

# 가로주행식 케미게이션 시스템의 개발(I)<sup>+</sup>

## - 모델의 설계 -

### Development of a Linear Chemigation System

#### - Model Design -

구 영모*	배 영환**	박 금주**
정회원	정회원	정회원
Y.M. Koo	Y.H. Bae	K.J. Park

## 1. 서론

우리나라의 농업기술은 꾸준히 발전되어 왔으나 지구촌 무한경쟁시대에 대응할 수 있는 기술력과 경쟁력의 확보를 급선무로 지적되고 있으며 채소, 과수, 원예 및 화훼 등 전 작생산은 기계화, 자동화 및 생력화를 통하여 충분히 경쟁력을 갖출 수 있을 것으로 본다. 1996년 통계에 의하면 무우(170만 M/T), 배추(270만 M/T), 양념채소(110만 M/T), 과일(165만 M/T) 등과 시금치, 상추, 오이, 토마토의 25-50%(생산량기준)가 노지에서 재배되고 있다. 농가에서는 전노동시간의 47% 이상을 전작 경종작업에 투하하고, 전작 생산노동력의 40% 이상을 방제, 관개, 시비작업에 할애하고 있는 실정이며 작목에 따라서 연간 10-20회 이상으로 큰 부담이 되고 있다.

이러한 과도한 노동력투하와 더불어 가뭄등으로 인한 不適期 灌溉, 방제작업등의 기피현상 등이 심화됨에 따라 생력화된 새로운 생산작업 체계의 정립이 절실히 필요할 때이다. 이러한 배경하에서, 고급농산물의 효율적 생산을 위한 전업농의 규모화와 안정된 생산 체계는 토양과 작물상태에 따른 관개시기의 결정 및 시행과 동시에 시비작업을 처방에 따라 행하게 되며, 필요에 따라 방제작업을 병행 혹은 동시에 행할 수 있는 기계시설 및 계측제어장치를 갖추어 적시에 적절하게 관개, 시비 및 방제작업을 행할 수 있도록 함으로써 효율적이며 안정된 생산시설체계와 농업종사자의 작업환경을 개선하고 생력화함으로써 품질 및 가격에서 경쟁력을 갖도록 해야 한다.

전작생산에서 방제, 관개 및 배수, 시비작업에 투하하고 있는 과도한 노동력투입은 생산비를 증가시키며 또한 방제작업등의 노동가격이 상승됨에 따라 생력화된 생산작업이 필요하다. 전작 생산물의 경쟁력을 제고하기 위하여 관개, 시비와 방제작업을 하나의 시설에서 통합 실행하므로써 효율적인 관수관리 및 방제가 가능해지고 안정적인 농산물 생산 및 농업 소득을 보장할 수 있다 (M.E. Jensen, 1983; G.J. Hoffman et al. 1992; J. Keller et al. 1990; T.W. Van Der Gulik 1993; L. New et al. 1990).

Chemigation은 관개시설에 방제 및 시비장치를 부가하여 통합 운영함으로써 생산 경비의 절감, 생산관리 측면 및 작업자와 환경보전 측면에서 이득을 얻고자 고안한 농장생산관리 체계로서 미국에서 연구가 활발히 진행되어 LEPA (Low Energy Precision Application) 개념의 관개방법이 제시되고 있으며, 초생력 관개, 시비 및 방제시험을 다양한 작물에 대하여 적용함으로써 연구와 실적용이 진행되고 있다. PASS (Pivot Irrigation Attached Sprayer System), 마이크로 관개방제법 및 Seedgation (관개장비로 파종하는 기술)등이 개발되어 실제 적용에 이르고 있다 (H.R. Sumner et al. 1994; J. Ge et al. 1994). 남미, 호주, 중국, 중동지방에서 Chemigation에 대한 연구가 시작되고 있으며 경제적, 관리

+ 본 연구는 농림수산특정연구 사업으로 수행되었음.

\* 경북대학교 농업기계공학과

\*\* 순천대학교 농업기계공학과

측면 및 효과면에서 좋은 평가를 받고 있다.

Chemigation은 선진국에서도 최근에 연구가 활발히 진행되어 초생력 및 자동화 방제기능으로 많은 연구와 실적용이 진행되고 있는 상태이다. 본인이 이미 연구한 결과에 따르면 관개, 방제, 시비의 과정이 통합되면서 각 효력을 제고할 수 있는 여러 요소가 있으며 이에 대한 기술적 연구개발이 절실히 요구된다 (Y.M.Koo et al., 1992a; Y.M.Koo et al., 1992b; Y.M.Koo et al., 1992c, Y.M.Koo et al., 1993). 미래의 농업에 걸맞게 자동제어의 개념을 접목시켜 관개 및 배수시기, 처방시비, 방제선택등 운영기술과 Chemigation 형식에 따른 구동장치 및 유체기계의 제어등 기계기술이 따라 개발되어야 하며 액비, 유·수화제등 제형의 개발과 염면시비, 점적관개등 기술개발에 적절한 방제 적용기술이 뒤따라야 할 것이다 (J.R. Young et al., 1994). 또한, 개발될 시스템은 한국의 농업규모와 특성에 맞는 형태와 운영방법이 연구개발 되어야 하며, 소규모 시설재배 및 식물공장에서도 Chemigation의 개념이 응용될 수 있다.

과제의 최종목표는 전작의 관개, 시비, 방제작업을 통합 시행함으로써 생산물의 경쟁력을 제고할 수 있는 초생력 자동화 Chemigation 모델을 개발하여 (1) 농작업의 생력화, 급수원 (혹은 관정)과의 일체화로 (2) 전천후 농작업체계의 구축 및 기상, 토양, 병충해 정보를 이용한 (3) 농작업 스케줄의 최적화 등을 통하여 앞으로의 우리나라 전작농에 맞는 시스템의 규모, 형태, 설계자료, 운영지침등을 제시하고자 한다. 이에 대한 본 논문의 목적은 관개, 방제 및 시비의 실태분석을 통한 Chemigation System의 형태 및 구조부, 구동부, 동력부, 유체유동부, 환경계측 및 제어부 등 각부를 구성하는 총체적인 설계의 기초를 마련하는 데 있다.

## 2. 재료 및 방법

### 가. 모델설계를 위한 기술적, 경제분석

사과 및 고추는 농약살포 및 관수작업에 많은 노동력이 요구되며 전작물로 사과와 고추는 재배형태가 다르므로 분석의 대상으로 선정되었다. 분석결과는 전작물의 형태에 따라 Chemigation에 특성을 적용하였다. 상기한 연구목적에 부합하는 Chemigation system의 형태를 선정하기 위하여 정지식(stationary), 회전식(center pivot) 및 가로주행식(linear travel) 시설을 다음 사항에 대하여 검토하였다. (1) 포장형태 및 지형조건; (2) 방제, 관개, 시비방법 및 대상; (3) 노즐종류, 사용압력 및 분무입자; (4) 작물 및 재배형태; (5) 제어 및 계측장치; (6) 주요장치, 시설, 규모 및 배치; (7) 주입장치 및 여액처리 등 기타 부가장치 등을 포함하였다.

우리 농업은 식량의 자급을 위한 정책농업에서 유망작목을 전업적으로 생산하여 판매하는 상업농업으로 변화되어 가고 있으며 소비의 형태는 미곡의 연간 소비량 감소는 128.1 kg/인(1994)에서 108.3 kg/인(1995)으로 감소하는 반면 채소 및 과일의 소비는 꾸준히 증가 하고 있다. 또한, 농산물 표준소득은 식량작물에서 보다 채소나 화훼류에서 높은 것으로 분석되고 있다. 따라서 밭을 대상으로 영농조건을 개선하여 경쟁력을 강화하며 적극형 수출농업으로 육성할때 유망작목은 모두가 밭에서 생산되는 것 들이 될 것이다. 앞으로는 신노정 농어촌 발전 계획으로 현재 진행중인 밭기반 정비사업을 더욱 확대시행하여 기계화와 생력화를 바탕으로 생산성 향상을 꾀해야 한다.

## 나. CHEMIGATION 모델설계

### 1) 구조부

구조부의 설계를 위하여 구성된 전장 36m의 Chemigation system의 유한요소해석 모델(그림 1)을 SAP90(v5.4)를 이용하여 분석하였다 (E.L.Wilson and A. Habibullah, 1989). 트러스와 관로내부의 유체자중이 0.5 kg/cm의 등분포하중으로 가해졌으며 엔진 및 장치들의 집중하중(350kg)이 절점(29)에 주어졌다. Bow 구조라 불리는 이 방식의 현수 구조물은 부재의 수가 적고 자세유지에 효과적이다. 관트러스 및 유체의 무게는 앵글트러스를 통하여 인장력 부재로 전달되며 파이프 트러스 자체는 축방향으로 압축을 받는다. 인장부재는 양단에서 최대이며 압축을 견디는 파이프트러스는 중심에서 최대이며 양단의 구동탑은 하중을 삼각 구조물에 의해 바퀴로 전달 된다.

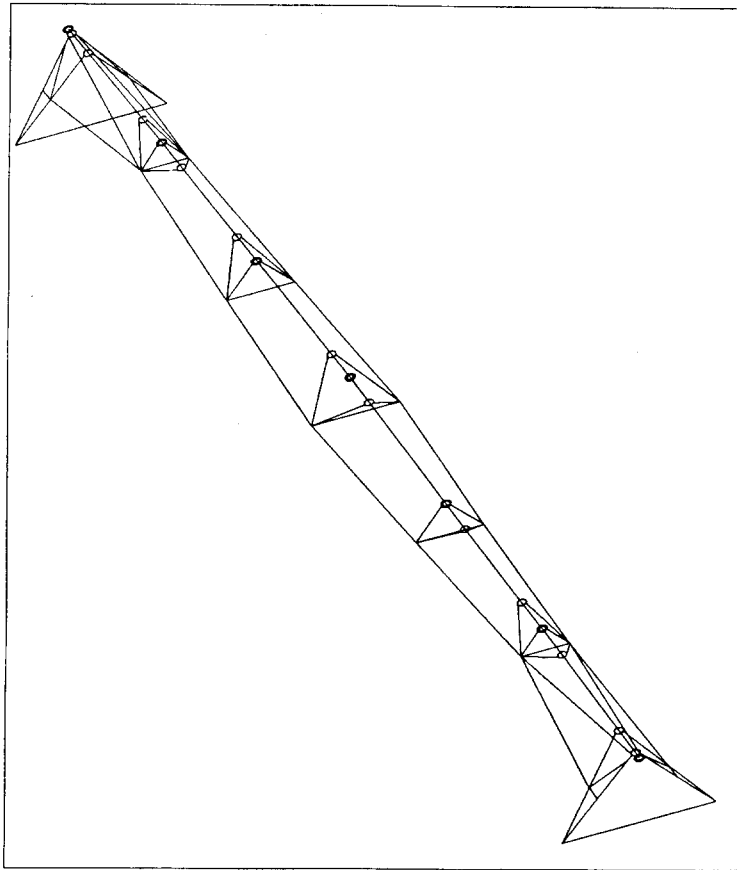


그림 1. 구조부의 3-D 도면

### 2) 구동부

구동장치는 바퀴에 작용하는 수직하중(W), 구름저항계수(TF/W), 추진력(F), 견인력(H), 견인계수(H/W), 견인효율(TE) 등을 계산하여 구동장치를 개발하였다. 구름저항계수는 바퀴의 수직하중(W)에 대한 구름저항력 (TF)의 비로서 바퀴의 조건과 모양의 상태의 함수로서

$$\frac{TF}{W} = \left( \frac{1.2}{C_n} + 0.04 \right) \text{ 이다.}$$

여기서  $C_n$ :  $(CI)bd/W$ , CI: 콘지수, b: 바퀴폭, d: 바퀴직경 등이다. 추진력(F)은 구동바퀴

와 지면 사이에서 바퀴에 전진방향으로 작용하는 힘으로서 구동축의 토오크를 결정하는 요소가 된다. 구동축의 수직하중에 대한 구동력의 비를 총견인계수(F/W)로 정의하며 이는 바퀴의 치수, 토양상수 및 미끄럼율에 따라 변화하며

$$\frac{F}{W} = \frac{T}{rW} = 0.75(1 - e^{-0.3C_s S}) \text{ 이다.}$$

여기서 S: 미끄럼율(%), r: 구름반경, T:토오크 등이다. 견인력(H)은 추진력에서 구름저항력을 뺀 값이며 구동축의 수직하중에 대한 견인력의 비를 순견인계수(H/W)로 정의하며 (F-TF)/W 로 부터 구한다. 구동바퀴의 직경과 폭은 견인효율이 최대가 되는 조건으로부터 설계하고, 소요되는 구동축동력의 크기는 추진력과 작업속도와 관계로부터 구했다.

### 3) 유체유동 및 주입부

유체 유동부의 설계는 단위 면적당 농약살포량으로 부터 시간당 유량을 산정하므로 시작한다.  $Qt=(FxWxS)/C$  에서 F : 단위면적당 농약살포량 (l/ha), W : 가로주행식 시스템의 폭 (m), S : 주행속도 (m/hr), C : 농도 희석배수  $Qp/Qt$ , Qt : 혼합액의 총유량 (l/hr), Qp : 농약유량 (l/hr). 총유량 (Qt)는 펌프의 크기를 나타내며 시스템 압력 (P)와 함께 펌프의 종류와 용량을 선택하는 중요 인자이다. 펌프의 구동에 필요한 마력은 펌프의 선택시 결정된다. 총유량(Qt)을 노즐의 총수(N)으로 나누어 노즐의 크기와 종류를 결정한다. 관로는 주관로와 노즐관로에 대하여 손실수두는 시스템압력의 10%이내, 수격을 고려하여 평균유속이 3.0 m/s 이하가 되도록 선정해야 한다. Chemigation에서는 두 작업이 한 시스템에서 이루어지므로 유동관로와 펌프가 두 작업에서 양립할 수 있도록 해야한다.

주입장치는 주입량의 결정이 중요하며 주행속도는 크게 변하지 않으므로 작업도중에는 정량으로 고정된다. 주입장치에는 유화제 및 액제의 주입을 위한 소유량 주입구와, 수화제의 주입을 위한 선혼합탱크(100-200L)를 교반장치와 같이 두어 일차적으로 고농도 혼합액을 위한 대유량 주입구를 하나의 다이아프램 정용량 펌프를 이용하여 구동한다. 이 혼합탱크는 비료의 시비나 잔류액의 회수장치에도 이용된다.

### 4) 환경 및 제어계측부

관수시기의 결정과 병해충 발생 예측을 위해서는 포장이 위치한 국지의 기상환경과 토양 수분 상태의 연속적인 관측이 요구된다. 이를 위하여 포장에 인접한 위치에 간이 기상 측정장치와 포장 내에 토양 수분의 경시적 변화를 측정하기 위한 토양수분 센서를 설치했다. 기상환경 및 토양 수분 데이터는 PC와 자료수집장치를 이용하여 수집·분석하며 예측프로그램과 병행 운영된다. 방제 시기의 결정 방법은 기상센서로 부터 습도의 지속시간, 온도의 변화치, 강우 및 돌풍현상 등을 기초로 일일 누적값(daily severity)을 구하고 누계가 문턱값을 초과하면 병발생 경고신호를 발생하도록 한다. 관수 시기는 기상관측 시스템에 토양수분 센서를 추가로 설치하여 이들 센서로부터 읽어 들인 기상자료와 작물의 생육 단계에 따른 필요 수분을 비교하여 결정한다.

관개시설의 설계를 위하여는 먼저 작물-토양-대기의 관계와 증발산과 소비수량을 계산하며 발작물의 물소비기구는 증발산과 침투로 구성되나 발 관개계획시 침투손실은 없다고 가정하므로 소비수량은 증발산량과 같게 된다. 관수 시기는 기온, 습도, 및 강우량 센서 이외에 토양수분 센서를 추가로 설치하여 이들 센서로부터 읽어 들인 기상자료와 작물의 생육 단계에 따른 필요 수분을 비교하여 결정하며 토양수분은 TDR 센서를 이용하여 측정한다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 가. 모델설계를 위한 기술적, 경제적 분석

##### 1) 기술적분석

분석대상인 사과와 고추는 방제 횟수가 15회 이상이며 관비 횟수는 10회 정도로 살포 및 관수작업에 많은 노동력이 요구된다. 고추재배시 생산관리 내역에서 관수는 수분이 2-2.5 pF 정도에서 실시하여 1회당 20000-40000 l/ha의 양으로 총 5-10회 하게 된다. 엽면시비를 제외한 관비는 병해의 예방을 위해 스프링클러식 莖葉撒水 (foliar sprinkling)는 지양하고 있다. 따라서 살균 및 살충에 대한 방제는 침투력이 강한 중압노즐 ( $2.0-4.0\text{kg}/\text{cm}^2$ )을 작물의 형태에 따라 배치하여 양면살포로 피복율을 높이고, 제초방제 및 관비는 저압노즐 ( $1.0\text{kg}/\text{cm}^2$  이하)로 基部에 살포하는 방법이 유리하다.

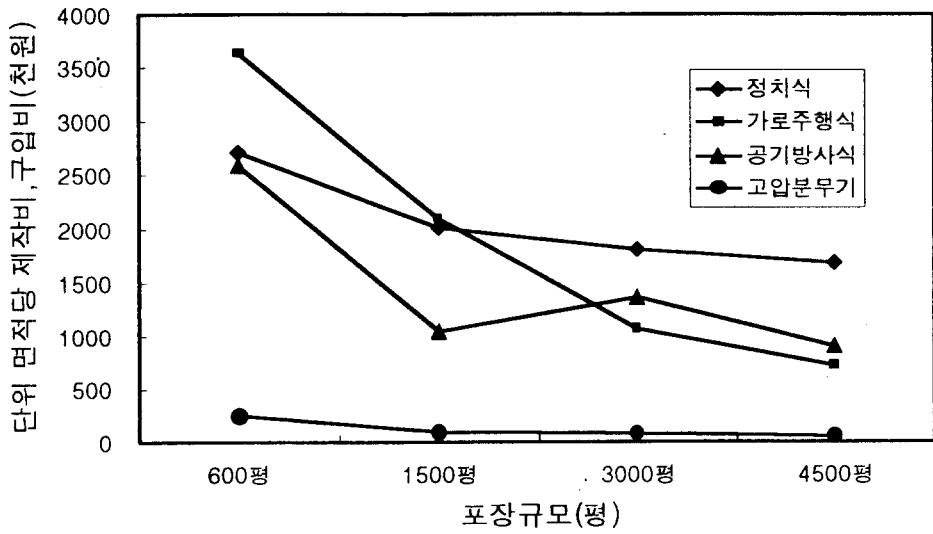
정치식 시스템은 펌프, 탱크 및 제어기가 설치되어 있는 곳으로 부터 배관을 작물의 위치까지 끌어 수직관(riser) 위에 노즐을 달아 방제, 관개 및 시비를 시행하는 방법으로 비정형 포장과 경사지에도 적용할 수 있다. 이 시스템은 비교적 장치와 시설이 간단하나 포장 넓어질 수록 규모가 점차 커져 경제적 불리함이 가중될 수 있다.

회전식 시스템은 관정, 탱크, 펌프 및 제어기가 있는 곳을 중심으로 圓形圃場을 형성하고 반경방향 배관과 동력선을 작물위로 高架式으로 설치하고 회전한다. 이 시스템은 회전하기 때문에 중심부와 외측부의 살포량이 다르다. 따라서 외측으로 갈수록 점차 증가하는 용량의 노즐을 배치한다. 방제작업은 樹列 이나 작물 간격을 따라하므로 효과적이지 못하다. 반경이 길어질수록 중심부와 외곽부의 주행속도비가 커져 살포량은 반경에 비례하게 되므로 분무의 균일성, 다양한 노즐용량 및 분무성질 등에 대한 문제를 유발할 수 있다.

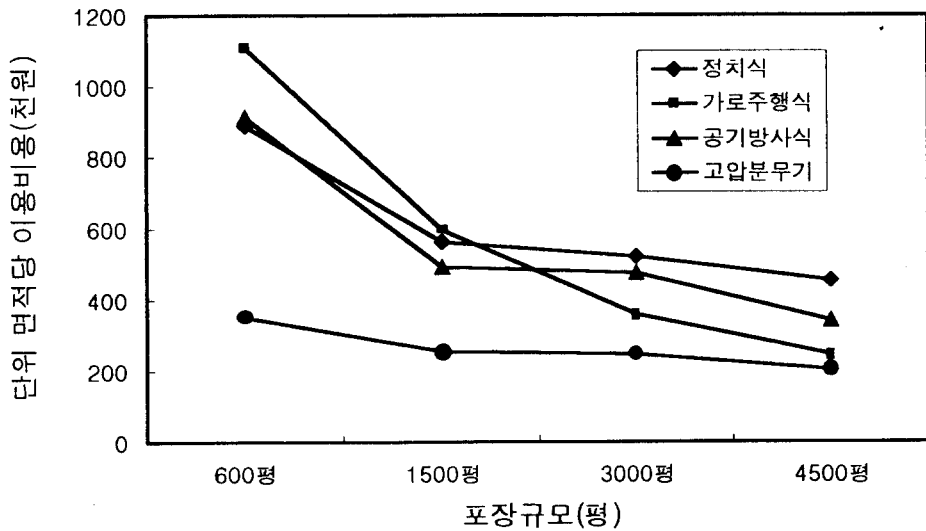
가로 주행식 시스템은 사각형포장의 세로방향의 배관과 동력선을 작물위로 高架式으로 설치하고 가로방향을 따라 진행하며 방제, 관개 및 시비하는 방법으로 10%이하의 완만한 구릉지의 포장에 적용한다. 세로 배관 및 동력선은 高架 트러스에 의해 지지되며 40m 간격으로 구동부를 설치한다. 정치식에 비하여 구동부가 첨가되나 포장크기에 비례하여 증가하는 고정비를 경감할 수 있고, 회전식의 작업영역에서 제외되는 구석의 문제를 해결할 수 있다. 방제의 경우 작물의 특징에 따라 高架線의 높이와 노즐배치를 조정하고 접근살포를 통하여 피복율을 높인다. 노즐의 배치는 懸架-雙向式(drop nozzles)으로 잎의 全面살포를 가능케 한다.

##### 2) 경제적분석

기술적인 분석을 통하여 회전식은 재배 체계의 변화를 요구하며 20%에 달하는 구석문제로 인하여 근간 실용화 되기 어려울 것으로 판단된다. 따라서 경제적 분석은 회전식을 제외한 정치식과 가로주행식의 제작비, 운영비등을 관행방법과 비교하고 적정 재배면적, 시설규모, 생산비용 등을 판단하였다 (그림 2). 정치식이 알맞는 10%이상의 경사지의 경우는 기술적 판단이 경제적분석을 우선하나 정치식은 0.5ha(1500평) 이하의 소규모 농장에서 제작비와 이용비용에 대하여 유리한 것으로 분석되었다. 그 이상의 대규모 농장에서는 규모에 비례하여 증가하는 정치식의 재료비로 인하여 가로주행식이 유리하였다. 정치식은 단위면적당 제작비 및 이용비용이 규모의 증가에도 불구하고 거의 일정하였다. 주행식은 규모의 증가에 따라 단위면적당 제작비와 이용비용은 점차 감소 하였고 포장의 형태에 따라 긴포장은 급격한 감소를 보이므로 경제성을 나타내었다. 관행방법인 고압분무기는 모든 방법보다 단위면적당 비용이 낮게 나타났으나 규모가 커질수록 이용비용은 가로주행식의 비용에 근접하였다. 과원에 사용하는 관행방법인 공기방사식 방제법은 규모가 커지면서 가로주행식보다 불리 해졌다.



(a) 총제작비 또는 구입비용



(b) 총이용비용

그림 2. Chemigation System 및 관행방제의 규모별 단위면적당 비용분석

## 나. CHEMIGATION 모델설계

### 1) 시스템 구성

경북대학교 부속농장에 설치한 가로주행식 Chemigation System을 약 2ha에 해당하는 기본포장의 운영법을 실측도로 그림 3에 보였다. Chemigation System은 계측기지부(B)와 가로주행부(D)로 구성되며 주행로의 여유를 포함하여 耕區의 폭(단변)은 40m이고 장변은 200m로 주펌프(P)로 부터 경구밸브(V)를 통하여 호스(H)를 견인하도록 하였다. 가로주행부는 트랙터 견인방식 혹은 자주식으로 세로이동하며 호스는 경구전용을 제시하였다. 그림 4는 계측기지부와 가로주행부의 구체적인 구성을 보였다,

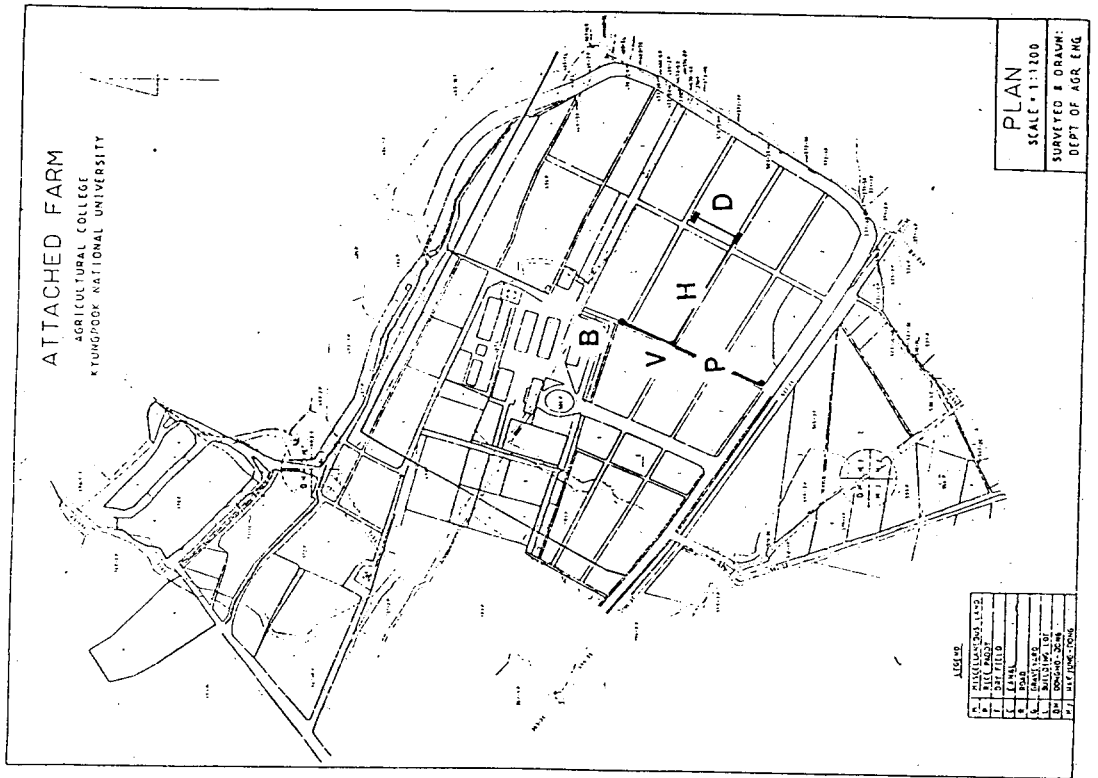


그림 3. Chemigation System의 운영법과 포장경구의 구성

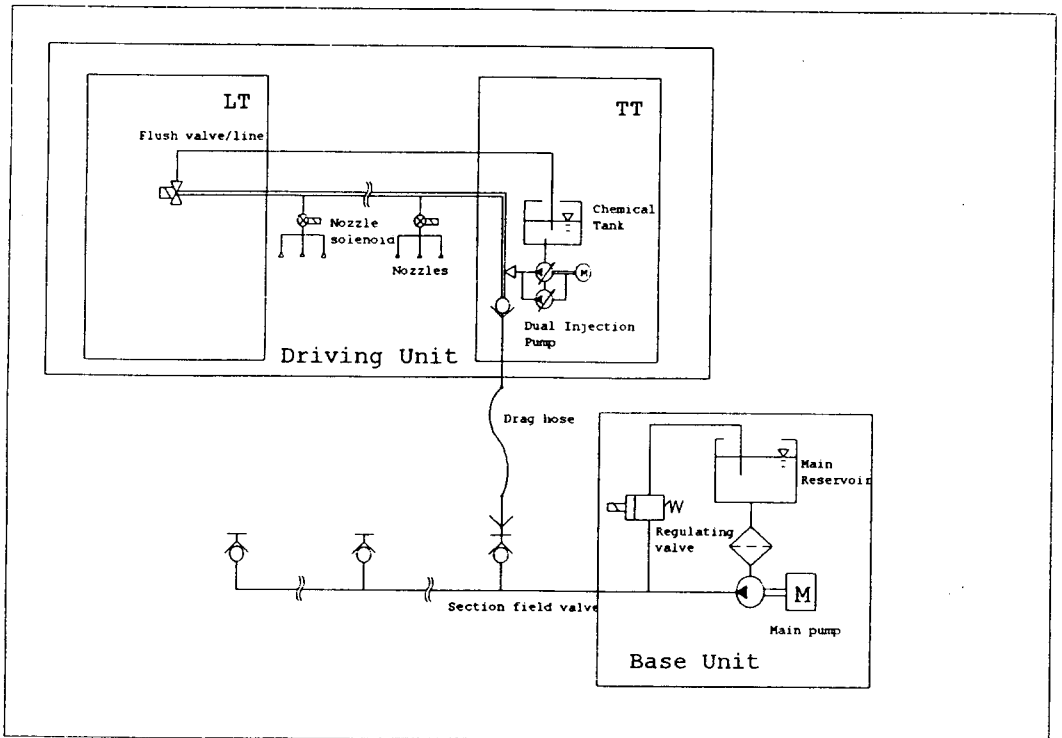


그림 4. 기지부 및 가로주행부의 구성도

## 2) 구조부

관트리스 및 유체의 무게는 앵글트리스를 통하여 인장력 부재로 전달되며 파이프 트리스 자체는 축방향으로 압축을 받는다. 인장부재는 양단에서 최대이며 압축을 견디는 파이프트리스는 중심에서 최대이며 양단의 구동탑은 하중을 삼각 구조물에 의해 바뀌로 전달 된다. 이 방식의 현수 구조물은 부재의 수가 적고 자세유지에 효과적이다. 각부재에 걸리는 전단력과 모멘트는 부재방향의 좌표에 대하여 계산했으며 최대 모멘트는 첫관로와 둘째 관로가 이어지는 프랜지부분이었으며 볼트에 의해서 연결되는 부분이다(그림 5). 최대 전단력은 구동탑이 연결된 관로부분에서 나타났으며 (최대 1512.616 kg, 부재43, 절점 25; 최소 -1679.276 kg, 부재 8, 절점 6) 이 부분에서 모멘트(-91691.114 kg.cm, 부재43; -93591.671 kg.cm, 부재8)와 합한 조합하중에 의해서 주관로가 주응력을 받는다. 인장부재는 부재40에서 1479kg으로 최대이다. 앵글로 지지되는 리드타워와 트랙터타워의 양지거는 축방향으로 인장이나 압축을 받으며 바깥지거에서 최대압축(-4848.95 kg, 부재1)과 최대인장(3974.3kg, 부재4)이다.

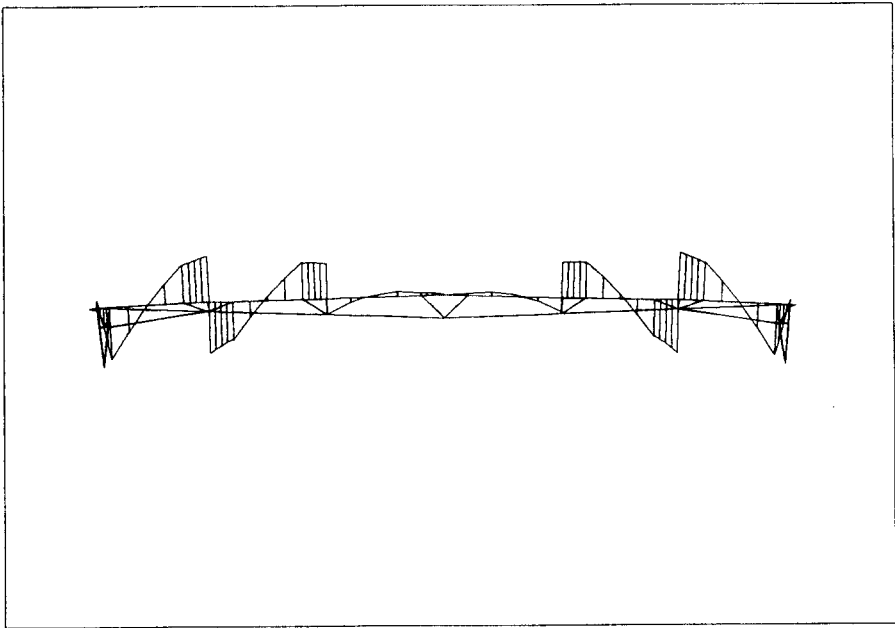


그림 5. FEM 해석에 따른 각부재의 모멘트 분포(단위: kg.cm)

## 2) 구동부 및 동력부

동력구동부는 원동기-유압펌프의 power unit, 유압모터와 실린더의 actuator, 유량 조정밸브와 방향제어 밸브, 유압회로의 배관등의 개발과 구성을 포함하며, 가로주행부의 동력구동부를 도식화하여 그림 6에 보였다. 원동기에 의하여 구동되는 펌프는 기준지거 구동모터로의 유량, 트랙터지거 구동모터로의 유량, 방향유도 밸브를 통한 트랙터지거로의 유량 및 승하기로의 유량을 감당하는 성능의 펌프로서 axial piston 형식으로 1800-2000 rpm에서 75.5 lpm(12.1 MPa)이 정격운전 조건이다. 구동모터는 하중의 차이를 고려하여 기준지거의 모터 보다 트랙터지거의 것을 토오크기준으로 80% 큰 것을 선정하고 같은 회전속도를 유지하기 위해서는 방향유도밸브를 통하여 유량을 60-70% 증가시킨다. 구동토오크를 증가시키기 위해서 遊星齒車列 감속기를 채택하였다. 구동륜은 11.2-24 트랙터 타이어를 사용하였다.



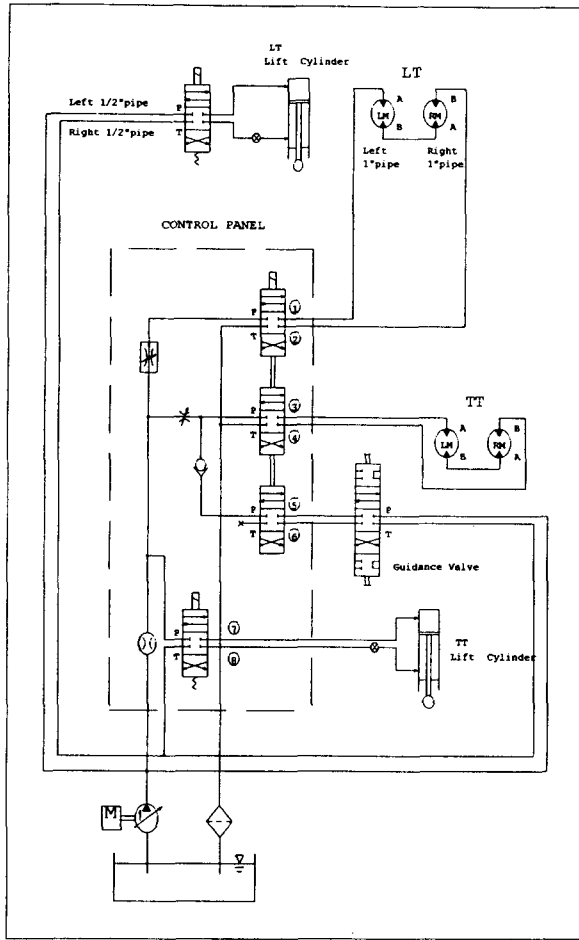


그림 6 동력구동부 유압회로도

### 3) 유체유동 및 주입부

Chemigation에서는 두 작업이 한 시스템에서 이루어지므로 유동관로와 펌프가 두 작업에서 양립할 수 있도록 해야한다. 펌프는 웨스코 점성펌프(151x03, 3HP)를 선택할 수 있다. 관로의 선택은 유동특성 및 손실을 고려하여 평균유속 주입에 따른 36m 최말단 까지 이르는 지연시간 및 관로에 갇히는 양을 계산하였다. 방제와 관개관로를 따로 사용하면 1.0" 관을 방제에 사용할 수 있으며, 같은 관로를 사용하면 2.0"관을 두 작업에 공히 사용하고 구조부 설계에 의한 관로트러스를 구성한다. 작업개시와 종료시 나타나는 지연시간과 내부용적에 간혀 남는 용액은 운영방법과 주입장치를 역으로 활용하므로 해소할 수 있다. 또한, 정치식의 관로에 잔존하는 양에 비하면 심각하지 않다. 관개시는 회귀로의 밸브를 닫고 노즐의 크기를 선택하여 저압-대유량으로 조절하며, 방제시는 밸브를 열어 소유량으로 조절하고 노즐의 크기로 방제작업에 필요한 고압을 얻게된다. 유량과 압력을 측정하기 위하여 구동부와 기지부에 각각 압력변환기와 유량계를 설치한다.

약제의 주입은 정용량 펌프를 채택하여 소유량의 약제를 계량해야 하는 어려움을 배제하였고 12VDC의 모터로 구동되는 주입펌프는 1800 rpm에서 0.5 hp을 요한다. 주입펌프는 소유량(10-150 mL/min)과 대유량(0.1-1.2 L/min) 양용으로 하여 광범위한 농약과 액비의 주입이 가능하도록 했으며 또한, 수화제사용이 가능하도록 교반기를 설치하였다.

#### 4) 환경계측 및 제어부

관수시기의 결정과 병해충 발생 예측을 위해서는 포장에 위치한 국지의 기상환경과 토양 수분 상태의 연속적인 관측이 요구된다. 이를 위하여 포장에 인접한 위치에 간이 기상 측정장치와 포장 내에 토양 수분의 경시적 변화를 측정하기 위한 토양수분 센서를 설치했다. 기상환경 및 토양 수분 데이터는 PC와 자료수집장치를 이용하여 수집·분석하며 예측프로그램과 병행 운영된다. 방제 시기의 결정 방법은 기상센서로 부터 습도의 지속시간, 온도의 변화치, 강우 및 돌풍현상 등을 기초로 일일 누적값(daily severity)을 구하고 누계가 문턱값을 초과하면 병발생 경고신호를 발생하도록 한다. 관수 시기는 기상관측 시스템에 토양수분 센서를 추가로 설치하여 이들 센서로부터 읽어 들인 기상자료와 작물의 생육 단계에 따른 필요 수분을 비교하여 결정한다.

가로주행 시스템의 성능을 평가하기 위하여 소요동력, 토오크, 엔진속도, 구동륜의 수직하중, 주행방향 오차, 주행속도, 유량 및 압력, 살포의 균일도 등을 다음같이 측정하였다. Chemigation system의 구성은 계측기지부 (base unit) 과 가로주행부 (driving unit) 으로 구분된다. 기지부는 고정된 위치에 설치되는 장치로서 관정, 펌프, 기상환경 관측장치에 관련되는 각종 계측제어 장비이며, 주행부는 구동부에 설치되는 각종 센서와 장비이다. 작업 중 주행부는 이동하기 때문에 주행부와 기지부 사이에 신호를 연결하는 것이 필요하며 각각의 unit은 별도의 시스템으로 구성하고 기지부와 주행부에 각각 송수신장치를 설치하여 양방향 데이터 전송이 가능하도록 한다. 연구에 사용하는 무선 모뎀은 447 MHz의 FM주파수를 사용하는 Double super heterodine 수신방식 (1200/2400 bps, RS-232)이다

가로주행 시스템이 포장 내에서 궤도를 따라 주행하기 위한 안내고랑 방법은 포장 내에 10-15 cm 깊이의 V자형 고랑을 만들고 가로주행 시스템에 이와 일치하는 안내 바퀴를 부착하여 이 바퀴가 고랑을 따라 진행하게 하는 방법으로 설치가 가장 단순하다. 가로주행 시스템의 진행방향이 고랑에 평행하지 않으면 안내 바퀴가 연결된 암이 회전하여 오차신호를 발생하게 되어, 오차의 크기와 방향에 따라 트랙터 타워 측 구동륜의 유압모터에 공급되는 유량을 조절하여 트랙터 측의 속도를 변화시켜 주행 방향을 제어한다. 유도밸브의 움직임을 측정하기 위하여 LVDT를 장착하였다. 트랙터지거 및 기준지거구동륜의 전진속도를 측정함으로써 주행방향 유도체계의 특성을 파악할 수 있다.

Chemigation 시스템에 있어서 관수, 액비 및 농약을 공급하기 위한 펌프는 가로주행 시스템의 작업상태에 따라 조작되어야 한다. 즉 주행 시스템이 정지하면 모든 펌프의 작동이 중지되어야 한다. 또한 어떤 이유에 의해서든 관수 펌프의 작동이 정지되면 액비 및 농약 공급 펌프도 이에 연동하여 멈추어야하므로 액비 및 농약의 역류에 의한 관정오염 방지를 위하여 주행 시스템, 관수 펌프, 액비 및 농약 공급 펌프 간에 연동회로를 구성한다. 작업 중 시스템에 이상이 발생한 경우에도 엔진이나 유체유동부를 정지시켜 시스템을 보호할 필요가 있다.

## 4. 요약 및 결론

본 연구를 통하여 설계된 Chemigation system을 정리하면 다음과 같다:

- ① 포장과 재배형태등 기술적인 검토와 경제적인 고려를 통하여 2.0ha이상의 농장에 적합한 Chemigation system은 가로주행식으로 판단되었다.
- ② Chemigation System은 계측기지부와 가로주행부로 구성되며 주행로의 여유를 포함하여 耕區의 폭(단변)은 40m로 주펌프로 부터 경구밸브를 통하여 호스를 견인하도록 하였다. 가로주행부는 트랙터 견인방식 혹은 자주식으로 세로이동한다.

- ③ "Bow"형태의 현수 구조물은 부재의 수가 적고 자세유지에 효과적이다.
- ④ 동력구동부는 power unit, 유압모터와 실린더의 actuator, 유량조정밸브와 방향제어 밸브, 유압회로의 배관등의 구성을 포함하였다.
- ⑤ Chemigation에서는 관개와 방제의 두 작업이 한 시스템에서 이루어지므로 유동관로와 펌프가 양립할 수 있도록 해야한다.
- ⑥ 관수시기의 결정과 병해충 발생 예측을 위해서는 포장에 위치한 국지의 기상환경과 토양 수분 상태의 연속적인 관측이 요구된다.
- ⑦ 가로주행 시스템의 성능을 평가하기 위하여 소요동력, 토오크, 엔진속도, 구동륜의 수직 하중, 주행방향 오차, 주행속도, 유량 및 압력, 살포의 균일도 등을 측정한다.
- ⑧ 주행부와 기지부 사이에 자료 교환은 FM 무선 송수신장치를 사용한다.
- ⑨ 작업 중 시스템에 이상이 발생한 경우에는 엔진이나 유체유동부를 정지시켜 시스템을 보호하는 연동장치를 도입하였다.

본 연구에서 제시하는 가로주행식 모델 뿐 아니라 포장형태, 작물특성, 주작업구성 등에 따라 쉽게 변경과 조정 될 수 있으며 소규모 시설농업에서 부터 대규모의 노지농장 까지 적용이 가능하다. 또한 운영에서도 복잡한 구동 및 제어기능이 포함될 수도 있으며 단순히 정착식으로 운영되는 체계를 얻을 수도 있다. 차기 연구과제로서 시스템의 구동성능 및 운영성능의 평가가 필요하다.

## 5. 참고문헌

- Jenson, M. E. (ed) 1983. Design and Operation of Farm Irrigation Systems. ASAE Monograph No.3, St. Joseph, MI
- Hoffman G.J., T.A. Howell, K.H. Solomon eds. 1992. Management of Farm Irrigation Systems. ASAE Monograph 9
- Keller, J. and R. D. Bliesner. 1990. Sprinkler and Trickle Irrigation. Chapman & Hall, NY
- Gulik, T. W. Van Der, 1993, CHEMIGATION, Guidelines for British Columbia. B.C. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, Soils and Engineering Branch.
- Matthews, G. A. 1992. Pesticide application methods, 2nd ed. Longman Scientific & Technical, NY, NY.
- New, L. L. et al. 1990. CHEMIGATION WORKBOOK. Texas Agricultural Extension Service. Texas A&M University, TX.
- Young J.R. et al. 1994. Pesticide formulation for chemigation. 14th ASTM STP 1234.
- Koo, Y.M. et al. 1992a. Formation of immiscible oil droplets during chemigation I, In-line dispersion TRANSACTIONS of the ASAE. 35(4):1127-1133.
- Koo, Y.M. et al. 1992b. Formation of immiscible oil droplets during chemigation II, Nozzle dispersion and emulsification. TRANSACTIONS of the ASAE. 35(4):1135-1139.
- Koo, Y.M. et al. 1992c. A theoretical efficacy of insecticide-oil droplets applied via chemigation. ASAE paper No. 921064.
- Koo, Y.M. et al. 1993. Insecticide-oil droplet size effect on fall armyworm larval control via chemigation. TRANSACTIONS of the ASAE. 36(4):1033-1038.
- Sumner H.R. et al. 1994. Center pivot irrigation attached sprayer. ASAE paper No. 941028.
- Ge, J. et al. 1994. Microsprinkler performance under a moving irrigation system simulator. ASAE paper No. 942168.
- Wilson, E.L. and Habibullah, A. 1989. SAP90 Users Manual, A series of Computer Programs for the Static and Dynamic Finite Element Analysis of Structure.