

최    증  
연구보고서

양파의 산지물류비 절감을 위한 자동 저장고입고  
시스템 개발

Development of a Post-harvest Bulk Handling System  
for Onions

주관연구기관명  
부 산 대 학 교

농 립 수 산 식 품 부

# 제 출 문

농림수산식품부 장관 귀하

이 보고서를 “양파의 산지물류비 절감을 위한 자동 저장고입고시스템 개발” 과제에 관한  
보고서로 제출합니다.

2009년 7월 일

주관연구기관명 : 부산대학교

주관연구책임자 : 박 종 민

연 구 원 : 권 순 홍

연 구 원 : 김 학 진

연 구 원 : 김 기 석

연 구 원 : 차 진 훈

연 구 원 : 최 상 일

연 구 원 : 조 재 영

참여기업명 : (주)평화엔지니어링

연 구 원 : 서 석 봉

연 구 원 : 서 태 호

# 요 약 문

## I. 제 목

양파의 산지물류비 절감을 위한 자동 저장고입고시스템 개발  
(Development of a Post-harvest Bulk Handling System for Onions)

## II. 연구개발의 목적 및 필요성

현재 국내의 경우, 양파의 수확 후 관리는 대부분 포장에서부터 망작업(net packaging)을 통해 그물망포장(net package) 단위로 운반, 하역 및 저장 등이 이루어지는데, 이처럼 그물망포장 단위의 처리와 적재는 산지 하역의 효율성이 떨어질 뿐만 아니라 양파의 압상을 초래하고 저장시 부패된 양파를 선별하기 위해서는 저장고의 전체 파렛트화물을 옮겨 그물망을 풀고 선별 후 재포장해야 하는 어려움이 있다. 더구나 농촌노동력의 절대감소와 노령화, 그리고 임금의 급상승 등으로 양파 산업이 더욱 어려움에 처해있어 노동투하량이 많은 전통적인 그물망작업에서 하루빨리 벗어나야 한다. 양파의 수확 후 처리과정에서의 저비용·고효율화를 달성하기 위해서는 그물망 작업에 의하지 않고 산물(bulk) 상태로 취급되는 수확(수거), 운반, 건조(예건, curing), 저장 및 선별·포장 등의 일관작업 시스템의 확립과 산지에서 규격화된 일관작업용 상자형 파렛트(box pallet)의 사용으로 산지물류합리화를 달성해야 한다. 따라서 본 기술개발의 목적은 수확 후 양파를 산물상태로 수거하여 일관작업용 상자형 파렛트에 자동으로 담고, 강제통풍건조, 저온저장고 입고 및 저장 후 선별·포장공정으로 이어지는 일관시스템과 관련된 단위 기계장치들을 개발하려는 것이다.

## III. 연구개발 내용 및 범위

### 1. 우리나라 양파의 수확 후 산지물류여건과 기술분석

- 사용되는 파렛트 규격과 양파 적재에 대한 현장 조사연구
- 수확과 적재용기, 포장규격화, 하역기계화 및 수송 등에 대한 현황 분석과 문헌연구
- 선진외국의 수확 후 처리기술 분석과 향후 기술개발 전망

### 2. 양파의 산물처리 기계장치 개발과 관련된 산물특성 분석

- 산물상태로의 강제통풍건조를 위한 양파의 크기별 및 혼합 비율에 따른 정압강하특성 분석 및 모델링
- 산물상태로 적재된 양파층의 송풍성 향상 방안 도출을 위한 파렛트의 양파 적재방법별 송풍성 분석
- 작동표면의 성질에 따른 양파의 크기별 및 형태별 마찰특성 (마찰계수, 구름저항) 분석

### 3. 양파의 산물처리 기계장치 개발 (I) - 일관작업용 상자형 파렛트 설계

- 일관작업용 상자형 파렛트의 설계요인분석
- 상자형 파렛트의 규격, 형태 및 강도 등 상세설계
- 상자형 파렛트의 시작기 제작을 통해 온도분포, 공기유동성, 압력분포 및 물류효율 측면에서의 성능평가

### 4. 양파의 산물처리 기계장치 개발 (II) - 파렛트 산물적재이송기계장치 설계

- 산물처리 기계장치에 대한 전체 구성 및 기본설계 (개념설계, 시스템 운용설계, 시스템 제어)
- Auto-dump에 대한 기구학적 분석과 컴퓨터 시뮬레이션을 통한 작동 매카니즘과 운전조건 확립
- 산물처리 기계장치의 단위 구성요소별 상세설계 및 제작 (auto-dump, 임시적재 및 자동 공급호퍼, 투입량 자동조절장치, 경사 벨트컨베이어, 슈트, 공파렛트 자동공급장치, 파렛트 자동비움장치)
- 산물처리 기계장치의 시작기 제작을 통해 작동성, 작업효율 및 경제성 측면에서의 평가

## IV. 연구개발결과

### 1. 양파의 산물처리 기계장치 개발과 관련된 산물특성 분석

양파 적재층 및 파렛트에 양파 적재방법에 따른 압력강하와 양파가 접촉하는 작동표면의 성질에 따른 마찰특성(마찰계수와 구름저항)을 분석하였다. 산물상태로 양파 적재시 통기파이프의 설치 유무에 따라 길보기 풍속과 정압강하 측면에서 많은 차이를 보였다. 적재된 양파의 정압강하는 공급률에 큰 영향을 받았고, 길보기 풍속에 따른 단위 적재 깊이당 정압강하 모형을 개발하였다. 산물처리기계장치의 설계에 있어 반듯이 필요한 양파의 정마찰계수와 정구름저항 등이 작동표면의 성질과 양파구의 형태에 따라 분석되었다.

### 2. 양파의 산물처리 기계장치 개발 (I) - 일관작업용 상자형 파렛트 설계

양파 수확 후 산물상태로의 일관처리를 위한 산물처리 기계장치 개발에 있어 가장 기본이 되는 산물 처리용 상자형 파렛트를 설계·제작하였다. 파렛트의 적재량을 1톤으로 하였고, 파렛트의 외치수는 표준파렛트와의 정합성을 가급적 유지하면서, 저장고와 트럭 적재효율을 고려하여 길이×폭×높이=1,300×1,100mm로 하였다. 설계된 파렛트에 대한 시작기 제작을 통해 양파 적재층의 위치별 공기온도분포, 파렛트 적재면에 전달되는 압력분포와 차량 적재효율 측면에서 실증 분석하였다.

### 3. 양파의 산물처리 기계장치 개발(II) - 파렛트 산물적재 이송기계장치 설계

양파의 수확 후 산물상태로의 일관처리를 위해 산물처리 기계장치를 구성하는 여러 단위기계 장치 즉, 자동공급호퍼, 공급량 자동조절장치, 경사 벨트컨베이어, 슈트, 공파렛트 자동공급장치 및 파렛트 자동비움장치 등에 대해 이들 단위기계 혹은 상호 연계된 장치들에 대해 작동조건과 설계요인을 분석하였다. 전체시스템을 제어하기위한 전기 및 유압장치를 설계하였고, 전체 시스템에 대한 동작시험에서 1 pallet를 완성(1 ton)하는데 소요시간을 4분으로 설정시, auto-dump가 77° 회전 중에 양파 적재율은 90%였고, 이때 슈트로부터의 양파 공급률은 250 kg/min, 경사 벨트컨베이어의 속도는 9.69m/min 였다. 개발한 시스템의 1인 1일 작업능률은 8시간 기준으로 최대 86.7톤이었다. 2,000톤 경영규모에 대하여 개발된 기계장치를 도입했을 시 톤당 처리 비용이 142,095원으로 관행의 그물망 작업에 의한 처리 비용 188,350원에 비해 약 24.6% 절감되었다.

## V. 연구성과 활용계획 및 건의사항

본 연구는 2년간 수행되었으며, 그 동안 실적으로는 특허 출원 2건, 공학석사학위 2명, 학술대회논문발표 4편 등이 있었고, 개발 결과인 시작기에 대해 국내 양파 주산지인 전남 무안에서 시연회를 1회 개최하였다. 향후 개발 결과를 국내·외 저명 학술지에 3~4 편의 논문을 게재할 계획이며, 가까운 시일내에 개발 참여업체에 기술이전을 통해 현장보급방안을 구체화 할 계획이다. 개발 결과물의 현장 보급에 있어 가장 큰 문제점으로 대두되고 있는 점은 본 시스템의 도입시 초기 투자비용의 대부분을 차지하는 파렛트의 공급단가로, 이를 설계상으로 수용하는데는 한계가 있으므로, 정부에서 실시하고 있는 물류표준설비인증 사업의 인증품목중 상자형 파렛트 (LS A 02167) 규격에 1,300×1,100mm을 삽입하는 문제를 적극 검토되어야 한다. 즉, 농산물의 산지물류 여건(특히, 저장작목)과 일반 물류와의 연계성을 고려해 표준파렛트 규격인 1,100×1,100mm와 한쪽 면이 정합성이 있는 규격(예, 1,300×1,100)을 물류표준설비의 표준규격으로 인정하는 방향으로 규정 개정의 절실히 요구된다.

# SUMMARY

## I. Title

Development of a Post-harvest Bulk Handling System for Onions

## II. Objectives and Necessity of Research

The post-harvest practices for onions in Korea, i.e., carrying, material handling, and storage, have been accomplished mainly based upon net packaging, such as 20 kgf-net bags or sacks. However, such a net packaging-based handling system may result in a decreased efficiency in the operation of loading and unloading and an increased risk of compression damage. In addition, there is a difficulty in removing the bulbs decayed during storage, since it is necessary to individually unpack onion bags contained in the bulk pallet. Under the conditions that there are both a reduction in labor and an increase in wage due to rapid population ageing in Korean's rural society, it is strongly needed to develop an efficient post-harvest technology that could replace the current 20kgf-net-based handling management system. Post-harvest operations for onions with lower cost and higher efficiency as compared to the net packaging system would be based upon a bulk pallet-based handling system that includes the collection of onion bulbs in bulk from the production field, bulk carrying, forced-air drying and curing, storage in bulk, automatic grading and packaging using a box pallet with a standardized size. Therefore, the objectives of the research were to develop a post-harvest bulk handling system for onions that could automatically and safely stack and store onion bulbs in a newly designed box pallet to achieve higher-quality maintenance and a reduced labor power.

## III. Content and Range of Research

1. Analysis of current distribution status and related technologies for post-harvesting Korean onions
  - Survey on the actual conditions of onion stack and the specifications of pallets
  - Analysis of the current status of package standardization and engineering technologies for post-harvest onion operations
  - Study on highly developed post-harvest technologies and future perspectives
2. Analysis of bulk characteristics of onions for the development of bulk-handling

mechanical equipment

- Investigation of response characteristics of static pressure drop in onion stack to different sizes and mixing ratios
- Investigation of ventilation characteristics of onion stack in bulk pallets
- Analysis of friction characteristics of onions under different roughness conditions

3. Development of a post-harvest bulk handling system for onions ( I ) – design of a box pallet for through process

- Analysis of design factors for the development of a box pallet
- Specific designs for the specifications, types and material strengths of the pallet
- Performance evaluation of the prototype box pallet in terms of the distributions of temperature and contact pressure and distribution efficiency

4. Development of a post-harvest bulk handling system for onions ( II ) – design of bulk-handling mechanical equipment (BHME)

- Fundamental designs of the system for bulk handling of onions, such as a conceptual design, the operations and controls of the BHME
- Identification of optimum working mechanisms and operation conditions by kinematic analysis and computer simulation of auto-dump
- Specific designs of unit mechanical elements for BHME
- Analysis of working performance, efficiency, and economic feasibility of prototype BHME

#### **IV. Results of Research**

1. Analysis of bulk characteristics of onions for the development of BHME

Responses of pressure drop to varying heights and methods of stacking onions and the friction characteristics of onions, such as friction coefficient and rolling resistance, to different roughness conditions have been studied. There were big differences in the superficial velocity and static pressure drop of onion stack depending on whether a ventilation pipe was used or not. In addition, since the static pressure drop was strongly affected by the porosity of onions in stack, a mathematical model to predict the static pressure drop at different stack heights was developed. Effects of the type of working surface and the shape of onion bulbs on the static-friction coefficient and static-rolling angle were also investigated.

## 2. Development of a post-harvest bulk handling system for onions ( I ) - design of a box pallet for through process

A box pallet with a maximum loading capacity of 1,000kgf was developed which could be used as an essential device for bulk-handling of onions. The optimum dimension of the pallet box was determined to be 1,300×1,100mm by considering the dimensions of current low-temperature warehouses and the loading efficiencies of trucks (more than 5-ton) as well as compatibility with Korean standard pallets (T-11). Feasibility of the prototype box pallet was verified by examining the distributions of air temperatures and contact pressures on onions at different locations in bulk.

## 3. Development of a post-harvest bulk handling system for onions ( II ) - design of BHME

Various design factors were investigated to determine optimum operating conditions for a post-harvest handling system mainly consisting of an automatic feed hopper, a control device for automatic feeding, an inclined belt conveyor, an automatic empty-pallet feeding device, and an automatic pallet unloading device. An electric and hydraulic device was designed to operate and control the whole system. Optimum operating conditions to stack 1 ton of onions in a bulk bin within 4 min were determined. That is, onions could be filled with a loading capacity of 90% and a flow rate of 250 kg/min when the auto-dump device and conveyor were operated at a tilting angle of 77° and a belt velocity of 9.69 m/min, respectively. The dump performance of the system was estimated to be 86.7 tons when considering a working hour of 8 hr per one worker.

## V. Plans and Recommendation for Practical Application

From this research conducted for two years, an application for two patents has been achieved. Also, two students received M.S. degrees in engineering and four papers were presented in domestic academic conferences. A public demonstration to show the performance of the designed system was held in Muan, Jeollanamdo. For future work, about 3~4 papers are scheduled to be submitted to domestic or international journals. Also, a plan for transferring the developed technology to the participation company will be given shape so that the spread of the developed system can be promoted. To overcome a current problem with the high price of the pallet box developed occurring due to the high cost of investment made at early stage, it is suggested that the dimension of the box pallet in 1,300×1,100mm be included in the current specifications of standard box pallets (LS A 02167) of Standardized Logistics Equipment approved by our government.



# CONTENTS

<b>Chapter 1. Introduction of research and development</b> .....	11
Section 1. Objectives of research and development .....	11
Section 2. Necessity of research and development .....	12
Section 3. Range of research and development .....	13
<b>Chapter 2. Current status of technical developments in nation and foreign countries</b> ..	15
Section 1. Investigation of current distribution status and related technologies for post-harvesting Korean onions .....	15
Section 2. Study on highly developed post-harvest technologies for onions .....	27
Section 3. Future perspectives for post-harvest technologies of onions .....	28
<b>Chapter 3. Contents and results of research and development achievements</b> ...	29
Section 1. Bulk characteristics of onions for the development of a post-harvest bulk handling system .....	29
Section 2. Development of a post-harvest bulk handling system for onions (I)- design of a box pallet for through process .....	45
Section 3. Development of a post-harvest bulk handling system for onions (II)- design of bulk-handling mechanical equipment .....	60
<b>Chapter 4. Achievement of objectives and contributions to associated areas</b> .....	97
Section 1. Achievement of objectives of research and development .....	97
Section 2. Contribution to associated area .....	98
<b>Chapter 5. Application plan of research and development results</b> .....	99
Section 1. Technology outreach .....	99
Section 2. Technology transfer .....	99
Section 3. Industrialization (commercialization) .....	99
Section 4. Paper presentation and submission .....	99
<b>Chapter 6. Information of foreign science and technology and collected     during research and development</b> .....	101
<b>Chapter 7. References</b> .....	102
<b>Appendix</b> .....	104

# 목 차

<b>제 1 장 연구개발과제의 개요</b> .....	11
제 1 절 연구개발의 목적 .....	11
제 2 절 연구개발의 필요성 .....	12
1. 기술적 측면 .....	13
2. 경제·산업·사회적 측면 .....	13
제 3 절 연구개발의 범위 .....	13
1. 우리나라 양파의 수확 후 산지물류여건과 기술분석 .....	13
2. 양파의 산물처리 기계장치 개발과 관련된 산물특성 분석 .....	14
3. 양파의 산물처리 기계장치 개발 (Ⅰ) - 일관작업용 상자형 파렛트 설계 .....	14
4. 양파의 산물처리 기계장치 개발 (Ⅱ) - 파렛트 산물적재 이송기계장치 설계 .....	14
<b>제 2 장 국내·외 기술개발현황</b> .....	15
제 1 절 우리나라 양파의 수확 후 산지물류여건과 기술 분석 .....	15
1. 양파 수확 및 적재 용기 .....	15
2. 파렛트 규격과 양파 적재 .....	15
3. 포장표준화(포장규격화) .....	19
4. 하역기계화와 수송 .....	25
제 2 절 외국의 양파 수확 후 처리기술 현황 .....	27
제 3 절 향후기술개발의 전망 .....	28
<b>제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과</b> .....	29
제 1 절 양파의 산물처리 기계장치 개발과 관련된 산물특성 분석 .....	29
1. 서언 .....	29
2. 측정시스템 설계와 실험방법 .....	29
3. 결과 및 고찰 .....	34
4. 요약 및 결론 .....	44
제 2 절 양파의 산물처리 기계장치 개발 (Ⅰ) - 일관작업용 상자형 파렛트 설계 .....	45
1. 서언 .....	45
2. 설계요인분석과 상세설계 .....	46
3. 시작기 제작 및 성능시험 .....	52
4. 요약 및 결론 .....	60
제 3 절 양파의 산물처리 기계장치 개발 (Ⅱ) - 파렛트 산물적재 이송기계장치 설계 .....	60
1. 서언 .....	60

2. 전체시스템에 대한 개념설계와 설계 기준설정 .....	61
3. Auto-dump의 운동학적 분석과 컴퓨터 시뮬레이션 .....	62
4. 설계요인 분석과 상세설계 .....	66
5. 시작기 구성 .....	81
6. 요약 및 결론 .....	86
제 4 절 시작기에 대한 종합 평가와 보완 .....	87
1. 시작기 성능시험 .....	87
2. 시작기 보완 및 재평가 .....	88
3. 경제성 분석 .....	93
제 5 절 시연회 결과 .....	95
<b>제 4 장 목표달성도 및 관련분야의 기여도 .....</b>	<b>97</b>
제 1 절 목표달성도 .....	97
제 2 절 관련분야의 기여도 .....	98
<b>제 5 장 연구개발결과의 활용계획 .....</b>	<b>99</b>
제 1 절 현장보급 방안 .....	99
제 2 절 기술이전 방안 .....	99
제 3 절 산업화 계획 방안 .....	99
제 4 절 논문발표계획 .....	99
<b>제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보 .....</b>	<b>101</b>
<b>제 7 장 참고문헌 .....</b>	<b>102</b>
<b>부    록 .....</b>	<b>104</b>

# 제 1 장 연구개발과제의 개요

## 제 1 절 연구개발의 목적

최근 식생활 패턴의 변화와 소비형태의 다양화로 국내 양파의 재배면적과 생산량이 지속적으로 늘어나고 있으며, 채소류 중 그 증가율이 큰 품목 중 하나이다(국내 채소류 중 생산량 3위). 또한 양파는 국내 농산물 중 최대 저장작목으로 전체 농산물 저장량의 약 50%를 점유하고 있다.

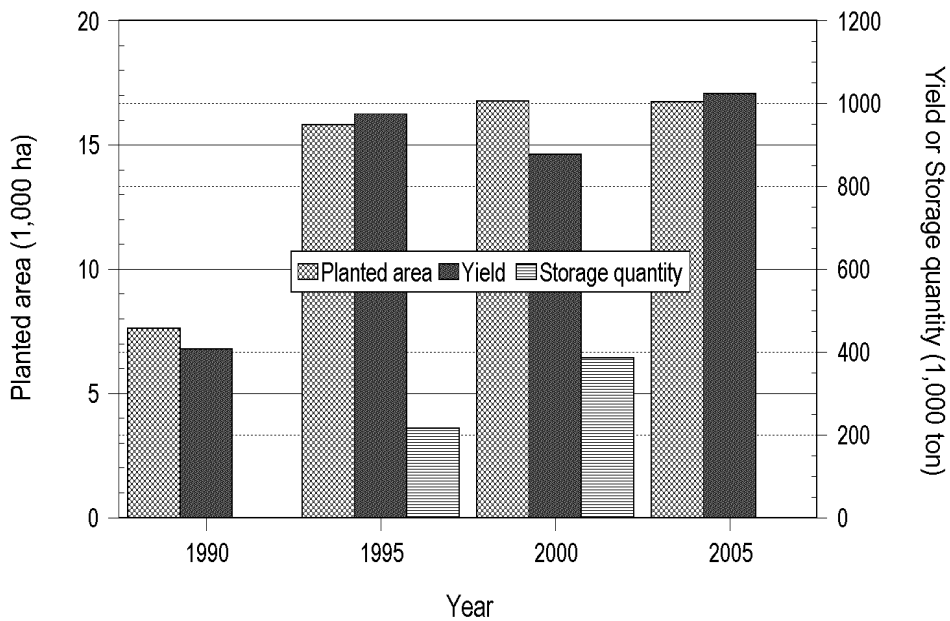


그림 1.1 우리나라 양파의 재배면적, 생산량 및 저장량 추이 (국립농산물품질관리원, 2006)

표 1.1 주요 품목별 저장물량과 저장비율 (농림부, 2000)

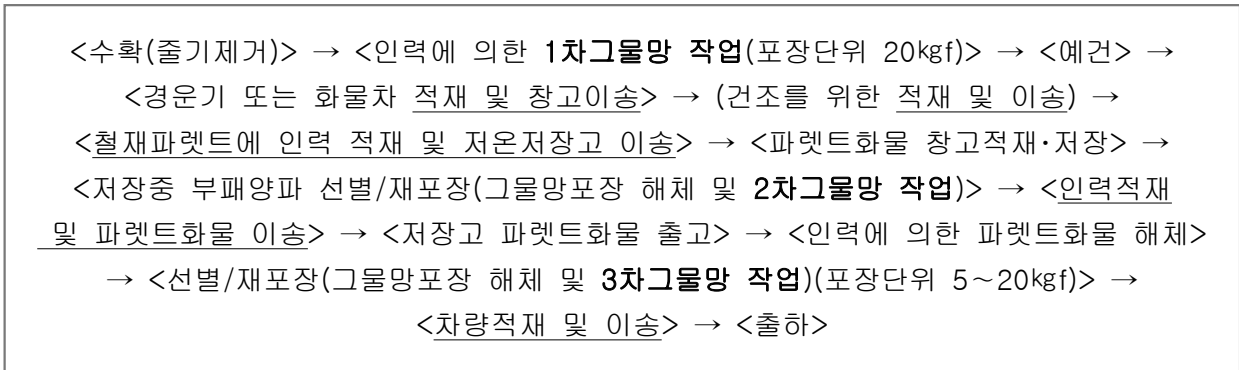
	과실류			채소류		임산물	계
	사과	배	단감	양파	마늘	밤	
물량 (ton)	185,100	80,230	60,850	367,562	66,534	51,119	811,395
비율 (%)	22.8	9.9	7.5	45.3	8.2	6.3	100

우리나라의 양파 수확 후 산지물류공정(산지처리)은 아래의 표에서도 보는 바와같이 전통적인 방법에서 벗어나지 못하여 과도한 노동력과 비용이 소요되는 등 수확 후 양파 처리공정의 저비용·고효율화를 기대할 수 없는 형편이다. 더구나 양파 수확 후 불충분한 건조와 처리과정에서의 물리적 손상은 저장중 제2손실로 이어져 전체 저장 양파의 상품성을 저하시켜, 이는 양파 농가의 소득 저하와 함께 소비자의 부담을 증가시키는 결과를 초래하고 있다(저장 중 양파 손실량 25~30% 이상으로 추정).

저장 중에 양파 부패의 원인으로는 여러 가지가 있으나 불합리한 적재방식과 저장조건, 그리고 수확 후 처리기술의 낙후가 가장 중요한 요인이라할 수 있다. 특히, 우리나라 양파 수확기는 장마 시기와 겹치기 때문에 비에 젖은 상태로 수확되는 경우가 많다. 따라서 예건이나 큐어링(curing) 처리에 의한 철저한 품질관리가 선행되지 않는다면 저장 양파의 부패 문제는 개선되기 어려운 문제이다.

현재 국내에서 생산되는 양파의 대부분은 포장에서부터 그물망포장되어 운반, 수송, 하역 및 저장 등이 이루어지는데, 이처럼 그물망 작업에 의한 처리와 적재는 산지하역 효율의 저하와 압상을 초래하고 저장시 냉기 효율성이 낮을뿐아니라 부패된 것을 선별하기 위해서는 저장고의 전체 파렛트를 옮겨 그물망을 풀어 선별 후 재포장해야 하는 등 작업의 불합리성이 지적되고 있다(농림부·농협중앙회, 2007).

우리나라의 경우 양파 수확 후 작업공정별 노동투하시간도 선별·그물망포장 작업에서 가장 크며(김병갑외 3, 1999), 아래의 표에서 보는 바와같이 현행 작업체계에서 최소 3차에 걸쳐 망작업이 진행되어 산지물류효율을 저하시키는 가장 근본원인이 되고 있으며, 또한 동일 작업공간내에서 적재와 이송의 하역작업(material handling)도 최소한 4~5회 이상 이루어지고 있는 실정이다.



이상에서 보는 바와같이 양파의 수확 후 처리과정에서의 저비용·고효율화를 위해서는 그물망 작업에 의하지 않고 산물(bulk) 상태로 취급되는 수확(수거), 운반, 건조(예건, curing), 저장 및 선별·포장 등의 일관작업 시스템의 확립과 산지에서 규격화된 일관작업용 상자형 파렛트(box pallet)의 사용으로 산지물류합리화를 달성해야 한다.

따라서 본 기술개발의 목적은 수확 후 양파를 산물상태로 수거하여 일관작업용 상자형 파렛트에 자동으로 담고, 강제통풍건조, 저온저장고 입고 및 저장 후 선별·포장공정으로 이어지는 일관시스템과 관련된 단위 기계장치들을 개발하려는 것이다.

## 제 2 절 연구개발의 필요성

본 기술개발은 양파의 수확 후 처리공정의 저비용·고효율화를 달성하기위해 산물상태로의 일관처리기술시스템 개발에 관한 것으로, 본 기술개발의 필요성을 좀더 구체적으로 살펴보면 다음과 같다.

## 1. 기술적 측면

- (1) 현재 양파의 수확 후 처리과정에서 노동력이 집중 투하되는 그물망 작업이 3번이상 진행되는데, 이를 대신할 수 있는 포장에서부터 산물상태로의 일관처리시스템의 기술 개발이 시급히 요청된다.
- (2) 그물망포장 단위의 처리는 평파렛트(flat pallet)에 의한 파렛트화물(palletized unit load) 구성 후 다단적재가 불가능하므로 하역작업 기계화를 저해하는 요인이되고 있고, 저장시에도 철재파렛트에 적재하여야 하므로, 저장 중의 부패한 양파를 선별하기 위해서는 전체 파렛트화물을 꺼내어 그물망포장을 해체하고 재포장하여야하는 매우 비효율적인 작업이 진행되고 있다.
- (3) 양파의 산지물류과정에서 사용되는 파렛트 규격과 물류표준설비상의 표준파렛트규격(1,100×1,100mm) 간의 정합성을 검토하고, 현 양파 산지의 여건에 적합한 파렛트 규격의 단일화를 위한 제반연구가 절실히 요망된다.
- (4) 저장 양파의 선별·포장공정으로의 양파 투입시 적재된 양파 파렛트화물에 불을 질러 망포장을 해체하는 비합리적인 작업방식을 지양하고, 양파 선별라인으로 자동 공급될 수 있는 장치의 개발이 요구된다.

## 2. 경제 · 산업 · 사회적 측면

- (1) 우리나라의 양파 수확 후 처리공정이 대부분 인력에 의존하고 있는 실정으로 향후 농촌노동력의 절대감소, 노령화 및 인건비의 급상승 등에 대비하여 현재의 고비용·비효율화 체계를 저비용·고효율화 체계로 전환하기위한 제반 연구가 절실히 요망된다.
- (2) 수확 후 양파의 하역과정에서 물리적 손상을 최소화하고, 저장 중에 압상방지와 통풍성 향상으로 저장 중의 제2손실을 줄여 양파 산업의 경쟁력 확보를 위한 기술개발이 절실히 요망된다.
- (3) 그물망과 같이 환경친화적이지 못한 포장재의 사용을 최소화함으로써 산업폐기물 발생을 억제시켜 농촌의 환경오염을 줄일 수 있는 기술 개발이 요구된다.
- (4) 양파의 유통과정이 농산물 공판장의 도매중심 유통에서 대형유통업체와 직거래로 바뀌는 시점에서 시장의 흐름에 능동적으로 대처할 수 있는 능력과 함께 출고 양파의 품질표준화에 기여하기위한 기술 개발이 요구된다.

## 제 3 절 연구개발의 범위

### 1. 우리나라 양파의 수확 후 산지물류여건과 기술분석

- (1) 현 보급된 파렛트 규격과 양파 적재에 대한 현장 조사연구

- (2) 수확과 적재용기, 포장규격화, 하역기계화 및 수송 등에 대한 문헌연구
- (3) 선진외국의 수확 후 처리기술 현황 분석 및 향후 기술개발 전망

## 2. 양파의 산물처리 기계장치 개발과 관련된 산물특성 분석

- (1) 양파의 크기별 및 혼합정도에 따른 정압강하특성 분석 및 모델링
- (2) 파렛트의 양파 적재방법별 송풍성 분석
- (3) 양파의 크기별 및 형태별 마찰특성 (마찰계수, 구름저항)

## 3. 양파의 산물처리 기계장치 개발 (Ⅰ) - 일관작업용 상자형 파렛트 설계

- (1) 일관작업용 상자형 파렛트의 설계요인분석
- (2) 상자형 파렛트의 상세설계 (규격, 형태, 강도설계)
- (3) 상자형 파렛트의 시작기 제작 및 평가 (온도분포, 공기유동성, 압력분포, 물류효율)

## 4. 양파의 산물처리 기계장치 개발 (Ⅱ) - 파렛트 산물적재 이송기계장치 설계

- (1) 산물처리 기계장치에 대한 전체 구성 및 기본설계 (개념설계, 시스템 운용설계, 시스템 제어)
- (2) Auto-dump에 대한 기구학적 분석과 컴퓨터 시뮬레이션
- (3) 산물처리 기계장치의 단위 구성요소별 상세설계 및 제작 (auto-dump, 임시적재 및 자동공급호퍼, 투입량 자동조절장치, 경사 벨트컨베이어, 슈트, 공파렛트 자동공급장치, 파렛트 자동비움장치)
- (4) 산물처리 기계장치의 시작기에 대한 평가 (작동성, 작업효율, 경제성 분석)

## 제 2 장 국내·외 기술개발현황

### 제 1 절 우리나라 양파의 수확 후 산지물류여건과 기술 분석

#### 1. 양파 수확 및 적재 용기

현재 우리나라에서 사용되는 양파 수확과 적재 용기로는 그물망, 플라스틱상자 및 톤백(ton bag) 등이 있다. 이 중 톤백이 기계수거 및 하역기계화가 가장 유리하나 톤백의 주 재료는 천으로 통기성과 견고성 면에서 취약하며, 저장시 바로 적재하지 못하고 철재파렛트(steel pallet)와 조합하여 사용된다.

‘플라스틱 상자+평파렛트(flat pallet)’에 의한 적재가 ‘그물망포장(net package)+철재파렛트’에 의한 적재방식에 비해 양파의 압상에 의한 손실은 줄일 수 있는 장점이 있는 반면, 평파렛트에 의한 파렛트화물 구성시 화물이 갈라지는 등 화물의 불안정으로 인해 적재효율이 떨어지고, 초기 투자비용이 많이 들뿐 아니라 철재파렛트에 비해 짧은 내구 년수에 의한 유지비용이 크다는 단점이 있다.

현재 수확용기의 대부분을 차지하고 있는 것은 20kgf-그물망이며, 그물망포장은 포장의 취급과정에서 양파에 물리적 손상이 많이가며, 평파렛트에 의한 다단적재가 불가능하므로 하역기계화가 어려워 주로 인력에 의한 하역(material handling)이 이루어지고 있다.

농촌노동력의 급감과 아울러 노령화로 포장에서 수거부터 하역 과정의 기계화가 절실하며, 기계화에 유리한 톤백의 사용과 산물상태의 통풍건조 및 다단적재가 가능한 일관작업용 상자형 파렛트(box pallet)의 사용이 필요하다.



(a) 그물망



(b) 플라스틱 상자



(c) 톤백

그림 2.1 수확 용기의 종류 (농림부·농협중앙회, 2007).

#### 2. 파렛트 규격과 양파 적재

현재 저장고에서 양파의 적재에 이용되는 방법으로는 주로 ‘그물망포장+철재파렛트’가 이용되고 있고, 일부에서 ‘플라스틱상자+평파렛트’와 ‘톤백+철재파렛트’ 적재 방식이 이용되고 있다.





(a) ‘그물망포장+철재파렛트’ (b) ‘산물상태의 양파+컨테이너’ (c) ‘톤백+철재파렛트’

그림 2.2 양파의 적재 형태.

우리나라 양파 주산지의 대표적인 영농조합법인 5곳을 대상으로 현재 사용되는 철재파렛트의 규격을 조사한 결과, 표 2.1에서 보는 바와같이 대략 8종이었으며, 파렛트에 그물망포장의 적재방식은 정방형에 가까운 파렛트에서는 ‘2+2’ 핀휠적재(pinwheel pattern)를 하였다.

1 파렛트당 적재 그물망포장 수는 48~70망 이었고, 7~8망 3~5단 적재 후 분리 각목에 의해 층분리를 대부분하였으나(층분리 목적은 적재양파의 압상방지), 작업의 불편함으로인해 층분리 없이 7~8단을 적재하는 방식도 적용되고 있다.

그물망 치수가 규격화되어 있음에도 불구하고 사용되는 그물망 치수는 매우 다양하였고, 이로인해 그물망포장의 치수도 다양하여, 파렛트에 적재시 최대 15cm의 오버행(overhang)이 발생하여 양파에 심한 물리적 손상을 주고 있는 것으로 분석되었다.

파렛트 적재면에 접한 그물망포장이 바닥과 접촉하는 양파구(onion bulb)의 수를 기준으로 적재된 양파의 무게를 나눈 양파구가 받는 하중의 크기는 약 70~170N으로 매우 다양하였다. 이들 값은 파렛트 적재면의 밀폐율이 40% 미만으로, 이를 감안하여 바닥과 접한 그물망포장의 바닥과 접한 양파 1개에 작용하는 압력의 크기를 대략적으로 계산한 값이다.

표 2.1 상자형 철재파렛트 이용현황

조사지역 (영농조합)	파렛트 외치수 (L×W×H) (mm)	적재방법 <sup>1)</sup>	파렛트당 적재량	적재면 밀폐율 (%)	접촉구당 작용하중 <sup>3)</sup> (N)
Chönnam (K)	1,265×1,260×1,900	8망×4단×2층	64망	28.1	116~100
Chönnam (P)	1,260×1,245×1,810	8망×4단×2층	64망	30.0	116~100
	1,260×1,245×1,500	8망×3단×2층	48망	30.0	82~70
Kyöngnam (H)	1,350×1,260×1,800	8망×8단	64망	39.1	167~143
	1,300×1,250×1,600	8망×7단	56망	39.1	146~125
Kyöngnam (C)	1,370×1,260×1,500	8망×7단 <sup>2)</sup>	50망	30.2	169~145
Kyöngbuk (S)	1,405×1,000×2,400	7망×5단×2층	70망	39.9	103~88
	1,460×1,100×1,800	7망×4단×2층	56망	39.1	84~72

\*1)‘2+2’ 핀휠적재(pinwheel)(홀짝수단 교대배열) 단, 경북(S)는 파렛트의 긴 변을 중심으로 5망은 수직, 2망은 평행적재

\*2)8망×6단+2망

\*3)바닥 밀폐율을 고려한 값

산지내에서 양파의 이동이나 산지에서 중소규모의 농산물 시장에는 저장 중인 파렛트화물 (palletized unit load) 단위로 운송되는 경우가 자주있다. 이 경우 사용되는 트럭의 적재효율을 무시할 수 없는 문제이므로 사용되는 철재파렛트는 저장고의 적재효율 뿐만아니라 트럭에의 적재효율도 매우 중요한 문제이다.

조사된 철재파렛트 규격에 대하여 파렛트 자체의 체적효율과 트럭적재효율을 분석해 보면 표 2.2와 같다.

물류 측면에서는 파렛트의 외치수가 기준이 되므로, 파렛트의 외치수 기준으로 체적효율을 분석해 보면, 현재 사용되고 있는 그물망포장 적재 파렛트의 단위체적당 적재량은 약 386~451 kg/m<sup>3</sup>이었고, 국내 농산물 수송에 많이 적용되는 4.5(5)톤, 8톤 및 11.5톤 트럭에 대한 적재효율은 대부분 50% 대로 매우 낮은 편이었다. 이는 5톤이상 트럭의 적재폭이 일관수송용 표준파렛트(T-11)의 폭 1,100mm를 기준으로 2열적재 가능한 2,280mm 이상으로 규정하고 있으나, 표 2.2의 철재파렛트 규격은 트럭 적재함에 2열적재가 불가능하기 때문이다.

철재파렛트의 형태는 그림 2.3에 나타낸 바와같이 공파렛트의 보관효율이 높은 중첩형과 보관효율을 고려하지 않은 적층형이 있으나 각기 장·단점을 가지고 있다.

표 2.2 상자형 철재파렛트의 체적 및 트럭적재효율

파렛트 외치수 (L×W×H) (mm)	적재방법	파렛트당 적재량 (kgf)	단위체적당 적재량 (kgf/m <sup>3</sup> )	트럭적재효율 <sup>2)</sup> (%)		
				11.5톤 장축 (9,250×2,340)	8톤 초장축 (8,000×2,340)	5톤 초장축(광폭) (6,250×2,280)
1,265×1,260×1,900	8망×4단×2층	1,280	422.7	1열×7 (51.5%)	1열×6 (51.1%)	1열×4 (44.7%)
1,260×1,245×1,810	8망×4단×2층	1,280	450.8	1열×7 (50.7%)	1열×6 (50.3%)	1열×4 (44.0%)
1,260×1,245×1,500	8망×3단×2층	960	408.0			
1,350×1,260×1,800	8망×8단	1,280	418.1	1열×7 (55.0%)	1열×6 (54.5%)	1열×4 (47.7%)
1,300×1,250×1,600	8망×7단	1,120	430.8	1열×7 (52.6%)	1열×6 (52.1%)	1열×4 (45.6%)
1,370×1,260×1,900	8망×7단 <sup>1)</sup>	1,000	386.2	1열×7 (55.8%)	1열×6 (55.3%)	1열×4 (48.5%)
1,405×1,000×2,400	7망×5단×2층	1,400	415.2	2열×6 (77.9%)	2열×5 (75.1%)	2열×4 (78.9%)
1,460×1,100×1,800	7망×4단×2층	1,120	387.4	2열×6 (89.0%)	2열×5 (85.8%)	2열×4 (90.2%)

\*1)7단에는 20kgf-그물망포장 2개

\*2)유닛로드 평면치수(plan-view size)의 길이 및 나비에 대한 허용치수 40mm적용 (KS T 0003)



(a) 중첩형



(b) 적층형

그림 2.3 사용되는 철재파렛트의 종류.

최근 우리나라는 산업 전반에 걸쳐 물류유통구조를 표준화된 일관수송체제로 유도하고, 물류효율화 촉진으로 생산성 향상 및 물류비 저감을 위해 한국산업규격(KS T 0006)에서 정한 국가 표준규격파렛트(T-11, 1,100×1,100mm)와 적합성이 유지될 수 있도록 표준화된 물류설비를 인증해 주는 물류표준설비인증제도(LS)를 실시하고 있다.

따라서 농업부분에서도 1,100×1,100mm 파렛트 사용을 유도하고 있는데, 만일 양파 저장용 철재파렛트의 규격을 T-11로 하였을 때의 문제점을 분석하면, 20kgf 그물망포장의 평균치수는 길이×직경=81×23cm(둘레 72cm) 이므로, 단 당 8망씩 ‘2+2’ 편월적재의 경우 유닛로드 평면치수(unit load plan-view size)가 1,270×1,270mm가 되며, 이론상 170mm의 오버행이 발생하고, 단 당 7망씩 ‘2+1’ 편월적재의 경우는 유닛로드 평면치수가 1,040×1,040mm가 되어 50망(1톤) 이상적재 시 기존 저장고의 천정높이 6~7m(천정여유공간 60cm이상)를 고려할 때 저장고 4단적재가 불가능하므로 적재효율이 크게 저하되는 문제점이 있다.

최근에 건설된 저온저장고의 경우는 표준파렛트를 기준으로 적재형태 및 적재방법을 감안하여 저장고의 시설규격을 정하기 때문에 표준파렛트와 적합성이 높은 플라스틱용기를 사용하면 적재효율을 높일 수 있다 (평파렛트에 의한 파렛트화물 구성시 화물이 갈라지는 등 화물의 안정성이 문제시 됨). 그러나 그물망포장은 평파렛트(flat pallet)에 적재하여 저장고의 적재효율과 시설의 운용효율을 높이는 데는 한계가 있는 것으로 판단된다.

양파가 가지는 여러 특수성을 고려해 볼 때, 저온저장고의 양파 적재용으로 T-11 파렛트 규격의 적용은 사실상 어려우리라 판단되며, 현재 저장고의 규격, 적재효율 및 품질관리, 저장량 관리의 효율성 등을 종합적으로 고려한 양파 적재용 파렛트의 표준 규격화가 절실하다.

우리나라의 경우 양파 수확 후 포장에서부터 20kgf-그물망포장이 이루어지기 때문에 적재 방법에 있어 철재파렛트 사용 외에는 다른 선택의 여지가 없다.

‘그물망포장+철재파렛트’ 적재방식은 위에서 논의했던 바와같이 파렛트 규격의 다양성, 그물망포장 단위로 적재된 양파에 과도한 압축하중 작용, 트럭적재효율 저하 외에도 저장 중에 부패된 양파를 발견하기도 힘들고 일부가 부패되어도 파렛트화물을 모두 꺼내어 인력에 의해 그물망포장 해체, 선별 및 재포장해야 하므로, 막대한 노동력과 비용이 소요된다. 또한 저장고에 과밀한 적재에 의해 덕트로부터 나오는 냉기가 양파에 골고루 퍼지지 못해 양파 사이에 과습

을 초래해 저장 중 부패를 촉진시키게 된다 (원예저장유통학회, 1997).

따라서 우리나라의 경우도 수확 후 양파를 포장에서부터 산물상태로 수거하여 산물상태로 건조와 저장이 이루어지는 일관처리시스템을 위한 산물형 파렛트와 관련 기계장치들의 개발이 요구된다. 또한 현재 양파 적재 후 선별·포장공정으로의 양파 공급방식은 그림 2.4에서 보는 바와같이 그물망포장 적재 양파의 경우는 그물망포장에 불을 질러 해체하는 방법을 산물상태로 컨테이너 적재한 경우는 산물상태로 공급하는 방식이 적용되고 있는데, 대부분이 전자의 방법이 행하여지고 있다.



(a) 인력 선별(토치램프 사용) (b) 기계선별(토치램프 사용) (c) 컨테이너(산물상태 공급)

그림 2.4 적재 양파의 선별공정 공급방법.

### 3. 포장표준화(포장규격화)

물류합리화를 위한 가장 기본적인 요건은 포장표준화(packaging standardization)의 실현이며, 포장표준화(포장규격화)의 필요성은 대량물량의 운송과 신속한 거래, 하역기계화, 공정거래 등을 유도하고 유통비용 절감 등 물류효율을 제고시키기 위함이다.

포장표준화는 포장치수의 표준화뿐만아니라 강도의 표준화, 재료의 표준화, 포장기법의 표준화, 포장설계의 표준화 및 관리의 표준화 등을 그 대상으로 한다.

우리나라의 경우 농산물에 대한 포장표준화의 내용이 농산물표준출하규격의 포장규격화(농산물품질관리원, 2007) 부분에 잘 나타나 있다. 포장규격화는 품목별로 표준파렛트(T-11)와 정합성이 높도록 포장재료, 중량, 포장치수, 파열강도(bursting strength), 압축강도 등을 설정하여 파렛트화물 단위의 일관수송체계가 구축되도록 하여 대량물량의 운송과 신속한 거래 및 공정거래를 유도하여 유통 비용 절감 등 물류효율을 제고토록 하는 것이다.

포장표준화의 5대 주요대상별(치수, 강도, 재료, 기법, 관리)로 우리나라의 농산물표준출하규격의 내용을 정리하면 표 2.3과 같다

농산물표준출하규격에 양파의 출하단위 포장은 5, 10, 15, 20kg로 그물망과 골판지상자를 함께 규정하고 있다. 근래 양파의 유통과정이 농산물 공판장의 도매중심 유통에서 대형유통업체와 직거래로 바뀌는 시점이므로 20kg 수송포장에서 소포장 중심의 소비자포장으로 많이 확대되고 있다.

표 2.3 농산물 포장표준화의 대상별 주요 내용과 포장규격화 내용 분석

표준화 대상	표준화 내용	포장규격화 내용 <sup>1)</sup>
치수	<ul style="list-style-type: none"> <li>-물류효율과 직접 관련(수송 및 하역기기 등의 효율)</li> <li>-겉포장치수가 주요 대상이며, 표준파렛트(T-11)와 정합성을 높혀 적재효율을 극대화</li> <li>-속·날포장의 표준화는 소비자포장의 표준화로 겉포장치수와와의 정합성, 강도의 적정성이 조화를 이루는 방향으로 표준화</li> <li>-포장치수 결정요인 : 포장단위, 포장재질, 농산물의 크기 및 특성, 상자의 형태와 강도, 상품취급의 용이성, 표준형 파렛트 적재효율</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-한국산업규격(KS T 1002)에서 정한 수송포장 계열치수 69개 모듈과 표준파렛트의 평면적재 효율 90% 이상(표 2.4)</li> <li>-농산물별 포장단위 세분화(예, 양파는 거래단위별(5, 10, 15, 20kgf) 겉포장치수 규정(표 2.5), 속포장치수 : 2, 3, 5개, 1, 1.5, 2, 2.5, 3 kgf 규정)</li> </ul>
강도	<ul style="list-style-type: none"> <li>-겉포장상자가 주요 대상이나, 날포장과 속포장재의 재질 적정화도 해당</li> <li>-강도적 자립성 여부를 포함한 적정필요압축강도 선정이 중요</li> <li>-농산물의 형태와 중량에 따라 포장재질이 정해지면 압축강도와 파열강도를 결정함-포장재가 골판지인 경우 압축강도와 파열강도중 선행되는 항목 결정</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-골판지상자의 경우는 포장단위에 따라 골판지의 수직압축강도와 파열강도 기준(표 2.6)</li> <li>-P.E대는 포장단위별 두께, P.P대는 인장강도, 그물망은 포장단위별 무게, 지대는 평량과 겹수, 플라스틱상자는 상자압축강도가 기준</li> </ul>
재료	<ul style="list-style-type: none"> <li>-강도표준화와 연계하여 추진</li> <li>-포장제품의 특성(형태, 포장단위)에 따라 파단성 혹은 보호성 범위 등을 고려해 결정, 포장재의 친환경성 고려</li> <li>-포장재료가 골판지인 경우는 필요압축강도를 결정한 후 이에 맞는 골판지 종류와 적정원지 구성 결정(포장원가와 관련)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-농산물표준규격 중 골판지 포장재가 약 90% 이상 차지</li> <li>-양파의 포장재료(표 2.5) : 그물망, 골판지</li> <li>-겉포장상자의 발수도 기준 강화(R<sub>2</sub>~R<sub>6</sub>). 양파 포장용 골판지는 R<sub>4</sub>(표 2.8)</li> </ul>
기법	<ul style="list-style-type: none"> <li>-치수표준화와 연계하여 추진</li> <li>-포장단위가 15kgf 이상인 경우는 (겉포장)수송포장의 관점에서 제품의 보호성이 중요</li> <li>-날포장과 속포장은 소비자포장이므로 보호성 외에 소비자의 기호성(구매행동, 취향)이 중요</li> <li>-Life 패턴 변화, Market 형태 변화 및 물류여건에 대응하는 원가절감형 포장기법 적용</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-농산물의 포장특성, 포장단위에 따라 골판지 상자, P.E대, P.P대(직물제 포대), 지대, 플라스틱 상자 포장으로 구분</li> <li>-농산물별 포장단위 세분화(표 2.5)</li> </ul>
설계 및 관리	<ul style="list-style-type: none"> <li>-상품의 계량단위, 편의성 제공, 상품의 식별·표시·해설방법의 적절성</li> <li>-합리적인 포장비, 포장폐기물 처리 및 회수, 재사용 등에 초점을 두어 시행</li> <li>-관리(구매, 검수, 품질관리 등)의 표준화</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-표시사항의 기준 : 품목, 품종, 산지, 등급, 무게 또는 개수, 생산자(성명과 전화번호)</li> </ul>

\*1)농산물품질관리원(2007)

표 2.4 수송포장계열 치수일람표(1,100×1,100mm) (KS T 1002)

호칭번호	길이×너비 (mm)	1단적재수	적재효율 (%)	적재패턴	호칭번호	길이×너비 (mm)	1단적재수	적재효율 (%)	적재패턴
11-1	1,100×1,100	1	100	B, -	11-36	458×213	3×4	96.7	B, P
11-2	1,100×550	2	100	B, K	11-37	450×325	2×4	96.7	B, P
11-3	1,100×366	3	99.8	B, K	11-38	450×216	3×4	96.4	B, P
11-4	1,100×275	4	100	B, K	11-39	440×330	2×4	96.0	B, P
11-5	1,100×220	5	100	B, K	11-40	440×220	3×4	96.0	B,P,S
11-6	733×366	4	88.7	B, P	11-41	412×343	2×4	93.4	B, P
11-7	711×388	4	91.2	B, P	11-42	412×275	2×4+2	93.6	B, S
11-8	687×412	4	93.6	B, P	11-43	412×229	3×4	93.6	B, P
11-9	687×206	2×4	93.6	B, P	11-44	388×355	2×4	91.1	B, P
11-10	660×440	4	96.7	B, P	11-45	388×237	3×4	91.2	B, P
11-11	660×220	2×4	96.7	B, P	11-46	366×366	3×3	99.6	B, -
11-12	650×450	4	97.1	B, P	11-47	366×275	3×4	99.8	B, K
11-13	650×225	2×4	97.1	B, P	11-48	366×244	3×4+4	95.9	B,S,P
11-14	641×458	4	97.8	B, P	11-49	366×220	3×5	99.8	B, K
11-15	641×229	2×4	97.6	B, P	11-50	343×206	2×2×4	93.8	B, P
11-16	628×471	4	98.6	B, P	11-51	330×220	2×2×4	96.0	B, P
11-17	628×235	2×4	98.6	B, P	11-52	325×225	2×2×4	96.7	B, P
11-18	611×488	4	99.2	B, P	11-53	320×229	2×2×4	96.9	B, P
11-19	611×244	2×4	99.2	B, P	11-54	314×235	2×2×4	97.6	B, P
11-20 <sup>1)</sup>	600×500	4	99.6	B, P	11-55	305×244	2×2×4	98.4	B, P
11-21 <sup>1)</sup>	600×250	2×4	99.4	B, P	11-56 <sup>1)</sup>	300×250	2×2×4	99.2	B, P
11-22	576×523	4	100	B, P	11-57 <sup>1)</sup>	300×200	(2+3)×4	99.2	B, P
11-23	576×261	2×4	99.8	B, P	11-58	293×220	3×5+3	95.9	B, S
11-24	550×550	2×2	100	B, -	11-59	288×261	2×2×4	99.4	B, P
11-25	550×366	2×3	100	B, K	11-60	275×275	4×4	100	B, -
11-26	550×275	2×4	99.6	B, K	11-61	275×220	4×5	100	B, P
11-27	550×220	2×5	99.2	B, K	11-62	275×206	4×4+5	98.3	B, S
11-28	523×288	2×4	99.2	B, P	11-63 <sup>1)</sup>	250×200	2×3×4	99.2	B, P
11-29 <sup>1)</sup>	500×300	2×4	98.4	B, P	11-64	244×203	2×3×4	98.2	B, P
11-30 <sup>1)</sup>	500×200	3×4	98.2	B, P	11-65	235×209	2×3×4	97.4	B, P
11-31	488×305	2×4	97.8	B, P	11-66	229×213	2×3×4	96.7	B, P
11-32	488×203	3×4	97.6	B, P	11-67	229×206	2×3×4+1	97.4	B, P
11-33	471×314	2×4	96.9	B, P	11-68	225×216	2×3×4	96.4	B, P
11-34	471×209	3×4	96.7	B, P	11-69	220×220	5×5	100	B, -
11-35	458×320	2×4	96.7	B, P					

\*(B) 블록쌓기(block pattern, row pattern), (K) 교대열쌓기(alternate tirerow pattern), (P) 핀휠쌓기(pinwheel pattern), (S) 스프릿쌓기(split pattern)

\*1,100×1,100mm을 정수(1, 2, 3,...)로 분할할 수치를 조합하여 포장단위의 가로와 폭을 정한 69가지 포장모듈

\*1)1,100×1,100mm와 1,200×1,000mm에 공통되는 치수

표 2.5 양과의 거래단위별 포장치수 (농산물품질관리원, 2007)

겉포장				
거래단위	포장재 종류	포장 치수 (mm)		
		길이	너비	높이
5kgf	그물망(산물)	530	200	-
	골판지	275	220	200
10kgf	그물망(산물)	650	250	-
	그물망(1kgf속포장×10개)	670	340	-
	골판지	500	300	160
15kgf	그물망(산물)	670	290	-
	그물망(산물)	720	340	-
	골판지	750	420	-
20kgf	골판지	500	300	220
	그물망(산물)	750	420	-
	그물망(산물)	800	400	-
	그물망	670	500	-
	골판지	500	300	280
속포장				
2개, 3개, 5개, 1kgf, 1.5kgf, 2kgf, 2.5kgf, 3kgf				
표시사항				
품목, 산지, 품종, 등급, 무게 또는 개수, 생산자 또는 생산자 단체 명칭 및 전화번호				

농산물포장규격 중 골판지 포장재가 약 90% 이상 차지하고 있고, 실제 농산물 포장에도 골판지 포장재가 대부분을 차지하고 있다. 그러나 양과의 경우는 출하를 위한 포장의 대부분을 그물망이 차지하고 있고, 플라스틱상자와 골판지상자는 아주 제한적으로 사용되고 있다.

즉, 골판지상자는 포장작업이 용이하고 기계화가 가능하다는 장점이 있는 많은 농산물의 포장에 적용되나 양과의 경우는 통풍이 잘되지 않아 운송과 보관시 품질 저하를 초래할 뿐 아니라 습기에 약하고 비가 올 때 작업이 곤란하고, 반복 사용이 어려우며 그물망이나 플라스틱상자에 비해 1회 반복사용 비용이 많이 소요되는 단점을 가지고 있다.

플라스틱 운반상자의 경우 파렛트 단위 일관수송체계 측면에서는 바람직한 포장규격이나 비용면에서의 단점으로 인해 대형 마켓과의 직거래에 일부 적용되고 있으나 아직 일반화되지 못하고 있다.

국내의 경우 농산물 물류비용이 GDP 대비 30% 이상 차지하며, 타산업분야에 비해 월등히 높은 물류비를 절감하기 위해 다각적인 노력을 경주하고 있다. 그물망포장은 수송시 파렛트에 의한 유닛로드화(unit load)하여 일관수송체계를 이루는데 어려움이 많다. 반면 골판지포장은 표준파렛트에 의한 유닛로드화가 쉽고 일관수송체계를 확립하는데 대단히 유리하다. 그러나 발수도(water repellency), 압축강도(box compression strength) 적정화 문제, 통풍성 문제 등의 해결과제가 남아 있는데, 이러한 문제를 해결함으로써 양과의 출하 포장에 골판지포장을 확대

할 필요성이 있다.

양파의 거래단위별 골판지상자의 강도를 아래의 표 2.6과 같이 규정하면서 상자의 압축강도는 수요자와 공급자간의 협의하에 적절하게 제작한다라고 명시하고 있다. 표에서 규정하는 거래단위별 적용 골판지를 중심으로 한국산업규격(KS T 1034)에서 규정하는 골판지의 품질기준(표 2.7)에 따라 최소한의 상자 이론압축강도를 식(2.1)의 Kellicutt 식에 의해 추정해 보면 표 2.9와 같다.

표 2.6 농산물 포장재료의 기준(골판지상자) (농산물품질관리원, 2007)

구분	골판지 종류	파열강도	수분
2kgf미만	양면골판지 1종	6.5kgf/cm <sup>2</sup> 이상	10±2%
2kgf이상 10kgf미만	양면골판지 2종	8.0kgf/cm <sup>2</sup> 이상	
10kgf이상 15kgf미만	이중양면골판지 1종	8.0kgf/cm <sup>2</sup> 이상	
15kgf이상	이중양면골판지 2종	10.0kgf/cm <sup>2</sup> 이상	

표 2.7 골판지의 품질 기준 (KS T 1034)

종류		기호	파열강도 (kPa)	(이론)수직압축강도 (kN/m)			합수율 (%)
				A/F	B/F	C/F	
양면 골판지	1종	S-1	638 이상	3.41 이상	3.30 이상	3.35 이상	10±2
	2종	S-2	785 이상	3.53 이상	3.43 이상	3.47 이상	
	3종	S-3	1,177 이상	5.12 이상	4.98 이상	5.04 이상	
	4종	S-4	1,570 이상	7.14 이상	6.98 이상	7.06 이상	
2중양면 골판지	1종	D-1	785 이상	AB/F		BC/F	
				4.96 이상		4.90 이상	
	2종	D-2	981 이상	5.29 이상		5.20 이상	
				6.39 이상		6.35 이상	
				8.53 이상		8.47 이상	
5종	D-5	2,159 이상	10.02 이상		9.94 이상		

\*골판지의 AA/F과 AC/F의 (이론)수직압축강도는 AB/F를 EB/F와 BB/F 등 기타 골은 BC/F를 각각 기준으로 함

\*골판지의 파열강도(Pa)=0.95×∑(라이너 각각의 파열강도)

\* (이론)수직압축강도(kN/m)={∑RC<sub>l</sub> + ∑(RC<sub>f</sub> · t<sub>x</sub>)} / 152.4mm (여기서, RC<sub>l</sub>=라이너의 링크러시(N), RC<sub>f</sub>=골심지의 링크러시(N), t<sub>x</sub>=골조율(A/F=1.6, B/F=1.4, C/F=1.5))



표 2.8 농산물 포장재료의 발수도 기준(골판지상자) (농산물품질관리원, 2007)

발수도	적용 대상 농산물
R <sub>2</sub> 이상	건조된 농산물로서 P.E대 P.P대 등으로 속포장하여 내용물의 수분이 겉포장에 영향을 거의 미치지 않는 농산물 (예 : 쌀, 콩 들깨, 참깨, 땅콩 등)
R <sub>4</sub> 이상	-수분증발과 호흡작용이 대체로 적은 농산물 (예 : 사과, 배, 오이, 호박, 양파 등) -수분과 호흡작용이 과다하나 겉포장 보호를 위하여 P.E 등으로 속포장한 농산물 (예 : 상추, 깻잎, 두릅 등)
R <sub>6</sub> 이상	-수분과 호흡작용이 과다하여 내용물의 수분이 겉포장 상자에 영향을 미칠 우려가 있는 농산물 (예 : 감자, 고구마, 시금치, 파, 딸기 등) -P.E대 등으로 속포장에도 불구하고 수분이 겉포장 상자에 영향을 미칠 우려가 있는 농산물 (예 : 미나리 등)

\*KS M 7057의 발수도 기준

\*R<sub>0</sub> : 물이 흐른 자국이 연속적이고, 일정한 나비를 나타내는 것

\*R<sub>2</sub> : 물이 흐른 자국이 연속적이고, 물방울보다 약간 좁은 나비를 나타내는 것

\*R<sub>4</sub> : 물이 흐른 자국이 연속해 있지만, 군데군데 끊어져 확실히 물방울보다 좁은 나비를 나타내는 것

\*R<sub>6</sub> : 흐른 자국의 반이 적셔져 있는 것

\*R<sub>7</sub> : 흐른 자국의 1/4은 늘어진 물방울에 의해 적셔져 있는 것

\*R<sub>8</sub> : 흐른 자국의 1/4 이상은 구형의 작은 물방울이 산재해 있는 것

\*R<sub>9</sub> : 곳곳에 구형의 작은 물방울이 산재해 있는 것

\*R<sub>10</sub> : 완전하게 굴러 떨어지는 것

$$F[lb] = P_x \left\{ \frac{A_x^2}{\left(\frac{Z}{4}\right)^2} \right\}^{1/3} \cdot J \cdot Z \quad (2.1)$$

여기서, P<sub>x</sub>=사용원지들의 링크러시 총합[={∑RC<sub>ℓ</sub> + ∑(RC<sub>r</sub>·t<sub>x</sub>)}]/6] (lb/in)

Z=상자의 주변길이={(L+W)×2} (in)

A<sub>x</sub>=골상수(A골=8.36, B골=5, C골=6.10, AB골=13.36)

J=상자의 상수(A골=0.59, B골=0.68, C골=0.68, AB골=0.55)

t<sub>x</sub>=골조율(A/F=1.6, B/F=1.4, C/F=1.5)

표 2.9 양파의 거래단위별 골판지상자의 강도와 표준파렛트 적재효율

거래단위	포장 치수 (mm)			최소압축강도 추정값 (N)	최소파열강도 추정값 (kPa)	표준파렛트 적재효율 (%)
	길이	너비	높이			
5kgf	275	220	200	1,798	638	100/B,P
10kgf	500	300	160	3,912	785	98.4/B,P
15kgf	500	300	220	4,172	981	98.4/B,P
20kgf	500	300	280	4,172	981	98.4/B,P

\*(B) block pattern, (P) pinwheel pattern



(a) 인력에 의한 망포장



(b) 기계 망포장

그림 2.5 양파 그물망포장 방법.

#### 4. 하역기계화와 수송

일반적으로 하역(material handling)의 기능은 수송과 보관에 관련된 부수적인 작업으로 수송과 보관을 연결하고 이들 작업을 향상시키는 것으로, 한국산업규격(KS T 0001)에서도 하역은 물품을 상·하차, 운반, 쌓기, 반출(꺼내기), 분류, 정리 등의 작업 및 여기에 수반되는 작업이라고 정의하고 있다.

하역기계화를 위한 전제조건이 표준파렛트에 의한 파렛트화물(palletized unit load) 단위로 출하되어야 하는데 있다. 그러나 양파의 경우는 다수 농가가 소량생산 및 다수 출하자, 출하단위의 소규모, 양파산지나 도매시장내의 하역기계화를 위한 시설 및 환경의 열악(표준파렛트와의 정합성 부족), 파렛트화물 단위의 경매 방식에 대한 인식부족 등의 이유로 양파 출하시 표준파렛트에 의한 파렛트화물 단위로 출하가 활성화되어 않아 상대적으로 하역작업의 기계화가 저조한 실정이다.

특히, 대규모 농산물 시장으로 출하되는 양파의 대부분이 수송을 목적으로한 (수송포장) 20kgf-그물망포장 단위이므로, 그물망포장 단위로 표준파렛트에 적재하는데 있어 여러 문제점을 보이고 있다. 즉, 그물망포장을 표준파렛트에 적재하고 수작업으로 투명 비닐과 PP밴드로 묶어 파렛트화물을 구성하는데, 이와같은 화물은 운송·보관시 다단적재가 불가능할 뿐아니라 밴드 제거시 그물망포장이 붕괴되는 등의 문제점이 발생하고 있다.

현재 20kgf-그물망포장의 치수는 사용되는 그물망의 치수도 다양하고 또한 양파의 크기에 따라 다양한 포장치수(package size)를 나타낸다. 직접 조사한 결과, 양파의 표준출하규격 등급상 ‘대’에 해당하는 양파를 20kgf와 10kgf-그물망에 담았을때 포장치수는 각각 다음과 같다.

- 20kgf-그물망포장의 평균치수 : 길이×직경=81×23cm (둘레 72cm)
- 파렛트 적재방법 : '2+2' 핀휠적재(pinwheel pattern)
- 파렛트당 실적재량 : 1톤 (8망×6단+2망)
  
- 10kgf-그물망포장의 평균치수 : 길이×직경=60×18cm (둘레 57cm)
- 파렛트 적재방법 : '3+3' 핀휠적재(pinwheel pattern)
- 파렛트당 실적재량 : 1톤 (12망×8단+4망)

20kgf와 10kgf-그물망포장의 표준파렛트 적재시 주로 적용되는 방법이 각각 '2+2'와 '3+3' 핀휠적재 방식인데, 이 경우 파렛트화물의 유닛로드 평면치수(plan-view size)는 최소한 1,270×1,270mm와 1,140×1,140mm가되어, 양과 출하시 대부분 이용되는 20kgf-그물망포장 파렛트화물의 파렛트의 한변을 기준으로 총 170mm의 오버행(overhang)이 발생하고 있어 하단에 쌓인 그물망포장은 꺾여 찢어지거나 양과에 과도한 하중의 작용으로 물리적 손상을 입게된다.

앞에서도 언급한 바와같이 그물망포장은 수송시 파렛트에 의해 유닛 로드화하여 일관수송체계를 이루는데 어려움이 많은 반면, 골판지포장은 표준파렛트에 의한 유닛 로드화가 쉽고 일관수송체계를 확립하는데 유리하다.

따라서 출하 양과의 하역기계화와 일관수송체계를 확립하기 위해서는 앞에서 언급한 바와같이 골판지포장이 안고 있는 문제점을 해결함으로써 골판지포장을 통한 파렛트화를 이루거나 그물망포장을 다단식 목재상자(multilayer wooden container)를 이용해 파렛트화를 추진하는 방법 등이 강구될 수 있다.

또한 소비자 유통업체에 직접 출하하는 경우는 당사자간 협의에 따라 소포장 단위로 그물망포장 후 플라스틱상자를 이용하여 파렛트 출하를 이루는 방법도 일부 시행되고 있다.

우리나라의 경우 양과 수송에는 4.5톤(5톤) 광폭 초장축 트럭이 가장 많이 이용되고, 그 다음이 8톤과 11톤 트럭이다. 대형 마트와의 직거래시에는 냉동빙바디 차량도 이용되고 있다.

트럭에 적재하는 방법으로는 그림 2.7에서 보는 바와같이 20kgf-그물망포장 단위로 적재하는 방법과 표준파렛트에 의한 파렛트화물 단위로 적재하는 2가지 방법이 적용되나 전자의 방법이 대부분 이용되고 있는 실정이다.

20kgf-그물망포장을 표준파렛트(T-11)에 적재시 유닛로드 평면치수는 최소한 1,270×1,270mm가되어 이 파렛트화물을 2열적재시 여유율을 고려하지 않더라도 최소한 차량의 폭이 2,540mm은 되어야 한다. 그러나 현재 차량의 폭은 4.5톤(5톤)은 2,280mm, 8톤과 11톤은 2,340mm로 이 보다 훨씬 미치지 못하므로 그 만큼 그물망포장들은 조밀하게 서로 겹치도록 적재하며(overlap), 파렛트화물 자체내에서 오버행(overhang)까지 발생하여 포장된 양과에 무리한 힘의 작용으로 품질을 손상시키고 있다.

이 뿐만아니라 평파렛트에 그물망포장을 적재하는데는 한계가 있고, 적재된 양과를 구속하고 해체시 양과에 물리적 손상이 가고 작업효율이 떨어지는 단점이 있다. 따라서 표준파렛트의 사용으로 인한 하역작업에는 효율성과 비용절감이 가능하나 양과의 품질관리 측면에서는 그물망포장 단위로 적재시와 크게 다를 바가 없는 것으로 분석된다.



(a) '표준파렛트+그물망포장'



(b) '표준파렛트+플라스틱상자'

그림 2.6 양파의 파렛트화물 형태.



(a) 그물망포장 단위 적재



(b) 파렛트화물 단위의 적재

그림 2.7 양파의 수송 형태.

## 제 2 절 외국의 양파 수확 후 처리기술 현황

관련 자료(농림부·농협중앙회, 2007)의 분석을 통해 선진외국의 수확 후 양파 처리공정을 살펴 보면, 먼저 미국의 경우는 양파 수확 후 산물상태로 수거 → 큐어링처리 및 건조 → 1차 선별 → 상온에서 나무상자를 이용한 저장 → 선별포장기에 의해 2차선별 및 포장 → 그물망포장 단위의 출하 순으로 작업이 진행되며, 특징은 포장에서부터 톤백을 이용 산물상태로 수거 후 대규모 큐어링시설(강제건조)에서 건조한 후, 나무 컨테이너를 이용하여 일정기간 보관한다는 점이다.

한편 일본(북해도)의 경우는 기계수확 → 기계수확을 통해 뿌리가 절단된 양파를 포장에서 일정기간 건조 → 다듬기(줄기와 뿌리의 절단) → 기계수거 후 조립식 컨테이너에 적재 → 1차 선별 → 컨테이너에 담아 큐어링 처리 후 상온 혹은 저온저장 → 2차선별(표피 부산물이나 긴 줄기 및 뿌리절단) → 골판지상자와 그물망 이용 포장 후 출고하는 순서로 작업이 진행되며,

공정의 대부분이 기계화가 이루어져 있고, 출하 양파의 포장에 골판지상자와 그물망이 함께 적용된다는 점이 특징이다.

우리나라의 경우는 대부분 포장에서부터 그물망포장이 이루어져 그물망포장 단위로 운송, 하역, 적재 및 저장이 이루어지는 것에 비해 외국의 경우는 포장에서부터 산물상태로 취급되며, 적재나 저장시에도 산물(벌크)적재나 플라스틱 또는 목재상자가 이용되며, 최종 출하시에만 그물망포장이 진행된다는 점이 다르다. 따라서 우리나라보다는 수확 후 처리공정이 효율적이면서 철저한 품질관리가 이루어진다고 볼수 있다.

### 제 3 절 향후기술개발의 전망

우리나라와 같이 수확 후 포장에서부터 20kgf-그물망포장 후 이어지는 모든 공정에서 그물망포장 단위의 처리는 평파렛트 적재 미흡으로 인한 하역기계화 저조, 저장 중의 양파 품질관리의 어려움, 과도한 하중 작용으로 물리적 손상 발생 등으로 수확 후 처리공정이 고비용·저효율성을 면치 못하고 있는 실정이다.

선진 외국의 사례에서도 보듯이 양파 수확 후 처리공정에서의 저비용·고효율화를 위해서는 포장에서부터 산물상태로의 수거하여 산물상태로의 하역, 건조, 적재(저장)가 이루어져야 하며, 더구나 우리나라 농촌의 현실이 농촌 노동력의 절대감소, 노령화 및 임금의 급상승 등으로 양파 농가의 상황은 더욱 어려움에 직면하고 있는 상황에서 현재와 같은 그물망포장 단위의 처리공정에서 하루빨리 벗어나야 한다.

따라서 우리나라의 양파 수확 후 산지물류비를 절감하기 위해서는 포장에서부터 톤백과 같이 산물상태로 수거하여 일관작업용 상자형 파렛트에 적재하고, 강제통풍건조 후 적재와 저장이 이루어지며, 저장 중에 부패한 양파를 쉽게 선별해 낼 수 있고, 출하시 선별·포장라인으로 자동 공급될 수 있는 산물처리 기계장치의 개발보급이 절실하다.

## 제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

### 제 1 절 양파의 산물처리 기계장치 개발과 관련된 산물특성 분석

#### 1. 서언

양파의 산지물류비를 절감하기 위해서는 전통적인 그물망작업에 의한 처리방법에서 벗어나 수확직 후부터 산물상태로의 수거, 운반, 강제통풍건조(큐어링), 저장 및 선별·포장 등의 일관작업이 이루어져야 한다.

일관작업용 상자형 파렛트(box pallet) 설계와 산물상태로의 일관작업의 일환으로 강제통풍 건조시 적재된 양파층을 통과하기 위한 송풍량과 적정 쉐(fan) 결정을 위해서는 양파의 적재방법에 따른 정압강하(static pressure drop) 특성이 요구되며, 아울러 산물처리 과정에서 양파의 물리적 손상을 방지하고 처리기계 및 시설의 설계와 운용조건을 확립하기 위해서는 양파구(onion bulb)와 접촉표면 사이의 마찰계수(friction coefficient)와 구름저항(rolling resistance)과 같은 마찰특성이 요구된다.

특히, 마찰계수는 상자형 파렛트의 적재면에 작용하는 총수직력의 결정시 그리고 구름저항은 파렛트 자동적재기계장치의 설계시 양파구의 슬라이딩과 순수구름(각)을 유도하기 위한 장치의 요소 설계시 절대적으로 필요하다.

따라서 본 연구에서는 양파 수확 후 산물상태로의 일관처리를 위한 산물처리 기계장치를 개발하고 운용하는데 있어 필요한 양파 적재층 및 파렛트에 양파 적재방법에 따른 압력강하를 분석 및 모델링하고, 양파가 접촉하는 작동표면의 성질에 따른 마찰특성으로 마찰계수와 구름저항을 분석하고자 한다.

#### 2. 측정시스템 설계와 실험방법

##### 가. 양파 적재층에 대한 압력강하 시험

##### (1) 실험장치

적재 양파층에 대한 정압강하를 측정하기 위한 실험장치는 그림 3.1에서 보는 바와같이 크게 양파 적재상자, 공기유동관, 유동조정기(flow conditioner), 쉐(fan) 및 계측시스템으로 구성된다.

정압강하 측정장치의 설계에 있어 가장 중요한 것은 장치 구성요소와 요소연결부를 정압손실을 가급적 줄이는 방향으로 설계하고, 이들 요소들에 대한 압력손실과 측정 대상물에 대한 압력손실을 예측한 후 적절한 풍량과 풍압을 가지는 쉐를 결정하는 일이다.

따라서 본 연구에서는 압력손실을 최소화하기 위한 조치로 리듀샤(reducer)의 외측기울기를 30° 이하로 하였고, 양파 적재면은 최대한 정압손실을 적게하기 위하여 6mm의 와이어를 이용해 와이어 스크린(wire screen) 형태로 제작하였다.

또한 헨의 진동이 공기 유동에 영향을 주지않기 하기위해 방진고무를 통해 충격을 완화시켰다.

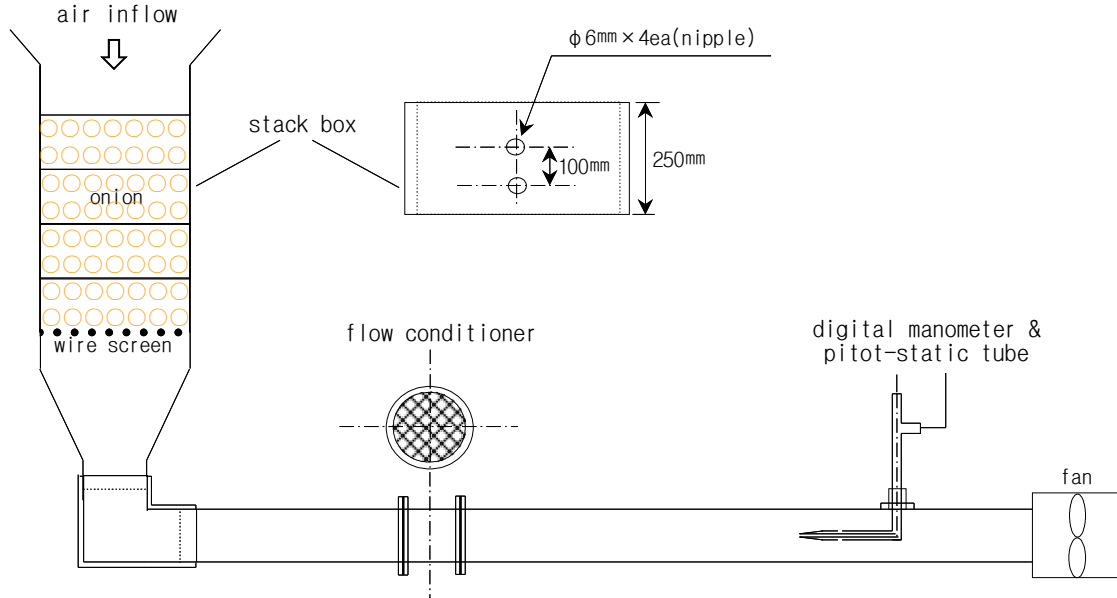


그림 3.1 양과 적재층에 대한 압력강하 측정장치 개략도.

정압강하 측정에는 digital micromanometer (KIMO MP202, 0~1kPa,  $\pm 0.5\%$  of reading  $\pm 1\text{Pa}$ , resolution 1Pa)가 사용되었고, 송풍량 계산을 위한 유속측정에는 정압관(pitot-static tube)과 디지털 마노메타( $2\sim 40\text{m/s}$ ,  $\pm 3\%$  of reading  $\pm 0.1\text{m/s}$ , resolution 0.1m/s)가 사용되었다. 또한 사용된 헨은 풍압 1,717Pa(175mmAq), 풍량 67CMM인 D사의 터보식 원심헨이었다.

송풍량 조절을 위해 전압과 주파수를 가변시켜 전동기에 공급함으로써 전동기의 속도를 제어하는 장치인 인버터(inverter)를 사용하였고, 관내의 공기 유속을 정확히 측정하기 위한 방법으로 그림 3.1에서 보듯이  $\phi 25.4(t=1\text{mm})$ , 길이 500mm의 pipe 120개를 사용하여 튜브 묶음식(tube bundles) 유동조정기(flow conditioner)를 제작 설치하여 이를 통해 관내부의 유속을 안정화 상태로 유지하였다.

## (2) 실험방법 및 재료

정압강하 측정위치는 양과 적재면(wire screen)을 중심으로 30, 60, 90cm의 각 높이에서 정압측정용 니플( $\phi 6\text{mm}$ )을  $90^\circ$  간격으로 설치하여 상하 같은 위치의 정압차를 측정하였고, 인버터에 의해 헨의 회전속도를 조절하는 방식으로 송풍량에 변화를 주었으며, 각 조건에서 5분 간격으로 3회 측정하여 평균하였다.

유동조정기를 통과해 나오는 공기의 평균유속을 측정하여 송풍량을 계산하고, 이를 다시 양과 적재부의 겉보기풍속(superficial air velocity)으로 나타내었다.

$$\text{겉보기풍속(CMM/m}^2\text{)} = \frac{\text{산물 적재층 통과풍량(CMM)}}{\text{산물 적재층 단면적(m}^2\text{)}} \quad (3.1)$$

유속의 측정위치는 300mm관의 단면을 수직으로 절단하여 수직방향을 4등분한 중간의 3지점 즉, +75mm, 0, -75mm 위치로 정해 측정한 후 평균하였다.

본 연구에 사용된 양파는 중만생종으로 전국의 양파 주산지를 중심으로 저장양파 재배면적의 약 70~80%를 차지하고 있는 터보 품종으로, 실험 당해년도 하순에 수확하여 5개월 저온저장해오던 양파로, 경남 함양의 APC 선별장에서 브러시 세척 후 농산물 표준등급기준(농산물품질관리원, 2007)으로 설정된 형상선별기에 의해 특대, 대, 중의 3 등급으로 표준 선별된 것이다.

특히 정압강하 측정시 껍질 등 이물질 혼입에 따른 시험오차를 줄이기 위해 브러시 세척기를 3회 통과 시켰다.

여기서 양파의 형상과 압력강하와의 관련성을 분석하기 위해서는 양파에 대한 형상을 정량화해야 하는데, 본 연구에서는 그림 3.2와 같이 간단히 측정할 수 있는 구경(equatorial diameter,  $D_e$ )과 구고(polar diameter,  $D_p$ )의 선형 치수 및 질량을 측정하여 이로부터 다음의 수식들에 의해 양파의 형상과 산물특성을 나타내었다.

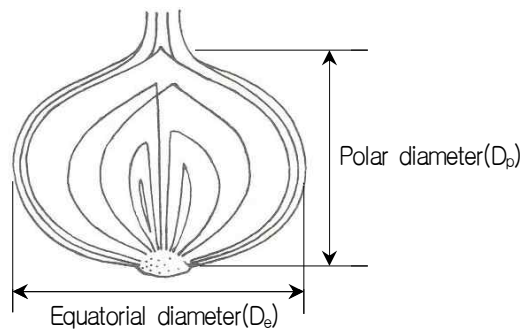


그림 3.2 양파의 치수.

$$\text{기하학적 평균직경(geometric mean diameter), } D_{gm} = (D_e D_p T)^{1/3} = (D_e^2 D_p)^{1/3} \text{ for } D_e \approx T \quad (3.2)$$

$$\text{구형률(sphericity), } S = \frac{D_{gm}}{L} \quad (3.3)$$

$$\text{공극률(porosity), } P (\%) = \left(1 - \frac{D_B}{D_T}\right) \times 100 \quad (3.4)$$

여기서,  $D_B$ =산물밀도(bulk density) ( $\text{kg/m}^3$ )

$D_T$ =진밀도(true density) ( $\text{kg/m}^3$ )

표 3.1에는 본 연구에 사용된 양파의 각 등급별 100개씩에 대한 기하학적 특성 값을 분석하여 나타내었다.



표 3.1 실험에 사용된 양파의 기하학적 특성값

구분 <sup>1)</sup>	특대	대	중
구경 <sup>2)</sup> (mm)	93.4(3.9)	82.0(2.9)	70.8(3.3)
체적 <sup>3)</sup> (m <sup>3</sup> )	4.1050×10 <sup>-4</sup> (0.5001×10 <sup>-4</sup> )	2.8040×10 <sup>-4</sup> (0.3187×10 <sup>-4</sup> )	1.9050×10 <sup>-4</sup> (0.2308×10 <sup>-4</sup> )
질량 (g)	374.3(32.5)	262.3(20.4)	182.8(18.3)
진밀도 (kg/m <sup>3</sup> )	919.6(28.7)	941.4(29.1)	963.4(28.9)
구형률 (%)	95.9(3.3)	96.4(2.9)	96.7(2.6)

\*( )의 값은 표준편차

\*1)농산물표준규격(특대 : D≥90, 대; 90>D≥80, 중; 80>D≥60)

\*2)기하학적 평균직경

\*3) $V=(\pi/6)(D_{gm})^3$

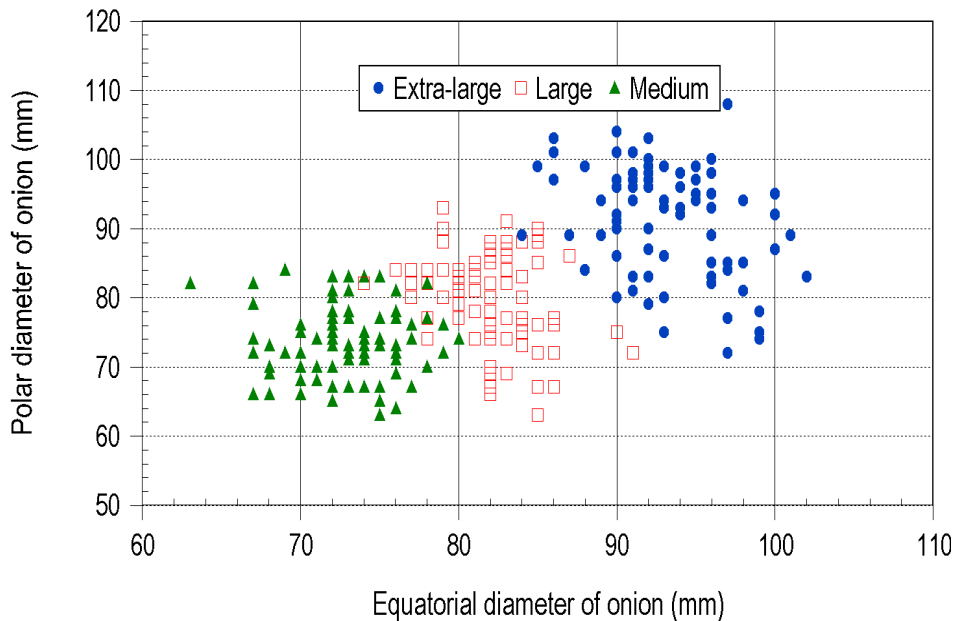


그림 3.3 실험에 사용된 양파의 구경과 구고의 크기 분포.

#### 나. 파렛트에 양파 적재방법별 송풍성 시험

##### (1) 실험장치

20kgf-그물망포장(길이×직경=81×23cm)을 ‘2+2’ 편횡적재하는 파렛트 치수를 5kgf-그물망포장(길이×직경=40×17cm) ‘2+2’ 편횡적재 가능한 치수로 축소시켜 직육면체형 적재상자를 제작하였다. 이때 그림 3.1의 장치를 활용하여 ‘2+2’ 편횡적재 파렛트화물의 측면에서의 통기성을 평가하기 위해서는 실제 제작 설치된 적재상자는 직육면체형 가로×세로×높이=740×680×740mm였다.

##### (2) 실험방법 및 재료

산물상태 일관처리용 상자형 파렛트의 설계시 통기파이프의 크기, 위치, 형태 및 설치위치에 대한 설계자료를 얻기 위하여 제작된 양과적재 상자에 다음의 4가지 적재형태에 대하여 송풍성을 실험하였다. 송풍성의 정성적인 평가를 위해 2가지 인자 즉, 양과 적재층의 단위면적당 송풍량인 겉보기풍속과 적재층의 정압강하를 인자로 선정하였다.

- Type #1 : 통기파이프 4개를 L×H면에 2열로 균등 배치한 산물적재
- Type #2 : 통기파이프 3개를 W×H면에 수직으로 일렬 배치한 산물적재
- Type #3 : 통기파이프가 없는 산물적재
- Type #4 : 5kgf-그물망포장 '2+2' 편렬적재

가공된 통기파이프의 규격은 적재상자의 단면적 대비 1.5%의 통기 비율을 갖도록 통기파이프의 직경을 파이프 4개 설치시는  $\phi 51\text{mm}$ , 3개 설치시는  $\phi 60\text{mm}$ 로 하였다. 가공된 통기파이프의 개구율은 표면적 대비 약 41% 였으며, 형태는 그림 3.4와 같다.

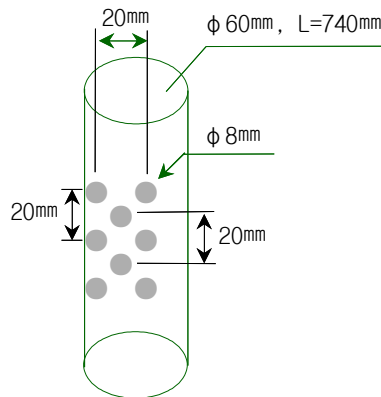


그림 3.4 설치한 통기파이프.

실제의 20kgf-그물망포장 적재를 5kgf-그물망포장 단위로 축소된 모형으로 실험하는 까닭에 모든 경우에 있어 사용된 양과는 평균 구경(기하학적 평균직경)이  $56\text{mm}(\pm 2.8)$ 로 농산물표준 규격상 '소'에 해당하는 작은 양과였다.

## 다. 마찰특성 시험

### (1) 실험장치

양과의 산물처리기계장치를 설계하는데 있어 중요한 마찰특성으로는 정마찰계수와 정구름저항이다.

양과에 대한 정마찰계수와 정구름저항을 측정하기위한 장치는 아래의 그림 3.5에서 보는 바와같이 작동표면과 각속도 변화가 가능한 회전평판 및 이를 위한 변속모타, 작동표면의 회전각도를 읽을 수 있는 디지털 각도기 등으로 구성된다.

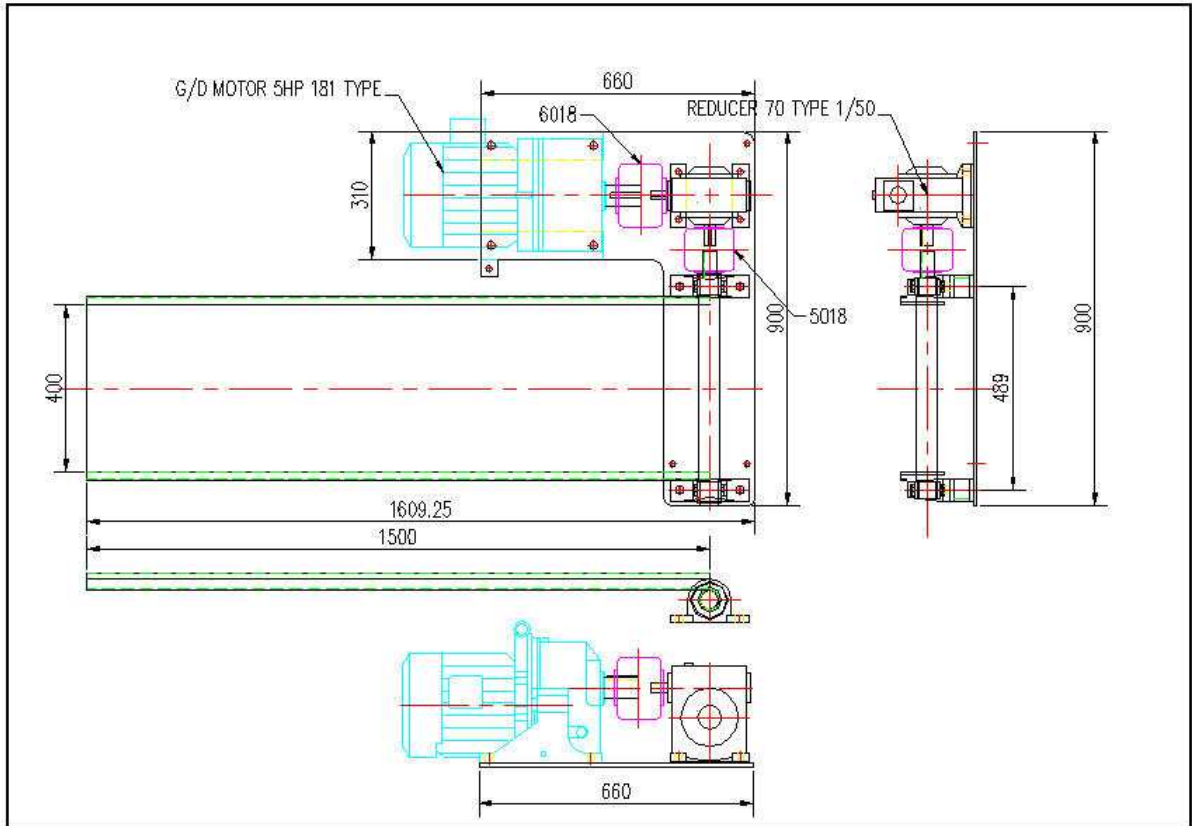


그림 3.5 양파에 대한 정마찰 및 정구름저항 실험장치의 도면.

## (2) 실험방법 및 재료

본 연구에 사용된 양파는 중만생종의 터보품종으로 실험 당해년도의 5월하순에 수확하여 5개월 저온저장해오던 양파로, 경남 함양의 APC 선별장에서 브러시 세척과 동시에 농산물 표준등급 기준(농산물품질관리원, 2007)으로 설정된 형상선별기에 의해 특대( $D \geq 90$ ), 대( $90 > D \geq 80$ ), 중( $80 > D \geq 60$ ), 소( $D < 60$ )로 표준 선별된 것이다.

정마찰계수 측정시에는 내경  $\Phi 340\text{mm}$ 의 얇은 아크릴 원통에 크기별(직경 기준)로 양파를 채워 적재량을 가지고 표면압력(normal pressure intensity)을 정하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 가. 압력강하 측정시스템에 대한 평가

구축한 압력강하 측정시스템에 대한 평가와 송풍량 사용범위를 파악하기 위해 실험재료로 선정된 양파 가운데 정압손실(static pressure drop)이 가장 클 것으로 예상되는 등급상 ‘중’에 해당되는 양파를 1m 적재하고, 인버터(inverter)에 의해 웬의 회전속도를 583, 875, 1167, 1458, 1750rpm 변화시킬때 송풍량은 5.65, 11.30, 16.96, 22.61, 28.26CMM이었다. 이때 적재 양파층의 압력강하는 각각 102, 343, 670, 1150, 1698Pa 이었고, 여기에 각 송풍량에 대한 장치의 구성요소들에 대한 정압손실을 계산하면 표 3.2와 같다.

구성된 실험장치 자체에 대한 압력손실은 원형 직관에서 벽면과의 마찰로 인한 압력손실과 흐름방향이 급변하는 리듀샤(reducer), 엘보우(elbow) 및 유동조정기(flow conditioner) 등에서의 국부저항손실로 구분된다.

표 3.2 송풍량에 따른 압력강하 측정시스템의 압력손실

항목	Revolution speed of fan (rpm)					비고
	583	875	1,167	1,458	1,750	
송풍량 (m <sup>3</sup> /min)	5.65	11.30	16.96	22.61	28.26	
총전압손실 (Pa)	106	359	706	1,212	1,794	
- 양과적재 <sup>1)</sup> (Pa)	102	343	670	1,150	1,698	
- wire screen <sup>2)</sup> (Pa)	1.99	7.94	17.84	31.77	49.64	
- 직관저항 <sup>3)</sup> (Pa)	1.06	3.56	7.24	11.98	17.70	
- reducer <sup>4)</sup> (Pa)	0.04	0.15	0.34	0.60	0.94	
- 엘보우 <sup>4)</sup> (Pa)	0.78	3.10	6.99	12.42	19.41	
- 유동조정기 <sup>4)</sup> (Pa)	0.35	1.39	3.14	5.57	8.71	

\*1)measuring value

\*2) $\Delta P_s = 1.071 \left( \frac{V}{\epsilon O_f} \right)^2$  ( $\Delta P_s$ =다공관을 통한 압력손실 (Pa),  $V$ =공기의 겉보기속도 ( $m^3/s \cdot m^2$ ),  $\epsilon$ =공극률(소수),  $O_f$ =다공관의 개공률 (소수))

\*3) $\Delta P_f = \lambda \times \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2g} \gamma$  ( $\lambda$ =관마찰계수,  $L$ =관의 길이 (m),  $D$ =관의 내경 (m),  $\gamma$ =공기의 비중량 ( $12.07N/m^3$ ),  $V$ =평균유속 (m/s))

\*4) $\Delta P_s = \zeta \times \frac{V^2}{2g} \gamma$  ( $\zeta$ =국부압력손실계수)

표 3.2로부터 총전압손실(total pressure drop)을 구한 후 ‘송풍량-전압’의 시스템 특성곡선(system characteristics curve)을 그리면 그림 3.6과 같다. 이 특성곡선 상에 팬의 성능곡선(performance curve)을 겹쳐 그려 만나는 점이 각 경우에 대한 팬의 작동점(working point of a fan)이 된다.

이를 나타낸 그림 3.6에서 보면, 작동점 #1에서의 송풍량은 약 25CMM으로 측정에 의한 송풍량 28.26CMM과는 11%의 오차를 보였고, 작동점 #4에서의 송풍량은 12CMM으로 측정에 의한 송풍량 11.30CMM과는 약 6%의 오차를 보여 회전속도가 작을 수록 측정에 의한 송풍량과 실제 작동점 간의 오차가 적었다.

또한 압력 손실면에서는 이와 유사하게 팬의 회전속도가 높을 수록 작동점과 실측에 의한 값 사이에 오차는 컸다. 이와같은 차이는 유속이 클수록 유속 프로파일(velocity profile)이 잘 발달되지 않아 유속 측정에 오차가 있기 때문으로 판단된다.

따라서 양과의 크기별 및 혼합비율별 정압강하 시험시에는 팬의 회전속도를 적정범위로 해야 관내부의 난류성 섭동성분(flutation)을 최소화하여 시간 평균에 대한 오차를 줄임으로써 송풍량을 정확히 측정할 수 있는 방법이라 판단된다. 따라서 양과 적재층에 대한 정압강하 시험에서는 송풍량 20CMM이하에서 6수준 변화시켜가며 실험하였다.

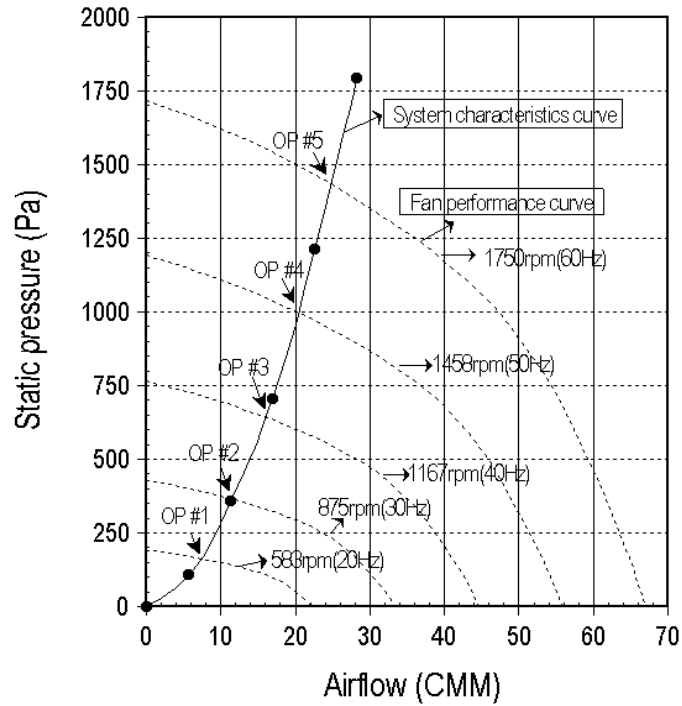


그림 3.6 시스템 특성곡선과 팬의 성능곡선(동일 송풍기에서의 송풍기 법칙 적용 :

$$Q_2 = Q_1 \left( \frac{N_2}{N_1} \right), P_2 = P_1 \left( \frac{N_2}{N_1} \right)^2 = P_1 \left( \frac{Q_2}{Q_1} \right)^2$$

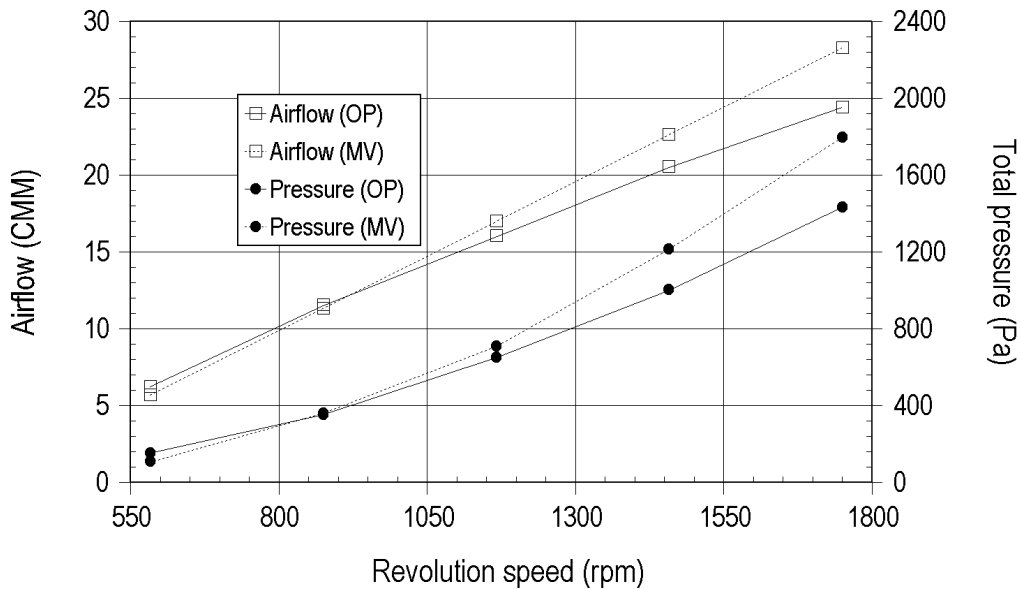


그림 3.7 송풍기의 작동점과 측정 값 사이의 오차 (OP=operating point, MV=measuring value).

나. 양파 적재층에 대한 압력강하

양파의 크기와 크기별 혼합비율에 따른 정압강하 시험광경을 그림 3.8에 나타내었다. 그림 3.9와 3.10에는 표준규격상(농산물 품질관리원, 2007) ‘특대’, ‘대’, ‘중’에 각각 해당되는 양파를

개수를 기준으로 표 3.3에서 계획된 비율에 따라 혼합하여 균일하게 적재한 후 걸보기풍속과 적재깊이 별로 정압강하의 측정 결과를 나타내었다.



(a) 전체시스템

(b) 제작된 유동조정기

그림 3.8 양파 적재층에 대한 압력강하 측정 시험광경.

모든 경우에 있어서 양파의 적재 깊이와 걸보기풍속이 증가할 수록 정압강하도 증가하였다. 좀더 구체적으로 살펴보면, 크기에 따른 정압강하 특성에서는 크기가 작을수록 정압강하는 컷고, 또한 적재 깊이와 걸보기풍속에 따른 정압강하의 증가율도 큰 것으로 나타났다. 양파의 크기와 공극률과는 비례관계가 있는 것으로 보아 양파의 정압강하는 공극률과 밀접한 관계가 있는 것으로 분석되었다.

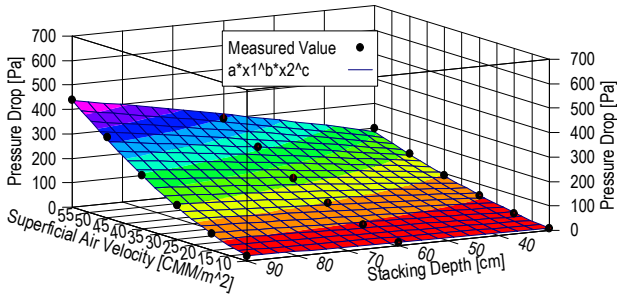
한편, 크기별 혼합비율에 따른 정압강하에서는 공극률이 큰 비율 일수록 작았으며, 적재 깊이와 걸보기풍속에 따른 정압강하 증가율도 완만한 것으로 나타났다.

표 3.3 시험에 적용된 양파의 크기별 및 크기별 혼합비율과 산물밀도

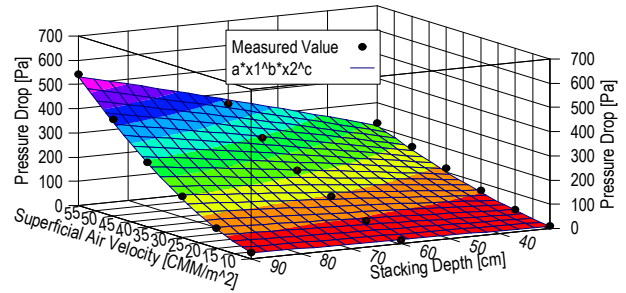
혼합비율(특대:대:중) (개수)	산물밀도 <sup>1)</sup> (kg/m <sup>3</sup> )	공극률 <sup>2)</sup> (%)
특대	526.5	41.5
대	558.0	38.0
중	576.0	36.0
특대:대:중=1:1:1	549.2	39.0
특대:대:중=1:2:3	566.1	37.1
특대:대:중=2:3:1	549.9	38.9
특대:대:중=3:2:1	531.8	40.9

\*1)산물밀도 계산시 체적은  $V=(\pi/6)(D_{gm})^3$ 로 계산함

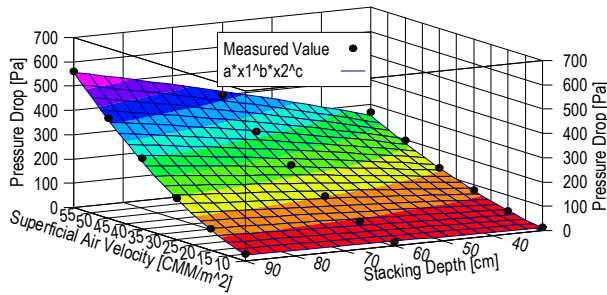
\*2)식(3.4)에 의해 계산



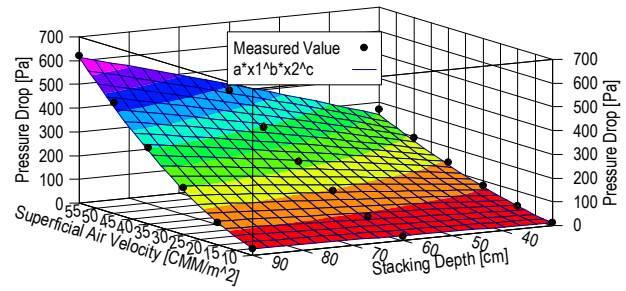
(a) 특대



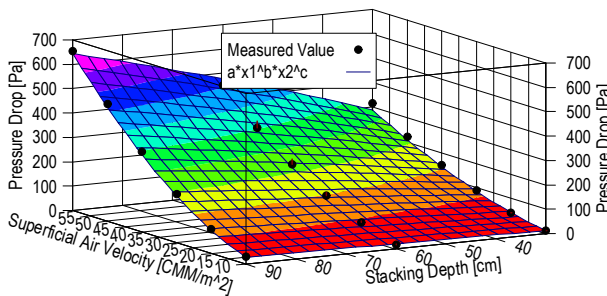
(a) 특대:대:중=1:1:1



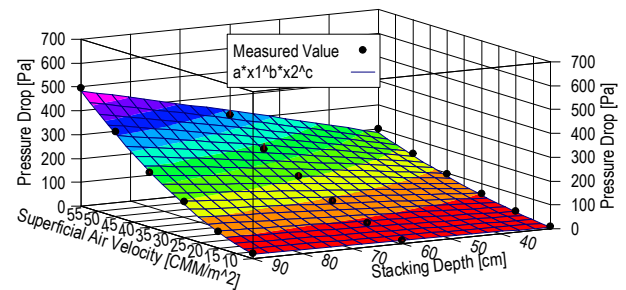
(b) 대



(b) 특대:대:중=1:2:3



(c) 중



(c) 특대:대:중=3:2:1

그림 3.9 양파의 크기별 정압강하 특성.

그림 3.10 양파의 크기별 혼합비율에 따른 정압강하 특성.

양파 적재층에 대한 정압강하는 걸보기풍속에 따른 단위 적재 깊이당 정압강하 특성으로 나타내면 더욱 더 정성적으로 설명될 수 있다. 그림 3.11의 단위 적재 깊이당 걸보기풍속에 따른 정압강하 특성에서도 공극률이 큰 비율 일수록 작았으며, 걸보기풍속이 증가할 수록 각 혼합비율간의 차이를 크게 나타냈다.

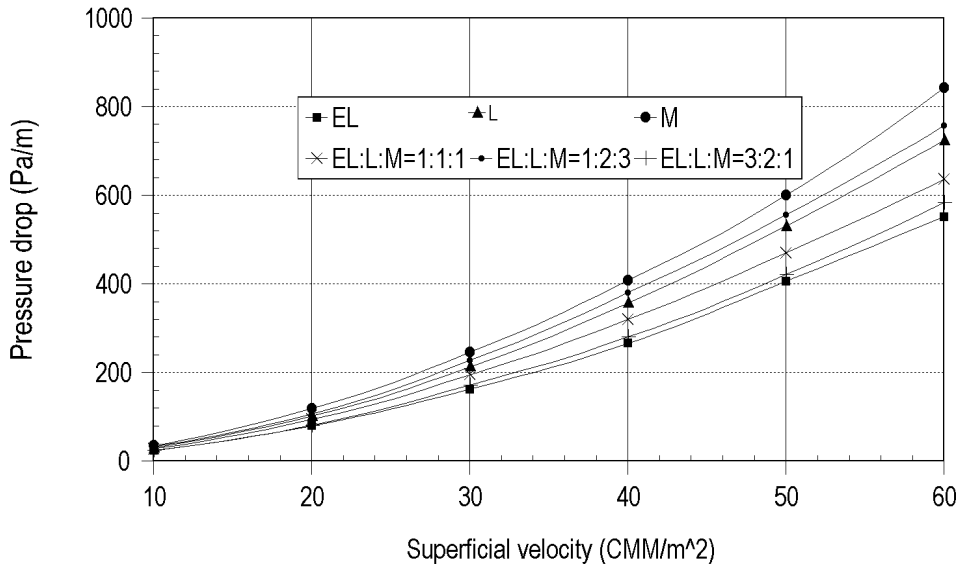


그림 3.11 양파의 단위 적재깊이당 압력강하.

겉포기풍속과 적재 깊이를 인자로 하는 정압강하 모형과 겉보기풍속에 따른 단위 적재깊이당 정압강하 모형을 표 3.4에 각각 나타내었다.

표 3.4 적재 양파의 정압강하 모형

구 분	PD = a(SV) <sup>b</sup> (SD) <sup>c</sup>			r <sup>2</sup>	PD' = a(SV) <sup>b</sup>		r <sup>2</sup>
	a	b	c		a	b	
특대	0.0114	1.7167	0.7838	0.9958	0.4030	1.7650	0.9528
대	0.0187	1.7265	0.7187	0.9974	0.5367	1.7612	0.9388
중	0.0188	1.7472	0.7307	0.9934	0.5653	1.7837	0.9277
특대:대:중= 1:1:1	0.0088	1.7321	0.8717	0.9958	0.5712	1.7144	0.9716
특대:대:중= 1:2:3	0.0136	1.7096	0.8268	0.9933	0.6168	1.7381	0.9547
특대:대:중= 3:2:1	0.0056	1.8048	0.8832	0.9938	0.3638	1.8005	0.9692

\*PD=압력강하 (Pa), PD'=단위 적재 깊이당 압력강하 (Pa/m)

\*SV=겉보기풍속 (CMM/m<sup>2</sup>), SD=적재 깊이 (cm)

#### 다. 파렛트에 양파적재 방법별 송풍저항성

파렛트에 산물상태로 적재된 양파층의 송풍성 향상을 위한 설계인자를 찾고자 산물상태로 적재하고 공기유입 면적의 1.5%에 해당하는 통기파이프를 4개(type #1) 혹은 3개(type #2) 설치, 그리고 통기파이프 없이 산물상태로 적재시(type #3)와 현행 그물망포장 단위로 '2+2' 편렬 적재한 경우의 각각에 대한 웬의 회전속도별 겉보기풍속과 단위 적재깊이 당 정압강하를 측정 하여(그림 3.12) 그 결과를 그림 3.13에 나타내었다.





(a) 그물망포장 단위 적재 (b) 통기파이프를 갖는 산물적재  
그림 3.12 파렛트에 양과 적재형태별 송풍성 시험광경.

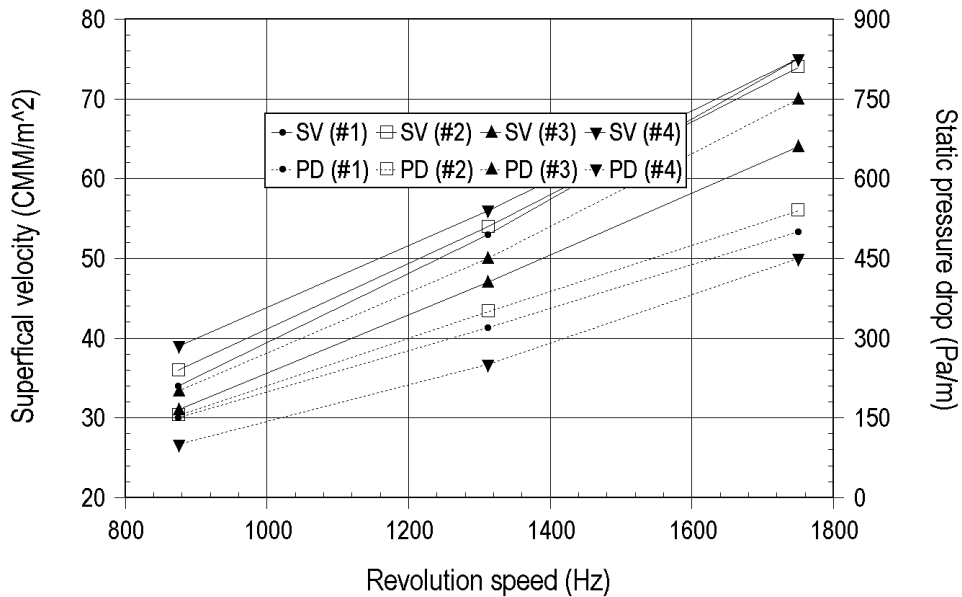


그림 3.13 파렛트에 양과 적재형태별 걸보기풍속과 정압강하 (SV=superficial velocity, PD=pressure drop)

(#1 : 통기파이프 4개를 갖는 산물적재, #2 : 통기파이프 3개를 갖는 산물적재, #3 : 통기파이프를 갖지않는 산물적재, #4 : 그물망포장 단위 적재)

양과 적재층의 걸보기풍속 면에서는 그물망포장을 ‘2+2’ 편렬적재, 통기파이프 설치한 산물 적재 및 통기파이프 없는 산물적재 순으로 컸으며, 웬의 속도를 빠르게 할 수록 앞의 #1~#3의 경우는 차이가 줄었으나 #4 경우와는 차이가 컸다. 한편, 정압강하 측면에서는 이와는 반대로, 통기파이프가 없는 산물적재인 경우가 월등히 컸고, 그 다음은 통기파이프 4개, 3개 설치한 순이었으며, 그물망포장 단위 적재시가 정압손실이 가장 작은 것으로 나타났다.

그물망포장 단위 편렬적재와 통기파이프를 가진 산물적재 간의 걸보기풍속에 있어서의 차이보다는 정압강하에서 더 큰 차이를 보였는데, 이는 통기파이프를 가진 산물적재의 경우 파이프를 길이 방향으로 바로 지나가는 공기의 양이 있어 유속이 크게 측정되어 상대적으로 송풍

량이 크게 계산된 점도 한 원인인 것으로 판단된다. 전체적으로 산물적재시 통기파이프 설치에 따른 송풍 효과는 통기파이프의 치수에 따라 다르겠지만 산물적재시 보다 송풍성이 크게 향상시키는 방법이 될 수 있을 것으로 평가되었다.

라. 마찰특성

일반적으로 농산물의 정마찰계수(static-friction coefficient)에 영향을 주는 인자로는 함수율, 표면압력, 표면 성질, 환경 등인데, 본 연구에서는 양파의 정마찰계수에 영향을 주는 인자로 표면압력, 크기분류 및 표면 성질 등을 실험변수로 설정하였다.

설정된 작동표면의 거칠기(surface roughness)가 마찰계수에 영향을 주기 때문에 표 3.5에는 적용된 마찰표면의 재료에 대한 표면거칠기 값을 측정하여 나타내었다.



그림 3.14 양파에 대한 정마찰계수 실험광경.

표 3.5 작동 표면의 성질

Plywood		Rubber	Galvanized steel	비고
나뭇결방향	나뭇결수직방향			
3.98(±1.27)	15.33(±1.36)	1.20(±0.43)	0.62(±0.03)	

\*( ) 표준편차

\*중심선 평균거칠기(R<sub>a</sub>)

표 3.6 양파의 마찰특성과 분산분석 결과

Items	Surface materials			Size grade			Normal pressure (kPa)		
	plywood	rubber	galvanized steel	small	medium	large	0.58	0.98	1.50
Static-friction coefficient	0.4561 (±0.0567) <sup>a</sup>	0.4095 (±0.0333) <sup>b</sup>	0.3563 (±0.0344) <sup>c</sup>	0.4459 (±0.0512) <sup>a</sup>	0.4067 (±0.0516) <sup>b</sup>	0.3693 (±0.0484) <sup>c</sup>	0.4267 (±0.0591) <sup>a</sup>	0.3970 (±0.0594) <sup>bc</sup>	0.3982 (±0.0550) <sup>bc</sup>
Static-rolling resistance	13.17 (±3.77) <sup>a</sup>	15.43 (±4.78) <sup>b</sup>	10.84 (±4.26) <sup>c</sup>	8.38 (±2.52) <sup>a</sup>	13.46 (±2.69) <sup>b</sup>	17.60 (±3.02) <sup>c</sup>	—	—	—

\*All data represent the mean of five determinations

\*<sup>a,b,c</sup> letters indicate the statistical difference in rows (significant level at 5%)

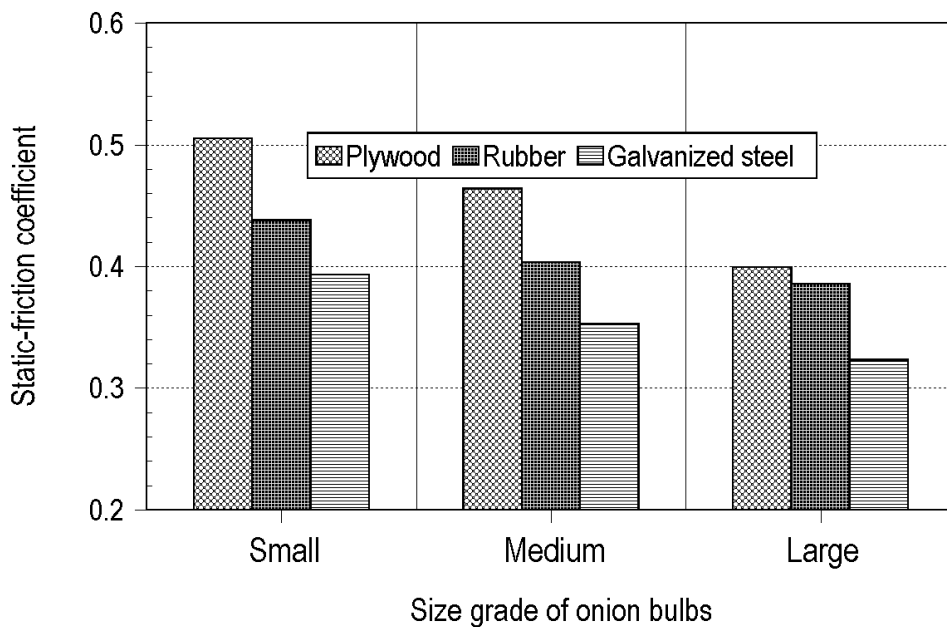


그림 3.15 작동표면과 양파구의 크기에 따른 정마찰계수.

그림 3.15에서 양파의 정마찰계수는 모든 크기의 양파에서 합판>고무>아연도금 강판 순이었다. 이와같이 경향은 Bahnasawy 등(2004)에 의한 Egyptian onion, Kingsly 등(2006)에 의한 dried pomegranate seed, Baryeh(2001)의 bambara groundnut에 대한 연구결과와도 잘 일치하였다. 그러나 Topuz 등(2005)은 orange에 대한 정마찰계수 값에서 고무판이 다른 합판이나 아연도금판에 비해 큰 것으로 보고한 바 있고, 합판과 아연도금판에 대한 정마찰계수값 사이에는 1%와 0.1% 유의수준에서 통계적 유의성이 있음을 보고 한 바있다.

일반적으로 양파구가 작을수록 정마찰계수는 컸으며, 양파구의 크기별 표면압력이 정마찰계수에 미치는 영향은 뚜렷하지 않았다.

여러 마찰표면, 양파구의 크기 및 표면압력에 따른 정마찰계수에 대해 분산분석(variance analyssi) 결과, 마찰표면과 양파구의 크기에 대해서는 유의성이 있었고, 표면압력에 대해서는 유의성이 없었다(표 3.6).

마. 구름저항

농산물의 구름(rolling)은 중력에 의한 선별이나 운반의 경우에 매우 중요한 역할을 한다. 형상이 둥근 농산물이 경사를 굴러 내려올때 최적의 경사각을 결정하기 위해서는 구름저항(rolling resistance) 또는 최대안정각(stability angle)을 알아야 한다.

정구름저항(static-rolling resistance)은 정마찰계수 측정장치의 적용이 가능한데, 작동표면(working surface)의 중앙 부분에 측정 양과구(onion bulb)를 가장 안정한 상태로 놓은 상태(대부분 bulb top이 평판위를 향함)에서 최소한의 각속도로 작동 평판을 회전시킬때, 양과구가 최초로 구르기 시작하는 순간의 작동 평판의 각도를 측정하면 된다.

정구름저항은 작동평판의 표면성질, 양과구의 크기 및 형상 등에 의해 영향을 받게되므로, 여기서는 정마찰계수 측정시와 동일한 마찰표면과 양과구의 크기를 실험변수로 설정하였다.

표 3.7 양과구의 정구름저항

Items	Surface materials			비고
	Rubber	Galvanized steel	Plywood	
Small	10.09(±1.70)	6.02(±1.95)	9.03(±1.89)	
Medium	15.48(±2.02)	11.31(±2.17)	13.59(±2.09)	
Large	20.72(±2.13)	15.20(±1.83)	16.88(±1.86)	

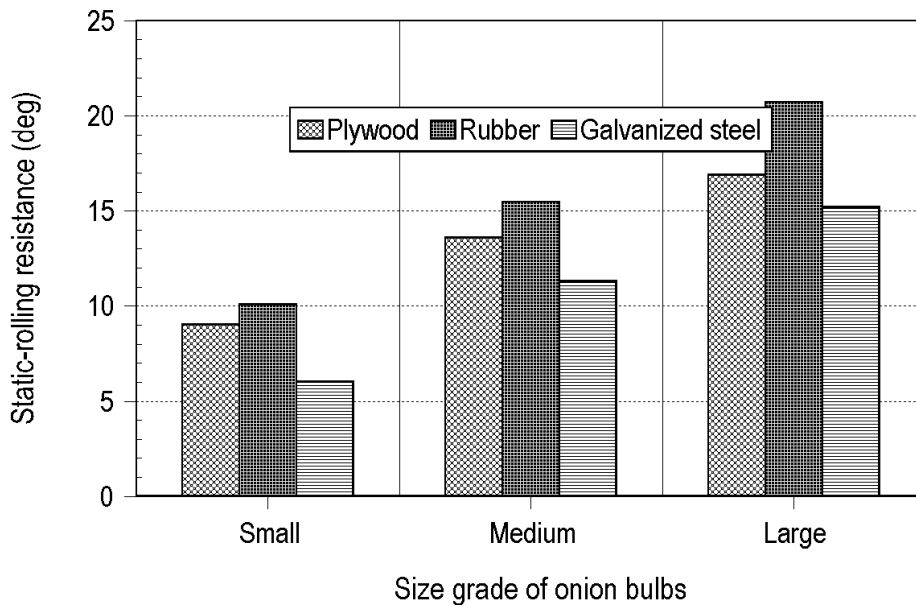


그림 3.16 작동표면과 양과구의 크기에 따른 정구름저항.

표 3.7과 그림 3.16에서 보는 바와같이 정구름저항은 마찰표면 성질에 관계없이 양과구의 크기(직경)가 클수록 컸으며, 또한 모든 크기에서 rubber>plywood>galvanized steel 순이었다.

Bahnasawy 등(2004)은 Egyptian onion에 대한 실험에서 정구름저항은 양과구의 모든 크기 분류에서 작동평판의 표면이 rubber>plywood>galvanized steel 순으로 컸으며, 모든 표면에서

양파구의 크기가 클수록 큰 것으로 보고한 바 있으며, 이들은 분산분석 결과 품종, 표면성질 및 양파 크기에 있어 모두 다 유의성이 없었다고 하였다.

표 3.7에서 양파의 정구름저항 값 사이에 표준편차가 비교적 큰 편이어서, 이를 보다 더 상세히 분석하기 위하여, 양파구의 구고(polar diameter)와 구경(equatorial diameter)의 간단한 선형치수로부터 식(3.2) 및 식(3.3)을 활용해 구형률(sphericity)을 계산하여, 이 구형률에 따른 정구름저항을 그림 3.17에 다시 나타내었다.

양파구의 정구름저항은 같은 크기의 등급에서도 구형률에 따라 변화가 컸는데, 구형률이 증가할수록 감소하다 100~105%를 기점으로 다시 증가하는 경향을 나타내었다.

표 3.6에 나타낸 통계적 유의성 검증에서도 작동표면과 크기에 따라 모두 유의성이 있는 것으로 분석되었다.

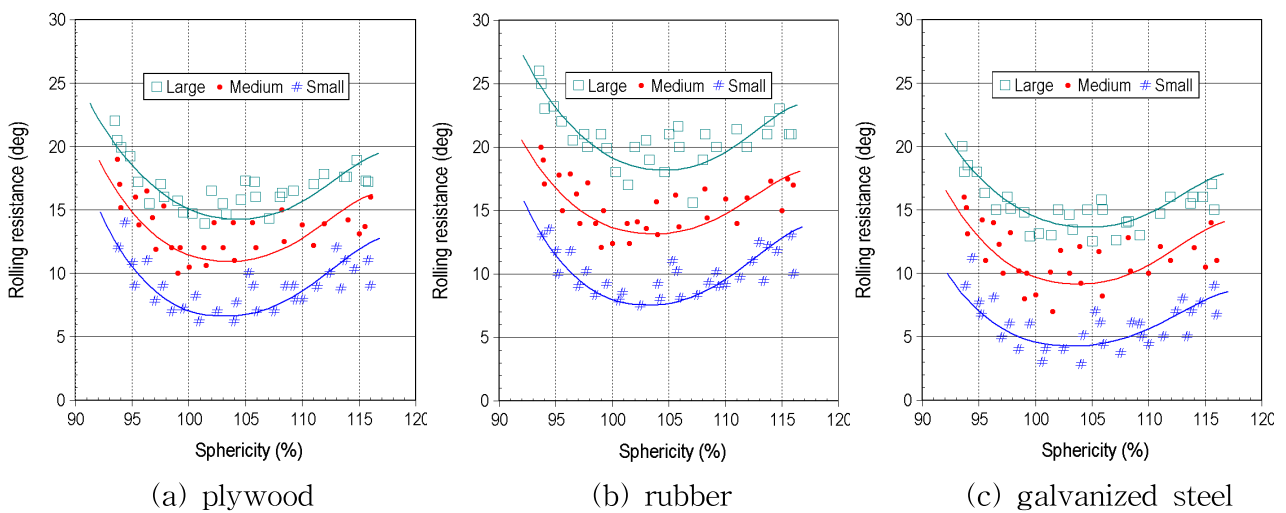


그림 3.17 양파구의 구형률과 정구름저항과의 관계.

#### 4. 요약 및 결론

본 연구에서는 양파 수확 후 산물상태로의 일관처리를 위한 산물처리기계장치를 개발하고 운용하는데 있어 필요한 양파 적재층 및 파렛트에 양파 적재방법에 따른 압력강하를 분석하였고, 또한 양파가 접촉하는 작동표면의 성질에 따른 정마찰특성으로 정마찰계수와 정구름저항을 분석하였다.

이들에 대한 분석 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 양파 적재층에 대한 압력강하 측정을 위해 구축된 측정시스템에 대한 시스템특성곡선과 적용된 웬의 성능곡선으로부터의 작동점과 측정에 의한 값(송풍량, 압력손실) 사이의 오차는 웬의 회전속도가 클수록 컸다.
- (2) 양파 적재층에 대한 정압강하는 양파의 크기가 작을수록 컸고, 또한 적재 깊이와 걸포기풍속에 따른 정압강하의 증가율도 컸다. 한편, 크기별 혼합비율에 따른 정압강하는 공극률이 큰 혼합비율 일수록 작았으며, 적재 깊이와 걸포기풍속에 따라서는 그 증가율도 완만하였다.

- (3) 겉보기풍속에 따른 단위 적재 깊이당 정압강하는 공극률이 큰 비율 일수록 작았으며, 겉보기풍속이 증가할 수록 각 혼합비율 간에 큰 차이를 나타내었다.
- (4) 파렛트에 산물적재시 통기파이프의 설치에 따른 송풍성의 효과를 겉보기풍속과 정압강하 측면에서 기존의 그물망포장 단위 적재시와 비교한 결과, 실험 범위내에서는 통기파이프를 설치한 산물적재의 경우가 기존의 그물망포장 단위(“2+2” 편월적재) 적재시보다 송풍성은 미치지 못하지만 통기파이프 없이 산물적재시보다는 송풍성이 월등히 우수하였다.
- (5) 양파의 정마찰계수는 모든 크기에서 합판>고무>안연도금 강판 순이었고, 일반적으로 양파구가 작을수록 정마찰계수는 컸으며, 표면압력이 정마찰계수에 미치는 영향은 뚜렷하지 않았다. 정마찰계수에 대해 분산분석 결과, 마찰표면과 양파구의 크기에 대해서는 유의성이 있었고, 표면압력에 대해서는 유의성이 없었다.
- (6) 정구름저항은 마찰표면의 성질에 관계없이 양파구의 크기(직경)가 클수록 컸으며, 모든 크기에서 rubber>plywood>galvanized steel 순이었다. 한편, 양파구의 정구름저항은 같은 크기의 등급에서도 구형률에 따라 변화가 컸으며, 통계적 유의성 검증에서도 작동표면과 양파구의 크기에 따라 모두 유의성이 있는 것으로 나타났다.

## 제 2 절 양파의 산물처리 기계장치 개발( I )-일관작업용 상자형 파렛트 설계

### 1. 서언

우리나라의 양파 수확 후 처리공정은 보통 수확, 예건(큐어링), 그물망포장, 운반, 저장, 선별·포장, 출하의 단계를 거치며, 이 산지처리과정 중에 그물망포장이 3~4회 이루어지고 있어, 이 과정에 노동력이 집중 투하되고, 그물망포장 단위의 건조나 저장은 공기와의 원활한 접촉이 어려워 양파의 품질보호에 어려움이 있는 것으로 보고되고 있다(농림부·농협중앙회, 2007).

한 예로, 국내 농산물 중 저장률이 가장 높은 작목이 양파인 데, 저장 중의 양파는 30% 이상 손실되며, 이 원인에는 여러 가지가 있으나 불합리한 적재방법과 저장조건, 저장전 처리기술의 낙후 등이 가장 큰 원인으로 보고되고 있다(농림부·농협중앙회, 2007).

따라서 양파의 산지처리과정에서의 품질유지와 처리비용의 절감을 위해서는 수확 후 포장에서부터 산물상태로 처리가 이루어져야 하며, 이를 위한 가장 기본적인 요건이 수확직 후 양파의 수거, 운반, 건조, 저장 및 선별·포장공정의 일관작업이 가능한 상자형 파렛트(box pallet)의 개발에 있으며, 이러한 기능을 가지는 파렛트의 설계시에는 다음의 요건들을 대체로 만족시켜야 한다.

- 수거 및 운반(수송) : 적재효율, 작업의 용이성
- 강제통풍건조 : 공기의 유동성, 압상방지
- 저장 : 냉각속도, 공기유동성, 온도의 균일성, 압상방지
- 공정 간의 연계성 : 파렛트 채움 및 자동비움기능, 선별·포장라인 및 강제통풍건조와의

## 연계성 확보

본 연구의 목적은 양파의 산지물류비 절감을 위한 산물처리 기계시스템 개발에 있어 가장 기본이 되는 일관작업용 상자형 파렛트를 설계하는데 있다.

## 2. 설계요인분석과 상세설계

### 가. 기준설정

양파의 산지물류비 절감을 위한 산물상태 일관작업용 상자형 파렛트를 설계하기 위한 기본 방향을 4가지 측면에서 다음과 같이 설정하였다.

- 산지물류효율 : 산지에서의 파렛트화물(palletized unit load) 단위의 적재와 수송 등 각종 처리시 적재효율을 높이는 방향으로의 규격 설계, 공파렛트 보관용적효율 극대화
- 품질보호 : 파렛트화물 단위로의 취급시 압상방지와 양파의 파렛트 채움 및 비움시 충격 방지, 산물상태로 적재된 양파층 사이의 통기성 확보로 온도의 균일성과 냉각속도 향상
- 처리공정 간의 연계성 : 수확 후 산물상태로의 일관처리를 위한 처리공정 간의 연계성 확보 즉, 수거, 운반, 건조, 저장, 세척 및 선별·포장공정까지 파렛트화물 단위로 물동량 이동. 자동채움 및 자동비움, 포장에서의 톤백작업과의 연계성
- 범용성과 구조변경의 용이성 : 파렛트의 조립과 접음의 1인작업 가능, 양파 외의 타 작목에의 범용적 적용이 가능하도록 파렛트의 부분 변경이 용이한 메카니즘 채택

### 나. 상세설계

#### (1) 파렛트의 외형치수 및 형식 설계

파렛트의 외형치수로 가로와 폭은 현재 저온저장고의 유효천정높이 약 7~8m, 4.5(5)톤트럭의 적재함 폭 2,280mm에 2열적재 가능한 치수 및 한국산업규격(KS T 2029)에서 규정하는 상자형 파렛트 규격, 표준파렛트(T-11)와의 정합성, 저장고의 조건을 고려해 파렛트의 외치수를 길이×폭=1,300×1,100mm로 설정하고, 파렛트의 높이 결정시에는 다음의 설계조건을 적용한다.

- 파렛트의 적재용량 : 1톤
- 양파의 산물밀도 : 541.80kg/m<sup>3</sup>
- 통기파이프 : 외경  $\phi$ 100mm×1,220mm 3개
- 통기파이프 및 파렛트 4각 모서리 부분의 적재 보충률 : 5%
- 파렛트의 차입구 높이 : 75mm (KS T 2002, 2029)

이상의 조건을 고려해 파렛트의 유효높이를 구하면 1,582mm가 되어 파렛트의 외치수를 길이×폭×높이=1,300×1,100×1,600mm로 결정한다. 또한 파렛트의 형식은 다른 공정과의 연계성을 확

보하기 위해 작업성이 양호한 4방향 차입식(4-way pallet)에 분리식을 채택한다.

(2) 파렛트의 강도 및 주요 구조재의 설계

파렛트를 구성하는 주요 구조재료는 수직축 프레임, 통기파이프 및 하부적재판 등이 있고, 이들 각 요소들은 조립과 접음이 가능하도록 핀(pin)으로 연결된다.

(가) 수직축 프레임

파렛트의 수직축 프레임은 파렛트의 강성을 좌우하는 가장 중요한 요소로, 이의 설계에는 파렛트화물의 다단적재로 인한 축력(axial force)과 적재된 양과로부터 전달되는 굽힘모멘트(bending moment)를 동시에 받는 보-기둥(beam-column)으로 간주하여 다음의 식(3.5)를 적용한다.

파렛트 수직축 프레임의 설계에 식(3.5)의 적용을 위해서는 다음과 같은 가정이 필요하다.

- 굽힘응력과 축응력을 중첩하여 조합응력(combined stress)을 구할 만큼 부재들의 폭이 확보되어, 축방향력과 횡방향 처짐에 의한 2차모멘트를 무시한다.
- 파렛트화물의 다단적재에서 오는 축하중은 모두 중심 축하중이다.
- 적재된 양과에 의한 수평압력은 측면판의 보조 부재들에 의해 모두 수직프레임에 굽힘모멘트로 작용하고, 그 방향은 바깥쪽 정방향으로 만 작용한다.

$$\sigma = \sigma_c + \sigma_b = \frac{F}{A} + \frac{M_z c}{I_z} \tag{3.5}$$

파렛트 수직축 프레임의 설계에는 이 조합응력을 기준으로 그림 3.18에 나타난 허용응력설계법(allowable-stress design)을 적용하며, 프레임 재료는 보통 연성재료인 점을 감안해 항복강도를 기준강도로 설정한다.

$$\frac{F}{A} + \frac{M_z c}{I_z} \leq \sigma_{all} \tag{3.6}$$

여기서, F=축방향 압축하중 (N)

A=수직축 프레임의 단면적 (m<sup>2</sup>)

M<sub>z</sub>=최대굽힘모멘트 (N·m)

c=도심에서 최대응력 작용점까지의 거리 (m)

I<sub>x</sub>=중립축에 대한 관성모멘트 (m<sup>4</sup>)

σ<sub>all</sub>=축재료의 허용응력(=항복강도/F.S.) (Pa)

F.S.=안전계수(factor of safety)



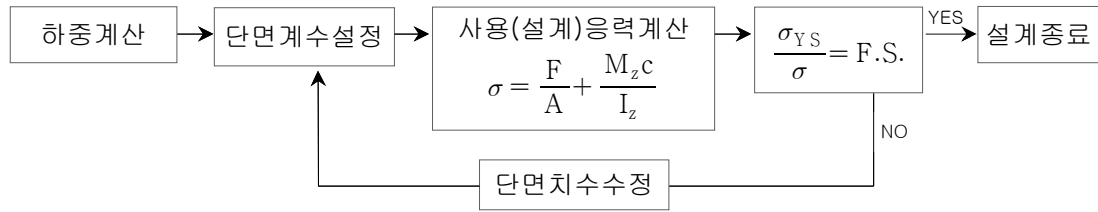


그림 3.18 설계순서.

식(3.6)에서 F는 파렛트 수직축 프레임 1개에 작용하는 축하중으로 파렛트화물 4단적재를 기준으로 다음과 같이 계산된다. 여기서 파렛트 자체 중량을 1,200N 정도로 가정한다.

$$F = \frac{(\text{적재양과의 중량} + \text{파렛트 중량}) \times (4-1)}{4} \quad (3.7)$$

적재된 양파에 의해 파렛트의 수직프레임에 전달되는 굽힘모멘트를 알기 위해서는 파렛트 측면벽(L×H 또는 W×H면)에 작용하는 총수평력과 그 작용위치를 파악하여야 한다. 이 총수평력은 깊은빈(deep bin)에 있어서 적재 깊이에 따라 포물선형 수평압력(lateral pressure) 분포를 나타내는 식(3.8)의 Janssen 방정식을 양파의 적재 깊이 또는 적재 폭에 대해 적분하는 방식으로 구할 수 있다.

$$p_y = \frac{\gamma R}{\mu} \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{\mu k}{R} y\right) \right\}, [p_y]_{\max} = \frac{\gamma R}{\mu} \quad \text{for } y=h \quad (3.8)$$

$$P = \int_0^{l,w} \int_0^h \frac{\gamma R}{\mu} \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{\mu k}{R} y\right) \right\} dy dz (dx) = \int_0^{l,w} \frac{\gamma R}{\mu} \left\{ h + \frac{R \exp\left(-\frac{\mu k}{R} h\right)}{\mu k} - \frac{R}{\mu k} \right\} dz (dx) \quad (3.9)$$

식(3.9)의 적재 깊이에 따른 수평압력이 L×H면 혹은 W×H면의 전체 폭에 대하여 균일한 분포를 한다고 가정하면 식(3.9)는 다음과 같이 간단히 적분된다. 여기서 파렛트 측면벽에 작용하는 총 수평력의 위치는 2차면적모멘트의 원리로부터 구하면  $(\bar{z}, \bar{y}) = (z/2, 5h/8)$ 가 된다.

$$P = \frac{\gamma R}{\mu} \left\{ h + \frac{R \exp\left(-\frac{\mu k}{R} h\right)}{\mu k} - \frac{R}{\mu k} \right\} \times l, w \quad (3.10)$$

여기서,  $p_y$ =적재 깊이에 따른 측면벽에 작용하는 수평압력 (Pa)

$\mu$ =양파와 벽사이의 정마찰계수

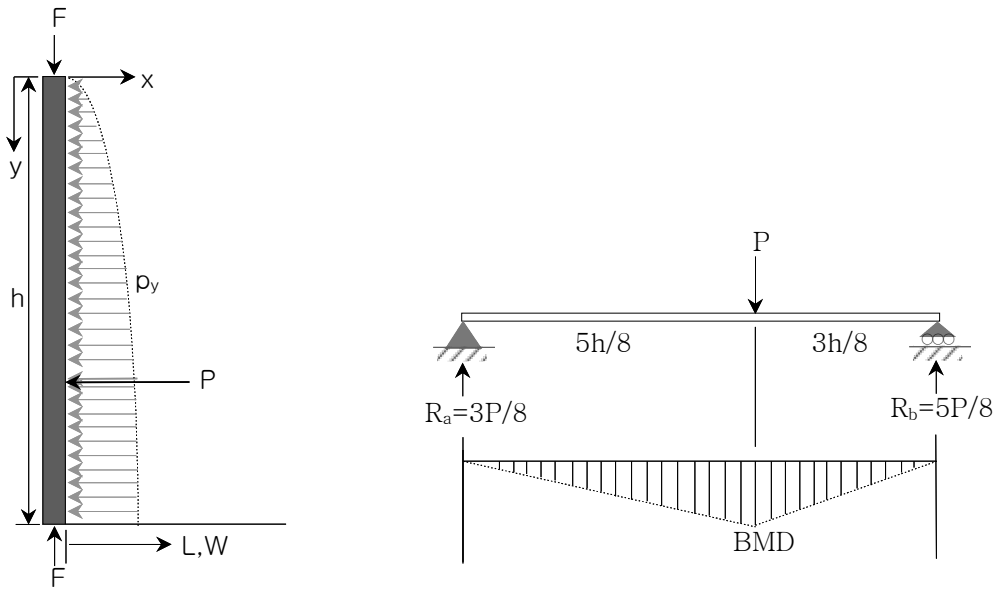
$\gamma$ =양파의 비중량 (N/m<sup>3</sup>)

R=동수반경(hydraulic radius)(단면적과 주변길이의 비) (m)

k=수평압력계수(lateral pressure coefficient){=(1-sin $\phi_i$ )/(1+sin $\phi_i$ )}

$\phi_i$ =양파의 내부마찰각(angle of internal friction) (deg)

P=특정 측면벽에 작용하는 총 수평력 (N)



(a) 수평압력분포 (b) 단순지지보로의 단순화

그림 3.19 파렛트 수직축 프레임에 대한 단순화.

여기서, 농산물의 안식각과 내부마찰각은 서로 독립적인 물성은 아니지만 같은 값을 가지지는 않는다(Sitkei, 1986). 그러나 엔지니어들은 보통 이들 값을 같은 것으로 보고 설계를 한다(Mohsenin, 1986). 양파에 대한 안식각은 앞장에서 연구되었던 바와같이 대략 22° 정도된다.

또한 위의 수식들에서 동수반경의 개념을 도입하였기 때문에 원통형 뿐만아니라 일반적인 형상의 용기에 대해서도 적용이 가능하다(신흥기술연구소·한충수, 2005). 따라서 식(3.7)~(3.10)으로부터 축하중과 굽힘모멘트 계산에 적용된 데이터 값들을 정리하면 다음과 같다.

$$\phi_r = 22^\circ$$

$$\mu = \tan \phi_r = 0.4040$$

$$k = \frac{1 - \sin \phi_i}{1 + \sin \phi_i} = 0.4550$$

$$\gamma = \rho g = 541.80 \text{ kgf/m}^3 = 5,315.06 \text{ N/m}^3$$

$$R = \frac{LW}{2(L+W)} = 0.2778$$

위의 값들을 활용하여 그림 3.18에 나타낸 설계 순서에 따라 단면가정 후 응력계산을 통해 이와 사용재료의 항복강도와 비교하는 반복적인 과정을 걸쳐 최종 재료의 단면적을 결정하면 된다.

여기서 사용응력인 조합응력의 계산시 안전계수의 적용은 조합응력의 각 하중 조건을 잘 파악하여 적절하게 적용하여야 하는데, 여기서는 파렛트의 사용환경과 조건으로보아 수직축 프레임에 발생하는 압축응력의 계산에는 동적인 조건을 고려해 안전계수 4~5를 적용하고, 굽힘응력의 계산시에는 안전계수를 적용하지 않는 것이 안전계수의 중복적용에서 오는 보수적 설

계의 결과를 피할 수 있는 방법으로 판단된다.

수직축 프레임 재료로 일반 구조용 각형 강관 SPSR 400(KS D 3568)의 40×40(t=2.3mm, 2.620kgf/m, A=3.332cm<sup>2</sup>, Z=3.86cm<sup>3</sup>)을 선택했을때 안전계수를 고려한 응력이 재료의 항복강도를 넘지 않기 때문에 이를 수직축 프레임 재료로 선정한다.

$$\sigma_y = \sigma_c + \sigma_b = 99.8 + 132.4 = 232.2\text{MPa} \leq \sigma_{YS} (245\text{MPa})$$

#### (나) 파렛트 체결요소

파렛트 조립시 핀(pin)이 사용된 곳은 파렛트 4 측면벽의 연결, 측면벽과 적재판의 연결 및 적재판 양과 배출장치 등이다.

측면벽 고정핀 설계시에는 파렛트의 L×H면이 W×H면에 비하여 적재물과의 접촉면적이 상대적으로 커 굽힘하중도 크게 작용하므로 이를 기준으로 설계하며, 이는 그림 3.19에 도시한 바와같이 하부는 회전단, 상부는 이동단을 가진 단순지지보(simple supported beam)로 단순화시킬 수 있다.

파렛트의 수직축 프레임 상단에 대한 모멘트를 취할 때, 측면벽인 L×H면과 적재면 L×W면을 연결할 고정핀이 감당해야할 전단력 S는 다음과 같이 결정된다. 즉,

$$\sum M_o = 0 \rightarrow P \times \frac{5}{8}h - S \times h = 0 \rightarrow S = \frac{5}{8}P$$

핀 재료로는 보통 S 45C(KS D 3752)가 많이 사용되므로, 이 재료에 안전계수 5를 적용하여 핀 직경을 설계하면 다음과 같다.

$$S_{all} = \tau_{all} \times 2A \rightarrow d = 11.4\text{mm} \tag{3.11}$$

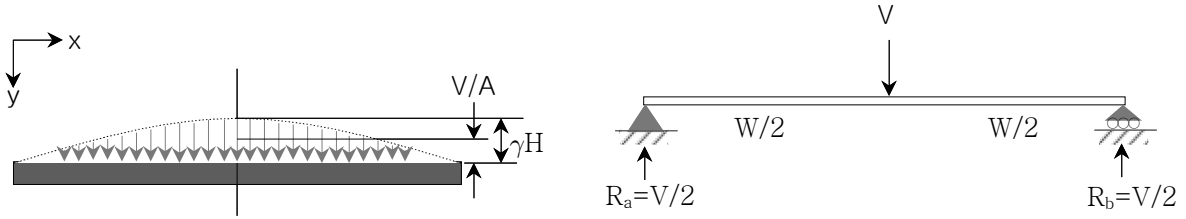
여기서, S<sub>all</sub>=핀 전체에 작용하는 허용전단력 (N)

$$\tau_{all} = \text{허용전단강도} (= \text{항복전단강도}/F.S. = (\text{압축항복강도}/2)/F.S. = (343/2)/5) \text{ (MPa)}$$

$$A = \text{핀의 단면적 (m}^2\text{)}$$

적재판의 양과배출장치의 한쪽은 하부 길이방향 모서리에 2개의 나비경첩으로 고정하고, 다른 한쪽은 서로 반대편에 2개의 핀으로 고정해야 필요시 하부적재판의 한쪽이 아래로 개방될 수 있어 파렛트에 산물적재된 양과를 선별·포장공정으로 자동 연결될 수 있다.

따라서 파렛트 하부 적재판의 양과배출장치는 그림 3.20과 같이 한쪽은 회전단을 다른 한쪽은 이동단을 가지는 단순지지보로 단순화시킬 수 있다.



(a) 파렛트 적재판의 압력분포 (b) 단순지지보로의 단순화  
 그림 3.20 파렛트의 하부 적재판의 양과배출장치에 대한 단순화.

파렛트 적재판에 작용하는 총수직력은 양과 총적재 무게에서 양과와의 마찰력에 의한 파렛트 측면벽에 작용하는 총수직력을 제외시킴으로써 다음과 같이 구할 수 있다.

$$V = \gamma h A - \mu \left\{ \left( \int_0^h p_y dy \right) \times p_L \right\} = \gamma h A - \gamma R \left\{ h + \frac{R \exp\left(-\frac{\mu k}{R} h\right)}{\mu k} - \frac{R}{\mu k} \right\} \times p_L \quad (3.12)$$

여기서, V=적재판에 작용하는 총수직력 (N)

A=파렛트의 단면적 (m<sup>2</sup>)

p<sub>L</sub>=파렛트의 주변길이 (m)

위에서의 파렛트 수직축 프레임 설계시와 같은 데이터를 적용하여 적재판에 작용하는 총수직력을 구하면, V=6.53kN이 되며, 그림 3.20의 (b)에서 하부 적재판의 한쪽 끝을 핀으로 고정시 핀이 감당해야할 하중은 V/2가 되므로, 핀 재료로 S 45C(KS D 3752)를 선정하고, 안전계수 5를 적용하여 필요한 치수를 설계하면 다음과 같다.

$$S_{all} = \tau_{all} \times 2A \rightarrow d = 21.8mm \quad (3.13)$$

#### (다) 통기파이프

파렛트에 통기파이프의 설치하는 목적은, 첫째는 통기성 확보로 온도의 균일성과 냉각속도 향상이며, 둘째는 산물상태 적재시 적재면에 작용하는 수직하중의 분산효과를 위한 것이다. 이러한 목적을 위해 통기파이프의 외경을 ϕ100mm으로 하고, 표면에 가공되는 구멍의 크기는 양과와의 접촉으로 물리적 손상을 주지 않는 범위내에서 가능한한 큰 구멍으로 가공하되, 파이프의 표면적 대비 개구율을 40% 이상으로 한다.

한편 파렛트의 적재판은 양과와 직접 접촉한 상태로 하중을 받으므로, 양과에 물리적 손상을 주지않으면서 저장고 바닥에서의 냉기가 파렛트 안으로 잘 침투되는 구조이어야 하므로 바닥면의 개구율도 40% 이상으로 한다.

### 3. 시작기 제작 및 성능시험

#### 가. 시작기 제작

이상의 상세설계 결과를 가지고 그림 3.21과 같이 1차 시작기를 제작하였으며, 양파 외의 다른 농작물에도 적용 가능하도록하여 파렛트의 활용도를 높이기 위해 파렛트의 긴 측면(L×H)의 한쪽이 1/2 접히고, 또한 한쪽 면을 완전히 분리될 수 있는 구조로 하였다.



(a) 완전히 조립된 상태



(b) 긴 측면의 한쪽을 1/2 접은 상태



(c) 긴 측면의 한쪽을 완전히 제거한 상태

그림 3.21 상자형 파렛트의 시작기 사진.

## 나. 성능시험 방법

파렛트 시작기에 대한 성능시험의 방향을 파렛트 개발의 목적과 부합되도록 저장 중의 품질보호측면에서 온도분포의 균일성과 적재하중의 분산효과, 물류측면에서는 파렛트 자체의 체적효율과 차량적재효율 등을 분석하였다.

### (1) 적재된 양파층 사이의 공기온도 분포

파렛트에 적재된 양파층 사이의 온도분포의 균일성과 냉각속도는 적재 양파의 품질보호 측면에서 매우 중요하다.

약 18℃(상대습도 50±5%)의 대기조건에서 5일간 평형시킨 양파를 산물상태로 개발된 상자형 파렛트에 적재한 후(1톤) 2℃로 설정된 저온저장고에 입고 후, 양파 적재층의 위치별 공기 온도변화를 연속 측정하였다.

적용된 온도센서는 K타입 열전대로 그림 3.22와 같이 적재된 양파층 사이의 공기온도를 측정하기 위해 다수의 구멍이 타공된 직경 30mm의 플라스틱 구의 중앙 위치에 온도 센서가 위치하도록 하였으며, 파렛트화물내 온도센서의 설치 위치는 그림 3.23에서 보는 바와같이 파렛트의 길이, 폭 및 높이 방향으로 각각 5, 3 및 3 등분하여 적재된 양파층 내 측정지점 45곳을 지정하여 이중 대칭성이 있는 곳을 제외한 9 포인트에 대하여 실시간으로 온도변화를 연속 측정하였다.

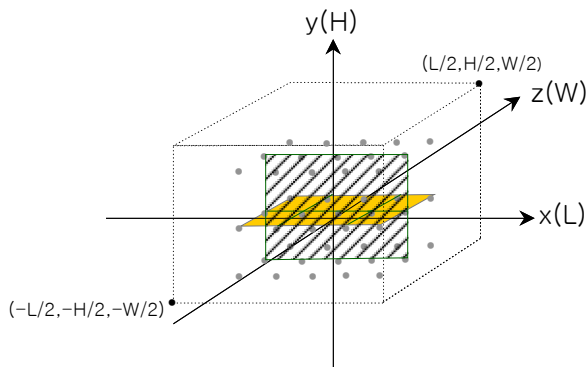


그림 3.22 온도측정 대상 지점.

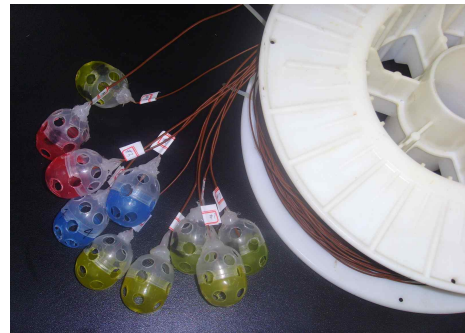


그림 3.23 사용된 온도센서.

### (2) 적재판의 압력분포

파렛트에 적재된 저층의 양파가 받는 하중을 분석하기 위하여 그림 3.24에 나타낸 바와같이  $\phi 100\text{mm}$ 의 로드버튼(load button)을 장착한 로드셀(MS사-SM601, 100kgf)이 적용되었다.

목적에 맞도록 제작된 장치에 로드셀 5개를 1조로하여 등간격으로 배치하고, 이를 길이방향으로 5수준 옮겨가며 작용하는 하중을 반복 측정하였다. 이때 적재된 양파와 로드버튼 사이의 접촉조건을 균일하게 부여하기 위해 다음의 2 가지 방법이 고려되었다.

Type #1 : 양파의 표준규격상 등급 ‘소(60mm이하)’에 해당하는 양파를 파렛트 적재판에 1층으로 빈틈없이 깔아 로드버튼과의 접촉조건을 균일하게 확보한 상태에서 실험용 양파의 랜덤적재

Type #2 : 구경이 약 85mm되는 양파를 미리 로드버튼과 1:1로 고정된 후 실험용 양파의 랜덤적재

그림 3.24는 로드셀 고정장치와 파렛트 적재면에 장착된 모습을 나타낸 것이다.



(a) 로드셀 고정장치



(b) 적재판에 장착된 로드셀 고정장치

그림 3.24 파렛트 적재판의 압력분포를 측정하기 위한 장치.

### (3) 물류요건

개발된 파렛트는 향후 산물처리 기계장치와 연계되기 때문에 전체적인 작업효율의 분석은 불가능하므로, 여기서는 우선 설계된 파렛트에 대한 체적효율과 차량 적재효율을 분석하였다.

#### 다. 성능시험 결과

##### (1) 적재된 양파층 사이의 공기온도 분포

그림 3.25는 파렛트에 적재된 양파층 사이의 공기온도 분포를 실험하는 광경이며, 이때 적재 양파층의 위치별 온도센서로부터 실시간 출력되는 신호의 예를 그림 3.26에 나타내었다.

설계·제작된 파렛트에서 통기파이프 설치 유무에 따른 파렛트의 적재 위치별 공기온도 분포를 그림 3.27에 도시하였다.

통기파이프가 설치된 파렛트에서는 저층일 수록 온도가 낮았고, 설치된 통기파이프를 중심으로 좌우 중심부분에서 높은 온도층이 형성되었다. 반면, 통기파이프를 설치하지 않았을때는 적재층 중간부분에서 비교적 높고, 넓은 온도층이 형성되었다.

전체적으로 통기파이프가 설치되었을때가 설치하지 않았을때에 비하여 같은 적재층에서 온

도분포가 균일하였고, 적재층 상하 간의 온도 차이도 작은 것으로 나타났다.

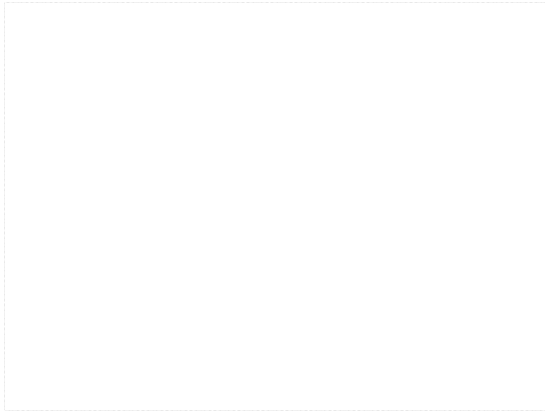


그림 3.25 적재된 양파층 사이의 공기온도측정 실험 광경.

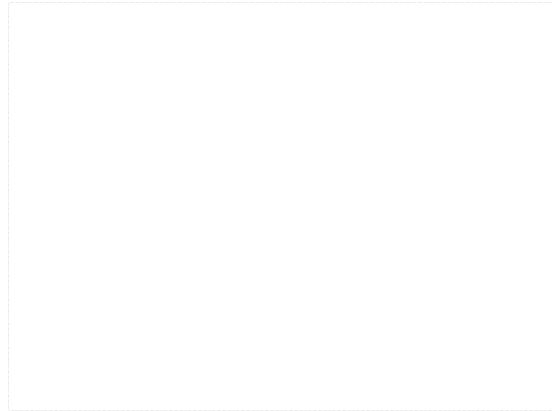
20

그림 3.26 적재 양파층의 위치별 온도센서로부터 출력되는 신호의 예.

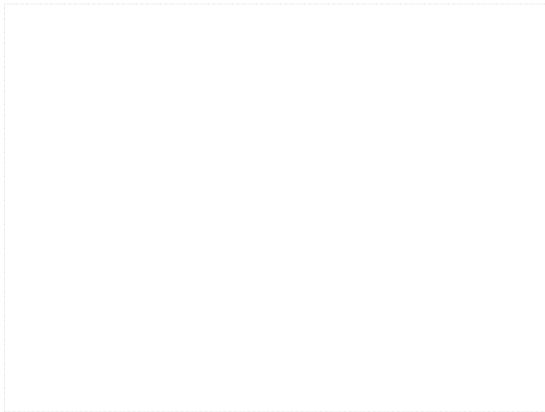




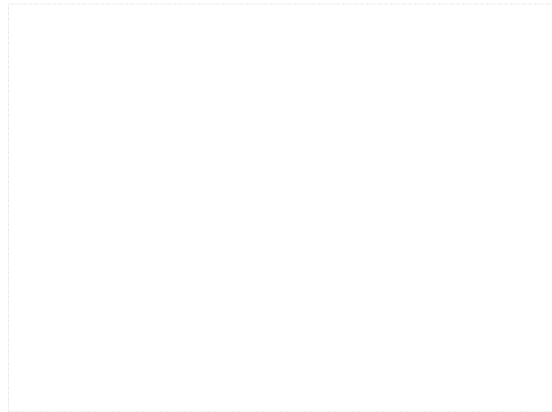
(a-1) 통기파이프 설치(bottom)



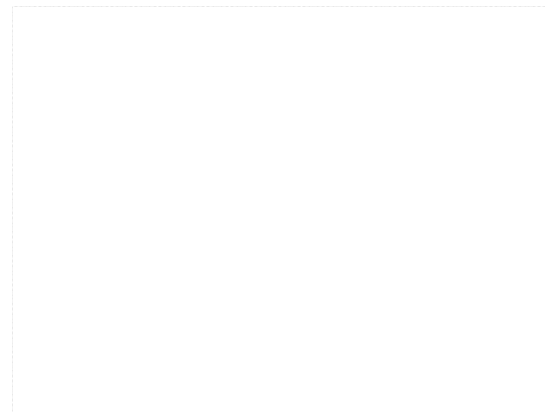
(a-2) 통기파이프 미설치(bottom)



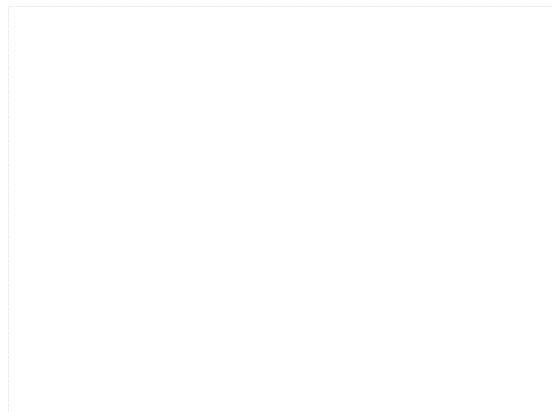
(b-1) 통기파이프 설치(middle)



(b-2) 통기파이프 미설치(middle)



(c-1) 통기파이프 설치(upper)



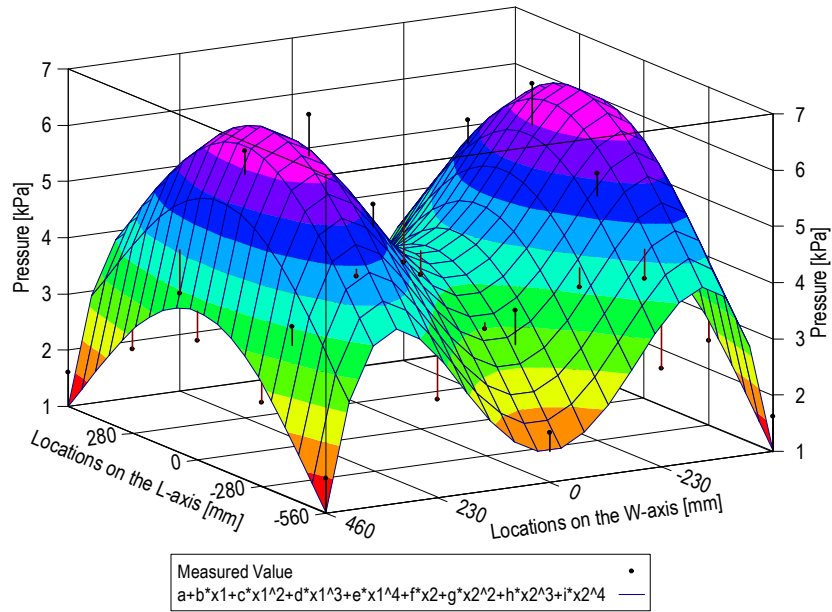
(c-2) 통기파이프 미설치(upper)

그림 3.27 저장고 입고 후 20시간 후 파렛트에 적재된 양파층내 위치별 공기온도 분포.

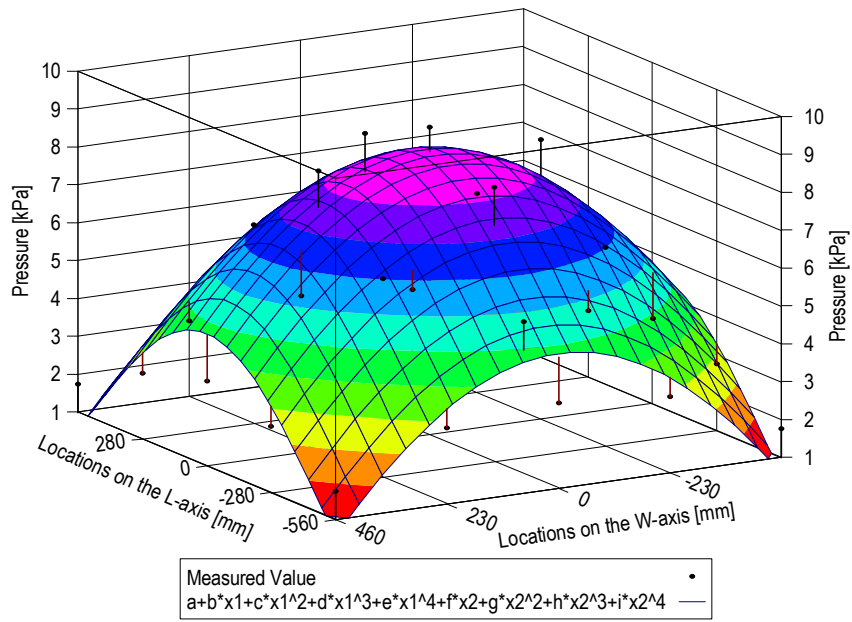
## (2) 적재판의 압력분포

적재판의 위치별 압력 측정시 로드셀과 양파 사이의 접촉조건을 균일하게 하기위한 사전조치로 2가지 방법 즉, 구경 60mm이하의 작은 양파를 이용해 적재면에 한층을 미리 빈틈없이 깐 상태(type #1), 또 하나는 구경 85mm 정도의 양파를 로드버턴에 1:1로 미리 접촉시켜 고정한 상태(type #2)로 나머지 양파들을 랜덤하게 적재한 후 적재된 양파로부터 적재판에 전달되는 하중의 크기를 서로 비교하였을 때, 두 방법 간의 결과 값에 있어서는 큰 차이가 없었으나, 후자의 방법은 반복 측정된 값들 사이에 비교적 큰 차이를 보여 첫 번째의 방법이 실험의 오차를

줄이고 재현성있는 방법으로 판단되었다.



(a) 통기파이프 설치



(b) 통기파이프 미설치

그림 3.28 통기파이프 설치 유무에 따른 압력분포.

그림 3.28에는 본 연구를 통해 설계된 상자형 파렛트에서 통기파이프 설치 유무에 따른 적재판에 전달되는 압력을 위치별로 나타낸 것이다. 그림에서 보듯이 통기파이프 설치 유무에 따라 전달되는 압력의 패턴과 크기에 있어 큰 차이를 보였다. 즉, 통기파이프가 있을 때는 통기파이프의 좌우 중간지점에서 최대 압력 값을 보인 반면, 통기파이프가 없는 경우는 적재판 중간에서 최대값을 보였다. 그 크기에 있어서는 통기파이프가 있을 때가 약 6.9kPa로 없을 때의 약 9.1kPa에 비하여 24.7% 적은 것으로 나타났다.

통기파이프가 없는 경우의 최대 압력 값은 유체정역학적 압력(hydrostatic pressure)인  $\gamma H=541.80\text{kg/m}^3 \times 9.81 \times 1.6\text{m}=8.5\text{kPa}$  보다 약간 큰 값으로 측정되었는데, 이는 양파의 평균 산물 밀도 값을 적용하는데서 오는 오차인 것으로 분석되며, 파렛트의 중심에서 사방 측면으로 접근할 수록 압력이 작게 측정된것은 적재된 양파와 벽면 사이의 마찰로 인한 전단력이 양파의 수직하중의 일부를 지탱하는 역할을 하기 때문으로 판단된다.

한편, 통기파이프가 있는 파렛트에서의 최대압력은 유체정역학적 압력보다 작은 값으로 측정되었는데, 이 위치는 파렛트의 L×H면과 상대적으로 가까운 거리이므로 통기파이프가 적재된 양파의 수직하중의 일부를 지탱하고 있고, 벽면과의 마찰로 인한 하중분산 효과인 것으로 판단된다.

이와 같이 양파를 산물상태로 적재했을시와 현재와 같이 20kgf-그물망포장 단위로 적재했을 시의 파렛트 적재면과 접하는 양파가 받는 압력 크기를 서로 비교하기 위하여, 앞장의 표 2.1을 다시 분석하여 나타낸 표 3.8로부터 표준규격상 ‘대’에 해당되는 양파의 구경 85mm를 기준으로 볼때, 이 구의 투영면적과 파렛트 적재면의 밀폐율을 기준으로 단위면적당 압력을 계산하면 약 12.3~30.0kPa된다.

이는 본 연구에서 설계된 파렛트에서 통기파이프가 있는 경우에 비해서는 약 1.8~4.3배, 통기파이프가 없는 경우에 비해서는 약 1.3~3.3배 큰 값으로 분석되었다. 이와같이 산물상태로 적재했을때와 20kgf-그물망포장 단위로 적재했을때에 압력의 차이가 발생하는것은 후자의 방법에서 낮은 적재판 밀폐율이 반영되었기 때문이다.

본 연구를 통해 설계된 파렛트의 통기파이프에 의한 하중분산효과가 큰 것으로 평가되며, 이로부터 저장시의 압상에 의한 양파의 손상을 줄이는데 통기파이프의 기여가 큰 것으로 판단된다.

표 3.8 20kgf-그물망포장 단위의 적재시 양파의 접촉압력

조사지역 (영농조합)	파렛트 외치수 (L×W×H) (mm)	적재방법 <sup>1)</sup>	파렛트당 적재량	적재면밀폐율 (%)	접촉구당 작용하중 <sup>3)</sup> (N)	접촉압력 <sup>4)</sup> (kPa)
Chönnam (K)	1,265×1,260×1,900	8망×4단×2층	64망	28.1	116~100	20.5~17.6
Chönnam (P)	1,260×1,245×1,810	8망×4단×2층	64망	30.0	116~100	20.5~17.6
	1,260×1,245×1,500	8망×3단×2층	48망	30.0	82~70	14.4~12.3
Kyöngnam (H)	1,350×1,260×1,800	8망×8단	64망	39.1	167~143	29.5~25.3
	1,300×1,250×1,600	8망×7단	56망	39.1	146~125	25.8~22.1
Kyöngnam (C)	1,370×1,260×1,500	8망×7단 <sup>2)</sup>	50망	30.2	169~145	29.8~25.6
Kyöngbuk (S)	1,405×1,000×2,400	7망×5단×2층	70망	39.9	103~88	18.1~15.5
	1,460×1,100×1,800	7망×4단×2층	56망	39.1	84~72	14.7~12.6

\*1)‘2+2’ 편휠적재(pinwheel)(홀짝수단 교대배열) 단, 경북(S)는 파렛트의 긴 변을 중심으로 5망은 수직, 2망은 평행적재

\*2)8망×6단+2망

\*3)바닥 밀폐율을 고려한 값

\*4)양파의 구경을 85mm로 가정하고 추정된 값

(3) 물류요건

앞 장의 표 2.2를 다시 분석하여 나타낸 표 3.9를 보면, 현재 사용되고 있는 그물망포장 적재 파렛트의 단위체적당 적재량은 약 386~451kg/m<sup>3</sup>이었고, 설계된 산물 파렛트의 경우는 426.4kg/m<sup>3</sup>로 파렛트 체적효율 측면에서는 현재의 그물망포장 적재 파렛트와 큰 차이가 없었다.

이처럼 산물적재임에도 기존의 그물망포장 적재와 큰 차이가 없는것은 설계된 산물 파렛트에서는 양과 적재층의 공기 소통과 하중 분산효과를 위해 파렛트의 길이 방향으로 높이에 따라 설치된 3개의 통기파이프가 원인이 된다.

표 3.9 파렛트의 체적 효율

파렛트 외치수(L×W×H) (mm)	적재방법	파렛트당 적재량 (kgf)	단위체적당 적재량 (kgf/m <sup>3</sup> )
1,265×1,260×1,900	8망×4단×2층	1,280	422.7
1,260×1,245×1,810	8망×4단×2층	1,280	450.8
1,260×1,245×1,500	8망×3단×2층	960	408.0
1,350×1,260×1,800	8망×8단	1,280	418.1
1,300×1,250×1,600	8망×7단	1,120	430.8
1,370×1,260×1,900	8망×7단 <sup>1)</sup>	1,000	386.2
1,405×1,000×2,400	7망×5단×2층	1,400	415.2
1,460×1,100×1,800	7망×4단×2층	1,120	387.4
1,300×1,100×1,900	산물적재	1,000	426.4

\*1)8망×6단+2망

또한 앞 장의 표 2.2를 다시 분석하여 나타낸 표 3.10을 참고하면, 국내 농산물 수송에 많이 사용되는 4.5(5)톤, 8톤 및 11.5톤 트럭에 대한 적재효율은 대부분 50% 대 였으나, 설계된 산물형 파렛트에서는 5톤 트럭에서 80% 이었고, 그 이상의 톤수에서는 90%이상 높은 적재효율을 나타내었다.

표 3.10 트럭의 적재 효율

파렛트 외치수 (L×W) (mm)	적재효율 <sup>1)</sup> (%)		
	11.5톤 장축 (9,250×2,340)	8톤 초장축 (8,000×2,340)	5톤 초장축 (6,250×2,280)
1,265×1,260	1열×7 (51.5%)	1열×6 (51.1%)	1열×4 (44.7%)
1,260×1,245	1열×7 (50.7%)	1열×6 (50.3%)	1열×4 (44.0%)
1,350×1,260	1열×7 (55.0%)	1열×6 (54.5%)	1열×4 (47.7%)
1,300×1,250	1열×7 (52.6%)	1열×6 (52.1%)	1열×4 (45.6%)
1,370×1,260	1열×7 (55.8%)	1열×6 (55.3%)	1열×4 (48.5%)
1,405×1,000	2열×6 (77.9%)	2열×5 (75.1%)	2열×4 (78.9%)
1,460×1,100	2열×6 (89.0%)	2열×5 (85.8%)	2열×4 (90.2%)
1,300×1,100	2열×7 (92.5%)	2열×6 (91.7%)	2열×4 (80.3%)

\*1)유닛로드 평면치수(plan-view size)의 길이 및 나비에 대한 허용치수 40mm적용 (KS T 0003)

## 4. 요약 및 결론

본 연구에서는 양파의 산지물류비를 절감할 목적으로 그물망포장에 의하지 않고 산물상태로의 일관처리를 위한 기계시스템의 가장 기본이 되는 산물 처리용 상자형 파렛트를 설계·제작하였다.

시작기에 대한 성능시험도 파렛트 개발의 목적과 부합되도록 저장 중의 품질보호 측면에서 온도분포의 균일성과 적재하중의 분산효과, 물류측면에서는 파렛트 자체의 체적효율과 차량적재효율 등의 측면에서 분석되었다.

따라서 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 파렛트의 적재용량을 1톤으로 하였고, 파렛트의 외치수는 표준파렛트와의 정합성을 가급적 유지하면서 저장고와 트럭 적재효율을 고려하여 길이×폭×높이=1,300×1,100×1,600mm로 하였다.
- (2) 설계된 파렛트의 통기공 유무에 따른 온도분포와 온도수준에 있어 비교적 큰 차이가 있었는데, 통기파이프를 설치하였을때가 그렇지 않았을때에 비하여 적재층 상호간의 온도편차가 적고, 비교적 균일한 온도분포를 하였다.
- (3) 통기파이프의 유무에 따라 적재판에 전달되는 압력의 패턴과 크기에 있어 큰 차이가 있었다. 즉, 통기파이프가 있을때는 통기파이프의 좌우 중간지점에서, 그리고 통기파이프가 없을때는 적재면의 중간 지점에서 최대 압력값을 나타내었으며, 통기파이프 유무에 따른 최대 압력 값의 차이는 약 24.7%였다. 또한 현재의 그물망포장에서보다 약 1.8~4.3배 더 적은 압력이 작용하는 것으로 나타나, 설계된 파렛트의 통기파이프에 의한 하중분산효과가 큰 것으로 평가되었다.
- (4) 설계된 산물 파렛트의 경우는 체적효율(426.4kg/m<sup>3</sup>)은 기존의 그물망포장 적재 파렛트와 큰 차이가 없었으나, 4.5톤 이상의 트럭에 대한 적재효율은 기존의 파렛트에 비해 30~40% 이상 높게 나타났다.

## 제 3 절 양파의 산물처리 기계장치 개발(Ⅱ)-파렛트 산물적재 이송기계장치 설계

### 1. 서언

수확 후 양파의 산물상태로의 일관처리를 위한 파렛트 산물적재 이송기계장치는 톤백으로 작업해온 양파를 일시 적재하면서 자동공급하는 자동공급호퍼(automatic feed hopper), 양파를 상승시켜 파렛트에 투입을 위한 경사 벨트컨베이어(inclined belt conveyor), 상자형 파렛트(box pallet)를 일정 각도로 들어올렸다가 양파의 투입과 함께 자동 하강하기 위한 auto-dump, 공파렛트 자동공급장치(automatic empty-pallet feeding device) 및 파렛트 자동비움장치(automatic

pallet unloading device)로 구성된다.

본 연구에서는 파렛트 산물적재 이송기계장치의 구성요소들에 대한 설계요인분석, 상세설계 및 시작기 제작 후 성능평가하는 것이 목적이다.

## 2. 전체시스템에 대한 개념설계와 설계 기준설정

개발할 전체시스템의 개략적인 구성은 그림 3.29에서 보는 바와같이 자동공급호퍼, 공급량 자동조절장치, 경사 벨트컨베이어, 슈트, auto-dump, 공파렛트 자동공급장치 및 파렛트 자동비움장치로 구성된다.

이들 각 요소의 동작과 상호연계를 위한 동력원으로는 유압실린더와 모터를 사용하며, 각 요소 혹은 전체의 운동제어를 위해서는 다수의 리미트 스위치가 적용된다.

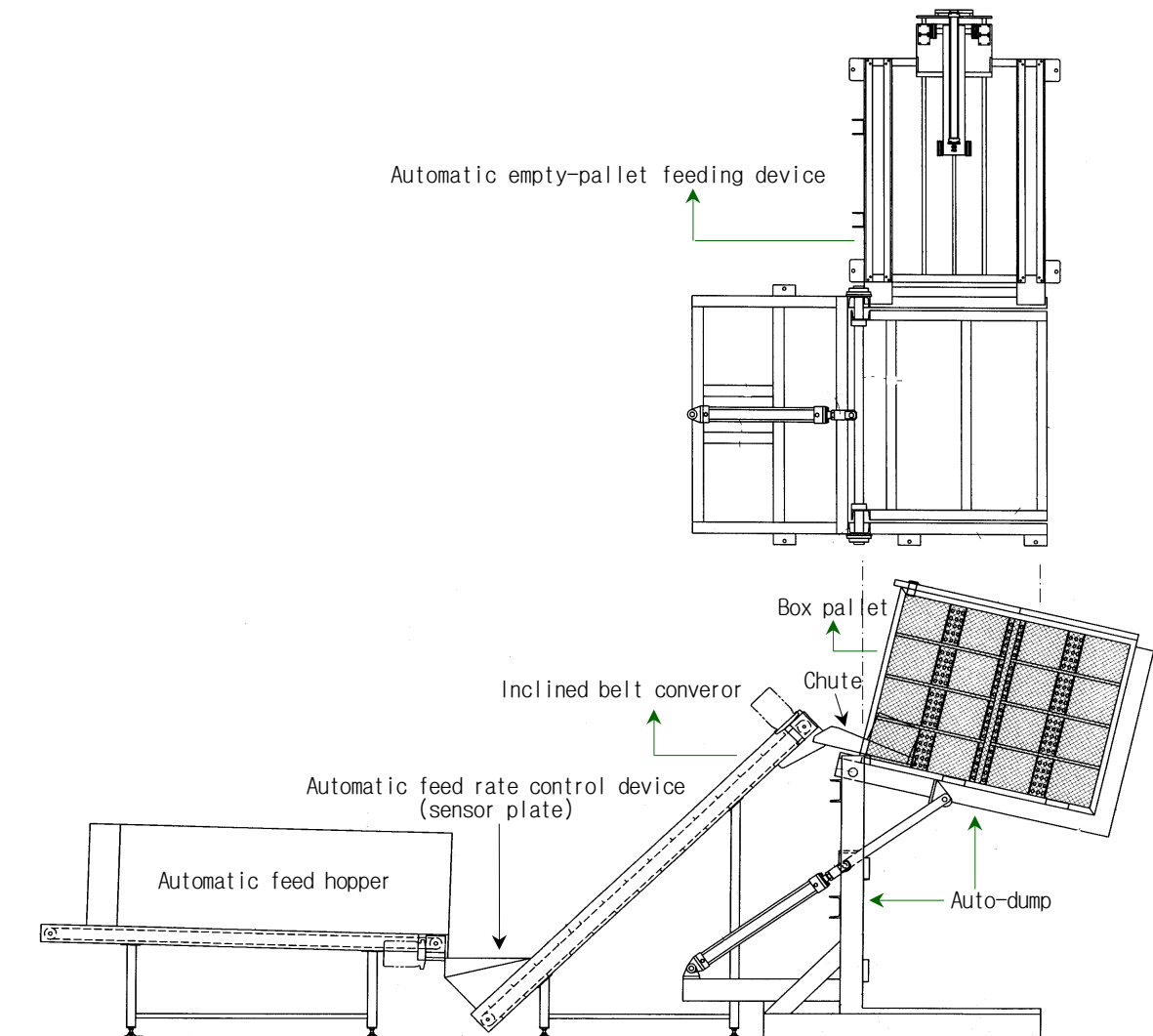


그림 3.29 개발할 전체시스템의 구성 및 개략도.

전체시스템의 설계를 위한 기본 설계방향을 다음과 같이 설정하였다.

- 작업효율성 측면 : 양파의 산물처리 속도를 조절하기 위해 컨베이어와 auto-dump의 속도를 제어할 수 있도록함
- 작업의 자동화 측면 : 양파의 산물처리에 있어 공정간 작업지체와 효율적인 시스템 관리를 위해 자동감지 시스템을 장착하며, 전체 시스템 운용을 자동식과 반자동식을 결합할 수 있도록 구성함
- 처리공정 간의 연계성 : 양파 수확 후 톤백작업, 파렛트 산물적재 및 저장 후 파렛트 비움과 선별·포장 작업과의 연계성 확보
- 양파의 품질유지 측면 : 처리과정에서 양파의 물리적 손상을 방지함
- 장치의 유지보수의 용이성 확보 : 자동식과 반자동식을 선택적으로 채택함

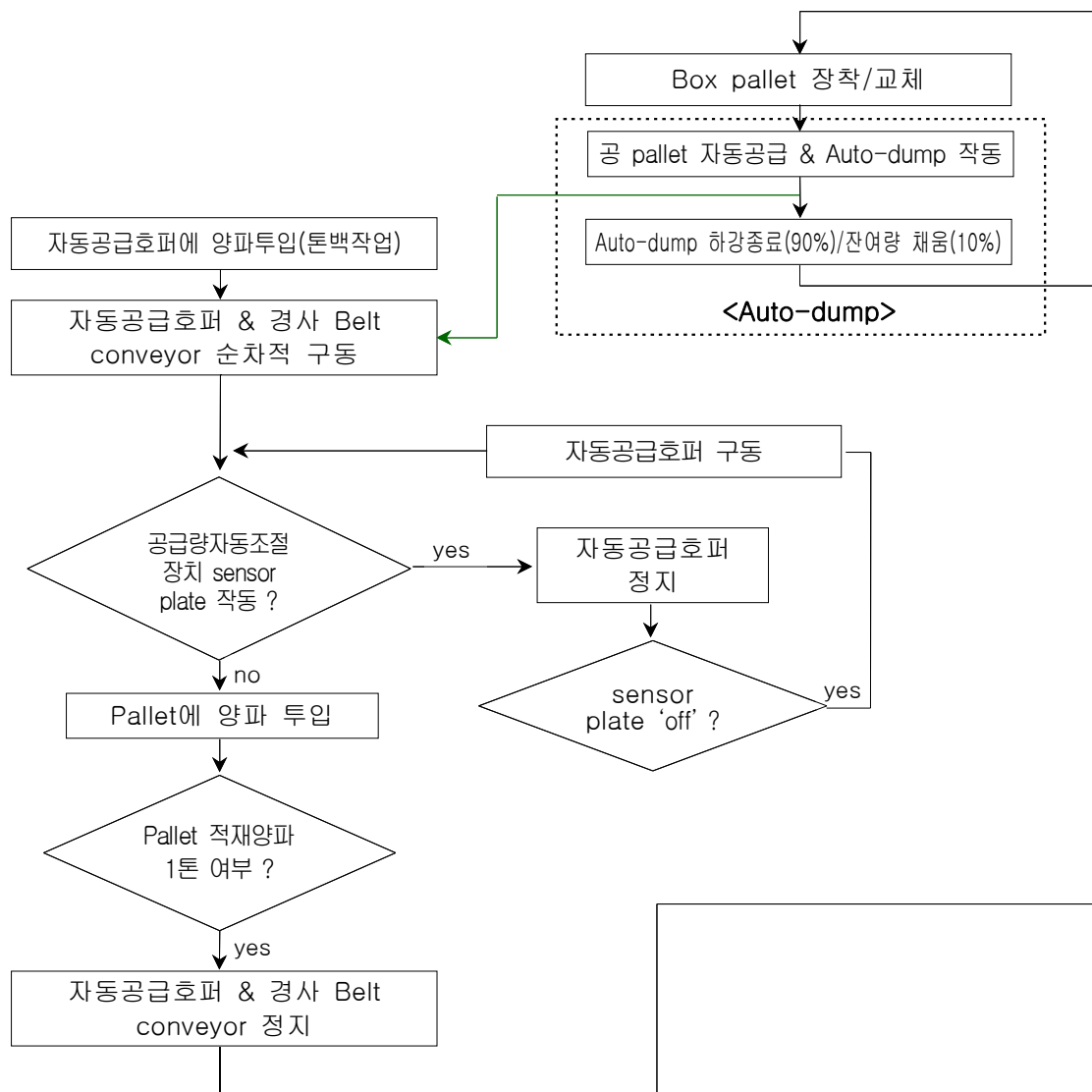


그림 3.30 파렛트 산물적재 이송기계장치의 공정 흐름도.

### 3. Auto-dump의 운동학적 분석과 컴퓨터 시뮬레이션

가. 기구학적 해석

Auto-dump는 공파렛트를 일정각도로 들어 올렸다가 양파를 채우면서 하강하는 구조이며, auto-dump 장치의 정확한 속도와 반복성을 확보하기 위해 유압실린더가 적용된다. 여기서 유압실린더의 속도와 파렛트 장착부의 각속도와의 관계를 분석하는 것은 auto-dump의 원활한 작동 조건 설정에 매우 중요하다.

Auto-dump의 기구학적 분석을 위한 auto-dump의 고정프레임과 회동프레임을 간단히 표현한 그림 3-31에서  $\alpha = \beta - \theta$ ,  $v = \overline{AC} \dot{\beta}$  이므로  $r-\theta$  방향의 속도는 다음과 같이 각각 표현된다.

$$v_r = \dot{r} = v \cos \alpha = c \dot{\beta} \cos(\beta - \theta) \tag{3.14}$$

$$v_\theta = r \dot{\theta} = v \sin \alpha = c \dot{\beta} \sin(\beta - \theta) \tag{3.15}$$

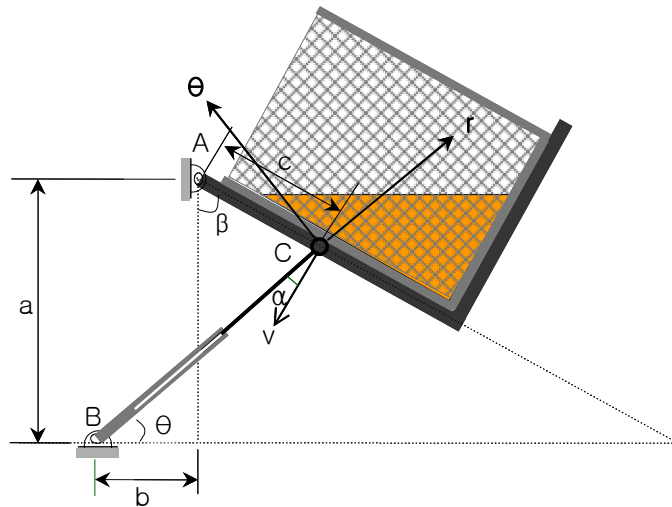


그림 3.31 Auto-dump의 기구학적 분석을 위한 개념도.

여기서 유압실린더는 양단이 회전이 자유로운 힌지로 연결되고 수평과 이루는 각  $\theta$ 가 급격한 변화하지 않는 곳에 B점을 결정해 그곳에 유압실린더를 위치시키면 유압실린더의 부하가 가장 작고 안정적인 작동을 도모할 수 있다.

설계된 상자형 파렛트의 회전에 필요한 회전반경을 고려했을 때  $a=1,345\text{mm}$ , auto-dump의 구조적 안정성과 설치공간 그리고  $b$ 와  $c$ 의 관계로부터 auto-dump의 회동프레임이  $80^\circ$ 에서  $0^\circ$ 까지 회전시 유압실린더가 수평과 이루는 각  $\theta$ 의 변화가 가장 적은 위치는  $\theta \approx 35^\circ$ 이고, 이때  $b=1,008\text{mm}$ ,  $c=642\text{mm}$ 이다. 따라서  $\theta \approx 35^\circ$ 일 때  $\dot{\theta} \approx 0$ 이므로  $v_\theta \approx 0$ 이 된다.

파렛트 장착부인 auto-dump의 회동프레임이 수직과 이루는 각  $\beta$ 가 처음  $77^\circ$ 에서  $0^\circ$ 까지 변할 때, 유압실린더 속도에 따른 각속도 변화를 식(3-14)로부터 계산하여 그림 3.32에 도시하였다.



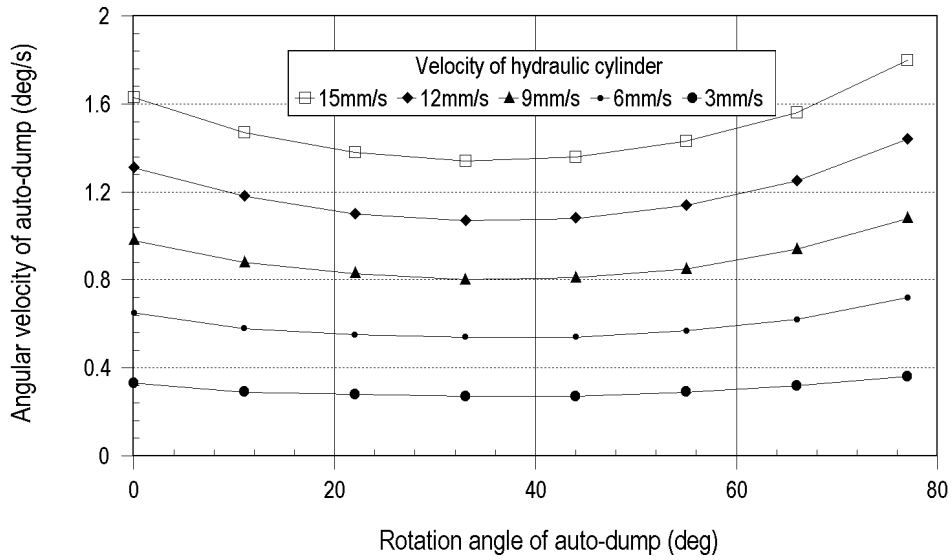


그림 3.32 유압실린더의 속도에 따른 auto-dump의 각속도 변화.

유압실린더의 속도를 작게할 수록 auto-dump의 회전위치에 따른 각속도 변화는 작았으며, 대체로 auto-dump가 수직과 33°를 이룰때 각속도는 최소를 나타내었다.

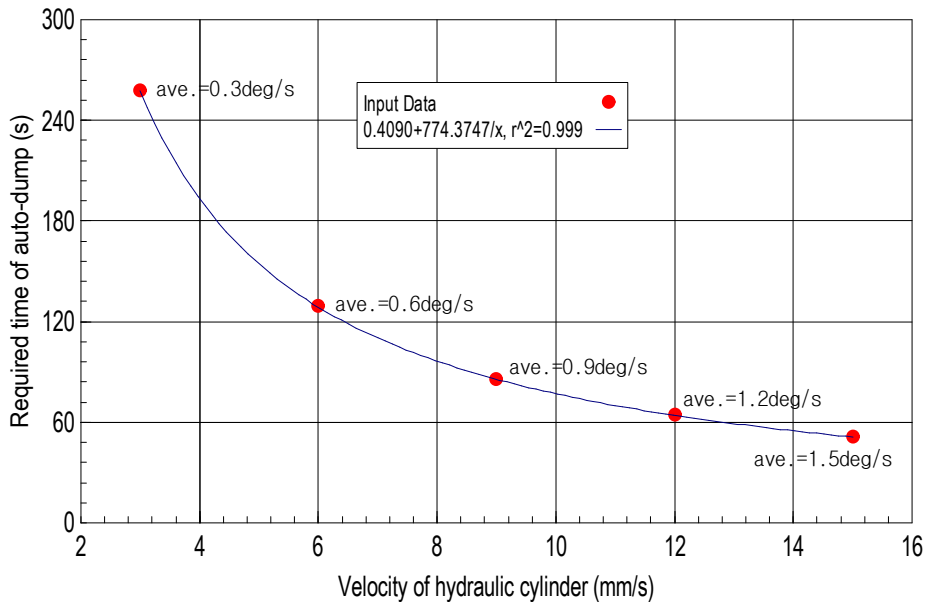


그림 3.33 유압실린더의 속도에 따른 auto-dump 회전에 따른 소요시간.

그림 3.32에서 유압실린더의 속도별 auto-dump의 평균 각속도를 활용해 회전 중에 설계 적 재량을 채우기 위한 auto-dump의 회전소요시간(77°회전 소요시간)을 계산하여 그림 3.33에 나타내었다.

한 예로, 1 파렛트의 양파채움 소요시간을 다른 작업과의 연계성을 고려해 4분으로 설정할 경우, 1ton의 양파를 적재하는데 77° 회전하면서 90%를 채우고, 나머지 10%는 auto-dump가 수직으로 정지한 상태에서 채운다고 했을시, auto-dump의 회전소요시간은  $4 \times 60 \times 0.9 = 216s$ 가 되

므로, 유압실린더의 속도는 3.59mm/s, 그때 auto-dump의 평균 회전속도는 0.36deg/s가 된다.

#### 나. 컴퓨터 시뮬레이션

그림 3.29에 개략적으로 나타낸 auto-dump에 대해 기구학적 해석을 통해 분석된 유압실린더 설치각과 주요치수를 토대로 auto-dump에 대해 컴퓨터 시뮬레이션을 실시하였다.

컴퓨터 시뮬레이션은 상용 3D설계 tool인 CATIA V5 R18를 이용하여 각 구성요소를 모델링한 후 MSC. ADAMS 2005 R2에서 assembly하고 구속조건을 주는 방식으로 진행되었다..

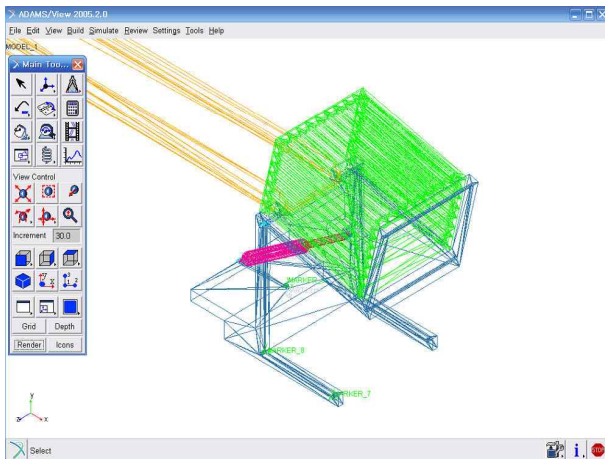


그림 3.34 Auto-dump의 모델링.

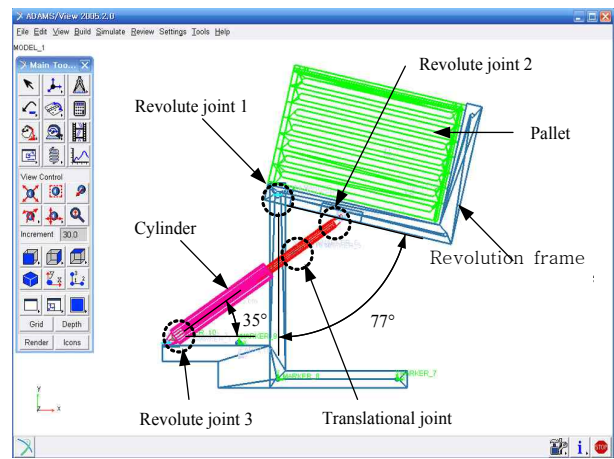


그림 3.35 Auto-dump의 시뮬레이션시 구속조건.

그림 3.34는 auto-dump의 ADAMS 2005 R2에서 모델링한 결과이다. 시뮬레이션 실행을 위한 구속조건은 그림 3.35에서 보듯이 z축 방향으로 1개의 회전 운동만을 허용하는 회전조인트 revolute joint 3개와 실린더의 축방향으로 1개의 직선 운동이 일어날 수 있는 translational joint 1개로 구성하였다.

유압실린더는 revolute joint 3을 중심으로 수평과 35°를 이루며, 3.59mm/s의 등속도로 줄어들면 auto-dump의 회동프레임은 revolute joint 1을 중심으로 77°에서 0°로 CW 방향으로 회전 운동이 발생한다.

그림 3.36에 나타난 시뮬레이션 결과를 보면, auto-dump는 revolute joint 1을 중심으로 77°에서 일정하게 각이 변화하고 있으며, 유압실린더는 revolute joint 3을 중심으로 초기조건 35°를 중심으로 115초 일때 최소각 31°, 225초 일때 최대각 37°를 나타내어 5° 정도의 각변위가 발생해 흔들림으로 인한 변위는 무시할 정도이다.

한편, auto-dump는 초기각속도 0.39deg/s에서 출발하여 115초에서 최소값 0.32deg/s, 22초에서 최대값 0.44deg/s를 갖는다.

유압실린더의 각도를 일정하게 고정한 상태에서의 해석적 방법에 의한 auto-dump의 각속도와 고정하지 않은 상태로 상용 소프트웨어에 의한 시뮬레이션 결과와 비교적 잘 일치하였다.

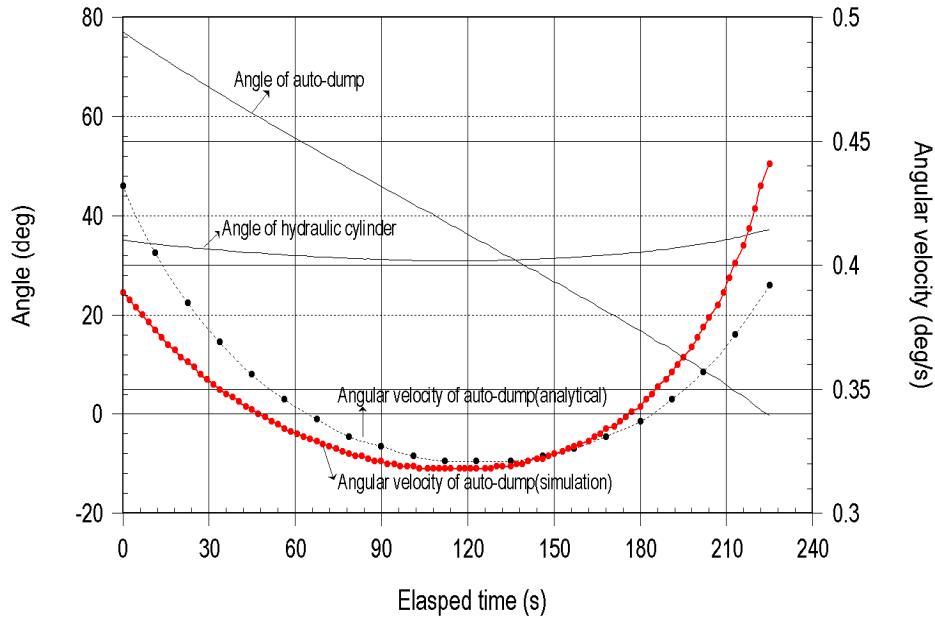


그림 3.36 Auto-dump에 대한 컴퓨터 시뮬레이션 결과.

#### 4. 설계요인 분석과 상세설계

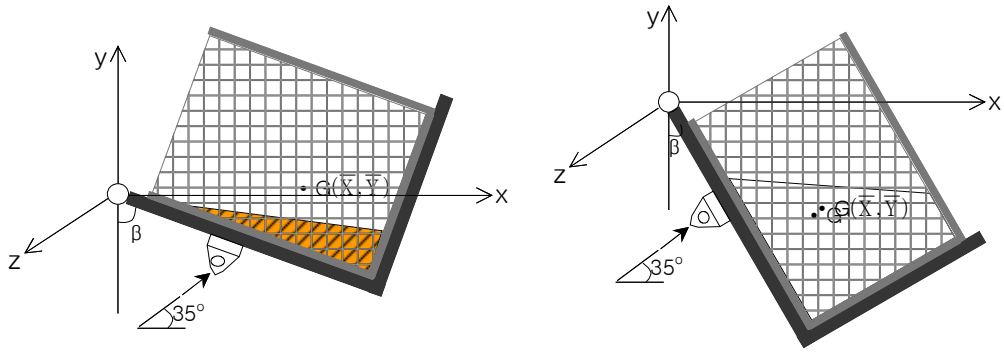
##### 가. Auto-dump

Auto-dump를 파렛트, 파렛트 장착부(회동프레임) 및 양파로 구성된 조립체라 보고, 이들을 소 각각에 대한 질량 중심을 구하여 이로부터 전체 조립체의 질량 중심을 구하는 방법을 택하였다. 여기서 z축 방향으로 단면의 형상이 일정하다고 가정하였을 때 auto-dump는 평면운동으로 간주할 수 있다.

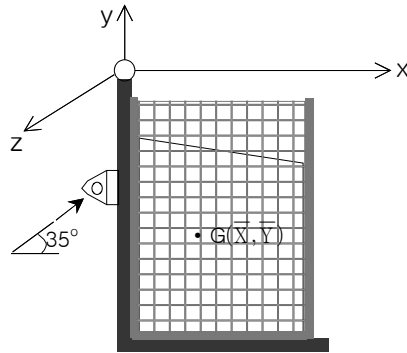
분석시 공파렛트의 무게는 1,177N, auto-dump의 회동프레임은 □ channel(125×65, 130N/m)로 제작시 회동프레임의 단위 길이당 무게를 800N/m로 할 때 회동프레임의 전체 무게는 대략 2,450N이 된다.

Auto-dump가 77° 회전하는 동안에 900kgf의 양파가 채워지는데, 이때 채워지는 형태에 따라 회전각도에 따른 x-y 단면의 형태가 달라진다. 만일 양파가 유체와 같이 항상 수평을 이루면서 채워진다고 했을시, 공급되는 양파가 파렛트의 바닥을 모두 덮는 최소각이 약 46°가 되므로 이를 기준으로 삼각형 단면적재(77°>β≥46°), 평행사변형 단면적재(46°>β>0°), 직사각형 단면적재(β=0°)로 구분된다. 그러나 실제의 경우에 있어서는 양파의 형상과 내부마찰력(internal friction) 때문에 수평과 각을 이루며 적재된다.

만일 수평과 안식각에 가까운 20°의 경사를 이루며 적재된다고 했을시 설계된 파렛트의 바닥을 모두 덮는 최소각이 약 35°가 되므로, 이를 기준으로 삼각단면 적재(77°>β≥35°), 평행사변형 단면적재(35°>β>0°), 직사각형 단면적재(β=0°)를 하게 된다. θ=0° 이후에는 경사 벨트컨베이어의 chute가 파렛트의 L×W면 중앙 위치에 오게 설계하면 양파의 적재 단면이 어느정도 수평을 이루게 된다.



(a)  $77^\circ > \beta \geq 35^\circ$  (수평,  $77^\circ > \beta \geq 46^\circ$ )      (b)  $35^\circ > \beta > 0^\circ$  (수평,  $46^\circ > \beta > 0^\circ$ )



(c)  $\beta = 0^\circ$

그림 3.37 Auto-dump의 회전각도에 따른 양파의 채움 형태와 조립체의 질량중심.

Auto-dump의 회전각도에 따른 ‘파렛트+회동프레임(파렛트 장착부)+양파’의 조립체에 대한 질량중심은 각 유한요소와 복합물체에 대한 모멘트의 원리로부터 구할 수 있으며, 계산결과를 표 3.11에 나타내었다.

표 3.11 조립체(‘파렛트+파렛트 장착부+양파’)의 질량중심과 유압실린더의 작용력

파렛트 위치	조립체 질량 (kN)	(수평채움) 질량중심의 위치			(20° 경사채움) 질량중심의 위치			유압실린더 작용력 (kN)	
		$\bar{X}$ (mm)	$\bar{Y}$ (mm)	$\bar{Z}$ (mm)	$\bar{X}$ (mm)	$\bar{Y}$ (mm)	$\bar{Z}$ (mm)	수평채움	20° 경사채움
$\beta=77^\circ$	3.6	1,241	90	700	1,241	90	700	9.24	9.24
$\beta=60^\circ$	5.6	1,250	-325	700	1,151	-304	700	11.99	11.05
$\beta=46^\circ$	7.2	1,189	-548	700	1,091	-566	700	13.66	12.43
$\beta=35^\circ$	8.4	1,093	-761	700	1,023	-746	700	14.38	13.46
$\beta=30^\circ$	9.0	1,030	-830	700	979	-820	700	14.52	13.80
$\beta=20^\circ$	10.2	881	-945	700	850	-939	700	14.44	13.93
$\beta=10^\circ$	11.3	714	-1,026	700	692	-1,021	700	13.88	13.45
$\beta=0^\circ(90\%)$	12.5	541	-1,071	700	524	-1,067	700	12.81	12.41
$\beta=0^\circ(10\%)$	13.4	547	-1,013	700	547	-1,013	700	13.98	13.98

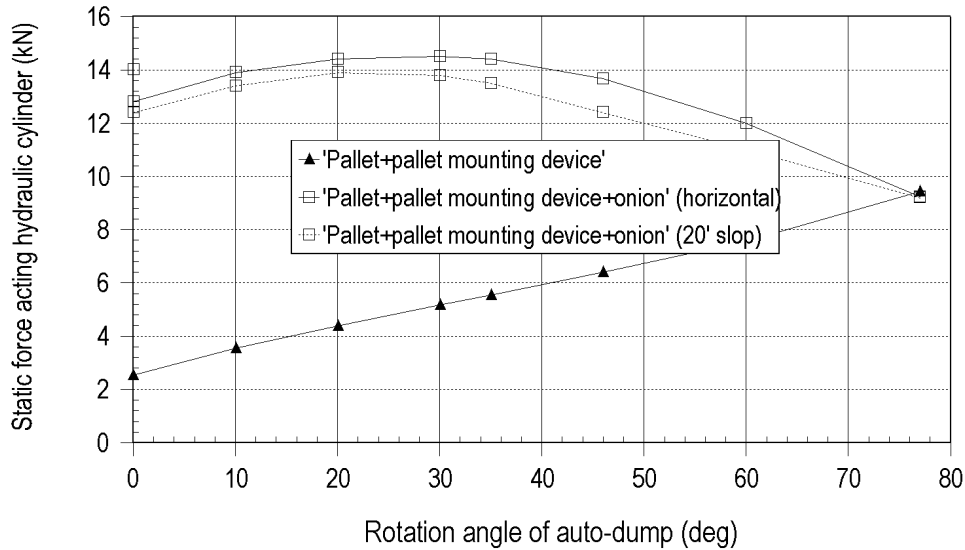


그림 3.38 Auto-dump의 회전위치별 유압실린더의 작용력.

적정 유압실린더를 설계하기 위해서는 유압실린더에 작용하는 힘을 분석하여야 하는데, 이 힘은 auto-dump의 회전축에 대하여 모멘트를 취함으로써 구할 수 있다. 즉, 양파를 채우지 않고 auto-dump의 파렛트 장착부와 공파렛트를 77°에서 0°까지 회전시킬때 회전각도에 따른 힘을 분석한 결과, 수직축에 접근할 수록 작은 힘이 작용하는 것으로 나타났다. 그러나 auto-dump가 회전하면서 양파가 250kg/min로 채워질 때, 회전 중의 유압실린더에 미치는 힘은 회전에 따라 증가하다 약 30°를 기준으로 다시 줄어드는 것으로 나타났다. 대략 30° 부근에서 최대힘이 작용하는데, 수평 채움시가 약 14.5kN, 20° 경사채움시가 약 13.9kN인 것으로 나타났다.

유압실린더 설계시 포인트는 부하에 적당한 실린더 내경, 필요스트로크를 결정하는 일이다. 유압실린더의 피스톤로드 선단에 작용하는 최대 작용력이 14.5kN 이므로,

$$F = A \times P \times \beta \tag{3.16}$$

여기서, A=피스톤 면적 (m<sup>2</sup>)

P=작동압력 (Pa)

β=실효율 (80%)

보통 작동압력을 9.81MPa 이고, 정하중에 근접하므로, 이 경우 안전계수로 2를 선정하면, 식(3.16)으로부터 내경이 69mm로 계산된다. 따라서 한국산업규격(KS B 6370)에 의해 실린더 내경 φ80, 피스톤 로드경은 피스톤 스트로크가 작동 메카니즘상 비교적 커 좌굴을 고려해 B 타입을 선택하면 φ45가 된다.

한편 피스톤의 좌굴강도가 중요하므로 이를 검토해야 한다. 세장비(slenderness ratio)는 λ =L/k 이고, 여기서 k는 단면2차반지름으로 다음과 같이 계산된다. 즉,

$$k = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{\pi d^4}{64} \times \frac{4}{\pi d^2}} = \frac{d}{4} = 0.0113\text{m}, \quad \lambda = \frac{L}{k} = \frac{2}{0.0113} = 177 > 90$$

세장비가 90 보다 크므로 임계하중의 계산에는 식(3.17)의 Euler 공식이 적용되며, 여기서 L 은 유압실린더의 지점간 거리로 유압실린더의 설치공간과 작동조건을 고려해 L=2m를 적용한다.

$$P_{cr} = \frac{n\pi^2 EI}{L^2} \times \frac{1}{S} \quad (3.17)$$

여기서, n=단말계수로 핀에 의한 양단 회전단의 경우 '1' 적용

E=영률(KS D 3752), S 45C는 205GPa

I=단면2차모멘트 (m<sup>4</sup>)

L=지점간 거리 (m)

S=안전계수 (4이상)

여기서, 튜브의 단면2차모멘트가 피스톤 로드와 비교하여 단면2차모멘트 보다 커지기 때문에 계산의 간략화와 안전 설계라는 관점에서 피스톤 로드의 직경을 중심으로 단면2차모멘트를 구하여 보통 적용한다.

$$I = \frac{\pi d^4}{64} = \frac{\pi \times 0.045^4}{64} = 2.0119 \times 10^{-7} \text{m}^4$$

따라서 식(3.17)에 의해 임계하중을 계산하면 다음과 같다.

$$P_{cr} = \frac{n\pi^2 EI}{L^2} = \frac{1 \times \pi^2 \times 2.05 \times 10^{11} \times 2.0119 \times 10^{-7}}{2.03^2} \times \frac{1}{4} = 24,757\text{N}$$

유압실린더에 최대작용력이 14.5kN < 24.8kN 이므로 안전하다. 따라서 이에 적합한 유압실린더로는 80B-800(사용압력 70~140MPa)을 선정한다. 또한 설계한 auto-dump의 작동조건 중 가장 중요한 것은 77°에서 0° 까지 정확한 등속도 운동의 확보와 공파렛트 장착의 수월성 등을 고려해 속도제어가 쉽고 정확한 운동을 확보할 수 있는 unit counter balance가 부착된 복동식(double-acting)을 선정한다.

이상의 auto-dump에 대한 설계요인 분석과 상세설계 결과를 바탕으로 1차시작기를 제작하였으며, 그 결과를 그림 3.39에 나타내었다.



그림 3.39 1차 설계 제작된 auto-dump 장치.

#### 나. 임시적재 및 자동공급호퍼

임시적재 및 자동공급호퍼(automatic feed hopper)는 톤백 작업이 용이한 구조이어야 하므로 호퍼식으로 하며, 1회 최대 적재량을 1톤을 기준으로 용량을 선택적으로 늘릴 수 있도록 설계의 범용성을 고려하였다.

먼저 1톤 용량의 자동공급호퍼는 컨베이어의 속도는 보통 컨베이어의 속도 15~20m/min 범위에서 16m/min, 벨트 폭은 800mm로 하며, 톤백 작업의 용이성을 위해 최대 높이를 1.5m 이하로 제한하여 자동공급호퍼의 외형설계 결과는 그림 3.40과 같다.

1톤 용량의 자동공급호퍼 설계시 기준설정과 적용된 데이터는 다음과 같다.

- 벨트 폭 : 800mm
- 산물밀도 : 541.80kg/m<sup>3</sup>
- 호퍼의 최대높이 : 지지대를 포함해 1.5m이하
- 양과 배출장치 : 출구문을 0~300mm 범위에서 50mm 단위로 6단계 조절

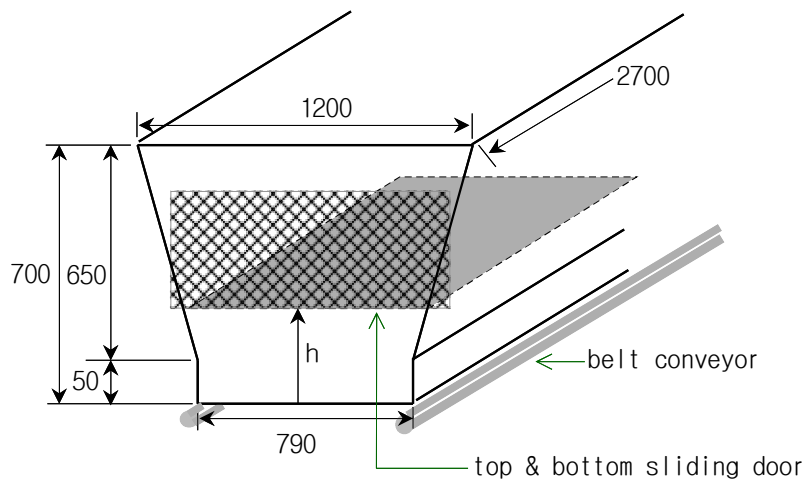


그림 3.40 1톤 용량의 임시적재 및 자동공급호퍼의 외형설계 결과.

자동공급호퍼의 소요동력은 최대 1톤이 적재되어 있다고 가정하고, 호퍼의 바닥에 있는 벨트 컨베이어에 의해 적재된 양파를 이동시켜 양파 배출구로 적정량 배출하기 위해 필요한 벨트 컨베이어의 구동축마력은 식(3.18)에 의해 계산할 수 있다.

식(3.18)에 표현된 바와같이 무부하마력( $N_1$ ), 수평이동부하마력( $N_2$ ), 적재 양파와 호퍼벽 사이에 양파 이동방향과 반대방향으로의 수평마찰력, 임의 높이  $h$ 에서 적재 양파층 사이의 층분리로 인한 내부마찰력에 의한 마찰동력( $N_3$ )의 합으로 표현된다.

$$N = N_1 + N_2 + N_3 = \frac{\mu\omega vL}{4,500} + \frac{\mu Q_m L}{4500} + \frac{(f_1 + f_2) \times v}{44,130} \quad (3.18)$$

여기서,  $N$ =구동축마력 (hp)

$\mu$ =마찰계수(0.1~0.3)

$\omega$ =운반물 외의 운동부분의 단위 길이당 중량(폭 800mm 컨베이어 벨트의 경우 1.6kgf/m 적용) (kgf/m)

$v$ =벨트속도 (m/min)

$L$ =컨베이어의 길이 (m)

$Q_m$ =운반량 (kg/min)

호퍼의 경사면에 작용하는 마찰력은 그림 3.41에서와 같이 경사면에 수직으로 작용하는 힘을 구함으로써 계산할 수 있다.

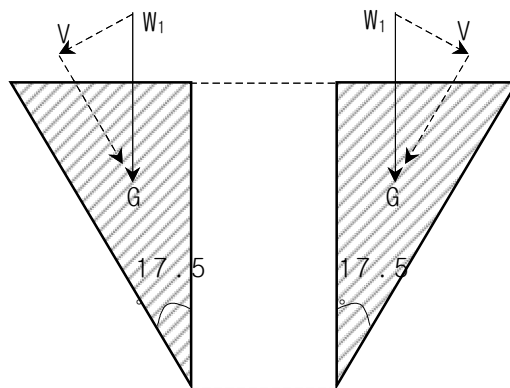


그림 3.41 호퍼의 측면에 작용하는 힘.

그림 3.41에서  $W_1$ 은 호퍼의 한 쪽 경사면 부분의 전체 체적에 해당하는 양파의 총 무게이며,  $V$ 는 경사면에 수직으로 작용하는  $W_1$ 의 분력이다. 따라서 양파가 1톤 적재되어 있을시 벨트컨베이어의 작용으로 경사면에 작용하는 총마찰력  $f_1$ 은 다음과 같다. 이때 양파와 호퍼벽 사이의 마찰계수는 제3장의 제1절에서 연구된 데이터를 적용한다.

$$W_1 = \left( \frac{1}{2} \times 0.205 \times 0.650 \right) \times 541.80 \times 9.81 \times 2.7 = 956.23N$$



$$V = 956.23 \sin 17.5^\circ = 287.54\text{N}$$

$$f_1 = 287.54\text{N} \times 0.35 \times 2 = 201.28\text{N}$$

자동공급호퍼의 양파배출장치는 0~300mm 범위에서 조절가능하므로, 즉 h=100, 150, 200, 250 및 300mm일때 각각의 가상의 수평면에 작용하는 면작용력과 수평분리력(내부마찰력)( $f_2$ )을 계산하여 표 3.12에 나타내었다. 여기서 내부마찰계수는 제3장의 제1절에서 연구된 데이터를 사용한다.

양파의 평균 구경이 85mm임을 고려할 때 출구높이가 150이나 200mm로 하는것이 바람직할 것으로 판단된다.

표 3.12 가상의 수평면에 작용하는 면작용력과 수평분리력(내부마찰력)

출구개방높이 (mm)	면작용력 (kN)	수평분리력( $f_2$ ) (kN)	비 고
h=100	7.08	2.83	$\mu_1 = \tan \phi_1 = \tan 22^\circ = 0.4040$
h=150	6.72	2.72	
h=200	6.35	2.57	
h=250	5.91	2.39	
h=300	5.44	2.20	

식(3.18)에 의해 구동축마력 계산시 자동공급호퍼의 경우 운반량이 잠시 작동으로 이동거리도 1m 이내이므로 계산된 수평이동부하마력( $N_2$ )의 50% 취하고, 또한 양파층의 층분리도 짧은 거리에 걸쳐 일어나고, 층분리에 소요되는 양파층의 큰 공극률(porosity)이 큰 영향을 줄것으로 판단되어 계산된 마찰동력( $N_3$ )의 50%를 취한다.

따라서 구동축동력은 1.07hp가 되며, 여기에 운반기계전동효율과 안전률을 고려하면 전동기 소요마력으로 2hp를 선정한다.

이상의 설계요인 분석과 상세설계 결과를 바탕으로 임시적재 및 자동공급호퍼에 대한 1차 시작기를 제작하였으며 그 결과를 그림 3.42에 나타내었다.



그림 3.42 1차 설계 제작된 양파 임시적재 및 자동공급호퍼.

다. 경사 벨트컨베이어

경사 벨트컨베이어(inclined belt conveyor)의 기능은 자동공급호퍼로부터 공급되는 양파를 산물 파렛트에 적재하기 위하여 일정 높이로 상승시키는 장치이다.

경사 벨트컨베이어의 외형치수는 auto-dump에 의해 상자형 파렛트를 수직과 77° 경사지게 하여 0°까지 회전시켜가며 1회 작업으로 1톤의 양파를 적재하기 위해서는 경사 벨트컨베이어의 양정은 최소 1,800mm, 기장은 2,300mm가 되어야 하므로, 컨베이어의 경사는 약 38°, 길이는 3,000mm가 된다.

또한 경사 벨트컨베이어는 상자형 파렛트와 연속작업이 이루어져야 하므로, 컨베이어의 외부 폭을 파렛트의 내부 길이 1,220mm에서 작업시 필요한 좌우 여유율을 고려해 890mm로 하고, 내부 폭은 800mm로 한다.

컨베이어의 운반능력 및 소요동력을 설계시 기준 데이터는 다음과 같다.

- 벨트 : 길이×폭=3,000(상행벨트)×800mm
- 양파의 평균구경 : (표준규격상 ‘대’에 해당) 85mm
- 산물밀도 : 541.80kg/m<sup>3</sup>

컨베이어의 최대운반능력은 식(3.19)와 같이 운반물의 적재 단면적과 운반속도를 곱하여 구할 수 있다. 여기서 경사 벨트컨베이어의 경우 적재 단면적을 양파가 점유하는 벨트 면적을 실제적으로 고려한 평균 상당적재단면적으로 하면 이론적인 계산 값과 실제운반능력 간의 오차를 줄일 수 있다. 따라서 경사 벨트컨베이어의 실제 운반능력은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$Q_m = A_e \times v \times D_b \tag{3.19}$$

여기서,  $Q_m$ =최대운반능력 (kg/min)

$A_e$ =평균 상당적재단면적(=벨트폭×양파의 평균직경×벨트면적에 대한 양파 점유율) (m<sup>2</sup>)

$v$ =벨트 속도 (m/min)

$D_b$ =양파의 산물밀도 (kg/m<sup>3</sup>)

경사 벨트에 탑재된 양파의 구름을 방지하고 이송 효율을 고려해 벨트에 수직으로 부착되는 어태치먼트(attachment)(길이×폭=740×40mm)의 간격을 양파구(onion bulb)의 2열 적재 가능한 폭 170mm로 하고(양파의 평균직경 85mm), 어태치먼트 점유면적과 양파구의 투영면적을 고려하면 양파구의 면적점유율은 약 70%가 된다(그림 3.44).

따라서 평균 상당적재단면적  $A_e=0.8 \times 0.085 \times 0.7=0.0476\text{m}^2$ 이다.

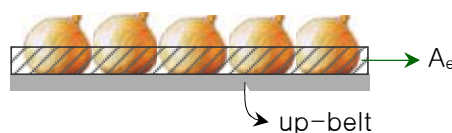


그림 3.43 상당적재단면적의 개념.



그림 3.44 경사 벨트컨베이어의 설치 각도에 따른 양파의 점유면적 측정실험.

위와 같이 평균 상당적재단면적을 사용하여 컨베이어의 벨트 속도에 따른 양파 운반량을 식(3.19)로부터 분석하여, 그 결과를 그림 3.45에 나타내었다.

파렛트 교체와 다른 작업과의 연계를 고려해 한 파렛트 적재에 소요되는 순 컨베이어 작동 시간을 4분으로 설정할 경우 양파의 공급률은 250kg/min이고, 이때 경사 벨트컨베이어의 속도는 약 9.69m/min가 된다.

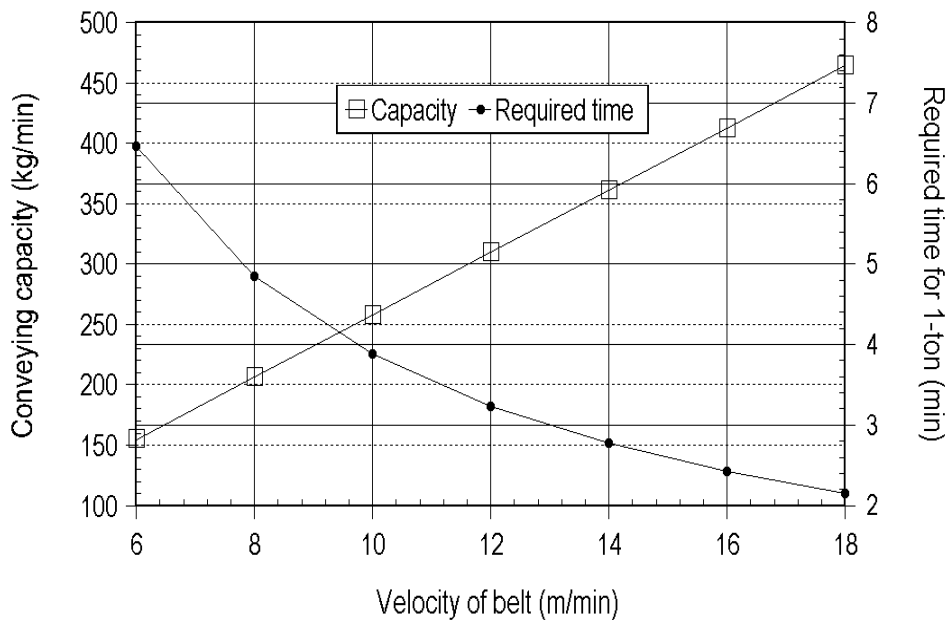


그림 3.45 경사 벨트컨베이어의 벨트속도와 운반량과의 관계.

경사 벨트컨베이어의 구동축마력은 식(3.20)에 나타낸 바와같이 무부하마력( $N_1$ ), 수평부하마력( $N_2$ ) 및 수직부하마력( $N_3$ )을 모두 더하여 구할 수 있다.

$$N = N_1 + N_2 + N_3 = \frac{\mu\omega vL}{4,500} + \frac{\mu Q_m L}{4,500} + \frac{Q_m h}{4,500} \quad (3.20)$$

여기서, N=구동축마력 (hp)

$\mu$ =마찰계수(0.1~0.3)

$\omega$ =운반물 외의 운동부분(벨트 등)의 단위 길이당 중량 (kgf/m)

v=벨트속도 (m/min)

L=컨베이어의 길이 (m)

$Q_m$ =운반량 (kg/min)

h=수직운반높이(양정) (m)

따라서 위에서의 자료(벨트 800×1,000mm : 1.6kgf/m, ATT 0.045kgf/m)를 활용해 구동축마력을 계산하면 다음과 같다.

$$N = \frac{0.3 \times 1.81 \times 9.69 \times 3}{4,500} + \frac{0.3 \times 250 \times 3}{4,500} + \frac{250 \times 1.8}{4,500} = 0.15\text{hp}$$

경사 벨트컨베이어의 전동기 소요마력은 다음과 같이 계산된다.

$$N_m = \frac{N}{\eta} = \frac{0.15}{0.8} = 0.19\text{hp}$$

여기서, N=전동기 소요마력 (hp)

$\eta$ =운반기계전동효율(0.5~0.8)

따라서 실제 사용에 따른 마력수는 여기에 안전률을 고려해야하므로, 안전률을 2라하였을 때 실제 사용상의 전동기 소요마력은  $0.19\text{hp} \times 2 \approx 0.4\text{hp}$ 가되고, 모터의 장기사용에 따른 효율저하와 안정성, 생산되는 모타 기종을 고려하여 1hp를 선택한다.

구동축과 모타와의 직접 연결 및 유지보수의 용이성을 확보하기 위해 중공축 워엄 감속기가 장착된 geared motor를 선정한다.

#### 라. 공급량 자동조절장치

공급량 자동조절장치(automatic feed rate control device)는 센서플레이트(sensor plate)를 장착하여 자동공급호퍼로부터 경사 벨트컨베이어로의 양과 공급률을 일정하게 유지시켜 전체적인 작업의 안정성을 도모하기 위한 장치이다.

즉, 공급량 자동조절장치의 호퍼에 임시 적재되는 양과의 양을 일정 수준으로 유지하기 위해서 센서플레이트에는 스프링이 부착되어, 호퍼에 적재된 양과의 압력으로 리미트 스위치를 작동시켜 자동공급호퍼를 'on' 또는 'off'하여 양과 공급량을 일정 수준으로 유지한다.

따라서 여기서는 이러한 기능을 할 수 있도록 스프링 요소의 상수 값(spring constant)을 결정하는 것이 중요하다.

공급량 자동조절장치의 호퍼에 담긴 양과의 전체 중량, 힘의 평형방정식으로부터 센서플레

이트의 전체 압력과 그 작용 위치를 결정하기 위한 식은 다음과 같다.

$$W = \gamma V = D_b g \times V \quad (3.21)$$

$$\sum F_x = 0 \rightarrow R_1 = W \sin \theta, \quad \sum F_y = 0 \rightarrow R_2 = W \cos \theta \quad (3.22)$$

$$\sum M_o = 0 \rightarrow R_1 \times \frac{a}{3} - F \times \frac{2a}{3} = 0 \rightarrow F = \frac{R_1}{2} \quad (3.23)$$

여기서,  $\theta$ =경사 벨트컨베이어의 경사각( $38^\circ$ )

$\gamma$ =비중량 ( $N/m^3$ )

$V$ =호퍼의 체적 ( $m^3$ )

$W$ =호퍼안의 운반물 중량 (N)

$R_1, R_2$ =반력 (N)

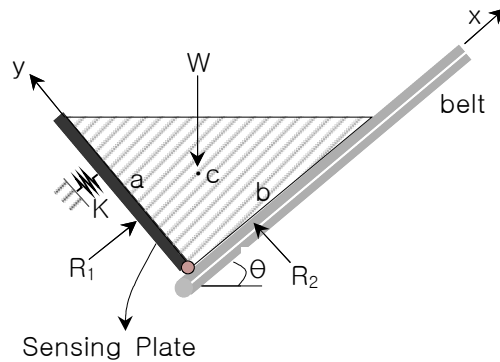


그림 3.46 공급량 자동조절장치와 센서플레이트.

앞에서의 값 들을 사용하여 구하면,  $W = 541.80 \times 9.81 \times (1/2 \times 0.498 \times 0.418 \times 0.8) = 442.56N$ ,  $R_1 = 442.56 \sin 38^\circ = 272.47N$  이며, 그 작용 위치는 센서플레이트의 위로부터  $2a/3$  지점이다. 따라서 센서플레이트의  $a/3$  지점에 설치한 스프링 요소가 지탱해야할 힘은 식(3.23)으로부터  $F = 272.47/2 = 136.24N$ 이 된다.

만일 스프링의 작동 길이를 10mm로 하고, 센서플레이트 좌우에 2개를 설치할 경우, 이에 대한 스프링 상수 값은 다음과 같다.

$$F = K_{eq}x \rightarrow K_{eq} = 136.24/0.01 = 13,624N/m, \quad \text{즉, } K = 6,812N/m$$

이상의 설계요인 분석과 상세설계 결과를 바탕으로 공급량 자동조절장치에 대한 1차시작기를 제작하였으며, 그 결과를 그림 3.47에 나타내었다.

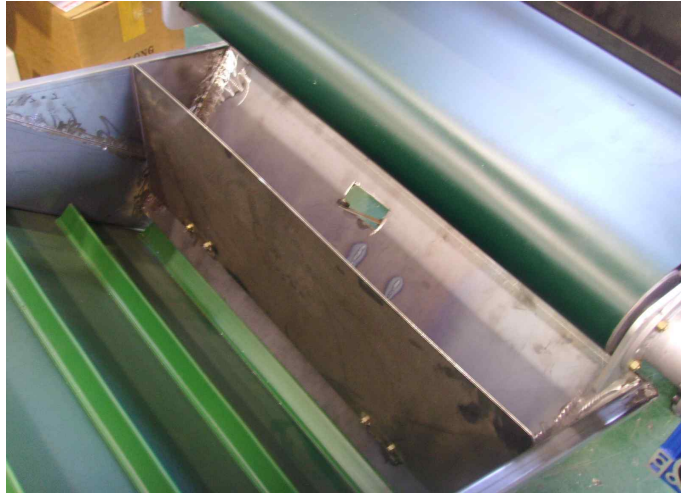


그림 3.47 1차 설계 제작된 공급량 자동조절장치와 센서플레이트.

#### 마. 슈트

슈트(chute)는 경사 벨트컨베이어에 의해 상승된 양파를 auto-dump에 의해 기울어진 파렛트에 안전하게 공급하는 역할을 한다. 슈트의 설계시 가장 중요시할 사항은 양파에 물리적 손상없이 안전하게 공급하기 위해 양파가 순수 구름운동(pure rolling)을 할 수 있도록 유도하는 것과 파렛트에 균일하게 양파를 적재하는 것이다.

이를 위해 슈트는 2단의 각도로 설계하는 것이 필요하며, 1단 각은 양파의 평균 구름각(rolling resistance)을 기준으로  $10^{\circ} \sim 30^{\circ}$  범위에서 5단으로 조절할 수 있도록 하며, 2단 각은 양파의 구름속도를 줄이기 위해 1단 구름판과는 약  $8^{\circ}$  완만하게 설계한다. 또한 슈트의 끝 부분에 커튼을 설치하여 양파가 가능하면 초속도를 가지지 않고 낙하되도록 하였다.

이상의 상세설계 내용을 바탕으로 슈트에 대한 1차시작기를 제작하였으며, 그 결과를 그림 3.48에 나타내었다.

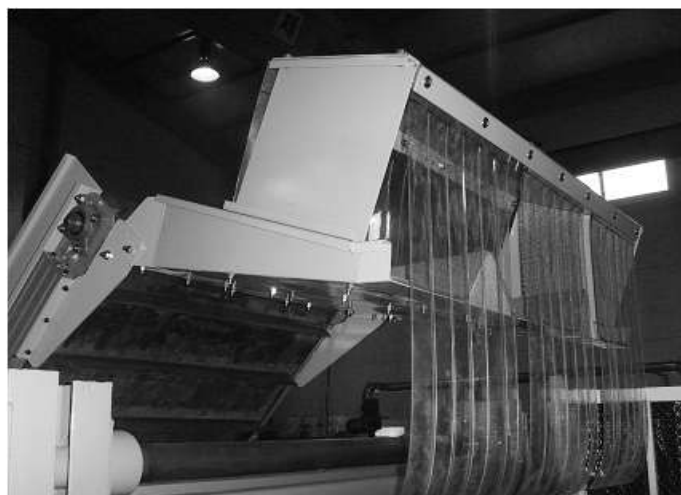


그림 3.48 1차 설계 제작된 상하조절식 2단 chute.

#### 바. 공파렛트 자동공급장치

전체적인 작업의 원활성을 확보하기 위해 유압실린더에 의한 구동방식을 적용하였다. 공파렛트 자동공급장치(automatic empty-pallet feeding device)의 푸셔(pushers)에는 전진 및 후진 sprocket이 앞·뒤에 각각 부착되어 함께 이동하는데, 이 이동 sprocket에 감겨있는 체인에 의해 유압실린더의 stroke와 속도가 각각 2배로 증폭되어 푸셔에 의해 공파렛트에 공급되는 메카니즘이다.

공파렛트를 푸셔가 밀대 좌우 쓸림 현상을 방지하도록 chain-sprocket 2조를 일정 간격을 주어 배치하였다.

이상의 상세설계 내용을 바탕으로 공파렛트 자동공급장치에 대한 1차시작기를 제작하였으며, 그 결과를 그림 3.49에 나타내었다. 여기에 사용되는 유압실린더 50C780이다.



그림 3.49 1차 설계 제작된 공파렛트 자동공급장치.

#### 사. 파렛트 자동비움장치

파렛트 자동비움장치(automatic pallet unloading device)는 상자형 파렛트에 적재된 양파를 선별·포장작업을 위해 비우거나 또는 기존의 선별·포장라인으로 자동공급하기 위한 장치로 유압실린더에 의해 파렛트의 하부 적재판을 일정 속도로 열어주는 기능을 한다.

이러한 기능을 수행하기 위해서는 파렛트 양파배출장치의 한쪽은 하부 길이방향(파렛트의 길이방향과 동일) 모서리에 2개의 나비경첩으로 고정하고, 다른 한쪽에는 유압실린더에 연결되는 구조를 해야 한다.

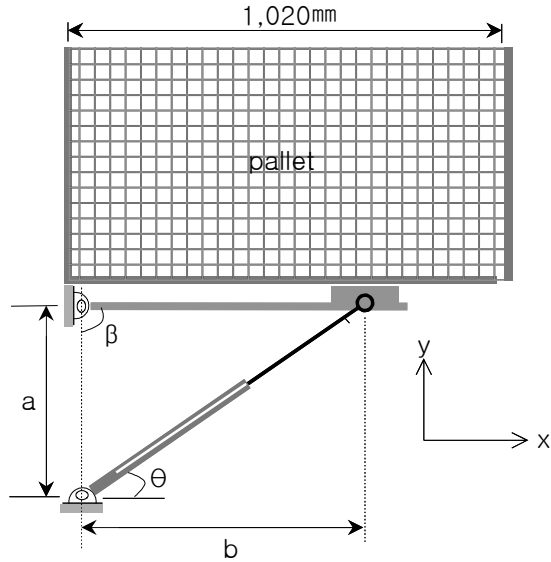


그림 3.50 파렛트 자동비움장치의 기구학적 분석을 위한 개념도.

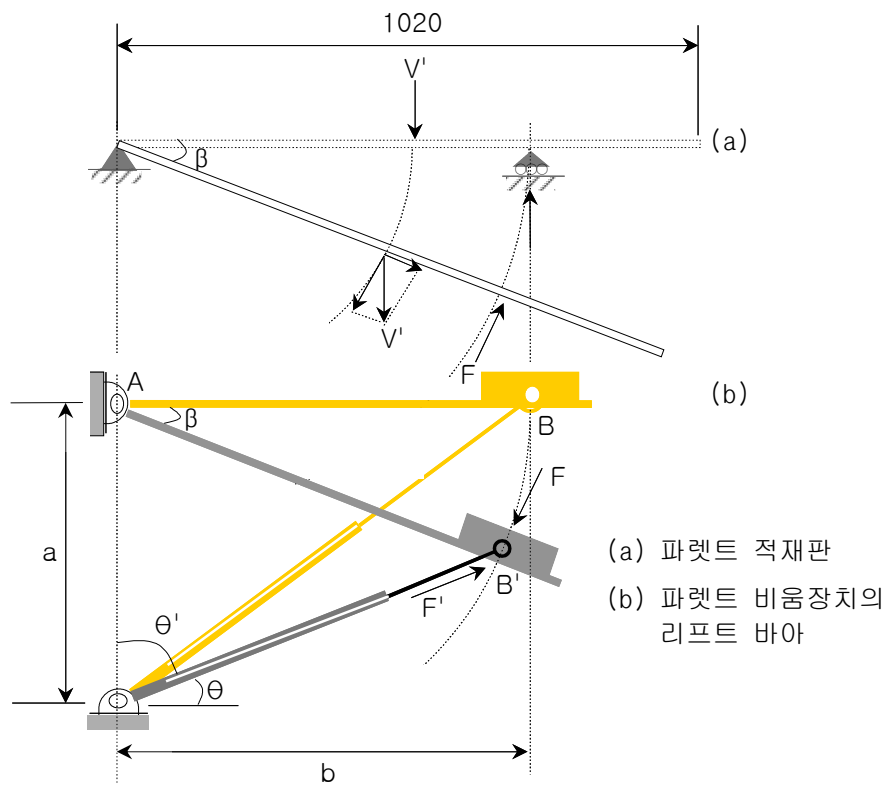


그림 3.51 파렛트와 파렛트 자동비움장치의 역학관계.

유압실린더에 가장 큰 하중이 작용할때는 파렛트 적재판에 고정된 핀을 제거하기 위해 파렛트의 하부적재판을 약간 들어올리는 순간으로 이때 필요한 유압실린더 작용력을 구하면 다음과 같다.

그림 3.51의 (a)에서  $V'$ 는 적재된 양파의 무게, 적재된 양파와 파렛트 벽면 사이의 수직 마



찰력, 파렛트 양파배출장치의 무게를 모두 합한 것으로 다음과 같이 계산된다. 또한 F는 자동 비움장치의 리프트 바아에 의해 파렛트 적재판을 떠 받치는 힘이다.

$$V' = \gamma h A + \mu \left\{ \left( \int_0^h p_y dy \right) \times p_L \right\} + 203 = \gamma h A + \gamma R \left\{ h + \frac{R \exp\left(-\frac{\mu k}{R} h\right)}{\mu k} - \frac{R}{\mu k} \right\} \times p_L + 203 \quad (3.24)$$

식(3.24)에 아래의 데이터를 적용하여 V'를 계산하면 V'=14.8kN이 된다.

$$\phi_r = 22^\circ$$

$$\mu = \tan \phi_r = 0.4040$$

$$k = \frac{1 - \sin \phi_i}{1 + \sin \phi_i} = 0.4550$$

$$\gamma = \rho g = 541.80 \text{ kgf/m}^3 = 5,315.06 \text{ N/m}^3$$

$$R = \frac{LW}{2(L+W)} = 0.2778$$

$$p_L = 2(L+W) = 4.48$$

$$A = L \times W = 1.22 \times 1.02 = 1.24 \text{ m}^2$$

현행 공급된 선별·포장장치의 높이를 고려하면 그림 3.51에서 a=500mm, b=700mm로 하면 적정하다.

그림 3.51의 (a)의 파렛트 적재판과 (b) 파렛트 비움장치의 리프트 바아에 대하여 각각 모멘트 균형식을 적용하면 다음과 같다.

$$\sum M_0 = 0 \rightarrow V' \times 0.51 - F \times 0.705 = 0, F = 10.74 \text{ kN}$$

$$\sum M_0 = 0 \rightarrow F \times 0.705 - F' \times (0.705 \sin 40^\circ) = 0$$

따라서 유압실린더에 작용하는 최대힘은 16.71kN이 된다.

유압실린더 설계시 포인트는 부하에 적당한 실린더 내경, 필요스트로크를 결정하는 일이다. 유압실린더의 피스톤로드 선단에 작용하는 최대 작용력이 16.71kN 이므로, 작동압력을 9.81MPa, 정하중에 근접하므로 안전계수로 2를 적용하면, 앞의 식(3.16)에 의해 직경이 74mm가 된다. 한국산업규격 KS B 6370에 의해 실린더 내경  $\phi 80$ , 피스톤 로드경은 피스톤 스트로크가 크지 않으므로 C 타입을 선택하면  $\phi 35$ 가 된다.

한편 피스톤의 좌굴강도가 중요하므로 이를 검토해야 한다. 세장비(slenderness ratio)는  $\lambda = L/k$  이고, 여기서 k는 단면2차반지름으로 다음과 같이 계산된다. 즉,

$$k = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{\pi d^4}{64} \times \frac{4}{\pi d^2}} = \frac{d}{4} = 0.0087 \text{ m}, \lambda = \frac{L}{k} = \frac{0.86}{0.0087} = 98.85 > 90$$

세장비가 90 보다 크므로 임계하중의 계산에는 앞에서 언급된 식(3.17)의 Euler 공식이 적용되며, 여기서 L은 유압실린더의 지점간 거리 L로 유압실린더의 설치공간과 작동조건을 고려해 L=0.86m을 적용한다.

튜브의 단면2차모멘트가 피스톤 로드와 피스톤 로드보다 커지기 때문에 계산의 간략화와 안전 설계라는 관점에서 보통 피스톤 로드의 직경을 중심으로 단면2차모멘트가 적용된다.

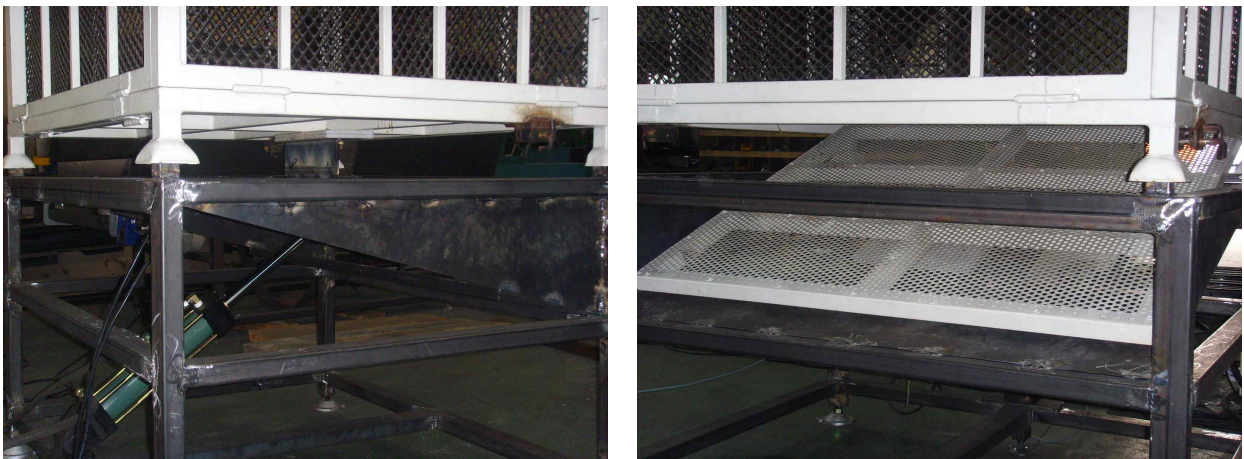
$$I = \frac{\pi d^4}{64} = \frac{\pi \times 0.035^4}{64} = 7.3624 \times 10^{-8} \text{m}^4$$

따라서 식(3.17)에 의해 임계하중을 계산하면 다음과 같다.

$$P_{cr} = \frac{n\pi^2 EI}{L^2} = \frac{1 \times \pi^2 \times 2.05 \times 10^{11} \times 7.3624 \times 10^{-8}}{2.03^2} \times \frac{1}{4} = 50,300 \text{N}$$

유압실린더의 최대작용력이 16.71kN < 50.3kN 이므로 안전하다. 따라서 이에 적합한 유압실린더로는 80C250(사용압력 70~140MPa)을 선정한다.

이상의 파렛트 자동비움장치에 대한 설계요인 분석과 상세설계결과를 바탕으로 1차시작기를 제작하였으며, 그 결과를 그림 3.52에 나타내었다.



(a) 파렛트가 파렛트 비움장치에 장착된 모습 (b) 유압에 의해 파렛트 하부가 열린상태  
그림 3.52 1차 설계 제작된 파렛트 자동비움장치.

## 5. 시작기 구성

양과 산물처리시스템을 구성하는 각 요소별로 설계·제작된 단위요소들을 연결하여 하나의 시스템을 구축하고, 각 요소 상호간의 원활한 작동을 제어하기 위해 10개의 리미트 스위치, 유압실린더 solenoid valve 4개(auto-dump, 공파렛트 자동공급장치, 파렛트 자동비움장치-복동식, drain-단동식), 모터 제어를 위한 인버터 3개(임시적재 및 자동공급호퍼, 경사 벨트컨베이어)가 설치되었으며, 이들을 전체적으로 컨트롤하기 위한 유압회로도와 전기회로도를 다음의 그림

3.53과 3.54에 각각 나타내었다.

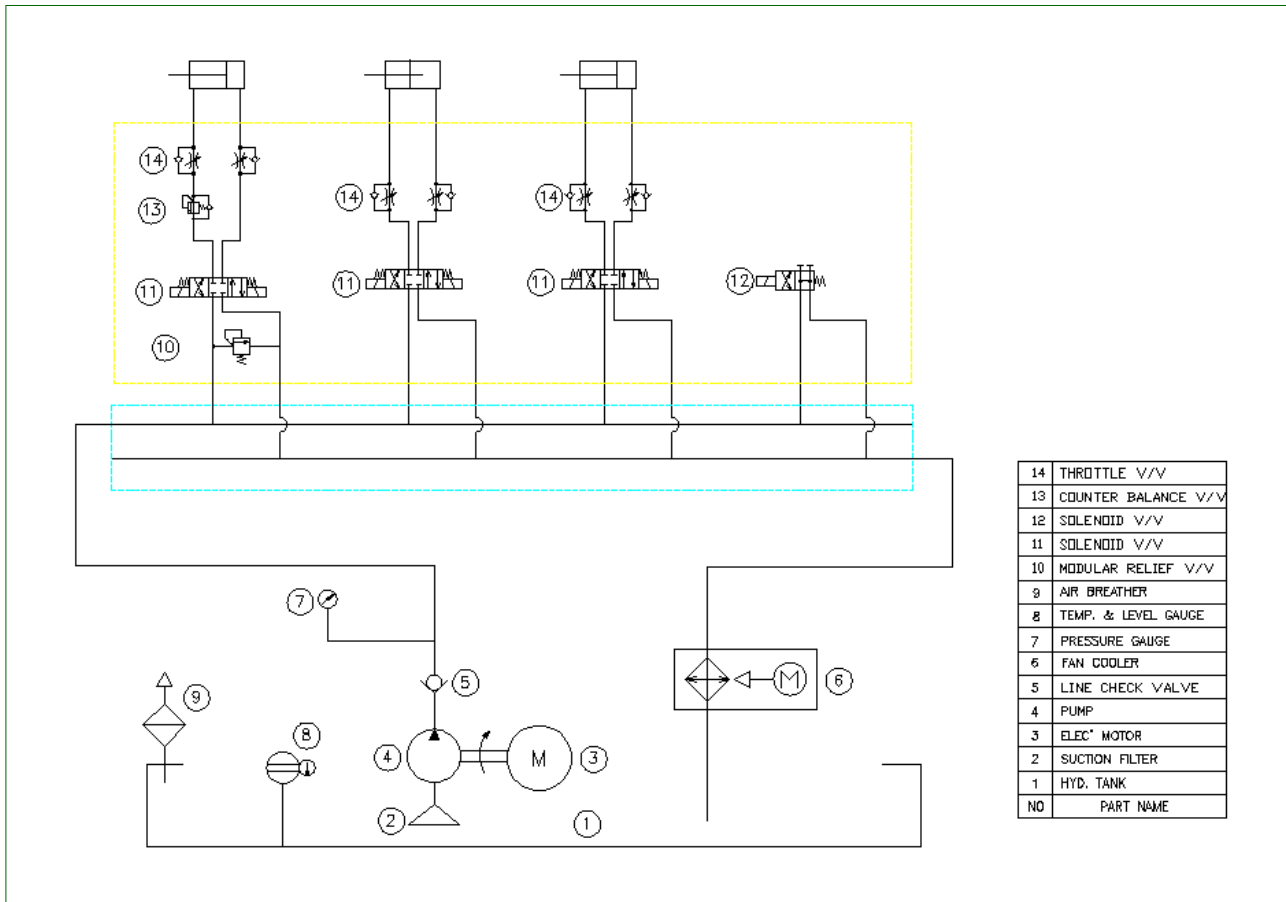
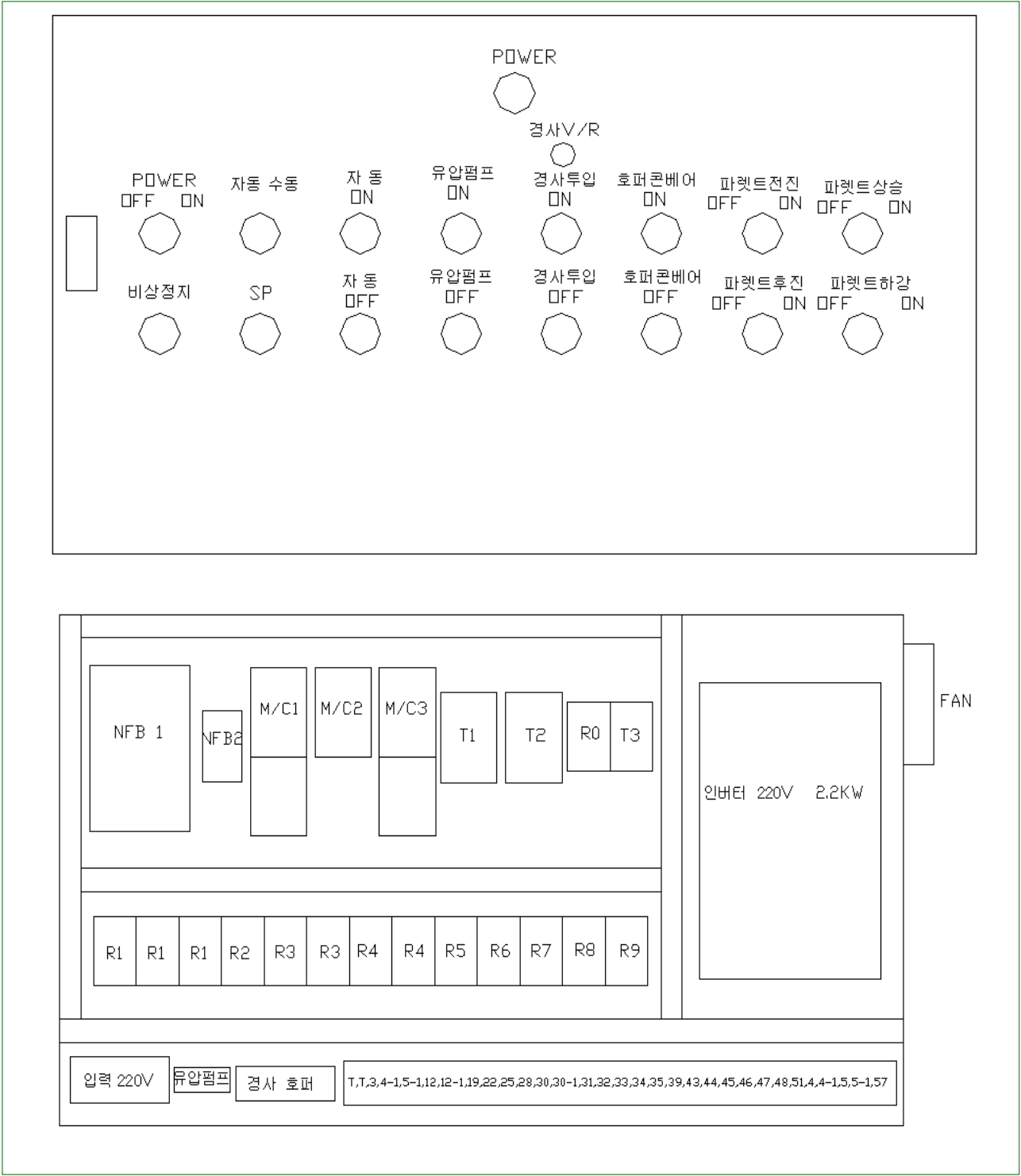
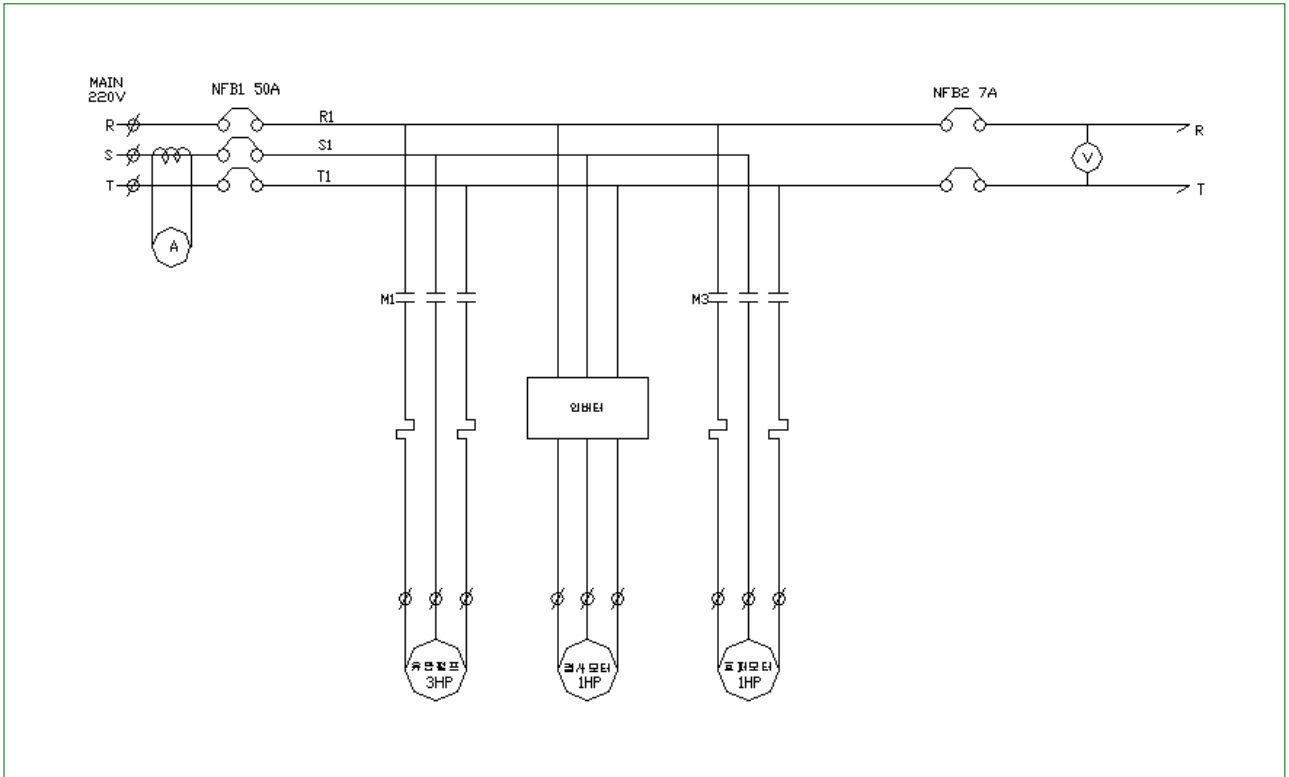


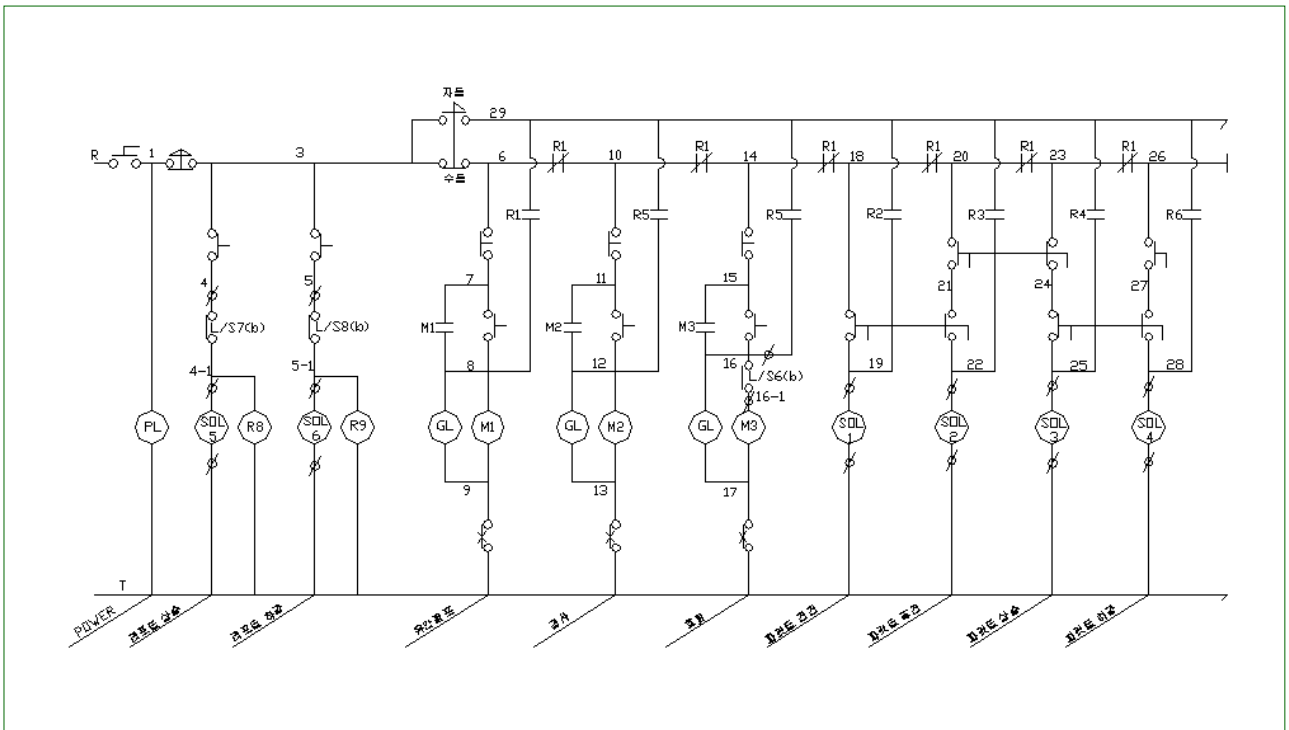
그림 3.53 기계장치의 전체 유압회로도



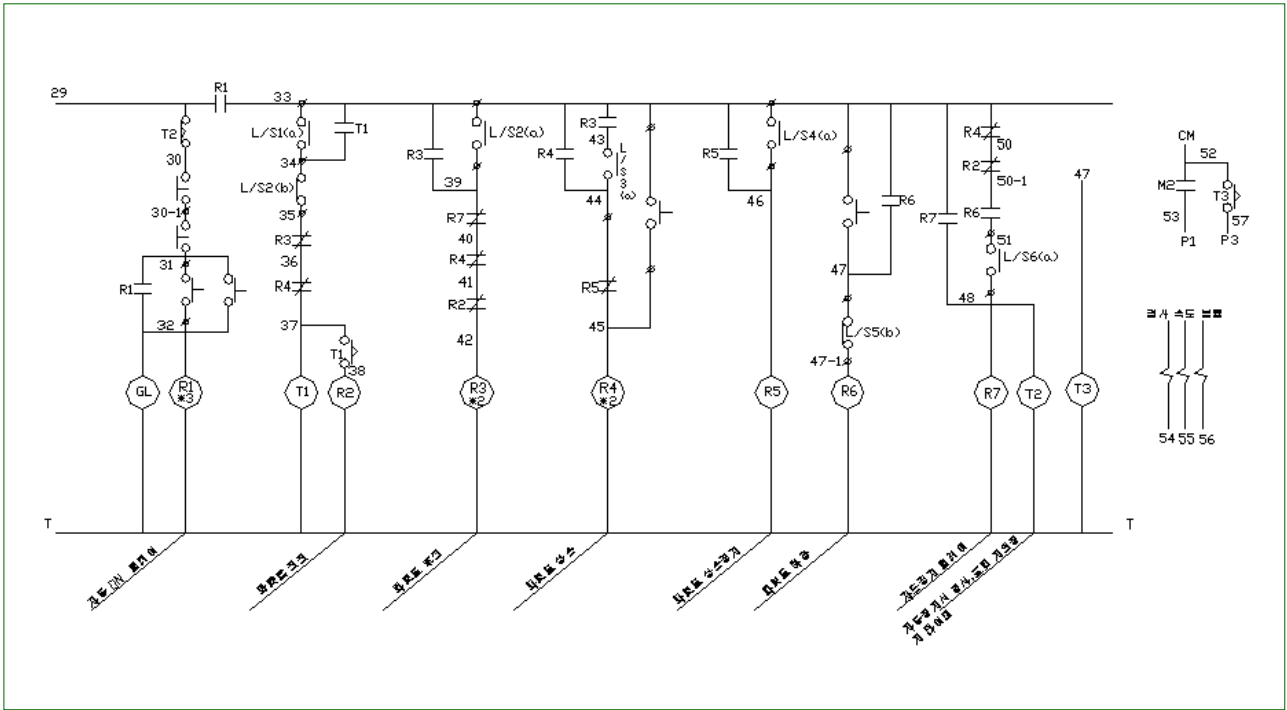
(a) 전기회로도 : 컨트롤박스의 외부와 내부 배치도



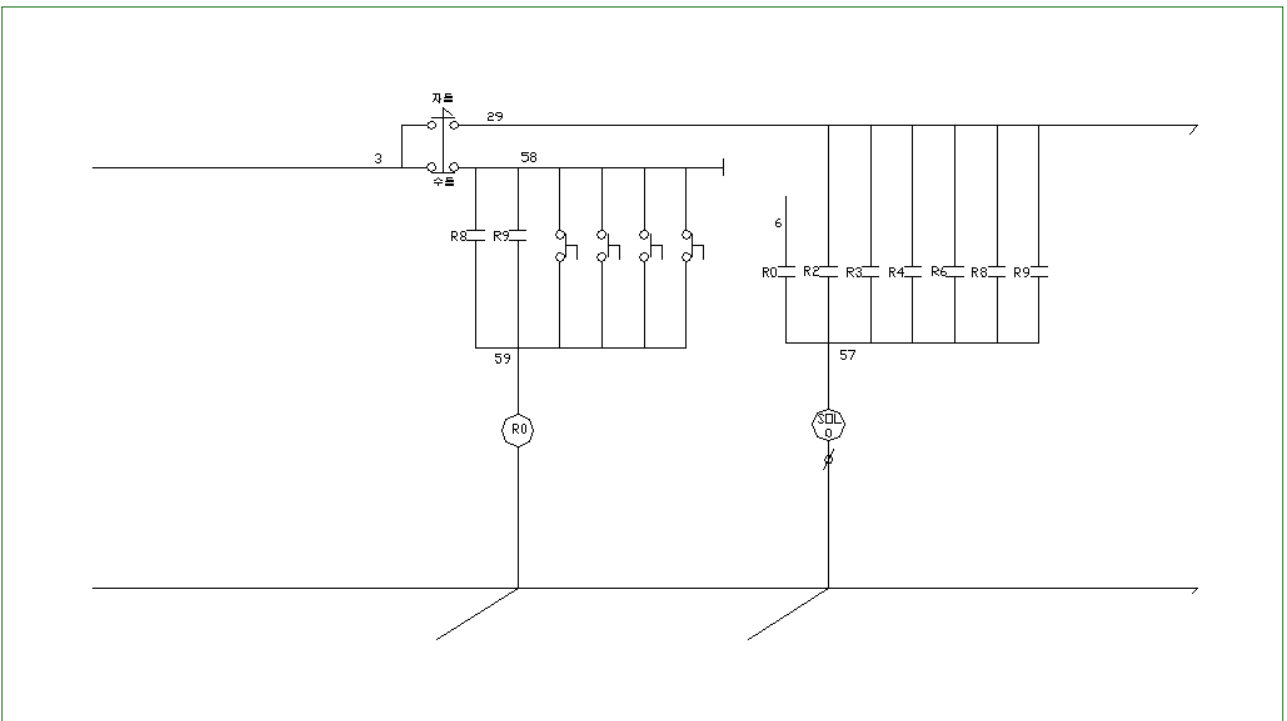
(b) 전기회로도-(1)



(c) 전기회로도-(2)



(d) 전기회로도-(3)



(e) 전기회로도-(4)

그림 3.54 기계장치의 전기 및 제어 장치 흐름도

전체시스템은 공파렛트의 공급부터 파렛트에 양과 적재까지 자동으로 작동되나, 시스템을 구성하는 auto-dump, 자동공급호퍼, 경사 벨트컨베이어 및 파렛트 자동비움장치 각각의 요소에 대한 유지보수의 용이성을 위해 수동으로도 동작제어가 가능하도록 전기회로도를 구성하였

다.

현장의 작업여건에 따라 전체시스템의 분리 및 이동 설치가 가능하도록 시스템의 강성을 잃지 않는 범위내에서 각 요소의 영구적인 체결방법을 피하였다.

그림 3.55에는 앞에서 전체 시스템의 구성요소별로 설계 제작된 단위기계장치들을 한 시스템으로 구축된 양파 산물처리 기계시스템의 1차시작기를 나타내었고, 이 시작기에 대한 성능평가는 제 4절에서 상세히 분석하였다.



그림 3.55 1차시작기 조립과 작동 시험.

## 6. 요약 및 결론

본 연구에서는 양파의 수확 후 산물상태로의 일관처리를 위한 산물처리 기계시스템을 구성하는 여러 단위기계장치 즉, 자동공급호퍼, 공급량 자동조절장치, 경사 벨트컨베이어, 슈트, 공파렛트 자동공급장치 및 파렛트 자동비움장치 등에 대해 단위기계 혹은 상호 연계된 장치들에 대해 작동조건과 설계요인을 분석하였으며, 전체시스템을 컨트롤하기 위한 전기와 유압장치를 설계하였다.

구체적인 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) Auto-dump에 대한 기구학적 분석과 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 작동메카니즘과 운전조건을 확립하였다.
- (2) 시험모델로 최대 1톤의 양파를 취급할 수 있는 자동공급호퍼를 설계하였고, 경사 벨트컨베이어와 연계하여 양파 공급을 일정하게 유지하기 위한 양파 공급률 자동조절장치를 설계하였다.
- (3) 경사 벨트컨베이어에 의해 상승된 양파를 auto-dump에 의해 경사되어 점차 하강하는 파렛트에 물리적 손상없이 공급하기 위한 상하조절식 2단 슈트와 파렛트에 적재된 양파를 선별·포장라인으로 자동공급하기위한 파렛트 자동비움장치를 설계하였다.
- (4) 전체시스템을 제어하기위한 전기 및 유압장치를 설계하였고, 전체시스템에 대한 동작시험에서 1 pallet를 채우는데 4분으로 설정할 경우, auto-dump가 77° 회전 중에 1톤 pallet에

양과 적재율은 90%였고, 이때 슈트로부터의 양과 공급률은 250kg/min, 경사 벨트컨베이어의 속도는 9.69m/min였다.

## 제 4 절 시작기에 대한 종합 평가와 보완

### 1. 시작기 성능시험

그림 3.55의 1차시작기에 대한 평가는 시스템 작동성, 작업효율, 처리양과의 품질보호 등 3 측면에서 검토하였다.

#### 가. 시스템의 작동성 및 품질보호

개별적으로 제작된 각 단위기계를 하나의 시스템으로 구성하여 전체시스템의 작동성 평가에는 시스템 컨트롤부에서 설정한 작동조건에 따라 전체시스템이 어떻게 작동되며, 각 요소들 상호간의 원활한 작동이 가능한가를 평가하였다.

각 요소별 평가내용을 살펴보면 다음과 같다.

표 3.13 1차시작기에 대한 성능평가 결과

평가항목 및 내용 (설계사항)	평가결과	비고
<p>○임시적재 및 자동공급호퍼의 작동성</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 호퍼의 용량이 1톤이고, 1톤 적재 후 호퍼를 16m/min로 구동할 때 설계된 모타 2hp이 적정한가의 여부</li> <li>- 경사 벨트컨베이어에 설치된 공급량 자동조절장치의 sensor plate에 의해 자동공급호퍼 작동이 잘 컨트롤 되는가의 여부</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○호퍼는 양과 1톤을 적재할 수 있고, 16m/min의 속도로 운전이 가능함</li> <li>○1톤의 자동공급호퍼를 구동하는데 소요동력은 2hp으로 충분함</li> </ul>	
<p>○공급량 자동조절장치의 작동성</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 양조절장치의 임시호퍼를 채운 양과가 sensor plate에 272.47N의 압력을 줄때 작동하는가의 여부</li> <li>- 임시호퍼에서 양과의 overflow 여부</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○임시호퍼를 채운 양과의 양에 따라 sensor plate의 작동이 원활하였고, 다른 요소와의 연계성도 양호함</li> <li>●양과로부터 분리되는 부산물과 흙을 제거할 수 있는 방법이 요구됨</li> </ul>	
<p>○경사 벨트컨베이어의 작동성</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 공급량 자동조절장치에 의해 잘 제어된 양과를 벨트속도 9.69m/min로 2.24m 상승시켜 산물 파렛트에 잘 공급되는가의 여부</li> <li>- 양과 공급률이 250kg/min이며, 1톤을 공급하는데 소요되는 시간이 4min인가의 여부</li> <li>- 경사 벨트컨베이어의 구동에 필요한 동력이 설계된 모타 1hp으로 가능한가의 여부</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○컨베이어속도 9.69m/min로 1톤을 공급하는데 4분이 소요되어, 동력도 1hp로 가능하였음</li> <li>●경사 벨트컨베이어를 통해 굴러 떨어지는 양과 소수 발생</li> </ul>	



<p>○2단 chute의 작동성</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Chute에 2단으로 설치된 각도가 파렛트에 공급되는 양파의 초속도를 낮추고, 순수구름을 하는가의 여부</li> <li>-양파가 파렛트에 균일하게 적재되는가의 여부</li> </ul>	<p>○Chute에 설치된 2단각도가 chute에서 분리된 양파의 초속도를 낮추는데 도움이되었음</p> <p>●Auto-dump 위치가 약 65°~55°에서 낙하하는 양파가 파렛트의 통기파이프에 부딪혀 물리적 손상이 발생함</p>	<p>※</p>
<p>○Auto-dump의 작동성</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-유압실린더의 속도를 3.59m/min로 할때 파렛트 77° 회전소요시간이 216초(4분×0.9)인가의 여부</li> <li>-77°회전시 파렛트 채움률이 90%(900kgf)가 되는가의 여부</li> <li>-파렛트의 회전각도에 따른 파렛트에 양파의 채움 형태가 적절한가의 여부</li> <li>-유압실린더의 설치 각도의 편차가 5° 이내인가의 여부</li> <li>-Limit 스위치의 작동여부와 다른 요소와의 동작 연계성</li> </ul>	<p>○유압실린더의 속도를 3.59m/min로하였을때 파렛트가 77° 회전소요시간이 약 220초 정도로 평가됨</p> <p>○77° 회전동안에 양파 900kgf가 적재됨</p> <p>○유압실린더의 설치각도변화가 5° 이내로 측정됨</p> <p>●회전 초기에 슈트로부터 낙하되는 양파가 파렛트의 통기공에 직접 부딪혀 물리적 손상이 큼</p>	<p>※</p>
<p>○산물처리용 상자형 파렛트의 기능</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-양파의 적재 균일성 여부</li> <li>-적재된 양파의 물리적 손상여부</li> </ul>	<p>●파렛트의 길이방향의 통기파이프가 파렛트 안에서 양파의 이동을 막아 균일 적재가 곤란함</p> <p>●Chute로부터 낙하하는 양파가 통기파이프에 직접 부딪혀 물리적 손상이 발생됨</p>	<p>※</p>
<p>○공파렛트 자동공급장치의 작동성</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-유압실린더의 속도를 20mm/s로 설정했을시 공파렛트의 전진속도가 40mm/s인가의 여부</li> <li>-공파렛트의 전진시 좌우 쏠림 현상의 유무</li> <li>-설치된 limit 스위치의 작동여부와 다른 요소와의 동작 연계성</li> </ul>	<p>○유압실린더의 속도를 20m/min로 설정했을시 공파렛트의 전진속도는 41mm/s로 측정됨</p> <p>○공파렛트의 전진시 좌우 쏠림현상이 없음</p> <p>○Limit 센서가 정상 작동하였고 다른 요소와의 연계성이 양호함</p>	
<p>○파렛트 자동비움장치의 작동성</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-1톤의 양파를 채운 파렛트를 파렛트 비움장치에 설치했을시 설계된 유압실린더로 파렛트 적재판을 상승시킬 수 있는가의 여부</li> <li>-기존의 선별·포장라인으로 자동공급이 가능한가의 여부</li> </ul>	<p>○기존 양파선별라인과의 연계성이 양호하였고, 유압실린더의 용량도 적당함</p> <p>●파렛트에서 핀제거가 어려움</p>	
<p>○전체시스템의 작동성과 안전성</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-시스템을 구성하는 각 요소간의 연계성과 전체시스템의 동작 원활성</li> <li>-전체시스템 자동 및 각 요소의 수동 동작성 여부</li> <li>-시스템 작동에 있어 안전성 여부</li> </ul>	<p>○전체시스템이 각 요소별로 수동 혹은 전체시스템이 자동으로 잘 운전되었음</p> <p>○자동운전시 각 요소간에 연계성이 양호함</p> <p>○시스템의 안전성에 있어서는 계속 검토를 요망함</p>	

\*● 설계상으로 시정할 중요사항

## 나 작업효율

전체시스템의 작업효율은 개발한 시스템에 의해 1파렛트를 완성하는데 소요되는 시간과 직접 관련이 있다. 따라서 시스템을 자동설정시 시스템의 각 공정별 소요시간을 분석하면, 공파렛트 1개를 장착하여 1 파렛트(1톤 적재)를 최종 완성하는데 소요되는 시간은 약 332초(5분 53초)로 분석되었다.

<지게차 공파렛트 장착> → <공파렛트 이송시간 (37초)> → <공파렛트 상승 (51초)> → <Auto-dump 회전채움 (220초)> → <Auto-dump 수직채움 (24초)> → <지게차 파렛트화물 이송>

지게차(forklift) 운전자가 공파렛트를 장착하고 파렛트에 양파를 적재하는 시간동안에 이미 완성된 파렛트화물을 저장고나 혹은 다른 공정으로 이송하게되며, 이러한 작업 패턴으로 계속 작업할 경우 지게차 운전자 1인이 1일 실작업 시간을 8시간이라할 때, 이론상의 1일 최대 처리량은 약 86.7톤이 된다.

## 2. 시작기 보완 및 재평가

### 가. 시작기 보완

1차시작기 테스트 결과의 가장 큰 문제점으로 나타난것은 auto-dump가 회전하면서 파렛트에 양파 적재시 파렛트의 길이 방향으로 설치된 통기파이프에 의해 양파의 균일한 적재가 어렵고 무엇보다도 슈트로부터 낙하하는 양파가 통기파이프에 직접 부딪치면서 물리적 손상을 입는다는 점이다.

이 문제점을 해결하기 위하여 파렛트의 통기성 기능에 문제를 주지 않는 범위내에서 통기파이프의 방향을 바꾸고 또한 경사 벨트컨베이어의 속도를 처음 66초 동안은 7.35m/min, 그후 143초 동안은 11.41m/min의 2단속도로 자동 조절해줌으로써 문제점을 해결하였다. 이러한 문제점을 해결하는데는 많은 반복실험이 요구되었는 바, 실제 양파로는 실험의 한계성이 있어 직경 85mm의 볼풀공을 다수 구입하여 이를 통해 큰 문제점을 해결하고 양파를 통한 최소한의 실험으로 이를 확인하는 방법을 택하였다.

기타 추가로 보완된 사항을 정리하면 다음의 표 3.14와 같다.

표 3.14 1차시작기에 대한 보완사항

1차시작기 테스트 결과와 문제점	보완(조치) 사항	비고
○공급량 자동조절장치의 작동성 - 양파로부터 분리되는 부산물과 흙을 배출할 수 있도록 sensor plate에 구멍가공이 요구됨	○Sensor plate의 뒤쪽에 구멍을 다수 가공하여 문제점 해결	
○경사 벨트컨베이어의 작동성 - 경사 벨트컨베이어를 통해 굴러 떨어지는 양파 소수 발생	○양파 사이의 접촉으로 인한 물리적 손상은 크지 않음	
○2단 chute의 작동성 - 파렛트의 위치가 약 65°~55° 사이에 낙하하는 양파가 파렛트의 통기공에 부딪혀 물리적 손상이 발생함	○Chute에서 양파가 구름시 양쪽으로 퍼지게 양파 가이드 2개 설치 ○경사 벨트컨베이어의 속도를 2단으로 조정하여 문제점 해결	그림 A-8 그림 3.60
○Auto-dump의 작동성 - 회전 초기에 슈트로부터 낙하되는 양파가 파렛트의 통기공에 직접 부딪혀 물리적 손상이 큼	○파렛트의 통기파이프의 길이방향 설치에서 폭방향 설치로 변경함 ○경사 벨트컨베이어의 속도를 2단으로 조정하여 문제점 해결	그림 3.56 그림 A-3 그림 3.60
○산물처리용 상자형 파렛트의 기능 - 파렛트의 통기파이프에 의해 균일한 양파적재가 곤란함 - Chute로부터 낙하하는 양파가 통기파이프에 직접 부딪혀 물리적 손상이 발생됨	○파렛트의 통기파이프를 길이방향에서 폭방향 설치로 변경함으로써, 양파의 균일한 적재와 양파의 직접 부딪침을 방지함	그림 3.60 그림 A-3
○파렛트 비움장치의 작동성 - 파렛트에서 핀제거가 어려움	○큰 문제가 되지 않음 ○길이가 긴 핀으로의 교체를 검토함	



그림 3.56 개선된 상자형 파렛트.



그림 3.57 최종 보완된 시작품.

#### 나 보완된 시작기 재평가

아래의 그림 3.58은 보완된 시작기에 대하여 불폴공을 통한 시험 광경이고, 그림 3.59는 실제 양파를 대상으로한 시험 광경이다.

파렛트의 개선을 통한 시스템의 재평가에서 auto-dump의 회전에 따라 파렛트에 양파의 채움형태가 종전에 비하여 훨씬 균일해 졌고, 양파가 통기파이프에 직접 부딪혀 발생하는 물리적 손상도 없었다. 무엇보다도 경사 벨트컨베이어의 속도를 2단으로 조정함으로써 파렛트의 양파 채움형태가 균일해 졌고, 물리적 손상 방지의 효과가 컸다.

또한 1파렛트를 완성하는데 소요되는 시간도 종전과 같이 약 332초가 소요되어 1일 작업능률도 8시간 기준으로 최대 86.7톤이었다.

<지게차 공파렛트 장착> → <공파렛트 이송시간 (37초)> → <공파렛트 상승 (51초)> →  
 <Auto-dump 1단 회전채움 (66초)> → <Auto-dump 2단 회전채움 (143초)> → <Auto-dump  
 수직채움 (24초)> → <지게차 파렛트화물 이송>



그림 3.58 보완된 시작기에 대하여 불꽃공을 통한 시험 광경.



그림 3.59 보완된 시작기에 대하여 실제 양파를 통한 시험 광경.

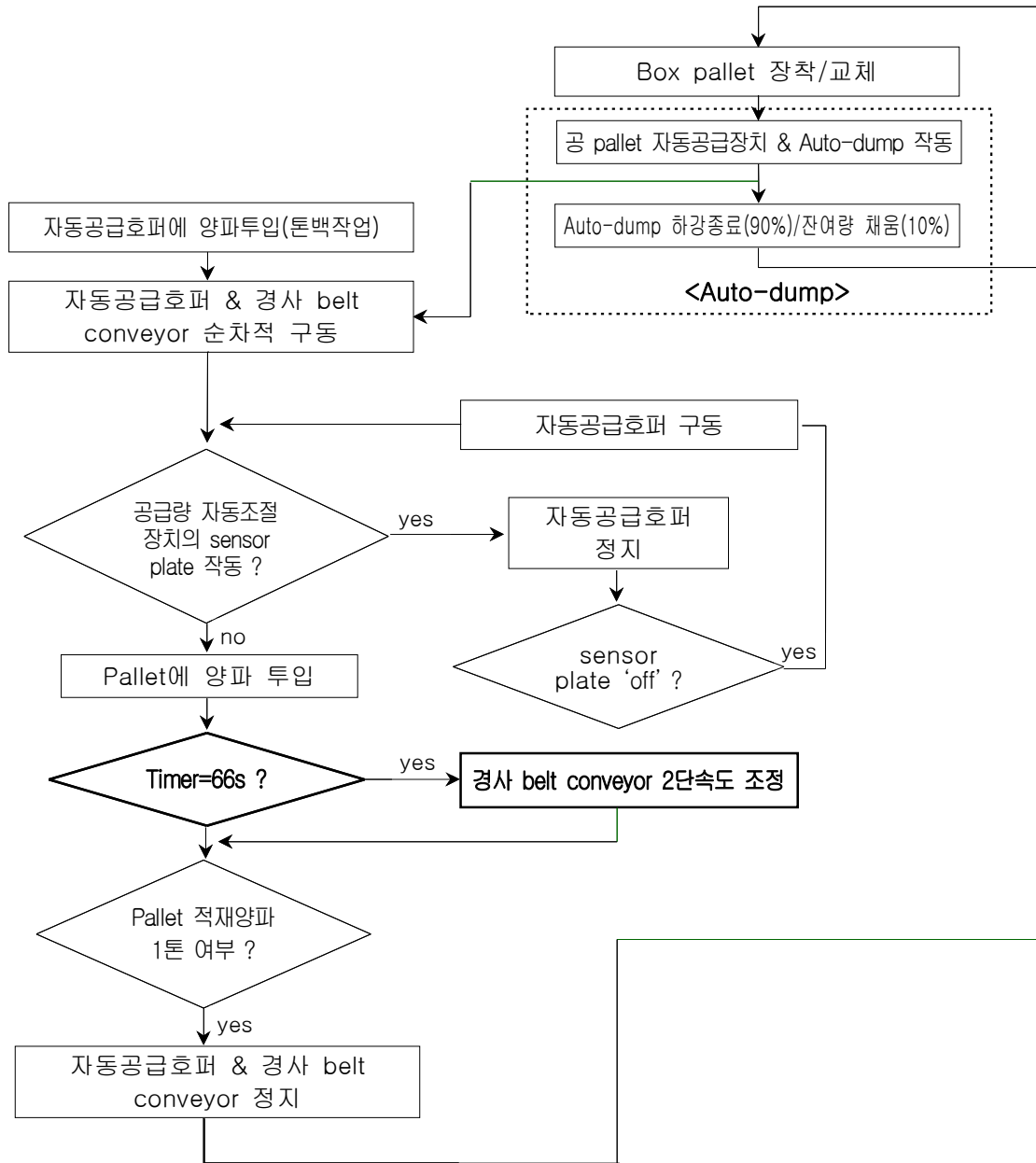


그림 3.60 개선된 전체시스템의 공정흐름도

### 3. 경제성 분석

개발한 산물처리 기계시스템에 대한 경제성 분석에 적용된 경영규모는 20kgf-그물망포장 기준으로 연간 100,000망(2,000톤)을 저장하는 것으로 설정하였다. 관행의 그물망 작업에 의한 경영방법과의 경제성 비교를 위해 전량 모두 수확 전 포전거래를 통해 매입된 것으로 간주하였으며, 관행의 작업공정을 기준으로 포장에서의 수확작업, 순자르기, 그물망작업, 운송(상하차 및 하역), 저장고입고, 출고를 위한 선별·포장작업 만을 분석 대상으로 하였다.

표 3.15 경제성 분석 결과

구 분		시작기 적용을 전제로한 산물상태 작업			관행의 망작업	
		본체	파렛트 <sup>1)</sup>	인건비, 금액	파렛트 <sup>1)</sup>	인건비, 금액
구입가격(원)		40,000,000	720,000,000	—	360,000,000	—
내용연수(년)		10	10	—	10	—
년간 고정비 (원/년)	감가상각비 <sup>2)</sup>	3,600,000	64,800,000	—	32,400,000	—
	수리비 <sup>3)</sup>	2,000,000	14,400,000	—	7,200,000	—
	이자 <sup>4)</sup>	1,100,000	19,800,000	—	9,900,000	—
	소계	6,700,000	99,000,000	—	49,500,000	—
톤당 고정비 (원/톤)		52,850			24,750	
년간변동비(원)	인건비 <sup>5)</sup>	—	—	162,500,000	—	295,000,000
	그물망 <sup>6)</sup>	—	—	14,000,000	—	32,200,000
	톤백 <sup>7)</sup>	—	—	1,950,000	—	—
	전기료 <sup>8)</sup>	39,294	—	—	—	—
	소계	39,294	—	178,450,000	—	327,200,000
톤당 변동비용 (원/톤)		89,245			163,600	
톤당 비용 (원/톤)		142,095			188,350	

- \*1)파렛트 신규구입 : 2,000개 (구입가격 : 개발품 360,000원/개, 관행 파렛트 180,000원/개)
- \*2)감가상각비 : (구입가격-폐기가격)/내용연수, 폐기가격은 구입가격의 10% 적용
- \*3)수리비 : 본체 5%, 파렛트 2% 적용
- \*4)이자 : 년 5%, {(구입가격+폐기가격)/2}×5%
- \*5)인건비는 2008년 현지 단가기준
  - 포장에서 양과 수확, 순자르기, 그물망작업 : 1,000원/망
  - 포장~저장창고(파렛트 적재) 운송비 : 500~800원(650)/망
  - 출하를 위한 선별·포장작업 : (그물망포장 단위 저장) 65원/kg, (산물상태 저장) 40원/kg
  - 포장과 운송에 있어 톤백작업은 그물망작업 인건비의 50% 수준
- \*6)그물망 가격 : 140원/망
- \*7)톤백(용량 600kg) 가격 : 6,500원/백
- \*8)전기료 : 농사용(병) 전력사용량 요금 36.40원/kWh

## 제 5 절 시연회 결과

개발한 양파의 산물처리기계장치에 대하여 우리나라의 최대 양파 주산지인 전남 무안에서 시연회를 개최하였다. 시연회에는 (사)한국농산물냉장협회 호남지원 회원 등을 비롯하여 저장 유통업체 대표자가 참석하였다.

시연회 과정에서 참석자들로부터 받은 건의사항과 시연회 후 이에 대한 대책사항을 요약하면 표 3.16과 같다. 또한 시연회 참석자들로부터 시연회 대상 품목인 ‘산물처리 기계장치’에 대한 성능과 필요성에 대한 설문조사를 실시하였으며, 그 결과를 분석하여 표 3.17에 나타내었다.

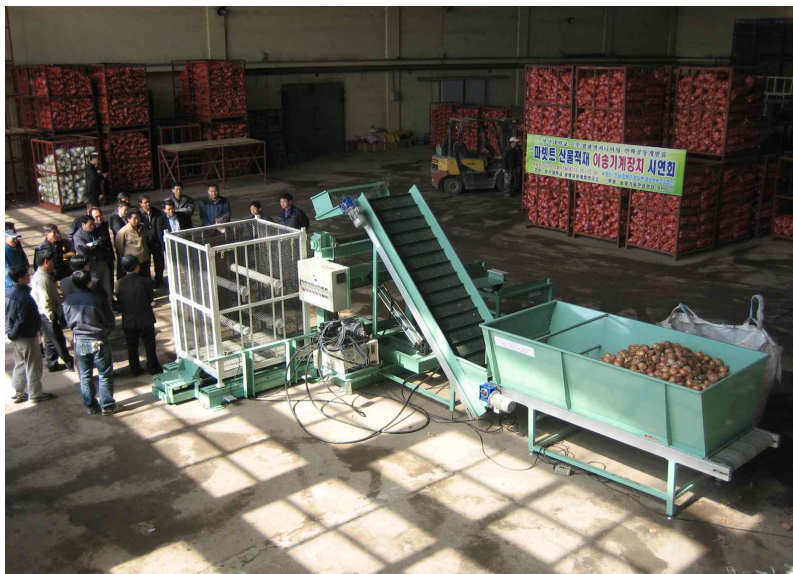
표 3.16 시연회시 지적 및 건의사항에 대한 대책

구분	내용	설계상의 해결책	기타
기계상의 문제	경사 벨트컨베이어에서 양파로부터 분리되는 흙과 양파 부산물 제거방법 보완요구	- 오픈 망 설치, 에어를 이용하는 방법이 해결책으로 강구됨	- 기계적인 문제는 공급모델 제작시 반영하기로 함
	파렛트에 양파적재시 양파에서 분리된 부산물이 파렛트 한 부분에 집중적으로 쌓이면 부패의 원인이되므로 이에 대한 대책이 필요함	- 파렛트 투입전 단계에서 부산물 제거방법을 채택함이 바람직함	"
	양파 임시적재 및 자동공급호퍼의 내용량 문제	- 작업의 효율성을 위해 내용량 호퍼 설계 - 양파 공급률은 일정하게 유지	- 보고서 작성시 설계방법을 상세히 기술함 - 1톤을 기준으로 하였으나, 호퍼의 용량은 선택사항임
	설계된 파렛트의 통풍성 문제-양파 부패율 저감방안	- 실험결과로는 기존방법과 통풍성에 있어서는 큰 차이가 없었으나, 양파의 압상은 크게 줄일 수 있어, 압상에 의한 품질저항 방지에 효과적임 - 단기지장으로 갈수록 개발한 시스템은 인건비와 작업효율 측면에서 경제적임 - 저장 중 양파의 부패문제는 통기성을 비롯해 그 외 여러요인에 의해 발생함	- 양파의 부패방지를 단순한 파렛트 문제로 해결하기는 어려운 문제임 - 업그레이드된 파렛트 설계 추진
경제적인 문제	파렛트 제작단가 문제	- 기능상의 선택성을 부여해 다양한 모델로 대응 - 대단위 제작시 제작단가를 줄이는 방법 강구함 - 계속 협의할 내용임	- 표준물류설비에 <u>설계된 파렛트의 규격을 등재해</u> 정부보조 혜택 추진(정책 건의)



표 3.17 산물처리 기계시스템에 대한 설문조사 결과

구 분	설문문항	설문결과				
		①매우편하다	②편하다	③보통이다	④어렵다	⑤매우 어렵다
기계의 성능	취급성	0	60	33	7	0
	작업 성능	①매우 좋다	②좋다	③보통이다	④나쁘다	⑤매우 나쁘다
필요성	도입의 필요성	①매우 필요하다	②필요하다	③보통이다	④필요없다	
		33%	67%	0	0	
	적용하고 싶은시기 (구입 희망시기)	①즉시구입	②1~2년내 구입	③3~4년내 구입	④구입의사 없음	
		0	67%	33%	0	



(a) 산물 적재 이송 기계장치 시연



(b) 상자 자동 비움 장치 시연

그림 3.61 시작품에 대한 현지 시연회 광경.

## 제 4 장 목표달성도 및 관련분야의 기여도

### 제 1 절 목표달성도

본 연구에서는 우리나라 양파의 산지물류비를 절감하기 위한 방법으로 포장에서부터 최종 출하단계전 까지 산물상태로의 일관처리를 위한 산물처리 기계장치를 개발하였으며, 개발결과를 연구계획 당시의 계획과 비교하여 달성도를 자체 분석하면 다음과 같다.

표 4.1 주요연구결과 및 달성도

주요연구결과	달성도	비 고
○우리나라 양파의 산지물류시설 및 관련기술분석 - 문헌을 통한 현황분석 - 현지조사 및 측정을 통해 현 철재파렛트를 이용한 20kgf 그물망포장 단위의 문제점 분석 - 현지 측정을 통한 철재파렛트 사용현황 분석(규격, 차량적재효율 등)	100%	○관련단체 교육자료로 활용(1건) ○각종 원고작성시 참고자료로 활용(2건) ○양파 산지물류비절감을 위한 교육자료
○양파의 산물처리 및 기계장치개발에 관련된 산물특성분석 - 양파의 크기별 및 크기별 혼합정도에 따른 정압강하 특성 분석 및 모델링 - 양파의 마찰계수 및 구름특성 분석	100%	○전문 학술대회 논문 발표 2편 ○전문학술지 논문투고 1~2편(예정) ○산업화를 위한 설계기술 확보 ○시작품 시연회 자료 1건
○양파의 일관처리를 위한 상자형 파렛트 개발 - 상자형 파렛트 설계에 대한 설계요인분석과 상세 설계 - 상자형 파렛트에 대한 평가(통기성, 온도분포, 압력분포) - 소요단가 분석	100%	○특허출원 1건 ○공학석사학위 1명 배출 ○전문 학술대회 논문 발표 1편 ○전문학술지 논문투고 1편(예정) ○산업화를 위한 설계기술 확보 ○시작품 시연회 자료 1건
○양파의 산물처리를 위한 기계장치개발 - Auto-dump에 대한 기구학적 분석과 컴퓨터시뮬레이션 - Auto-dump 장치, 임시적재 및 자동공급호퍼, 경사벨트컨베이어, 슈트, 공파렛트 자동공급장치, 파렛트 자동비움장치설계 - 위 기계장치에 대한 제작 후 전체시스템 구성과 평가 - 소요단가 분석	100%	○특허출원 1건 ○공학석사학위 1명 배출 ○전문 학술대회 논문 발표 1편 ○전문학술지 논문투고 1~2편(예정) ○산업화를 위한 설계기술 확보 ○시작품 시연회 자료 1건

주요연구결과	달성도	비 고
○전체시스템 보완과 현지적응시험 - 전체시스템 구축 후 불포공을 이용한 모의 시험 - 전체시스템에 대한 양과 실증시험 - 시작기 보완 - 경제성 분석	100%	○산업화를 위한 설계기술 확보 ○시작품 시연회 자료 1건
○시작품 시연회 - 장소 : 전남 무안(금성영농조합법인) - 일시 : 2009년 3월 29일 - 참석자 : (사)한국농산물냉장협회 호남지원 회원등 20여명	100%	○한국농민신문(2009년4월27일자) 보도 ○관련기관 및 협회로부터 전화 문의와 인터넷을 통한 상담 수시실시

## 제 2 절 관련분야의 기여도

우리나라는 양파의 수확 후 관리는 포장에서부터 출하전단계까지 20kgf-그물망포장 단위로 이루어진다. 이러한 그물망포장 단위의 이송, 적재, 저장, 선별·포장공정에 있어 작업의 효율성, 품질보호 및 경제성 측면에서 여러 문제점이 있음은 잘 알고 있는 사실이고, 이러한 오래된 관습에서 벗어나지 못하고 있는 실정이다.

본 연구를 통해 개발한 양파의 산물처리 기계시스템은 포장에서부터 산물상태로의 수거 → 적재 → 강제통풍건조 → 저장 → 선별·포장의 일관작업을 위한 것으로, 시작품에 대한 시연회를 통해 양파 생산자 단체와 저장유통업 관계자들로부터 많은 관심을 받았다. 이러한 시연회를 통해 도출된 문제점과 건의 사항들이 잘 반영된다면 우리나라 양파의 수확 후 산지물류비를 절감하는데 크게 기여할 것으로 판단된다.

정부 정책도 여러산업분야 중 GDP 대비 물류비 포션이 30% 이상으로 가장높은 농업부분의 물류비를 절감에 집중되고 있으므로, 본 연구의 결과는 정부의 정책에도 기여하는 바가 클 것으로 판단된다. 더구나 농촌의 노동인구 감소와 노령화, 임금의 급상승에 대비하기 위해 수확 후 양파 관리의 고효율·저비용 체제로 전환하는데 크게 이바지 할 것으로 판단되고, 또한 관련기업의 사업확장 및 고용창출 효과가 기대된다.

## 제 5 장 연구개발결과의 활용계획

### 제 1 절 현장보급 방안

본 연구를 통해 개발한 양파 산물처리 기계시스템의 현장보급을 위해 현재 참여기업과 함께 시작품에 대한 시연회와 신문보도 이후 수렴된 건의사항을 토대로 시제품에 반영하는 방법을 강구 중에 있다.

개발결과에 대해 현재 특허 2건을 출원한 상태이기 때문에 금년 9월까지 부산대학교 산학협력단과 참여기업 간의 기술이전실시계약을 완료하고, 현장보급을 실시할 계획이다.

현장보급에 있어 가장 큰 문제점으로 대두되고 있는 것은 초기 투자비용의 대부분을 차지하는 파렛트의 공급단가를 크게 줄이는 것으로, 이를 설계상으로 수용하는데는 한계가 있으므로, 정부에서 실시하고 있는 물류표준설비인증 사업의 인증품목중 상자형 파렛트 (LS A 02167) 규격에 1300×1100mm를 등재하는 방안을 건의 중에 있다.

### 제 2 절 기술이전 방안

개발결과의 산업체 기술이전 및 상품화를 위해 금년 9월까지 부산대학교 산학협력단과 참여기업간의 기술이전실시계약을 완료하고, 적극적인 마케팅을 통해 현장보급을 실시할 계획이다.

구체적인 기술이전 일정을 다음과 같다.

- 2009. 5~8 최종보고서 제출 및 평가
- 2009. 9 부산대학교 산학협력단-(주)평화엔지니어링 기술이전실시계약
- 2009. 9월 후 현지 생산자단체 마케팅
- 2009. 9월 후 최종보급 모델 확정

### 제 3 절 산업화계획 방안

본 연구에 적극적으로 참여한 참여기업인 (주)평화엔지니어링을 통해 산업화할 계획이며, 참여기업은 30여년 동안 농산물 선별, 세척, 포장 및 물류와 관련된 시설과 기계를 생산한 업체로 우리나라의 농가 현실을 잘 파악하고 있고, 또한 남다른 애착과 소신을 가지고 있으므로 앞에서 언급한 몇가지가 해결되면 산업화하는 데는 문제가 없을 것으로 확신하고, 국내의 시장 규모도 매우 큰 편이다.

### 제 4 절 논문발표계획

본 연구는 2년간 수행되었으며, 금년도 저장양과가격의 폭등 등 어려운 여건속에서도 연구가 진행되어 현재까지 특허 2건, 공학석사학위 2편, 전문학술대회 논문발표 4편, 시연회 1회, 농민신문 1회 보도 등의 실적이 있다.

전문 학술대회를 통해 학술적 가치가 인정되었기 때문에 향후 관련 국내·외 전문학술지에 논문으로 3~4편 정도 게재할 계획이다.

## 제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

본 연구의 수행과정에서 수집된 해외과학기술정보를 요약하면 다음과 같다.

표 6.1 연구개발과정에서 수집된 해외과학기술정보

기술정보	기술정보명	출처
<ul style="list-style-type: none"> <li>○양파의 선형치수로부터 기하학적 특성 표시방법</li> <li>○마찰표면 및 양파구의 크기와 구름특성 및 정마찰계수와의 관련성</li> </ul>	Physical and mechanical properties of Egyptian onions	Journal of Food Engineering 62 : 255~261(2004)
<ul style="list-style-type: none"> <li>○외국의 양파등급규격 기준</li> <li>○포장표준규격 기준</li> </ul>	International OECD quality standard	National Academy of Science. 1978. Postharvest Losses in Developing Countries. Washington, DC: U.S. National Academy of Science
<ul style="list-style-type: none"> <li>○양파의 저장형태(산물 혹은 포장)별 저장고 설계시 고려사항</li> <li>○양파 저장고 설계순서</li> </ul>	Determination of store capacity Design of aeration system	Onion Storage in the Tropics: A Practical Guide to Methods of Storage and their Selection. Chatham, UK: Natural Resources Institute
<ul style="list-style-type: none"> <li>○산물상태의 저장빈에서 산물로 인한 수직벽면에 미치는 압력</li> <li>○산물 파렛트 설계시 응용</li> </ul>	Stress state of granular bulk material. Pressure distribution in bins	Sitkei, Gy. Mechanics of agricultural materials. Elsevier : 369~383 Transaction of the ASAE 1965 : 358~360
<ul style="list-style-type: none"> <li>○농산물의 송풍저항의 모델링에 관한 정보를 제공함</li> <li>○양파의 정압강하모형에 적용함으로써 건조장치 및 예냉시설 설계에 활용함</li> </ul>	Static pressure drop of airflow in packed-bed of fruit and vegetables	Transaction of the ASAE 28(6) : 2083~2088(1985)
<ul style="list-style-type: none"> <li>○미국농공학회에서 채택하고있는 빈(bin)의 설계 기준</li> <li>○산물 파렛트 설계시 이론적용</li> </ul>	Design criterion and method for grain bin	ASAE. Loads exerted by free-flowing grain on bins(EP433). Am. Soc. of Agric. Eng. (2004)

## 제 7 장 참고문헌

- (1) LS A 01613. 플라스틱제 운반용 회수용기
- (2) LS A 10001. 다단식 목재상자.
- (3) KS B 6370. 유압실린더
- (4) KS D 3503. 일반 구조용 압연 강재
- (5) KS D 3568. 일반 구조용 각형 강관
- (6) KS D 3752. 기계 구조용 탄소 강재
- (7) KS M 7057. 종이 및 판지의 발수도 시험방법
- (8) KS T 0001. 물류용어
- (9) KS T 0003. 유닛로드치수
- (10) KS T 0006. 유닛로드시스템 통칙
- (11) KS T 1002. 수송포장 계열 치수
- (12) KS T 2002. 금속제 평 파렛트
- (13) KS T 1034. 외부 포장용 골판지.
- (14) KS T 1081. 플라스틱제 운반용 회수용기
- (15) KS T 2014. 파렛트 적재화물의 적재 기준
- (16) KS T 2029. 상자형 파렛트
- (17) 금동혁외 21. 수확후공정공학. 씨아이알 (2008)
- (18) 김병갑외 3. 양과재배의 기계화 모델개발. 한국농업기계학회 1999년 동계학술대회논문집 4(1) : 130~138 (1999)
- (19) 김만수외 6. 생체물성공학. 문운당 (2006)
- (20) 김의용외 5. 청과물 퇴적층에서의 공기유동 정압강하. 한국농업기계학회지 21(1) : 44-51 (1996)
- (21) 김인수. 유동조정기에 관하여. 제어계측 2005년 4월호
- (22) 농림부·농협중앙회. 양과 수확후 관리기술 매뉴얼 (2007)
- (23) 농림부. 농산물저온저장고현황 (2000)
- (24) 농산물품질관리원. 농산물표준규격 (2007)
- (25) 농산물품질관리원. 농업통계정보 (2006)
- (26) 박영암외 1. 1991. 유량측정 정확도 향상을 위한 연구동향. 대한기계학회지 31권(6) : 519-526.
- (27) (사)한국원예저장유통연구회. 한국양과적재의 문제점 및 개선방법. 한국원예저장유통학회지 통권8호 : 29-31 (1997)
- (28) 신치웅. 공기조화설비. 기문당 (1998)
- (29) 신편 알고싶은 유압(실제편). 기전연구소. 이정구 역 (2007)

- (30) 신흥기술연구소·한충수, 곡물의 고품질 건조·저장기술. (합명)신흥기업사 (2005)
- (31) 윤희선외 3. 1995. 산물퇴적 청과물의 송풍저항 특성. 한국농업기계학회지 20(4) : 333-342 (1995)
- (32) 정선모외 1. 운반하역기계. 동명사 (1994)
- (33) 콘베이어계산법. 세진사
- (34) 표준기계설계도표편람. 대광서림 (2006)
- (35) ADAMS User's Manual. MSC software corporation (2005)
- (36) ASAE D 251.1. Friction coefficients of chopped forages
- (37) ASAE. CIGR HANDBOOK of agricultural engineering Vol(VI)-Agro processing engineering (1999)
- (38) ASHRAE. ASHRAE Handbook of fundamentals. Am. Soc. Heating, Refrigeration and Air-conditioning Engineers, New York (2000)
- (39) Bahnasawy, A. H., Z. A. EI-Haddad, M. Y. EI-Ansary, and H. M. Sorour. Physical and mechanical properties of some Egyptian onion cultivars. Journal of Food Engineering 62 : 255~261 (2004)
- (40) Baryeh, E. A.. Physical properties of bambara groundnuts. Journal of Food Engineering 47 : 321~326 (2001)
- (41) Choi, B. L., M. S. Chu and D. H. Choi. Development of GUI technology for interfacing and automation of an external optimization module with ADAMS. 2001 Korean ADAMS User Conference (2001)
- (42) Jinkyu Ok. Optimum Design of the Shock absorber position using ADAMS and VisualDOC. Transactions of KSAE 14(2) : 1~8 (2006)
- (43) Kingsly, A. R. P., D. B. Singh, M. R. Manikantan, and R. K. Jain. Moisture dependent physical properties of dried pomegranate seeds(*Anardana*). Journal of Food Engineering 75 : 492~496 (2006)
- (44) Mohsenin, N. N. Physical properties of plant and animal materials. Gordon and Breach science publishers, N.Y. (1986)
- (45) Sitkei, Gy. Mechanics of Agricultural Materials. Elsevier Science Publishers : 114-143 (1986)
- (46) Topuz, A., M. Topakci, M. Canakci, I. Akinci., and. F. Ozdemir. Physical and nutritional properties of four orange varieties. Journal of Food Engineering 66 : 519~523 (2005)
- (47) Warren C. Young. ROARK'S Formulas for stress & strain. 6th edition. McGraw-Hill Book Company (1989)



[ 부록 ]

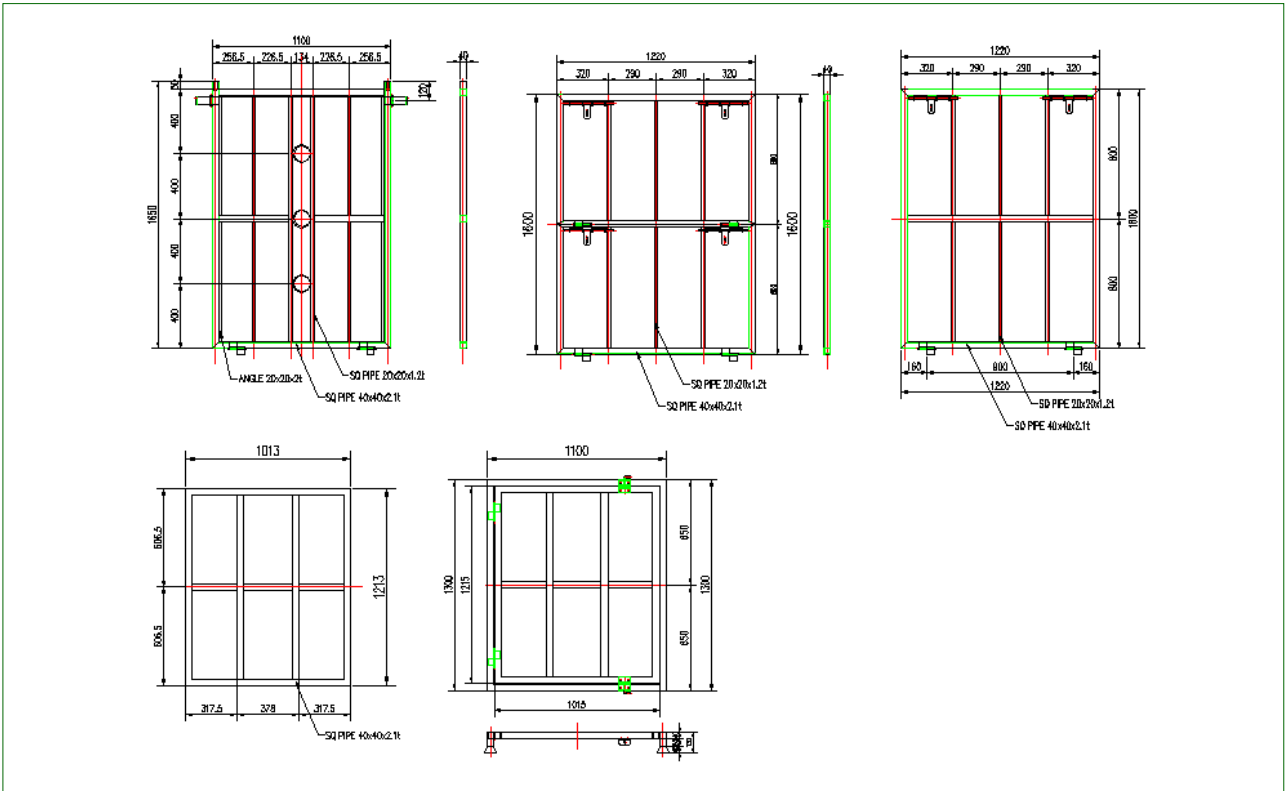


그림 A-1 통기파이프 3개를 갖는 상자형 파렛트 도면.

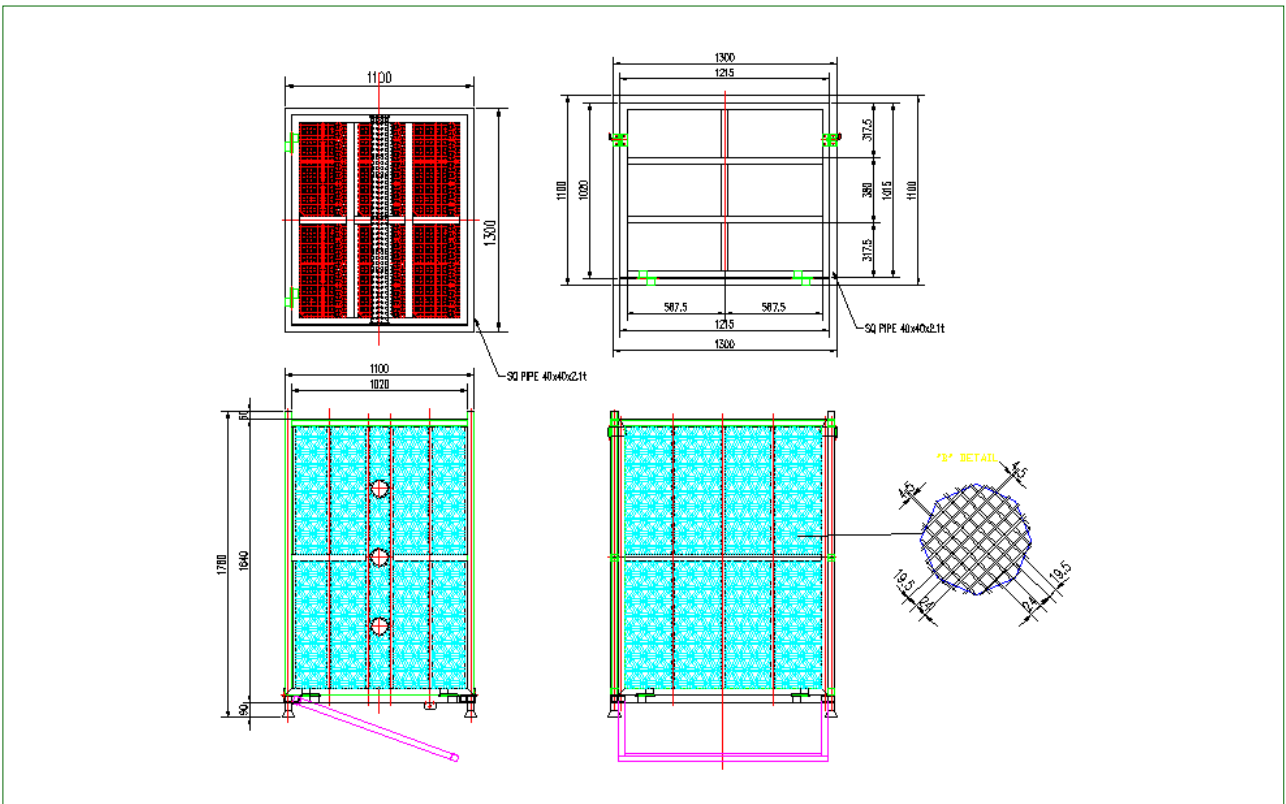


그림 A-2 통기파이프 3개를 갖는 상자형 파렛트의 부속장치 도면.

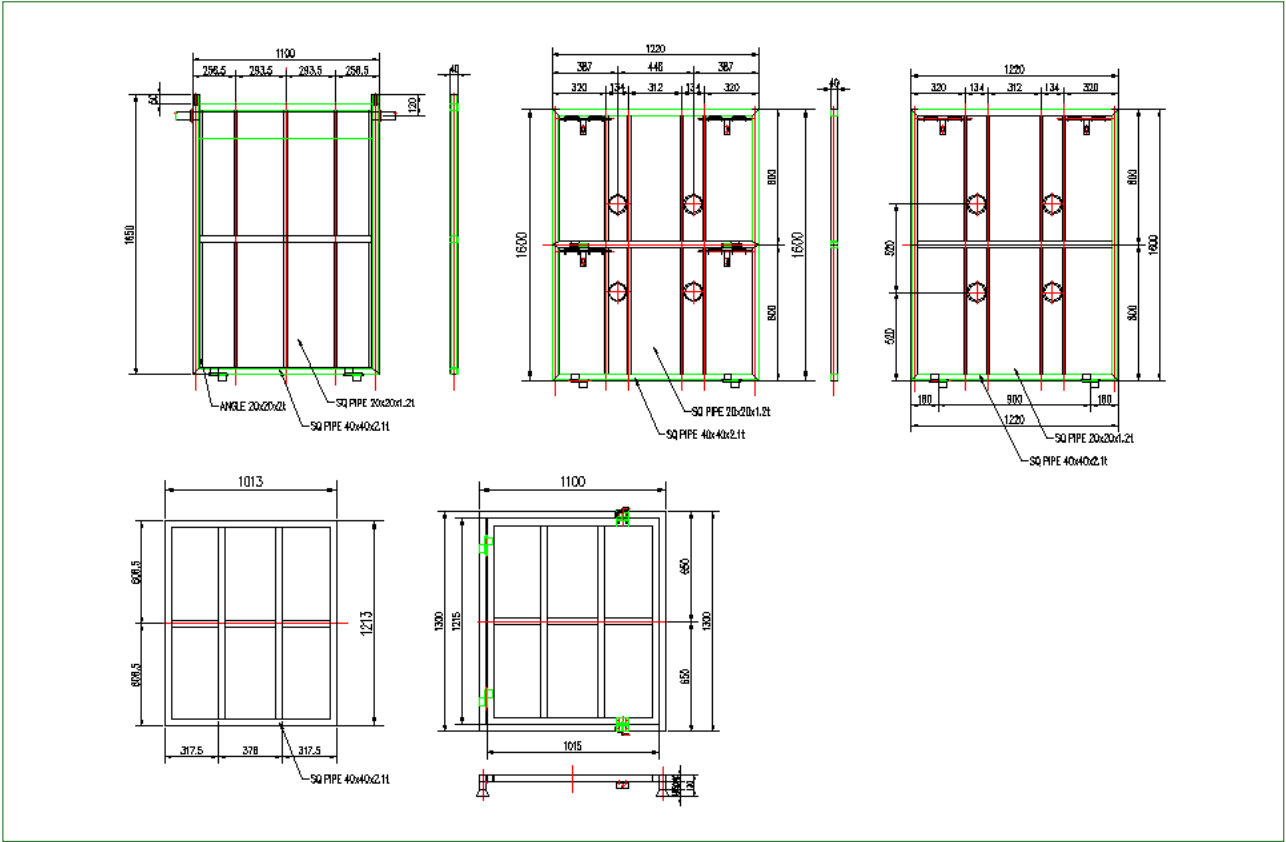


그림 A-3 통기파이프 4개를 갖는 상자형 파렛트 도면.

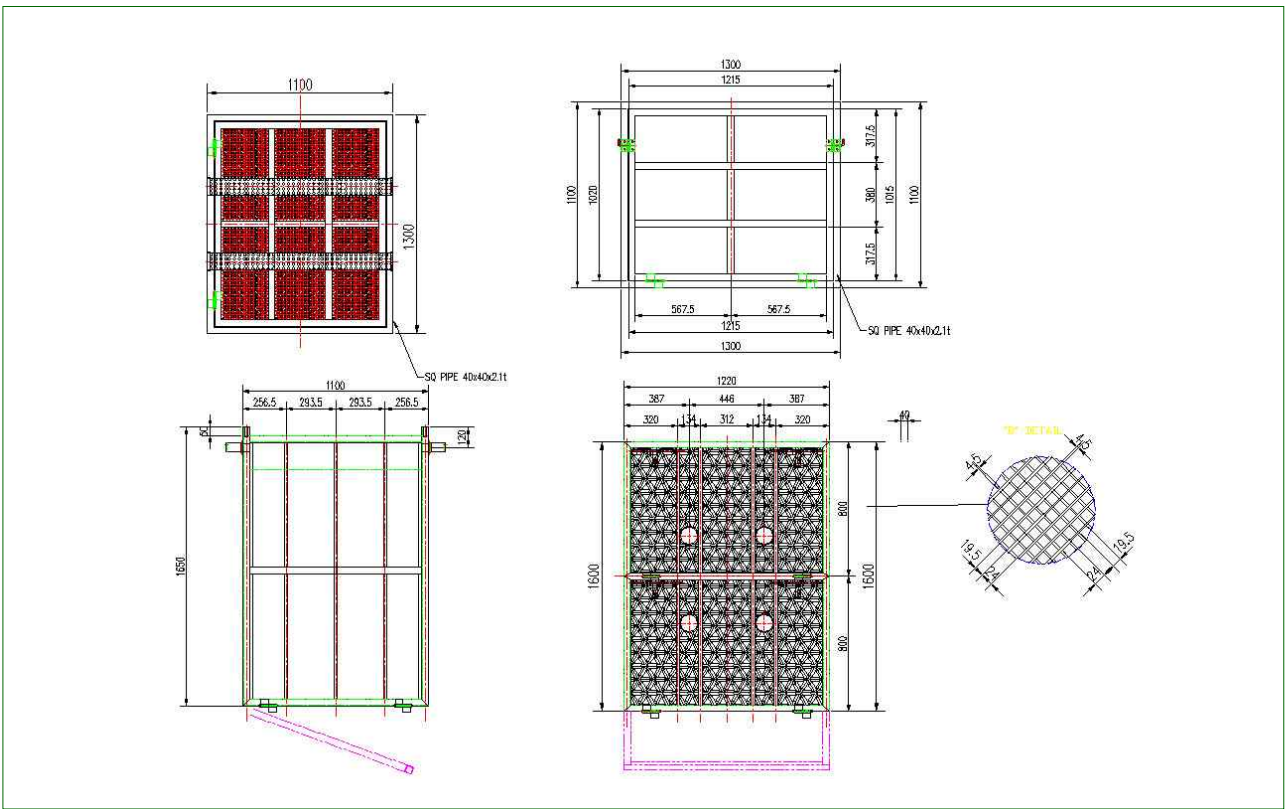


그림 A-4 통기파이프 4개를 갖는 상자형 파렛트의 부속장치 도면.

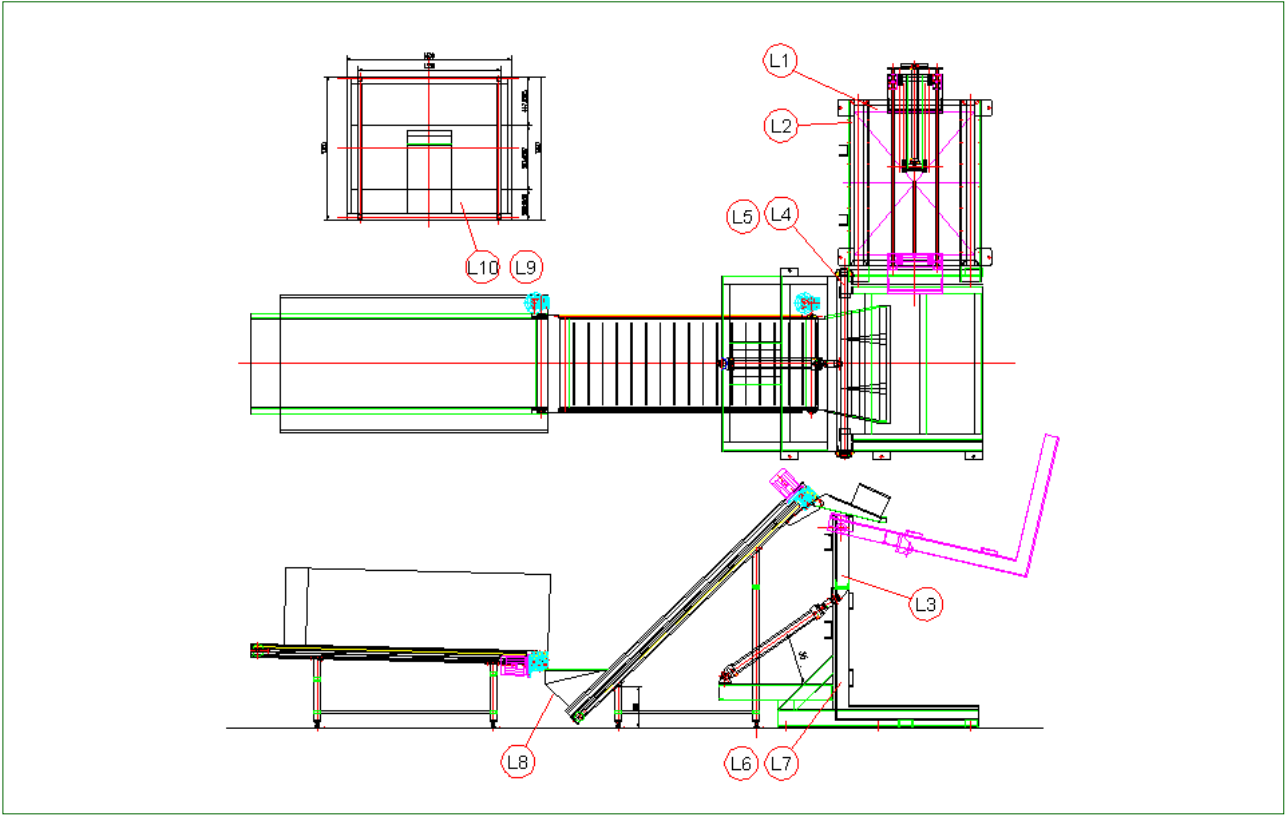


그림 A-5 전체시스템의 동작제어를 위한 리밋트 스위치 위치도.

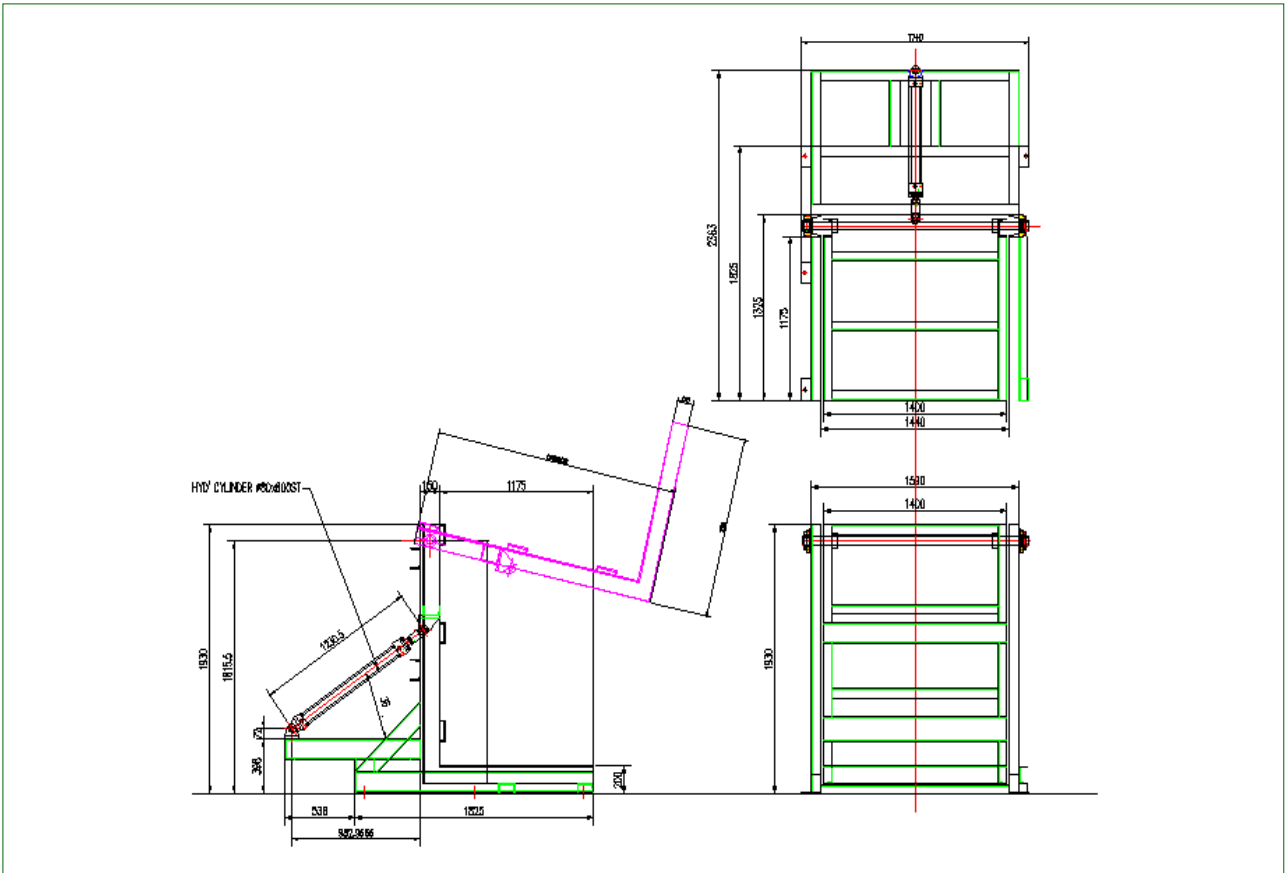


그림 A-6 Auto-dump 도면.

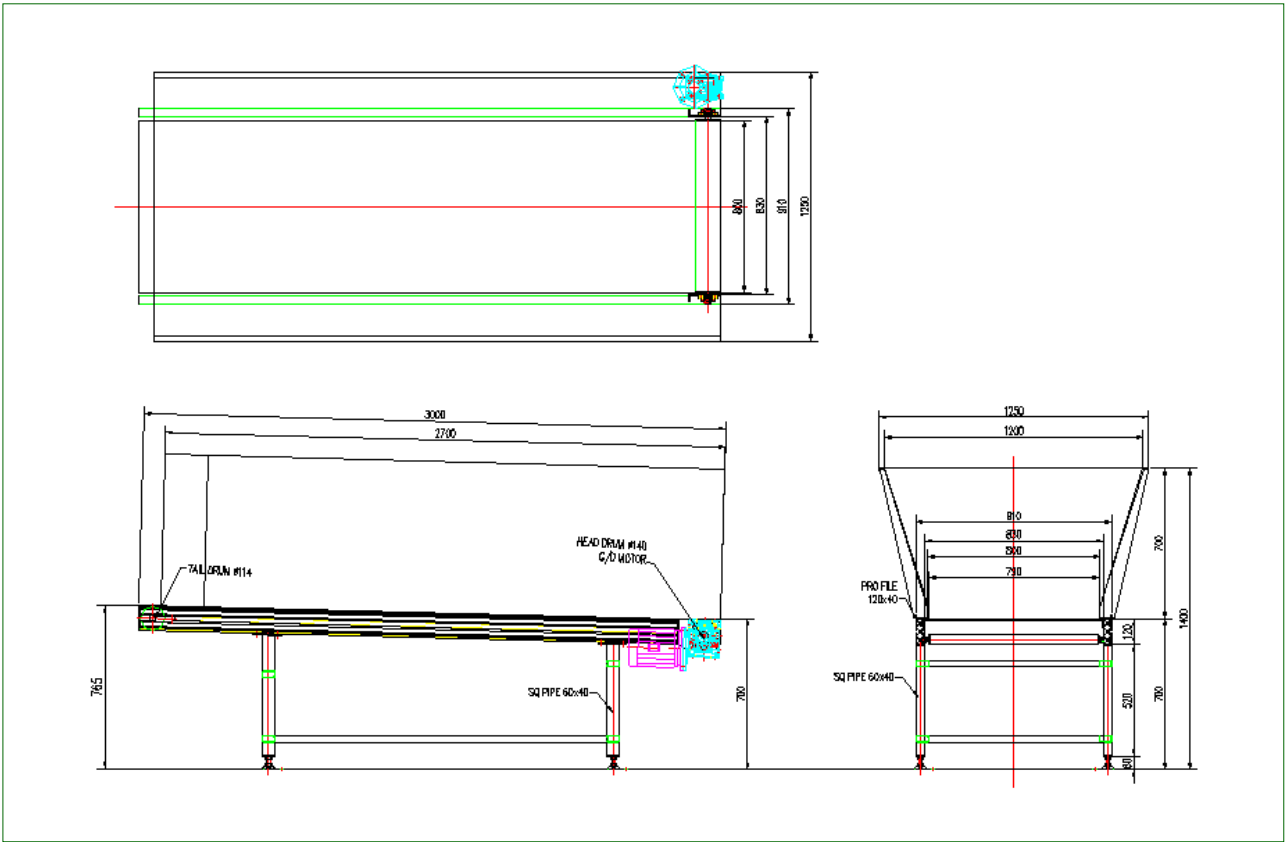


그림 A-7 임시적재 및 자동공급호퍼의 도면.

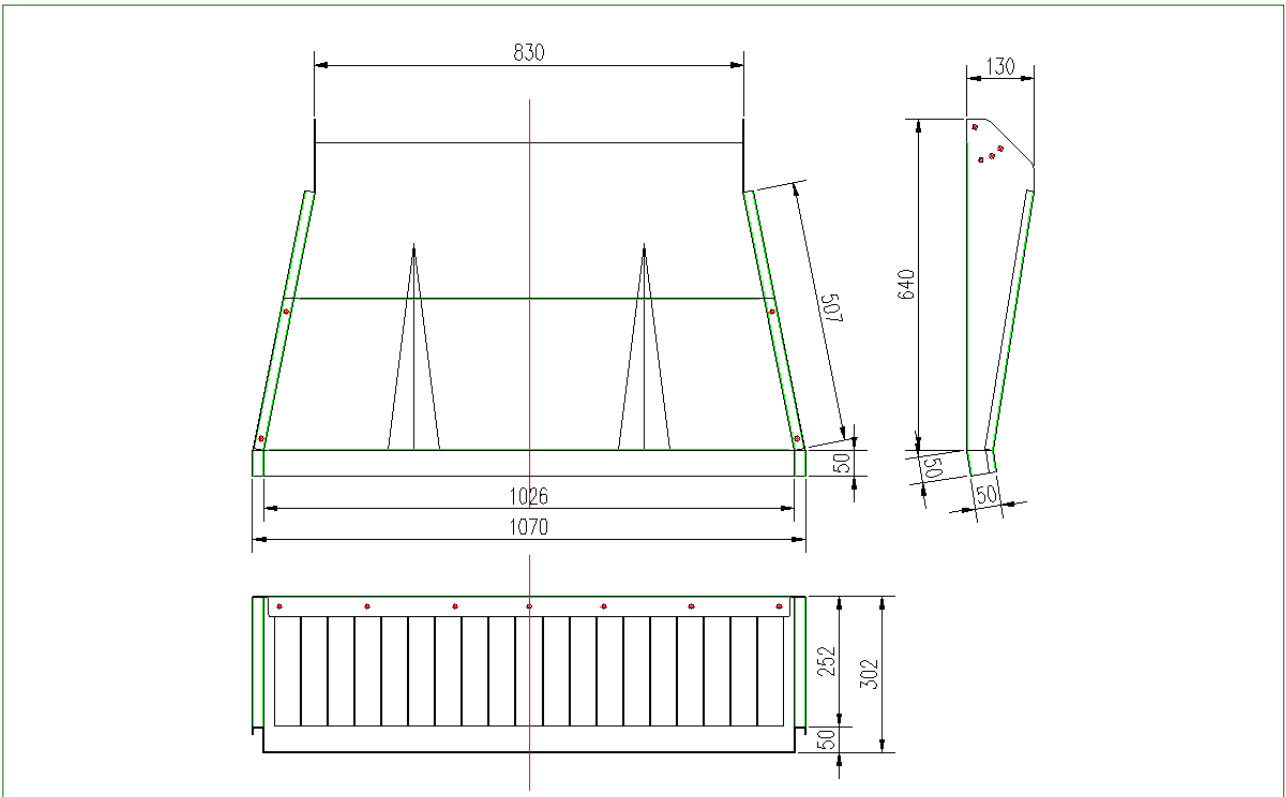


그림 A-8 슈트 도면.

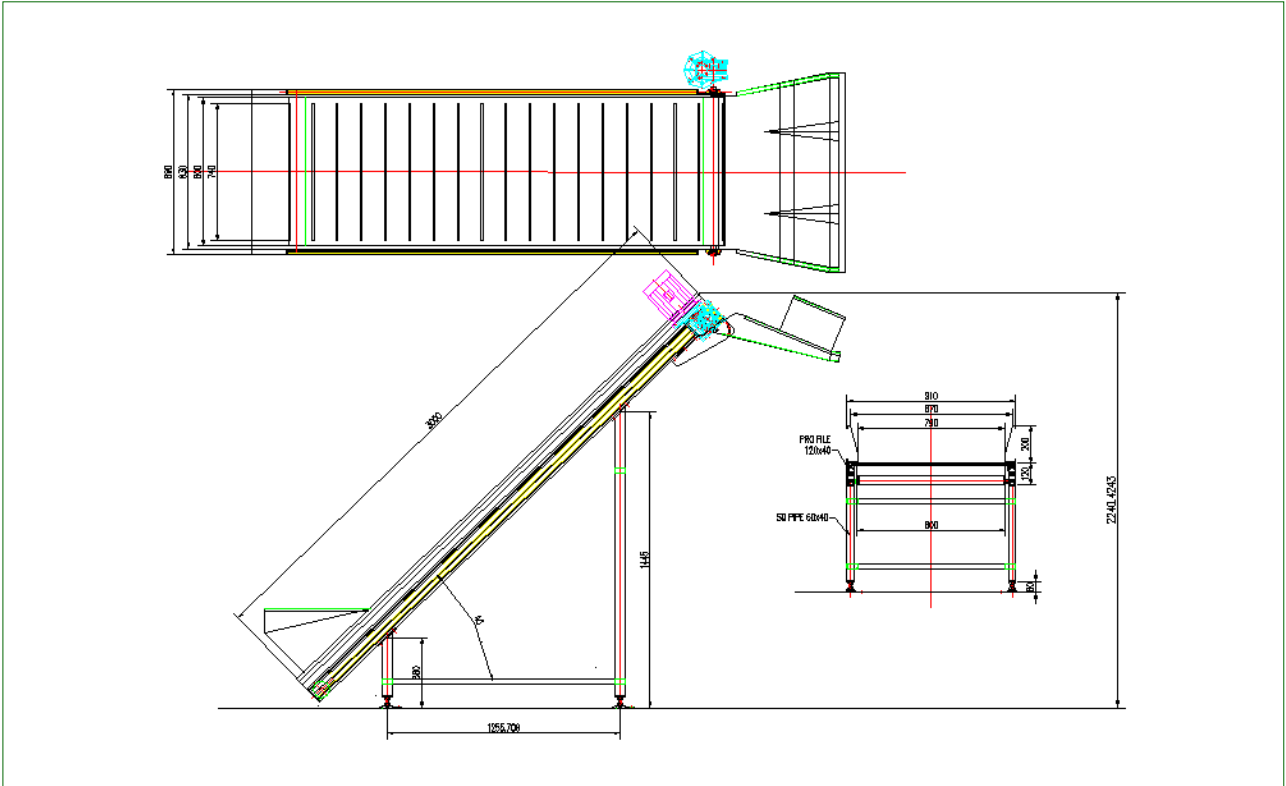


그림 A-9 경사 벨트컨베이어의 도면.

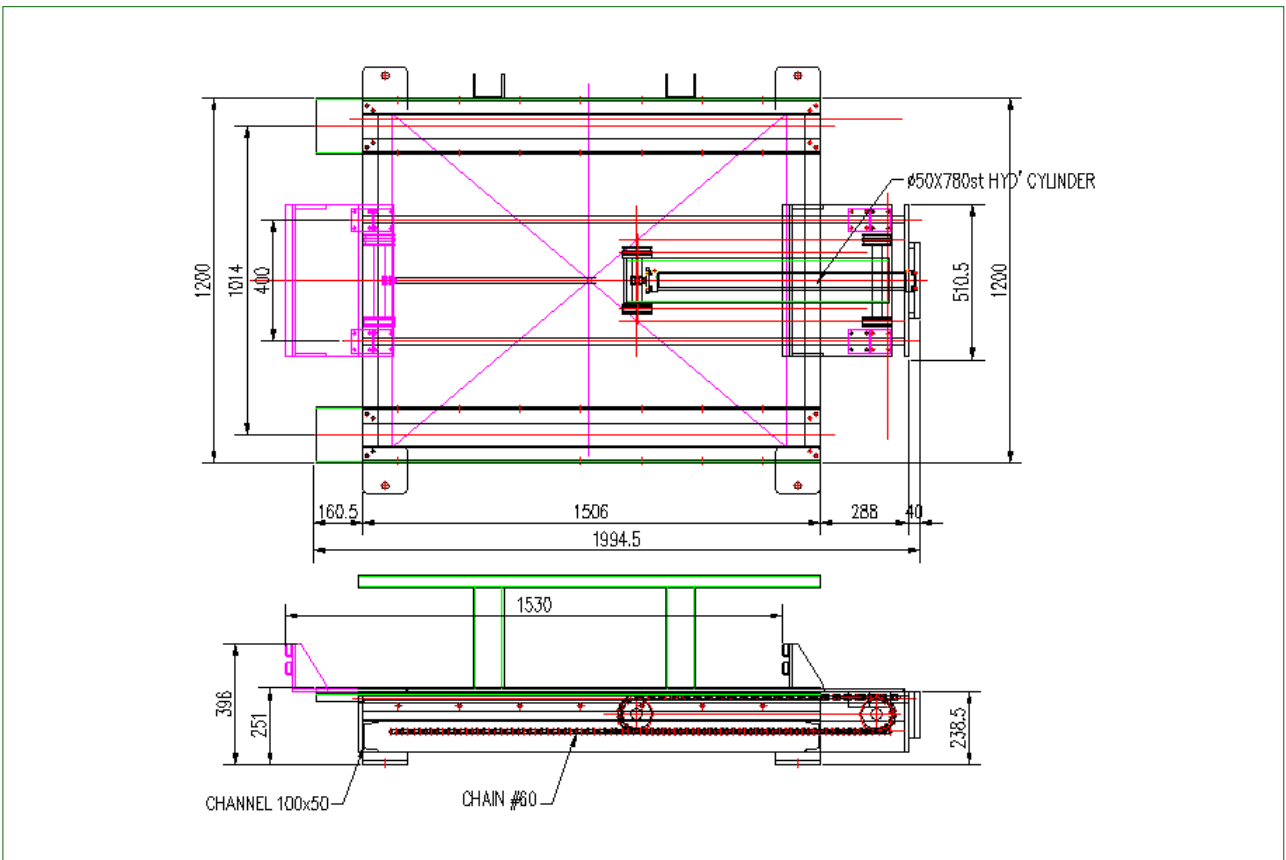


그림 A-10 공파렛트 자동공급장치의 도면.

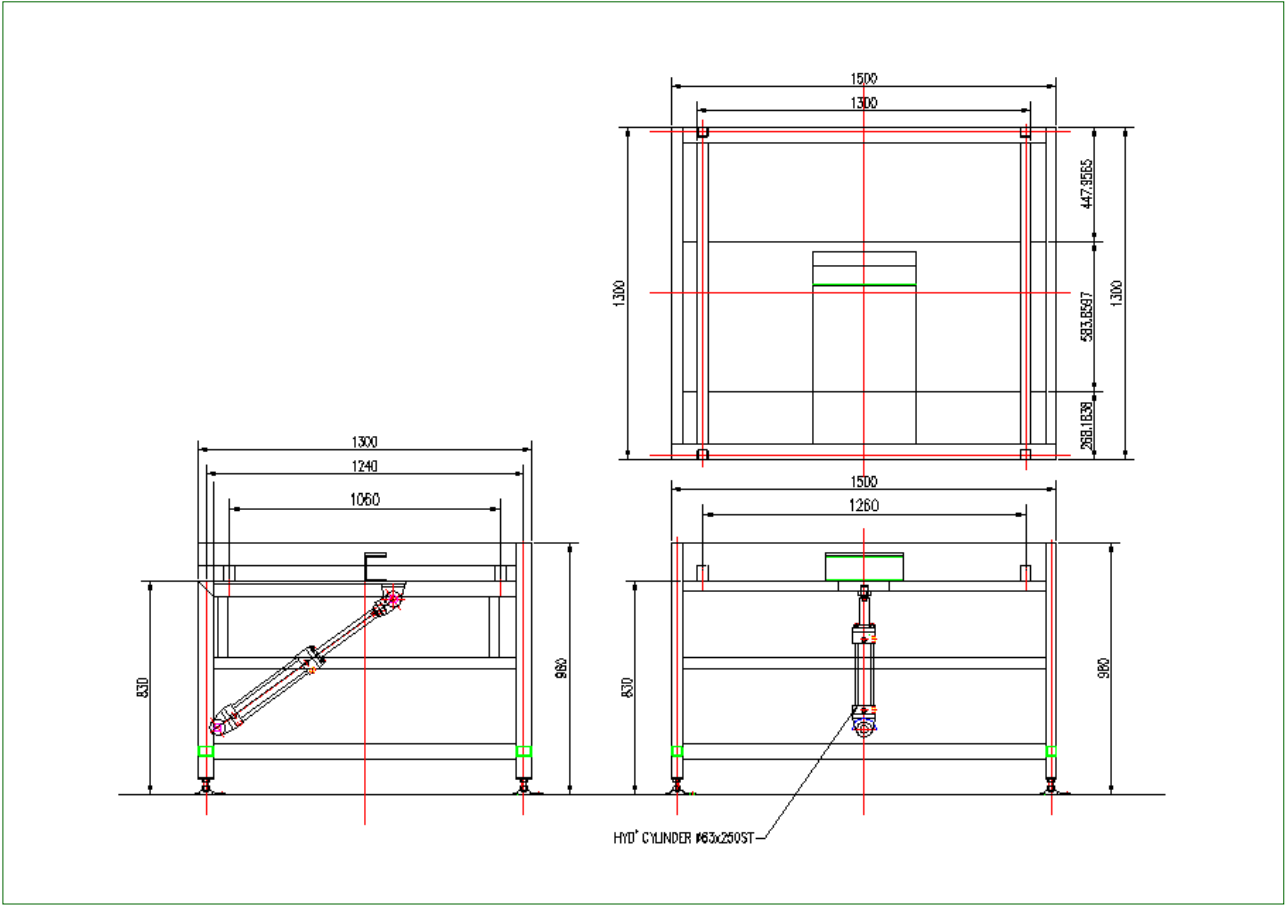


그림 A-11 파렛트 자동비움장치의 도면.

## 주 의

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