제 2차년도
최종보고서

수도작용 승용관리기 개발에 관한 연구

Development of Self-propelled Multipurpose Sprayer on Paddy Field

연구기관

서울대학교

농업생명과학대학 농공(기계)학과

농 림 부

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “수도작용 승용관리기 개발에 관한 연구” 과제의 최종연구보고서로 제출합니다.

1996 . 12 . 11.

주관연구기관명 : 서울대학교
총괄연구책임자 : 정 창 주
연 구 원 : 조 성 인
연 구 원 : 최 영 수
연 구 원 : 장 영 창
연 구 원 : 최 중 섭

요 약 문

Ⅰ. 제목

수도작용 승용관리기 개발에 관한 연구

Ⅱ. 연구개발의 목적 및 중요성

최근 국내 농업은 우루과이 라운드의 타결, 환경 문제의 사회적 인식 심화 등의 영향으로 가급적 적은 노동력과 에너지를 투입하고, 환경을 보존하면서 농산물을 생산할 것을 요구받고 있다. 특히 수도 방제 작업의 경우, 이러한 요구를 수용하기 위하여 기존의 동력 분무기 중심의 작업 체계를 다른 방향으로 전환해야 할 필요성이 강력히 제기되고 있다. 동력 분무기를 이용한 방제 작업은 고강도의 노동력을 필요로 할뿐만 아니라, 다량 살포로 약액의 낭비와 환경오염을 유발하고, 특히 분무 호스 길이의 제한으로 대구획 포장의 방제 작업에 적용하기에는 많은 문제점을 안고 있다.

본 연구는 이러한 현행 방제 작업상의 제반 문제점을 개선하고, 경지의 대구획화 추세에도 대응할 수 있는 새로운 형태의 수도작 방제 작업기를 개발함과 동시에, 입제 살포가 가능하도록 함으로써, 제초·시비 작업도 겸할 수 있는 수도작용 다목적 승용관리기를 개발하는 것을 최종 목표로 하였다.

Ⅲ. 연구 개발 내용 및 범위

본 연구는 제초, 시비, 방제 작업이 가능한 수도작용 승용관리기를 개발하는 것이 최종 목표로, 1차년도에는 방제 작업 체계 개발, 살포 장치 개발, 주행부 및 동력 전달부 설계를 수행하였고, 2차년도에 붐 및 입제 살포기의 설계·제작, 붐의 수평 제어 시스템 및 약액량 제

어 시스템의 개발, 동력 취출부 설계·제작 및 포장 시험을 수행하였다.

Ⅳ. 연구 개발 결과 및 활용에 대한 건의

본 연구의 주요 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 현행 방제 작업의 제한요인을 생력성, 효율적 약제부착, 그리고 노동강도와 작업자의 안전성 확보를 기준으로 분석하였다. 그에 따라 현행방제작업의 제한 요인을 극복할 수 있는 개선 방안으로서 붐방제기의 도입, 승용 방제기의 도입, 기부살포 방식의 도입 등을 제시하였다. 제안된 승용붐방제기를 이용함으로써 방제체계는 이앙재배와 직파재배의 경우에 대하여 각기 체계적인 방제가 가능하도록 하였다.

2) 작물의 손상을 극소화하고 안정된 주행성을 확보할 수 있는 주행부를 설계하였다. 벼의 초장에 따른 최저지상고 및 조간, 차륜과 작물 사이의 간격 등을 근거로 분석한 결과, 차륜의 직경은 70 100cm, 차륜의 폭은 5 15cm가 적당한 것으로 판명되었다.

3) 벼의 생육시기별로 고농도 미량살포를 할 수 있는 기부살포장치와 입자크기의 조정이 가능한 붐방제기를 개발하기 위하여 살포장치의 설계인자를 구명하고 그 크기를 설정하였다. 이를 위해 노즐의 분무특성을 실험적으로 비교·분석함으로써 전면 및 기부 살포시 적합한 노즐의 형태를 선정하였다.

   살포장치는 희석배수 100대1, 약액통 용량 200*l*, 붐의 길이 10m, 노즐의 분당분무량 0.216 0.378*l* 등을 기준으로 설계되었다.

   노즐의 피복특성 분석 결과 국소살포방식을 이용한 기부살포에는 균등선형노즐과 원추공형노즐이 적합한 것으로 판단되었다.

4) 붐 살포 장치 및 입제 살포 장치에 소요되는 동력을 구하고, 붐 방제기를 포함한 승용 관리기의 동력 전달 체계를 분석하여, 그 결과를 승용관리기의 설계자료로 활용하였다.

5) 살포방법에 따라 벼의 상부에서 약액을 뿌리는 전면살포장치와 벼의 기부에 약액을 집중시키는 기부살포장치의 부착이 가능한 수도작용 붐살포기를 개발하여 동력분무기와 피복특성을 비교하였다. 입자의 피복특성은 감수지를 사용하여 피복률과 입자밀도를 분석함으로써 수행되었다. 제작된 붐살포형의 살포장치는 동력분무기에 비해서 살포의 피복률이나 균등도가 크게 개선시킬 수 있는 것으로 나타났다.

6) 승용관리기 부착형 송풍식 입제살포기를 개발하였다. 살포유형 실험 및 균일도 시뮬레이션을 통하여 분두형태를 결정하였으며 디플렉터와 날개를 가진 분두가 산파에 적합한 것으로 나타났다. 분두 설치간격 및 살포높이는 비료의 경우 1m 및 0.8m로, 농약의 경우 0.8m 및 0.8m로 결정하였다. 또한 농업용 입상 화학제의 배출을 위하여 홈 롤러 배출장치를 사용하였으며 필요한 입제의 공급을 위해 홈 열림정도와 롤러 축속도를 결정하였다. 성능시험 결과 분두 3조를 사용하였을 때 변이계수 CV는 21%였으며, 살포폭은 3m였다.

7) 주행속도와는 무관하게 붐방제기의 단위면적당 균일한 살포량을 확보할 수 있도록 약액량 제어 시스템을 개발하였다. 성능시험 결과, 20 55 psi의 저압 범위와 0.64 0.696km/hr와 1.04 1.131 km/hr의 속도범위에서 약액량을 5.4 5.7 L/84m2 (평균 666.67 L/hr)로 제어할 수 있었다.

8) 포장에서의 방제작업시 붐의 움직임을 구명한 결과 붐의 기울기

에 영향을 주는 주파수는 0.1Hz 0.3Hz 사이의 저주파였으며 붐의 기울기는 ±9° 사이로 나타났음을 알 수 있었다. 붐의 수평 제어 알고리즘 및 소프트웨어를 개발 하였고, 파워 실린더를 구동하여 수평센서의 출력신호에 의해 붐을 수평으로 유지하는 수평제어 시스템을 개발하였다. 제작된 붐 수평제어 시스템으로 포장실험을 수행한 결과 붐의 기울기는 기준값의 ± 4° 내에서 제어가 가능하였다.

SUMMARY

Development of a Self-propelled Multipurpose Sprayer on Paddy Field

This study was carried out to develop a self-propelled multipurpose sprayer on paddy field which is capable of pest control, weeding, and fertilizer application. The study involved eight major sections associated with its purpose: (1) the development of a comprehensive pest control system, (2) the design of the wheel of multipurpose sprayer for paddy field, (3) the development of spraying device, (4) the design of power driving system for sprayer, (5) the design and construction of a boom, (6) the design of a pneumatic granular applicator with the design of PTOs for boom sprayer and granular applicator, (7) the development of a control system for uniform liquid chemical spraying, and (8) the development of a control system for balancing the boom. In addition, the performance of the developed multipurpose sprayer was tested and verified with respect to eight subsections in this study.

The results of this study are summarized as follows;

1. Current pesticide applicators and pest control systems in Korea were analyzed in reference to types of pesticides, and numbers of applications with various diseases, insects, weeds. Based on

the analysis, a comprehensive pest control system using a self-propelled multipurpose sprayer in paddy field was suggested in the study.

2. The proper wheel size of a self-propelled boom sprayer was designed so that the minimum damage of plants and the stable traveling can be secured in paddy field. The study showed that the diameter and width of wheel were 70 100 cm and 5 15 cm, respectively.

3. Spraying characteristics of various boom nozzles were tested, and the optimum nozzle arrangement on a boom for uniform spraying was determined as a basic tool to develop a prototype of boom sprayer. Flat fan nozzle and swirl type nozzle turned out to be proper for pest control on paddy stems.

4. Power requirements for boom spraying and granular spraying were analyzed. In addition, the power drive line of the self-propelled multipurpose sprayer was analyzed, and the results of the analysis were used as design parameters required for developing a self-propelled multipurpose sprayer.

5. Based on the suggested design parameters, a prototype of a boom sprayer for paddy field was constructed and tested in the study. The spraying characteristics of the boom sprayer were

compared with those of the power sprayer by analyzing the spray deposits on water sensitive cards. The results of the comparative tests showed that the boom sprayer was the superior to the power sprayer in terms of the uniformity of coverage rate and droplet density.

6. A pneumatic granular applicator was developed as an attachment to the multipurpose boom sprayer. Through uniformity simulations of granular application for various diffusers, the diffuser having only deflectors without granule dividing guides was selected for better distribution pattern. The diffuser spacing of 1m for fertilizer and 0.8m for pesticide at the boom height of over 0.8m was acceptable for uniform application. Metering devices were used in the granular applicator to discharge granules into the diffusers, and the discharge characteristics were analyzed with respect to the groove opening and the roller speed. For three diffusers arranged on the boom, the result of performance test showed that the width of application was 3m at the CV of 21%.

7. A control system for uniform liquid chemicals spraying was developed and tested in the study. The control system was designed for spraying liquid chemicals independently to the forward speed of boom sprayer. The controlled amount of liquid chemical was 5.4 5.7 L/84m2 (average 666.67 L/ha) at

the low pressure range of 1.4 3.87 kg/cm2, and at the forward speed ranges of 0.64 0.696 km/hr and 1.04 1.131 km/hr.

8. Rolling of the boom due to local unevenness and softness in paddy field caused an undesirable vertical movement of the boom. A control system and an algorithm were developed for balancing the boom. The frequency of the movement was in the low frequency range of 0.1 0.3 Hz, and the associated slope of the boom was about ±9 degree. The results of field tests showed that the control system can balance the boom within ±4 degree with respect to the reference level of the boom.

CONTENTS

1. Introduction 1

1.1 Purpose and scope of study 1

1.2 Present condition and problem of technology 2

1.2.1 Present condition of domestic and foreign technology 2

1.2.2 Present condition of foreign technology 4

2. Status and suggestion for improvement of pest control system 5

2.1 Types and characteristic of current pesticide applicators 5

2.1.1. Power sprayer 7

2.1.2 Mist and dust blower 8

2.2 Problems and direction for improving of present pest control 9

2.2.1 Problems of present pest control 9

2.2.2 Improvement of present pest control 15

2.3 New pest control system with boom sprayer 18

2.3.1 New idea of pesticide applicator 18

2.3.2 Considering points in development of pest control system 19

2.3.3 Development of pest control system in paddy field using boom sprayer 28

3. Design of wheel for self-propelled boom sprayer 31

3.1 Ground clearance design 31

3.2 Evaluating field adaptability of wheel to wet paddy 32

3.2.1 Outline and measurement of field test 32

3.2.2 Results of adaptability test in paddy field 36
3.3 Wheel design for stable travel ability and minimum plant damage .. 41
3.3.1 Outline and method of wheel design 41
3.3.2 Determination of wheel dimension 43

4. Development of spraying device 46
4.1 Spraying characteristic of nozzles 46
4.1.1 Choice of tested nozzle 46
4.1.2 Experiments of coverage rate and droplet diameter 46
4.1.3 Droplet diameter of nozzles 50
4.2 Nozzle arrangement for uniform spraying 59
4.2.1 Improvement of uniformity by overlap 59
4.2.2 Results and analysis of simulation 61

5. Design of power driving system 65
5.1 Power needed in spraying 65
5.2 Power driving transmission system 66

6. Design and manufacture of boom 70
6.1 Plumbing parts 70
6.2 Boom structure for overall- and base-application 72

7. Design of granular applicator 74
7.1 Structure and design parameter of self-propelled sprayer 74
7.2 Power needed in granular spreader 88

7.3 Design of granular applicator 88
7.3.1 Terminal velocity and air flow rate 88
7.3.2 Optimum blow head and application element 90
7.3.3 Axle speed and opening of roller 93
7.4 Prototype of granular applicator 95

8 Design of PTO 97
8.1 Frame and PTO of boom sprayer 97
8.2 Frame and PTO of granular applicator 97

9 Control system of liquid chemical 99
9.1 Schematic diagram of control system 100
9.1.1 Speed Sensor 101
9.1.2 Pressure sensor 102
9.1.3 Servo Motor 103
9.1.4 Controller Board 103
9.1.5 Pump 104
9.1.6 Nozzle 105
9.1.7 Gauge 106
9.2 Variable and design factor of liquid chemical control 106
9.2.1 Flow rate and pressure 106
9.2.2 Velocity and voltage 108
9.2.3 Pressure and voltage 109

10 Height control system of boom 110

10.1 Design and prototype of height control of active boom suspension 110
10.1.1 Modified structure 110
10.1.2 Measurement of boom tip behavior 113
10.1.3 Measurement system of boom height 116
10.1.4 Actuator 118
10.1.5 Algorithm height control 119
10.2 Indoor test performance 121
10.2.1 Boom tip behavior 121
10.2.2 Indoor test 124

11 Outdoor test and refinement 128
11.1 Efficiency and capacity of row crop spraying system 128
11.1.1 Experiment method 128
11.1.2 Analysis of experiment results 133
11.1.3 Droplet coverage characteristics of the overall spraying with a boom sprayer 134
11.1.4 Droplet coverage characteristics of the base spraying with a boom sprayer 147
11.1.5 Droplet coverage characteristics of power sprayer 153
11.2 Distribution of granular applicator 157
11.3 Control system of liquid chemical and height performance 159
11.3.1 Performance of control system of liquid chemical 159
11.3.2 Performance of control system of height 162

12 Result 165
12.1 Result and summary of Status and suggestion for improvement of pest control system 165
12.2 Result and summary of design of wheel 165
12.3 Result and summary of spraying device 166
12.4 Result and summary of boom sprayer 167
12.5 Result and summary of granular applicator 168
12.6 Result and summary of liquid chemical control 168
12.7 Result and summary of height control system of boom 169

목 차

제 1 장 서 론 1
제 1 절 연구개발의 목적과 범위 1
제 2 절 기술현황 및 문제점 2
1. 국내 기술 현황 2
2. 국외기술 현황 4

제 2 장 현행 방제 작업 체계의 진단과 개선 방향 5
제 1 절 현행 방제 작업 기계의 종류와 특성 5
1. 동력 분무기 7
2. 동력살분무기 8
제 2 절. 현행 방제 작업의 문제점과 개선 방향 9
1. 현행 방제 작업의 문제점 9
2. 방제작업의 개선방향 15
제 3 절 붐 방제기를 이용한 새로운 방제 작업 체계 18
1. 새로운 방제기의 구상 18
2. 방제 작업 체계 개발시 고려할 사항 19
3. 붐방제기를 이용한 수도작의 방제 체계 개발 28

제 3 장 주행부 설계 31
제 1 절 벼의 생육에 따라 요구되는 최저지상고 검토 31
제 2 절 현 주행 장치의 적응성 검토 32
1. 포장 시험 개요 및 측정 방법 32
2. 수도 포장 내에서 현 주행장치의 적응성 36

제 3 절 주행성 확보 및 작물의 손상을 최소화하기 위한 차륜 설계 41
1. 설계 조건 및 포장 조건에 따른 차륜 크기 41
2. 주행성 확보 측면에서의 차륜 크기 결정 43

제 4 장 살포장치개발 46
제 1 절 노즐의 분무 특성 구명 46
1. 실험대상 공시노즐의 선정 46
2. 노즐의 피복효과 및 입경 분석 실험 46
3. 노즐의 분무유형 50
제 2 절 균일 살포를 위한 노즐의 배치 59
1. 중첩에 의한 균등도의 향상 59
2. 시뮬레이션 결과 및 분석 61

제 5 장 동력전달부 설계 65
제 1 절 펌프소요 동력 65
제 2 절 동력전달체계 66

제 6장 붐 설계 및 제작 70
제 1 절 배관부 70
제 2 절 전면살포와 기부살포가 가능한 붐구조 72

제 7 장 입제살포기 설계 및 제작 74
제 1 절 관리작업기의 구조 및 설계요인 분석 74
제 2 절 입제살포부의 소요동력 88

제 3 절 입제살포기의 설계 88
1. 종말속도 및 송풍량 결정 88
2. 적정분두 및 최적 살포조건 결정 90
3. 롤러 축속도 및 열림정도 결정 93
제 4 절 입제 살포기의 제작 95

제 8 장 동력 취출부 설계 및 제작 97
제 1 절 붐 방제기의 동력 취출부 및 프레임 97
제 2 절 입제 살포기의 동력 취출부 및 프레임 97

제 9 장 약액량 제어시스템 99
제 1 절 약액량 제어 시스템 구성 100
1. 속도 센서(Speed Sensor) 101
2. 압력 센서(Pressure sensor) 102
3. 서보 모터(Servo Motor) 103
4. 제어판(Controller Board) 103
5. 펌프(Pump) 104
6. 노즐(Nozzle) 105
7. 유량측정(Gauge) 106
제 2 절 약액량 제어 변수 및 설계 조건 106
1. 압력과 유량의 관계 106
2. 속도와 전압 108
3. 압력과 전압 109

제 10 장 붐의 수평제어 시스템 110

제 1 절 Active 붐 서스펜션의 수평제어계 설계 및 제작 110
1. 구조 변경 110
2. 붐거동 측정 113
3. 붐 수평 측정 시스템 116
4. 작동기 선정 118
5. 수평제어 알고리즘 119
제 3 절 실내 성능 실험 121
1. 붐 거동 121
2. 실내 실험 124

제 11 장 포장성능시험 128
제1절 붐 방제기의 포장 작업능률 및 효율 128
1. 실험 방법 128
2. 실험결과 분석방법 133
3. 붐방제기 전면살포시의 피복 특성 134
4. 붐방제기 기부살포시의 피복 특성 147
5. 동력분무기의 피복 특성 153
제 2 절 입제살포기의 살포성능 157
제 3 절 약액량 제어 시스템 및 붐의 수평제어 시스템 성능 159
1. 약액량 제어 시스템의 성능 159
2. 수평제어 시스템 성능 162

제 12 장 결 론 165
제 1 절 현행 방제작업체계의 진단과 개선 방향 165
제 2 절 주행부 설계 165

제 3 절 살포장치의 개발 166
제 4 절 붐방제기 167
제 5 절 송풍식 입제살포기 168
제 6 절 약액량 제어 168
제 7 절 수평제어 169

제 1 장 서 론

제 1 절 연구개발의 목적과 범위

현재 국내의 농작업기의 보급율은 날로 높아가고 있으나 실제적으로 우리의 작업환경에 적합한 고유 모델의 개발율은 극히 낮은 실정으로, 이는 독자적인 농작업기 개발기술의 부재에서 비롯된다고 생각된다.

1993년말 현재의 수도작의 이앙, 방제, 및 수확 작업의 기계화율은 각각 92%, 94%, 및 87%로 상당히 높으나, 시비 작업의 경우는 아직도 거의 수작업에 의존하고 있는 실정이어서 기계화가 시급한 실정이다. 특히, 방제 작업의 경우는 작업의 내용면을 보았을 때 여전히 작업의 노동 강도가 높아 실질적인 생력화를 위해서는 새로운 방제기술 및 방제기의 개발이 필요하다.

현 방제작업에 주로 사용되고 있는 동력 분무기로는 약제를 벼의 밑줄기까지 침투시킬 수 없기 때문에, 방제효과를 높이기 위해서 벼의 줄기부까지 적셔지도록 다량살포를 하거나 방제회수를 늘리고 있어 효율적인 방제작업이 이루어지지 못하고 있는 실정이다. 또한 분무호스 길이의 제한으로 포장의 대구획화를 위한 경지정리사업 추진에도 커다란 장애요인으로 작용하고 있다.

최근, 농약사용에 따른 지하수 및 지표수 오염이, 인근 인가나 양봉, 양식업, 특용 작물 등에 미치는 피해가 사회적인 문제로 부각됨에 따라 저공해 생산이나 무농약 생산, 유기 농업 등에 관심이 집중되고 있다. 이러한 관점에서도, 농약공해를 줄이고 농약중독으로부터 작

업자를 보호할 수 있는 대책이 시급히 요구되고 있다.

벼를 이식한 후, 수확할 때까지의 관리작업은 제초, 방제, 시비 작업으로 대별되는데 이들 작업을 전부 행할 수 있거나 방제 및 시비 작업을 동시에 행하므로써 작업의 효율을 비약적으로 제고할 수 있는 수도작용 관리기의 개발이 절실하다.

최근 선진국에서는 전자분야 등의 기술 발달에 힘입어 농작업 체계의 개선 및 안전성과 효율성을 추구하는 수요자의 욕구에 부합하는 신모델의 개발이 급속히 이루어지고 있다. 따라서 본 연구에서는 특히 농작업기 분야에 있어 국제 경쟁력을 높이고 다양한 신모델의 요구에 적극적으로 대처하기 위하여 수도작용 승용관리기를 설계, 제작함을 목적으로 수해되었다.

제 2 절 기술현황 및 문제점

1. 국내 기술 현황

현재 우리 나라에서는 수도용 방제기계로서 동력분무기와 동력살분무기를 사용하고 있다. 동력분무기는 논두렁에서 포장내부를 살포가능 한 살포거리가 20m에 달하는 스피드 노즐을 사용한다. 기본적인 구성은 피스톤 펌프를 주축으로 하여, 분무호스와 노즐로 되어 있으며 형식은 동력경운기에 탑재하여 사용하는 것, 약액통과 별도의 동력원을 가진 것, 트랙터의 PTO동력을 이용하는 견인형 등이 있다.

동력살분무기는 고속으로 회전하는 시코로팬을 이용하여 액체를 미스트입자로 만들거나 분제 또는 입제를 살포할 수 있도록 설계된 기계로서 대부분 사람의 등에 지고 이동하면서 작업하도록 되어 있다.

트랙터에 부착하여 사용하는 방식도 있으나 우리 나라에서는 배부식이 주를 이루고 있다. 분제를 살포하는 경우 작업성능은 매우 우수하나 분재가 바람에 날리기 쉽기 때문에 일부에서는 기피하고 있다. 또한 등에 엔진을 지고 논에 들어가서 작업을 하기 때문에 노동강도가 커서 청장년이 아니고는 작업하기가 매우 힘들다.

이러한 방제기계가 적정한 작업능률을 발휘하기 위해서는 충분한 작업인원의 확보와 포장간 이동시간이 매우 짧아야 하는 제약이 존재한다. 또한 노동 강도가 다른 농작업에 비하여 크기 때문에 작업에 많은 어려움이 있다.

방제기에 대한 구체적 연구 논문을 살펴보면 손 등(1976)은 휴반살포용 노즐의 특성 및 약액살포 효과를 조사하였고, 옹 등(1973)은 휴반용 분무기에서 근거리 및 원거리용 노즐의 도달성에 대한 전구의 각도, 분무압력, 캡(Cap)의 구배(gradient) 등의 영향을 고찰하였다. 한편 권 등(1982)은 토출압력 및 호스길이가 도달성에 미치는 영향에 대하여 연구하였다. 위의 연구들이 동력분무기 노즐의 특성을 주로 다룬 반면 본 연구자인 정(1985)은 수도기부방제에 적합한 붐-형 주간살포 시스템 개발에 대한 연구에서 미량살포로 높은 방제 효과를 내기 위하여 기부방제에 적합한 방제기의 연구와 함께 약액의 도달성을 작물에 도포되는 약액입자의 분포를 통해 측정하는 실험을 함으로써 기부방제의 효과를 시험하였다. 그 결과 벼의 휴반살포로는 분무입자가 벼하단부까지 잘 침투하지 못하는 것으로 나타나 이의 개선이 요구되었다. 이에 반해서 붐형 주간살포시스템은 방제의 균일화 및 정밀화를 위해 적정한 방식임을 실험적으로 검증하였다.

최근에는 직파재배에 대한 관심과 발맞추어 항공방제에 대해서도 많은 관심들이 높아지고 있는데 서산간척지에서는 현재 유인 항공기

가 사용되고 있으며 무인헬리콥터에 의한 항공방제 기술도 개발중에 있다. 항공방제는 넓은 농지에서 신속하게 방제할 수 있는 이점이 존재하지만 농지와 인가 및 산수가 밀접히 붙어 있는 우리 나라의 현실을 생각해 볼 때 방제립의 표류로 인한 주변 환경 오염문제를 심도있게 고려해야 한다.

2. 국외기술 현황

서구 방제작업의 경우, 수도작에는 대부분 항공방제를 하고 있으며 전작에는 트랙터를 이용하여 붐방제를 하고 있는 상태이다. 또한, 이탈리아의 경우에는 수도작에 트랙터에 탑재한 붐방제기를 사용하여 수도방제에 이용하고 있으나 트랙터를 이용한 방제작업은 작업중 트랙터의 낮은 최저지상고와 넓은 선회반경에 의해서 작물에 피해를 주는 문제가 야기되고 있다.

일본의 경우, 전작용 승용관리기가 개발•보급 되면서 수도작 방제작업에 활용하기 위한 승용관리기용 붐방제기 개발이 시도되고 있다. 또한 작업시의 작물의 손상을 줄이기 위해서 차체의 최저지상고를 높이고 선회반경을 줄이는 설계와 농로를 개선하여 포장내에서 선회하지 않고 농로위에서 선회하는 방식등 수도의 붐방제기 활용을 위한 연구를 진행하고 있는 실정이다.

제 2 장 현행 방제 작업 체계의 진단과 개선 방향

제 1 절 현행 방제 작업 기계의 종류와 특성

방제기구에는 방제의 대상, 약제의 종류 등에 따라 여러 가지가 있고, 같은 종류의 약제를 사용할 경우에도 방제 목적, 살포환경 등을 고려하여 적절한 방제기구를 선택하지 않으면 효율적인 방제 작업을 수행할 수 없다. 방제기를 살포약제의 입경(粒徑) 및 성상(性狀)에 따라 구분하면 표 2-1과 같다.

Table 2-1. Pesticide applicators and particle sizes

구 분	사용약제	살포입자의 범위 (㎛)	평균입경 (㎛)
분무기	액 제	150 440	220
미스트기	액 제	30 100	40
미량,소량 살포기	액 제	40 140	70
연무기	액 제	0.5 50	4
살분기	분 제	0.5 200	50
살립기	입 제	250 1500	850

방제 작업기는 방제작업에 따라서 기종이 달라지며 그에 따라 노즐이 달라지는 것이 일반적이나 우리나라의 경우는 동력경운기에 탑재한 동력분무기가 압도적으로 많이 사용되고 있다. 방제작업을 살포

하는 농약의 제형에 따라 분류하여 각각에 해당하는 작업기를 표 2-2에 표시하였고, 각종 방제작업기의 작업능률은 표 2-3에 나타내었다.

Table 2-2. The kind of the applicators by pesticide formulations

제 형	방 제 기 계
분 제	동력살분무기, 살분기
입 제	동력살분무기, 살분기, 항공기
액 제, 유 제, 수화제 등	동력살분무기, 동력분무기, SS분무기, 항공기

Table 2-3. The working capacity of various pesticide applicators

구 분	분 무 압 력 (kg/㎠)	분당살포량 (ℓ/min)	작 업 인원수	시간당 살포면적 (a/hr)
어깨걸이 분무기	3 4	0.9	1	2.5
배낭식 분무기	4 5	1.9	1	3.3
자동 분무기	5	-	1	3.3
보통 분무기	5 10	3.0	3	7.0
지렛대 분무기	7 10	5.0	3	9.0
동력 분무기	15	20.2	5	40
인력 살분기	-	1.0(kg)	1	20
동력 살분기	-	3.0(kg)	1	50
헬리콥터 분무기	2 3	45	15	-
헬리콥터 살분기	-	20 50(kg)	10	2500 4000

우리나라에서 매우 제한된 방제기계가 사용되는 이유에는 여러가지가 있겠으나, 1980년대까지 수도재배 중심으로 기계화가 이루어졌고 수도의 경우에는 기계의 주행성이 크게 제약을 받기 때문에 주행하면서 방제할 수 있는 방제기계가 개발되지 않은 것을 그 이유의 하나로 꼽을 수 있다. 기존의 기계는 노즐에서 분무하는 것만을 기계화하고 노즐을 이동시키거나 기계를 이동시키는 것은 인력에 의존하는 형태로 발전되어 왔다. 대표적인 수도용 방제기계로는 동력분무기와 동력살분무기를 들 수 있는데, 그 특징을 살펴보면 다음과 같다.

1. 동력 분무기

동력 분무기는 피스톤 펌프를 주축으로 하여, 분무호스와 노즐을 기본으로 구성된 기계로서 동력 경운기에 탑재된 형식과, 약액통과 별도의 동력원을 가진 것 또는 트랙터의 PTO동력을 이용하는 견인형 동력분무기가 있다. 동력분무기에는 여러가지 노즐이 있으나, 수도 재배에서는 논두렁에서 포장내부를 살포할 수 있도록 살포거리가 20m에 달하는 스피드 노즐을 사용한다. 스피드 노즐은 살포시 20 30 kg/㎠ 의 높은 압력이 필요하다. 동력 분무기는 사용형태에 따라 다음과 같은 가반(可搬)형 · 정치형 · 보행형 · 견인형의 4가지로 구분한다.

가. 가반형

우리나라에서 가장 많이 사용되는 형태의 것으로서 이동형이라고도 한다. 고정된 대 위에 원동기와 분무기를 설치하고, 작업장소에 운반하여 분무작업을 실시하는 형식의 것을 말한다. 이 형식의 것은 소형부터 대형에 이르기까지 배액량의 범위가 매우 크다. 최대 배액량

이 10ℓ/min 이하인 것을 소형, 10 20ℓ/min 인 것을 대형이라고 분류하기도 한다.

나. 정치형

최대 배액량이 30ℓ/min이상, 원동기의 출력이 5PS이상인 것으로서 큰 과수원이나 공동 방제시설용 고정배관식으로 사용될 경우에 주로 이용되며, 소규모의 관개용으로 이용되기도 한다.

다. 보행형

트랙터의 동력취출장치를 이용하여 트랙터와 일체가 되어 주행하면서 살포작업을 하는 형식의 것을 말한다.

라. 견인형

분무기와 원동기 등을 바퀴가 있는 수레 등에 설치하고 이것을 트랙터 등으로 견인하면서 살포작업을 실시하는 형식의 것을 말한다.

2. 동력살분무기

동력살분무기는 고속으로 회전하는 시로코팬을 이용하여 액체를 미스트 입자로 만들거나 분제 또는 입제를 살포할 수 있도록 설계된 기계로서 대부분이 사람의 등에 지고 이동하면서 작업하도록 되어 있으나 트랙터에 부착하여 사용하는 방식도 있다. 우리나라에서는 배부식이 주를 이루고 있다. 분제를 살포하는 경우 작업성능은 매우 우수하나 분제가 바람에 날리기 쉽기 때문에 일부에서는 기피하고 있다. 또한 등에 엔진을 지고 논에 들어가서 작업을 하기 때문에 노동

강도가 커서 청장년이 아니고는 작업하기가 매우 힘들다. 액제를 살포하는 경우에는 미스트입자를 살포하기 때문에 살포폭이 비교적 좁고, 고농도의 농약을 사용하므로 농약중독의 위험성이 높다. 그러나 분무기의 경우에는 노즐에서 분무되는 농약의 반동력을 사람이 지탱하여야 하나 동력살분무기는 반동이 거의 없으며 혼자서 작업할 수 있는 이점이 있다. 아래에 제시된 표 2-4는 동력살분무기의 제원과 성능을 나타낸 것이다.

Table 2-4. The types and its performance of mist and dust blower

기 종	이동방식	상용회전수 (rpm)	살포폭(m)	약액통용량(l)
액제살포	배부식	6500 8000	10	10 15
분제살포	배부식	6500 8000	40	10 15
	트랙터부착		100	115

제 2 절. 현행 방제 작업의 문제점과 개선 방향

1. 현행 방제 작업의 문제점

가. 현행 방제작업의 유형

(1) 논두렁 액제살포

이 방법은 액제를 논두렁에서 살포하는 방법으로 소규모 구획을 제외하고는 경지 정리된 논에서 사용이 불가한 경우가 많다. 사용이 불가능한 이유는 논두렁에서 논의 중심부까지 약제가 도달하지 않기 때문이다. 약제의 도달성을 좋게 하려면 펌프의 출력이 충분해야 하

나 일반적으로 농가에서 사용하고 있는 분무호스의 길이가 최소 150m에서 300여 미터에 달하므로 큰 압력손실이 발생하여 약액의 도달거리가 짧다. 또한 방제의 여러가지 측면에서도 도달거리를 압력과 유량만을 가지고 크게 하는 것은 바람직하지 못하다.

(2) 포장내 액체살포

액체상태의 농약을 논안에 직접 들어가서 살포하며 1200평 필지의 경우 논에 진입하는 회수는 2-3회로서 작업자마다 다르다. 작업인원은 2-4인으로 차이가 있으나 2인 작업이 가장 작업능률이 높으며 진보된 방법으로 노동투하량이 작다. 2인이 작업하는 경우 한 명은 분무봉을 잡고 논에 진입하고 다른 한 명은 논둑에서 호스를 잡아당기거나 밀어 준다. 살포가 끝나면 살포작업자는 약제의 조제를 하고 보조자는 호스를 감고 푸는 일을 수행한다. 3인인 경우 3번째 사람은 살포중에 다른 약제통에 약을 조제하고 엔진의 운전을 담당하여 2인의 경우와 달리 연속적으로 살포할 수 있는 특징이 있으나 전북 김제, 완주 지역에서는 2人인 경우가 압도적으로 많았다. 작업능률면에서 보면 3人인 경우가 보다 효율적이고 작업자를 교대로 할 수 있는 이점이 있으나 실제적으로 논에서 살포할 수 있는 체력을 갖춘 사람이 1인뿐이고 약제살포를 기피하기 때문에 2인 살포가 많은 것으로 판단된다.

(3) 논두렁 분제살포

이 방법은 분제를 살포하는 방법으로 양쪽 논두렁에서 작업자 두명이 호스를 운반하면서 논의 폭만큼을 살포한다. 일반적으로 이 방법은 이삭이 팬 후에만 사용하며 분제가 바람에 쉽게 날리기 때문에 기피되고 있는 방법이다. 이 방법에서는 동력살분무기(미스트기)와 분제살포용 비닐호스를 사용하는데 비닐호스가 쉽게 찢어지기 때문

에 작업 중에 작업을 중지하고 호스를 잇는 작업을 하는 경우가 많다. 또한 비닐호스의 길이가 논의 폭보다 작아지는 경우 작업에 쫓기는 농부는 새로운 비닐호스를 구입하는 대신 호스의 한 끝을 노끈으로 묶고 중복하여 살포함으로써 작업능률을 저하시키고 있다.

(4) 입제살포

현행 시비는 원심 살포기, 동력살분무기 및 인력으로 수행되고 있으며 제초제 살포는 동력살분무기 및 인력에 의해 수행되고 있다. 동력살분무기에 의한 입제살포는 살포폭은 상당히 크지만 사람이 포장내를 걸어다니며 살포하는 방식이므로 노동강도가 높으며 균일한 살포를 기대할 수 없다. 농용 화학제는 균일하게 적정량을 살포해야만 곡물의 생산량을 극대화 할 수 있으므로 동력분무기에 의한 살포는 비효율적이라 할 수 있다. 현재 사용되고 있는 원심 살포기는 대부분 트랙터 부착형으로 작물생육기간에는 트랙터 주행부에 의한 작물손상 때문에 수도작의 경우 포장내 작업이 이루어지지 못하고 있다. 원심 살포기 또한 살포메카니즘이 균일한 살포를 기대할 수 없으며 동력살분무기와 마찬가지로 원거리 살포방식이므로 입자크기에 따라 분리되면서 살포된다. 따라서 작물생육 기간중의 시비, 방제, 제초작업을 수행하여 효율적인 관리작업을 수행할 수 있고 균일한 살포와 생력효과를 얻을 수 있는 승용기 부착-붐형 송풍식 입제살포기의 개발이 필요하다.

나. 현행 방제작업의 제한요인

(1) 생력성

방제작업의 구성은 약제혼합(조제), 방제기의 이동, 포장내 작업, 방제기 청소의 세부과정으로 이루어진다. 수도재배에서 주류를 차지하

는 동력분무기의 경우에는 논두렁 살포가 불가능하여 대부분 포장내에서 분무호스를 사람이 운반하며 작업한다. 인력에 의해 작업이 행하여지므로 회행시간은 극히 짧으며 개자리도 발생하지 않는다. 아래의 표 2-5는 방제작업별 작업능률을 나타낸 것으로 작업자의 연령과 작업방법에 따라서 변이가 커서 청장년 층이 작업하는 것을 기준으로 하였다. 작업능률을 해석하는데 있어서 주의할 점은 휴식이 제외된 점이다. 실제로 농민들은 작업중에 휴식하는 것보다는 빨리 작업을 끝내고 휴식을 취하고자 하여 이 시간을 측정할 수는 없었다. 또한 방제기의 포장간 이동과 방제기의 청소 등은 고려되어 있지 않음에 유의해야 한다. 표 2-5에서 포장내 액체살포의 경우 2인이란 살포하는 사람과 호스 보조자만 있고 기계작동과 농약조제를 전담하는 사람이 없는 경우를 말하며 3인이란 기계를 전담하는 사람이 있어서 연속적으로 방제작업을 수행할 수 있는 경우를 뜻한다.

Table 2-5. Capacity of the pesticiede control

방 제 방 법	100m주행 시간 (sec)	선회시간 (sec)	논두렁 이동시간 (sec)	농약 조제시간 (sec)	작업능률 (min)
논두렁 액체살포	200 260	-	60 100	660 1080	18 28
포장내 액체살포					
2인	160 170	10 15	60 100	660 1080	28 37
3인	150 160	10 15	60 100	-	16 18
논두렁 분제살포	160 200	60 100	-	-	4 5
포장내 붐살포	140 160	120 180	100 150	660 1080	33 44

표 2-5에서 작업능률을 보면 논두렁 액체살포나, 포장내 액체살포

가 포장내 붐살포 보다 작업능률 면에서 생력성이 우수하다는 것을 알 수 있다.

그러나, 방제작업은 원동기가 논에 들어가지 않는한 펌프의 압력과 호스의 길이의 제한을 받으며 약액통의 용량에도 제한을 받는다. 일반적인 분무호스는 내경이 작고 길이가 길어서 상당한 압력강하를 초래한다. 방제용 노즐은 일정 압력 이상에서만 설정된 살포폭으로 작업할 수 있으므로 방제기계의 펌프는 분무에 필요한 압력과 호스에서 발생하는 압력강하량의 합보다 큰 압력을 발생할 수 있어야만 한다. 따라서 방제기가 설정되면 분무호스의 길이는 제한을 받게 된다. 특히 분당분사량이 큰 분무노즐이 선택되면 작은 분무호스를 통하여 농약을 분사하는데 있어서 더욱 큰 압력강하를 초래하게 되므로 최대 분무호스 길이는 분무노즐의 분당 분사량에도 제한을 받는다. 일반적으로 방제호스는 120m 정도를 이용하도록 권장하고 있으나 실제로는 200m를 넘는 경우도 상당히 있다. 호스가 정상보다 긴 경우에는 분무노즐이 필요로 하는 압력보다 낮아져 살포폭이 줄어들고 입자의 크기도 커진다.

방제작업의 효율을 낮추는 요인으로 약액통의 크기(현재 농민들은 경운기에 드럼통을 탑재하여 필요한 양의 약액을 보충하는데 이용)를 들 수 있다. 약약통으로는 흔히 600리터용 플라스틱 용기가 사용되나 1:1000 의 비율로 살포하는 경우 1200평당 640리터의 농약이 필요하므로 흔히 200리터용기를 보조로 사용하게 된다. 현재의 동력분무기는 대부분이 플런저를 이용한 펌프만 갖추어져 있으므로 농약살포와 농약조제를 연속적으로 수행할 수 없다. 물론 경운기 견인형 전용 동력분무기는 급수펌프가 별도로 있고 약액통도 별도로 있어서 연속적인 사용이 가능하지만 기계의 크기가 크고 가격이 비싸다는 이유 때

문에 실제로 널리 사용되고 있지는 못하다.

(2) 약제의 효율적인 부착

동력분무기에 의한 방제작업에서는 분무입자의 도달거리를 멀리 하기 위하여 분무입자가 클 수밖에 없다. 커다란 입자는 비산의 위험성은 적으나 목표물에 부착되기보다는 충돌하여 2차적인 미립이 발생되면서 목표물에서 떨어지게 된다. 분무원리를 충분히 약액을 목표물에 적시는 방법으로 한다면 문제는 없다. 그러나 농약의 과다사용을 억제하고 적량만을 살포한다는 입장에서 보면 현재의 동력분무기에 의한 광폭살포는 매우 부적합하다. 최근 작업능률만을 고려하여 초광폭 살포기의 도입이 논의되지만 이것은 저투입지속농업이라는 새로운 농업기술 방향에 정면으로 배치되는 것이다.

(3) 노동강도와 작업자 안전성

방제작업은 일반적으로 위험한 작업으로 인식되고 있으며 현재의 살포방법으로는 농약에 작업자가 노출될 위험이 매우 높으므로 작업시간이 제약을 받는다. 예를 들어 한국농약공업협회에서는 하루 2시간 이상 작업을 하지 말며 작업 후에는 충분한 휴식을 취할 것을 권장하고 있다. 실제의 경우도 방제작업을 5시간 이상하는 경우는 거의 없는 것으로 나타났다. 방제기계는 기계 가격이 다른 농기계에 비해 저렴하므로 공동 이용되는 경우가 거의 없으며 작업할 수 있는 건강한 노동력도 현재와 같이 농촌노동력이 노령화, 부녀화된 상태에서는 매우 제한되어 있어 기계의 부담면적 결정에 있어서 하루 작업가능시간이 기계의 사용측면 보다는 노동강도와 작업자 안전에 따라서 5시간 이내로 제한된다고 말할 수 있다.

또한 현재의 방제작업은 보통 1:1000으로 희석하여 수행되고 있다. 주된 이유는 살포거리를 크게 하기 위해서는 큰 분무입자와 많은 유량이 필요하므로 단위면적당 필요한 농약의 유효성분을 크게 희석하여 사용하는 것이다. 이 방법은 작업능률 측면에서는 유리하지만 농약사용효과를 극대화하는 측면에서는 많은 제약을 가진다. 살포거리를 크게 하는 경우 노즐의 분사각을 될 수 있는 한 크게 해야 하는데 이 경우 노즐에서 발생하는 작은 크기의 농약은 비산되어 작업자나 인근 농작물에 해를 끼친다. 또한 벼가 영양생식을 중지하는 단계에서 농약을 살포할 때, 벼그루는 매우 무성해지고 대부분의 병해충이 기부에 몰리게 된다. 현재의 방제기계는 기부살포를 할 수 없으므로 벼줄기를 흠뻑 적시는 것으로 방제효과를 보려고 한다. 따라서 농약을 필요 이상으로 살포하게 되어 작업자 안전은 물론 환경에도 해를 끼치게 된다.

2. 방제작업의 개선방향

병충해는 작물의 수확량 및 품질에 크게 영향을 미친다. 따라서, 효율적인 방제를 통하여 병충해의 피해를 최소로 하는 것은 농산물의 품질 향상 및 생산성 향상을 위해 매우 중요하다.

한편 최근에는 농약 사용에 따른 지하수 및 지표수 오염과 같은 환경 문제, 인근 인가나 작업자에 미치는 안전 문제, 양봉, 양식업, 특용작물에 미치는 약해 문제, 식품의 안전성 등이 커다란 사회적 문제로 부각됨에 따라서, 환경 및 생태계 오염 방지의 측면에서도 새로운 약비살포기술 개발의 필요성이 제기되고 있다.

가. 방제작업 유형의 개선

(1) 포장내 붐살포

이 방법은 붐에 90cm 간격 또는 60cm 간격으로 수직분관을 설치하고 분관 끝에 두개의 노즐이 좌우로 각도를 이루어 설치된 것으로 벼의 기부살포나 표면살포에 적용할 수 있도록 만든 것이다. 이 방법은 현재 우리나라에 농민이 개발하여 사용하는 예가 있을 뿐 아직 상업화되어 있지 않으나 앞으로 논용 관리기나 승용 붐방제기가 개발될 경우 실용화 가능성이 매우 크다. 현재로서는 작업자가 논에서 3회 왕복을 해야 하며 선회를 포장내에서 하지 못하고 논두렁에서 해야 하므로 작업능률이 낮은 문제점이 있으나 승용붐방제기를 이용하여 포장내에서 선회하면서 작업하고 호스를 사용하지 않게 한다면 작업능률도 크게 개선될 수 있는 방법이다.

(2) 항공방제

유인, 무인 항공기를 사용하여 넓은 지역을 빠른 시간내에 방제, 대량방제나 우기후 병충해 방제에 적합하다. 그러나 비용, 약효의 효율, 농약피해 등의 이유로 국내에서는 많이 쓰이지 않는다. 일본에서는 고농도 소량살포에 무인헬기의 강한 하향풍을 이용한 방제가 이루어지기도 한다.

나. 붐방제기의 도입

미국에서는 정밀방제기술의 개념을 도입하여 환경오염을 최소화하고 안전성을 제고할 수 있는 원심식 분무기, 정전화 살포기 등과 같은 새로운 형태의 방제기 및 방제기술이 개발되어 이용되고 있다. 그

러나, 우리나라에서는 대부분의 수도 방제작업이 동력경운기 탑재용 동력분무기에 의해 이루어지고 있다. 이 방법은 작업능률 측면에서는 유리하지만, 농약 사용의 효율성 측면에서는 불리한 점이 많다. 즉, 살포거리를 크게 하는 경우 노즐의 분사각을 45°이내에서 가능한 한 크게 해야 하는데, 이 경우 노즐에서 발생하는 작은 입자는 비산되어 작업자나 인근 농작물에 해를 끼칠 뿐만 아니라, 농약의 유실로 인해 낭비를 초래하게 된다. 반면 붐방제기는 한번에 넓은지역방제가 가능할 뿐만 아니라 분사각이 낮아져 작은입자 비산에 의한 해를 막을 수 있고, 농약의 유실로 인한 낭비를 줄일 수 있다.

다. 승용방제기의 도입

앞에서 언급하였듯이 붐방제기의 도입이 필요하다. 그러나 붐방제기의 경우 그 부피와 중량면에서 있어서 인력으로 움직이는 것이 대단한 노동력을 필요로할 뿐만 아니라, 인력으로 움직인다 하더라도 이동속도를 일정하게 조절할 수가 없어 작업효율을 크게 저하시킨다. 또한 분무호스길이는 포장의 대구획화를 위한 경지정리사업 추진에 있어서도 중요한 제한요인으로 작용하고 있다. 이런 점들을 해결하는 방법은 붐을 탑재한 승용 방제기의 도입이다.

라. 기부살포 장치의 도입

벼의 줄기와 잎이 무성해지는 수도본답 후기의 벼멸구, 문고병 등의 방제에 있어서는 동력분무기로는 약제를 벼의 밑줄기까지 침투시킬 수 없으므로 약액이 벼의 줄기부까지 충분히 적셔지도록 다량 살포를 하거나 방제 회수를 늘리고 있는데, 이 방법 역시 농약의 과다

사용으로 인한 환경오염 및 농약의 낭비를 초래하고, 작업효율을 크게 저하시킨다. 결국, 동력분무기를 이용한 방제작업은 낮은 농도의 농약을 다량 살포함으로써, 기부살포와 같은 방제 효과를 노리고 있으나, 그에 따라 위에서와 같은 많은 문제점이 발생하고 살포 목적에 따라서 분무입자의 크기도 조절할 수 없으며, 분무도달거리를 극대화하기 위해 항상 높은 위치에서 살포하게 됨으로써, 작업자의 안전을 위협하고 인근 농작물에 약해를 입히는 등 많은 문제점을 안고 있다. 이에 따라 기부살포 장치가 절실히 요구된다.

제 3 절 붐 방제기를 이용한 새로운 방제 작업 체계

1. 새로운 방제기의 구상

기존의 동력분무기는 본래 논둑에서 방제를 하게 되어 있으나 대부분의 경우 논안에 들어가서 분무봉을 사람이 휴대하고 높은 각도로 살포하는 단점이 있었기 때문에 작업자는 비산되는 농약에 노출될 뿐만 아니라 작업강도가 커서 안전장비(마스크나 작업복)를 갖추고 작업하기 힘든 것이 현재의 실정이다.

또한 원거리 살포를 위하여 분무입자를 작게 하지 못하고 분무각도가 상향으로 치우쳐 있어서 결과적으로 전면살포를 한다. 살포된 약제는 벼줄기를 따라 흘러들거나 벼 사이로 이동하여 부착하게 되는데 벼의 키 이상에서 살포되기 때문에 생육 후기에 벼의 기부에 약제를 살포하는데 있어서는 매우 비효율적이다.

따라서 새롭게 구상하는 방제기는 작업능률의 향상을 저해하지 않으면서 작업자의 안전성을 제고하고 농약의 사용량을 감소시키는 방

향이라고 말할 수 있다. 작업자의 안전성을 극대화하는 방법은 승용 작업기계를 이용하는 것이며, 작업능률의 저하를 막기 위하여 살포폭이 넓은 붐을 이용한다. 붐에 부착된 노즐은 필요에 따라서는 벼의 키 이상의 높이에서 전면살포를 하거나 기부살포시에는 노즐이 벼의 키보다 아랫부분에 위치하여 필요한 양으로 약효를 극대화하므로 농약의 과다사용을 방지하여 환경오염 경감에도 기여할 수 있다.

2. 방제 작업 체계 개발시 고려할 사항

가. 수도작에서 방제 작업의 특성

방제작업은 재배과정에서 식물체의 성장과 결실에 장애를 초래하는 병충해로부터 식물을 보호하는 작업으로서 다른 농작업과 달리 작물에 생리적인 효과를 미친다. 물론 이 효과는 농약에 의하여 발생하지만 농약입자의 크기와 농도, 살포위치는 모두 방제기계에 의하여 결정된다. 또한 다른 작업과 달리 살포시기가 기상적 제한외에도 작물의 성장과 병해충, 잡초의 상태에 의해서 결정된다. 또한 방제작업은 병충해 및 잡초의 발생에 따라서 작업횟수가 달라진다. 즉 기상과 기타환경에 따라서 약제처리(방제)면적은 경영면적의 몇 배가된다. 방제작업 시기도 대략적인 범위(예방차원의 방제와 발병시 방제)에서 제시할 수 있으나 개별적인 논을 기준으로 보면 일정하지 않고 살포빈도수(농약사용 지침서에 의하면 한 종류의 약에 대하여 2-3회 이상은 쓰지 않는 것이 좋다고 되어 있음)도 큰 변이를 가지는 특성이 있다.

방제작업은 예방을 위한 방제와 치료를 위한 방제로 나누어진다. 치료를 위한 방제는 가급적 빠른 시일 내에 수행되는 것이 바람직하고 예방을 위한 방제의 경우도 전국적으로 분포된 예찰포에서 주의

보가 내려지면 가급적 빠른 시일 내에 방제작업을 수행하는 것이 원칙이다. 따라서 다른 농작업과 달리 작업의 필요가 생기면 곧바로 수행을 해야만 하는 특성이 있다.

방제대상은 잡초, 곤충, 균으로 나누어 진다. 균이나 곤충은 기상조건이 갖추어진 경우 급속도로 번식되고 이웃 포장에 전염되므로 빠른 약제 처리가 필수적이며 제초제의 경우도 예외가 아니다. 어느 논에서나 문제가 되는 피의 경우 대부분의 제초제가 2엽기 이내에서만 약효를 발휘한다. 잡초는 초기생장력이 우수하므로 좋은 환경에서는 2엽기에서 3엽기로 발전되는 시간이 하루정도에 완료되어 약제 처리 효과를 보려면 적합한 시기가 별도로 정해진다. 일반 기계이앙논의 경우 벼의 엽기가 피보다 앞서서 진행되므로 약해 없이 제초제를 살포할 수 있는 시기에 다소 여유가 있으나 직파의 경우는 오히려 피의 엽기가 벼보다 일부 빠르거나 대등하게 진행되므로 약해를 최소화하면서 제초제를 살포할 수 있는 시기는 매우 좁아지게 된다. 따라서 약제 살포작업의 경우는 다른 농작업에서와 같이 작업가능기간과 작업가능 일수율을 정하는 것이 적합하지 않으며 일반적으로 말할 때, 하루 이내에 살포를 완료하는 것이 타당하다고 말할 수 있다.

나. 벼의 생육시기별 방제대상

(1) 잡초의 종류

제초제는 주로 모내기 직후 예방차원에서 사용한다. 본답 벼의 생육시기별 잡초의 종류 및 발생량을 보면 아래 표 2-6과 같고, 제초제 처리체계는 표 2-7과 같다.

Table 2-6. Kinds of weed and its growing out per unit area

구 분	담수직파 재배	기계이앙 재배
본논재배 개시기	5월 10일경 파종	5월 30일경 이앙
벼 출아기	파종후 5-7일	이앙시 3-4엽기
잡초 발생시기	파종후 5-6일	이앙후 5-6일
잡초 종류	13종 피,물달개비,사마귀풀,자귀풀,알방동산이,여뀌,여뀌바늘,밭뚝외풀,마디꽃,올챙이고랭이,올방개,너도방산이,중대가리풀	10종 피,물달개비,사마귀풀,여뀌, 여뀌바늘,밭뚝외풀,마디꽃, 올챙이고랭이,올방개, 너도방동산이
발생량(g/㎡)	753	59
발생수(개/㎡)	851	295
제초제 처리시기	5월 20일-25일경	6월5일-15일경

Table 2-7. Weed control system

초 기 처 리	중 기 처 리	후 기 처 리
모내기전에서 모내기 후 5-7일(피1.0엽기)까지	모내기 8-15일(피1.0-2.5엽기)에서 모내기 15-20일(피2.5-3.5엽기)까지	벼 유효분열 종지기부터 유수 형성 전까지
사단,온드레,모다운,론스타,마세트,매끄단,솔네트,란초,피라조설,보배논,품하나,노난매,싱그란,푸만사,한들,상머슴,골드논,말끄미,두배논,만석군,유나니	유나니,두배논,만석군,풀사리,만수레,노난매,마무리,풀타,포졸	이사디아민염,수종이사디,밧사그란

(2) 병해충의 종류 및 특성

병해충에는 잎도열병, 이삭도열병, 잎집무늬 마름병(문고병), 벼멸구, 흑명나방, 이화명나방, 벼물바구미등이 있으며 이에 자주 사용되는 약제는 간단하게 써보면 다음과 같다 표 2-8에는 시기별 병충해 방제대상을 나타내었다.

(잎도열병) 벼 생육기간 동안 잎, 마디, 이삭목, 이삭가지, 벼알에 발생되며 특히 벼의 체질이 약한 상태에서 기상환경이 병 발생에 알맞게 지속되면 급속히 번져 상당한 피해를 주는 무서운 병이다. 자주 사용되는 약제에는 빔 수화제와 후치왕 유제가 있다.

(세균성벼알마름병) 포장외관은 적색을 띠며 이삭이 고개를 숙이지 못하고 서있는 상태이고 이삭 전체 또는 군데군데 벼알이 말라죽거나 벼알은 적색, 이삭가지등 벼알 이외의 조직은 녹색으로 되며 벼알은 담황색을 띤 담황갈색-청백색이고 현미는 갈색띠의 줄무늬가 생기고 유백색미가 되며 심할 때는 쭉정이가 된다. 발생우려지역은 예방위주로 도열병과 동시방제를 실시하며 주된 약제는 오리자, 더존, 비온 데 방제(출 수전 20-26일)등과 올타수화제(출수전 3-5일, 출수후 2-5일)가 있다.

(벼멸구, 흰등멸구) 벼멸구 전용약제 방제에는 발생상습지나 다발생지에는 멸구탄, 멸사리왕, 카보입제로 방제하며 혹명나방 발생이 많은 지역은 다갈, 확타, 밧사란으로 멸구와 동시방제를 한다.

(벼 물바구미) 성충은 벼잎을 갉아먹어 흰줄모양의 흔적을 남기며 (저온성 해충 피해와 비슷) 유충은 뿌리를 갉아먹어 벼포기가 누렇게 변하면서 잘 자라지 못하여 벼포기를 뽑아보면 쉽게 뽑히고 뿌리에 유충이 서식한다. 기계상자모는 모내기 당일 상자당 마샬60g, 카보입제80g을 살포한 후 모내기를 하며, 본논 초기에는 모낸 후 10 - 15일경에 트레본, 두레, 바구왕, 카보, 렐단, 대쉬입제 및 박멸탄 수면전개

제를 살포하고 본논 중·후기(7월 중순 - 8월 중순)방제에는 바구왕, 리바이짓드, 오후나크비유제를 살포한다.

(흑명나방) 6월-7월에 날아온 성충이 주변의 논으로 날아가 집중산란하여 발생하며 포장에 피해 잎이 1-2개 보일 때 적용약제인 파단, 쎄다, 오후나크, 에비섹트 등을 살포하고 벼멸구와 동시방제는 다갈, 확타, 밧사란을 살포한다. 흑명나방은 초기방제가 이루어지지 않으면 방제가 어려우므로 반드시 적기 방제를 하여야 한다.

Table 2-8. Damage by blight and harmful insects classified by the occurrence time

구 분	약효가 긴 입제, 수화제	일반유,분제
6월 중순 - 7월 상순	잎도열병 + 벼물바구미(저온성 해충,애멸구,이화명나방)	잎도열병 + 벼물바구미(저온성해충,애멸구,이화명나방)
7월 중순		잎도열병
7월 하순 - 8월 상순	잎집무늬마름병 + 이삭도열병 + 벼멸구(흑나방병)	잎집무늬마름병 + 이삭도열병(조생종) + 벼멸구(흑나방병)
8월 중순	이삭도열병 + 이화명나방	이삭도열병(중만생종) + 잎집무늬마름병 + 흑명나방(벼멸구,이화명나방)

다. 방제기에 적합한 약제의 등록상황

현재 쓰이고 있는 (방제기에 적합한) 약제의 제형에 따른 등록상황은 표 2-9와 같다.

Table 2-9. The information of the pesticides

구분	약제명	병명	사용적기	10a당 사용량		안전사용기준	
				약량	살포량	시기	횟수
입제	베나솔	도	이삭패기 20-30일전	4kg		출수 21일전까지	2회
	아이비	도	이삭패기 7-20일전	4kg		수확 7일전까지	4회
	테부페노자이드	이	나방많은날부터7-15일	3kg		수확 3일전까지	3회
	지오신, 그로포	이	나방많은날부터7-15일	3kg		수확 7일전까지	5회
	이소란	도	이삭패기 10-30일전	4kg		수확 7일전까지	5회
	트리졸	도	이삭패기 20일전	4kg		수확 21일전까지	4회
	파이론	도	이삭패기 10-15일전	4kg		출수 5일전까지	3회
	다수진	이	나방많은날부터 7-15일	3kg		수확 15일전까지	4회
	모노포	혹	예찰정보	4kg		수확 7 〃	5〃
	카보설판	물	육묘상에 이앙당일	60g/육묘상자		이앙당일	1〃
	에토펜프록스	물	본답초기의 성충발생성기	1kg		수확 21일전까지	3〃
	벤즈	물	육묘상에 이앙당일	80g/육묘상자		이앙당일	1〃
	칼탑	혹	나방 많은 날 7-15일	4kg		수확 7일전까지	5〃
	베나카	멸	이삭패기 15-20일전	4kg		수확 21 〃	2〃
	비피	멸	7-8월 예찰정보	4kg		수확 3일전까지	6회
액제	부라딘	도	이삭패기전 수전기	120㎖	120ℓ	수확 21일전까지	5회
	가스신	도	이삭패기전 수전기	100㎖	100ℓ	수확 14일전까지	5회
	네오진	잎	벼이삭이 패기전	91㎖	140ℓ	출수후 사용금지	2회
	바리신	잎	발병초기(7월 상순)	150㎖	150ℓ	수확 14일전까지	
	다찌밀	잘	파종전후 토양에	1㎖/상자	500㎖		
	다찌가렌	잘	파종5일전	10㎖/1평	10ℓ		

구분	약 제 명	병명	사 용 적 기	10a당 사용량		안 전 사 용 기 준	
				약량	살 포 량	시 기	횟수
분제	가스신	도	이삭패기 - 수전기	4kg		수확 14일전	5회
	라브사이드	도	출수 직전- 수전기	4kg		수확 3일전	6회
	네오진	잎	발병초기- 이삭패기전	3kg		출수후 사용금지	2회
	바리신	잎	발병초기(7월 상순)	3kg		수확 14일전	
	포리옥신디	잎	발병초기(7월 상순)	4kg		수확 14일전	3회
	디크로메진	잎	발병초기(7월 상순)	4kg		수확 15일전	4회
	다찌가렌	잘	파종전 상토에 혼합	5g/상자			
	다수진	이	나방 많은날부터 10-18일	3kg		수확 15일전	4회
	비피	멸	7-8월 예찰 정보	4kg		수확 3일전	6회
	부로피	멸	7-8월 예찰 정보	4kg		수확 7일전	3회
	피리엠	멸	7-8월 예찰 정보	3kg		수확 21일전	3회
	바비리	멸	병무늬발견 초기	3kg		수확 14〃	5〃
	가스메	이	발생초기	3kg		수확 14〃	5〃
	카드라	이	발생초기-성기까지	4kg		수확 21〃	4〃
유제	푸루토닐	잎	수잉기 발병직전	150㎖	150ℓ	수확 7일전	5회
	헥사코나졸	잎	발병초기(7월상순)부터	150㎖	150ℓ	수확 15일전	3회
	아이비	도	발병직전 발병초기	120㎖	120ℓ	수확 21일전	4회
	이소란	도	출수 직전부터 수전기	120㎖	120ℓ	수확 23일전	3회
	파프,매프	이	나방 많은날5-7일후	90㎖	90ℓ	수확 7일전	4회
	다수진, 펜치온	이	나방 많은날10-18일	90㎖	90ℓ	수확 15일전	4회
	비피	멸	7-8월 예찰	150㎖	150ℓ	수확 15일전	3회
	피리다	혹	발생초기(7-8월)	200㎖	150ℓ	수확 30일전	3회
	벤설탑	혹	발생초기(7-8월)	150㎖	150ℓ	수확 14〃	4〃
	피리다비	물	성충발생성기	150㎖	150ℓ	수확 30〃	3〃
	이소피	멸	이삭패기직전- 수전기	140㎖	140ℓ	수확 23〃	3회

구분	약제명	병명	사용적기	10a당 사용량		안전사용기준	
				약량	살포량	시기	횟수
수화제	트리졸	도	발병직전부터 7일간격	40g	80ℓ	수확 23일전까지	3회
	파이론	도	이삭패기 5일전 직전	120g	120ℓ	수확 28일전까지	
	라브사이드	도	발생우려가 있을때	120g	120ℓ	수확 21일전까지	4회
	훼림존	도	이삭패기직전 수전기	120g	120ℓ	수확 21일전까지	4회
	펜시쿠론	잎	발병초기(7월상순)부터	75g	150ℓ	수확 21일전까지	4회
	잘자바	잎	발병직전,발병초기	140g	140ℓ	출수후 사용금지	2회
	훼림존	삭	이삭패기 직전 수전기	150g	150ℓ	수확 21일전까지	4회
	훼나진	흰	못자리-수잉기까지	143g	100ℓ	수확 21일전까지	5회
	테람	흰	못자리-수잉기	100g	100ℓ	수확 14일전까지	4회
	애디졸.지오판	잘	파종직전 토양관주	0.5g/상자			
	테부페노자이드	이	나방 많은날부터 10-18일	90g	90ℓ	수확 3일전까지	6회
	부로피	멸	7-8월예찰정보	150g	150ℓ	수확 15일전까지	3회
	부로엠	멸	7-8월예찰정보	150g	150ℓ	수확 15일전까지	4회
	벤설탑	혹	발생초기(7-8월)	150g	150ℓ	수확 14 〃	4〃
	칼탑	혹	나방많은날부터 10-18일	90g	90ℓ	수확 7 〃	5〃
	지오신	혹	발생초기(7-8월)	150g	150ℓ	수확 21 〃	4〃
	하나로	멸	발병초기(7월상순)부터	140g	140ℓ	수확 21 〃	4〃

* 병명 도:도열병, 잎:잎집무늬마름병, 삭:이삭마름병흰:흰잎무늬마름병, 잘:잘록병, 이:이화명나방, 멸:멸구, 혹:혹명나방, 물:물바구미,

라. 약제의 제형과 특성

약제의 제형을 보면 입제, 액제 및 분제로 나눌 수 있는데 각각에 따른 특성을 보면 표 2-10과 같다.

Table 2-10. Characteristics of pesticide formulation

구 분	입 제	액 제	분 제
장 점	사용이 간편하다. 적은인원 작업가능 기계, 기구 불필요 가축이나 인체에 해가 적다. 약효가 길다.	약제 값이 싸다. 종류가 다양하고 조제가 쉽다. 보관 및 운반이 용이 조제농도 조절가능. 살포방법이 다양.	작업능율이 좋아 효율이 높다.
단 점	가격이 비싸다.	인체나 가축에 해가 크다. 노동강도가 세다.	바람의 영향을 많이 받는다. 비산이 크다.
가 격 (10a당) `93년기준	아이비 입제 5340원 다수진 입제 1830원	아이비 액제 634원 다수진 액제 633원	
기 타 (사용여부)	노동력이 적게쓰여 많이 사용	값이싸나 노동력 부족 때문에 사용 기피	오염 및 노동력 부족에 따라 사용안함

3. 붐방제기를 이용한 수도작의 방제 체계 개발

수도작의 방제 대상은 잡초, 병, 해충, 균으로 나누어진다. 방제횟수는 기후나 논의 특성에 따라서 달라지므로 일률적으로 방제체계를 제시할 수 없다.

잡초방제기술은 이모작지대, 단작지대, 해안과 내륙, 중부와 남부 등 지역에 따라서 또는 직파와 중묘이앙, 성묘이앙 등 재배방법에 따라서 제초체계가 매우 다양하게 존재한다. 따라서 일률적인 방제체계를 제시할 수 없으나 가장 일반적으로 통용될 수 있다고 판단되는 것을 제시한다. 따라서 직파에서는 담수직파에 있어서 체계처리를 기본으로 제시하였으며, 건답직파의 경우에는 파종 전 처리, 파종 후 처리, 입수 후 처리와 같이 3회 정도의 농약 살포가 필요하다. 후기 제초제 처리는 가급적 병해충방제와 함께 하면 생력적인 효과를 볼 수 있으므로 약제의 혼합가능 여부를 확인하여 사용한다.

병해충 방제는 기상과 매우 밀접하다. 우리 나라의 주요 병충해는 도열병, 잎집무늬마름병, 흰잎마름병 등의 병과 이화명충, 멸구, 혹명나방, 애멸구, 벼물바구미 등의 해충이 있다. 약제 중에는 두가지 이상의 원제를 섞어 동시방제를 가능하게 하는 농약도 있으나, 필요에 따라서 여러가지 약제를 혼합한다.

최근 직파재배 면적이 증가하고 있으며, 직파재배시에는 체계처리가 불가피하므로 이앙재배와 직파재배로 나누어 붐방제기 작업체계를 각각 그림 2-1과 그림 2-2에 제시하였다.

제 1차 방제	제 2차 방제	제 3차 방제	제 4차 방제
목적: 제초	목적: 잎도열병, 해충, (제초)	목적: 문고병, 이삭도열병 해충	목적: 문고병, 이삭도열병, 해충
기계: 붐방제기, 살립기	기계: 붐방제기	기계: 붐방제기	기계: 붐방제기
시기: 이앙후 7일 이내	시기: 6월하순- 7월중순	시기: 7월하순- 8월하순	시기: 8월 중순
비고: 붐방제기는 물에 희석할 수 있는 제초제만을 사용하며, 발생전 처리는 필요에 따라서 수행함. 처리 시기는 약제마다 다소의 차이가 있음.	비고: 살충제와 도열병약을 혼합하여 사용하되 필요에 따라서는 후기 제초제를 혼합사용함. 혼합가능한지를 미리 검토할 것.	비고: 처리목적이 이삭도열병인 경우에는 균등살포를 하되, 문고병인 경우에는 기부살포 실시함. 조생종으로 멸구가 일찍 발생하면 멸구약 혼용.	비고: 약제를 혼합사여 사용하되, 이삭이 팬 이후에는 기부살포를 금지함. 살충제를 사용하는 경우에는 수확전 한계 사용시기를 준수할 것.

Fig. 2-1. Pest control system for rice production with transplanting

제 1차 방제	제 2차 방제	제 3차 방제	제 4차 방제	제 5차 방제
목적: 제초	목적: 제초	목적: 잎도열병, 해충, (제초)	목적: 문고병, 이삭도열병, (벼멸구)	목적: 문고병, 이삭도열병, 해충(이화명충, 혹명나방, 벼멸구 등)
기계: 붐방제기, 살립기	기계: 붐방제기, 살립기	기계: 붐방제기	기계: 붐방제기	기계: 붐방제기
시기: 써래질후 10-25일	시기: 써래질후 40-60 일	시기: 6월하순-7월중순	시기: 7월하순-8월하순	시기: 8월 중순
비고: 붐방제기는 물에 희석할 수 있는 제초제만을 사용하며, 발생전 처리는 필요에 따라서 수행함. 처리 시기는 약제마다 다소의 차이가 있음.	비고: 중기처리 제초제는 대부분 입제로 되어 있어 붐방제기를 이용하려면 밧사그란을 살포함. 잔초의 유형에 따라서 이용.	비고: 살충제와 도열병약을 혼합하여 사용하되 필요에 따라서는 후기 제초제를 혼합 사용함. 혼합가능한지를 미리 검토할 것.	비고: 처리목적이 이삭도열병인 경우에는 균등살포를 하되, 문고병인 경우에는 기부살포 실시함. 조생종으로 멸구가 일찍 발생하면 멸구약 혼용.	비고: 약제를 혼합하여 사용하되, 이삭이 팬 이후에는 기부살포를 금지함. 살충제를 사용하는 경우에는 수확전 한계 사용시기를 준수할 것.

Fig 2-2. Pest control system for rice production with direct seeding

제 3 장 주행부 설계

제 1 절 벼의 생육에 따라 요구되는 최저지상고 검토

우리나라에서 재배되는 벼의 간장은 표 3-1에서 나타낸 바와 같이 대체적으로 65 80cm범위에 존재하며 평균 75cm정도이다. 수도작의 방제 시기는 일반적으로 출수까지를 말한다. 출수 이후에는 벼의 염실에 지장을 초래하므로 방제작업을 위하여 본논에 들어가지 않는다. 출수시의 간장은 최대치의 90%이상이 되는 때이다. 벼의 생육 자세를 살펴보면 자연상태에서는 곡선을 이루며 서 있게 된다. 그러므로 포장에서 눈으로 보는 줄기의 높이는 간장의 90%정도가 된다.

Table 3-1. Maximum length of rice plant according to species

Species	length of plants(cm)
oh-dae	77
dae-sung	66
oh-bong	64
jin-mee	74
seo-ahn	80
lipum	79
jang-ahn	75
chung-myung	71
hwa-sung	82
hwa-jin	81
seo-hae	77

붐방제기 작업시 윤거 사이에 들어가는 벼는 아래로 눌리게 된다. 전체 길이의 약 20%정도는 눌려도 벼에 큰 피해를 주지 않는 것으로 관찰되었다.

따라서 벼의 실제 초장 및 붐방제기 차륜의 침하 깊이를 고려하면 식 3-1에서와같이 최저지상고가 정해진다.

$$\begin{aligned} \text{최저지상고} &= \text{간장} \times \text{계수1} \times \text{계수2} \times \text{계수3} + \text{차륜침하깊이} \\ &= 75 \times 0.9 \times 0.9 \times 0.8 + (15 \sim 20) \\ &= 63 \sim 69(cm) \end{aligned} \qquad (3\text{-}1)$$

여기서, 계수1 = 출수 직전의 간장은 최대치의 90%

계수2 = 자연상태에서의 벼 길이는 간장의 90%

계수3 = 벼의 압축가능한 길이는 생육자세의 80%

차륜 침하 깊이 = 15 ~ 20cm

결론적으로 우리나라에서 재배되고 있는 벼들의 평균 초장, 작물의 자세, 차량에 의해 압축 가능한 작물의 길이 등을 고려할 때 수도작용 승용관리기의 최저 지상고는 64 ~ 69cm의 범위에서 확보되야 한다.

제 2 절 현 주행 장치의 적응성 검토

1. 포장 시험 개요 및 측정 방법

가. 공시 포장 작업 조건

공시 포장은 수원시 입북리 농진청 실험 포장과 서울대학교 부속 농장의 논을 선택하였다. 실험 1은 농진청 실험 포장에서 실시하였고, 실험 2, 3은 부속 농장에서 실시하였다. 실험 1의 포장에서는 포장의 균평도가 높은 편이었으나, 실험 2, 3의 포장은 균평도가 상당히 나쁜 편이었다. 표 3-2는 공시 포장의 토양 조건 및 작물 생육 상태를 보여주고 있다.

토양 함수율은 실험 포장 4 6곳을 선정하여 지표의 흙을 2cm가량 제거하고 토양을 채취하여 오븐 건조법에 의해 측정하였으며, 원추관입저항은 SR-2형 토양 저항 측정기의 원추각 30°, 길이 3cm, 저면적 2㎠의 원추를 사용하여 공시 포장의 가장자리에서 중앙으로 접근하며 5 6곳에서 측정하였으며, 원추지수는 토양 표면으로부터 관입깊이 15cm까지의 평균값을 취하여 계산하였다.

Table 3-2. Experiment condition

	Experiment 1	Experiment 2	Experiment 3
Date	7. 21	8. 3	8. 18
Soil texture	Silty clay loam	Silty loam	Silty loam
Moisture Content(%)	43	40	41
Cone Index(㎏/㎠)	5.9 ± 0.6	5.9 ± 1.3	6.4 ± 1.5
Rice variety	il-pum	il-pum	il-pum
Plant length(㎝)	40	78	100
Leafs per plant	9	14	22

나. 공시 붐방제기의 제원 및 특징

공시 붐방제기는 일본 M사의 High-Clearance 자주식 Boom Sprayer로서 주행 방식은 4륜구동(차동잠금장치부)이다. 붐은 전면

장착형이며 붐의 조작은 전동식이고 운전석에서 붐의 개폐, 붐승강이 가능하고, 포장 조건이나 작물의 생육높이에 맞추어 붐의 높이를 조절할 수 있다. 관행 방제 작업외, 소량살포, 입제살포, 고랑파기등의 작업이 가능하다.

공시 방제기의 제원은 표 3-3과 같다.

Table 3-3. Specification of self propelled boom sprayer used in Experiment

Machine name	M co. boom sprayer
Size, ㎜	3015 × 1750 × 1890
Wheel Base, ㎜	1200
Axle Base, ㎜	1350
Ground clearance, ㎜	650
Weight, ㎏	556
Rated Output, ㎰/rpm	6.6 / 1800
Driving mechanism	4WD
Turning mechanism	Front wheel steer
Transmission	Forward 6, Backward 2
Traveling speed, ㎞/h	1.0 - 9.0
Tire size, ㎜	900 × 95
Min. turning radius, m	2.8

다. 방제기 차륜의 침하 및 슬립 측정 실험

차륜의 침하 측정 실험에 앞서 우선 각 차륜의 약액량에 따른 하중분포를 측정하였다. 측정 방법은 하중 측정 대상 차륜을 압축 strain 게이지 위에 올려 놓은 후 strain을 측정하고 이를 다시 하중으로 환

산하였다. 공시 압축 strain gage는 1.25kg의 하중에 대해 1×10-6의 strain을 가지며 최대 10ton까지 측정할 수 있다. 방제기의 무게는 약액 탱크가 비었을 경우 556kg이고, 약액을 만재했을 때의 하중은 약 1ton정도가 된다. 하중은 운전자의 체중을 더한 것이다.

차륜의 침하는 직진시와 선회시를 나누어 별도로 측정하였다. 직진시에는 직진구간을 일정 간격으로 나누어 차량 궤적을 따라 깊이와 폭을 자로 측정하였다. 선회시에는 좌측의 전·후륜, 우측의 전·후륜을 구분하여 측정하였다.

슬립률은 공시 포장에서 주행시 차륜 5회전당의 주행거리를 측정하고 이를 슬립이 0인 상태의 주행거리 즉, 차륜 원주의 5배를 계산한 후식(3-2)에 대입하여 산출하였다.

$$S(\%) = \frac{l_0 - l}{l_0} \times 100 \qquad (3-2)$$

여기서, $l0 = 5\times$차륜 원주, l = 공시 포장에서의 5회전당 주행거리

라. 작물 손상 측정

공시 붐방제기는 살포폭이 10m로 포장의 새머리에서 선회 반경은 5m이다. 따라서 실험시에 5m반경에 맞춰 선회하였고, 차량 선회 궤적을 따라 가면서 직접 손상주수를 관측하였다. 손상 판정 기준은 주당 피해 포기수가 전체의 40%이하이면 경상, 40 90%이면 중상, 90%이상이면 매몰로 정의하였다.

2. 수도 포장 내에서 현 주행장치의 적응성

가. 방제기 차륜의 하중 붐포, 침하 및 슬립

방제기의 포장 실험에 앞서 전후 차륜에 대한 하중 분포를 측정하였다. 약액 탱크의 무게 변화에 대한 전후 차륜의 하중 분포 변화는 표 3-4와 같다.

표 3-4를 살펴보면 약액 탱크가 비어 있을때는 전·후륜 하중 분담비가 2 : 1이고, 약액 탱크가 반정도 채워졌을 때는 약 1 : 1이었으며, 약액 탱크 만재시는 약 1 : 1.5의 비로 나타남을 알 수 있다. 또한 전륜의 지면 하중은 약액 탱크의 하중 증가에 대해 거의 증가가 없는 반면에 후륜은 약 100kg정도씩 급격히 증가하는 것으로 나타났다.

Table 3-4. Weight distribution of boom sprayer on wheels due to tank water weight(added driver weight of 70kg)

weight distribution / fluid volume	front wheel(kg)	rear wheel(kg)	total(kg)
0(*l*)	208	104	626
200(*l*)	212	201	826
400(*l*)	217	296	1026

표 3-5는 직진시의 침하 깊이를 나타낸 것이다. 직진시의 침하 깊이는 15cm내외이며, 그림 3-1을 살펴보면 토양 깊이 15 20cm에서 토양 저항값이 큰 변화없이 비슷한 것으로 나타나고 있다. 이로 판단해 볼 때 토양 깊이 15 20cm사이에 경반이 있음을 알 수 있다. 따라서, 차륜당 최대 300kg정도의 하중으로는 경반을 파괴하지 않고 주

행이 가능한 것으로 판단되었다.

Table 3-5. Experimental result of boom sprayer wheel sinkage - straight traveling

	field 1	field 2	field 3
sinkage depth(cm)	16 ± 1.5	14 ± 2.1	16 ± 1.6
track width(cm)	10 ± 0.9	10 ± 0.6	10 ± 1.1
slip(%)	13	20	22

직진시의 평균 차륜 궤적폭은 10cm내외로서 방제기의 차륜폭인 9.5cm보다 조금 더 크다. 이는 차륜이 논토양을 가르고 주행하면서 토양이 측면으로 밀려나는 현상 때문인 것으로 판단된다.

Table 3-6. Sinkage depth and width of wheel in left turning

	Field 1		Field 2		Field 3	
	left	right	left	right	left	right
sinkage depth(cm)	16 ± 2.2	14 ± 1.5	15 ± 2.2	12 ± 2.2	15 ± 1.8	13 ± 1.8
track width(cm)	10 ± 1.4	8 ± 1.3	10 ± 1.2	8 ± 0.8	9 ± 1.1	9 ± 0.6

표 3-6에서 보면 선회시의 침하 깊이와 폭은 직진시와는 그 양상이 다르게 나타나 있다. 좌선회시 관찰한 결과 좌측 차륜의 침하 깊이가 우측 차륜의 침하 깊이보다 깊었다. 이는 차량 선회시 좌측 차륜의 슬립으로 인한 영향으로 판단된다.

차륜 궤적폭에서는 전륜이 선회한 자리 근처를 후륜이 그 옆으로 지나가면서 전륜의 궤적을 밀어 올려 전륜의 침하 깊이 및 궤적폭이 작아지는 현상이 발생하였다. 이러한 현상은 좌측 전·후륜간에서보

다 우측 전·후륜간에서 더 많이 발생하였다.

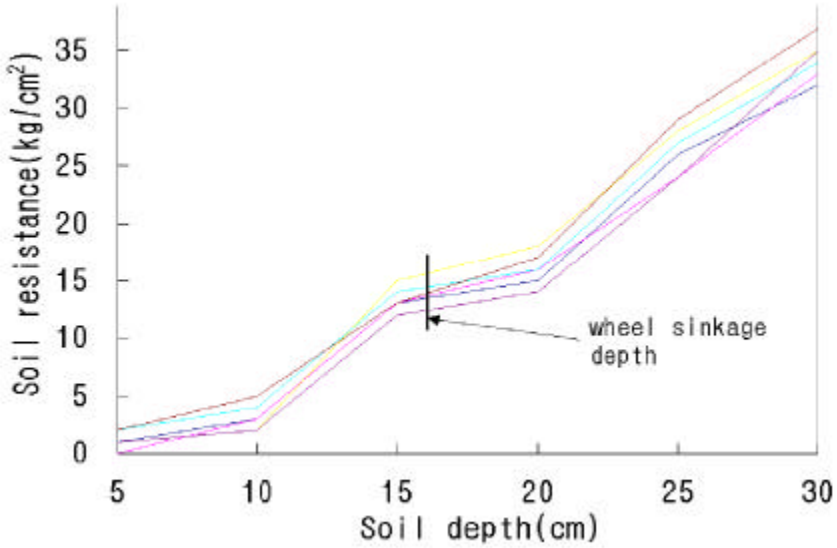


Fig. 3-1. Soil resistance of experiment field measured by cone penetrometer

그 이유는 전륜 조향형 차량의 선회 특성으로 좌측 전·후륜 궤적의 간격이 우측 전·후륜 궤적의 간격보다 넓기 때문이다. 또한, 선회시에는 직진시와는 달리 궤적이 형성된 후 밀려진 토양이 다시 궤적 안으로 함몰되는 현상이 생겼으며 이로 인해 궤적폭이 직진시보다 좁게 나타났다.

선회시 흙 밀림으로 인해 표토에 흙이 쌓이는 현상은 별로 발견할 수 없었다. 이는 토양 함수율이 높음으로 인해 토양의 점착성이 약해 토양이 차륜에 의해 밀려났다가 다시 제자리로 쓸려 들어가기 때문인 것으로 판단된다.

나. 작물 손상

직진시에는 조작자의 실수로 인하여 약 90m 직진 주행시 4 5주 정도씩 발생하였을 뿐 작물 손상이 거의 없는 것으로 판단되어, 실험당 2회의 선회에 대해서만 손상을 측정하였다. 작물 손상 정도 및 회복율은 표 3-7에 나타내었고, 이를 살펴보면 실험 1개월 후에 다시 포장을 관찰한 결과 피해주의 약 60 80%정도 다시 살아나는 것으로 파악되었으며 수확 후 감수 정도는 예년과 대비할 때 거의 없는 것으로 보아도 무방하였다. 따라서, 현 방제기의 실험 결과로 볼 때 작물 피해의 측면에서는 실험 전 예상과는 달리 큰 무리없이 방제 작업이 가능할 것으로 판단된다.

Table 3-7. Amount of damaged and recovered rice plants (unit : plant)

	Field 1	Field 2	Field 3
Turning 1	slightly injured - 0 serious injured - 29 buried - 6	slightly injured - 19 serious injured - 47 buried - 26	slightly injured - 8 serious injured - 85 buried - 30
Total damaged	35	92	123
Recovered	27 (77%)	62 (67%)	85 (69%)
Turning 2	slightly injured - 0 serious injured - 26 buried - 15	slightly injured - 22 serious injured - 36 buried - 20	slightly injured - 13 serious injured - 93 buried - 23
Total damaged	41	78	129
Recovered	33 (80%)	49 (62%)	83 (64%)

붐방제기의 포장 작업 방식은 그림 3-2와 같다. 포장의 단변이 40m일 때는 새머리에서 3회 선회 후 작업을 종료하게 된다. 단변이 10n이면 선회 회수는 n-1이다.

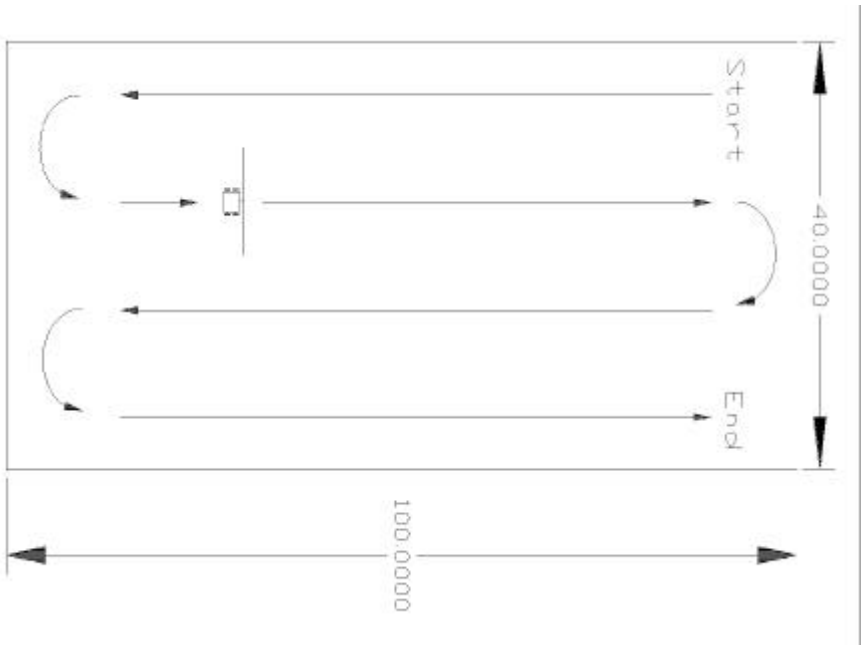


표 3-8에서 2번 포장의 결과를 기준으로 피해 주수 측정치에 선회 회수를 곱하여 포장 구획별 피해 주수 측정치를 환산하였다. 일본의 경우, 공시 방제기로 작업시 100m×40m포장의 선회부에서 피해율이 0.45%정도로 보고되었다.

Table 3-8. Ratio of damaged plants varing the field size

Field Size (m × m)	ratio of damaged plants(%)			total ratio(%)
	slight	serious	buried	
100 × 30	0.06	0.12	0.07	0.25
100 × 40	0.07	0.14	0.07	0.28
100 × 50	0.07	0.14	0.08	0.29

표 3-8에서의 피해 주수 비율은 포장 크기에 해당하는 만큼의 총 주수를 계산한 다음, 총주수로 피해주수를 나눈 값이다. 조간 30cm, 주간 15cm으로 가정하였다. 총주수는 식(3-3)과 같이 산출하였다.

$$\text{총 주수} = \text{선회구간의 작물주수} + \text{직진구간의 작물주수}$$

$$\text{선회구간의 작물주수} = (\text{선회구간의 조수}) \times (\text{단변}/0.15) \qquad (3\text{-}3)$$

$$\text{직진구간의 작물주수} = (\text{단변}/0.3) \times \{(\text{장변} - (\text{선회부길이}))/0.15)\}$$

여기서, 선회 구간의 조수 = 24조

선회부의 길이 = 7.2m

제 3 절 주행성 확보 및 작물의 손상을 최소화하기 위한 차륜 설계

1. 설계 조건 및 포장 조건에 따른 차륜 크기

가. 차륜 직경

현재 일반적인 수도포장 작업 차량은 대부분 4륜 구동을 채택하고 있으며 동력 전달 방식이 차축에서 직접 차륜으로 전달되는 방식보다는 차축으로 전달된 동력을 다시 수직동력전달축을 통하여 구동력을 발생시키는 방식을 채택하고 있다. 이 방식은 차량의 최저지상고를 높이는데 상당히 유리한 방식이며 차축 때문에 차륜의 직경을 키울 필요는 없다. 이 방식에 따라서 차량을 설계하면 차륜을 구동시킬 최종 동력 전달부는 차륜의 중심부에서 어느 정도 공간을 차지하게 된다. 이와 같은 조건에서 우선 차륜의 최소 직경을 결정짓고자 하였다. 포장에서의 침하는 대략 15 20cm정도로 관찰되었으며 차륜 최종 구동부가 차지하게 될 공간을 고려해 보면, 차륜의 직경은 최소 70cm이상이 되어야 한다.

차륜을 조향할 때 차륜의 직경이 너무 크면 조향을 위한 공간을 많이 확보해야 하므로 문제가 된다. 20° 선회각으로 선회시 차륜의 직경이 70cm일 때에 비해 직경이 100cm일 때는 약 20cm정도 더 좌우 공간을 필요로 하는 것으로 계산되었다. 이상을 고려해 볼 때 차륜의 최대 직경은 1m이하로 하여야 한다. 따라서 차륜 직경의 설계 범위는 70 100cm가 되도록 하였다.

나. 차륜 폭

현재 국내의 대부분의 수도포장은 조간을 30cm 정도로 채택하고 있다. 따라서 차륜의 최대 폭은 조간 폭 30cm을 넘어서는 안된다. 실제 포장 작업시에 차륜이 지나간 궤적폭을 보면 실제 차륜의 폭보다는 10%정도 더 넓게 나타나며, 차륜이 작물에 근접하면 작물의 뿌리

부분이 당겨져 밟히는 현상도 생긴다. 또한 작물이 성장하면 주당 지름이 10 13cm정도 되는 것으로 관찰되었다. 그러므로 차륜폭을 제외한 양쪽에 5cm내외의 clearance를 두어야 한다. 이상을 고려할 때 최대 차륜폭은 15cm정도로 하는 것이 타당할 것이다. 최소 차륜폭은 침하, 차륜 rim의 강도 확보, 차량 안정성 등을 감안할 때 5cm이상을 설계 고려 대상으로 한다. 따라서 차륜의 폭의 설계치는 5 15cm 사이에서 주행성 확보 문제와 연관하여 그 설계 범위를 결정하도록 하였다.

2. 주행성 확보 측면에서의 차륜 크기 결정

Mobility를 계산하기 위해서 Turnage(1984)의 mobility산출식을 사용하였다. 이때 사용된 parameter는 표 3-9에 나타내었으며 원추지수(CI)는 문헌 자료에서 선택하였다. 조사된 토양은 식양토(Clay loam)이고 평균 수분 함량은 30%내외였다.

Table 3-9. Parameter values to estimate mobility.

Cone index(kPa)	500
Wheel vertical load(kN)	2.943
Wheel diameter extent(cm)	70 100
Wheel width extent(cm)	5 15
Tire deflection(cm)	1
Tire height(cm)	10

차륜 설계 인자와 주행성 상수의 관계를 그림 3-3에 나타내었다. 차륜의 직경이 크고 폭이 클수록 Mobility는 2 8사이의 값을 가지면서 계속적으로 증가하고 있다. 따라서 이 값들을 직접 적용하여 차륜의 크기를 결정하는 기준으로 제시할 수는 없다. 그러므로 Mobility 값으로 견인 계수, 견인 효율, 구름 저항 계수의 변화를 살펴보고 이로써 차륜 크기를 결정하였다. 보통 경지에서 슬립의 적정 범위는 10 20%로 알려져 있으며, 이에 따라 슬립이 10, 15, 20%일 때의 주행성 상수와 각 성능 계수와의 관계를 살펴보았다.

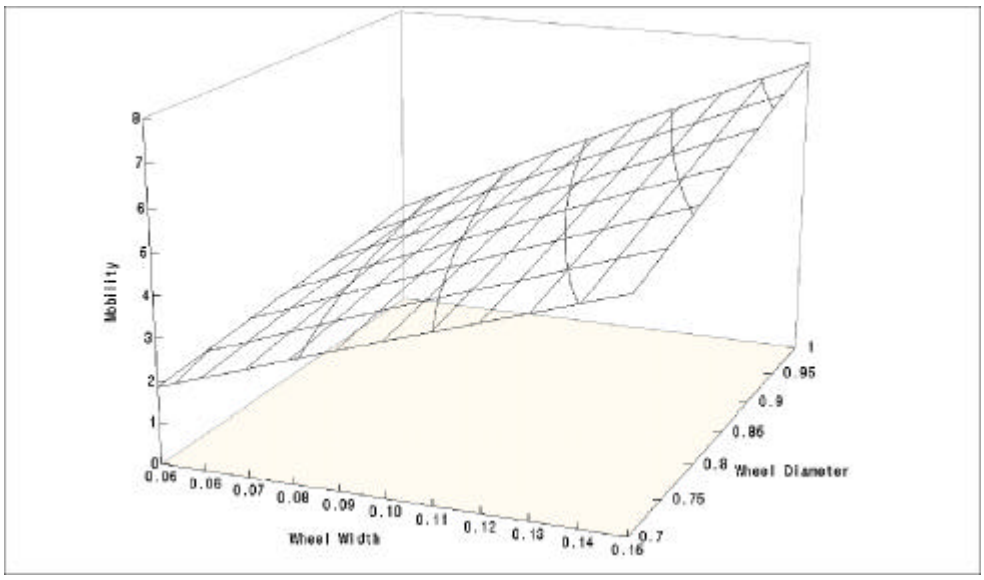


Fig. 3-3. Variation of mobility according to wheel size

슬립이 10 20%일 때 견인 계수는 주행성 상수 3 4 부근까지 급격한 증가를 보였고, 견인 효율은 주행성 상수 3부근까지 급격한 증가를 보였으며 그 이후는 주행성 상수값이 증가해도 큰 변화가 없었다. 또한 구름 저항 계수는 4부근까지 급격한 감소를 보이며 이후 큰 변화가 없다. 그러므로 견인 계수와 견인효율, 구름 저항 계수를 모

두 고려하여 주행성 상수 4이상인 차륜 직경과 폭의 조합을 선택하였다. 그 조합은 표 3-10과 같다.

Table 3-10. Reasonable extent of wheel dimension according to tractive efficiency, coefficient of traction, coefficient of rolling resistance (unit : cm)

wheel dia. / wheel width	70	75	80	85	90	95	100
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							

제 4 장 살포장치개발

제 1 절 노즐의 분무 특성 구명

1. 실험대상 공시노즐의 선정

본 연구에서 노즐의 선정은 노즐의 입경분석실험, 수평 및 수직 패턴 실험, 피복도 실험을 수행하여, 그 분석 결과를 토대로 수도작용 승용 관리기에 적합한 노즐을 선정하였다.

본 실험에 사용된 노즐의 종류는 다음과 같다.

- TP-8001-VS : Standard Flat Spray Tip (선형노즐)
- DG-110015-VS : Drift Guard Flat Spray Tip (비산조절노즐)
- TP-8001-EVS : Even Flat Spray Tip (균등선형노즐)
- TX-SS3 : Hollow Cone Spray Tip(원추공형노즐)

2. 노즐의 피복효과 및 입경 분석 실험

가. 노즐의 피복효과

입자의 크기는 입자의 운동방식, 부착효율, 피복률을 결정하는 중요한 인자이다.

피복효과는 분무입경이 작을수록 더 크다. 예를 들면, 표 4-1과 같이 200㎛의 입자가 64개의 50㎛의 입자로 나누어 질 때 50㎛의 입자는 200㎛의 입자보다 4배의 피복 효과가 있다. 즉, 같은 양의 약제를 뿌린다면 약제의 증발을 무시할 경우 분무입경이 작을수록 피복면적

률이 높아져 약비의 효과를 더 크게 낼 수 있다.

나. 노즐의 분무입경측정

Table 4-1. Spray droplet and its effect on coverage (Bode and Butler,1981)

Droplet Diameter (㎛)	Type of Droplet	Area Relative to a10㎛ Droplet	Volume Relative to a 10㎛ Droplet	No. of Droplet/cm2	Coverage Relative to 1000㎛ Droplet
				10 ℓ/ha application rate	
5	Dry fog Wet fog Misty rain Light rain Heavy rain	1/4	1/8	1524647	200
10		1	1	190581	100
20		4	8	23822	50
50		25	125	1525	20
100		100	1000	191	10
150		225	3375	56	6.7
200		400	8000	24	5
500		2500	125000	1.5	2
1000		10000	1000000	0.2	1

노즐의 분무입경측정은 농촌진흥청 기계화 연구소에 있는 입자분석기(Droplet & Particle Sizer Series 2600c, MALVERN)를 이용하였다.

표 4-2, 4-3, 4-4, 4-5는 각각 분사거리와 노즐압력의 변화에 따른 각 공시노즐의 Dv.1, Dv.5, Dv.9. Relative span을 나타낸 것이다.

Table 4-2 Droplet diameter at cumulative % of Volume and Relative Span at standard flat nozzle

Pressure kPa	Horizontal distance from spray outlet, cm											
	20				40				60			
	Dv.1 μm	Dv.5 μm	Dv.9 μm	Relative Span	Dv.1 μm	Dv.5 μm	Dv.9 μm	Relative Span	Dv.1 μm	Dv.5 μm	Dv.9 μm	Relative Span
197	68.8	132.5	255.1	1.4	74.1	160	260.7	1.2	90	180	276.7	1.0
295.5	57.8	117.2	261.2	1.7	62.5	138.2	232.8	1.2	72.4	160.7	277.8	1.3
394	53	107.7	246.3	1.8	57	128.8	223.4	1.3	64.5	148.3	261.6	1.3
492.5	51.1	105.7	241.2	1.8	54.6	120.9	215.5	1.3	60.3	144.2	257.6	1.4
591	48.2	101	228	1.8	51.9	115.9	207.8	1.3	59.7	129.1	230.1	1.3
689.5	45.4	97.3	227	1.9	52.2	109.1	182.7	1.2	56.1	123.2	201.9	1.2

Table 4-3 Droplet diameter at cumulative % of Volume and Relative Span at even flat nozzle

Pressure kPa	Horizontal distance from spray outlet, cm											
	20				40				60			
	Dv.1 μm	Dv.5 μm	Dv.9 μm	Relative Span	Dv.1 μm	Dv.5 μm	Dv.9 μm	Relative Span	Dv.1 μm	Dv.5 μm	Dv.9 μm	Relative Span
197	62.6	116.4	229	1.4	66.1	152.3	262.9	1.3	74.4	165.4	278.4	1.2
295.5	54.6	104.9	218.2	1.6	59.8	137	242.2	1.3	65.9	142.8	251	1.3
394	51	99.6	216.1	1.7	55.9	126.4	226.5	1.3	60.9	134	240.5	1.3
492.5	47.8	94.5	213.7	1.8	52.2	119.1	197.7	1.2	58.6	126.9	229.9	1.3
591	45.1	91.7	216.4	1.9	50.3	113	209.6	1.4	55.8	122.8	220.9	1.3
689.5	42.4	88.8	215.2	1.9	48.1	106.1	197.3	1.4	53.4	120.2	199.2	1.2

Table 4-4 Droplet diameter at cumulative % of Volume and Relative Span at drift guard nozzle

	Horizontal distance from spray outlet, cm											
	20				40				60			
Pressure kPa	Dv.1 ㎛	Dv.5 ㎛	Dv.9 ㎛	Relative Span	Dv.1 ㎛	Dv.5 ㎛	Dv.9 ㎛	Relative Span	Dv.1 ㎛	Dv.5 ㎛	Dv.9 ㎛	Relative Span
197	78.3	163.2	337.5	1.6	83.6	195.4	305.7	1.1	94.6	236.3	383.1	1.2
295.5	65.7	142.9	315.2	1.7	71.2	174.2	302.6	1.3	83.9	199.2	293.6	1.1
394	61.2	138.2	316.4	1.8	67.6	160.3	294.2	1.4	74.1	186.9	275.5	1.1
492.5	58.8	134.5	311.8	1.9	63.2	153.1	285.9	1.5	64.8	164.5	260	1.2
591	56	132.1	305.9	1.9	63.3	151.7	281.6	1.4	63.9	159.4	254.3	1.2
689.5	55.1	126.8	283.5	1.8	61.1	146.9	279.3	1.5	61.9	149.5	247.3	1.2

Table 4-5 Droplet diameter at cumulative % of Volume and Relative Span at hollow cone nozzle

	Horizontal distance from spray outlet, cm											
	20				40				60			
Pressure kPa	Dv.1 ㎛	Dv.5 ㎛	Dv.9 ㎛	Relative Span	Dv.1 ㎛	Dv.5 ㎛	Dv.9 ㎛	Relative Span	Dv.1 ㎛	Dv.5 ㎛	Dv.9 ㎛	Relative Span
197	65.9	130.1	200.2	1.0	69.1	170.2	266.9	1.2	65.6	199.3	299.7	1.2
295.5	59.4	104.8	173.2	1.1	55.3	140.6	235.9	1.3	45.8	125.2	249.2	1.6
394	46.4	99.1	162.2	1.2	48.6	122.1	207.4	1.3	39.9	101.7	228.1	1.9
492.5	45.4	87.2	145.7	1.2	47.8	116.4	178.3	1.1	34.3	83.9	209.4	2.1
591	40.1	81.6	137.7	1.2	47.1	110.3	165.3	1.1	32.7	81.6	201.3	2.1
689.5	39.1	78.1	132.4	1.2	47.2	103	158.5	1.1	30.3	73.8	190.4	2.2
788	33.7	75.8	129.1	1.3	44.1	97.7	155.6	1.1	29.8	74.1	179	2.0

선형노즐, 균등선형노즐, 비산조절노즐, 원추공형노즐 모두 Dv.5의 값이 100 200㎛사이의 매우 작은 입경분포를 나타내었다. 비산조절노즐은 상대적으로 입경이 크며, 원추공형노즐은 입경이 작은 편이나

살포거리가 60cm일 때 상대적으로 높은 span값이어서 균일도가 떨어졌다. 선형노즐과 비산조절노즐의 입경은 각각 100 180㎛, 127 230㎛ (VMD)로 측정되었고, 스팬값은 분사거리 20cm정도의 근접살포에서 상대적으로 높게 나타났다. 균등선형노즐은 입경이 90 165㎛로 측정되었고, 스팬값은 분사거리가 20cm일 때 상대적으로 높게 나타났다. 원추공형노즐은 입경이 80 160㎛로 측정되었으며, 스팬값은 분사거리가 20cm일 때 상대적으로 작게 나타나 근접살포시에도 피복성이 우수한 것으로 판명되었다. 하지만 분사거리 60cm정도의 원거리살포에서 도달성 및 피복성에 문제가 있는 것으로 나타났다.

3. 노즐의 분무유형

가. 수평살포시의 분무유형(spray pattern) 실험

(1) 실험장치

노즐의 수평살포시의 분무유형을 측정하기 위하여 그림 4-1과 같이 150cm×120cm의 분무수집대위에 골 간격(pitch)이 3.25㎝인 sun light를 설치하였다. 분무량 수집을 위해 직경 5㎝, 높이 6.5㎝인 용기 20개를 골간격 2칸마다 설치하였다. 노즐분무대는 20㎝간격으로 3개의 구멍을 뚫어 높이를 조절할 수 있도록 하였으며, 분무량 측정에는 stop watch와 매스실린더(100㎖)를 사용하였다.

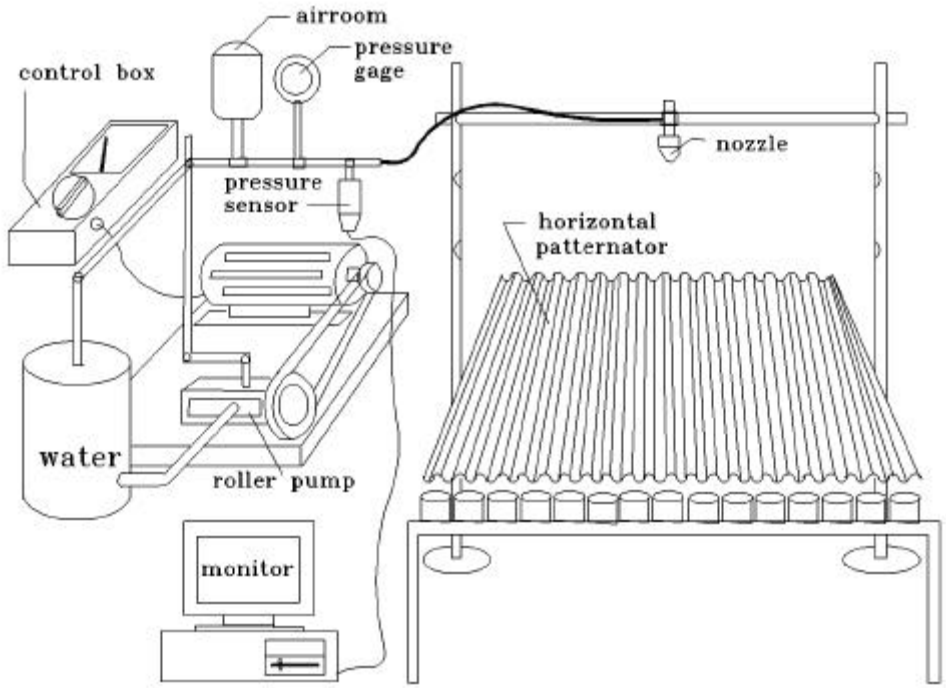


Fig. 4-1 Experimental device for horizontal spray patternator

(2) **실험방법**

압력은 표 4-6과 같이 각 노즐에 요구되는 압력범위 내에서 5 수준으로 설정하였다.

Table 4-6 Pressure level for horizontal spray pattern

Nozzle type	Tip No.	Pressure, kPa				
Standard Flat	TP-8001-VS	196.2	245.3	294.3	392.4	490.5
Even Flat	TP-8001-EVS	147.2	196.2	245.3	294.3	343.4
Drift Guard	DG-110015-VS	196.2	245.3	294.3	392.4	490.5
Hollow Cone	TX-SS3	294.3	490.5	588.6	686.7	784.8

각 노즐에 대하여 각각의 압력 수준마다 20㎝, 40㎝, 60㎝ 의 높이에서 분무수집대를 향하여 1분간 분사시킨 후, 골간격 2칸마다 설치한 용기에 수집된 유량을 매스실린더로 측정하였다.

나. 수직살포시의 분무유형 실험

(1) 실험장치

노즐의 수직살포시의 분무유형을 측정하기 위하여 그림 4-2와 같이 180cm×120cm의 아크릴 판에 150cm×10cm 알루미늄판 16개를 6.5cm 간격으로 10°경사지게 배열한 후, 접착제와 테이프로 알루미늄판 사이를 밀봉하였다. 분무량을 수집하기 위해 직경 5cm, 높이 4cm인 용기 16개를 알루미늄판 사이에 설치하였으며, 수집 용기 받침대는 아래위에 경첩을 설치하여 수집과 측정을 용이하게 하였다.

(2) 실험방법

압력은 표 4-7과 같이 각 노즐에 요구되는 압력범위 내에서 3 수준을 설정하였다.

Table 4-7 Pressure level for vertical spray pattern

Nozzle type	Tip No.	Pressure, kPa		
Standard Flat	TP-8001-VS	196.2	294.3	490.5
Even Flat	TP-8001-EVS	147.2	245.3	441.5
Drift Guard	DG-110015-VS	196.2	294.3	490.5
Hollow Cone	TX-SS3	294.3	490.5	686.7

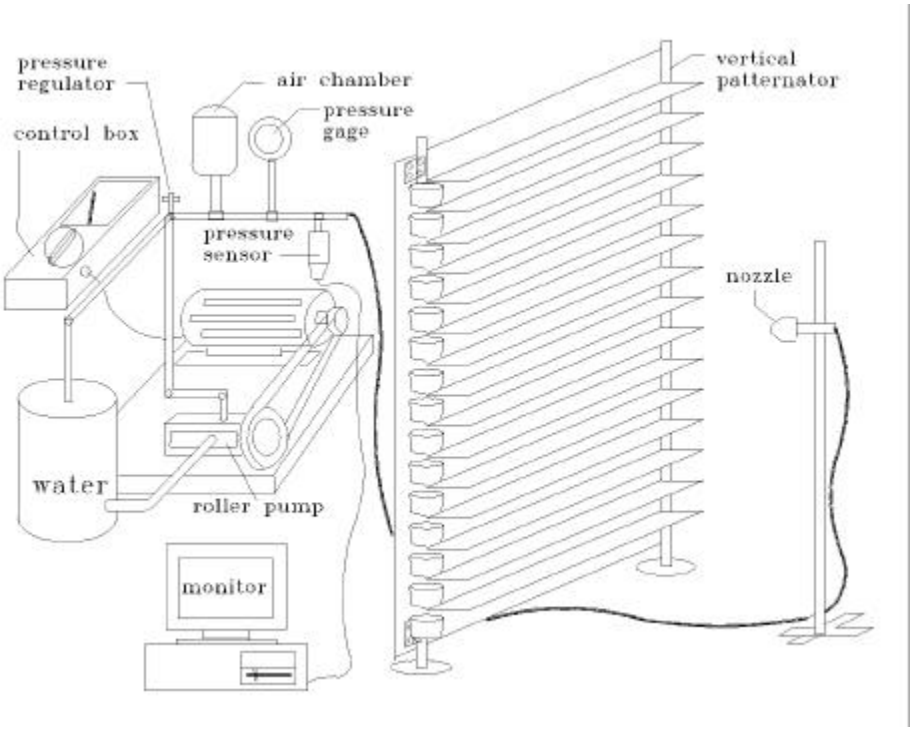


Fig. 4-2 Experimental device for vertical spray patternator

각 노즐에 대하여 각각의 압력 수준마다 20㎝, 40㎝, 60㎝ 의 분사거리서 분무수집대를 향하여 1분간 분사시킨 후, 골 간격마다 설치한 용기에 수집된 유량을 측정하였다.

다. 실험결과

각 노즐별 수평 및 수직분무유형실험 결과는 그림4-3, 4-4, 4-5, 4-6과 같다. 각 노즐별로 왼편은 수평분무유형실험결과이며, 오른쪽은 수직분무유형실험결과이다. 그리고 위에서부터 차례로 노즐로부터의 거리가 20cm, 40cm, 60cm일 때의 분무유형을 나타내고 있다.

(1) **선형노즐의 분무유형**

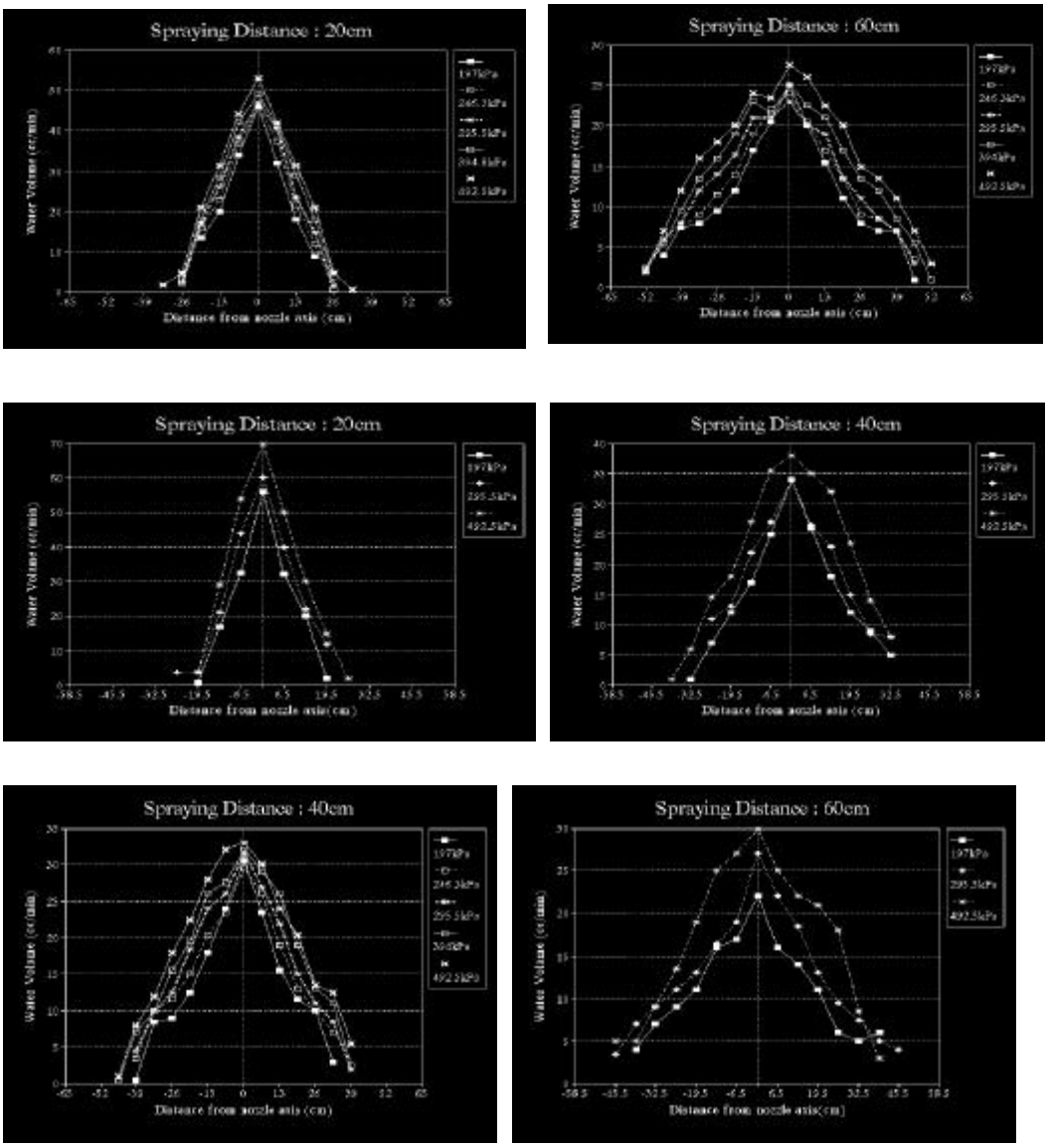


Fig. 4-3 Spray pattern for standard flat nozzle at three spraying distance (left : horizontal, right: vertical)

(2) **균등선형노즐의 분무유형**

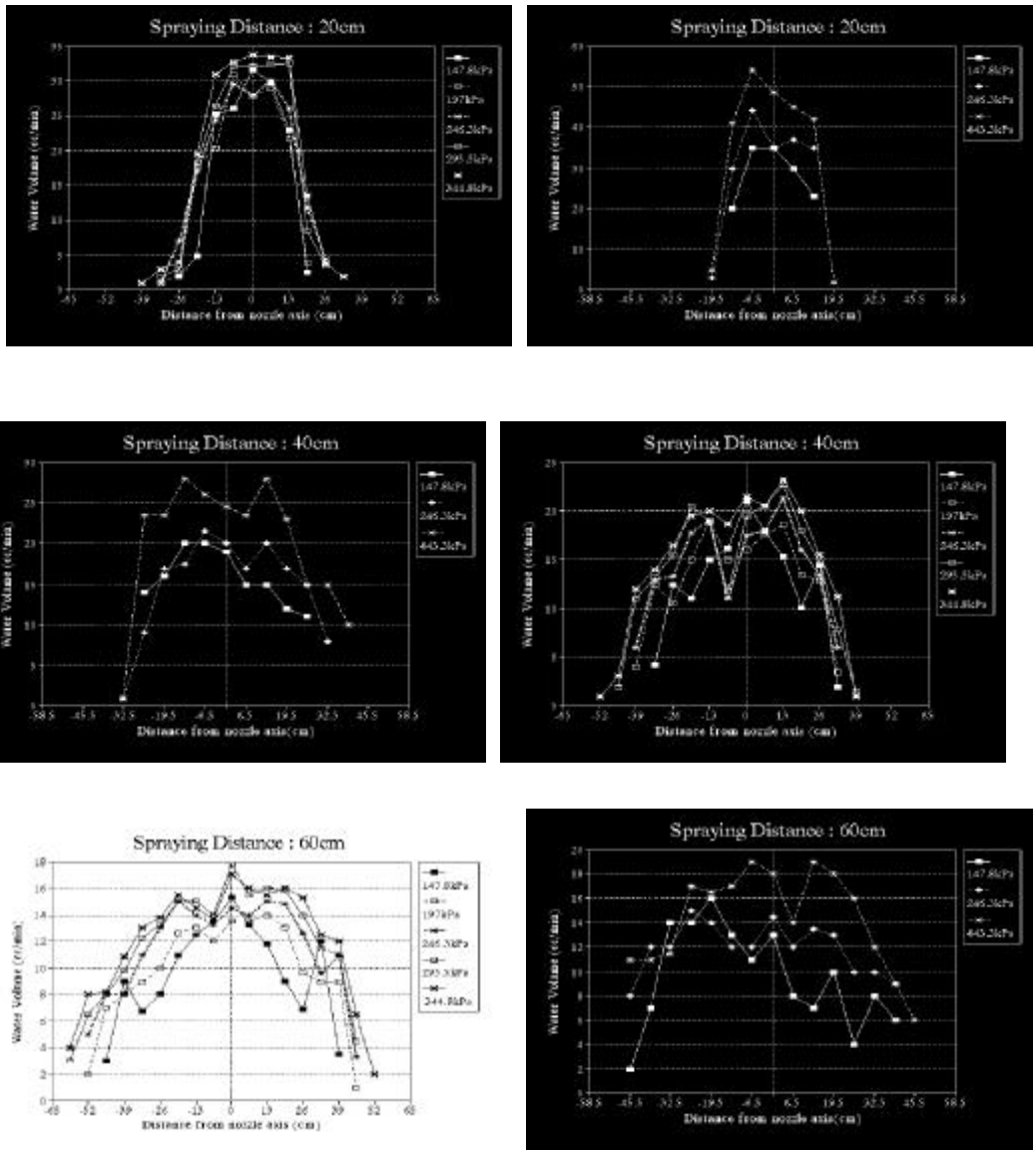


Fig. 4-4 Spray pattern for even flat nozzle at three spraying distance (left : horizontal, right: vertical)

(3) **비산조절노즐의 분무유형**

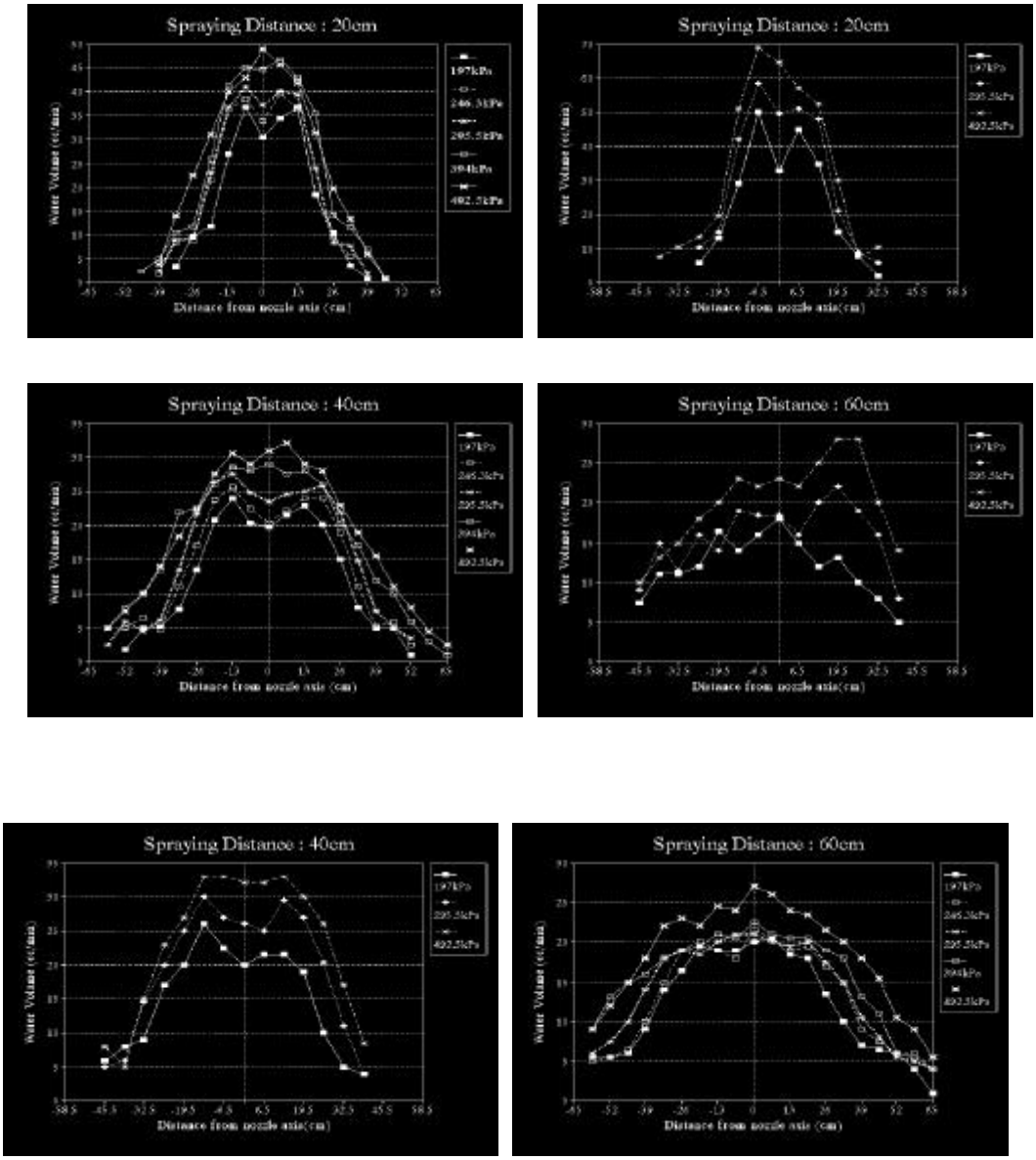


Fig. 4-5 Spray pattern for drift guard nozzle at three spraying distance (left: horizontal, right: vertical)

(4) **원추공형노즐의 분무유형**

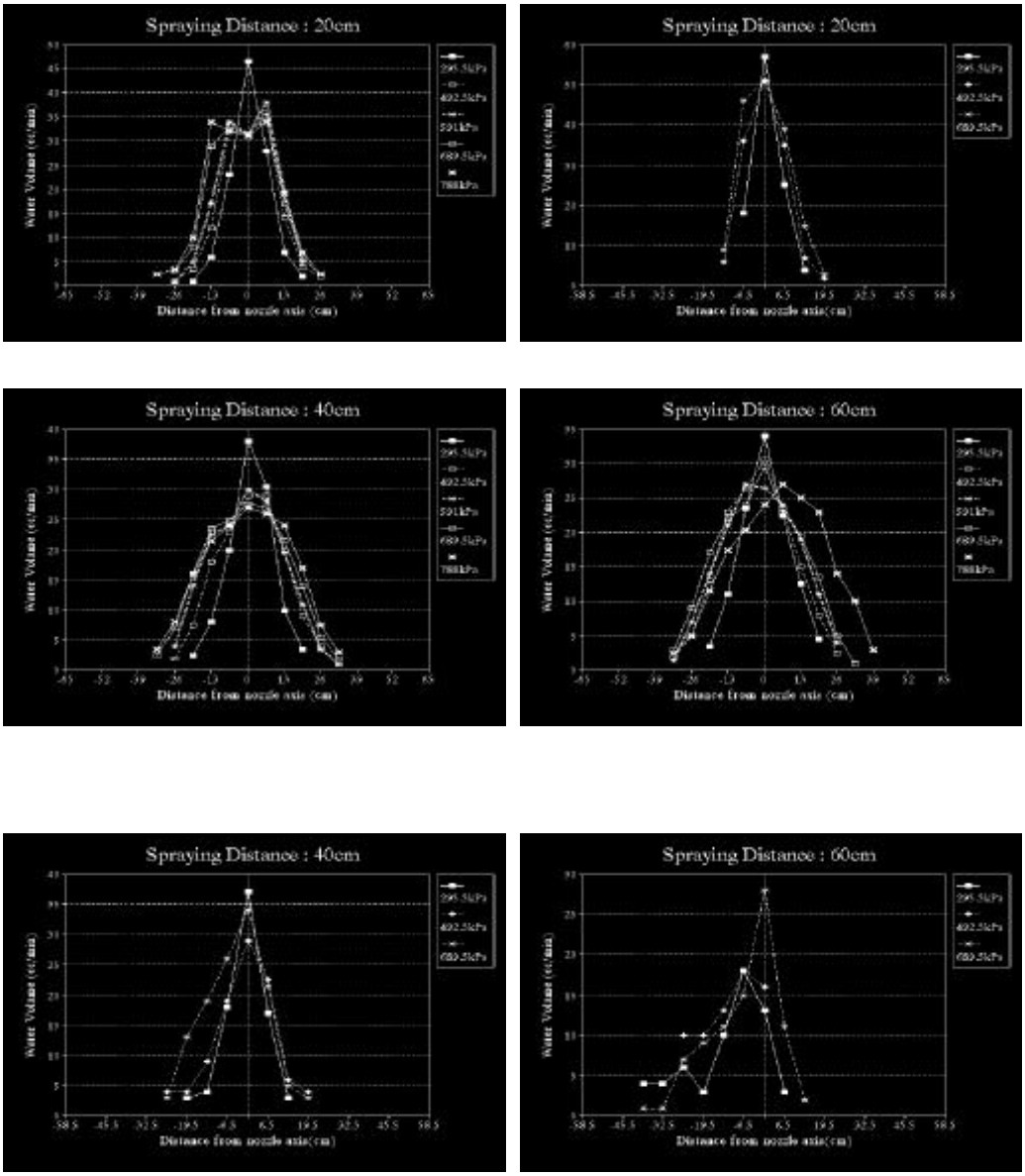


Fig. 4-6 Spray pattern for hollow cone nozzle at three spraying distance (left: horizontal, right: vertical)

각 그림에 나타난 바와 같이, 노즐의 분무유형은 수평살포 및 수직살포시 공히 살포중심부근에서는 분무액이 집중되고 살포중심에서 멀어지면서 분무액은 점차 감소하는 경향을 보였으며 노즐형태, 분사거리, 분사방향(수평, 수직)에 따라 크게 차이가 나는 것으로 나타났으나 노즐의 분사압력은 살포량에는 영향을 주었지만 분무유형에는 별 영향을 미치지 않았다.

수평살포시의 분무유형은 모든 노즐이 살포중심을 축으로 대칭 되는 살포형태를 나타냈으며, 분사거리를 멀리할수록 살포영역이 넓어지면서 고르게 살포되는 경향을 나타내었다.

수직살포시의 분무유형은 모든 노즐이 살포중심을 축으로 아래쪽으로 살포되는 양이 더 많아 살포형태가 비대칭이 되었는데, 이러한 현상은 분사거리를 멀게 할수록 더욱 커졌다. 이는 수직 살포시에는 중력이 작용하여 분무입자가 아래로 떨어지기 때문인 것으로 판단되었다.

노즐의 살포형태를 구체적으로 살펴보면 선형노즐과 비산조절노즐의 경우(그림 4-8, 그림 4-10)에는 살포형태가 산모형으로 나타나 살포의 중첩을 통하여 살포하는 방식인 전면살포에 유리한 것으로 판단되었다. 또한, 비산조절노즐의 살포형태가 선형노즐에 비해 살포영역이 넓은 경향을 나타내었는데 이는 분사각이 비산조절노즐이 110°로서 80°인 선형노즐보다 더 크기 때문인 것으로 판단되었다.

균등선형노즐과 원추공형노즐은 (그림 4-9, 그림 4-10) 살포중심을 축으로 살포형태가 고르게 나타나 대상살포 및 기부살포에 적합할 것으로 판단되었다. 다만 원추공형노즐은 노즐압력이 294.3kPa일 때와 수직 살포시 분사거리가 60cm일 때는 분무입자가 제대로 도달하지 못하여 매우 불균일한 살포형을 나타냈다. 이는 원추공형노즐은

다른 노즐에 비해서 상대적으로 고압의 상태에서 살포하고, 분사거리를 40cm이하로 하는 고압·근접살포용으로 이용하는 것이 적합한 것으로 판단되었다.

제 2 절 균일 살포를 위한 노즐의 배치

본 연구에서는 전면살포시 선형노즐과 비산조절노즐의 분무유형 측정치를 이용하여 노즐간격을 바꾸었을 때, 노즐압력과 분사거리가 살포의 균일성에 어떠한 영향을 미치는가를 시뮬레이션을 통하여 분석하고자 하였다. 시뮬레이션은 노즐간격을 조절하여 그 때의 중첩에 따른 C.V값의 변화를 산출하므로써 균일성을 평가하였다.

1. 중첩에 의한 균등도의 향상

그림 4-7에는 분무압력이 294.3kPa, 분사거리가 40cm인 선형노즐을 중첩률을 0%, 20%, 50%로 하였을 때 살포형이 변하면서 균등도가 향상되는 것을 나타내고 있다.

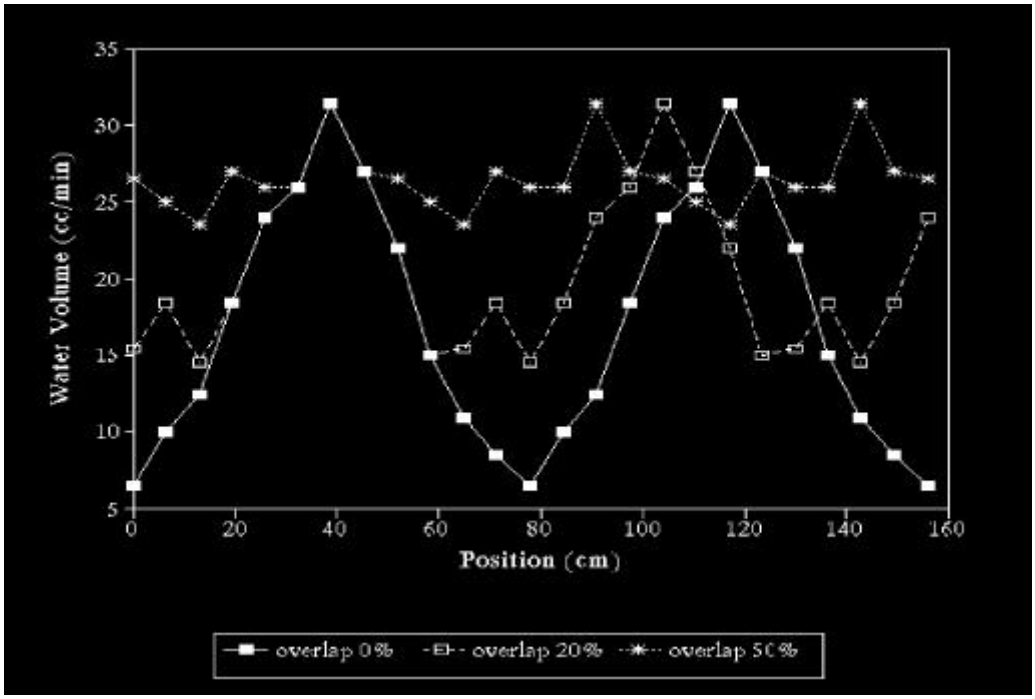


Fig. 4-7 Improvement of C.V by nozzle spacing overlap effect

2. 시뮬레이션 결과 및 분석

가. 분사 높이의 효과

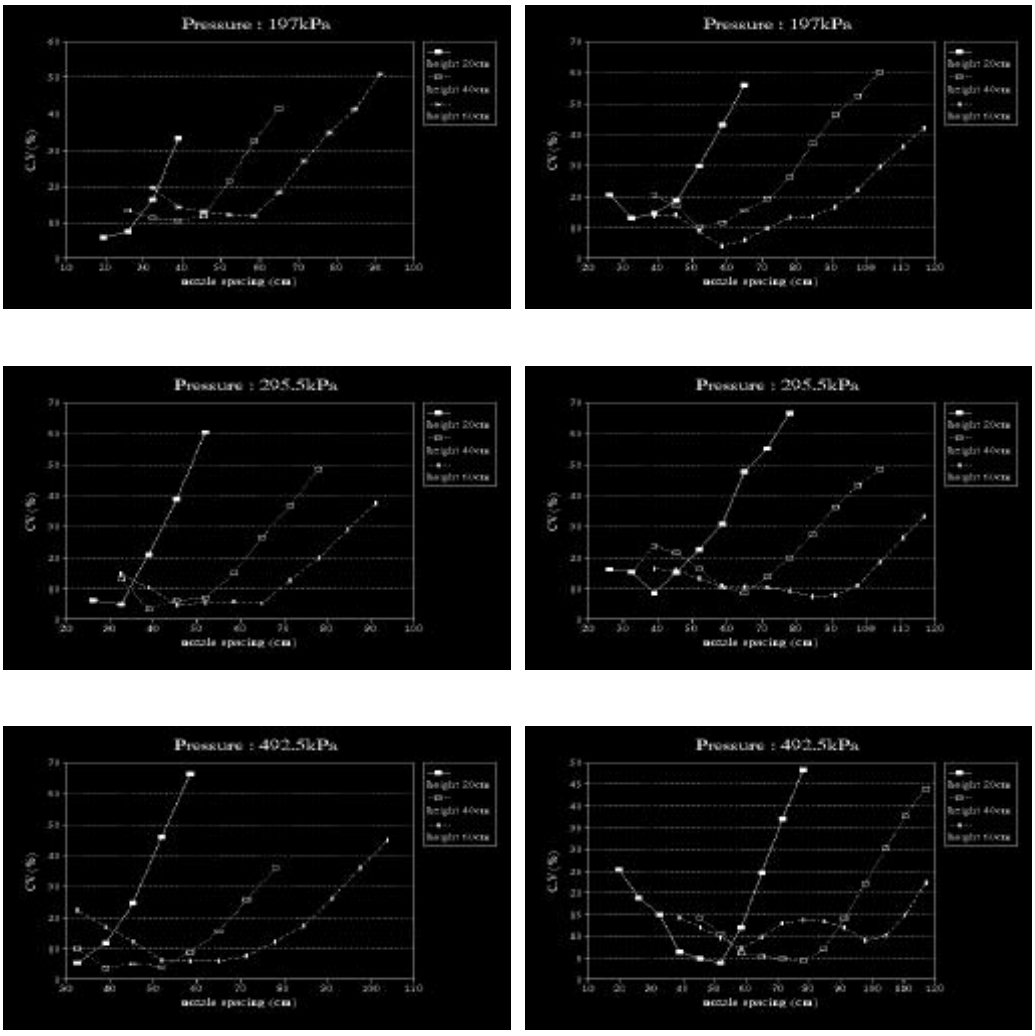


Fig. 4-8 Variations of C.V according to spray height in each nozzle

그림 4-8에 나타난 바와 같이 분사높이가 높아짐에 따라 균등한 살포가 이루어졌다. 즉, 분사거리를 멀리하면 상대적으로 저압으로 분사하면서 노즐간격을 늘려도 균등한 살포에 무리가 없음을 알 수 있

었다.

나. 압력의 효과 (Pressure Effect)

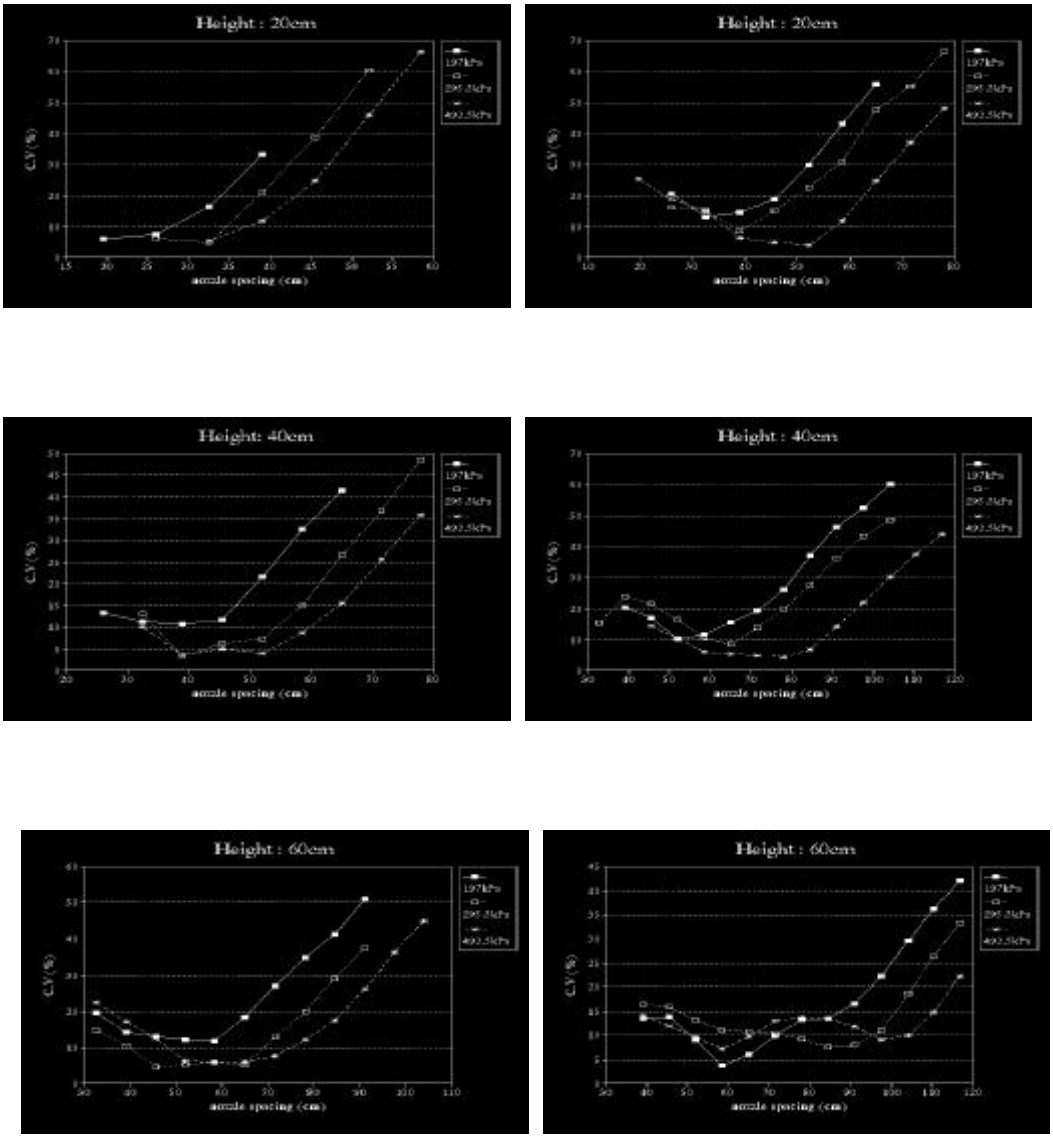


Fig. 4-9 Variations of C.V according to spraying pressure at each nozzle

그림 4-9에 나타난 바와 같이 압력이 증가할수록 균등한 살포가 이루어졌다. 이러한 결과는 고압에서는 액체의 출구속도가 증가하면서 분사각이 커져서 살포형이 균일하게 되기 때문인 것으로 판단되었다. 따라서 압력을 높게 하면 상대적으로 분사거리를 가깝게 하면서 노즐간격을 늘려도 균등한 살포가 이루어짐을 알 수 있었다.

다. 균일 살포를 위한 노즐간격 및 분사높이의 결정

그림 4-8 , 4-9에서 나타난 결과를 종합하면, 두 노즐 모두 살포높이와 분사압력이 클수록 균일한 살포가 이루어짐을 알 수 있었다. 또한, 균일 살포를 위한 노즐간격은 분사각이 110° 인 비산조절노즐이 80° 인 선형노즐보다 더 넓게 나타났다. 이는 노즐간격을 늘려서 노즐을 설치할 경우에는 분사각이 큰 노즐을 사용하는 것이 균일 살포를 위해서는 더 유리하다는 것을 뜻한다.

Table 4-8 Nozzle spacing and overlap rate for C.V≷15%

Nozzle Type	Tip No.	pressure kPa	Nozzle Spacing,cm (overlap rate,%)		
			spray height, cm		
			20	40	60
Standard Flat	TP8001VS	197	20 26 (50 100)	26 46 (43 150)	39 59 (56 133)
		295.5	26 33 (60 100)	33 52 (50 140)	33 72 (27 180)
		492.5	33 39 (67 100)	33 59 (33 140)	46 78 (33 129)
Drift Guard	DG110015VS	197	33 39 (67 100)	52 59 (78 100)	39 85 (38 200)
		295.5	39 (100)	59 72 (46 78)	52 98 (20 125)
		492.5	33 59 (33 140)	46 91 (29 157)	39 111 (6 200)

문헌(Azimi, 1983)에 의하면 C.V값이 10%이하이면 매우 균일한 살포형을 갖고 15%이하이면 만족스러운 균일 살포형을 갖는다고 하였으므로, 본 연구에서는 C.V값 15%이하를 균일 살포의 기준으로 하였다.

표 4-8에 C.V값이 15%이하일 때의 노즐간격 및 그 때의 중첩률을 나타내었다.

표에 나타난 바와 같이 균일살포를 위한 노즐간격은 압력과 분사높이에 비례하여 넓어진다.

그러나, 노즐간격은 살포의 균일성뿐만 아니라, 작업의 효율성 측면에서 결정되어지는 단위면적당의 살포량도 함께 고려하여 결정해야 한다. 즉, 같은 압력으로 살포할 경우, 노즐간격에 따라 단위면적당의 살포량이 달라지므로, 앞에서 결정한 ha당 200ℓ의 살포량을 기준으로 했을 때 결정되는 노즐간격의 범위와 균등도를 기준으로 했을 때 결정되는 노즐간격의 공통범위를 적정노즐간격으로 결정해야 한다. 이와 같은 방법으로 결정된 각 노즐의 적정한 노즐간격과 분사높이를 표 4-9에 나타내었다.

Table 4-9 The effective nozzle spacing and spray height of each nozzle

Nozzle Type	Tip No.	spray angle	pressure, kPa	nozzle spacing cm	spray height cm
Standard Flat	TP8001VS	80°	197	40	40 60
			295.5	50	40 60
			492.5	65	40 60
Drift Guard	DG110015VS	110°	197	55	40 60
			295.5	70	40 60
			492.5	96	40 60

제 5 장 동력전달부 설계

제 1 절 펌프소요 동력

붐방제에 필요한 동력은 적절한 수압과 유량으로 노즐에 약액을 공급하는 펌프를 구동시키는 동력이다. 본 연구에서 설정한 펌프는 롤러펌프로서 사양은 표 5-1과 같다.

Table 5-1 The specifications of the roller pump

Type	Roller pump , Hypro co. USA Series 7560 (8-roller pump) : counter-clockwise
Max. flow rate	22GPM (83.279l/min)
Max. pressure	300PSI(20.675bar =2067kPa)
Max. rpm	1000

제 4 장의 살포장치에서 밝힌 펌프의 운전조건은 300kPa 600kPa의 압력범위에서 회전수 350rpm이다. 이러한 조건에서 펌프의 구동동력은 전기모터로서 롤러펌프를 구동하여 전기모터에 소모되는 동력을 적산적력계로서 측정하였다. 실험 결과는 표 5-2와 같다. 표 5-2를 보면 압력이 증가하면서 유량이 감소하였고, 운전조건 내에서의 동력은 0.3 0.9ps(0.22 0.66kW)의 범위에 있다. 그러므로 펌프를 구동하기 위한 동력은 0.7kW 즉 1마력 정도이면 충분하다.

Table 5-2 Flow rate and required power of the tested pump in the condition of optimum operation

Pressue kPa	Roller (350rpm)		
	flow rate ℓ/min	power ps	eff. %
98.1	-	-	-
117.7	25.4	0.31	20.1
147.2	24.3	0.33	24.3
166.8	-	-	-
196.2	23.1	0.37	27.8
245.3	21.1	0.41	28.6
294.3	20.6	0.45	30.4
343.4	19.4	0.52	29.2
392.4	19.5	0.53	32.7
441.5	17.9	0.61	29.4
490.5	17.9	0.64	31.1
539.6	15.9	0.72	26.9
588.6	15.4	0.84	24.5

제 2 절 동력전달체계

승용관리기의 동력전달체계는 그림 5-6 과 같이 소형 경량의 가솔린 엔진을 탑재한BSA-410 붐 방제기를 본체로하여, 붐 스프레이어와 입제 살포기를 부착할 수 있도록 설계하였다.`

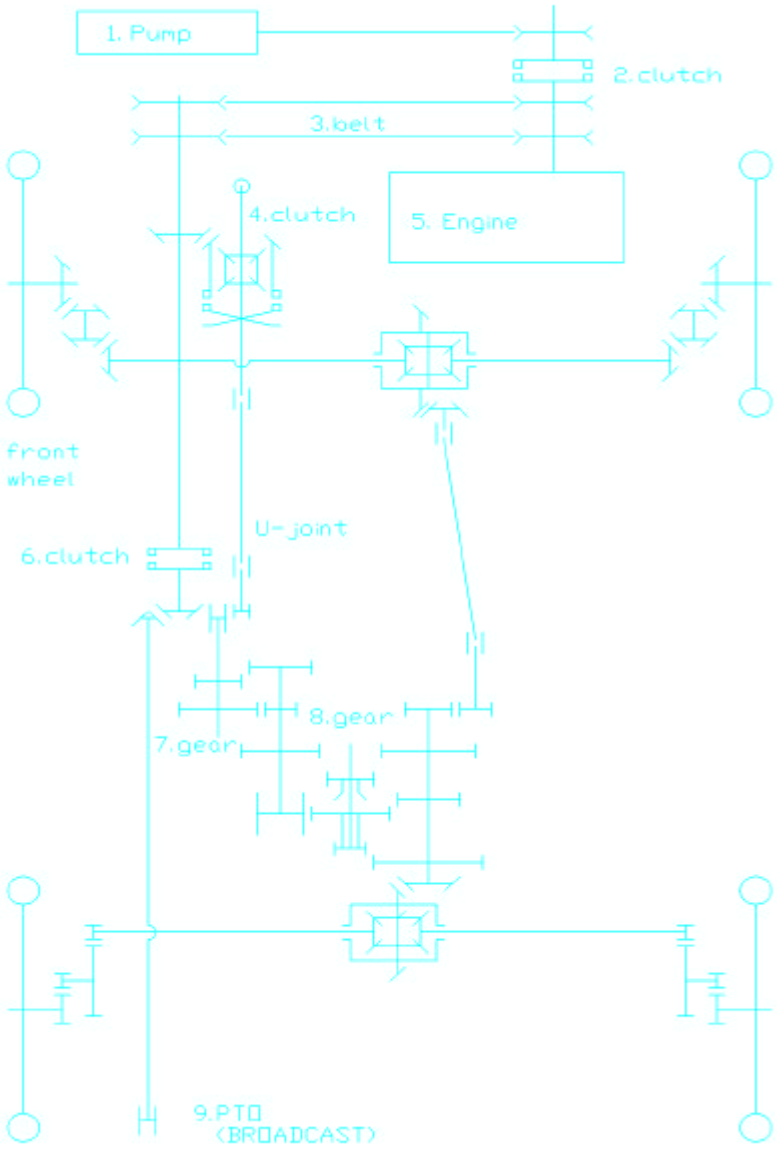


Fig. 5-6 Power driving system of the multipurpose boom sprayer

공시기로 사용되는 BSA-410 방제기의 전반적인 제원은 3장에서 나타냈으나 엔진 및 주행부의 구체적 제원을 표 5-4에 나타내었다.

Table 5-4 The specifications of the engine and wheel of the tested machine BS-410

형 식			BSA-410	
엔 진	명칭		GH280-GS-M	
	형식		공냉 4 싸이클	
	총배기량(cc)		274	
	정격출력(PS/rpm)		6.6/1800	
	최대출력(PS/rpm)		9.5/2000	
	연료탱크용량		6	
	시동방식		시동모터 스타터	
주 행 부	형식		자주식 4륜구동형	
	조향장치		원형핸들	
	변속단수		전진6단, 후진2단	
	주행속도 Km/h ():최고		L	H
		1단	1.3	(3.3)
		2단	2.1	(5.6)
		3단	3.2	(8.5)
		R	2.4	(6.7)
	클러치		건식다판식	
	브레이크(주차용 부착)		건식내부확장기계식	
	타이어(전,후)		AGS 3.00-28(공기압 kgf/cm2)	
	밧데리		36B20L	
약액탱크용량(ℓ)			400	

현재 공시기로 쓰이는 BSA-410의 동력전달 체계를 보면 액체살포에 필요한 펌프동력은 엔진으로부터 V벨트를 써서 얻는데 조작판넬

에 있는 스위치 ON-OFF시킴으로써 단락할 수 있도록 되어있다. 주행에 필요한 동력은 엔진으로부터 V벨트 2개를 써서 동력을 전달 받는데 페달식 클러치를 이용해 동력을 단락할 수 있도록 되어있다. 주행부 구동방식은 엔진으로부터 나온 동력이 클러치와 U-조인트를 통해서 후륜으로 전달되었다가 기어를 거쳐 다시 U-조인트를 통해서 전륜으로 전달되는 4륜 구동식이다.

본 연구에서 개발하고자 하는 승용관리기는 공시기의 동력전달 체계에 입제 살포장치를 위한 PTO를 설치하고, 3장에서 선정한 롤러펌프를 쓸 수 있도록 하였다.

구체적으로 살펴보면 엔진(5번)으로부터 V벨트 2개를 써서 주행부로 동력을 전달하며 전달된 동력은 4.번 클러치(페달형으로 공시기와 마찬가지로 운전자의 좌측다리 밑에 설치한다)를 이용해서 단락할 수 있다.

펌프의 경우, 붐의 위치가 전방에 있으므로 호스에 의한 압력강하를 줄이기 위해 펌프를 전방에 설치하며 공시기와 마찬가지로 엔진으로부터 1개의 V벨트를 써서 동력을 전달받는데 2번 클러치(스위치식으로 조작 패널 우측에 설치한다)를 이용해서 단락할 수 있도록 하였다. 포장에서의 방제 작업시 정지 상태에서도 약제를 살포할 경우가 있으므로 주행부 클러치와 독립적으로 펌프 클러치를 설치하였다.

입제 살포기의 경우, 진행하면서 입제를 살포하므로 관리기 뒤쪽에 설치하고 동력은 엔진으로부터 V벨트 2개를 써서 전달받는데 6번 클러치(수동식으로 운전자의 좌석 좌측에 스틱으로 설치)를 써서 PTO축에 연결하였다. 클러치의 위치는 입제 살포기도 액체살포기와 같이 포장작업시 정지 상태에서 입제를 살포할 경우가 있으므로 클러치를 주행부와 독립적으로 설치하였다.

제 6장 붐 설계 및 제작

제 1 절 배관부

살포장치의 배관부는 그림 6-1과 같다.

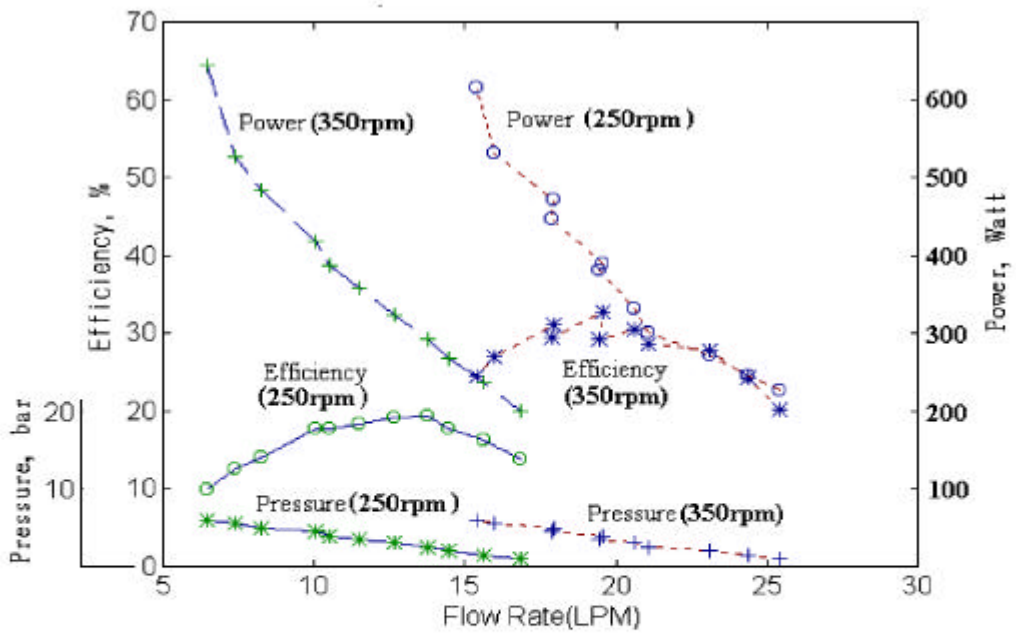
Figure 6-1. Plumbing diagram of boom sprayer

기부살포노즐로서 원추공형노즐(Hollow cone nozzle, Spraying system co. TX-SS3)을 사용하였고, 전면살포노즐로서 선형노즐

(Flat fan nozzle, Spraying system co. 11001VS)을 사용하였다. 펌프는 롤러펌프로서 300rpm으로 작동되고, 실험시 살포압력은 기부살포의 경우 500kPa, 전면살포의 경우 300kPa로 일정하게 유지하도록 하였다. 그림 6-2에는 롤러펌프의 특성곡선, 표 6-1에는 펌프의 사양을 나타내었다.

Table 6-1. Specification of roller pump used for the boom sprayer.

Type	Roller pump (8-roller pump) :counter-clockwise
Max. flow rate	22GPM (83.279*l*/min)
Max. pressure	300PSI(20.675bar =20675kPa)
Max. rpm	1000



제 2 절 전면살포와 기부살포가 가능한 붐구조

붐 전체적인 구조는 그림6-3과 같다. 붐의 길이는 9.8m이며, ⓐ, ⓑ, ⓒ는 각각 붐의 좌측부, 중앙부, 우측부를 나타내고 있다. 운반시 또는 필요에 따라 좌·우측부를 접을 수 있도록 하였다. 노즐부의 간격은 45cm이나 필요에 따라 30cm로 설정할 수도 있다. 붐부는 붐을 지지하는 구조와 배관부가 따로 구성된 Dry Boom의 형태로 되어 있으며, 노즐부는 노즐을 쉽게 장착하거나 제거할 수 있게 노즐고정체, 스트레이너, 고무 패킹, 노즐팁, 노즐캡으로 구성되어 있다.

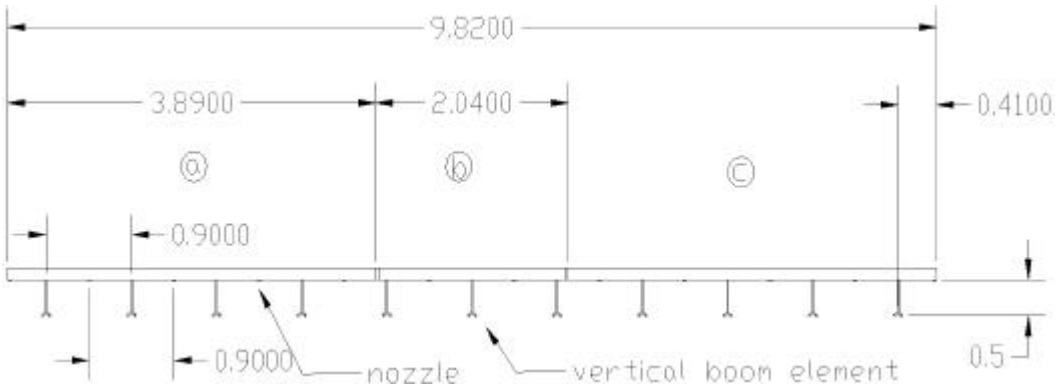


Fig. 6-3. Schematic of setup of experimental boom sprayer with nozzles extended underneath crop canopy

노즐을 대체함에 따라 전면살포와 기부살포가 모두 가능하도록 하였고, 각 살포방식의 전환이 편리하도록 하였다. 즉 전면살포시에는 수평 분무관에 60cm나 90cm 간격으로 기부살포용 수직분무관(Hose Drop)을 노즐고정체에 장착하고 수직분무관의 양쪽 수직방향으로 기부살포용 노즐팁과 스트레이너, 고무패킹, 노즐캡을 장착하여 측면으

로 살포되도록 구성하였다. 그리고 노즐팁이 장착되지 않는 노즐고정체는 끝이 막힌 캡으로 약액이 세지 않도록 막았다. 붐의 지지 구조는 가벼운 재질의 알루미늄을 사용하였다. 붐의 전체적인 구조는 그림 6-4 와 같다.

Fig. 6-4. boom structure

제 7 장 입제살포기 설계 및 제작

제 1 절 관리작업기의 구조 및 설계요인 분석

본 연구에서 고려하고 있는 관리작업은 시비, 제초, 방제로서 이와 같은 관리작업은 입제살포를 통해 보다 효율적으로 달성될 수 있는 것으로 분석되었다. 따라서 고능률 입제 살포를 위하여 송풍식 입제 살포기가 개발되었다.

현재 개발된 입제살포기는 크게 나누어 네 가지 타입이 있다. 원판의 회전력을 이용한 원심식 살포기, 배출장치에서 배출된 입자가 중력에 의해 지면으로 떨어지는 중력식 살포기, 호퍼에서 배출된 입제를 공기를 매개체로 이송하여 최종적으로 살포하는 송풍식 살포기, 항공살포기 등이다.

송풍식 살포는 균일한 살포뿐만 아니라 공기를 이송매체로 사용하므로 입제의 손상이 적고 배출과정에서 배출관등이 막히는 현상을 제거할 수 있다. 송풍을 하여 입제를 흩어 뿌리기 때문에 일반적으로 위에 열거한 다른 기종에 비하여 적은 양으로 우수한 살포효과를 낼 수 있다.

현재 개발된 입제살포기는 동력살분무기 등이 있으나 노동강도가 높고 작업방법이 효율적이지 못하다. 송풍식은 입제에 속도를 부여하고 적절한 deflector를 설치함으로써 배출구의 수를 최소로 하면서도 큰 폭에 걸쳐 균일한 살포를 달성할 수 있다.

약제살포는 작물생육에 악영향을 미치는 병해충을 박멸하거나 작물에 필요한 영양소를 공급하는 것을 목적으로 하므로 살포기는 1)필

요한 양만큼 2)균일하게 살포할 수 있도록 설계되어야 한다. 송풍식 입제살포부는 호퍼, 송풍기, 입제배출부, 입제-공기 혼합부, 공기 및 입제 이송부, 최종살포부, 동력전달부 등으로 구성된다. 본 연구에서 배출장치는 일정한 배출량을 얻도록 설계되어 국내에서 직파기등에 많이 사용되는 홈롤러 타입을 선택하였다. 물성에 기초한 설계인자는 입제를 이송하고 살포하는데 필요한 송풍량, 이송관 크기등이다. 살포요구조건에 기초한 설계인자는 살포량확보를 위한 배출장치 설정, 최종살포부(이하분두)선정, 최적 살포조건 결정등이다.

가. 종말속도

송풍식 입제살포기의 설계에 사용되는 입제의 물성은 종말속도이며 밀도와 크기를 이용하여 계산식으로 구할 수 있다.

바람이 없는 공기중을 비행하는 입자의 수직방향 가속도는 다음식으로 나타낼 수 있다. (Goering et al., 1972; Pitt et al., 1982).

$$\ddot{z} = g - C \cdot \dot{z} \cdot \sqrt{\dot{h}^2 + \dot{z}^2} \qquad (식\ 7\text{-}1)$$

여기서, h = horizontal direction, m

z = vertical direction displacement, m

$C = 0.5 \cdot C_D \cdot \rho_a \cdot A_p / m$

g = acceleration of gravity, m/s^2

A_p = projected frontal area of particle, m^2

m = mass of particle, kg

ρ_a = mass density of air, kg/m^3

Drag coefficient(CD)는 다음의 근사식으로 구한다(Eisner, 1930).

$$C_D = 26.38 \cdot N_{re}^{-0.845} + 0.49 \qquad \text{for } N_{re} > 1 \qquad \text{(식 7-2)}$$

$$N_{re} = \frac{\rho_a \cdot v_p \cdot d_p}{\mu_a} \qquad \text{(식 7-3)}$$

여기서, N_{re} = diemnsionless Reynold's number

v_p = velocity of particle($m/s = \sqrt{\dot{h}^2 + \dot{z}^2}$)

d_p = effective diameter of particle(m)

N_{re} = dynamic viscosity of air($N \cdot s/m^2$)

(식 7-1)에서 수평방향의 속도와 수직방향의 가속도를 0으로 놓고 수직방향의 속도를 구하면 이것이 종말속도이며 (식 7-1) - (식 7-3)을 반복수치해석법으로 풀어 값을 구하였다.

나. 송풍기 선정

종말속도를 구하고 입제이송관 직경을 선택하면 필요한 송풍량을 얻을 수 있다. (식7-4)에 의해 입제이송 및 살포에 필요한 송풍량을 결정한다.

송풍량=이송관단면적×종말속도×이송관의 개수×안전계수 (식7-4)

송풍기의 선정은 결정된 송풍량에 의거하여 선정되었다.

다. 롤러 회전속도 및 홈 열림정도 결정

입제 살포기가 제 기능을 수행하기 위해서는 필요한 양의 입제를 균일하게 포장에 살포할 수 있어야 한다. 본 연구에서 배출장치로 사용한 홈롤러는 롤러의 축속도와 홈의 열림정도를 조정하여 배출량을 조절하는 방식이다. 홈롤러의 배출특성을 구명하여 입상농업화학제를 살포하는데 필요한 홈열림정도와 롤러 회전속도를 결정하였다. 또한 롤러의 회전속도가 증가하면 롤러 사이에 입제들이 끼어들어간 후 grinding되어 입경분포가 변하는 바 그 정도를 구명하기 위하여 롤러 축속도 변화에 따른 갈림정도를 살펴보았다. 살포패턴은 분두의 형상과 크기, 설치간격과 설치높이(중첩률), 송풍속도 등에 따라 변하기 때문에 본 연구에서는 설계·제작한 분두에 대한 요인실험 및 실험데이터를 기초로한 살포 시뮬레이션을 통하여 균일살포를 얻을 수 있는 분두를 선정하고 최적 살포조건을 제시하였다.

1개의 배출장치에서 1초에 배출되어야 할 입제의 양은 (식7-5)와 같이 표현된다.

$$q = \frac{Q \cdot W \cdot v}{10,000 \cdot n}$$

여기서 q = 배출장치의 배출량(kg/sec)

Q = ha당살포요구량(kg/ha) (식 7-5)

W = 작업폭(m)

v = 작업속도(m/sec)

n = 배출장치 개수(integer)

입제 살포소요량은 입제 종류에 따라 다르지만 대략 다음과 같다.

입상농약 소요량 : 40kg/ha
입상비료 소요량 : 400kg/ha

포장에서 이앙기의 작업속도는 보통 0.5-0.7m/s이며 입제살포시 작업속도를 0.7m/sec, 작업폭 8m, 배출장치 개수 8개일 경우, 1초에 하나의 배출장치에서 배출되어야 할 입제의 양은 각각 다음과 같다.

입상농약 배출요구량 : 2.45 g/(sec,diffusor)
입상비료 배출요구량 : 24.5 g/(sec,diffusor)

홈롤러 배출장치는 (그림7-1) 과 같은 구조로 홈의 열림정도를 조정하여 배출량을 조절하는 방식이며 입제가 홈에 들어간 상태로 회전한다음 일정한 위치에서 중력에 의해 낙하되는 원리로 배출한다. 배출장치에서 실제로 배출되는 양, Q는 (식 7-6)으로 나타낼 수 있다.

(식7-6)에 홈1개의 단면적(1.59cm2), 입제의 가비중(복합 0.89g/cm3, 요소 0.8g/cm3, 아이비 0.88g/cm3), 홈의 개수(8), 입제의 홈에 대한 충만율을 대입하면 입제 배출량은 홈 열림정도와 롤러 회전율의 함수로 나타난다. 홈 열림정도는 완전히 닫았을 때 0.3cm이며 이때의 배출량은 식을 따르지 않는다. 입제의 충만율은 보통 0.7 0.9이지만 홈 열림정도, 롤러 회전율과 관계된 계수이다.

$$Q = f \cdot l \cdot \lambda \cdot h \cdot n \cdot \sigma + \beta \qquad (식\ 7\text{-}6)$$

where, Q = granular discharge rate(g/sec,roller)

f = cross sectional area of a groove(cm^2)

l = groove opening(0.3- 1.9cm)

λ = granular bulk density(g/cm^3)

h = number of groove(integer)

n = rotor speed(rps)

σ = granular filling ratio to the theoretical filling(decimal)

β = discharge rate when the groove opening is 0.3m

비료나 농약의 경우 충만율을 0.9로 가정하고 입제 배출량을 입상농약의 경우 2.45 g/(sec,diffusor), 입상비료의 경우 24.5 g/(sec,diffusor)으로하여 홈 열림정도와 롤러 회전율의 범위를 그래프로 나타내면 (그림7-2)와 같이 된다.

(그림7-2)에서 보는바와 같이 배출량의 선형적 변화를 기준으로 할 때 적정 롤러 회전율은 약 0.5rps 3.5rps로 판단되었다.

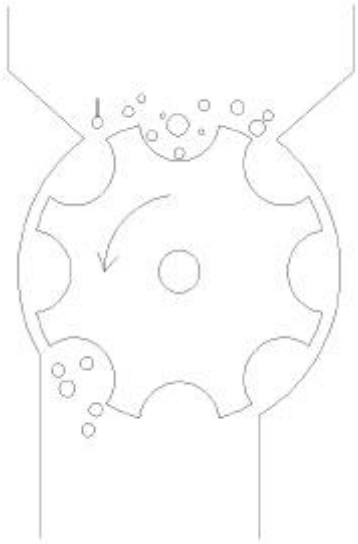


Fig. 7-1. Grooved roller

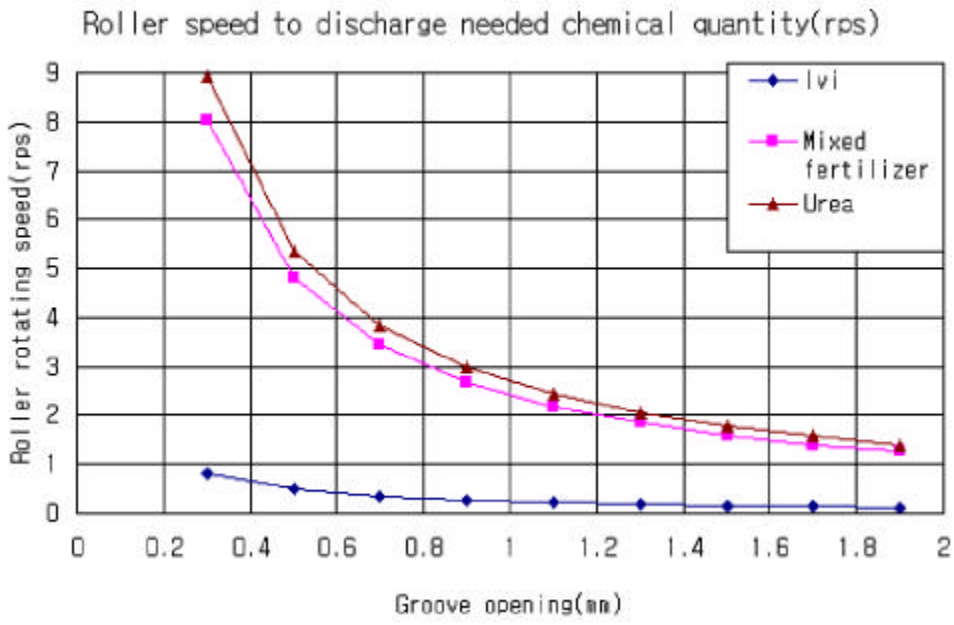


Fig. 7-2. Roller speed to discharge needed chemical quantity(rps)

롤러 외곽에 배치한 홈은 개폐조절기에 의해 그 열림정도를 조절할 수 있으며 많이 열수록 배출체적이 커져서 결과적으로 호퍼에서 배출되는 양은 많아진다. 또한 축의 회전속도가 빨라질수록 단위시간당 배출되는 양이 많아진다. 동력소요면에서 볼 때 홈을 넓게 하고 회전속도를 느리게 하는 것이 적은 양의 동력을소모 한다. 롤러 축 회전속도 및 홈 열림정도를 결정하기 위하여 홈 열림정도를 3mm-19mm범위에서 2mm씩 증가시키고, 축속도를 0.5rps-3.5rps 범위에서 0.5rps씩 증가시키면서 배출량을 측정하였다.

라. 균일살포를 위한 분두

최종살포장치로 분두를 사용할때의 살포폭은 다음과 같이 나타내어진다.

$$W = 2 \cdot h \cdot \tan\theta \qquad \text{(식 7-7)}$$

여기서, W : 살포폭

h : 분두의 높이(살포높이)

θ : 살포각(deg)

살포폭 W를 2n등분하고 각 등분에 해당하는 각도를 중앙으로부터 대칭되도록 각각 θ를 n등분하여 θ_1, θ_2, ……, θ_n라 하면 다음식이 성립한다.

$$\theta_1 = \tan^{-1}(W/2n) \quad ⓐ$$

$$\theta_1 + \theta_2 = \tan^{-1}(W/2n + \tan\theta_1) \quad ⓑ$$

$$\theta_1 + \theta_2 + \theta_3 = \tan^{-1}(W/2n + \tan(\theta_1 + \theta_2)) \quad ⓒ$$

$$\cdots \cdots$$

$$\theta_1 + \theta_2 + \cdots + \theta_n = \tan^{-1}(W/2n + \tan(\theta_1 + \cdots + \theta_{n-1})) \quad ⓝ$$

위 식에서 ⓐ ⓝ을 이용하면 θ_1, θ_2, ……, θ_n을 구할 수 있다. 분두에서 살포되는 입자의 양을 Q, θn에 대한 살포량을 Q(θn)이라 하면 살포량은 다음과 같이 나타내어진다.

$$Q(\theta_n) = Q\frac{\theta_n}{\theta} \qquad (식\ 7\text{-}8)$$

위 식을 이용하여 살포량을 구하면 살포패턴을 구할 수 있다.

(식 7-8)을 이용하여 살포각과 살포높이의 변화에 따른 살포폭을 구하여 그래프로 나타내면 (그림 7-3)과 같다.

여기서 θ는 20 50°까지 5°씩 증가시키고, h는 50 120cm까지 10cm씩 증가시켰다. 이론적으로 입자의 살포폭은 살포높이 증가에 대하여 직선적으로 증가하며, 살포각(분두각) 증가에 대하여 tangent의 관계로 증가함을 알 수 있다.

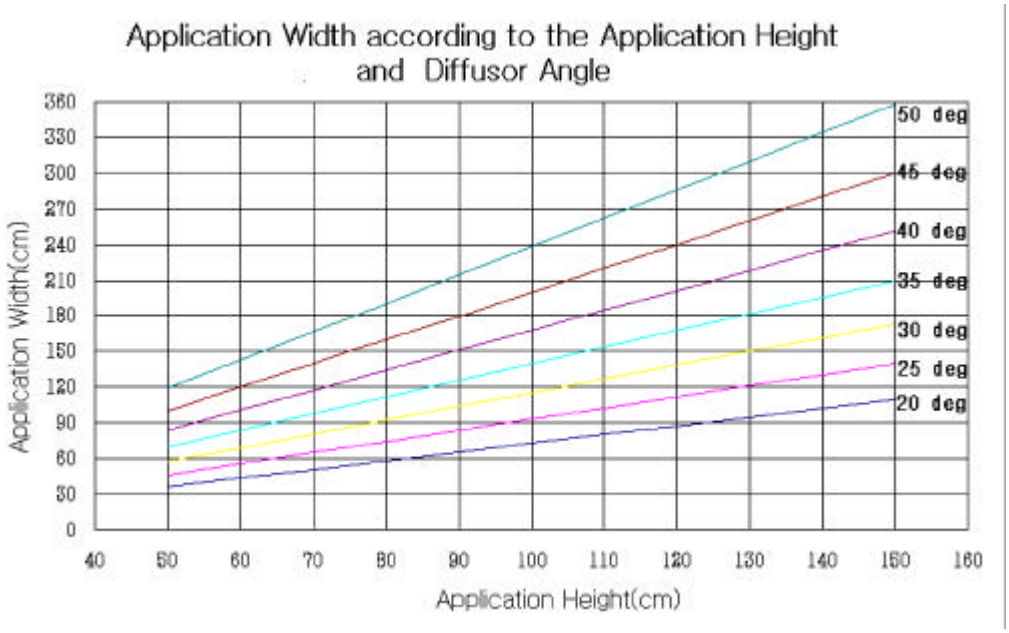


Fig. 7-3. The change of distribution width as to the change of distribution angle and height

살포의 균일한 정도는 균등계수(Coefficient of Variation, CV)로 평가하며 이는 측정값의 표준편차를 평균으로 나눈 값이다. 송풍식 살포기에서 CV에 영향을 주는 인자는 분두간격(중첩률), 분두높이(살포높이), 분두형상, 공기의 속도 등이다. 이 요인들에 의한 영향은 실험을 통하여 구체적으로 구명할 수 있다.

실험대상 분두를 제작하기 위하여 형상과 분두각을 몇가지로 정하는 과정으로 살포시뮬레이션을 실시하였다. 균등계수(CV) 및 중첩률(O) 수식은 (식 7-9), (식 7-10)에 나타내었다.

$$CV(\%) = \frac{S}{\overline{Y}} \times 100 \qquad \text{(식 7-9)}$$

여기서, S : 측정값의 표준편차

$\overline{Y}$: 측정값의 평균

$$O(\%) = \frac{w_o}{w_n} \times 100 \qquad \text{(식 7-10)}$$

여기서, w_o : 중첩된 폭

w_n : 노즐간의 거리

분두살포각과 살포높이에 따른 중첩률과 균등계수 변화 시뮬레이션 결과를 (그림 7-4)에 나타내었다. 시뮬레이션 프로그램으로 MS Excel 7.0을 사용하였으며 중첩률은, 0≤ 중첩률(%) ≤100의 범위로 하였다.

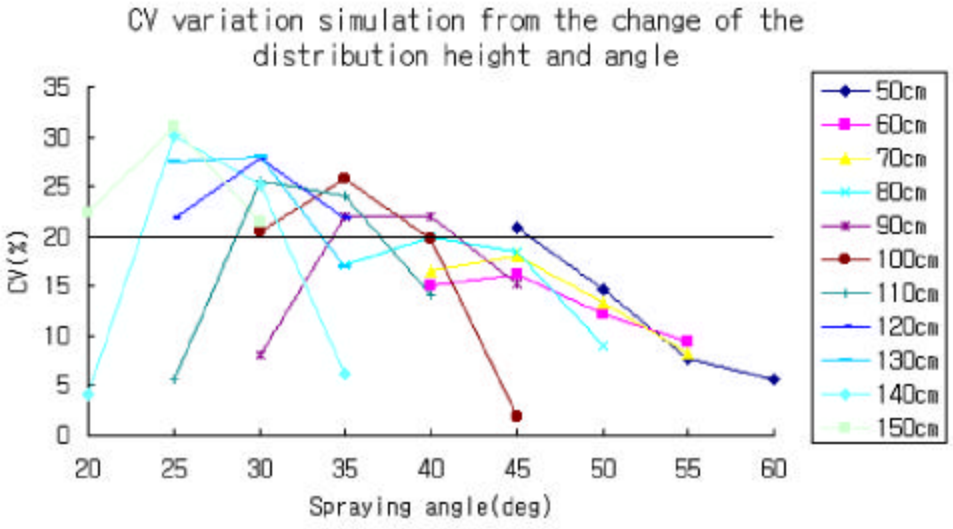


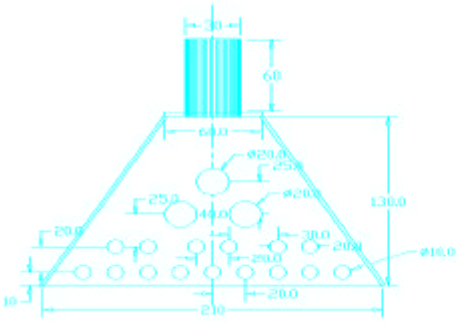
그림 7-4. 분두각과 살포높이(중첩률) 변화에 따른 CV변화

적정분두 및 최적살포조건 결정을 위하여, 실험에 사용할 분두는 3가지 형태의 5가지 모형으로 결정하였다. (a)는 cylinder 모양의 디플렉터를 가지고 있는 형태이고 (b)는 cylinder와 plate를 함께 사용

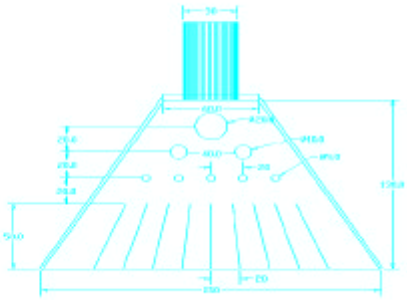
한 형태이다. (a)형태는 입자가 실린더에 부딪혀 random하게 되튀어 나가는 현상에 착안하여 디플렉터를 배치한 것이다. (b)형태는 실린더에 의해 흩어진 입자를 plate로 안내하여 입자에 운동방향을 부여하는 형태이다. (c), (d)는 (b)와 형태는 같으나 살포각을 80°, 100°로 한 것이다. 이는 살포각이 커지면 넓은 폭으로 입제가 흩어진다는 가정하에 제작한 것이다. (e)는 가이드 없이 디플렉터만 배치한 분두로서 공기의 영향을 최대한 이용할 수 있는 형태이다.

분두의 치수는 세로 20cm, 높이 6cm로 하고 가로의 길이는 살포각에 따라 변하는 것으로 한다. 이와 같은 치수는 배출된 입자가 흩어지고 운동의 방향을 얻기 위해서 적당하다고 판단하여 결정한 것이며 보통 외국에서 쓰이는 분두 또한 특별한 기준에 의하여 치수를 결정하는 것이 아니라 13 38cm의 범위에서 경험에 의거하여 결정한다. 제작·실험한 분두의 구체적인 분두 치수는 그림7-5에 나타내었다.

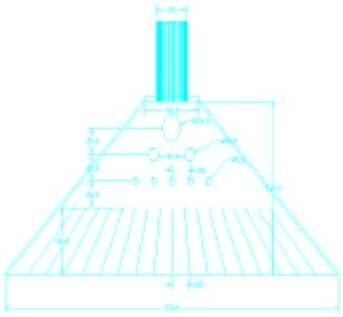
살포폭과 살포패턴에 영향을 주는 요인은 배출장치에서 일정하게 입자를 배출한다고 가정하면 분두의 살포각, 살포높이, 송풍량등이다. 살포각, 살포높이, 송풍량이 증가하면 살포폭은 증가할 것이다. 송풍량을 크게 하면 살포균일도는 높아질 것이다.



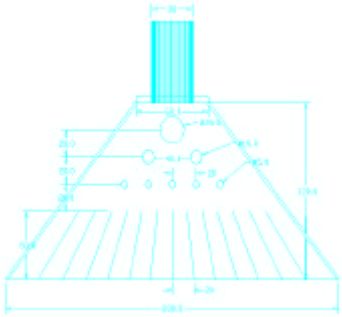
(a)



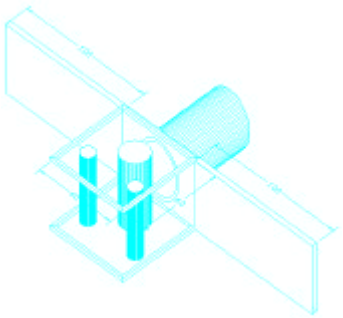
(b)

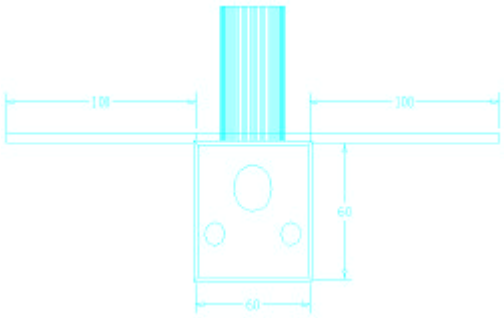


(c)



(d)





(e)

Fig. 7-5. Diffusor types used in the experiment.

Table 7-3. The factors and levels of the experiment

Factor	Diffusor angle(deg)	Distribution height(cm)	Air velocity(m/sec)
Range	60 100	60 100	12-16, 30-32(for fertilizer) 12-16, 26-28(for granule)
Step	20	20	-
Level	3	3	2
Replication	2	2	2
Notified material : DongBu 21-17-17(Fertilizer), Samkong Ivi(Pesticide)			

실험장치는 분두장착대, 송풍기, 수집장치등으로 구성되어 있으며 분두 장착대는 5cm간격으로 높이를 조절할 수 있도록 하였고 송풍기는 중앙공업(주) [NF411]를 사용하였다. 수집장치는 직경7cm인 PVC관을 2등분하여 6.5cm씩 사이를 두고 일정한 간격으로 살포장치를 부착한 프레임 중앙에 놓이도록 하였다. 또한 살포된 입제가 PVC면에 부딪쳐 튀어나오거나 밖에서 안으로 튀어들어가는 것을 막기 위하여 20cm높이의 차단막을 설치하였다.

분두의 살포 성능 평가지수로는 살포폭과 살포균일도를 사용하며 살포균일도는 변이계수로 산정한다. 분두살포패턴 실험한 데이터를 기초로 분두 간격을 변화시키면서 MS Excel 7.0을 이용하여 CV계산 시뮬레이션을 하였다.

제 2 절 입제살포부의 소요동력

입제살포부의 소요동력은 송풍동력과 롤러축 회전동력으로 나누어진다. 송풍동력은 중앙공업의 NF411소형 가솔린 엔진을 사용하였으며 롤러 회전동력은 관리기 축에서 벨트와 체인으로 전달하였다.

제 3 절 입제살포기의 설계

1. 종말속도 및 송풍량 결정

비료의 가비중은 760 940범위이며 농약의 경우 조립식에 의해 제조된 제품의 가비중이 비교적 작고 sand coating은 1400정도였다. 종말속도를 구하는 식에 입력값은 진비중이므로 공극을 고려하여 위에서 구한 가비중의 두배로 추정, 사용하였다.

평균입경은 비료의 경우 0.9 1.5mm, 농약의 경우 0.3 0.5mm였으며 최대입경은 비료의 경우 5 10mm, 농약의 경우 1.2 2.0mm로 나타났다.

종말속도 계산식에는 입자의 크기가 가장 큰 지름을 입력값으로 대입하였다. 안전도를 고려할 때 송풍량의 결정은 평균직경을 사용하는 것보다 최고직경을 사용하는 것이 입제를 이송하는데 보다 합리적이다.

입제의 물성치를 (식 7-1) (식 7-3)에 대입하면 종말속도를 구할 수 있다. 이 결과값은 입제가 구형일 때의 추정치이며 구형이 아닌 비료나 농약입제의 경우의 종말속도는 이 값에 0.64를 곱한 값이 된

다. 하지만 본 설계에서는 안전하게 소요송풍량을 결정한다. 본 연구에서 사용한 입제의 물성과 추정된 종말속도는 표 7-4와 같다.

Table 7-4. Material properties and calculated terminal velocities for agrochemical

	Brand	Maximum Diameter (mm)	Estimated density (kg/m3)	Terminal velocity (m/s)
Fertilizer	NamHae,21-17-17	5.00	1870	14.1788
	DongBu,21-17-17	5.00	1780	13.8272
	Namhae,17-21-17	5.00	1870	14.1788
	Namhae,Urea	5.00	1530	12.8013
	GyungKi,Urea	5.00	1580	13.0128
Pesticide	Pododaejang	2.00	2240	9.4196
	Mannyang	1.19	1920	6.3065
	Whochiwang	1.19	1990	6.4324
	Pumhana	2.00	1967	8.7963
	Handle	2.00	1913	8.6680
	Solnet	2.00	2729	10.4484
	Nonanmae	2.00	2202	9.3351
	Ivi	2.00	1759	8.2921
	Stomp	1.19	2101	6.6277
	Orija	2.00	2871	10.7297

입제이송관은 배출된 입제가 원활하게 이송되도록 자유자재로 굽을 수 있는 재질로 하며 직경은 3cm로 하였다. 종말속도가 가장 큰 것이 약14.2m/s이고 이를 기초로 송풍량을 추정하면,

송풍량 = 단면적×속도×관의 개수×안전계수

$$= \frac{\pi}{4} \cdot (0.03)^2 \cdot (14.2) \cdot 8 \cdot 2 = 0.1606 m^3/\sec = 9.64 m^3/\min$$

본 연구에서 개발하는 입제살포기의 송풍과정은 압력강하가 그다

지 문제되지 않을 정도로 작기 때문에 송풍량이 보장되는 송풍기 중에서 중앙공업(주)에서 생산•판매하는 [NF411(C.D.M) 중앙 동력 살분무기]를 공시송풍기로 선정하였다. 종말속도 이상의 풍속으로 입제를 이송해야만 입제가 관내에 잔류하지 않고 최종살포부까지 이송되며 이곳에서 입제를 흩어뿌리는 효과도 얻을 수 있다.

2. 적정분두 및 최적 살포조건 결정

분두 살포 실험결과, 같은 살포조건에서 농약에 비하여 입자의 크기가 큰 비료가 넓은 살포폭과 균일도를 보이며 가이드내에 실린더 디플렉터만 있는 분두보다는 플레이트 디플렉터를 분두 하단에 설치한 형태가 우수한 살포패턴을 보였다. 또한 분두각이 넓은 경우가 좁은 경우보다는 살포패턴이 좋았다. 하지만 공기의 영향이 분두 하단으로 갈수록 감소하여 가이드가 있는 분두형태는 살포폭이 넓지 못하고 균일도도 나쁘기 때문에 산포에는 적합하지 않은 것으로 나타났다. 가이드가 있는 형태는 분두 폭에 따라 살포하는 목적으로 사용하기에는 적합할지 모르나 산파를 목적으로 할 수 없으며 디플렉터만 설치하여 공기에 의해 강하게 흩어지도록 하는 분두형태가 산포에 적합한 것으로 판단된다.

그림 7-6은 분두 c, d, e에 대한 살포패턴을 나타내주고 있다. 살포패턴 실험결과로부터 공시약제에 대하여 비료가 농약보다 우수한 살포패턴을 나타냄을 알 수 있다. 이는 비료가 농약보다 입자의 크기가 크기 때문에 더 넓은 범위에 흩어지기 때문인 것으로 판단된다. 그림에서 보듯이, 분리대가 없이 디플렉터만 가지고 있는 e분두가 가장 우수한 살포패턴을 나타내었다.

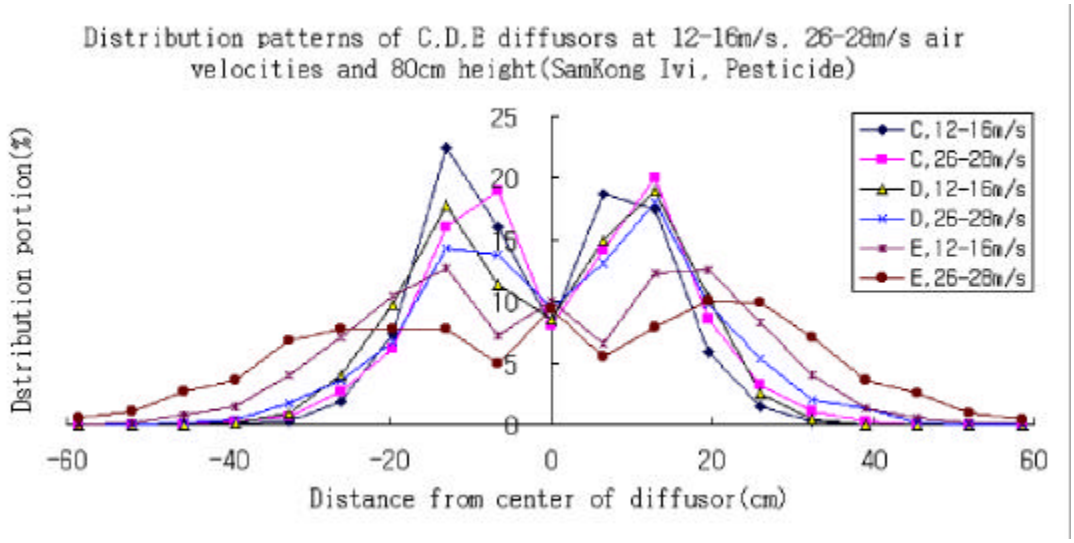


Fig. 7-6. An example showing distribution patterns of diffuser c, d, and e types.

살포패턴 실험결과에 근거하여, 균일한 살포를 얻을 수 있는 분두 설치간격, 살포높이, 공기속도등을 결정하기 위하여 시뮬레이션을 수행하였다(그림 7-7, 7-8). 살포균일도는 CV가 15%이하인 것을 균일한 살포로 판단하였다.

분두간격 증가에 따른 살포균일도 변화 시뮬레이션 결과 또한 디플렉터만 있는 타입의 분두가 다른 형태의 분두보다 균일도가 높았으며 넓은 분두간격에서도 CV≤15의 살포균일도를 얻을 수 있다고 판단되었다.

표 7-5에 최적 살포조건을 정리하였다. 표에서 알수 있듯이, 분두 설치는 농약과 비료에 대하여 살포높이는 모두 1m, 분두간격은 비료에 대하여 1m, 농약에 대하여 0.8m로 결정되었다.

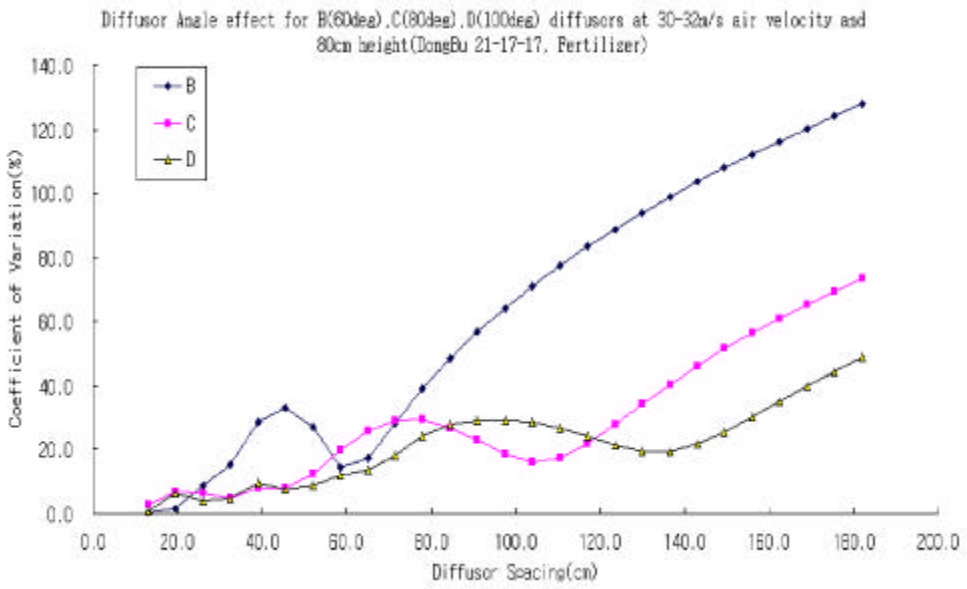


Fig. 7-7. Angle effect on CV variations by diffuser spacing.

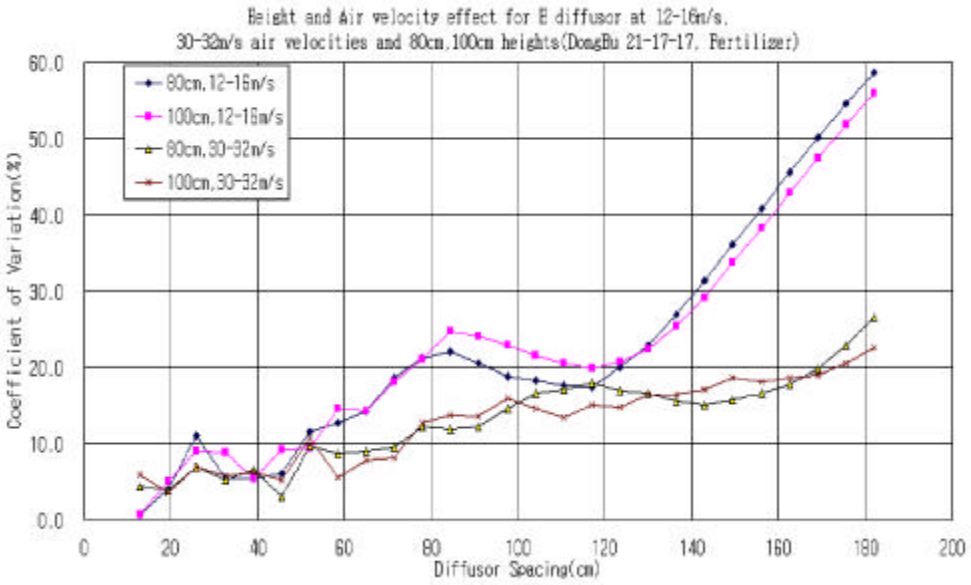


Fig. 7-8. Height and air velocity effect for the diffuser type of e.

Table 7-5. Combinations of application factors in CV≤15(%) for tested granular agrochemicals(Diffuser spacings(m), application heights(m) at each air velocity)

Diffuser type \ Air velocity		12 16m/s	26 28m/s	30 32m/s
Pesticide	B		0.26, 0.60	
	C	0.26, 0.60	0.26, 0.60	
	D	0.26, 0.60	0.26, 0.60	
	E	0.52, 0.60	0.52, 0.60 0.78, 0.80	
Fertilizer	B	0.26, 0.60		0.26, 0.60
	C	0.39, 0.60 0.46, 0.80 0.52, 1.00		0.52, 0.80
	D	0.46, 0.60 0.52, 0.80 0.65, 1.00		0.65, 0.80
	E	0.65, 0.80		1.00, 0.80 1.17, 1.00

3. 롤러 축속도 및 열림정도 결정

그림 7-9에 롤러 회전속도와 배출량의 관계를 보여주는 예를 나타내었다. 배출량은 롤러회전속도에 따라 로그적으로 증가하다가 3.0rps를 전후하여 감소한다. 이는 홈에 대한 입제의 충만율이 롤러 회전속도 증가에 따라 감소하기 때문이다. 하지만 홈 열림정도가 증가함에 따라 배출량은 거의 직선적으로 증가한다(그림 7-10). 본 연구에서 선택한 배출장치는 다양한 기체 전진속도와 유효살포폭에 따

른 입제필요량을 충분히 공급할 수 있는 것으로 판단되었다.

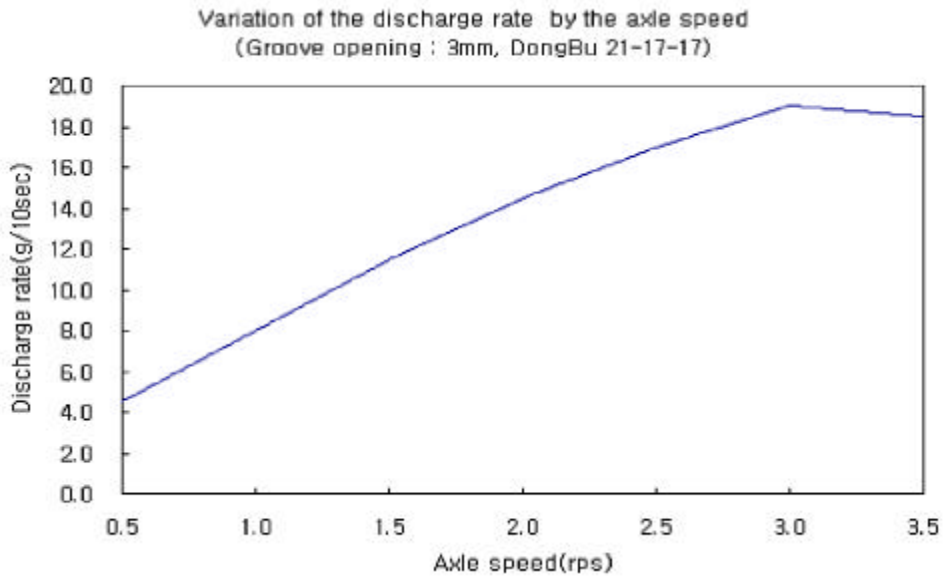


Fig. 7-9. An example showing the increasing of discharge rates.

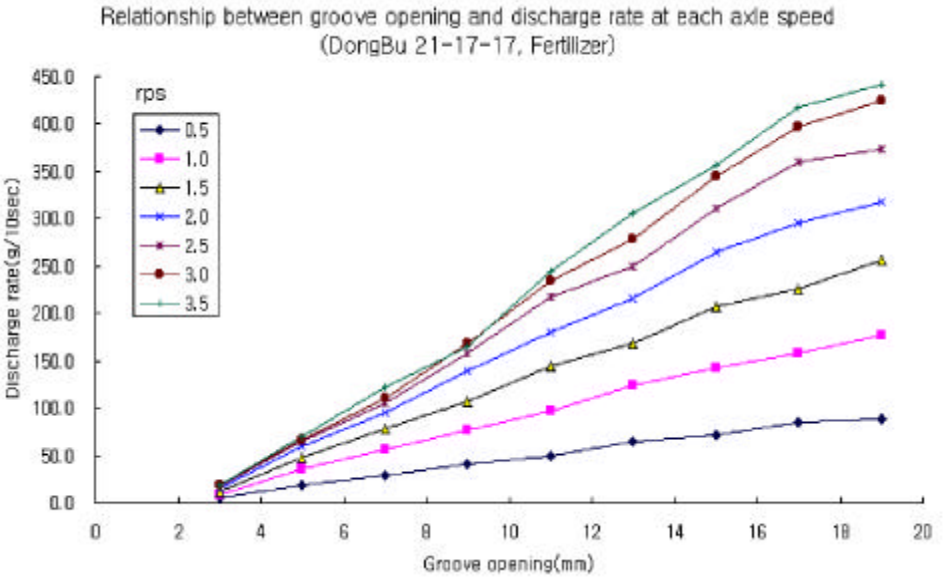


Fig. 7-10. Relationship between groove opening and discharge rate (DongBu 21-17-17).

일반적으로 수도작용 승용이앙기 및 승용관리기의 전진속도는 0.5-0.7m/s의 범위에 있다. 본 연구에서는 최대속도인 0.7m/s를 설계기준으로 사용하였다. 이 때 입제의 필요량을 공급하기 위한 홈 열림정도 및 롤러 회전속도는 비료에 대하여 13mm-15mm 와 2 rps 이며 농약에 대하여 9mm-11mm 와 0.25rps이었다.

제 4 절 입제 살포기의 제작

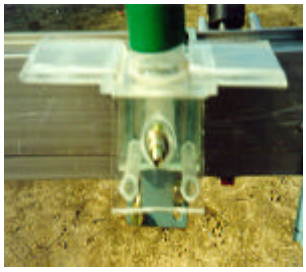
요인실험 및 시뮬레이션 결과에 의거하여 분두선정, 살포조건 결정, 롤러 회전속도, 홈 열림정도를 결정한후 시작기를 구성하였다.

- 송풍장치로 중앙공업의 동력살분무기(NF-411) 선택
- 8조로 분기하는 부분은 PVC관으로 구성
- 이송관은 매끄러운 flexible pipe 사용
- 배출장치는 LG 8조 담수직파기 사용
- 공기·입제 혼합부는 저항이 적도록 Y관을 사용
- 분두는 아크릴로 제작
- 공기가 송풍기로부터 최종 살포지점인 분두에 이르는 동안에 대기중으로 공기가 빠져나가는 것을 최대한 방지하기 위하여 기밀한 밀폐를 함.

이상의 구성요소(그림 7-11 참조)를 가지고 제작된 입제살포기를 대동 승용이앙기에 장착한 모습을 그림 7-12에 나타내었다.

공기 분배기

공기·입제 혼합부



분두

그림 7-11. 주요 구성요소

Figure 7-12. Feature of applicator attached in transplanter

제 8 장 동력 취출부 설계 및 제작

제 1 절 붐 방제기의 동력 취출부 및 프레임

붐 방제기의 동력 취출부는 관리기의 기어 박스로 부터 후방으로 축(PTO)을 하나 빼낸 후 V벨트를 이용하여 롤러 펌프를 구동하도록 하였다.

축 회전수(1750rpm) 와 펌프 회전수 (250rpm)는 풀리의 직경을 각각 축 풀리(3 inch), 펌프 풀리(21 inch)를 각각 선정하므로써 적정 회전수가 되도록 설계하였다.

제 2 절 입제 살포기의 동력 취출부 및 프레임

송풍식 입제살포기에 소요되는 동력은 송풍기 구동동력과 롤러를 회전시키는 동력이다.

가) 송풍기의 동력전달은 소형가솔린 엔진을 사용하였다.

나) 배출장치 동력전달 : 주행속도에 비례하여 회전하는 PTO에 풀리, 감속기, 체인으로 연결한다.

대동제 승용이앙기는 주행속도와 PTO가 속도비례형으로 되어있으며 조간거리에 따라 비례계수가 변하도록 설계되어 있다. PTO회전수 변화범위를 측정하여 입상비료와 입상농약의 살포에 적합한 회전수로 변환하였으며 이를 표 8-1에 정리하였다.

표 8-1. PTO 출력 회전속도와 롤러 축 회전속도

조간거리 (cm)	PTO속도 (rps)	풀리연결 (속도비)	감속기	체인연결 (속도비)	롤러축속도(rps)	
					풀리(1:3)	풀리(2:1)
16	2.17 4.50	1:3 2:1	1/10 감속	1:2.375	1.546 3.206	0.258 0.534
17	1.75 3.75				1.247 2.672	0.208 0.445
19	1.42 3.27				1.012 2.330	0.169 0.388

입제살포기 장착 프레임은 배출장치와 송풍기를 설치할 수 있는 구조로 하였으며 구체적인 모양은 그림 8-1과 같다.

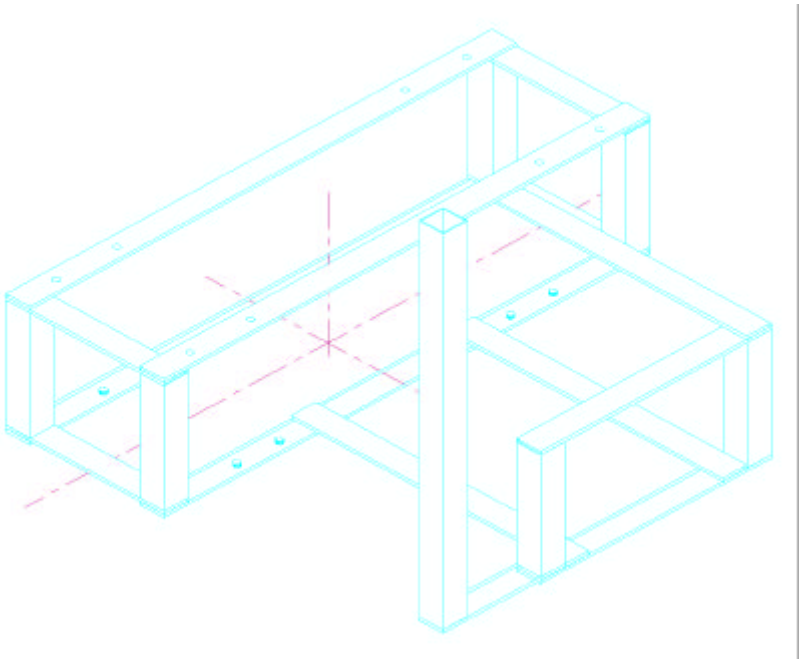


그림 8-1. 입제살포기 프레임 입체도

제 9 장 약액량 제어시스템

그림 9-1은 농약의 사용량과 생산량의 관계를 나타낸 그래프로 과다한 농약의 사용은 오히려 생산량의 감소를 초래하기 때문에 이러한 문제를 해결하기 위해서는 균일방제(uniform pesticide application)가 필요하다.

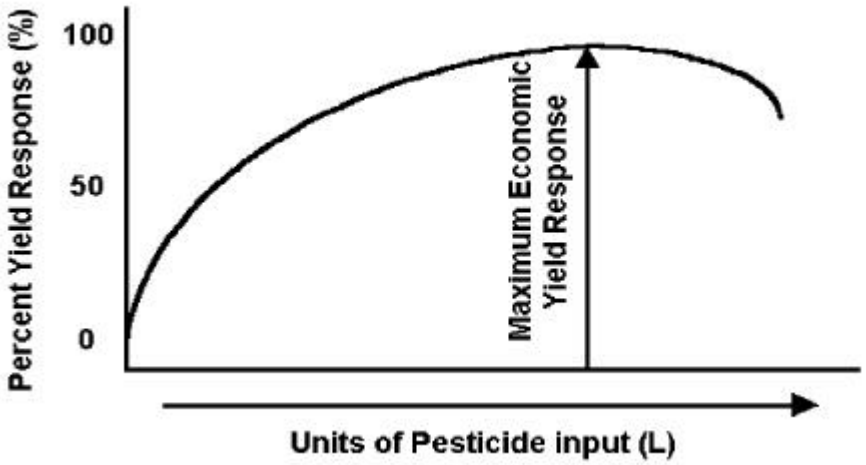


Figure 9-1. Economic yield response to pesticide input (Alley, 1991)

기존의 목적은 수도작용 붐방제기는 일정 면적당 균일량 살포를 위하여 작업속도에 따라 약액의 양을 제어할 수 있는 구조로 되어 있다. 그러나 포장에서 주행방향의 조향 및 작업기의 부하에 따른 운행속도의 변화 등의 갖가지 불규칙한 상황에 대처하면서 압력제어 밸브를 조절하는 작업은 고도의 수련된 기술을 요하므로 붐방제기를 이용한 방제작업의 생력화에 상당한 걸림돌이 되고 있다.

따라서 본 연구에서는 작업속도에 따라 일정 면적당 균일한 약액

살포를 위한 약액량 자동제어시스템 개발을 포함 시켰으며 다음과 같은 세부연구를 수행하였다.

① 붐방제기의 주행속도를 측정하였다.
② 주행속도에 따라 약액량을 자동제어하는 장치를 구성하였다.
③ 약액량 제어성능을 실험하였다.

제 1 절 약액량 제어 시스템 구성

붐방제기의 균일량 약액 살포를 위한 제어시스템은 그림 9-1과 같이 구성되었으며 각 구성 부위의 역할은 다음과 같다.

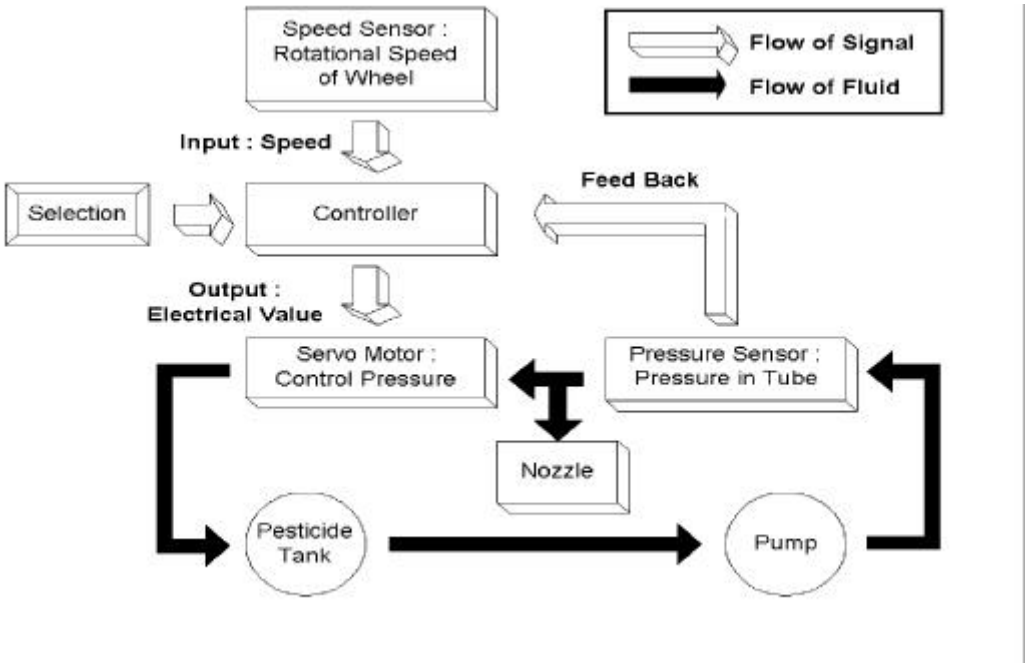


Fig. 9-1. Schematic diagram of the boom sprayer for uniform spraying

1. 속도 센서(Speed Sensor)

본 실험에서 사용한 수도작용 붐방제기의 슬립률은 13 20% 이었다. 따라서 1단에서 허용되는 속도의 범위는 0.64 0.696 km/hr 이며 2단에서 허용되는 속도의 범위는 1.04 1.131 km/hr 이다. 따라서 각 단수에서 허용되는 오차의 범위가 매우 작으므로 균일살포를 위한 붐방제기의 주행속도는 차축의 회전속로 부터 측정하여도 무방하다고 판단되었다. 붐방제기의 주행속도를 측정할 수 있는 여러 위치 중 차체의 기관에서 바퀴로 동력을 전달하는 축을 선택하였다.

주행속도를 측정한 방법은 다음 그림과 같이 축의 회전에 따라 축에 부착된 금속성 감지 물체를 근접센서(PS40-20에, Autonics)에서 on/off방식으로 측정하여 시간당 감지횟수인 주파수를 출력신호로 얻어내는 방법을 선택하였다.

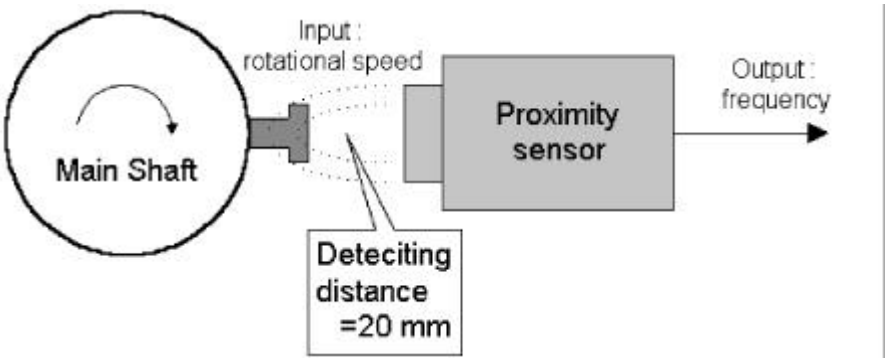


Fig. 9-2. Detecting rotational speed of the main power shaft

위에서 장착한 근접센서로부터 얻은 주파수 신호를 전압으로 변환해주는 회로는 그림 9-3과 같다.

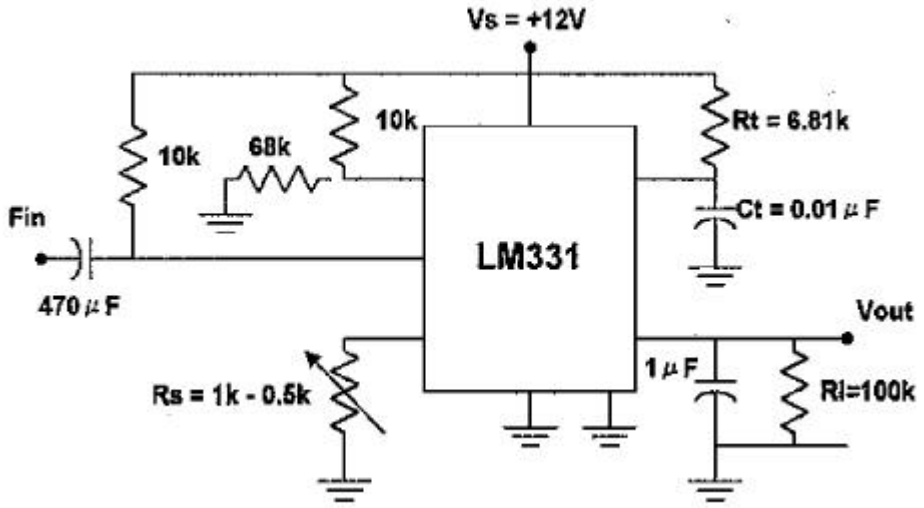


Fig. 9-3. Electric circuit of F-V converter for the proximity sensor

위의 회로에서 입력 주파수와 출력 전압의 관계는 다음식과 같으며 Rs의 값을 가변저항으로 조정하여 일정한 주파수 구간에 대하여 출력전압의 범위를 조절할 수 있도록 하였다.

$$V_{out} = F_{in} \times \frac{R_l}{R_s} \times R_t \times C_t \times 0.209 \qquad \text{식(9-1)}$$

2. 압력 센서(Pressure sensor)

붐방제기의 약액공급배관내의 압력을 측정하는 센서로는 유압용 압력센서(VPR-A3-5K-4C, Valcom)를 사용하였으며 약액에 부식이 되지 않는 non-corrosive type를 사용하였다. 입력전압은 DC 24V이며 출력은 입력신호의 크기에 다라 1 5V의 전압으로 나타난다.

3. 서보 모터(Servo Motor)

서보모터로는 일반 12V 구동 AC 모터를 이용하여 구성하였으며, 압력조절밸브를 조정할 수 있는 토크를 발생시키기 위하여 1:150 비율의 감속기를 사용하여 그림9-4, 9-5와 같이 조절밸브에 지지하였다.

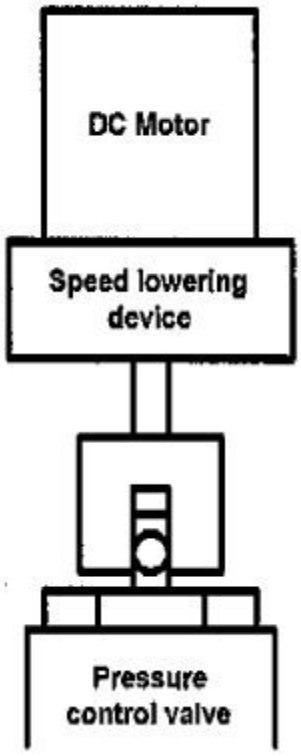


Fig. 9-4. Servo motor connected the pressure control valve

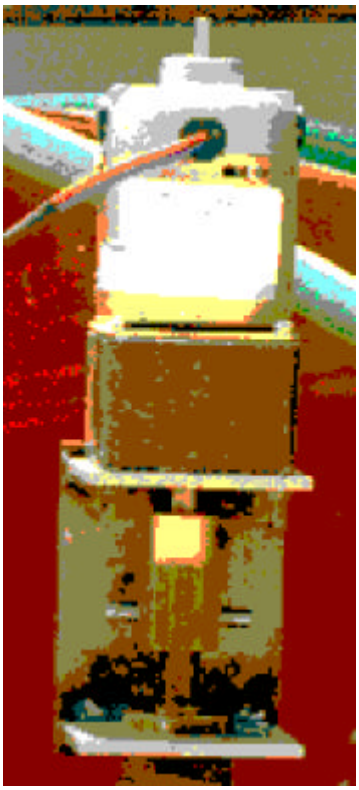


Figure 9-5. Feature of motor and pressure control valve

4. 제어판(Controller Board)

본 실험의 약액량 제어를 위해 구성한 제어기는 방제기의 주행속

도 검출로 생성된 전압의 크기와 배관내의 압력을 측정한 압력센서로부터 생성된 전압의 크기를 비교하여 그 차이에 따라 모터를 구동할 수 있도록 설계하였다. 제어기의 회로도는 그림9-6과 같다.

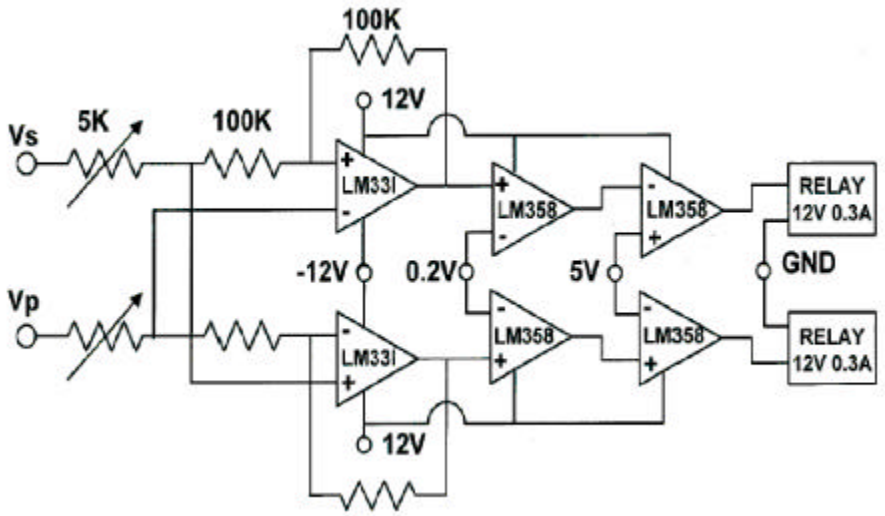


Fig. 9-6. Electric circuit of the main controller

5. 펌프(Pump)

약액량 공급을 위한 펌프로는 롤러 펌프를 사용하였으며 모델명은 7560 Series Roller pump이고 특성곡선은 그림9-7과 같다.

또한 롤러펌프의 작동특성에 기인하여 생기는 맥동을 방지하기 위하여 롤러펌프와 함께 공기실을 설치하였는데 이는 롤러 펌프에서 생기는 압력의 변화를 줄이기 위한 것으로 일반적인 동력분무기에 장착하는 공기실을 사용하였다.

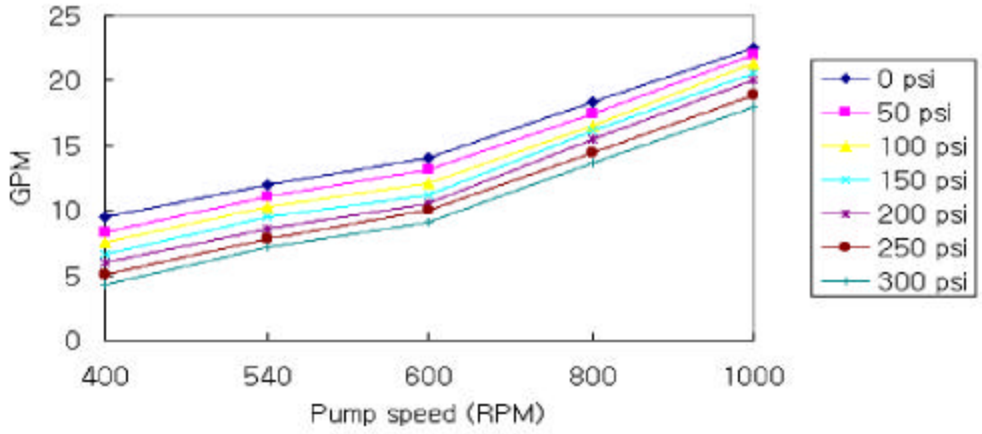


Figure 9-7. Characteristic of roller pump

6. 노즐(Nozzle)

노즐은 방제작업에 있어서 분무유형을 결정짓는 가장 중요한 요소이다. 본 실험에서는 flat type의 분무노즐을 사용하였다. 분무시스템 전체가 저압으로 설계되었기 때문에 분무압력의 범위가 2 4 bar에서 결정되는 저압용 노즐인 TeeJet 11001VS(110°)를 사용하였으며 작용압력에 대한 분무량은 그림9-8과 같다.

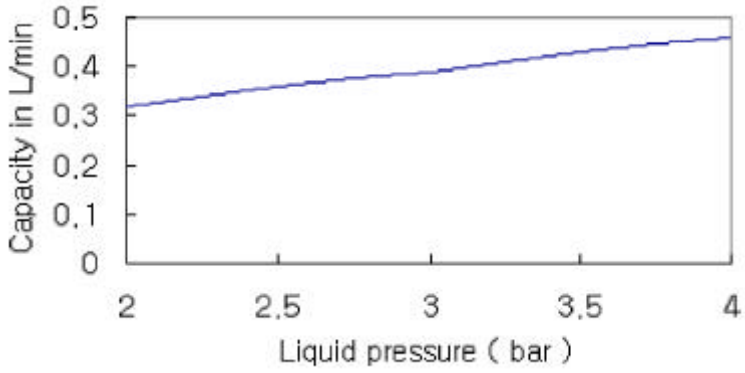


Figure 9-8. Characteristic curve of the nozzle

7. 유량측정(Gauge)

노즐에서 분무되는 약액의 유량을 수집하기 위하여 본 실험에서는 약액 수집통을 준비하였으며 정밀한 측정을 위해 메스실린터를 이용하여 약액의 약을 측정하였다. 그림9-9는 약액 수집통을 붐에 장착한 모습을 보여주고 있다.

붐의 길이는 노즐과 노즐의 간격이 30cm이고 노즐이 총 13개가 있으므로 4.2m이다. 본 실험에서 주행거리는 20m이므로 총 분무실험을 한 면적은 84 m^2이었다.

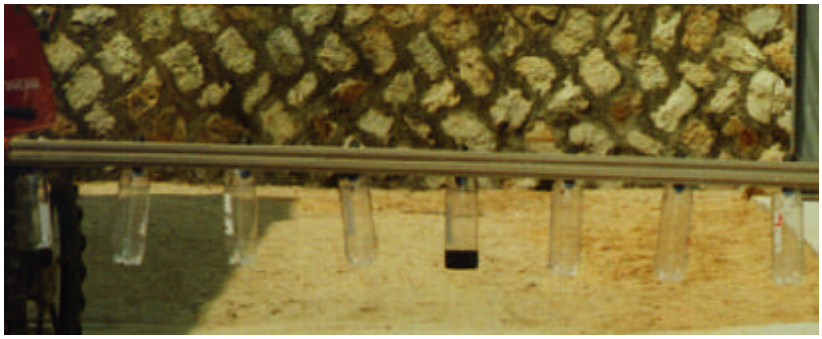


Figure 9-9. Spraying amount measurement at each nozzle

제 2 절 약액량 제어 변수 및 설계 조건

1. 압력과 유량의 관계

본 연구에서는 배관내의 압력을 제어하여 약액의 양을 제어하는 방식으로 약액량 제어시스템을 구성하였다. 따라서 효율적인 약액량 제어를 위해서는 배관내의 압력과 유량의 관계를 정확히 파악해야만 하였다.

일반적으로 분무유량과 분무압력사이에는 식(9-2)가 성립한다.

$Q = k\sqrt{P} + c$ (Q =mL, P =psi, k= mL $\cdot\sqrt{\frac{1}{psi}}$, c =mL) 식 (9-2)

여기서, k 와 c는 시스템 고유한 상수들로서 노즐 및 펌프의 특성에 의해서 결정되는 값들이다.

이러한 시스템의 고유한 상수값들을 측정하기 위하여 13개의 노즐을 사용하여 분무한 예비실험의 결과는 그림9-10과 같다.

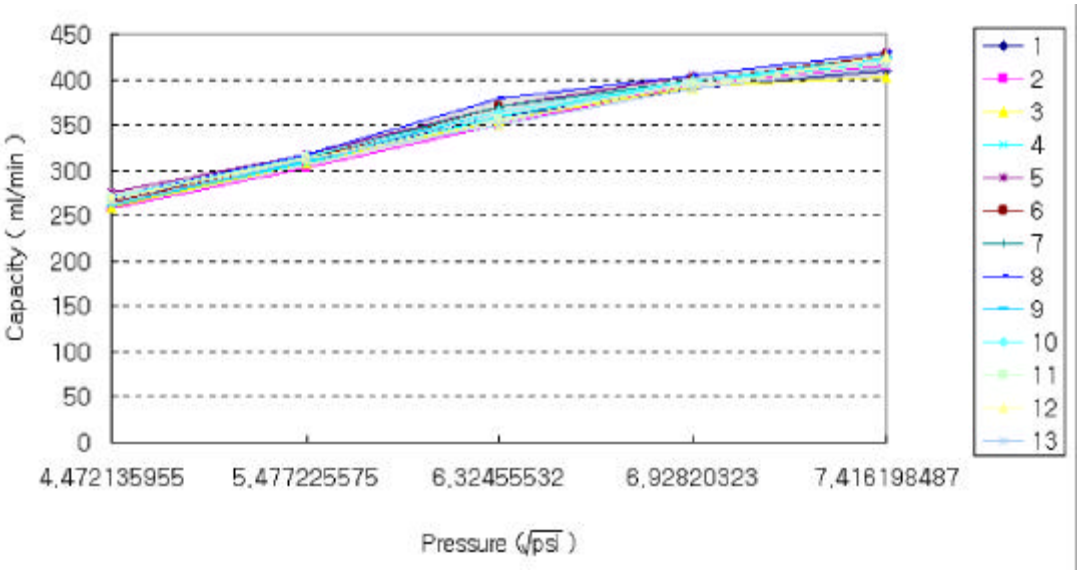


Fig. 9-10. Pressure-Capacity curve

각 번호는 노즐의 번호를 의미하며 X축은 설정압력으로 압력의 제곱근에 해당하는 값이다. 위의 그래프를 분석해 보면 k와 c는 각각 53.41와 24이며 R2 = 0.997인 상관관계를 보였다. 즉 본 연구에서 구성한 각 요소에 의해 결정되는 분무유량과 분무압력의 관계는 다음 식 (9-3)과 같다.

$$Q \approx 53.4\sqrt{P} + 24 \qquad \text{식 (9-3)}$$

2. 속도와 전압

목표 압력을 설정하기 위한 입력변수로 방제기의 주행속도를 선택하였다. 방제기의 주행속도는 전진 6단 후진 2단으로 선택이 가능하다. 일반적으로 방제작업시에는 전진 1단과 2단에서 작업을 하므로 본 연구에서는 전진 1단과 2단에 대하여 실험을 하였다. 각 단수에 따른 출력전압의 크기는 표1과 같다. 특히 조속기를 고정시켜서 실험을 하여 각 단수에서 허용되는 주행속도 오차의 범위를 최소로 줄였다.

Table 9-1. Output voltage for each power step

Power step	Speed (km/hr)	Output (V)
1 step	0.8	1.2
2 step	1.3	2
3 step	2.4	3.2

앞에서 밝힌바와 같이 본 실험에서 사용한 수도작용 붐방제기의 슬립률은 13 20% 이다. 따라서 1단에서 허용되는 속도의 범위는 0.64 0.696 km/hr 이며 2단에서 허용되는 속도의 범위는 1.04 1.131 km/hr 였다.

3. 압력과 전압

목표 압력에 도달하였는지를 검사하기 위하여 압력센서를 사용하였다. 예비실험을 통하여 압력센서로부터 나오는 전압의 크기를 측정한 자료는 그림9-11과 같다.

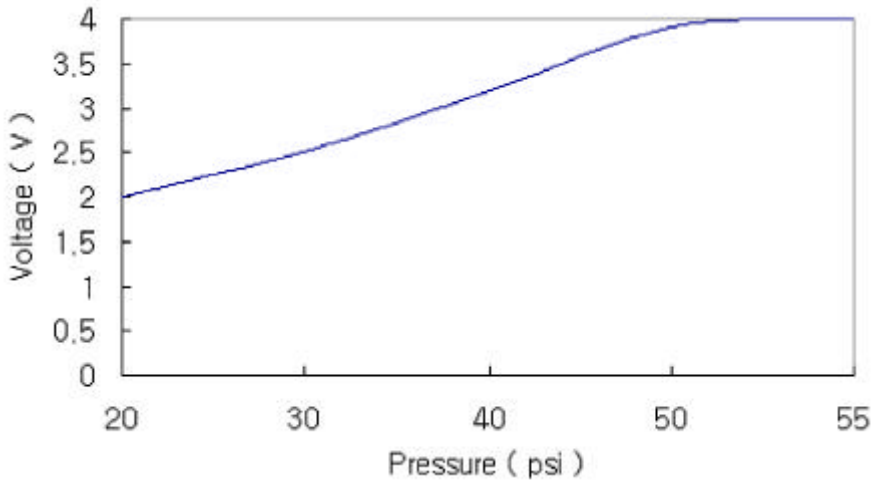


Figure 9-11. Pressure-Voltage curve

한편 실제실험에서는 주행속도를 측정한 전압의 수준과 맞추기 위하여 voltage divider를 이용하여 압력센서로 부터 측정한 전압의 0.5배를 비교신호로 사용하였다.

제 10 장 붐의 수평제어 시스템

제 1 절 Active 붐 서스펜션의 수평제어계 설계 및 제작

1. 구조 변경

붐의 수평을 제어하기 위해서 기존의 방제기 구조를 변경이 요구되었다. 기존의 붐은 방제기에 고정되어 있어서 방제기가 불규칙적인 토양에 의한 롤링으로 기울어 질 때 붐도 따라서 기울기 때문에 붐의 수평을 독립적으로 제어할 수 없다. 붐의 수평을 붐방제기의 롤링과 분리해서 제어하기 위해서 붐 지지 프레임의 중앙부에 회전축을 설치하여 붐의 롤링이 가능하도록 설계하였다. 그림 10-1은 붐이 방제기에 고정되어 있는 기존 방제기 구조이고 그림 10-2는 변경된 붐 방제기의 구조를 보여주고 있다.

Fig. 10-1. Established structure of boom

Fig. 10-2. Modified structure of boom

변경된 구조를 그림 10-3에 입체적으로 나타내었는데 파워 실린더가 붐의 한쪽에서 회전축을 중심으로 붐을 밀고 당길 수 있게 붐과 수직을 이루며 방제기의 프레임에 설치되어 있으며 파워실린더의 길이는 중간위치로 붐이 수평을 이루고 있다. 파워 실린더가 붐 프레임 회전축을 중심으로 시계방향으로 붐을 밀어(파워실린더가 늘어났을 때) 10° 기울게 한 것을 그림 10-6에 나타내었고 그 반대의 경우 즉 파워실린더가 줄어들어 붐을 -10° 기울게 한 상태는 그림 10-5에 나타내었다.

표 10-1의 변경된 붐 구조의 파워 실린더 길이 변화에 따른 붐 끝의 높이 변화를 보면 범위가 156cm(±78cm)로 나타났다. 붐방제기의 롤링에 의한 붐 끝 변화는 설계된 위치에서의 파워실린더 작동으로 보상할 수 있다.

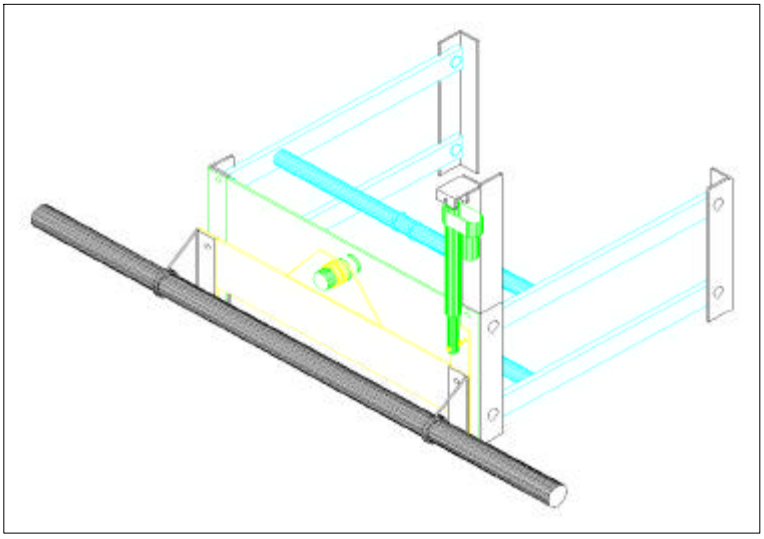


Fig. 10-3. Modified boom structure maintaining horizon

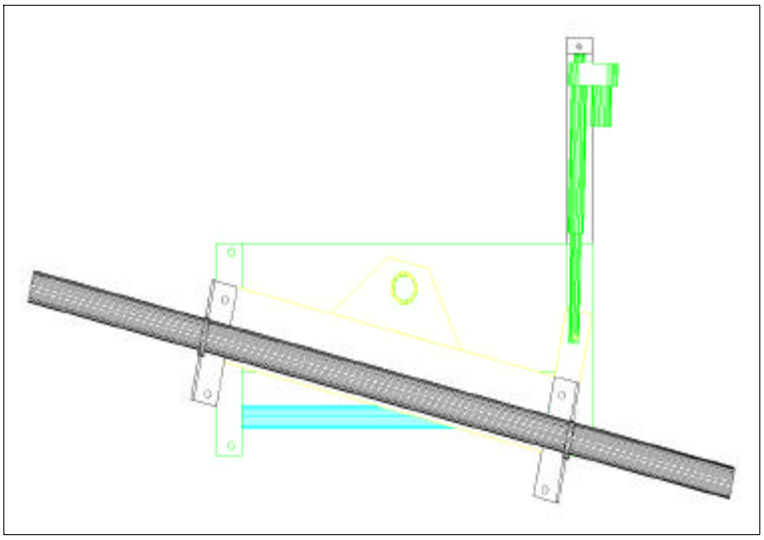


Fig. 10-4. Front view of modified boom (actuator push the boom)

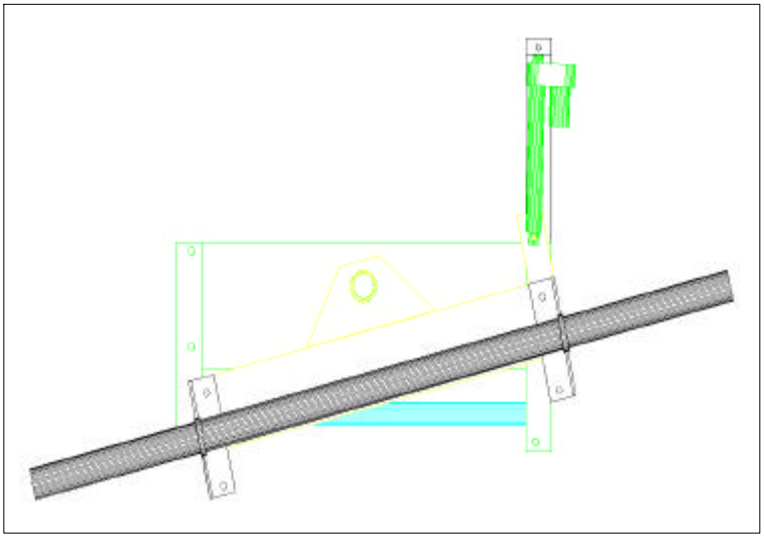


Fig. 10-5. Front view of modified boom (actuator pull up the boom)

Table 10-1. Boom tip height and angle with varying actuator length

Actuator length (cm)	Boom tip height (cm)	Boom angle (°)
30	163	10
37.5	85	0
45	7	-10

2. 붐거동 측정

이 실험의 목적은 붐 끝의 롤링을 구명하여 붐 수평 제어의 기초 자료를 제공하는데 있었으며 실험은 서울대학교 부속농장의 논에서 수행하였다. 붐 거동 측정장치는 붐 방제기, 붐 끝에 장착된 로터리 포텐시오미터, A/D 변환용 PC Lab card, 컴퓨터, 알루미늄 샤시 그리고 로터리 포텐시오미터에 부착된 막대기로 구성되었다. 붐방제기

의 포장 주행시 붐 끝이 롤링작용을 함에 따라 로터리 포텐시오미터는 회전 각도에 비례하는 전압을 출력한다. 붐의 거동에 따라 출력된 전압은 PC Lab 카드를 통해서 A/D로 변환되어 컴퓨터에 저장된다. 그림 10-7는 측정 장치의 측면을 나타낸 것으로 붐이 지면과 수평을 이루고 있는 상태로 이때 붐의 수평면과 붐 끝에 부착된 막대기가 이루는 각을 α라고 하면 α는 로터리 포텐시오미터의 출력전압을 EC라할 때 EC에 비례한다. 따라서 붐 끝의 높이 H는 다음과 같은 식으로 표시된다.

$$H = \text{Stick length} \times \cos\alpha \qquad (10-1)$$

식(10-1)에 따라서 붐끝의 거동을 기준면에 대한 높이 H로 나타낼 수 있다. 지면에 놓인 기준이 되는 면(알루미늄 샤시)의 길이는 5m이다. 표 10-2은 로터리 포텐시오미터의 제원이며 그림. 10-8.은 로터리 포텐시오미터의 각 변화에 따른 컴퓨터 신호로 각 변화에 따라 컴퓨터 신호가 직선적으로 비례한다는 것을 알 수 있다. 반대로 컴퓨터 신호로 부터 로터리 포텐시오미터의 각도를 알 수 있으므로 식(10-1)의 각 α를 계산해 낼 수 있다.

Table 10-2. Characteristic of rotary potentiometer

Model	CPP-45
Resistance	1kΩ
Resolution	∞
Linearity	±0.5%
input Voltage	5, 12 V
Rotation angle	350°

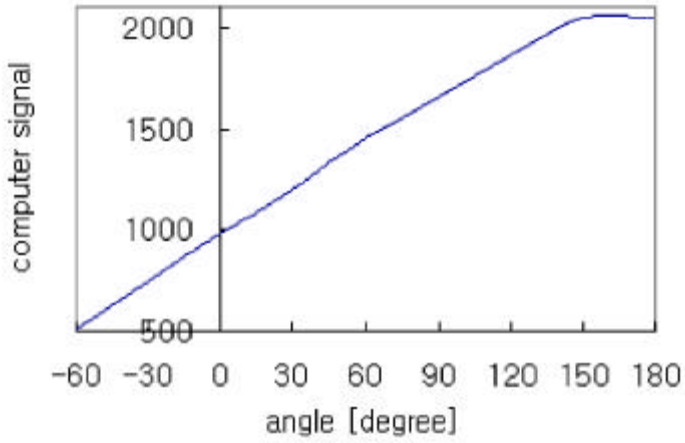


Fig. 10-6. Performance of rotary potentiometer

Fig. 10-7. Side view of boom tip behavior measurement system

이 실험에서 수직방향의 붐의 병진운동은 작아서 무시하고 방제기의 주행속도는 방제작업시 주행속도인 1.1 km/h 와 1.7 km/h 두 수준으로 실험을 실시했다. 그림 10-8은 붐 거동 측정 장면을 나타내고 있다.

Fig 10-8. A system of boom tip behavior measurement

3. 붐 수평 측정 시스템

본 연구에서 붐의 수평을 측정하기 위해 사용한 PMP-S10T는, 스프링·서스펜션의 진자에 마그네트와 자기저항소자를 조합해서, 경사각을 검출하는 작고 고정밀도의 경사각 센서이다. 본체 내부에 충진된 댐퍼오일에 외부진동 영향을 주면 경사각 ±10°의 범위내에서 직선적인 출력을 얻을 수 있다.

그림 10-9 은 입력전압을 5V로 했을 때의 출력특성도로 경사가 0°일 때 출력 전압은 2.6V, ±10°일 때 각각 2.1V, 2.9V로 경사가 변함에 따라 출력이 직선적으로 변함을 알 수 있다. 그림 10-10는 변경된 붐 구조의 중앙부에 장착된 경사 센서의 모습이다. 따라서 붐이 기울면 그에 따른 경사도를 출력하여 붐 수평정도를 알 수 있게 된다.

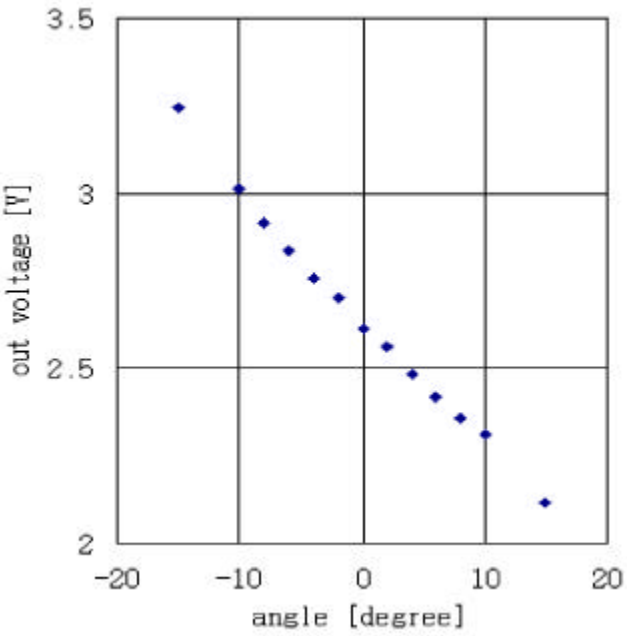


Fig. 10-9. Output characteristic of angle sensor

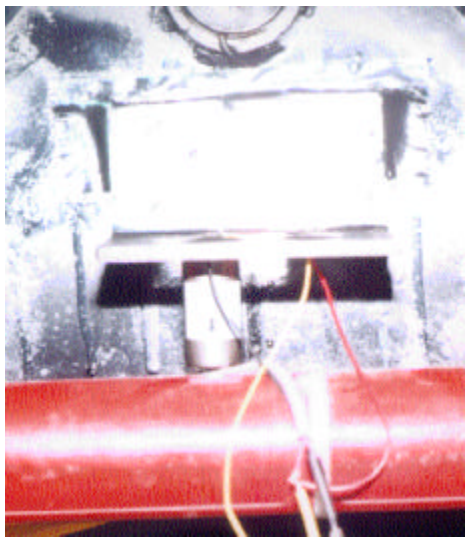


Fig. 10-10. Angle sensor attached in the middle of boom

4. 작동기 선정

붐의 수평제어를 위한 작동기로는 유압과 직류모터 검토되었다. 유압은 붐의 길이가 길어져 그 무게가 증가할수록 유리하고, 대부분의 농기계가 유압시스템을 갖추고 있어 기존 시스템의 변경으로 사용이 가능한 이점이 있으나 응답성이 느린 단점을 갖고 있다. 반면 직류모터인 파워 실린더는 상대적으로 설치 비용이 저렴하고, 전원으로 밧데리를 이용할 수 있으며, 빠른 응답성을 확보할 수 있는 이점이 있다. 본 연구에서 사용하는 붐방제기에는 유압시스템이 없으므로 붐을 작동시킬 장치는 밧데리(DC 12V)로 작동되고 고속이며 가벼워야 한다.

이에 선정된 직류 모터(파워 실린더)의 제원은 표 10-3에 나타냈고 제어시스템에 설치된 모습은 그림 10-11에 나타내었다.

Table 10-3. Characteristic of power cylinder

Model No.	LPA010M1.5(V)
Rated power (kg)	10
Stroke (mm)	150
Speed (mm/s)	50
Power supply (V)	DC 12V
Current in rated load (A)	1.7

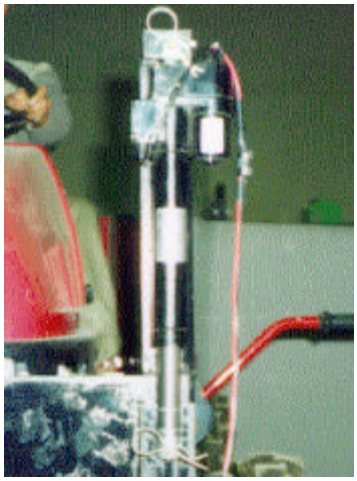


Fig. 10-11. Power cylinder

5. 수평제어 알고리즘

그림 10-12 는 붐 수평제어계의 순서도를 나타낸 것으로 흐름을 보면 입력전압을 5V로하여 경사센서의 출력전압이 PC Lab 카드를 통해서 A/D 변화되어 컴퓨터에 입력되면 제어 프로그램에서 기준값(수평일 때의 값)과 경사센서의 신호값의 차이를 측정한 후 에러 및 데드 밴드(dead band)를 판단하여 PC Lab 카드를 통해서 디지털 신호를 내보낸다. 이 디지털 신호에 따라 파워 실린더 구동 릴레이가 작동되어 파워 실린더가 정회전(붐을 밀어냄), 역회전(붐을 끌어당김), 정지의 동작을 하게 된다. 이 과정을 피드백으로 반복하여 그 결과로 붐의 수평을 원하는 수준으로 제어할 수 있게 하였다.

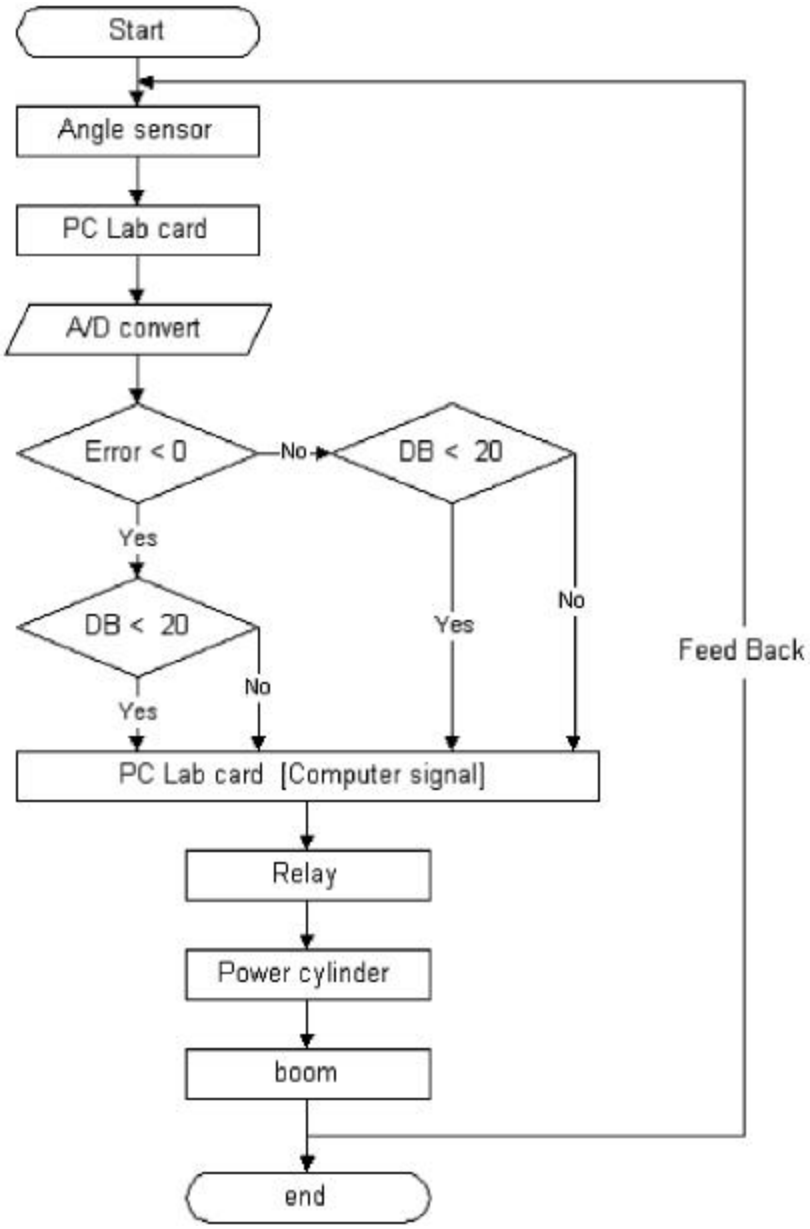


Fig. 10-12. Flow chart of boom height control system

그림 10-13 는 파워실린더 구동 릴레이의 형상으로 왼쪽에 있는 전선에 컴퓨터로부터 디지털 신호와 방제기 밧데리의 DC 12V가 들어오면 사각형의 릴레이가 신호에 따라 작동되어 오른쪽에 있는 전선

에 파워실린더를 정회전·역회전 시킬 ±12V를 내보낸다.

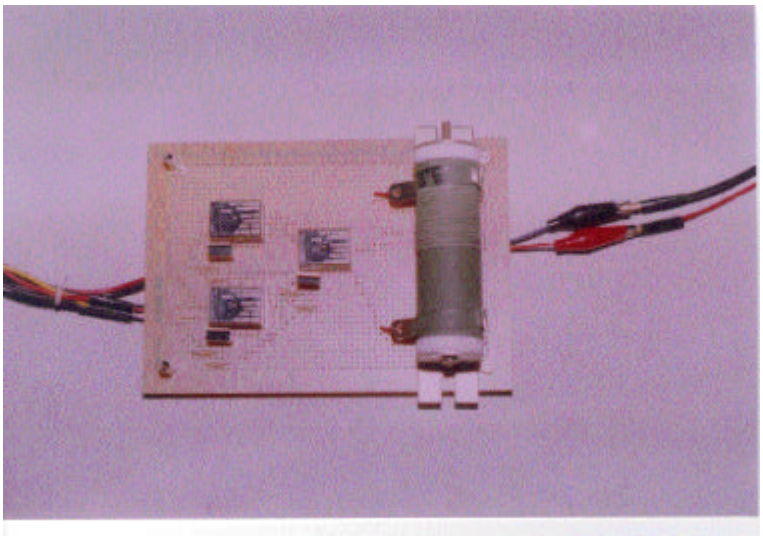


Fig. 10-13. Power cylinder drive relay

제 3 절 실내 성능 실험

실내실험의 경우 그림 10-12의 순서도에 A/D 변환기와 오차값 판단사이에 ②절에서 측정한 붐 거동 주파수 및 진폭에 해당하는 입력신호를 컴퓨터 내부에서 발생시킨 후 경사센서의 출력신호와 비교하여 신호의 차이에 따라 파워 실린더를 구동하여 입력신호를 출력신호가 따라가도록 알고리즘을 변경한 후 실시하였다.

1. 붐 거동

기준면으로부터의 붐 끝 높이(H)는 식(10-1)을 써서 계산했다. 측정된 붐 거동은 그림 10-14, 10-15에 나타나 있는 것처럼 방제기의 속

도가 1.1km/hr일경우 주파수가 0.1 Hz 에서 0.3 Hz 범위(작은 진폭으로 측정된 주파수는 붐의 거시적인 롤링에 영향을 적게 주는 것으로 간주)에 있고, 붐 끝의 높이는 30 80cm 의 범위에서 변했다. 그림 10-16, 10-17는 방제기의 속도가 1.7km/hr 인 경우로 속도가 1.1km/hr인 경우처럼 주파수가 0.1 Hz 에서 0.3 Hz 범위(작은 진폭으로 측정된 주파수는 붐의 거시적인 롤링에 영향을 적게 주는 것으로 간주)에 있고, 붐 끝의 높이는 25 60cm 의 범위에서 변했다.

이 것으로 볼 때 붐의 기울기에 영향을 주는 주파수는 0.1Hz 0.3Hz 사이의 저주파라는 것과 붐 끝 높이의 변화가 기준면을 기준으로 약 25cm 80cm 인 것을 알 수 있다.

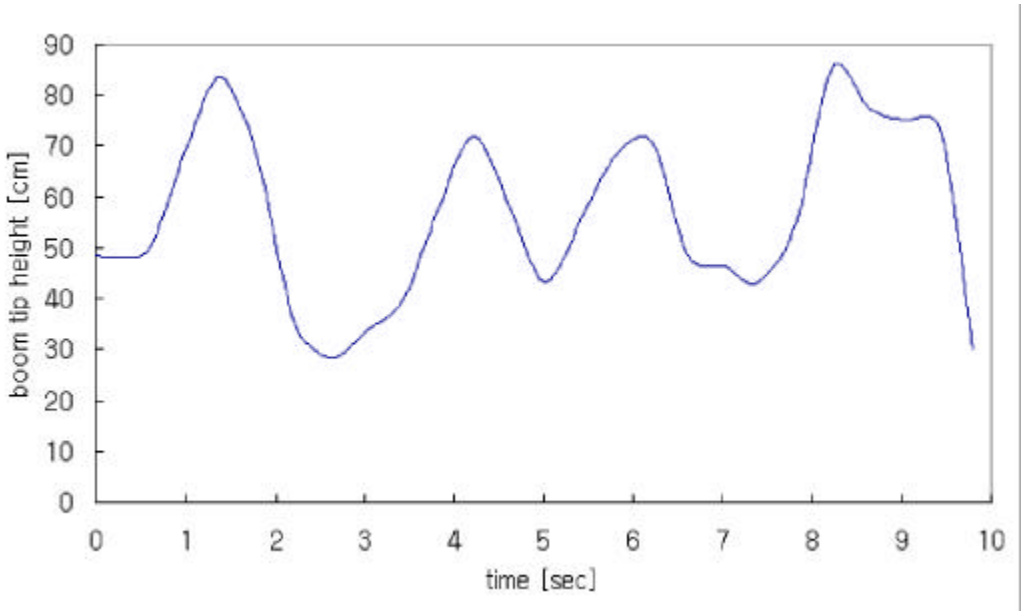


Fig. 10-14. Boom tip behavior at boom sprayer speed 1.1km/hr

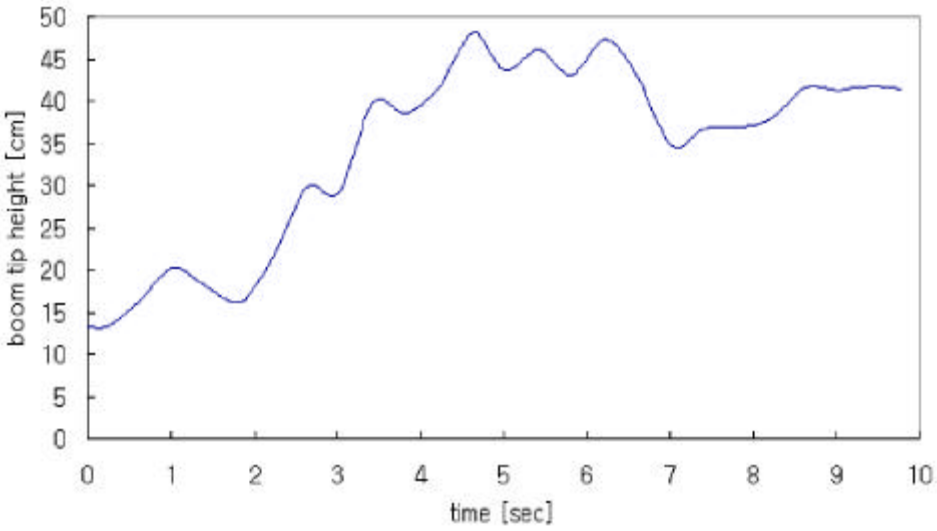


Fig. 10-15. Boom tip behavior at boom sprayer speed 1.1km/hr

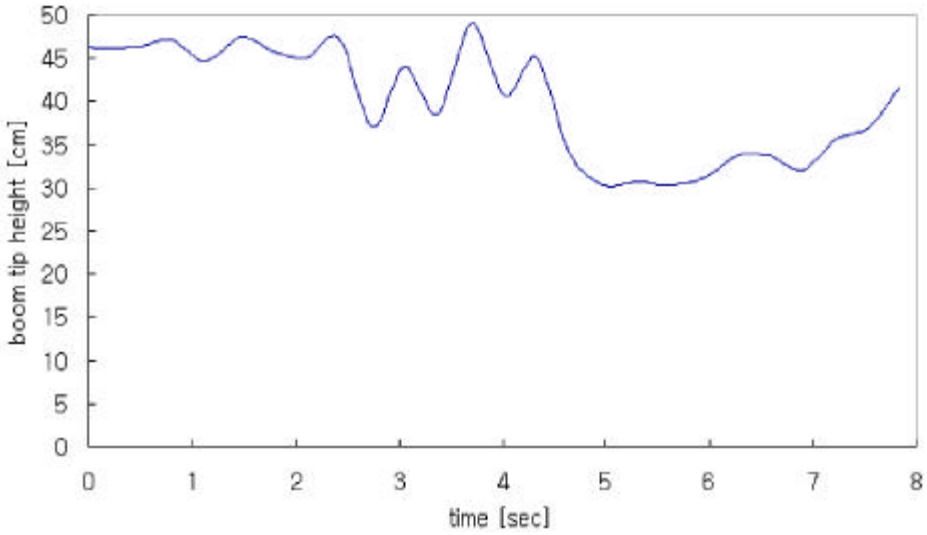


Fig. 10-16. Boom tip behavior at boom sprayer speed 1.7km/hr

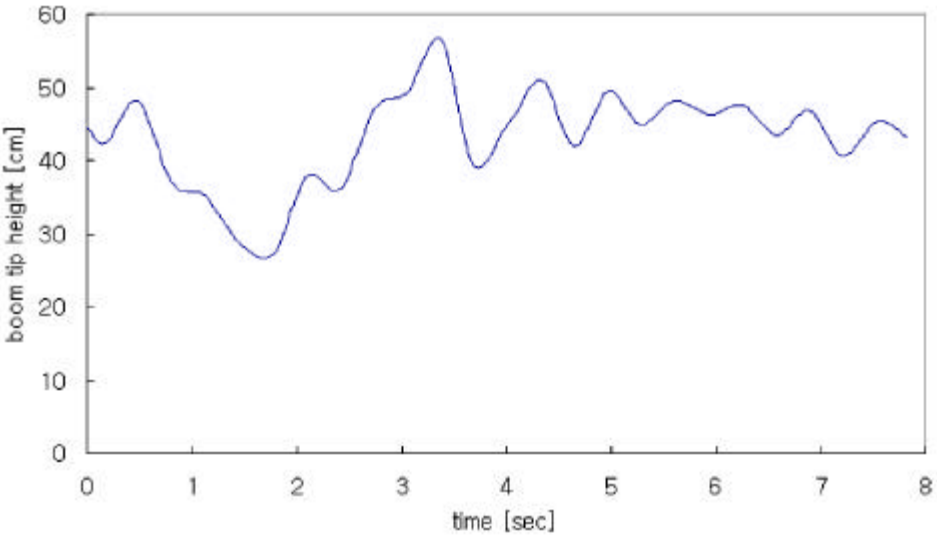


Fig. 10-17. Boom tip behavior at boom sprayer speed 1.7km/hr

2. 실내 실험

그림 10-18, 10-19은 입력신호로 로터리 포텐시오미터에서 일정한 신호를 준후 경사센서의 출력신호가 입력신호와 같게 될 때까지 파워 실린더를 작동시킨 후 응답성을 나타낸 것으로 파워실린더가 붐을 밀 경우 응답성은 0.417V/sec, 붐을 끌어당길 경우 응답성은 -0.372 V/sec 로 하중에 의해 약간의 차이가 있으나 붐의 거동을 다루는 데에는 적합하였다.

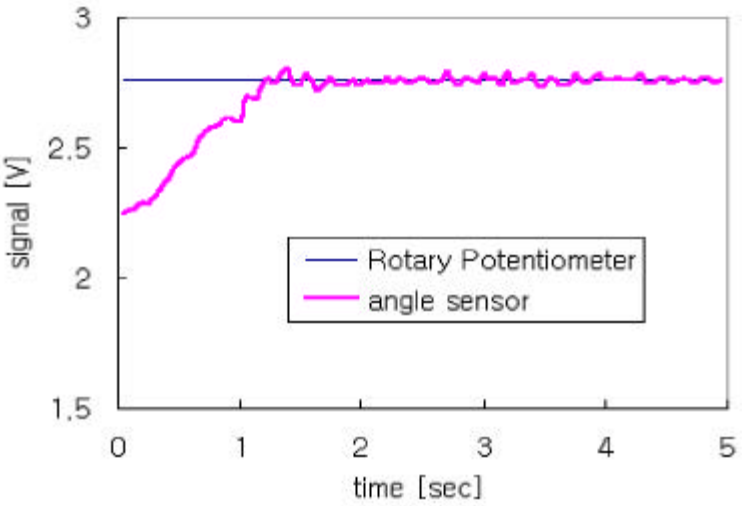


Fig. 10-18. Response of power cylinder (push)

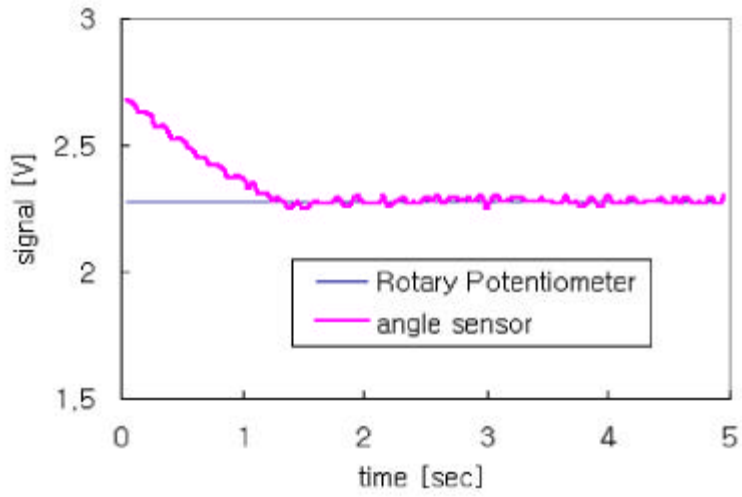


Fig. 10-19. Response of power cylinder (pull)

그림 10-20는 입력신호를 주파수 0.1Hz, 진폭 ± 130(컴퓨터 신호)

에 해당하는 정현파를 입력으로 하고 샘플링 시간을 30ms로 한 후 경사센서의 응답출력정도를 표시한 것으로 지연시간이 거의 없이 입력신호를 잘 쫓아가고 있는 것을 알 수 있다.

그림 10-21은 입력신호를 주파수 0.2Hz, 진폭 ± 130(컴퓨터 신호)에 해당하는 정현파를 입력으로 했을 때 경사센서의 응답출력정도를 표시한 것으로 위상 지연시간이 약 0.3초로 입력신호를 쫓아가고 있는 것을 알 수 있다.

그림 10-22는 입력신호를 주파수 0.3Hz, 진폭 ± 130(컴퓨터 신호)에 해당하는 정현파를 입력으로 했을 때 경사센서의 응답출력정도를 표시한 것으로 지연시간이 0.1sec로 입력신호를 잘 쫓아가고 있는 것을 알 수 있다.

이 결과로 붐 수평제어 시스템은 0.1Hz에서 0.3Hz 범위의 신호에 대해서 제어가 가능하였다.

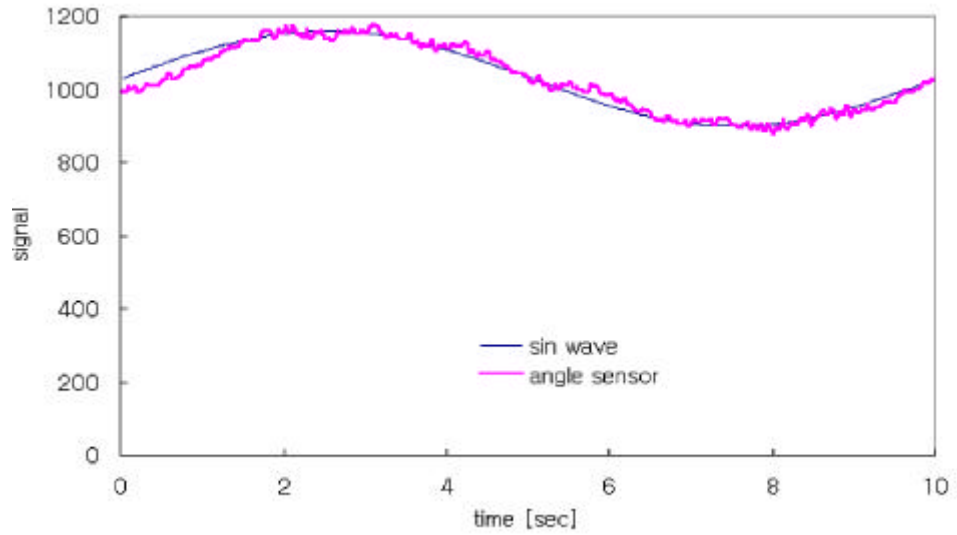


Fig. 10-20. Control performance of boom with sin_wave (sampling time 30ms, 0.1Hz)

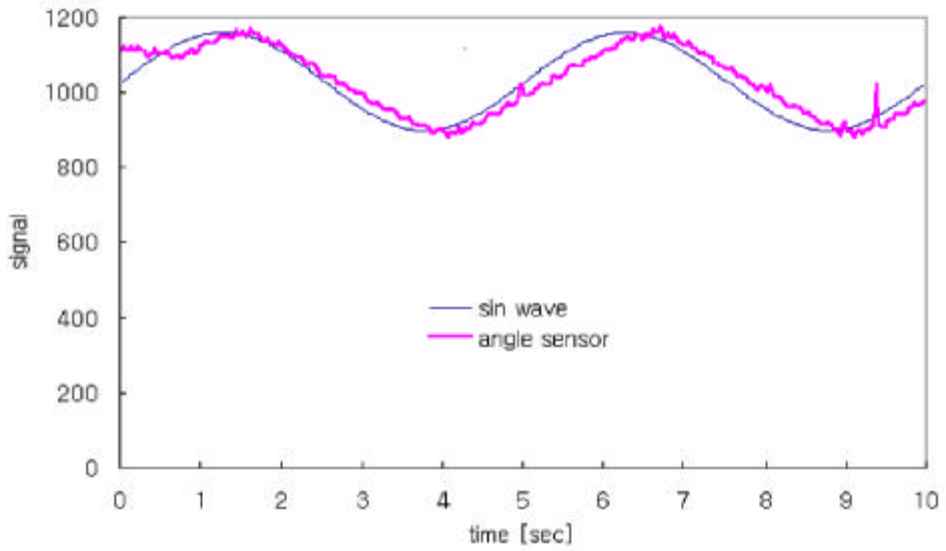


Fig. 10-21. Control performance of boom with sin_wave (sampling time 30ms, 0.2Hz)

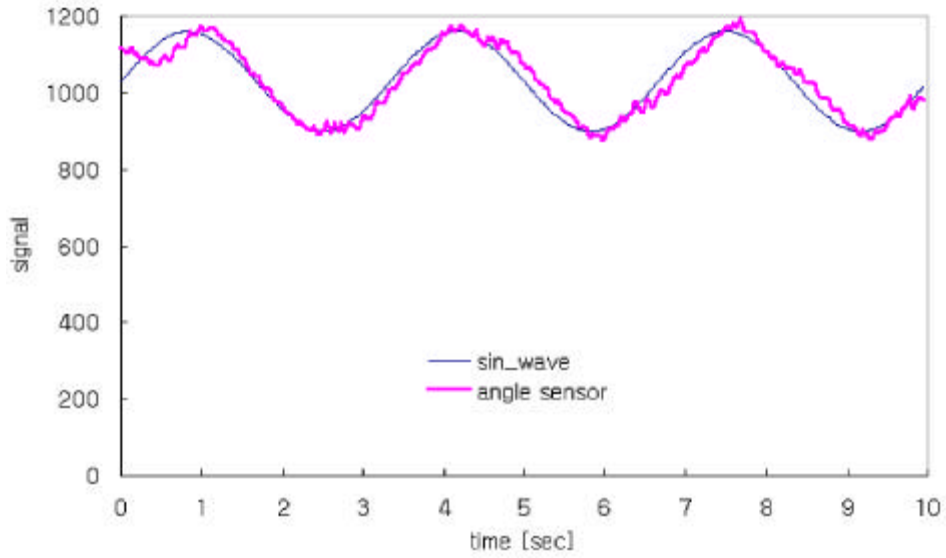


Fig. 10-22. Control performance of boom with sin_wave (sampling time 30ms, 0.3Hz)

제 11 장 포장성능시험

제1절 붐 방제기의 포장 작업능률 및 효율

본 절에서는 개발된 붐방제기를 이용한 전면살포와 기부살포의 효율성을 비교·분석하고 이를 관행 방제기계작업체계의 주종인 동력분무기의 살포특성과 비교하였다.

1. 실험 방법

가. 붐방제기 기부살포

(1) 실험수준

붐방제기 기부살포 피복실험의 실험 수준은 노즐간격에서 두 수준, 살포속도에서 두 수준으로 정하였다. 노즐간격 수준은 60cm, 90cm, 살포속도 수준은 주행속도 1.1km/hr, 1.7km/hr으로 하였다.

(2) 감수지의 배치

감수지는 벼 한 주에 대해서 붐방제기의 주행방향의 반대편을 전방으로 주행방향을 후방으로 하여 전,후,좌,우로 동력분무기 피복실험과 같이 막대에 감수지를 상,중,하 배치하였다. 그리고 살포방향에 수직으로 3주에 대하여 배치하였다. 감수지의 배치는 그림11-1과 같다.

기부살포노즐은 높이별로 부착된 감수지 중 중간 높이의 감수지를 지나가도록 지면에서 25cm를 유지하게 붐높이를 조정하였다.

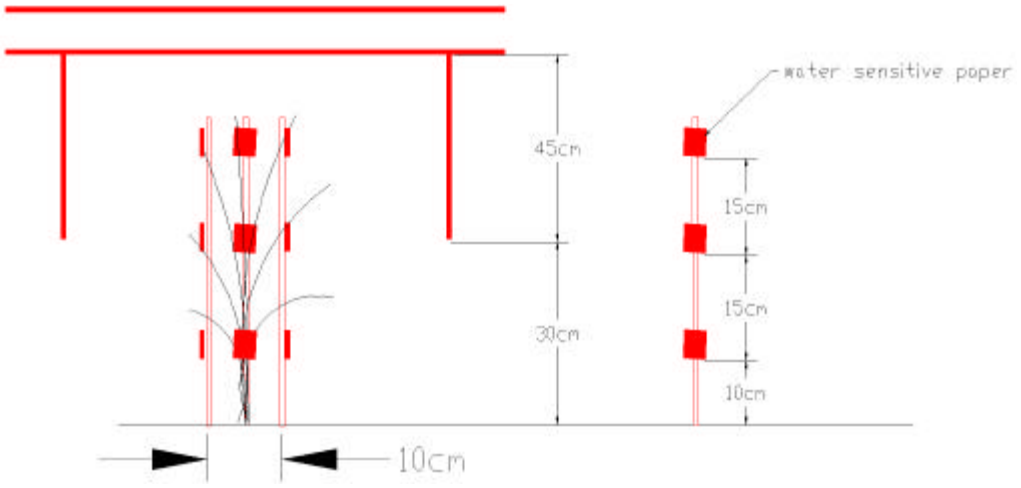


Fig. 11-1. Arrangement of sensitive paper in row crop spraying test

그림 11-2는 포장에서 실험하는 모습과 벼 주위에 감수지를 설치한 모습이다

Fig. 11-2. Coverage rate test and sensitive paper arrangement of boom sprayer

나. 붐방제기 전면살포

전면살포의 피복실험은 기부살포실험에 사용한 붐에서 기부용 수직요소를 분해하고 노즐을 붐에 일직선상으로 배열하여 실험하였다. 노즐은 선형노즐(Spraying System Co., 11001VS)을 사용하였으며, 그림 11-3은 벼에 전면살포로 방제할 때의 모습을 나타내었다.

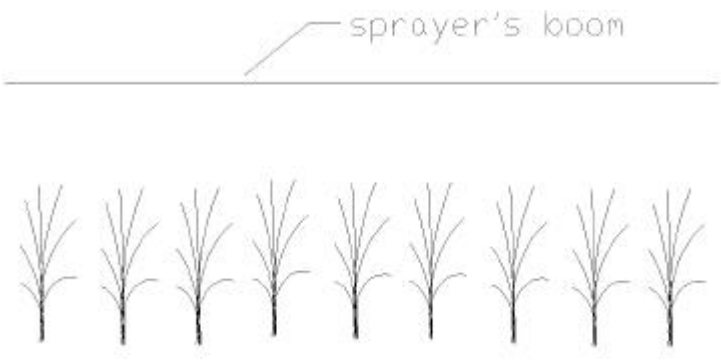


Fig. 11-3. Overall spraying with the boom sprayer

살포속도 수준은 기부살포시와 같이 1.1km/hr, 1.7km/hr 두 수준으로 하였고, 노즐간격 수준은 30cm, 45cm 두 수준으로 정하였다. 전면살포의 경우, 자체 제작된 살포장치와 기존의 M사의 살포장치의 살포성능을 실험을 통하여 비교하였다. 비교 실험을 위한 실험 조건은 표 11-1과 같다.

Table 11-1 Experimental conditions in overall spraying.

	전면살포A	전면살포B
살포압력	300kPa	20000kPa
펌프	롤러펌프	3련 플런저 펌프
노즐간격	30cm, 45cm	30cm
살포속도	1.1km/hr, 1.7km/hr	1.1km/hr, 1.7km/hr
노즐	선형노즐 (Spraying System Co. 11001VS)	원추공형노즐(세라믹)
제작회사	자체 제작	일본 마루야마

다. 동력분무기의 피복 특성 실험

동력분무기는 현재 국내 수도작 방제 작업에서 널리 사용되고 있는 방제기계이다. 동력분무기는 방제대상 작물에서 떨어져서 살포할 뿐만 아니라 사람이 살포량을 조절하므로 피복 형태를 규정하기에는 어려움이 따른다. 따라서 본 연구에서는 동력분무기의 피복특성을 밝히기 보다는 피복형태의 경향을 알아내기 위해 두 실험 포장에 대해서 각기 다른 작업자로 실험을 수행하였다. 실험조건은 표11-2와 같다

동력분무기 실험은 작업자가 논둑에서 살포하는 방식을 채택하였다.

그림 11-4는 동력분무기 피복실험에서의 감수지 부착 위치를 나타낸 것으로서 감수지(WSP, Water Sensitive Paper, 76mm×26mm)를 부착한 막대를 그림 11-4의 왼편에 나타난 바와 같이 실험포장에서 분무기 쪽으로부터 4m마다 3열, 장변방향 4m 간격으로 4개씩 설치

하였다. 감수지는 모두 살포방향을 향하게 했으며 분무기 쪽으로부터 1열, 2열, 3열로, 좌로부터 1,2,3,4로 표시하였다. 작업자는 감수지 설치 여부를 모르면서 평소와 같은 방식으로 작업하였다.

Table 11-2. Experimental condition of coverage rate test with a power sprayer

	실험 A	실험 B
날짜 및 시간	8월 29일	9월 1일
작 업 자	농민	농촌진흥청 소속 직원
장 소	서울대 농생대 부속 농장 (100×30)	농촌진흥청 기계화연구소 실험 포장 (100×30)
온도	29℃	29℃
바람(방향)	0.8m/s(SW)	1.0m/s(SE)
습도(R.H.)	40	52
살포노즐	철포형 분구	직선형 다공 노즐

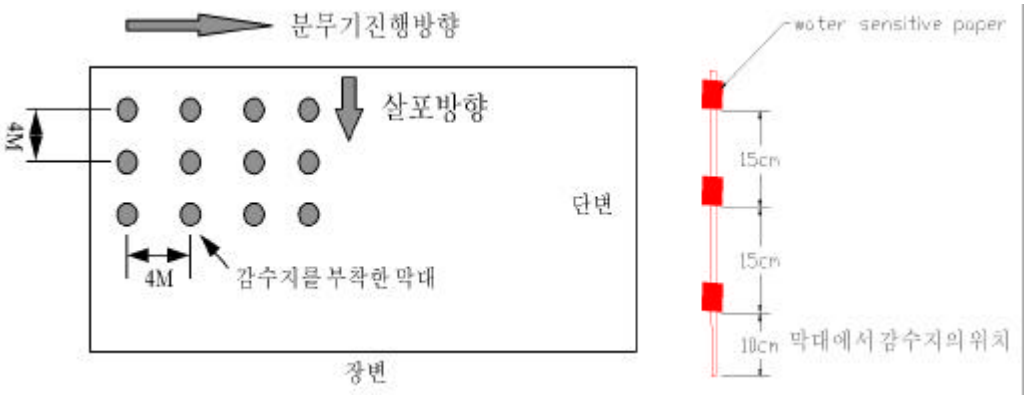


Fig. 11-4. Arrangement of the sensitive paper in the coverage rate test with a power sprayer

2. 실험결과 분석방법

가. 피복률과 입자밀도

검출된 감수지의 분석을 위해 피복률(Coverage rate)과 입자밀도(droplets rate)를 사용하였다.

$$\text{피복률} = \frac{\text{분무립의 부착 면적}}{\text{시편의 전체면적 } (1cm^2)} \times 100 \quad (\%)$$

입자밀도 : 단위면적당 피복된 입자의 수 (droplets/cm2) 피복상태의 균일성은 피복률과 입자밀도의 변이계수(C.V:Coefficient of Variation)를 구하여 평가한다.

$$C.V(\%) = \frac{S}{\overline{Y}} \times 100$$

여기서, S : 측정값의표준편차

$\overline{Y}$:측정값의평균

나. 영상처리를 이용한 피복률 측정

피복률은 영상처리장치를 이용하여 측정하였다. 영상을 잡기 위한 조명은 백열등을 사용하였으며, 1픽셀의 크기는 가로 0.0379mm, 세로 0.0309mm이었다. 영상크기는 가로 7.4mm, 세로 7.4mm의 장방형이며 RGB값 중 G의 문턱값을 기준으로 영상을 이치화 한 후, 피복부위의 픽셀의 수로서 피복률를 계산하였다. 그리고 하나의 감수지에서 상,

중, 하 세 곳의 피복률을 측정하였다.

다. 입자밀도의 계산

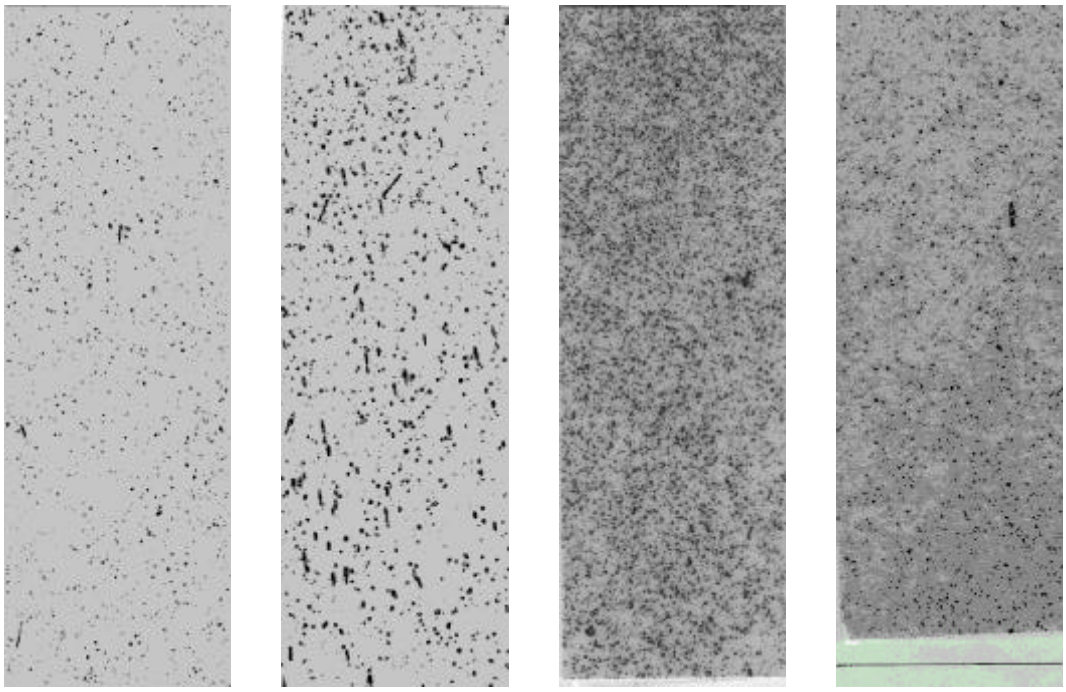
입자밀도는 확대경을 이용하여 육안으로 입자의 숫자를 세었다. 피복률의 측정 때와 같이 하나의 감수지에 대하여 상중하 세 부분에 장방형의 경계를 만든 후 그 속에 있는 입자수를 세었다. 입자는 육안으로 구분 가능한 정도로 크기를 대(400㎛이상),중(200 400㎛),소(200㎛이하)로 나누어 구분하였다.

3. 붐방제기 전면살포시의 피복 특성

본 연구에서는 붐방제기 전면살포의 피복특성을 분석하기 위하여 표 11-1에 나타난 두 가지의 살포장치에서 포장에서 실험을 행하였다. 살포장치A는 붐방제기의 균일한 살포성능을 이용하여 소량살포 목적으로 구성하였으며, 살포장치B는 피복률을 극대화 하기 위해 구성되었다.

그림 11-5는 실험을 통해 채취한 감수지의 영상으로서 붐방제기 전면살포 피복 특성을 나타내고 있다. 그림 11-5중 (a)와 (b)는 전면살포A로 살포했을 때의 피복 특성이다. 이 중 (a)는 작물의 상부에서 장치한 감수지 시편이며, (b)는 작물의 하부에 장치한 감수지이다. (a)의 피복 형태는 작은 입자들은 원형으로 피복 되었으나 어느 정도 입경이 큰 입자들은 피복 되면서 약간씩 흐르는 형태로 피복 되었다. 이러한 피복현상은 노즐로부터의 거리가 가까워서 입자의 에너지가

부착에 필요한 에너지보다 크기때문으로 판단되었다. (c)와 (d)는 살포장치B의 피복 형태로써 전체적으로 입경이 작은 입자들이 많이 피복 되었다. 이는 살포장치B가 높은 압력과 원추공형노즐로서 미세한 입자를 형성하기 때문이다. (c)는 작물의 상부, (d)는 작물의 중간부분에 설치한 감수지 시편이다. (a)와 (b)에 비하여 (c)와 (d)는 작은 분무입자가 높은 밀도로서 피복 됨으로써 흐르지 않을 정도로 최대한 피복 시킨다는 원칙에 적합하다. (a),(b),(c),(d) 감수지 시편은 각각 피복 정도는 다르나 전체적으로 동일 시편 내에서는 균일하게 피복되었다.



(a) 전면살포 A (b) 전면살포 A (c) 전면살포B (d) 전면살포B

Fig. 11-5 Coverage characteristic in the overall spraying

그러나 전면살포의 살포대상 전영역에 모두 균일하게 살포되지는

않았다. 이는 벼 잎이 가리거나 높이에 따라 중첩효과가 다르고, 작물내의 기류상태에 작은 분무입자가 영향을 많이 받기 때문이다. 이는 살포장치가 실제 환경에서 처할 때 피복 상태의 변이가 큼을 말한다.

이렇듯 변이가 큰 결과를 평가하기 위해서 각 피복률이나 입자밀도를 일정한 계급으로 나누어 각 계급에 속한 감수지 시편의 비율로서 평가할 필요가 있다. 적절한 양의 농약을 살포하기 위해서는 가장 많은 감수지 시편의 피복률과 입자밀도를 기준으로 농약과 농도를 결정해야 하기 때문이다. 표11-3은 각 농약의 종류별 적정 입자밀도를 나타낸 것이다.

Table. 11-3. Optimum droplet density according to spray type

number of droplets per cm2	spray type
20 30	insecticides
20 30	herbicides pre-emergence
30 40	contact herbicides post-emergence
50 70	fungicide

*CIBA-GEIGY Co. Technical information 인용

표 11-3은 외국의 기준이나 적절한 피복율이나 입자밀도의 범위의 참고자료로서 사용하였다.

표 11-4는 전면살포장치A의 전체실험에 대해 피복률을 5%단위로 계급을 나누어 각 계급에 해당하는 감수지 시편의 개수를 나타낸 것이다. 그림 4-16에서 각 계급의 비율을 도시하였다.

Table. 11-4. Coverage rate distribution in overall spraying

피복률(%)	빈도수	비율%	누적 %
0-5	42	6%	6%
5-10	439	58%	64%
10-15	110	15%	78%
15-20	54	7%	85%
20-25	40	5%	91%
25-30	28	4%	94%
30-35	5	1%	95%
35-40	4	1%	96%
40-45	4	1%	96%
45-50	3	0%	96%
50-55	4	1%	97%
55-60	7	1%	98%
60-65	3	0%	98%
기타	13	2%	100%

표 11-4와 그림 11-6과 같이 전면살포A에서 각 감수지 시편의 피복률의 분포는 피복률 5% 25%에서 약 90%를 차지하고 있다. 그리고 5 10% 피복률의 감수지 시편이 64%를 차지하고 있다. 한 시편 내에서의 피복률의 분포는 그림 11-6과 같이 일정하므로 살포장치A의 경우에는 피복률 5 10% 범위에 알맞은 농약과 살포농도를 설정하여야 한다.

전면살포장치A와 전면살포장치 B의 각 수준별 입자밀도 히스토그램은 그림 11-7 11-8, 11-9, 11-10, 11-11, 및 11-12와 같다.

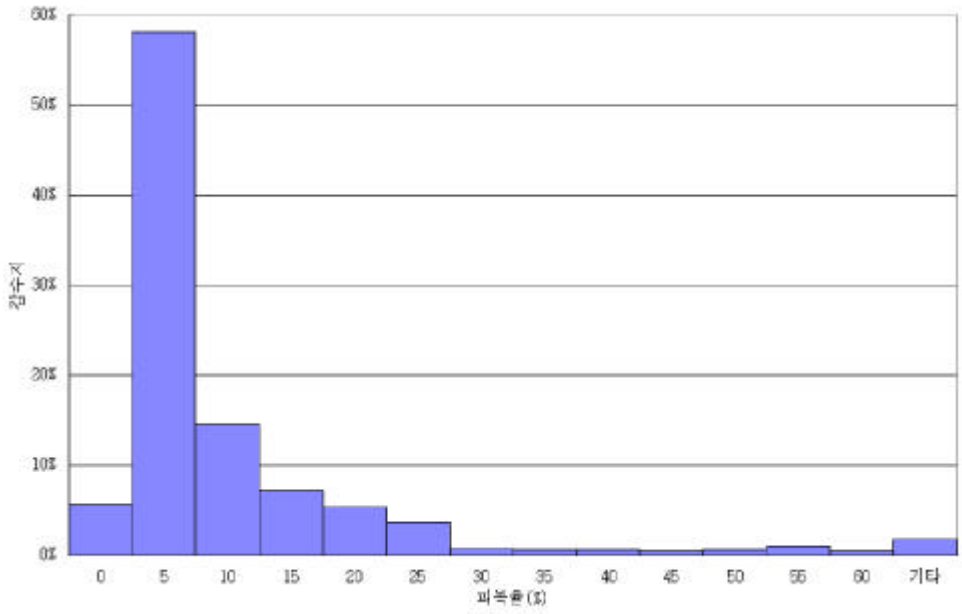


Fig. 11-6. Histogram according to coverage rate with overall spraying type A

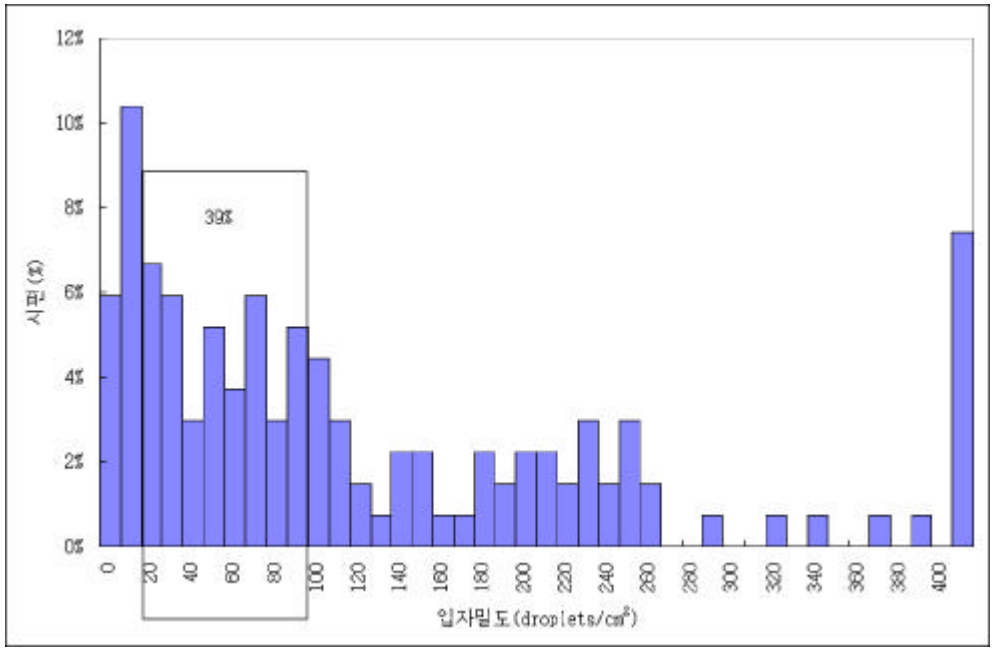


Fig. 11-7. Histogram of droplet density(nozzle distance : 45cm, spraying speed : 1.1km/hr) with overall spraying type A

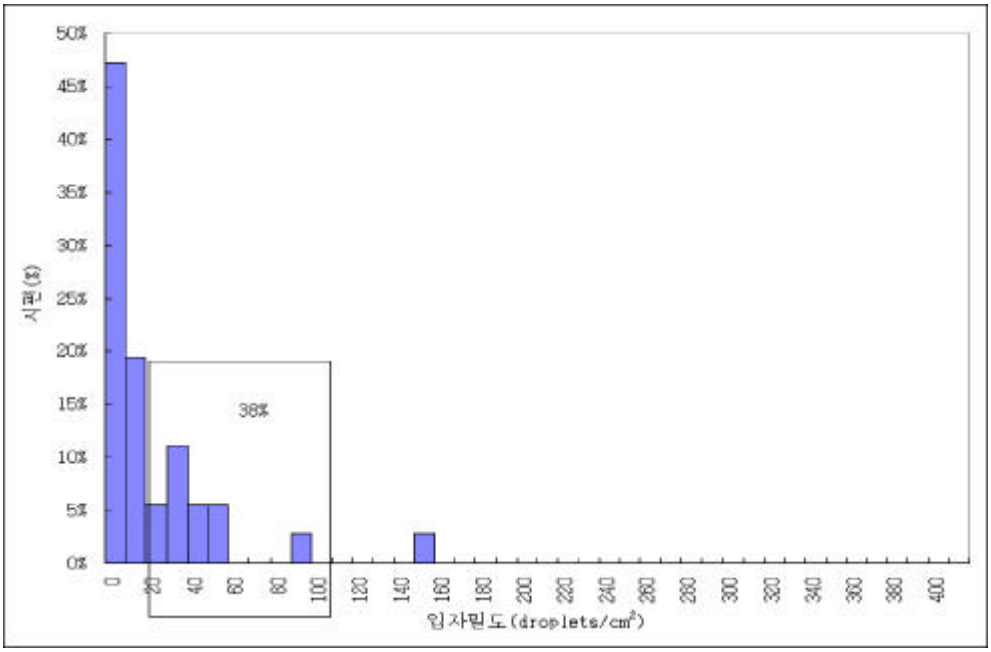


Fig. 11-8. Histogram of droplet density(nozzle distance : 45cm, spraying speed : 1.7km/hr) with overall spraying type A

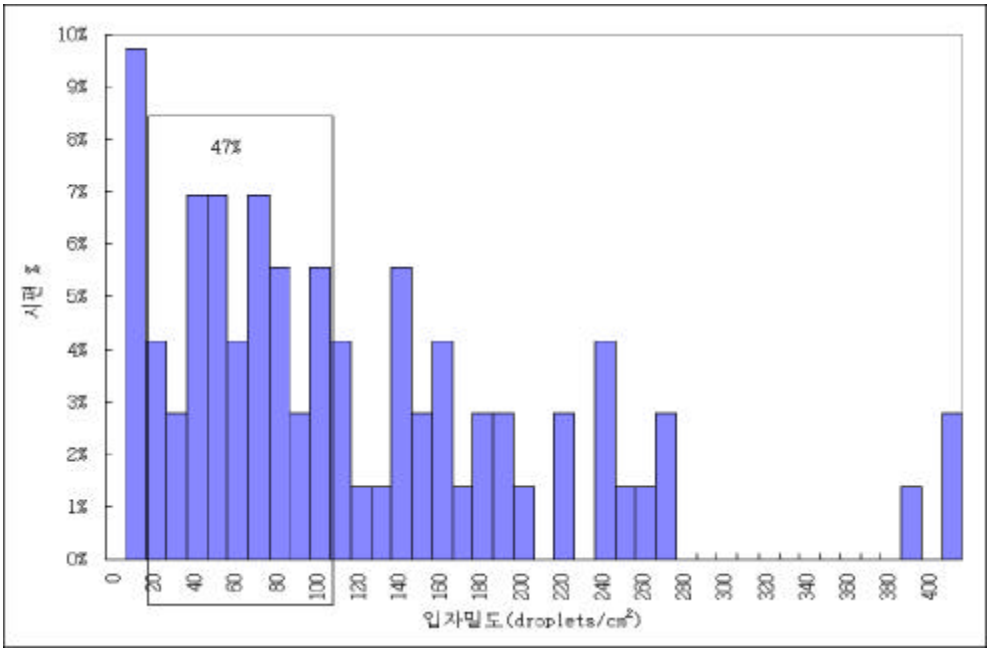


Fig. 11-9. Histogram of droplet density(nozzle distance : 30cm, spraying speed : 1.1km/hr) with overall spraying type A

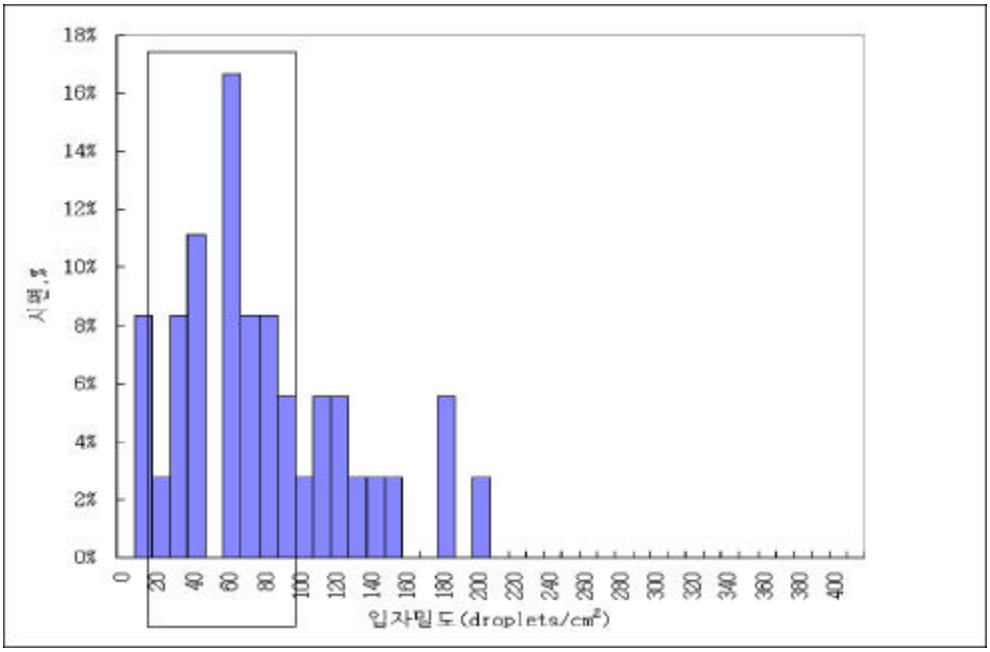


Fig. 11-10. Histogram of droplet density(nozzle distance : 30cm, spraying speed : 1.1km/hr) with overall spraying type A

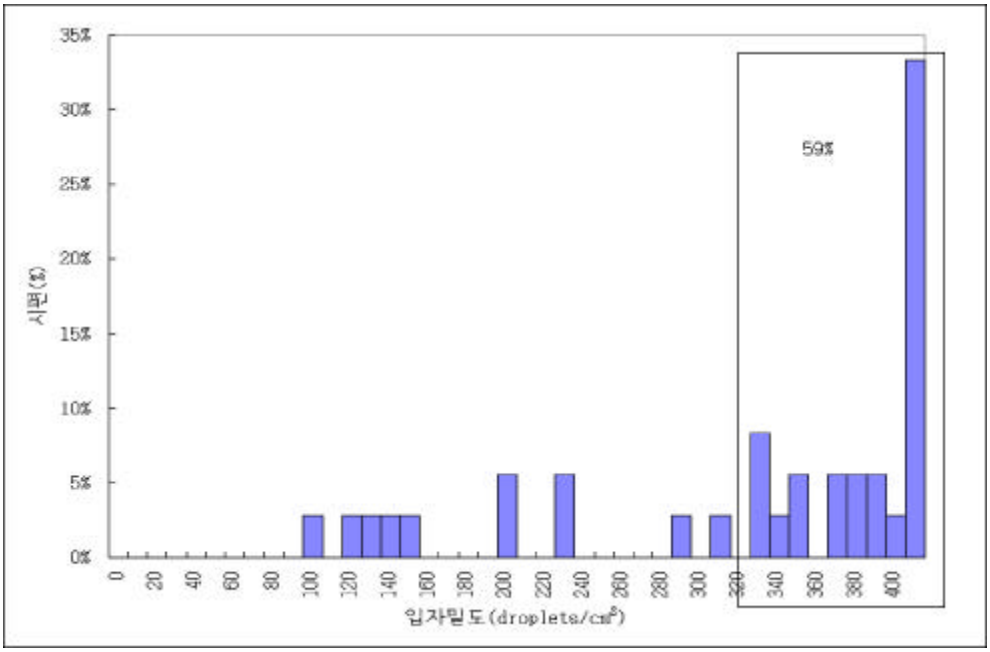


Fig. 11-11. Histogram of droplet density(nozzle distance : 30cm, spraying speed : 1.1km/hr) with overall spraying type B

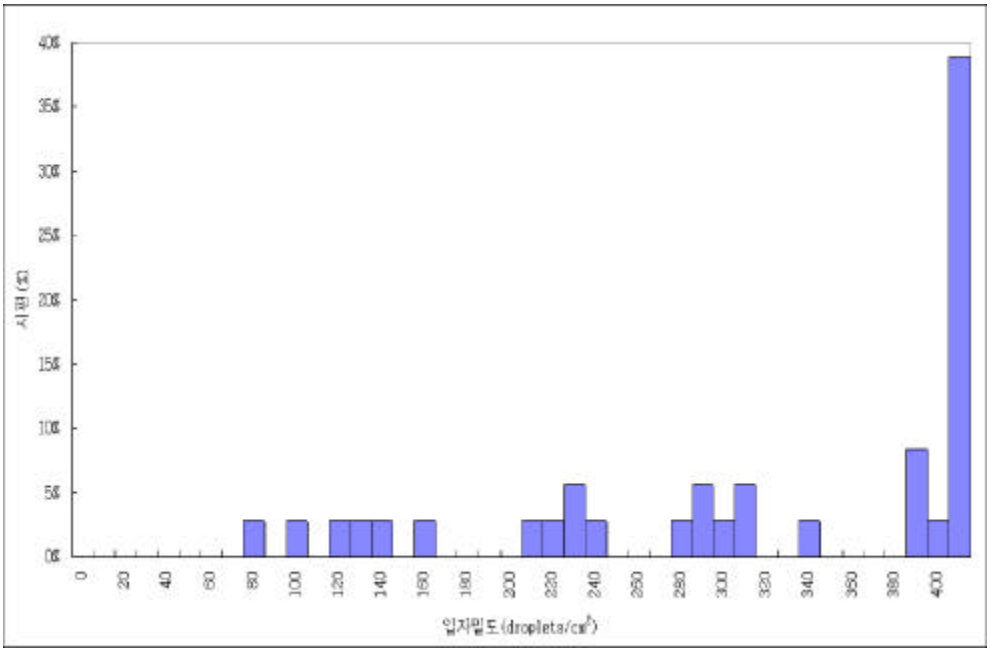


Fig. 11-12. Histogram of droplet density(nozzle distance : 30cm, spraying speed : 1.7km/hr) with overall spraying type B

그림 11-7, 8, 9, 10은 살포장치A의 피복 입자밀도의 히스토그램이며, 그림 11-11, 12은 살포장치B의 피복 입자밀도의 히스토그램이다.

표11-3에서 제시한 적정 입자밀도의 범위를 각 그림에서 box 표시를 하였고, 그 내부에 속하는 시편의 비율을 나타내었다. 전면살포장치 A의 경우 전체적으로 입자밀도가 넓게 분포되어 있으나, 적정 입자밀도에 속해 있는 부분이 많은 것으로 나타났다. 따라서 전면살포로서 충분히 저 유량살포가 가능하다고 판단되었다.

반면 전면살포B의 경우 입자밀도가 매우 큰 것으로 나타났다. 고압을 낼 수 있는 피스톤 펌프를 사용하였기 때문에 살포량이 많고, 입경이 작아서 단위면적당 방제립의 부착이 많았다. 그러므로 전면살포장치B의 경우에는 기존의 동력분무기용 농약으로 저 농도 살포를 하더라도 별 문제가 없을 것이다. 입자밀도의 범위에 따라 농약의 종류

와 농도를 결정할 수 있다.

가. 살포시기별 피복 특성

붐방제기 전면살포의 피복형태를 살포시기별로 살펴보았다.

표 11-5, 표 11-6, 표 11-7은 하나의 감수지내의 피복률를 평균하여 위치별로 나타낸 것이다. 하나의 감수지 내의 피복률의 차이는 거의 없으므로 평균값으로 위치별 피복률을 나타내었고, 피복률에 비례하여 음영을 넣어 나타내었다.

Table 11-5. Coverage rate in the overall spraying on August 3 (nozzle distance : 45cm, spraying speed : 1.1km/hr)

	1열			2열			3열		
	상	중	하	상	중	하	상	중	하
전	77.2	19	5.9	63.5	10.4	10.6	7.5	12.5	12
후	38.1	20.6	10.7	10.2	18.6	10	20.4	8.2	10.9
좌	12.7	5.6	2.5	58	51	18	98.4	48.3	17.7
우	19.5	22.7	3.3	99.2	39.4	18.7	57.9	16.9	5.1

Table 11-6. Coverage rate in the overall spraying on August 18 (nozzle distance : 45cm, spraying speed : 1.1km/hr)

	1열			2열			3열		
	상	중	하	상	중	하	상	중	하
전	4.8	0.5	0.4	5.1	2.7	1.5	1.6	1.5	1.3
후	14.7	4.2	5.3	7.7	1.1	0.4	28.7	8.4	3
좌	13.9	8	2.9	4.66	2.7	1.2	0.5	0.9	2.5
우	3.8	1.9	2.8	10.5	0.2	0.5	1.1	1.8	0.2

Table 11-7. Coverage rate in the overall spraying on September 22 (nozzle distance : 45cm, spraying speed : 1.1km/hr)

1열			
	상	중	하
전	10.2	0.7	0
후	0.8	0.2	0
좌	0.6	0	0
우	1.9	0.8	0.9

2열			
	상	중	하
전	1.2	0.8	0.1
후	2.1	0	0.1
좌	6.8	0.3	1.1
우	0.7	0.6	0.5

3열			
	상	중	하
전	2.4	3.9	3.8
후	1.5	2.3	1
좌	0.3	9.6	3.2
우	0.1	0.1	0.1

표 11-5는 벼의 생장 중기에 해당하며 길이 생장이 거의 끝나갈 무렵이므로 이때부터 전면살포로서 방제가 힘든 시기에 해당한다. 그러나 벼잎이 아직 수직으로 뻗어나가 있고, 벼 상부가 우거져 있지 않아 방제립이 벼 상부를 통과하기가 비교적 용이한 시기이다. 그래서 벼 상부의 감수지는 피복률이 높았다. 그러나 벼의 중간, 하부로 내려올수록 피복률이 급속히 감소함을 알 수 있다.

표 11-6은 벼의 길이 생장 말기에 접어드는 기간이며, 이삭이 생기기 시작하고, 벼잎은 중기에 비하여 무성하다. 그러므로 8월 3일의 실험결과에 비해 급격히 피복률이 감소하였다.

표 11-7은 벼에 이삭이 맺혀 고개를 숙일 때이므로 벼의 상부가 매우 무성하므로 피복률이 매우 적었으며, 상,중,하의 피복률의 차이는 거의 나타나지 않았다. 이는 벼의 상부에서 방제립이 대부분 피복된 결과로 판단되었다. 됨으로써 일어나는 결과인 것으로 여겨진다.

시기별 피복률의 평균값과, 변이계수(C.V.)는 표 11-8과 같이 말기로 진행할수록 피복률은 떨어지고, 변이계수는 커졌다. 즉, 벼가 무성할수록 전면살포의 살포균등도는 떨어지는 것으로 나타났다.

Table 11-8. Coverage rate and C.V. classified by occurrence time.

	8/3	8/18	9/22
피복율(평균, %)	26.7	4.2	1.6
변이계수(%)	99	141	160

나. 노즐간격과 살포속도별 피복 특성

노즐간격과 살포속도별 피복 특성을 비교하기 위해서 같은 날짜에 실험한 결과를 서로 비교하였다. 표 11-7와 표 11-9는 살포속도 1.1km/hr, 노즐간격은 각각 45cm, 30cm일 때의 피복률을 나타내는 표이다. 표 11-10과 표 11-11에는 살포속도 1.7km/hr, 노즐간격은 각각 45cm, 30cm일 때의 피복률을 나타내었다.

Table 11-9. Coverage rate of standard flat spray tip on September 22 (nozzle distance : 30cm, spraying speed : 1.1km/hr)

1열			
	상	중	하
전	12.4	7.2	3.9
후	5.1	5.5	5.7
좌	10.2	6.6	3.2
우	2.7	2.4	0.3

2열			
	상	중	하
전	29.3	22	19.1
후	4.4	2.9	1.9
좌	4.5	1.9	2.6
우	16.2	16	12.4

3열			
	상	중	하
전	0.2	0.1	0
후	17.1	7.4	4.9
좌	2.2	1.4	1.5
우	13.2	5.1	4.6

Table 11-10. Coverage rate of standard flat spray tip on September 22 (nozzle distance : 45cm, spraying speed : 1.7km/hr)

1열			
	상	중	하
전	0.2	0	0
후	0	0	0
좌	5.3	1.4	0.6
우	0.1	0	0.3

2열			
	상	중	하
전	4.6	1.1	0.8
후	1.4	0.1	0.1
좌	0	0	0
우	5.7	2.2	1.4

3열			
	상	중	하
전	0.3	0.5	0
후	0.9	0.1	0.1
좌	0.9	0.1	0.2
우	2.4	0.4	0.4

Table 11-11. Coverage rate of standard flat spray tip on September 22 (nozzle distance : 30cm, spraying speed : 1.7km/hr)

1열			
	상	중	하
전	1.7	5.5	3.5
후	8	3.6	2.6
좌	6.5	11.2	3.7
우	4.6	4.6	2.7

2열			
	상	중	하
전	12.3	9.6	3.5
후	1.6	0	0
좌	11.4	4.5	2.2
우	8.2	2	1.6

3열			
	상	중	하
전	12.2	1.9	0.4
후	2.9	1.6	0.6
좌	18.7	3.5	2.7
우	19.7	12.5	8.3

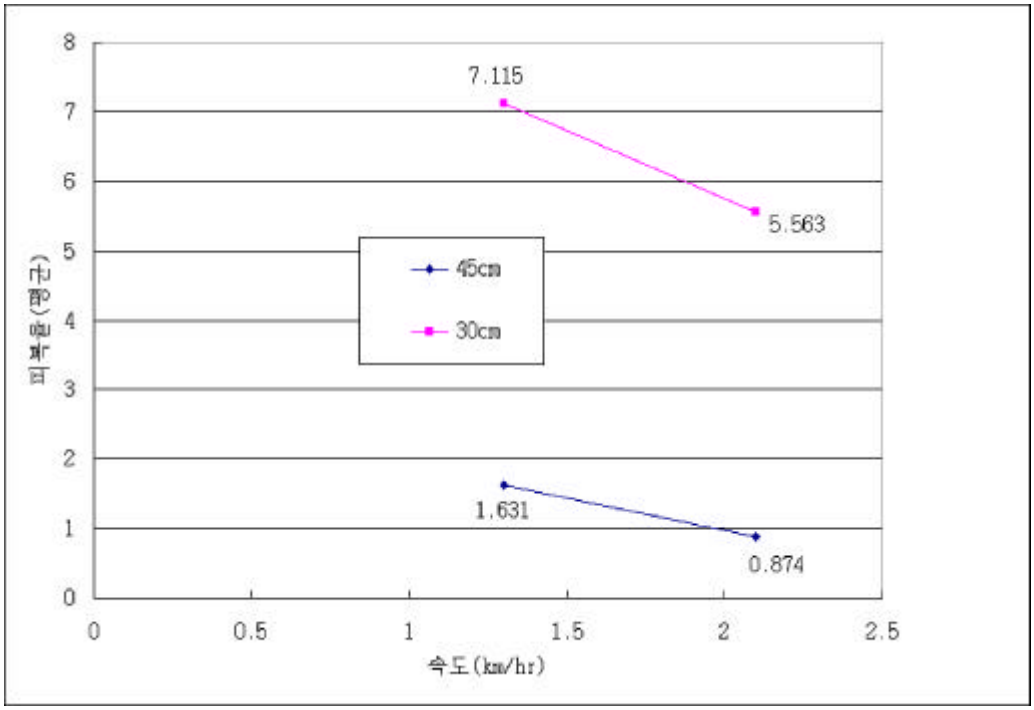


Fig. 11-13. Coverage rate according to nozzle distance and spraying speed of the boom sprayer

그림 11-13에서 보듯이 노즐간격의 변화에 따라 피복률은 급격하게 다르며, 반면 살포속도가 증가할수록 살포속도에 반비례하여 피복률은 감소함을 보여주고 있다.

그리고 표 11-12와 같이 변이계수는 속도의 증가에는 별 영향을 받지 않으나 노즐간격이 커질수록 균등도는 상당히 떨어지는 것으로 나타났다.

Table 11-12. C.V. according to nozzle distance and spraying speed(%)

	30cm	45cm
1.1km/hr	101.2	159.7
1.7km/hr	91.6	174

다. 시편의 위치별 피복 특성

표 11-5, 표 11-6, 표 11-7, 표 11-9, 표 11-10, 표 11-11에 나타난 피복률 데이터를 살펴보면 하나의 막대에서의 높이별 피복률의 차이는 유의성을 보였지만 전체적으로 방향별, 열별 변이가 크기 때문에 전체적인 높이별 차이의 유의성은 명확하게 드러나지 않았다. 전면살포에서의 변이계수는 90 120 사이에 분포하는데 이는 포장실험에서 고려하지 못한 피복률에 영향을 미치는 요인들이 작용하여서 큰 변이를 발생시키기 때문이다. 포장실험에서 무성한 벼 내에서의 공기의 흐름 영향, 풍속, 습도, 온도, 증발산량, 붐방제기의 롤링 현상으로 인한 붐의 위치 변화 등이 모두 커다란 변수로 작용하지만 본 실험에서는 실험인자로서 고려하지 않았다.

4. 붐방제기 기부살포시의 피복 특성

가. 기부살포시의 피복 형태

포장에서 붐방제기 기부살포시의 피복형은 그림11-14와 같다. 그림의 1행, 2행, 3행은 각각 상, 중, 하를 나타내며 1열, 2열, 3열, 4열이 각각 전, 후, 좌, 우를 나타낸다. 이는 벼 한 주 주위에 설치한 감수지를 모두 나타낸 것이다. 그림에서 색깔이 변한 부분이 방제립이 묻은 부분이다.

그림에서 보면 상부의 감수지는 거의 피복 되지 않았으며, 하부의 피복률도 매우 낮다. 하지만 중앙부분은 피복률이 매우 높게 나타났다. 중앙부의 감수지들을 보면 중앙을 중심으로 피복률이 높고, 아래위로 점점 피복률이 낮게 나타났다. 이는 노즐이 지나가는 자리를 보여주는 것으로 이런 현상은 노즐이 감수지로부터 가까운 곳을 지나

면서 살포했음을 나타낸다. 따라서 기부살포의 피복현상은 중간이나, 하부의 특정부위에 집중적으로 약액이 뿌려지는 것을 알 수 있었다. 모습을 보여준다. 벼의 조간이 30cm이고 기부살포시 노즐이 그 중간을 지나간다고 하더라도 벼와 노즐 사이는 15cm간격이므로 분무립이 노즐을 떠나 제대로 형성되기도 전에 벼에 피복됨으로써 한곳에 집중되는 현상이 발생한다. 그림 11-14에 나타나지 않은 실험에서도 중간부와 하부가 동시에 피폭된 경우는 거의 없는 것으로 보아 기부살포의 수직살포범위는 매우 좁은 것으로 드러났다. 또한 분무립이 제대로 형성되기도 전에 작물의 방해를 받으므로 방제립이 작물을 통과하기가 힘들다.

Fig. 11-14 Covering appearance in row crop spraying with a boom sprayer

나. 살포속도별 피복 특성

붐방제기 기부살포의 살포속도별 피복률을 표 11-13과 표11-14에 나타내었다.

Table 11-13. Coverage rate in row crop spraying with a boom sprayer on September 15 (nozzle distance : 60cm, spraying speed : 1.1km/hr)

1열			
	상	중	하
전	0	42.4	0.6
후	0	37.6	5.1
좌	0.5	0.5	0.8
우	0	16.6	0.3

2열			
	상	중	하
전	0	1.8	40
후	0.1	11.4	12.6
좌	0	9	63.1
우	1.5	9	16.5

3열			
	상	중	하
전	0	1.5	81.8
후	0.3	4.1	79.8
좌	0.1	18.1	35.9
우	1.2	9.6	19.8

Table 11-14. Coverage rate in row crop spraying with a boom sprayer on September 15 (nozzle distance : 60cm, spraying speed : 1.7km/hr)

1열			
	상	중	하
전	0	0	4.1
후	0	0	16.8
좌	0	0	0.3
우	0	0	6.5

2열			
	상	중	하
전	0	0	12.2
후	0	0	0.4
좌	0	0	1.9
우	0	0	0

3열			
	상	중	하
전	0	0	0.5
후	0	1.3	1.8
좌	0	0.1	7.5
우	0	0.5	0

표 11-13과 표 11-14는 각각의 속도 수준에 대해 위치별 방향별, 열별 피복률를 나타낸 것으로서 가로축 상, 중, 하는 감수지가 부착된 높이를 나타내며, 전, 후, 좌, 우는 벼 한 주의 주위에 감수지를 부착한 막대의 위치, 1열, 2열, 3열은 4개의 막대가 장치된 벼 한 주의 열을 나타낸다. 표시된 숫자는 피복률로서 피복률의 값에 따라 음영을

넣어 나타내었다.

표 11-13에서 표시된 바와 같이 살포속도 1.1km/hr 실험에서는 중앙과 하부의 피복률이 높게 나타나는 전체적인 경향을 따르는 데 비해 표 11-14에서 표시된 살포속도 1.7km/hr 실험에는 하부의 일부 피복률이 높게 나타날 뿐 전체적으로 피복이 제대로 이루어지지 못하는 것으로 나타났다.

이는 속도의 증가로 인해 단위면적에 뿌려지는 약액량이 줄어들었다는 이유 외에도 속도의 증가에 의해 기부 붐에 대한 벼의 저항이 더욱 커져 붐의 살포가 불균일해지는 현상에서도 원인을 찾을 수 있을 것이다. 즉 벼의 저항으로 붐이 뒤로 밀리다가 벼의 저항을 이길 만큼 붐의 변형이 생겼을 때 갑자기 앞으로 붐이 튀어나오는 운동을 함으로써 살포가 불균일 해지는 것이다.

Table 11-15. Mean of coverage rate and C.V. according to spraying speed

	살포속도 1.1km/hr	살포속도 1.7km/hr
피복도(평균, %)	14.5	1.5
변이계수(%)	164	283

표 11-15에서는 살포속도별 피복률의 평균과 변이계수를 나타내고 있는데 살포속도가 높을수록 변이계수는 크게 나타나며, 속도 증가 비율에 비해 피복률 감소 정도는 매우 크게 나타났다.

다. 노즐간격별 피복률

표 11-16과 표 11-17은 각각 노즐간격이 60cm와 90cm일 때의 피복률의 분포이다. 피복률의 분포를 보면 방향별로 피복률이 높은 곳이 중앙이나 하부 중 하나에서 나타나고 있으며 피복형태에는 큰 차

이가 없었다.

Table 11-16 Coverage rate in row crop spraying with a boom sprayer (9/22, nozzle distance : 60cm, spraying speed : 1.1km/hr)

1열			
	상	중	하
전	0.7	17.3	21.1
후	0.3	78	1.9
좌	0.2	63	3.8
우	0.3	20	51.3

2열			
	상	중	하
전	1.4	12.5	41.9
후	0	7.2	7.2
좌	1.9	12.4	70.5
우	0	99.9	6.8

3열			
	상	중	하
전	0	20.1	90.9
후	0	1.1	1.2
좌	0	0.2	0.2
우	0.5	38.5	64.9

Table 11-17 Coverage rate in row crop spraying with a boom sprayer (9/22, nozzle distance : 90cm, spraying speed : 1.1km/hr)

1열			
	상	중	하
전	0	10.6	33.7
후	0	41	0.5
좌	0.1	0.3	0.1
우	0	2.8	76.7

2열			
	상	중	하
전	0	2.6	33.2
후	0.1	54.3	34.4
좌	0.1	2	1.2
우	0.1	0.4	5.8

3열			
	상	중	하
전	1	19.4	4.9
후	0.5	9.4	3.1
좌	2.8	34	55.5
우	1.2	42.3	7.1

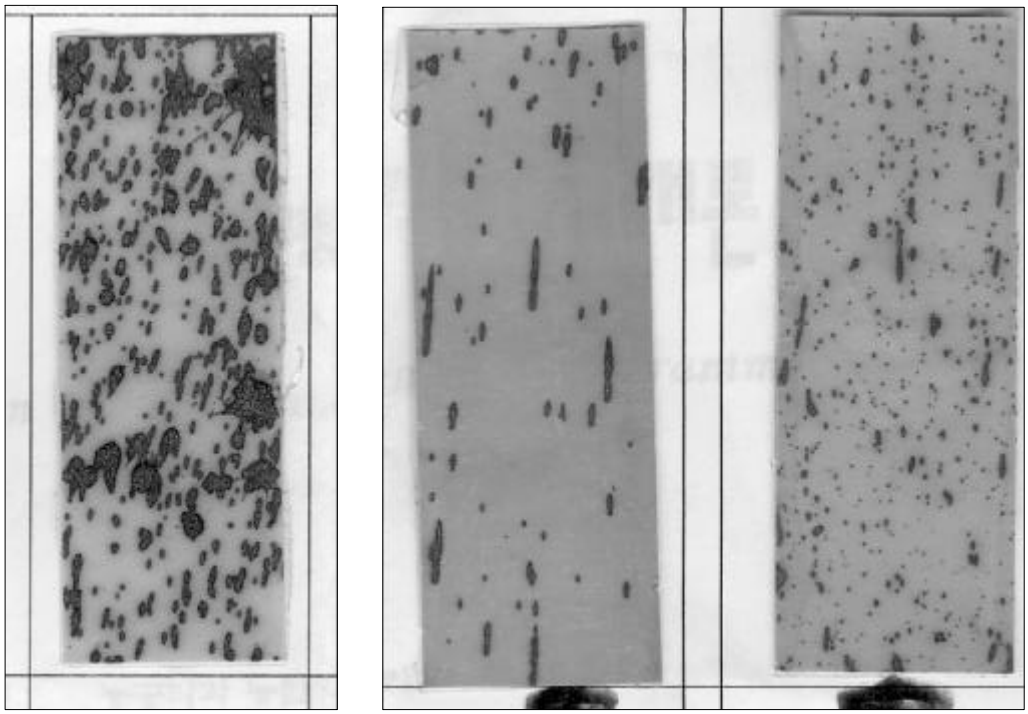
표 11-18은 노즐간격별 피복률의 평균과 변이계수를 나타낸다. 변이계수는 노즐간격이 커질수록 큰 값을 나타내어 균등도가 떨어지며, 피복률은 노즐간격의 증가에 비례하여 감소하는 것으로 나타났다.

Table 11-18. Mean coverage rate and C.V. according to nozzle distance

	노즐간격 60cm	노즐간격 90cm
C.V.	147	181
피복률 (평균, %)	20.5	14.4

5. 동력분무기의 피복 특성

동력분무기의 피복 형태는 그림 11-15와 같다.



(a) (b) (c)

Fig. 11-15 Coverage appearance with the power sprayer

그림 11-15에서 (a)는 실험 A에서 제2열 3번째 막대의 상부에 위치한 것이며, (b)와 (c) 감수지는 실험 B에서 제1열 3번째와 4번째 막대의 상부에 위치한 감수지이다.

실험 A에서는 철포형 분구를 사용하였기 때문에 농민이 거리에 따라 조절손잡이를 이용하여 살포거리를 조절하였다. 그리고 철포형 분구에서 나아가는 방제립은 상대적으로 높은 속도에서 살포되어서 입자가 감수지에 부착할 때 흘러내리기보다는 부딪혀 튀는 모양이 형성되었다.

실험 B에서는 살포거리가 각각 다른 노즐을 여러개 부착한 직선형 다공 노즐을 사용하였는데, 가까운 곳을 뿌리는 노즐은 분무립의 입경 분포가 작고, 먼 곳을 뿌리는 노즐은 입경 분포가 커서 멀리까지 날아갈 수 있다. 그림 11-15 (b)감수지에서는 큰 입경의 방제립이 부딪혀 흘러내리는 피복 현상을 보였다.

동력분무기 살포시의 피복률를 위치에 따라 나타내면 표 11-19, 표 11-20과 같다.

Table 11-19 Coverage rate in coverage test A with the power sprayer (units : %)

1열			
	상	중	하
1	8	2.8	1.8
2	64.6	35.2	19.1
3	15.3	9.5	10.4
4	1.1	0.6	0

2열			
	상	중	하
1	34	18	7.5
2	25.2	25.3	6.6
3	16.7	9.12	1.7
4	30.1	7.9	3.6

3열			
	상	중	하
1	1.3	0	0
2	34.8	31.5	4.6
3	28.6	1.8	2.5
4	1.8	0	0

Table 11-20. Coverage rate in coverage test B with the power sprayer (units : %)

1열			
	상	중	하
1	8.6	3.3	1.8
2	17.1	1.6	3.8
3	4	4	1.5
4	4.5	5.2	1.3

2열			
	상	중	하
1	0	0.3	1.1
2	0	0	0
3	3.4	0	0
4	0	1.5	1.8

3열			
	상	중	하
1	0	0	0.2
2	0	0	0
3	2.1	0	0
4	19.4	7.7	3.7

표 11-19와, 11-20의 1열, 2열, 3열은 동력분무기 실험의 감수지 배치에서 살포 노즐로부터의 1열, 2열, 3열을 나타내며 1, 2, 3, 4는 각 열에서 감수지 막대 번호를 나타낸다. 상, 중, 하는 막대에서의 감수지 부착 위치를 나타낸다. 표 내의 숫자는 감수지내의 3곳의 피복률의 평균이며 피복률에 따라 음영을 넣어 나타내었다.

실험 A의 피복률을 나타낸 표 11-19에서 1열, 2열, 3열 모두 상부의 감수지에 피복이 많이 되었으며, 하부에는 피복 상태가 좋지 못하다. 그리고 살포노즐로부터의 거리에 따른 영향은 뚜렷이 관찰되지 않았다. 다만, 작업자에서 멀어질수록 균일도가 떨어짐을 알 수 있다. 작업자에서 떨어진 거리에 피복 되는 입자는 입경이 크기 때문에 균일한 피복을 얻기가 힘들다.

실험 B의 피복률을 나타낸 표 11-20에서는 전체적인 피복률이 실험 A에 비하여 낮다. 이렇게 실험에 따른 피복률의 차이는 다른 날짜에 실험했다는 사실과 실험 포장이 다르다는 점, 살포노즐이 다르다는 점이 있겠지만 각각 다른 작업자가 살포했다는 사실이 주요인이라고 판단되었다. 이는 동력분무기의 살포량은 작업자의 마음에 따라 다르며 모든 포장에 고루 살포하기가 사실상 힘들기 때문이다. 꼼꼼히 살포했을 때와 대충 살포했을 때의 피복률의 차이는 매우 큰 것으로 나타났다.

그림 11-16과 그림 11-17은 동력분무기 피복률의 히스토그램을 나타낸다. 왼쪽 수직축은 피복률의 계급에 따른 빈도수를 나타내며 막대로 그 크기를 표시하였다. 오른쪽 수직축은 누적비율을 나타내며 선으로 표시하였다.

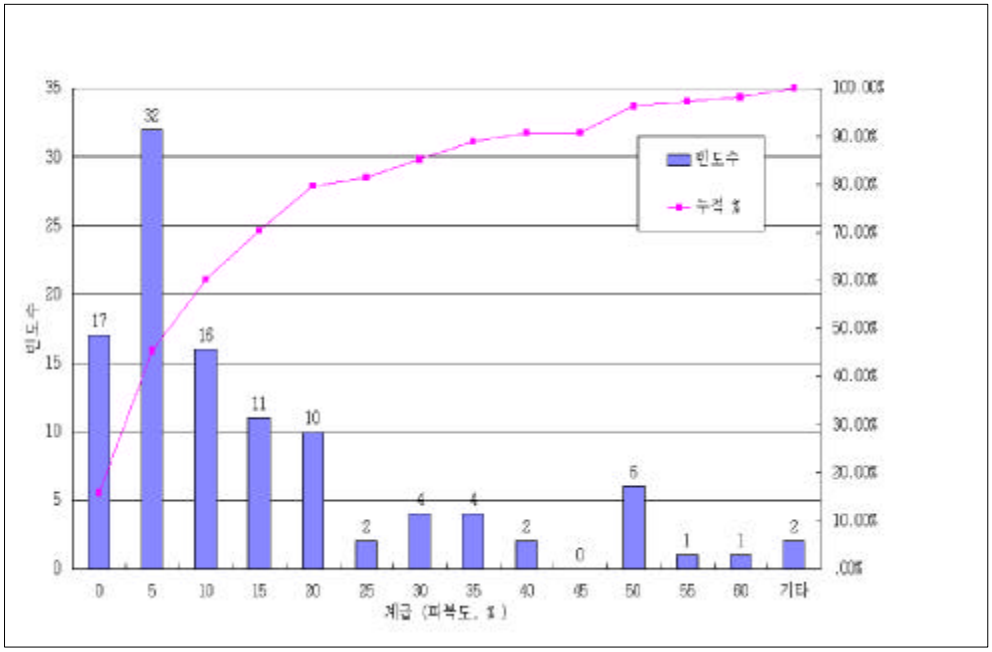


Fig. 11-16. Histogram in coverage test A with power sprayer

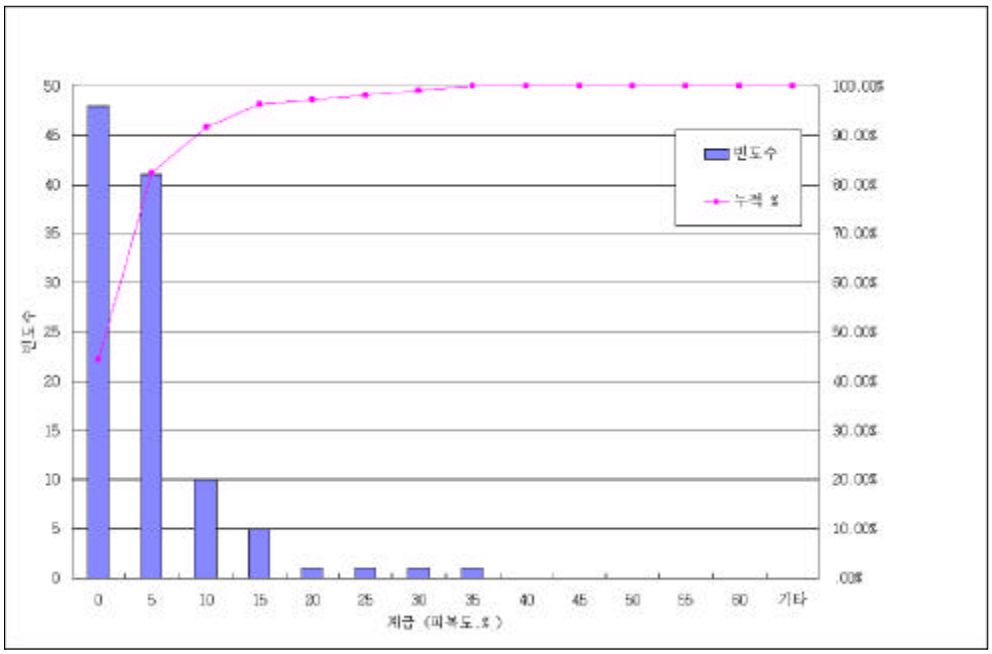


Fig. 11-17. Histogram in coverage test B with power sprayer

그림 11-16과 그림 11-17의 누적곡선을 보면 알 수 있듯이 피복률 10%이하가 반수 이상을 차지한다. 이와 같이 피복률이 생각보다 작은 이유는 동력분무기로 살포할 때 방제립이 벼에 묻어서 피복 되기보다는 큰 입경의 방제립이 위에서부터 벼잎을 타고 흘러내리는 효과로서 벼를 적시기 때문인 것으로 풀이된다. 결국, 일부분은 흠뻑 적시게 할 수는 있으나 다른 부분에는 오히려 피복이 제대로 되지 않을 가능성이 많아 방제효과를 떨어뜨리고 약액을 낭비하는 원인이 된다. 각 실험의 C.V값은 실험 A의 경우 127, 실험 B의 경우 200이었다.

제 2 절 입제살포기의 살포성능

살포되는 입제를 수거하는 컬렉터를 제작하여 포장에 배치한 다음 설계된 입제살포기로 살포성능실험을 실시하였다. 성능평가를 위하여 살포 균일도를 측정하고 그 결과를 분석·수정·보완 한후 타 작업기에 부착하여 사용할 수 있는 방법을 제시하였다. 성능평가는 살포폭, 살포균일도(변이계수)로 산정했다. 예비실험의 결과 공기속도의 차이, 구성요소의 크기차이등에 따라 분두 8개에서 배출되는 양이 각각 다르므로 배출량을 calibration하기 위하여 공기의 영향을 배제하고 3조에 대하여 배출되는 입제의 양을 살펴보았다. 공기의 영향을 배제한 채 롤러 3개에서 1초에 배출되는 입제의 양은 표11-21과 같다. 이 양은 롤러 배출량 실험의 결과와 거의 일치하였다.

표 11-21. 공기의 영향을 무시한 롤러의 배출량 (단위 : g)

1회				2회		
롤러1	롤러2	롤러3	홈열림	롤러1	롤러2	롤러3
25.67	24.0	25.4	12mm	24.3	22.7	23.9
26.84	26.4	26.1	14mm	27.3	27.0	26.9
30.4	29.0	31.6	16mm	30.0	28.9	30.8

공기의 영향을 배제한 상태에서는 배출되는 양이 롤러에 대하여 같으므로 송풍되는 공기와 연결하고 공기속도를 22-23m/s로 같도록 한 상태에서 배출량을 구한결과 20초 동안의 배출량은 254, 267.2, 249.2g이었다. 이와같이 분두 3조에서 최종 배출되는 입제의 양을 calibration한 후 살포높이 0.80m, 분두간 거리 1.00m에서 살포패턴을 조사하였다. 그림 11-18에 결과를 나타내었으며 CV값은 21%이었다. 이때의 유효살포폭은 3m이다.

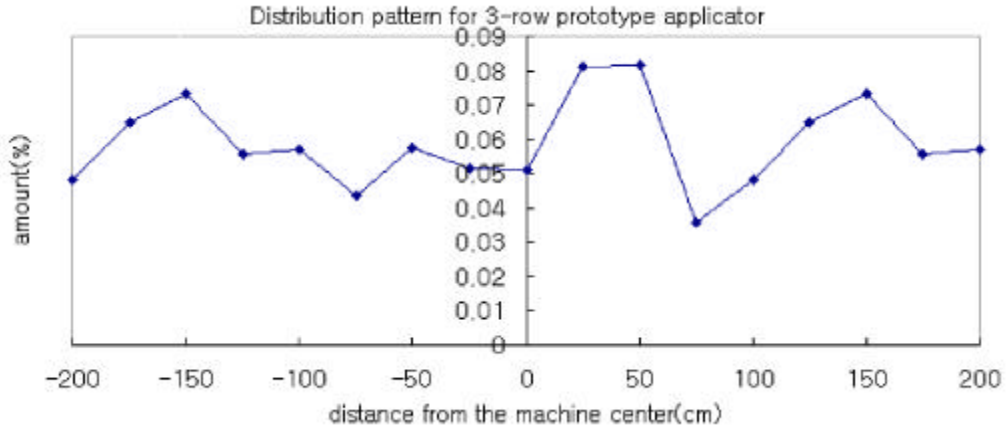


Fig. 11-18. Distribution pattern of the prototype application

제 3 절 약액량 제어 시스템 및 붐의 수평제어 시스템 성능

1. 약액량 제어 시스템의 성능

본 연구에서 구성한 제어시스템의 성능을 평가하기 위한 실험으로 다음과 같은 방법을 사용하였다.

실험 I : 작업기의 주행 단수를 설정한 에 출발과 동시에 살포를 시작하여 20m 주행한 구간 동안에 살포된 약액의 양을 측정

실험 II : 작업기의 주행 단수를 설정한 후에 10m 주행한 후에 살포를 시작하여 20m 주행한 구간에 살포된 약액의 양을 측정

2가지 실험방법을 통하여 다음 표 11-22 , 11-23 과 같은 결과를 얻었다.

Table 11-22. Result of the experiment I (mL)

	0.64 - 0.696 (km/hr)			1.04 - 1.131 (km/hr)		
노즐번호	1회	2회	3회	1회	2회	3회
1	365	365	345	335	340	320
2	360	350	350	335	330	310
3	365	365	340	340	340	310
4	360	370	340	340	350	320
5	375	360	355	355	340	315
6	365	360	350	340	345	320
7	370	370	350	345	346	315
8	367	365	350	345	345	320
9	360	365	345	346	350	320
10	372	350	350	347	345	318
11	375	350	345	346	346	317
12	375	360	350	348	348	320
13	375	355	340	345	345	318
합계(ml)	4784	4685	4510	4467	4470	4123

Table 11-23. Result of the experiment II (mL)

	0.64 - 0.696 (km/hr)			1.04 - 1.131 (km/hr)		
노즐번호	1회	2회	3회	1회	2회	3회
1	430	420	425	440	420	420
2	420	410	415	430	410	420
3	425	410	420	435	410	430
4	427	415	422	435	415	430
5	432	420	437	450	405	450
6	430	415	437	440	405	435
7	430	420	430	445	425	445
8	435	425	435	445	420	435
9	430	410	425	445	420	440
10	435	430	427	445	420	440
11	435	425	430	440	415	445
12	434	420	430	440	420	450
13	430	417	425	435	410	440
합계(ml)	5593	5437	5558	5725	5395	5680

위의 실험결과를 토대로 약액량의 제어 가능성과 제어 범위를 검토해 보면 다음과 같다.

실험 방법 1을 통해 얻은 결과를 보면 전체적으로 살포된 약액의 양이 부족하였으며, 속도가 빨라질수록 살포된 약액의 양이 감소하였다. 실험 방법 2의 실험결과와 비교 분석해 보면 목표 압력에 도달하기에는 20m의 주행구간이 너무 짧고 주행구간에 걸쳐 압력이 균일하게 유지되지 않기 때문인 것으로 분석되었다.

실험 방법 2를 통해 얻은 결과를 분석해 보면 1단 주행시 살포량은 평균 5529.33 mL/84m2 이고 2단 주행시 살포량은 평균 5600 mL/84m2 이다. 이 값을 환산하면 1단 주행시 약 658.25 L/ha, 2단 주행시 약 666.67 L/ha에 해당하는 양이 살포된 것이다. 1단 주행시의

살포량은 2단 주행시 살포량을 기준으로 약 1.126%의 오차를 보이고 있으며 살포시 미립자들의 증발로 인한 손실 및 약액량을 측정할 때 발생할 수 있는 측정 오차를 감안한다면 균일량 제어가 이루어 졌다고 분석되었다.

실험 방법 1과 실험 방법 2를 통한 실험결과의 차이점은 본 연구에서 구성한 제어기의 응답성능 때문인 것으로 분석되며 그 이유는 다음과 같다.

입력신호 중에서 압력센서에서 측정한 전기적인 신호를 일정한 압력에 대하여 일정한 신호를 발생시키는 것이 아니라 규칙적인 파형을 보이면서 입력이 되기 때문에 시스템이 안정적인 상태에 이르는 시간을 지연시키는 것으로 판단되었다.

모터를 구동시키는 relay의 접점 간격이 무척 좁고 또 relay 구동 전류가 약하기 때문에 차체에서 발생되는 진동의 전달로 인하여 relay의 접점 접촉이 안정적이지 못하였다. 따라서 모터에 지속적인 전원을 공급해주지 못하기 때문에 목표압력까지의 도달시간이 길어졌다.

단위 면적 당 균일량 살포를 위해서는 속도와 압력의 제곱근의 비율이 일정해야 하는데, 현재 구성된 시스템의 허용 압력 범위가 20 psi 55 psi로서 매우 좁은 범위이므로 넓은 속도영역에서의 균일량 살포를 위한 압력의 제어는 불가능하지만 0.64 0.696 km/hr 과 1.04 1.131 km/hr의 속도에서는 균일량 살포를 위한 압력의 제어가 충분함을 확인하였다.

본 연구에서는 주행속도에 상관없이 단위 면적당 균일 량을 살포할 수 있도록 자동제어하는 약액량 제어시스템을 설계하고 실험을 통하여 제어성능을 확인하였다. 그 결과 20 psi 55 psi에 해당하는

저압의 범위와 0.64 0.696 km/hr 과 1.04 1.131 km/hr에 해당하는 속도에서 약액량이 약 5.4 5.7 L/84㎡ (평균 666.67 L/ha) 로 제어됨을 밝혔다.

실험결과 분석에서 드러난 문제점에 대한 개선점을 생각해 보면 다음과 같다.

제어기의 응답성능 향상을 통하여 효과적이고 작업조건에 영향을 받지 않는 약액량 제어 시스템을 구성할 수 있을 것이다. 제어기의 응답성능은 각 analog입력신호들을 안정적이고 처리할 수 있는 부가적인 회로 추가를 및 차체의 진동으로부터 안정적인 relay의 선정을 통하여 향상시킬 수 있으리라 기대된다.

더 넓은 범위의 주행속도에서 약액량 제어시스템을의 구성은 노즐 및 배관 등의 분무시스템이 고압으로 구성되어 설정압력조건을 만족시켜줄 수 있다면 가능할 것이다.

2. 수평제어 시스템 성능

그림 11-19는 붐 수평제어 시스템을 작동하지 않은 채로 포장에서 붐방제기를 주행하였을 때의 붐의 요동을 경사센서의 출력으로 나타낸 것이다. 같은 포장에서 붐 수평제어 시스템을 적용하여 붐 수평제어 시스템의 자세 제어 성능을 그림 11-20, 11-21에 붐방제기의 속도를 1.1km/hr, 1.7km/hr인 경우로 각각 나타내었다.

그림 11-20에서는 수평제어시 기준값을 -3.74°으로 그림 11-21에서는 0.152°로 했으며 각각의 성능은 기준값을 0으로 했을 때 ±3.5°, ±4°범위에서 자세제어가 가능했다.

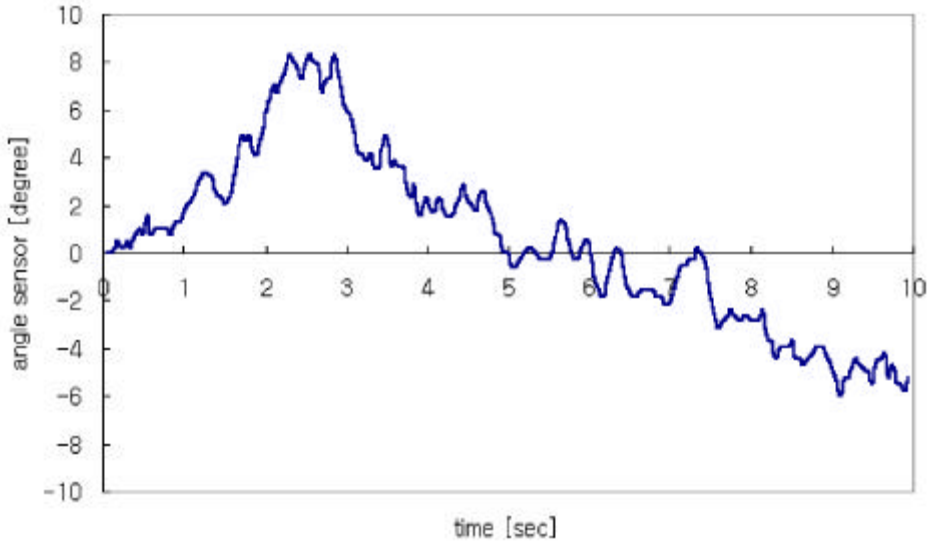


Fig. 11-19. Angle of boom without control

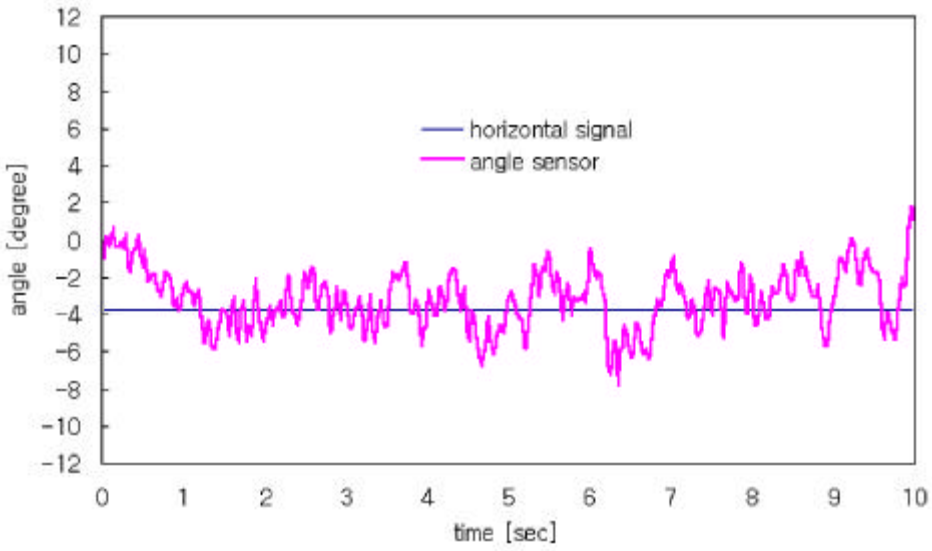


Fig. 11-20. Performance of control system in field (boom sprayer speed = 1.1km/hr)

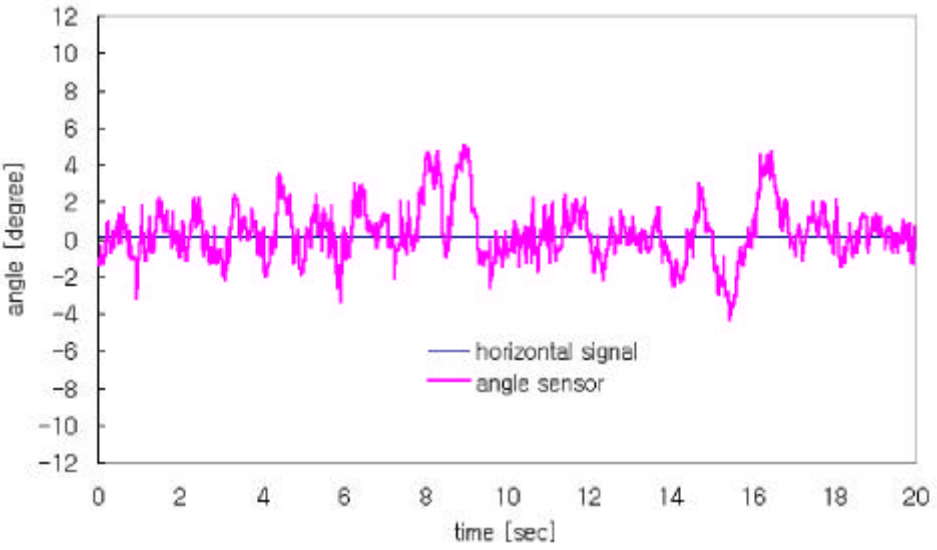


Fig. 11-21. Performance of control system in field (boom sprayer speed = 1.7km/hr)

붐 수평제어 시스템으로 포장실험을 수행한 결과 붐의 기울기를 기준값의 ± 4° 내에서 제어가 가능하였다.

제 12 장 결 론

본 연구에서는 이러한 현행 방제 작업상의 제반 문제점을 분석하고 새로운 방제작업체계를 제시하였다. 또한 경지의 대구획화 추세에도 대응할 수 있고 적정방제를 통한 환경오염도 줄일 수 있는 새로운 형태의 수도작용 방제와 입제 살포를 통한 제초·시비 작업도 겸할 수 있는 수도작용 다목적 승용관리기를 개발하여 그 성능을 평가하였다.

본 연구의 주요 결과는 다음과 같다

제 1 절 현행 방제작업체계의 진단과 개선 방향

현행 방제 작업의 제한요인을 생력성, 효율적 약제부착, 그리고 노동강도와 작업자의 안전성 확보를 기준으로 분석하였다. 현행방제작업의 제한 요인을 극복할 수 있는 개선 방안으로서 붐방제기의 도입, 승용 방제기의 도입, 기부살포 방식의 도입 등을 제시하였으며, 제안된 승용붐방제기를 이용한 방제체계는 이앙재배와 직파재배의 경우에 대하여 각기 체계처리가 가능하도록 하였다.

제 2 절 주행부 설계

붐방제기의 차륜을 포장 작업 조건에 따라 그 범위를 결정하고, 주행성 측면에서 차륜 직경과 폭의 범위를 검토하였다.

붐방제기의 최저지상고를 결정하기 위해 우리나라에서 재배되고 있

는 벼품종들의 대체적인 초장을 조사한 결과, 평균 75cm내외였고, 작물의 포장 재배시의 자세, 차량에 의해 압축가능한 길이 등을 고려하여 최저지상고는 63 69cm으로 결정되었다. 차륜의 직경은 작물과의 공간, 차륜 조향시의 공간 등을 고려하여 70 100cm으로 정하였고, 차륜의 폭은 포장의 조간, 작물 뿌리와 차륜과의 공간, 차륜의 궤적폭 등을 고려하여 5 15cm사이로 결정하였다.

결정된 차륜 크기의 범위 내에서 주행성 상수를 계산하고 이를 통해 견인 계수, 견인 효율, 구름 저항 계수의 변화를 고찰한 결과 차륜 직경이 70 75cm, 80cm, 85 90cm, 95 100cm일 때 차륜폭이 각각 11 15cm, 10 15cm, 9 15cm, 8 15cm로 나왔으며, 이 범위 내에서 주행성이 보장되는 것으로 판단된다.

제 3 절 살포장치의 개발

벼의 생육시기별로 고농도 미량살포를 할 수 있는 기부살포와 입자크기의 조정이 가능한 붐방제기를 개발하기 위하여 살포장치의 설계인자를 구명하고 그 크기를 설정하고자 하였다. 이를 위해 노즐의 분무특성을 실험적으로 비교·분석함으로써 전면 및 기부 살포시 적합한 노즐의 형태를 선정하였다. 살포장치는 희석배수 100대1, 약액통 용량 200*l*, 붐의 길이는 단변이 40m인 포장을 2왕복으로 작업을 완료하는 것으로 하여 10m, 노즐의 분당분무량 0.216 0.378*l*, 펌프용량은 노즐을 17 34개를 붐에 설치하는 것으로 하여 최소 용량을 분당 16*l* 등의 조건을 설계기준으로 설정하였다.

노즐의 분무 유형은 노즐형태, 분사거리, 분사방향에 따라 크게 차이가 나타났으며 노즐의 유량과 압력과의 관계는 압력제곱근의 변화

에 따라서 유량은 직선적으로 나타났다. 또한, 노즐의 분무입경은 압력이 증가할수록 감소된 반면 분사거리가 증가함에 따라 증가하는 경향을 보였다.

선형노즐과 비산조절노즐은 노즐하나를 단독으로 살포하는 방식보다는 노즐의 간격을 조절하여 중첩살포하는 방식인 전면살포에 적합한 것으로 나타났다. 균등선형노즐은 살포형태가 대체적으로 균등하게 나타나 노즐하나를 단독으로 살포하는 방식인 대상살포나 기부살포에 적합한 것으로 나타났다. 또한 원추공형노즐은 고압의 상태에서 살포하고 분사거리를 40cm이하로 하는 고압·근접살포용에 적합한 것으로 나타났으며, 살포형태가 대체로 균등하게 나타나 대상살포나 기부살포에 적합한 것으로 나타났다.

노즐의 피복특성 분석 결과 국소살포방식을 이용한 기부살포에는 균등선형노즐과 원추공형노즐이 적합한 것으로 판단되었다.

제 4 절 붐방제기

살포방법에 따라 벼의 상부에서 약액을 뿌리는 전면살포장치와 벼의 기부에 약액을 집중시키는 기부살포장치의 부착이 가능한 수도작용 붐살포기를 개발하여 동력분무기와 피복특성을 비교하였다. 포장실험을 통하여 입자의 피복특성은 감수지를 사용하여 피복률과 입자밀도를 분석하였으며 제작된 붐살포형의 살포장치는 동력분무기에 비해서 살포의 피복률 이나 균등도가 크게 개선되는 것으로 나타났다.

결론적으로 동력분무기에 의한 논두렁살포는 과다살포와 피복의 불균일성 때문에 지양되어야 하며, 붐방제기 기부살포장치는 구조의

개선, 수평제어장치의 채용, 그리고 작업조건의 적정화를 통하여 기부살포의 효과를 얻을 수 있을 것으로 기대되지만 전면살포장치도 기부까지 침투성능을 갖추었으므로 전면살포용 붐방제기의 실용화가 바람직하다고 판단되었다.

제 5 절 송풍식 입제살포기

다목적 입제 살포기로, 수도작용 승용이앙기 및 승용 관리기 부착형 송풍식 입제살포기를 개발하였다. 이를 위해 5가지 모델의 분두에 대한 살포유형 실험 및 균일도 시뮬레이션 결과 디플렉터와 날개를 가진 분두형태가 산파에 적합하였으며 분두 설치간격 및 살포높이는 비료의 경우 1m 및 0.8m로, 농약의 경우 0.8m 및 0.8m로 결정하였다. 또한, 농업용 입상 화학제의 배출을 위하여 홈 롤러 배출장치를 사용하였으며 필요한 입제의 양을 공급하기 위하여 홈 열림정도와 롤러 축속도를 결정하였으며 기체의 전진속도를 0.7m/s로 하였을 때, 그 값은 동부화학의 21-17-17 혼합비료의 경우 13mm-15mm 및2 rps 이었으며 삼공화학의 아이비 입제에 대하여 9mm-11mm 및 0.25rps 이었다. 포장실험 결과 시작기 시험살포시 3조를 사용하였을 때 변이계수 CV는 21%였으며 살포폭은 3m였다.

제 6 절 약액량 제어

개발된 수도작용 승용 관리기의 붐방제기는 주행속도에 상관없이 단위 면적당 균일 량을 살포할 수 있어야 하므로, 약액량 제어시스템을 설계하고 실험을 통하여 제어성능을 확인하였다. 그 결과 20

psi 55 psi에 해당하는 저압의 범위와 0.64 0.696 km/hr 과 1.04 1.131 km/hr에 해당하는 속도에서 약액량이 약 5.4 5.7 L/84㎡ (평균 666.67 L/ha)로 제어됨을 밝혔다.

성능실험결과 나타난 문제점에 대한 개선점을 생각해 보면 제어기의 응답성능 향상을 통하여 효과적이고 작업조건에 영향을 받지 않는 약액량 제어 시스템을 구성할 수 있어야 한다. 제어기의 응답성능은 각 analog입력신호들을 안정적이고 처리할 수 있는 부가적인 회로 추가를 및 차체의 진동으로부터 안정적인 relay의 선정을 통하여 향상시킬 수 있으리라 기대된다. 더 넓은 범위의 주행속도에서 약액량 제어시스템을의 구성은 노즐 및 배관 등의 분무시스템이 고압으로 구성되어 설정압력조건을 만족시켜줄 수 있다면 가능할 것으로 판단되었다.

제 7 절 수평제어

본 연구에서 개발된 방제장치는 기부살포가 가능하도록 개발되었다. 이를 위해서는 수평제어장치를 필수적으로 이용하여 붐의 진동을 최소화함으로써 방제효과를 향상시킬 뿐만 아니라 약제살포시 바람의 영향을 덜 받게되어 약제의 비산을 줄여야 한다. 수평제어장치 개발에 관한 연구 결과는 다음과 같다

포장에서의 방제작업시 붐의 움직임을 구명한 결과 붐의 기울기에 영향을 주는 주파수는 0.1Hz 0.3Hz 사이의 저주파라는 것과 붐의 기울기는 ±9°사이라는 것을 알 수 있었다. 수평제어장치의 이론적 설계를 위하여 기구학적인 분석을 통한 지면의 불균일에 의한 차량의 자세에 따른 붐의 움직임을 시뮬레이션 하였다. 수평제어장치는

기존의 붐방제기를 개조하여 수평제어가 가능하도록 하였으며, 붐의 수평제어 알고리즘 및 소프트웨어를 개발 파워 실린더를 구동하여 수평센서의 출력신호에 의해 붐을 수평으로 유지하는 수평제어 시스템을 개발하였다. 제작된 붐 수평제어 시스템으로 포장실험을 수행한 결과 붐의 기울기를 기준값의 ± 4° 내에서 제어가 가능하였다.