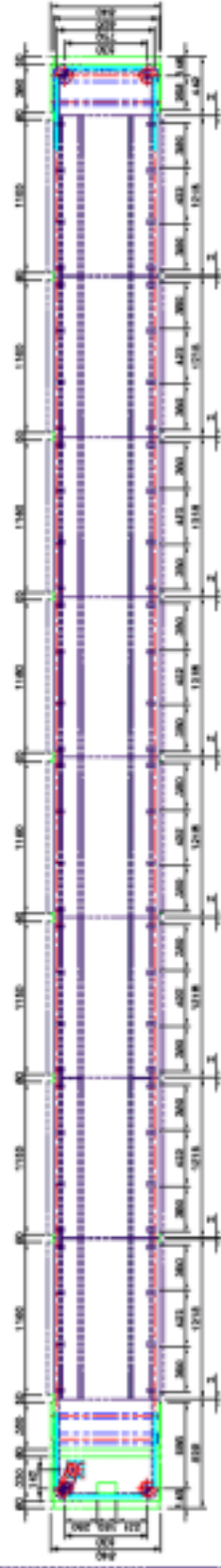
- 급이 · 급수 설계 시스템 설계 및 일부제작

; 플랫 체인형 급이 시스템 채택, 설계하여 제작하고 있으며 그 설계도면은 다음과 같다.

; 높낮이가 조절가능한 니플형 급수시스템 채택, 설계제작하고 있음.



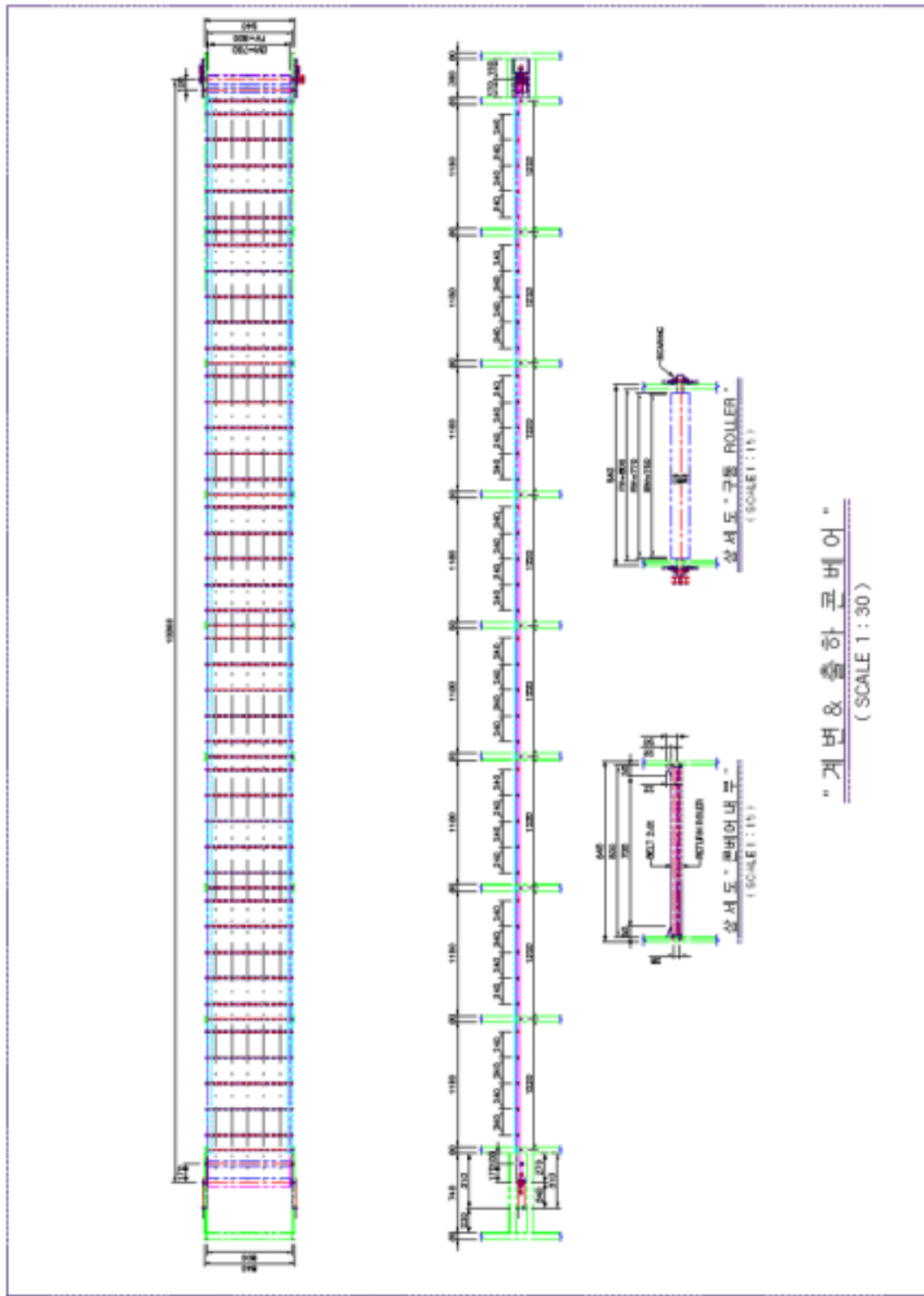
" NIPPLE 급수 SYSTEM "
(SCALE 1 : 30)



"급이이승 콘베어"
(SCALE 1 : 30)

- 자동계분 belt 시스템 설계 및 제작

; PP를 이용한 belt를 설계, 제작하였으며 계분과 초생추를 이송시키도록 하였으며 그 설계도면은 다음과 같다.

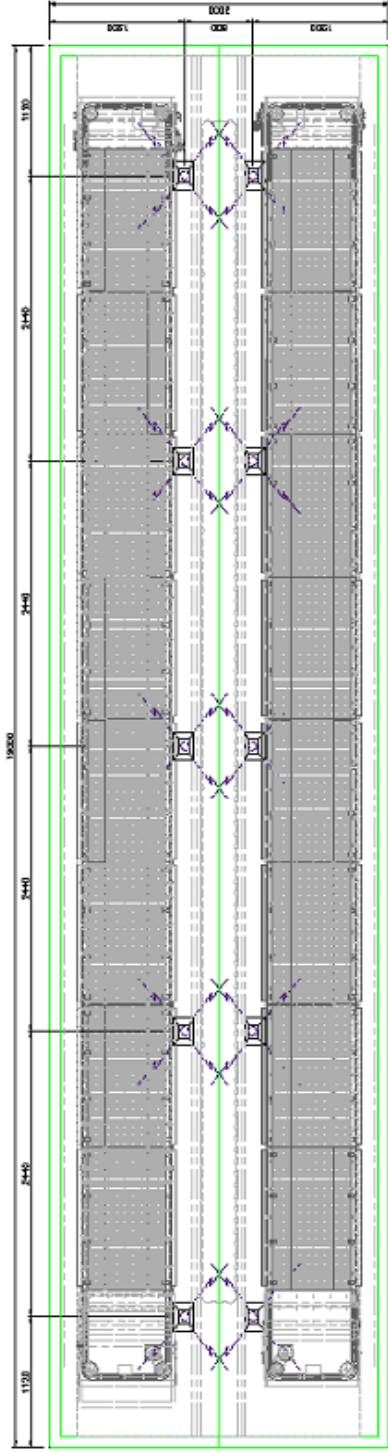


"계번 & 출하 준비"

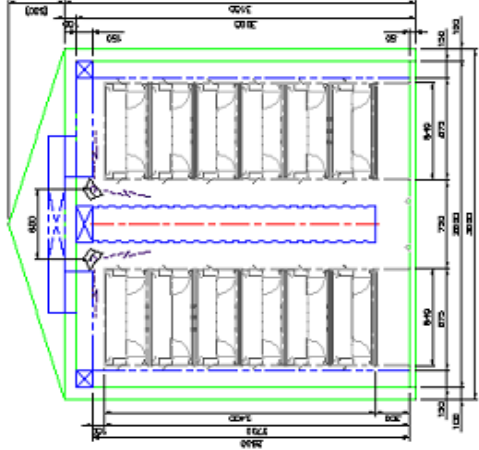
(SCALE 1:30)

- 점등 시스템 설계 및 제작

; 초생추가 쾌적한 환경을 유지할 수 있도록 하단이 10~15 Lux를 유지할 수 있도록 설계.
제작 중이며 그 설계도면은 다음과 같다.



배치 평면도 "조명"
(SCALE 1 : 30)



단면 상세도 "조명"
(SCALE 1 : 30)

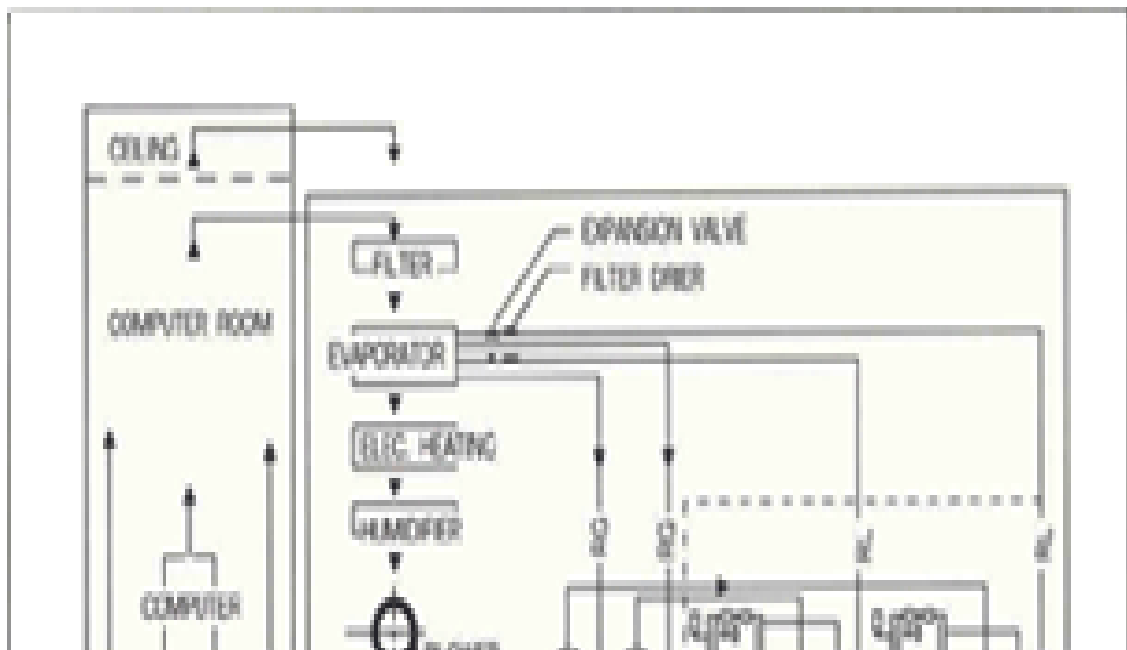
- 제어 및 감시기능 시스템 설계 및 제작

; 모든 시스템에 대한 제어 및 감시가 가능하도록 설계하였으며 또한 여름철 고온기에는 터널 환기방식을 별도로 채택하여 만약의 비상사태에 대비토록 설계, 제작.

2. 향온 향습기(Expect great things)

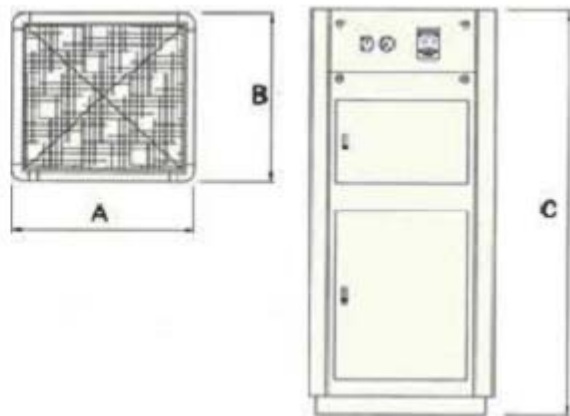
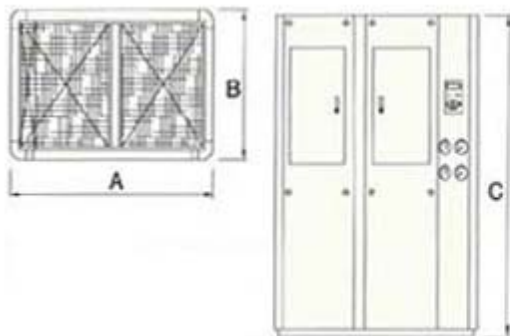
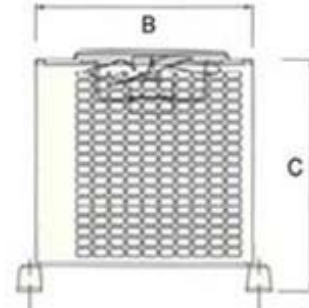
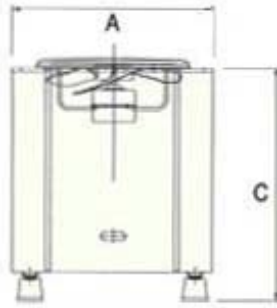
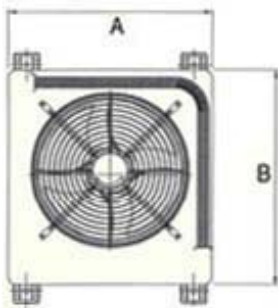
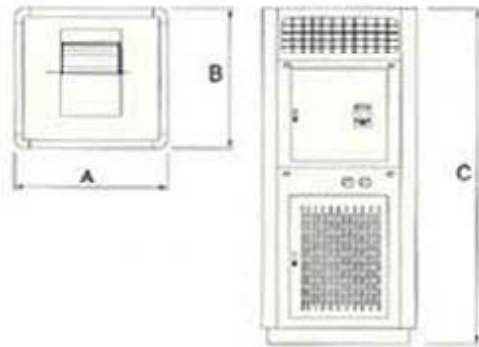
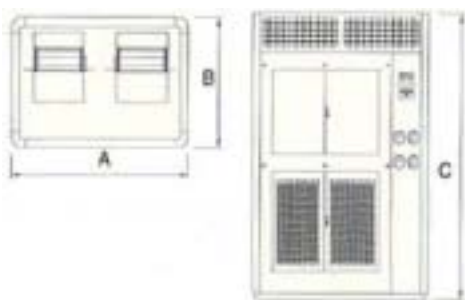
- 향온 · 향습 시스템 설계 및 제작

; 초생추 계사의 경제성을 좌우하는 중요 요소로서 계사내의 공기를 30~70%내에서 이용할 수 있도록 설계하였으며 계사내의 온도를 24~31℃, 습도를 45%~70%가 유지되도록 하여 제작 중이며 그 설계도면은 다음과 같다.

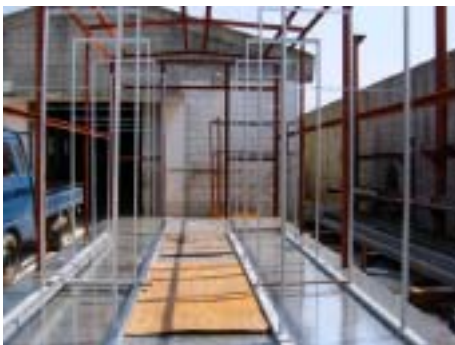


● 특징

1. 원터치 마이크로 콘트롤 방식으로 실내의 온,습도를 최적의 상태로 유지시켜 준다.
2. COMP 및 중요부품의 작동은 자동교환 운전으로 편중운전을 방지한다.
3. 가열 및 가습장치는 경제 적인 STEP제어 방식 채택으로 효율적인 운전이 가능하다.
4. 가습조는 자동세척식으로 스케일 제거방식을 채택하여 기내의 청결과 히타의 수명을 연장한다.
5. SYSTEM은 PUMP DOWN CYCLE을 채택하여 재기동시 COMP의 보호기능을 내장하였다.
6. 정전후 전원복귀시 자동운전이 가능한 SYSTEM으로 무인 운전이 가능하다.



《별지첨부- 계사 조립 공정도》













제 2장. 공기유동해석을 통한 초생추 인큐베이터 효율적 환기구조 연구

제 1절. Introduction

2004년 12월을 기준으로 하여, 국내 총 사육마리수는 101,693,000수이며 그 중에 약 46.8%가 육계이었다 (SSLI, 2003). 전업농가를 기준하여 사육 가구수는 총 3,650가구 정도이고, 전체적으로는 176,000가구에 이른다. 4년전과 비교하여, 30 ~ 50천수와 50천수 이상을 사육하는 가구수는 각각 27.8%와 70.1%가 증가하여 양계사육이 점점 대형화되어 가는 것을 알 수 있었다. 육계사의 대형화에 따른 최적환경조성의 중요성이 대두되고 있어서, 이에 따른 적합한 시설환경이 더욱 요구되고 있으나, 4계절이 뚜렷한 우리나라 기상조건 하에서 계절별 적정환기가 이루어지지 않아 육계의 생산성 향상에 어려움이 많이 있다. 일반적으로 병아리들이 부화장에서 부화한 직후 혹은 1일 이내에 계사로 옮겨져서 출하 때까지 사육하게 된다. 하지만 병아리가 부화한 후 약 7일까지 높은 폐사율을 보이고 있어서 이 시기에 사육환경을 개선한다면 폐사율과 질병발생율을 줄이고 더욱 건강한 닭들을 생산할 수 있다 (Reece, 1982; Xin, 1992).

이번 총 4년간의 연구를 통하여 최종적으로 초생추 인큐베이터를 개발하고자 하며, 이의 실험용 소형prototype은 도로에서 운반이 가능한 크기로 그리고 6단 2열 케이지를 기본으로 설계하고자 한다. 이 논문에서는 지난 2년간 초생추 인큐베이터 개발을 위한 기초연구의 일환으로 공기유동해석용 컴퓨터 시뮬레이션 기술을 이용하여 수행된 적정환기구조 설계연구를 소개하고자 한다. 적정환기구조는 병아리의 균일한 성장 및 질병발생율을 줄이기 위한 중요한 요인이다. 지금까지의 기초연구에서 가장 중요한 목적은 위에서 언급된 기본구조하에서 각 케이지에 있는 계군에 균일하게 신선한 공기를 공급하고 동시에 계분처리용 벨트 등으로부터의 오염원들이 원활하게 배출될 수 있도록 적정환기구조를 개발하는 것이다. 새로운 환기구조개발에 중점을 두기 위하여 지금까지의 기초연구에서는 시설내에 병아리가 없다는 가정하에 공기유동해석용 시뮬레이션을 설계하였으며, 이의 결과들을 이용하여 다양한 환기구조에 따른 내부 공기유동장 및 환기효율성을 비교분석하였다. 이번 연구를 위하여 이용된 CFD 프로그램은 Fluent CFD Version 6.0이었고, 메쉬작업에는 Gambit Version 2.0을 이용하였다(Fluent manual, 2002). 이 CFD 데이터를 이용한 환기효율성 분석을 위하여 배기연령 및 급기연령 분석법을 이용하였다 (Han et al., 2001).

지난 수 세기동안 동물의 사육환경을 개선하기 위하여 많은 노력과 연구들이 이루어져 왔다. 하지만, 사육환경개선을 위한 환기연구는 눈에 보이지 않고 예측이 어려운 공기유동을 분석하여야 하기 때문에 어려움이 많이 있었다(Brown Brandl 등, 1997; Choiniere 등, 1997; Khankari 등, 1997). 이러한 어려움을 극복하기 위하여 1990년대부터 공기유동해석 방법을 통한 축사의 환기구조개선 연구가 활발하게 수행되고 있다.

최근 자동화, 효율적 에너지이용 등에 따른 농업시설의 대형화로 인하여 환기부족, 질병발생의 증가 등 환경조절의 어려움이 많이 있는데 이를 공기유동해석적 접근을 통하여 우리나라 기후에 적합한 환경제어기술 및 시설구조설계 등의 향상을 도모하는 노력이 많이 이루어지고 있다(Lee, et al, 2002).

제 2절. Materials and methods

1) 전산유체역학 (Computational fluid dynamics)

컴퓨터를 이용한 수치 해석적 방법은 많은 비용과 시간이 요구되는 실험방법들보다 빠르고 경제적인 장점이 있다. 또한 현장실험에서는 환경조건을 인위적으로 바꾸는 것이 불가능하지만, 컴퓨터 시뮬레이션은 구조 및 기상조건을 연구자가 원하는 대로 다양하게 바꾸어가며 분석할 수 있다. 또 실험적 방법으로 해석할 수 없는 분야도 컴퓨터에 의한 시뮬레이션 작업으로 해석할 수 있다. 컴퓨터의 성능에 의존하는 학문이기 때문에 컴퓨터의 성능이 발달될수록 더욱더 정확하고 빠른 결과를 보여줄 수 있는 잠재력이 큰 학문이다. 컴퓨터의 속도 향상과 parallel 기법의 프로그램 개발 등으로 더욱 시간이 단축될 것으로 전망된다. 하지만 CFD 설계도의 경험, 숙련도, 지식 등 CFD 결과의 신뢰도에 중요한 영향을 미치기 때문에 CFD 정확도 검증은 꼭 선행되어야 한다.

전산유체역학은 포텐셜 방정식으로부터 Navier Stokes 방정식에 이르기까지 유동을 지배하는 여러 종류의 편미분 방정식을 전산기법을 동원하여 대수 방정식으로 변환하여 이를 풀어 해를 구함으로써 유동을 해석 또는 시뮬레이션을 행하는 학문이다. 오늘날에는 이런 컴퓨터의 눈부신 발달에 힘입어 공학의 여러 분야에 컴퓨터의 힘을 이용하기 시작하였다. 전산유체역학도 이런 분야중의 한 분야에 속한다.

이번 연구를 위하여 STA CD CFD상용화 프로그램을 이용하였으며, 메쉬작업을 위하여 Gambit Version 2.0을 이용하였다. 초생추 인큐베이터 모델의 공기유동분석을 위하여 이용되어진 난류모델은 RNG k- ϵ 모델을 이용하였다 (Lee et al., 2004). Lee 등(2004)은 풍동 및 PIV실험을 통하여 농업시설의 환기연구를 위한 CFD 툴을 개발하고 이의 정확도 검증 및 향상을 도모하였다. 또한 CFD결과의 정확도 향상을 위하여 가장 중요한 요소는 메쉬배열, 난류모델, inlet의 난류특성 정립 등인 것으로 나타났다. 내부의 공기유동장 분석 시, RNG k- ϵ 난류 모델이 가장 정확한 결과를 만드는 것으로 나타났다. 전체 계산에 사용된 격자는 39,200개 정도가 사용되었다.

공식 (1)과 (2)는 “Reynolds averaged” Navier Stokes (RANS)의 기본 공식들이다.(Launder and Spalding, 1974; Choudhury, 1995; Fluent manual, 2002).

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i) = 0 \quad (1)$$

$$\rho \frac{Du_i}{Dt} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial u_l}{\partial x_l} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x_i} (-\overline{\rho u_i' u_j'}) \quad (2)$$

turbulent kinetic energy (k)와 이의 dissipation rate (ϵ)를 구하기 위한 공식은 다음과 같

다.

$$\rho \frac{Du_i}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\alpha_k \mu_{eff} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right) + G_k + G_b - \rho \varepsilon - Y_M \quad (3)$$

$$\rho \frac{D\varepsilon}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\alpha_\varepsilon \mu_{eff} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right) + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (G_k + C_{3\varepsilon} G_b) - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} - R \quad (4)$$

P 정압 (static pressure)

τ_{ij} 점도응력텐서 (viscous stress tensor)

g_i 중력가속도 (gravitational acceleration)

μ 분자 점도 (molecular viscosity)

eddy 혹은 turbulent viscosity는 아래와 같이 구한다.

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (5)$$

2) 환기효율성 분석

Sandberg (1999) and Han 등 (2001)은 환기효율성 분석의 중요성을 잘 보여주고 있다. 한 동일한 크기의 내부공간에 동일한 환기량을 설정하였어도, 입기구, 배기구 등 환기구의 위치에 따라서 내부의 각 지점에 공기교체를 및 환경균일성 등 환기효율성이 매우 다르게 나타나는 것을 증명하였다. 분진, 가스 등 다양한 오염원의 끊임없는 발생하고 사육대상이 폭넓게 분포하고 있는 축산시설은 이의 설계 시 단지 환기량에 의존하여 환기설계를 하는 것이 환경 균일성, 적정성, 및 안정성을 향상시키는데 얼마나 위험한지를 잘 보여주고 있다.

초생추 인큐베이터내의 환기효율성을 분석하기 위하여 급기연령(Local mean age, LMA) 및 배기연령(Local mean residual time, LMR) 분석법을 이용하였으며, 이에 대한 자세한 설명은 Sandberg 등 (1983)과 Han 등 (1999)이 자세하게 제시되어 있다. 급기연령이란 공기가 입기구로부터 실내의 임의에 위치까지 도달하는데 걸리는 시간을 의미하며, 배기연령이란 실내의 임의에 한 위치로부터 배기구까지 도달하는 시간을 의미한다.

실내 임의의 점에서의 환기효율을 나타내는 국소급기지수(Local supply index, α_p) 와 국소배기지수(Local exhaust index, ε_p)는 완전혼합(Complete mixing)의 실내 유동형태를 기

준으로 하여 그 점에서의 국소평균연령, 국소평균잔여체류시간과 명목시간상수의 비로서 정의된다. 명목시간상수는 실내 체적을 환기량으로 나눈 값이며 이는 시간당 전체 실내 공기가 교환되는 횟수를 나타내는 공기교환율(ACH)의 역수이다. 명목시간상수에 비하여 국소평균잔여체류시간이 길면 그 점의 국소배기효율은 낮다고 말할 수 있다. 국소급기효율도 마찬가지로 임의의 점에서의 국소평균연령이 명목시간상수보다 길면 국소급기효율이 낮다고 말할 수 있다. 급기구에서의 국소평균잔여체류시간은 급기구에서 발생한 오염물질이 배기구로 빠져나가는 데 소요되는 시간을 의미하며 급기구를 떠난 급기가 배기구까지 도달하는 시간, 즉 배기구에서의 국소평균연령과 동일한 것이며 이것은 이론상 명목시간상수()와 같다.

$$\tau_n = LMA_{ex} = LMR_{sup} \quad (6)$$

τ_n 명목시간상수 (실체적 V / 환기량 Q)

LMA 국소평균연령

LMR 국소평균잔여체류시간

전체 실내 공간에 대하여 국소배기효율을 평균한 값을 실평균배기효율 (Room mean exhaust effectiveness)이라고 정의할 수 있으며 이것은 국소급기효율을 전체 실내 공간에 대하여 평균한 실평균급기효율(Room mean supply effectiveness, air change effectiveness)과 동일하다는 것을 이론적으로 증명하고 있다. 따라서 실평균급기효율과 실평균배기효율을 구분하여 사용할 필요 없이 실평균환기효율(Room mean ventilation effectiveness)이라고 정의한다. 완전혼합의 경우 50%, 변위환기의 경우 100%의 실평균환기효율값 ($\langle \mathcal{E} \rangle$)을 갖는다.

$$\langle \mathcal{E} \rangle = \frac{\tau_n}{2 \cdot \langle LMR \rangle} = \frac{\tau_n}{2 \cdot \langle LMA \rangle} \quad (7)$$

여기서 $\langle \rangle$ 는 전체 실내 공간에 대한 평균값을 의미한다.

실험적으로 평균연령을 구하기 위해서는 추적가스를 급기구에서 주입하고 실내의 임의의 점에서의 농도변화를 관찰한다. 평균잔여체류시간은 추적가스를 실내의 임의의 점에서 주입하고 배기구에서의 농도변화를 관찰한다. 이번 연구에서 이용되어진 체승방법의 경우 임의의 점 P에서의 국소평균연령은 식(8)과 같이 표현되고 국소평균잔여체류시간은 식(9)와 같이 표현된다. 실내 전체 공간에서의 실평균연령 또는 실평균잔여체류시간은 식(10)와 같이 표현된다.

$$LMA_p = \frac{\int_0^{\infty} t^2 \cdot C_p^{\text{sup}}(t) dt}{\int_0^{\infty} C_p^{\text{sup}}(t) dt} \quad (8)$$

$$LMR_p = \frac{\int_0^{\infty} t \cdot C_{ex}^p(t) dt}{\int_0^{\infty} C_{ex}^p(t) dt} \quad (9)$$

$$\langle LMA \rangle = \langle LMR \rangle = \frac{\int_0^{\infty} t^2 \cdot C_{ex}^{\text{sup}}(t) dt}{\int_0^{\infty} C_{ex}^{\text{sup}}(t) dt} \quad (10)$$

여기서 상첨자는 추적가스 주입위치를 하첨자는 추적가스 측정위치를 나타낸다. 이 환기 효율성은 각 환기량 (CMH)에 따라서 기존의 환기량과 비교분석하고자 하였다. LMRsup 계산시 가중평균을 이용하여 LMRsup를 계산 하였다. Outlet쪽에 격자가 15개이고 15개의 각 격자마다 속도와 농도가 다르기 때문에 가중평균으로 계산을 하였다.

$$LMA, LMR = \frac{\sum_{i=1}^n (C_i \times V_i \times A_i)}{V \times A} \quad (11)$$

3) Experimental procedures

초생추 인큐베이터를 3차원CFD모델로 설계를 하는 것은 매우 어려웠다. 가장 큰 이유는 인큐베이터내에 있는 계분 처리용 벨트 등 공기에 영향을 줄 수 있는 요소들을 고려하여 충분히 조밀한 밀도의 메쉬설계가 선행되어야 하는데 이를 위해서는 너무나 많은 메쉬수가 요구되었다. 이를 극복하기 위하여 인큐베이터내에서 길이방향으로 내부구조 및 환기구조가 동일하다라는 가정 하에 2차원 CFD모델을 이용코자 하였다. 시설 내부의 케이지 등은 길이방향으로 같은 형태를 유지하고 있고 이번 연구에서 찾고자 하는 적정환기구조도 길이방향으로 동일한 환경조건을 만들기 위하여 길이방향으로 동일한 환기구조를 찾고자 한다. 총 메쉬수는 39,400개로 결정하였고 모두 hexahedron으로 설계되었다. 스크린 형태의 케이지, 급이라인, 급수라인 등은 공기유동에 큰 영향을 미치지 않는다는 가정하에 이 CFD모델에서는 무시하였다. 또한 이번 연구에서는 적정환기구조를 찾는 것이 주 목적이고 또한 3차원적인 병아리의 분포를2차원 시뮬레이션 모델에 설계하는 것에 어려움이 있어서 이번 시뮬레이션에서는 병아리도 무시되었다. 단지 공기유동에 큰 영향을 미칠 수 있는 계분벨트는 고려를 하였다. 서로 대칭관계인 인큐베이터 내 공간의 왼쪽 반만을 CFD설계하고 통로쪽 boundary wall을 symmetric wall로 설계하여 효과적인 메쉬설계를 도모하고자 하였다.

CFD 결과의 신뢰성을 높이기 위하여 이를 검증할 수 있는 데이터가 필요하였다. 이를 위하여 두 가지 방법을 수행하였다. 첫 번째로는 CFD를 통하여 설계된 2차원 인큐베이터의 1/3 축소모형을 제작하여 각 동일한 환기량에서 각 배기구에서의 유속을 측정하여 CFD결과와 비교하고자 하였다. 1/3과 관련된 공기유속의 상사를 위하여 가장 보편적으로 이용되어지는 Froude 수가 적용되어졌다 (Simiu and Scanlan, 1996; Cook, 1997).

$$\left(\frac{v^2}{gB}\right)_{model} = \left(\frac{v^2}{gB}\right)_{full} \quad (12)$$

- V : 공기 유속 (m/s)
- g : 중력가속도 (m/s²)
- B : 구조물의 기하학적 길이 (m)

두 번째 검증방법은 계산결과의 신뢰성을 확인하기 위해 ‘배기구에서의 국소평균연령(LMAex)은 급기구에서의 국소 평균잔여체류시간(LMRsup)과 동일하며 이것은 명목시간상수(τ)와 같다’ (Sandberg, 1999; Han et al., 2001)는 것을 고려하여 CFD결과에 대한 오차를 비교하여 보았다.

환기효율을 나타내기 위하여 실내의 공기가 완전 혼합되어 위치에 관계없이 일정한 농도분포를 보이는 상태를 기준상태로 하였다. 완전혼합의 환기상태에서 실내 체적 V(m³)에 대한 시간당 환기량 Q(m³/hr)를 환기횟수(Air change rate, 1/hr) 또는 환기율(Ventilation rate)이라고 한다. 환기율의 역수는 시간의 차원을 가지며 명목시간상수(Nominal time constant)라고 한다.

$$\tau = \frac{V}{Q} \quad (13)$$

적정환기구조를 설계하기 위하여 다양한 구조하에 환기효율성을 비교 분석하여야 하는데, 이러한 모든 시도는 현장실험의 경우 매우 많은 비용, 시간 및 노동력을 필요로 하였다. 이를 극복하기 위하여 전산유체역학 툴을 개발하였고, 이를 이용하여 다양한 시도들을 수행해가면서 많은 양의 데이터를 축적하여 각 환경별 내부 환기상태를 정확하게 비교분석하고자 하였다. CFD를 이용하여 적정 환기구조를 설계하고자 하였는데, 이 실험을 통하여 배기 및 입기구 위치 및 각 크기, 배기덕트 및 입기덕트의 적정설계 등을 찾고자 하였다.

환기효율을 계산하기 위해 LMA와 LMR를 계산을 하였고, LMA계산은 steady상태로 LMR계산은 transient상태로 계산을 하였다. LMA와 LMR은 체승방법(step up method)을 이용하여 LMA의 경우 계산영역전체에 대한 일정한 농도를 발생하였고, LMR의 경우 24개의 측정 위치를 선택하여 각 위치에서 일정한 농도를 발생하여 계산을 하였다. LMR를 계산시 24개의 측정점을 선정하여 계산을 하였고, 측정점은 케이지별 닭의 위치와 분뇨처리를 위한 컨베이어 벨트 위를 측정점으로 선택하였다.

제 3절. 결과 및 고찰

1) 인큐베이터 설계 초기조건

이미 연구초기에 인큐베이터의 크기 및 케이지 형태는 결정되었고, 이번 연구에서는 이 초기조건에 부합되는 환기구조설계에 초점을 두었다. 인큐베이터 크기를 결정함에 있어서 가장 중요하게 고려된 사항은 도로운반법 (참고문헌) 에 부합되고 도로에서의 운반이 용이하여야 한다는 것이다. 최종적으로 벽체 두께 (15cm)를 포함하여 인큐베이터 규격은 3.0(W)×3.6(H)×11.15(L)m으로 결정되었고, 중천장까지의 높이는 3.1m이며 그 위에 지붕을 설치하였다. 또한 인큐베이터 내부의 제한된 공간을 효과적으로 이용하기 위하여 6단 직립식 케이지를 통로 양쪽에 길이방향으로 설치를 하고 가운데 작업자들을 위한 통로를 두기로 하였다.

이러한 기본구조 하에서 각 케이지의 초생추 위치에 균일하게 신선한 공기가 공급될 환경의 안정성, 균일성 및 적정성을 향상시킬 수 있는 환기구조의 적정설계가 필요하였다. 적정 환기란 신선한 입기가 각 높이별 케이지에 균일하게 공급되어 초생추 주위환경을 개선하고 또한 초생추 및 계분처리용 벨트에서 발생하는 가스, 분진 등 유해성분을 인큐베이터내에 확산되기 전에 배출할 수 있는 것이다. 또한, 환기설계 시 중요한 요소중에 하나는 시설의 냉방 및 난방 부하를 줄일 수 있는 환기구조를 찾는 것이다. 하절기와 동절기에 측벽을 통하여 각각 이루어지는 열축적 및 열손실을 줄일 수 있는 환기구조가 고려되어야만 했다.

기존의 케이지식 계사의 환기상 단점은 각 케이지에 균일하게 환경조건을 조성하는 것이 불가능하다는 것이다. 일반적인 강제환기가 이루어지는 케이지식 계사의 경우 측벽의 입기구통을 통하여 중천장에 설치된 배기구로 공기가 배출되는 구조, 측벽을 통하여 들어 온 공기가 반대쪽 측벽의 배기팬을 통하여 배기하는 구조 등이 가장 일반화되었는데, 이러한 시스템들은 많은 형태의 와류 등을 발생시켜 각 오염원들이 계사내로 확산된다. 또한 계군환경의 안정성, 적정성, 및 균일성을 향상시킬 수 없다.

이러한 목적을 위하여 그림 1과 같은 기본적인 환기구조가 결정되었다. 기본환기구조는 신선한 외기가 중천장 중앙에서 입기하여 좌우 측벽을 통하여 배기되는 구조로 결정하였다. 가운데 통로는 총 사육기간 중 작업자가 단지 매우 제한된 시간동안 이용하는 공간이면서 동시에 적정환기구조 설계의 큰 어려움을 발생시키고 시설내의 환경제어공간을 불필요하게 늘리는 원인이 된다. 이러한 문제점들을 해소하고 각 케이지의 계군과 벨트위에 신선한 공기를 균일하게 공급할 수 있도록 비닐덕트를 설치하였다. 덕트의 양 측면에는 각 계군높이와 동일한 위치에 환기구용 슬릿들을 설치하였다. 이를 통하여 내부의 환경제어공간을 효과적으로 줄이고, 또한 각 케이지의 계군 가까이 입기구들을 위치할 수 있다. 통로에서의 작업이 필요한 경우에는 덕트를 위로 말아 올려놓고 대부분의 사육기간동안에는 비닐덕트를 하단까지 내려서 각 계군에 신선한 공기를 주입하게 된다. 양쪽 측벽에는 동일한 높이에 배기구들이 위치하고 있으며, 수직방향의 주 배기관을 통하여 배출된다. 이러한 설계조건을 만족시키기 위해서는 인큐베이터 길이방향으로 동일한 양의 공기가 공급되고 배기될 수 있도록 덕트설계가 이루어지는 것이 중요하다.

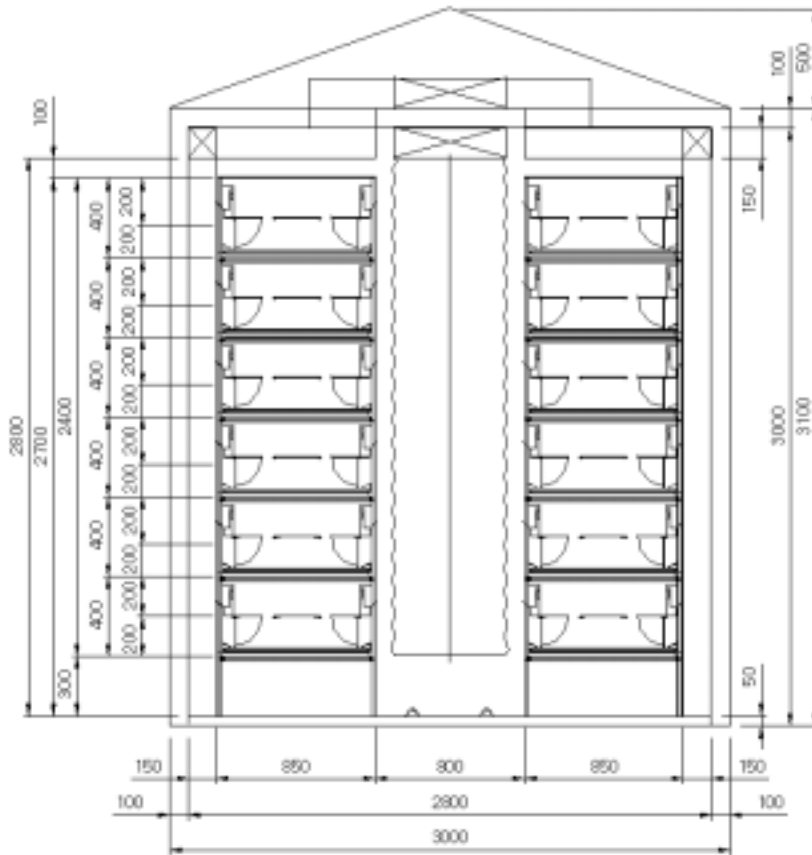


그림 1 초생추 인큐베이터 6단 2열 최종모델의 내부구조

이 시스템을 적용함으로써 예상되는 장점들은 다음과 같다.

각 케이지위의 계군에 신선한 공기를 균일하게 공급할 수 있다.

벨트 등에서 발생하는 분진, 가스 등을 확산되기 전에 배출시킬 수 있다.

비닐덕트로 인하여 환경제어 공간을 효과적으로 줄일 수 있다.

측벽을 통하여 발생하는 열축적(하절기)과 열손실(동절기)을 줄일 수 있다.

초생추의 쉽고 빠른 출하를 위하여 계분처리용 벨트를 이용하고자 계분처리용 벨트와 케이지간 적정거리도 결정되었다. 또한 향온 향습시스템을 설치하여 배출되는 공기 및 에너지를 재활용할 수 있도록 설계되었다. 초생추를 부화 후 7일동안 인큐베이터내에서 사육한다는 가정하에 각 케이지의 높이를 20cm로 정하였으며, 케이지 바닥과 계분처리용 벨트 사이의 거리도 20cm로 결정하였다. 각 케이지와 통로의 폭은 각각 85cm와 80cm로 결정하였다. 사육마리수는 평당 200수로 가정하였고, 이에 따른 사육마리수를 설정하였다. 6단 케이지 총 바닥면적은 31평으로 총 6,200수의 초생추의 사육이 가능하였다. 닭의 환기요구량 산정을 위하여 Bruce (1981)와 Wathes와 Charles (1994)의 공식 (11)과 (12)를 이용하여 최대 및 최소환기량을 계산하였다. 최대 및 최소환기량은 각각 62.7CMH와 5.8CMH로 계산되었는데, 이 초생추 인큐베이터는 향온향습 시스템을 이용하기 때문에 이번 연구에서는 최대환기량의 100%와 50% 환기량을 가지고 CFD분석을 하였다.

$$\text{최소환기량 } 1.6 \times 10^{-4} m^3 s^{-1} kg^{0.75} \quad (14)$$

$$\text{최대환기량 } 1.5 \times 10^{-3} m^3 s^{-1} kg^{0.75} \quad (15)$$

Table 1 Structural specifications of the chick incubator and its ventilation rate (CMH=m³/hr)

대상	크기(단위)	대상	크기(단위)
인큐베이터 높이	3.6(m)	통로 폭	0.8(m)
인큐베이터 폭	3.0(m)	사육기간	5(일)
케이지 열	2(열)	평당 사육두수	200수
케이지 단	6(단)	환기량 1	10906.8CMH (실제는 13,577)
케이지 폭	0.85(m)	환기량 2	5,453.4CMH (실제는 6,788.5)

2) CFD결과 정확도 검증

가. 명목시간 상수(♦)을 이용한 정확도 검증

환기효율을 나타내기 위하여 실내의 공기가 완전 혼합되어 위치에 관계없이 일정한 농도분포를 보이는 상태를 기준상태로 하였다. 완전혼합의 환기상태에서 실내 체적 V에 대한 시간당 환기량 Q를 환기횟수(Air change rate) 또는 환기율(Ventilation rate)이라고 한다. 환기율의 역수는 시간의 차원을 가지며 명목시간상수(Nominal time constant, τ_n)라고 한다.

최종 인큐베이터의 계산영역으로 잡은 실내체적은 위의 도면과 너비 2.8m 높이 2.8m에 길이가 10m인 공간을 기준으로 계산을 하였고, 여름철 기준 필요 환기량인10906.77CMH을 이용하여 계산하였다. 이를 위의 식에 대입하면

$$\tau = \frac{V}{Q} = \frac{7.84(m^3)}{10906.77(m^3/hr)} = 0.007188195(hr) = 25.87750544(sec) \quad (16)$$

명목시간상수는 25.88sec가 된다. 겨울철기준 풍량이 반으로 줄었을 경우는 위와 같이 계산을 할 때 풍량을 절반값(5453.385CMH)을 넣고 계산하였다. 계산결과와 신뢰성을 확인하기 위해 ‘배기구에서의 국소평균연령(LMA_{ex})은 급기구에서의 국소평균잔여체류시간(LMR_{sup})과 동일하며 이것은 명목시간상수(τ)과 같다’는 것을 고려하여 CFD결과에 대한 오차를 비교하여 보았다.

$$LMA_{ex} = LMR_{sup} = \tau \quad (17)$$

Table 2. Errors according to 여름철 기준 case별 계산오차

여름철 기준 (25.88sec)				
	LMA _{ex}	error	LMR _{sup}	error
case 1	25.79	0.347759	25.94	-0.23184
case 2	25.79	0.347759	25.15	2.820711
case 3	25.74	0.540958	25.61	1.043277

Table 3. 겨울철 기준 case별 계산오차

겨울철 기준 (51.76sec)				
	LMA _{ex}	error	LMR _{sup}	error
case 1	51.58	0.347759	50.18	3.05255
case 2	51.26	0.965997	49.94	3.516229
case 3	51.59	0.328439	52.3	-1.04328

위에 표에서 보여주는 바와 같이, CFD계산상 오차는 최대 3.5%인 것으로 나타났으며, 대체적으로 다른 case들과 비교하여 Case 2에서 가장 큰 오차가 발견되었지만, 최대 3.5%에 머물렀다. 이의 결과들에서 보여주듯이, 이번 연구를 위하여 설계된 CFD의 신뢰도가 충분히 높다고 가정하였다.

나. 축소모형을 이용한 정확도 검증

중앙에 덕트가 있을 때와 없을 때를 가정하여 1/3 축소모형을 제작하였다. 이는 내부의 공기유동 가시화와 각 환기구에서의 공기유량을 측정함으로써, 개발하고자 하는 CFD모델의 정확도를 검증하고자 함이다. 표4와 5에서는 CFD모델에서 각 환기구에서 공기유량값을 측정한 것이다.

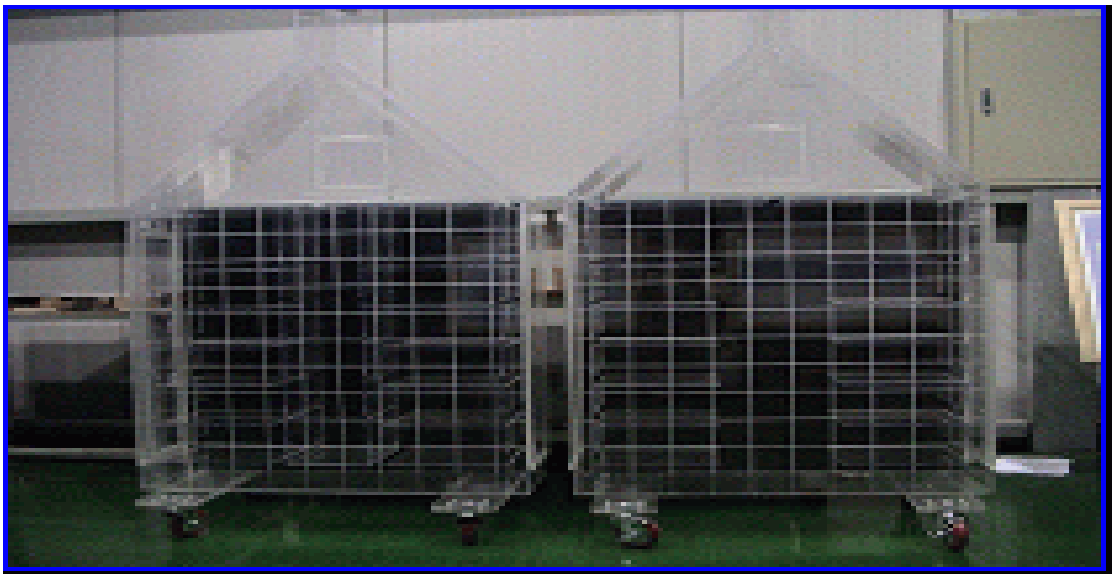


그림 2 통로에 덕트가 있는 경우와 없는 경우의 초생추 인큐베이터의 1/3 축소모형

Table 4. 최대환기의 50%일 때, 각 입기구와 배기구에서의 공기유량

Q=50% (Diffuser angle 70)							
Main inlet=2.69(m/s)				Main outlet=2.74(m/s)			
	U (m/s)	A (m ²)	CMH		U (m/s)	A (m ²)	CMH
Inlet_1	0.43	0.0003	0.47	Outlet_1	0.08	0.0012	0.35
Inlet_2	0.40	0.0003	0.44	Outlet_2	0.12	0.0012	0.51
Inlet_3	0.38	0.0003	0.41	Outlet_3	0.11	0.0010	0.37
Inlet_4	0.37	0.0003	0.40	Outlet_4	0.14	0.0008	0.39
Inlet_5	0.39	0.0003	0.43	Outlet_5	0.16	0.0006	0.35
Inlet_6	0.51	0.0003	0.55	Outlet_6	0.38	0.0005	0.68
Total			2.69	Total			2.65

Table 5. 최대환기의 100%일 때, 각 입기구와 배기구에서의 공기유량

Q=100% (Diffuser angle 70)							
Main inlet=5.36				Main outlet=5.47			
	U (m/s)	A (m ²)	CMH		U (m/s)	A (m ²)	CMH
Inlet_1	0.88	0.0003	0.96	Outlet_1	0.17	0.0012	0.74
Inlet_2	0.82	0.0003	0.89	Outlet_2	0.24	0.0012	1.02
Inlet_3	0.78	0.0003	0.84	Outlet_3	0.22	0.0010	0.78
Inlet_4	0.73	0.0003	0.79	Outlet_4	0.29	0.0008	0.82
Inlet_5	0.78	0.0003	0.85	Outlet_5	0.33	0.0006	0.70
Inlet_6	0.95	0.0003	1.03	Outlet_6	0.67	0.0005	1.20
Total			5.35	Total			5.26

그림 3에서 보여 주듯이, 100% 환기 시 축소모형을 이용하여 각 배기구에서 측정된 공기유속이 정확하다고 가정하였을 때, CFD의 각 배기구에서의 오차는 4.8%, 11.4%, 17.2%, 0.0%, 0.0%, 그리고 22.2%로써, 평균 9.3%의 오차를 나타냈다.

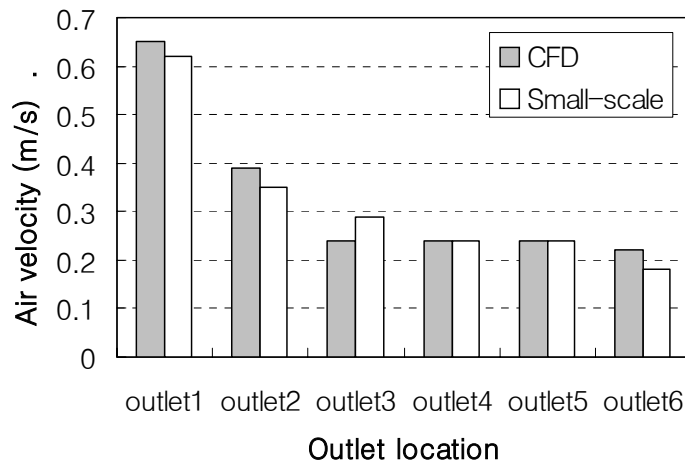


그림 3 환기량 100%일 때, CFD 및 축소모형에서 각 배기구에서의 공기유속 비교

3) CFD 환기구조 적정설계

위에서 소개된 인큐베이터의 환기구조의 성능향상을 위하여 여러 주요요인들을 결정하여야 하는데, 이를 위하여 CFD실험을 수행하였다. CFD실험을 통하여 결정하여야 할 중요한 요소는 각 환기량에 따른 각 위치별 입기구 및 배기구의 크기, 측벽에 수직으로 설치된 주 배기관의 폭 등이다. 또한 통로에 설치될 비닐덕트 안쪽벽에 수직으로 균일한 압력을 형성하기 위하여 천장의 입구에 설치될 디퓨저의 적정 각도 등이다. 이는 각 케이지의 계군에 동일하게 신선한 공기가 공급되고 각 높이별로 동일하게 배기되도록 하기 위하여 필수적이다. 또한 계군에서의 높은 유속은 초생추에게 스트레스를 줄 수 있기 때문에 이에 대한 분석도 필요하다. 다행히 이번 인큐베이터는 향온 향습시스템을 이용하기 때문에 동절기동안 입기구를 통하여 찬 공기가 유입되어 닭에게 도달하는 것을 우려하지 않아도 되었다.

4) Preliminary CFD 분석

초기모델에서는 각 입기구와 배기구의 크기를 각각 5cm와 5cm로 동일하게 설정을 하였고 배기용 수직관의 폭은 10cm로 설계하였다. 중천장 중앙에 위치한 입기구의 폭은 임의로 10cm로 결정하였다. CFD분석 결과, 많은 문제점들이 도출되었다.

우선, 비닐덕트의 입구중에 맨 아래 입기구에서 가장 많은 유량이 입기하였으며, 이는 비닐덕트내로 유입되는 천장의 입기형태로 인한 유입공기에 의하여 아래부분에서 높은 압력이 형성되어 발생하였다. 이는 각 케이지의 계군에 신선한 공기를 균일하게 공급하는 것이 불가능함을 의미한다. 또한 위쪽의 입기구들에서 입기하는 공기는 위로 상승하는 현상을 보여주었는데, 이는 측벽의 가장 위쪽에 위치한 배기구를 통하여 배출되는 공기량이 가장 많았기 때문에 발생한 것으로 판단되었다. 이러한 현상들은 각 케이지의 계군에 균일한 환경조건을 조성하기 위하여 배기구 크기에 차등을 줄 필요성을 보여주고 있다. 이 결과를 이용하여 배기구가 위로부터 아래로 위치할수록 크게 설계하여 높이별로 균일하게 공기가 배기될 수 있도록 도모하고자, CFD를 이용하여 다양한 배기구 조건에 따른 결과를 비교하고자 하였다.

환경조건이 너무 많은 관계로, 비닐덕트의 입기구 크기는 동일하게 설정을 하였고 단지 천

장 입기구에 설치된 디퓨저를 이용하여 각 높이별 입기구에 최대한 균일한 압력을 형성시키고자 하였다. 그리고 나서 배기구의 각 높이별 적정 크기를 찾고자 노력하였다. 비닐덕트의 양면에 설치된 입기용 슬릿들은 모두 3cm로 균일하게 설정하였고 모든 입기용 슬릿에 최대한 균일한 유량을 만들기 위하여 중천장 입기구에 디퓨저를 설치하였다. 이는 비닐덕트의 안쪽 측면에 균일한 압력을 형성하는 것이 목적이었으며, CFD분석결과 디퓨저의 적정 각도는 70 ~ 75° 인 것으로 나타났다.

배기를 위한 수직방향의 덕트에서 맨 위에 위치한 입기구를 가장 작게 만들고 바닥에 가까워질수록 배기구를 키우는 것을 시도하였다. 이는 맨 위쪽 배기구에 가장 많은 유량이 발생하여 밑으로부터 들어오는 유량이 감소하는 현상을 줄일 수 있으리라 판단되었다. 각 입기구 공기유량을 최대한 균일하게 만들기 위하여 각 입기구와 배기구의 크기를 서로 다르게 배치할 필요성이 있다고 판단되어 각 배기구의 크기를 위쪽으로부터 점점 커지게 변화를 주면서 CFD 초기분석을 수행하였다. 결과적으로 위로부터 각각 5cm, 6cm, 8cm, 10cm, 12cm, 그리고 12cm로 차등을 두었을 때 가장 균일한 공기유량을 보여주었다. 공기유동을 분석하여 보았다. 또한 수직배기관의 직경을 150mm로 결정하였다.

Table 6 초생추 인큐베이터 설계를 위한 최종환경 조건 (CMH=m³/hr)

구조	크기(단위)	대상	크기(단위)
인큐베이터 높이	3.6(m)	통로 폭	0.8(m)
인큐베이터 폭	3.0(m)	사육기간	5(일)
케이지 열	2(열)	평당 사육두수	200수
케이지 단	6(단)	환기량 1	10,906.8CMH
케이지 폭	0.85(m)	환기량 2	5,453.4CMH

5) CFD모델 설계

사전 CFD분석을 통하여 얻은 결과들을 바탕으로 CFD분석용 모델을 설계하였다. 아래 CFD결과는 인큐베이터 내부구조의 대칭성 때문에 메쉬의 효율적 운용을 위하여 오른쪽 면을 Symmetry로 처리하였다. 이는 메쉬수를 효과적으로 줄임으로써 실시간 분석(time dependent)이 필요한 이번 연구에서 컴퓨터 연산시간을 효과적으로 줄일 수 있음을 의미한다. 이번 연구를 통하여 개발된 환기구조 (case 1)가 기존의 환기구조형태와 어떠한 차별적인 결과를 얻을 수 있는지 정성적 및 정량적으로 분석할 필요가 있었다. 이를 위하여 환기량이 1분당 내부 공기량이 1번 교체되는 100% 환기량과 이의 50%를 각각 적용하여, 3가지 형태의 환기구조를 가지고 내부의 공기유동장과 급기연령 및 배기연령을 구하고자 하였다. case 1은 입기용 비닐덕트와 디퓨저를 이용하는 경우이고, case 2는 디퓨저만을 이용하는 경우이며, case 3은 비닐덕트와 디퓨저를 전혀 사용하지 않는 경우이다. 환기량 100%는 1

분당 내부 공기량이 1번 교체되는 최대환기 개념으로써 10906.8CMH이고 환기량 50%는 50453.4CMH를 의미한다.

환기효율을 계산하기 위해 LMA와 LMR를 계산을 하였고, LMA계산은 steady상태로 LMR 계산은 transient상태로 계산을 하였다. LMA와 LMR은 채송방법(step up method)을 이용하여 LMA의 경우 계산영역전체에 대한 일정한 농도를 발생하였고, LMR의 경우 24개의 측정 위치를 선택하여 각 위치에서 일정한 농도를 발생하여 계산을 하였다. LMR를 계산시 24개의 측정점을 선정하여 계산을 하였고, 측정점은 케이지별 닭의 위치와 분뇨처리를 위한 컨베이어 벨트 위를 측정점으로 선택하였다.

1) case 1

2) case 2

3) case 3

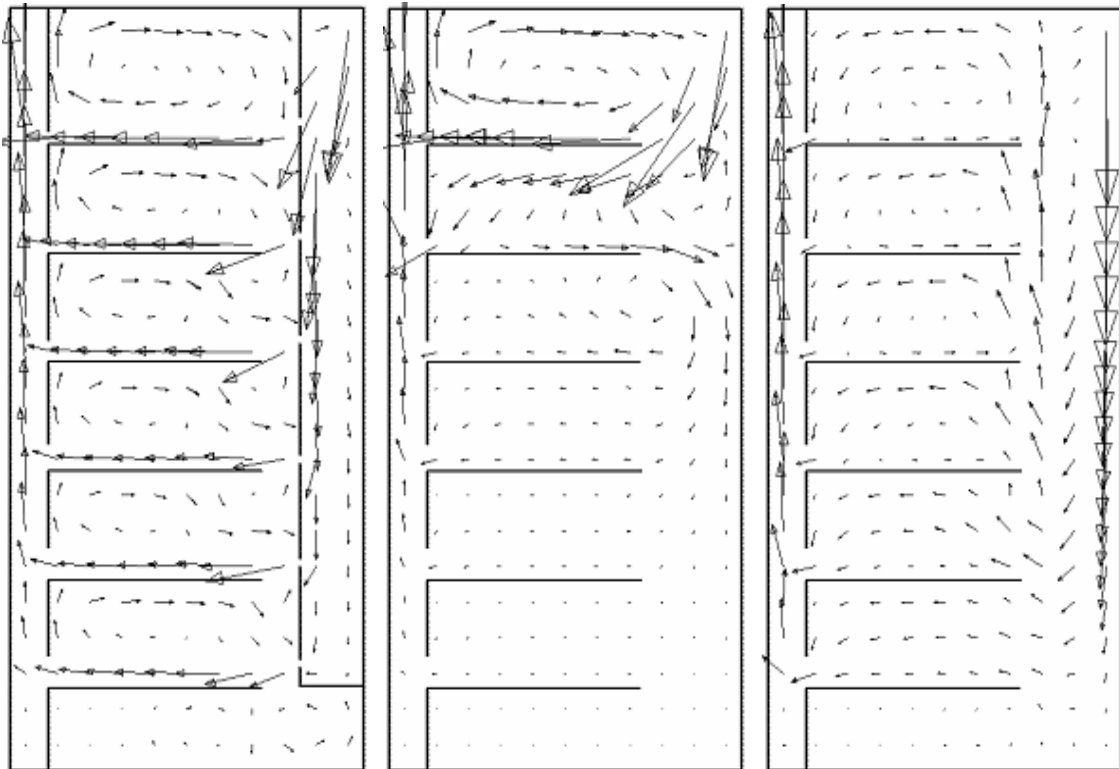


그림 4. 환기량 100% (최대 1.58m/s)일 때, 각 환기구조하에 CFD 내부 공기유동장

case 3의 경우, 중천장의 입기구를 통하여 유입된 공기는 통로 중앙으로 직하여 아래로부터 위쪽으로 분산되며 각 케이지에 도달하는 것으로 나타났다. 이 경우에는 아래쪽의 배기구로 배출되는 공기의 양이 위쪽 배기구보다 적은 것으로 나타났다. 중천장 입기구에 디퓨저를 설치한 경우에도 다양한 각도의 디퓨저를 시도하여 보았지만, 각 높이별 케이지에 신선한 공기가 균일하게 도달하도록 만드는 것은 불가능하였다. 위 그림의 경우 디퓨저 각도는 70°이었다. Case 1의 경우와 같이 중앙 통로에 디퓨저와 함께 입기용 덕트를 이용할 때에는 각 케이지에 균일하게 신선한 공기를 공급할 수 있는 것으로 나타났다.

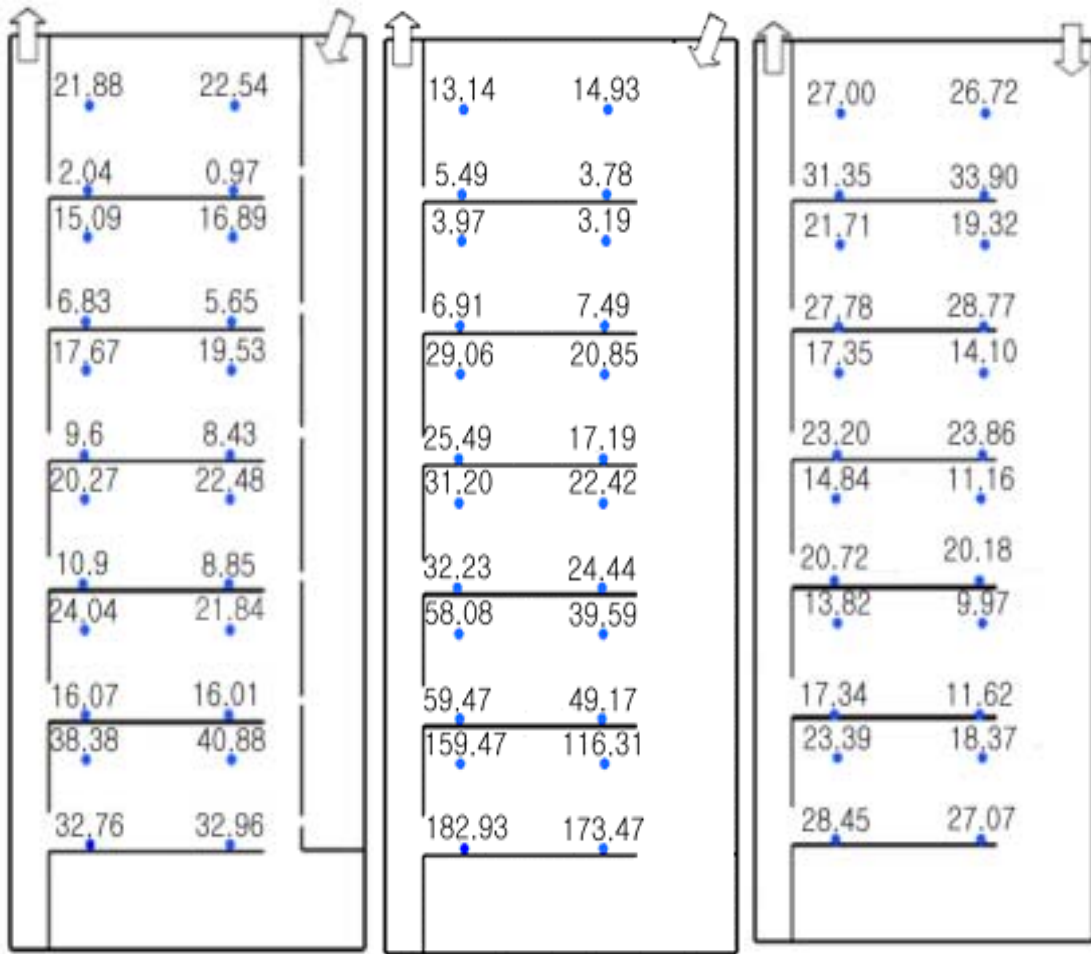


그림 5. 환기량 100% (최대 1.58m/s)일 때, 각 환기구조하에 CFD 내부 공기유동장을 바탕으로 계산된 급기연령

급기연령 (LMA)를 지역별로 비교하여 본 결과, 계군위치에서의 입기연령 경우, CASE 1 과 2에서 각각 평균 31.0초와 42.7초로 나타났으며, 최대값과 최소값의 차이는 각각 23.5초와 179초이었다. CASE 1 과 2에서 벨트위에서의 급기연령은 각각 평균 20.1초와 49.0초이었으며, 최대값과 최소값의 차이는 10.6초와 72.4초인 것으로 나타났다. Case 3의 경우에도 공기유동장을 바탕으로 예상한 결과와는 달리 급기연령분포가 case 1과 비교하여 크게 뒤지지 않는 것으로 나타났다.

계군위치에서의 배기연령의 경우, case 1과 2에서 각각 평균 28.9초와 30.11초로 나타났으며, 최대값과 최소값의 차이는 각각 9.6초와 73.9초를 보여주었다. 이는 중앙 덕트를 이용하고 각 케이지 높이에 배기구를 설치함으로써 인큐베이터내 높이별 그리고 특별로 균일하게 공기가 배출됨을 알 수 있었다. 벨트위에서의 배기연령은 각각 평균 10.5초와 28.2초이었으며, 최대값과 최소값의 차이는 10.6초와 72.4초로 나타났다.



그림 6. 환기량 100% (최대 1.58m/s)일 때, 각 환기구조하에 CFD 내부 공기유동장을 바탕으로 계산된 배기연령

그림 7, 8, 그리고 9는 환기량이 최대환기량에 50%일 때, 각각 내부공기유동장, 급기연령, 및 배기연령을 보여주고 있다. 환기량이 최대환기량의 100%일 때와 유사한 공기유동흐름 및 급기연령/배기연령 현상을 보여주었다.

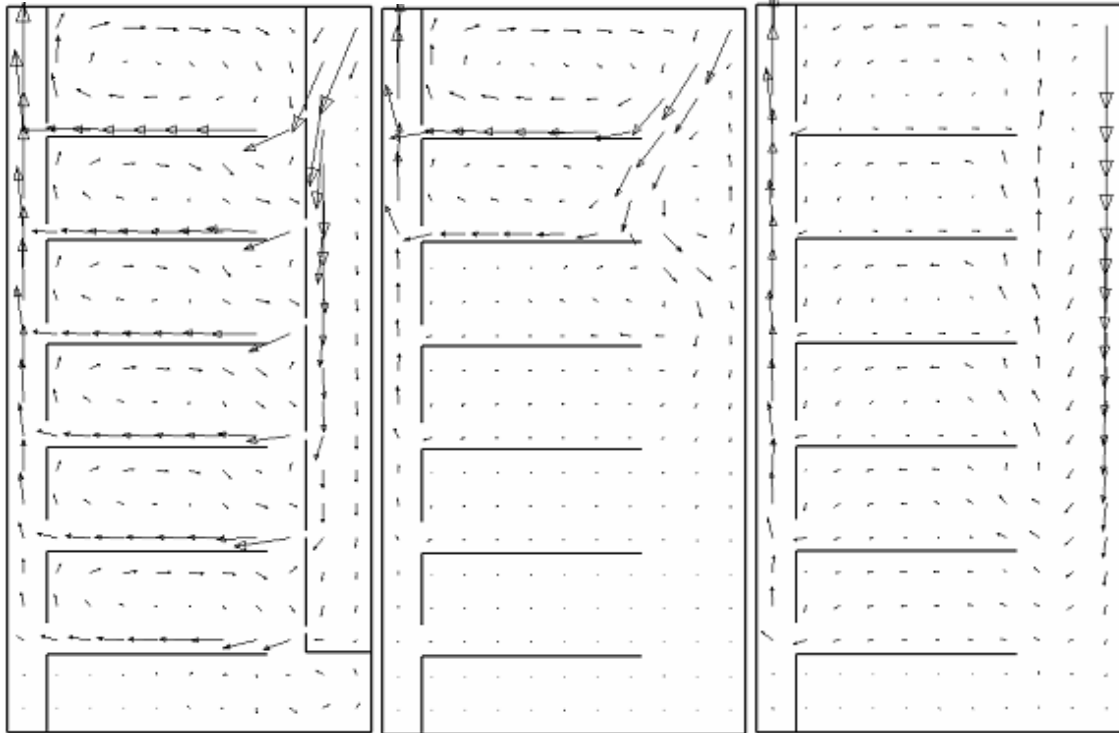


그림 7. 환기량 50%일 때, 각 환기구조하에 CFD 내부 공기유동장

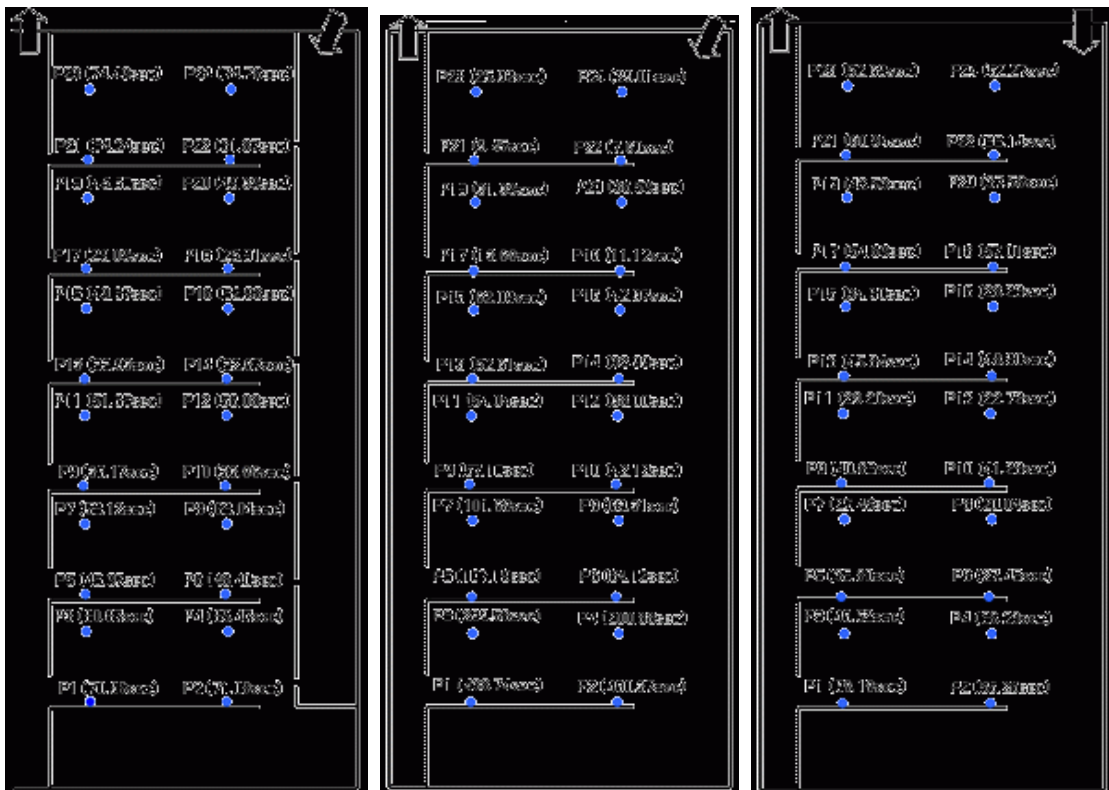


그림 8. 환기량 50%일 때, 각 환기구조하에 CFD 내부 공기유동장을 바탕으로 계산된 급기 연령

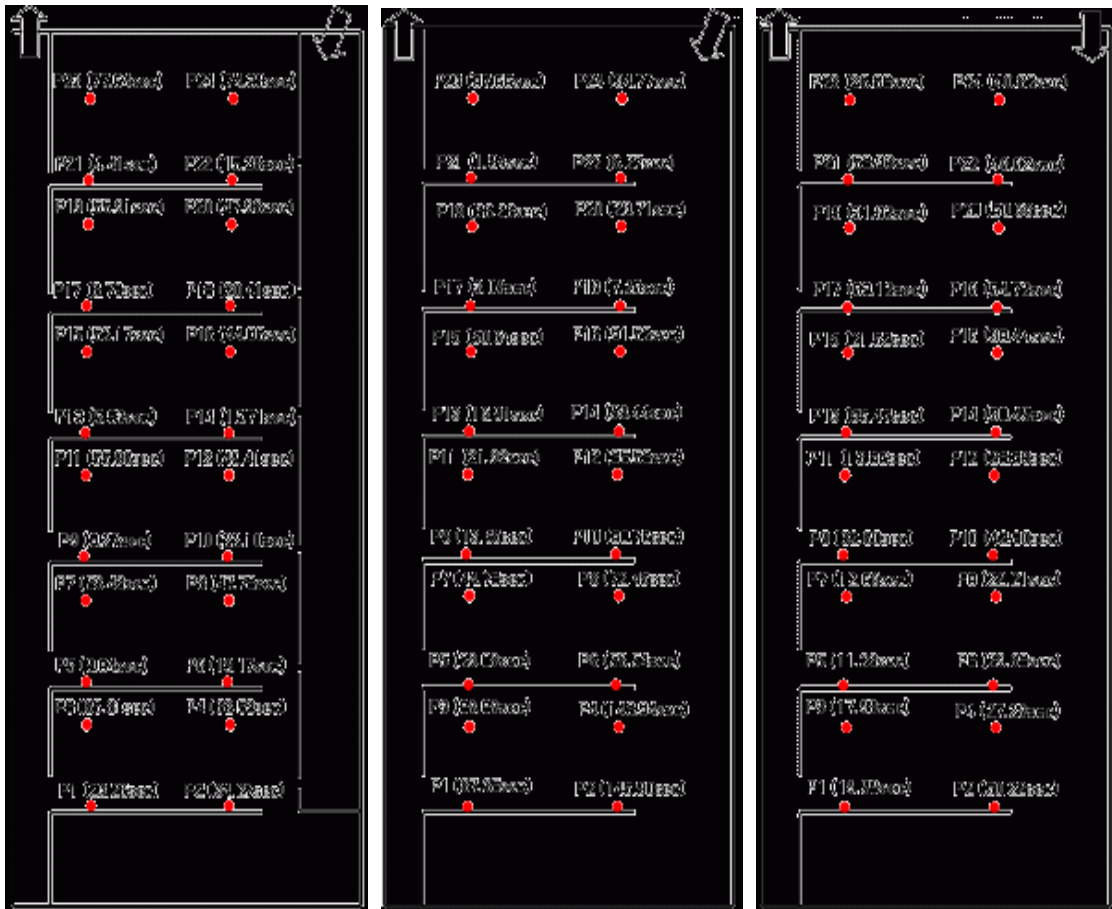


그림 9. 환기량 50%일 때, 각 환기구조하에 CFD 내부 공기유동장을 바탕으로 계산된 연기 연령

제 4절. 결 론

CFD결과를 통하여 새로운 환기구조개발에 있어서 이번 환기구조와 관련된 연구방향이 적합함을 알 수 있었다. 하지만, 이를 위하여 각 입기구와 배기구의 적정크기설정이 중요한 것으로 나타났으며, 이를 위하여 5월중에 CFD분석을 지속적으로 수행할 계획이다. 실제의 모델설계 시 각 배기구에 배기구 크기를 조절할 수 있는 조절판을 설치하여 배기구의 효율성을 균일하게 맞춘다면 입기구 효율의 균일성을 향상시킬 수 있으리라 판단된다.

최종설계 설정 이후 6월중에는 이의 CFD결과들을 이용하여 급기 및 배기효율 분석법을 이용하여 각 케이지 위치에서의 환기효율성을 분석하려고 하며, 또한 최종모델이 결정된 후에 CFD결과 검증을 위하여 소형축소모델을 설계할 예정이다. 연기발생기와 CCD카메라를 이용하여 여러 모델들내에서 환기 중에 발생하는 내부공기유동장과 각 케이지에서 발생하는 연기가 배출되는 현상을 분석하고자 한다.

이번 연구에서 각 환기구조의 환기효율성만을 정확하게 비교분석하기 위하여 기본 환기구조 및 계분밸트만을 이용하였다. 이러한 단순화작업으로 인하여 실제 케이지식 계사내 공기유동장과 차이가 어느 정도는 있을 것으로 판단되며, 추후에 이러한 기초자료를 토대로 더욱 발전된 연구를 수행할 계획이다.

이 연구에서의 결과는 추후에 케이지식 산란계사 등의 환기구조 개선연구에도 활용하고자 한다. 적정환기구조의 설계가 완성된 이후에 이를 토대로 prototype 의 인큐베이터가 제작 될 계획이며, 시즌별로 병아리를 사육하며 시설내외의 환경요소들을 측정하고 시뮬레이션 또한 더욱 발전시켜 병아리를 고려한 공기유동을 정량적으로 분석하고자 한다.

제 3장. 초생추 인큐베이터의 현장 검증실험

제 1절. Introduction

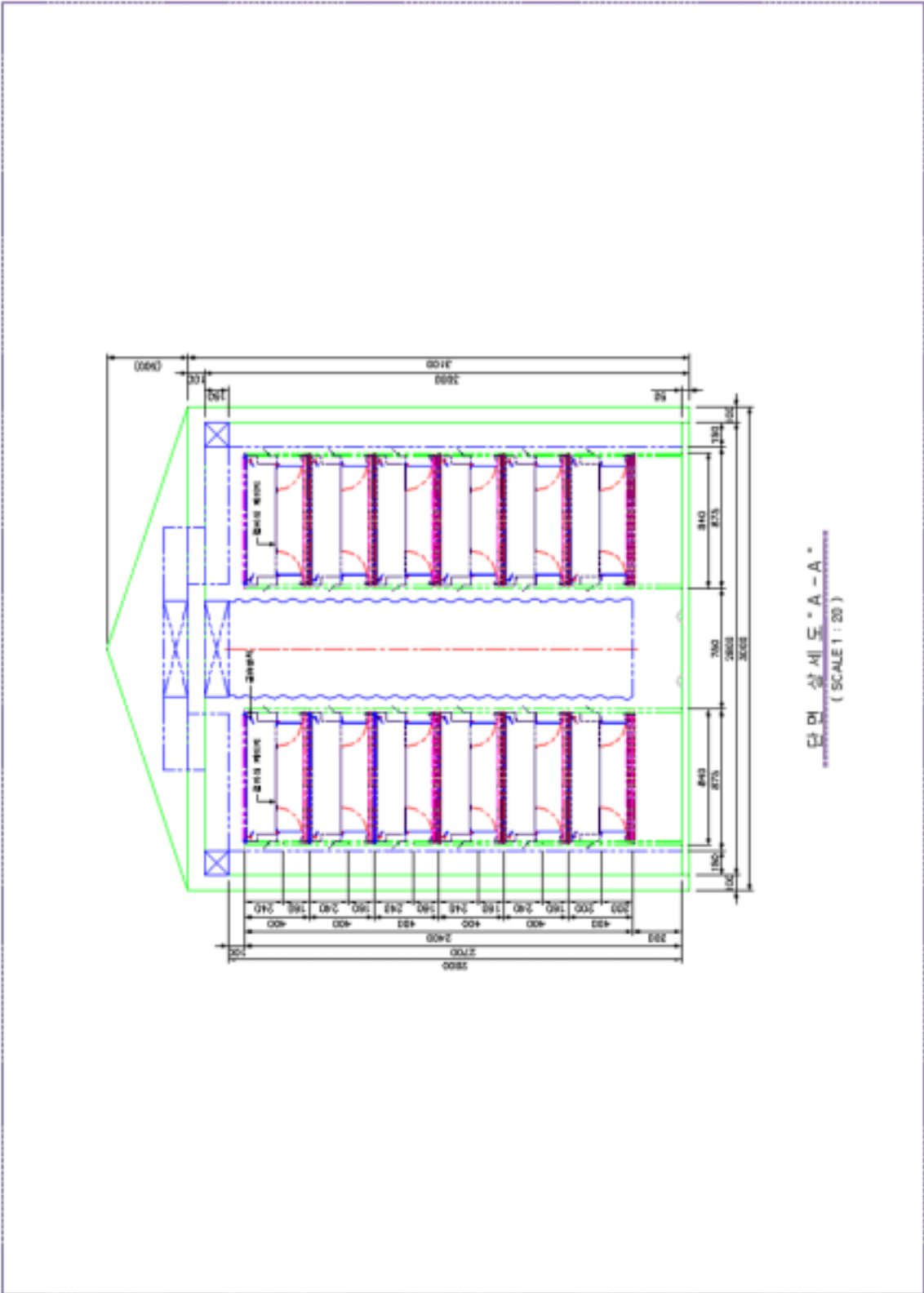
지난 2년간 현장실험과 CFD 시뮬레이션 기술 등을 통하여 개발되고 있는 초생추 인큐베이터의 적정 환기구조를 찾고자 노력하였다. 이 노력으로 2년차 연구보고서에서 제시한 초생추 인큐베이터의 프로토 타입이 개발되었다. 개발된 초생추 인큐베이터의 최종 목적은 단위면적당 사육 두수의 증가 및 사육환경의 적정성, 안정성 및 균일성을 향상시키는 것이다. 이를 위하여 전산유체역학 (CFD) 등 공기유동학적 시뮬레이션 기술을 이용하여 이미 기초설계가 완성된 5단 2열 케이지식 초생추 인큐베이터의 적정환기구조를 개발하였다. 이 연구의 최종 단계로서, 이 개발 제품이 현장에 보급되기 전에 이의 현장 검증실험은 필수적이다. 이를 통하여 개발모델이 설계 목적에 부합되게 작동하는지를 검증하여야 하며, 또한 현장에서 보완할 점들을 찾아내는 것은 매우 중요하다. 시뮬레이션 기법은 많은 가정을 다루게 되며, 또한 구조적 그리고 환경적으로 단순화되어 있기 때문에 이들로 인한 오차가 얼마나 발생하였는지 찾아내고 이에 따른 보완할 사항들을 찾는 것도 중요한 작업이다. 이번 현장실험은 2006년 2월부터 2006년 5월까지 수행되었다.

제 2절. Materials and methods

이들의 검증을 위하여 두 차례의 실험이 이루어졌다. 우선 시뮬레이션 상에서 설계하였던 환기구조가 많이 변형되었다. 이는 설계상의 문제점이나 작업, 수리 등의 용이성 등을 고려해서 불가피한 일이었다. 적정환기구조의 설계 시 중요하게 고려되었던 점은 초생추 인큐베이터의 길이방향으로 그리고 케이지 높이별로 균일하게 신선한 공기가 공급될 수 있게 설계하는 것이었다. 입기구와 배기구들이 길이방향으로 설치되었기 때문에 설계에 따라서 사육 환경의 균일성을 감소시킬 수 있다. 이를 위하여 병아리가 없는 상태에서 각 입기구와 배기구에서의 길이별 및 높이별 풍량, 각 케이지에서의 풍속 등을 측정하였다. 또한 이들의 균일성을 향상시키기 위하여 다양한 보조장치들을 추가로 설치하였다. 이 검증실험이 종료된 이후에는 병아리를 직접 키우면서 주요 환경요소 즉 온도 및 습도 등이 초생추 인큐베이터 내에서 얼마나 균일하고 적정하게 유지가 되는지를 점검하였다. 이를 위하여 7일간 병아리를 사육하면서 직접 실험을 수행하였다.

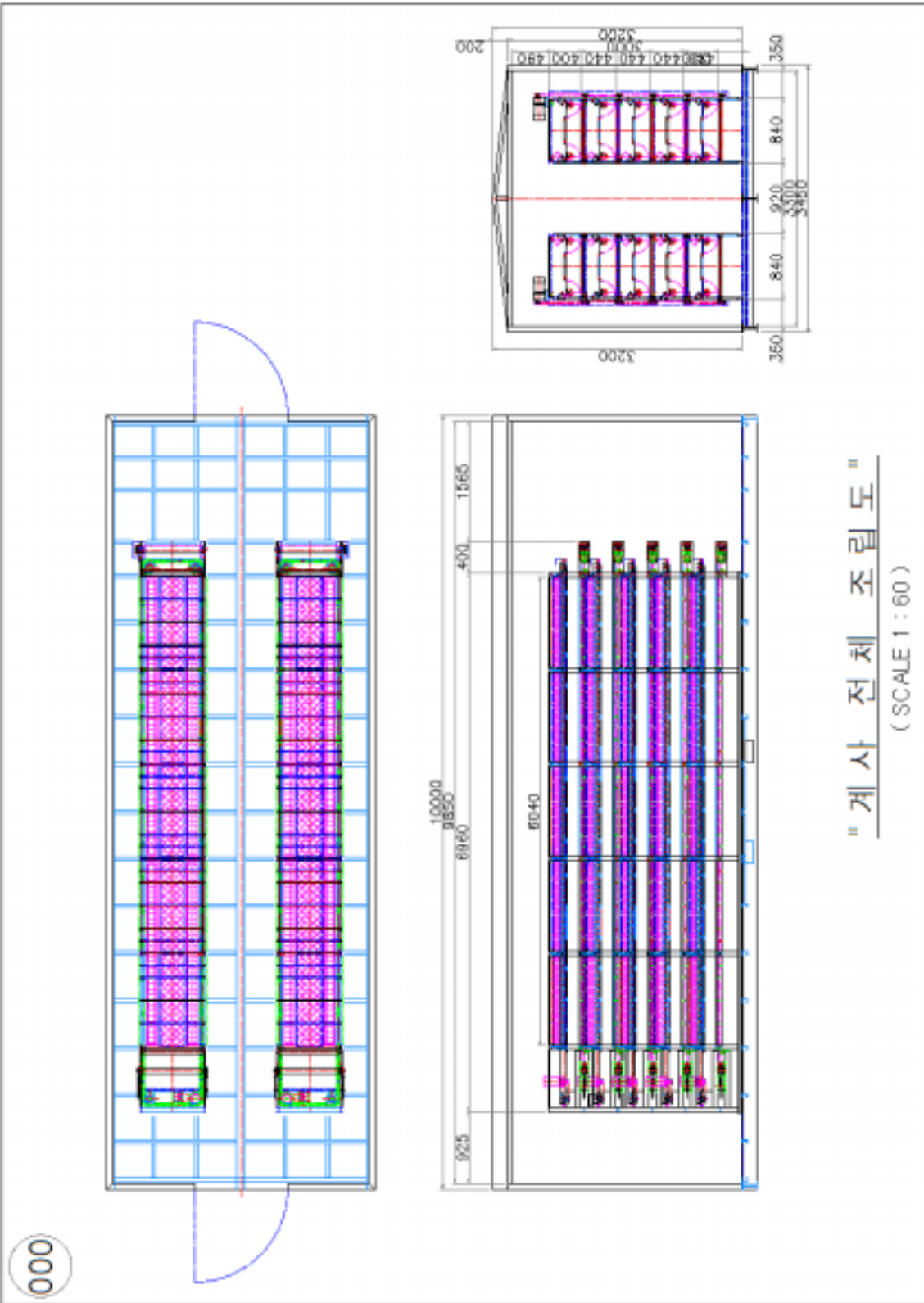
1) 최종 제작 모델

기존의 공기유동학적 설계는 6단 케이지가 통로의 양쪽에 배치되는 것을 기초로 하였다. 그러나 작업자의 원활한 작업을 위하여 측벽을 통하여 수직으로 설계된 주배기관의 폭이 30cm로 늘어났으며, 또한 설치상의 어려움으로 중앙의 입기용 덕트도 설계변경이 불가피하였다. 작업을 용이하게 위하여 6단 케이지도 최종적으로 5단으로 설계가 변경되었다.



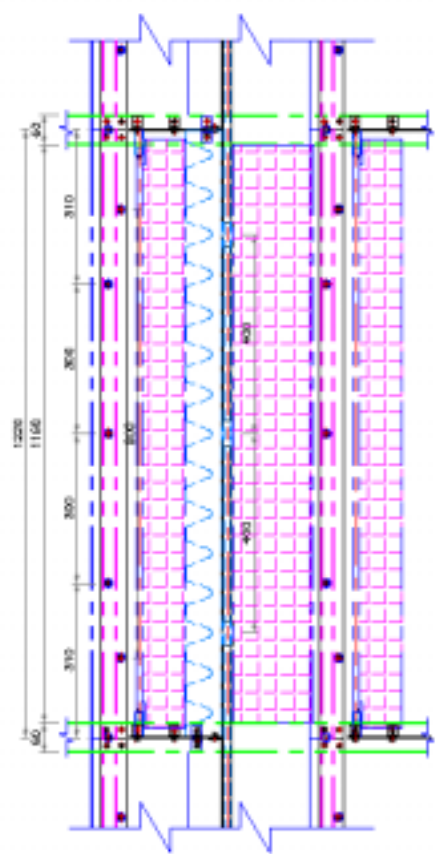
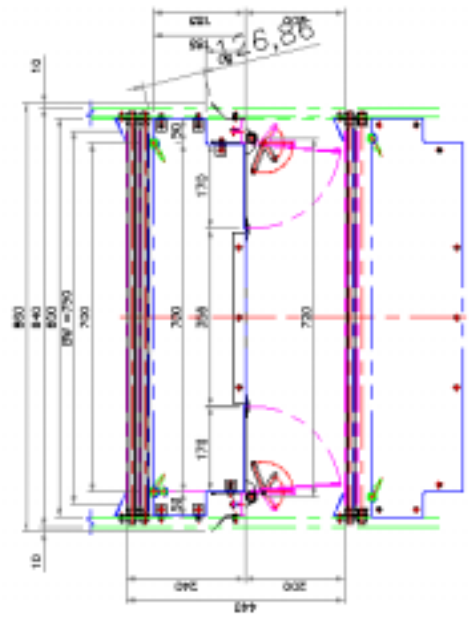
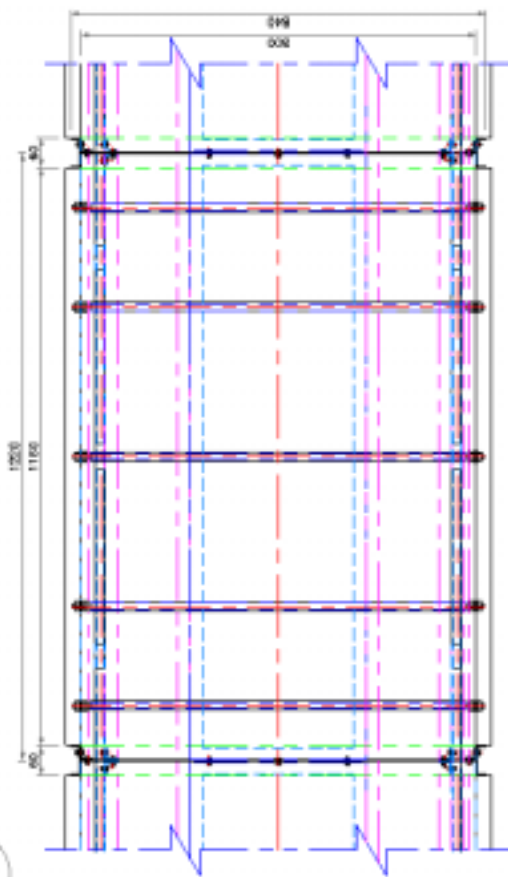
<최초 초기 모델>

기존의 인큐베이터내의 설계와 최종적으로 완성된 모델간의 변경된 부분들은 그림 1~49에서 보여주고 있다.



<그림 1>

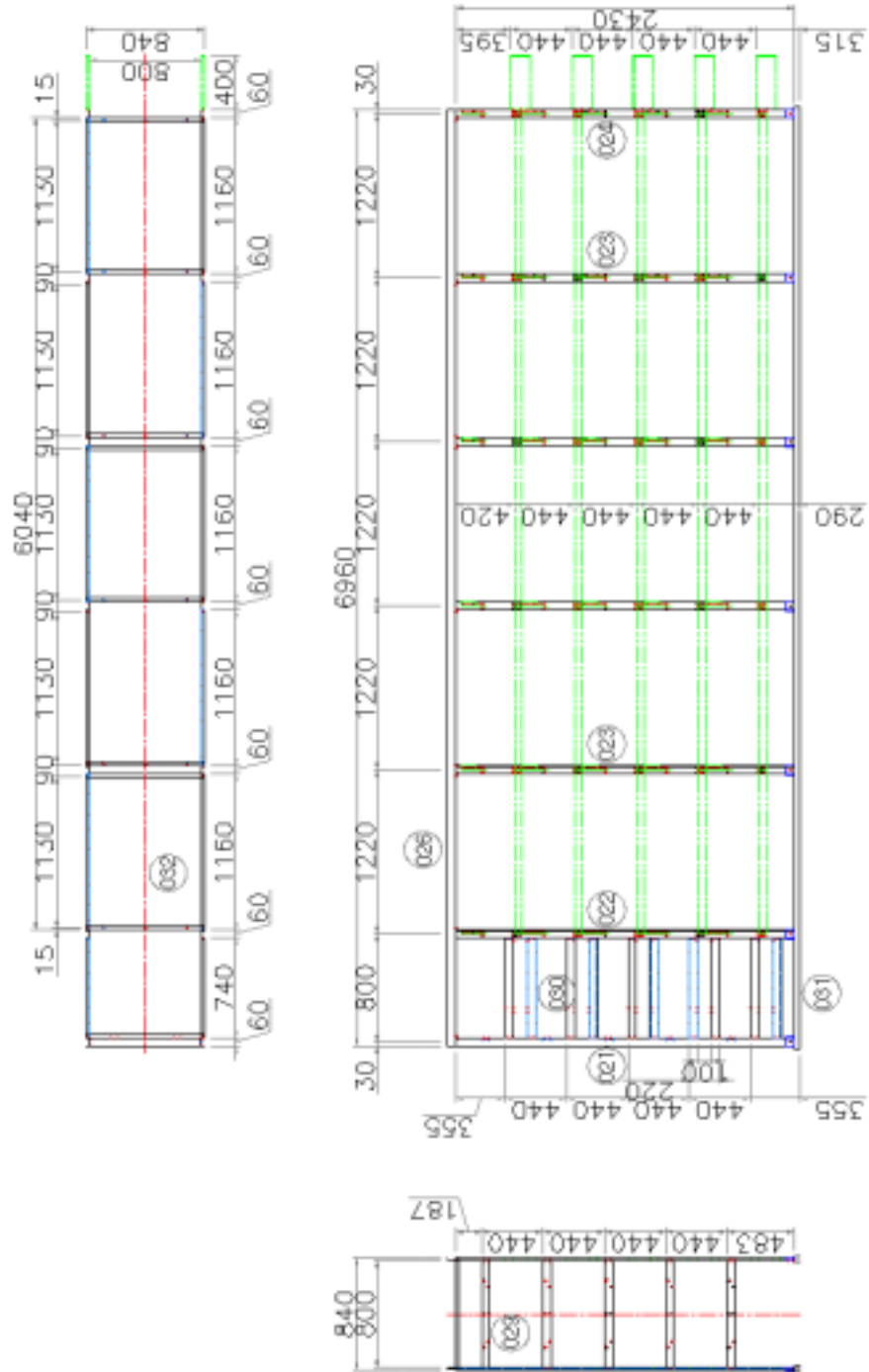
010



* 계 사 상 세 도 *
(SCALE : 10)

<그림 2>

020

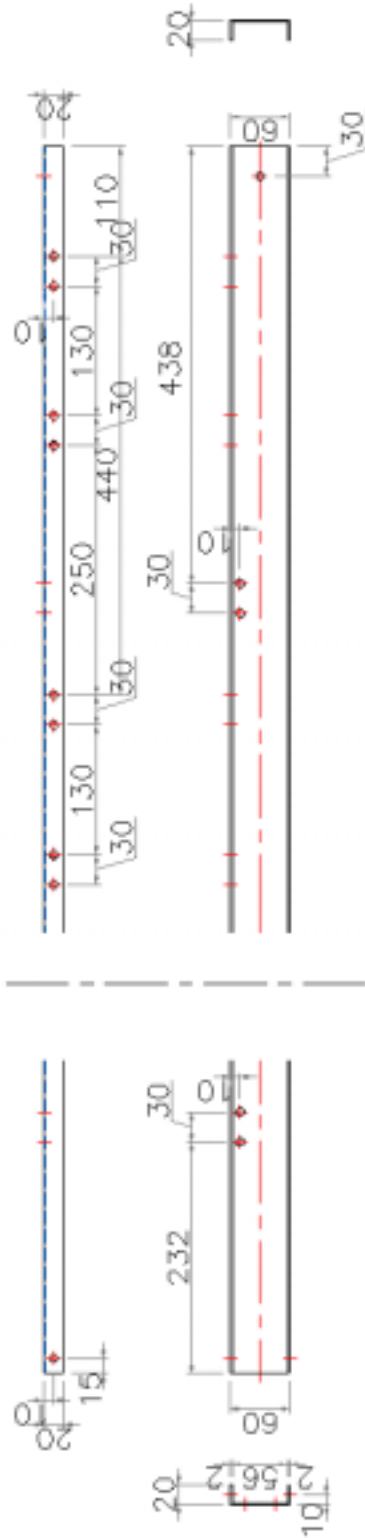
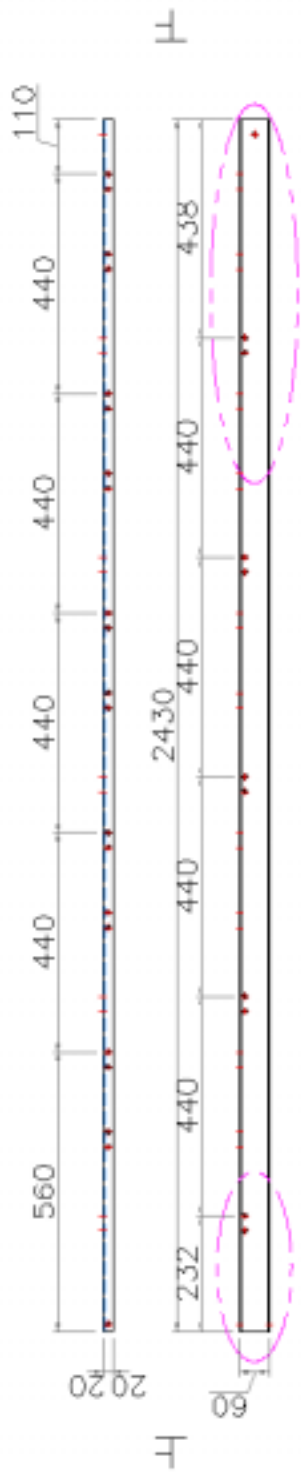


<그림 3>

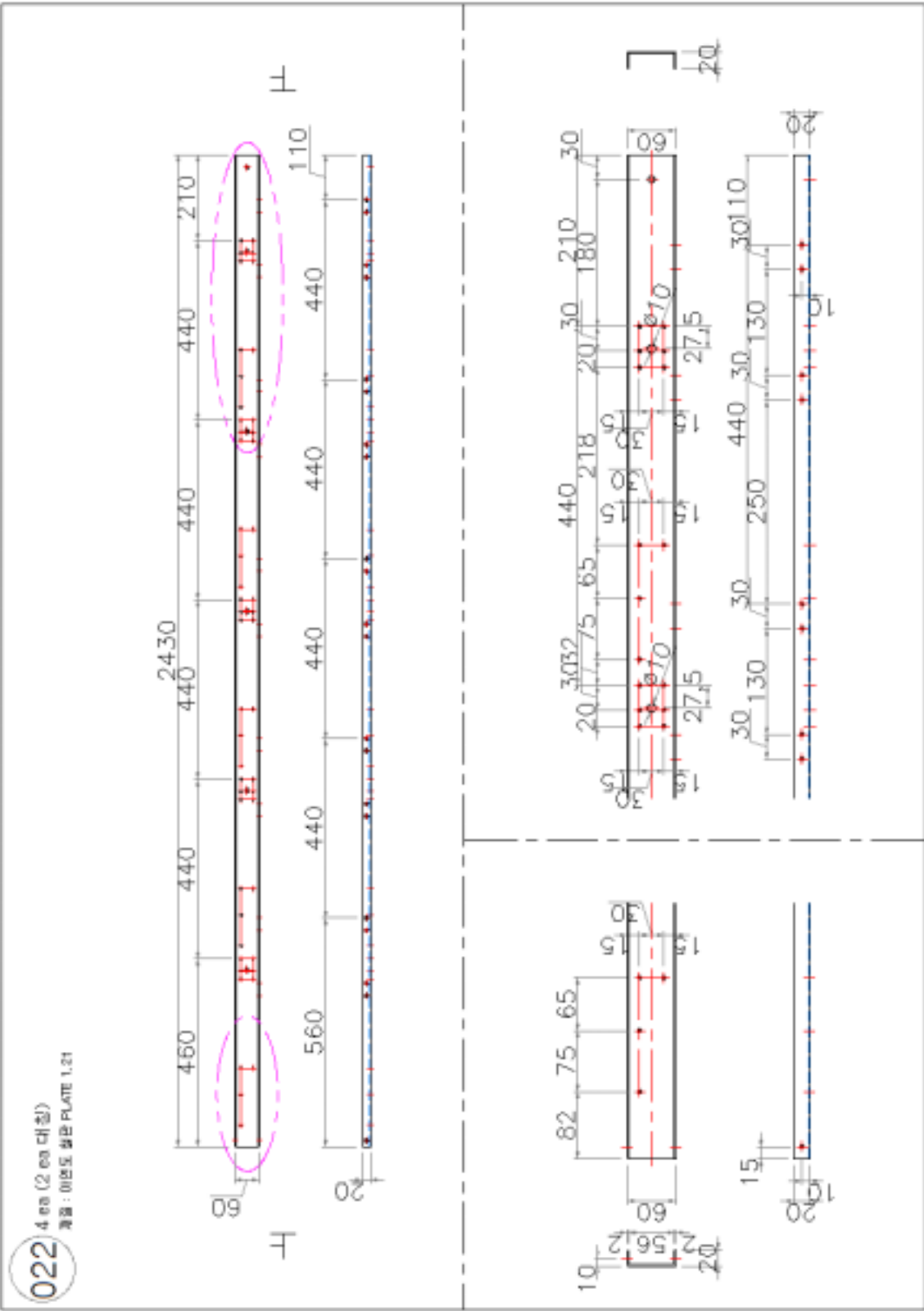
021

4 ea (2 ea 내장)

종류 : 이연도 필름 PLATE 1.21



<그림 4>

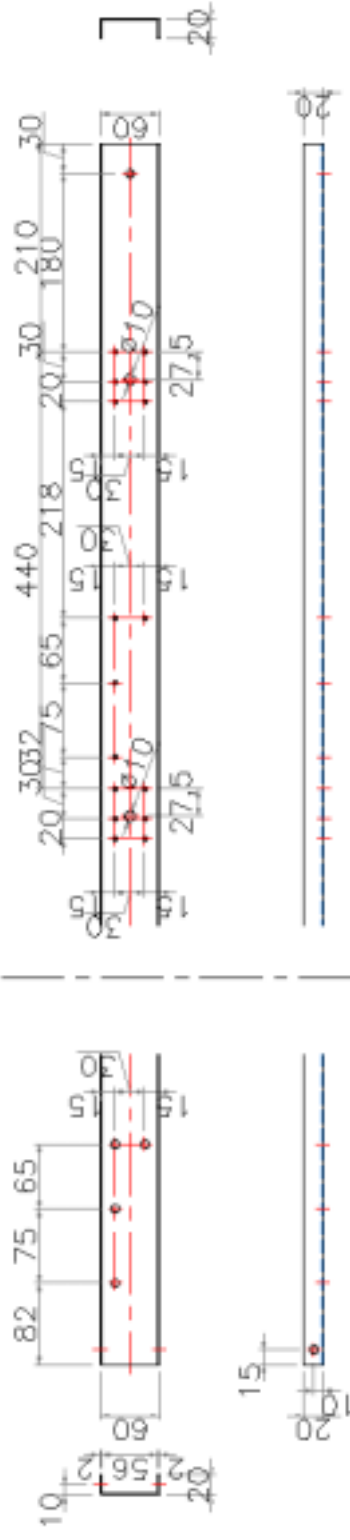
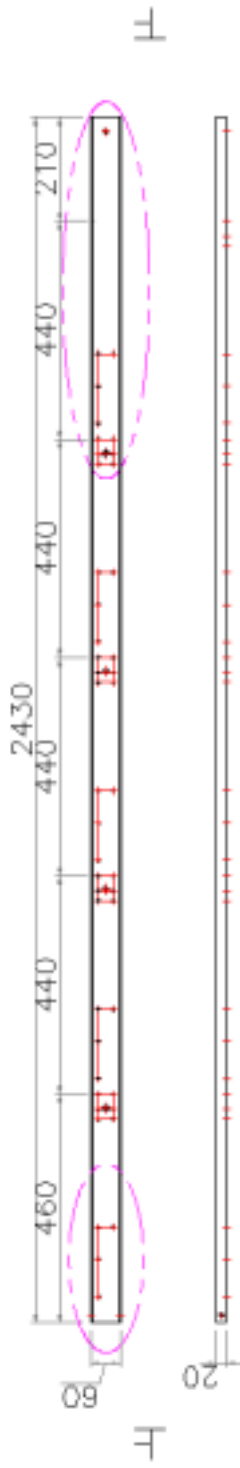


<그림 5>

023

16 ea. (8 ea. 대칭)

재료 : 미연도 철판 PLATE 1.2t

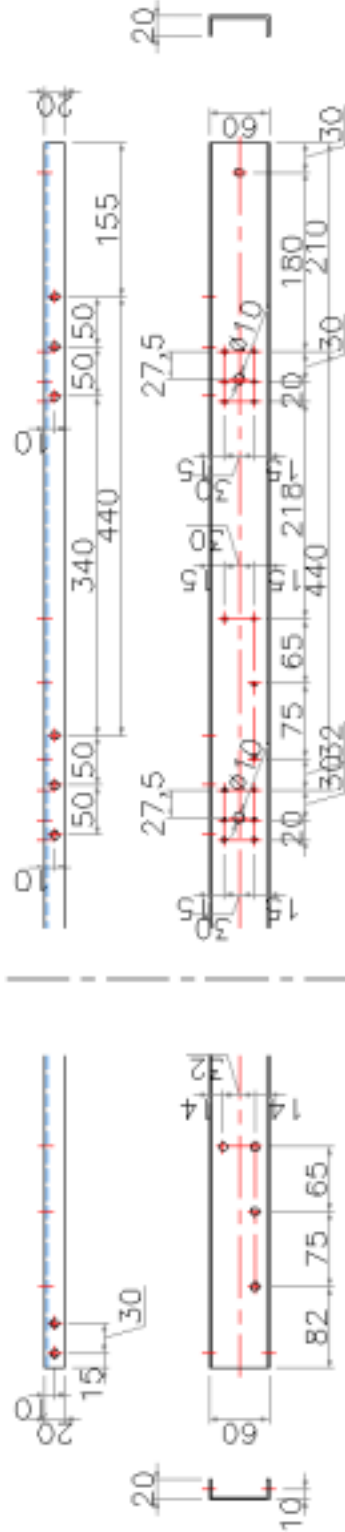
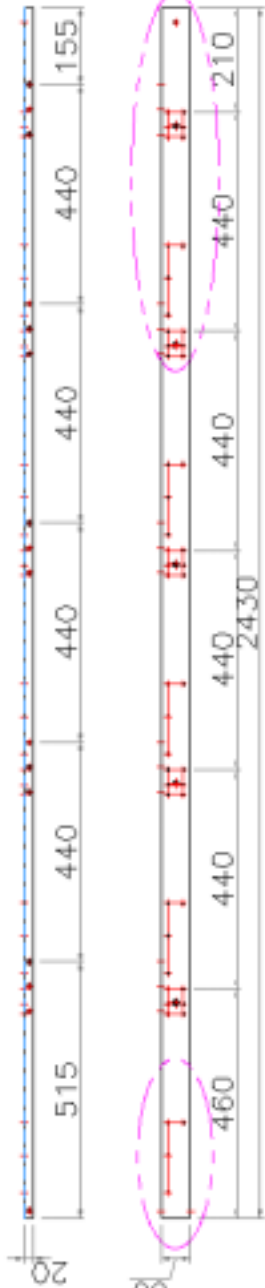


<그림 6>

024

4 ea (2 ea 대칭)

規格 : 01면도 용접 PLATE 1.21



<그림 7>

026

4 ea (2 ea 대칭)

재료 : 015도 알루미늄 PLATE 1.2t

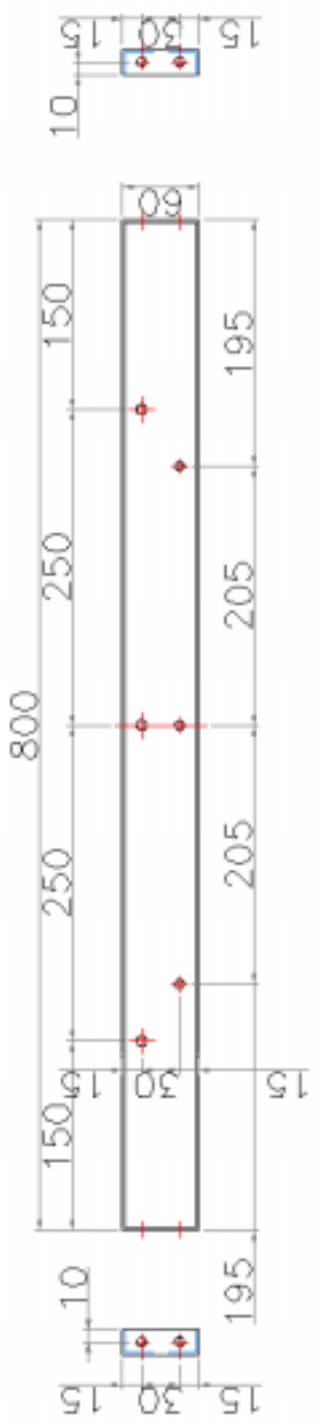


<그림 8>

029

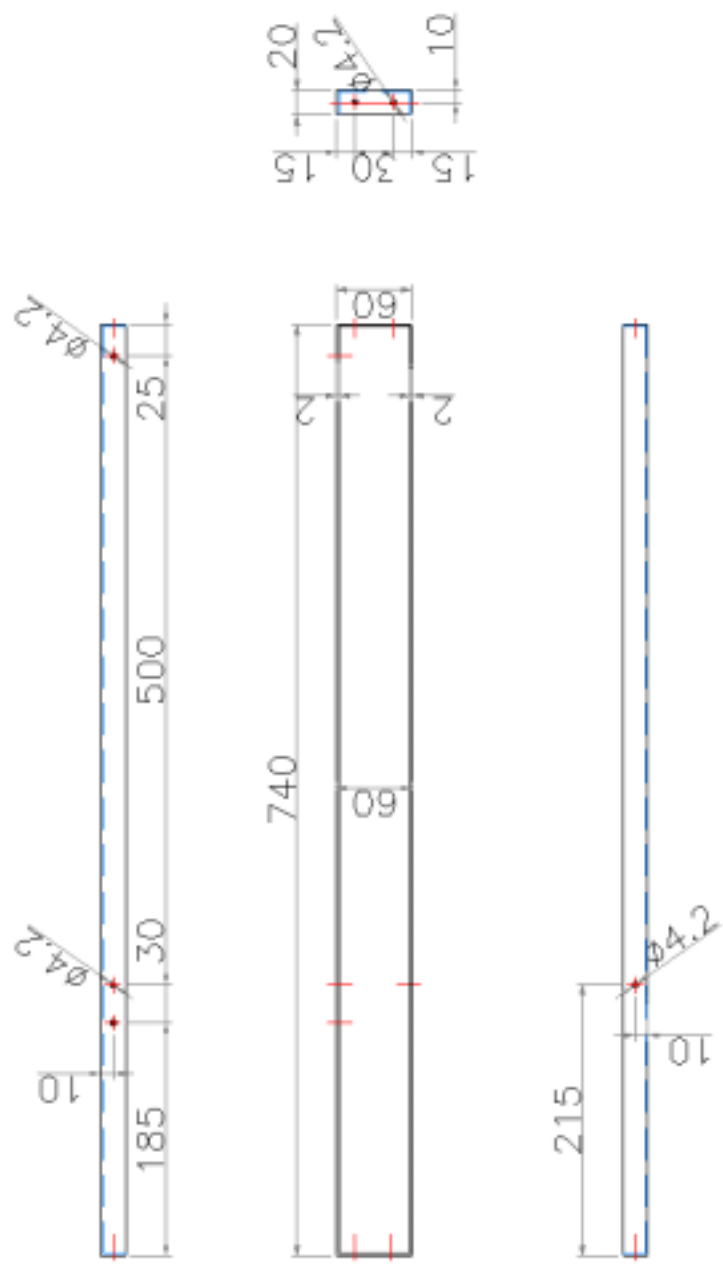
10 ea

規格 : 미연도 철관 PLATE 1.2t



<그림 9>

030 40 ea (20 ea 대칭)
 재료 : 425MPa강판 1.2T

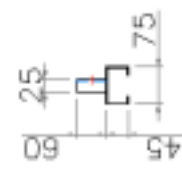
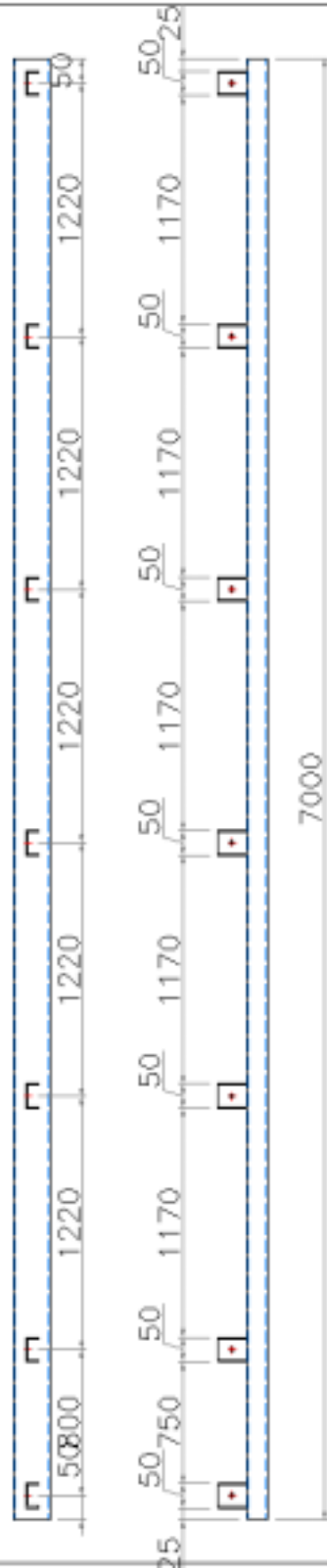


<그림 10>

031

2 ea (1 ea 대칭)

材質 : 아연도금판 PLATE 2.0t

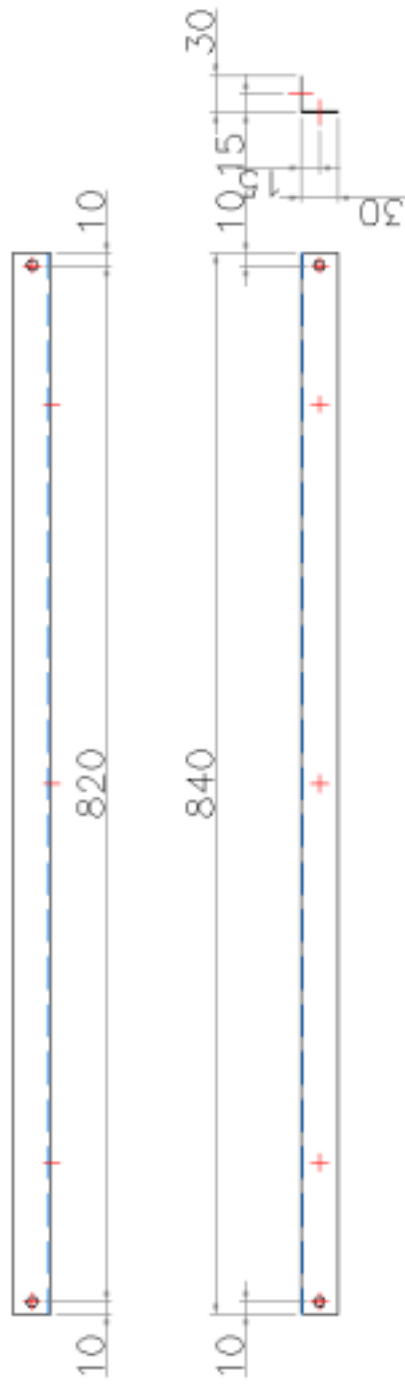


<그림 11>

032

32 ea

規格 : 0105도 용접 PLATE 1.0t



<그림 12>

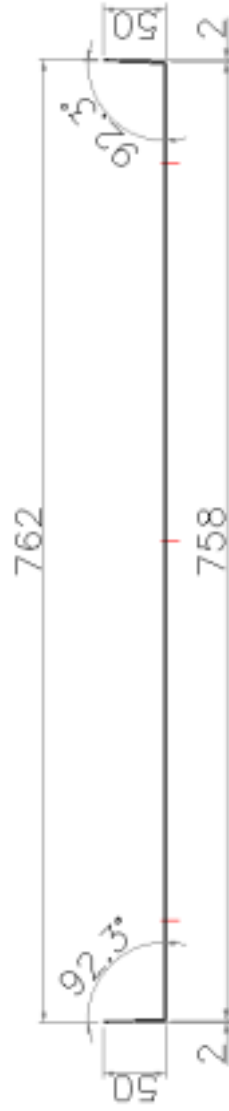
041

6 ea

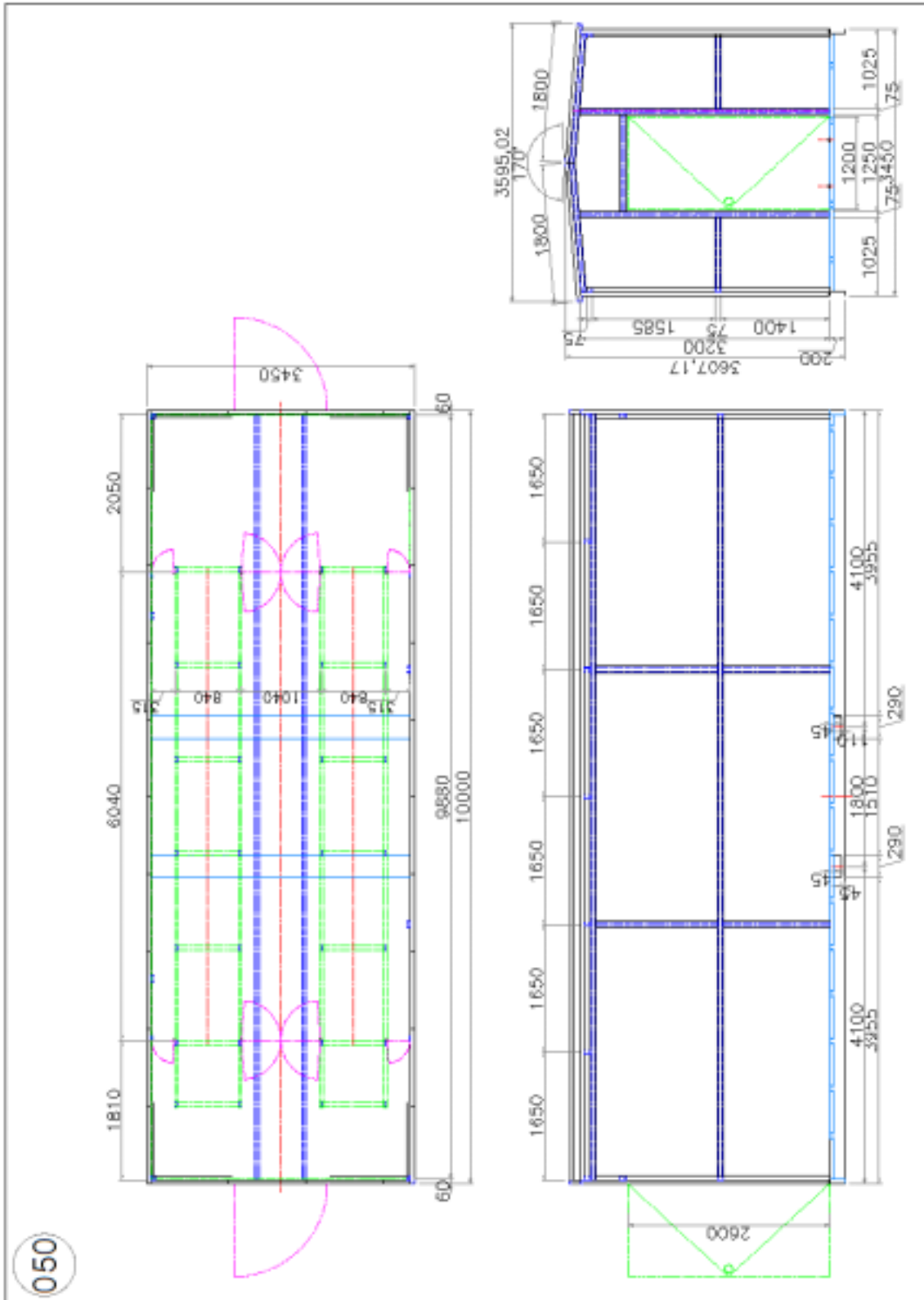
2,440L = 4 ea

1,990L = 2 ea

材質 : 0122도 불판 PLATE 0.01

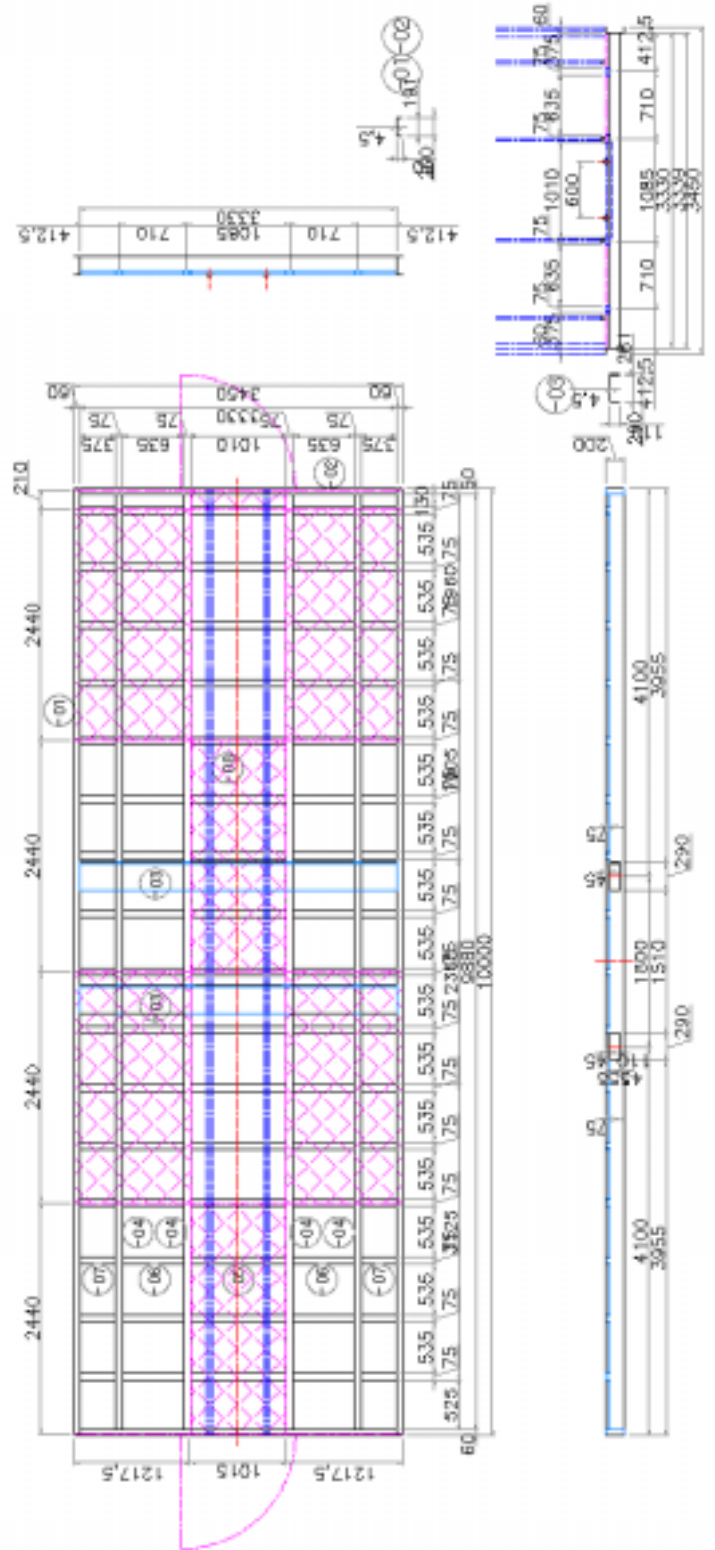


<그림 13>

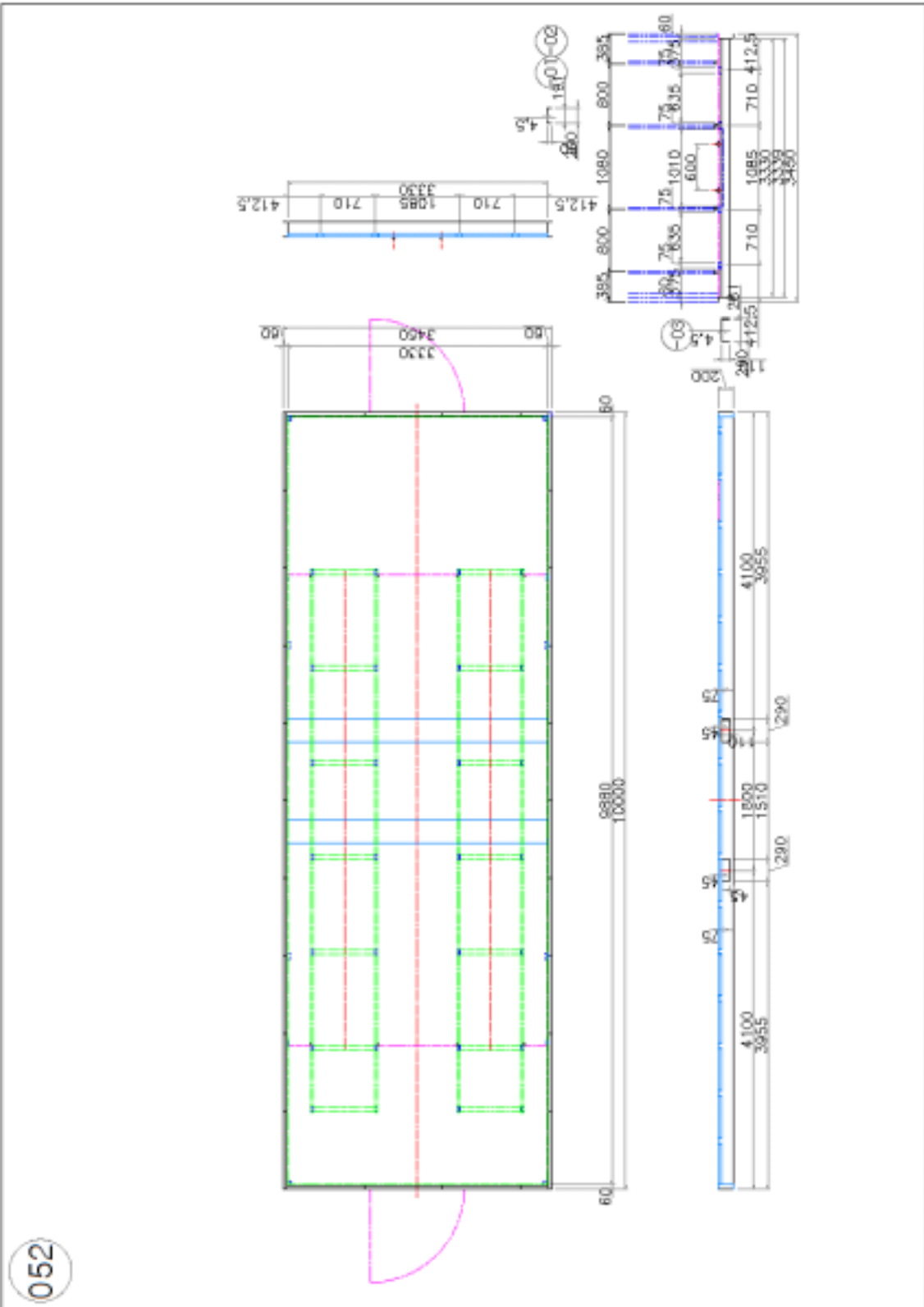


<그림 14>

051

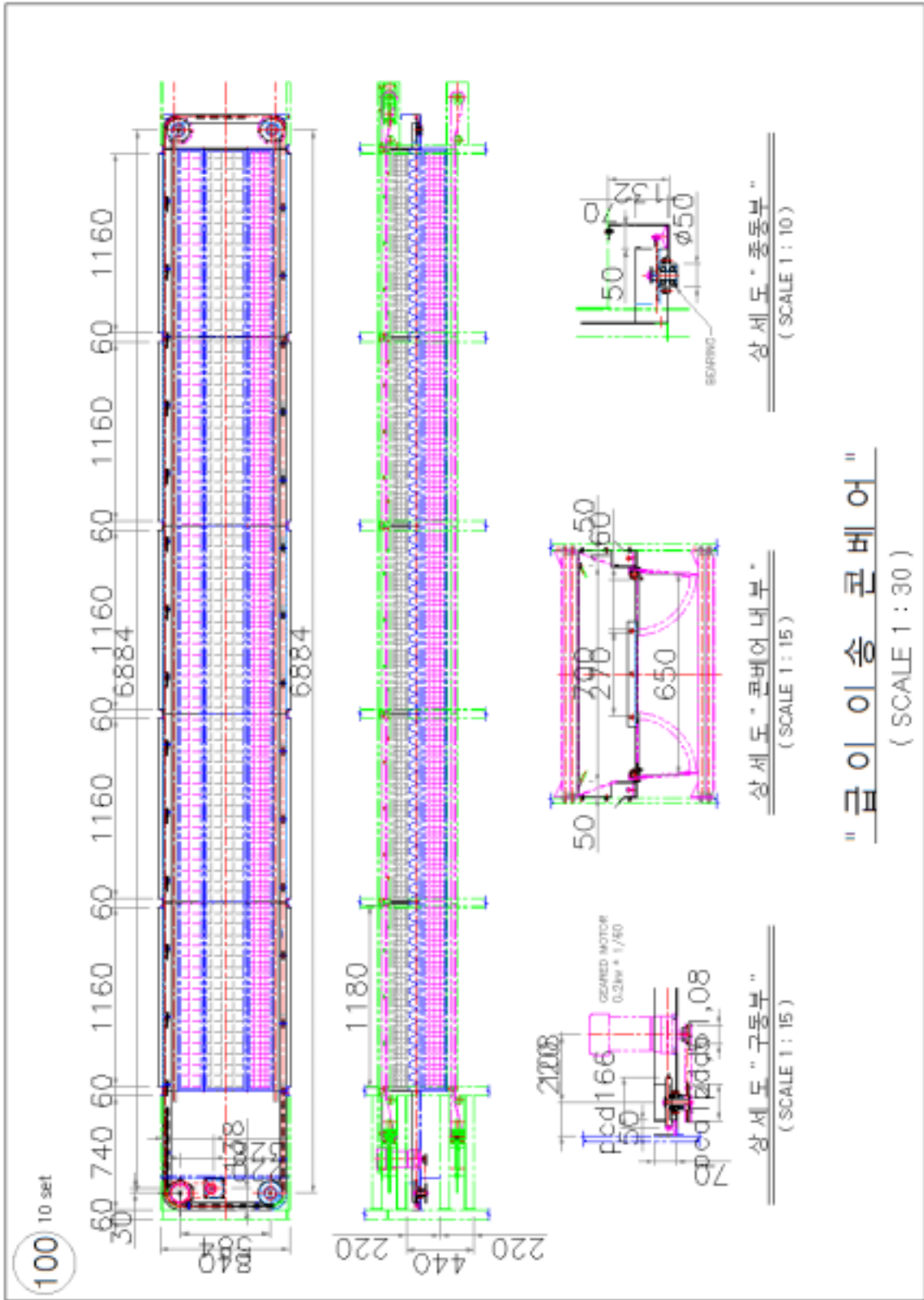


<그림 15>

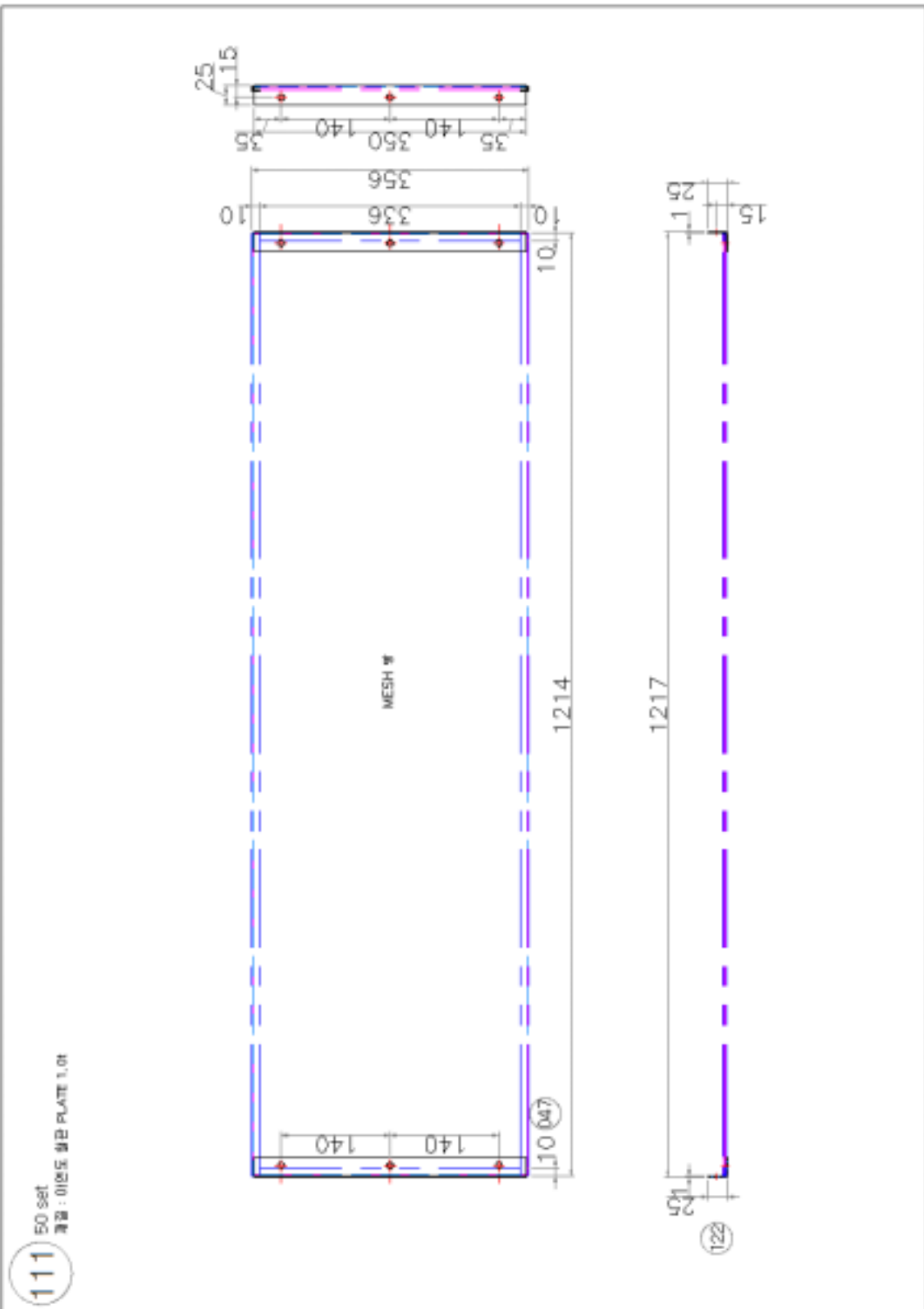


052

<그림 16>

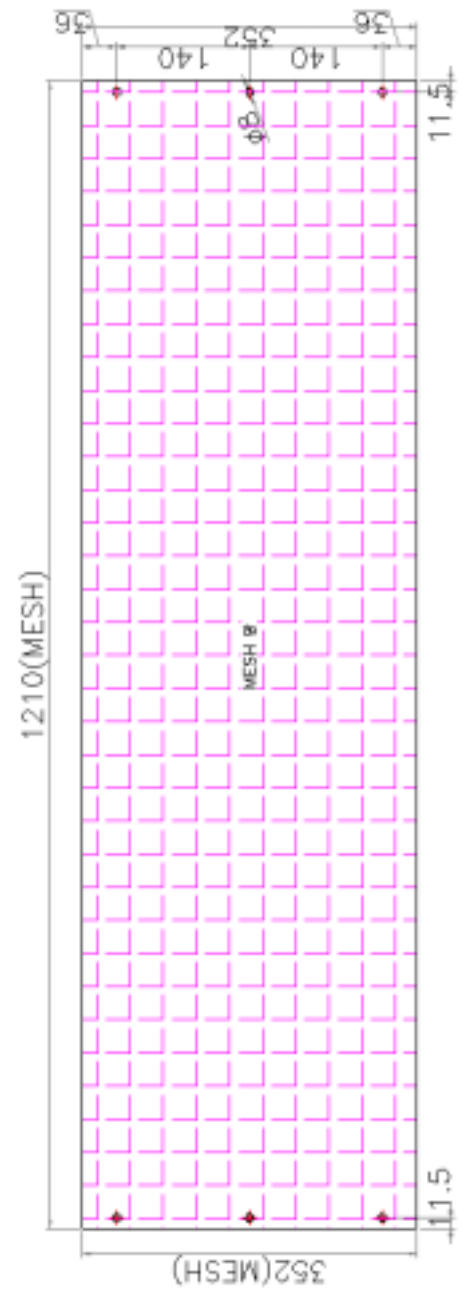


<그림 17>



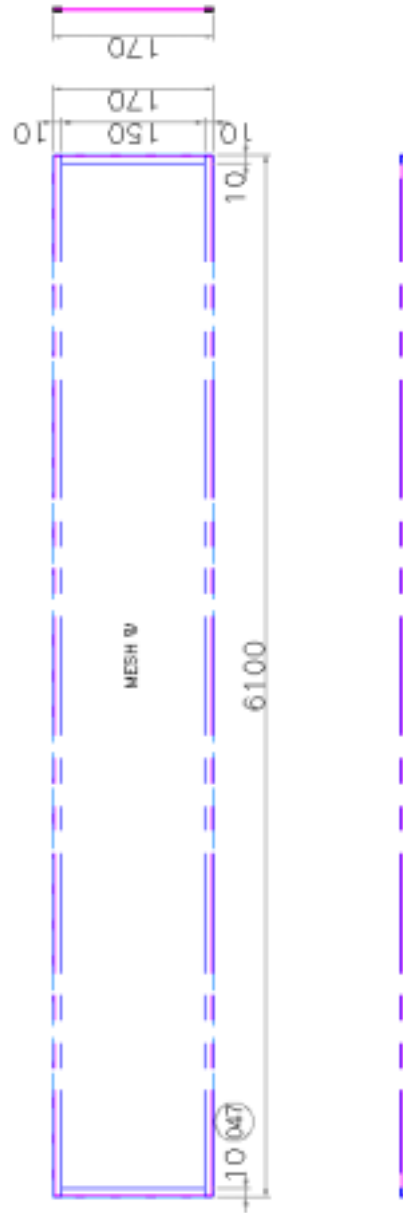
<그림 18>

112 50 ea
재료 : 미연도 MESH



<그림 19>

113 20 set
제품 : 02안도 실린 PLATE 1.0t

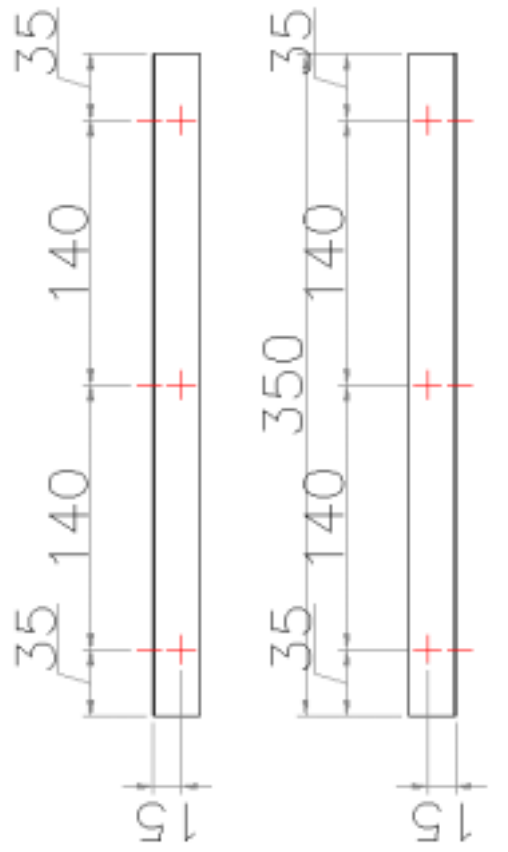


<그림 20>

122

60 ea

規格 : 0410도 30mm PLATE 1.0t

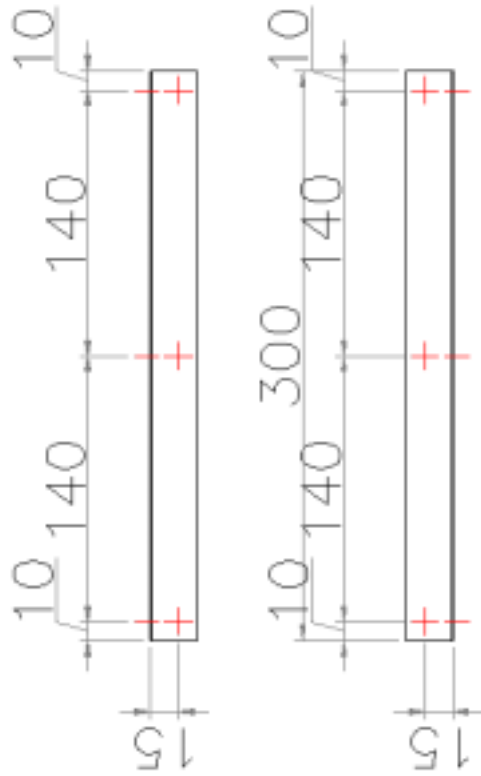


<그림 21>

122-1

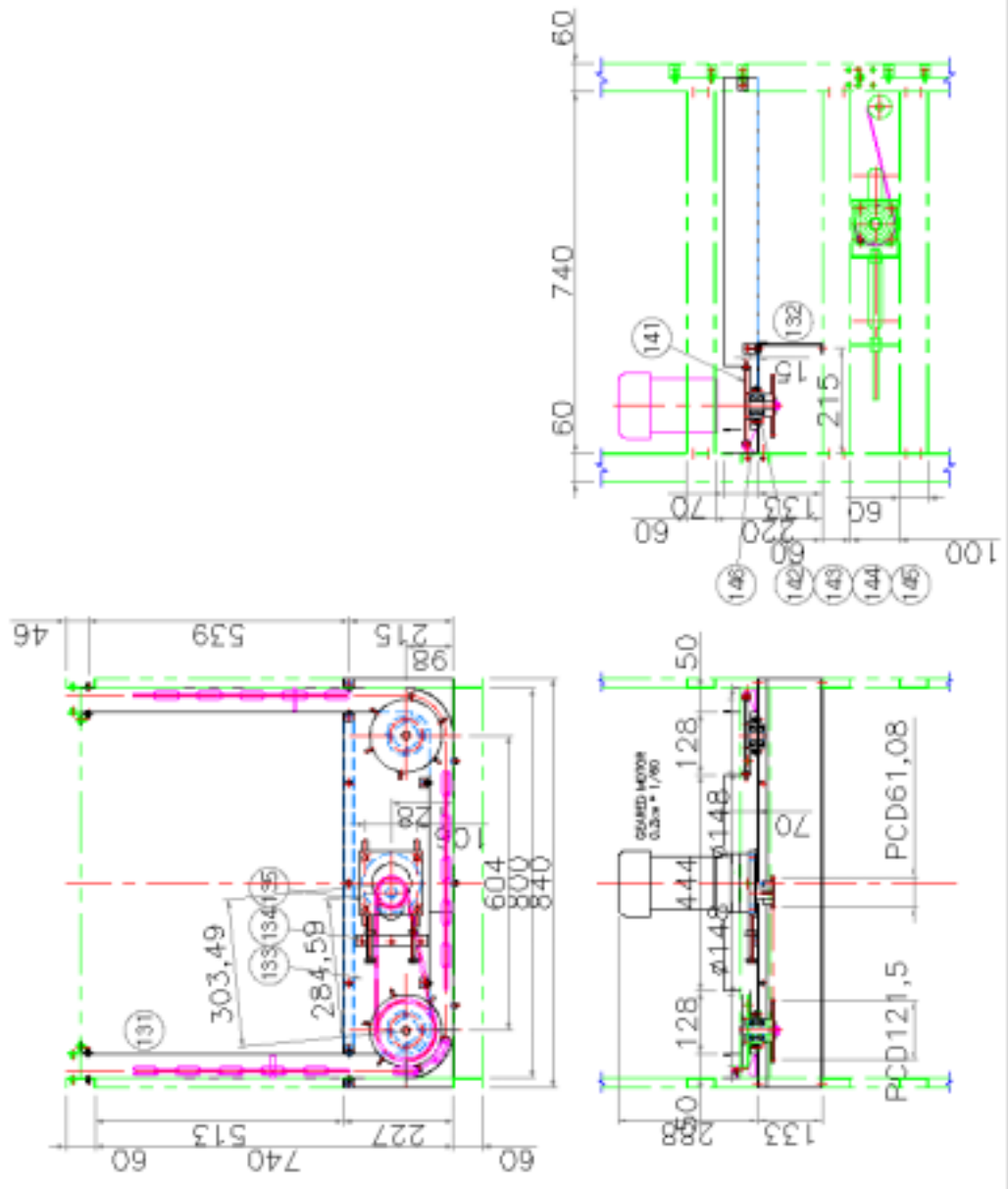
60 ea

재료 : 미판도 쇠판 PLATE 1.0t

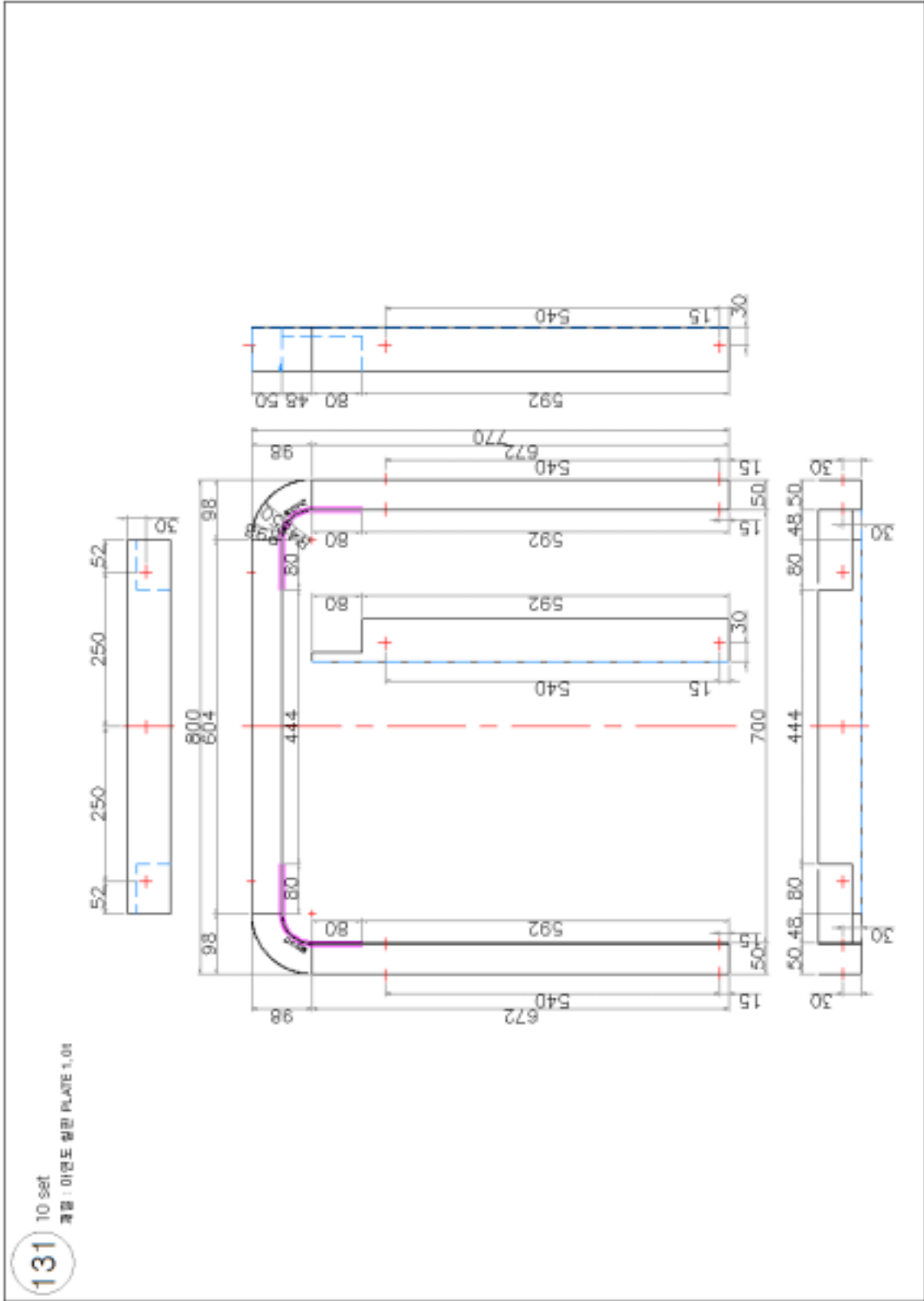


<그림 22>

130 10 set



<그림 23>

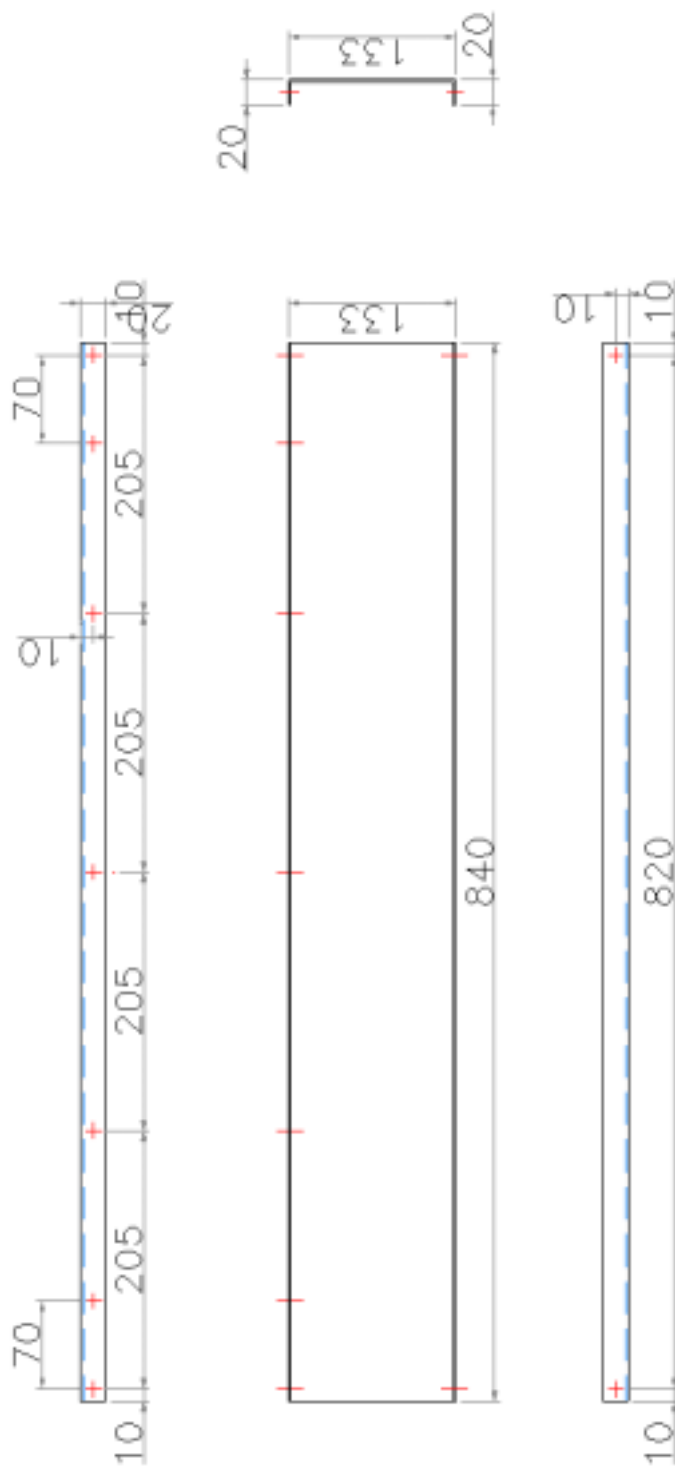


<그림 24>

132

10 mm

재료 : 010 또는 010A PLATE 1.25

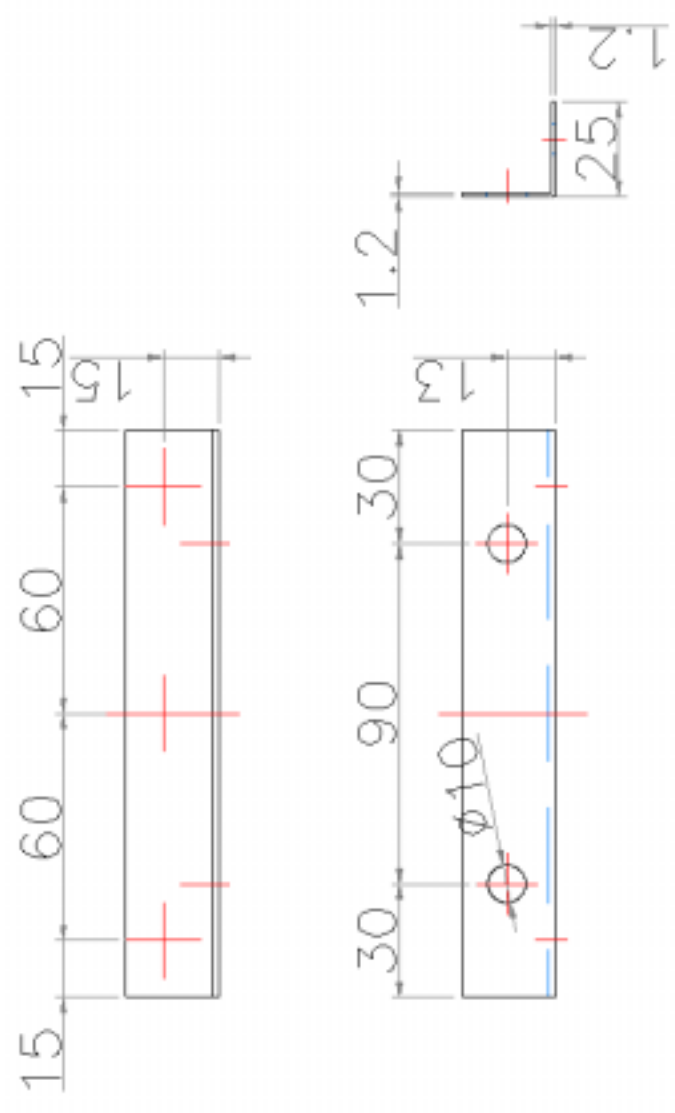


<그림 25>

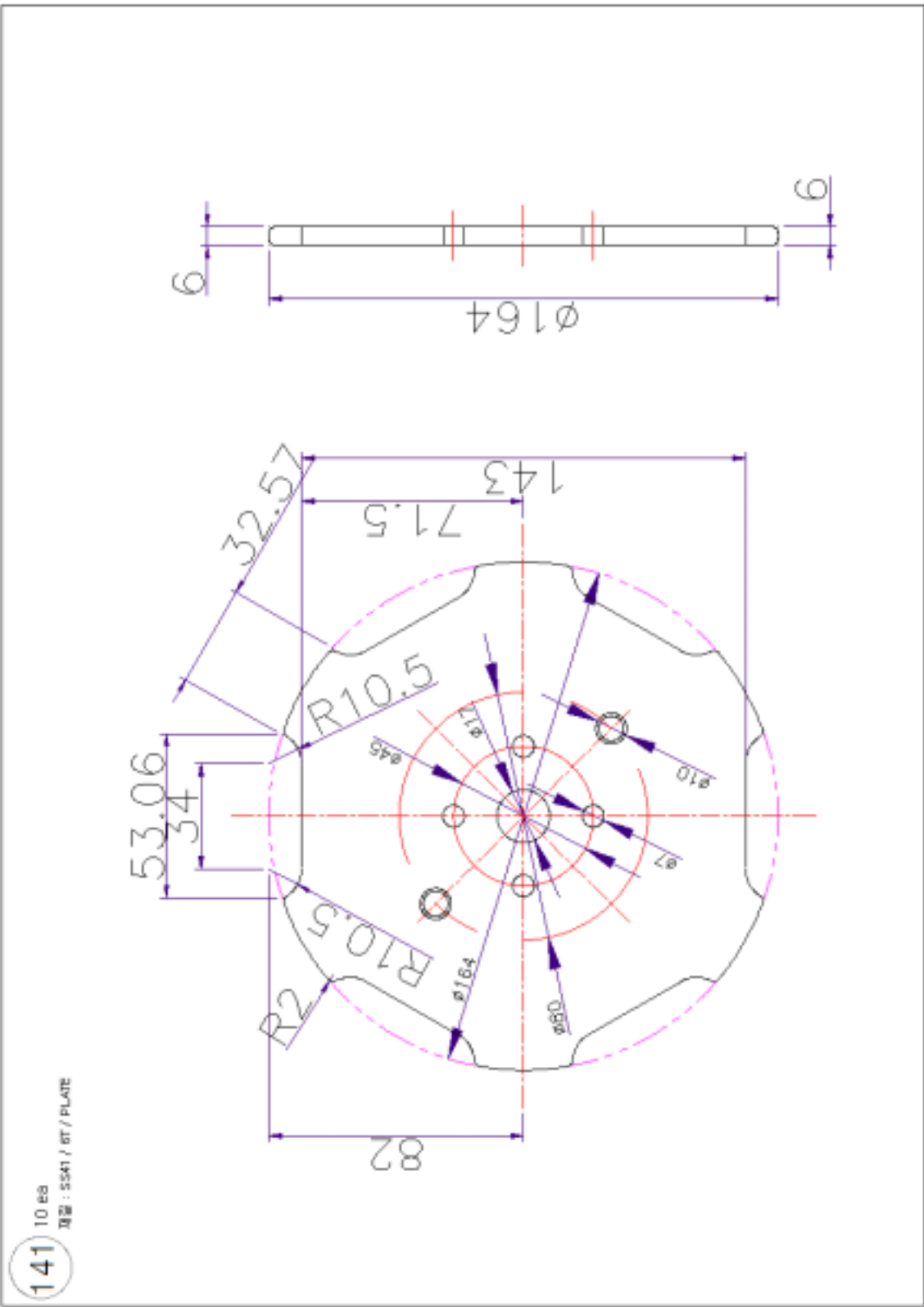
134

10 ea

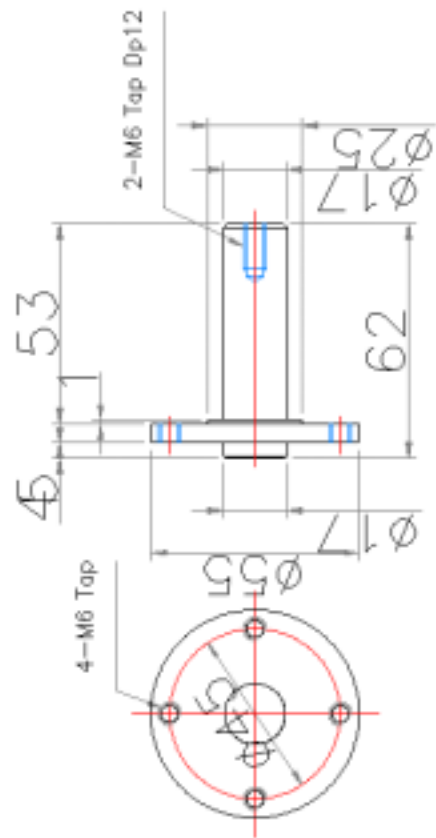
規格 : 01標準規格形 1.2T



<그림 26>

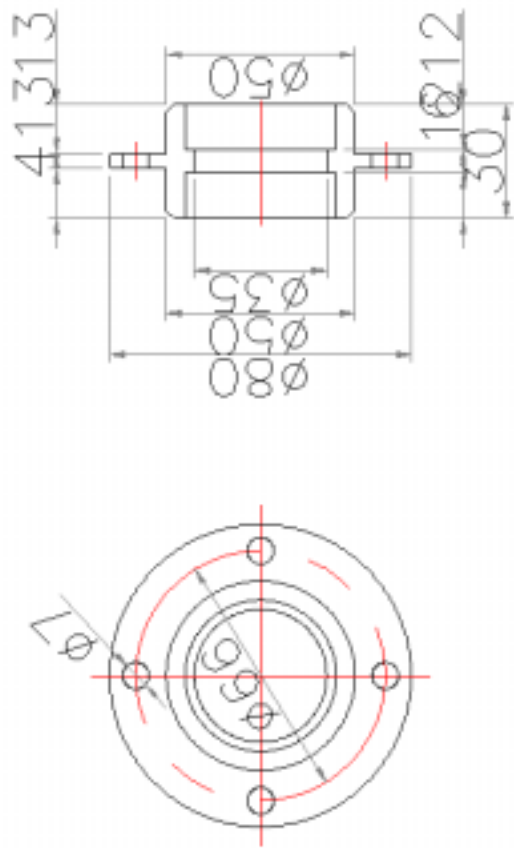


<그림 27>



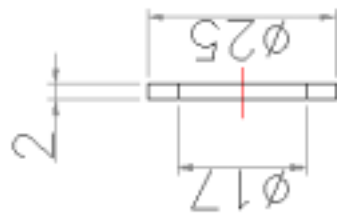
<그림 28>

143 40 ea
材質 : SS41 鋼管

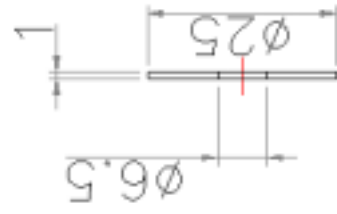


<그림 29>

144 10 ea
材質 : SS41 鋼板



145 40 ea
材質 : WASHER (予備品)

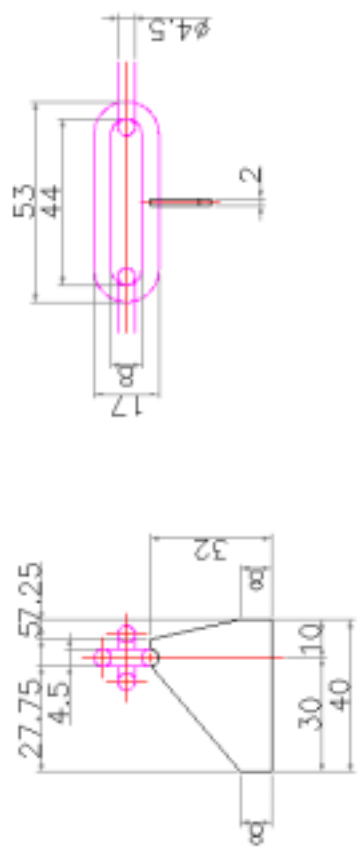


<그림 30>

146

165 M

종류 : 01연도 링크체인 & SCRAPER

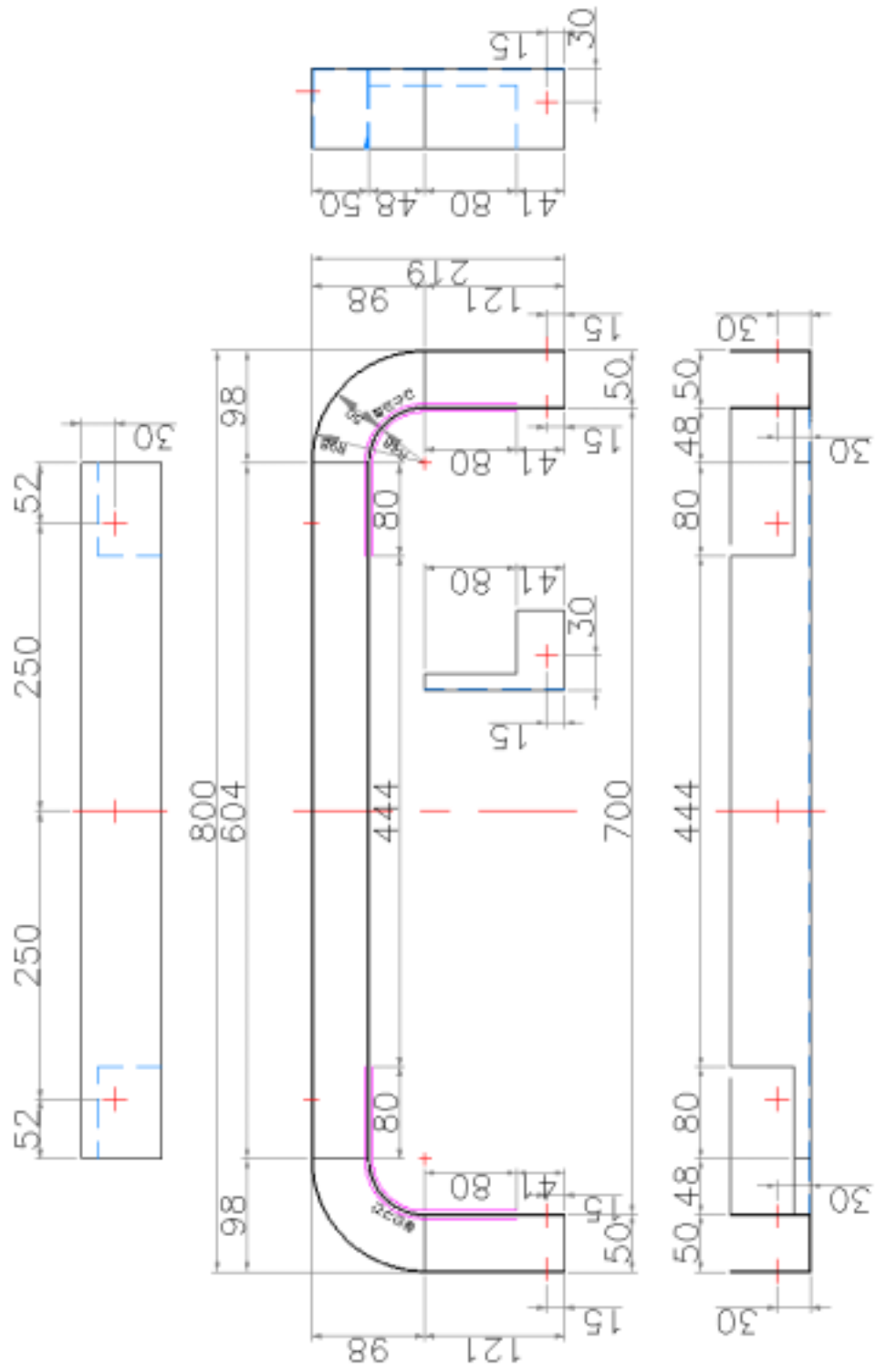


<그림 31>

151

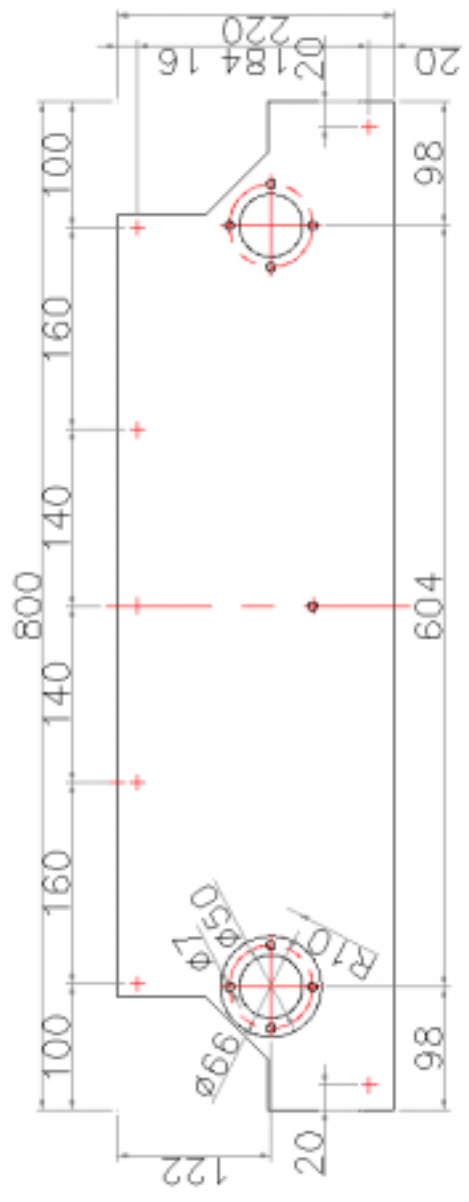
10 set

제품 : 미연도 실판 PLATE 1.0t



<그림 32>

152 10 ea
 規格 : 01인도 용접 PLATE 2.0t

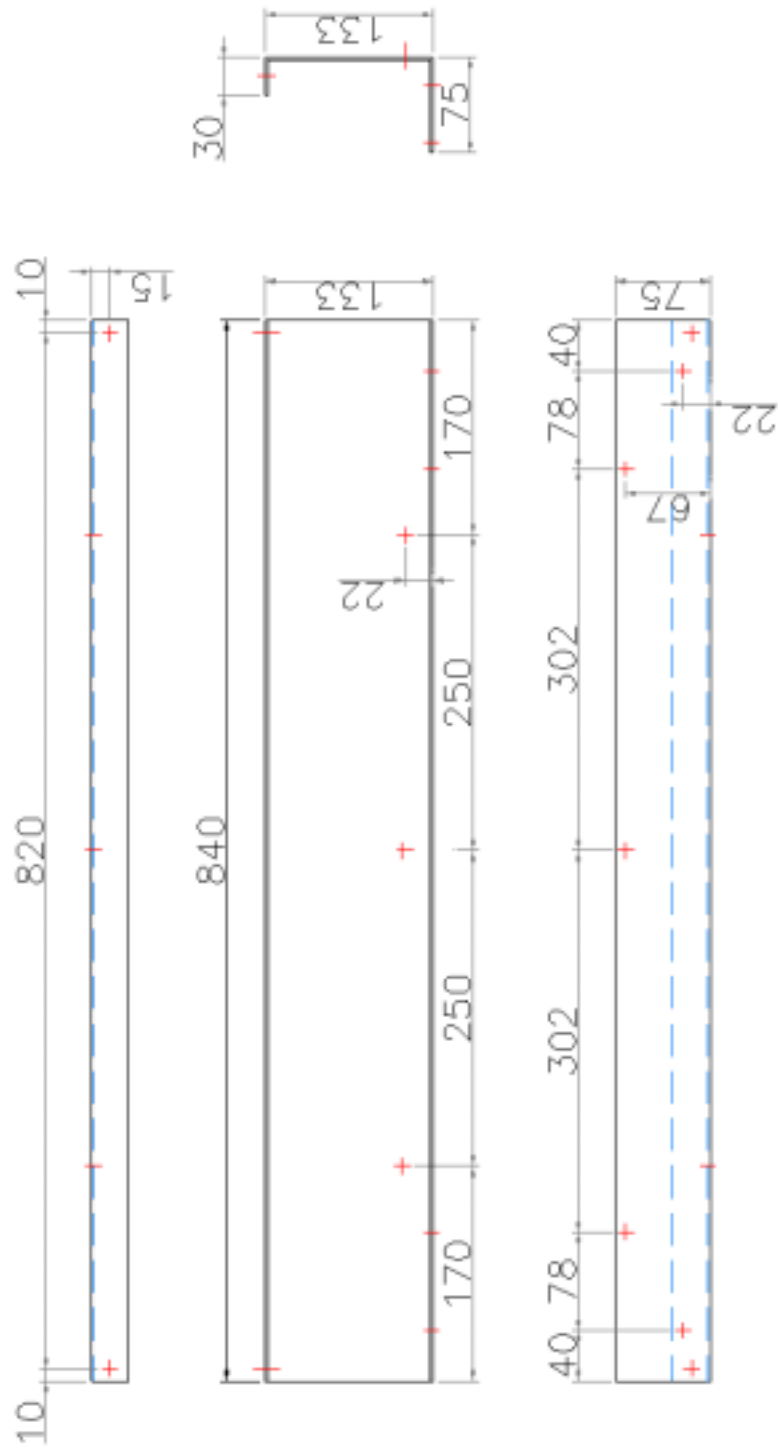


<그림 33>

153

10 ea

規格 : 01型圧縮機 PLATE 1,2t

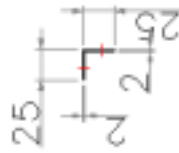
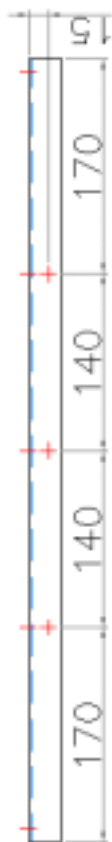


<그림 34>

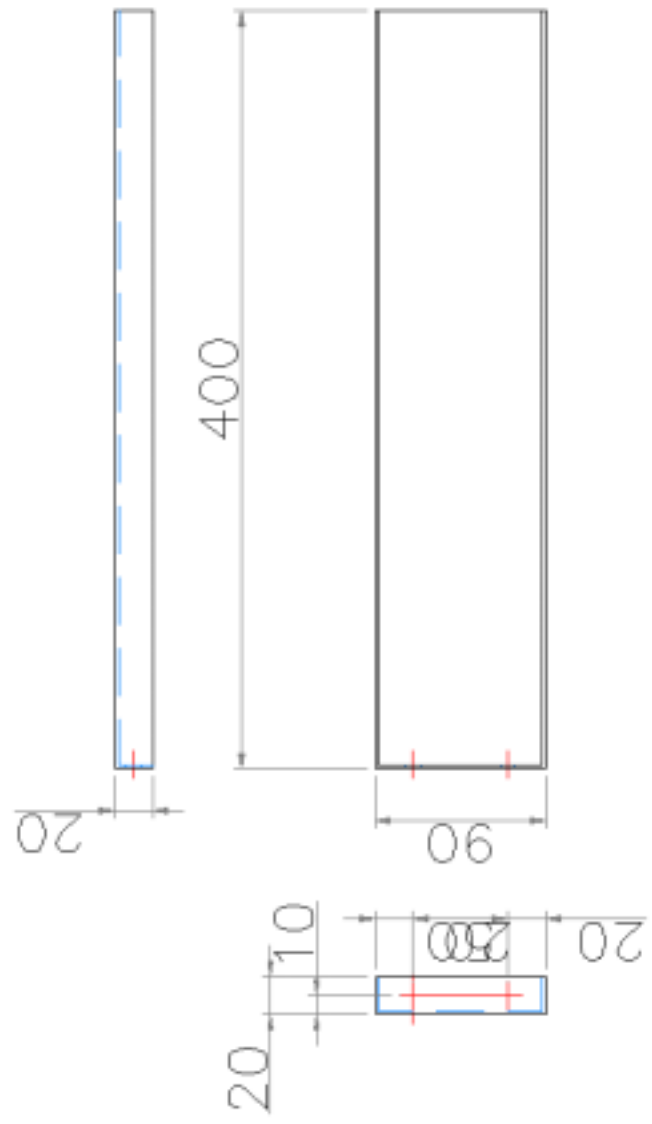
154

10 ea

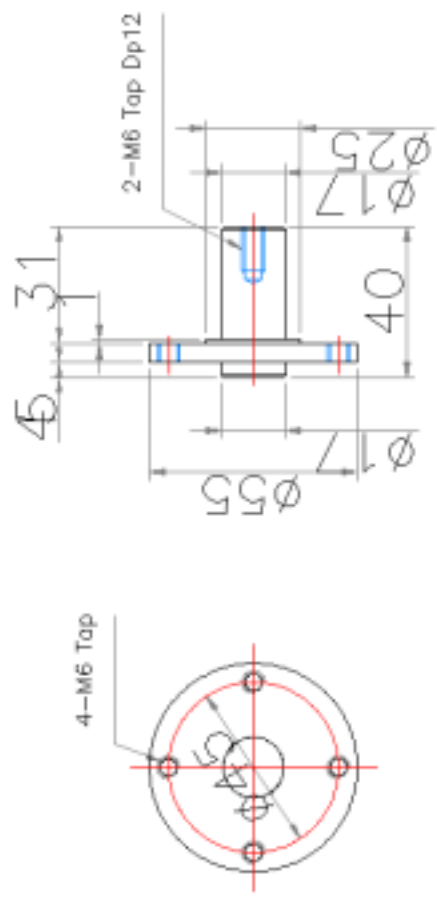
재료 : 01인도 실판 PLATE 2.0t



<그림 35>

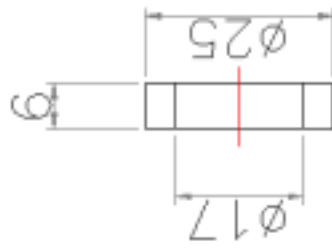


<그림 36>



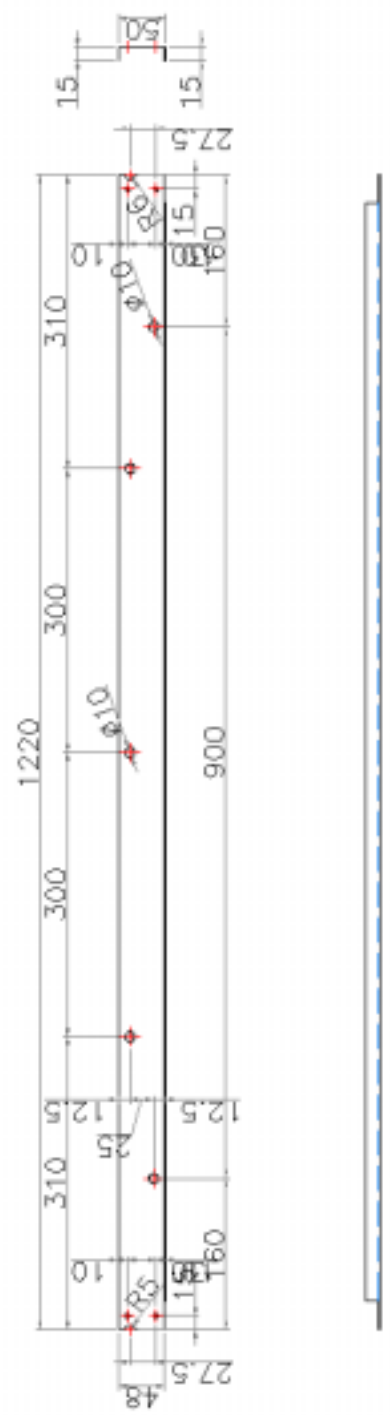
<그림 37>

162 30 ea
規格 : SS41 鋼管



<그림 38>

210 100 ea
 規格 : 01025 藍色 PLATE 2.0t

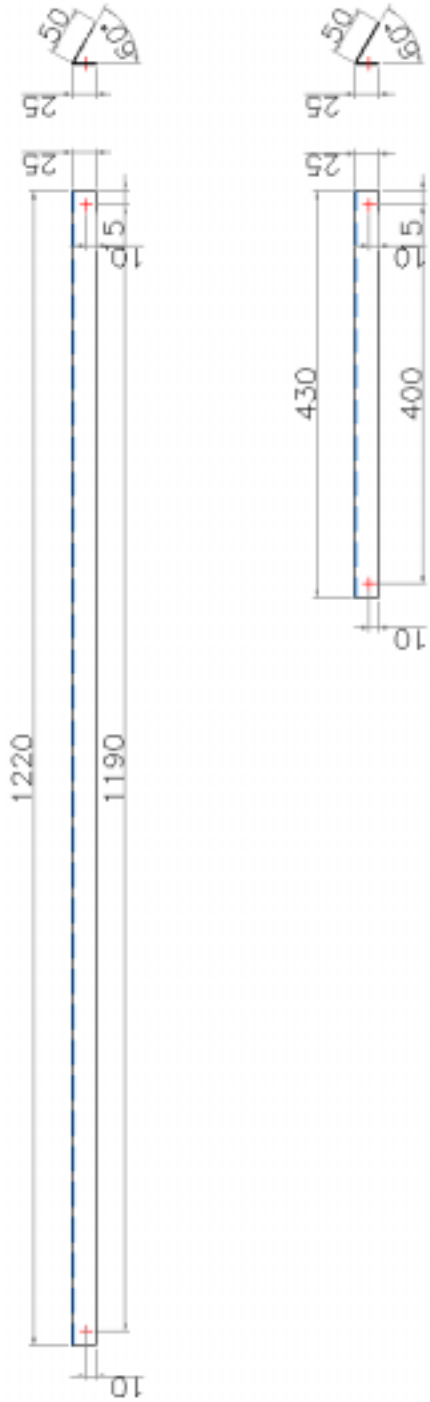


<그림 40>

211

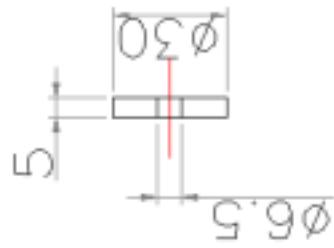
100 ea / 20 ea

規格 : 01型 通線板 PLATE 1.01



<그림 41>

222 40 ea
規格 : SS41 / Weather

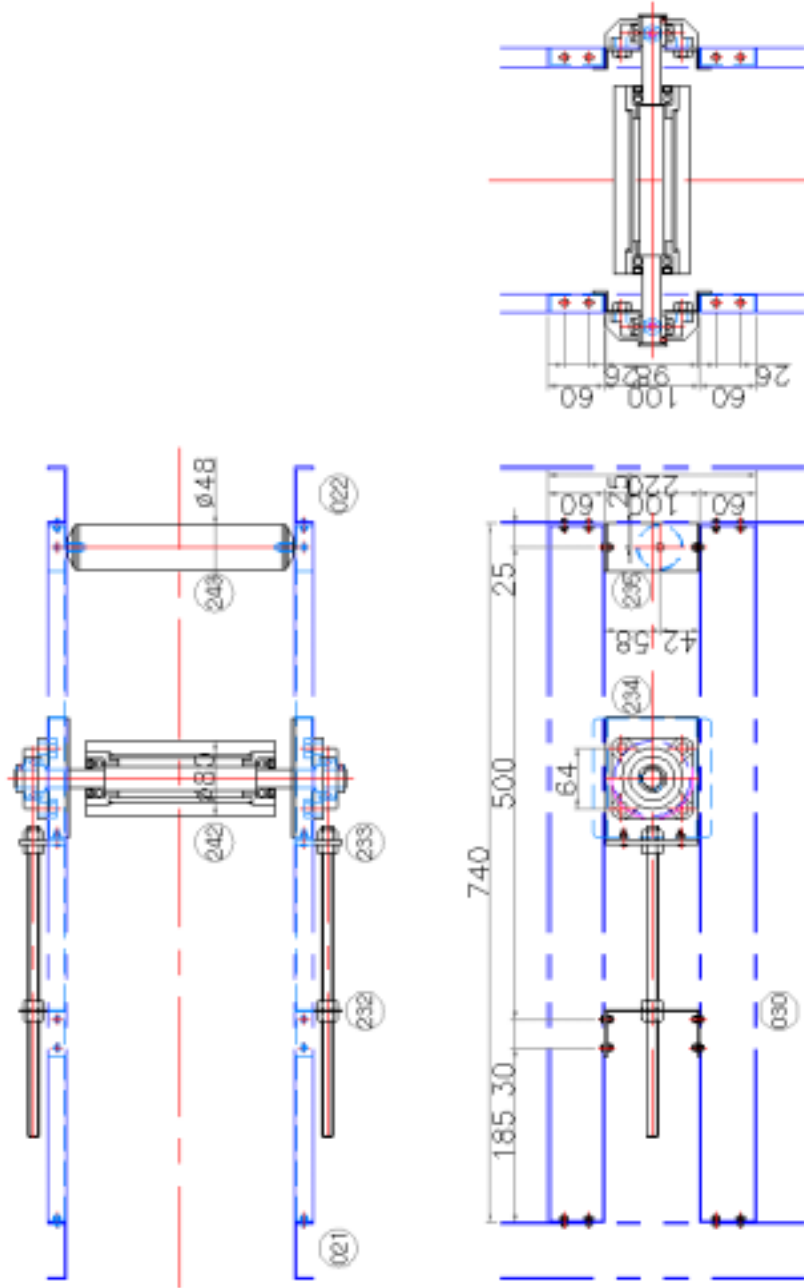


223 10 ea
規格 : SS41 / Key



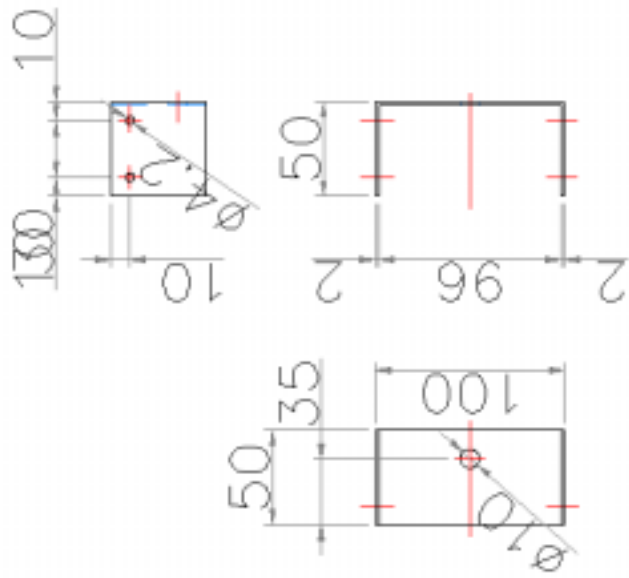
<그림 42>

230 20 ea (10 ea씩 대칭)
 재료 : 아연도금강판 2.0T

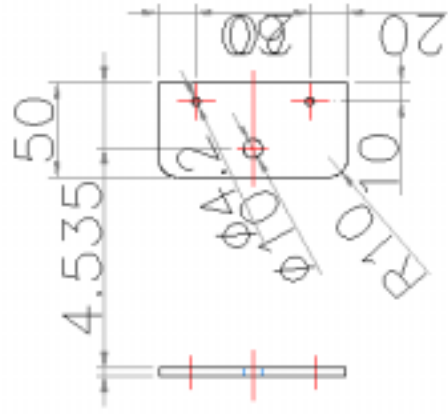


<그림 43>

232 20 ea (10 ea씩 더칭)
 材質 : 이산화규소판 4.5T

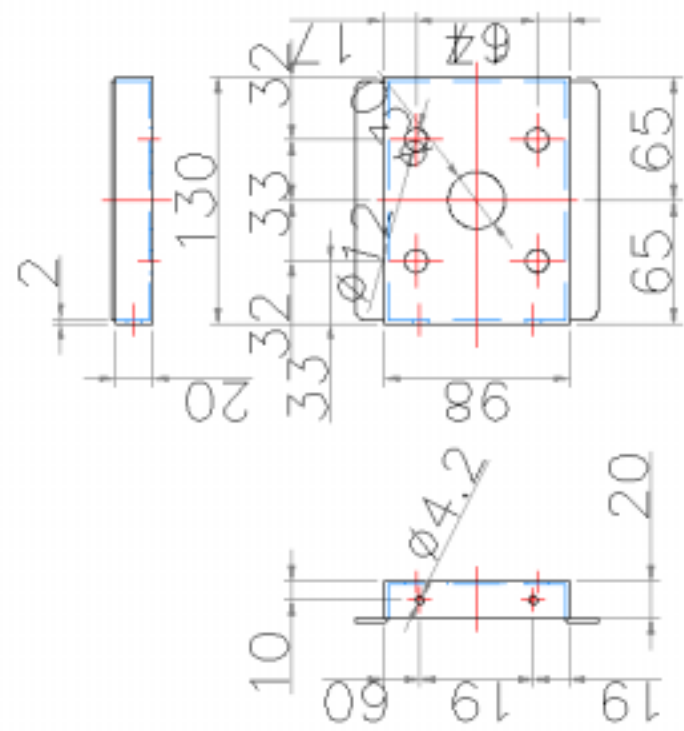


233 20 ea
 材質 : 이산화규소판 4.5T

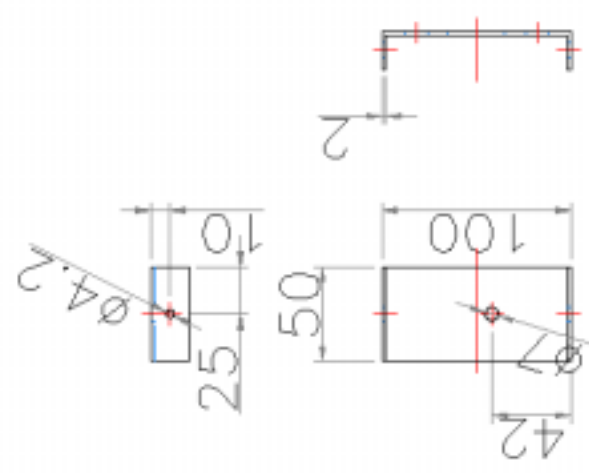


<그림 44>

234 20 ea (10 ea씩 대칭)
 재료 : 알루미늄판 2.0T



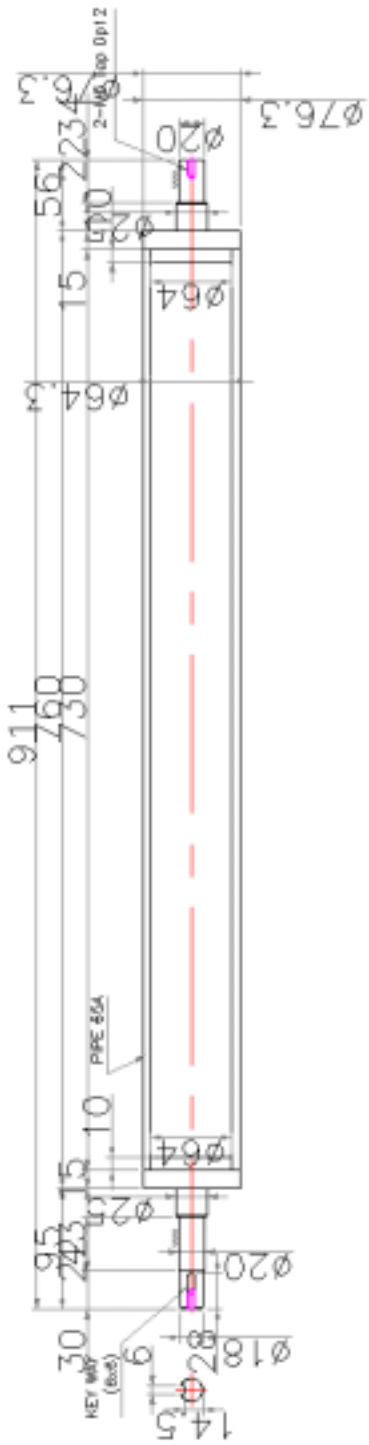
235 20 ea
 재료 : 알루미늄판 4.5T



<그림 45>

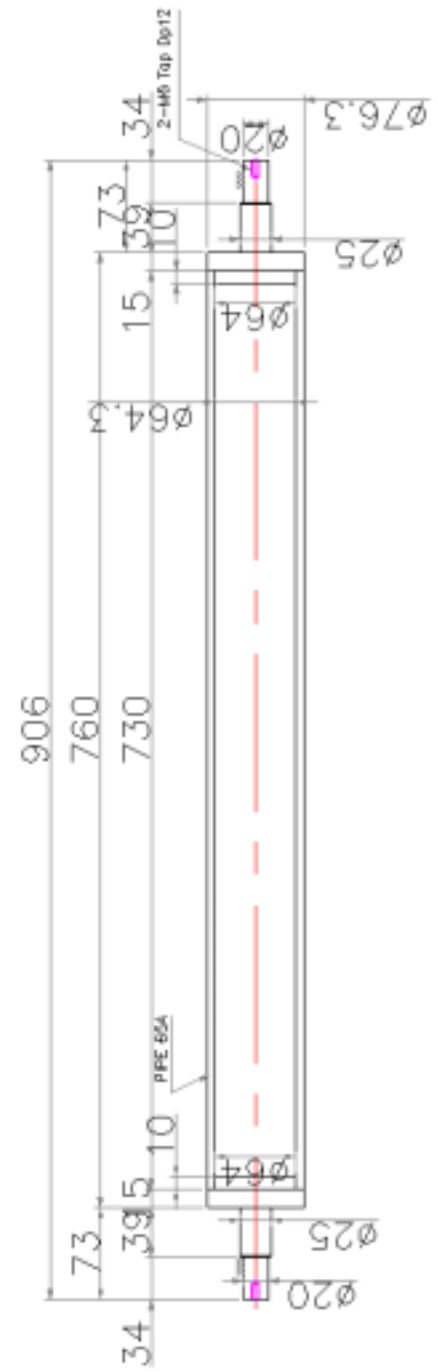
241

10 ea
海陽 : 海陽 및 3010프



<그림 46>

242 10 ea
 規格 : 標準 및 0101호



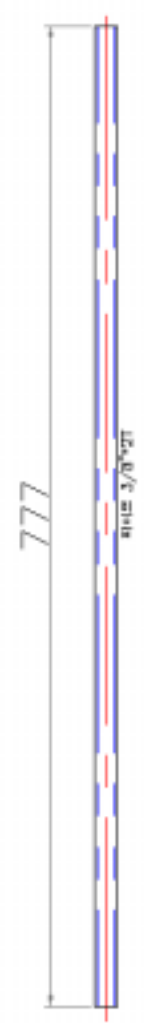
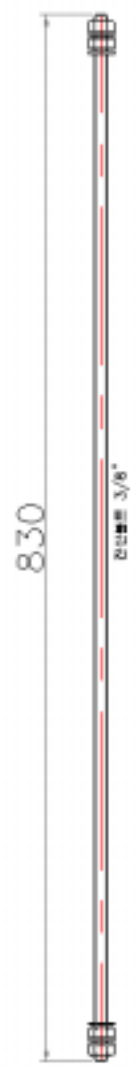
<그림 47>

243 20 ea
規格 : 0105互換 構造



<그림 48>

244 290 set
재질 : 전선봉은 6, 10이코

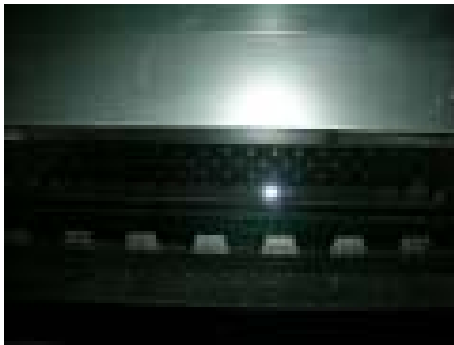


<그림 49>

그림 2에서 보여 주는 바와 같이, 인큐베이터의 내부는 가운데 통로를 기준으로 하여 효율적 공간활용을 위하여 양쪽에 5단 케이지가 설치되었다. 항온항습시스템은 입구쪽에 설치되어 있고, 이것을 통과한 입기 공기는 통로 중앙 상단부에 설치된 덕트를 통하여 길이방향으로 신선한 공기를 공급하도록 설계되었다. 이 신선한 공기는 통로를 통하여 각 케이지에 흘러가게 되는데, 케이지 반대쪽에는 배기구가 설치되어 있다. 높이별로 일정한 공기가 배기될 수 있도록 높이별로 다른 크기로 열려 있는데, 이는 2년차 보고서에서 자세하게 설명되어 있다. 각 케이지 밑에는 계분 처리용 벨트가 설치되어 있는데, 병아리 출하 시 바닥이 아래로 열려서 출하 시에도 효과적으로 이용될 수 있도록 설계되었다. 배기되는 공기는 측벽을 따라서 위로 흘러서 배기용 덕트와 연결되게 되는데, 이는 측벽을 통하여 발생하는 열 손실이나 열적 증가를 차단하는 효과를 나타내고 있다.



<초생주 인큐베이터의 모습>



<케이지 내부의 모습>



<강제 공기 유동을 위한 덕트>



<항온항습기>



<인큐베이터 외부 전경>



<실험 담당자>

그림 2. 최종 초생추 인큐베이터의 내외부 전경

2) 환기구조 적정설계

이러한 환기와 관련된 구조적 변경으로 인하여, 이번 연구 2년차에 실시된 공기유동학적 CFD설계에 의하여 도출된 적정 환기구조 설계를 적용하는 것이 불가능하였다. 완성된 인큐베이터의 적정구조를 새로 도출하기 위하여, 공기유동 시뮬레이션을 새로 설계하고, 이의 정확도를 충분히 향상한 이후에 다양한 환경조건을 적용하여 최적 환기구조를 찾는 작업이 요구되었다. 하지만, 이번 연구의 마지막 년도에는 이를 수행할 시간이 충분치 않았다. 최종적으로 적정 환기구조를 찾는 것은 시뮬레이션 등 간접적 실험을 배제하고 직접 현장실험을 수행하기로 하였다. 이번 현장실험을 통하여 적정 환기구조를 찾고자 하였는데, 가장 중요한 대상은 인큐베이터의 길이별로 그리고 높이별로 균일한 환기효율성을 유지하는 것이었다.

이번 현장실험을 통하여 크게 두 가지를 보완하고자 하였다. 첫 번째는 ceiling 높이에 인큐베이터의 길이방향으로 설치된 입기용 덕트이다. 이 입기용 덕트 하단에 2열로 입기구 구멍이 설치되어 있으며, 중심축을 기준으로 각각 20도 각도로 바람이 나오도록 설계되었다. 각 구멍의 직경은 0.2m이며, 구멍간 거리는 구멍의 중심점을 기준으로 하여 0.5m이었다. 케이지가 설치되어 환경조절이 필요한 총 공간을 고려하여 이 입기용 덕트의 총 길이는 10m이었고, 총 구멍수는 각 열당 31개이었다. 이 실험을 위하여 항온항습시스템의 최대 송

풍량 130CMM 하에, hot-wired anemometer (IHW-100, Kanomax, Inc., Japan)를 이용하여 각 구멍에서의 풍속을 측정하였다.



그림 3. Hot-wired anemometer를 이용하여 환기구에서의 공기유속 측정

입기용 주 덕트에서의 길이별로 공급되는 공기의 풍속 균일성을 점검한 결과 구멍의 열린 크기, 혹은 열린 간격 등을 조절하여 균일성을 맞출 필요가 없는 것으로 나타났다. 그 다음으로 중요한 것은 길이별 및 높이별 각 케이지에 얼마나 균일하게 신선한 공기가 공급되도록 하는 것이다. 이를 위하여 1차 공기유동 시뮬레이션 실험과 같이 케이지를 기준으로 풍상측 환기구의 크기는 고정하고 대신에 케이지 뒤쪽에 수직으로 설치된 주 배기구에 위치한 높이별 풍하측 배기구의 크기를 결정하는 것이다. 주 배기구의 설계상 상층부에서 음압이 하단부보다 더 높게 형성되기 때문에 높이별로 균일한 배기구 슬릿 크기를 유지하게 되면 각 슬릿을 통한 풍량에 차이가 많이 발생하게 된다. 이는 현장실험뿐만이 아니라 공기유동 시뮬레이션 결과들에서도 자세하게 보여주고 있다. 이를 보완하기 위하여 위쪽의 배기용 슬릿의 열린 크기를 작게 하고 하단부로 갈수록 더 크게 하여 차등을 주고자 하였다. 이를 위해서 제작된 초생추 인큐베이터내에서 각 슬릿의 크기가 바뀌어 가면서 적정 배기용 슬릿의 열린 크기들을 정하고자 노력하였다. 각 슬릿에서의 공기유속을 측정하기 위하여 hot-wired anemometer (IHW-100, Kanomax, Inc., Japan)를 이용하였다.



그림 3. 케이지를 기준으로 풍상측 입기용 슬릿 (a)와 풍하측 배기용 슬릿

3) 현장 적응성 실험

3-1) 환경조건 및 측정 방법

이번 연구의 목표는 지난 2년간 개발한 초생추 인큐베이터의 검증실험의 일환으로 수행되었다. 실험기간은 2006년 5월 22일부터 29일까지 총 7일간으로 초생추 인큐베이터에서 수행하였다. 초생추 인큐베이터 안에 구조는 가운데 통로를 중심으로 양쪽에 5단의 독립적 케이지가 길이방향으로 5열이 배치되어 있었다. 이는 총 케이지의 수가 좌우 양측에 각각 25개씩 총 50개가 설치되어 있었다. 이번 연구를 위하여 총 2,500수의 병아리가 입추되었으며, 각 케이지당 50마리가 배치되었다. 각 케이지당 바닥면적은 0.96m^2 ($0.8 \times 1.2\text{m}$) m^2 으로서 평당 160수를 가정하여 입추하였다. 각 케이지당 급이기통과 급수기통을 각각 1개와 2개를 설치하였으며, 항상 공급되는 물과 사료의 양을 측정하였다. 초생추 투입시 먹이와 물을 주기 위하여 체적이 400g의 통을 각 케이지 별로 4개씩 넣었다.





그림 4. 초생추 인큐베이터 내 전경

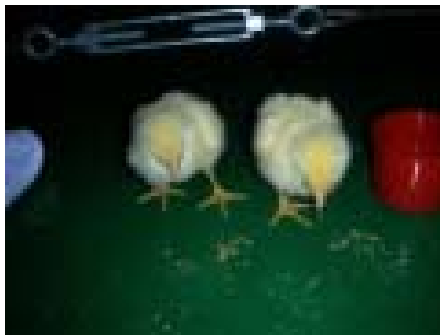


그림 5. 입추초기의 병아리와 7일령 출하직전의 병아리



(a) 케이지내와 통로에 설치된 온습도 센서



(b) 암모니아 가스과 분진측정을 위한 센서

그림 6. 계군에서의 환경변화 측정을 위한 센서

내부의 환경을 실시간으로 측정하기 위하여 온도/습도센서 (Hobo Pro4.0, Hobo Com., USA) 들을 초생추 인큐베이터 안과 밖에 설치하였다. 그림 4 에서 보여주는 것과 같이, 통로를 기준으로 양쪽에 배치된 케이지들에서 대칭으로 환경조절이 된다는 가정 하에 센서 설치를 통로를 기준으로 하여 한쪽에만 설치하였다. 각 높이별 그리고 길이별로 케이지내에 각각 하나씩의 온습도 센서를 설치하였으며 (C-1 ~ C-4), 통로에도 온습도의 균일성을 분석하기 위하여 길이방향으로 2개의 센서를 설치하였다 (M-1 ~ M-2). 맨 위에 있는 케이지에 설치된 센서의 문제로 데이터를 측정하는 것을 실패하였다. 환경조절이 되지 않는 양쪽 끝단에 설치된 공간들 (작업공간)에도 온도와 습도의 변화를 관측하기 위하여 온습도 센서를 설치하였다 (E-1 ~ E-2). 초생추 인큐베이터 외벽에도 센서를 설치하여 외부의 온습도를 같이 측정하였다 (O-1). 인큐베이터 내에 분진량과 암모니아 가스농도를 입추후 4 일령 때와 출하직전인 7일령에 측정하였다. 이를 위하여 사용된 실험장비는 각각 TLD-1 Toxic gas detector (mda scientific, Zellweger company, Germany) 과 (PCR8-SKC, Universal sample pump, USA) 이었다. 각 측정 센서의 위치는 그림 7에서 보여주고 있다.

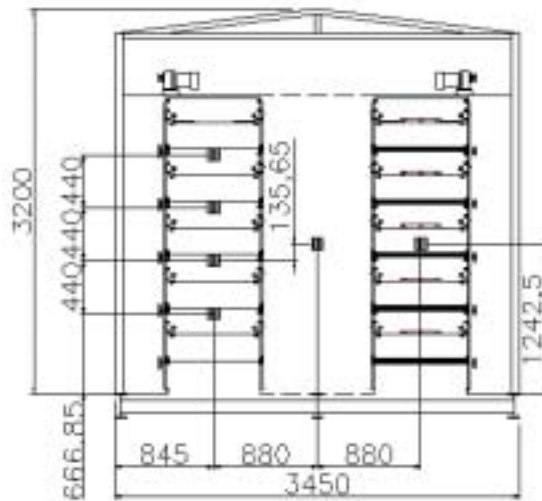
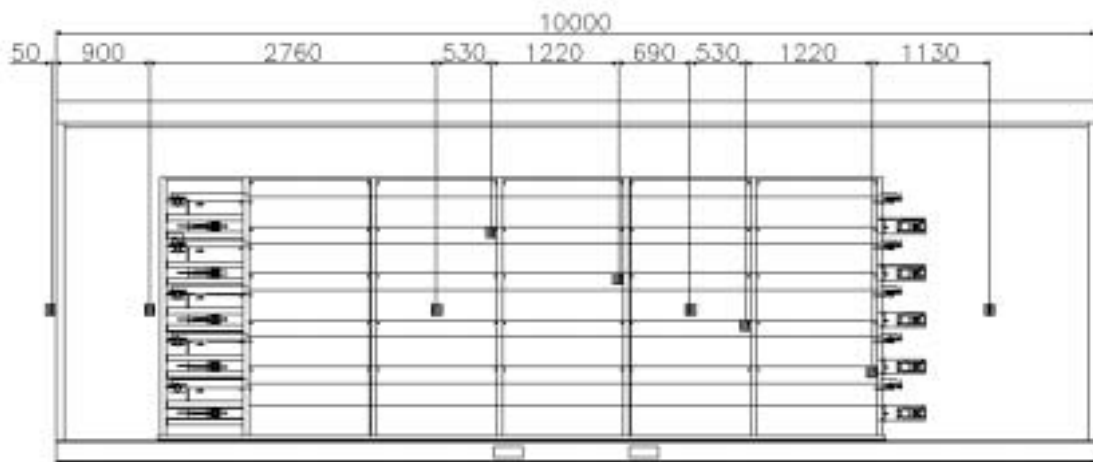
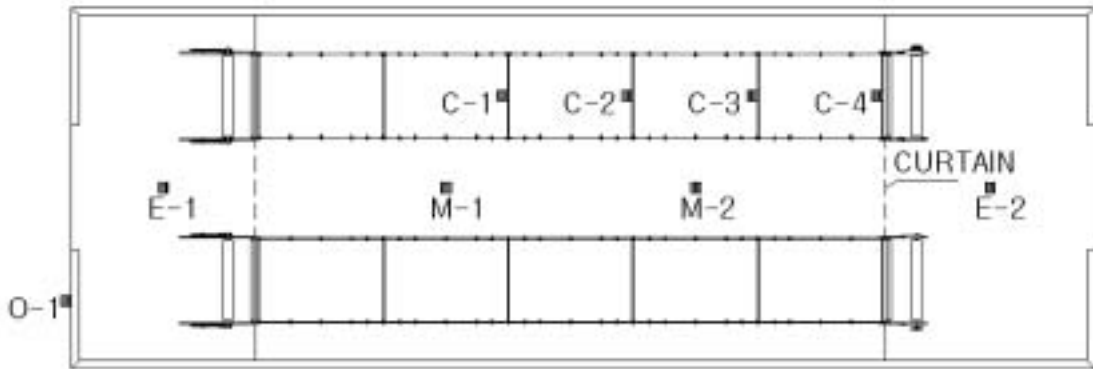


그림 7. 초생추 인큐베이터내에 설치된 각 센서 위치

3-2) 향온향습 시스템의 설정환경

케이지 아래쪽에 위치한 계분처리용 벨트는 약 6시간 간격으로 작동을 시켜서 분진과 가스의 주 발원지인 계분을 정기적으로 처리하고자 노력하였다. 향온향습장치 이용의 목적은 내부공기를 순환하여 에너지의 비용을 절약하고 또한 안정된 환경조건을 유지하고자 함이다. 이 때 가장 큰 문제는 인큐베이터내에서 발생하는 가스나 분진 등 오염물질의 증가인데, 이를 극복하고자 내부 공기의 순환 시 외부공기가 50%씩 혼합되도록 하였다. 향온향습 시스템의 환기량은 분당 인큐베이터 내부 부피가 0.5 교체되도록 설정하였다. 입추초기의 온도와 습도는 33℃와 75%로 각각 설정하였으며, 출하 때인 7일령에서는 각각 30℃와 70%가 되도록 설정하였다. 향온향습시스템의 이용으로 동절기에 찬 공기가 곧장 인큐베이터 내로 유입되는 것이 아니기 때문에 입기구로부터 계군까지의 거리는 크게 고려하지 않았다.

제 3절. Results and discussions

1) 환기구조 적정설계

각 구멍에서 측정된 공기 유속은 다음 그림 8에서 보여주고 있다. 그림 8에서 보여주듯이, 오른쪽 열과 왼쪽에서 길이방향으로 매우 균일한 풍속을 보여주고 있다. 각각의 평균값은 13.3m/s과 13.5m/s이고, 각각의 표준편차는 0.26과 0.33을 보여주었다. 이는 길이방향으로 입기용 덕트내에서 매우 균일한 압력이 형성되었던 것으로 판단되며, 길이방향으로 계군에 균일하게 신선한 공기를 공급할 수 있음을 의미한다. 최대 송풍량의 50%를 유지하였을 때 구멍에서의 길이별 공기유속 분포도 그림 8에서 보여주듯이, 매우 균일한 것으로 나타났다. 풍하측으로 갈수록 공기유속은 약간 줄어들지만, 풍상측과 풍하측간에 큰 차이는 보이지 않는 것으로 판단된다.

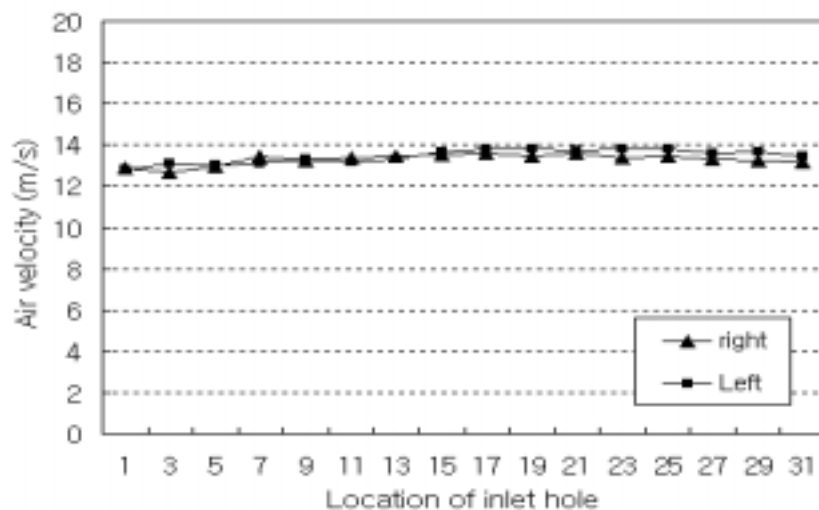


그림 8. 향온향습시스템으로부터 길이방향으로 입기용 덕트밑에 설치된 구멍에서의 공기유속 균일성

케이지 뒤쪽에 수직으로 설치된 주 배기관에 설치된 높이별 슬릿의 크기를 조정하는 것이 공간상 접근 및 작업이 용이하지 않아서 풍하측 슬릿의 크기를 고정하였다. 케이지 5단에 설치된 풍하측 배기용 슬릿의 크기를 위에서부터 각각 5cm, 6cm, 7cm, 8cm, 그리고 10cm로 고정을 하였다. 동시에 각 케이지별로 균일하게 신선한 공기를 공급하기 위하여 우선 풍상측 입기용 슬릿의 크기를 조정하기로 하였다. 첫 번째 측정을 위하여 풍상측 입기용 슬릿의 크기를 위로부터 모두 7cm로 고정을 하였다.

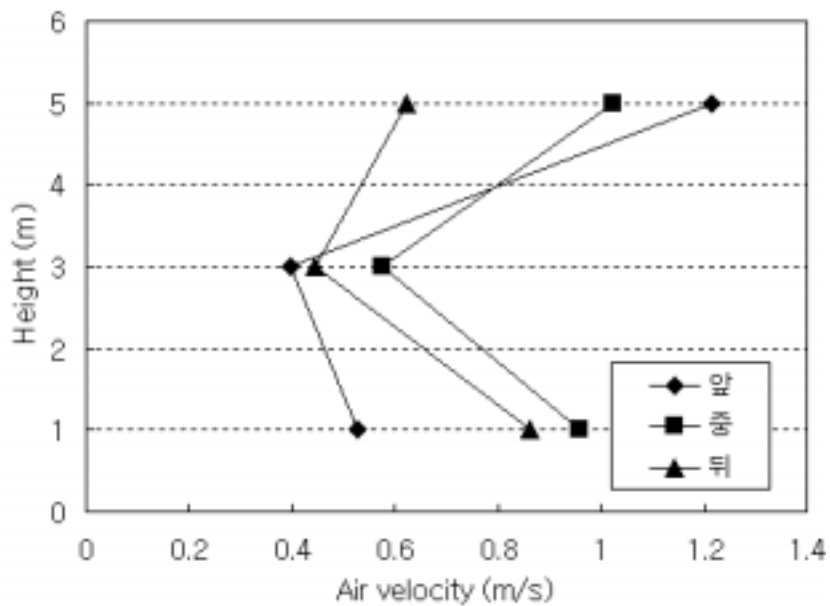


그림 9. 풍상측 입기용 슬릿에서 각 높이별 및 길이별 풍량 (m^3/s)

그림 9에서 보여주듯이, 첫 번째 입기구의 열린 크기의 배열에 따라서 높이별로 그리고 길이별로 큰 편차가 발생하는 것을 알 수 있었다. 대체적으로 길이방향으로 중간지역에 가장 높은 풍량을 보여주었으며, 그 다음으로 풍하측이 높게 나타났다. 이는 입기용 주덕트에 있는 구멍을 통하여 덕트내 바람방향에 의하여 수직으로 바람이 내려오는 것이 아니라 풍하측으로 비스듬이 불기 때문인 것으로 판단되었다. 이의 보완을 위하여 덕트 바로 아래에 규칙적으로 방풍판을 대각선으로 설치하여야 할 것으로 판단되었다. 입기용 슬릿에서의 수직적 풍량 분포를 보면, 상단부와 하단부에 비하여 중간부분이 풍량이 낮게 나타났다. 이는 입기용 주덕트에 설치된 구멍들의 위치가 각 높이별 슬릿에서의 풍량에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이러한 구멍의 위치에 영향을 최소화하기 위하여 구멍들이 설치된 주 덕트 아래에 스크린을 설치하는 것이 고려되었다. 이는 빠르게 분사되어 들어오는 공기기류를 분산시켜서 구멍의 위치에 대한 영향을 최소화할 수 있을 것으로 판단되었다.

이의 보완을 위하여 공기투과율이 60-70%가 되도록 스크린망을 2겹으로 덕트 밑 30cm 아래에 설치하였다 (그림 10). 또한 길이방향으로 균일한 공기흐름을 유도하기 위하여 그림 11에서 보여 주는 것과 같이, 높이별 폭이 30cm인 방풍판을 길이방향으로 총 4군데에 균일하게 설치하였다. 높이별 설치위치는 스크린망 바로 아래에 설치하였다.



그림 10 입기용 덕트 아래에 설치된 스크린



그림 11 입기용 덕트 아래에 설치된 망충벽

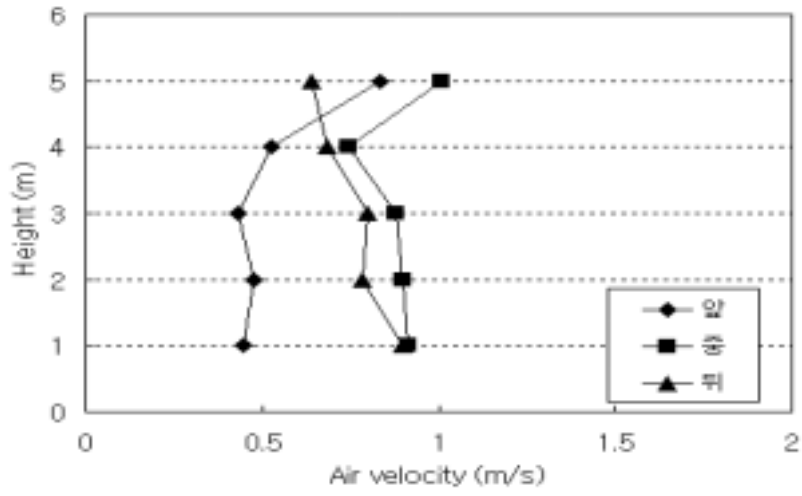


그림 12. 풍상측 입기용 슬릿에서 각 높이별 및 길이별 풍량 (m^3/s)

그림 12에서 보여주듯이, 스크린 망 및 방풍판의 설치로 인하여 크게 향상된 것을 알 수 있었다. 단지 높이별로는 풍상측과 중앙부에서 최상단부에서 하단부들에 비하여 풍량이 높게 나타난 것을 알 수 있었다. 풍하측에서는 오히려 상단부에서 풍량이 적게 나온 것을 보면, 최상단부에 있는 풍상측 입기용 슬릿이 입기구 구멍에 가까이 있는 것이 원인인 것으로 판단되었다. 이를 극복하기 위하여 스크린 망 한겹을 더 추가로 설치하였다. 또한 풍상측에서 중앙부와 풍하측에 비하여 풍량이 상대적으로 적게 나왔다. 이는 입기구용 구멍으로부터 공기가 대각선 방향으로 부는 현상 때문인 것으로 판단되었다. 이를 극복하기 위하여 입기용 덕트의 풍상측에 각 열당 3개의 구멍을 추가로 설치하여 풍상측에 더욱 많은 공기가 유입될 수 있도록 하였다. 이러한 노력으로 그림 13에서 보여주듯이 다음과 같은 결과가 나타났다.

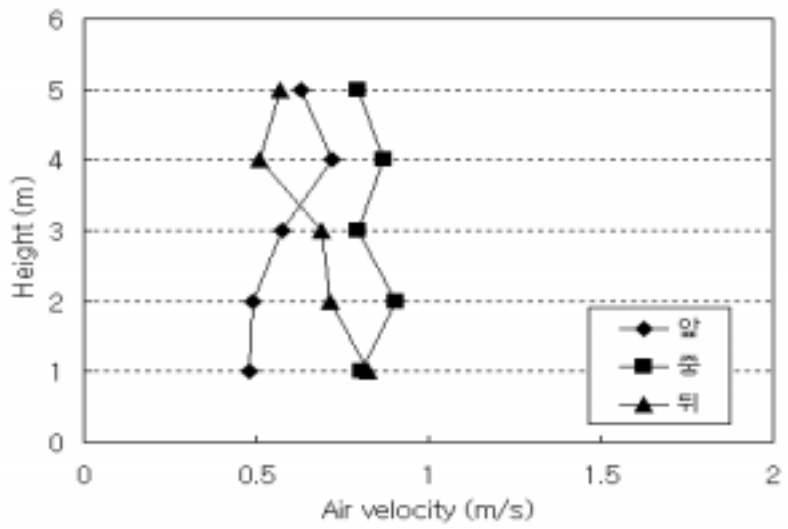


그림 13. 풍상측 입기용 슬릿에서 각 높이별 및 길이별 풍량 (m^3/s)

그림 14에서 보여 주는 성향과 같이, 최종적으로 길이별 및 높이별 풍량의 균일성을 많이 향상시킬 수 있었다. 하지만, 여전히 하단부에서는 균일한 풍량을 설계하는 것이 매우 어려웠다. 공기유동학적 시뮬레이션과는 달리, 내부 공기유동장에 영향을 줄 수 있는 요소들이 많이 있었다. 케이지에서의 바닥재 스크린이나 측벽 등에 규칙적으로 돌출되어 있는 H 빔 구조, 맨 하단 케이지 밑에 형성되어 있는 공간 등이 환기구조 설계에 큰 제약으로 추측되었다.

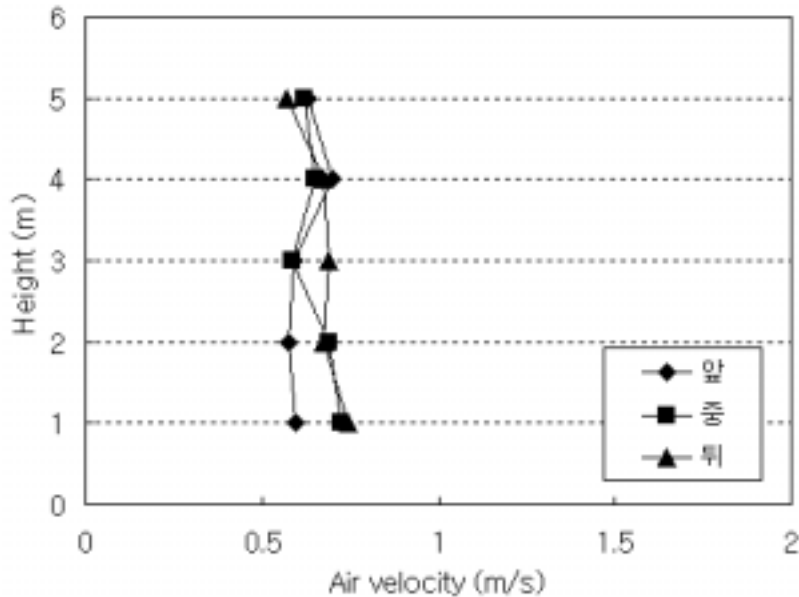


그림 14. 풍상측 입기용 슬릿에서 각 높이별 및 길이별 풍량 (m³/s)

단지 이번 연구를 통하여 개선되어야 할 사항으로는 계군에서의 풍속이 권장치에 비하여 높게 나타났다는 것이다. 일반적으로 계군에서의 풍속이 0.8-1.0m/s으로 나타났는데, 이는 병아리에게 스트레스를 줄 수 있을 것으로 판단된다. 현재 항온항습시스템의 풍량은 하절기 최대환기량인 분당 1 volume exchange보다 크기 때문에, 적정환기량 혹은 그 이하로 유지한다면 해결되는 것으로 판단된다. 성계가 아닌 7일령 병아리들을 사육하므로 이들이 성계와 같이 가스, 분진, 열 등을 배출하지 않기 때문에 성계에 맞춰서 환기량을 설계하는 것은 옳지 않다고 판단된다. 또한 고가의 항온항습 시스템을 적용하였기 때문에 환기량은 대폭 낮추어도 큰 문제가 발생하지 않으리라 판단된다. 단지 에너지 비용의 절감을 위하여 최대 환기량을 유지하는 것은 바람직하지 않다고 판단된다.

2) 현장 적응성 실험

2-1) 온도분포

대체적으로 케이지의 사육공간의 온도 균일성이 매우 우수하였던 것으로 나타났다. 표 1에서 보여주듯이, C-1, C-2, C-3, 그리고 C-4에서의 사육기간동안의 평균온도는 32.1℃,

32.1℃, 32.6℃, 그리고 32.5℃ 로 나타나서, 평균온도의 최대 온도차는 0.4℃이었다. 사육기간동안 케이지에서의 온도분포는 평균 0.68℃이었으며 최대 온도차는 1.66℃이었다. 하지만, 설정된 온도가 33℃부터 30℃로 변하도록 항온항습시스템이 설계되었는데, 케이지내에서의 온도는 사육기간동안 차이가 발생하였다. 사육기간 중반까지는 설정값에 동일하게 되었었지만, 중반 이후에는 설정값보다 약간 높게 나타났다. 이의 가장 큰 원인은 항온항습 시스템과 연결된 온도센서가 케이지 내에 위치한 것이 아니라 통로 중앙 상단에 설치되었기 때문인 것으로 판단된다. 초생추 인큐베이터내에 공기가 최초로 유입되는 통로에서의 온도에 비하여 배기구 앞에 설치된 케이지에서의 온도는 병아리의 발열량 등으로 인하여 온도가 약간 높게 나타났기 때문이다. 이 인큐베이터가 실용화되기 위해서는 항온항습시스템의 온도 감지센서의 위치가 매우 중요하다는 것을 보여주고 있다. 이 시스템의 주요 환경조절대상은 케이지 안에 있는 병아리이기 때문에 감지센서는 통로보다는 케이지내에 설치되어야 하며, 또한 가능하다면 다점 센서를 설치하는 것이 바람직하다고 판단된다.

그림 15에서는 5월 26일 낮 기간동안 온도가 높아진 것을 알 수 있다. 이는 항온항습시스템의 오작동으로 인하여 상승하는 외기온도에 따라서 내부 온도도 동반 상승하였다. 다행히 시스템의 문제점을 빨리 파악하고 수리하여 크게 온도가 상승하는 것은 방지할 수 있었지만 후반기에 잦은 문제점을 노출하였다. 이 시스템의 상용화를 위하여는 항온항습 시스템의 성능과 질을 더욱 향상시키는 것이 필요하다.

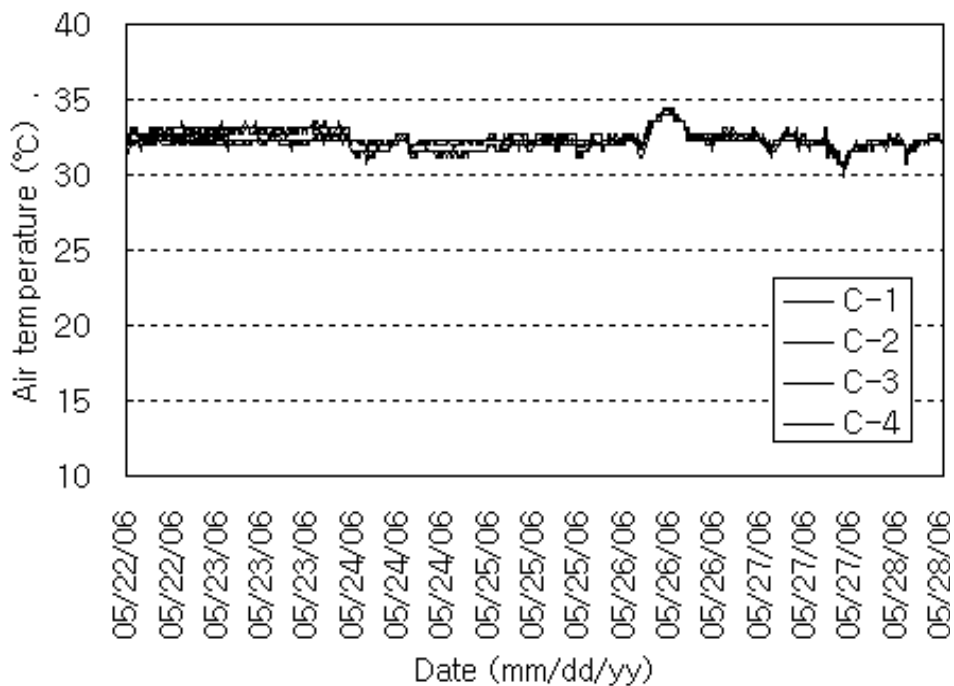


그림 15 사육기간동안 각 케이지 위치별 온도분포

표 1. 사육기간동안 각 케이지 위치별 온도분포

	C-1	C-2	C-3	C-4	ave.
ave.	32.1	32.1	32.6	32.5	32.3
max.	34.4	34.4	34.4	34.4	34.4
min.	30.3	30.3	29.9	30.7	30.3

통로에 설치된 온도는 길이방향으로 평균 0.5℃의 편차가 나타났으며, 출입문이 설치된 쪽에 온도가 조금 낮게 나타났다. 이는 연구자들이 자주 출입문을 사용하고 또한 환경조절 구역 내에 출입을 하였기 때문에 이러한 현상이 발생한 것으로 판단된다. 또한 길이방향으로 출입문과 반대쪽의 부분이 남쪽을 향하고 있었기 때문에 태양 복사에너지의 영향을 더 많이 받은 것으로 판단된다.

인큐베이터의 길이별 양쪽 작업공간에서는 환경조절이 별도로 이루어지지 않았는데, 환경조절구간에 비하여 외부의 온도변화에 더 많은 영향을 받는 것을 보여주고 있다. 인큐베이터 내에 남쪽에 위치한 작업공간에서 복사에너지의 영향으로 온도가 약간 더 높게 나타난 것을 알 수 있다.

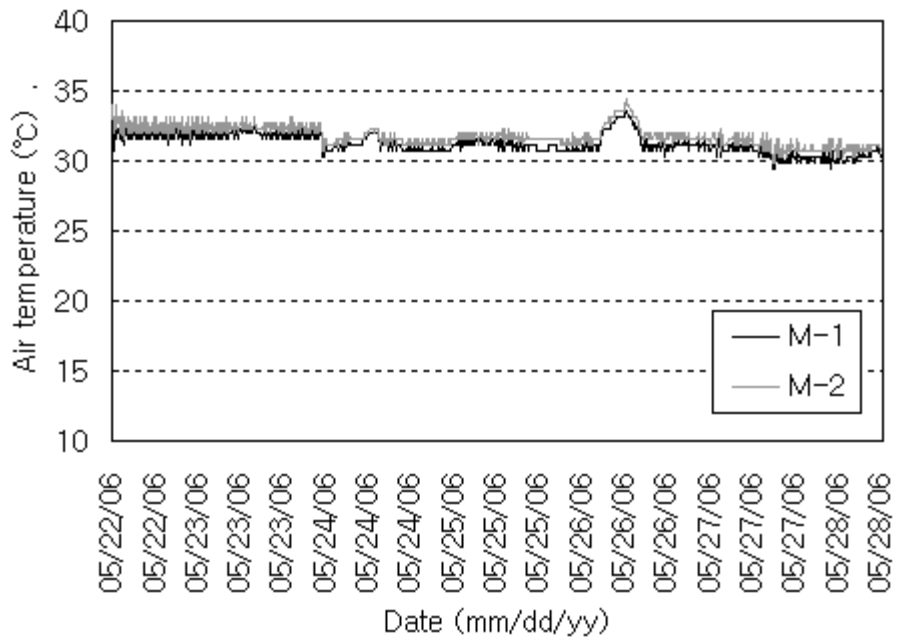


그림 16 사육기간동안 중앙통로내에서의 위치별 온도분포

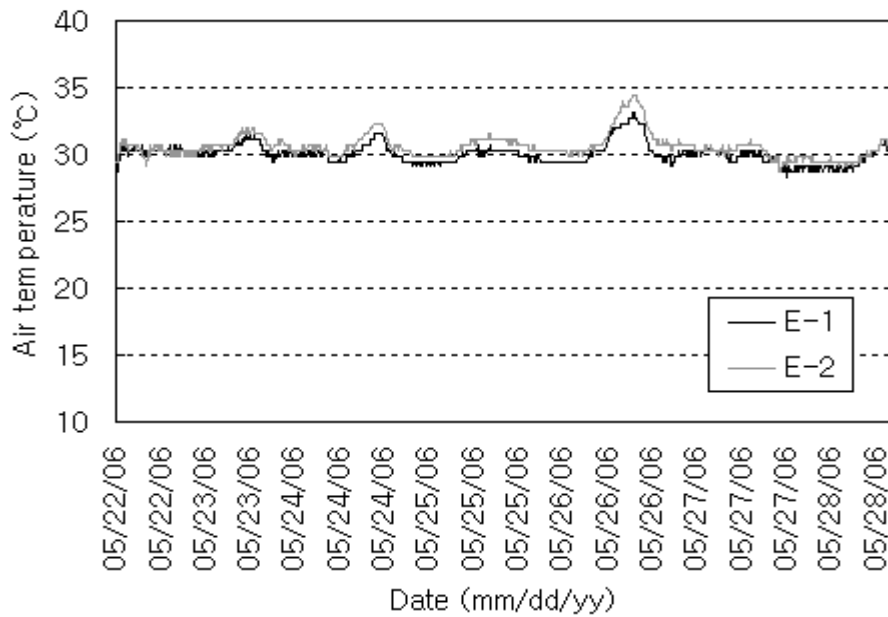


그림 17 사육기간동안 각 작업공간에서의 온도

그림 18에서는 사육기간동안 사육공간 (C), 통로 (M), 작업공간 (E), 그리고 외부 (O)에서의 평균온도의 변화를 잘 보여주고 있다. 외부의 낮과 밤에 다른 온도의 큰 변화에 잘 대처하고 있는 것을 알 수 있다. 인큐베이터의 양쪽 끝단에 위치한 작업공간에서의 평균온도가 환경조절이 수행되고 있는 사육공간과 통로에서보다 온도가 더 낮은 것을 알 수 있다. 또한 외부의 기상변화에 더 큰 영향을 받는 것을 보여주고 있다.

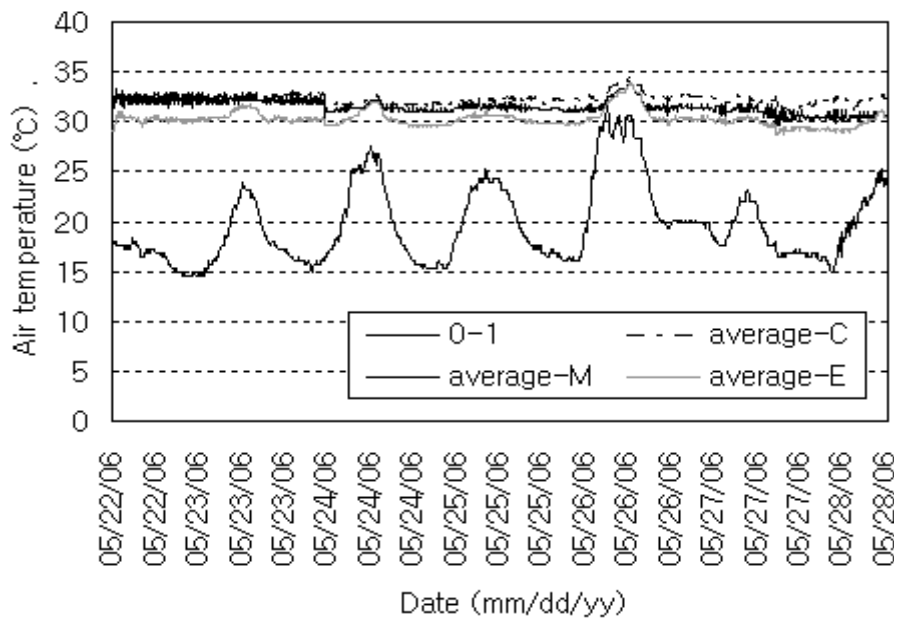


그림 18 사육기간동안 사육공간 (C), 통로 (M), 작업공간 (E), 그리고 외부 (O)에서의 평균온도 비교

2-2) 습도분포

항온항습시스템을 입추초기에 75%로 습도를 설정하였고 실험 마지막날인 7일째에는 70%가 되도록 설계하였다. 사육 후반부에서는 앞에서도 언급하였듯이, 항온항습 시스템의 오류가 발생하여 습도조절에 큰 어려움이 있었다. 사육 중반까지는 습도조절이 설정한 값에 따라서 양호하게 나타나고 있다. 상단 3곳에서는 습도분포는 매우 균일하게 나타났다. 그러나 가장 하단부에 있는 케이지에서는 상대적으로 낮게 나타난 것을 알 수 있다. 표 2에서 보여주듯이, C-1, C-2, C-3, 그리고 C-4에서 온도분포는 C-4를 제외하고 매우 균일한 것을 알 수 있다. 평균값은 각각 71.3%, 71.5%, 72.1%, 그리고 68.2%로 나타났다. 이는 C-1, C-2, 그리고 C-3에서의 상대습도에 비하여 C-4에서는 각각 3.1%, 3.3%, 그리고 3.9% 차이를 보여주고 있다. 이의 가장 큰 이유로는 바닥면에 가까운 지역이 상대적으로 습도가 낮은 것으로 나타났으며, 이는 휴대용 센서에 의해서도 감지되었다. 추후 바닥면에 가까이 위치한 케이지에서의 습도조절을 위한 추가적인 조치가 필요한 것으로 판단된다.

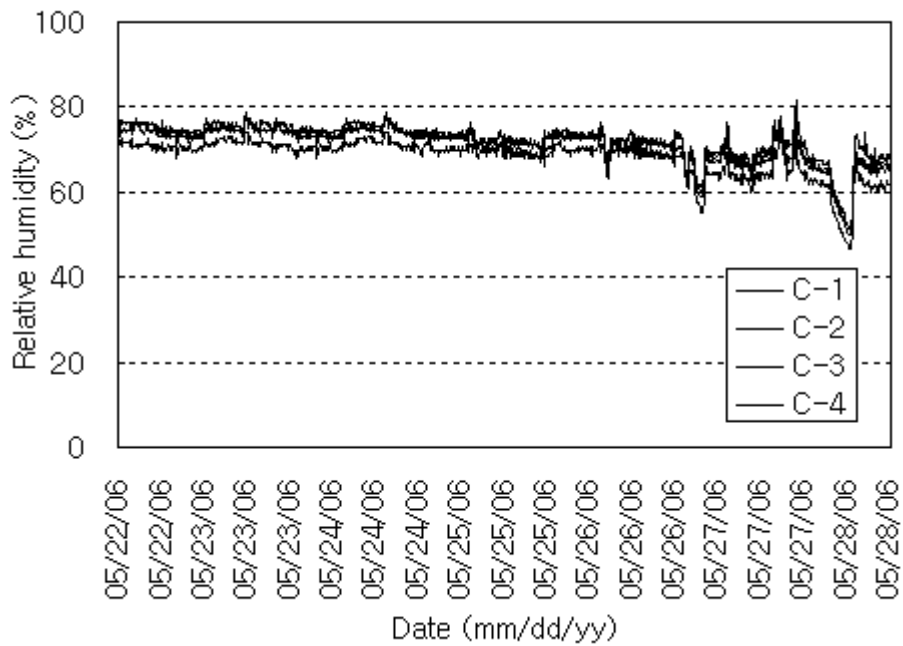


그림 19 사육기간동안 각 케이지 위치별 상대습도분포

표 2. 사육기간동안 각 케이지 위치별 상대습도분포

	C-1	C-2	C-3	C-4	ave.
ave.	71.3	71.5	72.1	68.2	70.8
max.	78.5	77.9	81.5	75.4	78.3
min.	49.9	51.1	51.2	46.8	49.8

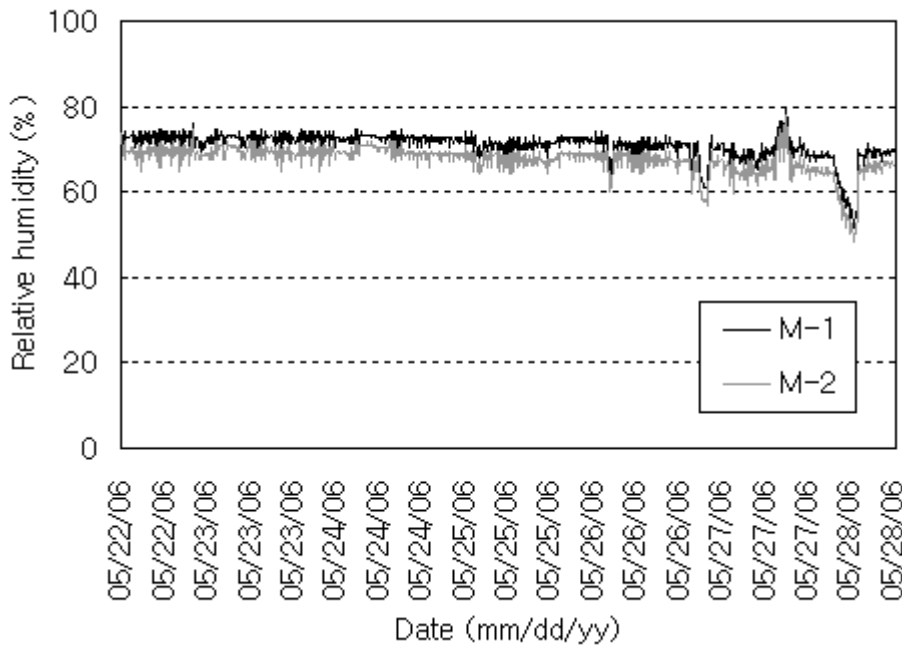


그림 20 사육기간동안 중앙통로내에서의 위치별 상대습도분포

그림 20에서는 출입구쪽 통로에서 반대쪽보다 더 낮은 온도가 나타났었는데 반하여, 상대 습도에서는 출입구쪽이 더 높게 나타났다. 사육기간동안 평균 상대습도를 비교하여 본 결과, 통로에서 출입구쪽 상대습도가 평균 3.2%가 높았던 것으로 나타났다. 이의 가장 큰 원 인으로는 항온항습 시스템의 물탱크가 출입문쪽 작업공간에 위치하고 있었으며, 이 탱크의 뚜껑은 항상 개방된 상태이었기 때문인 것으로 판단된다. 또한 매 사료 공급 시 사료와 물 을 혼합하기 위하여 급이기용 물통이 항상 작업실에 놓여 있었다. 그림 21에서는 각 작업공 간에서의 상대습도 변화를 보여주고 있는데, 이 결과도 출입문쪽 작업공간에서의 상대습도 가 더 높게 보여주고 있다. 평균값의 편차는 4.2% 인 것으로 나타났다.

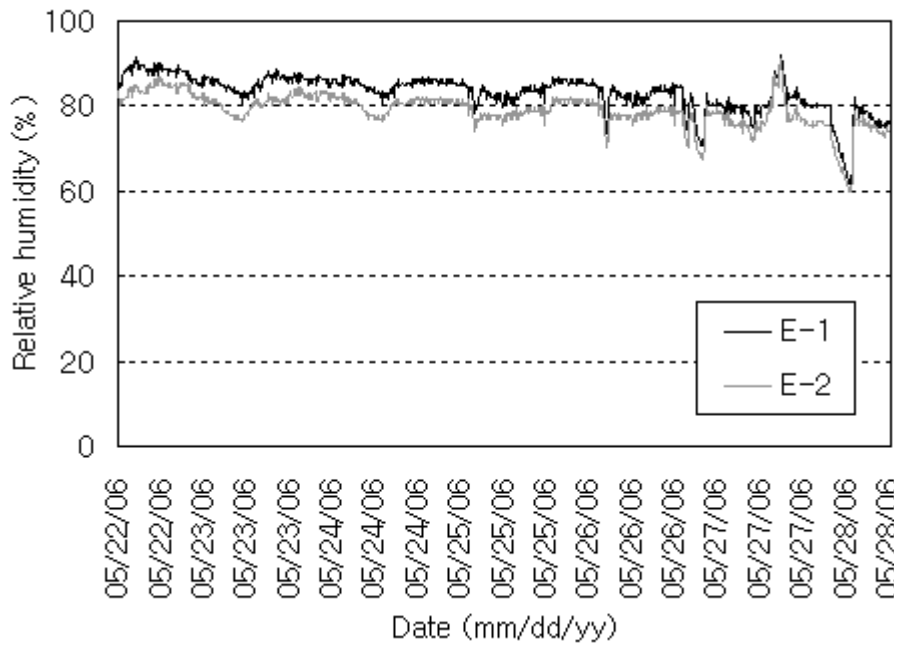


그림 21 사육기간동안 각 작업공간에서의 상대습도

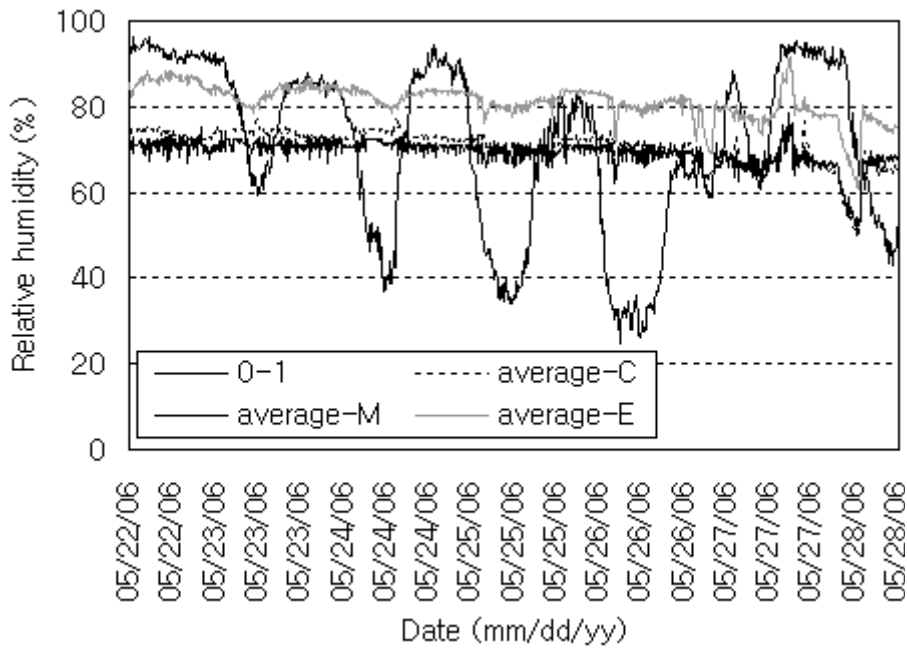


그림 22 사육기간동안 사육공간 (C), 통로 (M), 작업공간 (E), 그리고 외부 (O)에서의 평균 상대습도 비교

그림 22에서는 사육기간동안 사육공간 (C), 통로 (M), 작업공간 (E), 그리고 외부 (O)에서

의 평균상대습도의 변화를 잘 보여주고 있다. 외부의 낮과 밤에 따른 외부 상대습도의 큰 변화에 잘 대처하고 있는 것을 알 수 있다. 외부의 상대습도는 밤에는 상대적으로 많이 상승하고, 반면에 낮에는 급감하는 것을 알 수 있다. 그러나 사육초기와 후반부에서는 비가 온 관계로 매우 불안정한 외기의 상대습도 변화를 나타내고 있다. 인큐베이터의 양쪽 끝단에 위치한 작업공간에서의 평균상대습도가 환경조절이 수행되고 있는 사육공간과 통로에서 보다 외부 기상조건에 더 민감하게 반응하는 것을 알 수 있다. 사육 마지막날인 28일 이른 오전에 초생추 인큐베이터내의 상대습도가 60% 미만으로 감소하였다가 갑자기 상승한 것을 알 수 있다. 이는 작업자 및 연구자들이 출입을 하지 않던 이른 새벽에 향온향습시스템의 오작동으로 인하여 상대습도가 급감하다가 오전 6시경에 발견되었다. 긴급한 시스템 복구 작업을 통하여 빠른 시간내에 설정 상대습도로 맞추어 간 것을 알 수 있다. 케이지내, 통로, 그리고 작업공간에서의 평균 상대습도는 각각 70.8%, 69.2%, 그리고 81.1%인 것으로 나타났다. 이는 작업공간에서의 상대습도가 매우 높았던 것으로 나타났으며, 반면에 환경조절 공간에서 상대습도 조절이 매우 효과적으로 이루어졌음을 보여주고 있다.

2-3) 분진 및 암모니아 가스

분진량과 암모니아 가스농도는 실시간으로 측정하는 것이 불가능하여, 각각 2일째, 4일째, 그리고 7일째 측정을 하였다. 각 케이지내 위치에서 3번의 반복적 측정을 실행하였다. 2일째와 3일째 측정값의 결과는 이번 연구에서 사용된 계측센서로 감지되지 않을 정도로 분진량 뿐만 아니라 암모니아 값도 낮았던 것으로 나타났다. 7일째 측정을 시도한 결과 암모니아 농도는 3곳 모두 1ppm인 것으로 나타났다. 반면에 분진량은 여전히 0인 것으로 나타났다. 이의 가장 큰 이유로는 신선한 공기가 환기 시 50% 씩 새로 공급되도록 시스템을 운용하였으며, 또한 계분처리용 벨트를 정기적으로 운용하여 케이지로부터의 계분과 사료 찌꺼기들을 처리하였기 때문인 것으로 판단된다.

2-4) 폐사율, 증체량, 및 사료효율성

1. 물의 역할

물은 가축에 있어서 가장 중요한 영양성분중의 하나이다. 초생추 체성분의 85%가 물로 되어 있으며 지방의 98%, 체조직 단백질의 50%를 잃어도 생존할 수 있지만 탈수가 10%가 되면 생리적 타격을 입고 20%가 탈수되면 폐사한다. 가축별 음수량은 평상온도에서 사료섭취량의 2배 정도이며 품종, 주령, 생산성, 증체율 등에 따라 달라진다.

물은 가축의 체내에서 하는 역할은 채식한 사료를 체내 소화기관에 운반하고 혈액의 중요한 구성성분으로써 영양분을 각 기관에 운반하며 채식한 사료의 영양분 흡수를 돕는다. 또한 물은 고기나 계란을 생산하는데 있어서 많은 생화학적 반응에 관여한다. 또한 초생추의 체내에서 생성되는 분뇨와 같은 노폐물이나 독성물질을 몸 밖으로 배출시키는데 중요한 역할을 하고 뼈와 같은 관절부를 원활하게 해주는데 관여를 해주며 체온을 정상적으로 유지하는데 필요하다. 특히 고온환경에서 매우 중요하다.

2. 초생추의 일령별 음수량

초생추의 음수량은 일령과 밀접한 관계가 있다. 육성기 중에는 체중의 증가와 사료섭취량의 증가와 더불어 음수량이 증가한다.

표 4. 일령별 1수당 증체량에 따른 음수량 및 사료 섭취량

일령	증체량(g)	음수량(g)	사료섭취량(g)	음수량/사료섭취량	비고(영양제 섭취량)
22(1/2)	0	24	4	6	0
23		48	12	4	0
24	19.7	54	30	1.8	0.075
25		54	48	1.125	0.15
26	37.8	54	48	1.125	0.225
27		36	16	2.25	0.025
28(1/2)	30.1	18	16	1.125	0.025

<육계의 주령별 음수량(21.1℃)>

주령별	체중(g)	사료섭취량(g/일)	사료요구율	음수량(ml/일)	음수/사료
1	127	15	0.85	30	2.00
2	281	30	1.38	53	1.77
3	503	54	1.71	87	1.61
4	770	74	1.93	117	1.58
6	1069	90	2.11	147	1.63
6	1386	102	2.26	174	1.71
7	1721	115	2.40	204	1.77
8	2043	117	2.54	224	1.94

일반적으로 육계의 음수량은 “육계의 주령별 음수량”표에서 보는 바와 같으며 육계의 경우 급격한 체중의 증가와 더불어 사료섭취량과 음수량도 급격하게 증가하지만 사료섭취량 대비 음수량은 1주령시 2.00으로 가장 높고 주령이 증가할수록 감소하다가 다시 증가하는 것을 볼 수 있다.

음수량은 닭의 일령과 밀접한 관계가 있으며 발육기에는 체중의 증가와 음수량의 증가에 비례하여 음수량이 더 크게 증가하다가 서서히 감소하는 것을 볼 수 있으며 이는 육성기에 좋은 물을 충분히 급수해 주어야 한다는 것을 의미한다.

<일반적인 환경온도에 따른 사료와 물 섭취량>

구분	32.2℃	37.8℃
1일 수당 사료섭취량(g)		
1주	15.2	15.1
사료요구율		
1주	0.86	0.87
체중(kg)		
1주	0.122	0.117
사료섭취량 대비 음수량		
1주	2.10	2.30
1일 1000수당 음수량(ℓ)		
1주	34.2	34.2

자료: 鷄의 研究 제70권 제10호(1995)

표 5. 실험결과 환경온도에 따른 사료와 물 섭취량

구분	35℃	34℃	33℃	32℃			
<1일 음수량(g)>							
22일	24						
23일		48					
24일			54				
25일				54			
26일					54		
27일						36	
28일							18
<1일 사료섭취량(g)>							
22일	4						
23일		12					
24일			30				
25일				48			
26일					48		
27일						16	
28일							16
<사료섭취량 대비 음수량>							
22일	6						
23일		4					
24일			1.8				
25일				1.125			
26일					1.125		
27일						2.25	
28일							1.125
<사료효율(%)>							
22일	2.29						
23일		6.89					
24일			17.24				
25일				27.58			

28일							1.125
<사료효율(%)>							
22일	2.29						
23일		6.89					
24일			17.24				
25일				27.58			
26일					27.58		
27일						9.19	
28일							9.19

최초무게보다 87.68g 증가 하였다.

총 케이지 개수가 50개이므로 2500마리의 초생추가 들어갔다. 실험한 케이지 네 곳의 초생추가 200마리 중 1마리가 죽었으며 실제로 실험결과 전체케이지 50개의 초생추 2500마리 중 12마리가 죽었다.

따라서 사망률은 0.48%, ≒0.5%이다.

C-1	1330	C-2	1223	C-3	1270	C-4	1320
	1335		1290		1190		1335
	1284		1260		1250		1230
	1337		1320		1193		1228
	1308		1170		1305		1198
10마리 평균	1318.8	10마리 평균	1252.6	10마리 평균	1241.6	10마리 평균	1262.2
한 마리 평균	131.88	한 마리 평균	125.26	한 마리 평균	124.16	한 마리 평균	126.22
전체 평균				126.88			

표 7. 초생추 무게

<실험결과 - 케이지 C-1,C-2,C-3,C-4 전체량>

<무창계사 사육성적>

구분	출하일령	체중(g)	폐사율(%)
무창계사	7	126.88	0.5

참고자료 및 문헌

- ASHRAE Handbook of Fundamentals. 1981. American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers. Atlanta, Georgia
- Brown Brandl, T.M., Beck, M.M., Schulte, D.D., Parkhurst, A.M., and DeShazer, J.A. 1997. Temperature humidity index for growing tom turkeys. Transactions of the ASAE, 40(1), 203-209
- Bruce, M. 1981. Ventilation and temperature control criteria for pigs. In: Clark, J.A. Environmental aspects of housing for animal production. Butterworths, London 197-216
- Choiniere, Y., B. Marquis, and G. Gingras. 1997. indoor air quality with and/or without pit ventilation in a early weaning pig barn. Proceedings of the fifth international symposium of livestock environment, Minnesota, 2:866-874
- Choudhury, D.. 1995. Introduction to the Renormalization Group Method and Turbulence Modeling. Technical Memorandum TM-107, Fluent Inc., Lebanon, NH.
- Cook, N. 1997b. The designer's guide to wind loading of building structures part 2, Butterworths Co., UK
- Fluent manual. 2002. The Manual of Computational Fluid Dynamics, Version 5.5, Lebanon, NH
- Han, H. 1999. 환기효율의 정의에 관하여. 공기조화냉동공학회 28(1):38-47, Republic of Korea
- Han, H., S. Choi, and K. Jang. 2001. Distribution of local supply and exhaust effectiveness according to the room airflow patterns. Korean Journal of air conditioning and refrigeration engineering, 13(9):853-859
- Health and Safety Executive. 1992. Occupational exposure limits. Environmental Hygiene 40/92, HMSO, London
- Khankari, K., K. Karki, S. Patankar, and K. Janni. 1997. Computational analysis of ceiling inlet ventilation systems for livestock buildings. Proceedings of the fifth international symposium of livestock environment, Minnesota, 1:32-39
- Lauder, B. E. and D. B. Spalding. 1974. The numerical computation of turbulent flows. Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 3:269-289
- Lee, In Bok, B. Yu, J. Yun, J. Chun, K. Kim, and H. Cho., 2002a. Study of livestock housing ventilation by aerodynamic approach. Proceeding of The Korean Society of Livestock Housing and Environment, 51-58
- Lee, I., B. Yu, J. Yun, Chun, K. Kim, and H. Cho. 2002b. Optimum design of forced ventilation system of piglet house using computer simulation. ASAE Paper No. 024109. St. Joseph, Mich.: ASA
- Lee, I., C. Kang, J. Yun, J. Jeun, and K. Kim. 2004. Study of aerodynamics in agriculture modern technologies, cigr-ejournal.tamu.edu
- Statistical Survey of Livestock Industry. 2004. NAPQMS (National Agricultural Product Quality Management Service), Korea.

- Reece, N and B. Lott. 1982. Heat and moisture production of broiler chickens during brooding. *Poultry Science*, 61:661-666
- Sandberg, M. and Sjoberg, M. 1983. The use of moments for assessing air quality in ventilated rooms. *Building and Environment*, 18(4):181-197
- Sandberg, M. 1992. Ventilation effectiveness and purging flow rate - A review. *Proceeding of International Symposium on Room Air Convection and Ventilation Effectiveness*, pp17-27.
- Simiu, E. and Scanlan. 1996. *Wind effects on structures*. John Wiley & Sons.
- Wathes, C. and D. Charles. 1994. *Livestock Housing*, Cab International, Wallingford, United Kingdom
- Xin, H., DeShazer, J.M., and Beck, M.M. 1992. Responses of prefasted growing turkeys to acute heat exposure. *Transactions of the ASAE*, 35(1), 315-318
- 기계공학편람사전. 1999. B8편 열교환기, 공기조절, 및 냉동, 한국사전연구소
- 유재석. 1999. 일령별 육계 사양관리. (주)현축
- 축산·특작. 2001. 농촌진흥청, 발간등록번호 11-1390000-000948-10
- Gill, C.O., T. Jones, D.I. LeBlanc, K. Rahn, S. Campbell, R.A. Holley, R.Stark, and A. Houde. 2001. Temperatures and ages of packs of beef displayed at stores in Canada. *Food Research Int.* (in press)
- Gill, C.O., T. Jones, D.I. LeBlanc, K. Rahn, S. Campbell, R.A. Holley, R.Stark, and A. Houde. 2001. Temperatures and ages of boxed beef packed and distributed in Canada. *Meat Science* (in press)
- Tewari, G., D.S. Jayas, L.E. Jeremiah, and R.A. Holley. 2001. Prevention of transient discoloration of beef. *J. Food Sci.* 66: 506-510.
- Han, J.H. and J.D. Floros. 1997. Casting antimicrobial packaging films and measuring their physical properties and antimicrobial activity. *Journal of Plastic Film & Sheeting*. 13: 287-298.
- Han, J.H. 1997. Active packaging and controlled release antimicrobial packaging. *Food Eng. Progress*. 1(1): 71-80.
- Johnson, W.H. and F.J.Hassler. Steady-state thermodynamics : a methodology for agricultural process engineering. *Trans. ASAE* 11(1): 68 - 73, 1969.
- Blsir, R. M. and L.E. Brunett, 1980. Seasonal browse selection by deer in a southern pine-hardwood habitat. *J. Wildl. Manag.* 44: 79-88.
- 대한민국 특허 제 91-2270호
- 대한민국 실용신안 제 93-1711호

주 의

1. 이 보고서는 농림부에서 시행한 농림기술개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 농림부에서 시행한 농림기술개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.